

---

# HANDBOEK WINDTURBINES

Richtlijnen voor de risicoberekeningen van  
windturbines

Versie 1.1 dd. 01/10/2019

---

## INLEIDING

Aan het falen van een windturbine zijn verschillende soorten risico's verbonden, nl. directe risico's en indirecte risico's.

Bij het direct risico wordt uitgegaan van het intrinsiek falen van een windturbine, waarbij de mens in de omgeving rechtstreeks getroffen wordt door een windturbinefragment. Deze worden verder opgedeeld in het plaatsgebonden risico en het groepsrisico.

Bij het indirect risico wordt gekeken naar het risico van de mens in de omgeving ten gevolge van het falen van een installatie met Sevesostoffen die eerst getroffen werd door een windturbinefragment. De mens wordt hierbij dus niet rechtstreeks, maar wel onrechtstreeks getroffen door het falen van de windturbine.

Om deze risico's te berekenen en te beoordelen zijn verschillende documenten opgemaakt. Deze vormen samen het **Instrumentarium Windturbines**.

1. Het **Beoordelingskader Windturbines** (OMG/GOP, 2019a), waarin de risicocriteria voor de directe en de indirecte risico's van windturbines zijn beschreven.
2. Het document **Veiligheidsstudies Windturbines** (OMG/GOP, 2019b), hetgeen een praktische leidraad voor het opstellen van veiligheidsstudies voor windturbines moet zijn en waarin het onderscheid tussen een veiligheidsstudie en een aanvullende veiligheidsstudie verduidelijkt wordt.
3. Het **Handboek Windturbines** (OMG/GOP, 2019c), waarin stap voor stap wordt uitgelegd op welke manier de verschillende soorten risico's moeten berekend worden.
4. Het **Rekenblad Windturbines** (OMG/GOP, 2019d), waarmee op basis van een aantal gegevens van de windturbine en van de omgeving bepaald kan worden of er al dan niet voldaan is aan enkele specifieke locatiecriteriën, of er al dan niet een aanvullende veiligheidsstudie nodig is en of er al dan niet extra advies of analyses nodig zijn.
5. De **Handleiding bij het Rekenblad Windturbines** (OMG/GOP, 2019e), waarin is uitgelegd hoe het rekenblad is opgebouwd en hoe de gebruiker hiermee moet omgaan.

Dit document bevat het Handboek Windturbines (nr. 3).

De meest recente versies van deze documenten zijn terug te vinden op de website van het Team Externe Veiligheid (<https://www.lne.be/instrumentarium-windturbines>).



## LEESWIJZER

In het Handboek Windturbines wordt eerst het toepassingsgebied weergegeven. Daarna worden de faalwijzen en faalfrequenties voor windturbines besproken om dan per faalwijze de effectafstanden te bepalen. In de daaropvolgende modules wordt de methodiek voor het bepalen van de directe risico's en de indirecte risico's beschreven. Bij de directe risico's wordt onderscheid gemaakt tussen het plaatsgebonden en het groepsrisico. Bij de indirecte risico's wordt onderscheid gemaakt tussen de indirecte risico's voor installaties met Sevesostoffen op een inrichting en de indirecte risico's voor transportleidingen en drukreducerstations met Sevesostoffen. Daarna wordt ingegaan op de risico's ten gevolge van ijsworst en ijsval en op de milieurisicoanalyse.

In de bijlagen kunnen de te gebruiken formules en achtergrondinformatie teruggevonden worden.



# INHOUD

Inleiding	ii
Leeswijzer	iii
Inhoud	iv
Afkortingen, definities en symbolen	vi
Afkortingen	vi
Definities	vi
Symbolen	ix
Module 1. Toepassingsgebied	1-1
Module 2. Faalwijzen en faalfrequenties van windturbines	2-1
Module 3. Effectafstanden van windturbines	3-3
3.1 Bladbreek	3-3
3.2 Mastbreek	3-3
3.3 Gondelbreek	3-3
3.4 Maximale effectafstand	3-4
Module 4. Direct risico	4-1
4.1 Berekenen plaatsgebonden risico	4-1
4.2 Berekenen groepsrisico	4-1
4.3 Evalueren risicobeeld windturbine	4-3
Module 5. Indirect mensrisico voor inrichtingen met Sevesostoffen	5-1
5.1 Overzicht methodiek	5-1
5.2 Inventariseren installaties	5-2
5.3 Bepalen faalwijzen installaties	5-3
5.4 Bepalen relevantie	5-7
5.5 Herberekenen risicobeeld inrichting	5-11
5.6 Evalueren risicobeeld inrichting	5-11
Module 6. Indirect mensrisico voor transportleidingen en drukreducerstations met Sevesostoffen	6-1



6.1 Toepassingsgebied transportleidingen	6-1
6.2 Overzicht methodiek	6-1
6.3 Inventariseren transportleidingen	6-2
6.4 Bepalen faalwijzen	6-2
6.5 Bepalen relevantie voor een drukreducerstation	6-2
6.6 Uitvoeren kwantitatieve risicoanalyse	6-2
6.7 Evalueren risico	6-6
<b>Module 7. Risico ten gevolge van ijsworp en ijsval</b>	<b>7-1</b>
<b>Module 8. Milieurisicoanalyse voor installaties met Sevesostoffen op een inrichting</b>	<b>8-1</b>
<b>Module 9. Versiebeheer</b>	<b>9-1</b>
<b>Module 10. Bijlagen</b>	<b>10-1</b>
10.1 Bijlage 1: berekening treffrequentie windturbines	10-1
10.2 Bijlage 2: achtergrondinformatie	10-11
<b>Referentielijst</b>	<b>a</b>



## AFKORTINGEN, DEFINITIES EN SYMBOLEN

In deze module zijn alle definities, afkortingen en symbolen die doorheen het hele handboek gebruikt worden opgelijst.

### AFKORTINGEN

ARBIS	Koninklijk besluit van 20 juli 2001 houdende algemeen reglement op de bescherming van de bevolking, van de werknemers en het leefmilieu tegen het gevaar van de ioniserende stralingen
CLP	Classification, Labelling en Packaging CLP-verordening: Verordening nr. 1272/2008 van het Europees Parlement en de Raad van 16 december 2008 betreffende de indeling, etikettering en verpakking van stoffen en mengsels tot wijziging en intrekking van de Richtlijnen 67/548/EEG en 1999/45/EG en tot wijziging van Verordening nr. 1907/2006
GOP	Afdeling Gebiedsontwikkeling, Omgevingsplanning en -projecten, Departement Omgeving, Vlaamse overheid
IIOA	Ingedeelde Inrichting of Activiteit
IRC	Isorisicocontour
MACA	Maximum Credible Accident scenario
MOCA	Most Credible Accident scenario
MRA	Milieurisicoanalyse
OMG	Departement Omgeving, Vlaamse overheid
PPV	Peak particle velocity (in mm/s)
QRA	Quantitative Risk Analysis (kwantitatieve risicoanalyse)
SMYS	Specified minimum yield strength (in bar)
Team EV	Team Externe Veiligheid, Afdeling Gebiedsontwikkeling, Omgevingsplanning en -projecten, Departement Omgeving, Vlaamse overheid
VR	Veiligheidsrapportage

### DEFINITIES

1%-letaliteitsafstand	Afstand waarop het effect van een zwaar ongeval nog 1% van de aan dit effect blootgestelde personen doodt.
-----------------------	--

Aandachtsgebied	<p>Een aandachtsgebied is een gebied dat in het kader van de risico's van zware ongevallen waarbij Sevesostoffen betrokken zijn, bijzondere aandacht geniet</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Ofwel vanwege de aanwezigheid van grote groepen van personen;</li> <li>– Ofwel vanwege hun milieu- of natuurwaarde;</li> <li>– Ofwel vanwege de intrinsieke mogelijkheid om zware ongevallen te veroorzaken bij nabijgelegen inrichtingen.</li> </ul> <p>Als aandachtsgebied werden daarom aangeduid de gebieden met woonfunctie, de kwetsbare locaties, de door het publiek bezochte gebouwen en gebieden (inclusief de recreatiegebieden), de hoofdtransportwegen voor personenvervoer, de waardevolle of kwetsbare natuurgebieden en de externe gevarenbronnen.</p> <p>De verschillende aandachtsgebieden worden verder verduidelijkt in de Leidraad Aandachtsgebieden (OMG, 2019b).</p>
Gevaarlijke stoffen	<p>Stoffen of mengels die ingedeeld zijn volgens de CLP-verordening.</p> <p>Er wordt een onderscheid gemaakt tussen de Sevesostoffen en de niet-Sevesostoffen.</p> <p>Ter verduidelijking, in de context van het Samenwerkingsakkoord wordt gesproken over “gevaarlijke stoffen”, waarbij de “Sevesostoffen” bedoeld zijn.</p>
Groepsrisico	<p>Het groepsrisico is de kans (per jaar) dat een bepaald aantal personen of meer in de omgeving van een inrichting gelijktijdig omkomt ten gevolge van een ongeval met die inrichting.</p>
Hoofdtransportweg	<p>De hoofdtransportwegen voor personenvervoer worden verduidelijkt in de Leidraad Aandachtsgebieden (OMG, 2019b).</p>
Ingedeelde inrichting of activiteit (IIOA)	<p>Eén inrichting of activiteit en de aanhorigheden ervan op een bepaalde locatie of, in voorkomend geval, meerdere inrichtingen of activiteiten en de aanhorigheden ervan op een bepaalde locatie die voor hun exploitatie als een samenhangend technisch geheel moeten worden beschouwd (Omgevingsvergunningendecreet).</p> <p>Het feit dat verschillende inrichtingen en activiteiten een verschillend eigendomsstatuut hebben, belet niet dat ze door hun onderlinge technische samenhang als één ingedeelde inrichting of activiteit kunnen worden beschouwd.</p>
Inrichting	<p>Zie “Ingedeelde inrichting of activiteit”.</p>



	Ter verduidelijking, in de context van het Samenwerkingsakkoord wordt gesproken over “inrichting”, waarbij “Seveso-inrichting” bedoeld wordt.
Peak particle velocity (PPV)	Grondtrillingen worden gemeten in Peak Particle Velocity (PPV) (in mm/s). Opgemerkt wordt dat PPV verwijst naar de beweging van de moleculaire deeltjes in de grond en niet naar de beweging van de oppervlakte.
Plaatsgebonden risico	Het plaatsgebonden risico, uitgedrukt per jaar, is de kans dat een persoon op een bepaalde plaats in de buurt van een inrichting overlijdt ten gevolge van een ongeval met die inrichting, wanneer deze persoon zich gedurende één jaar permanent en onbeschermd op die plaats zou bevinden.  Ter verduidelijking, dit betekent dat de persoon niet beschermd is tegen het fenomeen dat bekeken wordt. Vb. hij zit niet binnen om zich te beschermen tegen fragmenten van een falende windturbine.
Risico	De waarschijnlijkheid (of kans) van het optreden van schade (hier doding van mensen naar aanleiding van het falen van de windturbine).
Risicobeeld	Geheel van het plaatsgebonden risico en het groepsrisico.
Samenwerkingsakkoord	Samenwerkingsakkoord tussen de Federale Staat, het Vlaamse Gewest, het Waalse Gewest en het Brussels Hoofdstedelijk Gewest betreffende de beheersing van de gevaren van zware ongevallen waarbij gevaarlijke stoffen zijn betrokken.  Ter verduidelijking, in het Samenwerkingsakkoord zijn “gevaarlijke stoffen” hetzelfde als “Sevesostoffen”.
Seveso-inrichting	“Inrichting” zoals bedoeld volgens het Samenwerkingsakkoord, zijnde “het gehele door een exploitant beheerde gebied waar gevaarlijke stoffen aanwezig zijn in een of meer installaties, met inbegrip van gemeenschappelijke of bijbehorende infrastructuur of activiteiten; inrichtingen zijn ofwel lagedrempelinrichtingen ofwel hogedrempelinrichtingen”.  Ter verduidelijking, in het Samenwerkingsakkoord zijn “gevaarlijke stoffen” hetzelfde als “Sevesostoffen”.  Ook Sevesoplichtige inrichting genoemd.
Sevesoplichtige inrichting	Zie “Seveso-inrichting”.
Sevesostoffen	Stoffen of mengsels, beantwoordend aan de criteria in bijlage 1, deel 1 of genoemd in bijlage 1, deel 2 van het Samenwerkingsakkoord.
Specified minimum yield strength (SMYS), ofwel	Minimale elasticiteitsgrens vereist door de specificatie of de norm (in bar).





gespecificeerde minimale elasticiteitsgrens	Elasticiteitsgrens: geeft aan tot waar de vervorming elastisch van aard is. Het materiaal zal onder dit punt bij het wegnemen van de spanning weer terugkeren naar zijn oorspronkelijke lengte en vorm.
Transportelementen	<p>De elementen die bestudeerd worden in het kader van het transport van gevaarlijke stoffen (DNV, SGS, 2014), zijnde</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– wegen, wegtunnels en parkings,</li> <li>– spoorwegen, spoortunnels en rangeerstations,</li> <li>– waterwegen,</li> <li>– transportleidingen en drukreducerstations,</li> <li>– havengebieden, meer bepaald havenwaterwegen en containerterminals.</li> </ul> <p>Enkel de Sevesostoffen die in bulk worden getransporteerd worden bestudeerd. Transport van Sevesostoffen in stukgoed maakt geen voorwerp uit van de transportelementen.</p>
Veiligheidsdocument	Document dat aan het Team Externe Veiligheid wordt voorgelegd ter goedkeuring, ter beoordeling of ter controle of dat aan de omgevingsvergunningsaanvraag moet toegevoegd worden, waarin een (kwantitatieve) risicoanalyse werd uitgewerkt. In het bijzonder, doch niet uitsluitend, gaat het om omgevingsveiligheidsrapporten, ruimtelijke veiligheidsrapporten, veiligheidsnota's, Samenwerkingsakkoord-veiligheidsrapporten en veiligheidsstudies.

## SYMBOLLEN

A	[m <sup>2</sup> ]	Oppervlakte
A <sub>b</sub>	[m <sup>2</sup> ]	Oppervlakte van het blad
A <sub>d</sub>	[m <sup>2</sup> ]	Oppervlakte van het dak van het getroffen object
b	[m]	Breedte van de getroffen installatie
b'	[m]	Breedte van de installatie vermeerderd met de halve breedte van een rotorblad
B	[m]	Breedte van de strook rond de leiding waarbinnen de impact zich situeert
d	[m]	Diepte van de getroffen installatie
d <sub>w</sub>	[m]	Wanddikte van de leiding
D <sub>r</sub>	[m]	Diameter van de rotor
D <sub>m</sub>	[m]	Diameter van de mast (aan de voet van de mast, indien niet overal hetzelfde)
D <sub>l</sub>	[m]	Diameter van de leiding



$f$	[/jaar]	Frequentie
$f_{zwpt}$	[/m <sup>2</sup> ]	Kansverdelingsfunctie
$f_R(r;\Omega)$	[-]	Kans dat het zwaartepunt van het blad op een afstand $r$ van de turbine terechtkomt
$g$	[m/s <sup>2</sup> ]	Valversnelling ( 9,81 m/s <sup>2</sup> )
$h$	[m]	Hoogte van de getroffen installatie
$H_m$	[m]	Ashoogte
$H_{go}$	[m]	Hoogte van de gondel
$H_l$	[m]	Diepte van de leiding (centrum leiding tot maaiooppervlak)
$k$	[-]	kalibratieparameter (0,7)
$L_b$	[m]	Lengte van het blad
$L_g$	[m]	Grootste dimensie van de gondel, zijnde maximale waarde van de lengte, hoogte en breedte van de gondel
$m$	[kg]	Massa
$N$	[-]	Aantal dodelijke slachtoffers
$P$	[bar]	Maximaal toegelaten werkingsdruk in de leiding
$P_b$	[-]	Kans op bladbreuk
$P_{gb}$	[/jaar]	Faalfrequentie voor gondelbreuk
$P_{mb}$	[/jaar]	Faalfrequentie voor mastbreuk
$p_{zwpt}(x, y)$	[/m <sup>2</sup> .jaar]	Kans op inslag van het zwaartepunt van het blad op locatie (x,y)
$p_{zwpt}^h(x, y)$	[/m <sup>2</sup> .jaar]	Kans op inslag van het zwaartepunt van het blad op locatie (x,y) voor een windturbine waarvan de totale hoogte met $h$ is verlaagd
$P_{tref}$	[/jaar]	Treffrequentie
		Met als extra indices
		– <i>Blad, mast of gondel</i> : afhankelijk van de faalwijze van de windturbine, met name bladbreuk, mastbreuk of gondelbreuk;
		– <i>(rotor), (mast) of (gondel)</i> : afhankelijk van het deel van de windturbine waardoor het object getroffen wordt na mastbreuk of gondelbreuk;
		– <i>Direct of indirect</i> : afhankelijk van het feit of een object getroffen wordt door directe of indirecte impact;
		– <i>Persoon, installatie, leiding of leidingondergronds</i> : afhankelijk van het feit of het object dat getroffen wordt een persoon, een installatie, een bovengrondse leiding of een ondergrondse leiding betreft.
$r$	[m]	Afstand ten opzichte van de windturbine
$r'$	[m]	Afstand tussen windturbine en object
$r_{impact}$	[m]	Impactafstand
$R_{max}$	[m]	Maximale werpafstand voor het zwaartepunt van het blad



$R_z$	[m]	Afstand tot het rotorcentrum van het zwaartepunt van het wegvliegende deel van het blad
$s$	[m]	Contour langs de leiding
$s'$	[-]	Soliditeit, verhouding tussen het totale bladoppervlak en het oppervlak van de rotor
$t$	[s]	Tijd
$Z_{leiding}$	[m]	Diepteligging van de leiding (tot de wand)

*Griekse symbolen*

$\alpha$ (in §10.1.2.1)	[rad]	Azimuthhoek
$\alpha$ (in §10.1.4.2)	[rad]	Hoek van het cirkelsegment waardoor de windturbine gemodelleerd wordt
$\beta$	[rad]	Hoek waarbij de windturbine een installatie kan treffen
$\varphi$	[rad]	Hoek waarmee een blad op de grond terechtkomt
$\rho$	[kg/m <sup>3</sup> ]	Densiteit van de bodem (standaardwaarde = 1800 kg/m <sup>3</sup> )
$\Omega$	[rad/s]	Toerental van de rotor



## MODULE 1. TOEPASSINGSGEBIED

Het Handboek Windturbines is van toepassing op alle windturbines met een horizontale as. Het handboek is toe te passen zowel voor het uitwerken van de risico's van de windturbine i.h.k.v. een omgevingsvergunningsaanvraag voor de windturbine zelf als voor het uitwerken van de indirecte risico's ten gevolge van een windturbine in een veiligheidsdocument voor een inrichting met Sevesostoffen.

## MODULE 2. FAALWIJZEN EN FAALFREQUENTIES VAN WINDTURBINES

De generieke faalwijzen voor windturbines worden in Tabel 2-1 getoond samen met de bijhorende faalfrequenties. Standaard worden de volgende faalwijzen beschouwd:

- Bladbreek: het blad breekt in de wortel af en wordt als geheel weggegooid. Breek van een bladtip of gedeelte van een blad wordt niet beschouwd. Er wordt onderscheid gemaakt tussen bladbreek bij nominaal toerental en bladbreek bij overtoeren, waarbij laatstgenoemde wordt gelijkgesteld aan 2 x nominaal toerental. Voor het nominaal toerental wordt uitgegaan van de maximale waarde van de statische waarde van het toerental bij nominaal vermogen. Er wordt uitgegaan van een uniforme windroos.
- Mastbreek: de mast breekt aan de voet van de mast en draait rond de rand van de voet van de mast. De richting waarin de mast valt is uniform verdeeld.
- Gondelbreek: gondel en rotor komen als geheel naar beneden. Er wordt verondersteld dat de gondel en de rotor naar beneden vallen op een dussdanige wijze dat het rotoroppervlak in een horizontaal vlak ligt. De mast blijft staan. De richting waarin de gondel valt is uniform verdeeld.

Tabel 2-1: Generieke faalwijzen en faalfrequenties windturbines

Faalwijze	Faalfrequentie [/windturbinejaar]
Bladbreek	
– Nominaal toerental	$6,2 \cdot 10^{-4}$
– Overtoeren (2 x nominaal toerental)	$5,0 \cdot 10^{-6}$
Mastbreek	$5,8 \cdot 10^{-5}$
Gondelbreek	$1,8 \cdot 10^{-5}$

Bovenstaande faalwijze voor mastbreek, nl. breek aan de voet van de mast, kan verder onderverdeeld worden in een aanvullende veiligheidsstudie of in een veiligheidsdocument voor een inrichting. Voor het bepalen van het indirect risico voor installaties met Sevesostoffen wordt onderstaande methode steeds toegepast. Voor het bepalen van het direct risico van een windturbine betreft dit een mogelijke optie. Volgende specifieke aannames worden gebruikt.

