
HANDLEIDING REKENBLAD WINDTURBINES

Handleiding voor en verduidelijking bij
het gebruik van het rekenblad
Versie 2.0 dd. 01/10/2019

INLEIDING

Voorliggend document 'Handleiding Rekenblad Windturbines' bevat de gebruikershandleiding bij het 'Rekenblad Windturbines'. Het document gaat echter verder dan een zuivere handleiding. Het verschaft op sommige punten immers ook inzicht in de opbouw en de wijze van het uitvoeren van de berekeningen.

Deze 'Handleiding Rekenblad Windturbines' vormt samen met het 'Rekenblad Windturbines', het 'Handboek Windturbines', de leidraad 'Veiligheidsstudies Windturbines' en het 'Beoordelingskader Windturbines' het instrumentarium voor het onderzoek van het risico van een windturbine voor zijn omgeving, en van de beoordeling van de verzoenbaarheid van een windturbine met zijn omgeving, en dit op het vlak van de externe mensveiligheid.

Het 'Rekenblad Windturbines' is opgemaakt met het rekenprogramma Microsoft® Office 365 Excel® 2016.



INHOUD

Inleiding	i
Inhoud	ii
1. Afkortingen en definities	1
2. Doelstelling en toepassingsgebied	1
2.1 Doelstelling	1
2.2 Toepassingsgebied	1
3. Het rekenblad	2
3.1 Blad 'Invulblad WT'	2
3.1.1 Model windturbine	2
3.1.2 Invulvelden	3
3.1.3 Rekenmodus	5
3.1.4 Controles	6
3.1.5 Alternatief gebruik van het rekenblad	6
3.2 Blad 'Vragenlijst'	7
3.2.1 Rubriek A-vragen	7
3.2.2 Rubriek B-vragen	7
3.2.3 Rubriek C-vragen	8
3.3 Blad 'Resultaten WT'	8
3.4 Blad 'Risicobeeld WT'	9
4. Nuttige informatie aangaande de berekeningen	11
4.1 Conservatief rekenen	11
4.2 Mastbreuk	11
4.3 Bladbreuk	11
4.3.1 Werpafstand	11
4.3.2 Kansdichtheidsfunctie	11
4.4 Ondergrondse leidingen	12
4.5 Risicoafstanden	13
5. De afdruk van het rekenblad (de veiligheidsstudie)	14
6. Limieten van het rekenblad	15
Referentielijst	a
Versiebeheer	b



Tabellen

Tabel 1: Overzicht van de in te vullen velden	3
Tabel 2: Verband tussen de parameters en de te berekenen afstanden	4
Tabel 3: Berekening van de verschillende relevante afstanden	8

Figuren

Figuur 1: Model windturbine	3
-----------------------------	---



1. AFKORTINGEN EN DEFINITIES

Voor de in deze handleiding gebruikte termen, afkortingen en symbolen wordt algemeen verwezen naar het 'Handboek Windturbines' waar het 'Rekenblad Windturbines' onlosmakelijk deel van uitmaakt.

2. DOELSTELLING EN TOEPASSINGSGEBIED

2.1 DOELSTELLING

Een als ingedeelde inrichting of activiteit (IIOA) aangeduide windturbine is onderworpen aan de omgevingsvergunningsprocedure. De toepasselijke regelgeving bepaalt dat de initiatiefnemer van de windturbine bij de omgevingsvergunningsaanvraag ofwel een *veiligheidsstudie* ofwel een *aanvullende veiligheidsstudie* moet voegen. Deze veiligheidsstudies moeten de verzoenbaarheid van de windturbine met zijn omgeving aantonen, en dit op het vlak van de externe mensveiligheid.

Het 'Rekenblad Windturbines' is een hulpmiddel dat aangeeft 1) of al dan niet voldaan is aan enkele specifieke locatiecriteriën, 2) of een *veiligheidsstudie* volstaat dan wel of een *aanvullende veiligheidsstudie* moet opgemaakt worden, en 3) of er al dan niet nog extra advies of studiewerk kan gevraagd worden.

Daartoe berekent het rekenblad, uitgaande van de technische kenmerken van de windturbine, de scheidingsafstanden t.o.v. enkele specifieke omgevingselementen, de risicoafstanden die verband houden met de toepasselijke risicocriteria voor het plaatsgebonden risico, en een aantal adviesafstanden. Vervolgens stelt het rekenblad een aantal 'ja/nee'-vragen en trekt daaruit de nodige conclusies.

Bemerkt dat de aspecten ijsworp en ijsval (voorlopig nog) buiten het bereik van het rekenblad vallen. Ongeacht de conclusies van het rekenblad moeten ijsworp en ijsval daarom steeds apart bestudeerd worden.

2.2 TOEPASSINGSGEBIED

Het 'Rekenblad Windturbines' hoort bij het 'Handboek Windturbines'. Het rekenblad is daarmee bedoeld voor die windturbines die gevat worden door het toepassingsgebied van het 'Handboek Windturbines'.

