



Quicksan trillingen spoor

Bestemmingsplan Figaro te Zaandam

projectnummer 469825
definitief revisie 02
4 juli 2023

Quickscan trillingen spoor

Bestemmingsplan Figaro te Zaandam

projectnummer 469825

revisie 02
4 juli 2023

Auteurs

Jelco Hamstra
Vincent Huizer

Opdrachtgever

Gemeente Zaanstad
Stadhuisplein 100
1506 MZ Zaandam

Gecontroleerd:

Vincent Huizer

datum
4 juli 2023

beschrijving
Definitief

vrijgave
M. Fransen



Inhoudsopgave

Blz.

1	Inleiding	1
1.1	Situatie	1
1.2	Leeswijzer	2
2	Toetsingskader	3
3	Prognose van trillingen	5
4	Resultaten	6
5	Conclusies en aanbevelingen	7

Bijlage 1: Rapport Cauberg Huygen (metingen)

Bijlage 2: invoergegevens quickscan

Bijlage 3: Resultaten quickscan

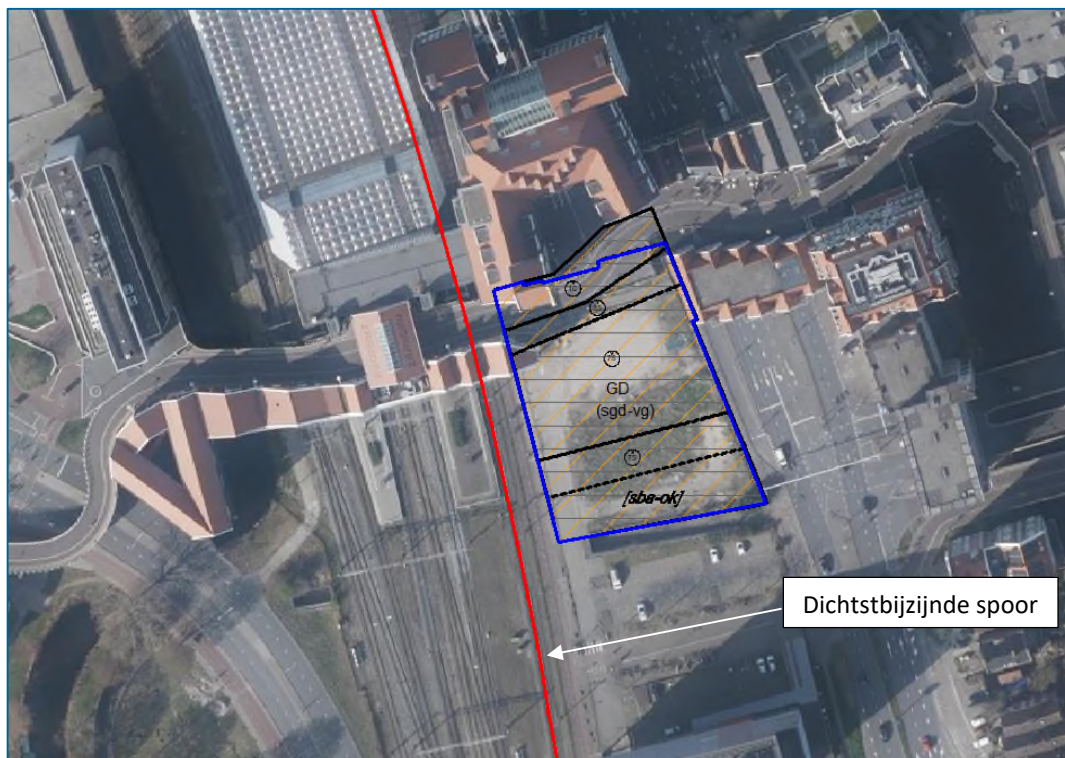
1 Inleiding

De gemeente Zaanstad is voornemens het Figaro terrein te herontwikkelen tot een woontoren van 75 meter op het terrein tussen het Stadhuisplein, de Houtveldtunnel en het spoor te Zaanandam. Voor deze ontwikkeling is het opstellen van een bestemmingsplan nodig. In verband met de bestemmingsplanprocedure is een quickscan trillingen uitgevoerd naar de te verwachten trillingen vanwege treinverkeer op het nabijgelegen spoor.

Doel van het onderzoek is vaststellen in hoeverre een verhoogde kans op trillingshinder in de beoogde woningen, vanwege de vervoersbewegingen over het nabijgelegen spoor, in voldoende mate is uit te sluiten. Als de resultaten van de quickscan hiervoor aanleiding geven (trillingshinder niet zondermeer uit te sluiten) dan doen we aanbevelingen voor oplossingsrichtingen en/of vervolgstappen.

1.1 Situatie

De locatie van het woningbouwplan en de spoorlijn is in onderstaande afbeelding 1 weergegeven. Het in voorbereiding zijnde bestemmingsplan maakt de bouw van woningen tot een hoogte van 75 meter mogelijk. Binnen het plangebied wordt een woontoren geprojecteerd met een hoogte van 75 meter. De kleinste afstand tussen het buitenste spoor en de plangrens bedraagt circa 10 meter.



Afbeelding 1: locatie plangebied Figaro ten opzichte van het spoor met het dichtstbijzijnde spoor met het bouwvlak in blauw omlijnd.

1.2 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 worden de gehanteerde richtlijnen voor trillingen besproken, in hoofdstuk 3 de uitgangspunten voor deze indicatieve berekening. Vervolgens wordt in hoofdstuk 4 een samenvatting gegevens van de resultaten door middel van een contour. Afgesloten worden er met een conclusie en aanbevelingen.

2 Toetsingskader

Voor trillingen geldt geen wetgeving. Wel is in mei 2019 door het ministerie van I&W de Handreiking Nieuwbouw en Spoortrillingen gepubliceerd. Deze handreiking bevat handvaten voor de beoordeling van mogelijke trillingseffecten op plannen in de omgeving van het spoor. In de basis hanteert de Handreiking de toetsingscriteria die voorheen ook werden toepast, te weten de beoordelingscriteria zoals opgenomen in de publicatie van de Stichting Bouw Research: Trillingsrichtlijn SBR. Voor de beoordeling van de in dit onderzoek geprognostiseerde trillingsniveaus zijn derhalve de toetsingscriteria uit de SBR Trillingsrichtlijn gehanteerd. Er is hiertoe gebruik gemaakt van de in 2002 door de Stichting Bouwresearch (SBR) gepubliceerde richtlijn deel B. Dit deel gaat over het meten en beoordelen van trillingen met het oog op mogelijke Hinder voor Personen.

Onder hinder voor mensen in gebouwen wordt in deze richtlijn verstaan:

- Waarneming van trillingen waardoor verstoring kan optreden van activiteiten of processen die rust en/of concentratie behoeven;
- Waarneming van trillingen met een zodanige sterkte dat bepaalde activiteiten fysiek worden belemmerd of verstoord.

In genoemde richtlijn zijn streefwaarden gedefinieerd voor het $V_{\text{eff,max}}$ (de hoogst optredende trillingssterkte) en het V_{per} (tijdsgemiddelde trillingsniveau).

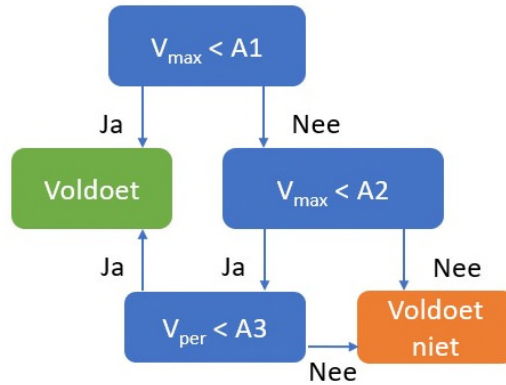
De streefwaarden hangen af van de aard van de trillingen en van het feit of sprake is van een 'bestaande' of 'nieuwe situatie' en gelden voor het trillingsniveau op de vloer van de woning. De door de passage van de treinen veroorzaakte trillingen vallen onder de noemer van 'herhaald voorkomende trillingen gedurende lange tijd (weg- en railverkeer)' zoals beschreven in paragraaf 10.5.3 van de SBR-richtlijn. De SBR-richtlijn maakt vervolgens onderscheid tussen een 'bestaande' en een 'nieuwe situatie'. De streefwaarden voor een 'nieuwe situatie' zijn lager dan de streefwaarden voor een 'bestaande situatie'.

Wat exact onder een 'bestaande situatie' dan wel een 'nieuwe situatie' valt wordt in de SBR-richtlijn niet verder omkaderd. In onderstaande tabel 1 zijn de streefwaarden voor een 'nieuwe situatie' (hier van toepassing voor de nieuw te bouwen woontoren) weergegeven.

Tabel 1: streefwaarden voor herhaald voorkomende trillingen gedurende lange tijd voor nieuwe situaties.

Gebouwfunctie	dag en avond			nacht		
	$A_1 (V_{\text{max}})$	$A_2 (V_{\text{max}})$	$A_3 (V_{\text{per}})$	$A_1 (V_{\text{max}})$	$A_2 (V_{\text{max}})$	$A_3 (V_{\text{per}})$
wonen	0,1	0,4	0,05	0,1	0,2	0,05

De procedure voor de beoordeling van $V_{\max}$ en V_{per} is in het onderstaande stroomschema aangegeven.



Afbeelding 2: stroomschema trillingen

Er wordt voldaan aan de streefwaarde als:

- De waarde van de maximale trillingssterkte in een ruimte ($v_{\max}$) kleiner is dan A_1 , of als
- De waarde van de maximale trillingssterkte van een ruimte ($v_{\max}$) kleiner is dan A_2 waarbij de trillingssterkte over de beoordelingsperiode voor deze ruimte (V_{per}) kleiner is dan A_3 .

3 Prognose van trillingen

Om een indruk te verkrijgen van de verwachte trillingsniveaus in het plangebied zijn er indicatieve berekeningen uitgevoerd met de Software Geomilieu, module trillingen. De berekeningen zijn gebaseerd op de empirische formule van Barkan:

$$V(x) = V(x_0) * \left(\frac{x_0}{x}\right)^n * e^{-a(x-x_0)}$$

Voor de berekeningen is uitgegaan van metingen ter plaatse van de planlocatie. Deze zijn uitgevoerd door Cauberg Huygen tussen 21 en 29 maart 2023 en geven een eerste indicatie van trillingsniveaus die optreden in de ondergrond bij het plangebied. Voor verdere uitwerking van dit rapport, zie bijlage 1. Daarnaast zijn voor de berekeningen in de verdere overdracht binnen het plangebied de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Als eerste maat voor de trillingseffecten is in deze quickscan vooralsnog alleen het $V_{\text{eff, max}}$ in beeld gebracht;
- Standaard geometrische uitbreidingsfactor van 0,3 (lijnbron);
- Aanname van de bodemdemping op basis van een Amsterdams profiel, gebaseerd op de database Geomilieu module trillingen;
- Bouwwijze met beton/betonvloeren, overeenkomstig CUR 166 is hiervoor rekening gehouden met een overdrachtsfactor van 0,7 van ondergrond naar fundering en een dynamische vergrotingsfactor van 1,8 voor een betonnen vloer en hoogbouw;
- Trillingssterkte rapport Cauberg Huygen: $V_{\text{eff, max}}$ van 0,18 mm/s op 22 meter afstand in de nachtperiode, gemeten op het maaiveld, zie pagina 9 van het rapport in bijlage 1.

Alle invoergegevens zijn weergegeven in bijlage 2.

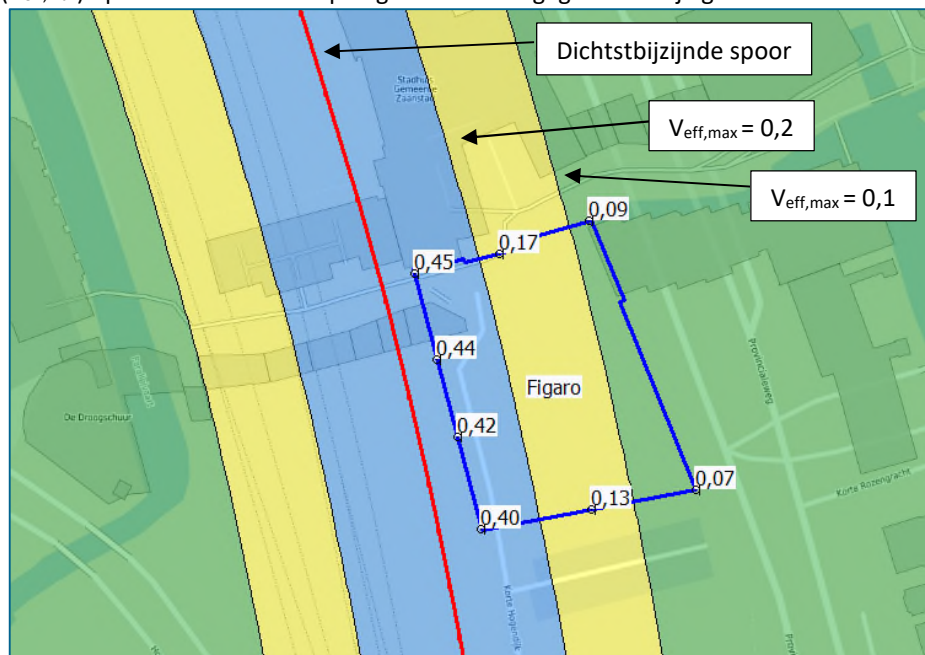
Met de aldus uitgevoerde berekeningen is het $V_{\text{eff, max}}$ indicatief bepaald in de vorm van contouren waarbij wel (indicatief) rekening is gehouden met de overdrachtsfactor van ondergrond naar fundering en versterking van fundering naar vloer.

4 Resultaten

Het indicatief berekende $V_{eff,max}$ is in onderstaande afbeelding 3 weergegeven in de vorm van contouren en op een aantal rekenpunten op de grond van het plangebied. In de resultaten is de invloed van fundering en versterking in de vloeren meegerekend. Het $V_{eff,max}$ is bepaald aan de hand van gemeten trillingsniveaus in de nachtperiode (zie uitgangspunten). In de afbeelding zijn de volgende waarden weergegeven:

Kleur	Voorwaarden uit SBR-B richtlijn
Groen	$V_{eff,max} < \text{streefwaarde A1}$: voldoet aan SBR richtlijn deel B
Geel	$V_{eff,max} < \text{streefwaarde A2}$, maar wel $> \text{streefwaarde A1}$: voldoet aan SBR richtlijn deel B, aandacht voor V_{per} nodig (moet voldoen aan A3)
Blauw	$V_{eff,max} > \text{streefwaarde A2}$: voldoet niet aan SBR richtlijn deel B

In rood is de ingevoerde spoorbaan weergegeven die het dichtste bij het plangebied ligt. Het plangebied is in de blauwe omlijning weergegeven. Een overzicht van de berekeningsresultaten ($V_{eff,max}$) op de randen van het plangebied is weergegeven in bijlage 3.



Afbeelding 3: Indicatief berekende contouren trillingsniveau $V_{eff,max}$

Uit de resultaten volgt dat het (indicatief bepaalde) trillingsniveau $V_{eff,max}$ voor het grootste deel van het plan naar verwachting hoger is dan streefwaarde A1 van 0,1 volgens de SBR richtlijn deel B (geel en blauwe vlak). Voor iets minder dan de helft van het terrein (het blauwe vlak), wordt ook de A2 grenswaarde voor de nachtperiode overschreden. Hier wordt dus niet zondermeer voldaan aan de SBR richtlijn en is nader onderzoek noodzakelijk.

5 Conclusies en aanbevelingen

De gemeente Zaanstad is voornemens het Figaro terrein te herontwikkelen tot een woontoren van 75 meter op het terrein tussen het Stadhuisplein, de Houtveldtunnel en het spoor te Zaandam. Voor deze ontwikkeling is het opstellen van een bestemmingsplan nodig. In verband met de bestemmingsplanprocedure is een quickscan trillingen uitgevoerd naar de te verwachten trillingen vanwege treinverkeer op het nabijgelegen spoor.

Binnen het plangebied wordt een woontoren geprojecteerd met een hoogte van 75 meter. De kleinste afstand tussen het buitenste spoor en de plangrens bedraagt circa 10 meter.

Gezien de uitkomsten van deze quickscan adviseren wij om de volgende vervolgstappen te nemen:

- De metingen van Cauberg Huygen geven een eerste beeld van de trillingsniveaus in de grond ter hoogte van het plangebied. Aanbeveling is om aanvullende metingen te overwegen om een gericht beeld te krijgen van trillingsniveaus in de ondergrond vanwege verkeer op naastgelegen spoor;
- Zodra de plannen verder zijn uitgekristalliseerd (fundering, bouwkundige invulling, precieze hoogte) de verwachte dynamische vergrotingsfactor in het gebouw preciezer bepalen om vervolgens in samenhang met de resultaten van de metingen, de ligging van de contouren van $V_{\text{eff,max}}$ preciezer te bepalen en tevens de V_{per} contour in beeld te brengen;
- Mogelijkheden bezien om de bebouwing buiten de trillingscontour (resultaat van bovenstaande stappen) te realiseren.
- Met name ingeval van bouw binnen de contour (zoals in punt hierboven beschreven), in de nader bouwkundige detaillering specifiek rekening houden met de trillingsniveaus op betreffende locatie. Enkele mogelijkheden hiertoe:
 - aanpassen vloeren: dikte en/of overspanning;
 - paalfundering toepassen;
 - massa en stijfheid toevoegen;
 - fundering inpakken (bijvoorbeeld EPS blokken);
 - afveren gebouw;
 - vloeren loskoppelen van rest van de constructie.

Voor de precieze dimensionering en bepaling van de effecten van maatregelen in de bouwkundige detaillering zal hoogstwaarschijnlijk een berekening middels eindige elementen model noodzakelijk zijn, in combinatie met gegevens van de trillingsmetingen ter plaatse.

Naar verwachting kan, al dan niet met inzet van gerichte maatregelen, worden voldaan aan de richtwaarden ingevolge de SBR Trillingsrichtlijn deel B, waarmee trillingshinder binnen geprojecteerde woningen in voldoende mate kan worden voorkomen. Het is gezien de uitkomsten van de quickscan wel nodig bij de verdere bouwkundige invulling van het plan gericht aandacht te hebben voor trillingen, zoals hierboven is aangegeven.

Bijlage 1: Rapport Cauberg Huygen (metingen)

Bezoekadres:

De Waal 18

5684 PH Best

Postadres:

Hoofdweg 76

3067 GH Rotterdam

T +31 (0)88-5152505

E info@cauberg Huygen.nl

W <http://www.cauberg Huygen.nl>

K.V.K. 58792562

IBAN NL71RABO0112075584

Figaro Zaandam; trillingsmetingen

Datum **9 juni 2023**
Referentie **09659-57569-02v2**

Referentie 09659-57569-02v2
Rapporttitel Figaro Zaandam;
trillingsmetingen

Datum 9 juni 2023

Opdrachtgever Antea Group Nederland
Beneluxweg 125
4900 AA OOSTERHOUT
Contactpersoon De heer ing. M. Fransen

Behandeld door De heer ing. H.E.O. Williams
De heer C.J. Ostendorf
Cauberg Huygen B.V.
Bezoekadres:
De Waal 18
5684 PH Best
Postadres:
Hoofdweg 76
3067 GH Rotterdam
Telefoon 088-5152505

Inhoudsopgave

1	Inleiding	4
2	Beschrijving	5
2.1	Opzet trillingsmetingen	5
2.2	Richtlijn trillingen	5
2.3	Situatie	5
3	Trillingsmeting	6
3.1	Algemeen	6
3.2	Meetposities	6
3.3	Meetparameters	7
3.4	Dataverwerking	7
4	Meetresultaten	9
4.1	Onderscheid maken tussen stoorbronnen en treinverkeer	9
4.2	Resultaat $v_{\text{eff,max},30,i}$	10
4.3	Maximale trillingssterkte V_{max}	10
4.4	Gemiddelde trillingssterkte V_{per}	11
4.5	Beschouwing	11
4.5.1	Grote van de maximale trillingssterkte V_{max}	11
4.5.2	Meetnauwkeurigheid	11

Bijlagen

Bijlage I	Verloop trillingssterkte $v_{\text{eff,max},30,i}$
------------------	--

1 Inleiding

Antea Group Nederland heeft een quickscan trillingen uitgevoerd voor de locatie van de nieuwbouw woontoren Figaro in Zaandam. Uit deze quickscan is gebleken dat trillingshinder in de te bouwen woontoren niet is uit te sluiten. Daarom heeft Antea Group aan Cauberg Huygen B.V. gevraagd om trillingsmetingen op maaiveld uit te voeren om een gerichter beeld te krijgen van de te verwachten trillingssterktes. Met deze waarden kan dan rekening worden gehouden bij het constructieve en bouwkundige ontwerp van de woontoren.

De metingen zijn uitgevoerd tussen 21 en 29 maart 2023 in Zaandam en zijn gebruikt om de maximale trillingssterkte $V_{\max}$ en de gemiddelde trillingssterkte V_{per} op maaiveld te bepalen conform SBR richtlijn deel B “Hinder voor personen in gebouwen” (SBR-B).

Dit rapport brengt verslag uit van de methodiek en resultaten.

2 Beschrijving

2.1 Opzet trillingsmetingen

Voor de opzet van de trillingsmetingen is gekozen voor een combinatie van bemande en onbemande metingen. De bemande metingen zijn uitgevoerd op 21 maart 2023 en zijn gebruikt om de kenmerken van de trillingen van de treinpassages te bepalen. Hiermee is onderscheid gemaakt tussen treintrillingen en stoortrillingen van bijvoorbeeld het wegverkeer over de Provincialeweg, en de naast gelegen bouwactiviteiten. De onbemande metingen zijn aansluitend uitgevoerd tot en met 29 maart 2023 voor een periode van acht dagen.

2.2 Richtlijn trillingen

De metingen zijn uitgevoerd conform SBR-B uit 2006. Deze richtlijn beschrijft de meetmethode en de eisen voor de meetapparatuur. SBR-B beschrijft ook de wijze waarop de maximale trillingssterkte $V_{\max}$ en de gemiddelde trillingssterkte V_{per} worden bepaald.

2.3 Situatie

De locatie van de toekomstige woontoren ligt tijdens de meetperiode op een deel van de bouwplaats voor de naastgelegen nieuwbouwtoren. Het onderzoeksgebied is in gebruik als opslagplaats voor bouwmaterialen en biedt plek aan de bouwkeet. In de meetperiode is zwaar materieel ingezet voor de bouw van de naastgelegen nieuwbouwtoren. Hierdoor komen dagelijks stoortrillingen voor in de periode van 07:00 tot 16:00. Vanwege deze stoortrillingen is het niet mogelijk de trillingssterkte door enkel het treinverkeer vast te stellen voor de hele dagperiode (07:00 tot 19:00). Daarom zijn de meetresultaten van 07:00 tot 16:00 niet beschouwd, maar wel tussen 16.00 en 19.00 uur.



Figuur 2.1: De meetlocatie tijdens de meetperiode

3 Trillingsmeting

3.1 Algemeen

De trillingsmetingen zijn uitgevoerd tussen 21 en 29 maart 2023. Voor de metingen is de volgende meetapparatuur gebruikt:

- 4x Syscom Red Box trillingsmonitor MR3000TR.
- 4x triaxial Syscom trillingsopnemer MS2003+ (trillingssnelheid).

Alle trillingsmeters worden onderhouden op basis van het kwaliteitssysteem van Cauberg Huygen B.V. en zijn op basis van vier internet timeservers gesynchroniseerd in tijd.

3.2 Meetposities

De meetpunten zijn gekozen zo dicht mogelijk bij de hoekpunten van de toekomstige fundering van de woontoren. Vanwege de veiligheid op de bouwplaats of lokale stoorbronnen is dit niet overal gelukt. In figuur 3.1 is een overzicht van de meetpunten opgenomen.



