

BEPALING BELASTINGEN OP KOP FUNDERINGSPAAL TURBINE

Krachtens het besluit activiteiten leefomgeving gelden voor het ontwerp van een windturbine de volgende normen:

- NEN-EN-IEC 61400-1 als $\varnothing_{\text{rotor}} > 16,00$ m
- NEN-EN-IEC 61400-2 als $\varnothing_{\text{rotor}} \leq 16,00$ m

De diameter van de rotor is bij een turbine BW80 gelijk aan 15,00 m, dus voor het ontwerp van deze turbine dient NEN-EN-IEC 61400-2 gehanteerd te worden.

Op basis van NEN-EN-IEC 61400-2 heeft Rengineers berekend wat de belastingen zijn op de kop van de monopile waarop de turbine BW80 wordt gefundeerd voor diverse masthoogtes bij de diverse SWT-classes. Deze worden in onderstaande tabellen gepresenteerd. De bovenste tabel betreffen de rekenwaarden en de onderste tabel de karakteristieke waarden van de belastingen op de kop van de funderingspaal.

Funderingsbelastingen BW80 15 - 30m

incl. bel.factoren	ashoogte 15 m			ashoogte 20 m			ashoogte 25 m			ashoogte 30 m		
Windklasse IEC	FX kN	FZ kN	MY kNm	FX kN	FZ kN	MY kNm	FX kN	FZ kN	MY kNm	FX kN	FZ kN	MY kNm
IEC class 2	101.9	-68.4	1206.5	117.8	-81.5	1788.7	135.3	-109.7	2380.2	150.6	-140.4	3156.6
IEC class 3	79.4	-68.4	947.6	91.7	-81.5	1406.1	105.2	-109.7	1915.0	117.3	-140.4	2457.4
IEC class 4	50.8	-68.4	619.5	58.7	-81.5	921.8	67.3	-109.7	1247.6	75.0	-140.4	1585.5

Bel. factoren	1.35	1.10	1.35	1.35	1.10	1.35	1.35	1.10	1.35	1.35	1.10	1.35
---------------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

excl. bel.factoren	ashoogte 15 m			ashoogte 20 m			ashoogte 25 m			ashoogte 30 m		
Windklasse IEC	FX kN	FZ kN	MY kNm	FX kN	FZ kN	MY kNm	FX kN	FZ kN	MY kNm	FX kN	FZ kN	MY kNm
IEC class 2	75.5	-62.2	893.7	87.3	-74.1	1302.0	100.2	-99.8	1754.0	111.5	-127.6	2306.0
IEC class 3	58.8	-62.2	701.9	68.0	-74.1	1019.9	77.9	-99.8	1391.7	86.9	-127.6	1790.2
IEC class 4	37.6	-62.2	458.9	43.5	-74.1	662.4	49.9	-99.8	900.4	55.6	-127.6	1151.3

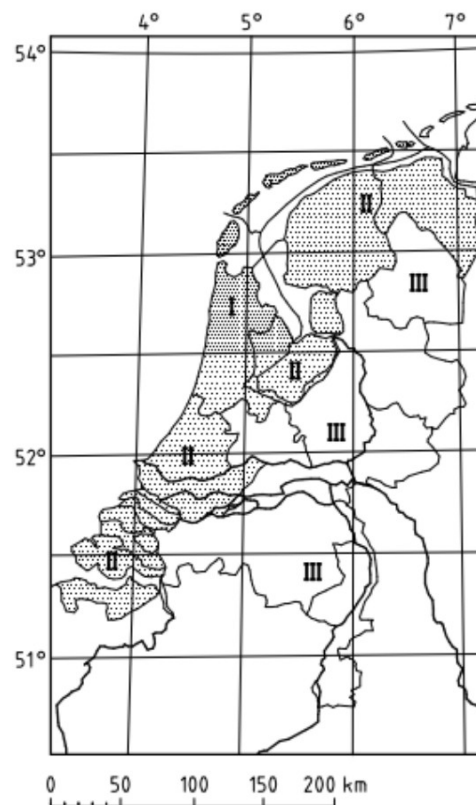
Deze belastingen zijn gebaseerd op de karakteristieke waarden van de extreme windsnelheid met een referentieperiode van 50 jaar (V_{e50}) zoals die in NEN-EN-IEC 61400-2 voor verschillende SWT-classes worden voorgeschreven. Deze karakteristieke waarden van de extreme windsnelheid worden in onderstaande tabel gepresenteerd.

SWT-klasse	V_{e50} [m/s]
I	70
II	59,5
III	52,5
IV	42

Voor het toetsen van de verplaatsing van de kop van de funderingspaal wordt een berekening gemaakt op basis van de karakteristieke belastingen, voor het toetsen van de sterkte van de paal wordt de paal berekend op basis van de rekenwaarden van de belastingen.

Om te bepalen welke SWT-klasse van toepassing is voor het ontwerp van de turbine (en dus welke combinaties van belastingen uit bovenstaande tabellen gehanteerd dienen te worden voor het berekenen van de funderingspaal) wordt met behulp van NEN-EN 1991-1-4 gekeken wat de karakteristieke waarde is van de windsnelheid op basis van de locatie waar de turbine komt te staan en de hoogte van de turbine. Daarbij wordt uitgegaan van een referentieperiode van 50 jaar.

Aan de hand van figuur NB.1 wordt gekeken in welk windgebied de turbinelocatie ligt.



