

Ondergrondse algemene voedingspunten in het elektriciteitsnet

Onderzoek naar de waterveiligheid



Opdrachtgever: Hompe en Taselaar & Hogeschool van Amsterdam

Afstudeerder: Dictus Deutekom

Studentnummer: 500711767

Opleiding: Civiele techniek, afstudeerrichting Water

Begeleider HvA: Fred Havinga

2^e lezer: Paul Termes

Begeleider bedrijf: Hidde Verloop

Datum: 29-03-2021

Inhoudsopgave

Samenvatting.....	4
1 Aanleiding.....	5
2 Inleiding.....	6
3 Aanpak.....	7
Leeswijzer.....	9
4 Deelvraag: Welke parameters zijn nodig om de kans op stroomuitval als gevolg van wateroverlast te bepalen?.....	10
4.1 Elektrische installatie.....	12
4.2 Afmetingen kelder.....	13
4.3 Omliggende leidingen.....	14
4.4 Constructie kelderbak.....	14
4.5 Kabeldoorvoer.....	15
4.6 Ventilatie.....	17
4.7 Maatgevende bui.....	18
4.8 Bergingsmaatregelen.....	19
4.9 Pompput.....	20
4.10 Overstromingskans dijken.....	21
4.11 Conclusie.....	23
5 Deelvraag: Hoe worden de parameters maatgegeven?.....	24
5.1 Waterhoogte tot kortsluiting.....	24
5.2 Omliggende leidingen.....	25
5.3 Maatgevende buien.....	27
5.4 Kabeldoorvoer.....	29
5.5 Dijkboorbraak.....	30
5.6 Lekkage kelderconstructie.....	31
5.7 Condensatie.....	31
5.8 Conclusie.....	32
6 Deelvraag: Hoe kan een tool worden gemaakt?.....	33
6.1 Beschrijving van de relaties.....	33
6.2 Handleiding voor het invullen van de WAVPO-tool.....	35
6.3 Conclusie.....	35
7 Deelvraag: Werkt de tool op een specifieke locatie?.....	36
7.1 Testlocatie Boerenwetering.....	36
7.1.1 Bovengronds (huidige situatie):.....	37
7.1.2 Ondergronds:.....	38

7.1.3 Validatie.....	40
7.2 Testlocatie Mahlerplein.....	41
Validatie.....	44
7.3 Testlocatie Fred Roeskestraat	45
Validatie.....	48
7.4 Testlocatie Rembrandtplein	49
8 Deelvraag: Hoe beïnvloeden de parameters het resultaat?	51
8.1 Volume kelder	51
8.2 Maaiveld	51
8.3 Kans op regenbui	51
8.4 Leidingen	51
8.5 Dijkdoorbraak	51
9 Conclusie	52
10 Aanbevelingen.....	54
11 Discussie	55
Bronnenlijst	56
Bijlage 1: Interview met Ronald van Prinsenbeek van Enexis.....	57
Bijlage 2 Interview Alex Geschiere	59
Bijlage 3 Ventilatie eisen Liander	63
Bijlage 4 Stowa tabel	65

Samenvatting

In dit onderzoek is onderzocht hoe de kans op stroomuitval als gevolg van wateroverlast van een algemeen voedingspunt bepaald kan worden. Hiervoor is een literatuuronderzoek uitgevoerd over de fenomenen die kunnen optreden met wateroverlast als gevolg. Dijkdoorbraak, regenval en gesprongen leidingen kunnen wateroverlast veroorzaken met uitval van het algemeen voedingspunt als gevolg. Vervolgens is uitgezocht hoe de kans van optreden van deze fenomenen kan worden maatgegeven. Met behulp van de in dit onderzoek ontwikkelde WAVPO- tool kan deze kans op stroomuitval berekend worden. WAVPO staat voor “Wateroverlast Algemeen VoedingsPunt Ondergronds”. Volgens dit model is er in de meeste gevallen een kleine kans op kortsluiting als gevolg van wateroverlast, in de ordegrrootte van de kans op een dijkdoorbraak. Als een algemeen voedingspunt in een ondergrondse parkeergarage is geplaatst is er veel ruimte voor waterberging. Daardoor is er een grote buffer voor regenwater dat in de kelder stroomt. Om de betrouwbaarheid van de WAVPO-tool te vergroten kan in een vervolgonderzoek verder worden gekeken naar de waterdichtheid van de constructie van de kelderbak zelf en naar mogelijkheden om dit te verbeteren. Ook kan de inschatting van het stroomtraject van het regenwater nauwkeuriger worden bepaald met overstromingsmodellen.

1 Aanleiding

In de laatste fase van de opleiding Civiele Techniek aan de Hogeschool van Amsterdam wordt een afstudeeronderzoek uitgevoerd. Binnen Civiele Techniek volg ik de afstudeerrichting Water, het onderwerp van mijn onderzoek dient water gerelateerd te zijn. In mijn zoektocht naar een afstudeeronderwerp heb ik het ingenieursbureau Hompe en Taselaar benaderd. Dit bedrijf is vooral betrokken bij ondergrondse projecten en kabels en leidingen. Hompe en Taselaar heeft een aantal vraagstukken liggen dat voor het bedrijf relevant is en voor studenten interessant om te onderzoeken, waaronder de vraag om onderzoek te doen naar het ondergronds plaatsen van algemene voedingspunten voor elektriciteit.

Uit een eerder afstudeeronderzoek in opdracht van Hompe en Taselaar is gebleken:

Niet alle locaties in Amsterdam zijn gevoelig voor wateroverlast. Ook zijn er vele maatregelen die wateroverlast in ondergrondse ruimte kunnen beperken of elimineren. Door het toepassen van deze maatregelen, of het vermijden van wateroverlast, kan een algemeen voedingspunt ondergronds geplaatst worden zonder dat het risico op uitval significant toeneemt. (Hidde Verloop, 2019)

Dit eerdere onderzoek is gedaan in 2019 door Hidde Verloop, ook als afstudeeronderzoek voor de opleiding Civiele Techniek. Hij is nu werkzaam bij Hompe en Taselaar. Dit onderzoek wordt voortgezet en daarom heeft Frans Taselaar besloten om Hidde Verloop als begeleider toe te wijzen.

2 Inleiding

De vraag naar elektrische energie in Amsterdam neemt toe. Dit heeft meerdere oorzaken. De woning- en kantoor dichtheid neemt toe en men gebruikt steeds meer elektrische apparaten en voertuigen. Daarnaast streeft de Gemeente Amsterdam ernaar dat alle huishoudens die nu gebruik maken van gas, in 2040 op elektriciteit zijn overgegaan. Door de toename van de energievraag zijn steeds meer voedingspunten nodig in een stad met al beperkte ruimte. De ruimte die algemene voedingspunten innemen gaat soms ten koste van het straatbeeld. Als het algemeen voedingspunt er niet zou staan ontstaat er in veel gevallen een hogere kwaliteit van de openbare ruimte. Bovendien veroorzaken ze in sommige gevallen onveilige verkeerssituaties als ze het zicht vanaf de weg belemmeren zoals in onderstaande afbeelding bij een druk kruispunt op de Willemsparkweg.



Figuur 1, transformatorhuis op kruispunt Willemsparkweg

Deze algemene voedingspunten staan meestal bovengronds in zogenaamde transformatorhuisjes die in de regio Amsterdam beheerd worden door Liander. Met behulp van een transformator wordt hierin middenspanning (10-35 kV) omgezet in laagspanning (400-230V) en vervolgens verder gedistribueerd naar gebouwen waar het uit het stopcontact komt. Deze voorzieningen staan op verschillende plekken in de openbare ruimte van Amsterdam.

Een van de alternatieve plekken voor algemene voedingspunten is onder de grond. Op enkele plekken is dit al gebeurd, meestal in de kelder van een gebouw of parkeergarage. Dit wordt niet vaak gedaan, omdat het risico op uitval van de elektriciteit als gevolg van wateroverlast hoog wordt ingeschat. Ook geeft de situatie waarbij de kelder in de VU onderliep en het ziekenhuis zonder elektriciteit kwam te zitten een onveilig beeld van ondergrondse elektriciteitsvoorzieningen. Dit was echter een zeer uitzonderlijke calamiteit. Er ontbreekt een realistische beoordelingsmethode met een goede onderbouwing. Het kwantificeren van de kans op stroomuitval en het hiermee inzichtelijk maken van eventuele risico's is van belang voor de mate van vertrouwen in ondergrondse algemene voedingspunten. Dit onderzoek zal daaraan bijdragen.

3 Aanpak

In opdracht van Hompe en Taselaar is gevraagd uit te zoeken of de kans op stroomuitval als gevolg van wateroverlast significant toeneemt wanneer algemene voedingspunten in Amsterdam ondergronds geplaatst worden. Hidde Verloop heeft hier in 2019 al een onderzoek naar uitgevoerd. Gevraagd is om een methodiek te ontwikkelen die kan beoordelen wat de kans op stroomuitval is als gevolg van wateroverlast bij een ondergronds algemeen voedingspunt voor elektriciteit.

Onder wateroverlast wordt verstaan overlast als gevolg van neerslag, grondwater, dijkdoorbraak en eventuele calamiteiten zoals gesprongen waterleidingen die voor waterintreding kunnen zorgen. De kans op stroomuitval als gevolg hiervan wordt in een waarde uitgedrukt. Er is gekozen om deze parameters in een Excel sheet te verwerken tot een model. De waardes van de parameters kunnen als getallen worden ingevoerd en vervolgens wordt er een kans op stroomuitval per jaar berekend. De tool (het Excel bestand) wordt voorzien van een handleiding waarin staat hoe de parameters worden maatgegeven en hoe er mee te werken.

Dit onderzoek beperkt zich tot het bepalen van de kans op stroomuitval als gevolg van wateroverlast, niet het gevolg ervan. Het gevolg van stroomuitval is namelijk hetzelfde voor boven en ondergronds, namelijk een stroomstoring met alle gevolgen van dien.

Voorafgaand aan het ontwerpen van de tool vindt een literatuuronderzoek plaats waarbij gekeken wordt naar alle kennisgebieden die samenkomen in de waterveiligheid van een algemeen voedingspunt. Het goed laten samenkomen van de verschillende disciplines naast waterveiligheid zijn bij zowel het ontwerp als het realistisch toetsen van de veiligheid essentieel voor de kans van slagen. Het vraagstuk is een combinatie van elektrotechniek, hydraulica en constructie. Ook van invloed zijn stakeholders zoals de netbeheerder, gemeente die de grond bezit, projectontwikkelaars, aannemers die de kelder aanleggen en de stroomgebruiker. Uit dit onderzoek komen de parameters die in een tool worden verwerkt. Denk hierbij aan locatie, oppervlakken, wel of geen drempel voor de ingang en volumes.

Vervolgens wordt er een Excel sheet (tool) ontworpen waarin alle invloeden van de parameters zijn opgenomen. Deze wordt voorzien van een geschreven handleiding. De tool zal worden toegepast op bestaande ondergrondse algemene voedingspunten in Amsterdam en op locaties waar het algemeen voedingspunt onder de grond zou kunnen. Hompe en Taselaar is betrokken geweest bij enkele projecten met ruimtes voor algemene voedingspunten en zal locaties toewijzen om te toetsen. Daarna kan de methodiek gevalideerd worden. De getoetse locaties zijn 2 algemeen voedingspunten in een parkeergarage, namelijk in de fietsparkeergarage op het Mahlerplein en in de parkeergarage van een kantoorpand in de Fred Roeskestraat. Daarnaast wordt de situatie getoetst waarbij het algemeen voedingspunt dat nu op de kade staat van de Boerenwetering in de daar aanwezige autoparkeergarage zou worden geplaatst. Ook wordt een hypothetische situatie berekend waarbij een algemeen voedingspunt dat nu midden op het Rembrandtplein staat ondergronds geplaatst wordt op dezelfde locatie.

Tijdens het onderzoek wordt kennis verzameld door interviews te doen met specialisten binnen het vakgebied. Via het netwerk van Hompe en Taselaar heb ik met technisch beheerder Piet de Beer van netbeheerder Liander kunnen spreken en met strategisch beleidsexpert assets Ronald Prinsenbeek van netbeheerder Enexis.

De opdracht is vertaald naar de volgende hoofdvraag met bijbehorende deelvragen:

Hoofdvraag:

- Hoe kan de kans per jaar op stroomuitval worden bepaald als gevolg van wateroverlast in een ondergronds algemeen voedingspunt?

Deelvragen:

- Welke parameters zijn nodig om de kans op stroomuitval als gevolg van wateroverlast te bepalen?
- Hoe worden de parameters maatgegeven?
- Is het mogelijk een tool te maken die deze kans kwantificeert?
- Werkt de tool ook op een specifieke locatie?
- Hoe beïnvloeden de parameters het resultaat?

De aannames die zijn gedaan in dit onderzoek zijn:

- De constructie van de kelders waarin het algemeen voedingspunt staat is waterdicht aangelegd
- De ventilatie van een ondergrondse ruimte voldoet aan de eisen waardoor condensatie van vochtige lucht wordt voorkomen
- De elektrische installatie heeft een open spanningsdeel op 0,5 meter hoogte vanaf de keldervloer
- Riolen kunnen 20mm neerslag per uur afvoeren
- Alle dijktrajecten in Nederland voldoen aan de gestelde eisen
- Keldervloeren zijn waterpas aangelegd
- Als er water op een open spanningsdeel komt valt het algemeen voedingspunt uit
- Condensatie zorgt alleen op de lange termijn voor corrosieschade
- De onderzochte fenomeen treden niet gelijktijdig op waardoor de kansen onafhankelijk van elkaar zijn

Leeswijzer

Het eerst deel van het rapport bestaat uit een literatuuronderzoek. Hoofdstuk 4 is een inventarisatie van de fenomenen die kunnen optreden en waar deze van afhankelijk zijn.

In hoofdstuk 5 wordt onderzocht hoe de parameters kunnen worden maatgegeven en wat de relaties zijn.

Vervolgens wordt in hoofdstuk 6 met de verzamelde informatie de tool gemaakt in Excel met een bijbehorende handleiding.

Daarna wordt de gemaakte tool op locaties getest waarna gevalideerd wordt.

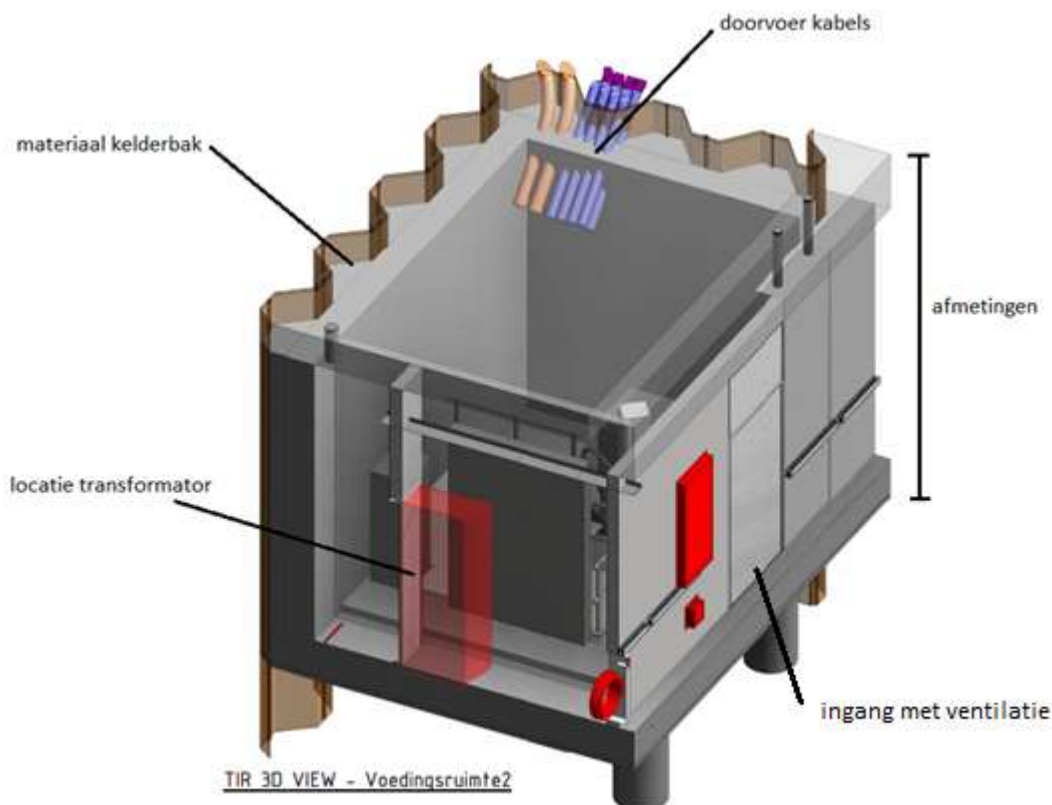
In hoofdstuk 8 wordt een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd over de onderdelen van het model.

Ten slotte worden de conclusies en de discussie besproken en worden er aanbevelingen gedaan over het onderzoek.

4 Deelvraag: Welke parameters zijn nodig om de kans op stroomuitval als gevolg van wateroverlast te bepalen?

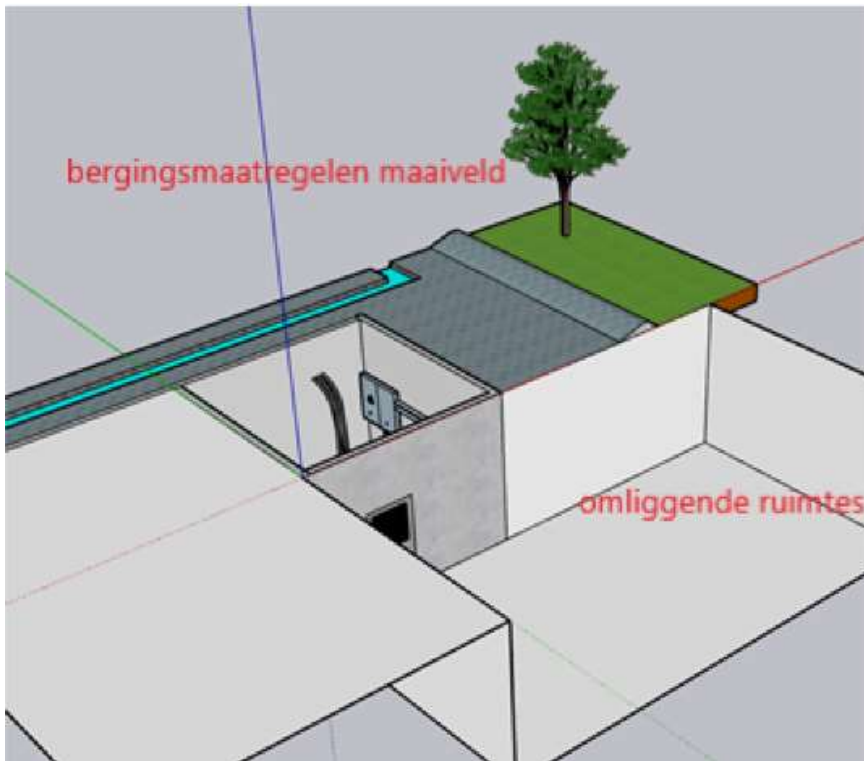
Een algemeen voedingspunt wordt meestal bovengronds aangelegd waarbij weinig wateroverlast kan optreden. Er zijn standardeisen van de netbeheerder voor de aanleg betreft afmetingen, ventilatie en toegankelijkheid. Er moet rekening worden gehouden met deze eisen en de algemene eigenschappen van een algemeen voedingspunt. De inrichting binnenin de ruimte zal zoveel mogelijk hetzelfde zijn ondergronds. De netbeheerder houdt het liefst standaard inrichtingen aan zodat inspecties en onderhoud makkelijk kunnen plaatsvinden.