Het rekenblad kan niet alleen gebruikt worden voor een windturbine waarvan alle technische kenmerken bekend zijn, maar ook voor een groep van windturbines met een vooropgesteld bereik of maximum van de belangrijkste technische kenmerken.



3. HET REKENBLAD

Het 'Rekenblad Windturbines' toont de gebruiker vier bladen:

- 'Invulblad WT';
- 'Vragenlijst';
- 'Resultaten WT';
- 'Risicobeeld WT'.

Deze worden hieronder verder toegelicht.

Ook wordt op sommige punten nader inzicht gegeven in de wijze waarop het rekenblad de berekeningen uitvoert.

Bemerk dat het rekenblad op elk blad, in de zone vlak onder de hoofdtitel, soms extra informatie voor de gebruiker kan weergeven.

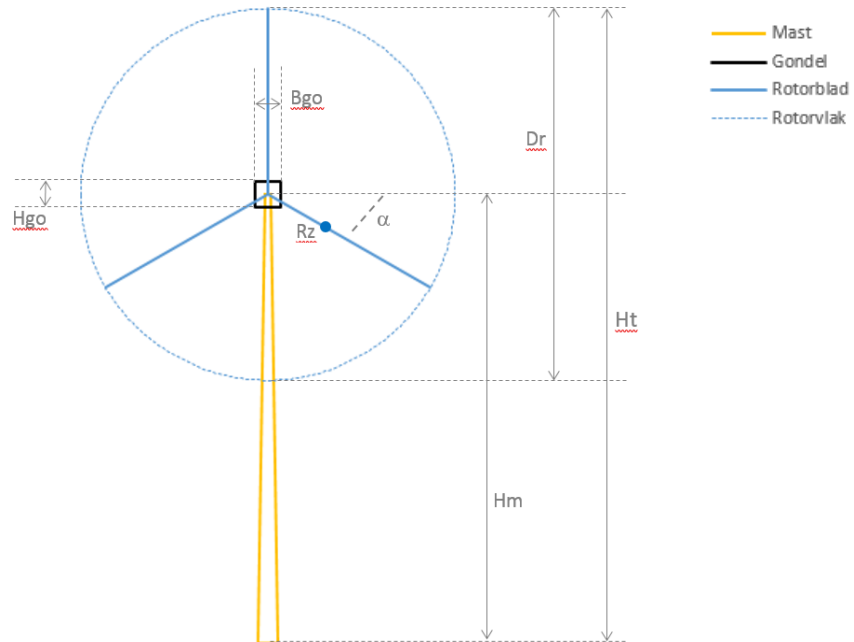
3.1 BLAD 'INVULBLAD WT'

3.1.1 Model windturbine

Het rekenblad steunt op het in Figuur 1 **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** geschetste model voor de windturbine.



Figuur 1: Model windturbine



Dit model wordt ook getekend op het 'Invulblad WT'.

3.1.2 Invulvelden

Op het 'Invulblad WT' geeft de gebruiker alle technische gegevens van de windturbine in die het rekenblad nodig heeft om de relevante scheidingsafstanden (effectafstanden), risicoafstanden en adviesafstanden te kunnen berekenen, alsook een aantal voor de rapportage (veiligheidsstudie) nuttige gegevens.

Tabel 1 lijst de in te vullen gegevens op.

Tabel 1: Overzicht van de in te vullen velden

WT_naam	de benaming van de windturbine (optioneel - nuttig)
P_{nom}	het nominale vermogen van de windturbine (optioneel - nuttig)
Rekenmodus	keuze die aangeeft hoe het rekenblad moet rekenen (zie deel 3.1.3) (nodig)
H_t	de tiphoogte van de windturbine, d.i. de maximale hoogte die de tip van een rotorblad kan bereiken (nodig)
H_m	de maximale ashoogte van de windturbine, d.i. de maximale hoogte van de rotoras t.o.v. het maaiveld (nodig enkel in rekenmodus 2)
D_r	de diameter van het rotorvlak van de windturbine (nodig)
R_z	de positie van het zwaartepunt van het rotorblad, d.i. de afstand tussen de rotoras en het zwaartepunt van het rotorblad (optioneel)



$D_{m,v}$	de diameter van de mast van de windturbine, gemeten aan de voet van de mast (nodig)
$D_{m,t}$	de diameter van de mast van de windturbine, gemeten aan de top van de mast (nodig)
Ω	het maximum van de statische waarden van het toerental bij nominaal vermogen (nodig)
L_{go}	de lengte van de gondel van de windturbine (nodig)
B_{go}	de breedte van de gondel van de windturbine, aan de zijde van de rotor (nodig)
H_{go}	de hoogte van de gondel van de windturbine, aan de zijde van de rotor (nodig)
M	de totale massa van de rotor, de gondel en het bovenste deel (ca. 30 m) van de mast van de windturbine (nodig)
X_{co}	de X-coördinaat van de locatie van de windturbine (Lambert 1972 ERPG:31370) (nodig)
Y_{co}	de Y-coördinaat van de locatie van de windturbine (Lambert 1972 ERPG:31370) (nodig)

Tabel 2 geeft aan welke waarden nodig zijn in functie van de te berekenen afstand.

