

Inhoud

Hoofdstuk 5. Wind

1. Beschrijving 5 - 1
 - 1.1 benaming van de basisgrootheid 5 - 1
 - 1.2 definitie; omschrijving van het begrip 5 - 1
 - 1.3 eenheden 5 - 1
 - 1.4 variabelen 5 - 1
 - 1.5 elementcodes 5 - 2
 2. Operationele eisen 5 - 7
 - 2.1 bereik 5 - 7
 - 2.2 waarneemresolutie in verband met berichtgeving 5 - 7
 - 2.3 vereiste nauwkeurigheid 5 - 7
 - 2.4 vereiste waarneemfrequentie en -tijdstippen 5 - 7
 - 2.5 vereiste data-aanwezigheid per specifieke periode 5 - 10
 3. Instrumenten en techniek 5 - 11
 - 3.1 techniek en specificaties 5 - 11
 - 3.2 onderhoud- en calibratieprocedures 5 - 12
 4. Procedures 5 - 13
 - 4.1 procedures bij uitval automatische waarnemingen 5 - 13
 - 4.2 procedures voor achteraf validatie 5 - 13
 - 4.3 procedures voor inspectie 5 - 14
 5. Herleiding van parameters 5 - 17
 - 5.1 herleiding gemeten windsnelheid naar potentiële windsnelheid 5 - 17
 6. Opstellingseisen en omgevingscondities 5 - 19
 - 6.1 opstellingseisen en -voorzieningen 5 - 19
 - 6.2 condities m.b.t. omgeving en meetlocatie, c.q. representativiteit waarnemingen 5 - 19
- Referenties 5 - 21





5. Wind

1. Beschrijving

1.1 benaming van de grootheid

Algemene benaming: wind.

Internationale aanduiding: surface wind (WMO no.8, ref. 1)

1.2 definitie; omschrijving van het begrip

Wind is de horizontale verplaatsing van lucht. De belangrijkste oorzaak van deze luchtverplaatsing is verschil in luchtdruk. Het luchtdrukverschil per afstand is de luchtdrukgradient. Naarmate deze gradiënt groter is, des te groter en krachtiger zal de luchtverplaatsing zijn. De ligging van gebieden met hogere luchtdruk ten opzichte van de gebieden met lagere druk is in belangrijke mate bepalend voor de richting van de luchtverplaatsing.

De windparameters die in de meteorologie en klimatologie een rol spelen zijn:

- windsnelheid (windspeed)
- windrichting (winddirection)
- windstoot of vlaag (windgust)

1.3 eenheden

a) erkende eenheid volgens SI (ref.13)

De erkende eenheden volgens SI zijn:

- windsnelheid: m/s
- windrichting: booggraden
- windvlaag: m/s

b) niet-erkende eenheid volgens SI (ref.13)

In de operationele meteorologie en met name in de luchtvaartmeteorologie is de gebruikelijke eenheid voor windsnelheid en -vlaag nog steeds: knopen (Eng: knots, kortweg: kts).

1 knoop = 1 zeemijl per uur = 1852 m / 3600 s = 0.514444 m/s.

1.4 variabelen

De volgende variabelen worden onderscheiden:

a) windsnelheid:

De windsnelheid is de horizontale snelheid van (een) lucht(deeltje) in m/s.

b) gemiddelde windsnelheid:

De gemiddelde windsnelheid betreft het gemiddelde van de horizontale snelheid van de op een bepaald geografisch punt passerende luchtdeeltjes gedurende een vooraf gedefinieerd tijdvak, bijvoorbeeld 10 minuten.

Operationeel komt dit neer op het rekenkundig gemiddelde van alle in het betreffende tijdvak geregistreerde 3" gemiddelden.

c) momentane windsnelheid:

De momentane windsnelheid is de actuele windsnelheid in m/s. Feitelijk betreft het de gemiddelde windsnelheid van de afgelopen 3 seconden.

d) maximale windstoot of vlaag (Eng: gust):

Bedoeld wordt de maximale windsnelheid in een bepaald tijdvak.

Operationeel betreft het de hoogst geregistreerde 3" gemiddelde waarde in een gedefinieerd tijdvak, bijvoorbeeld 10 minuten.

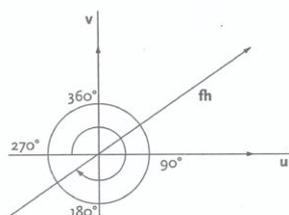
e) *windrichting:*

De windrichting op een bepaald geografisch punt is de horizontale verplaatsingsrichting van een lucht(deeltje). In de meteorologische conventie wordt de windrichting gedefinieerd als de richting *van waaruit* de wind waait (ic de richting waarnaar men kijkt als men met het gezicht in de wind staat). De richting wordt bepaald door de hoek ten opzichte van de positieve (y-)as. In het assenstelsel is de y-as gericht op het ware geografische noorden (in de luchtvaartmeteorologie is deze as gericht op het aardmagnetische noorden). Het positieve deel van de loodrecht op de y-as staande x-as is gericht op het oosten. De hoek varieert van 0 tot en met 360 booggraden gerekend vanaf de positieve y-as en met de wijzers van de klok mee.

Voorbeeld:

In de meteorologische conventie is een zuid-westelijke wind een wind die uit het zuidwesten waait en equivalent is met een windrichting van 225 booggraden (225°).

f) *windvector en vectorcomponenten:*



De vector van de wind geeft aan de richting waar de wind naartoe waait en is dus precies het tegenovergestelde van de meteorologische windrichting. De windvector wordt bepaald door de grootte van de horizontale windsnelheid en de tegenovergestelde meteorologische windrichting. De vectorcomponenten zijn de projecties van de windvector op respectievelijk de x-as en de y-as: resp u-component en v-component; zie plaatje.

g) *gemiddelde windrichting:*

Volgens internationale afspraak is de gemiddelde windrichting gebaseerd op de middeling van de onderhavige windrichtingen, waarbij alle corresponderende vectoren als eenheidsvector worden beschouwd. Dat wil zeggen dat bij de bepaling van de gemiddelde windrichting de per vector corresponderende windsnelheid buiten beschouwing wordt gelaten. In casu worden van alle in het betreffende tijdvak geregistreerde winden de gemiddelden van respectievelijk de u-componenten en de v-componenten van de eenheidsvector berekend. De gemiddelde vector wordt vervolgens samengesteld uit de gemiddelde u-component en de gemiddelde v-component. De gemiddelde (meteorologische) windrichting is dan de tegenovergestelde richting van de vector.

1.5 elementcodes

De codering met betrekking tot de wind in de synoptische berichtgeving (SYNOP), de Klimatologische berichtgeving (KLIM) en de berichtgeving aan de luchtvaart (METAR) is vastgelegd in het KNMI-handboek meteorologische codes (ref. 14). Module A4/BI, Waarnemen, van de Elementaire Vakopleiding Meteorologie (ref. 6, hoofdstuk 6) is een goede leidraad.