Figuur 3.1: Overzicht van de meetpunten met het afstand tot het spoor

Op ieder meetpunt is de trillingssnelheid op maaiveld in drie richtingen gemeten:

- Horizontaal dwars op het spoor (de X-richting).
- Horizontaal evenwijdig aan het spoor (de Y-richting).
- Verticaal (de Z-richting).

De trillingssensoren zijn ingegraven in de bodem zodat op de vaste grond is gemeten. De trillingsopnemers zijn bevestigd op een grondplaat die stevig in de zandbodem is gedrukt. De sensor en de trillingsmeters zijn afgedekt. Figuur 3.2 geeft een voorbeeld van de opstelling geplaatst bij MP1.



Figuur 3.2: Foto van de meetopstelling bij MP1

3.3 Meetparameters

Elke 30 seconden is de trillingssterkte $V_{eff,max,30,i}$ bepaald op alle meetpunten. Dit is de hoogste effectieve trillingssterkte gemeten in de meterstand “fast”, waarbij de frequentieweging volgens de SBR-B wordt toegepast.

Ook is voor alle treinpassages waarvan de trillingssnelheid de waarde 0,05 mm/s overschreed, een registratie van de trillingssnelheid in de tijd uitgevoerd (tijdsignaal).

3.4 Dataverwerking

Omdat tijdens de meetperiode veel stoorbronnen aanwezig waren, is gekozen voor een naverwerking om een zo betrouwbaar mogelijke dataset van tijdsignalen te verkrijgen en dus een betrouwbaar V_{max} en V_{per} . Hier toe zijn alleen registraties van trillingen meegenomen die op tenminste MP1 en MP2 gelijktijdig zijn voorgekomen. Hiermee zijn stoorbronnen van de Provincialeweg verwijderd uit de dataset. Daarnaast zijn registraties tussen 07:00 en 16:00 op weekdays verwijderd zodat verstoringen van bouwactiviteiten niet worden meegenomen in de bepaling van V_{max} en V_{per} .

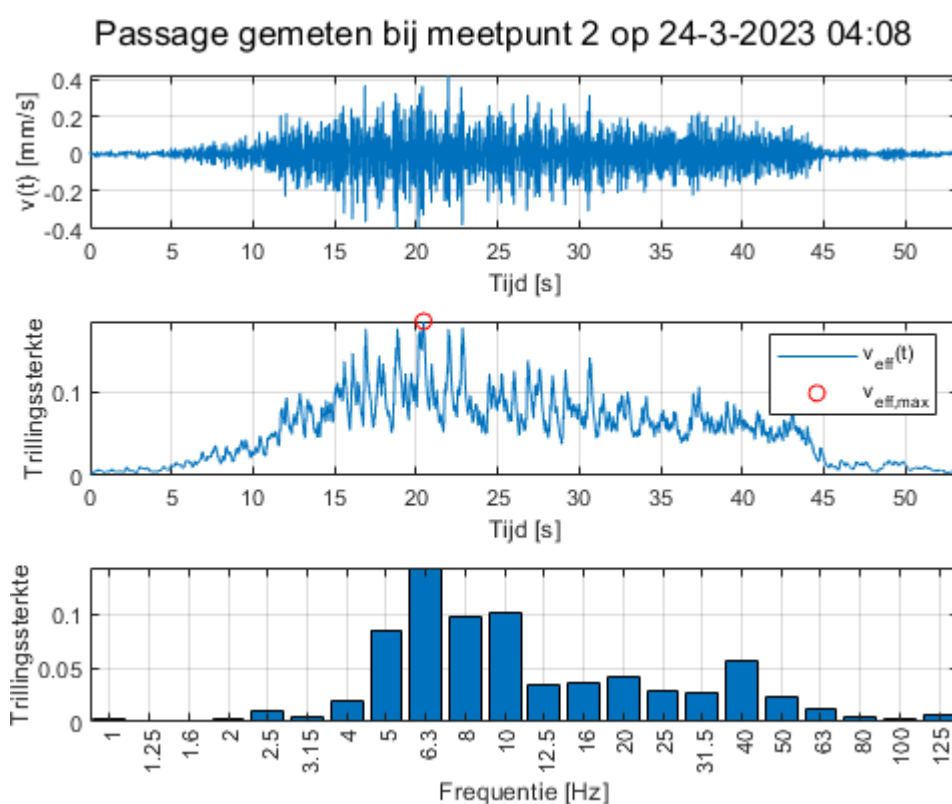
Naast deze automatische bewerkingen is handmatig de top tien passages per meetpunt gecontroleerd op overgebleven stoortrillingen. Deze beoordeling is gebaseerd op eerder opgedane kennis en ervaringen bij andere trillingsmetingen.

Van alle verwerkte tijdsignalen is de gemeten $v_{\text{eff,max}}$ per trillingsrichting, de v_{max} en het tertsbandspectrum per trillingsrichting geleverd in een digitaal Exceldocument (referentie 09659-57569-03).

4 Meetresultaten

4.1 Onderscheid maken tussen stoorbronnen en treinverkeer

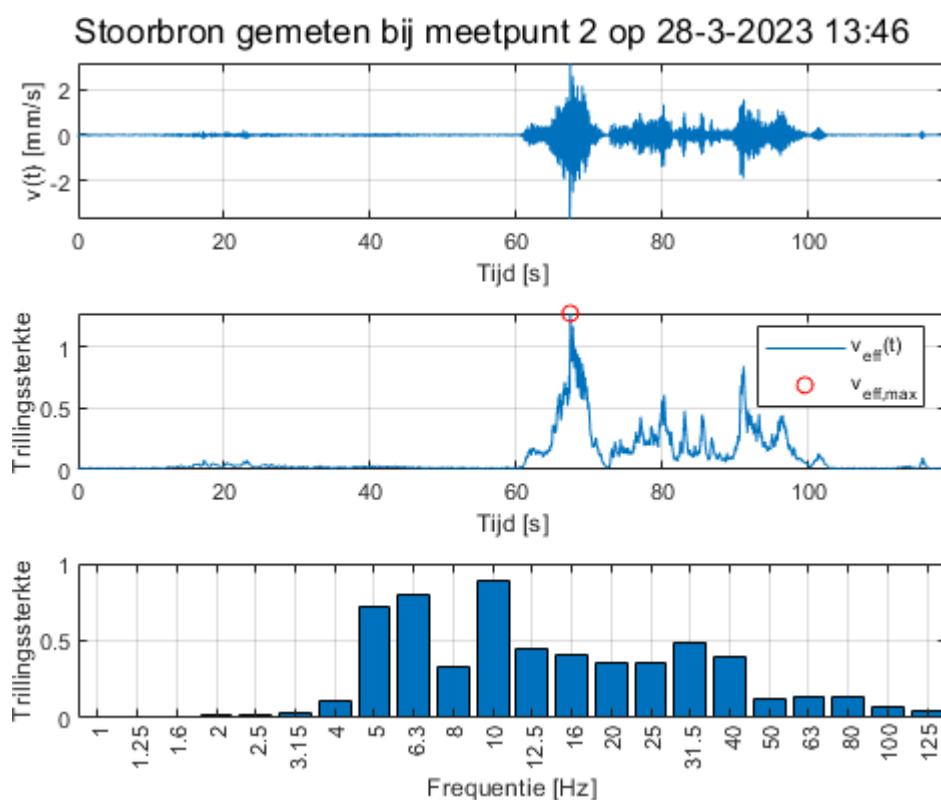
Om een zo betrouwbaar mogelijke dataset van tijdsignalen van treinen te verkrijgen is onderscheid gemaakt tussen stoorbronnen van bouwwerkzaamheden en passerende treinen. In figuur 4.1 is ter illustratie een tijdsignaal opgenomen van een vermoedelijke trein in nachtperiode gemeten bij meetpunt 2. Het eerste grafiek laat de trillingssnelheid in de tijd zien, daaronder is de voortschrijdend effectieve waarde $v_{eff}(t)$ volgens SBR-B en het laatste grafiek laat het gemeten spectrum zien.



Figuur 4.1: Treinpassage gemeten bij meetpunt 2 in de nachtperiode

In figuur 4.1 is te zien dat de trillingssnelheid en trillingssterkte in de tijd de vorm volgt van treinen gemeten bij andere locaties. De trillingssterkte bouwt langzaam op tot een maximum bij ongeveer 20 seconde en bouwt weer langzaam af. Het passage duurt ongeveer 40 seconde en het gehele signaal is ongeveer 55 seconde lang.

In figuur 4.2 is een tijdsignaal te zien van een stoorbron tijdens de dagperiode. Wederom met de trillingssnelheid en trillingssterkte in de tijd (respectievelijk grafiek 1 en 2) en het spectrum (grafiek 3).



Figuur 4.2: Tijdsignaal van stoorbron gemeten bij meetpunt 2 tijdens de dagperiode

Het tijdsignaal bij figuur 4.2 heeft een compleet andere vorm van die gemeten in de nachtperiode. Daarnaast is het duur van het signaal 119 seconde (tevens de maximale lengte van een signaal van ons meetsysteem). Dit past meer bij bronnen met een continue aard zoals een boor.

4.2 Resultaat $v_{eff,max,30,i}$

Het resultaat van de hoogste trillingssterkte per periode van 30 seconden ($v_{eff,max,30,i}$) is vastgelegd in figuren per etmaal en per meetpunt in bijlage I. Deze waarden zijn ook opgenomen in een digitaal bestand dat gebruikt kan worden voor aanvullende analyses.

4.3 Maximale trillingssterkte V_{max}

De maximale trillingssterkte is bepaald voor de perioden nacht, dag en avond volgens SBR-B voor ieder meetpunt in tabel 4.1. V_{max} in de dagperiode is vastgesteld op basis van de periode tussen 16:00 en 19:00 uur, behalve voor in het weekend.

Tabel 4.1: Gemeten V_{max} per meetpunt en periode

Meetpunt	V_{max} Nacht	V_{max} Dag	V_{max} Avond
MP1	0,18	0,18	0,18
MP2	0,18	0,13	0,15
MP3	0,12	0,12	0,13
MP4	0,14	0,13	0,18

4.4 Gemiddelde trillingssterkte V_{per}

De gemiddelde trillingssterkte is bepaald voor de perioden nacht, dag en avond volgens SBR-B voor ieder meetpunt in tabel 4.1. V_{per} in de dagperiode is vastgesteld in de periode tussen 16:00 en 19:00 uur, behalve voor in het weekend.

Tabel 4.2: Gemeten V_{per} per meetpunt en periode

Meetpunt	V_{per} Nacht	V_{per} Dag	V_{per} Avond
MP1	0,014	0,039	0,025
MP2	0,006	0,007	0,011
MP3	0,004	0,011	0,006
MP4	0,004	0,011	0,008

4.5 Beschouwing

4.5.1 Grote van de maximale trillingssterkte V_{max}

Ten eerste moet vermeld worden dat de hier gepresenteerde meetresultaten slechts trillingssterktes op maaiveld zijn. Voor onderzoek naar eventuele maatregelen voor het toekomstige gebouw moet nog rekening worden gehouden met de overdracht van maaiveld naar fundering en van fundering naar vloeren.

Daarnaast is een maximale trillingssterkte V_{max} van 0,18 gemeten op een afstand van 9 meter van het spoor (meetpunt 1) en op 22 meter van het spoor (meetpunt 2). Een mogelijke reden hiervoor is dat een wissel op ongeveer 40 meter afstand ligt ten opzichte van meetpunt 2. Deze wissel ligt op ongeveer 60 meter afstand van meetpunt 1. Spooronderbrekingen zoals wissels leiden over het algemeen tot een hogere trillingssterkte.

4.5.2 Meetnauwkeurigheid

Als laatste is het belangrijk te melden wat de meetnauwkeurigheid van de gemeten trillingssterktes is. SBR-B schrijft voor om ten minste voor een periode van zeven dagen te meten. In dat geval kun je dan spreken van een representatieve situatie. Echter omdat goederentreinen incidenteel voorkomen en de aslast en lengte van goederentreinen zeer uiteen kunnen lopen is het mogelijk dat een treinpassage kan voorkomen met een hogere trillingssterkte op maaiveld dan nu is gemeten. Op basis van een statistische analyse (zie bijlage II) is de kans vastgesteld dat een trein de meetlocatie passeert, die resulteert in een V_{max} hoger dan 0,18. Die kans is minder dan 1%.

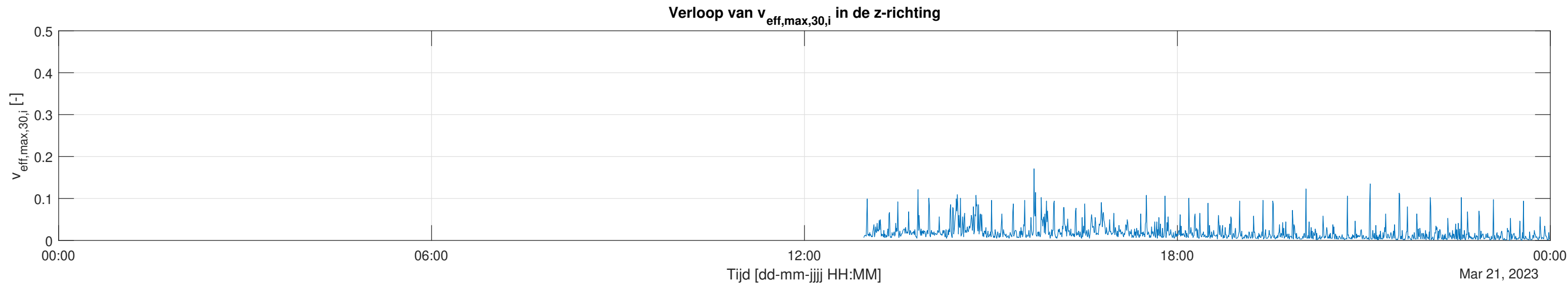
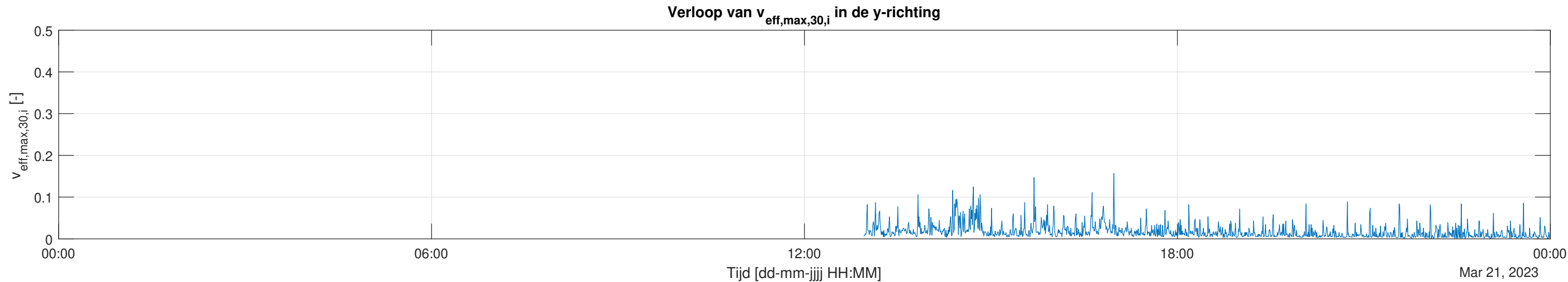
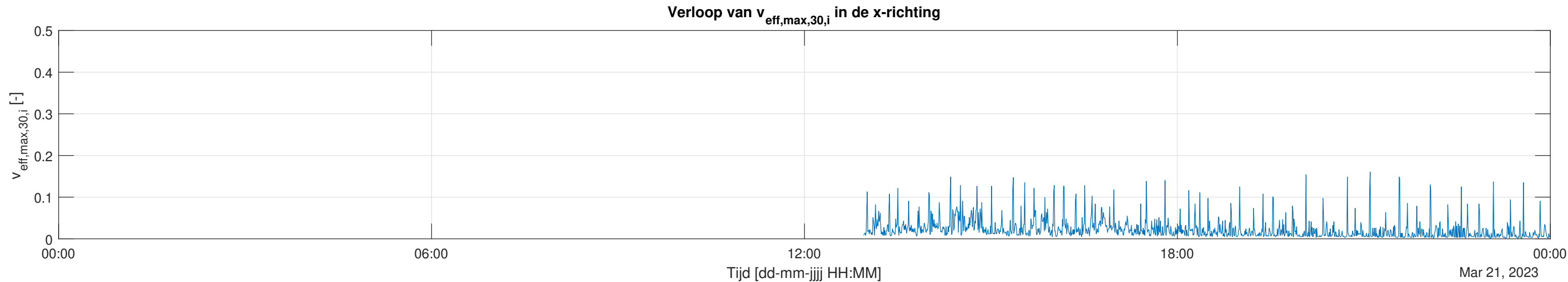
Cauberg Huygen B.V.



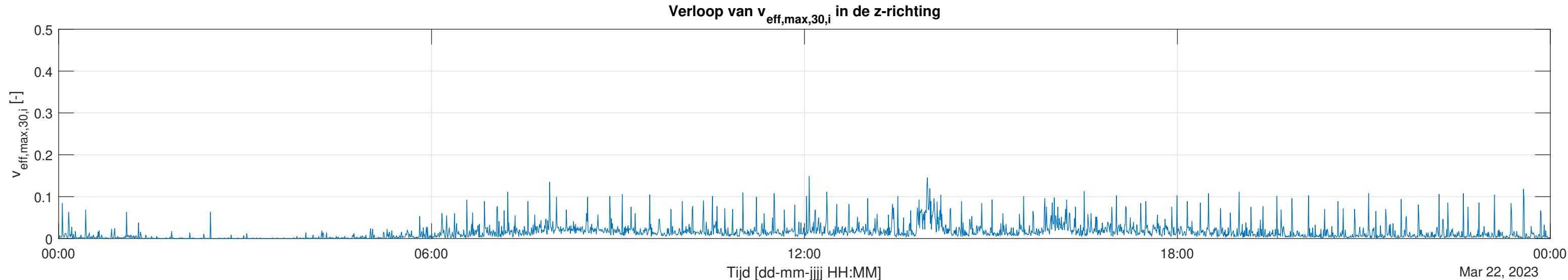
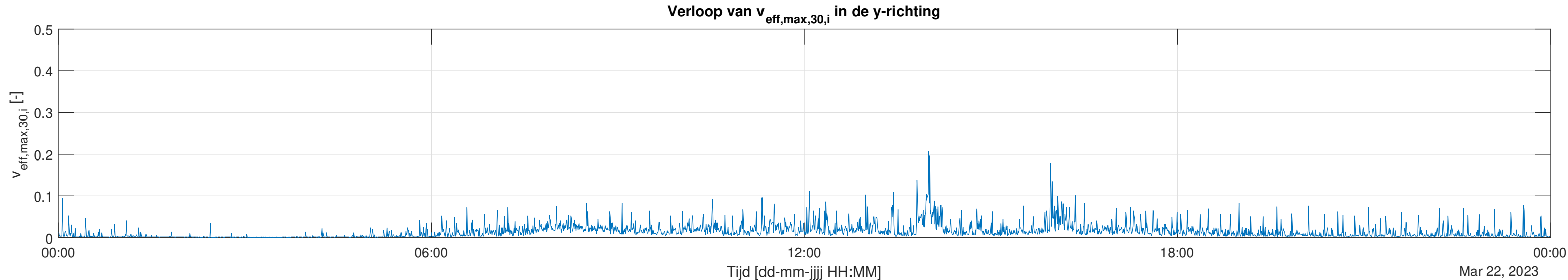
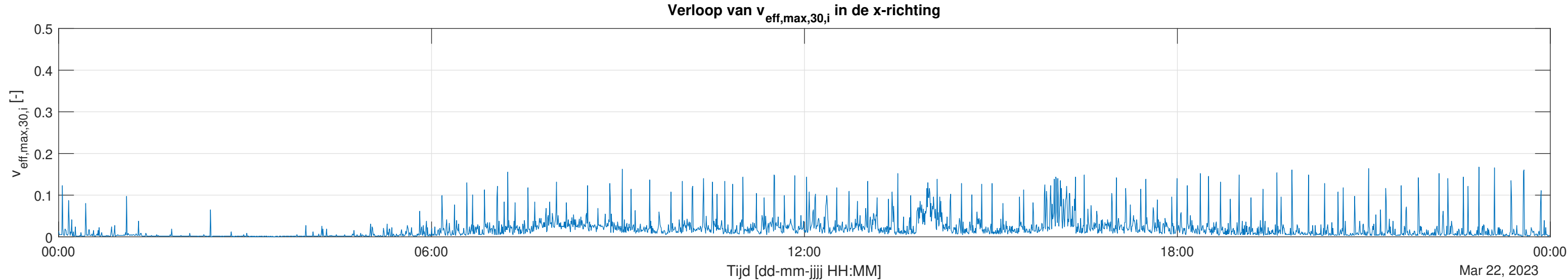
De heer ing. H.E.O. Williams
Adviseur

Bijlage I **Verloop trillingssterkte $v_{\text{eff,max},30,i}$**

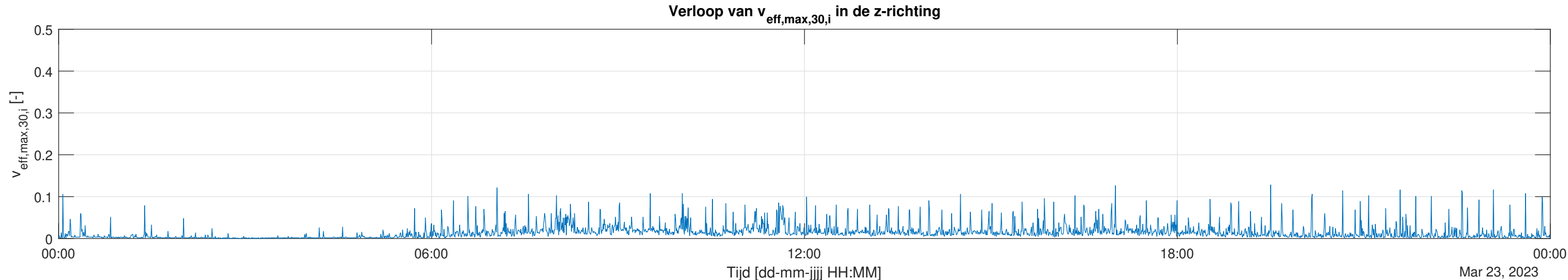
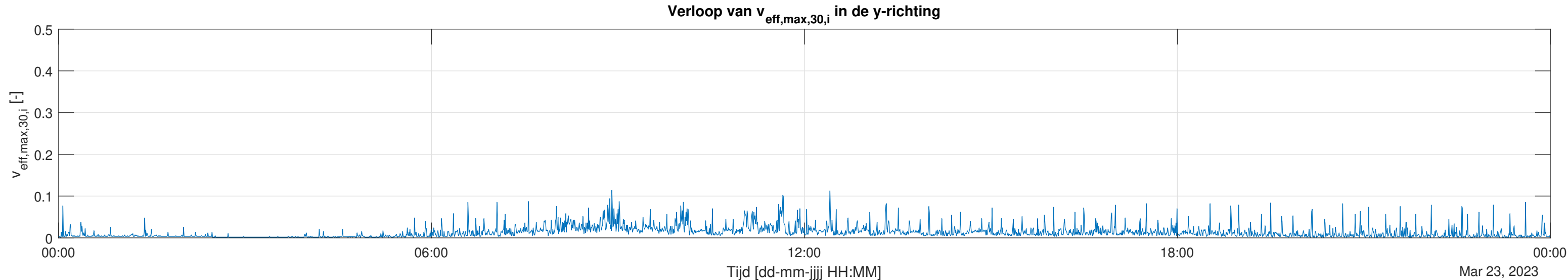
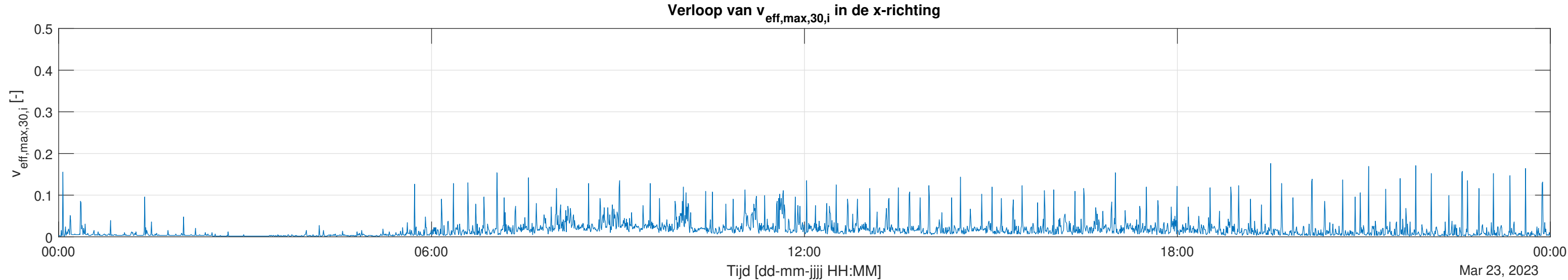
Verloop van v_{eff,max,30,i} gemeten bij background MT39 Figaro mp1 9m op 21-Mar-2023