Tabel 2: Verband tussen de parameters en de te berekenen afstanden

Te berekenen afstand	H_t	D_r	R_z	$D_{m,v}$	Ω	L_{go}	m
	(H_m)			$D_{m,t}$		B_{go} H_{go}	
Effectafstanden mastbreuk	X	X	(X)				
Effectafstanden gondelbreuk		X	(X)			X	
Effectafstanden bladbreuk	X	X	(X)		X		
Impactafstand	X						X
Risicoafstanden	X	X	(X)	X	X	X	
Adviesgrens Elia		X					

Bemerkingen:

- De waarde van ' H_m ' is enkel nodig in rekenmodus 2 (zie deel 3.1.3).
- De waarde van ' R_z ' is optioneel. Bij verstek van een waarde voor deze parameter rekt het rekenblad met de generieke waarde $R_z = 0,18 \cdot D_r$ (DNV GL, 2014).
- Voor de bepaling van de kans dat een persoon in de buurt van de windturbine getroffen wordt door de mast bij mastbreuk, is de diameter van de mast nodig. In werkelijkheid varieert de diameter van de mast in functie van de hoogte. Het rekenblad vraagt de diameter van de mast aan de voet (' $D_{m,v}$ ') en aan de top (' $D_{m,t}$ ') op, en neemt dan aan dat de diameter van voet naar top afneemt volgens een lineair verband. Het rekenblad laat hier wel een alternatieve werkwijze toe met een equivalente mastdiameter ' $D_{m,eq}$ '. Daartoe wordt deze equivalente mastdiameter in beide invulvelden ' $D_{m,v}$ ' en ' $D_{m,t}$ ' ingegeven. Het rekenblad modelleert de mast dan als een cilinder met straal $D_{m,eq}$.



- Bij het ingeven van de waarden voor ‘ H_t ’, ‘ D_r ’ en ‘ Ω ’ (en optioneel ‘ R_z ’), alsook bij het wijzigen van de rekenmodus, kan een klein oponthoud van enkele seconden merkbaar zijn. Dit heeft te maken met de berekening van de kansdichtheidsfunctie ‘ $f_{z_{wpt}}$ ’ voor bladbreuk (zie deel 4.3.2). Telkens een van deze waarden wijzigt, rekt het rekenblad deze kansdichtheidsfunctie opnieuw uit.

3.1.3 Rekenmodus

Het rekenblad kent twee verschillende rekenmodi, m.n. “1 - WT” en “2 - Bereik”. De standaard instelling is rekenmodus 1.

3.1.3.1 Rekenmodus 1: “WT”

De gebruiker schakelt de rekenmodus 1 (“WT”) in als de werkelijke windturbine bekend is, en dus ook de exacte waarden van o.m. de tiphoogte (H_t), de rotordiameter (D_r) en het toerental (Ω).

Bemerk dat in voorkomend geval het invulveld voor de ashoogte ‘ H_m ’ van geen tel is, en onzichtbaar wordt. De waarde van de ashoogte volgt uit $H_m = H_t - D_r/2$. Een eventueel ingevulde waarde van H_m wordt genegeerd.

3.1.3.2 Rekenmodus 2: “Bereik”

Als de keuze van de windturbine nog niet vastligt, dan wordt doorgaans een maximale waarde voor de tiphoogte ‘ H_t ’ en de ashoogte ‘ H_m ’, en een bereik voor de rotordiameter ‘ D_r ’ en het toerental ‘ Ω ’ vooropgesteld, met de maximale tiphoogte ‘ H_t ’ als beperkende factor. In voorkomend geval kan het rekenblad conservatief maximale afstanden berekenen.

De gebruiker kiest rekenmodus 2 (“Bereik”) en vult in het rekenblad de maximale waarden van deze parameters in ($H_{t,max}$, $H_{m,max}$, $D_{r,max}$ en Ω_{max}). Het invulveld voor de parameter ‘ R_z ’ is dan van geen tel omdat het rekenblad in dit geval altijd rekent met de generieke waarde voor ‘ R_z ’.

Bemerk dat het invulveld ‘ R_z ’ dan onzichtbaar gemaakt wordt. Een eventueel ingevulde waarde R_z overschrijft in dit geval de generieke waarde niet.

Voor de overige kenmerken van de windturbine worden eveneens maximale waarden ingevuld.

Het rekenblad berekent dan voor elk van de afstanden (zie Tabel 3) een maximale waarde.