Als het algemeen voedingspunt ondergronds wordt geplaatst is het grote verschil dat de kelder laag ligt. Dit betekent dat er water in kan komen. Hierdoor is de waterveiligheid een aspect dat extra aandacht verdient bij het aanleggen van een ondergronds algemeen voedingspunt. In de onderstaande afbeelding is aangegeven welke factoren van belang zijn voor de waterveiligheid van een ondergrondse ruimte.



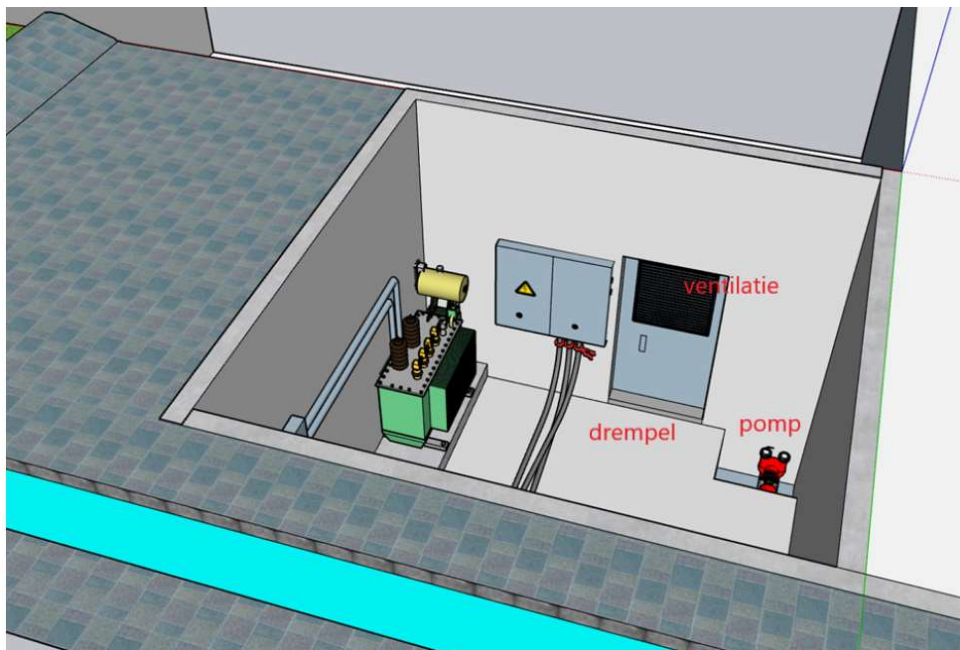
Figuur 2, 3D model van ondergronds algemeen voedingspunt

Ook is de omgeving van invloed op de waterveiligheid. Water zoekt het laagste punt op. Als rekening wordt gehouden met hoe (regen)water stroomt kunnen daarop maatregelen worden genomen. Bovendien bepalen de grootte van de ruimte en omliggende ondergrondse ruimtes hoe snel een kelder volloopt, zie onderstaande afbeelding.



Figuur 3, 3D omgeving van ondergronds algemeen voedingspunt

Ook kunnen er extra maatregelen worden getroffen om de ruimte zelf te beschermen tegen water. Bijvoorbeeld een pomp die het water wegpompt of een barrière om de open spanningsdelen heen tegen het water.



Figuur 4, 3D maatregelen in een ondergronds algemeen voedingspunt

4.1 Elektrische installatie

In geval van wateroverlast is de wijze waarop de elektrische installatie in de kelder geplaatst is van invloed op wanneer deze uitvalt. Als er water in de kelder stroomt en een bepaalde hoogte bereikt ontstaat er kortsluiting en valt het algemeen voedingspunt uit. Er kan dan geen elektriciteit meer worden geleverd vanuit het algemeen voedingspunt. Per situatie moet gekeken worden naar hoe de elektrische installatie in elkaar zit en waar de zwakke plekken zitten waar water kortsluiting kan veroorzaken.

Hoe het stroomtraject eruitziet in een transformatorruimte is door strategisch beleidsexpert assets Ronald Prinsenbeek van Enexis als volgt uitgelegd in een interview:

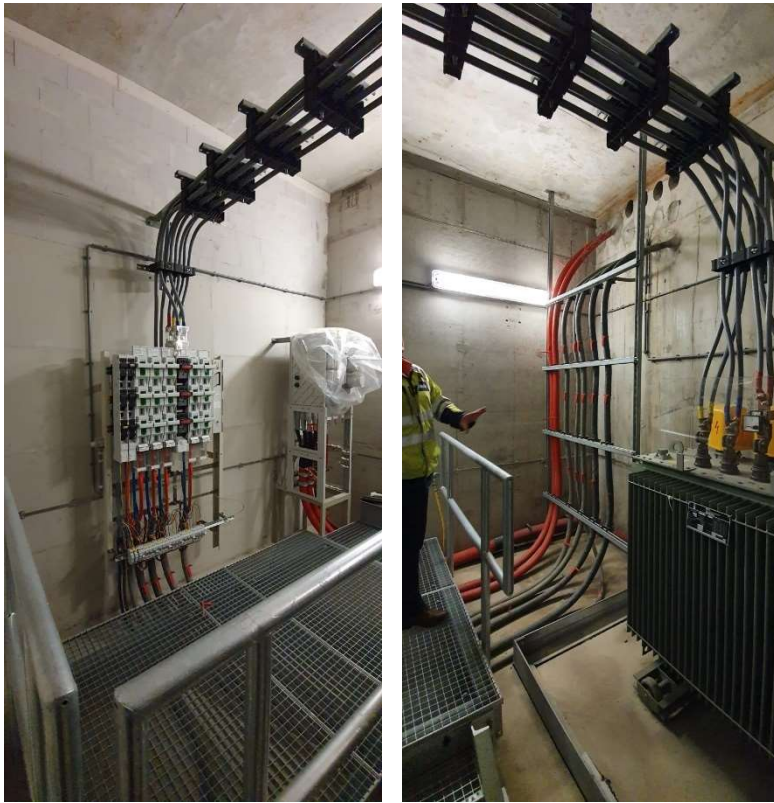
“Er komen twee kabels de kelder binnen. Die komen door de vloeren heen die dampdicht zijn afgewerkt. De kabels gaan vanaf onder in de middenspanning installatie. Deze is ongeveer 1 meter breed, 70 centimeter diep tot ongeveer anderhalve meter hoog. Dat is een metalen kast. Daar komen 3 kabels binnen, 2 uit het voedingsnet die zijn gelust zodat je onderhoudswerkzaamheden kan doen en dan kan omschakelen. De derde kabel komt beneden eruit naar de kabelkelder en dan naar de transformator. Als er water in de kelder komt te staan kan bij de eindsluiting, de klem waarmee de kabel op de installatie vastzit, vocht bij de spanningvoerende delen komen wat kan leiden tot uitval bij ongeveer 40 cm water boven de vloer.

Bij de transformator komt de kabel weer uit de vloer naar boven en wordt bovenop de transformator bevestigd. Dit is een open verbinding met een kap erop. Ook hier krijg je korstsluiting als hier water op komt maar dit zit op een hoogte van minimaal 1,20 meter vanaf de vloer. De kabel aan de laagspanningszijde zit op dezelfde hoogte en gaat dan boven de vloer naar de laagspanningsverdeler, die heeft weer open spanningsdelen op een hoogte van 30 cm vanaf de vloer. De laagspanningskabels gaan dan vanaf het laagspanningsrek via de kabelkelder naar de klanten toe.” (Interview met Ronald Prinsenbeek, 2020 bijlage 1)



Figuur 4, schema stroomtraject in algemeen voedingspunt

Onder leiding van technisch beheerder Piet de Beer van Liander is ook een ondergronds algemeen voedingspunt in een fietsparkeergarage op het Mahlerplein in Amsterdam bezocht. Op onderstaande foto's zijn de elektrische componenten te zien. De kabels komen door de muur de kelder in en gaan op dezelfde hoogte ook weer naar buiten. Hij gaf aan dat het eerste open spanningsdeel op ongeveer 50 cm vanaf de vloer zit. Dit zijn meestal alleen de stroomvoorzieningen voor de openbare ruimte zoals stoplichten en straatlantaarns. Daarboven zit op een hoogte van ongeveer 1 meter een open spanningsdeel van de aansluitingen die naar gebouwen gaan. Dit is hoe bij Liander in Amsterdam de meeste algemene voedingspunten ingericht zijn.



Figuur 5, elektrische installatie algemeen voedingspunt Mahlerplein

De hoogte van de het eerste open spanningsdeel ten opzichte van de vloer is maatgevend. Als er water in de kelder stroomt zal hier namelijk als eerste kortsluiting ontstaan. Deze hoogte wordt als parameter meegenomen en verschilt per locatie. De volgende parameters zijn hiervoor van belang:

- Hoogte eerste open spanningsdeel
- Waterstand in de kelder
- Volume van de kelder

4.2 Afmetingen kelder

De kelder heeft een bepaald volume dat zorgt voor een bergingscapaciteit. Hoeveel water de kelder kan bergen is van invloed op wanneer het water een hoogte bereikt die tot schade leidt. Daarom is van belang over welk oppervlak in de kelder water komt te staan en of er andere ruimtes zijn waar water naartoe kan stromen, mochten er bijvoorbeeld meerdere verdiepingen zijn in de kelderruimte zoals in een parkeergarage. Deze bergingscapaciteit is een volume en de eventuele uitstroom is een debiet. Ook kan er eventueel een drempel voor de ingang van de ruimte worden geplaatst die bij hevige regenval water keert. De volgende parameters zijn hiervoor van belang:

- Oppervlak van de kelder
- Hoogte van de kelder
- Drempelhoogte

4.3 Omliggende leidingen

De ondergrond in Amsterdam ligt vol met kabels en leidingen. Waterleidingen kunnen springen (breken), maar ook leidingen van persriool en warme en koudenet. Als dit gebeurt stroomt er een hoeveelheid water uit en dit kan vervolgens op straat komen te staan. Water stroomt vanzelf naar het laagste punt dus kan het richting de ingang van de kelder stromen. Dit heeft zich voorgedaan bij de VU in Amsterdam waarbij als gevolg van een gesprongen hoofddrinkwaterleiding een deel van de stroomvoorzieningen in het ziekenhuis uitviel. Het was echter een zeer uitzonderlijke situatie waarbij zoveel schade werd veroorzaakt.



Figuur 6, gesprongen waterleiding

Ten eerste zal worden bepaald binnen welk gebied water de kelder in kan stromen. Hierbij moeten de hoogteverschillen van het omliggende maaiveld worden geanalyseerd. Vervolgens moeten de omliggende leidingen worden gelokaliseerd waarna de lengte kan worden bepaald. Aan deze leidingen moet een faalkans worden toegekend. Ook moet worden bepaald hoeveel water er uit kan stromen bij een lekkage en hoe snel dit gerepareerd wordt. De volgende parameters zijn van belang:

- Terreinhoogte omliggend maaiveld
- Lengte en type leiding
- Faalkans leiding
- Uitstromend debiet
- Reactietijd

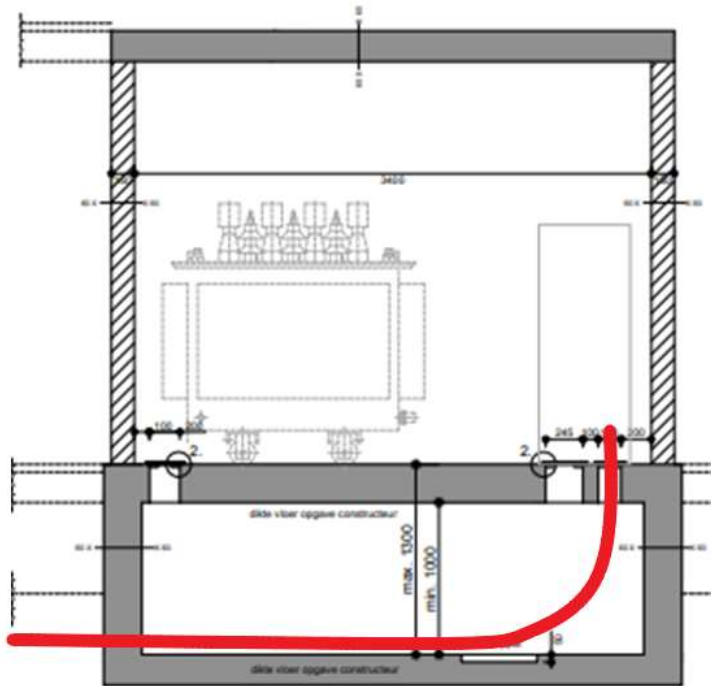
4.4 Constructie kelderbak

Hoe de kelder is geconstrueerd heeft invloed op de intrede van grondwater. Er wordt bij de aanleg altijd gestreefd om de kelder waterdicht aan te leggen, maar er is altijd een kans op lekkage in een kelder. Dit is afhankelijk van het materiaal, kwaliteit en de dikte van de wand. Mocht de kelderwand of een kabeldoorvoer falen, dan kan er hier water door naar binnen stromen. De snelheid waarmee dit gebeurt is ook afhankelijk van de grondwaterdruk. Hoe groter de waterdiepte, hoe groter de waterdruk. De volgende parameters zijn hiervoor van belang:

- Grondwaterdruk
- Diepte kelder
- Dikte kelderwand
- Materiaal en kwaliteit

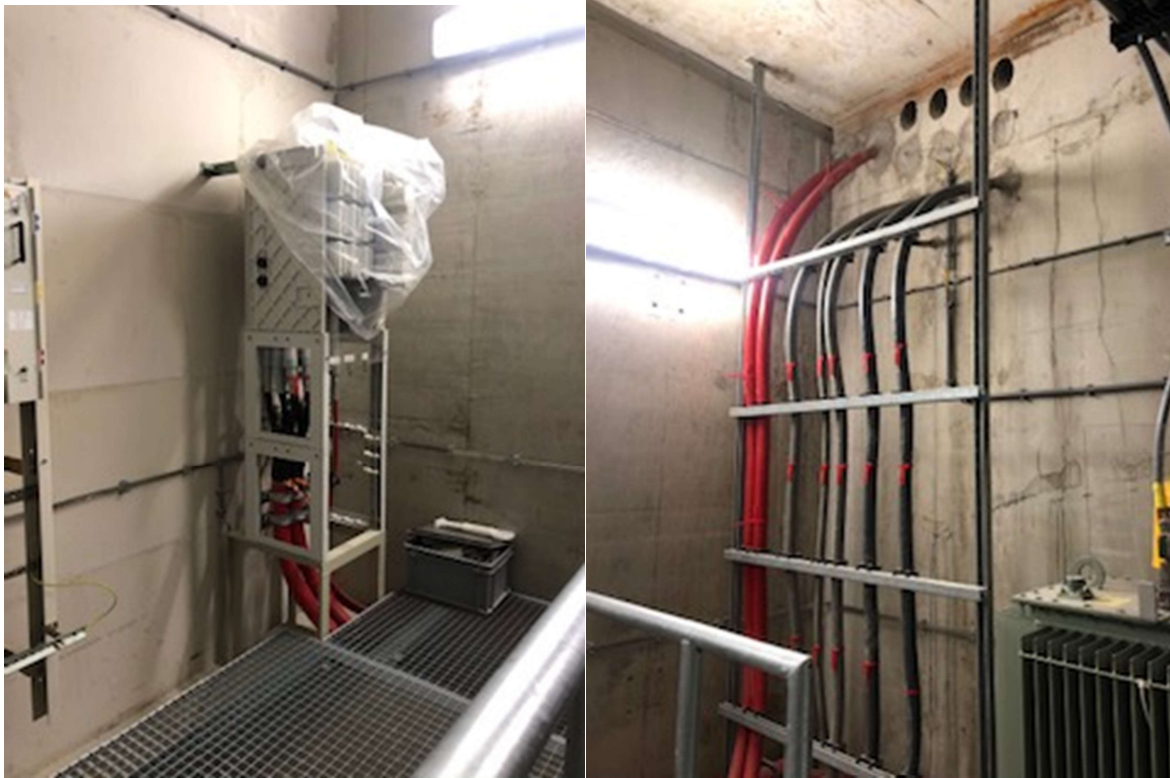
4.5 Kabeldoorvoer

Bij een bovengrondse transformatorruimte is meestal een aparte kelder aanwezig waar de kabels binnenkomen. De hoogspanningskabels komen de kabelkelder horizontaal binnen op de hoogte waarop deze ook in de ondergrond liggen op ongeveer een meter onder het maaiveld. Vervolgens maken de kabels in de kabelkelder een bocht en gaan verticaal door een sparing in de vloer. Zo komen de kabels verticaal binnen in de transformatorruimte zoals in onderstaande afbeelding.



Figuur 7, doorsnede bovengronds algemeen voedingspunt

Bij een ondergrondse transformatorruimte komen de kabels van boven de ruimte binnen. Dan moeten de kabels eerst naar beneden worden gebogen en dan weer naar boven het kabelrek in. Er is dan in sommige gevallen iets meer ruimte voor nodig. Tijdens het locatiebezoek aan het algemeen voedingspunt op het Mahlerplein was te zien dat het wel mogelijk is, zie figuur 8 en 9.



Figuur 8 en 9, Algemeen voedingspunt Mahlerplein

Volgens Alex Geschiere van Liander is de plek waar de kabels de kelder binnenkomen vaak een zwakke plek. *“De kabels zijn weliswaar voorzien van een waterdichte huls, maar door het verschil in materiaal brengt dit toch problemen met zich mee. Daarom zit er tussen de kabel en het gat een plug die meevormt bij uitzetting en krimp zodat er geen openingen ontstaan.”* (Interview met Alex Geschiere, 2019, bijlage 2).

Mocht deze afdichting niet goed functioneren kan er grondwater in de kelder treden. Dit kan gebeuren als er een te grote waterdruk is. Van belang zijn de volgende parameters:

- Faalkans kabelplug
- Grondwaterdruk op diepte kabelplug
- Grondwaterstand
- Aantal kabeldoorvoeren
- Oppervlak kabeldoorvoer

4.6 Ventilatie

“Met name op de lange termijn kan condensatie van vochtige lucht zorgen voor schade in een algemeen voedingspunt.” (Geschiere, 2019). Als er water op de elektrische componenten condenseert kan dit zorgen voor corrosie en uiteindelijk mogelijk korstluiting. Met behulp van formules en gegevens over de lucht in een ruimte kan worden bepaald of er condensatie optreedt. De maatregel die hierop wordt genomen is het toepassen van ventilatie. Netbeheerder Liander heeft hier een rekenmethode voor. Deze staat in bijlage 3.