- Bij een stalen mast kan de faalwijze mastbreek verder onderverdeeld worden in
  - mastbreek aan de voet van de mast met een faalfrequentie  $1,5 \cdot 10^{-5}/j$ , waarbij het bovenste mastdeel roteert rond het breukpunt;
  - mastbreek boven het maaiveld in de onderste helft van de mast met een faalfrequentie  $3,5 \cdot 10^{-5}/j$  die uniform verdeeld is over de halve hoogte, waarbij het bovenste mastdeel roteert rond het breukpunt;

- mastbreuk in de bovenste helft van de mast met een faalfrequentie  $0,8 \cdot 10^{-5}/j$  die uniform verdeeld is over de bovenste helft, waarbij het bovenste mastdeel roteert rond het breukpunt;
- Voor het stalen mastdeel bij hybride masten kan worden uitgegaan van
  - mastbreuk aan de voet van het stalen gedeelte met een faalfrequentie van  $1,5 \cdot 10^{-5}/j$  waarbij het stalen mastdeel  $90^\circ$  roteert rond het breukpunt en vervolgens recht naar beneden valt;
  - mastbreuk boven de voet van het stalen gedeelte met een faalfrequentie van  $0,8 \cdot 10^{-5}/j$  die uniform verdeeld is over het stalen gedeelte, waarbij het bovenste mastdeel roteert rond het breukpunt.
- Voor het betonnen mastdeel bij hybride of betonnen masten kan de faalfrequentie voor mastbreuk boven het maaiveld in het betonnen deel van de mast afgeleid worden uit de in het ontwerp gebruikte betrouwbaarheidsindices en partiële veiligheidsfactoren (IEC61400, Eurocode, nationale normen). Het windklimaat van de site dient hierbij zowel op vlak van de gemiddelde windsnelheid en de berekende 50-jarige extreme windsnelheden (3 s windstoot en 10 min gemiddelde) als op vlak van turbulentiegraad binnen de gecertificeerde windklasse te liggen. Alleszins zal voor het betonnen mastdeel nooit een faalfrequentie lager dan  $1,0 \cdot 10^{-6}/j$  gebruikt worden. Bij gebrek aan dergelijke onderbouwing zal een standaardwaarde van  $3,5 \cdot 10^{-5}/j$  gebruikt worden. De faalfrequentie is uniform verdeeld over de volledige hoogte van het betonnen deel. Het bovenste mastdeel roteert rond het breukpunt.

Voor het bepalen van het indirect risico op ondergrondse leidingen en ondergrondse installaties gelden hierbij nog volgende specifieke aannames.

- Bij stalen masten wordt de faalwijze mastbreuk in de bovenste helft van de mast achterwege gelaten.
- Bij hybride masten wordt de faalwijze mastbreuk boven de voet van het stalen gedeelte achterwege gelaten.



## MODULE 3. EFFECTAFSTANDEN VAN WINDTURBINES

Hieronder wordt voor de verschillende faalwijzen van de windturbine weergegeven op welke manier de effectafstand wordt bepaald, zowel voor het zwaartepunt van het blad als voor de tip van het blad. Als elders in de tekst verwezen wordt naar “de effectafstand”, dan wordt de grootste effectafstand en dus “de effectafstand voor de tip van het blad” bedoeld. Algemeen geldt dat de effectafstand uitgezet wordt vanaf de centrale as van de mast van de windturbine.

### 3.1 BLADBREUK

De effectafstanden voor bladbreuk zijn gelijk aan

- Voor het zwaartepunt van het blad: de maximale werpafstand, die bepaalt waar het zwaartepunt van het blad terechtkomt;
- Voor de tip van het blad: de som van de maximale werpafstand en de afstand van het zwaartepunt van het blad tot de tip van het blad.

De manier waarop de werpafstand voor bladbreuk wordt berekend is uitgelegd in bijlage §10.1. Er wordt een effectafstand berekend voor nominaal toerental en voor overtoeren.

### 3.2 MASTBREUK

Bij mastbreuk kan een persoon of object enkel getroffen worden wanneer deze zich binnen een afstand gelijk aan de tiphoogte van de windturbine bevindt. De tiphoogte wordt gedefinieerd als de som van de ashoogte en de halve rotordiameter.

De effectafstanden voor mastbreuk worden gelijkgesteld aan

- Voor het zwaartepunt van het blad: de som van de ashoogte en de afstand tot het zwaartepunt van het blad;
- Voor de tip van het blad: de tiphoogte.

### 3.3 GONDELBREUK

Bij gondelbreuk kan een persoon of object die zich onder de gondel of rotor bevindt getroffen worden.

De effectafstanden voor gondelbreuk worden gelijkgesteld aan

- Voor het zwaartepunt van het blad: de afstand tot het zwaartepunt van het blad;
- Voor de tip van het blad: de halve rotordiameter.



### 3.4 MAXIMALE EFFECTAFSTAND

De maximale effectafstand van een windturbine is gelijk aan het maximum van alle effectafstanden. In de meeste gevallen zal dit de effectafstand voor de tip van het blad voor bladbreuk bij overtoeren zijn.





## MODULE 4. DIRECT RISICO

Indien een onbeschermd persoon rechtstreeks getroffen wordt door een falend windturbineonderdeel, dan wordt aangenomen dat de persoon sterft. M.a.w. de vervolgcans op letaliteit wordt gelijkgesteld aan 1.

Hieronder wordt aangegeven op welke manier het risico van een persoon ten gevolge van het falen van één windturbine, zijnde het direct risico, wordt berekend en dit zowel voor het plaatsgebonden als voor het groepsrisico, en op welke manier dit wordt geëvalueerd.

### 4.1 BEREKENEN PLAATSGEBONDEN RISICO

Voor het berekenen van het plaatsgebonden risico wordt de treffrequentie van een persoon ten gevolge van het falen van een windturbine berekend. De manier waarop de treffrequentie berekend wordt, is beschreven in bijlage (§10.1.3). Samen met de veronderstelde 100% letaliteit bij treffen levert dit het plaatsgebonden risico.

Voor de berekening van het plaatsgebonden risico worden alle faalwijzen van de windturbine meegenomen met hun bijbehorende faalfrequenties, zoals beschreven in Module 2.

Met deze rekenwijze worden grafieken bekomen voor het plaatsgebonden risico in functie van de afstand tot de windturbine. Voor het aflezen van de afstand tot de isorisicocontouren wordt geen rekening gehouden met de pieken ten gevolge van bladbreuk.

### 4.2 BEREKENEN GROEPSRISICO

Indien binnen de effectafstand voor bladbreuk tot het zwaartepunt van het blad de lokale populatiedichtheid ervoor zorgt dat 10 of meer dodelijke slachtoffers tegelijkertijd kunnen vallen, dan dient het groepsrisico bepaald te worden. Voor de berekening van het groepsrisico worden alle faalwijzen van de windturbine meegenomen, zoals hieronder beschreven.

#### 4.2.1 Personen binnen een gebouw

Voor het berekenen van het groepsrisico wordt voor personen die zich binnen een gebouw bevinden gebruik gemaakt van de treffrequentie voor bovengrondse installaties, omdat hier wordt aangenomen dat de personen getroffen worden door de brokstukken van het gebouw veroorzaakt door het vallen van de windturbine op het gebouw. De manier waarop de treffrequentie berekend wordt, is beschreven in bijlage (§10.1.4).

Voor personen die zich binnen een gebouw bevinden worden zowel mastbreuk als gondelbreuk beschouwd. Bladbreuk wordt niet in rekening gebracht. In een eerste conservatieve benadering wordt aangenomen dat het gebouw over zijn volledige oppervlakte structureel geïmpacteerd wordt, indien dit door de windturbine (gedeeltelijk) getroffen wordt. Indien het gebouw ligt binnen de effectafstand voor het zwaartepunt van het



blad wordt 50% letaliteit verondersteld voor zowel mastbreuk als gondelbreuk. Indien het gebouw gelegen is buiten de effectafstand voor het zwaartepunt van het blad en binnen de effectafstand voor de tip van het blad, wordt verondersteld dat er geen letaliteit is voor personen aanwezig in het gebouw. Dit betekent concreet dat enkel een naburig gebouw met meer dan 20 aanwezige personen binnen de effectafstand voor de zwaartepunt van het blad moet beschouwd worden voor het groepsrisico.

Indien een gebouw slechts gedeeltelijk kan getroffen worden, is het toegelaten om enkel dat deel van het gebouw dat kan instorten in rekening te brengen. Hierbij wordt uitgegaan van de constructie van het gebouw en wordt minstens steeds de hele ruimte, die (gedeeltelijk) kan getroffen worden, in rekening gebracht. Er wordt gerekend met het maximaal aantal personen dat in dat deel van het gebouw aanwezig kan zijn.

#### 4.2.2 Personen buiten een gebouw

Voor het berekenen van het groepsrisico wordt voor personen die zich buiten een gebouw bevinden de treffrequentie van een persoon ten gevolge van het falen van een windturbine berekend. De manier waarop de treffrequentie berekend wordt, is beschreven in bijlage (§10.1.3). Ook personen die zich in tenten, serres, containers of dergelijke bevinden, worden verondersteld zich “buiten een gebouw” te bevinden.

Voor personen die zich buiten een gebouw bevinden worden zowel bladbreuk, mastbreuk als gondelbreuk beschouwd. Voor mastbreuk en gondelbreuk wordt een letaliteitspercentage van 100% aangenomen binnen de effectafstand voor de tip van het blad.

Voor bladbreuk wordt binnen de effectafstand tot het zwaartepunt van het blad enkel gekeken naar groepen van personen met een hoge populatiedichtheid die zich buiten bevinden. Voor deze personen wordt ook een letaliteitspercentage van 100% aangenomen.

#### 4.2.3 Populatiematrix

De populatiematrix geeft het aantal personen in de omgeving van de windturbine en hun aanwezigheidsfractie weer. De manier waarop de populatiematrix opgesteld wordt, is weergegeven in Module 22 van het Handboek Risicoberekeningen, opgesteld door het Team Externe Veiligheid (OMG, 2019a) en zijn wijzigingen). Hierbij wordt rekening gehouden met alle types populatie, zoals werknemers, bewoners, personen op de hoofdtransportwegen (in dit geval o.b.v. verkeerstellingen), etc.

De reikwijdte van de populatiematrix voor een windturbine beperkt zich voor personen in gebouwen tot een gebied met een straal gelijk aan de effectafstand voor mastbreuk rond de windturbine. Voor personen in open lucht wordt in eerste instantie een analyse van de populatie binnen de effectafstand voor bladbreuk bij overtoeren (tot het zwaartepunt van het blad) gedaan. Indien dit mogelijk een relevant punt oplevert in de groepsrisicocurve, dan wordt dit meegenomen in de berekening van het groepsrisico.

#### 4.2.4 Berekening groepsrisico

Het groepsrisico wordt berekend door per scenario (waarin één gebouw (of groep personen) getroffen wordt of meerdere gebouwen (of groepen personen) gelijktijdig getroffen worden) het aantal doden te bepalen,



door het aantal personen dat kan getroffen worden te vermenigvuldigen met het letaliteitspercentage, en de frequentie te bepalen door de treffrequentie te vermenigvuldigen met de aanwezigheidsfractie.

### 4.3 EVALUEREN RISICOBEEELD WINDTURBINE

De resultaten van deze berekening worden dan getoetst aan de risicocriteria die van toepassing zijn op de windturbine om na te gaan in hoeverre de aanwezigheid van de windturbine te verzoenen is met de omgeving.

## MODULE 5. INDIRECT MENS-RISICO VOOR INRICHTINGEN MET SEVESOSTOFFEN

Een installatie met Sevesostoffen kan getroffen worden door een onderdeel van een falende windturbine wanneer de installatie zich binnen de effectafstand van het falende onderdeel van de windturbine bevindt.

In de volgende paragrafen wordt aangegeven op welke manier het risico van een installatie ten gevolge van het falen van een windturbine, zijnde het indirect risico, wordt berekend. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen bovengrondse installaties en leidingen (m.i.v. installaties binnen een gebouw), ondergrondse installaties en ondergrondse leidingen.

Hierbij wordt enkel rekening gehouden met installaties met Sevesostoffen die falen ten gevolge van de falende windturbine en niet met daaropvolgende gebeurtenissen, zogenaamde opeenvolgende indirecte risico's, zoals het falen van een installatie met Sevesostoffen ten gevolge van het falen van een andere installatie met Sevesostoffen die faalt ten gevolge van de falende windturbine.

Hierbij wordt opgemerkt dat afhankelijk van de situatie het mogelijk is dat de initiatiefnemer van de windturbine contact moet opnemen met de inrichting waartoe de installatie met Sevesostoffen behoort om gegevens op te vragen om tot een volledige berekening van het indirect risico te komen. Voor Seveso-inrichtingen kan een groot deel van de benodigde informatie gevonden worden in de veiligheidsdocumenten van de Seveso-inrichtingen.

### 5.1 OVERZICHT METHODIEK

Indien een installatie met Sevesostoffen ligt binnen de maximale effectafstand van een of meerdere windturbines, dan kan worden nagegaan of het bijkomend risico relevant is door het toepassen van de faalfrequentiebenadering, de effectbenadering, de risicobenadering of een combinatie van deze benaderingen. Als het relevant is of als deze optionele stap wordt overgeslagen, dan wordt in de QRA van de inrichting waartoe de installatie behoort ofwel (1) voor de installatie in kwestie rekening gehouden met de faalfrequentieverhogingen ten gevolge van de windturbines ofwel (2) extra scenario's toegevoegd.

Kort samengevat bestaat de methodiek voor het bepalen van het indirect risico van een windturbine op een installatie met Sevesostoffen uit volgende stappen:

1. Inventariseren installaties met Sevesostoffen;
2. Bepalen faalwijzen installatie met Sevesostoffen;
3. Bepalen relevantie;
  - a. Faalfrequentiebenadering;
  - b. Effectbenadering;
  - c. Risicobenadering;
4. Doorrekenen indirect risico;



- a. Faalfrequentieverhoging;
  - b. Extra scenario;
5. Evalueren indirect risico.

Deze stappen worden hieronder een voor een beschreven.

## 5.2 INVENTARISEREN INSTALLATIES

In de eerste stap wordt nagegaan welke installaties met Sevesostoffen kunnen getroffen worden door een windturbine. De wijze waarop dit gebeurt wordt hieronder beschreven voor zowel de bovengrondse installaties en leidingen, als voor ondergrondse leidingen en de ondergrondse installaties.

Als startpunt wordt vertrokken van alle installaties op de inrichting, ook deze die voordien niet in de QRA van de inrichting werden meegenomen bv. doordat deze niet geselecteerd waren. Enkel ondergrondse atmosferische tanks, warmtewisselaars, pompen, compressoren en magazijnen mogen op voorhand uitgesloten worden.

Elk van de installaties met Sevesostoffen die op deze manier wordt geïnventariseerd, wordt verder onderzocht. In een aantal gevallen kan in het veiligheidsdocument geargumenteed worden waarom een bepaalde installatie toch niet wordt meegenomen in de verdere analyse.

### 5.2.1 Bovengrondse installaties en leidingen

Elke bovengrondse installatie of leiding die zich binnen een effectafstand van de windturbine bevindt, wordt verder onderzocht. Elke faalwijze van de windturbine wordt daarbij bestudeerd. Per faalwijze wordt een onderscheid gemaakt tussen enerzijds de ligging van de installatie binnen de effectafstand voor het zwaartepunt van het blad en anderzijds de ligging van de installatie buiten de effectafstand voor het zwaartepunt van het blad en binnen de effectafstand voor de tip van het blad. Voor bladbreuk wordt bijkomend onderscheid gemaakt tussen de effectafstand voor nominaal toerental en voor overtoeren.

### 5.2.2 Ondergrondse leidingen

De ondergrondse leidingen worden geïnventariseerd binnen de scheidingsafstand voor ondergrondse leidingen. Alle leidingen waarvan een deel zich binnen de scheidingsafstand bevindt, moeten verder worden onderzocht. Deze scheidingsafstand wordt berekend met enkel gegevens van de windturbine en is eerder conservatief.

De scheidingsafstand wordt gegeven door

$$Scheidingsafstand = H_m + 2,15 \cdot 10^{-4} \cdot m^{0,77} \cdot H_m^{0,385}$$

Hierbij is de massa m gelijk aan de som van de massa van de gondel, de massa van de rotor en de massa van het bovenste mastsegment met een lengte van ca. 30 m.



In deze formule is uitgegaan van de standaardwaarde van 1800 kg/m<sup>3</sup> voor de dichtheid van de bodem. In een aanvullende veiligheidsstudie of een veiligheidsdocument voor een inrichting kan hiervan afgeweken worden. Hiervoor worden de originele formules uit de bijlage gebruikt.

### 5.2.3 Ondergrondse installaties

Alle ondergrondse druktanks, inclusief ingeterpte druktanks, die zich binnen de effectafstand tot het zwaartepunt van het blad voor mastbreuk of gondelbreuk bevinden worden verder onderzocht.

## 5.3 BEPALEN FAALWIJZEN INSTALLATIES

Voor elk van de geïnventariseerde installaties met Sevesostoffen en per relevante faalwijze van de windturbine wordt nagegaan op welke wijze de installatie kan falen. Hiervoor wordt een onderscheid gemaakt tussen bovengrondse installaties en leidingen, ondergrondse leidingen en ondergrondse installaties.

De definities van de installaties, de faalwijzen en de manier waarop deze moeten gemodelleerd worden, zijn opgenomen in het Handboek Risicoberekeningen (OMG, 2019a) en zijn wijzigingen).

### 5.3.1 Bovengrondse installaties en leidingen

Er wordt aangenomen dat de bovengrondse installatie faalt, indien ze getroffen wordt. In Tabel 5-1 wordt per type installatie aangegeven welke faalwijze moet gehanteerd worden. In deze tabel wordt onderscheid gemaakt in faalwijzen met “grote schade” aan de installatie tot gevolg en faalwijzen met “kleine schade” aan de installatie tot gevolg. Per installatie wordt slechts één faalwijze meegenomen. Indien “grote schade” mogelijk is, dan wordt de hierbij horende faalwijze meegenomen. Indien “grote schade” niet mogelijk is, dan wordt de faalwijze horende bij “kleine schade” meegenomen.

Faalwijzen van de windturbine met “grote schade” tot gevolg zijn

- Bladbreek, indien het zwaartepunt van het blad de installatie treft;
- Mastbreuk, indien de installatie getroffen wordt door de mast, de gondel of het zwaartepunt van het blad;
- Gondelbreuk, indien de installatie getroffen wordt door de gondel of het zwaartepunt van het blad.

Faalwijzen van de windturbine met “kleine schade” tot gevolg zijn deze waarbij indirect impact van het blad optreedt, d.w.z. indien het blad de installatie treft zonder dat het zwaartepunt van het blad de installatie treft, en dit zowel bij bladbreek, mastbreuk als gondelbreuk.



Tabel 5-1: Faalwijzen voor door windturbine getroffen bovengrondse installaties  
(niet generieke scenario's zijn weergegeven in vet)

Module	Installatie	Faalwijze installatie	
		Faalwijze windturbine met "grote schade" tot gevolg	Faalwijze windturbine met "kleine schade" tot gevolg
5	Single containment tanks (atmosferisch) (enkel- en dubbelwandig)	Breuk Volledige uitstroming in 10 min	Middelgroot lek
	Tankwagens, spoorwagens en tankcontainers (atmosferisch)	Breuk Volledige uitstroming in 10 min	Middelgroot lek
	Procesinstallaties (atmosferisch)	Breuk Volledige uitstroming in 10 min	Middelgroot lek
	Double en full containment tanks met metalen secundaire houder (DC1 en FC1)	Breuk van het volledig tanksysteem, waarbij 100% van de inhoud vrijkomt Uitstroming in 10 min van het volledig tanksysteem, waarbij 100% van de inhoud vrijkomt	-
	Double en full containment tanks met betonnen secundaire houder (DC2 en FC2)	"Breuk" van het volledig tanksysteem, waarbij 10% van de inhoud vrijkomt "Uitstroom in 10 min" van het volledig tanksysteem, waarbij 10% van de inhoud vrijkomt	-
6	Opslagtanks onder druk	Breuk Volledige uitstroming in 10 min	Middelgroot lek
	Tankwagens, spoorwagens en tankcontainers (onder druk)	Breuk Volledige uitstroming in 10 min	Middelgroot lek
	Procesinstallaties (onder druk)	Breuk Volledige uitstroming in 10 min	Middelgroot lek
	Drukvaten, cilinders	Breuk	Lek
	Flessen	Breuk	Breuk
	Flessenbatterij, cilinderpakket	<b>Breuk van alle flessen of cilinders tegelijkertijd</b>	Breuk van 1 fles of cilinder gevolgd door continue uitstroming van de andere flessen of cilinders
9	Bovengrondse leidingen (enkel- en dubbelwandig)	Breuk	Middelgroot lek

Module	Installatie	Faalwijze installatie	
		Faalwijze windturbine met "grote schade" tot gevolg	Faalwijze windturbine met "kleine schade" tot gevolg
10	Verlaadarm	Breuk	Lek
	Flexibel	Breuk	Lek
12	Open opslagplaatsen	<b>50% van de stukgoederen binnen effectafstand falen tegelijkertijd</b>	<b>50% van de stukgoederen binnen effectafstand falen tegelijkertijd</b>

Voor een aantal installaties wordt een andere faalwijze dan de generieke faalwijze uit de overeenkomstige module verondersteld. Deze zijn in de tabel hierboven in het vet aangeduid.