- De maximale werpafstanden ‘ $R_{max,1}$ ’ en ‘ $R_{max,2}$ ’ voor de faalwijzen bladbreuk bij nominaal toerental resp. overtoeren worden berekend door uit te gaan van:
 - de maximale rotordiameter $D_{r,max}$
 - het maximale toerental Ω_{max}
 - een ashoogte $H_m = H_{t,max} - 0,5 \cdot D_{r,max}$
 - een waarde van ‘ R_z ’ volgens de generieke uitdrukking $R_z = 0,18 \cdot D_{r,max}$

Voor de op deze werpafstanden gebaseerde scheidingsafstanden geldt verder dat $L_b = 0,5 \cdot D_{r,max}$. Het aan de faalwijzen bladbreuk toegewezen plaatsgebonden risico wordt berekend met deze waarden.



- De overige afstanden worden berekend door telkens uit te gaan van de maximale waarden van de verschillende parameters.

3.1.4 Controles

Het rekenblad voert enkele eenvoudige controles uit op de ingevulde gegevens. Als een waarde ontbreekt of onjuist is, dan verschijnt voor de betrokken parameter een foutmelding in de kolom 'Status', in de vorm van een rood vierkantje.

Mogelijke redenen voor dergelijke foutmelding zijn:

- een vereiste waarde ontbreekt;
- een ingevulde waarde is geen getal;
- een ingevulde waarde is niet strikt positief.

Daarnaast voert het rekenblad ook enkele extra controles uit op ingevulde waarden die om een of andere reden niet volledig onafhankelijk (kunnen) zijn van elkaar. In voorkomend geval verschijnt dan naast elke betrokken parameter het rode vierkantje.

Een foutmelding bij de invulgegevens betekent niet noodzakelijk dat het rekenblad niet rekt. Bemerkt ook dat niet alle parameters nodig zijn voor de berekeningen (zie Tabel 1 en Tabel 2), sommigen zijn enkel nodig of nuttig voor de rapportage. Het betekent wel dat in het blad 'Resultaten WT' de tekenreeks "###" verschijnt bij de ontbrekende of onjuiste gegevens en bij de afstanden die daardoor niet volledig of niet correct kunnen berekend worden.

Naast de hierboven beschreven voorwaarden, legt het rekenblad - voorlopig - geen andere voorwaarden op aan de parameterwaarden, bv. geen ondergrens of bovengrens voor de ashoogte, de rotordiameter, het nominale toerental, de afmetingen en het gewicht van de gondel, ... Het rekenblad controleert evenmin op *het realistisch zijn* van individuele waarden of van combinaties van waarden. Voor zover ze de ingestelde controles doorstaan en niet leiden tot een fout in de berekeningen, rekt het rekenblad met die ingevulde waarden.

- ① Het rekenblad kent 1 specifieke limiet, zie deel 0 van deze handleiding.

3.1.5 Alternatief gebruik van het rekenblad

Het feit dat het rekenblad alle resultaten berekent en toont die het correct kan berekenen ook al is het 'Invulblad WT' niet compleet, laat een alternatief gebruik toe. De gebruiker die alleen geïnteresseerd is in de maximale werpafstanden bij bladbreuk (= effectafstanden bladbreuk), weet uit Tabel 1 dat daarvoor enkel de waarden van ' H_m ', ' D_r ' en ' Ω ' (en optioneel ' R_z ') nodig zijn. De andere parameterwaarden hoeft hij daarvoor niet te kennen.



3.2 BLAD ‘VRAGENLIJST’

De ‘Vragenlijst’ omvat in totaal 19 verschillende ‘ja/nee’-vragen, ingedeeld in drie rubrieken (A, B en C). Voor elke rubriek wordt een aparte conclusie getrokken. Per rubriek moeten eerst alle vragen beantwoord worden alvorens de conclusie getoond wordt.

Het rekenblad toont de conclusies in het met een dikke lijn omrande kader boven de eigenlijke vragenlijst.

Het blad ‘Vragenlijst’ gebruikt de door het rekenblad berekende maximale relevante afstanden. De ‘Vragenlijst’ wordt daarom pas vrijgegeven als al die afstanden correct konden berekend worden, d.i. als het ‘Invulblad WT’ volledig en correct werd ingevuld. Met vrijgeven wordt bedoeld dat de berekende afstanden in de vraagstelling worden getoond, en dat de conclusies kunnen worden getoond. In het andere geval wordt in de vraag de tekenreeks “####” getoond in plaats van de afstand, en verschijnen meldingen in het Conclusie-kader.

3.2.1 Rubriek A-vragen

De vragen uit rubriek A hebben betrekking op situaties die niet kunnen voldoen aan een vigerend locatie-criterium. Voor deze situaties wordt niet verwacht dat een *aanvullende veiligheidsstudie* een oplossing kan bieden.