Figuur 10, ventilatierooster op deur

4.7 Maatgevende bui

Als er regen valt kan dit voor wateroverlast zorgen. In eerste instantie zal een deel van dit water op straat komen te staan. Maar water zoekt het laagte punt op dus zou ook een kelder in kunnen stromen als er niet voldoende bergingsmaatregelen zijn. Er moet per situatie worden bekeken wat een regenbui betekent voor de waterstand op straat en of het de kelder in kan stromen.



Figuur 11, water op straat

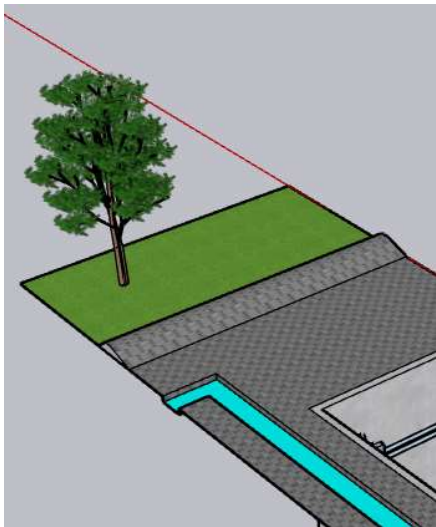
De grootte van dit gebied verschilt per situatie. Elke locatie heeft verschillende manieren van afwatering. De volgende parameters zijn hiervoor van belang:

- Volume bui
- Tijd bui
- Waterstand op maaiveld
- Oppervlak dat afwatert richting kelder
- Bodemniveau kelder onder maaiveld
- Bergingsmaatregelen op maaiveld in omgeving

4.8 Bergingsmaatregelen

Om de impact van een regenbui te beperken bestaan er veel maatregelen die kunnen worden getroffen. Er kan water worden geborgen in kunstmatige vorm zoals wadi's en kratten onder het maaiveld, maar soms door een natuurlijkere vorm door afstroming naar openwater in de buurt. Ook zijn riolen vaak ontworpen om een deel van een bui af te voeren en te bergen. Dit zorgt er allemaal voor dat het volume water dat de kelder instroomt afneemt. De parameters zijn hiervoor:

- Volume berging
- Capaciteit riool



Figuur 12, bergingsmaatregelen in omgeving

4.9 Pompput

In de kelderbak kan een pomp worden geïnstalleerd die bij intreding van water automatisch wordt ingeschakeld. Hiervoor wordt in de vloer een klein oppervlak verlaagd zodat er een laagste punt ontstaat waar het water zich verzamelt. Hier wordt een pomp in geplaatst die het water afvoert naar boven, de kelder uit. Deze leiding kan naast een ventilatieschacht worden geplaatst. Er kan ook worden gekozen voor een alarmeringssysteem dat in werking treedt bij water in de kelder .

Parameter:

- Debiet pomp



Figuur 13, pomp onder rooster op laag punt

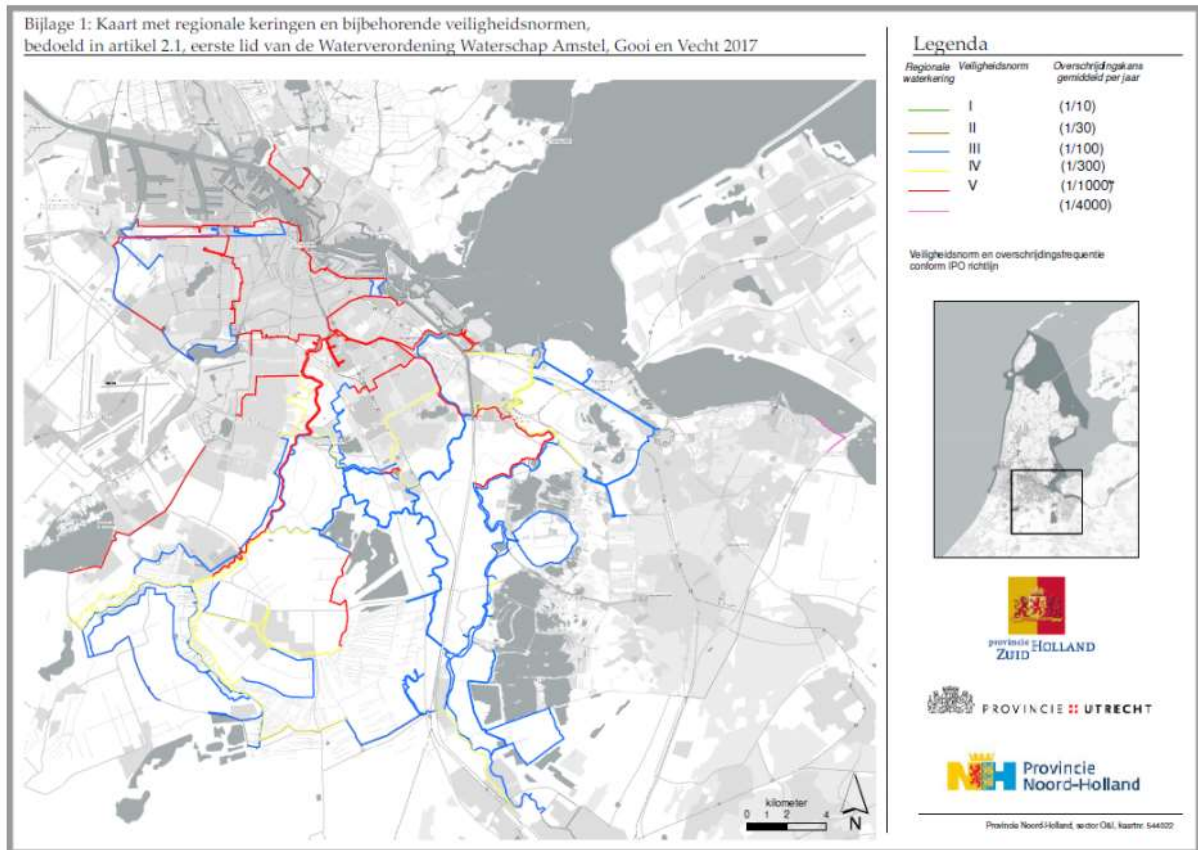
4.10 Overstromingskans dijken

Omdat Nederland grotendeels onder de zeespiegel ligt en er veel rivieren door ons land stromen is aan de meeste dijktrajecten van primaire keringen een eis voor de overstromingskans gesteld. Alle waterkeringen worden momenteel getoetst in opdracht van de rijksoverheid. In dit afstudeerwerk wordt aangenomen dat alle keringen aan de eisen voldoen. Zodra de resultaten van de toetsingen bekend worden gemaakt kan deze nieuwe informatie uiteraard worden gebruikt. De overstromingskans wordt deels bepaald door primaire keringen die gebieden ter grootte van provincies beschermen.



Figuur 14, primaire waterkeringen, waterveiligheidsportaal.nl

Binnen deze gebieden zijn regionale keringen aanwezig waaraan ook eisen zijn gesteld. In onderstaande afbeelding zijn deze te zien voor Amsterdam. De regionale keringen moeten de waterstand bij de gestelde overschrijdingskans kunnen weerstaan.



Figuur 15, regionale waterkeringen, Statenvoordracht HHNK

De primaire en regionale keringen vormen samen met overige keringen bescherming tegen overstromingen. Als er een waterkering faalt moet gekeken worden wat het gevolg hiervan is. Hoe hoog het water komt te staan in een gebied is van invloed op of dit ook een kelder in kan stromen. De volgende parameters zijn van belang:

- Faalkans keringen
- Waterhoogte als gevolg van falen

4.11 Conclusie

Een ondergronds algemeen voedingspunt kan als gevolg van wateroverlast uitvallen wanneer er kortsluiting ontstaat bij een open spanningsdeel. Het laagste open spanningsdeel bij algemene voedingspunten van Liander bevindt zich meestal op 50 cm vanaf de vloer. Als er water in de kelder stroomt en deze hoogte bereikt zal er kortsluiting ontstaan en komen de afnemers zonder elektriciteit te zitten.

Bij het bepalen van de kans op het vollopen van een ondergronds algemeen voedingspunt moet met verschillende fenomenen rekening worden gehouden:

- Regenbuien
- Gesprongen leidingen
- Dijkdoorbraak

Bij regenbuien moet worden bepaald wat voor een bui wateroverlast kan veroorzaken en wat de kans op deze bui is per jaar.

Voor de kans op wateroverlast door gesprongen leidingen moet de faalkans van de leidingen in de omgeving worden bepaald, en het volume water dat bij een leidingbreuk vrijkomt.

De kans op overstroming als gevolg van dijkdoorbraak moet worden bepaald en de waterhoogte als gevolg op de locatie van het algemeen voedingspunt.

Naast de gebeurtenissen is ook de locatie van het algemeen voedingspunt van invloed op de kans op uitval als gevolg van wateroverlast. Er moet worden bepaald vanuit welke richtingen water van het maaiveld afstroomt naar de ingang van de ondergrondse ruimte.

Ook kan er waterschade voorkomen als gevolg van condensatie. De maatregel hiertegen is het toepassen van voldoende ventilatie. De constructie van de ondergrondse ruimte waarin het algemeen voedingspunt staat moet waterdicht worden aangelegd. De zwakste plekken hiervan zijn de kabeldoorvoeren.

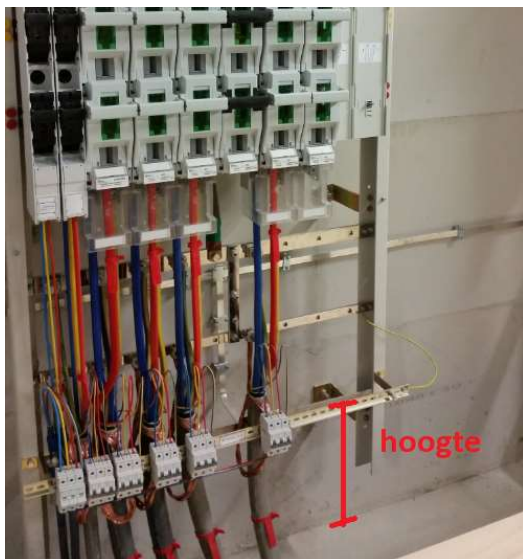
5 Deelvraag: Hoe worden de parameters maatgegeven?

Om tot een beoordeling van de waterveiligheid te komen moeten de verbanden worden gelegd tussen de parameters. In dit hoofdstuk wordt uitgewerkt hoe de waardes van de parameters kunnen worden bepaald en waar deze informatie gevonden wordt. Aan de hand van deze omschrijvingen wordt het model opgebouwd.

5.1 Waterhoogte tot kortsluiting

“In de elektrische installatie zijn de open spanningsdelen de zwakke plekken waar kortsluiting kan ontstaan als de kelder volloopt. Bij de transformator zelf is dit boven op de transformator. Als de transformator zelf onderwater komt te staan is dit niet goed, maar zal deze nog wel blijven werken.”
(Ronald Prinsenbeek, 2020)

Niet de transformator zelf, maar juist bij de kabelverdelingen kan het makkelijkst kortsluiting ontstaan. Het laagste open spanningvoerende deel is bij de verdeling van de kabels in de kabelkast. Soms is er een apart schakeldeel voor publieke voorzieningen zoals straatverlichting, stoplichten en openbaar vervoer. Dit zit volgens Piet de Beer van Liander vaak onder op de schakelkast op een hoogte van ongeveer 50 centimeter vanaf de vloer. Wanneer de kelder volloopt kan hier als eerste kortsluiting ontstaan waarbij deze voorzieningen niet geleverd kunnen worden.



Figuur 16, verdeelrek kabels

Daarboven zit in de schakelkast op ongeveer 1 meter vanaf de vloer. Hier worden kabels die naar woningen gaan verdeeld. Bij het vollopen van de kelder kan er water worden geborgen tot het laagste schakelpunt. Als het water die hoogte bereikt kan er kortsluiting ontstaan en valt het algemeen voedingspunt uit. Indien aanwezig moet rekening worden gehouden met een pomp die een bepaald debiet afvoert. De informatie is te vinden in het ontwerp van het algemeen voedingspunt en kan bij een locatiebezoek opgemeten worden.

5.2 Omliggende leidingen

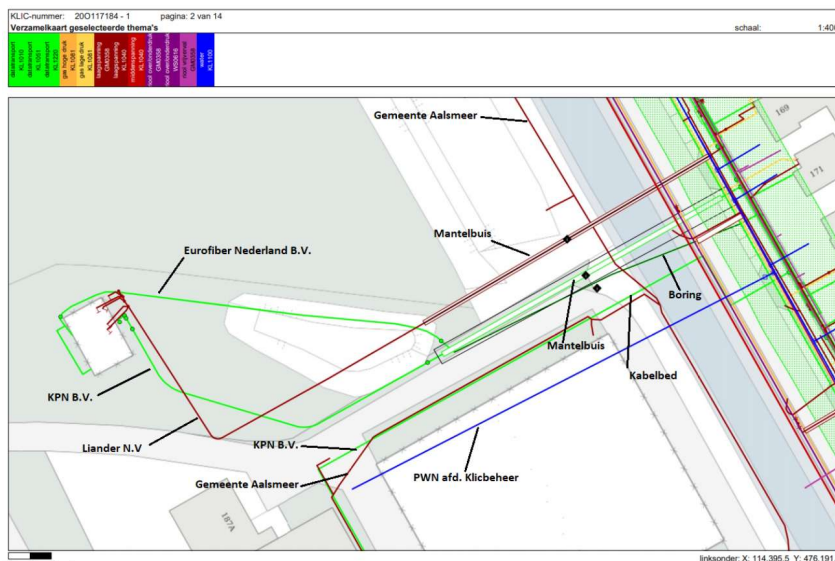
In het geval van een gesprongen leiding die boven de grond leegstroomt moet worden voorspeld in welke gevallen het water in de kelder kan stromen. Dit in een locatiebezoek en met behulp van het nationale hoogtebestand op www.ahn.nl worden geanalyseerd. De afbakening van de grootte van het gebied dat wordt geanalyseerd hangt af van de aanwezige bergingsmaatregelen zoals wadi's en watergangen. Dit moet in een omgevingsanalyse in kaart worden gebracht.



Figuur 17, gesprongen waterleiding

bron

Als eerste moet er worden gekeken wat er in de ondergrond al aanwezig is. Op de KLIC-gegevens van het kadaster staan alle aangemelde leidingen van de netbeheerders. Echter ontbreekt hier soms de dieptemaat van de leidingen en is er kans dat er meer ligt dan aangemeld of net op een andere plek, dit kan zijn tot maximaal 1 meter van de aangegeven locatie. Daarom zal soms ook nodig zijn om proefsleuven te maken. Bovendien zullen bij een nieuw gebouw met een algemeen voedingspunt ook nieuwe leidingen worden gelegd die moeten worden meegenomen.



Figuur 18, KLIC-melding

Van de aanwezige leidingen moet de faalkans van de leidingen bepaald worden. In onderstaande tabel staat hoe vaak bij welke materiaal lekkage op mag treden. Deze waarden zijn vastgesteld door de NEN in de norm NPR 3659.

Tabel B.1 Tentatieve lekkagefrequenties van veldleidingen NPR 3659

Buismateriaal	Faalkans per meter per jaar
staal (hoge druk)	$0,8 \times 10^{-6}$
staal (lage druk)	$2,58 \times 10^{-4}$
grijs gietijzer	58×10^{-4}
nodulair gietijzer	$0,58 \times 10^{-4}$
PVC	$1,58 \times 10^{-4}$
PE	$1,08 \times 10^{-4}$
gewapend beton zonder plaatstalen kern	$0,58 \times 10^{-4}$
gewapend beton met plaatstalen kern	$0,18 \times 10^{-4}$
asbestcement	$0,58 \times 10^{-4}$

Tabel 19, Faalkansen volgens NEN

De bovenstaande tabel maakt geen onderscheid tussen waterleiding, persriool of warmte-koudenet. Ook maakt de NPR 3659 geen onderscheid in de kans van optreden van de verschillende soorten lekken. In de BEVI (Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, 2015) wordt wel onderscheid gemaakt tussen een breuk van de leiding en een klein lek met een diameter van 20 mm. Van de totale faalkans wordt 75% aan het kleine lek toegekend en 25% aan het grote lek. Dit zijn eisen die gesteld zijn maar in de praktijk kan de kans op lekkage anders zijn, mede door andere factoren als grondzetting en bouwwerkzaamheden. Voor leidingen van persriool en warmte-koudenet kunnen de waarden uit de tabel worden gebruikt. Assetmanager Joost Louter van Waternet zegt het volgende over drinkwaterleidingen:

“Het aantal lekkages waar we niet direct een veroorzaker kunnen aanwijzen is redelijk stabiel ca. 0,05 lekkages per km per jaar (ca. 100-150 lekkages per jaar in Amsterdam). Dit zijn niet alleen lekkages veroorzaakt door leidingbreuk, maar kan ook veroorzaakt worden doordat verbindingen gaan lekken of afsluiters of aanboringen gaan lekken. Het betreft dus vaak kleine lekkages met beperkte overlast. Een gedeelte van deze lekkages betreft echter grote lekken met wateroverlast tot gevolg. Ik schat in 10-20 keer per jaar in Amsterdam. Bij een groot lek dan moet je denken aan meer dan ca. 50m³/uur schat ik.

Meestal wordt binnen 2 uur de lekkage gestopt door het sluiten van afsluiters. Reparatie van de leiding kan uiteraard langer duren.”

Vertaald uit deze schatting van Joost Louter wordt aangenomen dat 20 van de 100 lekkages een groot lek is. Dit is 20 % van de lekkages. Het totaal aan lekkages is 0,05 per km per jaar. 20% hiervan is dan 0,01 lekkage per km per jaar dat groter is dan 50 m³ per uur. Als dit voor 2 uur optreedt zal er 100 m³ uitstromen. Dit is een schatting waarmee in het model gerekend kan worden zolang er geen nauwkeurigere informatie beschikbaar is.

Alleen de gevolgen van een groot lek worden in dit onderzoek meegenomen. Hierbij wordt voor alle soorten leidingen aangenomen dat er 50 m³ per uur uitstroomt waarop in 2 uur wordt gereageerd. De faalkans van persriool en warmte- koudenet kan uit de tabel in figuur 19 (NEN) worden gehaald. Voor drinkwaterleidingen is de faalkans 0,01 per km per jaar, gebaseerd de informatie van Joost Louter.

