



Algemene Data Analyse (ADA)

Pilot Tiltensoren | Groningen

1418-0227-010_ADA 1.0 | 16 December 2021

Final

Nationaal Coördinator Groningen



Nationaal Coördinator Groningen

Document Control

Document Information

Project Title	Pilot Tiltsensoren
Document Title	Algemene Data Analyse (ADA)
Fugro Project No.	1418-0227-010
Fugro Document No.	1418-0227-010_ADA
Issue Number	1.0
Issue Status	Final
Fugro Legal Entity	Fugro NL Land BV
Issuing Office Address	Fugro Groningen, Pop Dijkemaweg 72a, Groningen

Client Information

Client	Nationaal Coördinator Groningen
Client Address	Paterswoldseweg 1, 9726BA, Groningen
Client Contact	-
Client Document No.	-

Document History

Issue	Date	Status	Comments on Content	Prepared By	Checked By	Approved By
00	15-10-2021	For Review		KS	OD	OD
01	03-12-2021	For Approval	Commentaar TC en NCG verwerkt	KS	OD	OD
1.0	16-12-2021	Final		KS	OD	OD

Contents

1. Inleiding	1
2. Databeschikbaarheid	2
2.1 Introductie	2
3. Seismische activiteit	3
4. Schadeontwikkeling	5
4.1 Algemeen	5
4.2 Vergelijking studie TNO/NAM en de pilot	6
4.2.1 Seismische belasting	6
4.2.2 Bouwkundige staat van de panden	7
4.2.3 Kwaliteitscontrole schadeopname	7
4.3 Conclusie	7
5. Tiltensoren	9
5.1 Algemeen	9
5.2 Dataverwerking	9
5.3 Anomaliedatabase	12
5.3.1 Top 3 sensoren afwijkende meetbeelden	16
5.3.2 Top 3 data met afwijkende meetbeelden	19
5.3.3 Overzicht grootste afwijkende meetbeelden	21
5.4 Aardbevingen met hoogste magnitude	24
5.4.1 Loppersum M2.7 event	24
6. LILY-sensoren	26
7. Accelerometers	28
8. Meetbouten	29
9. Conclusie	30
10. Literatuur	32

Appendices

Appendix A	Kwaliteitscontrole schadeopname	0
Appendix B	1418-0227-010_sensor-test	0
Appendix C	10TM13 2020-12	0
Appendix D	TM metingen events M>2.0	0
Appendix E	AC resultaten Loppersum M2.7 event	1

1. Inleiding

De Nationaal Coördinator Groningen (NCG) heeft Fugro opdracht gegeven voor het ontwerpen en uitvoeren van de Pilot Tiltsensoren (de pilot). Het doel van de pilot is om de meerwaarde van tiltsensoren ten opzichte van het huidige meetnetwerk van het KNMI te onderzoeken. Een belangrijk aspect van de pilot is het vaststellen of tiltsensoren in staat zijn om het ontstaan van schade aan gebouwen in Groningen te monitoren. Voor een uitgebreidere beschrijving van de pilot en haar doelen wordt verwezen naar 1418-0227-010.R01

Onderdeel van de pilot is het monitoren van 13 locaties met diverse sensoren (tiltsensoren, accelerometers, (grond)waterstanden en een weerstation. Op 3 locaties wordt ook tilt in de ondergrond gemeten (het vaste zand/ pleistoceen). Om de ontwikkeling van schade te monitoren zijn door Archipunt schadeopnames verricht en zijn waterpassingen (lintvoegmetingen) rondom de gebouwen uitgevoerd. De meetresultaten en een beknopte analyse hiervan zijn gerapporteerd locatie specifiek datapresentatie en -analyse rapport.

In dit rapport wordt een locatie-overkoepelende data-analyse gepresenteerd. Er wordt gestart met een beschrijving van het verloop van de pilot. In de analyse worden meetresultaten en analyses van verschillende locaties met elkaar vergeleken en in context geplaatst.

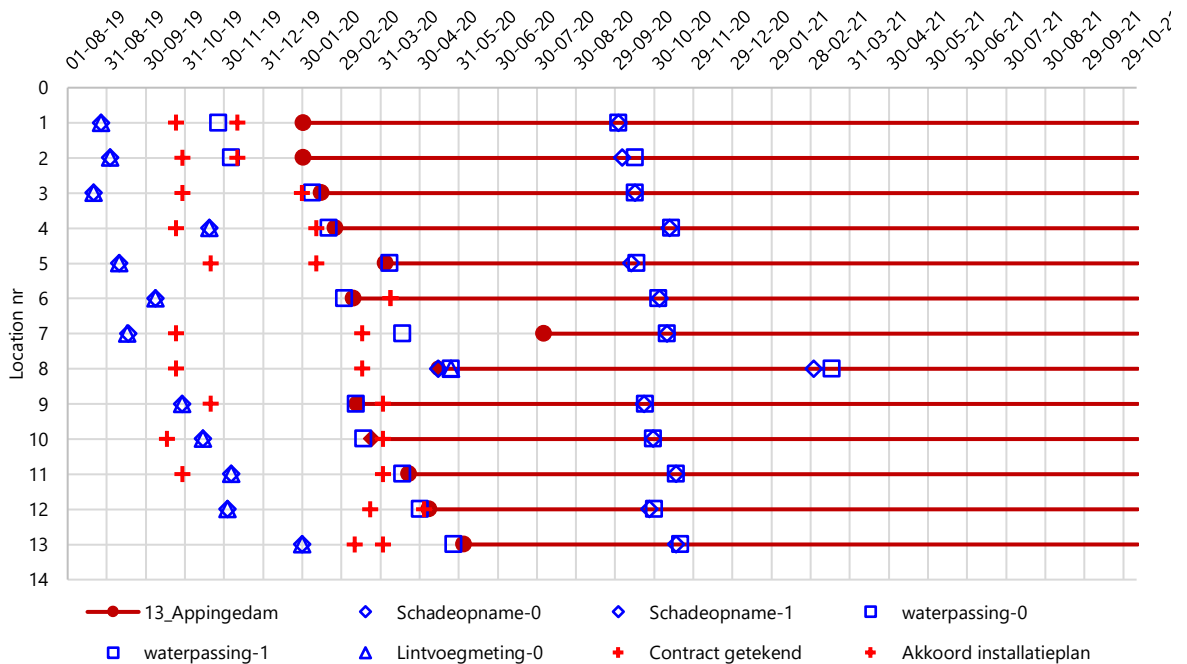
Vanwege de Algemene Verordening Gegevensbescherming (AVG) zijn een aantal foto's niet gepubliceerd en is data geanonimiseerd.

2. Databeschikbaarheid

2.1 Introductie

In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van de opstart van de pilot. Er wordt aangegeven wanneer welke opnames/metingen zijn uitgevoerd en wanneer per locatie het meetsysteem van Fugro data is gaan verzamelen.

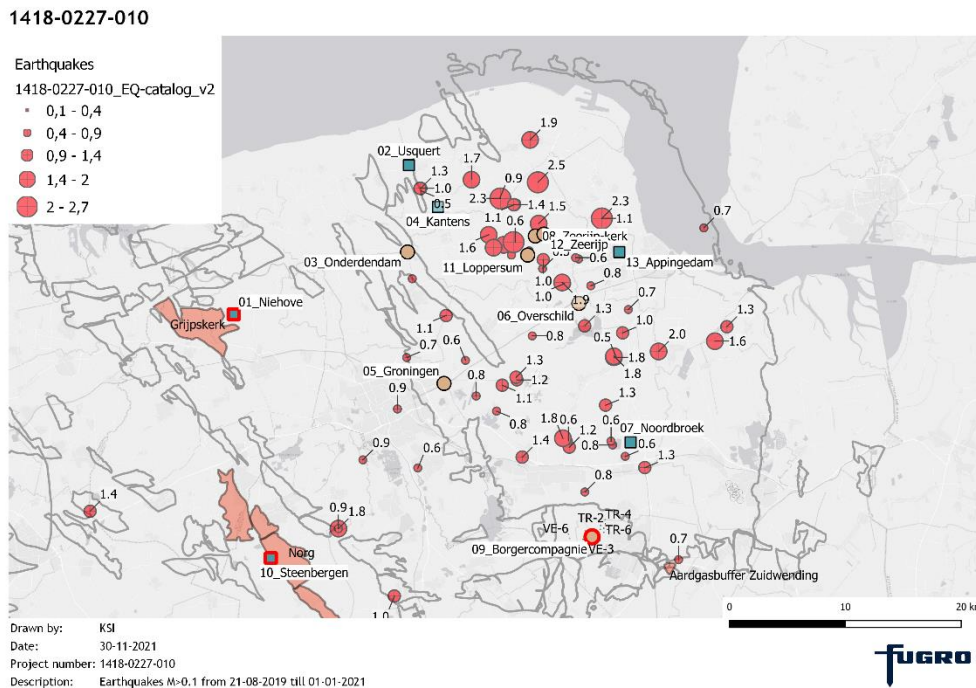
De selectieprocedure van de locaties samen met de benodigde opstartwerkzaamheden heeft er voor gezorgd dat de startdatum van de metingen en schadeopnames per locatie verschillend is. In Figuur 1 zijn de uitvoeringsdata van de schadeopnames, waterpassing en lintvoegmeting samen met de startdatum van de sensoren weergegeven. Door het verschil in uitvoerings/startdatum van de verschillende metingen ontbreekt er overlap tussen data van het meetsysteem van Fugro en de tijd tussen schadeopnames. In dit rapport wordt een analyse uitgevoerd op de meetdata tot 01-01-2021.



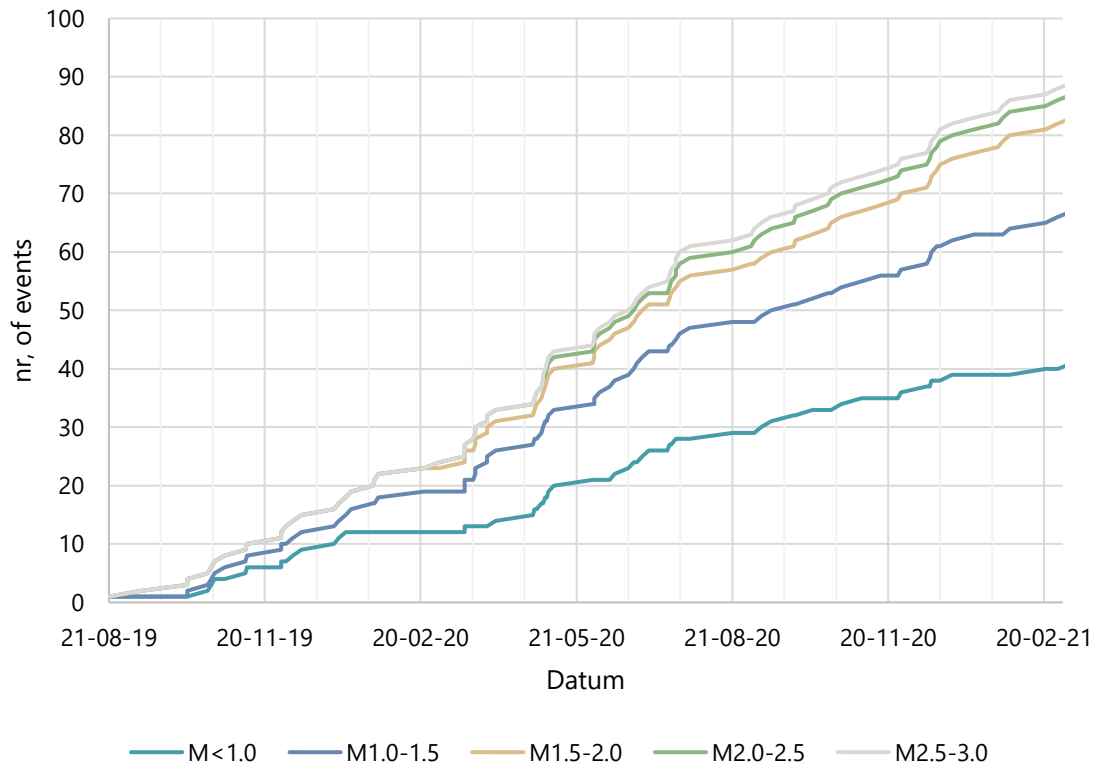
Figuur 1: Overzicht startdatum meting sensoren, opnames Archipunt en contract met bewoners

3. Seismische activiteit

In dit hoofdstuk wordt een beschrijving gegeven van de seismische activiteit in de periode tussen de 0-meting van de schade en de 1^e-herhalingsmeting van de schade zijn uitgevoerd. Aangezien de periode per locatie verschilt is er in deze rapportage voor gekozen om een overzicht te geven van de aardbevingen (M>0.5) tussen 21-8-2019 en 01-01-2021. Voor een overzicht van de seismische activiteit per maand per locatie waarbij ook afstand tot de locaties wordt benoemd wordt verwezen naar de maandrapportages en/of websites van het KNMI.



Origin Time	Mag.	Type	Lat.	Long.	Depth	Place
2020-07-14T15:18:47	2.7	MLn	53.342	6.729	3	Loppersum
2020-05-02T03:13:15	2.5	MLn	53.388	6.762	3	Zijldijk
2020-07-19T02:07:52	2.3	MLn	53.376	6.713	3	Startenhuizen
2020-03-22T19:33:12	2.3	MLn	53.359	6.844	3	Krewerd
2020-09-03T05:29:01	2	MLn	53.338	6.703	3	Westeremden
2020-03-02T13:41:18	2	MLn	53.255	6.914	3	Wagenborgen
2020-09-01T04:31:15	1.9	MLn	53.421	6.753	3	Uithuizermeeden
2020-06-01T17:55:04	1.9	MLn	53.31	6.791	3	Wirdum
2019-12-03T19:23:55	1.9	MLn	53.306	6.761	3	Garrelsheer
2020-12-21T09:29:31	1.8	MLn	53.34	6.716	3	Westeremden



Figuur 2; Geïnduceerde aardbevingen rondom het Groningenveld in de periode van 21-08-2019 t/m 3-3-2021

4. Schadeontwikkeling

4.1 Algemeen

De ontwikkeling van schade op de pilotlocaties wordt vastgelegd door het uitvoeren van een schadeopname. De schadeopnames zijn uitgevoerd door Archipunt en gerapporteerd. Bij de 0-opname zijn schades vastgelegd en is de schade/scheur gedimensioneerd; lengte en soms ook breedte en diepte. Tevens is van elke schade een foto genomen tijdens de 0-meting en de herhalingsmeting.

In Tabel 1 is een samenvatting van de gerapporteerde dimensies van de schades gepresenteerd. Per locatie is het aantal gerapporteerde schades weergegeven, het aantal en percentage schades waarvan de lengte is toegenomen, het aantal en percentage schades waarvan de lengte meer dan 50 mm is toegenomen en het aantal en percentage schades waarvan de lengte meer dan 500 is toegenomen. Bij een aantal locaties zijn ook afname van de lengte van schades gerapporteerd. Met een kleurindicatie is de waarde van de kolom vergeleken met de overige locaties, rood geeft een hogere waarde t.o.v. het gemiddelde groen een lagere waarde t.o.v. het gemiddelde.