Indien het falend windturbineonderdeel een inkuiping kan treffen, dan kan de inkuiping ook falen. Voor bladbreuk wordt dit niet meegenomen bij de berekening van het indirect risico. Voor mast- en gondelbreuk wordt wel uitgegaan van het falen van de inkuiping, indien deze zich binnen de effectafstand voor het zwaartepunt van het blad bevindt. Eventueel kan in het veiligheidsdocument gemotiveerd worden waarom het falen van de inkuiping verder niet in rekening moet gebracht worden, zoals bv. wanneer de installatie binnen de inkuiping niet kan getroffen worden, zodat er geen vrijzetting van Sevesostoffen te verwachten is.

In de praktijk kan het voorkomen dat een falend windturbineonderdeel meerdere installaties tegelijkertijd kan treffen. Dit aspect wordt ook beschouwd bij de berekening van het indirect risico. Ook hier geldt dat dit voor bladbreuk niet wordt meegenomen bij de berekening van het indirect risico. Voor mast- en gondelbreuk wordt wel uitgegaan van het falen van meerdere installaties tegelijkertijd, indien deze zich binnen de effectafstand voor het zwaartepunt van het blad bevinden. De manier waarop dit gebeurt wordt uitvoerig beschreven en gemotiveerd in het veiligheidsdocument. Eventueel kan in het veiligheidsdocument gemotiveerd worden waarom het falen van meerdere installaties tegelijkertijd verder niet in rekening moet gebracht worden.

Voor installaties binnen een gebouw wordt in een aantal gevallen bescherming door het gebouw in rekening gebracht. Voor de faalwijzen van de windturbine met "kleine schade" tot gevolg wordt verondersteld dat er geen relevante beschadiging is aan een installatie binnen een gebouw. Hiervoor moeten dus geen scenario's meegenomen worden. Voor de faalwijzen van de windturbine met "grote schade" tot gevolg wordt ook voor installaties binnen een gebouw uitgegaan van de faalwijzen behorende bij "grote schade". Mits motivering kan in specifieke gevallen wel bescherming door het gebouw in rekening gebracht worden, bv. bij gebouwen met meerdere verdiepingen.

### 5.3.2 Ondergrondse leidingen

De schadeafstand, de afstand tot waar effectief schade aan de leiding wordt verwacht indien een windturbine in de buurt faalt, wordt berekend met gegevens van de windturbine en van de leiding. Deze afstand is minder conservatief dan de scheidingsafstand.





De schadeafstanden voor breuk en lek van de leiding worden berekend op basis van de impactafstand, de afstand vanaf de plaats waar de gondel neerkomt tot de plaats waar nog impact verwacht wordt, en is afhankelijk van de faalwijze van de windturbine.

- De impactafstanden, die zowel voor mastbreuk als voor gondelbreuk worden bepaald, worden berekend met volgende formules.

- o Voor de faalwijze breuk van de leiding

$$r_{impact} = 0,00744 \cdot H_m^{0,385} \cdot \left( \frac{m}{0,27 \cdot \left( SMYS - \frac{P \cdot D_l}{2 \cdot d_w} \right)} \right)^{0,77}$$

- o Voor de faalwijze lek van de leiding

$$r_{impact} = 0,00744 \cdot H_m^{0,385} \cdot \left( \frac{m}{0,27 \cdot \left( 0,9 \cdot SMYS - \frac{P \cdot D_l}{2 \cdot d_w} \right)} \right)^{0,77}$$

- o De massa m is voor mastbreuk gelijk aan de som van de massa van de gondel, de massa van de rotor en de massa van het bovenste mastsegment met een lengte van ca. 30 m. Voor gondelbreuk is m gelijk aan de som van de massa van de gondel en de massa van de rotor.
- De schadeafstanden, die zowel voor breuk van de leiding als voor lek van de leiding worden bepaald, zijn dan

- o Voor mastbreuk

$$Schadeafstand_{mastbreuk} = r_{impact} + H_m$$

- o Voor gondelbreuk

$$Schadeafstand_{gondelbreuk} = r_{impact} + \frac{L_g}{2}$$

Wanneer de leiding gelegen is binnen de schadeafstand voor breuk van de leiding bij mastbreuk of gondelbreuk, dan wordt als faalwijze van de leiding breuk gehanteerd. Wanneer de leiding gelegen is binnen de schadeafstand voor lek van de leiding bij mastbreuk of gondelbreuk, dan wordt als faalwijze van de leiding een gat gehanteerd.

In deze formules is uitgegaan van de standaardwaarde van 1800 kg/m<sup>3</sup> voor de densiteit van de bodem. In een aanvullende veiligheidsstudie of een veiligheidsdocument voor een inrichting kan hiervan afgeweken worden. Hiervoor worden de originele formules uit de bijlage gebruikt.



### 5.3.3 Ondergrondse installaties

Er wordt aangenomen dat de ondergrondse installatie faalt, indien de locatie waar de installatie zich bevindt kan getroffen worden. Voor ondergrondse druktanks wordt een middelgroot lek aangenomen als faalwijze bij zowel mast- als gondelbreuk.

## 5.4 BEPALEN RELEVANTIE

Voor elk van de geïnventariseerde installaties met Sevesostoffen en per relevante faalwijze van de windturbine wordt nagegaan wat de relevantie is van het indirect risico ten gevolge van het falen van de windturbine. Dit kan door het vergelijken van de faalfrequenties, door het uitvoeren van een effectenanalyse of door het vergelijken van risicobeelden.

Op het toepassen van de faalfrequentiebenadering geldt een uitzondering, met name wanneer de te beschouwen faalwijze voor de installatie met Sevesostoffen niet overeenkomt met één van de generieke faalwijzen van de installatie (zie Tabel 5-1, aanduiding in vet). Het falen van de inkuiping en van meerdere installaties tegelijkertijd valt hier ook onder. In deze gevallen kunnen enkel de effect- en risicobenadering gebruikt worden om aan te tonen dat het indirect risico niet relevant is. De faalfrequentiebenadering kan dan niet toegepast worden.

De stap voor het bepalen van de relevantie van het indirect risico is optioneel en kan overgeslagen worden. Indien gewenst kan onmiddellijk overgegaan worden naar het doorrekenen van het indirect risico.

Indien het indirect risico relevant is in het kader van zowel de faalfrequentiebenadering als de effectbenadering als de risicobenadering, dan wordt overgegaan naar de volgende stap, met name de herberekening van het nieuw risicobeeld van de desbetreffende inrichting.

### 5.4.1 Faalfrequentiebenadering

#### 5.4.1.1 10%-regel

Algemeen wordt gesteld dat het risico relevant geacht wordt wanneer de treffrequentie 10% of meer bedraagt van de intrinsieke faalfrequentie van de installatie. Dit is de zogenaamde 10%-regel.

Deze regel moet echter met de nodige omzichtigheid gebruikt worden rekening houdend met de huidige risicobeelden van de inrichting. Zeker indien de inrichting reeds een zeer hoog risico heeft of reeds faalfrequentiereductie toepast, volstaat deze regel niet en moet dit nader bekeken worden. Ook wanneer het indirect risico bekeken wordt in het kader van een veiligheidsdocument van een inrichting vraagt het Team Externe Veiligheid om het indirect risico standaard in rekening te brengen.

#### 5.4.1.2 Treffrequentie

De manier waarop de treffrequentie voor bovengrondse installaties en bovengrondse leidingen berekend wordt, staat beschreven in bijlage (§10.1). De treffrequentie voor ondergrondse leidingen wordt berekend volgens de methodiek voor de ondergrondse transportleidingen (zie §6.6.1). Voor ondergrondse installaties



wordt uitgegaan van dezelfde treffrequentie als voor bovengrondse installaties. Voor het berekenen van de treffrequentie wordt gebruik gemaakt van de generieke faalfrequenties van de windturbine, zoals beschreven in Module 1. Steeds geldt dat enkel moet rekening gehouden worden met de relevante faalwijzen. Bv. voor ondergrondse installaties wordt de faalfrequentie voor bladbreuk niet in rekening gebracht.

Indien de installatie getroffen kan worden door meerdere windturbines wordt de treffrequentie gesommeerd voor alle windturbines die de installatie kunnen raken. Windturbines die reeds vergund of aangevraagd zijn worden hiervoor ook in aanmerking genomen. Indien gewenst kunnen de aangevraagde windturbines in een afzonderlijk ontwikkelingsscenario opgenomen worden samen met de risicoberekening waarbij uitgegaan wordt van de aanwezigheid van alle aangevraagde windturbines.

De treffrequentie wordt tevens gesommeerd voor alle faalwijzen van de windturbine die eenzelfde te beschouwen faalwijze bij de installatie veroorzaken. Bv. als bladbreuk en mastbreuk kunnen leiden tot een middelgroot lek, dan wordt de treffrequentie voor bladbreuk en mastbreuk opgeteld.

#### **5.4.1.3 Intrinsieke faalfrequentie**

Onder de intrinsieke faalfrequentie van de installatie met Sevesostoffen wordt verstaan de faalfrequentie horende bij de te beschouwen faalwijze van de installatie, zoals aangegeven in Tabel 5-1. In principe wordt voor de intrinsieke faalfrequentie uitgegaan van de generieke faalfrequenties, zoals opgenomen in modules 5 tot en met 12 van het van kracht zijnde Handboek Risicoberekeningen ( (OMG, 2019a) en zijn wijzigingen). Indien meerdere faalwijzen voor de installatie moeten beschouwd worden (vb. breuk en 10 min uitstroom), dan worden de faalfrequenties voor de verschillende faalwijzen gesommeerd. Indien voor de installatie faalfrequentiereductie werd toegepast in het meest recente goedgekeurde veiligheidsdocument, dan is de intrinsieke faalfrequentie de gereduceerde faalfrequentie en niet de generieke faalfrequentie. Met faalfrequentieverhoging voor de installatie met Sevesostoffen wordt geen rekening gehouden.

#### **5.4.1.4 Vergelijking treffrequentie en intrinsieke faalfrequentie**

Indien blijkt dat de treffrequentie voor de installatie met Sevesostoffen minder dan 10% bedraagt van de intrinsieke faalfrequentie van de installatie, dan wordt het indirect risico als niet significant beschouwd. Hierbij dient rekening gehouden te worden met de toepasbaarheid van deze regel, zoals beschreven in de §5.4.1.1.

Indien blijkt dat de treffrequentie voor de installatie met Sevesostoffen 10% of meer bedraagt van de intrinsieke faalfrequentie van de installatie, dan wordt het indirect risico wel relevant geacht in het kader van de faalfrequentie benadering en wordt dit verder onderzocht door ofwel het uitvoeren van de effectbenadering ofwel het vergelijken van risicobeelden ofwel het herberekenen van het risicobeeld van de inrichting.

Voor installaties met Sevesostoffen die niet 100% van de tijd aanwezig of in gebruik zijn, wordt voor deze vergelijking noch de treffrequentie noch de intrinsieke faalfrequentie gecorrigeerd met de aanwezigheidsfractie of gebruiksduur (op jaarbasis) van de installatie.



## 5.4.2 Effectbenadering

Bij de effectbenadering wordt gekeken naar het effect dat volgt uit de schade die toegebracht wordt aan de installatie met Sevesostoffen. Voor elke mogelijke faalwijze van de installatie ten gevolge van het falen van de windturbine wordt de maximale 1%-letaliteitsafstand bepaald. Indien het indirect risico bepaald wordt i.h.k.v. de vergunningsaanvraag van een windturbine en indien de maximale 1%-letaliteitsafstand beschikbaar is in het meest recente goedgekeurde of beoordeelde veiligheidsdocument van de inrichting, dan mag deze maximale 1%-letaliteitsafstand gebruikt worden. Anders wordt deze berekend conform het van kracht zijnde Handboek Risicoberekeningen.

Indien de maximale 1%-letaliteitsafstand van de installatie voor geen enkele van de mogelijke faalwijzen buiten de terreinsgrens komt, dan is het indirect risico ten gevolge van de windturbine verwaarloosbaar. Hierbij wordt opgemerkt dat het niet geselecteerd zijn van een installatie op basis van de Nederlandse subselectiemethodiek geen afdoende bewijs is dat de 1%-letaliteitsafstand niet tot buiten de terreingrens komt.

Indien de 1%-letaliteitsafstand wel tot buiten de terreingrens reikt voor minstens één van de mogelijke faalwijzen, dan zal de aanwezigheid van de windturbine een invloed hebben op de QRA van de inrichting en dan is er sprake van een relevant indirect risico.

- In een veiligheidsdocument voor een inrichting wordt in dit geval verder gegaan met de faalfrequentiebenadering of het herberekenen van het risicobeeld van de inrichting.
- In een aanvullende veiligheidsstudie van een windturbine kan eerst nog de significantie van het indirect risico op de inrichting verder onderzocht worden. Hiervoor wordt nagegaan of de 1%-letaliteitsafstand al dan niet over belangrijke of belangrijk geachte populatie gaat (cfr. de Richtlijn Veiligheidsnota (OMG, 2019c)). Indien de 1%-letaliteitsafstand niet over belangrijke of belangrijk geachte populatie gaat, dan wordt het indirect risico als niet significant beschouwd. Indien de 1%-letaliteitsafstand wel over belangrijke of belangrijk geachte populatie reikt, wordt het indirect risico relevant geacht in het kader van de effectbenadering en wordt dit verder onderzocht door ofwel het vergelijken van de faalfrequenties ofwel het vergelijken van risicobeelden ofwel het herberekenen van het risicobeeld van de inrichting.

*Uit de Richtlijn Veiligheidsnota:*

*“Wordt in elk geval en zonder meer beschouwd als een gebied met belangrijke of belangrijk geachte populatie:*

- een gebied met woonfunctie;*
- een kwetsbare locatie;*
- een door het publiek bezocht gebouw of gebied (incl. recreatiegebied);*

*zoals gedefinieerd in het Besluit van de Vlaamse Regering houdende nadere regels inzake ruimtelijke veiligheidsrapportage, en nader toegelicht in de “Leidraad Aandachtsgebieden”. In alle andere gevallen wordt een geval-per-geval benadering toegepast, ...”*

*Voor de geval-per-geval benadering wordt tijdens de opmaak van de veiligheidsstudie contact opgenomen met het Team Externe Veiligheid.*

### 5.4.3 Risicobenadering

Indien uit voorgaande stappen blijkt dat het indirect risico relevant is, dan kan in een aanvullende veiligheidsstudie voor een windturbine in een tussenstap gekeken worden of het risicobeeld ten gevolge van het indirect risico een invloed gaat hebben op het risicobeeld van de inrichting. Hiervoor wordt een QRA voor de inrichting uitgevoerd, waarbij het toegelaten is om enkel de scenario's die in voorgaande stappen als relevant werden aangeduid, door te rekenen.

Hierbij gelden volgende aandachtspunten:

- De faalfrequentie(verhoging) die hierbij in rekening wordt gebracht is de treffrequentie (wel gecorrigeerd met de aanwezigheidsfractie of gebruiksduur).
- Voor installaties waarbij zowel breuk als volledige uitstroom in 10 minuten als faalwijzen worden beschouwd, wordt de treffrequentie over beide faalwijzen verdeeld, waarbij dezelfde verhouding wordt genomen als bij de generieke faalfrequenties (cfr. (OMG, 2019a)).
- Er wordt uitgegaan van de generieke kansen op ontsteking en explosie uit Module 14 van het van kracht zijnde Handboek Risicoberekeningen.
- De faalfrequentieverhoging en de bijkomende scenario's kunnen in de Vlaamse SelectieMethode (nog in ontwikkeling) gestoken worden. Indien deze scenario's dan niet geselecteerd worden, dan moeten deze niet verder in de QRA meegenomen worden.

Het risicobeeld dat hiermee wordt bekomen, wordt vergeleken met het risicobeeld van de inrichting. Als uit deze vergelijking duidelijk blijkt dat de windturbine geen significante invloed heeft op het risicobeeld, dan kan besloten worden dat de windturbine te verzoenen is met de aanwezigheid van de inrichting. Als deze vergelijking niet overtuigend genoeg is, dan moet het risicobeeld van de inrichting herberekend worden met inbegrip van het indirect risico.



Indien het indirect risico wordt bekeken in het kader van een veiligheidsdocument voor een inrichting, dan kan deze tussenstap niet toegepast worden en wordt direct overgegaan naar de volgende stap, zijnde het herberekenen van het risicobeeld van de inrichting.

## 5.5 HERBEREKENEN RISICOBEEELD INRICHTING

Indien uit voorgaande stappen blijkt dat het indirect risico relevant is, dan wordt dat doorgerekend in de QRA van de inrichting waar de installatie met Sevesostoffen deel van uitmaakt. Dit wordt gedaan ofwel (1) door een faalfrequentieverhoging toe te passen op de reeds doorgerekende faalfrequentie van de installatie ofwel (2) door een extra scenario in de QRA te steken met de berekende (bijkomende) faalfrequentie. Het totale risicobeeld van de inrichting, direct en indirect risico samen, wordt bepaald.

Hierbij gelden dezelfde aandachtspunten als in de vorige paragraaf.

## 5.6 EVALUEREN RISICOBEEELD INRICHTING

Het totale risicobeeld van de inrichting wordt dan getoetst aan de risicocriteria die van toepassing zijn op de inrichting om na te gaan in hoeverre de aanwezigheid van de windturbine te verzoenen is met de aanwezigheid van de inrichting met Sevesostoffen.

# MODULE 6. INDIRECT MENSRISSICO VOOR TRANSPORTLEIDINGEN EN DRUKREDUCEERSTATIONS MET SEVESOSTOFFEN

In de volgende paragrafen wordt aangegeven op welke manier het risico van de transportleidingen en de drukreducerstations met Sevesostoffen ten gevolge van het falen van een windturbine, zijnde het indirect risico, wordt berekend. Voor de andere transportelementen (weg, water, spoor) wordt het indirect risico niet berekend. Dit geldt eveneens voor de rangeerterreinen en containerterminals die geen deel uitmaken van een inrichting, waarvoor een omgevingsvergunning nodig is.

## 6.1 TOEPASSINGSGBIED TRANSPORTLEIDINGEN

Met transportleidingen worden hier de hoofdtransportleidingen bedoeld (DNV, SGS, 2014). Deze zijn beschreven in de Leidraad Aandachtsgebieden (OMG, 2019b). Het kunnen zowel ondergrondse als bovengrondse leidingen zijn.

## 6.2 OVERZICHT METHODIEK

De methode omvat een stapsgewijze aanpak, die vertrekt van een effectenanalyse op basis van de eigenschappen van de windturbine en desgevallend eindigt met een kwantitatieve risicoanalyse waarin tevens de eigenschappen van de transportleiding betrokken worden.

Kort samengevat bestaat de methodiek voor het bepalen van het indirect risico van een windturbine op een transportleiding met Sevesostoffen uit volgende stappen:

1. Inventariseren transportleidingen;
2. Bepalen faalwijzen;
3. Bepalen relevantie voor een drukreducerstation;
4. Uitvoeren kwantitatieve risicoanalyse;
5. Evalueren risico.

Deze stappen worden hieronder een voor een beschreven. Waar nodig wordt een onderscheid gemaakt tussen bovengrondse en ondergrondse transportleidingen. Vermits drukreducerstations zijn opgebouwd uit ondergrondse en bovengrondse leidingen worden de werkwijzes voor beide transportelementen gecombineerd om het indirect risico voor een drukreducerstation te kennen.

Opgelet, voor ondergrondse transportleidingen geldt dat, ongeacht het resultaat van de kwantitatieve risicoanalyse, de afstand tussen de as van de windturbinemast en de as van de leiding minimaal 25 m dient te bedragen. De leiding moet eveneens minstens 10 m buiten de fundering van de windturbine liggen.



## 6.3 INVENTARISEREN TRANSPORTLEIDINGEN

Het inventariseren van de transportleidingen gebeurt op dezelfde manier als het inventariseren van de leidingen op een inrichting (zie §5.2), waarbij een onderscheid wordt gemaakt tussen de ondergrondse en bovengrondse transportleidingen. Voor drukreducerstations wordt de werkwijze voor bovengrondse installaties gehanteerd.

## 6.4 BEPALEN FAALWIJZEN

Voor ondergrondse transportleidingen worden de schadeafstanden bepaald zoals voor ondergrondse leidingen op een inrichting (zie §5.3.2). De segmenten binnen de schadeafstand voor breuk van de leiding worden gekoppeld aan het Maximum Credible Accident (MACA) scenario uit (DNV, SGS, 2014) en de segmenten binnen de schadeafstand voor lek van de leiding aan het Most Credible Accident (MOCA) scenario uit (DNV, SGS, 2014).

Voor bovengrondse transportleidingen worden de begrippen “grote schade” en “kleine schade” op dezelfde manier gehanteerd als voor bovengrondse leidingen op een inrichting (zie §5.3.1). De faalwijze “grote schade” wordt gekoppeld aan het MACA-scenario uit (DNV, SGS, 2014) en de faalwijze “kleine schade” aan het MOCA-scenario.