5.3 Maatgevende buien

Door het KNMI en STOWA is onderzoek gedaan naar de frequenties van buien in Nederland. Hierover schreef Hidde Verloop in 2019:

De kans op wateroverlast door neerslag in Amsterdam is goed onderzocht. De neerslagintensiteit en de herhalings tijden (kans op de gebeurtenis) zijn berekend met het oog op de toekomstige klimaatverandering. Voor elke locatie in Amsterdam is de kans per jaar op een gebeurtenis waar 60mm/u neerslag valt 0,01 (T=100). Voor 90mm/u is de kans 0,002 (T=500). (Verwezen wordt naar tabel 20.)

T [jaar]	Neerslagduur										
	10 min	30 min	60 min	2 uur	4 uur	8 uur	12 uur	24 uur	2 dagen	4 dagen	8 dagen
0.5	8.1	10.4	12.6	15.3	18.6	22.2	24.6	30.4	38.6	50.4	68.3
1	10.2	13.5	16.2	19.5	23.4	27.7	30.5	36.8	46.0	59.3	79.4
2	12.2	16.6	20.0	24.0	28.4	33.4	36.5	43.8	54.0	68.6	90.5
5	15.1	21.2	25.8	30.7	35.9	41.7	45.2	54.2	65.5	81.4	105.1
10	17.5	25.3	31.0	36.8	42.8	49.1	52.9	63.0	74.9	91.6	116.1
20	20.3	30.2	37.2	44.2	51.1	58.0	61.9	72.6	85.0	102.1	127.0
25	21.3	32.0	39.5	46.9	54.1	61.2	65.2	75.9	88.5	105.6	130.5
50	24.7	38.2	47.7	56.5	64.8	72.5	76.6	86.9	99.5	116.6	141.5
100	28.7	45.8	57.7	68.4	78.0	86.2	90.2	98.9	111.4	128.1	152.3
200	33.4	55.0	70.0	81.3	88.7	95.0	98.1	112.1	124.2	140.0	163.2
250	35.0	58.4	74.5	86.5	93.9	100.0	102.9	116.7	128.5	143.9	166.7
500	40.8	70.4	90.7	105.0	112.2	117.5	119.6	131.7	142.5	156.4	177.5
1000	47.6	84.9	110.6	127.6	134.4	138.3	139.2	148.2	157.5	169.4	188.3

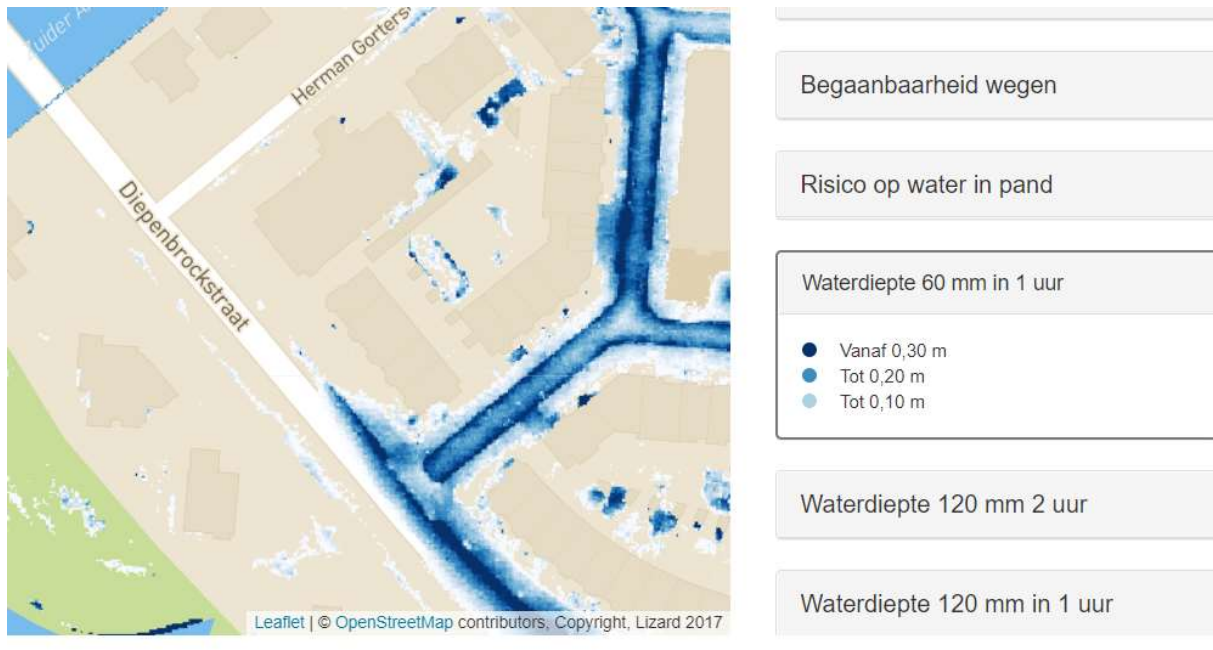
Tabel 20, neerslagtabel STOWA

In bovenstaande tabel staan buien in millimeters gevallen neerslag. In de bovenste rij staat de tijd waarbinnen deze hoeveelheid neerslag valt. In de eerste kolom staat om de hoeveel jaar de bui voorkomt. Helemaal rechtsonder staat een bui van 188,3 millimeter die in 8 dagen valt. Dit komt eens in de 1000 jaar voor.

Voor het model is het van belang om te bepalen bij welk volume of waterhoogte de kelder volloopt. Vanuit dat volume moet de bui bepaald worden, waar vervolgens een kans van optreden aan gekoppeld is uit de tabel. De bepaalde waterhoogte moet altijd naar boven worden afgerond om een waarde uit de tabel te nemen.

Riolen kunnen 20 mm per uur afvoeren. In principe zullen buien tot 20mm per uur dus niet voor wateroverlast en schade zorgen. Er wordt aangenomen dat als er meer regen valt dan 20 mm in een uur, dit op straat komt te staan. Vervolgens zoekt het water zijn weg via stroombanen. In de omgevingsanalyse moet bepaald worden vanuit welk gebied er water de kelder in kan stromen. Zo kan een oppervlak bepaald worden. Op dezelfde manier als hoe de omgeving bij een gesprongen leiding geanalyseerd wordt.

Op agv.klimaatatlas.net staan kaarten voor buien en de gevolgen in waterhoogte op het maaiveld in Amsterdam. Hier kan ook uit worden afgeleid hoeveel water zich op een locatie verzamelt. Ook is het mogelijk om stroombanen zien. De stroombanen worden gebruikt om het stroomgebied te bepalen van regenwater in het gebied rondom de testlocaties.



Figuur 19, waterdiepte bij bui agv.klimaatatlas.nl



Figuur 20, stroombanen agv.klimaatatlas.nl

5.4 Kabeldoorvoer

Op de plekken waar de kabels vanuit de grond de kelder inkomen zitten pluggen die een bepaalde druk aankunnen. De pluggen krijgen door de fabrikant een waarde toegeschreven in bar. Tot deze druk zijn ze gas- en waterdicht, ervan uitgaande dat er verder geen krachten op de kabel komen te staan door bijvoorbeeld grondverzakking of graafwerkzaamheden. Bij de controleberekening wordt de druk veroorzaakt door het grondwater vergeleken met de drukeis van de kabelplug. De formule voor grondwaterdruk is:

$$p = \rho g h$$

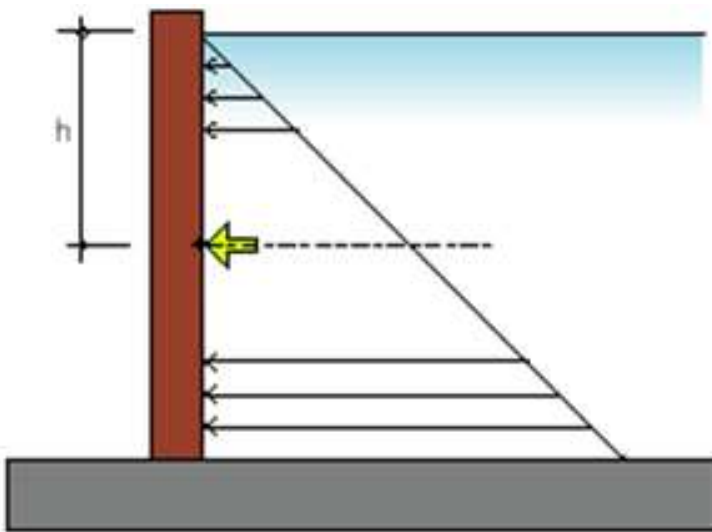
Hierin is p de druk in pascal. (1 bar = 100,000 Pa)

ρ is de dichtheid van het water. Dit is 1000 kg per m^3 bij zoet water

h is de waterdiepte. De afstand van het grondwaterniveau tot de kabelplug.

g is de gravitatieversnelling op aarde = $9,81 \text{ m/s}^2$

In onderstaande afbeelding is weergegeven hoe de druk oploopt onderwater.



Figuur 21, grondwaterdruk

De door de fabrikant voorgeschreven druk die de plug aankan, moet worden vergeleken met de grondwaterdruk op de betreffende diepte. Als dit voldoet wordt aangenomen dat de kans op lekkage 0 is. Dit wordt niet in het model uitgewerkt maar dient apart gecontroleerd te worden. De uitkomst van het model voldoet niet als de eis van de maximale druk niet wordt gehaald.

Er zijn kabelpluggen verkrijgbaar die tot 4 bar waterdruk aankunnen. Dit betekent dat deze tot 40 meter onder het grondwaterpeil kunnen worden geplaatst.

5.5 Dijkboorbraak

Bij een dijkboorbraak moet de kans bepaald worden en de waterhoogte die bereikt wordt als gevolg van de doorbraak. Er zijn regionale en primaire waterkeringen in Nederland die verschillende kansen op doorbraak hebben met verschillende waterhoogten als gevolg. Als het gebied waarin de kelder staat onderwater komt te staan zal het water ook in de kelder stromen, mits er in het ontwerp maatregelen zijn toegepast. Bergingsmaatregelen in Amsterdam zijn ontworpen voor het bergen van regenwater. Deze zullen in geval van dijkdoorbraak niet significant helpen omdat een geheel gebied overstroomt.

De primaire waterkeringen worden door de beheerder van de keringen elke 6 jaar getoetst, dit zijn meestal de waterschappen. Dan wordt beoordeeld of de overstromingskans van een traject voldoet aan de gestelde eis. De regionale keringen worden ook beheerd door het waterschap in die regio. In opdracht van de Europese regelgeving ROR betreft overstromingsrisico's is het project Veiligheid Nederland in Kaart (VKN2) opgezet. Deze informatie is voor Amsterdam en omgeving te vinden op agv.klimaatatlas.net. Dit is dezelfde informatie als op risicokaart.nl en overstroomik.nl.



Figuur 22, kans op dijkdoorbraak van agv.klimaatatlas.net

Er staan in de legenda 6 soorten overstromingskansen. De bijbehorende waterhoogtes zijn te vinden op de kaarten met overstromingsdiepten. Op de te toetsen locatie moet deze diepte vergeleken worden met de ingang van de kelder op het maaiveld. Zoals te zien is in de kaart verschilt de overstromingskans binnen Amsterdam.

5.6 Lekkage kelderconstructie

Er is een kans dat er lekkage optreedt in een kelderruimte. Als deze onder grondwaterniveau is aangelegd kan dit grondwater door scheuren of dilataties intreden. Dit zullen meestal kleine hoeveelheden zijn die geen directe kans op kortsluiting veroorzaken. Het volledig falen waardoor er een gat ontstaat en water naar binnen stroomt komt zelden voor en zal niet mee worden genomen in het model. Kans op kleinere lekkages van de kelderconstructie worden meestal in de aanlegfase veroorzaakt als verdichtingen verkeerd zijn gemaakt. Ook bij dilatatievoegen is een verhoogd risico op lekkage. Deze moeten dus vermeden worden bij de bouw van een transformatorruimte. Tijdens de gebruiksfase is het zaak dat er regelmatig wordt gecontroleerd op scheurvorming en natte plekken. Dan is het gerechtvaardigd om aan te nemen dat lekkages geen kortsluiting kunnen veroorzaken.

5.7 Condensatie

Condensatie is een probleem dat voornamelijk op de lange termijn schade aan kan richten in de vorm van corrosie. Door Ronald Prinsenbeek van Enexis wordt condensatie niet beschouwd als een heel groot probleem.

Ronald Prinsenbeek, 2020: *“De transformator zelf is heel warm dus daar zal nooit condens op voorkomen. In de meeste gevallen zal de warmte van de condensator ook de hele ruimte voldoende verwarmen.”*

Om condensatie te voorkomen moet de ruimte op minimaal 5 graden worden gehouden. Als er daarnaast ventilatie aanwezig is zal condensatie niet voor stroomuitval zorgen. In een ondergrondse ruimte zal de ventilatie net zo werken als bovengronds. Netbeheerder Liander heeft eisen voor de grootte van het ventilatieoppervlak dat in ruimtes met een algemeen voedingspunt aanwezig moet zijn. Daarbij wordt gebruik gemaakt van onderstaande formule. In bijlage 3 staat hoe Liander hiermee werkt.

$$A_{\text{bruto}} = \frac{Q_{\text{ventilatie}}}{219 \times \sqrt{\Delta h_{\text{thermiek}} \times (\text{klasse} + .13)^3}} \times \sqrt{\zeta}$$

Waarbij:

- $Q_{\text{ventilatie}}$ warmteafgifte via natuurlijke ventilatie (W)
- $\Delta h_{\text{thermiek}}$ hoogteverschil tussen (het midden van) de ventilatievoorzieningen (m)
- A_{bruto} fysieke afmetingen luchtinlaat/luchttuitlaat (m²)
- ζ roosterweerstandcoëfficiënt ζ

Hierbij moet de ζ -waarde dan worden aangetoond.

Figuur 23, ventilatie formule Liander

Aangenomen wordt dat condensatie in een algemeen voedingspunt geen kans op falen veroorzaakt als er aan de ventilatie-eis van de beheerder wordt voldaan. Dit betekent dat er hiervoor geen waarde in in het model wordt meegenomen.

5.8 Conclusie

Er moet een model worden gemaakt dat de kans op stroomuitval als gevolg van regenbuien, leidingbreuk en dijkdoorbraak berekent. Dit model kan als geldig worden verklaard wanneer de kelderruimte waterdicht is en er aan de ventilatie-eis van de beheerder is voldaan.

Hoeveel water er in de kelder stroomt is afhankelijk van de vorm van het maaiveld. Er moet worden bepaald welke gebied in de kelder afstroomt als er een bui valt. Als de kelder op een punt ligt waar zich veel water verzamelt is dit niet gewenst. Hier moet bij de aanlegfase over na worden gedacht.

Ook moet worden gekeken hoeveel waterleidingen, drukriolen en warmte- koude leidingen er liggen in het gebied dat in de kelder afstroomt. De faalkans van deze leidingen moet worden bepaald.

Vervolgens moet worden gekeken hoeveel water er in de kelder moet stromen voordat het zo ver stijgt dat een open spanningsdeel wordt bereikt. Dan ontstaat er kortsluiting waarna het algemeen voedingspunt uitvalt en niet meer levert aan het elektriciteitsnet.

De kans op dijkdoorbraak moet ook worden meegenomen als in het gebied waar de kelder staat een overstromingsrisico aanwezig is. Als er geen aanvullende maatregelen zijn getroffen om deze waterhoogte te keren zal de kelder helemaal vollopen en zal het algemeen voedingspunt uitvallen.

Met bovengenoemde parameters zal in het model worden gerekend. Daarnaast moet er voldoende ventilatie aanwezig zijn en moet de kelder waterdicht zijn.

6 Deelvraag: Hoe kan een tool worden gemaakt?

De tool is gemaakt in een Excel sheet. Dit is de Waterveiligheid Algemeen VoedingsPunt Ondergronds (WAVPO)-tool. Hierin is per faalmechanisme verband gelegd tussen de relevante parameters. Daarbij is een handleiding gemaakt waarin staat beschreven hoe deze waardes ingevuld moeten worden in het model. De waardes zijn afgeleid uit de parameters die zijn onderzocht in de vorige deelvragen. In het model zijn de volgende waardes te vinden:

- Hoogte open spanning
- Oppervlak transformatorruimte
- Faalkans leiding per meter
- Debiet leiding
- Tijd tot reparatie
- Lengte leiding
- Oppervlak afstroming omgeving
- Bergingsmaatregelen

6.1 Beschrijving van de relaties

De eindwaarde die uit het model komt is een faalkans per jaar als gevolg van wateroverlast. Deze is opgebouwd uit 3 kansen die worden opgeteld. De kans op een bepaalde regenbui, de kans op een leidingbreuk en de kans op een dijkdoorbraak.

De kans op kortsluiting door een regenbui is afhankelijk het volume water dat kortsluiting veroorzaakt minus de bergingsmaatregelen. Het volume water dat kortsluiting veroorzaakt is afhankelijk van de afmetingen van de ruimte waarin de transformator staat. Het vloeroppervlak van deze ruimte (cel D4) maal de open spanningshoogte (cel D3) van de transformator is het volume dat in de transformatorruimte kortsluiting veroorzaakt (cel J4).

In cel D24 tot en met cel D27 kunnen de waterbergingen worden ingevoerd. Dit zijn volumes die regenwater bergen voordat het de transformatorruimte instroomt. Dit zijn volumes op maaiveld en in de kelder zelf. In cel D27 staat het volume dat als gevolg van riool wordt afgevoerd. Dit is het oppervlak op het maaiveld waarbinnen de regen valt en afstroomt richting de kelder (cel D21) maal de 20mm (cel D28) maal de duur van de bui in uren (cel D19). In cel J19 staat het totale volume dat in de vorm van een bui moet vallen om kortsluiting te veroorzaken. Dit is het totaal aan bergingsvolumes (cel J23) plus het volume dat in de transformatorruimte mag komen (cel J4). Deze waarde (cel J19) gedeeld door het oppervlak waarbinnen de bui valt en afstroomt richting de kelder (cel D21) geeft een waterhoogte (cel D20) waarvan een bijbehorende kans worden afgelezen in de STOWA tabel. Deze kans wordt vervolgens ingevuld in cel N19.

De volgende kans die deel uitmaakt van de totale kans is de kans op een leidingbreuk. Als een leidingbreuk optreedt zal het volume uit cel J12 in de kelder moeten stromen. Dit is het totaal van de bergingsmaatregelen plus de rioolafvoer zo lang als de reactietijd (cel D13) op de afsluiting van leidingbreuk. Er wordt in het model alleen gerekend met een uitstroom op straat van 50 m³(cel D12) voor 2 uur (cel D13). Dit veroorzaakt een totaal volume van 100m³ (cel J11). Als dit volume groter is dan J12 zal er een kans hierop verschijnen in cel N11. Dit is de faalkans per meter per jaar (cel D11) maal de lengte van de leidingen (cel D14) binnen het gebied dat afstroomt op de kelder (cel D21).