SYNOP:

- code dd (KIS: DD): de gemiddelde (vectoriele) windrichting in tientallen booggraden in de 10 minuten voorafgaand aan het waarneemtijdstip {d.i. exact 5 minuten voor ieder geheel uur (UTC)}.
- code ff (KIS: FF): de gemiddelde windsnelheid in m/s in de 10 minuten

voorafgaand aan het waarneemtijdstip
{d.i. exact 5 minuten voor ieder geheel uur (UTC)}.

Opmerking 1.

Bij weinig wind (windsnelheid < 2 m/s) c.q. in het geval van sterk variërende wind (standaarddeviatie windrichting ≥ 30 booggraden) wordt de windrichting veranderlijk of variabel genoemd. In deze gevallen wordt codecijfer dd = 99 gebruikt.

Opmerking 2.

Indien zich in het waarneemtijdvak van 10 minuten een significante verandering in het windgedrag voordoet, wordt het gemiddelde bepaald over het tijdvak tussen het tijdstip van verandering en het waarneemtijdstip. Dit geldt dan zowel voor het berekenen van de gemiddelde windrichting, als voor de berekening van de gemiddelde windsnelheid. Men spreekt van een significante verandering indien zich tijdens het waarneemtijdvak één van onderstaande situaties voordoet:

- a) er is gedurende het waarneemtijdvak een abrupte en aanhoudende verandering in de windrichting van 30 booggraden of meer, bij een windsnelheid van 5 m/s of meer voor of na de verandering;
- b) er is sprake van een verandering in de windsnelheid van 5 m/s of meer, welke tenminste 2 minuten aanhoudt.

Voor een gedetailleerde beschrijving: zie document Wind-SIAM, par 2.3.3, ref. 16. De gemiddelde wind (snelheid en richting) wordt dus bepaald over de periode NA de verandering en is derhalve een gemiddelde van kleiner dan 10 minuten.

Dit is overigens niet te herkennen in de berichtgeving!

- code $f_x f_x$:
(in groep 910): de maximale windstoot in m/s in de 10 minuten voorafgaand aan het waarneemtijdstip {d.i. exact 5 minuten voor ieder geheel uur (UTC)} als deze 5 m/s (of meer) groter is dan ff
(in groep 911): de maximale windstoot in m/s in het uurvak voorafgaand aan het waarneemtijdstip {d.i. exact 5 minuten voor ieder geheel uur (UTC)} als deze ≥ 13 m/s is.
 - code $f_m f_m$:
groep 912ff: de maximale 10-minuten gemiddelde windsnelheid in m/s in het uurvak voorafgaand aan het waarneemtijdstip {d.i. exact 5 minuten voor ieder geheel uur (UTC)} als deze ≥ 13 m/s is.
 - code $f_x f_x$:
groep 511ff: alleen op main c.q. intermediate hours*: de maximale windstoot in m/s in het waarneemtijdvak (d.i. periode van 6 uur igv main hours c.q. 3 uur igv intermediate hours) voorafgaand aan het waarneemtijdstip {d.i. exact 5 minuten voor ieder geheel uur (UTC)} als deze ≥ 13 m/s is.
 - code $f_m f_m$:
groep 512ff: alleen op main c.q. intermediate hours*: de maximale 10-minuten gemiddelde windsnelheid in m/s in het waarneemtijdvak (d.i. periode van 6 uur igv main hours c.q. 3 uur igv intermediate hours) voorafgaand aan het waarneemtijdstip {d.i. exact 5 minuten voor ieder geheel uur (UTC)} als deze ≥ 13 m/s is.
- * - main hours: 00, 06, 12, 18 UTC
- intermediate hours: 03, 09, 15, 21 UTC

KLIM:

- code $f_n f_h$ of f_h (KIS: FH):
Deze betreft het gemiddelde van de windsnelheid in het afgelopen uur; principieel is dit het uurvak tussen twee opeenvolgende gehele uurtijdstippen; uit praktische overwegingen wordt genomen het tijdvak vanaf exact 5 minuten voor het gehele uur tot precies een uur later.
- code $f_x f_x$ of f_x (KIS: FX):
Deze betreft de maximale windstoot in het afgelopen uur; dit is de maximaal geregistreeerde 3" gemiddelde windsnelheid in het uurvak; definiëring uurvak als bij uurgemiddelde wind (zie boven).

METAR:

- code: $dddffGf_m f_m$:
 ddd : ware richting in graden, afgerond naar het dichtstbijzijnde 10-tal graden, van waaruit de wind waait;
 ff : windsnelheid in knopen
 G : letterindicator voor maximale windstoten;
 $f_m f_m$: maximale windsnelheid in knopen
- code: $d_n d_n d_n V d_x d_x d_x$
 $d_n d_n d_n$: extreme windrichting, *tegen de klok in*, van een variabele wind, gemeld ten opzichte van het ware noorden en afgerond naar het dichtst bijzijnde 10-tal graden;
 V : letterindicator om verschillende elementen van extreme waarden, zonder tussenruimte, van elkaar te scheiden;
 $d_x d_x d_x$: extreme windrichting, *met de klok mee*, van een variabele wind, gemeld ten opzichte van het ware noorden en afgerond naar het dichtstbijzijnde 10-tal graden.

De gemiddelde ware richting in graden, afgerond naar de dichtstbijzijnde 10-tal graden, van waaruit de wind waait, en de gemiddelde windsnelheid over de 10-minuten periode, direct voorafgaande aan het tijdstip van waarnemen, worden gemeld met $dddff$. Waarden van de windrichting onder de 100° worden voorafgegaan door het cijfer 0 en een wind vanuit het ware noorden wordt gemeld met 360° . Waarden van de windsnelheid van minder dan 10 eenheden worden voorafgegaan door het cijfer 0. Echter, indien in de 10-minuten periode zich een kenmerkende onderbreking in de windkarakteristiek heeft voorgedaan, worden alleen de gegevens van na de onderbreking gebruikt om de gemiddelde windsnelheid en de waarden van de maximale windstoten vast te stellen; de gemiddelde windrichting en veranderingen van de windrichting worden onder deze omstandigheden overeenkomstig dat verkorte tijdinterval bepaald.

Een kenmerkende onderbreking doet zich voor:

- a. Als er een abrupte en aanhoudende verandering in de windrichting van 30° of meer is, met een windsnelheid van 10 kts of meer voor of na de verandering, of
- b. Als er een verandering in de windsnelheid van 10 kts of meer is, welke tenminste 2 minuten aanhoudt.

In het geval van een variabele windrichting, wordt ddd gecodeerd met VRB als de gemiddelde windsnelheid 3 kts of minder is. Een variabele wind met



hogere snelheden, met een variatie van de windrichting van 180° of meer, wordt alleen gemeld als het onmogelijk is één windrichting vast te stellen, bijvoorbeeld als een onweersbui over het vliegveld trekt.