Tabel 1; samenvatting schadeontwikkeling

ID Archipunt [-]	Fugro ID	Gerapp. schades [aantal]	Toename lengte		Toename lengte >50mm		Toename lengte >500mm		Afname lengte	
			[nr]	[%]	[nr]	[%]	[nr]	[%]	[nr]	[%]
1900101	01_Niehove	123	27	22.0	22	17.9	6	4.9	0	0.0
1900102	07_Noordbroek	264	83	31.4	80	30.3	33	12.5	78	29.5
1900103	03_Onderdendam	66	18	27.3	15	22.7	1	1.5	0	0.0
1900104	02_Usquert	154	22	14.3	20	13.0	7	4.5	0	0.0
1900105	06_Overschild	53	11	20.8	8	15.1	1	1.9	0	0.0
1900106	04_Kantens	42	7	16.7	7	16.7	0	0.0	0	0.0
1900107	05_Groningen	85	15	17.6	14	16.5	2	2.4	0	0.0
1900108	10_Steenbergen	108	12	11.1	9	8.3	4	3.7	0	0.0
1900109	09_Borgercompagnie	75	25	33.3	20	26.7	7	9.3	6	8.0
1900110	11_Loppersum	200	13	6.5	8	4.0	2	1.0	0	0.0
1900111	12_Zeerijp	152	17	11.2	12	7.9	2	1.3	3	2.0
1900112	13_Appingedam	68	11	16.2	9	13.2	4	5.9	2	2.9
1900113	08_Zeerijp-kerk	65	12	18.5	12	18.5	1	1.5	0	0.0

Uit Tabel 1 volgt dat bij locatie 07_Noordbroek bij 31.4% van de gecontroleerde schades een toename is geconstateerd. Ook wanneer gekeken wordt naar relatief grote verschillen (>50mm) blijft dit percentage boven de 30%. Opmerkelijk is dat er bij 29.5% van de scheuren bij dezelfde locatie een afname van de lengte van de schade is geconstateerd. De kleinste

procentuele toename van de schade is bij locatie 11_Loppersum waar bij 6.5% van de schades een toename is geconstateerd.

Om de ontwikkeling van de schade te kunnen beoordelen is een vergelijking gemaakt met eerder uitgevoerde onderzoeken naar de ontwikkeling van schade bij panden rondom het Groningen veld. TNO heeft in opdracht van NAM de ontwikkeling van schade gemonitord bij ruim 300 gebouwen [1]. In de periode tussen 2014 en 2019 is na diverse aardbevingen de ontwikkeling van de schade aan een gebouw vastgesteld. In Tabel 2 is een analyse van de vastgestelde schadetoename weergegeven. In dit onderzoek zijn panden meegenomen waarbij ten gevolge van de aardbeving een grenswaarde van de snelheid werd overschreden. Uit deze analyse volgt dat 1-2% van de scheuren groter is geworden in de beschouwde meetperiode. Het verschil tussen de schadeontwikkeling in de pilot en de studie van TNO/NAM is aanzienlijk. Om dit grote verschil te kunnen verklaren zijn een aantal aspecten van de pilot en de TNO/NAM studie onderzocht.

Tabel 4.1: Overzicht schadeontwikkeling onderzoeken uit NAM/TNO studie

Rapport	Event	Magnitude
[2]	30-9-2014 (Garmerwolde)	2.8
[3]	30-9-2014 (Garmerwolde), 5-11-2014 (Zandeweer), 30-12-2014 (Woudbloem), 6-1-2015 (Wirdum), 30-9-2015 (Hellum)	2.8, 2.9, 2.8, 2.7, 3.1
[4]	5-11-2015 (Zandeweer), 30-12-2014 (Woudbloem), 6-1-2015 (Wirdum)	2.9, 2.8, 2.7
[5]	30-9-2015 (Hellum)	3.1
[6]	08-01-2018 (Zeerijp)	3.4

Tabel 2; analyse schadeontwikkeling NAM/TNO studie (cursieve waarden zijn afgeleid aan de hand van de beschikbare data)

Rapport	geïnspecteerde gebouwen	Aantal geïnspecteerde scheuren	Nieuwe scheuren	Aantal scheuren met schade toename	Procentuele toename
[2]	42	279	onduidelijk	3	[1%]
[3]	167	Niet gerapporteerd	onduidelijk	Niet gerapporteerd	[1-2%]
[4]	94	749	onduidelijk	10	[1%]
[5]	37	384	onduidelijk	4	[1%]
[6]	197	2130	[785 nieuw]	Niet gerapporteerd	[2%]

4.2 Vergelijking studie TNO/NAM en de pilot

4.2.1 Seismische belasting

Op basis van de magnitude van de aardbevingen tijdens de studie(s) van TNO/NAM is het aannemelijk dat de aardbevingsbelasting waaraan de objecten zijn blootgesteld vergelijkbaar is met de Pilot Tiltensoren. Hierbij moet worden opgemerkt dat voor een juiste vergelijking per object de intensiteit van de aardbeving moet worden vastgesteld. Voor het onderbouwen

van de vergelijking van deze twee studies wordt dit niet nodig geacht. Een hogere seismische belasting als verklaring voor de grotere schadetoename bij de Pilot Tiltensoren is niet aannemelijk..

4.2.2 Bouwkundige staat van de panden

In de studie van TNO/NAM zijn ca. 200 panden meegenomen. De panden waar een grenswaarde van de snelheid is overschreden worden meegenomen in de beoordeling. Het aantal gebouwen wat mee is genomen in de diverse schadeopnames is weergegeven in Tabel 2. Op basis van het grote aantal gebouwen wat is meegenomen in de studie van TNO/NAM en de wisselende steekproef van gebouwen is een grote range aan gebouwen en staat van bouwwerken meegenomen. Hoewel geen gedetailleerde analyse is gemaakt tussen de verschillen en overeenkomsten tussen de gebouwen in de TNO.NAM studie en de Pilot Tiltensoren is het aannemelijk dat er overlap is, wat het maken van de vergelijking onderbouwt..

4.2.3 Kwaliteitscontrole schadeopname

In de studie van TNO/NAM is meerder malen geconstateerd dat schade die in eerste instantie als nieuw ontwikkelde schade werden aangemerkt al bestaande schades waren die op archiefphoto's reeds zichtbaar waren. Deze constatering geeft aan dat het schade opname proces erg gevoelig is voor fouten en aanleiding geeft voor een vast protocol waarmee schadeontwikkeling mee wordt vastgelegd. Om fouten in de schadeopname uit te sluiten als oorzaak van de afwijkende schadeontwikkeling t.o.v. de TNO/NAM studie is een controle van de gerapporteerde meetwaarden van de schade (lengte, breedte, diepte van de scheur) aan de hand van de beschikbare foto's uitgevoerd, deze controle is opgenomen in Appendix A. Uit deze controle blijkt dat het merendeel van de gerapporteerde meetwaarden niet aannemelijk zijn op basis van de beschikbare foto's. Bij 14 van de 27 gecontroleerde schades lijken de foto's de gerapporteerde waarden tegen te spreken. Dit beeld is ook aanwezig bij de overige locaties. Deze constatering heeft er voor gezorgd dat de schadeopname rapporten niet bruikbaar worden geacht voor het doel van de pilot. De schadeopnames geven geen beeld van de schadeontwikkeling bij de pilotlocaties en kunnen niet worden gebruikt voor het onderzoeken van de relatie tussen de meetwaarden van de (tilt)sensoren en de schade. Om de toekomstige schadeopnames bruikbaar te laten zijn dient er een verbetering in de kwaliteit van de rapportages te worden doorgevoerd. Door het ontbreken van informatie over de ontwikkeling van schade zal dit rapport een algemenere beschrijving van de meetdata van de diverse sensoren geven.

4.3 Conclusie

Uit een analyse van de schadeopnamerapporten volgt dat in de beschouwde periode 6.5% tot 33.3% van de beoordeelde scheuren de afmetingen zijn toegenomen. Bij 4 van de 13 locaties is ook een onverwachte afname van de schade gerapporteerd variërend van 2.0% tot 29.5% van de scheuren. In een eerdere studie uitgevoerd door TNO/NAM zijn veel lagere percentages van de schadetoename na aardbevingen gerapporteerd, de schadetoename in

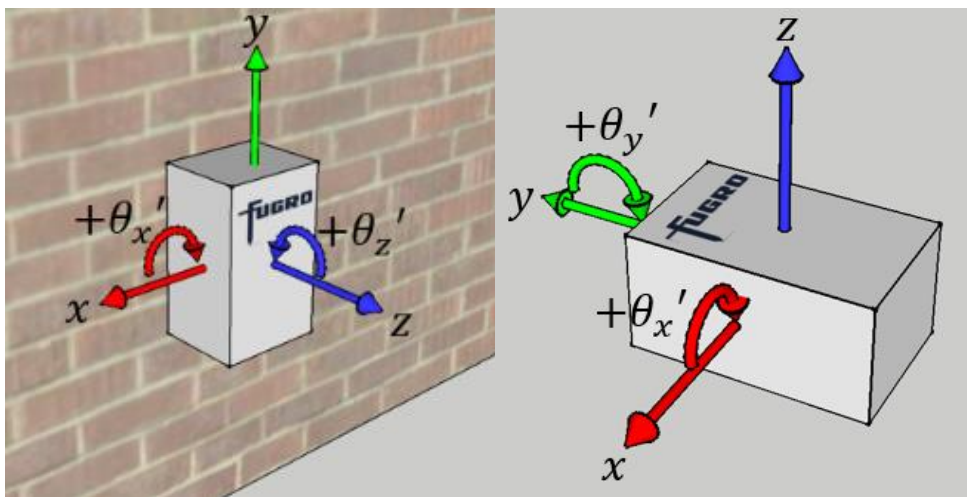
deze studie bedraagt 1%-2%. In de studie van TNO/NAM wordt aangegeven dat bij controles van de schadeopname is geconstateerd dat het schadeopnameproces gevoelig is voor fouten. De grote verschillen met de studie van TNO/NAM, de onverwachte afname van schade bij een aantal locaties en de opmerking in de TNO/NAM studie hebben aanleiding gegeven voor een kwaliteitscontrole van de schadeopname rapportages. Uit de kwaliteitscontrole van 1 locatie is gebleken dat 14 van de 27 onderzochte schades de beschikbare foto's de gerapporteerde schadeontwikkeling tegenspreken. Een steekproef van de andere locaties heeft laten zien dat dit beeld ook geldt voor de overige locaties. Deze constatering heeft er toe geleid dat de schadeopname rapportages niet bruikbaar worden geacht voor het doel van de pilt, er is geen betrouwbaar beeld van de schadeontwikkeling in de beschouwde meetperiode in dit rapport beschikbaar.

5. Tiltensoren

5.1 Algemeen

In dit hoofdstuk wordt een beschrijving gegeven van de gemeten data door de tiltensoren en de verwerking hier van. In deze rapportage worden algemene statistieken van de metingen gepresenteerd en worden opmerkelijke of afwijkende meetbeelden gepresenteerd. Voor een volledige presentatie van de meetdata wordt verwezen naar het online portal GAIA van Fugro of naar de maandrapportage voor de desbetreffende locatie.

In Figuur 3 zijn de gehanteerde assensystemen voor het presenteren van de meetdata van de tiltensoren weergegeven. Bij montage aan de muur is een verandering van de tilt in de x-richting correspondeert met een hoekverdraaiing in het vlak van de muur, een verandering van de tilt in de y-richting correspondeert met een hoekverdraaiing loodrecht op de muur.



Figuur 3; assensysteem tiltensor bij montage aan de muur (links) en op de vloer (rechts)

5.2 Dataverwerking

Tijdens de analyse van de meetdata van de tiltensoren is geconstateerd dat de output van de sensor wordt beïnvloed door temperatuursveranderingen. Door de leverancier is een correctiefactor voor temperatuurseffecten toegepast echter wordt met de door de leverancier toegepaste correctiefactor niet het gewenste effect bereikt. In overleg met de leverancier is een onderzoek gestart en is een methode ontwikkeld om een in-situ temperatuurcorrectiefactor af te leiden. Het onderzoek om de temperatuurafhankelijkheid vast te stellen is gepresenteerd in Fugro memo 1418-0227-010_sensor-test opgenomen in deze rapportage als Appendix B.

De in-situ temperatuurcorrectiefactor wordt per sensor-as afgeleid door een plot te maken van de temperatuur vs de gemeten tilt. In Figuur 5 is een voorbeeld gegeven van de temperatuur geplot vs de gemeten tilt. De temperatuurcorrectiefactor wordt afgeleid door

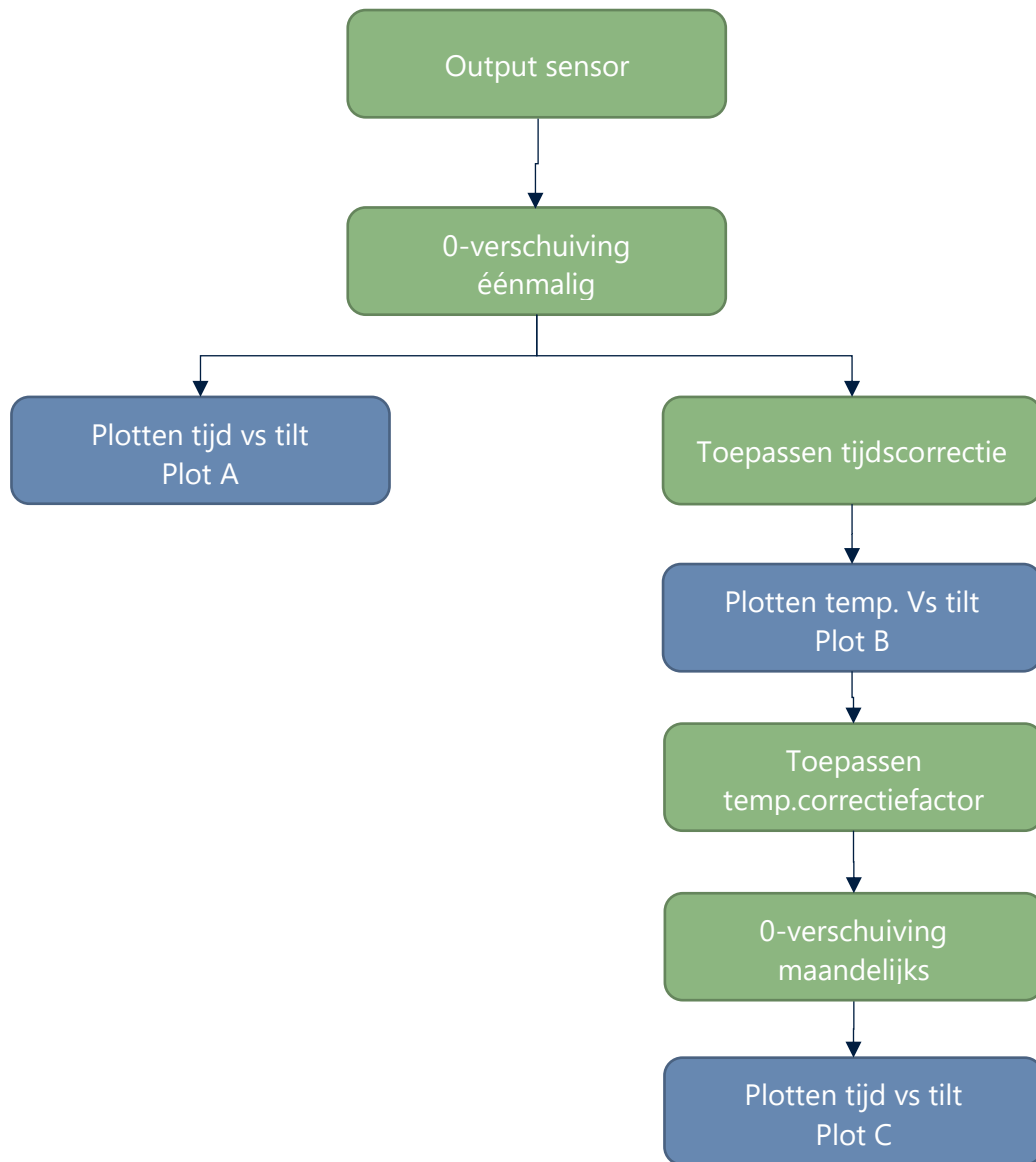
een trendlijn van de data af te leiden. De helling van deze trendlijn geeft een indicatie van de temperatuurcorrectiefactor. In Figuur 5 is de data van 1 maand geplot. Door de sensorleverancier is aangegeven dat de temperatuurcorrecte niet-lineair is en dus afhankelijk van de temperatuur kan variëren. Voor de nauwkeurigheid nodig voor het behalen van het doel van de pilot wordt volstaan met een lineaire-correctiefactor. Over de meetperiode van een jaar is voor elke maand een correctiefactor bepaald. Uit deze correctiefactoren is een gemiddelde afgeleid waarbij afwijkende correctiefactoren, welke geen goede fit met de meetdata geven, zijn weggelaten.