## 6.5 BEPALEN RELEVANTIE VOOR EEN DRUKREDUCEERSTATION

Voor een drukreducerstation kan de faalfrequentie benadering uit §5.4.1 toegepast worden. Een drukreducerstation kan beschouwd worden als een bovengrondse installatie. Voor het bepalen van de treffrequentie wordt verondersteld dat de volledige installatie in een denkbeeldig gebouw staat en wordt de treffrequentie voor dat gebouw berekend (cfr. §10.1.4). De intrinsieke faalfrequentie voor het drukreducerstation wordt gelijkgesteld aan de som van de intrinsieke faalfrequenties van de installaties en leidingen behorende tot het drukreducerstation. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van de faalfrequentie horende bij het MACA- of MOCA-scenario.

## 6.6 UITVOEREN KWANTITATIEVE RISICOANALYSE

Bij het uitvoeren van een kwantitatieve risicoanalyse wordt het indirect risico van de windturbine op de ondergrondse leiding bepaald en geëvalueerd. De directe risico's van de leiding en de windturbine worden niet meegenomen in deze risicoanalyse.

In het onderzoeksproject (DNV, SGS, 2014) is een methode opgesteld voor de berekening en de weergave van het externe mensrisico voor transport van Sevesostoffen en dus ook voor transportleidingen. Deze methodiek wordt gehanteerd voor het berekenen van het risico van de getroffen transportleiding. In een eerste stap wordt de leiding onderverdeeld in segmenten van 10 m.





Het volgens deze methode berekende externe mensrisico kan beschouwd worden als een groepsrisico. Zo wordt voor een segment van een leiding het aantal dodelijke slachtoffers in de omgeving berekend ten gevolge van de twee representatieve faalwijzen van de leiding.

Meer bepaald zal voor alle segmenten van de leiding (met een lengte van 10 m) die mogelijks falen als het gevolg van een impact van een fragment van de windturbine op de grond, het aantal dodelijke slachtoffers bepaald worden voor de twee representatieve faalwijzen van de leiding. Daarnaast zal voor elk van de mogelijks getroffen segmenten en voor de twee representatieve faalwijzen de faalfrequentieverhoging ten gevolge van een mogelijke impact van de windturbine bepaald worden.

Ten slotte zal op basis van de combinatie van het aantal dodelijke slachtoffers en de bijhorende faalfrequentie het groepsrisico als gevolg van een indirect risico van de windturbine op de ondergrondse leiding bepaald en geëvalueerd worden.

### 6.6.1 Faalfrequentieverhoging

De faalfrequentieverhoging wordt op een verschillende manier berekend voor de ondergrondse en de bovengrondse leidingen.

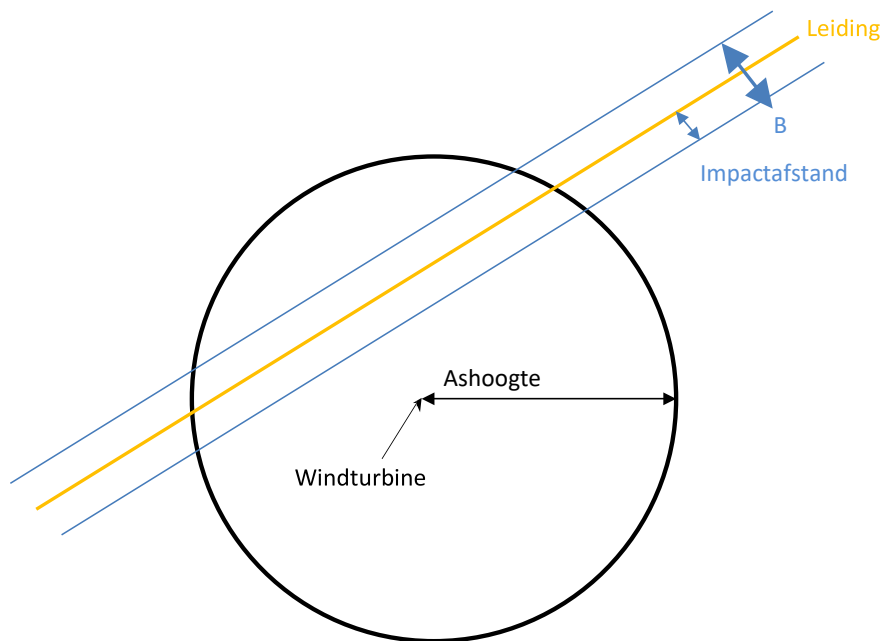
#### 6.6.1.1 Ondergrondse leidingen

De faalfrequentieverhoging wordt bepaald voor alle segmenten van de leiding met een lengte van 10 m die falen als het gevolg van een impact van een fragment van de windturbine op de grond. Een impact leidt tot het falen van de leiding, indien de impact gesitueerd is binnen een strook rond de leiding, waarvan de breedte  $B$  als volgt bepaald wordt door de impactafstand  $r_{\text{impact}}$  en de diepteligging  $z_{\text{leiding}}$  (waarbij abstractie wordt gemaakt van de diameter van de leiding):

$$B \cong 2 \cdot \sqrt{r_{\text{impact}}^2 - z_{\text{leiding}}^2}$$

Hierbij kan rekening gehouden worden met de diepteligging van de leiding. Indien de leiding zich slechts enkele meters (bv. 2 m) onder het maaiveld bevindt, kan evenwel abstractie gemaakt worden van de diepteligging en kan de breedte van de strook gelijkgesteld worden aan tweemaal de impactafstand (zie Figuur 6-1).





Figuur 6-1: Impactzone rond leiding bij mastbreuk (blauwe zone)

Teneinde de faalfrequentieverhoging te bepalen, wordt voor elke impactlocatie die tot het falen van de ondergrondse leiding leidt (i.e. gelegen binnen de impactzone) bepaald

1. wat de impactfrequentie is, en
2. welk segment van de leiding faalt ten gevolge van de impact.

Dit wordt hieronder uitgelegd.

#### 6.6.1.1.1 Impactfrequentie

De impactkans is de kans dat het fragment op de grond inslaat op een bepaalde (impact)locatie en wordt gegeven door een getal tussen 0 en 1. Voor de verschillende relevante faalwijzen van de windturbine wordt hieronder de impactkans weergegeven:

- Mastbreuk boven het maaiveld: de impact van de gondel en de rotor vindt plaats op een afstand van de windturbine gelijk aan de ashoogte van de windturbine verminderd met de hoogte waarop de mast breekt. De kans dat de gondel binnen een bepaalde oppervlakte op de grond inslaat, is evenredig met de beschouwde oppervlakte A, zijnde de impactzone rond het beschouwde segment met een lengte van 10 m (= B · (10 + B)), en is gelijk aan

$$\frac{A}{\pi \cdot (H_m - \text{faalhoogte})^2}$$



- Mastbreuk aan de voet: de impact van de gondel en de rotor vindt plaats op een afstand van de windturbine gelijk aan de ashoogte van de windturbine. De impactlocaties bevinden zich bijgevolg op een cirkel. Voor een bepaalde lengte van een cirkelboog is de kans op impact bijgevolg gelijk aan de lengte van de cirkelboog gedeeld door de omtrek van de cirkel.
- Gondelbreuk: de impact van de gondel en de rotor vindt plaats op een afstand van de mast van de windturbine gelijk aan de helft van de grootste dimensie van de gondel. De impactlocaties bevinden zich bijgevolg op een cirkel. Voor een bepaalde lengte van een cirkelboog is de kans op impact bijgevolg gelijk aan de lengte van de cirkelboog gedeeld door de omtrek van de cirkel.

Om hieruit de impactfrequentie te berekenen wordt de impactkans vermenigvuldigd met de faalfrequentie van de windturbine. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van de faalwijzen en faalfrequenties uit Module 1, waarbij de faalfrequentie voor mastbreuk kan verlaagd worden, zoals daar is aangegeven.

#### 6.6.1.1.2 Segment

Door elke mogelijke impactlocatie met bijhorende impactfrequentie te koppelen met een of meerdere segmenten van de leiding, kan de faalfrequentie(verhoging) van een segment berekend worden.

Hoe deze koppeling dient te gebeuren is niet gespecificeerd in de methode. Er worden twee mogelijke werkwijzen gehanteerd: één waarin verondersteld wordt dat alle segmenten die zich binnen de impactafstand van de impactlocatie bevinden met een gewogen kans (tussen 0 en 1) kunnen falen en één waarin verondersteld wordt dat steeds (met een kans gelijk aan 1) het segment dat zich het dichtst bij de impactlocatie bevindt faalt. De resultaten van deze twee werkwijzen zijn nagenoeg dezelfde.

#### 6.6.1.2 Bovengrondse leidingen

Voor bovengrondse leidingen geldt dat de faalfrequentieverhoging op dezelfde manier als voor de bovengrondse leidingen op een inrichting wordt bepaald, met name door het berekenen van de treffrequentie voor bovengrondse leidingen (cfr. §10.1.5). Ook deze frequentie moet gekoppeld worden met een segment, zoals bij de ondergrondse transportleidingen (cfr. §6.6.1.1.2).

### 6.6.2 Aantal dodelijke slachtoffers en groepsrisico

In (DNV, SGS, 2014) is beschreven wat de representatieve scenario's voor de transportleiding zijn, welke vervolgekansen hieraan gekoppeld worden, wat de effectafstanden zijn en hoe het aantal dodelijke slachtoffers bepaald wordt. Deze aspecten worden overeenkomstig dit document uitgevoerd.

Opgelet, indien het neerkomen van een fragment van een windturbine op een bepaalde locatie meerdere leidingen gelijktijdig kan doen falen, wordt uitgegaan van het falen van de leiding die gekenmerkt wordt door de grootste effectafstanden.

De combinatie van het aantal dodelijke slachtoffers  $N$  en de bijhorende faalfrequentie  $f$  voor de leiding, waarbij deze faalfrequentie gelijkgesteld wordt aan de hoger bepaalde faalfrequentieverhoging (aangezien enkel met het indirect risico wordt rekening gehouden), leidt tot verschillende  $fN$ -koppels, die samen een groepsrisicocurve vormen. De manier waarop deze wordt samengesteld is ook beschreven in (DNV, SGS,



2014). Indien in de bepaling van het aantal dodelijke slachtoffers een onderscheid is gemaakt op basis van het specifieke tijdstip, dient dit uiteraard in rekening gebracht te worden in de bepaling van de faalfrequentie voor de leiding.

## 6.7 EVALUEREN RISICO

De resultaten van deze berekening worden dan getoetst aan de risicocriteria die van toepassing zijn om na te gaan in hoeverre de aanwezigheid van de windturbine te verzoenen is met de omgeving.

## MODULE 7. RISICO TEN GEVOLGE VAN IJSWORP EN IJSVAL

Faalscenario's zoals ijsval of ijsworp worden niet in rekening gebracht bij het bepalen van de directe of indirecte risico's van een windturbine. De scenario's en de maatregelen om deze te voorkomen en de gevolgen te beperken worden wel kwalitatief beschreven in het veiligheidsdocument.

Voor het scenario ijsworp volstaat het om aan te geven dat de windturbine over een ijsdetectiesysteem beschikt, zodat de windturbine wordt stilgezet bij gevaar voor ijsworp.

Voor het scenario ijsval worden de specifieke maatregelen (vb. afsluiten weg, parallel zetten van wieken op dagen met mogelijke ijsvorming) genoteerd. Ijsval moet niet meegenomen worden in de berekening van het direct of indirect risico.

ODE/VWEA is bezig met het uitwerken van een methodiek voor het berekenen van de effectafstand voor ijsval. In afwachting van deze methodiek dienen er geen effectafstanden voor ijsval te worden berekend of opgenomen in de veiligheidsstudies. Op het moment dat deze beschikbaar wordt gesteld zal bekeken worden op welke wijze deze hier overgenomen kan worden. Streefdatum voor het uitwerken van de methodiek is 1/01/2020.



## MODULE 8. MILIEURISICOANALYSE VOOR INSTALLATIES MET SEVESOSTOFFEN OP EEN INRICHTING

De milieurisicoanalyse is een kwalitatieve risicoanalyse van mogelijke vrijzettingen van Sevesostoffen bij zware ongevallen die schade aan het milieu (kunnen) teweegbrengen. Indien een windturbine in de buurt van een inrichting met Sevesostoffen aanwezig is of wordt ingepland, dan wordt het indirect milieurisico voor de inrichting bestudeerd. Voor de windturbine zelf dient geen milieurisicoanalyse uitgevoerd te worden.

In een aanvullende veiligheidsstudie voor een windturbine wordt hiervoor minstens gekeken naar inkuipingen en installaties met Sevesostoffen binnen de effectafstand tot het zwaartepunt van het blad voor mastbreuk en gondelbreuk. Een kwalitatieve analyse wordt uitgevoerd.

In een veiligheidsdocument voor een inrichting met Sevesostoffen wordt de methodiek beschreven in het Handboek Risicoberekeningen (OMG, 2019a) gevolgd. In een hieraan voorafgaande stap wordt bepaald welke installaties kunnen getroffen worden door de windturbine. Dit gebeurt op dezelfde manier als voor het bepalen van het indirect risico.



## MODULE 9. VERSIEBEHEER

Datum	Versie	Voornaamste aanpassingen
1/04/2019	1.0	1 <sup>e</sup> versie
1/10/2019	1.1	Aanpassing “Inleiding” aan inwerkingtreding van het volledige instrumentarium windturbines en externe veiligheid op 1/01/2020



## MODULE 10. BIJLAGEN

### 10.1 BIJLAGE 1: BEREKENING TREFFFREQUENTIE WINDTURBINES

De treffrequentie wordt bepaald door enerzijds de faalfrequentie van de windturbine en anderzijds een ruimtelijke kansverdeling, de locatie en de grootte van de getroffen installatie. De formules worden hieronder weergegeven voor zowel personen als installaties. Deze zijn gebaseerd op deze uit het Handboek Risicozonering Windturbines van Nederland, versie 3.1 (DNV GL, 2014) en gaan uit van een windturbine met 3 wieken en een horizontale as. Voor andere types windturbines zijn de hier opgegeven formules niet van toepassing.

Voor het bepalen van de treffrequentie voor bladbreuk wordt gebruik gemaakt van de kans op inslag van het zwaartepunt van het afgebroken blad. Deze wordt hieronder eerst beschreven. Daarna worden de formules gegeven voor de treffrequentie voor personen, voor bovengrondse installaties en voor bovengrondse leidingen.

#### 10.1.1 Alternatieve berekeningsmethoden

Als alternatief voor de formules waarin treffrequenties op basis van oppervlakten berekend worden, is het ook toegelaten om deze te berekenen gebruik makend van een kaart (OMG/GOP, 2018a). In het veiligheidsdocument wordt de wijze waarop de berekeningen gebeuren steeds duidelijk aangegeven.

Voor een aantal aspecten zijn de originele meer complexe formules vereenvoudigd aan de hand van een aantal aannames. Een voorbeeld hiervan zijn de formules voor de treffrequentie voor bovengrondse installaties in §10.1.4.1 waarbij wordt aangenomen dat  $p_{z_{wpt}}$  constant is over de te beschouwen afstand om de originele integraal te kunnen vereenvoudigen. In dergelijke gevallen is het ook toegelaten om de originele formule numeriek te berekenen.

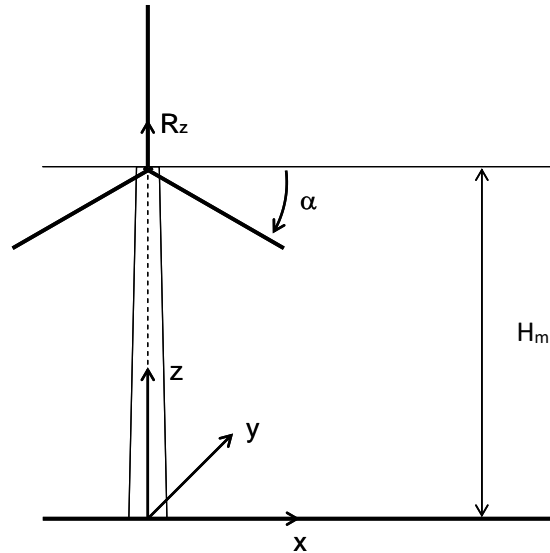
In beide gevallen wordt in het veiligheidsdocument steeds duidelijk aangegeven op welke manier de berekeningen zijn gebeurd.

#### 10.1.2 Werpafstand en kans op inslag van het zwaartepunt van het blad

De werpafstand en de kans op inslag van het zwaartepunt wordt berekend met het klassieke kogelbaanmodel, waarbij de luchtkrachten op het blad worden verwaarloosd (zie (DNV GL, 2014), bijlage C.1). De relevante parameters, het gehanteerde assenstelsel en de draairichting worden aangegeven in Figuur 10-1. Het gebruik van andere modellen is niet toegelaten.







Figuur 10-1: Overzicht parameters in het kogelbaanmodel

### 10.1.2.1 Werpafstand

De afgelegde afstand  $r$  voor een bepaald toerental als functie van de azimuthhoek  $\alpha$  ten tijde van bladbreuk wordt gegeven door

$$r = h(\alpha; \Omega) = R_z \cdot \cos \alpha - \Omega \cdot R_z \cdot t \cdot \sin \alpha$$

Het tijdstip waarop het zwaartepunt de grond raakt wordt gegeven door

$$t = -\frac{\Omega \cdot R_z \cdot \cos \alpha}{g} + \sqrt{\frac{2}{g} \cdot \left( H - R_z \cdot \sin \alpha + \frac{\Omega^2 \cdot R_z^2 \cdot (\cos \alpha)^2}{2 \cdot g} \right)}$$

### 10.1.2.2 Kans op inslag van het zwaartepunt

De kansverdelingsfunctie  $f_{zwpt}$  geeft de kans per  $m^2$  dat het zwaartepunt op een bepaalde plek terecht komt gegeven bladbreuk. De kans dat het zwaartepunt van het blad op een afstand  $r$  van de turbine terecht komt is gegeven door

$$f_R(r; \Omega) = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{d}{dr} h^{-1}(r; \Omega)$$

De kansverdelingsfunctie is gelijk aan

$$f_{zwpt}(r; \Omega) = \frac{1}{2\pi \cdot r} \cdot f_R(r; \Omega)$$

Voor de berekening van de kans op inslag moet deze kansverdelingsfunctie nog worden gecombineerd met de kans dat een blad afbreekt. In de berekeningen met het kogelbaanmodel wordt de kans op bladbreuk



gedefinieerd voor twee situaties, nl. normaal bedrijf (nominaal toerental) en overtoeren (2 x nominaal toerental), zodat de kans op inslag voor dit model geschreven kan worden als

$$p_{zwpt}(x, y) = \sum_{i=1}^2 f_{zwpt}(r; \Omega_i) \cdot P_{b,i}$$

### 10.1.3 Treffrequentie voor personen

Voor de berekening van het plaatsgebonden risico wordt een persoon beschouwd die permanent en onbeschermd aanwezig is.

#### 10.1.3.1 Bladbreuk

De treffrequentie van een persoon die permanent en onbeschermd aanwezig is op positie (x,y) wordt benaderd door

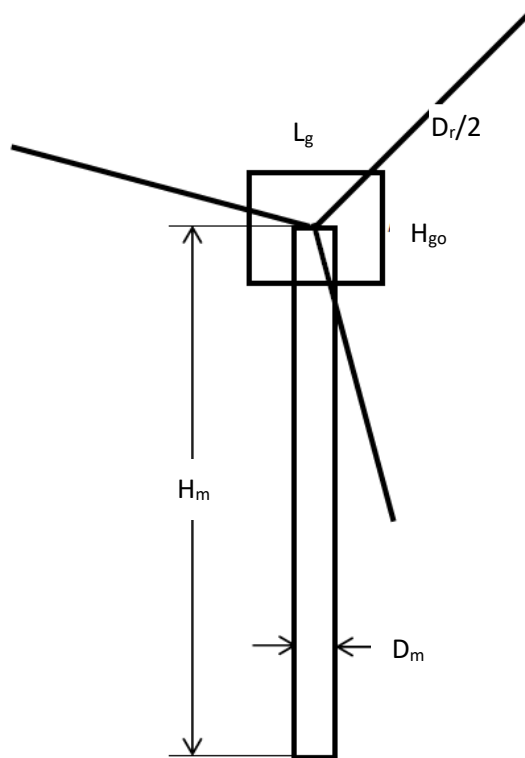
$$P_{tref,persoon}(x, y) = 0,04785 \cdot D_r^{1,81} \cdot p_{zwpt}(x, y)$$

#### 10.1.3.2 Mastbreuk

Om de treffrequentie van een persoon op een bepaalde plaats te berekenen wordt onderscheid gemaakt tussen drie gebieden (zie Figuur 10-2 voor de afmetingen van de windturbine).

1. Een cirkel met straal  $H_m$ , waar de mast terecht kan komen.
2. Een cirkelschijf met binnenstraal  $H_m - H_{go}/2$  en buitenstraal  $H_m + H_{go}/2$ , waar de gondel terecht kan komen.
3. Een cirkelschijf met binnenstraal  $H_m - D_r/2$  en buitenstraal  $H_m + D_r/2$ , waar de rotor terecht kan komen.