3.2.2 Rubriek B-vragen

De vragen uit rubriek B peilen naar de noodzaak van een *aanvullende veiligheidsstudie*. Een eerste reeks vragen (vragen 4 t/m 11) houdt verband met de ligging van de windturbine ten opzichte van de als relevant beschouwde inrichtingen en installaties met Seveso-stoffen. Een positief antwoord op een vraag betekent dat voor het in de vraag betrokken aspect nader onderzoek moet gebeuren naar het indirecte risico (d.i. een *aanvullende veiligheidsstudie* over de impact van de windturbine op de betrokken inrichting of installatie).

Een tweede reeks vragen (vragen 12 t/m 17) houdt verband met het respecteren van de criteria van het plaatsgebonden risico (vragen 12 t/m 14) en het groepsrisico (vragen 15 t/m 17) van de windturbine (d.i. het direct risico van de windturbine).

Een positief antwoord op een van de vragen 12 t/m 14 betekent dat op basis van de door het rekenblad berekende risicoafstanden het criterium van het plaatsgebonden risico niet gerespecteerd wordt. In een *aanvullende veiligheidsstudie* kunnen deze risicoafstanden mogelijk bijgesteld worden door minder conservatief te rekenen. Het ‘Handboek Windturbines’ laat hiervoor openingen.

Een positief antwoord op een van de vragen 15 t/m 17 betekent dat in een *aanvullende veiligheidsstudie* het aan de windturbine verbonden groepsrisico moet berekend worden en vervolgens moet getoetst worden aan het vigerende toepasselijke criterium.

Als het rekenblad beslist dat voor de windturbine geen *aanvullende veiligheidsstudie* nodig is, dan geldt een afdruck van het rekenblad als de in de wetgeving bedoelde *veiligheidsstudie* (zie ook deel 0).



Bemerk dat de aspecten ijsworp en ijshal (voorlopig) geen deel uitmaken van het ‘Rekenblad Windturbines’. Deze aspecten moeten daarom steeds apart bestudeerd worden, en het resultaat van die studie moet toegevoegd worden aan de *veiligheidsstudie* of de *aanvullende veiligheidsstudie*.

3.2.3 Rubriek C-vragen

De vragen uit rubriek C behelzen situaties waarin de overheid extra advies kan vragen aan de betrokken instanties.

Als de windturbine geplaatst wordt op minder dan 2.000 m van een federaal vergunde nucleaire inrichting van klasse I, dan kan de vergunningverlenende overheid of de adviesverlenende overheid tijdens de omgevingsvergunningsprocedure van de windturbine het advies vragen van het nucleaire controle-organisme FANC.

Ten aanzien van zijn hoogspanningsinfrastructuur hanteert Elia voor windturbines een adviesgrens die gelijk is aan 3,5 keer de rotordiameter. Voor windturbines die op verdere afstand dan deze adviesgrens liggen, zal Elia een positief advies geven. Voor windturbines die op een afstand kleiner dan de adviesgrens liggen, zal Elia situatie-afhankelijk ofwel een negatief advies geven, ofwel extra studiewerk vragen, ofwel zelf extra studiewerk uitvoeren, en zijn advies dan baseren op het resultaat van dat extra studiewerk.

3.3 BLAD ‘RESULTATEN WT’

Het blad ‘Resultaten WT’ verzamelt alle ingevulde parameterwaarden en alle berekende relevante afstanden. De verschillende relevante afstanden worden berekend zoals aangegeven in Tabel 3 (cfr. ‘Handboek Windturbines’).

Tabel 3: Berekening van de verschillende relevante afstanden

Effectafstanden	
mastbreuk – zwaartepunt	$H_m + R_z$
mastbreuk – tip	H_t
gondelbreuk – zwaartepunt	R_z
gondelbreuk – tip	L_b
bladbreuk - nominaal – zwaartepunt	$R_{max,1}$ (zie deel 4.3.1)
bladbreuk - nominaal – tip	$R_{max,1} + (L_b - R_z)$
bladbreuk - overtoeren – zwaartepunt	$R_{max,2}$ (zie deel 4.3.1)
bladbreuk - overtoeren – tip	$R_{max,2} + (L_b - R_z)$
Risicoafstanden	
IRC 1E-05/jr IRC 1E-06/jr IRC 1E-07/jr	zie deel 4.5
Scheidingsafstanden	



Seveso-inrichtingen	effectafstand bladbreuk - overtoeren - tip
LNG- , CNG- , LPG-tankstations, LNG-bunkering	effectafstand bladbreuk - overtoeren - tip
waterstof-tankstation	effectafstand bladbreuk - overtoeren - tip
drukreducerstations	effectafstand bladbreuk - overtoeren - tip
bovengrondse transportleiding	effectafstand bladbreuk - overtoeren - tip
ondergrondse druktank	effectafstand mastbreuk - tip
ondergrondse transportleiding	$H_m + r_{\text{impact}}$ (zie deel 4.4)
relevante populaties in open lucht	effectafstand bladbreuk - overtoeren - zwaartepunt
relevante populatie in gebouwen	effectafstand mastbreuk - zwaartepunt
hoofdtransportwegen voor personenvervoer	effectafstand mastbreuk - tip
Adviesafstanden	
nucleaire inrichtingen van klasse I	2.000 m (vaste waarde)
hoogspanningsinfrastructuur	3,5 . D_r

Het bovenste blok toont de technische karakteristieken van de windturbine.