Naast een temperatuurinvloed invloed is ook een tijdsafhankelijke drift geconstateerd voor de x-as. In Figuur 5 is deze drift zichtbaar in de bovenste plot. De drift in de tijd is redelijk constant, er wordt volstaan met een constant correctiefactor.

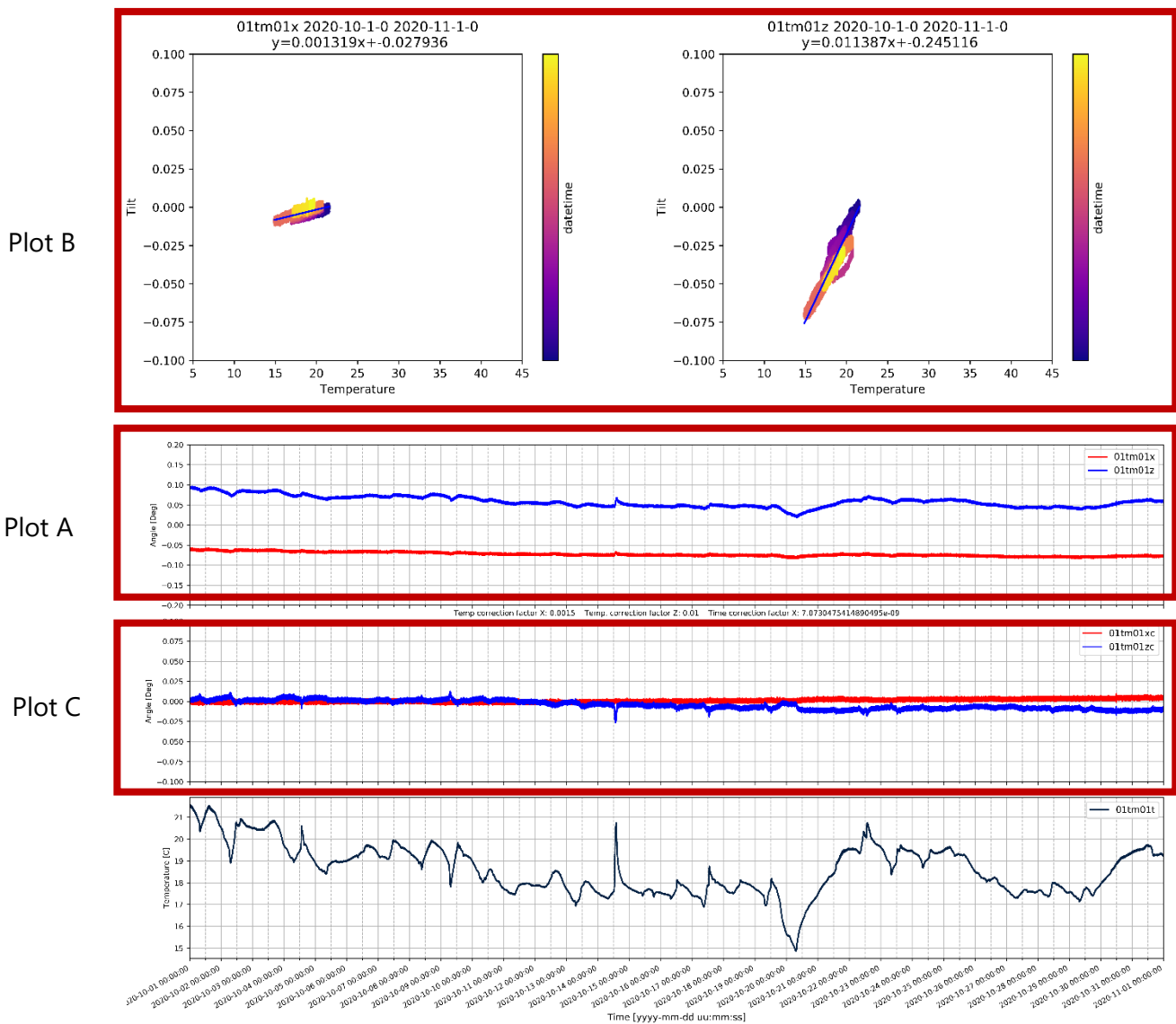
Om de "ruwe" output van de sensor beschikbaar te houden in de rapportages en het toepassen van de correctiefactoren zo transparant mogelijk is de werkwijze gehanteerd zoals weergegeven in Tabel 5.1 en Figuur 4, waarbij zowel de ruwe meetdata (zonder correctiefactoren) en de gecorrigeerde data zichtbaar is. In de grafieken gepresenteerd in de maandrapportages zijn de ranges van de assen vastgezet op +/- 0.1 [°] voor plot B en C en +/- 0.2 [°] voor plot A.

Tabel 5.1: [Insert Table Caption]

Nr.	Benaming	Omschrijving
1	Output sensor	De "ruwe" data zoals deze uit de sensor komt
2	0-verschuiving éénmalig	De initiële tilt van de sensor (eerste meetwaarde) wordt gebruikt om de data rondom de nul-as te plotten
3	Toepassen tijdscorrectie	Op de x-as data wordt de tijdscorrectiefactor toegepast
	Toepassen temp. correctiefactor	Op beide assen wordt de temp. Correctiefactor toegepast
	0-verschuiving maandelijks	De eerste meetwaarde van de maand wordt gebruikt om de data rondom de 0-as te plotten



Figuur 4; stroomschema verwerken meetdata tilsensoren



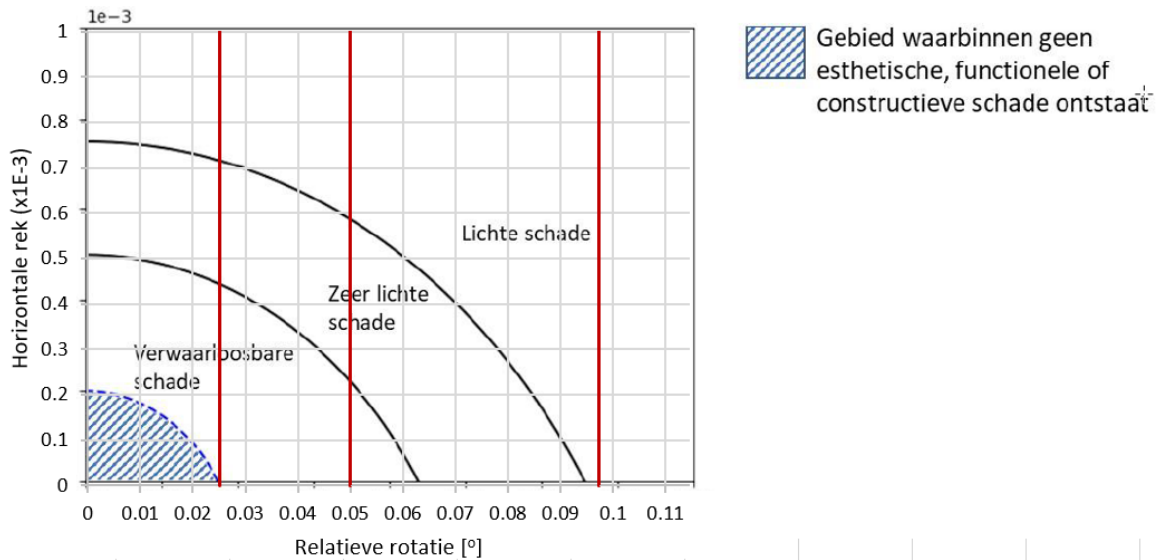
Figuur 5; Voorbeeld van de plots van de meetdata van de tilsensoren.

5.3 Anomaliedatabase

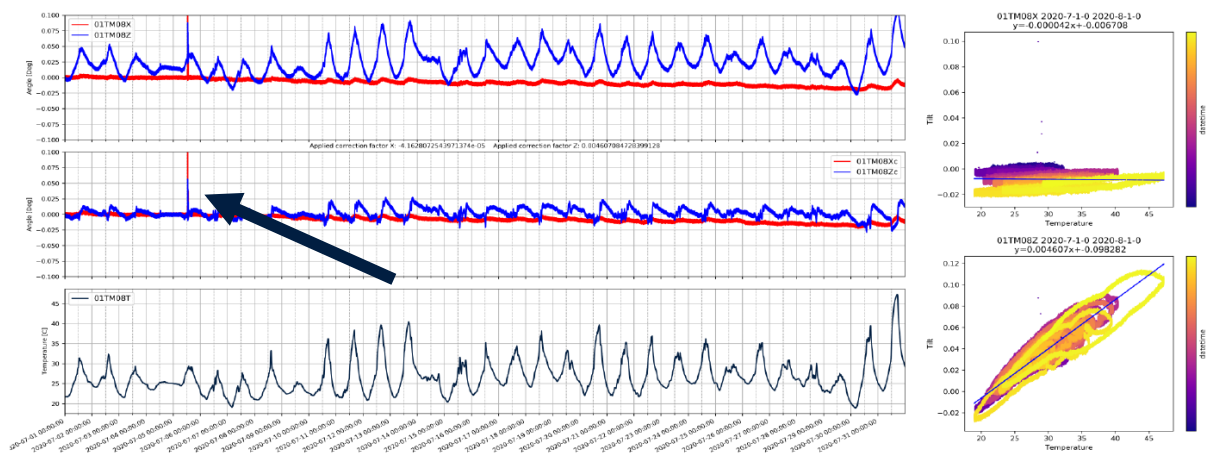
De meetdata van de tilsensoren wordt geanalyseerd op afwijkende meetbeelden welke in een database worden bijgehouden. Op basis van de eerste meetperiode zijn diverse afwijkende meetbeelden gedefinieerd, welke gekoppeld zijn aan een bepaalde grenswaarde. Waarbij de grenswaarde een gekozen meetwaarden van de tilt is om onderscheid te maken in verschillende klassen van de afwijkende meetbeelden. Onderstaand zijn de verschillende meetbeelden opgesomd.

- Afwijkende piek [grenswaarde], meetbeeld terug naar normaal na piekwaarde
- Abrupte sprong [grenswaarde],
- Blijvende verschuiving meetbeeld omhoog of omlaag [grenswaarde],

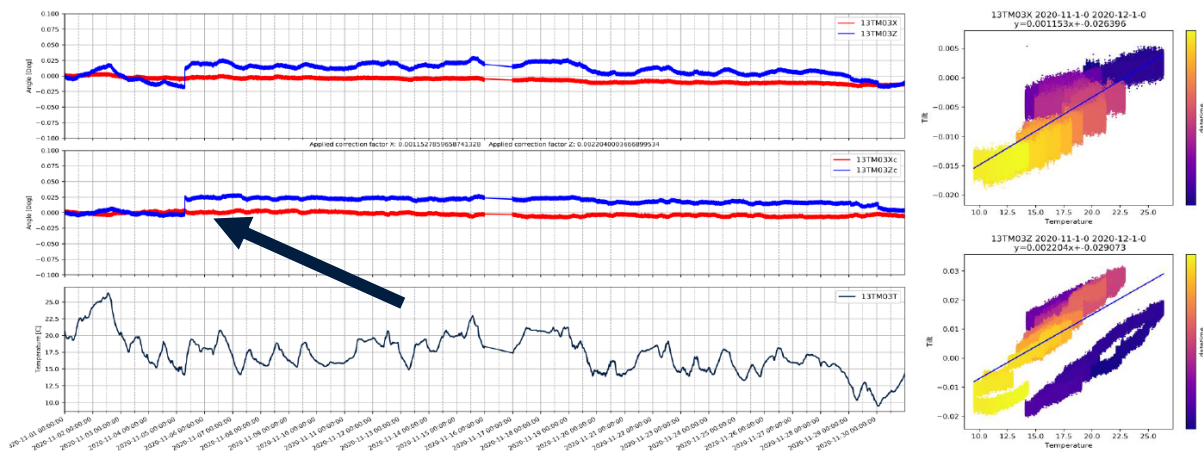
De gekozen grenswaarden zijn $<0.025[^\circ]$, $<0.05[^\circ]$ en $>0.1[^\circ]$ wat overeenkomt met respectievelijk $0.44 \cdot 10^{-3}[\text{rad}]$, $0.87 \cdot 10^{-3}[\text{rad}]$ en $1.7 \cdot 10^{-3}[\text{rad}]$. In Figuur 5.1, overgenomen en aangepast uit [7], zijn de grenswaarden geplot in een grafiek waarin gebieden zijn aangegeven met een beschrijving van schade die mogelijk op kan optreden. Het optreden mogelijke schade wordt is in de figuur afhankelijk van de horizontale rek en de relatieve rotatie. Hoewel de gemeten tilt/hoek/rotatie bij door de tilsensoren niet direct vertaald kan worden naar relatieve rotatie kan de figuur wel worden gebruikt voor het in context plaatsen van de gekozen grenswaarden. Waarbij met name de gemeten tilt in de x-richting een indicatie geeft van de relatieve rotatie.