Als, gedurende de 10-minutenperiode voorafgaande aan het waarnemings-tijdstip de totale variatie van de windrichting 60° of meer is en de gemiddelde windsnelheid is meer dan 3 kts, moeten de twee extreme richtingen waartussen de wind heeft gevarieerd gemeld worden, met de klok mee, met $d_n d_n d_x d_x d_x$. In andere gevallen wordt deze groep niet opgenomen.

Windstilte wordt gecodeerd met 00000.

Als, gedurende de 10-minutenperiode voorafgaande aan het waarnemingstijdstip, de maximumwindstoot de gemiddelde windsnelheid met 10 knopen of meer overschrijdt, moet deze maximale snelheid gemeld worden met $Gf_m f_m$ onmiddellijk na $dddff$. In andere gevallen mag het element $Gf_m f_m$ niet opgenomen worden.

Voor windsnelheden van 100 of meer eenheden, wordt de exacte waarde van de eenheden van de windsnelheid gemeld, in plaats van de twee-cijfer code ff of $f_m f_m$.



2. Operationele eisen

2.1 bereik

Door de WMO is als operationeel gebied voor de waarnemingen windsnelheid en richting gegeven (ref.1 en 3.):

- gemiddelde windsnelheid: 0 - 70 m/s; windstoten: 5-75 m/s;
- windrichting: > 0 en ≤ 360 booggraden.

Het KNMI hanteert met betrekking tot de meting windsnelheid (feitelijk een 3^e gemiddelde, waaruit de gemiddelde waarden en de extremen worden herleid) de range 0 - 50 m/s. De afwijking mbt de WMO-standaard wordt ingegeven door de instrumentele beperking en het feit dat windsnelheden (incl. windstoten) > 50 m/s klimatologisch in Nederland en omgeving vrijwel uitgesloten zijn.

Met betrekking tot de meting windrichting is de KNMI-norm conform WMO.

2.2 waarneemresolutie in verband met berichtgeving

De vereiste resolutie in de waarneming van de wind is gebaseerd op de vereiste resolutie in de rapportage van de synoptische meteorologie en in de (lokale) berichtgeving op luchthavens en helihavens (ref. 1 en 4). Deze resolutie is in lijn met de gestelde waarneemonzekerheid (ref.1).

SYNOP

- windrichting: 10 booggraden (cf. WMO)
- gemiddelde windsnelheid: 1 m/s (WMO: 0,5 m/s)
- windstoot: 1 m/s (WMO: 0,5 m/s)

Opmerking: KNMI wijkt mbt windsnelheid af van de WMO. Dit hangt samen met de beperkte ruimte in de code (2 posities).

KLIM

- gemiddelde windsnelheid: 1 m/s (WMO: 0,5 m/s)
- windstoot: 1 m/s (WMO: 0,5 m/s)

Opmerking: KNMI wijkt mbt windsnelheid af van de WMO. Dit hangt samen met de beperkte ruimte in de code (2 posities).

METAR

- windrichting: 10 booggraden (cf. WMO/ICAO)
- gemiddelde windsnelheid: 1 kts (cf. WMO/ICAO)
- windstoot: 1 kts (cf. WMO/ICAO)

2.3 vereiste nauwkeurigheid in verband met berichtgeving

Conform de regelgeving van de WMO en de ICAO (ref. 1 en 4) geschiedt de berichtgeving SYNOP c.q. KLIM c.q. METAR met de volgende nauwkeurigheid:

- windrichting: ± 5 booggraden
(alleen van toepassing bij windsnelheid ≥ 2 m/s);
- gemiddelde windsnelheid: $\pm 0,5$ m/s voor ≤ 5 m/s, $\pm 10\%$ voor > 5 m/s;
- windstoot: $\pm 10\%$.

2.4 vereiste waarneemfrequentie

3^e waarde gemiddelde windsnelheid

Iedere 1/4 seconde registreert de SIAM de waarde gemiddelde windsnelheid over de afgelopen 3 seconden. Een 3^e gemiddelde is de basis voor alle herleidingen mbt windsnelheid.

12" waarden windsnelheid

Iedere 12 seconde wordt in de SIAM 48 keer het lopende gemiddelde over 3" bepaald (dat wil zeggen per $\frac{1}{4}$ "). Uit dit sample van 48 waarden worden het maximum en het minimum vastgesteld (respectievelijk het grootste en het kleinste 3" gemiddelde). Deze extreemwaarden worden opgeslagen in de 12" database van de SIAM.

1' gemiddelde windsnelheid

Ten behoeve van de berichtgeving in het kader van de operationele luchtvaartmeteorologie, berekent de SIAM de 1' gemiddelde windsnelheid. Dit is het rekenkundig gemiddelde van de 240 elkaar overlappende 3" samples in het 1' vak, inbegrepen het 3" gemiddelde zoals vastgesteld op het laatste tijdstip van het 1 minuten vak. De SIAM doet deze berekening iedere 12 seconden en slaat de verkregen waarden op in de 12" database.

10' waarden windsnelheid

Ten behoeve van diverse inwinsystemen berekent de SIAM de 10' waarden windsnelheid gemiddelde, maximum, minimum, standaarddeviatie.

- ad gemiddelde: Dit is het rekenkundig gemiddelde van de 2400 elkaar overlappende 3" gemiddeldes in het 10' vak, inbegrepen het 3" gemiddelde zoals vastgesteld op het laatste tijdstip van het betreffende 10 minuten vak. NB als zich in genoemd tijdvak van 10 minuten een plotselinge en blijvende verandering voordoet, dan wordt het gemiddelde bepaald over het tijdvak tussen het tijdstip van verandering en het waarneemtijdstip.
- ad maximum: Dit is het maximum van 50 achtereenvolgende 12" maxima inbegrepen het 12" maximum zoals vastgesteld op het laatste tijdstip van het betreffende 10 minuten vak.
- ad minimum: Dit is het minimum van 50 achtereenvolgende 12" minima inbegrepen het 12" minimum zoals vastgesteld op het laatste tijdstip van het betreffende 10 minuten vak.
- ad standaarddeviatie: deze wordt berekend op basis van de 2400 elkaar overlappende 3" gemiddeldes in het 10' vak, inbegrepen het 3" gemiddelde zoals vastgesteld op het laatste tijdstip van het betreffende 10 minuten vak.

De SIAM doet bovenbeschreven 10'-berekeningen iedere 12 seconden en slaat de verkregen waarden op in de 12" database.

In genoemde systemen wordt na extractie uit de SIAM-database voor ieder 10 minuten tijdstip (dus per uur uu: de tijdstippen uu.00', uu.10', uu.20', uu.30', uu.40', uu.50') het gemiddelde, maximum, minimum en de standaarddeviatie over de 10 minuten periode gepresenteerd, die loopt van 5 minuten voor dat tijdstip tot en met precies 5 minuten na het tijdstip.