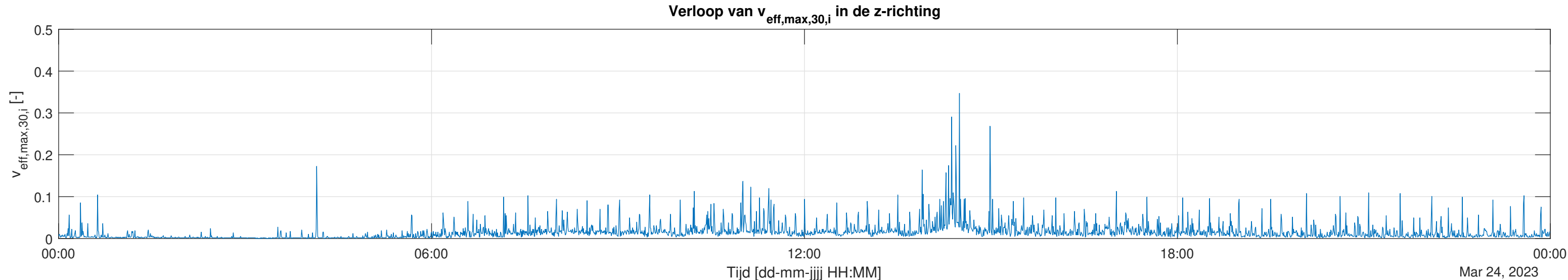
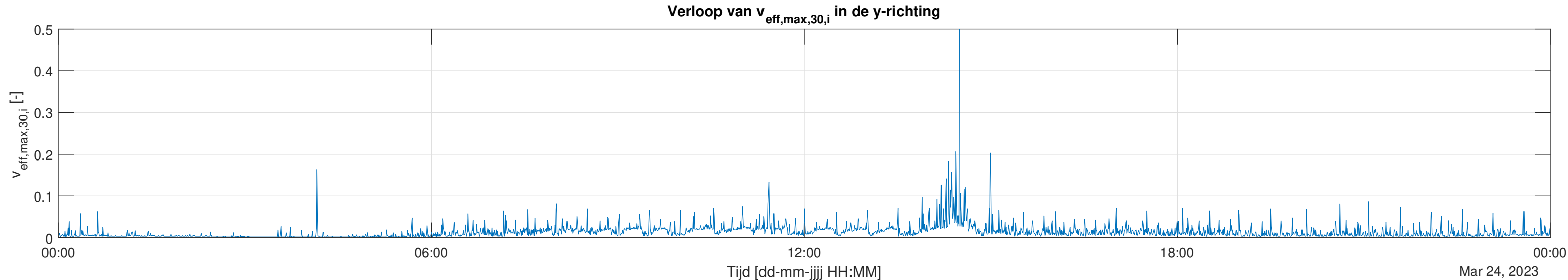
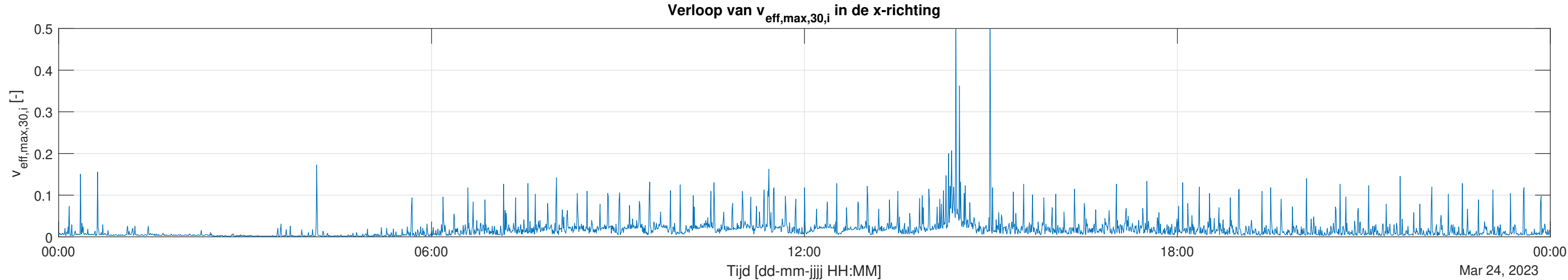
Verloop van v_{eff,max,30,i} gemeten bij background MT39 Figaro mp1 9m op 22-Mar-2023



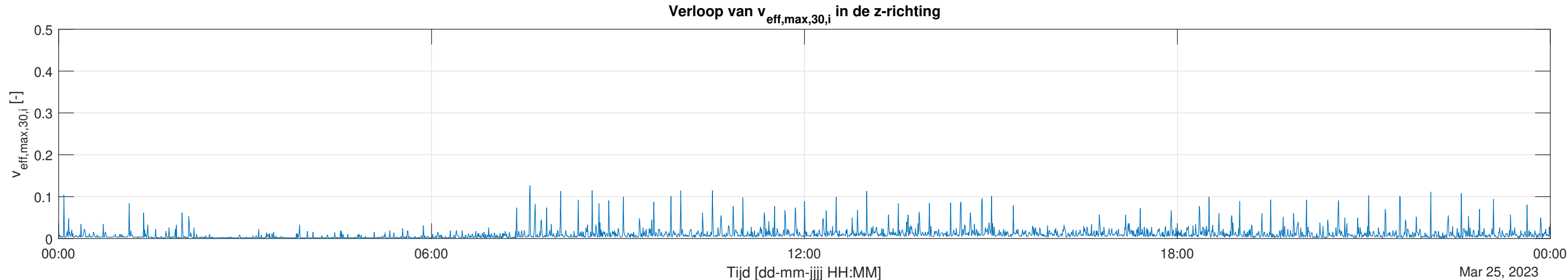
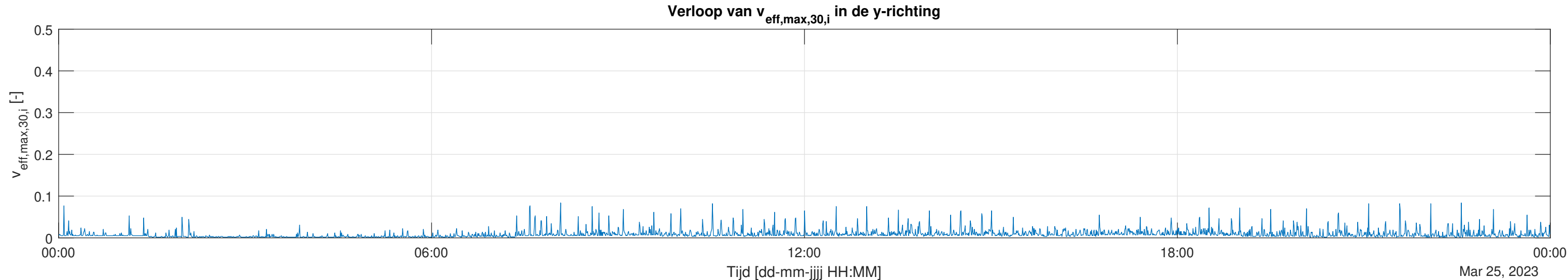
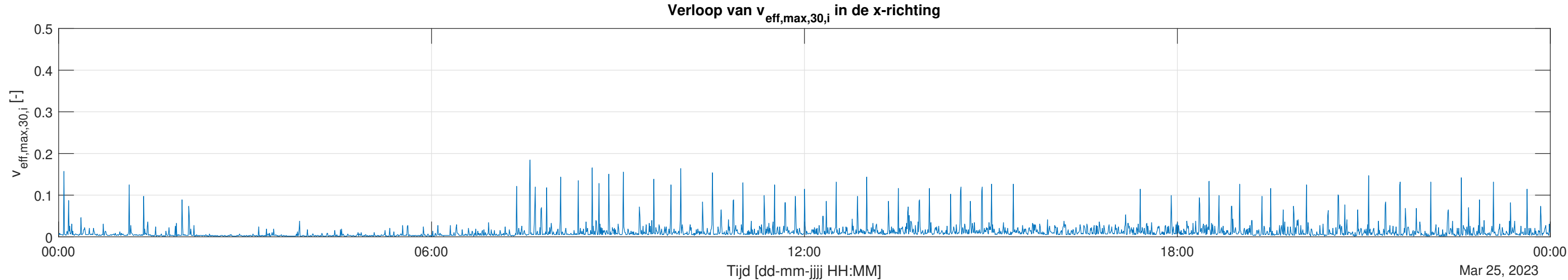
Verloop van v_{eff,max,30,i} gemeten bij background MT39 Figaro mp1 9m op 23-Mar-2023



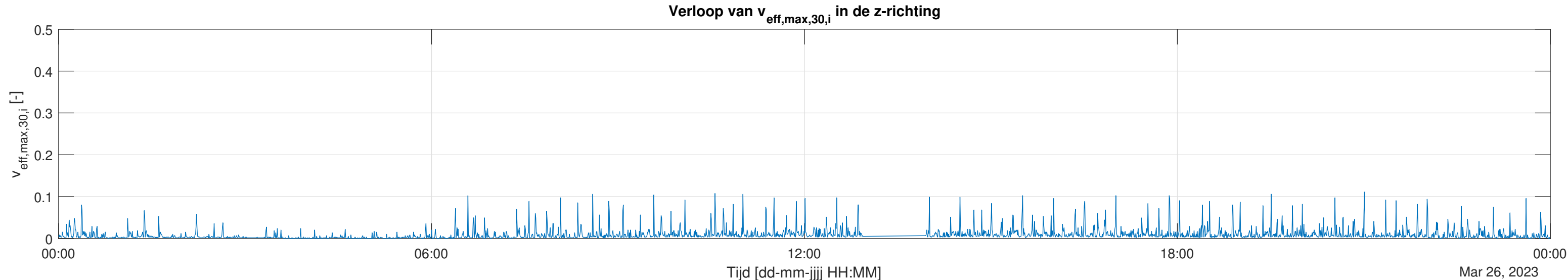
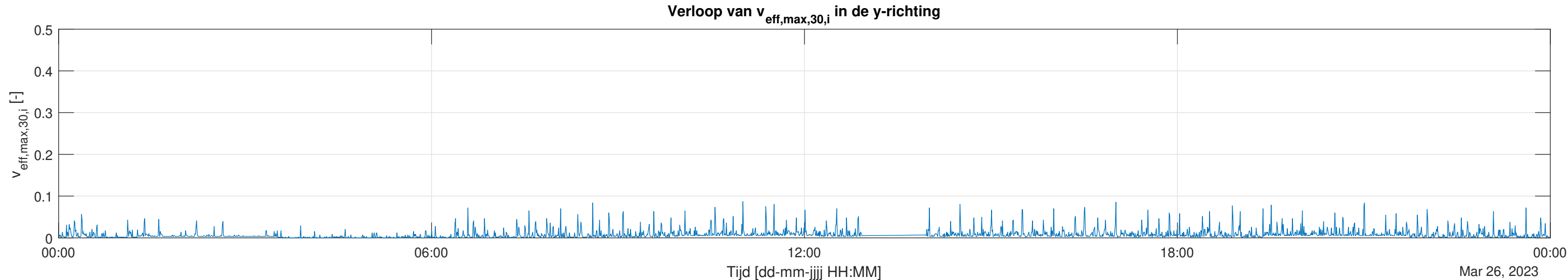
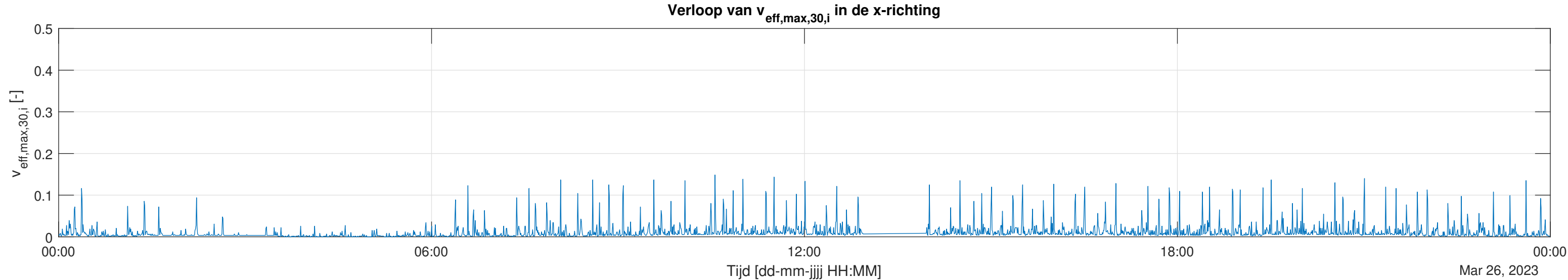
Verloop van v_{eff,max,30,i} gemeten bij background MT39 Figaro mp1 9m op 24-Mar-2023



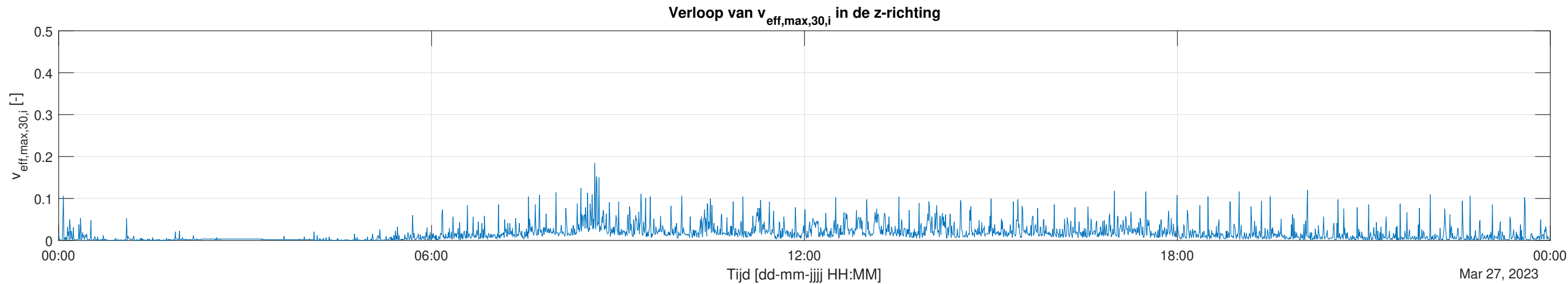
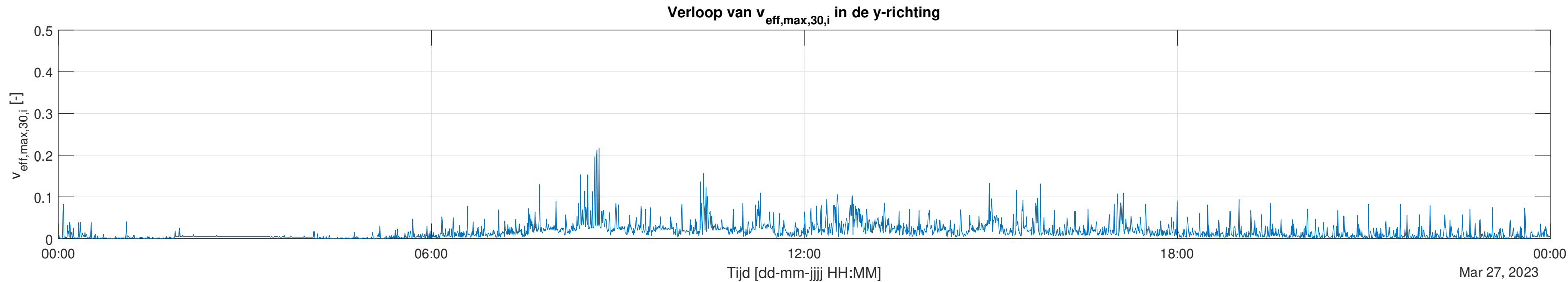
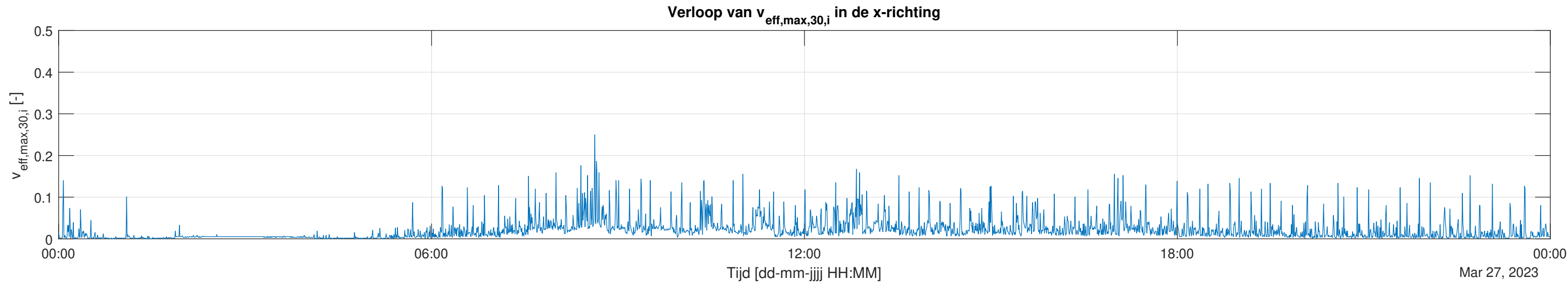
Verloop van v_{eff,max,30,i} gemeten bij background MT39 Figaro mp1 9m op 25-Mar-2023



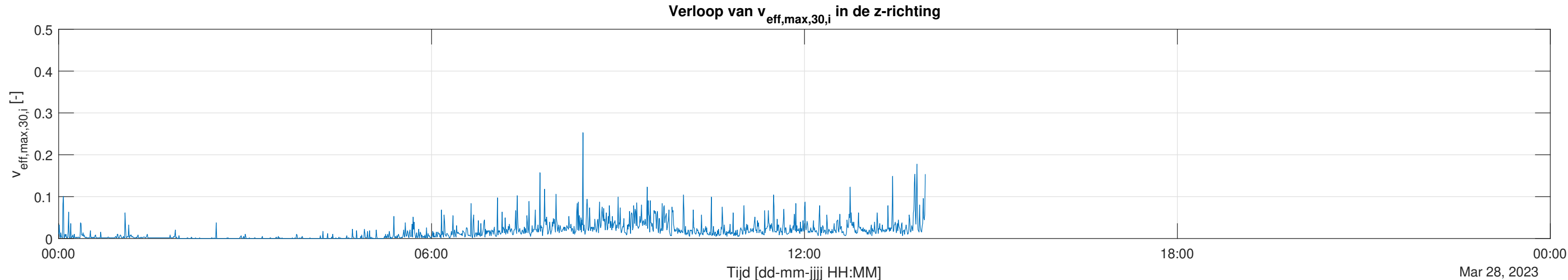
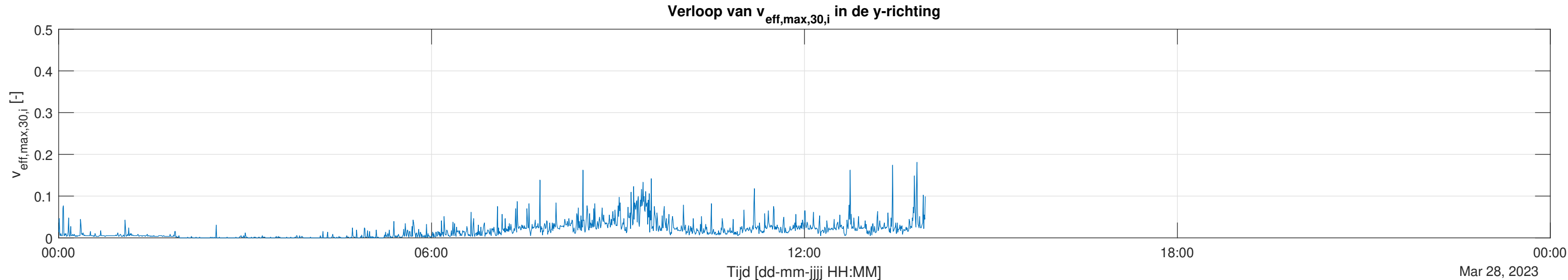
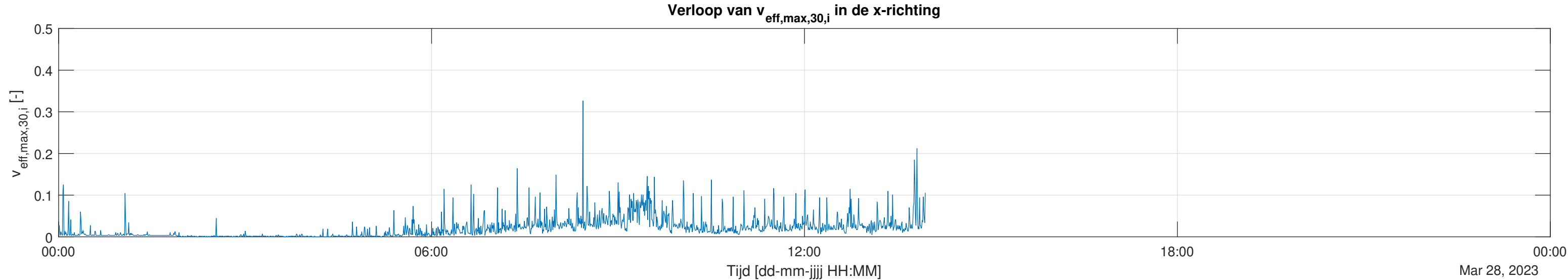
Verloop van v_{eff,max,30,i} gemeten bij background MT39 Figaro mp1 9m op 26-Mar-2023