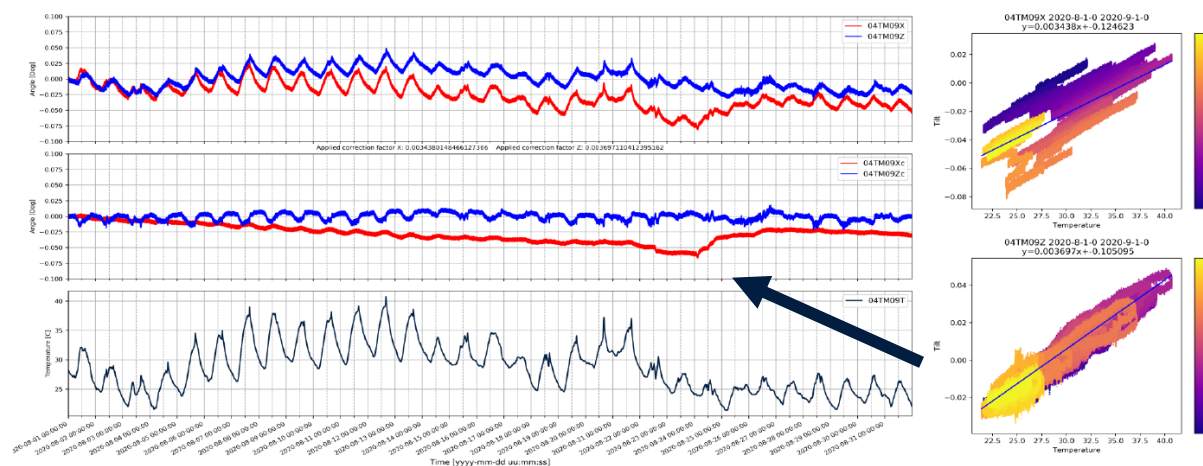
Figuur 5.1: gehanteerde grenswaarden in schade indicatie grafiek overgenomen aan aangepast uit [7]



Figuur 6; voorbeeld afwijkend meetbeeld "Afwijkende piek > 0.1"

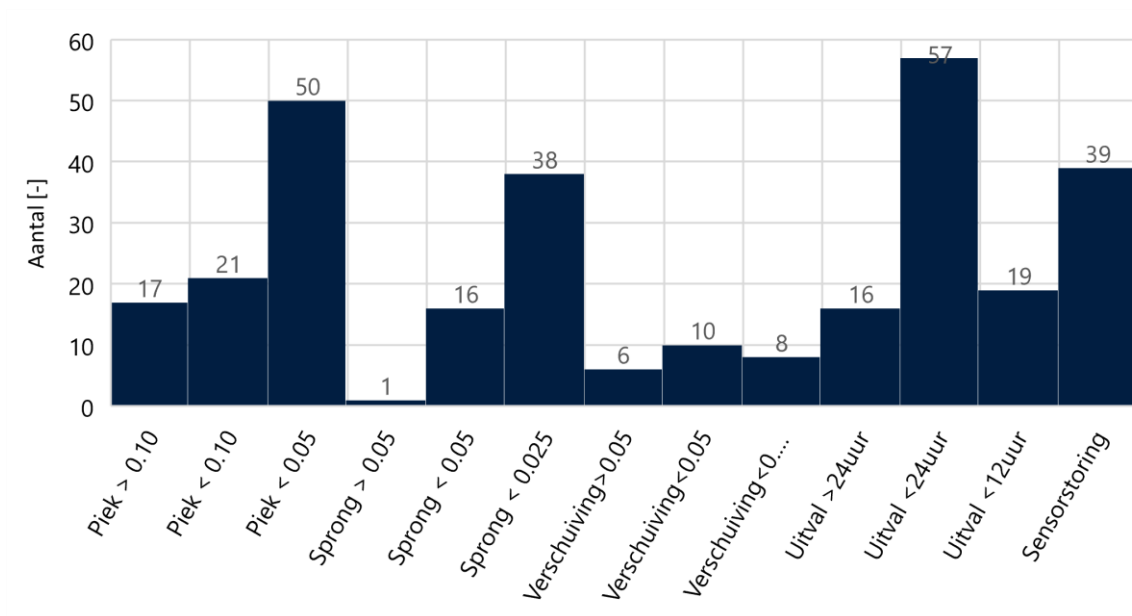


Figuur 7; voorbeeld afwijkend meetbeeld "abrupte sprong < 0.05"



Figuur 8; voorbeeld afwijkend meetbeeld "Blijvende verschuiving meetbeeld omhoog of omlaag < 0.05"

In de beschouwde meetperiode zijn in totaal 276 afwijkende meetbeelden geïdentificeerd en aan de anomaliedatabase toegevoegd. Figuur 5.2 laat een overzicht zien van de afwijkende meetbeelden met een indeling naar de eerder genoemde categorieën en grenswaarden. In Tabel 5.2 is de top 10 van sensoren met het grootste aantal afwijkende meetbeelden gepresenteerd. In Tabel 5.3 is de top 10 met data met het grootste aantal afwijkende meetbeelden gepresenteerd



Figuur 5.2: Overzicht geregistreerde afwijkende meetbeeld ingedeeld naar categorie

Tabel 5.2: Top 10 sensoren met meeste afwijkende meetbeelden

Sensor	count	Piek > 0.10	Piek < 0.10	Piek < 0.05	Sprong > 0.05	Sprong < 0.05	Sprong < 0.025	Verschuiving > 0.05	Verschuiving < 0.05	Verschuiving < 0.025
03TM06	30	0	0	1	0	5	24	0	0	0
01TM14	12	1	7	4	0	0	0	0	0	0
04TM11	7	0	1	5	0	0	0	0	1	0
04TM10	6	0	0	1	0	1	0	2	0	2
09TM01	6	2	0	1	0	0	0	1	2	0
02TM06	5	2	1	3	0	0	0	0	0	0
04TM09	5	0	2	1	0	0	0	0	0	2
10TM13	5	0	0	2	0	0	0	0	3	0
01TM03	4	0	1	1	1	1	1	0	0	0
01TM08	4	1	0	2	0	0	0	0	1	0

Tabel 5.3: Top 10 data met meeste afwijkende meetbeelden

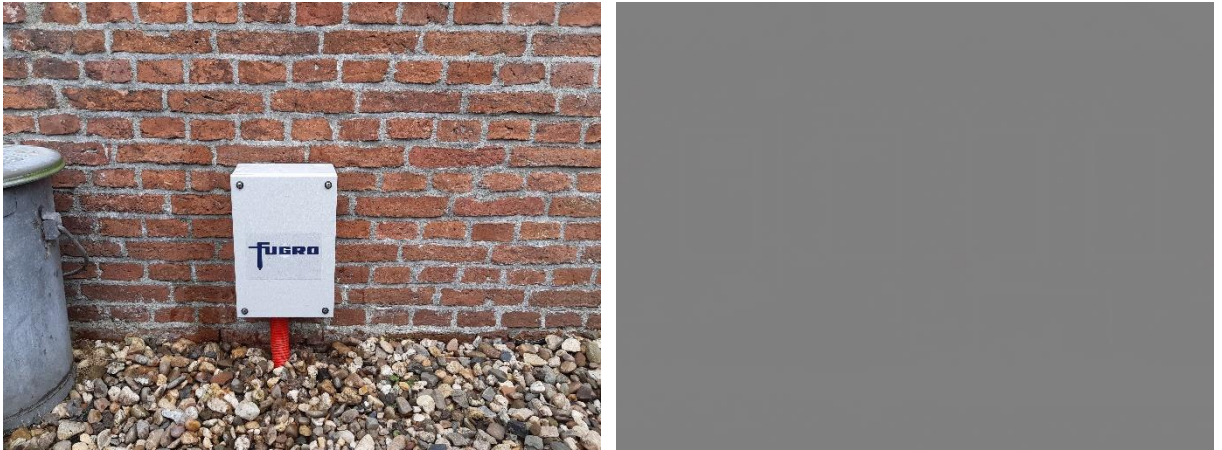
Datum	count	Piek > 0.10	Piek < 0.10	Piek < 0.05	Sprong > 0.05	Sprong < 0.05	Sprong < 0.025	Verschuiving > 0.05	Verschuiving < 0.05	Verschuiving < 0.025
29-12-20	103	0	0	116	0	0	0	0	0	0
21-10-20	9	1	0	4	0	0	0	0	4	0
29-11-20	9	0	1	1	0	2	4	0	0	1
30-11-20	7	2	1	2	0	0	1	0	0	1
14-07-20	5	0	0	4	0	0	1	0	0	0
02-12-20	5	0	0	4	1	0	0	0	0	0
26-06-20	4	0	0	1	0	1	0	0	1	1
01-12-20	4	0	0	3	0	0	1	0	0	0
10-06-20	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0
14-06-20	3	0	0	0	0	0	0	2	1	0

5.3.1 Top 3 sensoren afwijkende meetbeelden

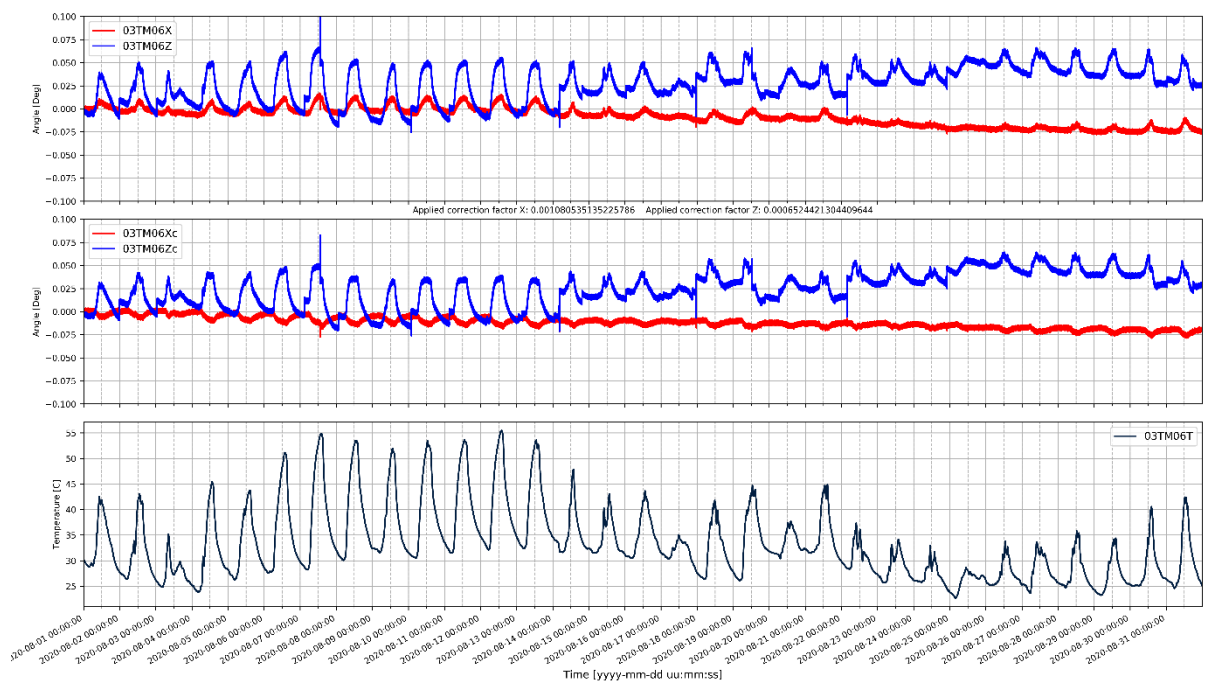
In Figuur 5.3 tot en met Figuur 5.8 zijn van de top 3 sensoren met meeste afwijkende meetbeelden foto's van de plaatsing van de sensor en een voorbeeld van de gemeten afwijkende meetbeelden gepresenteerd. Sensor 03TM06 is geplaatst op een zuidgevel van een relatief oud pand met relatief grote temperatuurschommelingen. De sensor heeft veel relatief kleine "sprongen" in tilt geregistreerd in de z-richting (loodrecht op de muur). De sprongen zijn echter dermate klein dat op basis van Figuur 5.1. geen schade wordt verwacht.

Sensor 01TM14 is geplaatst nabij een deurkozijn. Bij Sensor 01TM14 zijn veel "pieken" geregistreerd in de z-richting (loodrecht op de muur) wat kan worden verklaard door het openen en sluiten van de deuren.

Sensor 04TM11 is geplaatst op een muur nabij deuropeningen. De sensor laat veel "pieken" zijn wat kan worden verklaard door het openen en sluiten van deuren.



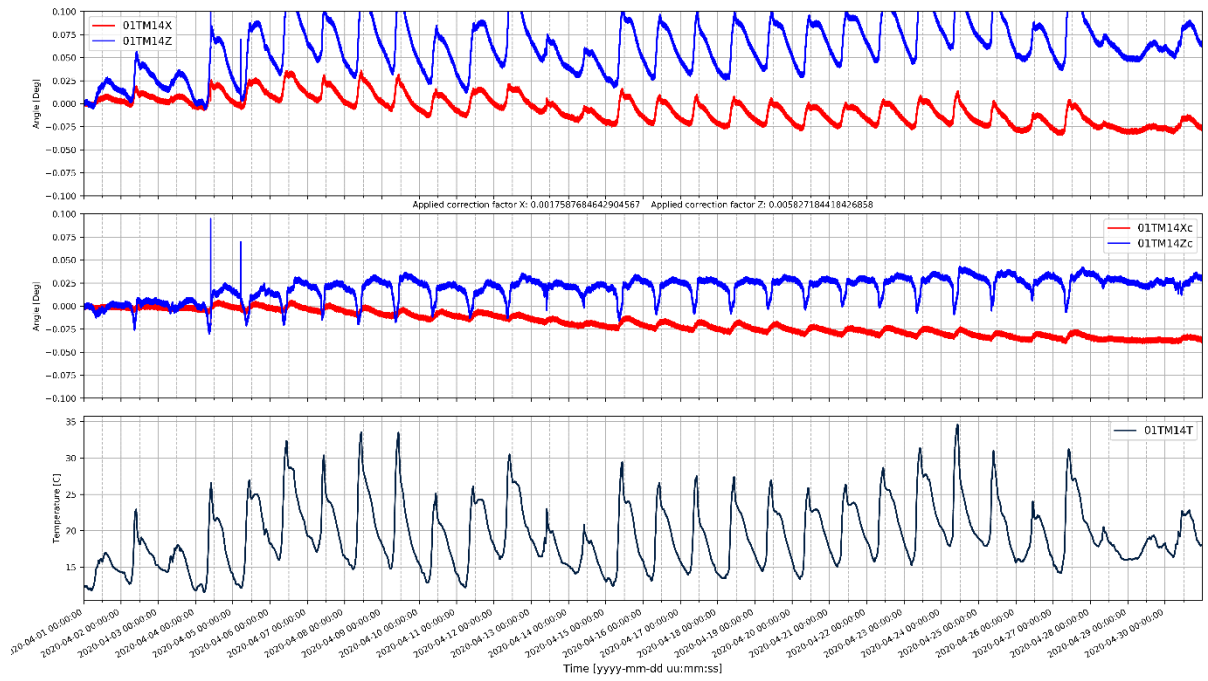
Figuur 5.3: Sensor 03TM06 waarbij het grootste aantal afwijkende meetbeelden zijn geregistreerd