Uurwaarden windsnelheid SYNOP/KLIM

De uurwaarden worden vastgesteld conform de in 1.5 beschreven codedefiniering en zijn gebaseerd op de onderliggende 10' waarden (gemiddelde c.q. maximum) van de 10' tijdstippen die behoren tot het betreffende uurvak. Dus in het geval van uur {uu+1} gaat het om de 10' waarden van de tijdstippen uu.00', uu.10', uu.20', uu.30', uu.40', uu.50'

Voorbeeld: de waarde ff van 14.00 UTC betreft de 10' gemiddelde waarde op het tijdstip 13u 50'00" en is het rekenkundig gemiddelde van de 2400 elkaar overlappende 3" gemiddeldes in het tijdvak 13u 45'00" tot 13u 55'00" (d.w.z. 3" waarden op de achtereenvolgende

volgende tijdstippen: 13u45'03'', 13u45'03¹/₄'', 13u45'03¹/₂'', enz. t.m. 13u55'00'').

Opmerking:

In KIS wordt alleen FF, FH en FX opgeslagen.

12" waarden gemiddelde windrichting

Per 12 seconden wordt in de SIAM de windrichting bepaald.

Deze waarden worden opgeslagen in de 12" database van de SIAM.

1' gemiddelde windrichting

Ten behoeve van de berichtgeving in het kader van de operationele luchtvaart-meteorologie, berekent de SIAM de 1' gemiddelde windrichting. Dit is het vectorieel gemiddelde van de 5 12" gemiddeldes in het afgelopen 1' vak, inbegrepen het 12" gemiddelde zoals vastgesteld op het laatste tijdstip van het 1 minuut tijdvak (NB het vectorieel gemiddelde is gebaseerd op de eenheidsvector, zie boven). De SIAM doet deze berekening iedere 12 seconden en slaat de verkregen waarden op in de 12" database.

10' waarden windrichting

Ten behoeve van diverse systemen berekent de SIAM de 10' waarden gemiddelde windrichting, maximum geruimde momentane wind, minimum geruimde momentane wind, standaarddeviatie.

- ad gemiddelde windrichting: Dit is het vectorieel gemiddelde van de 50 12" gemiddeldes in het 10' vak, inbegrepen het 12" gemiddelde zoals vastgesteld op het laatste tijdstip van het betreffende 10 minuten vak (NB het vectorieel gemiddelde is gebaseerd op de eenheidsvector, zie boven). NB als zich in genoemd tijdvak van 10 minuten een plotselinge en blijvende verandering voordoet, dan wordt het vectorieel gemiddelde bepaald over het tijdvak tussen het tijdstip van verandering en het waarneemtijdstip.
- ad maximum geruimde momentane wind: Dit is het maximum van 50 achtereenvolgende 12" waarden gemiddelde windrichting inbegrepen de 12" waarde zoals vastgesteld op het laatste tijdstip van het betreffende 10 minuten vak. Met "maximum" wordt bedoeld de grootste ruiming " $\leq 180^\circ$ " tov het vastgestelde vectorieel gemiddelde in het betreffende 10'vak (ruiming is "met de wijzers van de klok mee").
- ad minimum gekrompen momentane wind: Dit is het minimum van 50 achtereenvolgende 12" waarden gemiddelde windrichting inbegrepen de 12" waarde zoals vastgesteld op het laatste tijdstip van het betreffende 10 minuten vak. Met "minimum" wordt bedoeld de grootste krimping " $\leq 180^\circ$ " tov het vastgestelde vectorieel gemiddelde in het betreffende 10'vak (krimping is "tegen de wijzers van de klok in").
- ad standaarddeviatie: deze wordt vectorieel berekend op basis van 50 achtereenvolgende 12" waarden gemiddelde windrichting inbegrepen de 12" waarden zoals vastgesteld op het laatste tijdstip van het betreffende 10 minuten vak (NB vectorieel op basis van de eenheidsvector, zie boven).

De SIAM doet bovenbeschreven 10'-berekeningen iedere 12 seconden en slaat de verkregen waarden op in de 12" database.

In genoemde systemen wordt na extractie uit de SIAM-database voor ieder 10 minuten tijdstip (dus per uur uu: de tijdstippen uu.00', uu.10', uu.20', uu.30', uu.40', uu.50') het gemiddelde, maximum, minimum en de standaarddeviatie over de 10 minuten periode gepresenteerd, die loopt van 5 minuten voor dat tijdstip tot en met precies 5 minuten na het tijdstip.

Uurwaarde windrichting SYNOP

De uurwaarden worden vastgesteld conform de in 1.5 beschreven codedefiniering en zijn gebaseerd op het betreffende 10' tijdvak.

Voorbeeld: de waarde dd van 14.00 UTC betreft de 10' gemiddelde waarde op het tijdstip 13u 50'00" en is het vectorieel gemiddelde van de 50 niet overlappende 12" gemiddeldes in het tijdvak 13u 45'00" tot 13u 55'00" (NB het vectorieel gemiddelde is gebaseerd op de eenheidsvector, zie boven).

Opmerking:

In KIS wordt alleen DD opgeslagen.

halfuurwaarden windsnelheid (gemiddelde, maximum) en windrichting METAR

Het tijdstip voor het METAR-bericht is precies 5 minuten vóór het gehele uur c.q. precies 5 minuten vóór het halve uur. De waarden windsnelheid (gemiddelde, maximum) en windrichting in de METAR worden op dit tijdstip vastgesteld en zijn gebaseerd het gemiddelde c.q. maximum van het voorafgaande 10 minuten vak.

Voorbeeld: ff op 10.25 UTC is de 10 minuten gemiddelde windsnelheid berekend over de periode 10u15'00" - 10u25'00".

2.5 vereiste dataaanwezigheid per specifieke periode

Een gemiddelde windsnelheid c.q. (vectorieel) gemiddelde windrichting over een bepaald tijdvak (12", 1', 10', uur) wordt gebaseerd op de beschikbare 3" c.q. 12" waarden in het betreffende tijdvak (NB met "beschikbaar" wordt bedoeld: aanwezig en geen fatale fout). Voor het bepalen van een gemiddelde is een 100% beschikbaarheid in het onderhavige tijdvak niet op voorhand vereist. Wel dient het afwezigheidspercentage te worden vermeld. Dit gebeurt in het SIAM-bericht.

- Een 1-uurlijkse waarde windsnelheid (gemiddelde c.q. maximum) wordt niet vastgesteld en gecodeerd indien 1 of meer van de onderhavige 10-minutenwaarden ontbreken.
- Een 3-uurlijkse waarde windsnelheid (gemiddelde c.q. maximum) wordt niet vastgesteld en gecodeerd indien 3 of meer van de onderhavige 10-minutenwaarden ontbreken.
- Een 6-uurlijkse waarde windsnelheid (gemiddelde c.q. maximum) wordt niet vastgesteld en gecodeerd indien 6 of meer van de onderhavige 10-minutenwaarden ontbreken.