Het middelste blok geeft voor alle te beschouwen faalwijzen van de windturbine de relevante effectafstanden, met 2 decimalen.

Het onderste blok lijst alle relevante scheidingsafstanden, risicoafstanden en adviesafstanden op ten aanzien van specifieke gebieden, objecten en activiteiten in de omgeving van de windturbine. Deze afstanden worden weergegeven zonder decimalen, en met een afronding naar boven.

Als op het 'Invulblad WT' een parameterwaarde ontbreekt of als een afstand niet correct kon berekend worden, dan verschijnt bij de betrokken parameter of afstand de tekenreeks "###". Dit betekent ook dat alle waarden die wel getoond worden de correcte waarden zijn, ook al ontbreken er gegevens. Tabel 2 legt het verband tussen de te berekenen afstanden enerzijds en de daarvoor vereiste parameterwaarden anderzijds.

3.4 BLAD 'RISICOBELD WT'

Het blad 'Risicobeeld WT' toont twee grafieken:

- 'Plaatsgebonden risico (PR)': het verloop van het direct risico in functie van de afstand tot de windturbine (zwarte curve in volle lijn op de figuur | voor de betekenis van de oranje curve in streepjeslijn op deze figuur, zie deel 4.5).

De getekende curve is de som van:

- o het direct risico verbonden aan bladbreuk bij nominaal toerental
- o het direct risico verbonden aan bladbreuk bij overtoeren



- het direct risico verbonden aan mastbreuk
- het direct risico verbonden aan gondelbreuk
- ‘Risicoafstanden (PR)’: een grafische weergave van de risicoafstanden, meer bepaald van de afstanden tot de isorisicocontouren van risiconiveau $1E-5/jr$ (groen), $1E-6/jr$ (rood) en $1E-7/jr$ (blauw).

Als door het ontbreken van vereiste gegevens het rekenblad het plaatsgebonden risico niet volledig of niet correct kan berekenen, dan worden de grafieken niet getekend. Er verschijnt dan een melding.



4. NUTTIGE INFORMATIE AANGAANDE DE BEREKENINGEN

4.1 CONSERVATIEF REKENEN

Gelet op de doelstelling ervan, rekent het rekenblad globaal genomen conservatief. In een *aanvullende veiligheidsstudie* kunnen sommige scheidingsafstanden en risicoafstanden mogelijks bijgesteld worden door te variëren op de in het rekenblad gebruikte rekenmethoden en modellen, of door het gebruik van toegelaten alternatieve rekenmethoden of modellen. Het 'Handboek Windturbines' schetst hiervoor het kader.

4.2 MASTBREUK

Het rekenblad neemt aan dat de mast altijd breekt aan de voet, en maakt geen onderscheid in masttypes.

4.3 BLADBREUK

Het rekenblad neemt aan dat het blad als geheel afgeworpen wordt. De lengte van het afgeworpen blad is dan $L_b = D_r/2$.

4.3.1 Werpafstand

Het rekenblad gebruikt het kogelbaanmodel zonder luchtweerstand om de werpafstand te berekenen, d.i. de afstand van de windturbine tot het punt waar het zwaartepunt van het afgeworpen rotorblad op maaiveld-niveau inslaat.

De positie van het zwaartepunt in het blad wordt aangegeven door de parameter ' R_z '. Voor ' R_z ' wordt hetzij de ingevulde waarde gebruikt, hetzij de generieke waarde $R_z = 0,18 \cdot D_r$ (DNV GL, 2014) als voor ' R_z ' geen waarde ingevuld werd. Rekenmodus 2 gebruikt altijd de generieke waarde.

Het rekenblad berekent de werpafstand voor verschillende standen van het rotorblad bij afworp (voorgesteld door de hoek ' α ' op **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**), en dit zowel bij nominaal toerental als bij overtoeren. De effectafstand voor bladbreuk-zwaartepunt is het maximum van alle berekende werpafstanden (voorgesteld door ' $R_{max,1}$ ' en ' $R_{max,2}$ ' voor respectievelijk nominaal toerental en overtoeren).