Figuur 5.4: Voorbeeld gemeten afwijkende meetbeelden bij sensor 03TM06



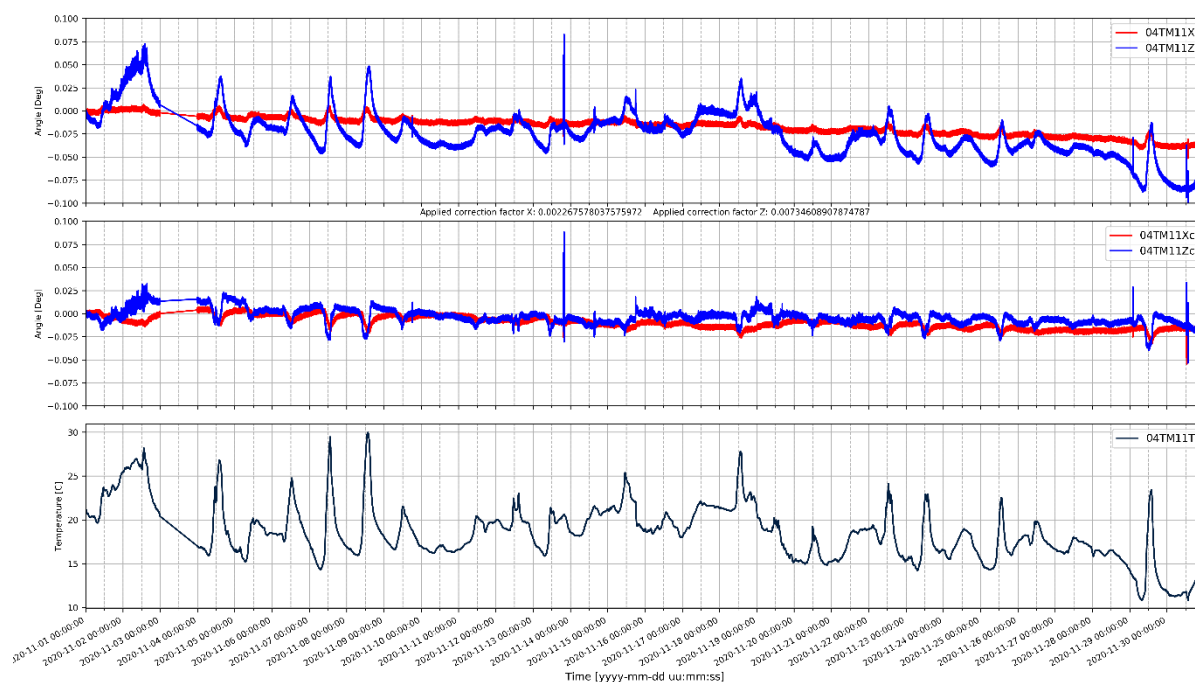
Figuur 5.5: : Sensor 01TM14, 2^e plek in top 10 met grootste aantal afwijkende meetbeelden



Figuur 5.6: Voorbeeld gemeten afwijkende meetbeelden bij sensor 01TM14



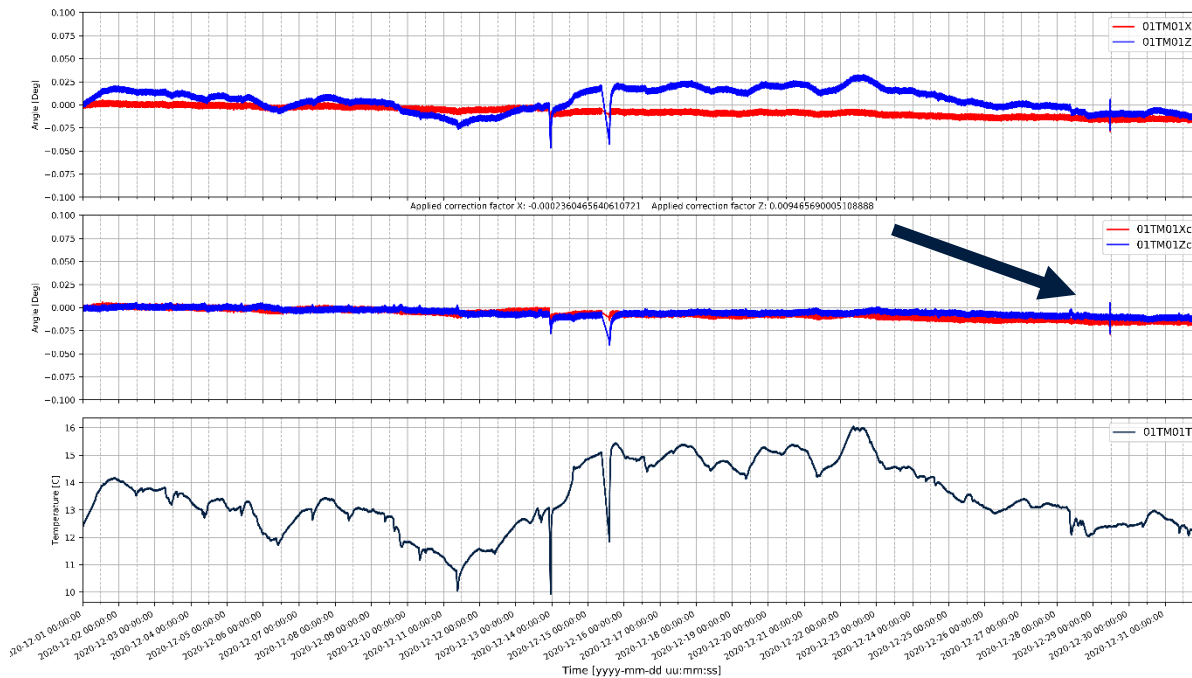
Figuur 5.7: Sensor 04TM11, 3e plek in top 10 met grootste aantal afwijkende meetbeelden



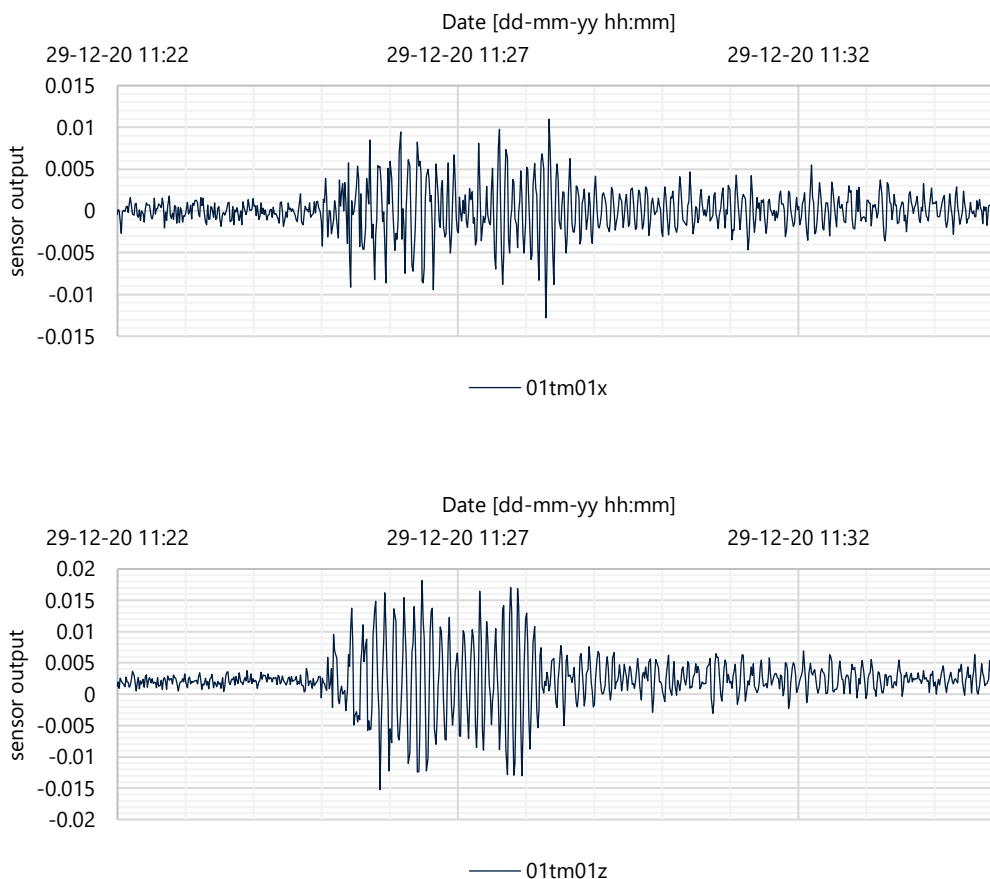
Figuur 5.8: Voorbeeld gemeten afwijkende meetbeelden bij sensor 04TM11

5.3.2 Top 3 data met afwijkende meetbeelden

Op 29-12-2020 is bij een groot aantal (116) tiltsensoren op alle locaties een relatief kleine piek (<0.05) gemeten. Bij een aantal sensoren is de piek door een korte storing waarschijnlijk niet gemeten. Figuur 5.9 laat de gemeten piek op 29-12-2020 zien, het meetbeeld is bij alle sensoren vergelijkbaar en zowel in x-richting als in z-richting gemeten. De oorzaak van de gemeten piek is waarschijnlijk de aardbeving in Kroatië (11:20 UTC, magnitude 6.4). In Figuur 5.10 is ingezoomd op de piek van Figuur 5.9. Bij het interpreteren van de data gemeten door de tiltsensoren dient te worden opgemerkt dat door het meetprincipe van tiltsensoren de meetwaarden een combinatie kunnen zijn van tilt [°] en/of versnelling [m/s²] voor een gedetailleerde uitleg over dit principe wordt verwezen naar [8].

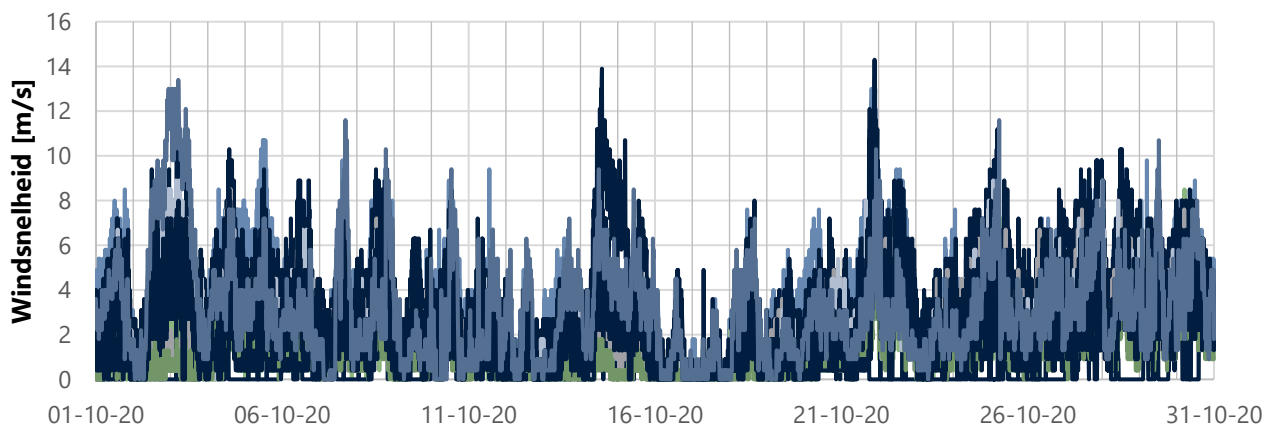


Figuur 5.9: gemeten piek op 29-12-20 bij sensor 01TM01



Figuur 5.10: Meetdata tilsensor 01TM01 op 29-12-2020 tussen 11:22 en 11:36

Op 21-10-2020 zijn bij 9 sensoren afwijkende meetbeelden geconstateerd. Er is geen verklaring gevonden voor het relatief grote aantal afwijkende meetbeelden op deze datum. Er is geen seismiciteit in het Groningenveld geregistreerd of grote aardbevingen in de relevant omgeving. Uit een beschouwing van de weerstation data volgt geen opvalbare hoge windsnelheid, hoewel er wel een piek voor oktober waarneembaar is. De windsnelheid kan een mogelijke oorzaak het grotere aantal afwijkende meetbeelden zijn.



Figuur 5.11: Gemeten windsnelheden in oktober 2020

Op 29-11-2020 zijn bij 9 sensoren afwijkende meetbeelden geconstateerd. Er is op deze datum geen relevante aardbeving geregistreerd en er zijn geen hoge windsnelheden gemeten. Er is geen verklaring gevonden voor het hoge aantal afwijken meetbeelden op deze locatie.

5.3.3 Overzicht grootste afwijkende meetbeelden

In deze paragraaf wordt gekeken naar de grootste veranderingen in tilt. Hierbij wordt gekeken naar de categorieën "blijvende verschuiving omhoog of omlaag" en abrupte sprong. De categorie "Afwijkende piek [grenswaarde], meetbeeld terug naar normaal na piekwaarde" wordt in deze top 3 niet meegenomen. Bij dit meetbeeld is geen blijvende verandering in tilt en wordt de kans op schade kleiner verondersteld.

Op 2-12-2020 is bij sensor 10TM13 een abrupte sprong >0.05 gemeten, de meetdata is gepresenteerd in Appendix C. De herhalings-schadeopname en waterpassing is uitgevoerd op 29-10-2020, hierdoor is een eventuele schade nog niet opgenomen voor deze locatie is

10	2020-12	10TM13	02-12-20	Abrupte sprong > 0.05
----	---------	--------	----------	-------------------------

Er zijn 6 "blijvende verschuiving omhoog of omlaag >0.05 " gemeten, deze zijn weergegeven in Tabel 5.4. De meetdata, sensorlocatie en foto van de sensoren zijn opgenomen in Appendix C.

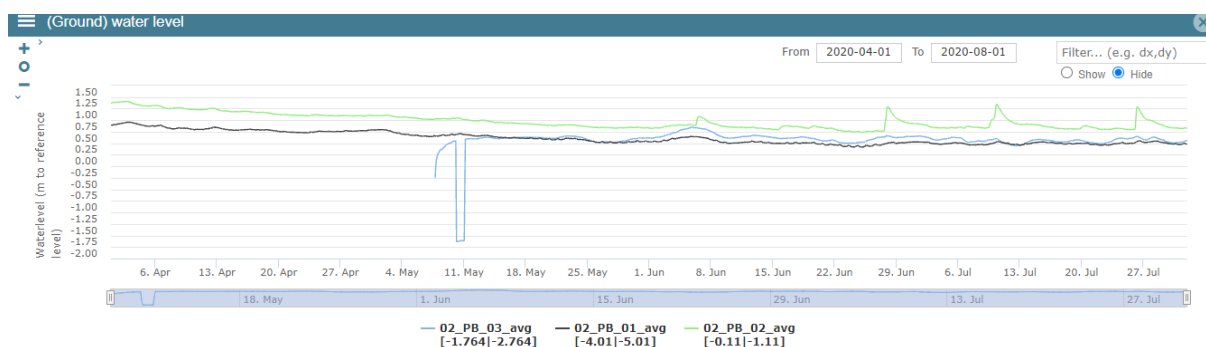
Tabel 5.4: Overzicht grootste blijvende verschuiving meetbeeld omhoog of omlaag

Sensor	Periode	Datum (indicatie)	Omschrijving
02TM06	2020-04	14-04-20	Blijvende verschuiving meetbeeld omhoog of omlaag >0.05
02TM06	2020-05	14-05-20	Blijvende verschuiving meetbeeld omhoog of omlaag >0.05
13TM08	2020-06	14-06-20	Blijvende verschuiving meetbeeld omhoog of omlaag >0.05
13TM12	2020-06	14-06-20	Blijvende verschuiving meetbeeld omhoog of omlaag >0.05
13TM06	2020-12	14-12-20	Blijvende verschuiving meetbeeld omhoog of omlaag >0.05
04TM10	2020-12	24-12-20	Blijvende verschuiving meetbeeld omhoog of omlaag >0.05

Bij locatie 02_Usquert zijn in de meetperiode 2020-04 en 2020-05 bij sensor 02TM06 een relatief grote verschuiving van het meetbeeld opgetreden. Na deze periode blijft er een afwijkend temperatuur vs tilt patroon zichtbaar echter is er geen grote verschuiving van het meetbeeld meer aanwezig.

In de schadeopname uitgevoerd door Archipunt (20210709_62_1900104_Rapportage_Pilot_Tiltsensoren_2_Herhaalopname 1_Versie2.1 DEF.pdf) zijn 2 schadetoenames gerapporteerd. De lengte van de schade is niet toegenomen maar de breedte wel van 0.7mm tot 13 mm en van 0.3mm tot 12 mm. Op basis van de beschikbare foto's is vastgesteld dat de scheur bij de 0-opname ook al een breedte van ca. 12 – 13 mm had. De foto's lijken de gerapporteerde schade tegen te spreken. Zoals aangegeven in hoofdstuk 4 besproken wordt de schadeopname niet betrouwbaar geacht, de foto's en gerapporteerde waarden van deze schades bevestigen deze constatering.