Een en ander is vastgelegd in de gebruikersspecificaties.

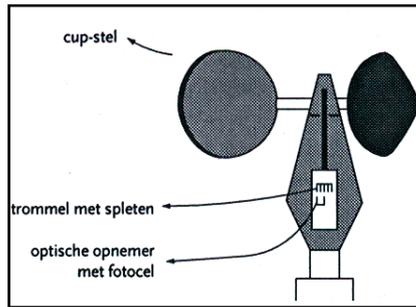
3. Instrumenten en techniek

3.1 techniek en specificaties

Standaardinstrumenten

Sedert omstreeks 1960 gebruikt het KNMI op vrijwel alle weerstations windsnelheidsmeters van het type cupanemometer.

Dit instrument ziet eruit als een drietal halve bollen op een verticale as. De wind blaast in de holte van deze bollen en doet zo de as rondtollen.

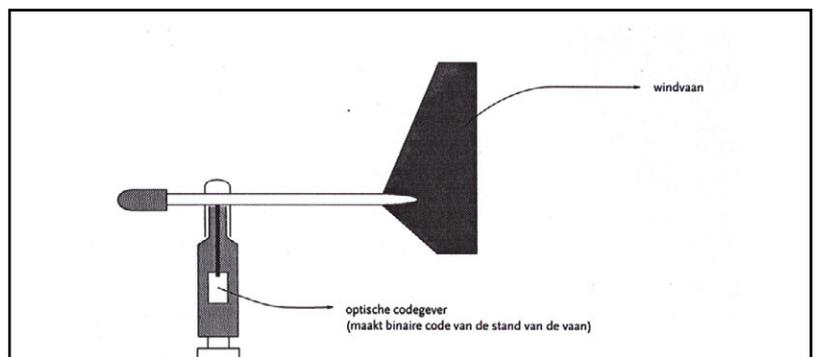


In het mechaniek is een sensor ingebouwd die bij iedere omwenteling reageert op een signaal vanuit de ronddraaiende as. De registratie van de omloopsnelheid, die vrijwel evenredig is met de heersende windsnelheid, geschiedt met behulp van pulsentelling. Het aantal pulsen per tijdseenheid (bijvoorbeeld seconde) wordt geteld en hieruit wordt de draaisnelheid afgeleid.

De registratie van de windrichting gebeurt met behulp van een windvaan. In feite is dit een tamelijk onbuigzaam metaalplaatje op een rond-draaiende as. De windkracht beweegt de vaan in een richting die dezelfde is als de richting van de wind.

De stand van de as kan inwendig geregistreerd worden. Indien het noorden op 0 (graden) is gecalibreerd kan uit de asstand de windrichtingshoek worden afgeleid.

Detailinformatie in *Meteorologische Instrumenten*, J.G. van der Vliet (Ref. 5, par. 5).



De technische specificaties van de cupanemometer resp. windvaan zijn als volgt:

Anemometer met SIAM:

Meetbereik:	0,5 - 50 m/s
Resolutie:	0,1 m/s
Nauwkeurigheid:	±0,5 m/s
Meetfrequentie:	1 Hz

Dynamische respons van de cup: respons lengte $\lambda = 2,9$ m. (ref.15)

Windvaan met SIAM: :

Meetbereik: 360 booggraden (bij windsnelheid $\geq 2\text{m/s}$)*
Resolutie: 1 booggraden
Nauwkeurigheid: ± 3 booggraden (bij windsnelheid $\geq 2\text{m/s}$)*
Meetfrequentie: 1 Hz

* *genoemde ondergrens mbt de windsnelheid is de aanloopsnelheid die minimaal nodig is om de windvaan in beweging te krijgen*

Back-up instrument windsnelheid

Op bemande stations waar slechts één enkel operationeel standaard meetinstrument tbv de windsnelheid aanwezig is, is voor het geval dit instrument buiten gebruik is ook een back-up instrument aanwezig (handanemometer). Het gebruik is uitsluitend voor lokale doeleinden.

3.2 onderhoud- en calibratieprocedures

De meetinstrumenten dienen te voldoen aan de nauwkeurigheidseisen. Hiertoe is periodiek onderhoud nodig, waarbij de instrumenten door middel van calibratie op door ervaring bepaalde intervallen worden getoetst en gejusteerd aan de gestelde eisen. Een calibratiecertificaat wordt vastgesteld, waarbij de referentie meetwaarden volledig herleidbaar zijn naar de internationaal erkende standaard. De KNMI afdeling Insa is verantwoordelijk voor de calibratieprocedures die zijn vastgelegd in het (ISO-9001) kwaliteitssysteem van Insa, als onderdeel van de procedure 2.2.3 "Beheersprocedure preventief onderhoud" (ref.7).

4. Procedures

4.1 procedures bij uitval automatische waarnemingen

Aanvulling bij uitval van de automatisch gegenereerde waarden in SYNOP, KLIM en METAR vindt niet plaats. Op bemande stations waar back-up apparatuur aanwezig is, kunnen eventueel de waarnemingen van deze apparaten als alternatief gebruikt worden (uitsluitend voor lokaal gebruik). Alleen bij uitzonderingssituaties kan hiervan worden afgeweken.

4.2 procedures voor achteraf validatie

Het Klimatologische Informatiesysteem (KIS) van het KNMI bevat gearchiveerde waarden van de windsnelheid en de windrichting van de land-en zee stations. De invoer van de gegevens in dit systeem geschiedt op dagbasis en betreft de uurlijkse waarden FX, FH, FF en DD van het afgelopen etmaal ($h = 01$ t/m 24^* UTC). Alle nieuw in KIS ingevoerde waarden worden dagelijks onderworpen aan automatische controleprocedures.

* KIS kent het uur (vak) 24 UTC; feitelijk wordt bedoeld 00 UTC in het nieuwe etmaal

Het gaat om de volgende procedures per station:

FX

- FX moet \geq FH anders verdacht;
- FX moet \geq FF anders verdacht;
- $\text{abs}[FX_h - (-1/6 (FX_{h-2} + FX_{h+2}) + 2/3 (FX_{h-1} + FX_{h+1}))]$ moet ≤ 4 (m/s) anders FX verdacht;
- FX moet ≤ 40 (m/s) anders verdacht;

FH

- FH moet \leq FX anders verdacht;
- $\text{abs}[FH_h - (-1/6 (FH_{h-2} + FH_{h+2}) + 2/3 (FH_{h-1} + FH_{h+1}))]$ moet ≤ 2 (m/s) anders FH verdacht;
- FH moet ≤ 30 (m/s) anders verdacht;

DD

- Als $FF <> 0$ dan moet $DD = 1$ of $2..36$ (eenheid: 10 booggraden) of 99 anders verdacht;
- Als $FF = 0$ dan moet $DD = 0$ anders verdacht;
- Als $FH_h \geq 5$ (m/s) en $FH_{h-1} \geq 5$ (m/s) dan moet het verschil tussen DD_h en $DD_{h-1} \leq 50$ graden anders verdacht;
- DD moet = 0 of 1..36 (eenheid: 10 booggraden) of 99 anders verdacht;

FF

- Als $DD = 0$ dan moet $FF = 0$ anders verdacht;
- Als $DD <> 0$ dan moet $FF <> 0$ anders verdacht;
- FF moet \leq FX anders verdacht;
- Als $DD = 99$ dan moet $FF < 2$ (m/s) anders verdacht;
- $\text{abs}[FF_h - (-1/6 (FF_{h-2} + FF_{h+2}) + 2/3 (FF_{h-1} + FF_{h+1}))]$ moet ≤ 2 (m/s) anders verdacht;
- FF moet ≤ 40 (m/s) anders verdacht;

De afdeling WM/OW wordt geïnformeerd ingeval verdachte waarnemingen worden geconstateerd. Op grond hiervan kunnen maatregelen worden getroffen in de vorm van onderhoud (door INSA/MSB).