Het is duidelijk dat deze gebieden elkaar kunnen overlappen en dat op deze locaties de grootse trefkans bepalend is voor het risico.



Figuur 10-2: Afmetingen windturbine

De frequentie waarmee een persoon op een afstand  $r$  ( $0 < r \leq H_m$ ) van de turbine wordt getroffen door de mast is

$$P_{tref,mast(mast),persoon} = P_{mb} \cdot \frac{D_m}{2 \cdot \pi \cdot r}$$

De frequentie waarmee een persoon in het gebied met  $H_m - H_{go}/2 \leq r \leq H_m + H_{go}/2$  door de gondel wordt getroffen is

$$P_{tref,mast(gondel),persoon} = P_{mb} \cdot \frac{L_g}{2 \cdot \pi \cdot H_m}$$

De frequentie waarmee een persoon in het gebied met  $H_m - D_r/2 \leq r \leq H_m + D_r/2$  door een blad wordt getroffen is afhankelijk van de afstand tot de turbine, maar wordt benaderd door

$$P_{tref,mast(rotor),persoon} = s' \cdot P_{mb} \cdot \frac{D_r}{2 \cdot \pi \cdot H_m}$$

met



$$s' = 3 \cdot \frac{0,029 \cdot D_r^{1,81}}{\pi \cdot \left(\frac{D_r}{2}\right)^2}$$

Bovenstaande formules gelden voor het scenario waarbij de mast breekt aan de voet van de mast (volledig falen).

Aangenomen wordt dat de richting waarin de windturbine bij mastbreuk valt uniform verdeeld is.

### 10.1.3.3 Gondelbreuk

Voor gondelbreuk geldt (Protec Engineering, 2017)

- Indien  $0 < r < H_{go}$ :

$$P_{tref,gondel(gondel),persoon} = P_{gb} \cdot \frac{L_g}{\pi \cdot H_{go}}$$

- Indien  $H_{go} < r < D_r/2$ :

$$P_{tref,gondel(rotor),persoon} = s' \cdot P_{gb}$$

Voor  $s'$  wordt dezelfde formule als in §10.1.3.2 gebruikt.

Aangenomen wordt dat de richting waarin de gondel bij gondelbreuk valt uniform verdeeld is.

## 10.1.4 Treffrequentie voor bovengrondse installaties (uitgezonderd leidingen)

Met bovengrondse installaties worden ook andere objecten, zoals gebouwen en magazijnen, bedoeld. In de tekst hieronder wordt meestal uitgegaan van het begrip “object”.

### 10.1.4.1 Bladbreuk

Karakteristiek voor een object is dat het een zekere niet te verwaarlozen hoogte heeft. Er moet in principe rekening worden gehouden met het feit dat een blad de gevel of het dak kan raken. In de algemene aanpak voor het berekenen van de treffrequentie bij bladbreuk wordt rekening gehouden met de hoogte van het object. Deze aanpak is uitgewerkt in §10.1.4.1.3 en is altijd bruikbaar.

In de vereenvoudigde aanpak wordt geen rekening gehouden met de hoogte van het object. Het gebruik van de vereenvoudigde aanpak, zoals beschreven in §10.1.4.1.2, is afhankelijk van de verhouding tussen de diepte  $d$  en de hoogte  $h$  van het object en tevens van de afstand  $r'$  tussen object en windturbine in relatie tot de maximale werpafstand  $R_{max}$ . Om te bepalen of de vereenvoudigde aanpak mag gebruikt worden, wordt volgende berekening gemaakt.

$$10 \cdot d \cdot \frac{r'^2}{R_{max}^2}$$

Wanneer de hoogte van het object groter is dan het resultaat van deze berekening, dan is enkel de algemene aanpak toegelaten. Wanneer de hoogte kleiner is dan of gelijk is aan het resultaat van deze berekening, dan is het gebruik van de vereenvoudigde aanpak toegelaten.



#### 10.1.4.1.1 Algemeen

Bij bladbreuk breekt het blad en wordt het als geheel afgeworpen. Breuk van een gedeelte van het blad wordt niet beschouwd. Bij bladbreuk worden 2 frequenties bepaald:

- De treffrequentie voor directe impact waarbij het object getroffen wordt door het zwaartepunt van het blad;
- De treffrequentie voor indirecte impact, wanneer het stuk blad het object indirect treft. Dit kan gebeuren indien het zwaartepunt van het blad valt binnen een afstand gelijk aan  $L_b$  verminderd met  $R_z$ .

In de methode wordt uitgegaan van een rechthoekig object. Indien het object een andere vorm heeft, wordt deze eerst omgevormd tot een rechthoek. Zo wordt bv. een ronde tank omgevormd tot een vierkant waarbij de lengte van de zijden gelijk is aan de diameter van de tank.

#### 10.1.4.1.2 Vereenvoudigde aanpak

De treffrequentie voor directe impact door bladbreuk wordt berekend met

$$P_{tref,blad,direct,installatie} = p_{zwpt} \cdot (b + h) \cdot (d + h)$$

De treffrequentie voor indirecte impact door bladbreuk wordt berekend met

$$P_{tref,blad,indirect,installatie} = p_{zwpt} \cdot \left[ (b + d) \cdot (L_b - R_z) + \frac{\pi}{2} \cdot (L_b - R_z)^2 \right]$$

De totale frequentie dat het object wordt geraakt is de som van beide.

De waarde voor de parameter  $p_{zwpt}$  wordt bepaald door een strook met breedte  $L_b - R_z$  rond het object te tekenen en door de afstand van de windturbine tot het dichtstbijzijnde punt van die strook en de afstand van de windturbine tot de meest afgelegen gevel van het object te bepalen. Voor deze afstanden en voor elk punt tussenin wordt de waarde van  $p_{zwpt}$  berekend. In bovenstaande formules wordt de gemiddelde waarde van al deze punten ingevuld.

#### 10.1.4.1.3 Algemene aanpak

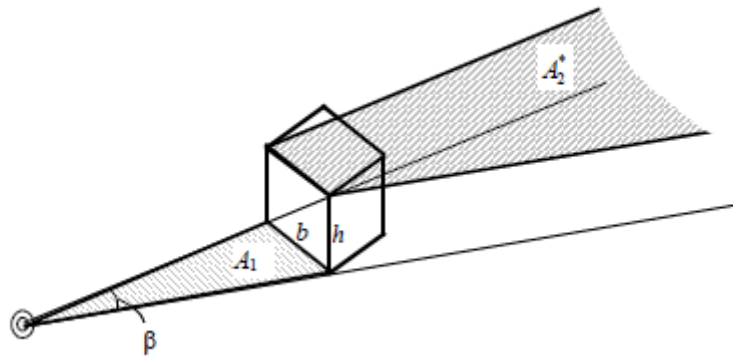
In de algemene aanpak wordt rekening gehouden met de hoogte van het object en met het feit dat een blad de gevel of het dak kan raken, direct of indirect.

##### 10.1.4.1.3.1 Treffrequentie gevel

De treffrequentie voor directe impact door bladbreuk op de gevel van het gebouw wordt berekend met

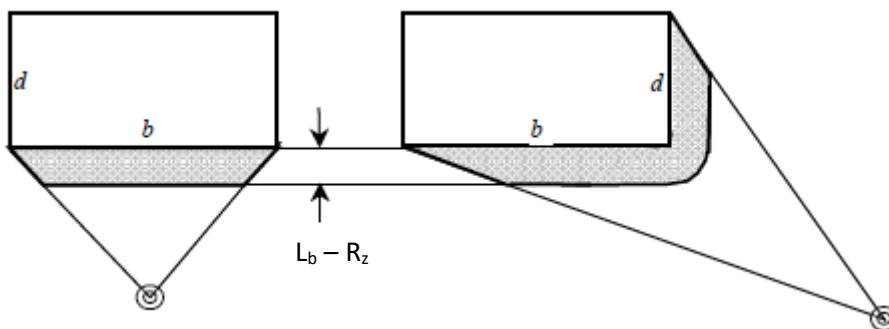
$$P_{tref,blad,direct,installatie} = \left[ \int_{A_1} p_{zwpt}^h \cdot dA - \int_{A_1} p_{zwpt} \cdot dA \right]$$

De oppervlakte  $A_1$  is weergegeven op Figuur 10-3.



Figuur 10-3: Overzicht parameters voor berekening treffrequentie gevel (directe impact) (niet alle parameters zijn gebruikt in de tekst)

De situatie dat een blad voor de gevel op de grond terecht komt en de gevel nog kan treffen, is geschetst in Figuur 10-4. Afhankelijk van de positie van de windturbine ten opzichte van het gebouw kunnen er zowel één als twee gevels getroffen worden.



Figuur 10-4: Effectief oppervlak voor treffrequentie gevel (indirecte impact)

De treffrequentie voor indirecte impact door bladbreuk op de gevel van het gebouw wordt als volgt berekend.

- Als er twee gevels te beschouwen zijn:

$$P_{tref,blad,indirect,installatie} = p_{zwpt} \cdot (b + d) \cdot \frac{(L_b - R_z)}{2}$$

- Als er één gevel te beschouwen is:

$$P_{tref,blad,indirect,installatie} = p_{zwpt} \cdot b \cdot \frac{(L_b - R_z)}{2}$$



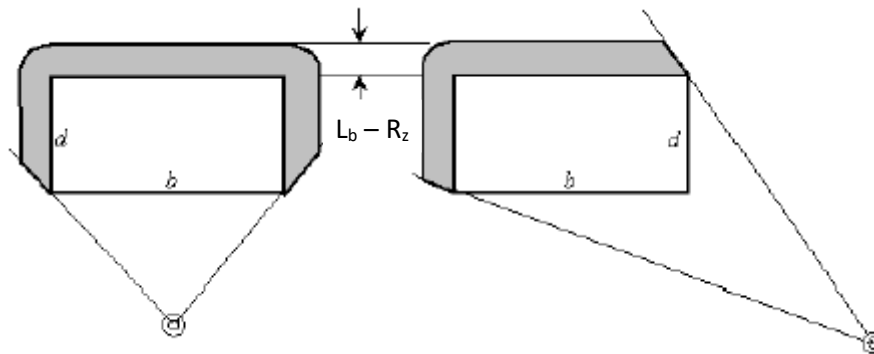
De waarde voor de parameter  $p_{zwpt}$  wordt bepaald zoals bij de vereenvoudigde aanpak.

#### 10.1.4.1.3.2 Treffrequentie dak

De treffrequentie voor directe impact door bladbreuk op het dak van het gebouw wordt berekend met

$$P_{tref,blad,direct,installatie} = p_{zwpt}^h \cdot A_d$$

De situatie dat het dak wordt getroffen als het zwaartepunt van het blad in een strook met breedte  $L_b$  verminderd met  $R_z$  achter het dak terechtkomt, is geschetst in Figuur 10-5. Afhankelijk van de positie van de windturbine ten opzichte van het gebouw kunnen twee of drie stroken, zowel langs de achtergevel als langs één of twee zijgevels, moeten worden beschouwd.



Figuur 10-5: Effectief oppervlak voor treffrequentie dak (indirecte impact)

De treffrequentie voor indirecte impact door bladbreuk op het dak van het gebouw wordt als volgt berekend.

- Als er drie stroken te beschouwen zijn:

$$P_{tref,blad,indirect,installatie} = p_{zwpt}^h \cdot (b + 2d) \cdot \frac{(L_b - R_z)}{2}$$

- Als er twee stroken te beschouwen zijn:

$$P_{tref,blad,indirect,installatie} = p_{zwpt}^h \cdot (b + d) \cdot \frac{(L_b - R_z)}{2}$$

#### 10.1.4.1.3.3 Totale treffrequentie

De totale frequentie dat het gebouw wordt geraakt is de som van de directe en indirecte treffrequenties voor het treffen van het dak en van de gevel.

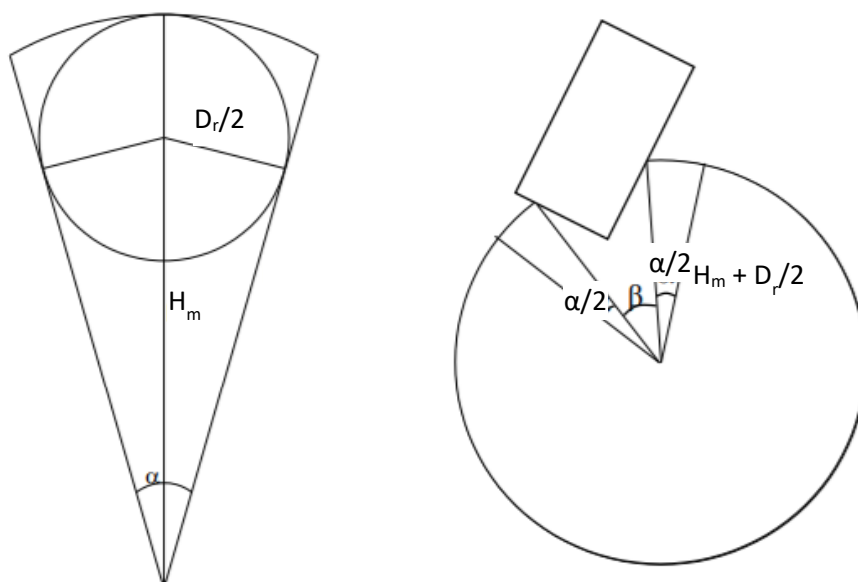
#### 10.1.4.2 Mastbreuk

De treffrequentie voor mastbreuk wordt berekend met



$$P_{tref,mast,installatie} = P_{mb} \cdot \frac{1}{2\pi} \cdot \left[ \beta + 2 \cdot \frac{\alpha}{2} \right]$$

Hierbij wordt meestal uitgegaan van het modelleren van de windturbine als cirkelsegment met straal gelijk aan  $H_m + D_r/2$  en hoek  $\alpha$  gelijk aan  $2 \cdot \sin^{-1} \left( \frac{D_r}{2H_m} \right)$ , zoals voorgesteld in Figuur 10-6. In de veiligheidsdocumenten wordt de numerieke waarde van de hoeken vermeld en wordt aangegeven op welke manier deze werden bepaald. Indien niet de afstand tot de tip van het blad en enkel de afstand tot het zwaartepunt van het blad van belang is (vb. bij het berekenen van het groepsrisico voor personen in een gebouw), dan wordt  $D_r/2$  in de formules vervangen door  $R_z$ .



Figuur 10-6: Modellering van de windturbine als cirkelsegment en schematisch overzicht van de turbine met een installatie binnen het effectgebied

Er wordt aangenomen dat de richting waarin de windturbine bij mastbreuk valt uniform verdeeld is.

### 10.1.4.3 Gondelbreuk

De treffrequentie voor gondelbreuk wordt berekend met (Protec Engineering, 2017)

$$P_{tref,gondel,installatie} = P_{gb} \cdot \frac{1}{2\pi} \cdot \min \left[ 6 \cdot \cos^{-1} \left( \frac{r'}{D_r/2} \right); 6 \cdot \tan^{-1} \left( \frac{b'}{2 \cdot r'} \right) \right]$$

Voor de breedte van het blad wordt een waarde genomen die karakteristiek is voor de bladbreedte op een afstand  $r'$ , in relatie tot de werkelijke geometrie van het blad. In het veiligheidsdocument wordt de





numerieke waarde van de bladbreedte weergegeven en wordt aangeven op welke manier deze werd bepaald.

Aangenomen wordt dat de richting waarin de gondel bij gondelbreuk valt uniform verdeeld is.

### 10.1.5 Treffrequentie voor bovengrondse leidingen

In onderstaande paragrafen wordt de trefkansberekening beschreven voor de indirecte risico's voor transportleidingen.

#### 10.1.5.1 Bladbreuk

De treffrequentie voor bovengrondse leidingen ten gevolge van bladbreuk wordt als volgt berekend

$$P_{tref,blad,leiding} = (D_l + L_b - R_z) \cdot \int p_{zwpt}(s) \cdot ds$$

#### 10.1.5.2 Mastbreuk

De treffrequentie voor bovengrondse leidingen ten gevolge van mastbreuk wordt als volgt berekend

$$P_{tref,mast,leiding} = P_{mb} \cdot \frac{1}{2\pi} \cdot \left[ 2 \cdot \cos^{-1} \left( \frac{r'}{H_m + \frac{D_r}{2}} \right) + 2 \cdot \sin^{-1} \left( \frac{\frac{D_r}{2}}{H_m} \right) \right]$$

Aangenomen wordt dat de richting waarin de windturbine bij mastbreuk valt uniform verdeeld is.

#### 10.1.5.3 Gondelbreuk

De treffrequentie voor bovengrondse leidingen ten gevolge van gondelbreuk wordt berekend met dezelfde formule als voor bovengrondse installaties (cfr. §10.1.4.3), waarbij de bovengrondse leiding beschouwd wordt als een bovengronds object met een breedte gelijk aan de lengte van de leiding binnen de effectzone, een diepte gelijk aan de diameter van de leiding en een hoogte gelijk aan de diameter van de leiding vermeerderd met de hoogteligging van de leiding t.o.v. het maaiveld.

Aangenomen wordt dat de richting waarin de gondel bij gondelbreuk valt uniform verdeeld is.



## 10.2 BIJLAGE 2: ACHTERGRONDINFORMATIE

Hieronder wordt achtergrondinformatie gegeven bij de aspecten uit het Handboek Windturbines die extra verduidelijking nodig hebben. Hierbij wordt regelmatig verwezen naar het overleg met externen op 11 juni 2018 (OMG/GOP, 2018a) en op 17 december 2018 (OMG/GOP, 2018b). Op deze overleggen werd een eerste en respectievelijk tweede ontwerp van dit handboek besproken met vertegenwoordigers van de windenergiesector (VWEA), met vertegenwoordigers van het departement Omgeving (EKG, VEA, GOP) van de Vlaamse overheid en met erkende VR-deskundigen, het Havenbedrijf Antwerpen en Fetrap. In onderling overleg werden daar een aantal zaken afgesproken.

Informatie omtrent de karakteristieken en de berekeningsmethodiek voor het direct risico van de windturbines zelf werd gehaald uit het Handboek Risicozonering Windturbines uit Nederland (DNV GL, 2014). Hieronder worden nog enkele specifieke zaken met betrekking tot de vertaalslag naar Vlaanderen aangehaald. Voor het indirect risico werd een eigen methodiek uitgewerkt, aangezien dit in (DNV GL, 2014) niet is uitgewerkt.

### **Module 1 Toepassingsgebied**

In omgevingsvergunningaanvragen wordt normaliter geen onderscheid gemaakt naargelang het type mast (stalen, hybride of betonnen). Het Handboek Windturbines is wel voor deze 3 type masten van toepassing. En in verdere paragrafen wordt het ook mogelijk gemaakt om daar een onderscheid in te maken.

Het Handboek Windturbines is wel enkel van toepassing voor windturbines met een horizontale as, aangezien de faalwijzen, faalfrequenties en berekeningsformules hier volledig op geënt zijn. Er zijn geen faalwijzen, faalfrequenties of berekeningsformules opgenomen voor windturbines met een verticale as, aangezien verwacht wordt dat deze zodanig klein zijn dat ze niet ingedeeld zijn en dus geen (aanvullende) veiligheidsstudie moeten opmaken. Als er ooit wel een windturbine met verticale as wordt aangevraagd, dan zal de erkende VR-deskundige een eigen beoordeling moeten maken.

### **Module 2 Faalwijzen en faalfrequenties van windturbines**

#### *Generieke faalwijzen en faalfrequenties*

De faalwijzen en faalfrequenties werden gehaald uit de geactualiseerde versie van het Handboek Risicozonering Windturbines, Bijlage A (DNV GL, 2014). In Vlaanderen wordt gewerkt met de verwachtingswaarde en niet met de 95% percentielwaarde zoals in Nederland, naar analogie met de installaties met Sevesostoffen.

#### *Nominaal toerental*

De bepaling van het nominaal toerental werd afgesproken op het overleg van 11 juni 2018. Bij navraag bij een fabrikant blijkt er een statische en dynamische waarde te zijn voor het nominaal toerental en het zou de bedoeling zijn om voor deze berekeningen uit te gaan van de statische waarde en meer bepaald de maximale waarde hiervan bij nominaal vermogen. Deze statische waarde kan immers nog variëren i.f.v. de



windsnelheid, terwijl wel hetzelfde vermogen wordt geleverd. Deze data bestaat, maar moet opgevraagd worden.

#### *Verdere onderverdeling mastbreuk*

Op het overleg met externen werd afgesproken om voor de bepaling van het direct risico in een aanvullende veiligheidsstudie toe te laten om de faalwijze mastbreuk verder op te splitsen o.b.v. de gegevens uit (DNV GL, 2014) en om voor de verschillende types van masten (stalen, hybride en betonnen) ook verschillende faalwijzen en faalfrequenties te gebruiken. Op deze manier is er ook overeenstemming met de wijze van berekenen voor het indirect risico op ondergrondse pijpleidingen (Protec Engineering & SGS, 2015). Voor de bepaling van het indirect risico is de werkwijze met breuk van de mast aan de voet mogelijks niet conservatief. Daarom wordt daarvoor sowieso gerekend met de verdere opsplitsing.