De derde kansbijdrage aan de totale kans is de kans op dijkdoorbraak. Als het gebied onderwater komt te staan zal de kelder onderlopen. Of er kans is op overstroming als gevolg van dijkdoorbraak met bijbehorende kansen en waterhoogtes kan worden gevonden op agv.klimaatatlas.net. De waarde van deze kans staat in cel D31. De waterhoogte die optreedt als gevolg van de dijkdoorbraak staat in cel D32. Als deze waterhoogte groter is dan de hoogte van een drempel of barrière voor de ingang van de kelder zal de kans op dijkdoorbraak verschijnen in N29.

In kolom N worden de kansen van regenval, leidingbreuk en dijkdoorbraak bij elkaar opgeteld. De eindwaarde staat in cel N29. Dit is een waarde voor de kans op uitval als gevolg van wateroverlast per jaar.

Voor de geldigheid van bovenstaande kans moet aan de ventilatie-eis van de beheerder zijn voldaan, net zoals bij bovengrondse algemene voedingspunten. Op deze manier wordt condensatie voorkomen. Ook dienen de kelderconstructie en kabeldoorvoer waterdicht te zijn.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1		parameter		waarde		eenheid				volumes				kansen	
2															
3		hoogte elektrische installatie		0,5		meter									
4		vloeroppervlak kelder		3083,53		m2			volume	1541,765	m3				
5															
6									volume vollopen						
7		debiet pomp				m3/uur									
8															
9															
10															
11		faalkans leiding		0,00001		per meter per jaar			leiding	100	m3		kans	ONWAAR	per jaar
12		debiet		50		m3/uur			volume vollopen	1695,265	m3				
13		tijd tot reparatie		2		uur									
14		lengte leiding		230		m									
15															
16															
17															
18		huizen													
19		tijd		1		uur			bui	1695,265	m3		kans		0 per jaar
20		waterhoogte		6,78106		m									
21		opp		250		m2									
22															
23		bergingsmaatregelen				m3			berging	153,5	m3				
24		1		153		m3									
25		2				m3									
26		3				m3									
27		4				m3									
28		pomp 5		0		m3									
29		riool 6		0,5		m3							kans	0,000333333	per jaar
30															
31		dijkdoorbraak		0,0003333		per jaar									
32		waterhoogte bij doorbraak		1											
33		drempelhoogte		0									kans	0,000333333	per jaar
34															
35		berging riool		0,002		m/uur									
36															
37															

Figuur 24, de WAVPO-tool

6.2 Handleiding voor het invullen van de WAVPO-tool

Stap 1: De hoogte van het eerst open spanningsdeel in het AVP (algemeen voedingspunt) ruimte ten opzichte van de vloer invullen in cel D3.

Stap 2: Het vrije vloeroppervlak van deze ruimte invullen in cel D4. Neem hierbij de ruimte waarin het water kan stijgen. Als dit de ook omliggende ruimtes betreft tel dan dit oppervlak erbij op.

Stap 3: Volumes die extra geborgen worden in de kelderruimte of het gebouw waar het AVP in staat. Bijvoorbeeld een verdieping eronder. Invullen bij bergingsmaatregelen vanaf cel D24 tot D28.

Stap 4: Het gebied afbakenen waarbinnen in geval van hevige neerslag zich water naar de kelder stroomt door hoogteverschillen. Dit oppervlak invullen in cel D21. Als berging in cel D28 het aantal meters waterhoogte invullen dat geborgen kan worden door het riool of andere bergingsmaatregelen op maaiveld. Dit is vaak in millimeters voorgeschreven dus moet omgerekend worden.

Stap 5: Bij deze waterhoogte kan een kans van optreden worden gevonden in onderstaande STOWA tabel. De bijbehorende kans invullen in cel N19.

Stap 6: Het aantal meter leiding bepalen binnen het oppervlak uit stap 4. Deze waarde invullen in cel D14.

Stap 7: De faalkans per meter leiding invullen in cel D11.

Stap 8: Het uitstromende debiet bij een leidingbreuk en de reactietijd invullen in cel D12 en cel D13.

Stap 9: Mits aanwezig op het maaiveld een drempel- of barrièrehoogte invullen in cel D29.

Stap 10: Op de overstromingskaart van agv.klimaatatlas.net kijken of er bij overstroming een waterhoogte kan optreden die hoger is dan deze barrière. Deze kans dan invullen in cel N29.

6.3 Conclusie

De WAVPO-tool is gemaakt met behulp van een Excel sheet. Daarbij is een handleiding schreven waarmee in stappen de waardes van de parameters worden ingevuld. De eindwaarde van het model is een kans op stroomuitval per jaar van een ondergronds algemeen voedingspunt als gevolg van wateroverlast. Hierbij is uitgegaan van een waterdichte kabeldoorvoer en voldoende ventilatie.

7 Deelvraag: Werkt de tool op een specifieke locatie?

De WAVPO-tool wordt op 4 locaties in Amsterdam van algemene voedingspunten toegepast. Deze zijn door Hompe en Taselaar toegewezen. Bij de meeste van deze locaties is het bedrijf betrokken geweest bij de aanleg of ontwerp. Aan de hand van de gevonden resultaten kan de tool gevalideerd worden en kunnen conclusies en aanbevelingen worden gedaan.

7.1 Testlocatie Boerenwetering

De eerste locatie is de Boerenwetering waar een algemeen voedingspunt op de kade staat. Deze situatie zal worden getest met het model. Maar ook is het interessant om te weten of de kans op stroomuitval groter is als deze op dezelfde locatie ondergronds zou staan. Er is daar namelijk een zeer grote parkeergarage waarin het algemeen voedingspunt ook in had kunnen staan op -1 van de 3 verdiepingen. De kans op stroomuitval van bovengronds wordt vergeleken met de ondergrondse variant.



Figuur 25, parkeergarage Boerenwetering

7.1.1 Bovengronds (huidige situatie):

Er is een watergang naast het algemeen voedingspunt. Hierdoor kan regen direct wegstromen. Bovendien staat het algemeen voedingspunt bovengronds dus kan er geen ruimte vollopen. Dit geldt ook in geval van een gesprongen leiding.



Figuur 26, AVP Boerenwetering op kade

Aangenomen wordt dat er een open spanningsdeel is op 0,5 meter vanaf het maaiveld. Stroomuitval kan in dit geval dus alleen veroorzaakt worden als gevolg van een overstroming hoger dan 0,5 meter boven het maaiveld. Op agv.klimaatatlas.net is te zien dat er kans is op overstroming tot 1 meter van maximaal 1/3000 per jaar. Dit betekent dat er een kans op stroomuitval als gevolg van wateroverlast is van maximaal 1/3000 jaar.



Figuur 27, overstromingskans locatie Boerenwetering

7.1.2 Ondergronds:

Met de tool wordt onderzocht wat de kans op stroomuitval als gevolg van wateroverlast is als het algemeen voedingspunt op -1 zou staan in de parkeergarage onder de boerenwetering. Dit is een parkeergarage van 3 verdiepingen met een oppervlak van 7800 m² op verdieping -1.



Figuur 28, parkeergarage boerenwetering binnen

Stap 1: De hoogte van het eerst open spanningsdeel in het AVP (algemeen voedingspunt) ruimte ten opzichte van de vloer invullen in cel D3.

Hoogte open spanningsdeel = 0,5 m

Stap 2: Het vrije vloeroppervlak van deze ruimte invullen in cel D4. Neem hierbij de ruimte waarin het water kan stijgen. Als dit de ook omliggende ruimtes betreft tel dan dit oppervlak erbij op.

*Het AVP staat op een verdieping met parkeerplekken. Deze hebben allemaal dezelfde vloerhoogte. Oppervlak kelder 260*30=7800 m². Deze waarde is een schatting op basis van de dimensies van de bovenliggende gracht en het locatiebezoek.*

Stap 3: Volumes die extra geborgen worden in de kelderruimte of het gebouw waar het AVP in staat. Bijvoorbeeld een verdieping eronder. Invullen bij bergingsmaatregelen vanaf cel D24 tot D28.

*260*30*5= 31200 m³ dit is het volume van de 2 verdiepingen onder de vloer van het AVP.*

Stap 4: Het gebied afbakenen waarbinnen in geval van hevige neerslag zich water naar de kelder stroomt door hoogteverschillen. Dit oppervlak invullen in cel D21. Als berging in cel D28 het aantal meters waterhoogte invullen dat geborgen kan worden door het riool of andere bergingsmaatregelen op maaiveld. Dit is vaak in millimeters voorgeschreven dus moet omgerekend worden.



Figuur 29, hoogte gebied boerenwetering

Aangenomen is dat bij overlopen van het riool regen uit de bovenstaande straten de kelder instroomt. Dit is een lengte van 730 meter. De middelste breedte straat 20 meter. Hierbij komt ongeveer $2 \times 5 = 10$ meter wat van de daken afstroomt op straat. Oppervlak = $730 \times (20 + 10) = 21900 \text{m}^2$.

Berging riool 20mm per uur = 0,02 m per uur

Stap 5: Bij deze waterhoogte kan een kans van optreden worden gevonden in onderstaande STOWA tabel. De bijbehorende kans invullen in cel N19.

De waterhoogte die in de vorm van regen moet vallen is 1,6 meter. Dit komt nooit voor dus is de kans hierop verwaarloosbaar klein.

Stap 6: Het aantal meter leiding bepalen binnen het oppervlak uit stap 4. Deze waarde invullen in cel D14.

730 meter waterleiding. Aangenomen is dat er 1 leiding door elke straat loopt. Zie figuur 22.

Stap 7: De faalkans per meter leiding invullen in cel D11.

0,00001 lekkage per meter per jaar.

Stap 8: Het uitstromende debiet bij een leidingbreuk en de reactietijd invullen in cel D12 en cel D13.

50 m³ per uur. Reactietijd 2 uur.

Stap 9: Mits aanwezig op het maaiveld een drempel- of barrièrehoogte invullen in cel D29.

-

Stap 10: Op de overstromingskaart van agv.klimaatatlas.net kijken of er bij overstroming een waterhoogte kan optreden die hoger is dan deze barrière. Deze kans dan invullen in cel N29.

Bij overstroming stroomt de het parkeergarage direct vol. Dit is dezelfde kans als bovengronds namelijk maximaal 1/3000 per jaar.

Er is hierbij van uitgegaan dat aan de standardeisen van waterdichte kabeldoorvoer en voldoende ventilatie is voldaan.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
		parameter		waarde		eenheid				volumes				kansen	
1															
2															
3		hoogte elektrische installatie		0,5		meter									
4		vloeroppervlak kelder		7800		m2			volume	3900 m3					
5															
6															
7		debiet pomp				m3/uur									
8															
9															
10															
11		faalkans leiding		0,00001		per meter per jaar			leiding	100 m3			kans	ONWAAR	per jaar
12		debiet		50		m3/uur			volume vollopen	35100 m3					
13		tijd tot reparatie		2		uur									
14		lengte leiding		230		m									
15															
16															
17															
18		huien													
19		tijd		0		uur			bui	35100 m3			kans		0 per jaar
20		waterhoogte		1,6027397		m									
21		opp		21900		m2									
22															
23		bergingsmaatregelen				m3			berging	31200 m3					
24			1	31200		m3									
25			2			m3									
26			3			m3									
27			4			m3									
28			pomp 5	0		m3									
29			riool 6	0		m3							kans	0,000333333	per jaar
30															
31		dijkdoorbraak		0,00033333		per jaar									
32		waterhoogte bij doorbraak		1											
33		drempelhoogte		0									kans	0,000333333	per jaar
34															
35		berging riool		0,002		m/uur									
36															

Figuur 30, WAVPO-tool boerenwetering

7.1.3 Validatie

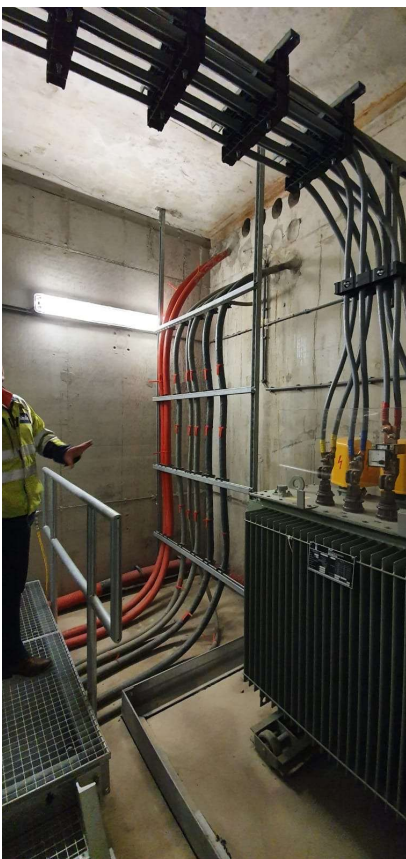
De kans op stroomuitval als gevolg van wateroverlast van het algemeen voedingspunt ondergronds is hetzelfde als bovengronds. Namelijk 1/3000 per jaar. Dit is alleen de kans op dijkdoorbraak in het gebied. Regen en een gesprongen leiding veroorzaken geen overlast omdat er veel water geborgen kan worden in de onderliggende verdiepingen.

7.2 Testlocatie Mahlerplein

Op het Mahlerplein is een fietsparkeergarage waarin ook een algemeen voedingspunt ondergronds is geplaatst. De kelder bestaat uit één ondergrondse verdieping. Er zijn 2 toegangen vanaf het maaiveld naar beneden. Het algemeen voedingspunt staat gelijkvloers met de fietsgarage.



Figuur 31, ingang fietsparkeergarage Mahlerplein



Figuur 32, binnenkant AVP Mahlerplein

Stap 1: De hoogte van het eerst open spanningsdeel in het AVP (algemeen voedingspunt) ruimte ten opzichte van de vloer invullen in cel D3.

Hoogte open spanningsdeel = 0,5 m

Stap 2: Het vrije vloeroppervlak van deze ruimte invullen in cel D4. Neem hierbij de ruimte waarin het water kan stijgen. Als dit de ook omliggende ruimtes betreft tel dan dit oppervlak erbij op.

Oppervlak garage $32,8 \times 93,4 = 3063,52 \text{ m}^2$

Oppervlak AVP $4 \times 5 = 20 \text{ m}^2$

Totaal = $3083,53 \text{ m}^2$

Stap 3: Volumes die extra geborgen worden in de kelderruimte of het gebouw waar het AVP in staat. Bijvoorbeeld een verdieping eronder. Invullen bij bergingsmaatregelen vanaf cel D24 tot D28.

Voor de ingang van de AVP ruimte is in de kelder een kleine drempel van 5 cm aanwezig. Dit betekent dat de AVP ruimte 5 cm hoger is dan de parkeergarage. Hierdoor kan er $0,05 \times 3063,52 = 153 \text{ m}^3$ worden geborgen tot het water in de AVP ruimte komt.

Stap 4: Het gebied afbakenen waarbinnen in geval van hevige neerslag zich water naar de kelder stroomt door hoogteverschillen. Dit oppervlak invullen in cel D21. Als berging in cel D28 het aantal meters waterhoogte invullen dat geborgen kan worden door het riool of andere bergingsmaatregelen op maaiveld. Dit is vaak in millimeters voorgeschreven dus moet omgerekend worden.

De noordingang ligt hoger dan de zuidingang. Bij de zuidingang is geen mogelijkheid tot instroom van water omdat deze naar het zuiden is gericht. Bij de noordingang is de opening in de richting van de afstroom dus kan er wel water inlopen. Grofweg stroomt het water van het rood gemarkeerde oppervlak naar het zuiden. 10% hiervan kan in noordingang terechtkomen. Dit is de breedte van de ingang gedeeld door de breedte van de zijde van het plein. Het oppervlak dat afstroomt richting de kelder is $50 \times 50 \text{ m} = 2500 \text{ m}^2$ ($\times 0,10$). Dus 250 m^2 . Dit is bij het locatiebezoek geanalyseerd.

Berging van het riool is $0,02 \text{ m}$ per uur



Figuur 33, afwatering Mahlerplein

Stap 5: Bij deze waterhoogte kan een kans van optreden worden gevonden in onderstaande STOWA tabel. De bijbehorende kans invullen in cel N19.

In D20 verschijnt dat er 6,8 meter neerslag moet vallen om kortsluiting te veroorzaken. Dit komt nooit voor in de STOWA tabel dus is aangenomen dat de kans 0 is.

Stap 6: Het aantal meter leiding bepalen binnen het oppervlak uit stap 4. Deze waarde invullen in cel D14.

Aangenomen wordt dat er 150 meter waterleiding in het afwaterende gebied ligt.



Figuur 34, lengte waterleiding Mahlerplein

Stap 7: De faalkans per meter leiding invullen in cel D11.

0,00001 lekkage per meter per jaar.

Stap 8: Het uitstromende debiet bij een leidingbreuk en de reactietijd invullen in cel D12 en cel D13.

50 m3 per uur. Reactietijd 2 uur.

Stap 9: Mits aanwezig op het maaiveld een drempel- of barrièrehoogte invullen in cel D29.

-

Stap 10: Op de overstromingskaart van agv.klimaatatlas.net kijken of er bij overstroming een waterhoogte kan optreden die hoger is dan deze barrière. Deze kans dan invullen in cel N29.

Er is geen significante kans op overstroming.

Er is hierbij van uitgegaan dat aan de standardeisen van waterdichte kabeldoorvoer en voldoende ventilatie is voldaan.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1		parameter		waarde		eenheid				volumes				kansen	
2															
3		hoogte elektrische installatie		0,5		meter									
4		vloeroppervlak kelder		3083,53		m2			volume	1541,765	m3				
5															
6															
7		debiet pomp				m3/uur									
8															
9															
10															
11		faalkans leiding		0,00001		per meter per jaar			leiding	100	m3		kans	ONWAAR	per jaar
12		debiet		50		m3/uur			volume vollopen	1694,765	m3				
13		tijd tot reparatie		2		uur									
14		lengte leiding		150		m									
15															
16															
17															
18		buien													
19		tijd		0		uur			bui	1694,765	m3		kans		0 per jaar
20		waterhoogte		6,77906		m									
21		opp		250		m2									
22															
23		bergingsmaatregelen				m3			berging	153	m3				
24			1	153		m3									
25			2			m3									
26			3			m3									
27			4			m3									
28		pomp 5		0		m3									
29		riool 6		0		m3							kans		0 per jaar
30															
31		dijkdoorbraak		0		per jaar									
32		waterhoogte bij doorbraak		1											
33		drempelhoogte		0									kans		0 per jaar
34															
35		berging riool		0,002		m/uur									
36															
37															

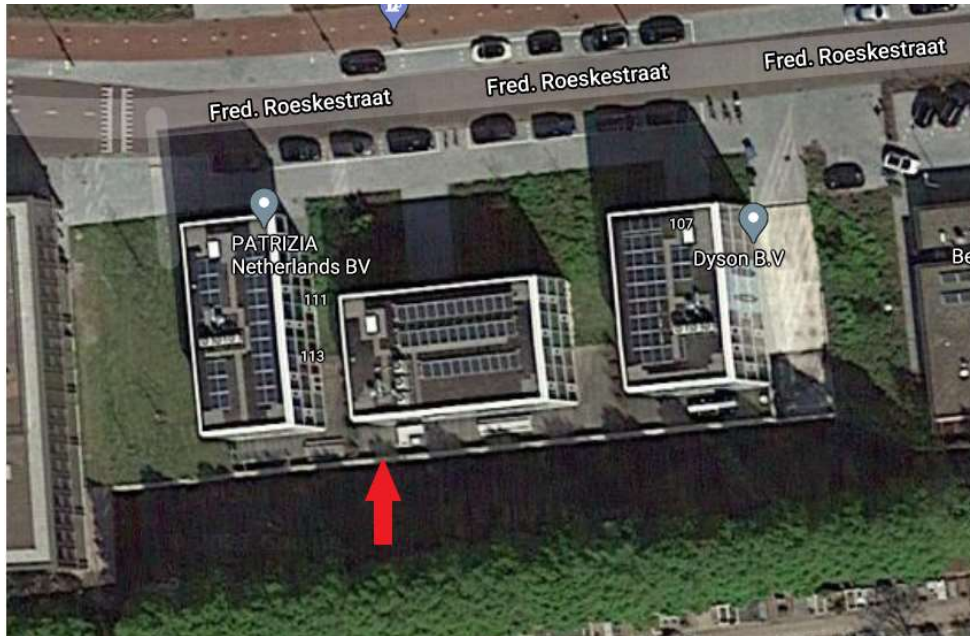
Figuur 34, WAVPO-tool Mahlerplein

Validatie

Volgens de tool is er bij deze locatie geen kans op stroomuitval als gevolg van wateroverlast. Dit komt omdat het een ondergrondse ruimte betreft die voldoende water kan bergen voordat de open spanningshoogte wordt bereikt. Er blijkt echter uit de startnotitie en variantenstudie regionale waterkering Zuidas en Zuidasdok uit 2014 dat de keringen in dit gebied niet aan de eisen voldoen. Er is dus in werkelijkheid wel een kans op overstroming maar de grootte van deze kans is niet bepaald.