De afdeling Klimatologische Dienstverlening (WM/KD) van het KNMI is verantwoordelijk voor de uiteindelijke validiteit van de waarden windsnelheid en windrichting in KIS.

WM/KD beoordeelt daartoe in principe iedere waarde, daarbij geholpen door de output van de bovenbeschreven testprocedures. Een ontbrekende waarde of een waarde, die overduidelijk onjuist is, wordt zo mogelijk vervangen op grond van door WM/KD vastgelegde procedures.

De alternatieve waarde kan worden gebaseerd op onder meer:

- lineaire interpolatie van aangrenzende (correcte) waarden in de tijdreeks;
- ruimtelijke interpolatie op grond van synchrone waarden van 2 of meer nabije stations;
- inschatting van de uurwaarde op grond van de tijdreeksen 10-minuten gegevens die uit het AWS c.q. RIS kunnen worden opgevraagd.

Vervanging geschiedt handmatig.

4.3 procedures voor inspectie

Iedere windmeetlocatie die een operationele functie heeft in het KNMI-waarnemnet wordt gemiddeld 1 maal per jaar geïnspecteerd door een functionaris van WM/OW/stationsbeheer. Tevens kan op verzoek van WA of WM/KD een extra tussentijdse inspectie plaatsvinden, indien de (validatie van) de data daartoe aanleiding geeft.

Bij voorkeur vindt inspectie plaats:

- a) in het geval van de plaatsing van een (in principe 10 meter) meetmast plus cupanemometer en windvaan op een nieuw meetstation c.q. verplaatsing van de meetmast op een bestaand meetstation;
- b) (ad hoc) bij vervanging van de cupanemometer c.q. windvaan.

In deze situaties is de procedureafpraak dat WM/OW vooraf door Insa/MSB geïnformeerd wordt door middel van een tijdsplan van de ophanden zijnde plaatsing c.q. vervanging. Binnen 1 week na plaatsing c.q. vervanging ontvangt WM/OW hieromtrent bericht, inclusief toezending ijkbewijs.

De inspectie kan de volgende controles omvatten:

- a) Vergelijking van een door de sensor gemeten momentane (12") waarde windsnelheid met de momentane waarde windsnelheid, zoals afgelezen op een referentie (cf. KNMI-ijkprocedures gekalibreerde) handanemometer (inspectie uitsluitend na een verzoek van WA of WM/KD). In het geval van een absolute afwijking ≥ 1 m/s rapporteert de inspecteur hieromtrent (ook schriftelijk) aan WM/KD, WA en Insa/MSB. Laatstgenoemde instantie beoordeelt na ontvangst van deze rapportage welke correctieve acties (eventueel) noodzakelijk zijn. De hieropvolgende procedure (bijv. vervanging en herijking van de operationele anemometer en/of herijking van de controle anemometer) geschiedt cf. ISO-9001.
- b) Controle of de ijktermijn van het meetinstrument nog niet is verlopen. Is dit het geval dan wordt INSA/MSB hierover geïnformeerd, opdat uitwisseling zal plaatsvinden.
- c) Gemiddeld éénmaal per 2 jaar wordt de stand van de windvaan getest. Hierbij wordt de windvaan vastgezet en de geregistreerde waarde windrichting vergeleken met de waarde, zoals afgelezen op een referentie theodoliet. Deze controle wordt vanuit 3 verschillende posities gedaan (sectoren ongeveer 120 booggraden). De 3 verschilwaarden worden gemiddeld. { bij frangible masten wordt de controle, vanwege de veel tijdrovender procedure om de windvaan te fixeren, bij slechts één positie



gedaan }. In het geval van een gemiddelde afwijking ≥ 5 booggraden rapporteert de inspecteur hieromtrent (ook schriftelijk) aan WM/KD, WA en Insa/MSB. Laatstgenoemde instantie beoordeelt na ontvangst van deze rapportage welke correctieve acties (eventueel) noodzakelijk zijn.

- d) Een visuele beoordeling of de meetomstandigheden en de omgeving aan de gestelde condities voldoen. Indien dit niet het geval is, rapporteert de inspecteur hieromtrent (ook schriftelijk) aan WM/KD, WA en Insa/MSB. Afhankelijk van de situatie beoordeelt ow c.q. Insa/MSB welke correctieve acties ondernomen dienen te worden om een en ander te herstellen conform de operationele eisen. De acties kunnen variëren van een verzoek aan de beheerder van het betreffende waarneemterrein tot aanpassing van de terreinsituatie tot de start van een procedure om een nieuw waarneemterrein te zoeken.

Van alle inspectiebezoeken wordt een rapport opgesteld door de stationsinspecteur. Dit rapport wordt KNMI breed verspreid, volgens een lijst van betrokken medewerkers, opgesteld door HOW.



5. Herleiding van parameters

5.1 herleiding gemeten windsnelheid naar potentiële windsnelheid

De potentiële windsnelheid is de gemiddelde windsnelheid (middelingsperiode ≥ 1 minuut) die ter plekke van de windmast zou optreden, indien de directe omgeving in overeenstemming met de wmo-norm vlak was. In de praktijk is een in alle windrichtingen volkomen vlakke omgeving zelden haalbaar. Ten einde uit de gemeten gemiddelde windsnelheid een potentiële wind te kunnen herleiden, wordt de gemiddelde windsnelheid per windrichtingsector (à 20 booggraden) vermenigvuldigd met een factor, de zogeheten beschuttingsfactor.

Voor alle in kis gearchiveerde data gemiddelde windsnelheid is de beschuttingsfactor (BF) berekend. Eea komt per station neer op 1 BF per windrichtingsector à 20 booggraden**. Voor stations in een lommerrijke omgeving (dat wil zeggen er is sprake van een grotere ruwheid als de bladeren nog aan de bomen zitten!) worden 2 BF's per windrichtingsector à 20 booggraden berekend, te weten 1 BF voor de zomerperiode (1/5 - 1/10) en 1 BF voor de winterperiode (1/10 - 1/5).