In Nederland wordt voor mastbreuk een onderscheid gemaakt tussen volledig falen van de mast ( $5,0 \cdot 10^{-5}$ /jaar) en knikken van de mast in de bovenste helft ( $0,8 \cdot 10^{-5}$ /jaar). Op het overleg met externen wordt geargumenteed dat in de studie waarop deze cijfers gebaseerd zijn 1 geval "knikken van de mast" werd gevonden en dat dit een deuk in de mast betrof, waardoor de bovenste helft scheef kwam te staan. De mast bleef wel staan. Daarom wordt voorgesteld om dat scenario te negeren en dus uit te gaan van  $5,0 \cdot 10^{-5}$ /jaar voor mastbreuk. De afdeling GOP oordeelt echter dat 1 geval onvoldoende is om de faalfrequenties met zekerheid voor alle gevallen te verlagen en besluit om voor mastbreuk de volledige faalfrequentie van  $5,8 \cdot 10^{-5}$ /jaar te behouden.

In de studie naar ondergrondse leidingen (Protec Engineering & SGS, 2015) wordt wel het cijfer  $5,0 \cdot 10^{-5}$ /jaar gebruikt, omdat de onderdelen van de windturbine niet direct op de grond zullen vallen bij het knikken van de mast en dit scenario dus niet zal leiden tot het falen van een ondergrondse installatie. Voor een ondergrondse installatie kan dus het cijfer  $5,0 \cdot 10^{-5}$ /jaar gebruikt worden, voor een bovengrondse installatie niet.

#### *Hybride en betonnen masten*

In (Protec Engineering & SGS, 2015) wordt voor het stalen mastdeel bij hybride masten uitgegaan van een breuk aan de voet van het stalen gedeelte met een faalfrequentie van  $1,5 \cdot 10^{-5}$ /j naar analogie met (volledig) stalen masten. Er wordt ook aangenomen dat een breuk boven de voet van het stalen gedeelte niet resulteert in een impact, aangezien in de regel de lengte van het betonnen gedeelte groter is dan het stalen gedeelte en ervan uitgegaan wordt dat de stalen wand niet scheurt maar knikt. In het geval van een volledig betonnen mast wordt geen faalfrequentie voor stalen mastdelen meegenomen.

Er zijn echter wel voorbeelden te vinden van ongevallen met windturbines waarbij de mast in verschillende stukken op de grond terechtkomt. Daarom oordeelt de afdeling GOP dat ook voor hybride masten falen in het stalen gedeelte moet aangenomen worden, en dus niet enkel aan de voet van de mast. Het cijfer dat hiervoor gebruikt wordt, wordt gelijkgesteld aan de faalfrequentie voor falen in de bovenste helft van een volledig stalen mast. Aangenomen wordt immers dat de krachten die in de stalen bovenste helft van een windturbine tot falen leiden onafhankelijk zijn van het materiaal van de onderste helft en dus onafhankelijk van het feit of het een volledig stalen of een hybride mast betreft.



Voor de aannames omtrent het betonnen mastdeel wordt verwezen naar (Protec Engineering & SGS, 2015).

#### *Indirect risico*

Voor het bepalen van het indirect risico op ondergrondse leidingen en installaties wordt aangenomen dat mastbreuk in het bovenste stalen mastdeel (knikken) niet relevant is. Aangenomen wordt dat de impact op de grond kleiner zal zijn in vergelijking met faling in het onderste deel van de mast, wanneer de windturbine de grond raakt.

#### *Faalfrequentiereductie*

De windturbinesector is vragende partij voor het toepassen van faalfrequentiereductie, maar op dit moment is er nog te weinig informatie om dit te kunnen toepassen. Dit is dus niet opgenomen in het Handboek Windturbines en kan dus niet toegepast worden.

### **Module 3 Effectafstanden van windturbines**

In tegenstelling tot vroeger werden voor de verschillende faalwijzen 2 soorten effectafstanden ingevoerd, namelijk de effectafstand tot het zwaartepunt van het blad en de effectafstand tot de tip van het blad. Dit is nodig omdat in de methodiek voor het bepalen van het groepsrisico en voor het indirect risico gebruik wordt gemaakt het onderscheid tussen het getroffen worden van de persoon, het gebouw of de installatie door het binnenste deel van het blad (tot het zwaartepunt) of door het buitenste deel van het blad (vanaf het zwaartepunt tot de tip).

In theorie zou bij de effectafstanden ook nog de halve voetdiameter moeten bijgeteld worden. In overleg met de externen (OMG/GOP, 2018a) werd echter besloten om dit niet te doen. De diameter van de windturbine is immers niet altijd op voorhand gekend en het zal ook niet veel verschil geven. Er is eveneens besloten om voor de effectafstanden abstractie te maken van de afmetingen van de gondel.

### **Module 4 Direct risico**

#### **4.1 Berekenen plaatsgebonden risico**

Op het overleg van 11 juni 2018 met alle betrokken externe partijen wordt het volgende besproken en overeengekomen omtrent de bepaling van het plaatsgebonden risico.

De pieken in de grafiek voor het plaatsgebonden risico zijn voornamelijk het gevolg van de vereenvoudiging van het kogelbaanmodel, waarbij wordt aangenomen dat  $p_{z_{wpt}}$  constant is ter hoogte van het object. Dat is immers enkel geldig voor het vlakke deel van de curve en niet voor het deel rond de maximale werpafstand.

Er wordt daarom voorgesteld om de pieken te negeren of af te vlakken en om ze niet te tonen in een veiligheidsdocument (kwestie van perceptie voor de buitenwereld) en enkel de afstanden tot de IRC's op te geven (zonder rekening te houden met de pieken, en waarbij dus het eerste snijpunt uit de grafiek bepalend is).

De berekening kan ook numeriek op een correctere manier gebeuren, maar de meerwaarde hiervan zou zeer beperkt zijn. Op het einde (op de plaats van de piek) gaat het risico dan wel lichtjes stijgen, maar dat is zo goed als verwaarloosbaar.

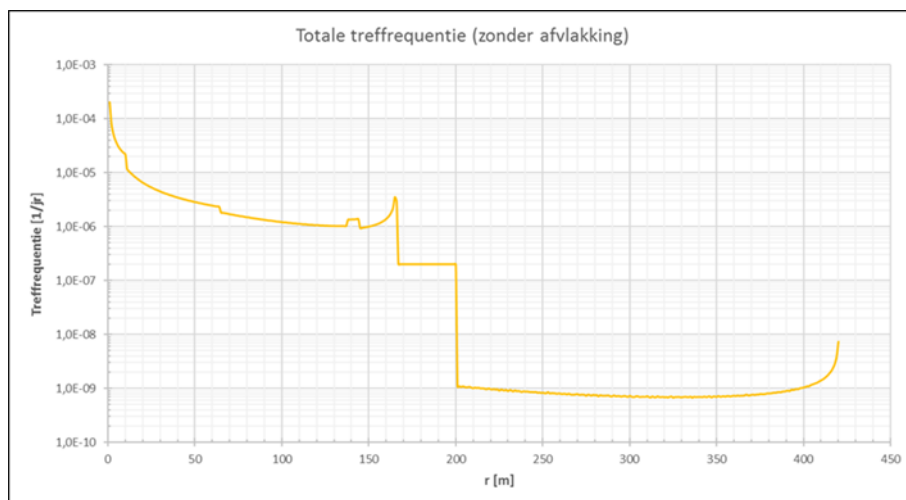


Bovenstaande geldt enkel voor de bepaling van het plaatsgebonden risico, omdat daar enkel de afstand tot de IRC van belang is en deze sterk kan beïnvloed worden door de pieken. Voor de bepaling van het indirect risico wordt wel rekening gehouden met de pieken. Als je daar geen rekening zou houden met de pieken, wordt de totale kans verminderd, hetgeen in dit geval niet correct zou zijn. De pieken worden dan wel uitgemiddeld over de hele oppervlakte van het object. Doordat deze oppervlakte veel groter is dan de oppervlakte van een persoon spelen de pieken hier een veel kleinere rol. Bovendien worden hiervoor geen curves gegeven, maar wordt enkel de kans berekend dat het object wordt getroffen. Ook voor het groepsrisico wordt rekening gehouden met de pieken, naar analogie met het indirect risico.

In (DNV GL, 2014) wordt ook het model met luchtweerstandskrachten vermeld om tegemoet te komen aan het probleem met de pieken, maar niemand is hier voorstander van, omdat dit weer een complexer model is waarbij weer extra parameters en dus extra aannames worden ingevoerd.

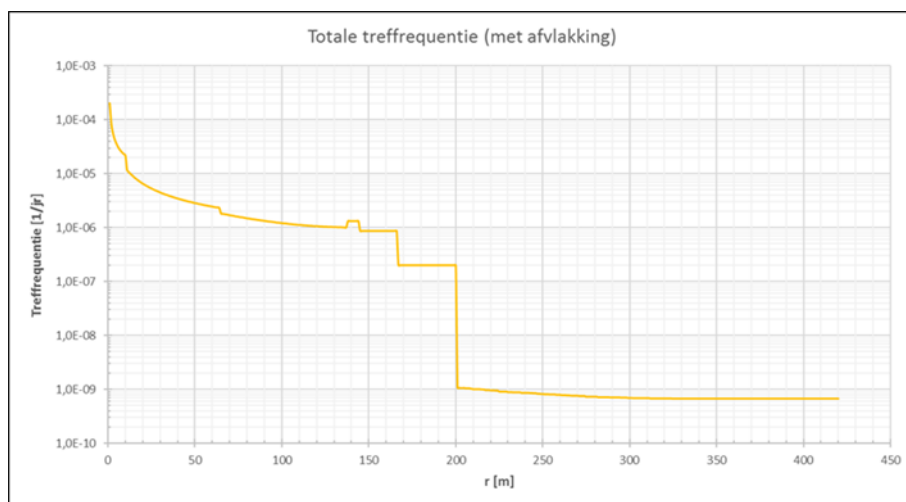
Er wordt dus besloten om geen rekening te houden met de pieken ten gevolge van bladbreuk bij de bepaling van de isorisicocontouren. Op deze manier moet niets aan de modellen of berekeningen zelf aangepast worden. De berekeningen zelf gebeuren zoals beschreven in Bijlage 1 (§10.1). Enkel het aflezen van de afstand tot de IRC's wordt bijgestuurd. De verhoging in de faalfrequentie ten gevolge van gondelbreuk moet wel meegenomen worden.

Dit principe wordt geïllustreerd aan de hand van Figuur 10-7 en Figuur 10-8. In de eerste figuur is de totale treffrequentie (voor bladbreuk, mastbreuk en gondelbreuk samen) getoond i.f.v. de afstand tot de windturbine, waarbij de pieken zijn behouden zoals ze berekend worden met de formules uit Bijlage 1 (§10.1). In de tweede figuur zijn de pieken t.g.v. bladbreuk afgevlakt door een constante waarde aan te nemen voor de treffrequentie t.g.v. bladbreuk van zodra deze waarde begint te stijgen met de formules uit Bijlage 1. Voor het aflezen van het plaatsgebonden risico wordt voor dit voorbeeld uitgegaan van Figuur 10-8.



Figuur 10-7: Totale treffrequentie waarbij de pieken t.g.v. bladbreuk niet zijn afgevlakt





Figuur 10-8: Totale treffrequentie waarbij de pieken t.g.v. bladbreuk wel zijn afgevlakt

Dit is ook in overeenstemming met hetgeen in Nederland gebeurt (NWEA et al, 2018).

## 4.2 Berekenen groepsrisico

### Faalwijzen

Op het overlegmoment met externen (OMG/GOP, 2018b) wordt besloten dat bladbreuk relevant is voor het groepsrisico indien er locaties met een hoge populatiedichtheid zijn in open lucht. Bijgevolg worden ook voor het groepsrisico alle mogelijke faalwijzen van de windturbine in beschouwing genomen.

### Letaliteitspercentage voor personen

Voor het bepalen van de letaliteitspercentages wordt het volgende afgesproken op het overleg van 11 juni 2018.

Voor personen die zich buiten een gebouw bevinden wordt overeengekomen om 100 % letaliteit te veronderstellen als deze getroffen kunnen worden door een falend windturbineonderdeel. Er wordt immers aangenomen dat er onvoldoende tijd is voor de personen om te vluchten en dat deze personen rechtstreeks getroffen worden door het falende windturbineonderdeel.

Voor personen binnen een gebouw wordt gebruik gemaakt van het Groene Boek (VROM, 2005), waaruit blijkt dat 20 tot 50% van de aanwezige personen dodelijk gewond raken, indien een gebouw instort ten gevolge van een aardbeving (en bij uitbreiding een externe explosie). Op basis hiervan wordt overeengekomen dat 50% van de aanwezige personen dodelijk gewond zullen raken, indien een gebouw instort ten gevolge van een impact door de mast, de gondel of de rotor tot aan het zwaartepunt van het blad van een windturbine. Hierbij wordt verondersteld dat het gebouw effectief instort als het zwaartepunt erop terecht komt. Buiten de effectafstand tot het zwaartepunt van het blad wordt een letaliteitspercentage van 0 % overeengekomen.



Veronderstellen dat het volledige gebouw instort als slechts een beperkt deel van het gebouw kan geraakt worden door het zwaartepunt lijkt een brug te ver. Daarom kan nog rekening gehouden worden met het deel van het gebouw dat kan getroffen worden door het zwaartepunt.

Personen moeten zich wel effectief in een “gebouw” bevinden om de 50 % te mogen toepassen. Enkele aspecten van een gebouw zijn duurzaamheid, solide, bouwwerk, toegankelijke overdekte en met wanden omsloten ruimte. Het gaat dus vb. niet over personen in tenten, serres, containers, ... . Voor dergelijke gevallen wordt ervan uitgegaan dat de personen zich buiten bevinden en wordt 100% letaliteit aangenomen.

Er wordt ook overeengekomen om geen onderscheid te maken voor type gebouwen of materialen om het niet te moeilijk te maken. Er is dus enkel een onderscheid tussen “gebouw” en “geen gebouw”.

### **Module 5 Indirect mensrisico voor inrichtingen met Sevesostoffen**

*Indirecte risico's t.g.v. windturbines t.o.v. indirect risico's t.g.v. inrichtingen met Sevesostoffen.*

Voor Seveso-inrichtingen worden ook indirecte risico's beschouwd, zowel met andere Seveso-inrichtingen als met buurbedrijven die geen Seveso-inrichting zijn. De indirecte risico's worden wel enkel kwalitatief bekeken (berekenen schade-afstanden en voorstellen veiligheidsmaatregelen). Hier wordt immers verondersteld dat de faalfrequentieverhoging t.g.v. het indirect risico door andere inrichtingen met Sevesostoffen reeds vervat zit in de generieke faalfrequentie.

De faalfrequentieverhoging door het falen van een windturbine zit echter niet vervat in de generieke faalfrequentie voor de installaties met Sevesostoffen, vermits de periode waarop de generieke faalfrequenties gebaseerd zijn dateert van voor de plaatsing van windturbines. De impact van windturbines op installaties met Sevesostoffen moet dus wel afzonderlijk bekeken worden.

#### *Bovengrondse installaties en leidingen*

Voor bovengrondse installaties en leidingen werd uitgegaan van hetgeen reeds in (SGS, 2007b) was vermeld. Dit werd dan aangepast naar aanleiding van opmerkingen die in de loop van de jaren werden ontvangen en verder uitgewerkt tot een volledig verhaal. De methodiek werd afgestemd tijdens het overleg met externen (OMG/GOP, 2018a). In de volgende paragrafen volgt meer uitleg over de specifieke aspecten.

#### *Ondergrondse leidingen*

In (SGS, 2007b) en (Protec Engineering & SGS, 2015) worden verschillende methoden en aannames gebruikt om het indirect risico van een windturbine op een ondergrondse leiding te berekenen. (SGS, 2007b) is in principe voor de ondergrondse leidingen op een inrichting, terwijl (Protec Engineering & SGS, 2015) voor een ondergrondse transportleiding (buiten een inrichting) opgemaakt is. Maar het is niet logisch om voor beide types ondergrondse leidingen een andere rekenmethodiek te gebruiken. Daarom werd beslist om voor beide dezelfde methodiek te gebruiken en uit te gaan van deze uit (Protec Engineering & SGS, 2015), voor zover mogelijk (OMG/GOP, 2018a).



## Ondergrondse installaties

Het berekenen van het indirect risico op een ondergrondse installatie ten gevolge van het falen van een windturbine is niet (expliciet) opgenomen in (DNV, SGS, 2014) of (SGS, 2007b). Het meest logische zou zijn om een gelijkaardige methode als deze voor de ondergrondse leidingen (o.b.v. trillingen) te gebruiken. Hiervoor is echter de benodigde informatie niet beschikbaar. Een eigen methode voor het inventariseren en voor het bepalen van de faalwijzen van de ondergrondse installaties wordt hieronder in de verschillende paragrafen stap voor stap afgeleid.

### 5.2 Inventariseren installaties

Om de installaties te inventariseren is het de bedoeling om in eerste instantie alle installaties te bekijken en niet enkel deze die al in de QRA werden beschouwd, aangezien installaties die niet geselecteerd waren met de Nederlandse subselectiemethode na de faalfrequentieverhoging wel relevant kunnen worden, terwijl ze het daarvoor niet waren. Als de Vlaamse Selectiemethode eenmaal in gebruik is, kunnen dergelijke installaties daarmee wel weggeselecteerd worden. Eventueel kan voor een aantal duidelijke gevallen gemotiveerd worden waarom het niet hoeft meegenomen te worden (vb. stookolietank).

Enkel warmtewisselaars, pompen, compressoren en magazijnen mogen op voorhand uitgesloten worden, omdat overeengkomen is dat het indirect risico hiervoor niet bepaald wordt (OMG/GOP, 2018a). Voor warmtewisselaars, pompen en compressoren was er snel een akkoord, omdat deze zelden of nooit het risicobeeld van een inrichting bepalen en niet verwacht wordt dat dit gaat veranderen na plaatsing van een windturbine in de nabijheid. Voor magazijnen is het wat ingewikkelder. De grote vraag is wat er gaat gebeuren als een windturbineonderdeel op een magazijn valt. Volledig instorten van het gebouw lijkt niet realistisch, maar enkel het deel dat getroffen wordt. Magazijnbrand is ook geen realistisch scenario. Afzonderlijke stukgoederen zullen falen (opengaan verpakking) na gedeeltelijk instorten van het gebouw, eventueel zullen stoffen met elkaar reageren, misschien loopt het af naar de verlaadplaats, ... Er wordt verwacht dat dit een zeer complexe berekening met tal van extra aannames gaat worden, terwijl niet verwacht wordt dat het relevante effecten gaat geven. Er wordt daarom overeengekomen om geen rekening te houden met magazijnen voor het bepalen van het indirect risico.

De ondergrondse atmosferische tanks worden ook uitgesloten voor verdere studie. Dit wordt verderop verklaard in §5.3.3.

#### 5.2.1 Bovengrondse installaties en leidingen

Indien een bovengrondse installatie of leiding getroffen wordt door een falend windturbineonderdeel, dan wordt aangenomen dat deze faalt. M.a.w. de vervolgekans op de schade aan de installatie wordt gelijkgesteld aan 1. Hieruit volgt dat de schadeafstand ten gevolge van de windturbine hetzelfde is als de effectafstand van de windturbine. Het schadegebied wordt bijgevolg gedefinieerd als een cirkel rond de windturbine met als straal de effectafstand van het falende onderdeel.

Er moet een onderscheid gemaakt worden tussen de twee types effectafstanden, tot het zwaartepunt van het blad of tot de tip van het blad. Immers, als de installatie ligt binnen de effectafstand tot het zwaartepunt van het blad, dan zal enkel de "grote schade" (zie verder) die hieraan gelinkt wordt kunnen optreden en niet





de “kleine schade”. Als de installatie ligt buiten de effectafstand tot het zwaartepunt van het blad en binnen de effectafstand tot de tip van het blad, dan zal enkel de “kleine schade” die hieraan gelinkt wordt kunnen optreden en niet de “grote schade”.

### 5.2.2 Ondergrondse leidingen

Op het overleg met externen (OMG/GOP, 2018a) werd afgesproken om ondergrondse leidingen op een inrichting op dezelfde manier te behandelen als ondergrondse transportleidingen, zoals beschreven in (Protec Engineering & SGS, 2015) (zie hoger). De manier om de ondergrondse leidingen te inventariseren is bijgevolg uit laatstvermeld document overgenomen.

#### *Schademechanisme*

Indien een fragment van een windturbine een impact maakt op de grond, kan dit op verschillende manieren aanleiding geven tot het falen van een ondergrondse leiding, met name

1. Grondtrillingen veroorzaakt door de impact van een fragment op de grond;
2. Penetratie waarbij een fragment de grond doorboort en hierbij de leiding raakt.

Bij het bepalen van het indirect risico voor ondergrondse transportleidingen wordt enkel uitgegaan van grondtrillingen en niet van penetratie.

#### *Faalwijze windturbine*

De faalwijze bladbreuk wordt niet relevant geacht voor het indirect risico van een ondergrondse transportleiding. Er wordt bijgevolg enkel rekening gehouden met mastbreuk en gondelbreuk.