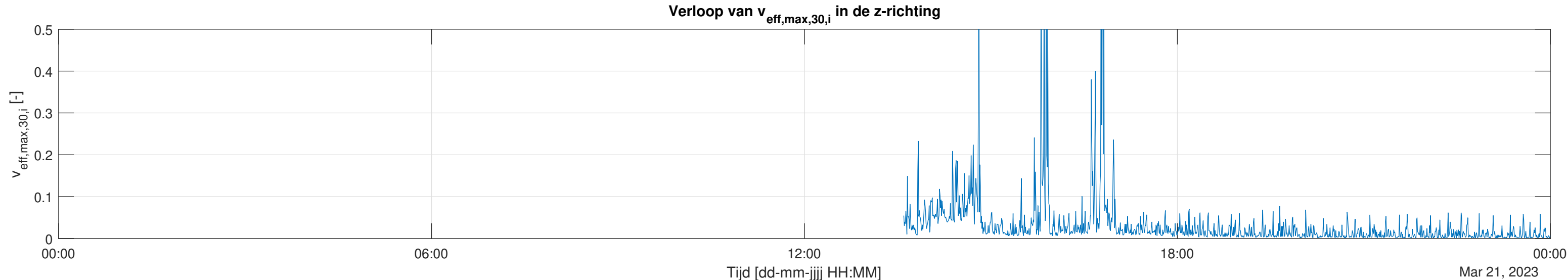
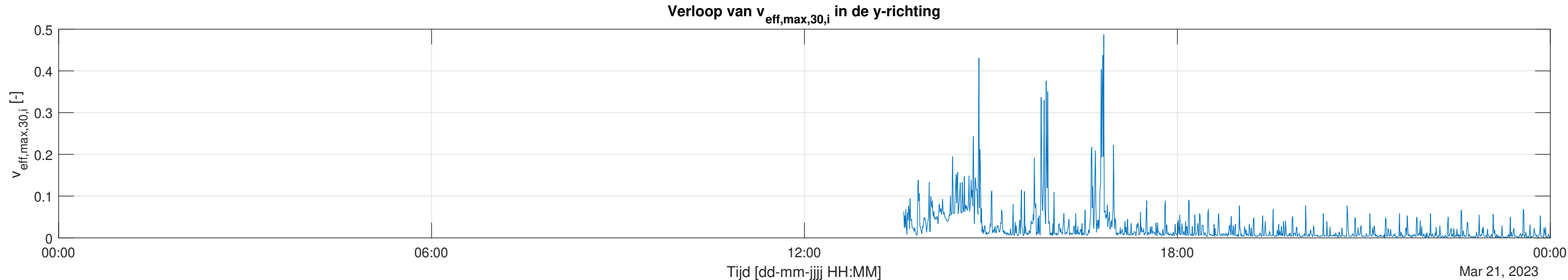
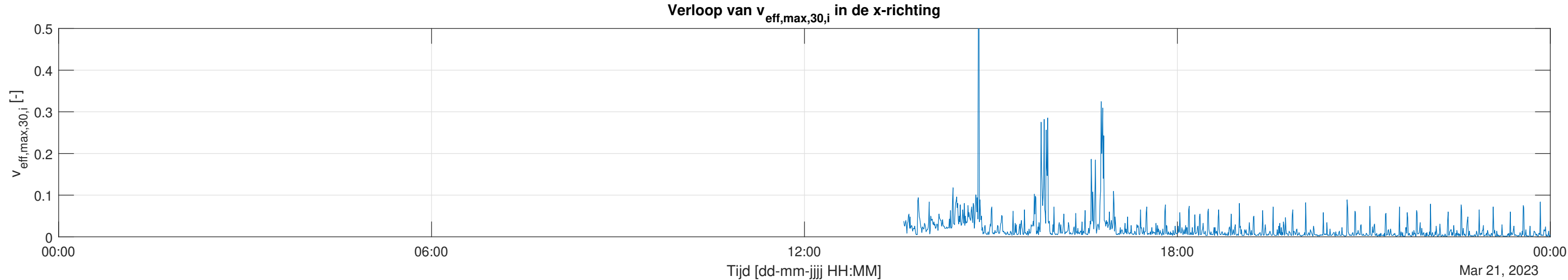
Verloop van v_{eff,max,30,i} gemeten bij background MT39 Figaro mp1 9m op 27-Mar-2023



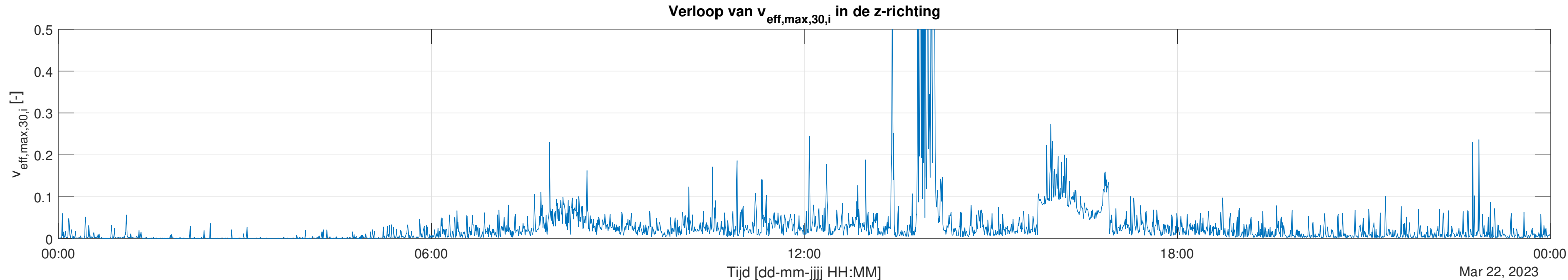
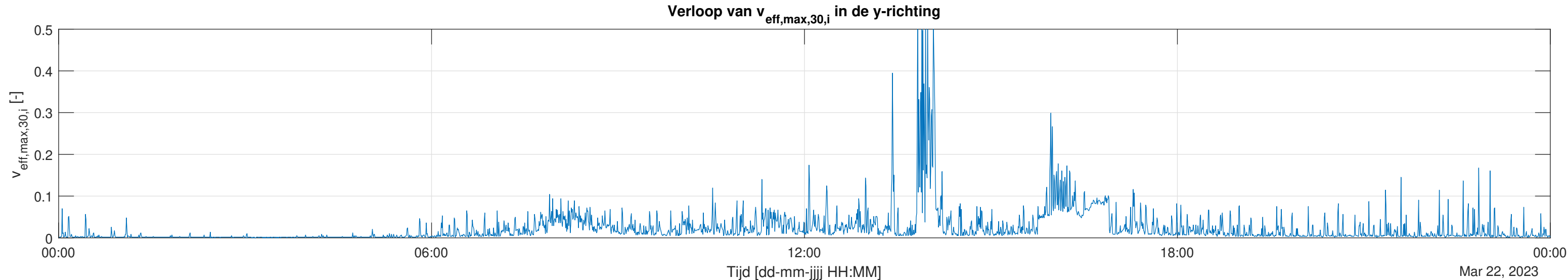
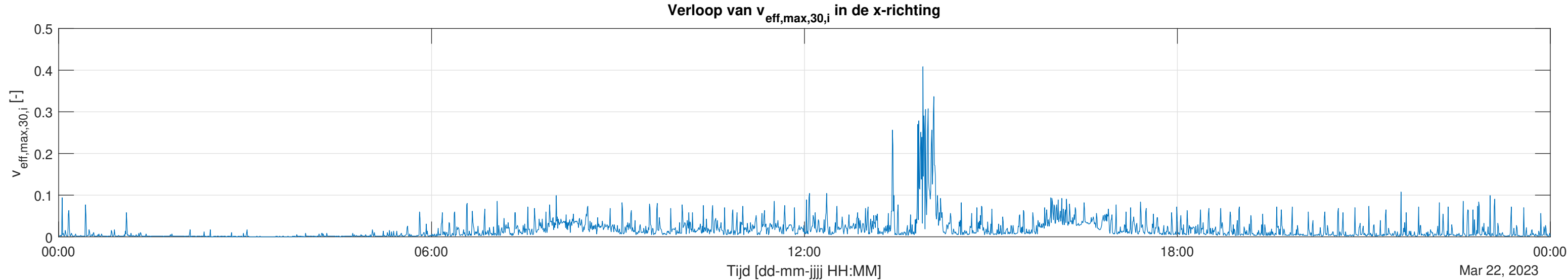
Verloop van v_{eff,max,30,i} gemeten bij background MT39 Figaro mp1 9m op 28-Mar-2023



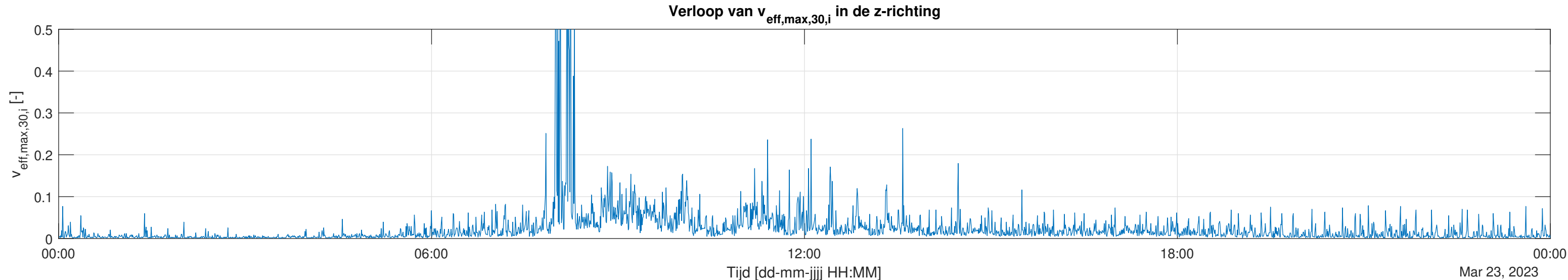
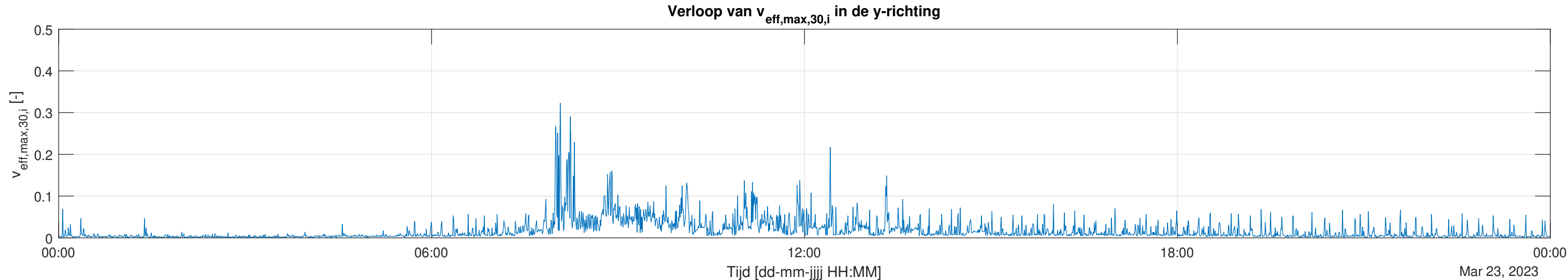
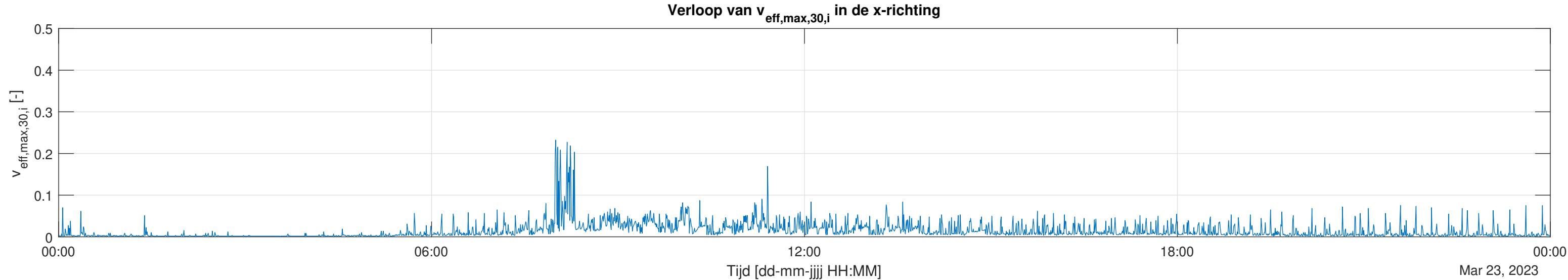
Verloop van v_{eff,max,30,i} gemeten bij background MT40 Figaro mp2 22m op 21-Mar-2023



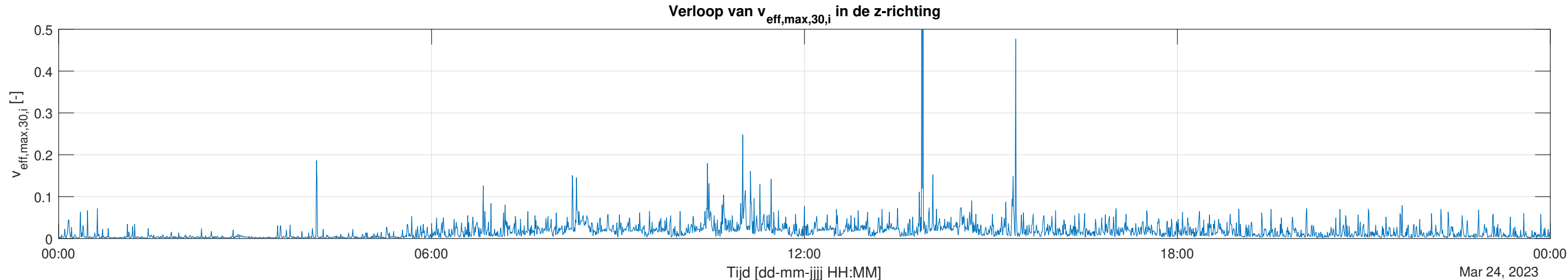
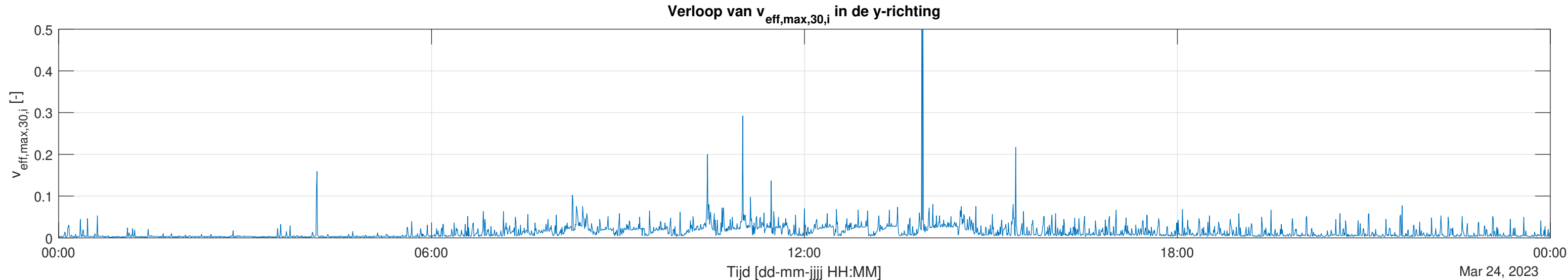
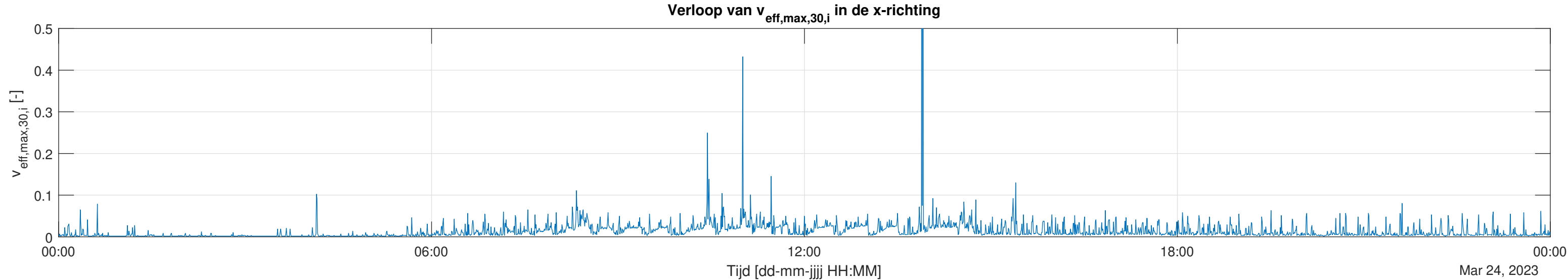
Verloop van v_{eff,max,30,i} gemeten bij background MT40 Figaro mp2 22m op 22-Mar-2023



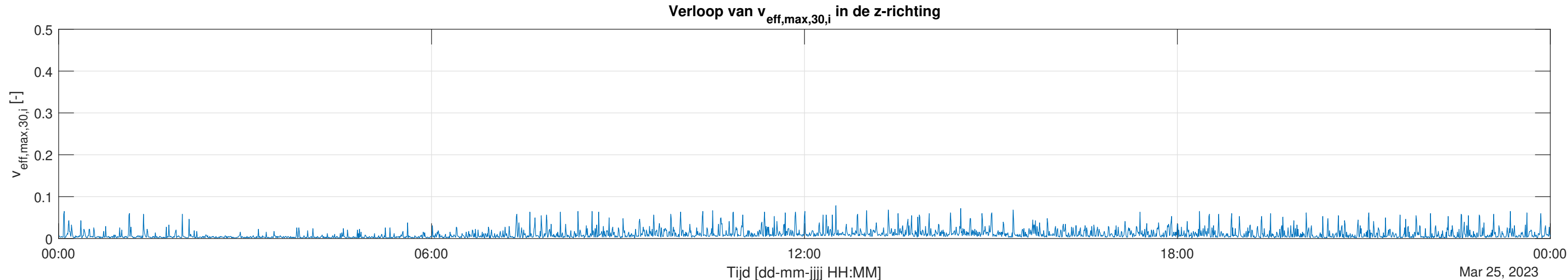
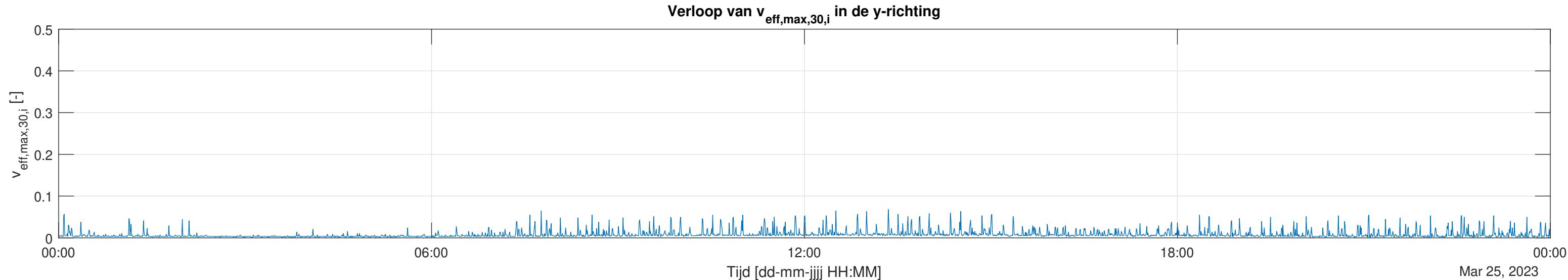
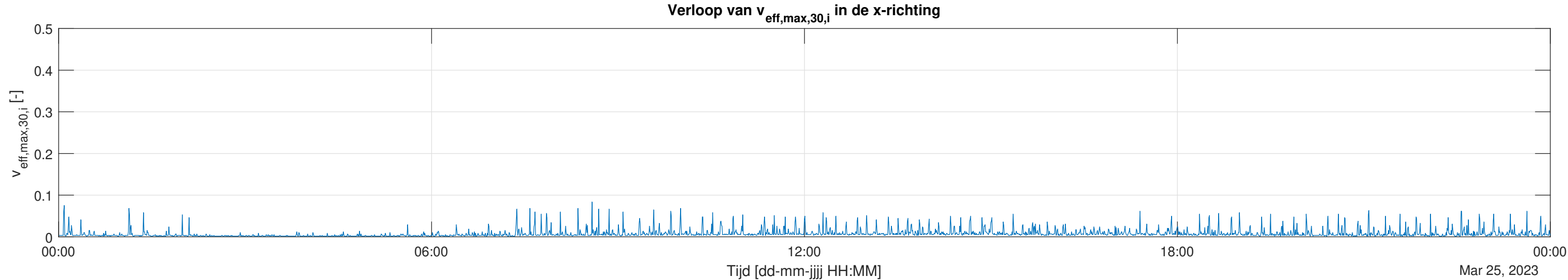
Verloop van $v_{\text{eff,max},30,i}$ gemeten bij background MT40 Figaro mp2 22m op 23-Mar-2023



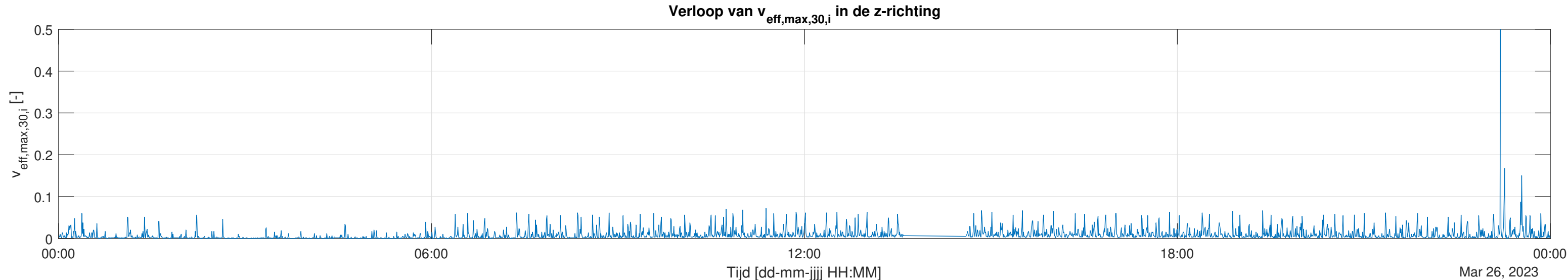
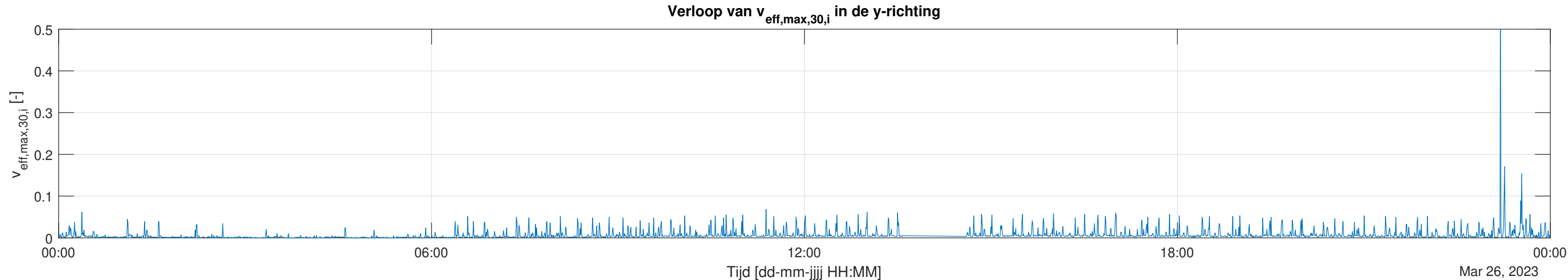
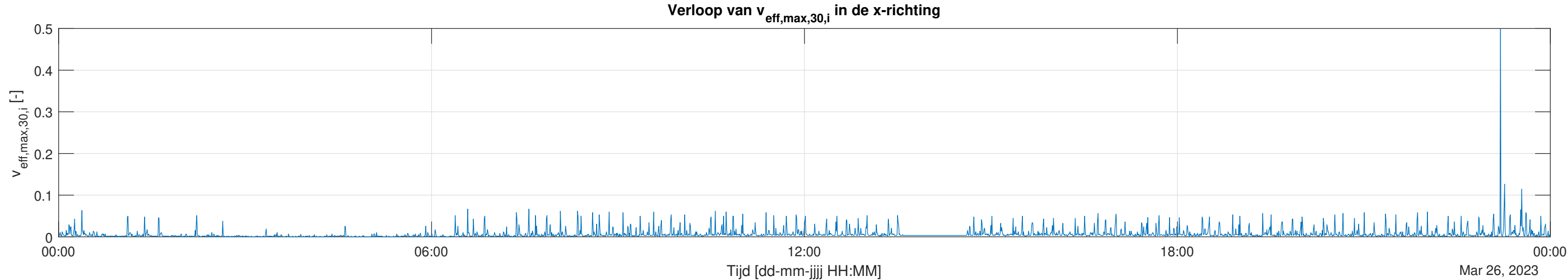
Verloop van v_{eff,max,30,i} gemeten bij background MT40 Figaro mp2 22m op 24-Mar-2023