4.3.2 Kansdichtheidsfunctie

De berekening van de kans dat een persoon in de buurt van een windturbine getroffen wordt door een afgeworpen blad maakt gebruik van een kansdichtheidsfunctie ' f_{zwpt} ' [$1/m^2$]. Het rekenblad bepaalt deze functie als volgt:

- voor een groot aantal standen van het rotorblad bij afworp (hoek α) wordt de werpafstand ' R ' berekend;
- uit al deze werpafstanden wordt de maximale werpafstand ' R_{max} ' gehaald;



- rond de windturbine worden in een zone tot aan de maximale werpafstand 'R_{max}' ringvormige stroken van breedte 1 m beschouwd, d.i. stroken met binnenstraal r en buitenstraal r+1, voor r = 0, 1, 2, ..., R_{max} (in [m]);
- voor elke strook wordt geteld hoeveel keer het zwaartepunt van het rotorblad erin terechtgekomen is ('aantal_r'; r <= R < r+1);
- voor elke strook wordt aantal_r gedeeld door het totaal aantal worpen, wat de kans oplevert dat het zwaartepunt van het rotorblad in de strook terecht komt ('kans_r');
- de kans_r wordt gedeeld door de oppervlakte van de strook ('kansdichtheid_r');
- de kansdichtheidsfunctie 'f_{zwpt}' geeft deze kansdichtheid_r weer in functie van r.

Deze kansdichtheidsfunctie 'f_{zwpt}' wordt berekend bij nominaal toerental ('f_{zwpt,1}') en bij overtoeren ('f_{zwpt,2}').

De functie 'P_{zwpt}' [1/(m².jr)], die de kans per jaar geeft dat het zwaartepunt op een bepaalde positie inslaat gegeven bladbreuk, is dan

$$P_{zwpt} = P_{b,1} \cdot f_{zwpt,1} + P_{b,2} \cdot f_{zwpt,2}$$

met 'P_{b,1}' en 'P_{b,2}' de faalfrequenties [1/jr] voor de faalwijzen bladbreuk bij nominaal toerental resp. bladbreuk bij overtoeren.

Het rekenblad rekt met 18.000 equidistant verdeelde standen van het rotorblad bij afworp (Δα=0,02°). Deze berekening vraagt even tijd en kan er de oorzaak van zijn dat bij het ingeven van de waarde van een van de parameters 'H_t', 'D_r' en 'Ω' (en optioneel 'R_z') een klein oponthoud van enkele seconden merkbaar is.

4.4 ONDERGRONDSE LEIDINGEN

Om de impact van een windturbine op een ondergrondse leiding in te schatten wordt nagegaan in welke mate de grondtrillingen, opgewekt door de inslag van (een deel van) de windturbine op de grond, schade kunnen veroorzaken aan de ondergrondse leiding. De afstand van het punt van inslag (d.i. het punt waar de rotoras inslaat) tot op het punt in de bodem waar de trillingen nog sterk genoeg zijn om de ondergrondse leiding dusdanig te beschadigen dat er product vrijkomt, wordt de impactafstand 'r_{impact}' genoemd.

De relevante faalwijzen van de windturbine zijn mastbreuk en gondelbreuk.

De toepasselijke rekenmethodiek (zie 'Handboek Windturbines') schrijft voor dat eerst een scheidingsafstand berekend wordt. Men neemt immers aan dat als de afstand tussen de windturbine en de ondergrondse leiding groter is dan deze scheidingsafstand, het falen van de windturbine geen relevante impact heeft op deze leiding.

Het rekenblad berekent een conservatieve waarde voor 'r_{impact}' met volgende uitdrukking:

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



Hierbij is uitgegaan van volgende vaste parameterwaarden:

- PPV = 100 mm/s
- dichtheid van de bodem = 1.800 kg/m³
- kalibratieparameter k = 0,7

Voor de betekenis van deze parameters wordt verwezen naar het 'Handboek Windturbines'.

De scheidingsafstand voor mastbreuk is dan gelijk aan $H_m + r_{\text{impact}}$.

Het rekenblad rekent de scheidingsafstand enkel uit voor mastbreuk, niet voor gondelbreuk. De scheidingsafstand voor mastbreuk is immers de grootste van de twee.

4.5 RISICOAFSTANDEN

Het rekenblad berekent de afstanden tot de isorisicocontouren van risiconiveau 1E-5/jr, 1E-6/jr en 1E-7/jr.

Eigen aan het gebruikte model voor het berekenen van de werpafstanden 'R' bij bladbreuk en voor het bepalen van de kans op inslag van het zwaartepunt ' P_{zwpt} ', vertoont het verloop deze kans *niet realistische pieken* in de buurt van de maximale werpafstanden (voor nominaal toerental en overtoeren). Conform het 'Handboek Windturbines' mogen voor het aflezen/bepalen van de risicoafstanden deze pieken als het ware afgevlakt worden (voor de juiste reden hiervan: zie 'Handboek Windturbines').

Het rekenblad vlakt deze pieken af door van zodra de kans op inslag weer stijgt, deze kans constant te houden tot op het moment dat deze kans opnieuw onder deze vastgehouden waarde daalt. In het blad 'Risicobeeld WT' geeft de curve in oranje streepjeslijn het plaatsgebonden risico weer waarbij rekening is gehouden met de afgevlakte kans op inslag van het zwaartepunt bij bladbreuk.