Figuur NB.1 — Indeling van Nederland in windgebieden

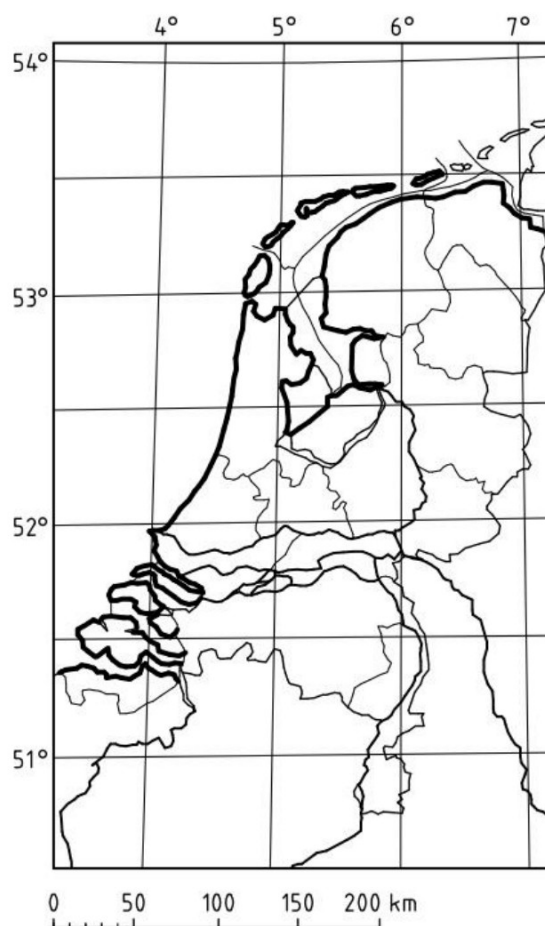
Vervolgens dient te worden gekeken naar de terreinruwheid. In tabel NB.3 – 4.1 worden drie terreincategorieën benoemd.

Tabel NB.3 – 4.1 — Terreincategorieën en terreinparameters

Terreincategorie		z_0 m	z_{min} m
0	Zee of kustgebied aan zee	0,005	1
II	Onbebouwd gebied	0,2	4
III	Bebouwd gebied	0,5	7

Als de turbine zich nabij open zee bevindt in één van de in figuur NB.4 aangegeven mogelijke kustlocaties, dan dient van terreincategorie 0 uitgaan te worden.

In alle andere gevallen wordt voor het ontwerp van de turbine uitgegaan van terreincategorie II onbebouwd omdat de turbine doorgaans buiten de bebouwde kom worden geplaatst.



Figuur NB.4 — Mogelijke locaties met terreincategorie 0

Aan de hand van hetgeen in NEN-EN 1991-1-4 en de daarbij horende nationale bijlage is omschreven kan bepaald worden wat de extreme stuwdruk is. Dit resulteert voor de bij Rengineers in gebruik zijnde turbinehoogtes voor een referentieperiode van 50 jaar de waarden die in onderstaande tabel pagina worden gepresenteerd.

Karakteristieke waarde extreme stuwdruk q_p [kN/m²]

windgebied en terreinruwheid	H = 15 m	H = 20 m	H = 25 m	H = 30 m
I, kust	1,71	1,80	1,88	1,94
I, onbebouwd	1,16	1,27	1,36	1,43
II, kust	1,43	1,51	1,57	1,63
II, onbebouwd	0,98	1,07	1,14	1,20
III onbebouwd	0,80	0,88	0,94	0,99

Voor het verband tussen windsnelheid en stuwdruk geldt: $q_p = m \cdot v^2/2$.

Of, anders opgeschreven: $v = \sqrt{(q_p \times 2 / m)}$.

In deze formules is m de dichtheid van lucht in ton/m³, deze bedraagt 1,25 kg/m³ ofwel 0,00125 ton/m³.

Op basis van de hierboven genoemde stuwdrukken is met de formule $v = \sqrt{(q_p \times 2 / m)}$ berekend wat de bij de betreffende stuwdruk behorende windsnelheid is. De berekende windsnelheden worden in de tabel op de volgende pagina gepresenteerd.

Karakteristieke waarde extreme windsnelheid v [m/s]

windgebied en terreinruwheid	H = 15 m	H = 20 m	H = 25 m	H = 30 m
I, kust	52,3	53,7	54,8	55,7
I, onbebouwd	43,1	45,1	46,6	47,8
II, kust	47,8	49,2	50,1	51,1
II, onbebouwd	39,6	41,4	42,7	43,8
III onbebouwd	35,8	37,5	38,8	39,8

Door deze karakteristieke waarden van de extreme windsnelheid te vergelijken met de windsnelheden die bij de SWT-klassen in NEN-EN-IEC 61400-2 worden genoemd kan worden bepaald in welk windgebied bij welke terreinruwheidsklasse en masthoogte welke SWT-klasse van toepassing is voor het ontwerp van de paalfundering. Dit is in onderstaande tabel weergegeven.

Van toepassing zijnde SWT-klasse

windgebied en terreinruwheid	H = 15 m	H = 20 m	H = 25 m	H = 30 m
I, kust	SWT 3	SWT 2	SWT 2	SWT 2
I, onbebouwd	SWT 3	SWT 3	SWT 3	SWT 3
II, kust	SWT 3	SWT 3	SWT 3	SWT 3
II, onbebouwd	SWT 4	SWT 4	SWT 3	SWT 3
III onbebouwd	SWT 4	SWT 4	SWT 4	SWT 4

2 december 2022