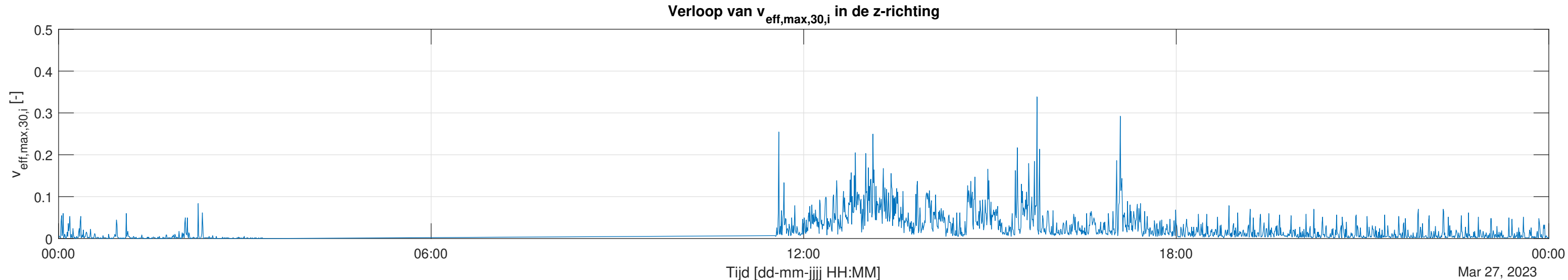
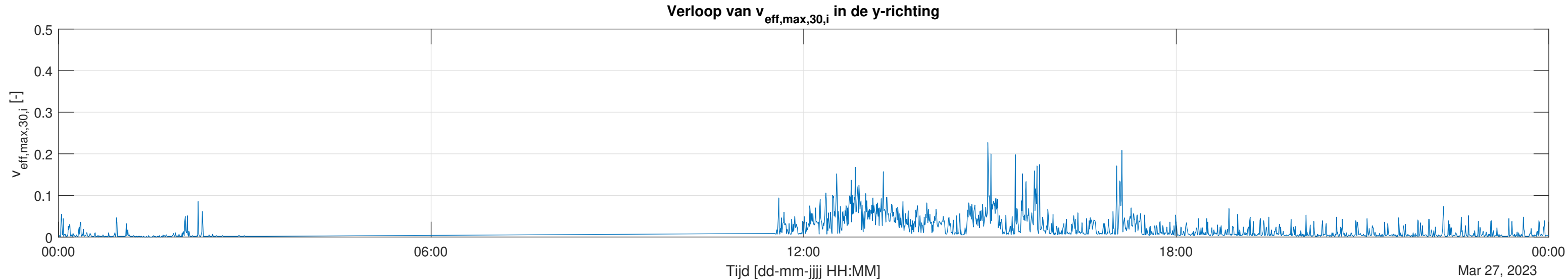
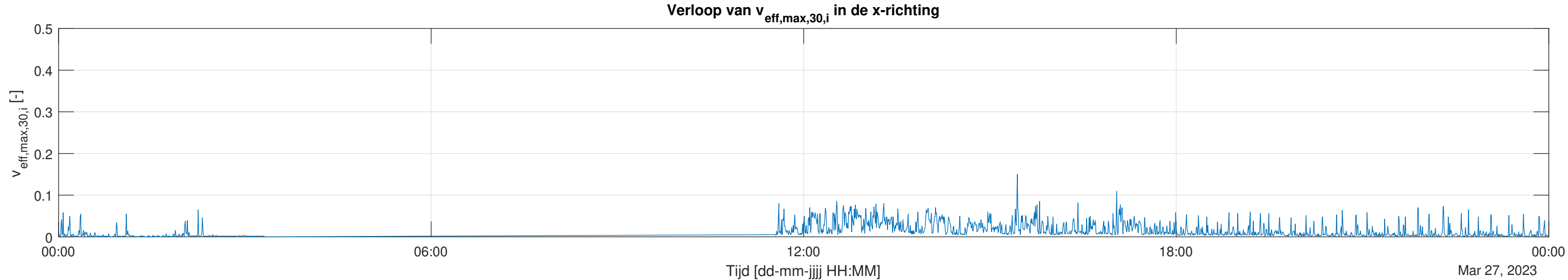
Verloop van v_{eff,max,30,i} gemeten bij background MT40 Figaro mp2 22m op 25-Mar-2023



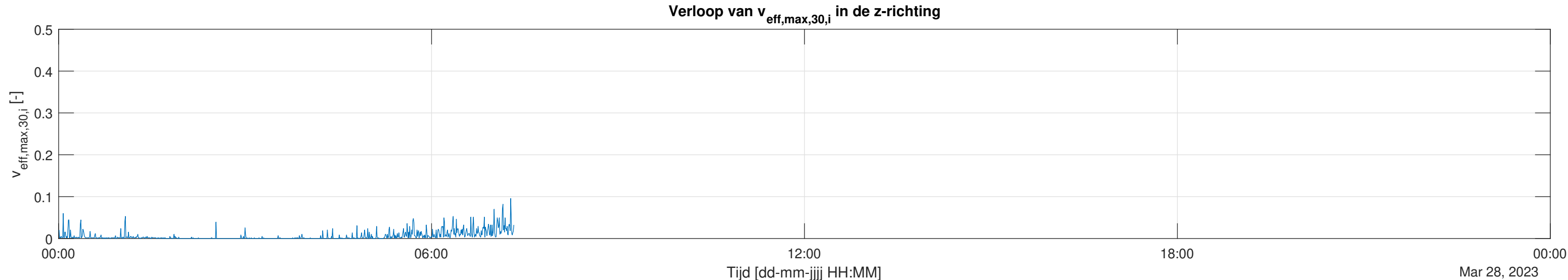
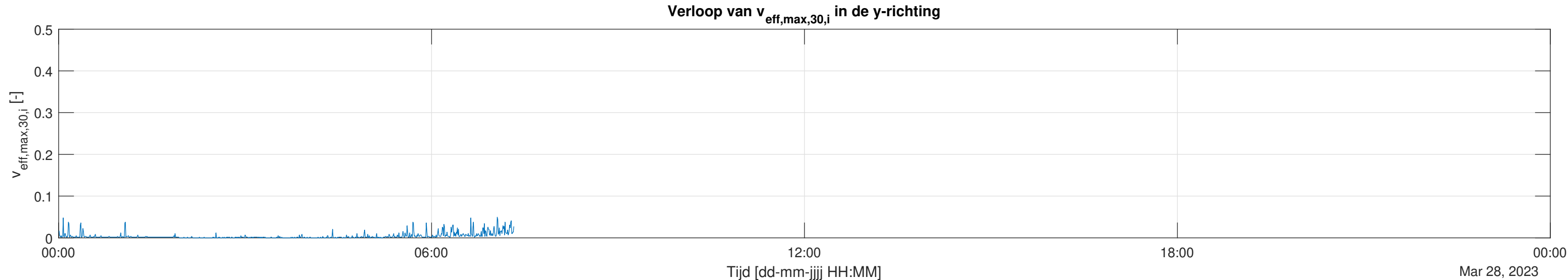
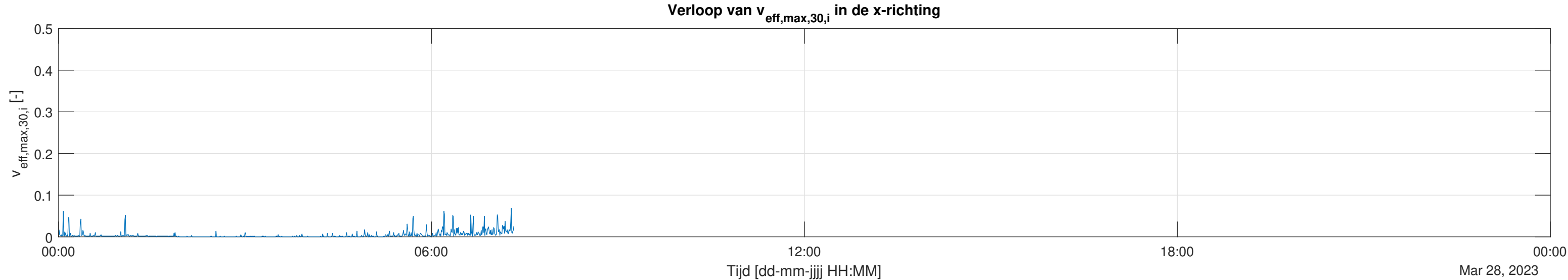
Verloop van $v_{\text{eff,max},30,i}$ gemeten bij background MT40 Figaro mp2 22m op 26-Mar-2023



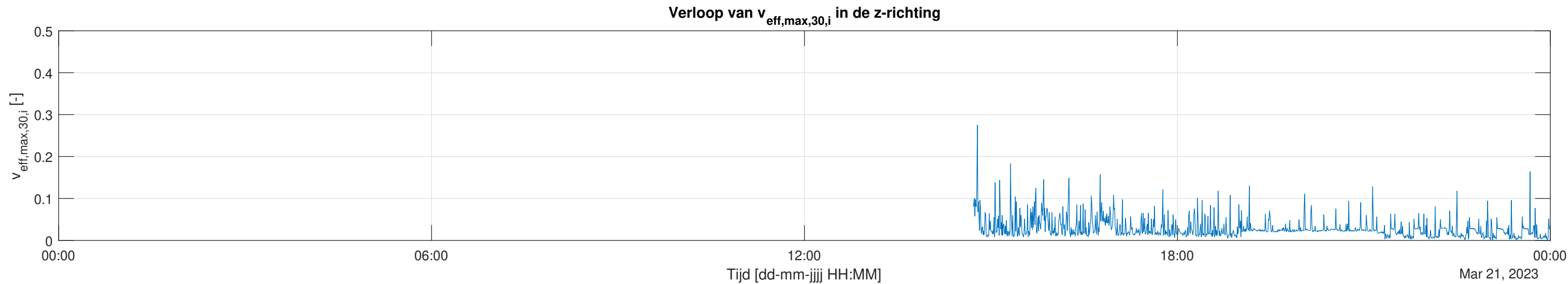
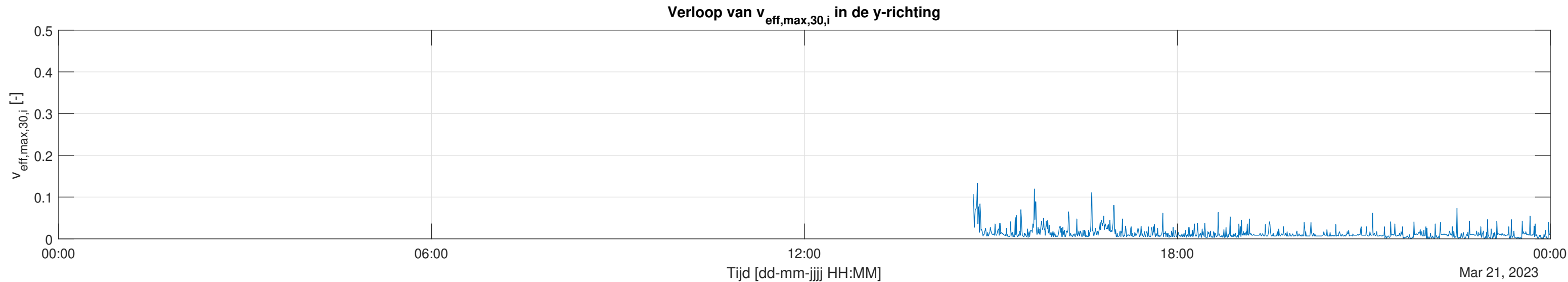
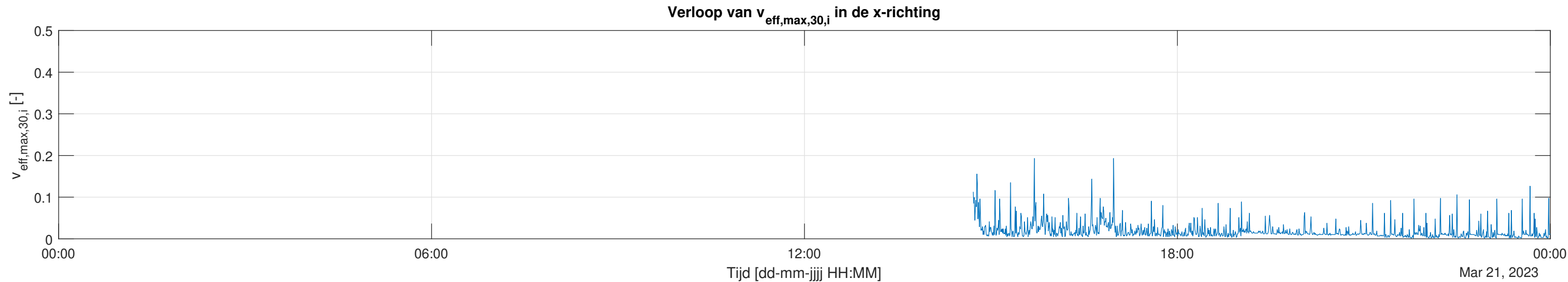
Verloop van $v_{\text{eff,max},30,i}$ gemeten bij background MT40 Figaro mp2 22m op 27-Mar-2023



Verloop van v_{eff,max,30,i} gemeten bij background MT40 Figaro mp2 22m op 28-Mar-2023

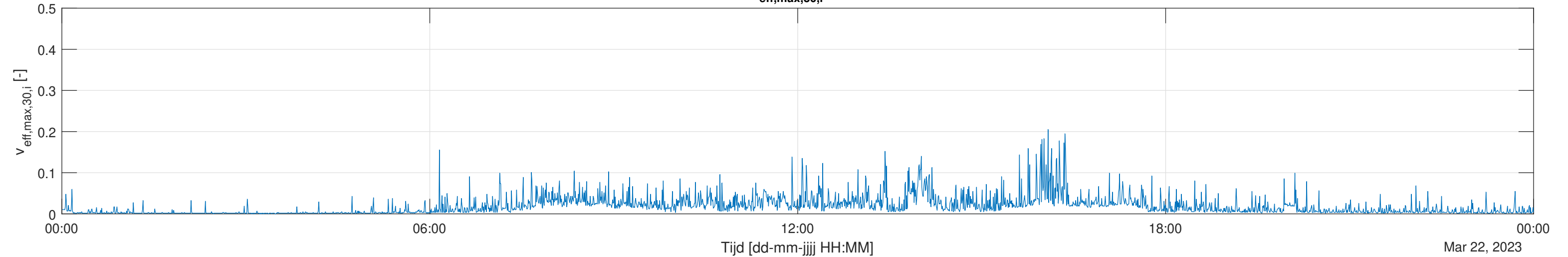


Verloop van $v_{\text{eff,max},30,i}$ gemeten bij background ZT42 figaro mp4 op 21-Mar-2023

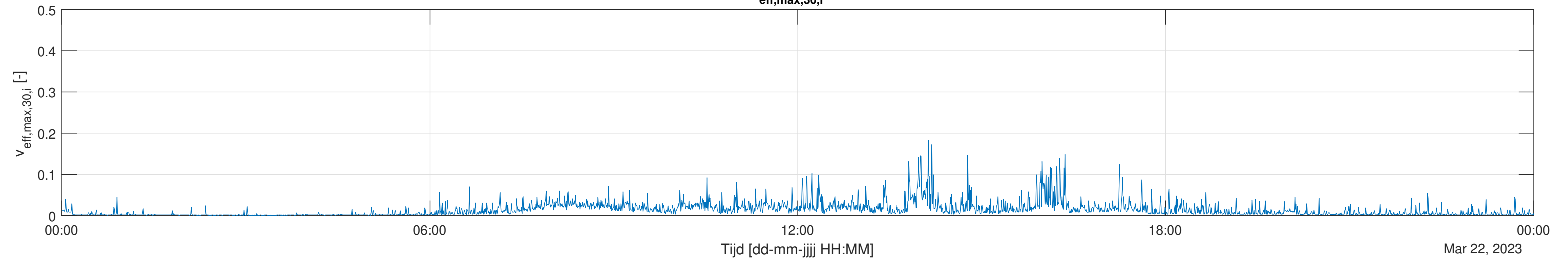


Verloop van $v_{\text{eff,max},30,i}$ gemeten bij background ZT42 figaro mp4 op 22-Mar-2023

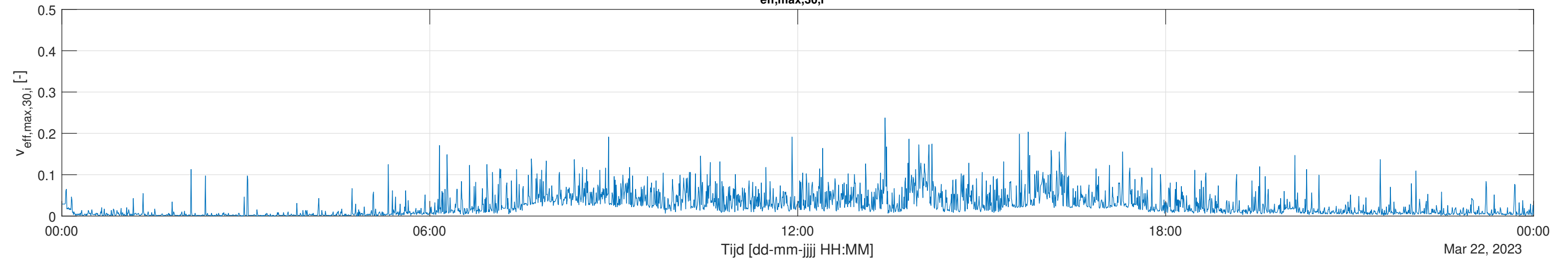
Verloop van $v_{\text{eff,max},30,i}$ in de x-richting



Verloop van $v_{\text{eff,max},30,i}$ in de y-richting

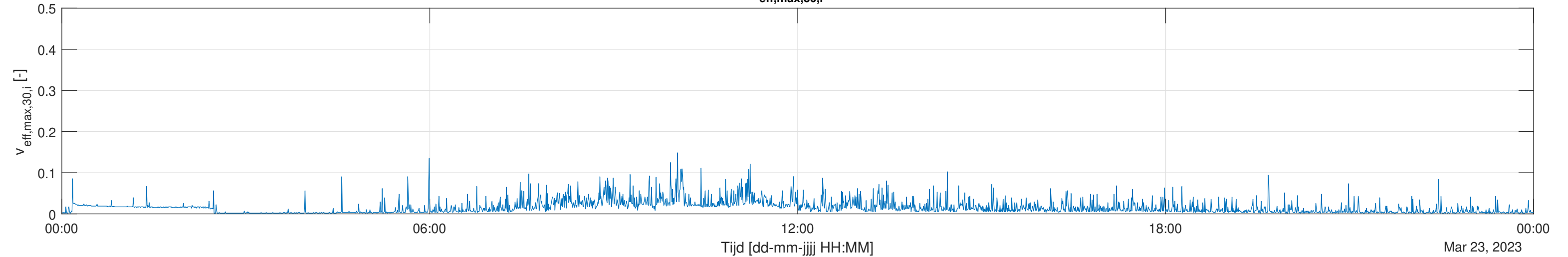


Verloop van $v_{\text{eff,max},30,i}$ in de z-richting

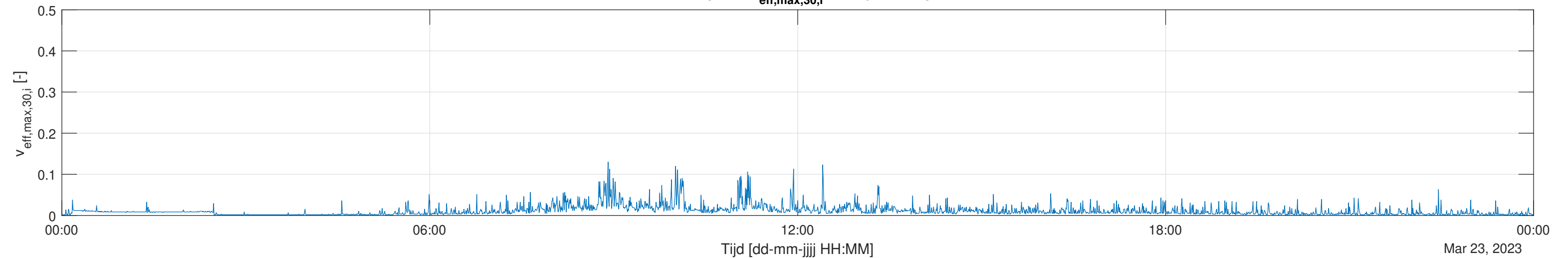


Verloop van $v_{\text{eff,max},30,i}$ gemeten bij background ZT42 figaro mp4 op 23-Mar-2023

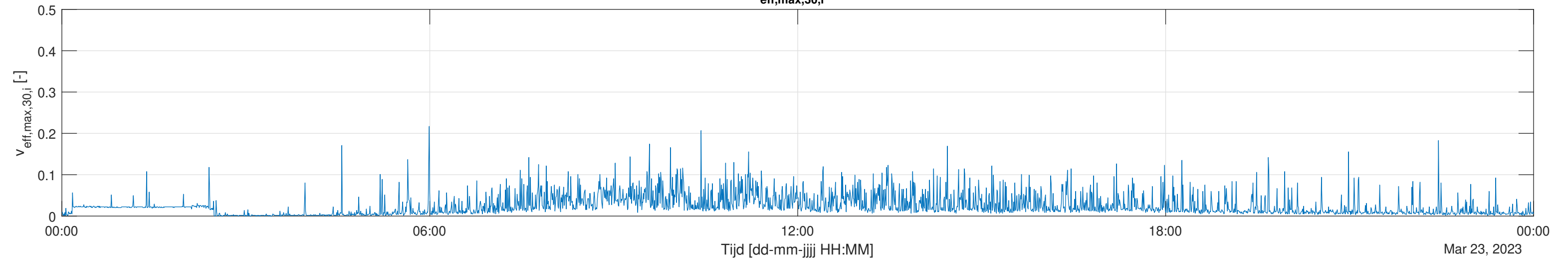
Verloop van $v_{\text{eff,max},30,i}$ in de x-richting