#### *Bepalen scheidingsafstand*

Er wordt een scheidingsafstand bepaald tussen de windturbine en de ondergrondse leiding. Er wordt verondersteld dat falen van de ondergrondse leiding optreedt, indien de peak particle velocity (PPV) groter dan of gelijk is aan 100 mm/s (DIN 4150-3). Bijgevolg wordt de scheidingsafstand uitsluitend bepaald door de eigenschappen van de windturbine.

De scheidingsafstand is de impactafstand  $r_{\text{impact}}$  vermeerderd met de ashoogte  $H_m$ . De impactafstand is de afstand vanaf de plaats van impact, daar waar de gondel terechtkomt, tot de plaats waar de PPV kleiner wordt dan 100 mm/s en wordt gegeven door

$$r_{\text{impact}} = \left[ \frac{m \cdot (2 \cdot g \cdot H_m)^{0,5}}{\rho} \cdot \frac{k}{PPV} \right]^{0,77} = 2,15 \cdot 10^{-4} \cdot m^{0,77} \cdot H_m^{0,385}$$

In deze formule moet PPV ingevuld worden in mm/s.

Aangezien gondelbreuk leidt tot kleinere effectafstanden dan mastbreuk, wordt gondelbreuk niet beschouwd in de bepaling van de scheidingsafstand. Er wordt bijgevolg aangenomen dat de gondel en de rotor inslaan op 1 punt op een afstand gelijk aan de ashoogte van de windturbine, gemeten vanaf de inplantingslocatie van de windturbine. In dit geval is de massa  $m$  gelijk aan de som van de massa van de gondel, de massa van de rotor en de massa van het bovenste mastsegment met een lengte van ca. 30 m.



Indien de afstand tussen de as van de windturbinemast en de as van de leiding groter is dan de berekende scheidingsafstand, wordt het indirect risico van de windturbine op de leiding als onwaarschijnlijk of onmogelijk geacht. Indien de afstand kleiner is, dan wordt verder gegaan met het bepalen van de schadeafstand, waarvoor wel de eigenschappen van de leiding moeten gekend zijn (zie verder).

### 5.2.3 Ondergrondse installaties

Voor ondergrondse installaties lijkt het logisch om ook uit te gaan van het trillingsmechanisme, vanaf het punt van impact, zoals bij de ondergrondse leidingen. De informatie hiervoor is echter niet voorhanden. Daarom wordt besloten om voor ondergrondse installaties eenzelfde werkwijze te hanteren als voor bovengrondse installaties met een paar aanpassingen om te beantwoorden aan het feit dat ze ondergronds gelegen zijn.

Zo wordt voor ondergrondse installaties enkel rekening gehouden met mastbreuk en gondelbreuk en niet met bladbreuk, zoals het geval is bij ondergrondse leidingen, en wordt enkel de effectafstand tot het zwaartepunt van het blad in rekening gebracht. Op deze manier zal de schadeafstand voor ondergrondse installaties dichter aanleunen bij deze voor ondergrondse leidingen en wordt er impliciet enkel rekening gehouden met grondtrillingen en niet met penetratie.

## 5.3 Bepalen faalwijzen installaties

### 5.3.1 Bovengrondse installaties en leidingen

#### *Grote en kleine schade*

Afhankelijk van de manier waarop de windturbine de installatie treft, wordt gedacht dat de installatie op een andere manier zal falen. Er wordt besloten om hier 2 types falen voor op te maken voor de installatie, nl. "grote schade" en "kleine schade". Op het overleg van 11 juni 2018 wordt volgende afspraak gemaakt voor het bepalen wanneer "grote schade" en wanneer "kleine schade" wordt toegepast.

- Voor bladbreuk wordt geen onderscheid gemaakt tussen nominaal toerental en overtoeren, vermits hierbij dezelfde schade aan de installaties verwacht wordt. Er wordt wel onderscheid gemaakt tussen de directe en de indirecte impact van het blad. Indien de installatie getroffen wordt door het zwaartepunt van het blad, betreft het directe impact en wordt "grote schade" verwacht. Het kan echter ook voorkomen dat het stuk blad de installatie treft zonder dat het zwaartepunt van het blad de installatie treft. Dit kan gebeuren indien het zwaartepunt van het blad binnen een afstand van  $L_b$  verminderd met  $R_z$  van de installatie valt. In dit geval betreft het indirecte impact en wordt "kleine schade" aan de installaties verwacht. Vroeger werd voor de afstand van het zwaartepunt van het blad tot de tip van het blad een generieke waarde van  $2/3^e$  van de bladlengte gehanteerd.
- Bij mastbreuk wordt "grote schade" aangenomen, indien de installatie getroffen wordt door de mast, de gondel of het binnenste deel van het blad tot aan het zwaartepunt. Indien de installatie getroffen wordt door het buitenste deel van het blad, dan wordt "kleine schade" verondersteld.
- Bij gondelbreuk wordt "grote schade" aangenomen, indien de installatie getroffen wordt door de gondel of het binnenste deel van het blad tot aan het zwaartepunt. Indien de installatie getroffen wordt door het buitenste deel van het blad, dan wordt "kleine schade" verondersteld.



Op het overleg met externen van 17 december 2018 werd overeengekomen om enkel kleine schade mee te nemen als er geen grote schade is en dit per installatie. Immers, er wordt niet verwacht dat kleine schade nog een relevante bijdrage gaat geven aan de risicoberekening indien ook grote schade moet in rekening gebracht worden voor diezelfde installatie.

Voor de invulling van de begrippen “grote schade” en “kleine schade” voor de verschillende installaties in de tabel is zoveel als mogelijk uitgegaan van de generieke faalwijzen van de installaties in het Handboek Risicoberekeningen (OMG, 2019a). Bij het overleg met de externen werd duidelijk dat niemand kan zeggen wat er effectief zal gebeuren als het windturbineonderdeel de installatie treft en dus dat het moeilijk is om hier een goed onderbouwde invulling aan te geven. Wat wel duidelijk is, is dat de wieken wel meerdere tonnen wegen, maar dat het niet alleen de massa is die de schade veroorzaakt. De wieken bestaan immers uit epoxy, waardoor de impact door het blad zelf wordt opgenomen, waardoor dat versplintert en de schade aan de installatie misschien heel beperkt is.

Op basis van de ideeën die werden geuit tijdens het overleg met externen (OMG/GOP, 2018a), werd de tabel op volgende manier ingevuld:

- Voor “grote schade” wordt in principe uitgegaan van de faalwijzen voor catastrofaal falen in het Handboek Risicoberekeningen, behalve voor flessenbatterij, cilinderpakket en open opslagplaatsen.
  - Voor flessenbatterij en cilinderpakket wordt immers gedacht dat als de windturbine “zwaar” faalt, dat niet enkel 1 fles of 1 cilinder gaat breken, maar dat alle flessen en cilinders in de batterij of het pakket tegelijkertijd catastrofaal gaan falen.
  - Voor open opslagplaatsen werd getracht om te bedenken wat er gaat gebeuren wanneer deze getroffen worden door een falend windturbineonderdeel. Doordat er geen bescherming is door muren en/of een dak (of toch veel minder dan bij magazijnen) wordt aangenomen dat 50% van de stukgoederen binnen de effectafstand faalt. Er wordt niet uitgegaan van 100% omdat de mast nog kan knikken en niet noodzakelijk alle stukgoederen getroffen worden of zullen falen bij treffen. Met falen van het stukgoed wordt bedoeld het openen van de verpakking en daaropvolgend het vrijkomen van de stof. Voor de ontstekingskansen worden de generieke kansen gehanteerd. Er wordt dus niet sowieso uitgegaan van ontsteking bij falen.
- Voor “kleine schade” wordt in principe uitgegaan van een continu vrijzettingsscenario uit het Handboek Risicoberekeningen. Door de meesten wordt immers wel gedacht dat er een onderscheid moet zijn tussen “grote schade” en “kleine schade”. Het groot lek wordt als te groot aanvoeld door sommigen, anderzijds lijkt het afbreken van de grootste aansluitdiameter (hetgeen overeenkomt met groot lek) wel een realistisch scenario, maar dan misschien niet altijd, terwijl de kans op falen nu gelijkgesteld wordt aan 1 bij treffen.
  - Voor de meeste installaties is hier op het overleg geen consensus gevonden en werd voorgesteld dat de afdeling GOP de tabel een invulling geeft op basis van de gegeven ideeën. De afdeling GOP heeft daarop besloten om voor “kleine schade” in principe uit te gaan van het middelgroot lek, indien dit in het Handboek Risicoberekeningen als generiek scenario is opgenomen en anders van hetgeen hier het dichtst bij aansluit.

- Voor double en full containment tanks werd geoordeeld dat het falend windturbineonderdeel de buitenste houder gaat treffen en dat bij “kleine schade” niet bijkomend ook de binnenste houder wordt getroffen, zodat er hier geen vrijzetting van stoffen is te verwachten.
- Voor open opslagplaatsen is dezelfde redenering als voor “grote schade” aangehouden.

#### *Falen inkuiping en meerdere installaties tegelijkertijd*

Het falen van de inkuiping en het falen van meerdere installaties tegelijkertijd zijn heel realistische scenario's bij het falen van een windturbine in de nabijheid. Daar blijkt iedereen het over eens te zijn (OMG/GOP, 2018a; OMG/GOP, 2018b). Deze scenario's worden daarom expliciet opgenomen en moeten onderzocht worden in een veiligheidsdocument. De afstand waarbinnen deze moeten bestudeerd worden, wordt beperkt tot de effectafstand voor het zwaartepunt van het blad bij mastbreuk en gondelbreuk om de studie niet te complex te maken en omdat de kans op deze scenario's bij grotere afstanden ook steeds kleiner wordt.

#### *Installaties binnen een gebouw*

Voor installaties binnen een gebouw wordt bescherming door het gebouw in rekening gebracht (OMG/GOP, 2018a).

- Voor de faalwijzen van de windturbine met “kleine schade” tot gevolg wordt verondersteld dat het gebouw voldoende bescherming biedt en dat er geen relevante beschadiging is aan de installatie. Hiervoor moeten dus geen scenario's meegenomen worden.
- Er wordt overeengekomen dat indien de mast van een windturbine op een gebouw valt en vervolgens op een installatie in het gebouw, de bescherming die het gebouw biedt slechts gering is. Een analoge redenering kan gemaakt worden voor de andere types “grote schade”. Voor de faalwijzen van de windturbine met “grote schade” tot gevolg wordt bijgevolg verondersteld dat het gebouw onvoldoende bescherming biedt. Voor installaties binnen een gebouw wordt bijgevolg ook uitgegaan van de faalwijzen behorende bij “grote schade”.
- Er zijn echter situaties te bedenken waarbij het gebouw ook bij “grote schade” bescherming kan bieden aan een installatie bv. gebouwen met meerdere verdiepingen. In dergelijke gevallen kan gemotiveerd worden om wel bescherming door het gebouw in rekening te brengen.

Installaties in een gebouw kunnen dus wel “grote schade” krijgen, terwijl eerder werd beslist magazijnen niet verder te bekijken. Het verschil zit in de effecten die kunnen ontstaan, niet zozeer in de kans op falen of instorten van het gebouw of magazijn. De effecten van stukgoed in een magazijn zijn immers redelijk beperkt, terwijl een installatie in een gebouw bv. een druktank met chloor kan zijn en deze wel grote effectafstanden kan hebben.

### **5.3.2 Ondergrondse leidingen**

Op het overleg met externen (OMG/GOP, 2018a) werd afgesproken om ondergrondse leidingen op een inrichting op dezelfde manier te behandelen als ondergrondse transportleidingen, zoals beschreven in (Protec Engineering & SGS, 2015) (zie hoger). De manier om voor de ondergrondse leidingen de faalwijzen te bepalen is bijgevolg uit laatstvermeld document overgenomen.



*Bepalen schadeafstand* (Protec Engineering & SGS, 2015)

Indien niet voldaan wordt aan de scheidingsafstand bepaald op basis van de PPV (zie hoger), wordt een nieuwe scheidingsafstand, schadeafstand genoemd, berekend op basis van de eigenschappen van de windturbine en van de ondergrondse leiding.

De maximale toegelaten werkingsdruk in een leiding wordt bepaald als een percentage van de SMYS (specified minimum yield strength) en er wordt aangenomen dat deze maximaal 72% van de SMYS bedraagt. Er wordt verondersteld dat een toename van de spanning in de leiding(wand) tot 90% van de SMYS van de leiding leidt tot een lek, terwijl een toename tot 100% van de SMYS leidt tot breuk van de leiding.

Voor mastbreuk is de schadeafstand gelijk aan de impactafstand  $r_{\text{impact}}$  vermeerderd met de ashoogte. Voor gondelbreuk is de schadeafstand gelijk aan de impactafstand  $r_{\text{impact}}$  vermeerderd met de helft van de grootste dimensie van de gondel. De impactafstand is de afstand vanaf de plaats van impact, daar waar de gondel terechtkomt, tot de plaats waar de PPV kleiner wordt dan de toegelaten waarde ter hoogte van de leidingwand en wordt gegeven door

$$r_{\text{impact}} = \left[ \frac{m \cdot (2 \cdot g \cdot H_m)^{0,5}}{\rho} \cdot \frac{k}{PPV} \right]^{0,77} = 0,00744 \cdot H_m^{0,385} \cdot \left( \frac{m}{PPV} \right)^{0,77}$$

In deze formule moet PPV ingevuld worden in mm/s.

Voor mastbreuk is de massa  $m$  gelijk aan de som van de massa van de gondel, de massa van de rotor en de massa van het bovenste mastsegment met een lengte van ca. 30 m. Voor gondelbreuk is  $m$  gelijk aan de som van de massa van de gondel en de massa van de rotor.

De toegelaten PPV ter hoogte van de leidingwand, die in bovenstaande formule ingevuld moet worden om de impactafstand te bepalen, bedraagt

- Voor de faalwijze breuk van de leiding

$$0,27 \cdot \left( SMYS - \frac{P \cdot D_l}{2 \cdot d_w} \right)$$

- Voor de faalwijze lek van de leiding

$$0,27 \cdot \left( 0,9 \cdot SMYS - \frac{P \cdot D_l}{2 \cdot d_w} \right)$$

Indien de afstand tussen de as van de windturbinemast en de wand van de leiding groter is dan de berekende schadeafstand voor mastbreuk, dan wordt het indirect risico van de windturbine op de leiding als onwaarschijnlijk of onmogelijk geacht. Indien de afstand kleiner is, dan wordt verder gegaan met het uitvoeren van een kwantitatieve risicoanalyse. Indien de leiding zich binnen de schadeafstand voor gondelbreuk bevindt, moeten zowel mastbreuk als gondelbreuk meegenomen worden in de risicoanalyse. Indien de leiding zich buiten de schadeafstand voor gondelbreuk en binnen de schadeafstand voor mastbreuk bevindt, dan wordt enkel mastbreuk meegenomen in de risicoanalyse.

### *Equivalente lekdiаметer*

Voor de ondergrondse leiding moet dan nog bepaald worden op welke manier “breuk” en “lek” van de leiding ingevuld worden. In het Handboek Risicoberekeningen, in principe te gebruiken voor inrichtingen, wordt voor ondergrondse leidingen immers uitgegaan van de generieke faalwijzen breuk, gat (met een equivalente lekdiаметer  $d_{eq} = 0,5 D_i$ ) en barst (met  $d_{eq} = 10 \text{ mm}$ ), waarbij het logisch is om breuk te gebruiken voor “breuk” en waarbij gat en barst beide mogelijke faalwijzen voor “lek” zijn.

Bij de ondergrondse transportleidingen wordt voor het maximum credible accident scenario (MACA) uitgegaan van breuk en voor het most credible accident scenario (MOCA) van  $d_{eq} = 0,1 D_i$  (cfr. (DNV, SGS, 2014)). Dit laatste komt dus niet overeen met één van de faalwijzen uit het Handboek Risicoberekeningen, terwijl het breukscenario wel overeenkomt.

Voor “breuk” wordt bijgevolg ook de faalwijze breuk gebruikt, zoals bij de transportleidingen. Voor “lek” wordt op het overleg met externen overeengekomen om de verschillende lekdefinities en -diameters voor enerzijds de ondergrondse leidingen op een inrichting en anderzijds ondergrondse transportleidingen te behouden, zijnde  $0,1 D_i$  voor de transportleidingen buiten de inrichtingen en  $0,5 D_i$  voor de ondergrondse leidingen op een inrichting. Hierbij wordt dus voor de faalwijze gat gekozen en niet voor barst, in lijn met de bovengrondse installaties waar voor middelgroot lek en niet voor klein lek is gekozen. De reden om voor verschillende lekdefinities te kiezen is dat het verschillende betrokken partijen betreft, waarbij er een duidelijk overnamepunt is en waarbij dit overnamepunt bepalend is voor het toekennen van de lekdiаметer. In veiligheidsrapporten wordt dit punt ook gebruikt als begin- of eindpunt van de leiding voor de Seveso-inrichting.

### *Spanning in de leiding*

Fetrapi bevestigt op het overleg voor externen dat voor leidingen op een inrichting dezelfde aannames omtrent de correlatie tussen de toename van de spanning in de leiding en de faalwijze kunnen gemaakt worden als voor transportleidingen, zolang het stalen leidingen betreft.

### **5.3.3 Ondergrondse installaties**

Zoals bij de bovengrondse installaties wordt ook voor de ondergrondse installaties aangenomen dat deze falen indien ze “getroffen” worden. De hier relevante faalwijzen van de windturbine, zijnde mastbreuk en gondelbreuk tot het zwaartepunt van het blad, zouden “grote schade” veroorzaken. De faalwijzen die “kleine schade” zouden veroorzaken werden hoger reeds geëlimineerd.

Door de bescherming door de grond wordt echter aangenomen dat er geen “grote schade” en wel “kleine schade” zal optreden. Voor de ondergrondse installaties wordt hiervoor, analoog als bij bovengrondse installaties, uitgegaan van de faalwijze middelgroot lek.

Voor atmosferische tanks werd in het Handboek Risicoberekeningen (OMG, 2019a) gesteld dat lekken worden verondersteld niet in de atmosfeer vrijgezet te worden. Deze werden bijgevolg uitgesloten voor de QRA. Dit betekent dat ondergrondse atmosferische tanks niet moeten beschouwd worden voor de indirecte risico's.



## **5.4 Bepalen relevantie**

Om niet altijd het indirect risico te moeten bepalen of niet altijd voor alle installaties die kunnen getroffen worden, wordt de mogelijkheid geboden om eerst de relevantie na te gaan. Eén van de mogelijkheden is door middel van een faalfrequentiebenadering, waarbij de treffrequentie vergeleken wordt met de intrinsieke faalfrequentie van de installatie, meer bepaald deze horende bij de te beschouwen faalwijze uit Tabel 5-1. Echter, als de faalwijze van de installatie waarmee moet vergeleken worden geen generieke faalwijze is, dan is er geen intrinsieke faalfrequentie om mee te vergelijken en dan kan de faalfrequentiebenadering niet toegepast worden. Dit geldt ook voor het falen van de inkuiping en het falen van meerdere installaties tegelijkertijd, omdat daarbij andere scenario's met andere effecten tot gevolg moeten uitgerekend worden.

### **5.4.1 Faalfrequentiebenadering**

De faalfrequentie van de installatie met Sevesostoffen ten gevolge van het falen van een windturbine is gelijk aan de treffrequentie van de installatie door de windturbine vermenigvuldigd met de kans op schade bij treffen. Aangezien de kans op schade gelijkgesteld werd aan 1 is de faalfrequentie van de installatie ten gevolge van het falen van een windturbine gelijk aan de treffrequentie van de installatie door de windturbine, verder kortweg treffrequentie genoemd. Voor de faalfrequentiebenadering volstaat het bijgevolg om de treffrequentie te vergelijken met de intrinsieke faalfrequentie van de installatie.

#### **5.4.1.2 Treffrequentie**

#### **5.4.1.3 Intrinsieke faalfrequentie**

Faalfrequentieverhoging definieert niet het intrinsieke risico van de installatie zelf. Immers, indien faalfrequentieverhoging is toegepast, dan kan dit zijn door het in rekening brengen van (andere) indirecte risico's of door een slecht functionerend veiligheidsbeheersysteem. Het tweede wordt verondersteld op korte termijn weggewerkt te worden en wordt hier dus niet in beschouwing genomen. Het eerste behoort niet tot de intrinsieke faalfrequentie van de installatie en wordt dus ook niet beschouwd.

Als je hier wel rekening mee zou houden, dan mag de bijkomende faalfrequentie ten gevolge van de windturbine hoger zijn (om onder de 10% faalfrequentieverhoging te blijven). Dat lijkt ook niet logisch.