In de periode 2020-04 en 2020-05 en de maand voorafgaand zijn 2 M>2.0 aardbevingen opgetreden echter op relatief grote afstand >10km. Het wordt onwaarschijnlijk geacht dat deze aardbevingen de gemeten meetbeelden hebben veroorzaakt. In Figuur 5.12 zijn de gemeten grondwaterstanden in de desbetreffende periode weergegeven. Er zijn geen extreme grondwaterstanden opgetreden. De beschikbare grondwaterstandsmetingen geven geen aanleiding om dit als aannemelijke oorzaak aan te merken.



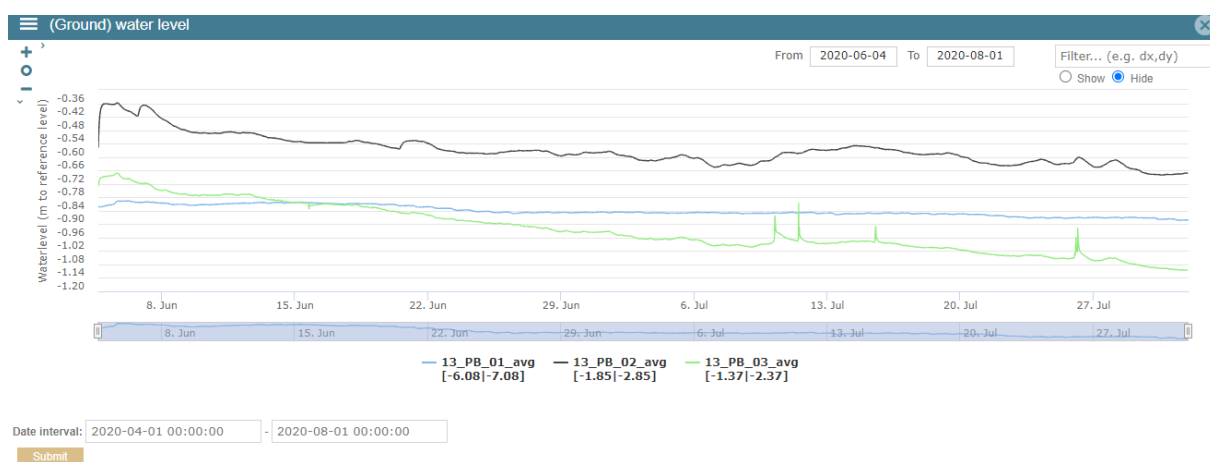
Figuur 5.12: Gemeten grondwaterstanden locatie 02 04-2020 t/m 08-2020

In de meetperiodes 2020-06 en 2020-12 zijn bij 3 sensoren bij locatie 13_Appingedam relatief grote verschuivingen in het meetbeeld waargenomen. In de schadeopnamen uitgevoerd door Archipunt

(20210608_9901TM_7_1900112_Rapportage_Pilot_Tiltsensoren_2_Herhaalopname 1_def_V2.3). De schade bij sensor 13TM08 is niet in omvang toegenomen. Schades in de buurt van sensor 13TM06 (66 en 67) zijn volgens de rapportage toegenomen. Een vergelijking van de foto's lijkt dit echter tegen te spreken, echter is de volledige scheur niet zichtbaar op de foto van de nul-opname. Er zijn geen schades gerapporteerd in de buurt van sensor 13TM12. Van de afwijkende meetbeelden in december 2020 is geen schadeopname beschikbaar. De gemeten verschilverplaatsing van de meetbouten nabij sensor 13TM08 (bout 1207) is -6mm. Wat het meetbeeld van de tiltsensoren bevestigt.

Op 1-6-2020 vond een M1.9 event plaats op ca. 6 km afstand. Op 21-12-2020 vond een M1.8 event plaats op ca. 10 km afstand. Op basis van het meetbeeld, de lagere magnitudo en grotere afstand lijken de aardbevingen geen oorzaak van het gemeten meetbeeld te zijn.

Figuur 5.13 Laat de gemeten grondwaterstanden bij locatie 13_Appingedam zien. Er zijn geen grondwaterstanden gemeten die als mogelijke oorzaak voor de afwijkende meetbeelden kunnen worden aangemerkt.



Figuur 5.13: Grondwaterstanden gemeten van juni – augustus bij locatie 13_Appingedam

Bij locatie 04TM10 is in de meetperiode 2020-12 een relatief grote verschuiving van het meetbeeld waargenomen. De schadeopname is uitgevoerd op 12-11-2020 er geen schadeontwikkeling aan het meetbeeld kan worden gekoppeld. De resultaten van de waterpassing van de meetbouten hebben nabij sensor 04TM10 een verschilverplaatsing van -7mm geconstateerd, echter is deze in e periode tussen 20-2-2020 en 12-11-2020 opgetreden. Er is geen informatie bekend over de verplaatsing van de meetbouten in de periode hierna. Het meetbeeld van de tiltsensoren kan hierdoor niet worden bevestigd door een waterpassing van de meetbouten.

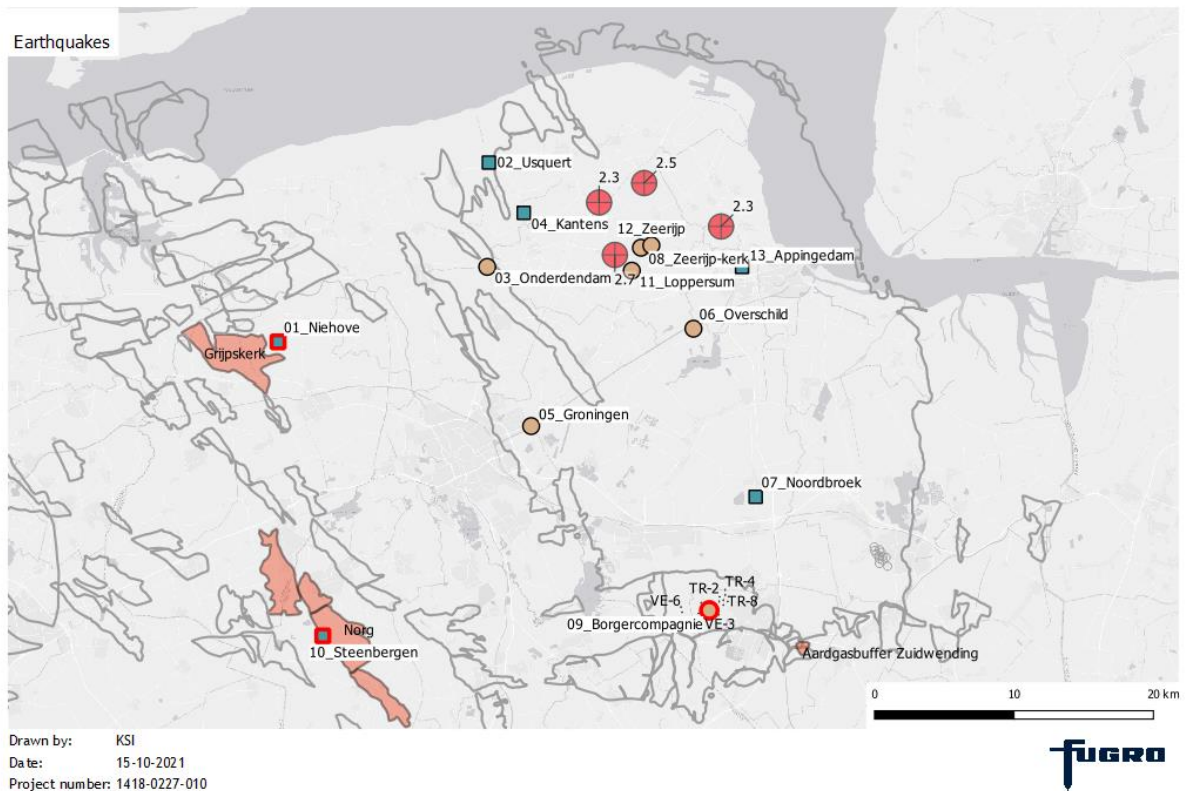
5.4 Aardbevingen met hoogste magnitude

In deze paragraaf wordt een overzicht gepresenteerd van tilsensoren die aardbevingen met magnitude > 2.0 hebben geregistreerd. In Tabel 5.5 zijn de geselecteerde events weergegeven en weergegeven op een kaart in Figuur 5.14.

Tabel 5.5: Beschouwde events

DateTime	Magnitude	
2020-07-14T15:18:47	2.7	Loppersum
2020-05-02T03:13:15	2.5	Zijldijk
2020-07-19T02:07:52	2.3	Startenhuizen
2020-03-22T19:33:12	2.3	Krewerd

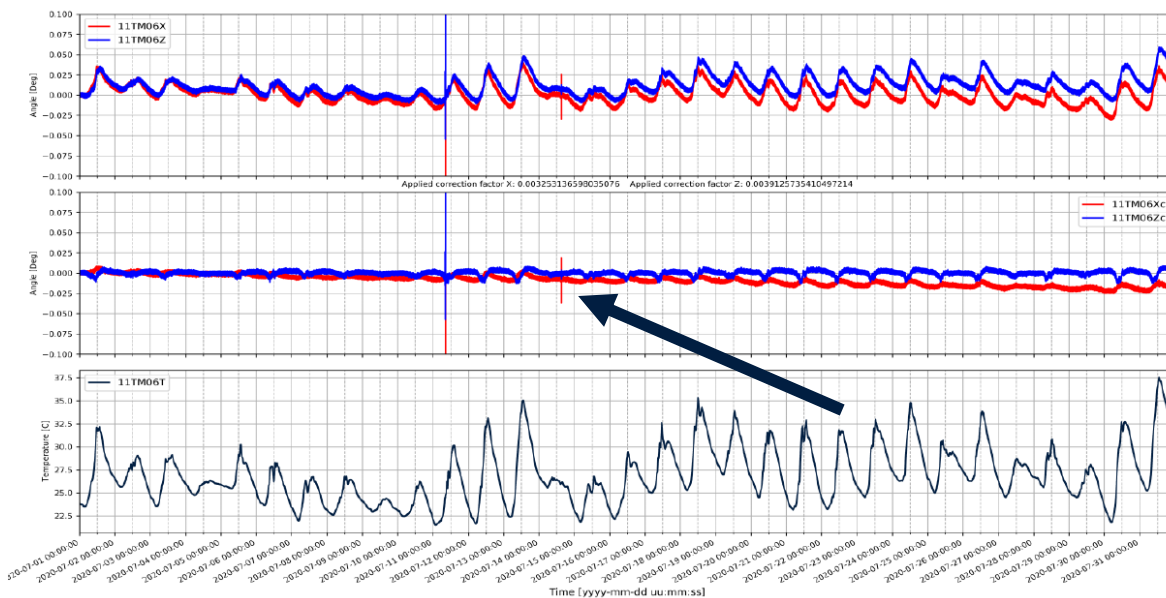
1418-0227-010



Figuur 5.14: Locatie van de beschouwde events en de pilot locaties

5.4.1 Loppersum M2.7 event

De meest nabije pilotlocatie bij dit event is locatie 11_Loppersum. Bij 4/7 sensoren is een piek ten tijde van de aardbeving gemeten. De meetresultaten zijn opgenomen in Appendix D. Figuur 5.15 laat een voorbeeld van de meetdata van de tilsensoren van het event zien.



Figuur 5.15: Voorbeeld gemeten piek Loppersum event (met pijl aangegeven) De oorzaak van de grote piek is onbekend.

Bij locatie 12_zeerijp is bij 3/7 sensoren een piek waarneembaar ten tijde van de aardbeving, de meetdata is tevens opgenomen in Appendix D.

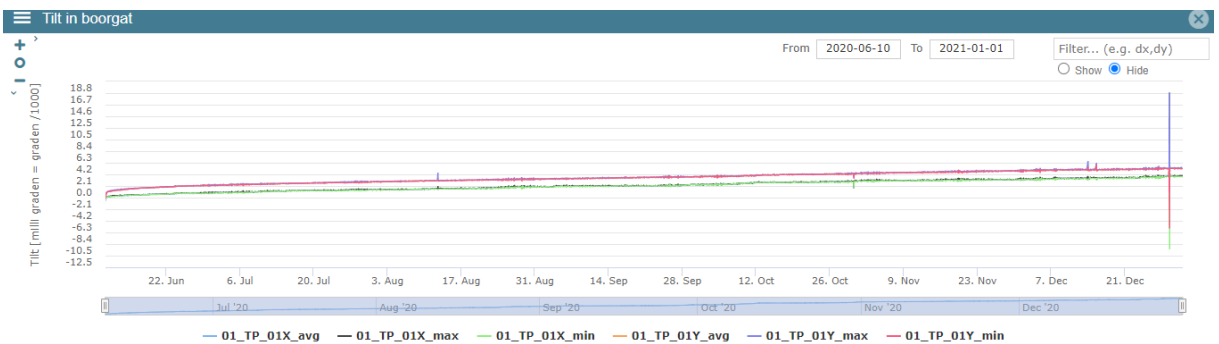
Bij locatie 08_Zeerijp-kerk is bij alle sensoren een piek waarneembaar, de sensoren geplaatst hoog in de toren geven de grootste uitslag, de meetdata is opgenomen in Appendix D.

De overige aardbevingen zijn niet waarneembaar bij de sensoren, of er is geen uitslag te zien of de sensoren waren nog niet geïnstalleerd.

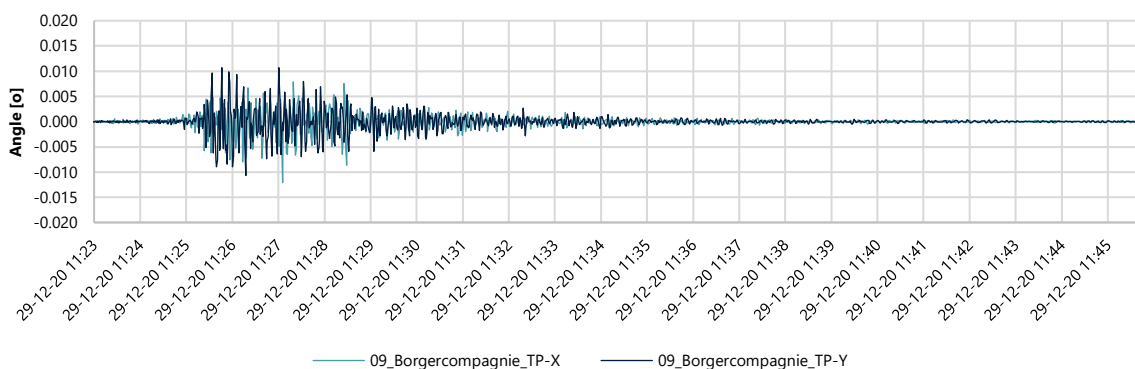
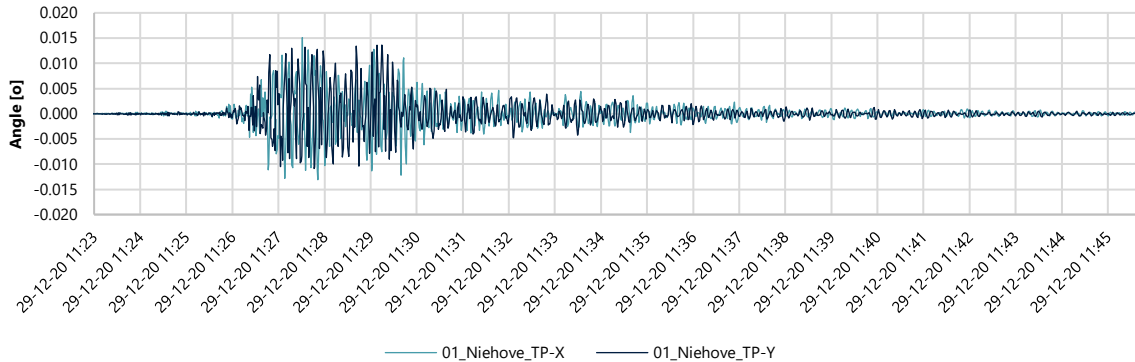
Bij alle sensoren waarbij ten tijde van de aardbeving een piek waarneembaar is keert het meetbeeld na de piek terug naar "normaal". Er is geen blijvende verandering in tilt geregistreerd of een verandering van het meetbeeld.