Verloop van $v_{\text{eff,max},30,i}$ in de y-richting

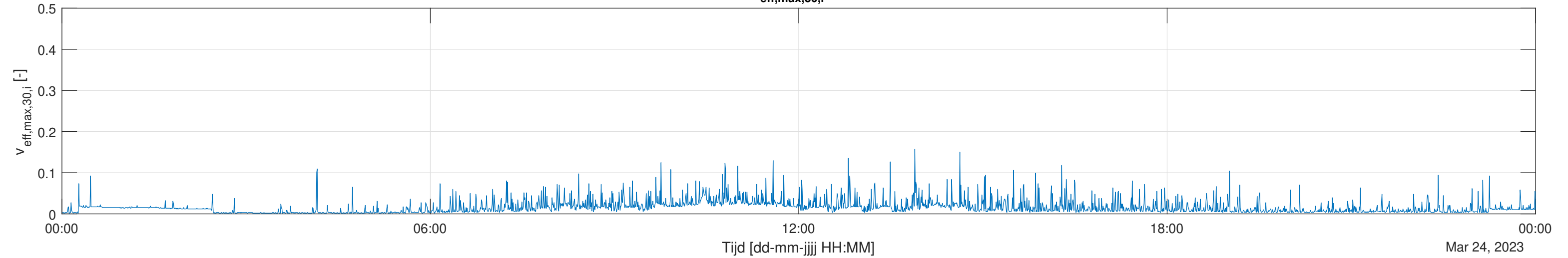


Verloop van $v_{\text{eff,max},30,i}$ in de z-richting

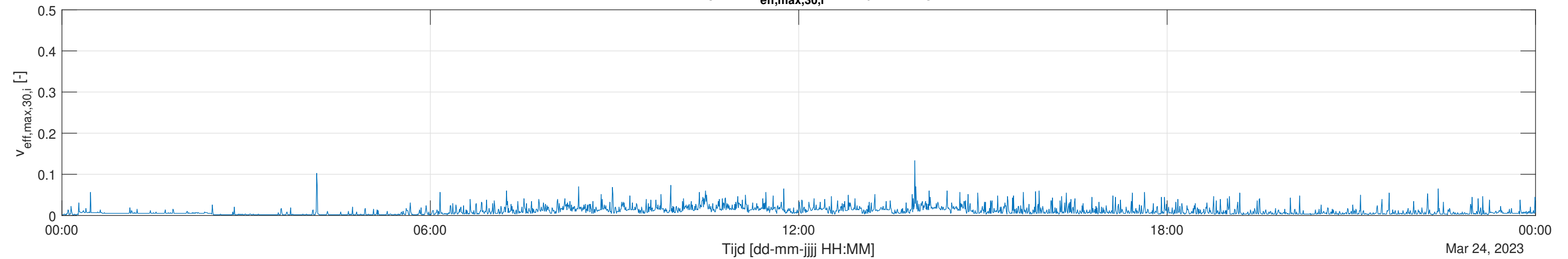


Verloop van $v_{\text{eff,max},30,i}$ gemeten bij background ZT42 figaro mp4 op 24-Mar-2023

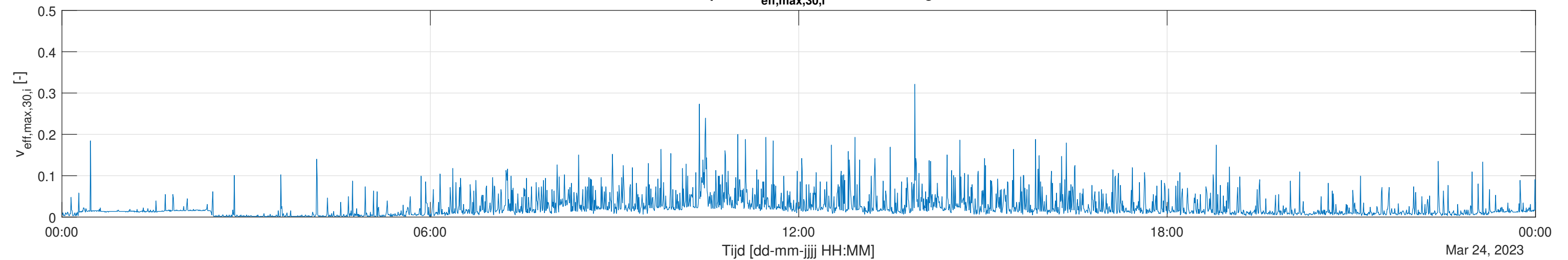
Verloop van $v_{\text{eff,max},30,i}$ in de x-richting



Verloop van $v_{\text{eff,max},30,i}$ in de y-richting

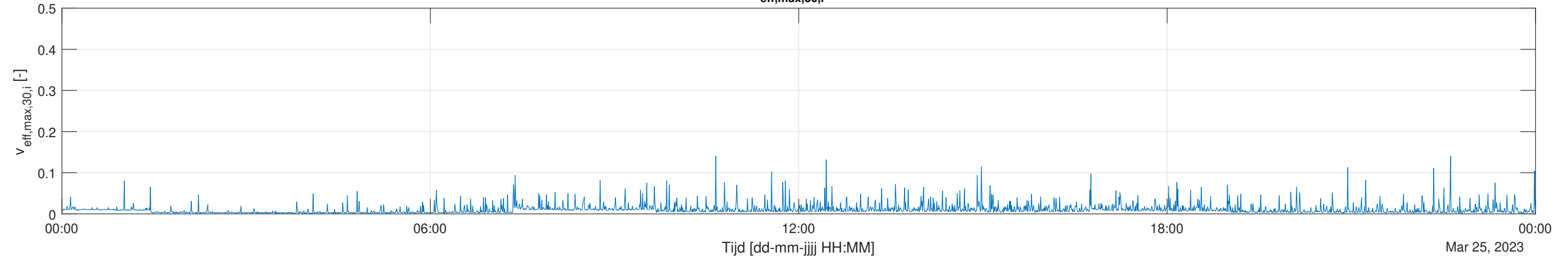


Verloop van $v_{\text{eff,max},30,i}$ in de z-richting

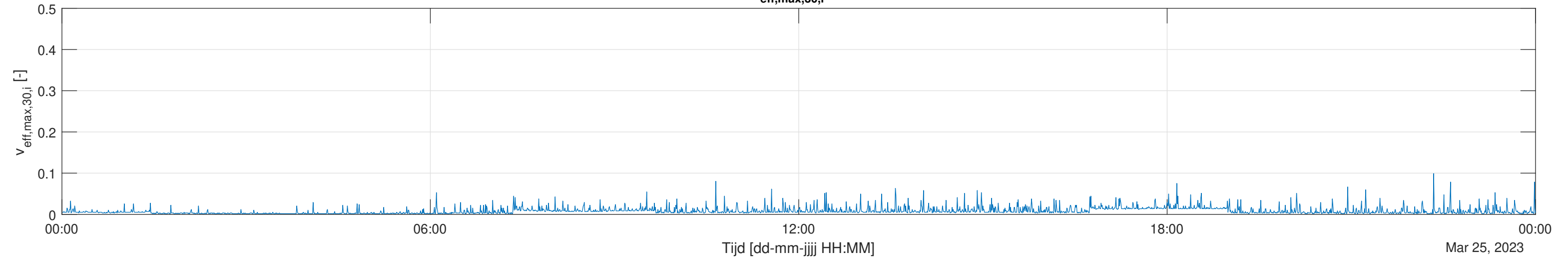


Verloop van $v_{\text{eff,max},30,i}$ gemeten bij background ZT42 figaro mp4 op 25-Mar-2023

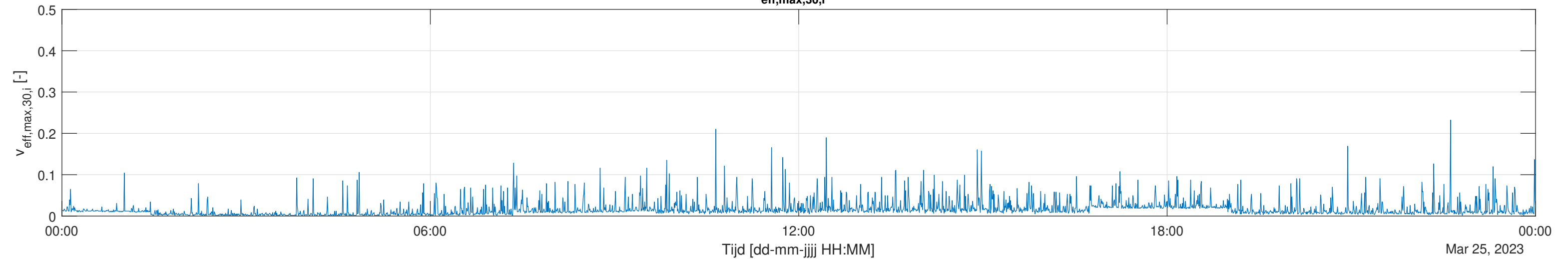
Verloop van $v_{\text{eff,max},30,i}$ in de x-richting



Verloop van $v_{\text{eff,max},30,i}$ in de y-richting

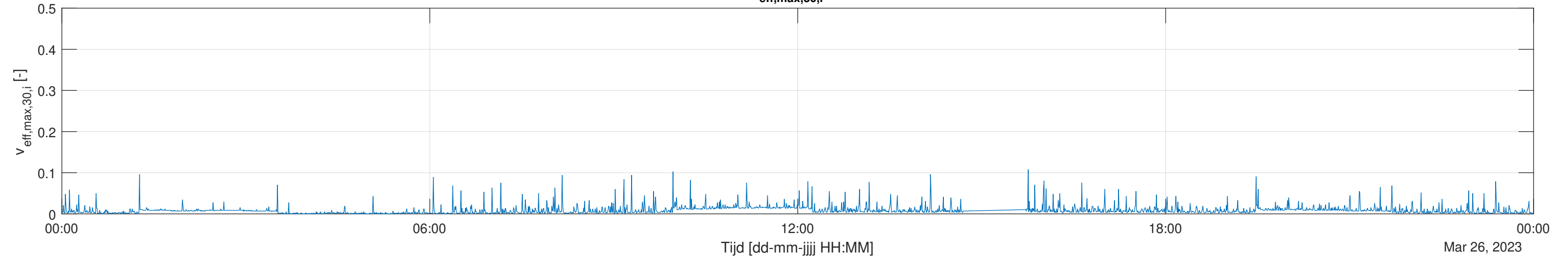


Verloop van $v_{\text{eff,max},30,i}$ in de z-richting

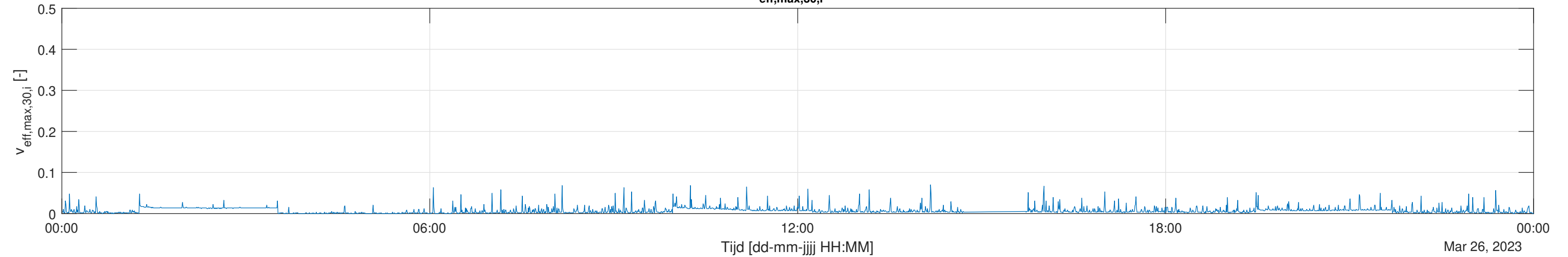


Verloop van $v_{\text{eff,max},30,i}$ gemeten bij background ZT42 figaro mp4 op 26-Mar-2023

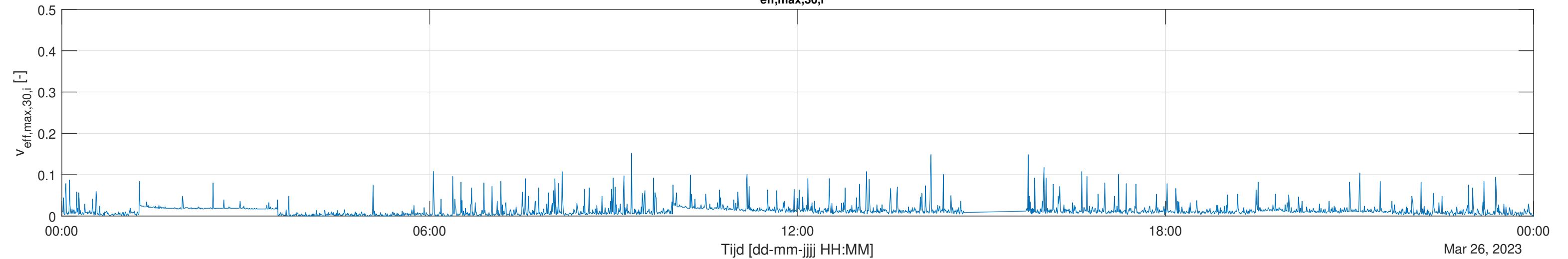
Verloop van $v_{\text{eff,max},30,i}$ in de x-richting



Verloop van $v_{\text{eff,max},30,i}$ in de y-richting

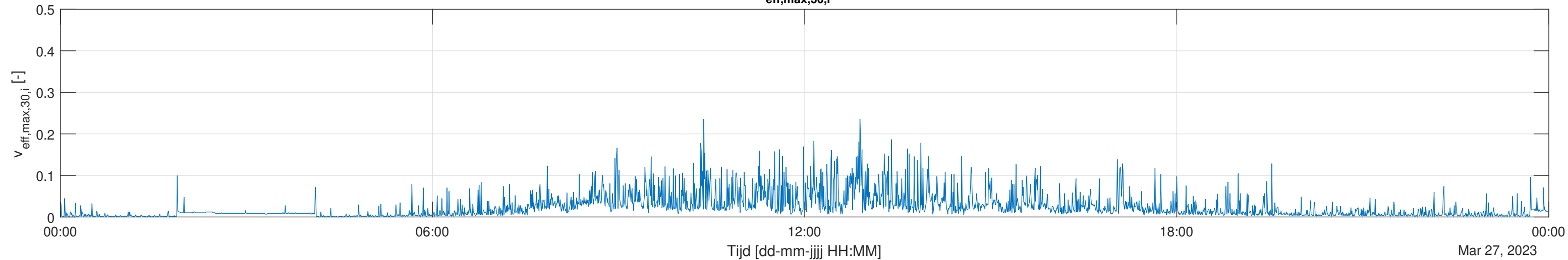


Verloop van $v_{\text{eff,max},30,i}$ in de z-richting

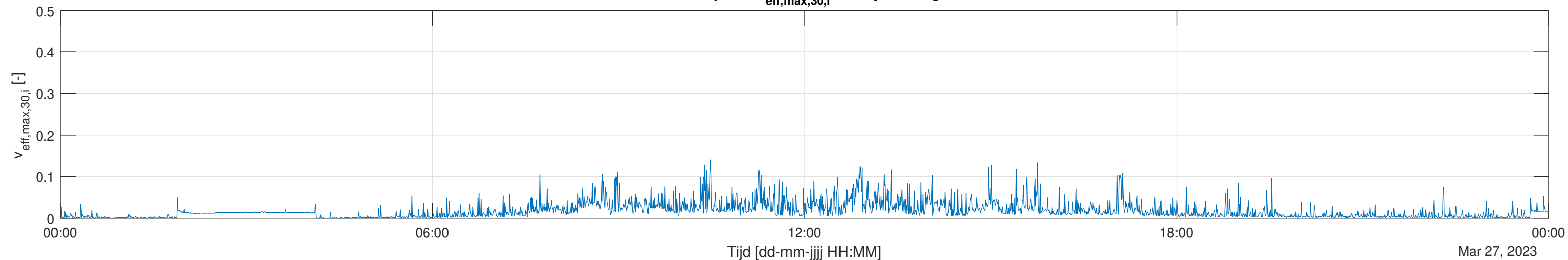


Verloop van $v_{\text{eff,max},30,i}$ gemeten bij background ZT42 figaro mp4 op 27-Mar-2023

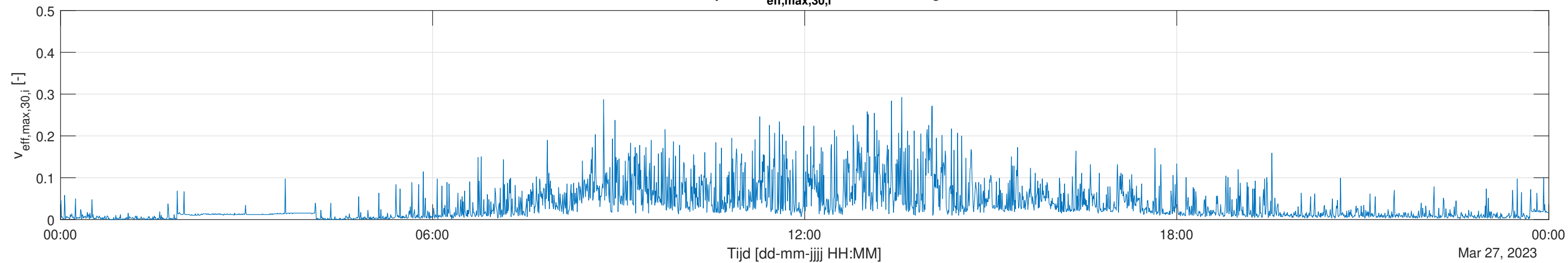
Verloop van $v_{\text{eff,max},30,i}$ in de x-richting



Verloop van $v_{\text{eff,max},30,i}$ in de y-richting

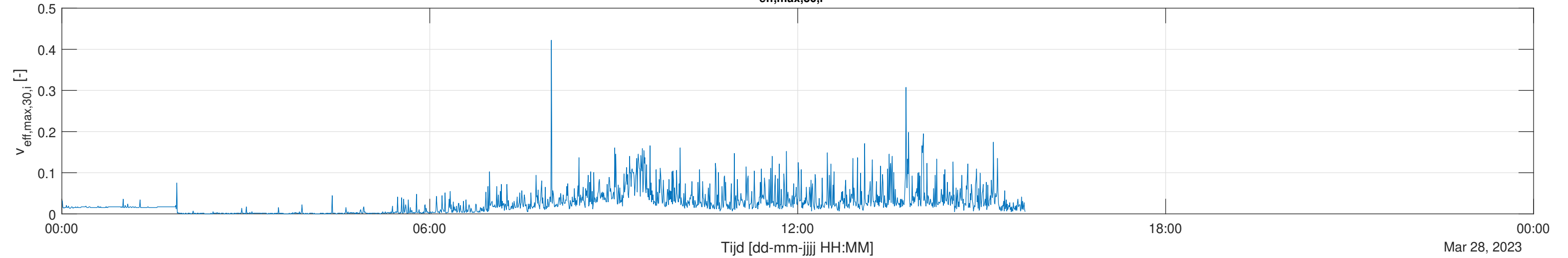


Verloop van $v_{\text{eff,max},30,i}$ in de z-richting

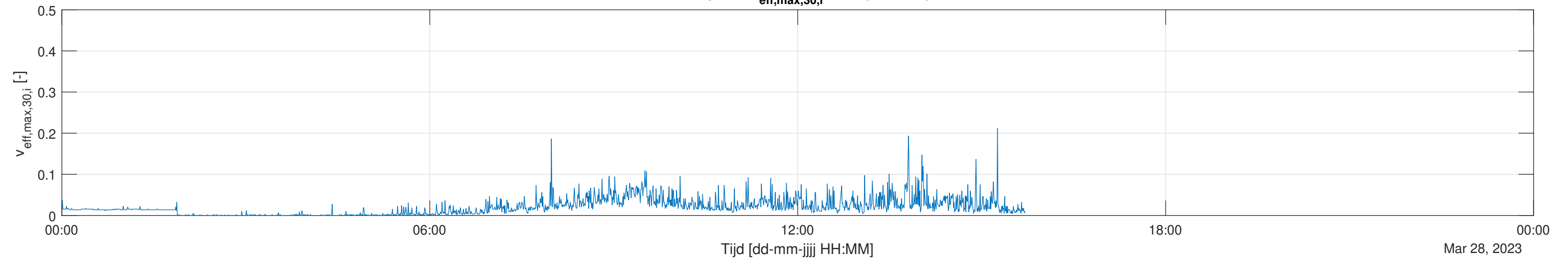


Verloop van $v_{\text{eff,max},30,i}$ gemeten bij background ZT42 figaro mp4 op 28-Mar-2023

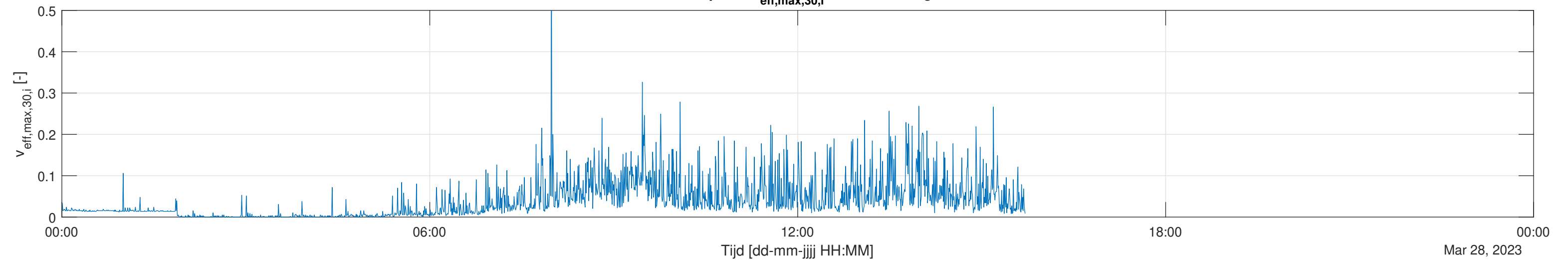
Verloop van $v_{\text{eff,max},30,i}$ in de x-richting



Verloop van $v_{\text{eff,max},30,i}$ in de y-richting

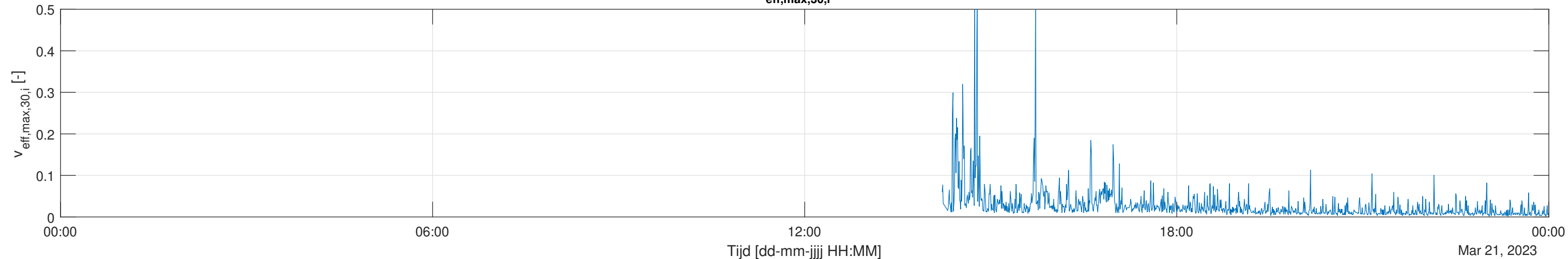


Verloop van $v_{\text{eff,max},30,i}$ in de z-richting

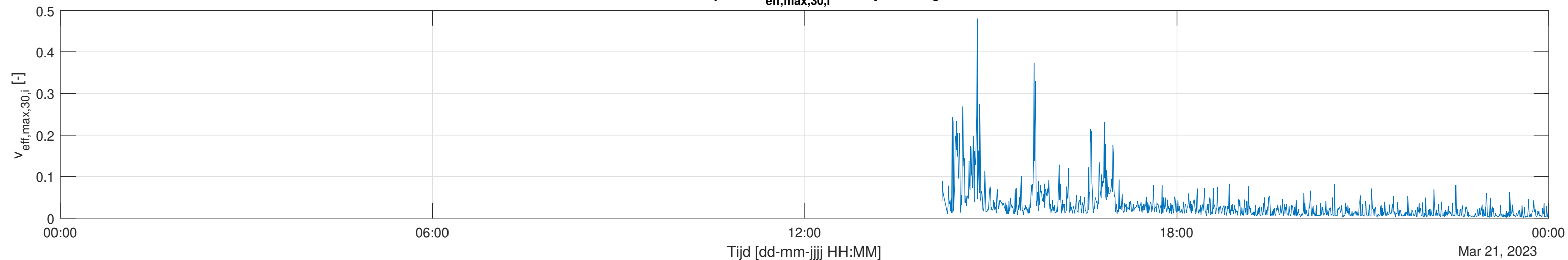


Verloop van $v_{\text{eff,max},30,i}$ gemeten bij background ZT44 figaro mp3 op 21-Mar-2023