7.3 Testlocatie Fred Roeskestraat

In de Fred Roeskestraat op nummer 111 heeft Liander een algemeen voedingspunt in beheer in de parkeerkelder van een kantoorgebouw. De kelder grenst aan een watergang waarop een deel van een nabijgelegen begraafplaats afwatert.



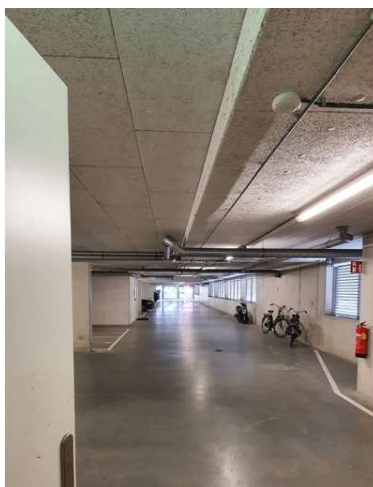
Figuur 35, AVP Fred Roeskestraat

Stap 1: De hoogte van het eerst open spanningsdeel in het AVP (algemeen voedingspunt) ruimte ten opzichte van de vloer invullen in cel D3.

0,5 meter

Stap 2: Het vrije vloeroppervlak van deze ruimte invullen in cel D4. Neem hierbij de ruimte waarin het water kan stijgen. Als dit de ook omliggende ruimtes betreft tel dan dit oppervlak erbij op.

Oppervlak hele garage inclusief AVP ruimte $45 \cdot 16 = 720\text{m}^2$



Figuur 36, parkeergarage Fred Roeskestraat

Stap 3: Volumes die extra geborgen worden in de kelderruimte of het gebouw waar het AVP in staat. Bijvoorbeeld een verdieping eronder. Invullen bij bergingsmaatregelen vanaf cel D24 tot D28.

-

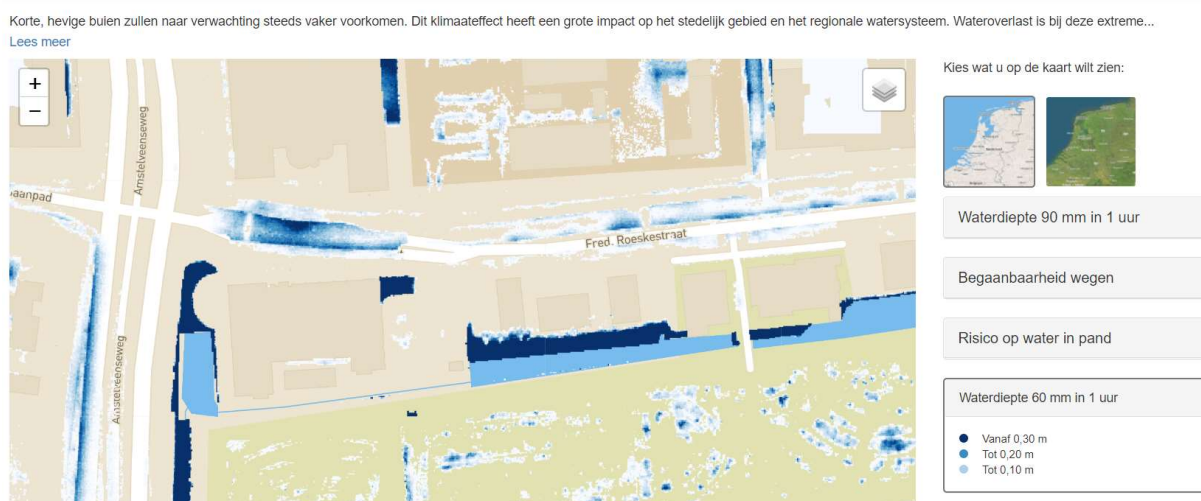
Stap 4: Het gebied afbakenen waarbinnen in geval van hevige neerslag zich water naar de kelder stroomt door hoogteverschillen. Dit oppervlak invullen in cel D21. Als berging in cel D28 het aantal meters waterhoogte invullen dat geborgen kan worden door het riool of andere bergingsmaatregelen op maaiveld. Dit is vaak in millimeters voorgeschreven dus moet omgerekend worden.

- Zie stap 5

Stap 5: Bij deze waterhoogte kan een kans van optreden worden gevonden in onderstaande STOWA tabel. De bijbehorende kans invullen in cel N19.

Op klimaatatlas.net is te zien dat er al bij 60mm in 1 uur zich veel water verzamelt op de locatie van de inrit de kelder. Dit is aangegeven als meer dan 0,3 meter waterhoogte, er is dus kans dat dit ook de hoogte van 0,5 meter bereikt. De kans op deze bui is 1/100 per jaar. Deze kans kan direct worden ingevuld in N19.

Wateroverlast maaiveld



Figuur 37, waterhoogte maaiveld Fred Roeskestraat

Stap 6: Het aantal meter leiding bepalen binnen het oppervlak uit stap 4. Deze waarde invullen in cel D14.

200 meter waterleiding in dit gebied

Stap 7: De faalkans per meter leiding invullen in cel D11.

0,00001 lekkage per meter per jaar

Stap 8: Het uitstromende debiet bij een leidingbreuk en de reactietijd invullen in cel D12 en cel D13.

50 m3 per uur. Reactietijd 2 uur.

Stap 9: Mits aanwezig op het maaiveld een drempel- of barrièrehoogte invullen in cel D29.

-

Stap 10: Op de overstromingskaart van agv.klimaatatlas.net kijken of er bij overstroming een waterhoogte kan optreden die hoger is dan deze barrière. Deze kans dan invullen in cel N29.

Er is geen significante overstromingskans.

Er is hierbij van uitgegaan dat er werkende kabelpluggen zijn toegepast en voldoende ventilatie aanwezig is.

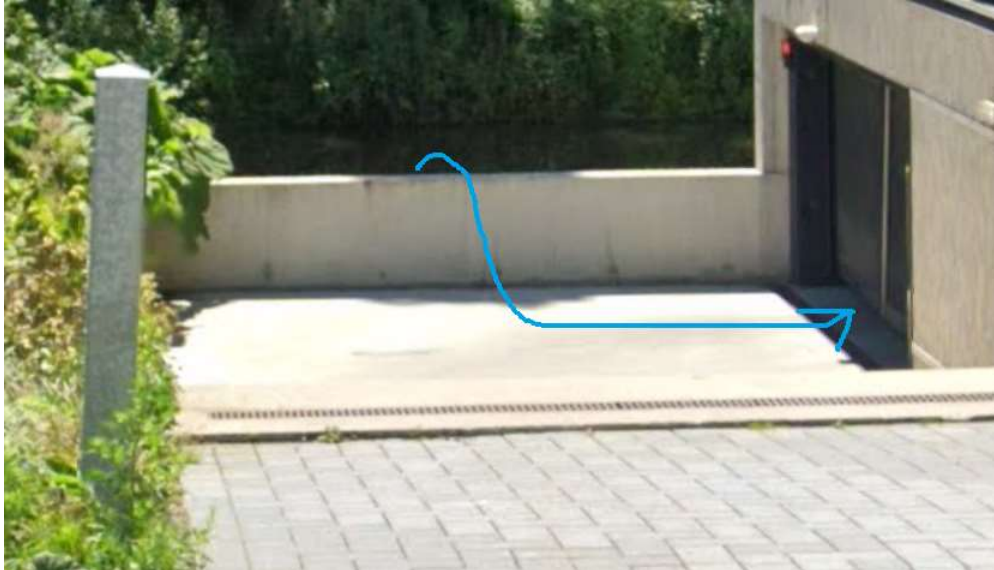
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
		parameter		waarde		eenheid				volumes				kansen	
1															
2															
3		hoogte elektrische installatie		0,5		meter									
4		vloeroppervlak kelder		720		m2			volume	360 m3					
5															
6															
7		debiet pomp				m3/uur									
8															
9															
10															
11		faalkans leiding		0,0001		per meter per jaar			leiding	100 m3			kans	ONWAAR	per jaar
12		debiet		50		m3/uur			volume vollopen	360 m3					
13		tijd tot reparatie		2		uur									
14		lengte leiding		200		m									
15															
16															
17															
18		buien													
19		tijd		0		uur			bui	360 m3			kans		0,01 per jaar
20		waterhoogte opp		#####		m									
21				0		m2									
22															
23		bergingsmaatregelen				m3			berging	0 m3					
24		1				m3									
25		2				m3									
26		3				m3									
27		4				m3									
28		pomp 5		0		m3									
29		riool 6		0		m3							kans		0 per jaar
30															
31		dijkdoorbraak		0		per jaar									
32		waterhoogte bij doorbraak		1											
33		drempelhoogte		0									kans		0,01 per jaar
34															
35		berging riool		0,002		m/uur									
36															
37															

Figuur 38, WAVPO-tool Fred Roeskestraat

Validatie

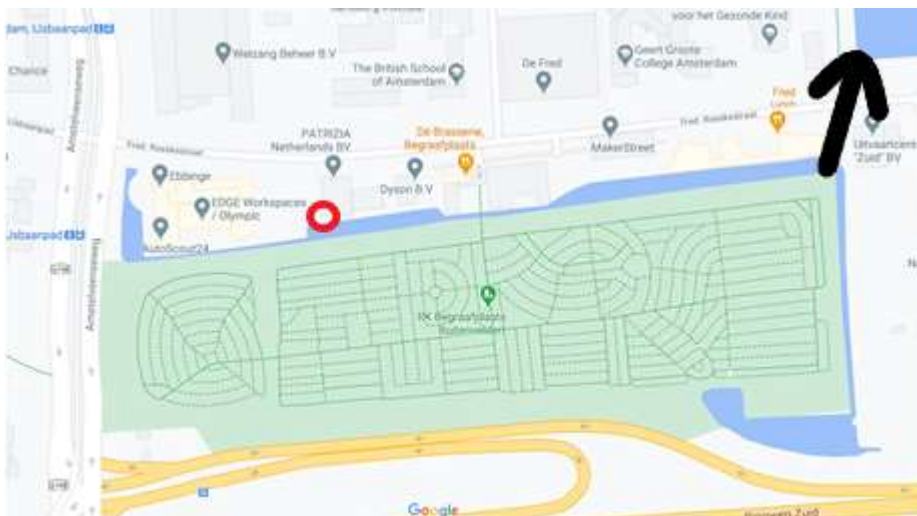
De kans op stroomuitval is 0,01 per jaar. Dit is vrij grote kans. Volgens de overstromingsmodellen van agv.klimaatatlas.nl is duidelijk te zien dat er zich veel water verzamelt ter plaatse van de kelder in geval van een regenbui die eens in de 100 jaar voor kan komen.

Wat niet het model is meegenomen is dat er een open water achter de kelder ligt. Zie onderstaande afbeelding. Als hier een peilstijging van 40 cm optreedt kan dit over deze wand heenlopen direct de kelder in en staat er water in de kelder tot 60 cm dus treedt er gegarandeerd kortsluiting op.



Figuur 39, ingang parkeerklader Fred Roeskestraat

Dit openwater heeft een oppervlak van ongeveer 9800m² waarop een nabijgelegen begraafplaats afwatert, ongeveer 88000m². Eénemaal pompt dit weg naar een nabijgelegen water. Zie rechtsboven in de afbeelding. Als ditemaal niet werkt zou dit dus een gevaar kunnen vormen. Bij 50 millimeter regenval zorgt dit al voor een peilstijging (als 15% infiltreert in de bodem). Dit is een schatting maar is wel een aspect dat naast de kans van 0,01 per jaar voor nog meer risico zorgt.



Figuur 40, omgeving Fred Roeskestraat

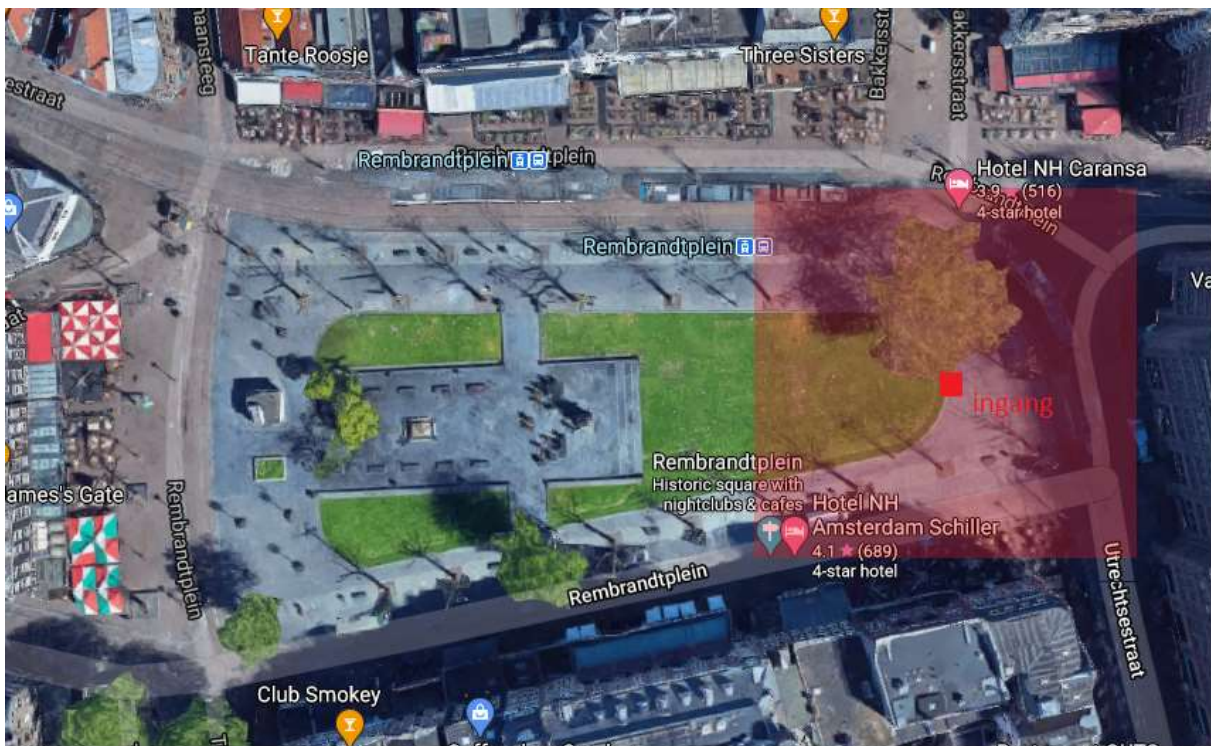
7.4 Testlocatie Rembrandtplein

Op het Rembrandtplein staat een bovengronds algemeen voedingspunt. De gemeente Amsterdam had het plan om hier een ondergrondse fietsparkeergarage aan te leggen. Dit plan is echter voorlopig van de baan geschoven. Over een paar jaar zal opnieuw worden gekeken of de noodzaak hoger is.

Bij deze test zal bepaald worden welke grootte de parkeergarage minimaal moet zijn om bij een bui van 86,5 mm (0,0865m) in 2 uur geen stroomuitval ontstaat. Hierbij hoogt een kans van 1/250 jaar.

De aannames die op deze locatie zijn gedaan zijn:

- Het gebied waarbinnen water naar de ingang kan stromen staat in onderstaande afbeelding weergegeven. Dit gebied is 50x50 meter, dus 2500m². Regen die valt in dit gebied stroomt direct de kelder in. Dit geldt ook als een waterleiding springt.
- Er ligt 100 meter waterleiding in dit gebied
- De berging van het riool is 20mm per uur
- Bij overstroming van het gebied stroomt de kelder vol
- Een gesprongen leiding veroorzaakt 100m³ water in de kelder
- Hoogte elektrische installatie 50 cm.



Figuur 41, Rembrandtplein

Als deze gegevens worden ingevuld komt uit het model een vloeroppervlak van 412m². Dit is berekend door het volume dat er in de vorm van regen valt (D21*D20) – berging riool te delen door de hoogte elektrisch installatie(D3).

1

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1		parameter		waarde		eenheid				volumes				kansen	
2															
3		hoogte elektrische installatie		0,5		meter									
4		vloeroppervlak kelder		412,5		m2			volume	206,25	m3				
5															
6															
7		debiet pomp				m3/uur									
8															
9															
10															
11		faalkans leiding		0,00001		per meter per jaar			leiding	100	m3		kans	ONWAAR	per jaar
12		debiet		50		m3/uur			volume vollopen	216,25	m3				
13		tijd tot reparatie		2		uur									
14		lengte leiding		100		m									
15															
16															
17															
18		buien													
19		tijd		2		uur			bui	216,25	m3		kans		0,004 per jaar
20		waterhoogte		0,0865		m									
21		opp		2500		m2									
22															
23		bergingsmaatregelen				m3			berging	10	m3				
24		1				m3									
25		2				m3									
26		3				m3									
27		4				m3									
28		pomp 5		0		m3									
29		riool 6		10		m3							kans	0,000333333	per jaar
30															
31		dijkdoorbraak		0,0003333		per jaar									
32		waterhoogte bij doorbraak		1											
33		drempelhoogte		0									kans	0,004333333	per jaar
34															
35		berging riool		0,002		m/uur									
36															
37															

Figuur 42, WAVPO-tool Rembrandtplein

De kans op een gesprongen leiding hoeft niet mee worden genomen omdat dit volume slechts 100m³ is terwijl bij een vloeroppervlak van 412 m² ruim 200m³ kan worden geborgen. Er is een overstromingskans van maximaal 1/3000 jaar die geldt als er geen drempels aanwezig zijn.