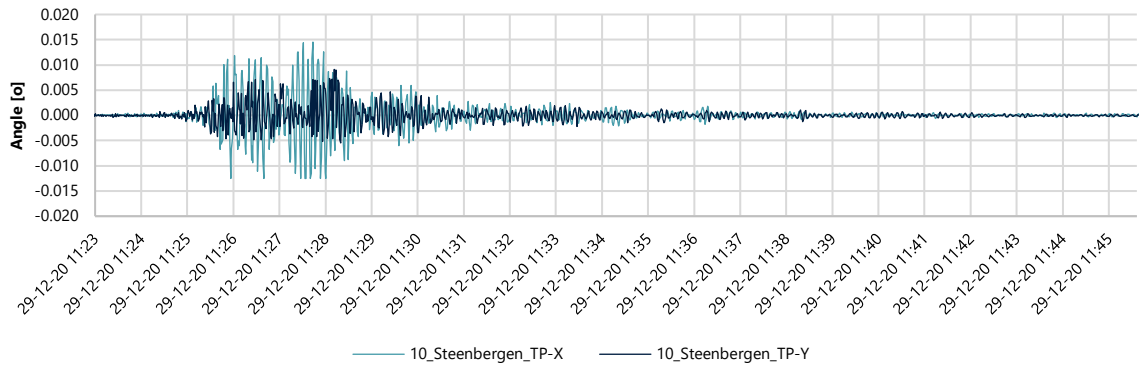
6. LILY-sensoren

De LILY sensoren zijn zeer gevoelige sensoren welke tilt registreren in een boorgat. De LILY sensoren laten een stabiel beeld zien over de beschouwde meetperiode. In Figuur 6.1 is een overzicht van de meetresultaten tot 1-1-2021 weergegeven, het meetbeeld bij de LILY-sensoren op de andere locaties is vergelijkbaar. Er lijkt nog een stabiliserend effect te zijn (langzaam oplopen van de tilt). Duidelijk waarneembaar is de Kroatië aardbeving op 29-12-2021. In Figuur 6.2 is de 1Hz data van de sensoren weergegeven waar de piek zichtbaar is. De amplitude van de piek lijkt vergelijkbaar met de metingen van de tilt sensoren aan de gebouwen, in de orde van 0.010 – 0.015 [°].



Figuur 6.1: Meetresultaten bij locatie 01_Niehove tot 1-1-2021



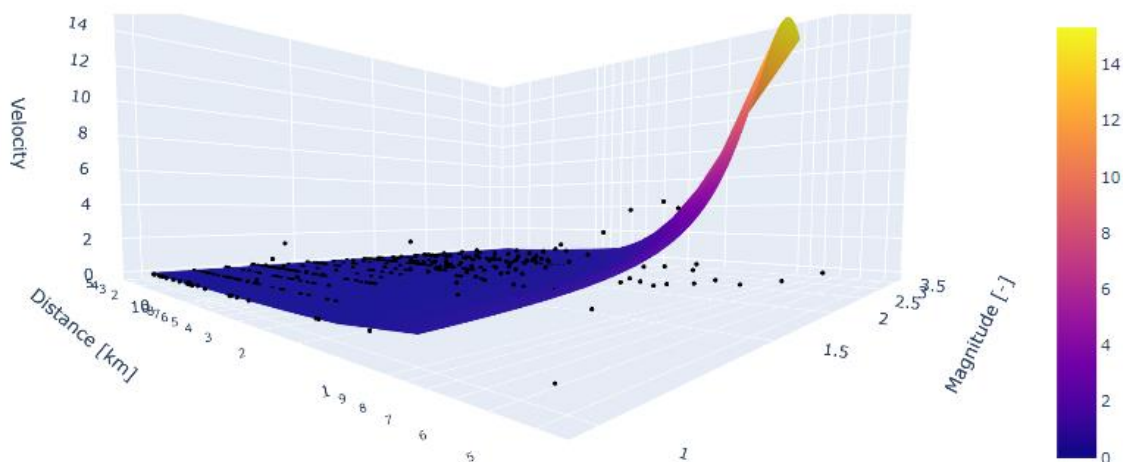


Figuur 6.2: Meetresultaten LILY-sensor aardbeving Kroatië (M6.9)

7. Accelerometers

De accelerometers geven vergelijkbare meetwaarden als de accelerometers in het KNMI netwerk. Over het algemeen is een duidelijk dempingseffect bij de sensoren geplaatst in de gebouwen. De gemeten amplitude en het responspectrum is duidelijk lager bij de sensoren in het gebouw t.o.v. de sensoren op de betonplaat. In Appendix E is een voorbeeld van de accelerometer data gegeven, in de appendix wordt het Loppersum M2.7 event gemeten op locatie 11_Loppersum weergegeven. Station NL.BLOP in Loppersum op een afstand van 1.48km van het event heeft een PGA geregistreerd van 28.127 cm/s^2 . De sensoren op locatie 11_Loppersum meten een PGA variërend van 0.029 – 0.069 [g]. Voor een overzicht van alle meetresultaten van alle events wordt verwezen naar de maandrapportages.

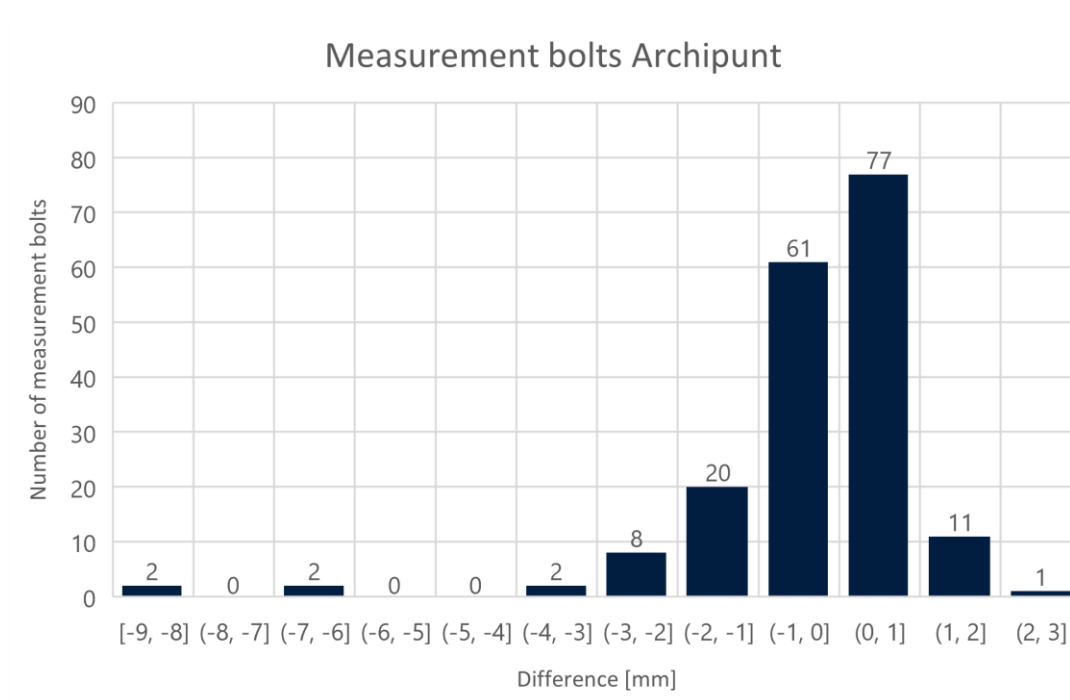
Naast de gemeten versnellingen kunnen ook andere parameters uit de meetdata worden afgeleid. Een relevante parameters is de Peak Ground Velocity (PGV), welke volgens diverse literatuur een betere correlatie met schade geeft dan de Peak Ground Acceleration (PGA). Door NAM is een empirische correlatie afgeleid welke een schatting van de PGV geeft op basis van onder andere de Magnitude van de aardbeving en de afstand [9]. In Figuur 7.1 is de empirische correlatie geplot samen met meetpunten verkregen door het verwerken van gemeten versnellingen door het netwerk van de Pilot Tiltsensoren. De datapunten zijn verkregen door een automatisch processing, de juistheid van individuele datapunten dienen nog te worden gecontroleerd.



Figuur 7.1: Empirisch PGV model van [9] geplot in een 3D ruimte samen met de afgeleide gemeten PGV's door de accelerometers in het netwerk van de Pilot Tiltsensoren. De Figuur wordt nog onderworpen aan een kwaliteitscontrole

8. Meetbouten

In Figuur 8.1 is een overzicht gegeven van de resultaten van de herhalingswaterpassing van de meetbouten. In Tabel 8.1 zijn gegevens van de meetbouten waar een verschilverplaatsing > 5mm is waargenomen weergegeven. De gemeten verschilverplaatsing bij meetbout 604 en 1207 zijn eerder behandeld bij het analyseren van de tilsensordata. De verschilverplaatsing van meetbout 202 en 203 heeft niet geresulteerd in een gemeten verandering van tilt van de tilsensoren nabij deze meetbouten. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat de beschouwde meetperioden niet geheel overlappen of dat ter plaatse van de tilsensor geen rotatie is opgetreden.



Figuur 8.1: Overzicht gemeten verschilverplaatsingen meetbouten

Tabel 8.1: Overzicht meetbouten met verschilverplaatsing > 5mm

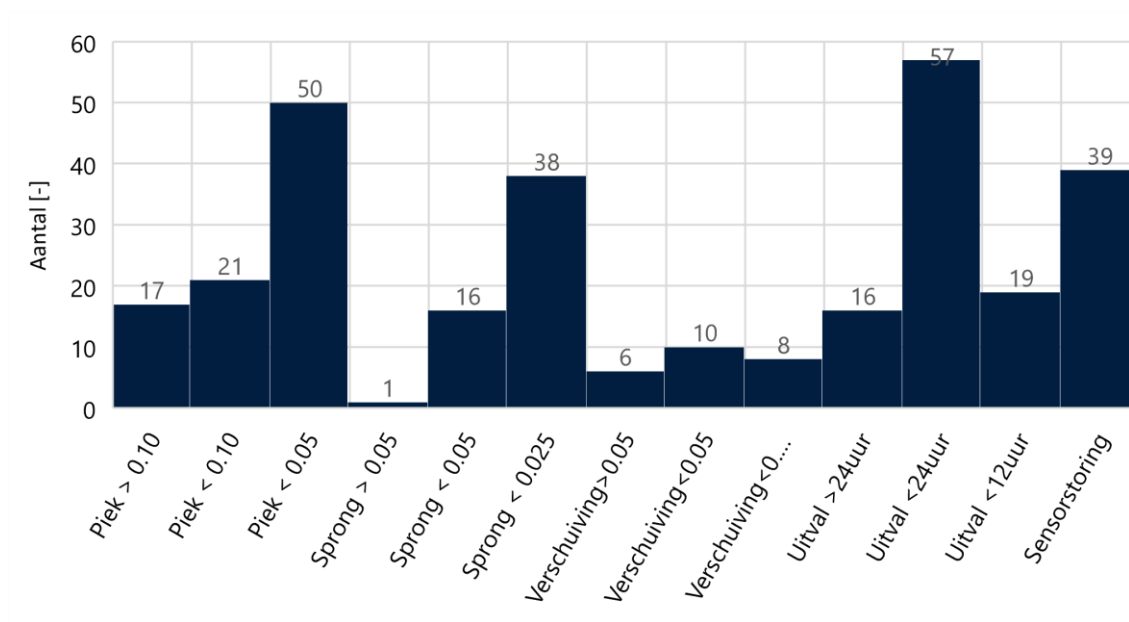
Locatie	A. ID	Nr.	0-meting	1-meting	Vershil [mm]
07_Noordbroek	1900102	203	17-04-20	09-11-20	-8
07_Noordbroek	1900102	202	17-04-20	09-11-20	-9
04_Kantens	1900106	604	20-02-20	12-11-20	-7
13_Appingedam	1900112	1207	27-05-20	19-11-20	-6

9. Conclusie

De Nationaal Coördinator Groningen heeft Fugro opdracht gegeven voor het uitvoeren van de "Pilot Tiltsensoren" in Groningen. Voor het project zijn 13 gebouwen uitgerust met diverse sensoren die het gedrag van de gebouwen en de direct omgeving van de gebouwen monitoren. De toegepaste sensoren zijn; tiltsensoren, accelerometers, peilbuizen, waterspanningsmeters, weerstations en op 3 locaties zeer nauwkeurige tiltsensoren in een boorgat. Naast het gedrag van de gebouwen en de direct omgeving wordt de ontwikkeling van schade bij de gebouwen gemonitord door Archipunt door het uitvoeren van een schadeopname. Naast de schadeopname zijn ook lintvoegmetingen en het waterpassen van geplaatste meetboutjes onderdeel van de scope van Archipunt.

In dit rapport is meetdata tot 1-1-2021 geanalyseerd. Het opstarten van de diverse locaties heeft er voor gezorgd dat het start van de dataverzameling per locatie verschilt. Ook zit er verschil in de uitvoeringsdatum van de werkzaamheden van Archipunt (onderling) en met de werkzaamheden van Fugro, waardoor er geen volledige overlap van de meetperioden is. De gerapporteerde ontwikkeling van de schade door Archipunt is geanalyseerd. Uit de analyse kwamen een groot aantal afwijkingen naar voren. Grote afwijkingen met vergelijkbare studies uit de literatuur, maar ok afwijkingen tussen gerapporteerde ontwikkeling van de schade en de beschikbare foto's waar deze schade ontwikkeling niet uit kon worden afgeleid. Op basis van deze constatering is beoordeeld dat de gerapporteerde schadeontwikkeling niet bruikbaar is voor het doel van de pilot. Het is derhalve niet mogelijk geweest om de ontwikkeling van schade te koppelen aan meetdata van de sensoren.