5. DE AFDruk VAN HET REKENBLAD (DE VEILIGHEIDSSSTUDIE)

De leidraad 'Veiligheidsstudies Windturbines' stipuleert dat als het 'Rekenblad Windturbines' aangeeft dat geen *aanvullende veiligheidsstudie* nodig is, de afdruk van het rekenblad kan gelden als (onderdeel van de) *veiligheidsstudie* die bij de omgevingsvergunningaanvraag moet gevoegd worden. Als afdruk van het rekenblad volstaan de bladen 'Resultaten WT' en 'Vragenlijst' (wat niet belet dat de twee andere bladen ook deel mogen of kunnen uitmaken van de *veiligheidsstudie*).

In het rekenblad werden de belangrijkste afdrukoptyes al ingesteld.

Het afdrukken/opslaan van het rekenblad kan dan op volgende manier:

- selecteer met de linkermuisknop de bladen 'Resultaten WT' en 'Vragenlijst' (voor een meervoudige selectie, houd de Ctrl-toets of de Shift-toets ingedrukt);
- kies 'opslaan als ...' en selecteer 'PDF' als bestandstype;
- geef het bestand een naam, en sla op.

Aan het pdf-bestand kunnen dan naar believen extra pagina's toegevoegd worden, bv. extra toelichting, de aparte (kwalitatieve) risicoanalyse van de aspecten ijsworp en ijssval, ...



6. LIMIETEN VAN HET REKENBLAD

Het rekenblad berekent het plaatsgebonden risico in functie van de afstand tot de windturbine, en geeft dit grafisch weer in het blad 'Risicobeeld WT'. Hieruit worden dan de risicoafstanden bepaald.

In het rekenblad is een limiet ingesteld op de afstand tot de windturbine tot waar het plaatsgebonden risico berekend wordt. Dat betekent dat wanneer de maximale werpafstand bij bladbreuk bij overtoeren groter is dan deze ingestelde afstand, deze limiet overschreden wordt.

Niettegenstaande in voorkomend geval een aantal relevante afstanden nog correct berekend wordt (deze afstanden worden nog getoond in het blad 'Resultaten WT'), en niettegenstaande op dergelijke 'verre' afstand van de windturbine het plaatsgebonden risico uitsluitend bepaald wordt door het fenomeen bladbreuk bij overtoeren en de trefkans en het risico aldaar zeer klein zijn, geeft het rekenblad op elk blad een limietmelding, en wordt de 'Vragenlijst' niet vrijgegeven. In het blad 'Risicobeeld WT' worden de grafieken niet getekend.

Er wordt echter niet verwacht dat deze limiet op korte termijn zal bereikt worden. Indien toch, dan contacteert de gebruiker best het Team Externe Veiligheid. Met een relatief eenvoudige ingreep kan deze limietafstand immers opgeschoven worden.

Deze limietafstand is momenteel ingesteld op 2.000 m.



REFERENTIELIJST

- OMG/GOP. (2019a). 'Beoordelingskader Windturbines', *Code van goede praktijken inzake risicocriteria voor windturbines*. Brussel: Vlaamse overheid, Departement Omgeving, Afdeling Gebiedsontwikkeling, Omgevingsplanning en -projecten. Versie 1.0 van 01/10/2019.
- OMG/GOP. (2019b). 'Veiligheidsstudies Windturbines', *Praktische leidraad voor het opstellen van veiligheidsstudies voor windturbines*. Brussel: Vlaamse overheid, Departement Omgeving, Afdeling Gebiedsontwikkeling, Omgevingsplanning en -projecten. Versie 1.0 van 01/10/2019.
- OMG/GOP. (2019c). 'Handboek Windturbines', *Richtlijnen voor de risicoberekeningen van windturbines*. Brussel: Vlaamse overheid, Departement Omgeving, Afdeling Gebiedsontwikkeling, Omgevingsplanning en -projecten. Versie 1.0 van 01/04/2019.
- DNV GL. (2014). *Handboek Risicozonering Windturbines*, v3.1, Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.



VERSIEBEHEER

Datum	Versie	Voornaamste aanpassingen
01/04/2019	1.0	Verkorte versie zonder 'Vragenlijst', horende bij rekenblad v1.0 van 01/04/2019
01/10/2019	2.0	Nieuwe versie naar aanleiding van de publicatie van het Beoordelingskader Windturbines en de publicatie van de leidraad Veiligheidsstudies Windturbines , en de daarmee samenhangende aanpassing/uitbreiding van het Rekenblad Windturbines . Belangrijkste aanvullingen: <ul style="list-style-type: none">– toevoeging blad 'Vragenlijst' (deel 3.2)– toevoeging afdruk veiligheidsstudie (deel 5)



Vlaamse overheid
Departement Omgeving
Afdeling Gebiedsontwikkeling, Omgevingsplanning en -projecten
Graaf de Ferraris-gebouw
Koning Albert II-laan 20 bus 8
1000 Brussel
E-mail: GOP.omgeving@vlaanderen.be
Website: www.omgevingvlaanderen.be