De totale kans op stroomuitval is bij de genoemde aannames eens in de 230 jaar.

8 Deelvraag: Hoe beïnvloeden de parameters het resultaat?

Om te zien in welke mate de verschillende parameters van invloed zijn op de eindwaarde wordt een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. Hierbij worden de relaties geanalyseerd en wordt benoemd op welke manier en in welke mate de waarden van de parameters de grootte van de eindwaarde bepalen.

8.1 Volume kelder

De gevoeligheid van de hoogte van het opspanningsdeel hangt samen met het vloeroppervlak van de kelder. Deze waarden samen bepalen het volume water dat eerst de kelder in moet stromen voordat er kortsluiting optreedt. Bij een groot oppervlak maakt een kleine verhoging van het open spanningsdeel al veel verschil. Bij een oppervlak van enkele tientallen vierkante meters kan dan als snel een paar kuub extra worden geborgen, op voorwaarde dat de vloer op gelijke hoogte is aangelegd. De grootte van het vloeroppervlak van de kelder is sterk van invloed op de waterveiligheid.

8.2 Maaiveld

De grootte van het oppervlak van het maaiveld dat op de kelder afstroomt is vaak lastig te bepalen als er geen speciale modellen en methodes worden gebruikt. De gevoeligheid hiervan hangt samen met de hoeveelheid regen die er valt.

8.3 Kans op regenbui

Voor de gevoeligheid van de buien die kunnen optreden kan gekeken worden naar de STOWA tabel. Hierin is direct te zien in de kans hoe gevoelig dit is voor het model. Een kleine toename van het aantal millimeters dat valt zorgt relatief voor een veel kleinere kans hierop. De invloed van het aantal millimeters dat valt is vooral afhankelijk van de grootte van de kelder en het oppervlak waarbinnen het valt en in de kelder stroomt.

8.4 Leidingen

De kans op stroomuitval als gevolg van gesprongen leidingen is niet aanwezig op de geteste locaties. De kans hierop hangt het meest af van de grootte van de breuk. Er komt echter meestal maar een klein volume water in de kelder en de kans hierop is ook kleiner dan de meeste buien en dijkdoorbraak. Als er een significant volume zou uitstromen is de kans hierop nog veel kleiner.

8.5 Dijkdoorbraak

Omdat Amsterdam in een goed beschermde dijkkring ligt is de kans op overstroming op de meeste plaatsen slechts maximaal eens in de 3000 jaar. Niet eens overal in Amsterdam is kans op overstroming aanwezig. Dit is bij de geteste locaties in de meeste gevallen de enige kans die meetelt. Dit betekent dat deze de belangrijkste parameters is.

9 Conclusie

De hoofdvraag luidt: Hoe kan de kans per jaar op stroomuitval worden bepaald als gevolg van wateroverlast in een ondergronds algemeen voedingspunt?

Er is een model gemaakt dat de kans op stroomuitval als gevolg van wateroverlast van een ondergronds algemeen voedingspunt kan bepalen. Dit is van meerdere factoren afhankelijk. Er kan een waarde worden gegeven aan de kans op vollopen van de kelder als gevolg van regenval, een gesprongen waterleiding en overstroming als gevolg van dijkdoorbraak. Ook moet een algemeen voedingspunt voldoen aan de standardeisen van de beheerder betreft ventilatie en waterdichte kabeldoorvoeren. De ventilatie van de ruimte kan net zo brekend worden zoals dat in een bovengrondse situatie gebeurt. Zo wordt condensatie voorkomen wat op de lange termijn voor corrosie van de elektrische componenten kan zorgen. Als een algemeen voedingspunt ondergronds aangelegd wordt komen de kabeldoorvoeren ook lager te liggen. Deze krijgen dan een iets hogere grondwaterdruk te voorduren waar wel rekening mee moet worden gehouden. De meeste kabelpluggen die hiervoor kunnen worden gebruikt zijn echter ook bestand tegen deze verhoogde grondwaterdrukken.

De WAVPO-tool geeft de kans weer als gevolg van regenval, een gesprongen waterleiding en overstroming van het gebied. De uitkomst hiervan is geldig als er is voldaan aan de standardeisen betreft ventilatie en waterdichtheid van de kabeldoorvoeren. Ook is hierbij uitgegaan van een waterdichte constructie van de kelderbak, maar in de praktijk kunnen er natuurlijk altijd lekkages voorkomen. Deze kans is niet in dit onderzoek meegenomen. Meestal betreft dit kleine lekkages die niet direct schade veroorzaken zolang het water niet direct op open spanningsdelen terechtkomt.

Er is een aantal gegevens nodig dat moet worden ingevuld in de WAVPO-tool om tot de eindwaarde te komen. De eindwaard is een kans per jaar op uitval als gevolg van wateroverlast. Deze kan berekend worden met de volgende input:

- Hoogte open spanning
- Oppervlak transformatorruimte
- Faalkans leiding per meter
- Debiet leiding
- Tijd tot reparatie
- Lengte leiding
- Oppervlak afstroming omgeving
- Bergingsmaatregelen

Naast deze input moet gebruik worden gemaakt van de STOWA-tabel en agv.klimaatatlas.nl om de kans op buien en dijkdoorbraak te bepalen.

De WAVPO-tool is toegepast op verschillende algemene voedingspunten in Amsterdam. Er is gebleken dat er kansen op stroomuitval als gevolg van wateroverlast in de orde van grootte van eens in de 100- 3000 jaar voorkomen. De conclusies van de geteste locaties staan in onderstaande tabel.

	Boerenwetering bovengronds	Boerenwetering ondergronds	Mahlerplein	Fred Roeskestraat	Rembrandtplein
Oppervlak (m ²)	-	7800	3083	720	412
Kans per jaar	1/3000	1/3000	0	1/100	1/231

Het blijkt dat het oppervlak van de vloer erg van invloed is op de waterveiligheid. Hoe groter de ruimte hoe meer water geborgen kan worden voordat het de open spanningshoogte bereikt. Zolang er niet een groot gebied op de kelder afstroomt vormt regenval geen probleem. Een volume dat de kelder instroomt als gevolg van een gesprongen leiding zal in de meeste gevallen (volumes tot 100m³) ook zelden kortsluiting veroorzaken. Bovendien is de kans hierop erg klein. Een dijkdoorbraak veroorzaakt wel direct stroomuitval als dit voorkomt. In Amsterdam is de kans hierop slechts eens in de 3000 jaar en op sommige locaties zelfs verwaarloosbaar.

Er is gebleken dat de WAVPO-tool te gebruiken is om de kans op uitval als gevolg van wateroverlast van ondergrondse algemene voedingspunten te bepalen.

10 Aanbevelingen

De WAVPO-tool is te gebruiken voor ondergrondse algemene voedingspunten. In de ontwerpfase kan aan de hand van de berekende kans de afweging gemaakt worden om een algemeen voedingspunt op een locatie ondergronds aan te leggen.

Ook kan met de tool de waterveiligheid van een bovengronds algemeen voedingspunt worden bepaald. De uitkomst kan dan worden vergeleken met een ondergrondse locatie.

Bij het gebruik van de tool is het zaak om een juiste inschatting te maken van het water dat in de kelder stroomt bij een bui. Een methode hiervoor zit wel verwerkt in de tool maar beter is om een overstromingsmodel laten worden maken door een gespecialiseerd bedrijf. Dan wordt de uitkomst nauwkeuriger.

Naast het beoordelen van de waterveiligheid is het ook belangrijk om te blijven zoeken naar mogelijkheden om de waterveiligheid te vergroten. Dit moet in overleg met de beheerder van het algemeen voedingspunt om zo tot innovaties te komen die ook praktisch zijn tijdens het gebruik.

11 Discussie

In dit onderzoek zijn enkele aannames gedaan die verder zouden kunnen worden onderzocht om een nog completer en betrouwbaardere methodiek te krijgen. De volgende aannames zijn gedaan:

- De constructie van de kelders waarin het algemeen voedingspunt staat is waterdicht aangelegd
- De ventilatie van een ondergrondse ruimte voldoet aan de eisen waardoor condensatie van vochtige lucht wordt voorkomen
- De elektrische installatie heeft een open spanningsdeel op 0,5 meter hoogte vanaf de keldervloer
- Riolen kunnen 20mm neerslag per uur afvoeren
- Alle dijktrajecten in Nederland voldoen aan de gestelde eisen
- Keldervloeren zijn waterpas aangelegd
- Als er water op een open spanningsdeel komt valt het algemeen voedingspunt uit
- Condensatie zorgt alleen op de lange termijn voor corrosieschade
- De onderzochte fenomeen treden niet gelijktijdig op waardoor de kansen onafhankelijk van elkaar zijn

Hoeveel water er als gevolg van een bui naar de ingang van de kelder stroomt kan met behulp van overstromingsmodellen door gespecialiseerde bedrijven beter worden ingeschat. Dit in combinatie met de bergingsmaatregelen die door de gemeente zijn getroffen. Ook de riolen kunnen afwijken van de norm van 20 mm per uur.

De kans op lekkage van de kelderbak kan verder worden onderzocht. Dan moet er meer specifiek onderzoek gedaan naar hoe deze is aangelegd want vaak wordt de waterdichtheid door de uitvoering bepaald als delen beton in worden gegoten.

Hoe vaak een gesprongen waterleiding voor wateroverlast zorgt is erg variabel. In dit onderzoek is vooral uitgegaan van de inschatting van Joost Louter van Waternet. In het model is telkens gerekend met een kans van 0,00001 per meter per jaar met maximale uitstroom van 50 m³ voor 2 uur. In werkelijkheid zijn er natuurlijk veel meer extreme en minder extreme situaties mogelijk met bijbehorende kansen.

Bronnenlijst

www.agv.klimaatatalas.nl

<https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/programma-projecten/veiligheid-nederland/>

www.joostdevree.nl figuur 6 en 11

www.stowa.nl

www.ahn.nl

www.google.maps.nl, voorpagina, figuur 20, 21, 22

www.liander.nl/grootzakelijk/pve figuur 7

www.verkeerskunde.nl/blog/keerpunt-in-slecht-wegontwerp, Figuur 1, transformatorweg op kruispunt Willemsparkweg,

www.parool.nl/nieuws/grote-overstroming-rond-vumc-door-gesprongen-waterleiding~b25ca5d00/

waterveiligheidsportaal.nl, figuur 14

Statenvoordracht wijziging Waterverordeningen HHNK_ Rijnland en Amstel-Gooi&Vecht incl. 3 ontwerpbesluiten, figuur 15

PP28-RP02-STARTNOTITIE EN VARIANTENSTUDIE REGIONALE WATERKERING ZUIDAS EN ZUIDASDOK

<https://www.roxtec.com/nl/producten/oplossingen/roxtec-rs-afdichting/>

Archief Hompe en Taselaar

Onderzoeksrapport Hidde Verloop (2019) titel

Ronald van Prinsenbeek (Enexis)

Piet de Beer (Liander)

Joost Louter (Waternet)

Alex Geschiere (Liander)

Bijlage 1: Interview met Ronald van Prinsenbeek van Enexis

Wat is uw functie bij Enexis en wat in welk gebied bent u actief?

Ik ben strategisch beleidsexpert assets bij Enexis. Ik werk vanuit Groningen maar mijn werkzaamheden betrekken het gehele gebied van Enexis. Dat loopt van Groningen en Oost-Nederland tot delen van Limburg. Hiervoor heb ik bijna 30 jaar in de uitvoering gezeten.

Ervaart Enexis ruimtegebrek bij de opschaling van het elektriciteitsnet?

Ja heel duidelijk, met name in de dichtbevolkte gebieden zoals steden. Heel concreet hebben wij wel problemen in de binnenstad van Eindhoven. De ruimte is schaars er zit van alles onder en boven de grond. En dat heb je ook nog het esthetische, in het kader van leefbaarheid heeft de gemeente vaak ook eisen aan objecten die in de stad worden geplaatst, en daar past een transformatorstation liever niet bij. Dus daar zit wel een uitdaging in om bijvoorbeeld iets inpandig te doen of om langere voedingskabels naar de binnenstad te leggen. Maar dat blijft een uitdaging.

Wat is de visie van Enexis op het ondergronds plaatsen van transformatorruimten?

Wij willen sowieso geen putten voor de transformators maken. In de situatie dat je een transformatorput hebt zou het betekenen dat je alles onder de grond zet maar er niet bij kan. Dat moet je het deksel eraf halen om bij je apparatuur te kunnen, dat is iets wat we sowieso niet willen.

Bij een ondergronds station is dat veelal een ruimte waar je in kan lopen. Onder voorwaarde zou dat in de toekomst wel iets kunnen zijn. Want als je dat doet heb je ook ondergrondse ruimte nodig. Ook dat is er vaak niet, er liggen heel veel kabels en leidingen. Dus dat in combinatie met ventilatie en dat het vocht dicht moet zijn. Het betekent nog al wat om het onder de grond te bouwen.

Zijn er al ondergrondse transformatorruimten in het gebied van Enexis?

Wij hebben zo'n 40000 station. Maar ondergronds komt heel erg sporadisch voor. In noorden was er een in Groningen ondergronds maar die is verplaatst naar bovengronds. Ik weet niet de reden waarom deze is verplaatst.

En in Eindhoven hebben wij een ondergronds station, dat eigenlijk in het verleden daar is ontstaan maar nu onwenselijk is.

Komt er stroomuitval voor als gevolg van watervoerlast?

Niet vaak en niet veel. Wel toen in de jaren 90 is de Maas buiten zijn oevers was getreden. Daarna zijn daar wel maatregelen voor genomen om de stations op een verhoging te plaatsen. Het zou best kunnen dat dat als gevolg van de overstroming is beslist, maar dat weet ik niet zeker. Maar dit was wel een uitzonderlijke situatie.

Was is het traject de stroom in een transformatorruimte? Wat zijn de open spanningsdelen die gevoelig zijn voor water?

De installatie die we nu toepassen zijn gesloten installaties. Die hebben dus geen spanning voerende delen naar buiten.

We komen binnen met twee kabels in de kelder. Die komen dan door de vloeren heel die dampdicht zijn afgewerkt. De kabels gaan dan vanaf onder in de middenspanning installatie. 1 meter breed 70 diep tot ongeveer 1,5 meter hoog. Dat is een metalen kast. Daar komen 3 kabels binnen, 2 uit het voedingsvet die zijn gelust zodat je onderhoudswerkzaamheden kan doen en dan kan omschakelen. De derde kabel komt beneden er uit naar de kabelkelder en dan naar de transformator. Als er water in de kelder komt te staan kan bij de eindsluiting, de klem waarmee de kabel op de installatie vastzit, daar vocht bij de spanning voerende delen komen wat kan leiden tot uitval. Op zo'n 40 cm vanaf de vloer.

Bij de transformator komt de kabel weer uit de vloer naar boven en wordt boven op de transformator bevestigd. Dit is een open verbinding met een kap erop. Ook hier krijg je korstsluiting als hier water op komt maar dit zit op een hoogte van minimaal 1,20 vanaf de vloer. De kabel aan de laagspanningszijde zit op dezelfde hoogte en gaat dan boven de vloer naar de laagspanningsverdeler, die heeft weer open spanningsdelen op een hoogte van 30 cm vanaf de vloer. De laagspanningskabels gaan dan vanaf het laagspanningsrek via de kabelkelder naar de klanten toe.

Is condensatie een probleem in de transformatorruimtes?

Als er vocht in het station komt en dat verdampt dan kan dat onder het dauwpunt gaan condenseren. Dit kan dan schadelijk zijn voor de schakelinstallaties. Daarom moeten we altijd een temperatuur houden boven het dauwpunt van 5 graden Celsius. De transformator zelf is heel warm dat daar zal nooit condens op voorkomen. In de meeste gevallen zal de warmte van de condensator ook de hele ruimte voldoende verwarmen. Sowieso is het belangrijk dat de doorvoeren vocht dicht zijn. Soms is dat wel bij de oude stations een probleem toen er nog weinig kennis over was. Dan deed men maar wat en werd er bij wijze van spreken en spoot met purschuim rond de kabel in de veronderstelling dat blijft wel dicht. Maar dat is op den duur niet zo. Het is pas van de laatste jaren dat we speciale kabeldoorvoerpluggen gebruiken. Deze pluggen kunnen een flinke druk aan, ook als ze een paar meter dieper in een kabelkelder worden geplaatst. Maar de meesten daarvan hebben dat dus niet.

Bijlage 2 Interview Alex Geschiere

Dit interview is overgenomen van het afstudeerrapport van Hidde Verloop.

Ik heb het onderzoek al geïntroduceerd. Het gaat om de waterveiligheid van transformatorvoorzieningen die onder maaiveld geplaatst zijn. Zou u zich willen introduceren?

- Ik ben Alex Geschiere, ik ben binnen Alliander product-owner voor Standaardisatie Transport E. Dat is het hoogspanningsnet en de hoofdtransporten voor de middenspanningsnetten van Liander. Specifiek op de Zuidas heb ik geholpen, omdat daar een aantal specifieke complexe problemen waren voor het standaardiseren voor inpassende midden- en laagspanningsvoorzieningen.

Wat is de visie van Liander als het gaat om een voedingspunt onder maaiveld?