#### **5.4.1.4 Vergelijking treffrequentie en intrinsieke faalfrequentie**

Voor installaties met Sevesostoffen die niet 100% van de tijd aanwezig of in gebruik zijn, wordt voor deze vergelijking noch de treffrequentie noch de intrinsieke faalfrequentie gecorrigeerd met de aanwezigheidsfractie of gebruiksduur (op jaarbasis) van de installatie. De installatie kan immers slechts getroffen worden en falen wanneer ze aanwezig is. Dit maakt dat zowel de treffrequentie als de intrinsieke faalfrequentie gereduceerd worden door de aanwezigheidsfractie. Dus, eigenlijk zouden zowel de treffrequentie als de intrinsieke faalfrequentie hiermee moeten gecorrigeerd worden. Of met andere woorden, de aanwezigheidsfractie doet er eigenlijk niet toe, wanneer men de treffrequentie vergelijkt met de intrinsieke faalfrequentie. Later wel wanneer het indirect risico effectief berekend wordt.



## 5.4.2 Effectbenadering

### *Nederlandse subselectiemethodiek*

De Nederlandse subselectiemethodiek is in dit verhaal niet bruikbaar. Hiermee is immers niet zeker dat de 1%-letaliteitsafstand niet buiten de terreinsgrens komt en dat er geen bijdrage is aan het risico. De subselectiemethodiek houdt ook geen rekening met de faalfrequentie.

Door de faalfrequentieverhoging t.g.v. de windturbine kan het zijn dat een installatie die (bijna) niet bijdraagt aan het risico, toch relevant wordt. Als dus de effectafstand buiten komt (en er is meer 10% faalfrequentieverhoging), dan zou de installatie toch in de QRA moeten meegenomen worden, ook al werd ze niet geselecteerd met de Nederlandse subselectiemethode.

Als de Vlaamse SelectieMethodiek beschikbaar wordt, dan zal deze wel bruikbaar zijn. De faalfrequentieverhoging kan hier dan ook al direct in meegenomen worden.

### *Belangrijk geachte populatie*

Dit is er ingekomen om de omgevingsvergunningsaanvraag voor een windturbine niet nodeloos moeilijk te maken.

Als de 1%-letaliteitsafstand niet gaat over

- Een gebied met woonfunctie: dan wordt het plaatsgebonden risico daar niet verhoogd en kan de IRC van  $10^{-6}/j$  hier ook niet over gaan, als dat voordien niet het geval was;
- Een kwetsbare locatie: dan wordt het plaatsgebonden risico daar niet verhoogd en kan de IRC van  $10^{-7}/j$  hier ook niet over gaan, als dat voordien niet het geval was;
- Een door het publiek bezocht gebouw of gebied: dan wordt deze populatie niet meegenomen in het groepsrisico en zal het groepsrisico ook niet verhoogd worden t.g.v. de populatie in dit gebied (enkel een verhoging t.g.v. andere gebieden is dan mogelijk). Hetzelfde geldt voor de gebieden met woonfunctie en kwetsbare locatie.

In de andere gevallen is er een geval-per-geval benadering. Dus dan kan het betreffende gebied alsnog als “gebied met belangrijke of belangrijk geachte populatie” bestempeld worden. Vb. Stel dat de 1%-letaliteitsafstand gaat over een industriegebied met redelijk wat populatie en de inrichting in kwestie heeft een groepsrisico dat al redelijk hoog is, dan zal dit gebied in dit geval wel als gebied met belangrijk geachte populatie beschouwd worden.

## 5.4.3 Risicobenadering

### *Risicobenadering*

Op het overleg met externen (OMG/GOP, 2018a) werd een pleidooi gehouden om het indirect risico niet steeds in zijn geheel te moeten doorrekenen (t.t.z. nieuwe faalfrequenties en/of nieuwe scenario's introduceren in het bestaande QRA-model), waarbij het moet mogelijk zijn om de scenario's die beïnvloed werden (of nieuwe scenario's) apart te modelleren en de resultaten hiervan te vergelijken met de bestaande risicobeelden van de inrichting. Hieruit kan men immers vaak besluiten dat de impact al dan niet relevant is.





Pas indien dit niet kan aangetoond wordt zal dan overgegaan worden tot een volledige doorrekening. De aanwezigen verklaarden zich akkoord met een dergelijke bijkomende optionele tussenstap voor de aanvullende veiligheidsstudie van een windturbine.

#### *Ontstekingskansen*

Indien een installatie met ontvlambare stoffen getroffen wordt door een windturbineonderdeel, dan kunnen hierbij in principe vonken ontstaan waardoor een verhoogde kans op ontsteking ontstaat. Bij het doorrekenen van het indirect risico in de QRA wordt hier geen rekening mee gehouden.

### **Module 6 Indirect mensrisico voor transportleidingen en drukreducerstations met Sevesostoffen**

Voor de transportleidingen en de drukreducerstations wordt het indirect risico ten gevolge van een windturbine bestudeerd. De Sevesostoffen zijn hier immers permanent aanwezig en voor ondergrondse transportleidingen is reeds een methodiek afgesproken tussen de verschillende betrokken actoren (Protec Engineering & SGS, 2015). Deze methodiek wordt integraal overgenomen.

Voor de andere transportelementen (weg, water, spoor) wordt het indirect risico niet berekend, omdat de Sevesostoffen hier niet permanent aanwezig zijn en omdat hier geen omgevingsvergunning nodig is. Wat betreft de rangeerterreinen en containerterminals betreft het enkel deze die niet omgevingsvergunningsplichtig zijn. Rangeerterreinen en containerterminals die deel uitmaken van een omgevingsvergunningsplichtige inrichting (vb. Seveso-inrichting) worden wel beschouwd.

Bijkomende redenen om het indirect risico van windturbines op andere transportelementen, nl. wegen, spoorwegen, waterwegen en aanverwanten) niet te laten doorrekenen zijn:

- In (SGS, 2007b) werd berekend dat het indirect risico van een windturbine voor transport van Sevesostoffen verwaarloosbaar is.
- In (DNV, SGS, 2014) wordt gesteld dat niet verwacht wordt dat het faalcijfer voor het transport van Sevesostoffen over deze transportelementen significant kan worden beïnvloed door externe gevarenbronnen, zoals windturbines.
- Om het risico van transport van Sevesostoffen te berekenen zijn heel wat parameters nodig, die voor deze transportelementen niet altijd en overal gekend zijn (vb. hoeveelheden van Sevesostoffen).
- De methodiek voor het bepalen van het risico van transport van Sevesostoffen staat nog niet op punt.
- Er bestaat nog geen evaluatiesysteem met bijbehorende criteria voor het beoordelen van het risico van het transport van Sevesostoffen.

#### **6.6 Uitvoeren kwantitatieve risicoanalyse**

Bij het doorrekenen van de indirecte risico's bij inrichtingen worden de directe risico's van de inrichting wel meegenomen bij de evaluatie. Bij de ondergrondse transportleidingen werd ervoor gekozen om dat niet te doen, omdat er nog geen evaluatiemethode voor handen is (Protec Engineering & SGS, 2015). Op het overleg met externen (OMG/GOP, 2018a) was iedereen akkoord om dit voorlopig zo te houden. Als de



evaluatiemethode voor transport van Sevesostoffen beschikbaar is, moet de evaluatiemethode voor de ondergrondse transportleidingen herbekeken worden.

### **6.6.1 Faalfrequentieverhoging**

Ten opzichte van de studie (Protec Engineering & SGS, 2015) is een factor 2 toegevoegd in de formule voor het bepalen van de breedte B om duidelijk te maken dat de strook langs beide zijden van de leiding moet meegenomen worden. Dit is in de studie wel gedaan in de voorbeelden.

### **6.7 Evalueren risico**

Door het vooralsnog ontbreken van een criterium voor de evaluatie van het groepsrisico van ondergrondse transportleidingen met Sevesostoffen wordt voorlopig het groepsrisicocriterium dat in Vlaanderen wordt toegepast voor de evaluatie van de directe risico's van Seveso-inrichtingen en windturbines, ook toegepast voor de evaluatie van het indirect risico op een transportleiding.

Wanneer een criterium voor de evaluatie van het groepsrisico van ondergrondse transportleidingen ontwikkeld is, zal nagegaan worden of het opportuun is om het criterium voor het indirect risico van windturbines op ondergrondse transportleidingen op dit nieuwe groepsrisicocriterium af te stemmen.

### **Module 8 Milieurisicoanalyse**

Bij een aanvullende veiligheidsstudie heeft de afdeling GOP ervoor gekozen om een minimale invulling te geven aan de milieurisicoanalyse voor een inrichting met Sevesostoffen in de omgeving van de windturbine. Het falen van de inkuiping en het falen van meerdere installaties tegelijkertijd zijn immers bijkomende scenario's die in de milieurisicoanalyse van de inrichting nog niet zijn meegenomen. Dit zijn wel scenario's die een grote impact kunnen hebben op het milieurisico en moeten dus minimaal bekeken worden.

### **Module 10 Bijlagen**

#### **10.1 Bijlage 1: berekening treffrequentie windturbines**

##### *Uniforme windroos*

In tegenstelling tot (SGS, 2007b) werd in overleg met de externe partijen (11 juni 2018) besloten om bij bladbreuk gebruik te maken van een uniforme windroos. De voornaamste redenen hiervoor zijn de eenvoud van de berekening en omdat de onderdelen toch in alle richtingen kunnen vliegen en dus niet enkel loodrecht op de windrichting. Daarnaast is de invloed van de windroos relatief beperkt. Dit komt dan wel overeen met de methodiek uit Nederland.

##### *Factor 0,5 bij mastbreuk*

In vergelijking met (SGS, 2007b) is de factor 0,5 bij mastbreuk weer weggelaten, zodat ook dit aspect weer overeenkomt met de methodiek uit Nederland. In de (SGS, 2007b) wordt aangenomen dat een faling van de mast op elke hoogte boven het maaiveld kan optreden en dit met een uniforme verdeling. Dit wordt verrekend door bij het bepalen van de impactkans bij mastbreuk de faalfrequentie voor mastbreuk met een factor 0,5 te vermenigvuldigen. Aangezien nu blijkt dat slechts in 15% van de gevallen de mast knikt in de



bovenste helft lijkt de uniforme verdeling weinig conservatief. Een verdere opdeling van de faalwijze mastbreuk is wel mogelijk gemaakt (OMG/GOP, 2018a).

*Positie zwaartepunt van het blad*

In (DNV GL, 2014) wordt uitgegaan van de veronderstelling dat het zwaartepunt zich op een afstand gelijk aan 1/3<sup>e</sup> van de lengte van het blad bevindt van het rotorcentrum. In de tekst zijn de meer algemene formules uitgaande van de exacte positie van het zwaartepunt op het blad opgenomen.

**10.1.1 Alternatieve berekeningsmethoden**

Op het overleg van 11 juni 2018 werd voorgesteld om als praktisch alternatief voor de formules waarin treffrequenties op basis van oppervlakten berekend worden berekeningen te doen gebruik makend van een kaart. Dit is meestal eenvoudiger en is ook algemener van toepassing (bv. leidingen met een grillig verloop). Alle aanwezigen gingen hiermee akkoord.

Op het overleg van 17 december 2018 werd voorgesteld om steeds te kunnen uitgaan van de originele formules, eventueel numeriek berekend, in plaats van verplicht te worden om vereenvoudigde formules met extra aannames te gebruiken. Ook hier konden de aanwezigen zich vinden.

**10.1.3 Treffrequentie voor personen**

**10.1.3.1 Bladbreuk**

Deze formule voor de bepaling van de treffrequentie van personen bij bladbreuk is als volgt afgeleid.

Met de veronderstelling dat  $p_{zwpt}$  constant is in het gebied rondom de persoon, is de treffrequentie van een persoon die permanent aanwezig is op positie (x,y), gegeven door

$$P_{tref,persoon}(x,y) = 1,5 \cdot A_c \cdot p_{zwpt}(x,y)$$

waarbij de factor 1,5 bekend staat als de schaduwfactor. Deze schaduwfactor brengt in rekening dat een persoon een zekere hoogte heeft en het rotorblad schuin naar beneden komt.

In (DNV GL, 2014) is een nieuwe correlatie afgeleid voor de kritieke oppervlakte  $A_c$  [m<sup>2</sup>] in functie van de rotordiameter, zijnde

$$A_c = 1,1 \cdot c_5 \cdot D_r^{c_6}$$

met  $c_5 = 0,029$  en  $c_6 = 1,81$ .

De treffrequentie van een persoon die permanent aanwezig is op positie (x,y) wordt dan gegeven door

$$P_{tref,persoon}(x,y) = 1,5 \cdot 1,1 \cdot 0,029 \cdot D_r^{1,81} \cdot p_{zwpt}(x,y) = 0,04785 \cdot D_r^{1,81} \cdot p_{zwpt}(x,y)$$

**10.1.3.2 Mastbreuk**

De frequentie waarmee een persoon in het gebied met  $H_m - D_r/2 < r < H_m + D_r/2$  door een blad wordt getroffen is afhankelijk van de afstand tot de turbine, maar wordt benaderd door



$$P_{tref,mast(rotor),persoon} = P_{mb} \cdot \frac{D_r}{2 \cdot \pi \cdot H_m} \cdot s'$$

Deze formule wordt gegeven in (DNV GL, 2014), waar voor de soliditeit  $s'$  een standaardwaarde van 0,05 wordt aangenomen (Aerts, 2018). GOP opteert er echter voor om de soliditeit  $s'$  te berekenen a.d.h.v. de generieke formule voor de (kritieke) bladoppervlakte. De soliditeit is de verhouding tussen het totale bladoppervlak en het oppervlak van de rotor. Als de info uit het Handboek Risicozonering Windturbines van 2005 (ECN/KEMA, 2005) (bladoppervlakte = kritieke bladoppervlakte gedeeld door 1,1; volgens formule (3.1.9)) en van 2014 (DNV GL, 2014) (formule voor kritieke bladoppervlakte i.f.v. rotordiameter; volgens formule (2.4)) gecombineerd wordt, dan wordt de soliditeit berekend met

$$s' = 3 \cdot \frac{0,029 \cdot D_r^{1,81}}{\pi \cdot \left(\frac{D_r}{2}\right)^2}$$

### 10.1.3.3 Gondelbreuk

Indien  $H_{go} < r < D_r/2$  wordt in (Protec Engineering, 2017) volgende formule gegeven:

$$P_{tref,gondel(rotor),persoon} = P_{gb} \cdot s'$$

### 10.1.4 Treffrequentie voor bovengrondse installaties (uitgezonderd leidingen)

#### 10.1.4.1 Bladbreuk

In (DNV GL, 2014) staat het volgende:

“De keuze wanneer met de algemene aanpak of de vereenvoudigde aanpak moet worden gerekend hangt af van de verhouding tussen de lengte  $l$  en de hoogte  $h$  van het object en tevens van de afstand  $r'$  tussen object en windturbine in relatie tot de maximale werpafstand  $R_{max}$ . Als vuistregel kan de volgende vergelijking gebruikt worden.

$$h > 10 \cdot l \cdot \frac{r'^2}{R_{max}^2}$$

Wanneer het linkerlid (de hoogte) veel groter is dan het rechterlid, kan beter met de algemene aanpak (hoekfracties) gerekend worden. Wanneer de hoogte beduidend kleiner is, is de vereenvoudigde aanpak beter geschikt. Wanneer beide kanten van de vergelijking ongeveer even groot zijn, wordt aangeraden om beide methoden toe te passen en de meest conservatieve uitkomst in de risicoberekening te gebruiken. Voor een kubus betekent dit dat het omslagpunt in de berekening zich ongeveer op  $1/3^e$  van de maximale



werpafstand bevindt. Dichterbij kan beter met de algemene aanpak worden gerekend, verderaf is de berekening met de vereenvoudigde aanpak meer representatief.”

Navraag bij de auteurs van het handboek leert dat de lengte  $l$  moet vervangen worden door de diepte  $d$  en dat de algemene aanpak steeds bruikbaar is en de vereenvoudigde aanpak enkel bruikbaar is bij grotere afstanden (Aerts, 2018).

#### 10.1.4.1.2 Vereenvoudigde aanpak

Hier is vertrokken van de formule uit (DNV GL, 2014) na correctie van een fout in de oorspronkelijke formule. Volgende correctie werd doorgegeven door de auteurs (Aerts, 2018).

$$P_{tref,blad,indirect,installatie} = p_{zwpt} \cdot \left[ (b + d) \cdot (L_b - R_z) + \frac{\pi}{2} \cdot (L_b - R_z)^2 \right]$$

#### 10.1.4.3 Gondelbreuk

Deze formule is niet opgenomen in (DNV GL, 2014) en werd bepaald door (Protec Engineering, 2017).

De formule is opgebouwd uit 2 delen. Hierbij werd uitgegaan van een balkvormige installatie. De cosinus is geldig indien slechts een deel van de voorzijde (de zijde gericht naar de windturbine) van de installatie zich binnen een afstand van  $D_r/2$  van de windturbine bevindt, terwijl de tangens geldig is indien de voorzijde van de installatie zich volledig binnen een afstand van  $D_r/2$  van de windturbine bevindt.

### 10.1.5 Treffrequentie voor bovengrondse leidingen

#### 10.1.5.3 Gondelbreuk

Hiervoor is geen formule opgenomen in (DNV GL, 2014). Een door meerdere VR-deskundigen gebruikte praktische werkwijze werd opgenomen.

## REFERENTIELIJST

- Aerts, A. (2018, juli 25). Persoonlijke communicatie.
- DNV GL. (2014). *Handboek Risicozonering Windturbines (versie 3.1)*. Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.
- DNV, SGS. (2014). *Risicoanalysesysteem voor het transport van gevaarlijke stoffen: Leidraad [Eindrapport TWOL-project]*. Brussel: Vlaamse overheid, Departement LNE.
- ECN/KEMA. (2005). *Handboek Risicozonering Windturbines (versie 2.0)*. SenterNovem.
- NWEA et al. (2018, Juli). *Berekeningsmodule Save-W*. Opgehaald van <https://save-w.nl/#help>
- OMG. (2019a). *Handboek Risicoberekeningen, Richtlijnen voor kwantitatieve risicoanalyse, domino-effecten en milieurisicoanalyse*. Brussel: Vlaamse overheid, Departement Omgeving. Opgehaald van <https://www.lne.be/handboek-risicoberekeningen>
- OMG. (2019b). *Leidraad Aandachtsgebieden*. Brussel: Vlaamse overheid, Departement Omgeving.
- OMG. (2019c). *Richlijn Veiligheidsnota: richtlijn over het gebruik van een veiligheidsnota bij vergunningsaanvragen van hogedrempelinrichtingen*. Brussel: Vlaamse overheid, Departement Omgeving.
- OMG/GOP. (2018a, juni 11). *Overlegmoment met externen (verslag)*. Brussel: Vlaamse overheid, Departement Omgeving, Afdeling Gebiedsontwikkeling, Omgevingsplanning en -projecten.
- OMG/GOP. (2018b, december 17). *Overlegmoment met externen (verslag)*. Brussel: Vlaamse overheid, Departement Omgeving, Afdeling Gebiedsontwikkeling, Omgevingsprojecten en -planning.
- OMG/GOP. (2019d). *Beoordelingskader Windturbines - Code van goede praktijken inzake risicocriteria voor windturbines*. Brussel: Vlaamse overheid, Departement Omgeving, Afdeling Gebiedsontwikkeling, Omgevingsplanning en -projecten.
- OMG/GOP. (2019e). *Veiligheidsstudies Windturbines - Praktische leidraad voor het opstellen van veiligheidsstudies voor windturbines*. Brussel: Vlaamse overheid, Departement Omgeving, Afdeling Gebiedsontwikkeling, Omgevingsplanning en -projecten.
- OMG/GOP. (2019f). *Handboek Windturbines - Richtlijnen voor de risicoberekeningen van windturbines*. Brussel: Vlaamse overheid, Departement Omgeving, Afdeling Gebiedsontwikkeling, Omgevingsplanning en -projecten.
- OMG/GOP. (2019g). *Rekenblad Windturbines*. Brussel: Vlaamse overheid, Departement Omgeving, Afdeling Gebiedsontwikkeling, Omgevingsplanning en -projecten.



OMG/GOP. (2019h). *Handleiding Rekenblad Windturbines - Handleiding voor en verduidelijking bij het gebruik van het rekenblad*. Brussel: Vlaamse overheid, Departement Omgeving, Afdeling Gebiedsontwikkeling, Omgevingsplanning en -projecten.

Protec Engineering & SGS. (2015). *Scheidingsafstanden tussen windturbines en ondergrondse pijpleidingen met betrekking tot externe veiligheid*.

Protec Engineering. (2017). *Persoonlijke communicatie*.

SGS. (2007b). *Studie windturbines en veiligheid*. Brussel: Vlaams EnergieAgentschap, Vlaamse overheid.

VROM. (2005). *Publicatiereeks Gevaarlijke Stoffen 1 - Methoden voor het bepalen van mogelijke schade aan mensen en goederen door het vrijkomen van gevaarlijke stoffen (Groene Boek)*. Den Haag.



Vlaamse overheid  
Departement Omgeving  
Afdeling Gebiedsontwikkeling, Omgevingsplanning en -projecten  
Graaf de Ferrarisgebouw  
Koning Albert II-laan 20 bus 8  
1000 Brussel  
E-mail: [GOP.omgeving@vlaanderen.be](mailto:GOP.omgeving@vlaanderen.be)  
Website: [www.omgevingvlaanderen.be](http://www.omgevingvlaanderen.be)