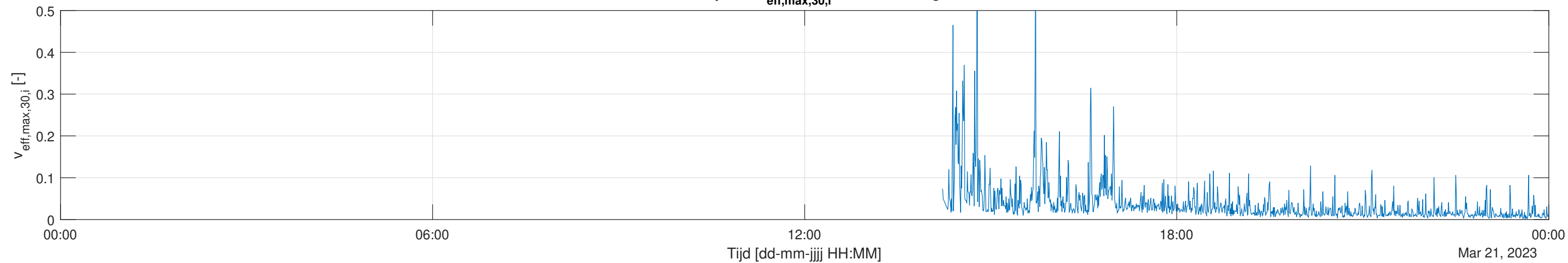
Verloop van $v_{\text{eff,max},30,i}$ in de x-richting



Verloop van $v_{\text{eff,max},30,i}$ in de y-richting

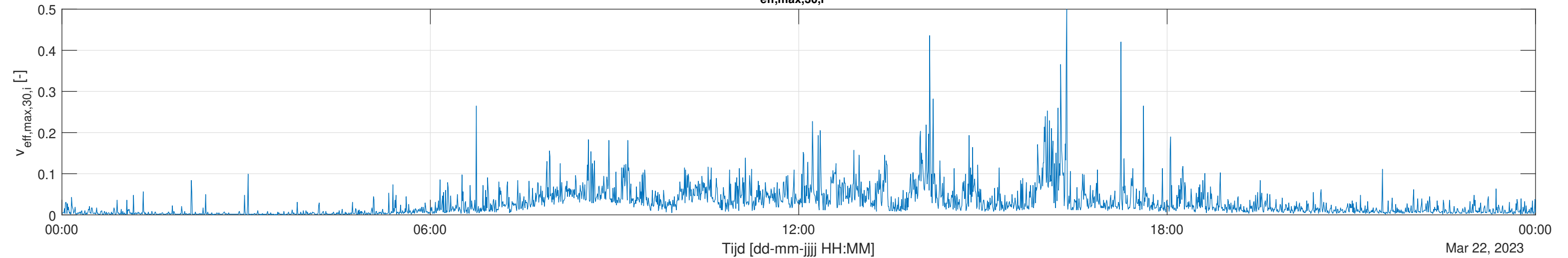


Verloop van $v_{\text{eff,max},30,i}$ in de z-richting

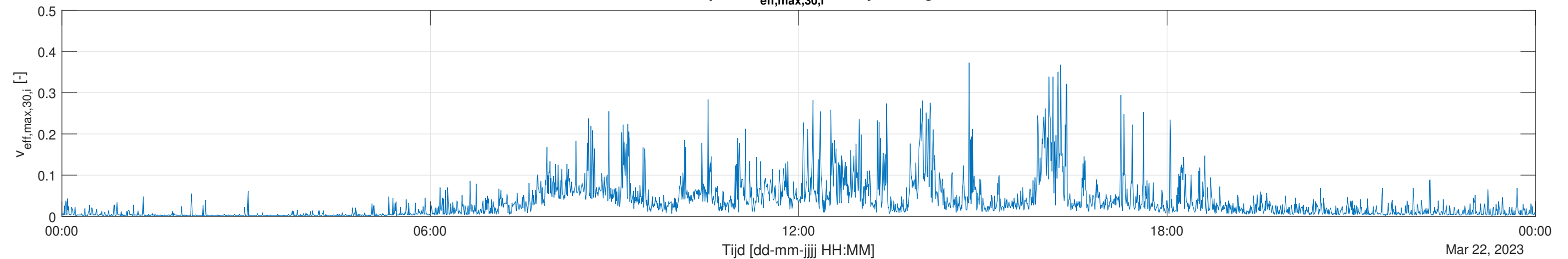


Verloop van $v_{\text{eff,max},30,i}$ gemeten bij background ZT44 figaro mp3 op 22-Mar-2023

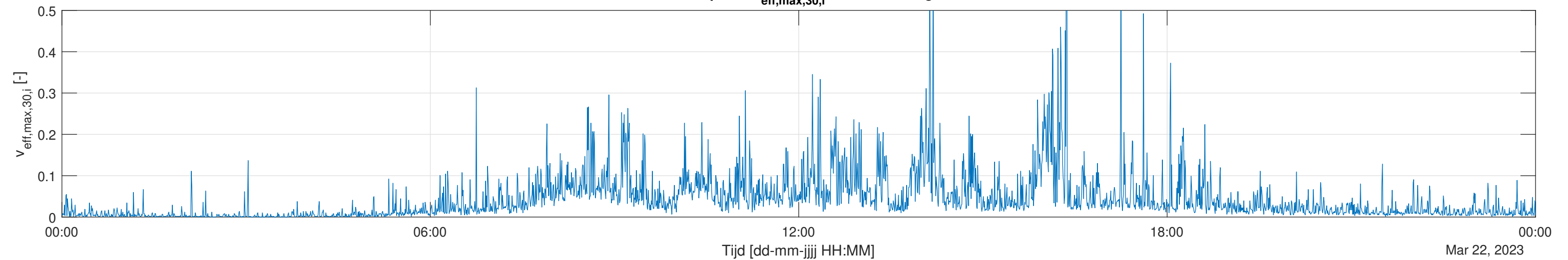
Verloop van $v_{\text{eff,max},30,i}$ in de x-richting



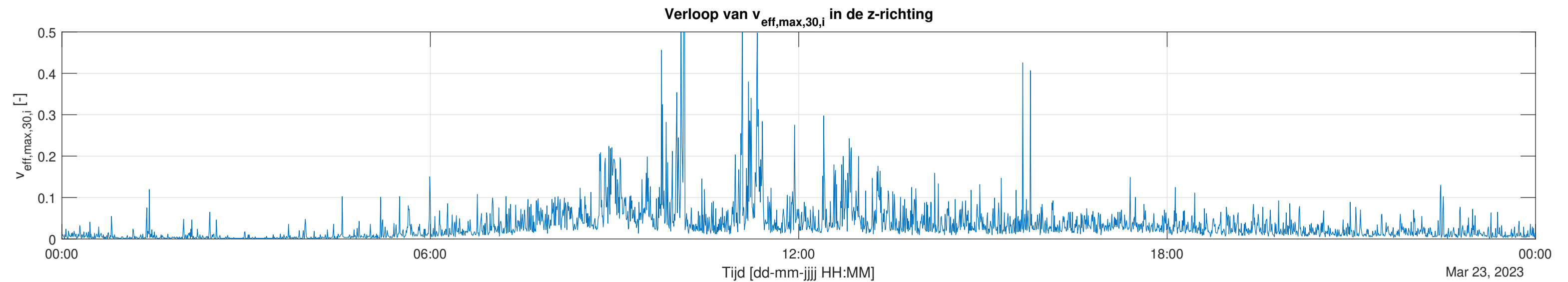
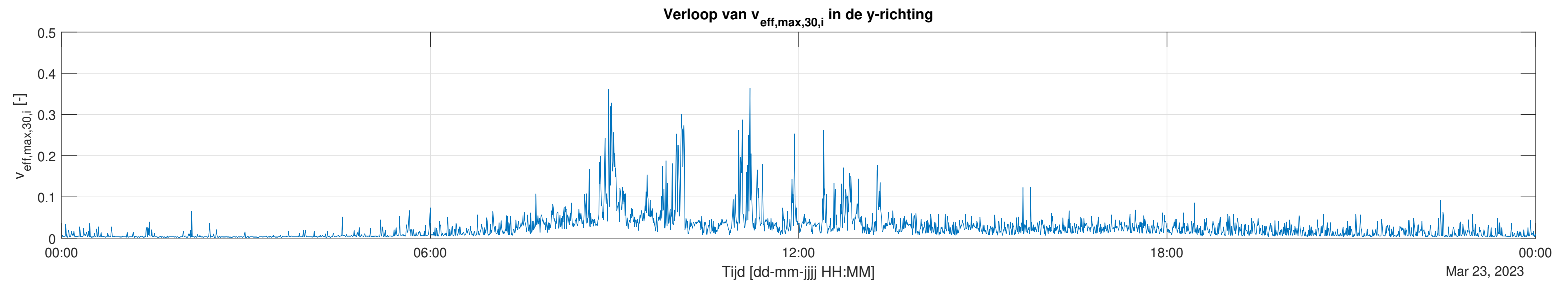
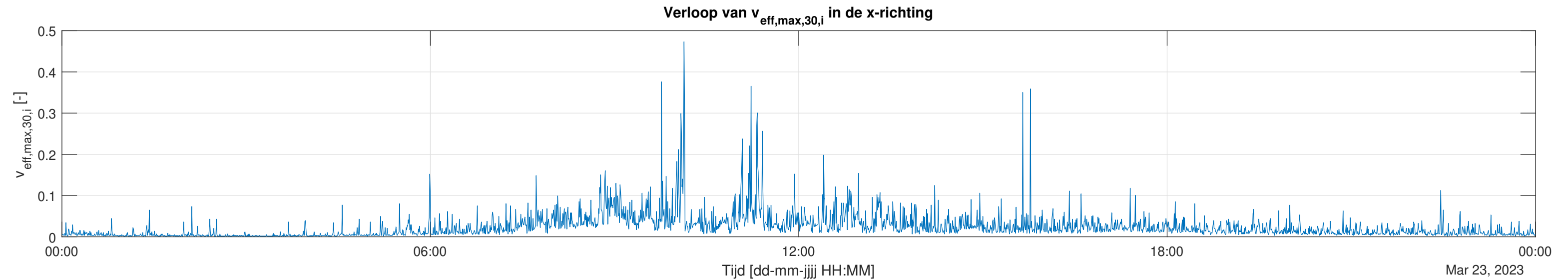
Verloop van $v_{\text{eff,max},30,i}$ in de y-richting



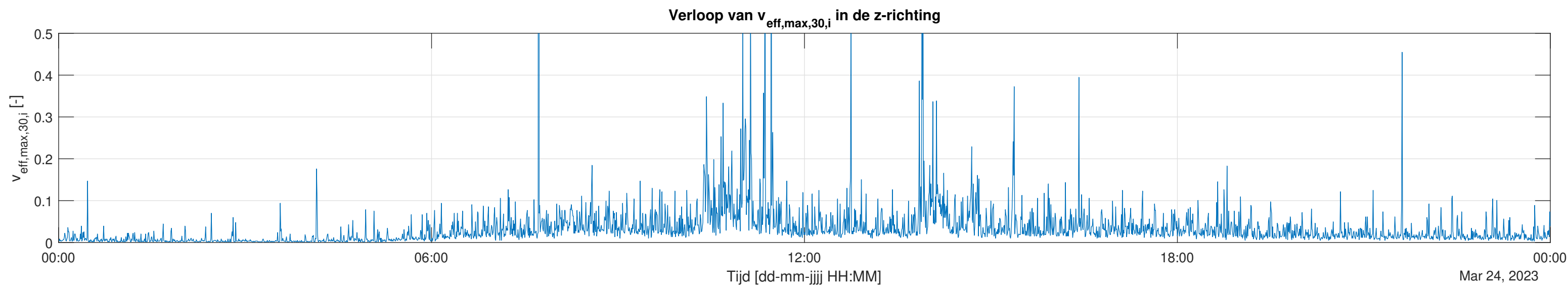
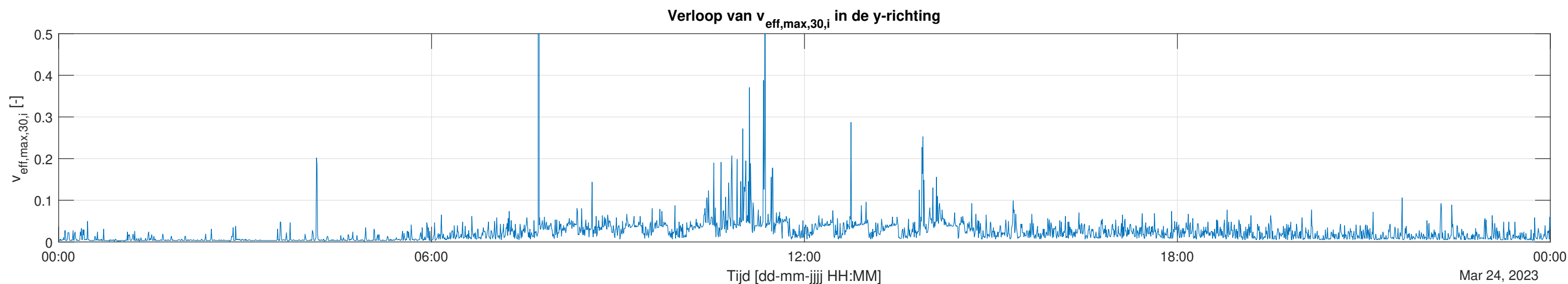
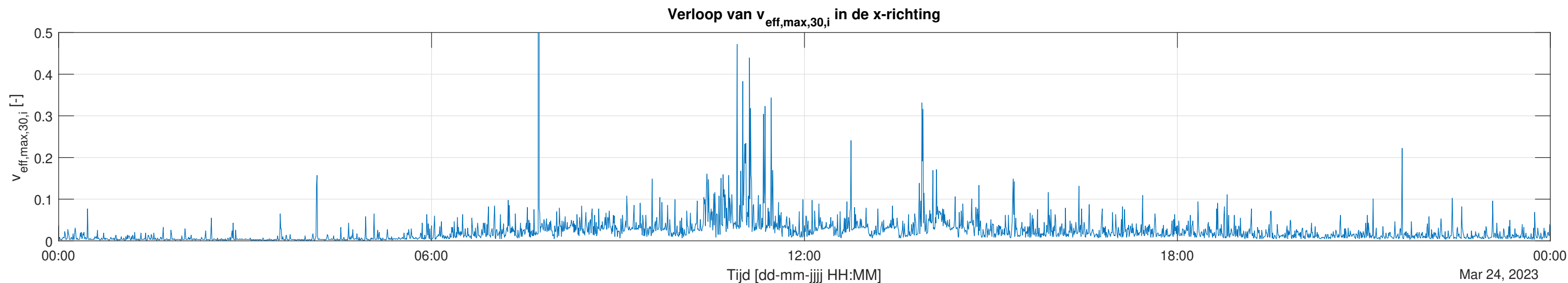
Verloop van $v_{\text{eff,max},30,i}$ in de z-richting



Verloop van $v_{\text{eff,max},30,i}$ gemeten bij background ZT44 figaro mp3 op 23-Mar-2023

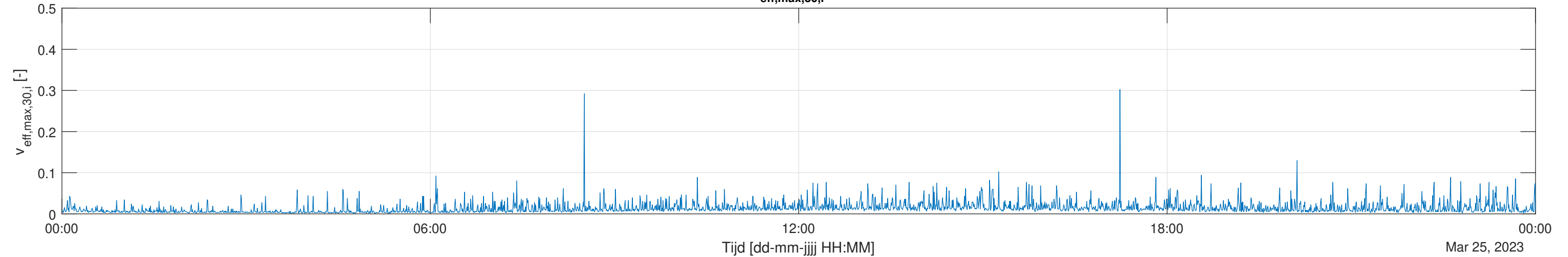


Verloop van $v_{\text{eff,max},30,i}$ gemeten bij background ZT44 figaro mp3 op 24-Mar-2023

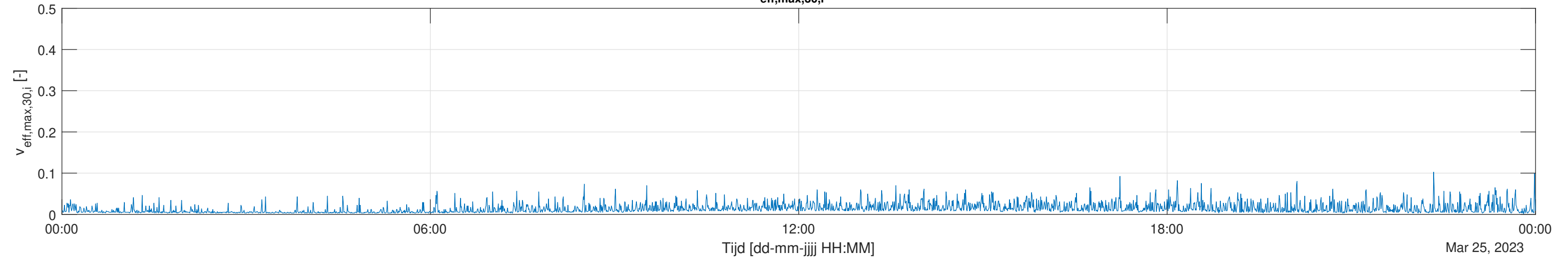


Verloop van $v_{\text{eff,max},30,i}$ gemeten bij background ZT44 figaro mp3 op 25-Mar-2023

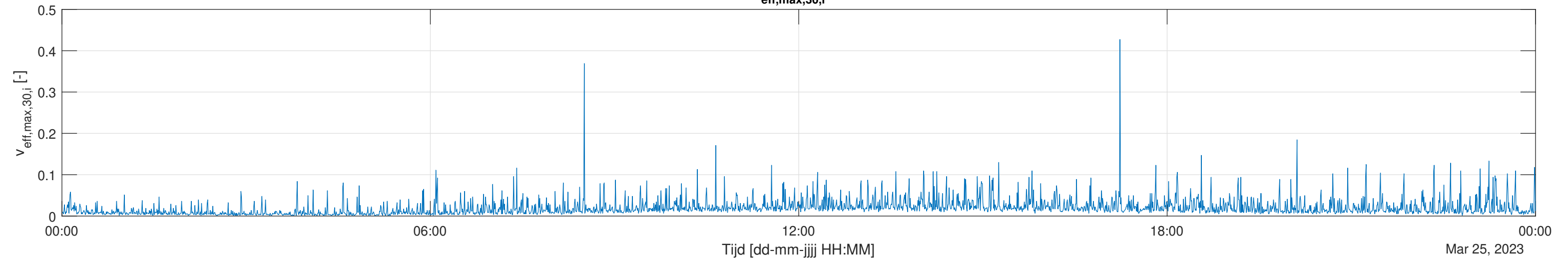
Verloop van $v_{\text{eff,max},30,i}$ in de x-richting



Verloop van $v_{\text{eff,max},30,i}$ in de y-richting

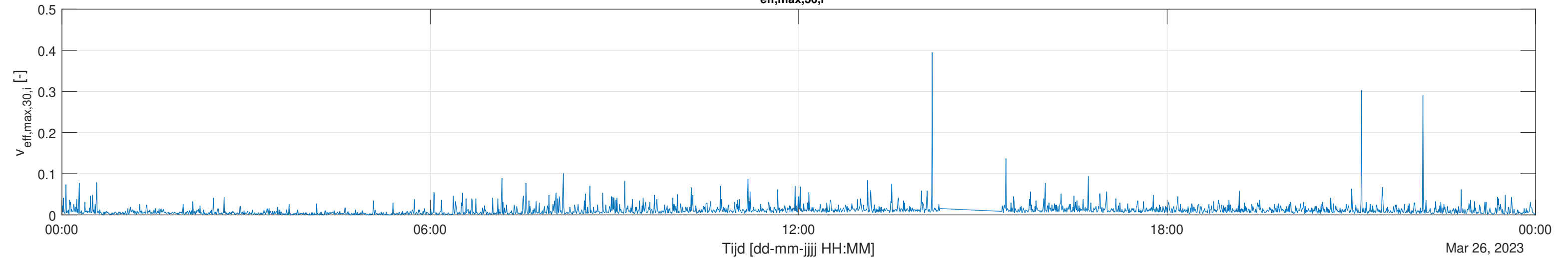


Verloop van $v_{\text{eff,max},30,i}$ in de z-richting

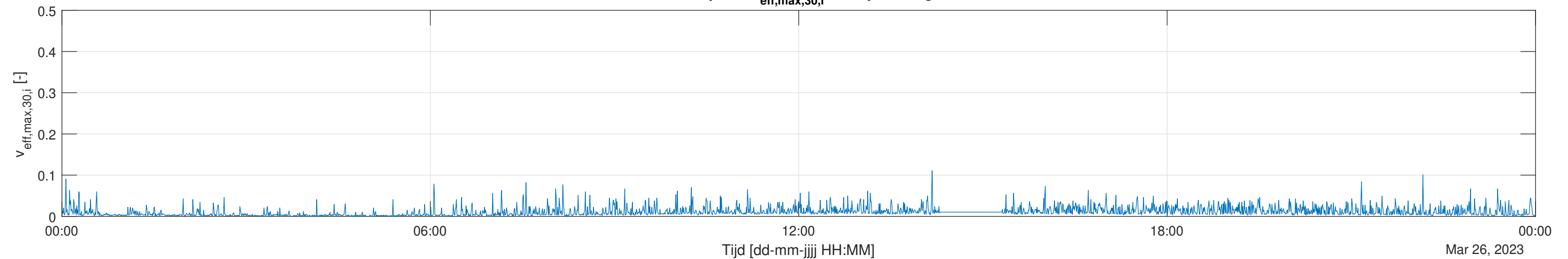


Verloop van $v_{\text{eff,max},30,i}$ gemeten bij background ZT44 figaro mp3 op 26-Mar-2023

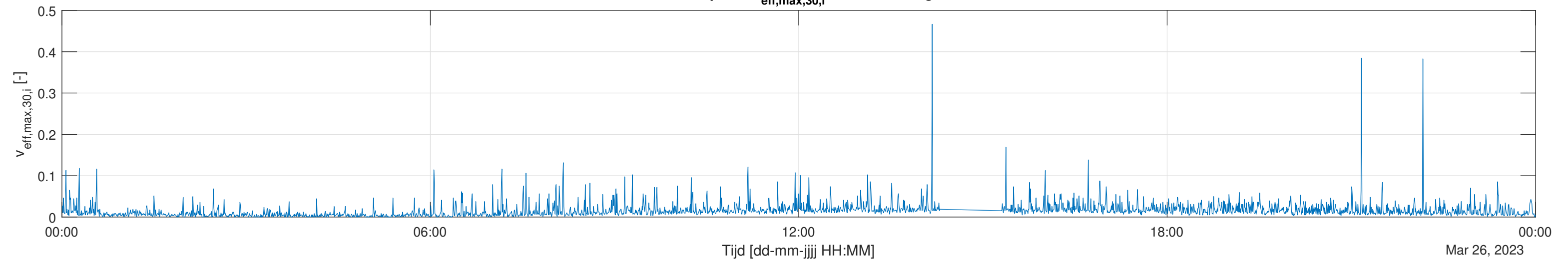
Verloop van $v_{\text{eff,max},30,i}$ in de x-richting