- In onze standaardvisie is een voedingspunt goed bereikbaar voor het uitwisselen van componenten. Onder maaiveld is dan dus in strijd met de huidige visie. Daarnaast hebben wij in het algemeen niet een keihard beleid wat dan de voorwaarden zijn. Ook hebben wij niet duidelijk wat voor risico's het met zich meebrengt, met waterindringing en dat soort dingen. Dit zorgt ervoor dat we er gereserveerd in zijn. Wij merken nu in onze huidige infrastructuur dat de kabeldoorvoeren naar kabelkelders niet goed bestand zijn tegen het uitzetten en inkrimpen van de kabels. Ook met eigen systemen hebben we al betrekkelijk veel last van lekkages bij voorzieningen die langer dan 10-20 jaar in bedrijf zijn. Daar zit een rond gat in het beton, dat wordt meegestort bij de bouw van de kelders. Maar doordat kabels toch bewegen en krimpen en uitzetten, zien we in de loop van de jaren toch vaak lichte lekkage. Dit zorgt ervoor dat mensen gereserveerd raken voor waterindringing. Als er kritische componenten in die kelder zitten dan hebben wij er signalering staan om de waterindringing te meten en op afstand door te geven. Als er minder kritische componenten in zitten dan wordt dat met inspectierondes gedaan. Als er met een inspectieronde water wordt gevonden dan pompen we het af. Ook wordt er gekeken of de lekkage verholpen kan worden, zodat we weer een aantal jaren droog kunnen blijven in die kelder. Deze wateroverlast komt betrekkelijk vaak voor, ik schrik er soms wel eens van als ik die cijfers zie.
- Gelukkig zijn de kabels zelf natuurlijk wel waterdicht, we hebben ze zelfs op de bodem van het IJsselmeer liggen. Bij de installaties zelf hebben we deels open elektriciteit en daar kunnen sluitingen ontstaan als daar veel water aanwezig is. Zelfs bij een klein beetje water hebben we al vochtproblemen door condensvorming. De elektronica en de monitoringsapparaten hebben hier ook al last van. Corrosie, roestvorming, zijn de langere effecten van condensvorming, want een laag water in de kabelkelder zorgt al voor een heel ander klimaat in de ruimte. Dat langdurige vocht is echt een probleem.
- Al deze apparatuur zetten wij nu ook bovengronds. Alleen de kabel ligt uiteraard ondergronds. De kabel buigt omhoog vanuit de kabelkelder naar onder de apparatuur, en de apparatuur staat dus boven het maaiveldniveau. Alleen langdurig vocht in de ruimte is voor ons dus nu een issue i.v.m. condensvorming.
- Een hele middenspanningsruimte onder grondwaterniveau, schakelinstallatie, transformator en regelapparatuur, zorgt voor ons dat we op meerdere componenten een bepaald level van risico verhogen.
- Wij proberen nu die kelders zo vochtvrij mogelijk te houden en daarnaast veel ventilatie te hebben in het bovengrondse gedeelte. Een transformator verliest energie in de vorm van warmte en dit helpt tegen het vochtprobleem. Deze warmte stijgt op en zorgt voor circulatie in de ruimte door de

ventilatioorosters. Zeker als het 's nachts koud wordt, is een beetje warmte van de transformator een fijne bijkomstigheid. Dit energieverlies door warmteafgifte is dus een voordeel bij een nadeel.

Welke criteria hanteert Liander als het gaat over de bedrijfszekerheid van algemene voedingspunten, waar de spanning van 10kV naar 20kV naar laagspanning wordt omgezet?

- De beschikbaarheid van die ruimtes staat bij ons erg hoog. Periodiek kijken wij naar de statistiek over ons hele netwerk voor de beschikbaarheid. Een klant mag gemiddeld ongeveer 20 minuten per jaar spanningsloos zijn, al ligt dat dit jaar iets hoger. Uit de statistiek proberen we te halen of die uitval door de kabels komt, door de ruimtes zelf of door de hoogspanningsvoorzieningen. Als daar onderdelen slechter presteren dan gaan we daarop bijsturen. Zo'n ruimte ligt vaak in een ring waar ook andere klanten op aangesloten zijn. Als één zo'n ruimte faalt dan heeft dat, doordat andere ruimtes in datzelfde systeem zitten, ook effect op de andere klanten binnen die ring. Bij het falen van 1 hok moet de hele ring worden afgeschakeld tot dat duidelijk is waar het probleem zit. Hierdoor gaan er meer klanten van de stroom af dan alleen de klanten die achter dat hok hangen. Ook vanuit reguleringsprincipes zijn er beperkingen, een klant mag niet via het publieke netwerk nadelige effecten hebben op andere klanten. In een hoogspanningsnet is ieder onderdeel individueel beveiligd (redundant), als er dan 1 kabel uitvalt blijft de rest in bedrijf. Op dit net niveau (10-20kV naar laagspanning) zitten er 5 tot 50 van die ruimtes op eenzelfde kabelsysteem. Mocht er kortsluiting of een fout ontstaan, dan wordt dat hele systeem uitgeschakeld. Dan gaan we zoeken waar de fout zit in het ringsysteem en isoleren we dat gedeelte. Vervolgens kunnen we de rest weer inschakelen. In de tijd van het afschakelen van het systeem, het zoeken van de fout, het weer terug inschakelen van het systeem en de reistijden van de monteurs, dan is zo'n heel systeem toch een behoorlijke tijd spanningsloos. Dat is negatief voor het aantal storingsminuten dat we proberen te beperken.

Wat zijn de achterliggende kaders waarop de snelheid van het terug in bedrijf stellen van deze voorzieningen is gebaseerd?

- Wij moeten klanten vergoeden als de uitval langer dan 'x' uur duurt. Voor ons is die penalty niet maatgevend om alleen daarop te sturen. Dat zijn minimale kosten. In de streefcijfers willen wij een beschikbaarheid hebben die past bij de totale performance van het netwerk en de maatschappelijke belangen van een betrouwbare energievoorziening. Dus wij doen het beter dan alleen kaal op die penalty sturen. In de regulering heb je een factor die effect heeft op je kosten, waar een factor kwaliteit in zit. In de totale statistiek van het netwerk heeft dat financiële effecten op de inkomsten die je bij je klanten mag vragen. Als een storing langer dan 4 uur is moeten wij klanten gaan vergoeden. Uitval is niet te vermijden, maar meestal zijn wij veel sneller dan die 4 uur met het herstel van de energielevering (isoleren van de fout en het weer in bedrijf nemen van de ongestoorde netdelen). Voordat deze vorm van regulering er was, legden wij het netwerk ook al zo aan. Voor ons is de het maatschappelijk belang van de beschikbaarheid erg belangrijk. Ook de benchmark tussen de verschillende netbeheerders is bij ons een grote factor. Er wordt veel hoger op betrouwbaarheid gescoord door die benchmark dan kaal op die financiële vergoedingen voor de klant bij uitval. Er wordt op nationaal en internationaal niveau veel door de netbeheerders naar elkaar gekeken. De cijfers over betrouwbaarheid vergelijken wij vaak.

- Duitsland scoorde vorig jaar iets beter qua storingsminuten, maar er zijn ook landen die nog beter scoren, al is het daar de vraag hoe goed de rapportage is.

Hoe vaak valt een AVP ongeveer uit?

- Gemiddeld heeft een streng waaraan de AVP's vastzitten ongeveer één keer in de drie jaar uitval. Dit is erg afhankelijk van de lengte van de streng en de hoeveelheid AVP's in de streng. Ook graafwerkzaamheden zijn een hele grote factor van storingen ondanks het KLIC en andere voorzorgsmaatregelen. Ook het spontaan falen van moffen, de verbinding tussen twee kabelstukken, is een grote factor van uitval. Bij een storing in het systeem door een van deze oorzaken ontstaat er een onbalans in het systeem. Dit kan zorgen voor pieken en dalen in de rest van het systeem wat verderop ook weer tot problemen kan leiden. Een mof die aan het eind van de levensduur zit kan hierdoor eerder falen.

Zijn er storingen bekend bij Liander die veroorzaakt zijn door hevige regenval?

- Door acute hevige regenval betrekkelijk weinig tot niet. Wat wij wel zien is dat een hele droge periode met achtereenvolgens een natte periode zorgt voor aanzienlijk meer storingen. Dit komt door moffen uitzetten en krimpen in het dag-/nachtritme. In droge en warme periodes staat het systeem sowieso al onder meer stress door een hogere stroomvraag. Dit in combinatie met de droogte en hitte zorgt voor haarscheurtjes in de moffen. Als er op dat moment een hele natte periode komt dan zorgt dat voor water in de haarscheurtjes. Dit zorgt voor extra storingen.

Hoe ziet een storing er in zijn algemeen uit bij Liander? Hoe verloopt het reparatieproces?

- Eerst wordt het getroffen gedeelte afgeschakeld. Als het getroffen deel is gelokaliseerd wordt de rest weer ingeschakeld. De verdere reparatie hangt enorm af van de reden en ernst van de verstoring. Een kleine lichte kortsluiting waarbij je een component of een onderdeel van een component kan vervangen is redelijk snel gedaan. Een transformator die compleet uitbrandt zorgt ervoor dat je het hele hok moet gaan vervangen. De bandbreedte van die reparatie-acties, qua tijd en kosten, die kan heel fors zijn. Bij het uitbranden bijvoorbeeld, wordt na het lokaliseren van het probleem de elektriciteit naar de andere gedeeltes van het net weer omgeschakeld en in bedrijf gezet. De klanten uit het getroffen hok krijgen tijdelijk een noodstroomaansluiting. Deze noodstroom wordt geleverd met een aggregaat. Hierdoor heeft de klant de stroom terug en hebben wij de tijd om het probleem te verhelpen.

Zijn er locaties van Liander waar er een algemeen voedingspunt onder het maaiveld zit, zo ja, hoe is er omgegaan met de waterveiligheidsrisico's?

- Er zijn een aantal plekken waar het klantgedeelte wel in kelders is geplaatst. Dit is wel puur alleen als het eigendom is van de klant zelf. De publieke infrastructuur van ons netwerk moet aan strengere eisen voldoen dan de voorzieningen die de klant zelf in eigendom heeft. Alle risico's van plaatsing zijn dan voor de klant zelf. Zolang de klant alleen schade aan zichzelf kan toedoen en niet aan andere klanten zullen wij daar ook soepeler in zijn. In de regulering speelt het relatief zwaar dat een klant geen schade kan ondervinden door het handelen van een andere klant. Ik ken geen plekken waar er een algemeen voedingspunt, dat onderdeel is van een ring, onder maaiveld zit. Als het buiten zo een ring zou zitten is het risico voor ons wel lager om met iets alternatiefs te komen, maar daarvan heb ik nu geen voorbeeld.

Op welke manier worden bovengrondse transformatoren beschermd tegen water op straat?

- Wij hebben eisen aan klantruimtes die te vinden zijn op de website. Hier staat ook een drempelhoogte in die tegen waterindringing dient. Deze drempelhoogtes gebruiken wij ook in onze eigen ruimtes.

Aan wat voor eisen moet een algemeen voedingspunt voldoen om veilig te zijn?

- Een deel van de veiligheid die wij nodig komt voort uit de ruimte die wij nodig hebben om veilig te werken. De installaties in een algemeen voedingspunt zijn betrekkelijk groot, dus wij moeten daar met transportvoorzieningen bij kunnen. De meeste installaties kunnen door de toegangsdeur waar wij eisen aan stellen, deze is niet veel anders dan een standaard deur. Deze krijgen wij met mankracht daar naar binnen. Als het bijvoorbeeld om klantruimtes gaat hebben wij een aantal eisen wat betreft brandveiligheid en bereikbaarheid en deze zijn openbaar en te vinden op de website. Als je kijkt naar de Zuidas zijn er veel uitzonderingen gemaakt van ons standaard werk. Standaard is voor ons: in publieke ruimtes, op maaiveld.
- Een ander stuk veiligheid is voor ons personeel. Wij hebben een groot net en veel monteurs. Wij hebben er baat bij dat monteurs snel ingewerkt kunnen worden. Daarnaast moeten zij over ons gehele beheergebied kunnen acteren. Hierdoor willen wij niet heel veel afwijkende dingen en maatwerk in ons netwerk hebben. Mocht dit wel gebeuren dan willen wij deze netjes en landelijk ingevoerd hebben, zodat die mensen overal veilig en snel hun werk kunnen doen. Veiligheid is voor ons nummer één, maar snelheid is ook belangrijk voor die betrouwbaarheidsfactor. Voor de maatwerkoplossingen op de Zuidas hebben we aparte afspraken gemaakt om dit met een speciaal klein team te doen. In eerste instantie alleen voor Zuidas, zodat we dat team kunnen opleiden zodat ze een speciaal niveau van maatwerk kennen en aankunnen. Dit speciale team dat speciaal opgericht is voor die unieke situaties is een testproject voor ons, nog steeds. Wij willen dat eerst zien en ervaren hoe het daar gaat want het is nog te heftig voor ons om het breder in te zetten (de unieke oplossingen voor locaties van algemene voedingspunten op de Zuidas).

Is er nog iets wat ik niet heb gevraagd en dat wel belangrijk is voor mijn onderzoek volgens u?

- Op het moment dat een ondergrondse voorziening zou falen dan hebben wij misschien ander materieel nodig om dit te bereiken en werkzaamheden uit te voeren. De toegang zal wel te regelen zijn want dat is altijd een vereiste van ons. Stel dat er een projectontwikkelaar of gemeente dit wil dan zou de kosten voor het bereikbaar maken ook op rekening van die partijen komen. Ik kan alleen niet overzien wat het effect van water van buiten of eventuele waterleidingen door een gebouw voor effect hebben op het risico.
- Technisch gezien kunnen we de kabels op de schakelinstallatie niet aan de bovenkant aansluiten. Over de hele wereld is het de standaard dat kabels van onder worden aangesloten op een installatie, daar vind je ook geen uitzonderingen in. Al die kabels zijn behoorlijk stug en alle aansluitingen op standaard installaties zitten aan de onderkant. Alleen al om de buigstraal van de kabels te kunnen maken moeten wij extra veel ruimte hebben om dat in te passen ondergronds. Aan het heen en weer buigen van de kabels zal er veel ruimte verloren gaan en daar zit denk ik niemand op te wachten. In onze onderstations hebben we kabelkelders van 140cm diep puur alleen voor die bocht van de kabel (deze onderstations krijgen enkele hoogspanningskabels en tientallen middenspanningskabels ingevoerd).

Bijlage 3 Ventilatie eisen Liander

4.11 Ventilatie

4.11.1 De temperatuurclassificatie voor de gecombineerde trafo/MS/LS-ruimte is minimaal klasse 20 (K20) volgens IEC 62271-202[12].

4.11.2 Bij de berekening van de benodigde ventilatie moeten tevens de volgende normen worden gehanteerd:

- NEN-EN-IEC 60076 energietransformatoren deel 1 algemeen
- NEN-EN-IEC 60076 energietransformatoren deel 2 temperatuurverhoging voor met vloeistof gevulde transformatoren

De hoeveelheid ventilatie wordt getoetst aan de door Liander ontwikkelde rekenformule:

$$A_{\text{bruto}} = \frac{Q_{\text{ventilatie}}}{219 \times \sqrt{\Delta h_{\text{thermiek}} \times (\text{klasse} + 13)^3}} \times \sqrt{\zeta}$$

Waarbij:

- $Q_{\text{ventilatie}}$ warmteafgifte via natuurlijke ventilatie (W)
- $\Delta h_{\text{thermiek}}$ hoogteverschil tussen (het midden van) de ventilatievoorzieningen (m)
- A_{bruto} fysieke afmetingen luchtinlaat/luchtuitlaat (m²)
- ζ roosterweerstandcoëfficiënt

Hierbij moet de ζ -waarde dan worden aangetoond.

Voor de ventilatie in de traforuimte is een minimale toevoer- en afvoercapaciteit nodig. Het minimaal benodigd bruto-oppervlak hangt af van het roosterweerstandcoëfficiënt van het rooster. Op basis van een ventilerende pui, over de volledige hoogte van de ruimte (2650 mm minimaal), kan met een vereenvoudigde rekenmethode het bruto-oppervlak als volgt worden berekend: **effectieve netto doorlaat x v (wortel uit) de roosterweerstandcoëfficiënt ζ** . Gebruik hiervoor de volgende tabellen:

Leverancier	Type rooster	Roosterweerstandcoëfficiënt ζ
JAZO	HS27	110,7
	HS27R	83,6
	HS42	41,21
	HS50	30,97
Pluijmen	HS27	93
	HS42	49
	HS50	35
Merford	Air 28	110,87
	Air50	40,29
Alrema	HS27	98,15
	HS43	60,83
of gelijkwaardig		Volgens opgave leverancier

Trafo	Effectieve netto doorlaat
1 x 630	2500 cm ²
1 x 1000	4100 cm ²

Voorbeeld: trafo 630 kVA; JAZO HS 27 rooster

Totaal (inlaat + uitlaat) benodigd bruto-oppervlak doorlaatrooster = 2500 x $\sqrt{110,7}$ = 26.300 cm²

Wijkt de vormgeving van de pui af van de standaardtekening van Liander? Overleg dan altijd met Liander. Liander moet de ventilatie bovendien altijd goedkeuren.

4.11.3 Een afhankelijkheid van mechanische ventilatie is niet toegestaan.

4.11.4 Het toepassen van stoffilters en achter de ventilatieroosters is slechts toegestaan na schriftelijke toestemming van Liander. De ventilatiecapaciteit dient hierop aangepast te zijn.

4.12 Bordes

Een eventueel aan te brengen bordes moet aan volgende voorwaarden voldoen:

- Berekend op de door Liander aan te geven belastingen
- Demontabele leuning en demontabel hekwerk
- Breedte van het bordes in overleg met de bouwkundige van Liander
- Trap en bordes zijn antislip, op- en aantrede conform Bouwbesluit.

Programma van Eisen in pandige laagspannings- en middenspanningsruimte (S8031)
December 2017

4.13 Plafond

Het plafond van de middenspanningsruimte moet schoon, glad en afgewerkt zijn in kleur RAL 9001 of RAL 9010 (wit). Een verlaagd plafond kan noodzakelijk zijn in verband met de maximale hoogte van de betreedbare ruimte. Zo'n verlaagd plafond moet minimaal 60 minuten brandwerend zijn (EI 60) en schroefvast worden aangebracht. Systeemplafonds zijn niet toegestaan.

4.14 Afwerking

Zandcementen dekvloeren moeten worden afgewerkt met een daartoe geëigend impregneermiddel. Dit ter vermindering van stofvorming. Zie hoofdstuk 4.5.

4.15 Isolatie

Isolatie tegen wanden in de middenspanningsruimte is niet toegestaan. Isolatie tegen het plafond mag alleen na schriftelijke toestemming door Liander.

Bijlage 4 Stowa tabel

T [jaar]	Neerslagduur										
	10 min	30 min	60 min	2 uur	4 uur	8 uur	12 uur	24 uur	2 dagen	4 dagen	8 dagen
0.5	8.1	10.4	12.6	15.3	18.6	22.2	24.6	30.4	38.6	50.4	68.3
1	10.2	13.5	16.2	19.5	23.4	27.7	30.5	36.8	46.0	59.3	79.4
2	12.2	16.6	20.0	24.0	28.4	33.4	36.5	43.8	54.0	68.6	90.5
5	15.1	21.2	25.8	30.7	35.9	41.7	45.2	54.2	65.5	81.4	105.1
10	17.5	25.3	31.0	36.8	42.8	49.1	52.9	63.0	74.9	91.6	116.1
20	20.3	30.2	37.2	44.2	51.1	58.0	61.9	72.6	85.0	102.1	127.0
25	21.3	32.0	39.5	46.9	54.1	61.2	65.2	75.9	88.5	105.6	130.5
50	24.7	38.2	47.7	56.5	64.8	72.5	76.6	86.9	99.5	116.6	141.5
100	28.7	45.8	57.7	68.4	78.0	86.2	90.2	98.9	111.4	128.1	152.3
200	33.4	55.0	70.0	81.3	88.7	95.0	98.1	112.1	124.2	140.0	163.2
250	35.0	58.4	74.5	86.5	93.9	100.0	102.9	116.7	128.5	143.9	166.7
500	40.8	70.4	90.7	105.0	112.2	117.5	119.6	131.7	142.5	156.4	177.5
1000	47.6	84.9	110.6	127.6	134.4	138.3	139.2	148.2	157.5	169.4	188.3