** *Opmerking:*

Beschouwd worden de 18 sectoren 20, 40, 60, ..., 360. Een sector is de verzameling van 2 windrichtingen (eenheid 10 booggraden).

Voorbeeld: sector = 60 betekent dus in feite de verzameling windrichtingen dd = 50 (± 5) en dd = 60 (± 5), en het gebied ligt tussen 45 en 65 booggraden.

Met het oog op mogelijke veranderingen in de omgevingsruwheid wordt per station regelmatig (éénmaal per 3 jaar) en bij verplaatsingen een herberekening van de beschuttingsfactoren gedaan.

Voor de berekening van de beschuttingsfactor zijn verschillende methodes in omloop. Deze zijn gebaseerd op het verband tussen de vlagerigheid van de wind en de ruwheid van het terrein z_0 . De vlagerigheid wordt weergegeven door de mediane waarde van een set vlagfactoren: $\langle G \rangle$.

In een willekeurig tijdvak τ , bijv. 10 minuten of 1 uur, geldt:

$$G = \{ \text{maximum windsnelheid in } \tau \} / \{ \text{gemiddelde windsnelheid over } \tau \}.$$

Het verband tussen $\langle G \rangle$ en z_0 is door Wieringa als volgt geformuleerd

$$\langle G \rangle = f_T * \left(1 + \frac{1,42 + 0,3 * \ln \left(\frac{10^3}{u_x * t} - 4 \right)}{\ln \frac{z}{z_0}} \right) \quad (\text{ref.8, p.56 e.v.}):$$

- $f_T = 1,0$ in geval van 10 minuten data, en 1.1 in geval van uurdata;
- $u_x * t =$ vlaggolflengte ≈ 50 m. uitgaande van een windstoot u_x van 15 à 20 m/s en een duur t van ca. 3 s.;
- z : (meet)hoogte (m)

Opmerkingen:

- omdat G een functie is van de gemiddelde windsnelheid u , moet $\langle G \rangle$ bepaald worden over een beperkt interval van u : $8 \text{ m/s} < u < 12 \text{ m/s}$.
- Bij windsnelheden boven 15 m/s kunnen "overspeeding" effecten een rol gaan spelen. Dit effect is een gevolg van de traagheid van de anemometer, die een (scherpe) terugval van de windsnelheid minder direct kan volgen

dan een plotselinge toename van de windsnelheid.

In het geval van 10' data (met $f_T = 1,0$) en $u_x * t \approx 50$ wordt de formule:

$$\langle G \rangle = 1 + \{ 2,25 / \ln (z / z_0) \}.$$

$$\text{Dit geeft: } z_0 (\langle G \rangle) = z \cdot \exp\{2,25 / (1 - \langle G \rangle)\}$$

Een aangepast vlaagmodel Beljaars/Wieringa wordt beschreven door Verkaik (ref.21):

$$\langle G \rangle = 1 + \frac{0,88}{\ln \frac{z}{z_0}} * \tilde{u}_p$$

- $u_p = 2,41$ in geval van 10 minuten data, en 2,99 in geval van uurdata;
- z : (meet)hoogte (m).

Deze formule is geïmplementeerd in KIS.

Opmerking:

In de formule wordt verondersteld een gemiddelde windsnelheid van ongeveer 6 m/s. In het geval van 10' data wordt de formule:

$$\langle G \rangle = 1 + \{ 2,12 / \ln (z / z_0) \} \cdot 1 + (1,791,3082,3 \cdot \ln z_0 \text{ BF} =$$

$$\text{Dit geeft: } z_0 (\langle G \rangle) = z * \exp\{2,12 / (1 - \langle G \rangle)\}$$

Bij de hiernavolgende berekening van BF wordt verondersteld dat het vertikaal windprofiel logaritmisch is, waarbij voor de herleiding van de gemiddelde windsnelheid op hoogte z_1 naar hoogte z_2 geldt:

$$ff_{z_1} / ff_{z_2} = \{ \ln (z_1/z_0) / \ln (z_2/z_0) \}$$

Genoemde veronderstelling is juist tot 60 à 100m hoogte en in het geval van neutrale atmosferische condities (van toepassing bij $ff > 5$ m/s).

(Wieringa, Rijkoort, ref. 8, par.3.5)

Bij de omzetting van de gemiddelde windsnelheid op de meetlocatie naar een "fictieve" gemiddelde windsnelheid bij $z_0 = 0,03$ m wordt gebruik gemaakt van bovengenoemde hypothese, alsmede de aanname dat in een groot omliggend gebied (straal = 4 km) de windsnelheid op 60 m hoogte (mesohoogte) overal ongeveer gelijk is. Feitelijk wordt dan eerst naar 60m hoogte herleid en vervolgens terug naar de fictieve situatie. We krijgen aldus:

$$BF = ff_{pot} / ff_{met} = \{ \ln (10/z_{op}) / \ln (60/z_{op}) \} / \{ \ln (z/z_{os}) / \ln (60/z_{os}) \}$$

z_{op} = ruwheid in het geval van vlak terrein;

z_{os} = feitelijke ruwheid ter plekke van windmast; wordt berekend per windrichtingsector van 20 booggraden;

z = sensorhoogte.

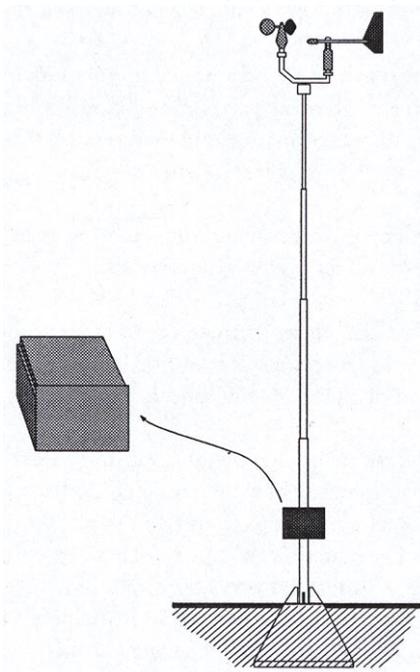
Invulling van $z_{op} = 0,03$ m en $z = 10$ m levert op:

$$BF = \frac{1 + \left(\frac{1,79}{2,3 \cdot \ln z_{os}} \right)}{1,308}$$

6. Opstellingseisen en omgevingscondities

6.1 Opstellingseisen en -voorzieningen

De sensoren voor de meting van windrichting en windsnelheid worden gemonteerd op een stabiele metalen of kunststof mast. De hoogte van de sensoren is 10 m. boven (in principe: vlak) terrein



6.2 Condities m.b.t. omgeving en meetlocatie/representativiteit waarnemingen

a) omgeving en meetlocatie

De ruwheid z_0 zal in alle richtingen $< 0.5\text{m}$. (moeten) zijn. Deze conditie impliceert een beschuttingsfactor $BF < 1.2$ (minder dan 20% reductie gemiddelde windsnelheid).