Verloop van $v_{\text{eff,max},30,i}$ in de y-richting

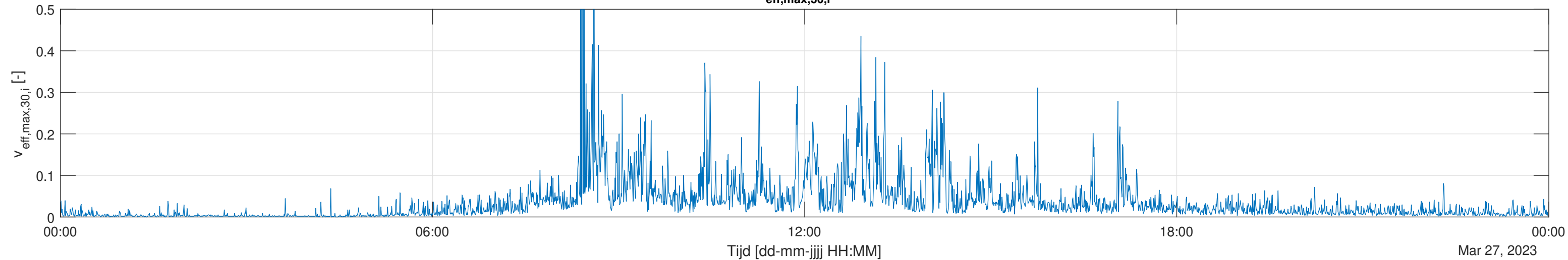


Verloop van $v_{\text{eff,max},30,i}$ in de z-richting

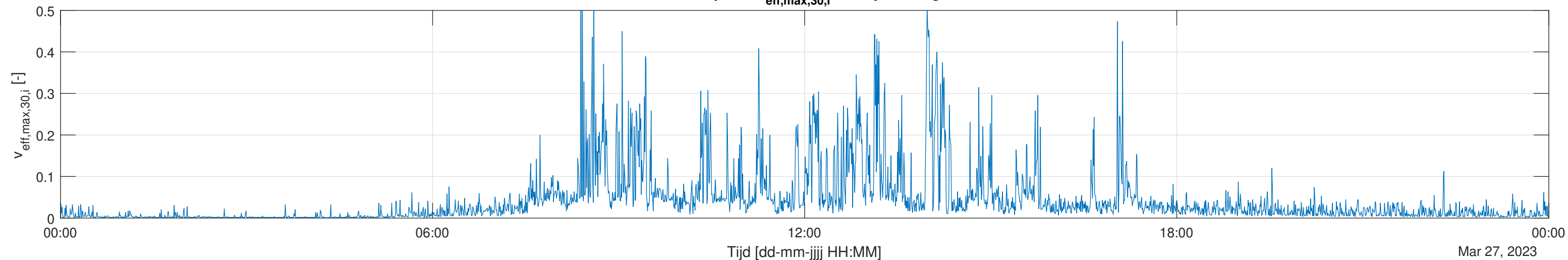


Verloop van $v_{\text{eff,max},30,i}$ gemeten bij background ZT44 figaro mp3 op 27-Mar-2023

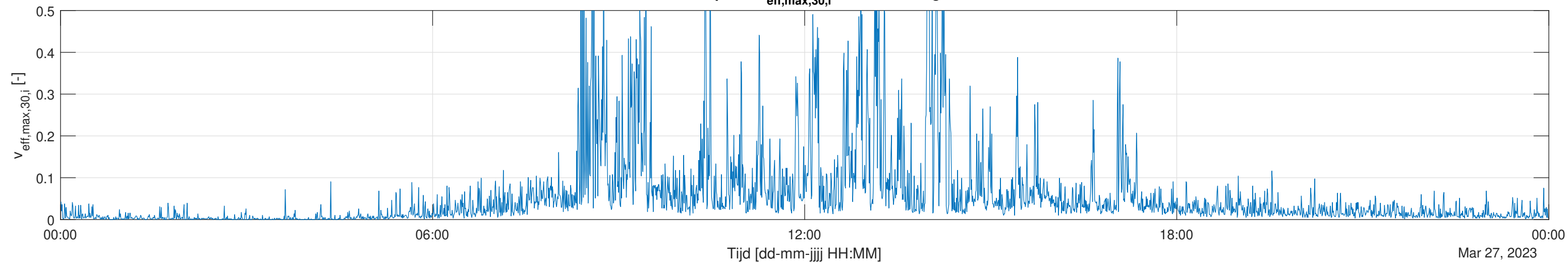
Verloop van $v_{\text{eff,max},30,i}$ in de x-richting



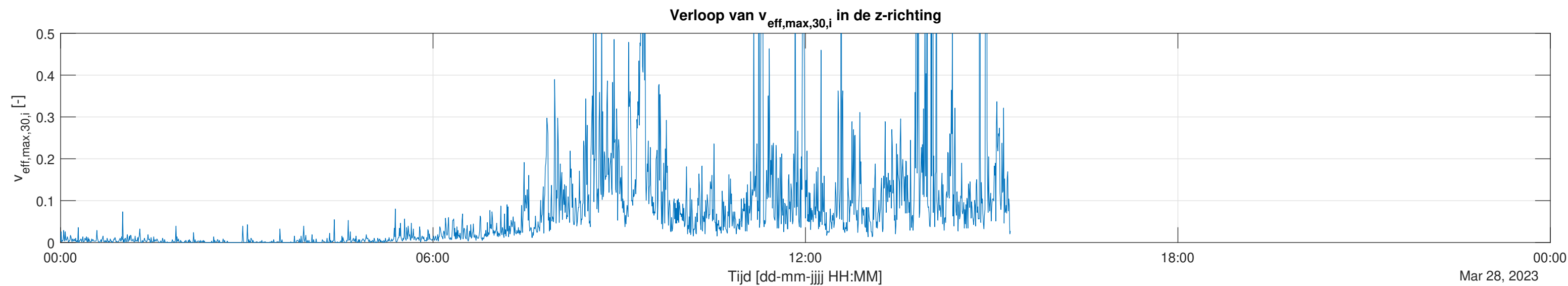
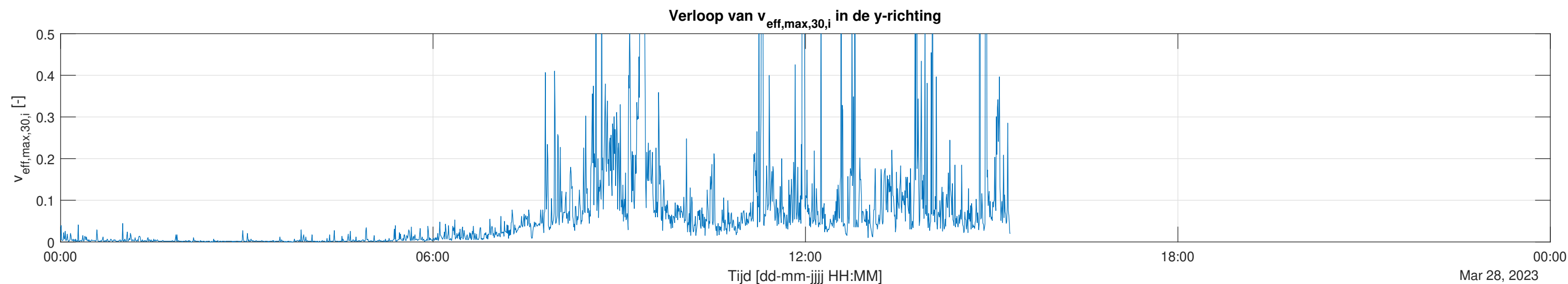
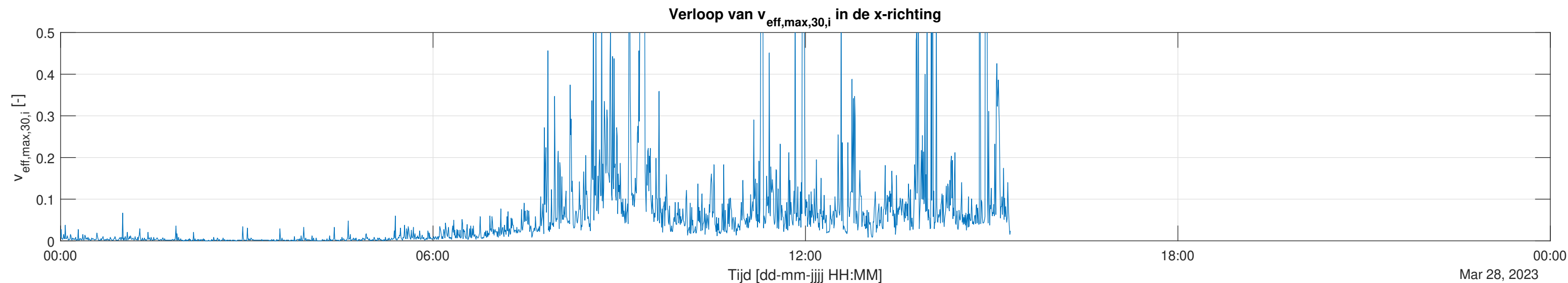
Verloop van $v_{\text{eff,max},30,i}$ in de y-richting



Verloop van $v_{\text{eff,max},30,i}$ in de z-richting



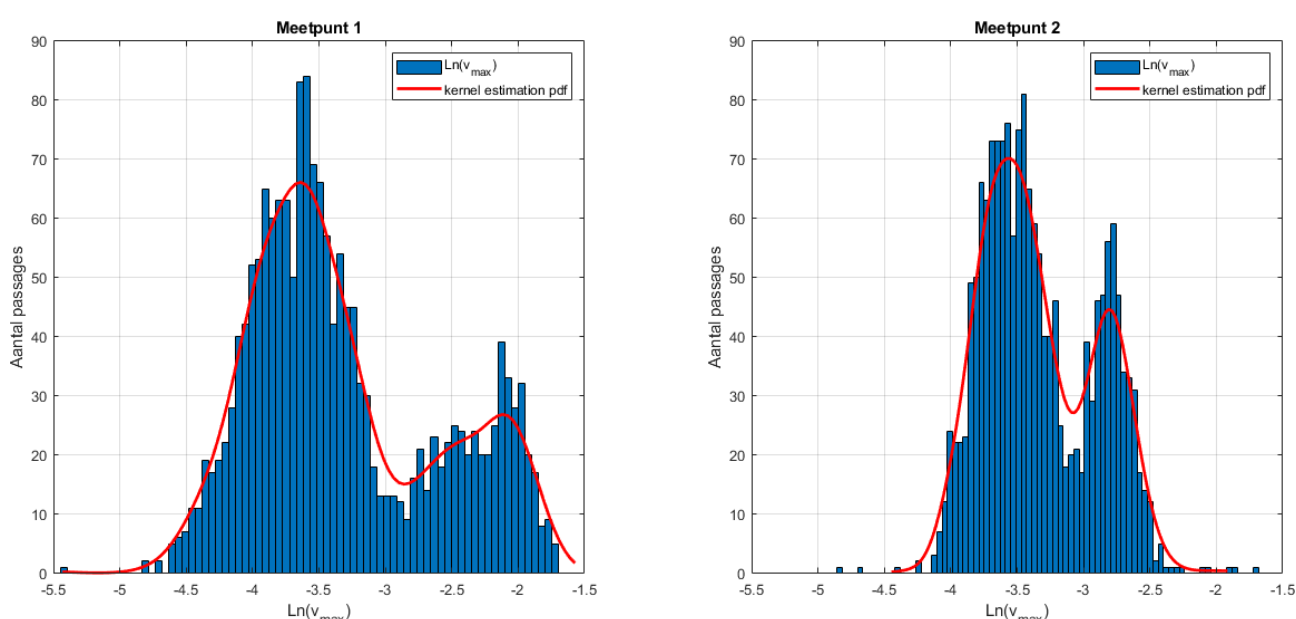
Verloop van $v_{\text{eff,max},30,i}$ gemeten bij background ZT44 figaro mp3 op 28-Mar-2023



Bijlage II Statistische onderbouwing meetnauwkeurigheid

Volgens de naverwerkingsmethode beschreven in de bijlage van Beleidsregel trillingshinder spoor (Bts)¹ is de trillingssterkte van treinpassages per type trein lognormaal verdeeld. Als een histogram van de natuurlijke logaritme (Ln) van de meetresultaten wordt gemaakt, is de verwachting dat een bimodale verdeling wordt gevonden die ieder de normaalverdeling volgt met voor iedere type trein (reizigers en goederen) een modus. In figuur 4.3 is de histogram te zien van de natuurlijke logaritme van de meetresultaten gemeten bij meetpunt 1 en 2. De blauwe balken geven het aantal passages aan per Ln van de trillingssterkte $v_{\max}$. De rode lijn is een schatting van de bimodale verdeling volgens de kernel estimation methode².

Histogram van $v_{\max}$ per meetpunt



Figuur II.1: Histogram van de natuurlijke logaritme van de meetresultaten van meetpunt 1 en 2

Voor beide meetpunten wordt een bimodale verdeling gevonden van $\text{Ln}(v_{\max})$ die lijkt op twee normaalverdelingen die elkaar overlappen. De tweede curve voor beide meetpunten kan worden geschat met een normaalverdeling met een standaard deviatie van 0,19 en een gemiddelde van -2.118 en -2.811 (respectievelijk meetpunt 1 en 2). Een $v_{\max}$ van 0,18 ($\text{Ln}(0,18) = -1.715$) wordt voor beide meetpunten gevonden in het 99^e percentiel. Dat betekent dat, op basis van de meetresultaten, de kans dat een treinpassage resulteert in een trillingssterkte hoger dan 0,18 minder is dan 1%.

¹ Zie ook Level Acoustics memo LA.131001a.M04.42

² <https://nl.mathworks.com/help/stats/ksdensity.html>

Bijlage 2: invoergegevens quickscan

Quickscan trillingen spoor bp Figaro te Zaandam

Modeleigenschappen

469825
Bijlage 2

Rapport: Lijst van model eigenschappen
Model: 280629 Lden Veff,max bron: meting Cauberg Huygens

Model eigenschap

Omschrijving	280629 Lden Veff,max bron: meting Cauberg Huygens
Verantwoordelijke	d18351
Rekenmethode	#2 Algemeen Trillingen
Aangemaakt door	d18351 op 25-3-2022
Laatst ingezien door	d18351 op 29-6-2023
Model aangemaakt met	Geomilieu V2022 rev 1
α [1/m]	0,000 / 0,020 / 0,040 / 0,010 / 0,030 / 0,050 / 0,100 / 0,210 / 0,410
Type trillingen	Continu of herhaald voorkomende trillingen over korte periode
Aantal dagen	1
Standaard factor Lv;max naar Lv;top	5,00 dB / 1,78

Quickscan trillingen spoor bp Figaro te Zaandam
lijnbron

469825
Bijlage 2

Model: 280629 Lden Veff,max bron: meting Cauberg Huygens
Groep: (hoofdgroep)
Lijst van Lijnbronnen, voor rekenmethode Algemeen - Trillingen

Naam	Omschr.	Meetafst.	Aantal(D)	Aantal(A)	Aantal(N)	T	LvM_mm/s 1	LvM_mm/s 2	LvM_mm/s 4	LvM_mm/s 8	LvM_mm/s 16	LvM_mm/s 31	LvM_mm/s 63	LvM_mm/s 125
001	spoorweg	22,00	1	1	1	1	--	0,0288	0,1621	0,1445	0,0575	0,0102	0,0029	0,0004

Quickscan trillingen spoor bp Figaro te Zaandam
lijnbron

469825
Bijlage 2

Model: 280629 Lden Veff,max bron: meting Cauberg Huygens
Groep: (hoofdgroep)
Lijst van Lijnbronnen, voor rekenmethode Algemeen - Trillingen

Naam	LvM_mm/s 250	LvM_mm/s Totaal	n 1	n 2	n 4	n 8	n 16	n 31	n 63	n 125	n 250
001	0,0001	0,2267	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300

Quickscan trillingen spoor bp Figaro te Zaandam
toetspunten

469825
Bijlage 2

Model: 280629 Lden Veff,max bron: meting Cauberg Huygens
Groep: (hoofdgroep)
Lijst van Toetspunten, voor rekenmethode Algemeen - Trillingen

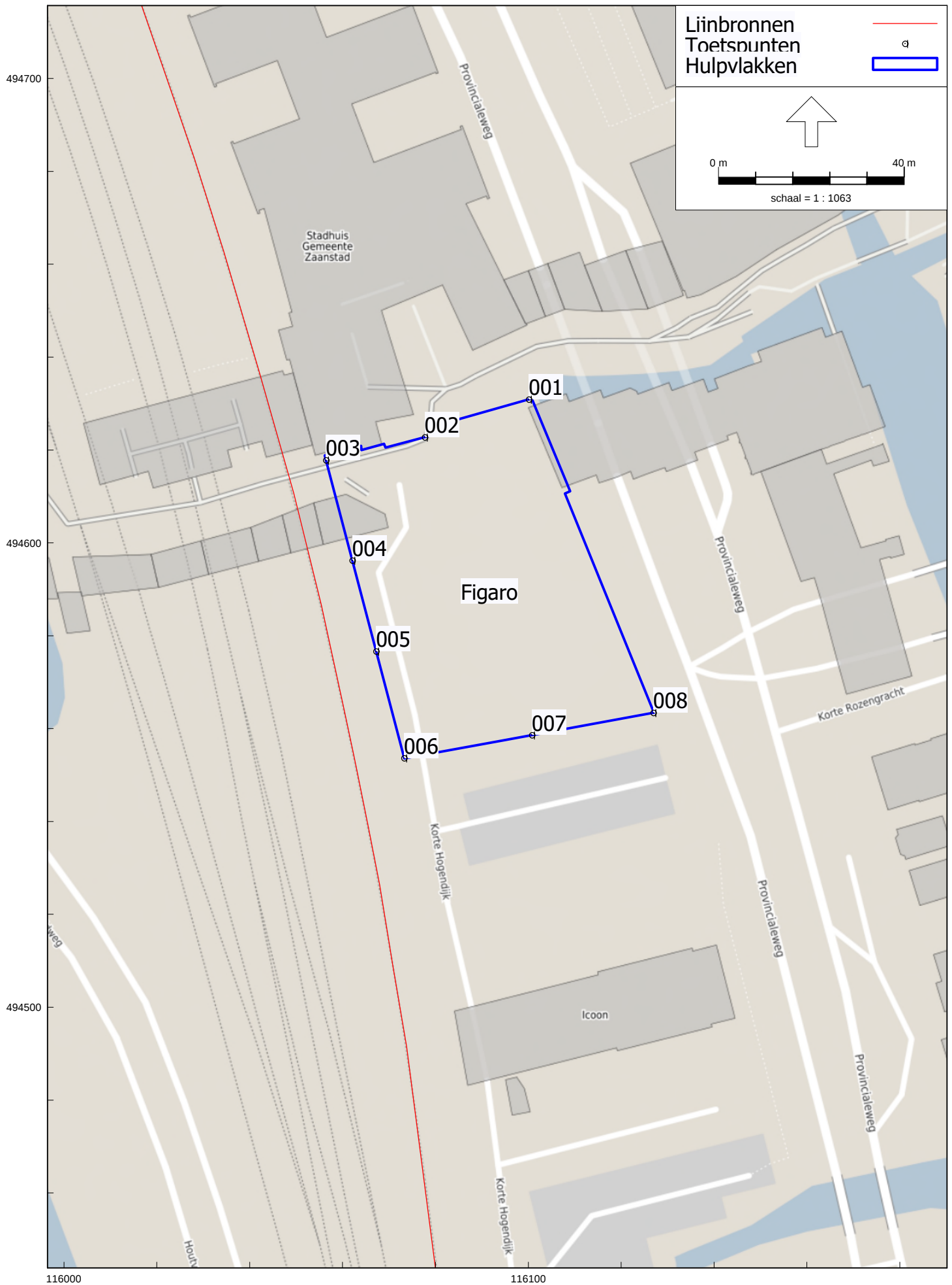
Naam	Omschr.	Bouw	Functie	CHgeb. 1	CHgeb. 2	CHgeb. 4	CHgeb. 8	CHgeb. 16	CHgeb. 31	CHgeb. 63	CHgeb. 125	CHgeb. 250	CHfnd 1	CHfnd 2	CHfnd 4	CHfnd 8	CHfnd 16
001		Categorie 2	Wonen	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
002		Categorie 2	Wonen	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
003		Categorie 2	Wonen	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
004		Categorie 2	Wonen	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
005		Categorie 2	Wonen	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
006		Categorie 2	Wonen	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
007		Categorie 2	Wonen	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
008		Categorie 2	Wonen	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Quickscan trillingen spoor bp Figaro te Zaandam toetspunten

469825
Bijlage 2

Model: 280629 Lden Veff,max bron: meting Cauberg Huygens
Groep: (hoofdgroep)
Lijst van Toetspunten, voor rekenmethode Algemeen - Trillingen

Naam	CHfnd 31	CHfnd 63	CHfnd 125	CHfnd 250
001	--	--	--	--
002	--	--	--	--
003	--	--	--	--
004	--	--	--	--
005	--	--	--	--
006	--	--	--	--
007	--	--	--	--
008	--	--	--	--



Bijlage 3: Resultaten quickscan

Rapport: Resultatentabel[mm/s]
Model: 280629 Lden Veff,max bron: meting Cauberg Huygens
Groep: Resultatentabel totaalresultaten voor toetspunten
(hoofdgroep)

Naam	Omschrijving	Gebruiksfunctie	Bovenbouw	Vmax
001		Categorie 2	Wonen	0,09
002		Categorie 2	Wonen	0,17
003		Categorie 2	Wonen	0,45
004		Categorie 2	Wonen	0,44
005		Categorie 2	Wonen	0,42
006		Categorie 2	Wonen	0,40
007		Categorie 2	Wonen	0,13
008		Categorie 2	Wonen	0,07

De informatie die in dit rapport is opgenomen is uitsluitend bestemd voor de geadresseerde(n) en kan persoonlijke of vertrouwelijke informatie bevatten. Gebruik van deze informatie, door anderen dan de geadresseerde(n) en gebruik door hen die niet gerechtigd zijn van deze informatie kennis te nemen, is niet toegestaan. De informatie is uitsluitend bestemd om te worden gebruikt door de geadresseerde, voor het doel waarvoor dit rapport is vervaardigd. Indien u niet de geadresseerde bent of niet gerechtigd bent tot kennisneming, is openbaarmaking, vermenigvuldiging, verspreiding en/of verstrekking van deze informatie aan derden is niet toegestaan, tenzij na schriftelijke toestemming door Antea Group en wordt u verzocht de gegevens te verwijderen en direct melding te maken bij security@anteagroup.nl. Derden, zij die niet geadresseerd zijn, kunnen geen rechten aan dit rapport ontleen, tenzij na schriftelijke toestemming door Antea Group.

Over Antea Group

Antea Group is het thuis van 1500 trotse ingenieurs en adviseurs. Samen bouwen wij elke dag aan een veilige, gezonde en toekomstbestendige leefomgeving. Je vindt bij ons de allerbeste vakspecialisten van Nederland, maar ook innovatieve oplossingen op het gebied van data, sensing en IT. Hiermee dragen wij bij aan de ontwikkeling van infra, woonwijken of waterwerken. Maar ook aan vraagstukken rondom klimaatadaptatie, energietransitie en de vervangingsopgave. Van onderzoek tot ontwerp, van realisatie tot beheer: voor elke opgave brengen wij de juiste kennis aan tafel. Wij denken kritisch mee en altijd vanuit de mindset om samen voor het beste resultaat te gaan. Op deze manier anticiperen wij op de vragen van vandaag en de oplossingen voor morgen. Al 70 jaar.

Contactgegevens

Monitorweg 29
1322 BK ALMERE
Postbus 10044
1301 AA ALMERE
T. 06-20495115
E. vincent.huizer@anteagroup.nl

www.anteagroup.nl

Copyright © 2022

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar worden gemaakt door middel van druk, fotokopie, elektronisch of op welke wijze dan ook, zonder schriftelijke toestemming van de auteurs.