De afstand van de windmast tot nabije obstakels is ten minste 10 x, doch bij voorkeur ten minste 20 maal de obstakelhoogte (geldt voor alle obstakels).

Het terrein in de directe omgeving van de windmast (straal ≥ 100 meter rond meetlocatie) is vlak grasland, of wateroppervlak.

b) representativiteit waarnemingen

De locatie van de windmast is zodanig dat een windwaarneming kan plaatsvinden (inclusief eventuele herleiding met een beschuttingsfactor) die representatief is voor een gebied met een straal van 30 km rond de meetlocatie. (NB bij windmetingen aan de kust is de mate van representativiteit vanzelfsprekend mede afhankelijk van de windrichting). Deze conditie is gebaseerd op statistisch onderzoek van J.Wieringa:

“With a separation of 30 km between 2 observation points in a homogeneous landscape, for 90% of the time the difference in windspeed is less than 5%. “

De dichtheid van het windmeetnet volgt mede uit de mate van representativiteit.

c) specifieke condities mbt omgeving en meetlocatie op vliegveld

Op een luchthaven zal de windwaarneming tevens representatief (moeten) zijn voor de windsituatie op de (nabijgelegen) start c.q. landings-



baan, in het bijzonder voor de nabije touch down zone. Ten einde e.e.a. zo goed mogelijk te realiseren, zijn de volgende maatregelen getroffen:

- Een 10 meter metalen windmast is op 190 meter afstand van het hart van de baan geplaatst. Dichtbij de baan is onmogelijk omdat een metalen mast niet door het zogeheten obstakelvlak mag prikken. {het obstakelvlak is een vlak vanaf 120 meter van het hart van de baan met een hellingshoek van 1 : 7}
- In het geval van een zogeheten frangible kunststofmast met sensorhoogte 10 meter, kan de mast op 115 meter van het hart van de baan staan. Dichtbij is niet mogelijk gelet op de vleugelwijdte van NLA-toestellen en storing van het windgedrag door passerende vliegtuigen.
- De meethoogte windsnelheid en -richting is bij voorkeur 10 meter doch minimaal 6 meter boven vlak terrein.
- De windmast is op ten minste 120 meter van het hart van een taxi- of rijbaan geplaatst in verband met de ad hoc beïnvloeding van het windgedrag door stilstaande of rijdende vliegtuigen.
- De windmast zal op een afstand van ten minste 50 meter doch bij voorkeur ten minste 100 meter achter de nabije Glide Path (GP) antennemast van het Instrumental Landing System (ILS) geplaatst (moeten) zijn [NB de ILS-mast is een open constructie van ca. 1 meter breed en ca 9 meter hoog]. Bij plaatsing achter de ILS-mast zal verstoring van de windmeting alleen optreden bij windrichtingen waarbij baan gebruik in principe niet opportuun is. Voorts zijn turbulenties in de luchtstroom als gevolg van het passeren van een smal, poreus obstakel (zoals een ILS-mast) op een afstand van 30 x de obstakelbreedte vrijwel uitgedoofd en is het windprofiel op deze afstand weer vrijwel identiek aan het profiel voor het obstakel. Op 50 meter van een ILS-mast wordt in principe dus al ongestoorde wind gemeten.
- Plaatsing van de windmast voor de ILS-mast is alleen mogelijk indien de afstand ten minste 100 meter is, in verband met de mogelijke verstoring van het ILS-signaal door de windmast. Bovendien kunnen onderhouds- of inspectiewerkzaamheden aan de windmast in deze situatie uitsluitend plaats vinden indien de baan (en dus ook de GP-antenne) niet in gebruik is.

Referenties

1. World Meteorological Organization, 1996: WMO-No. 8, Guide to meteorological instruments and methods of observations, 6th edition, 1996 (i.h.b. Hoofdstuk 5); WMO, Genève, 1996.
2. World Meteorological Organization, 1973, International Meteorological Tables, WMO-No.; WMO, Genève, 1973.
3. Statement of operational accuracy requirements of level II data, according to WMO codes SYNOP, SHIP, METAR and SPECI; Annex X van WMO no.807 (CIMO XI).
4. International Civil Aviation Organization 1998: Meteorological Service for International Air Navigation, International Standards and Recommended Practices, Annex 3 to the Convention on International Civil Aviation, 13th edition; ICAO, Montreal, Canada, 1998.
5. KNMI, 1993: Meteorologische Instrumenten, Elementaire Vakopleiding Meteorologie (EVM), module AII, J.G. van der Vliet; KNMI, De Bilt, 1993.
6. KNMI, 1996: Synoptische en klimatologische waarnemingen en codes, Elementaire Vakopleiding Meteorologie (EVM), module A4/B1, E.Chavanu; KNMI, De Bilt, 1996.
7. KNMI, 1994: Calibratieprocedures van het KNMI-IJklaboratorium volgens ISO-9001, A. van Londen, Insa/10; KNMI, De Bilt, 1994.
8. Windklimaat in Nederland, J.Wieringa en P.J.Rijkooft, 1983.
9. KNMI, 1992: Basis ontwerp Vernieuwing Operationeel Klimatologisch Informatiesysteem VOKIS, 1992; KNMI document.
10. KNMI 1997: X-SIAM-specificatie, J.R.Bijma, KNMI-Insa, KNMI-document, Insa Documentnummer ID-30-015; KNMI, De Bilt, 1997.
11. Klimatologische gegevens van Nederlandse stations: normalen en extreme waarden van de 15 hoofdstations voor het tijdvak 1961- 1990; KNMI, 1992, publicatienummer 150-27.
12. ISO-procedures mbt back-up operationele waarnemingen (SYNOP, METAR) (info bij J.van Bruggen, LMD).
13. Nederlands Meetinstituut, 1994; Het Internationale Stelsel van Eenheden (SI); NMI, Delft 1994.
14. KNMI, 1994: Handboek Meteorologische Codes; KNMI, De Bilt, 1994-1999.
15. Beschuttingscorrectie wind, B.Oemraw, KNMI Technisch Rapport TR-52, De Bilt, 1984.
16. XWO-SIAM-Wind 4.0, J.R.Bijma, KNMI-Insa, KNMI-document, Insa Documentnummer ID-30-009, 1998.
17. World Meteorological Organization, 1992: International Meteorological Vocabulary, WMO-No. 182, second edition; WMO, Genève, 1992.

- 
18. Luchtvaartvoorschriften; Staatsuitgeverij 's-Gravenhage.
 19. World Meteorological Organization, 1995; Manual on Codes, wmo-No. 306; wmo, Genève, 1995.
 20. International Vocabulary of Basic and General Terms in in Metrology, uitg. iso 1993.
 21. Evaluation of Two Gustiness Models for Exposure Correction Calculations, J.W.Verkaik, Journal of Applied Meteorology, Volume 39, p.1613 - 1626, 2000.