De meetresultaten van de tiltsensoren zijn geanalyseerd waarbij afwijkende meetbeelden zijn gecategoriseerd en vastgelegd in een database, Figuur 9.1 geeft een overzicht van de database weer. Een analyse van de sensoren met de meeste afwijkende meetbeelden kon vooral worden gekoppeld aan een sensorlocatie nabij deurkozijnen. Één sensor met veel afwijkende meetbeelden betreft een sensor op een muur gelegen op het zuiden. Een mogelijk oorzaak kan de grote temperatuurswisselingen zijn. Een analyse van de datum met het grootste aantal afwijkende meetbeelden (29-12-2020) kon worden gekoppeld aan de M6.9 aardbeving in Kroatië, welke door vrijwel alle sensoren is geregistreerd. De grootste afwijkende meetbeelden (verschuiving van de tilt) konden worden gekoppeld aan het optreden van zetting wat in veel gevallen kan worden gekoppeld met de waterpassing van de meetbouten. De grotere events in de Groningen regio zijn te zien als korte pieken op de tiltsensoren echter allen bij de pilotlocaties in de nabije omgeving. Na de piek is geen blijvende verandering in tilt of het meetbeeld waargenomen.



Figuur 9.1: Overzicht geregistreerde afwijkende meetbeelden

Een beschouwing van de LILY sensoren laat duidelijk de M6.9 aardbeving in Kroatië zien, de gemeten amplitude is vergelijkbaar met die van de tilsensoren aan de muren van de gebouwen van de pilotlocaties. De accelerometers registreren meetwaarden welke vergelijkbaar zijn met die van het KNMI-meetnetwerk. Er is een verschil waargenomen tussen de sensoren in de gebouwen en de sensoren buiten op de meetplaat, waarbij het signaal van de sensoren in de gebouwen een demping laten zien in het response spectrum variërend van minimaal ca. 5% tot meer dan 50% (variërend per locatie, signaal en beschouwde trillingstijd). In dit rapport is geen nader onderzoek gedaan naar deze demping of een nauwkeurigere bepaling van de waargenomen demping.

Op basis van de beschouwde meetdata zijn op 3 locaties blijvende substantiële veranderingen in tilt waargenomen. Door onvoldoende kwaliteit van de opname van de schadeontwikkeling is het niet mogelijk geweest om te constateren of deze meetbeelden zijn gekoppeld aan een toename van de schade aan een gebouw. Met een betere kwaliteit van het monitoren van de schadeontwikkeling is dit bij het vervolg van de pilot wellicht wel mogelijk. Op basis van de beschouwing van de data in dit rapport kan nog geen antwoord worden gegeven op de onderzoeksvragen van de pilot tilsensoren.

10. Literatuur

- [1] H. Borsje and E. A. F. Langius, "Monitoring Network Building Vibrations, TNO 2015 R10501," 2015.
- [2] H. Borsje, J. P. Pruiksmā and S. A. J. de Richemont, "Monitoring Network Building Vibrations - Analysis Earthquake 30-09-2014 Garmerwolde, TNO 2015 R10604," 2015.
- [3] H. Borsje, J. P. Pruiksmā and S. A. J. de Richemont, "Monitoring Network Building Vibrations - Analysis Earthquakes in 2014 and 2015, TNO 2016 R11323/A," 2016.
- [4] TNO, "Monitoring Network Building Vibrations - Analysis Earthquakes 05-11-2014 (Zandeweer), 30-12-2014 (Woudbloem) and 01-01-2015 (Wirdum), TNO 2015 R11382," 2015.
- [5] TNO, "Monitoring Network Building Vibrations Analysis Earthquake 30-09-2015 (Hellum)," 2016.
- [6] H. Borsje, J. P. Pruiksmā and M. Vasic, "Monitoring Network Building Vibrations - Analysis Earthquake 08-01-2018 (Zeerijp), TNO 2018 R10743-B," 2018.
- [7] C. Geurts, M. Pluymaekers and J. Rots, "Schade aan gebouwen door diepe bodemdaling en -stijging, TNO 2021 R10325," TNO, 2021.
- [8] Deltares and TNO, "Data analysis tiltsensors Groningen," 2020.
- [9] J. J. Bommer, P. J. Stafford, M. Ntinalexis, J. van Elk and J. Uilenreef, "Empirical Equations for the Prediction of Peak Ground Velocity due to Induced Earthquakes in the Groningen Gas Field – October 2021," 2021.

Appendix A

Kwaliteitscontrole
schadeopname

Gerapporteerd door Archipunt								Gerapporteerd door Fugro						
Tekeningnummer	schadenummer	Opname 1			Opname 2			Opmerking	L	B	D	Opmerking Fugro	Overeenstemming foto's en meetwaarden archipunt	Oordeel bruikbaarheid fotoopname
		L (mm)	B. Max (mm)	D. Max (mm)	L (mm)2	B. Max (mm)3	D. Max (mm)4							
S1	1	150	1		170	0.1		13%	-90%	-	foto niet scherp op scheurniveau, scheur gaat hoek om waardoor lengtverschil niet goed is te bepalen. Meting scheurbreedte lijkt inconsistent en is niet controleerbaar. Scheur te klein om op te nemen vanaf foto	nee	niet bruikbaar	
S2	2	250	1		250	1		-	-	-	geen foto heropname in interactief document	niet gecontroleerd	niet gecontroleerd	
S3	3	400	0.1		400	0.1		-	-	-	geen foto heropname in interactief document	niet gecontroleerd	niet gecontroleerd	
S4	4	700	0.3		700	0.3		-	-	-	geen foto heropname in interactief document	niet gecontroleerd	niet gecontroleerd	
S5	5	200	0.1		200	0.1		-	-	-	geen foto heropname in interactief document	niet gecontroleerd	niet gecontroleerd	
S6	6	150	0.1		220	0.2		47%	100%	-	Vergelijking foto's lijkt de scheurbreedte te zijn afgenomen in het vlak van de muur. Lengte lijkt niet significant te zijn toegenomen, mogelijk in de richting van het kozijn. Door verschillende hoek van foto niet direct te bepalen	nee	niet bruikbaar	
S7	7	150	0.1		150	0.1		-	-	-	geen foto heropname in interactief document	niet gecontroleerd	niet gecontroleerd	
S8	8	250	0.2		250	0.2		-	-	-	geen foto heropname in interactief document	niet gecontroleerd	niet gecontroleerd	
S9	9	300	0.1		350	0.3		17%	200%	-	Begin en einde scheur niet op foto herhalingsmeting	controle niet mogelijk	niet bruikbaar	
S10	10	300	0.1		300	0.1		-	-	-	geen foto heropname in interactief document	niet gecontroleerd	niet gecontroleerd	
S11	11	500	0.1		500	0.3		-	200%	-	Op basis van foto lijken het 2 scheuren. Lengte niet goed te bepalen om dat begin en einde scheur(en) niet op foto staan. Breedte lijkt te zijn toegenomen	controle niet mogelijk	niet bruikbaar	
S12	12	4700	0.3		4700	0.7		-	133%	-	Begin en einde scheur staan niet op foto's	controle niet mogelijk	niet bruikbaar	
S13	13	150	10		250	10		67%	-	-	Op basis van foto's geen verschil waarneembaar. Foto's niet scherp op scheurniveau	nee	niet bruikbaar	
S14	14	1800	10		1800	10		-	-	-	geen foto heropname in interactief document	niet gecontroleerd	niet gecontroleerd	
S15	15	1000	0.5		1000	0.5		-	-	-	geen foto heropname in interactief document	niet gecontroleerd	niet gecontroleerd	
S16	16	1000	0.2		1000	0.2		-	-	-	geen foto heropname in interactief document	niet gecontroleerd	niet gecontroleerd	
S17	17	1000	2	12	1000	2	7	-	-	-42%	Begin en einde scheur niet op foto's	controle niet mogelijk	niet bruikbaar	
S18	18	3600	0.3		3600	0.8		-	167%	-	Begin en einde scheur niet op foto's	controle niet mogelijk	niet bruikbaar	
S19	19	700						-	-	-	Lijkt hersteld	niet gecontroleerd	niet gecontroleerd	
S20	20	1000	0.2		1050	1.3		5%	550%	-	Begin en einde scheur niet op foto's, toename breedte blijkt niet uit foto's	nee	niet bruikbaar	
S21	21	150	0.5		150	0.5		-	-	-	geen foto heropname in interactief document	niet gecontroleerd	niet gecontroleerd	
S22	22	550						-	-	-	Lijkt hersteld	niet gecontroleerd	niet gecontroleerd	
S23	23	180	0.2		250	0.6		39%	200%	-	Op basis van foto's geen verschil waarneembaar	nee	bruikbaar	
S24	24	1200	0.3		1200	0.3		-	-	-	geen foto heropname in interactief document	niet gecontroleerd	niet gecontroleerd	
S25	25	400	0.1		400	0.2		-	100%	-	Op basis van foto's geen verschil waarneembaar. Foto's van verschillende afstand en hoek. Scheurbreedte door geringe breedte niet controleerbaar op basis van foto	ja	bruikbaar	
S26	26	150	0.4		150	0.4		-	-	-	geen foto heropname in interactief document	niet gecontroleerd	niet gecontroleerd	
S27	27							-	-	-	Moeilijk bereikbaar	niet gecontroleerd	niet gecontroleerd	
S28	28	400	0.1					-	-	-	Niet meetbaar	niet gecontroleerd	niet gecontroleerd	

S29	29	80	0.1		600	0.1			650%	-	-	Scheur niet waarneembaar op foto	controle niet mogelijk	niet bruikbaar
												Op basis van foto's geen verschil waarneembaar. Foto's van verschillende afstand en hoek waardoor nauwkeurige vergelijking niet mogelijk. Begin en einde scheur niet op foto's. gerapporteerde waarden lijken onwaarschijnlijk.	nee	niet bruikbaar
S30	30	700	2	100	1000	10	100		43%	400%	-		nee	niet bruikbaar
S31	31	900	2		900	2		Niet meetbaar	-	-	-	geen foto heropname in interactief document	niet gecontroleerd	niet gecontroleerd
S32	32	600	2		600	2			-	-	-	geen foto heropname in interactief document	niet gecontroleerd	niet gecontroleerd
S33	33	100	2		100	2			-	-	-	geen foto heropname in interactief document	niet gecontroleerd	niet gecontroleerd
S34	34							Moeilijk bereikbaar	-	-	-	geen foto heropname in interactief document	niet gecontroleerd	niet gecontroleerd
S35	35	100	0.2		100	0.2		Schoorsteen kanaal is verwijderd	-	-	-	geen foto heropname in interactief document	niet gecontroleerd	niet gecontroleerd
S36	36	200	0.3		200	0.3			-	-	-	geen foto heropname in interactief document	niet gecontroleerd	niet gecontroleerd
S37	37	100	0.3		100	0.3			-	-	-	geen foto heropname in interactief document	niet gecontroleerd	niet gecontroleerd
S38	38	1800	0.3		1800	0.3			-	-	-	geen foto heropname in interactief document	niet gecontroleerd	niet gecontroleerd
S39	39	500	0.2		500	0.2			-	-	-	geen foto heropname in interactief document	niet gecontroleerd	niet gecontroleerd
S40	40	1000	0.2		1000	0.2			-	-	-	geen foto heropname in interactief document	niet gecontroleerd	niet gecontroleerd
S41	41	600	0.3	60	721	1.5		Diepte bij herhaalmeting niet opgenomen	20%	400%	-	Op basis van foto's geen verschil waarneembaar. Foto's van verschillende afstand en hoek. Gerapporteerde waarden lijken onwaarschijnlijk	nee	niet bruikbaar
S42	42	2300	15		2300	15			-	-	-	geen foto heropname in interactief document	niet gecontroleerd	niet gecontroleerd
S43	43	2300	1.1		2300	1.2			-	9%	-	Op basis van foto's geen verschil waarneembaar. Foto's van verschillende afstand en hoek. Begin en einde scheur niet op foto's. controle breedte niet mogelijk	controle niet mogelijk	niet bruikbaar
S44	44	1000	0.5		1100	0.8			10%	60%	-	Op basis van foto's geen verschil waarneembaar. Foto's van verschillende afstand en hoek. Begin en einde scheur niet op foto's	controle niet mogelijk	niet bruikbaar
S45	45	1080	1.1		1200	1.2			11%	9%	-	Op basis van foto's geen verschil waarneembaar. Foto's van verschillende afstand en hoek. Begin en einde scheur niet op foto's. Scheurmeter verkeerd afgelezen	nee	niet bruikbaar
S46	46	500	2	137	500	2	137		-	-	-	geen foto heropname in interactief document	niet gecontroleerd	niet gecontroleerd
S47	47	500	0.6					Schoorsteen kanaal is verwijderd	-	-	-	geen foto heropname in interactief document	niet gecontroleerd	niet gecontroleerd
S48	48	600	0.5					Schoorsteen kanaal is verwijderd	-	-	-	geen foto heropname in interactief document	niet gecontroleerd	niet gecontroleerd
S49	49	2000	10	210	2200	15		Diepte bij herhaalmeting niet opgenomen	10%	50%	-	Op basis van foto's geen verschil waarneembaar. Foto's van verschillende afstand en hoek. Begin en einde scheur niet op foto's.	controle niet mogelijk	niet bruikbaar
S50	50	500	0.1	210	500	0.1	210		-	-	-	geen foto heropname in interactief document	niet gecontroleerd	niet gecontroleerd
S51	51	500	0.3		650	5			30%	1567%	-	Op basis van foto's geen verschil waarneembaar. Foto's van verschillende afstand en hoek. Begin en einde scheur niet op foto's. breedte Opname 1 lijkt onwaarschijnlijk	nee	niet bruikbaar
S52	52	1500	0.2		1500	0.2			-	-	-	geen foto heropname in interactief document	niet gecontroleerd	niet gecontroleerd
S53	53	700	0.1		700	0.1			-	-	-	geen foto heropname in interactief document	niet gecontroleerd	niet gecontroleerd
S54	54	1000	0.1		1400	0.1			40%	-	-	Scheur niet waarneembaar op foto herhalingsmeting	controle niet mogelijk	niet bruikbaar
S55	55							Moeilijk bereikbaar	-	-	-	geen foto heropname in interactief document	niet gecontroleerd	niet gecontroleerd
S56	56							Moeilijk bereikbaar	-	-	-	geen foto heropname in interactief document	niet gecontroleerd	niet gecontroleerd
S57	57	1000	0.2		1100	0.4			10%	100%	-	foto herhalingsmeting niet scherp, geen verschil waarneembaar op basis van foto	controle niet mogelijk	niet bruikbaar

S58	58	1000	0.3		1000	1.1			-	267%	-	Op basis van foto's geen verschil waarneembaar. Foto's van verschillende afstand en hoek. Begin en einde scheur niet op foto's. scheurmeter gemonteerd. Toename dikte lijkt onwaarschijnlijk	nee	niet bruikbaar
S59	59	550	4	180	700	5	Diepte bij herhaalmeting niet opgenomen		27%	25%	-	foto herhalingsmeting niet scherp, geen verschil waarneembaar op basis van foto. Toename lengte blijkt niet uit foto	nee	niet bruikbaar
S60	60	700	0.2	13	700	6	Diepte bij herhaalmeting niet opgenomen	-	2900%	-	-	foto opname 1 niet scherp, geen verschil waarneembaar op basis van foto. Gerapporteerde breedte bij opname 1 lijkt onwaarschijnlijk	nee	niet bruikbaar
S61	61	600	0.2		600	0.3		-	50%	-	-	foto's niet scherp geen verschil waarneembaar. Gerapporteerde toename in breedte lijkt mogelijk	ja	niet bruikbaar
S62	62						Moeilijk bereikbaar	-	-	-	-	geen foto heropname in interactief document	niet gecontroleerd	niet gecontroleerd
S63	63						Moeilijk bereikbaar	-	-	-	-	geen foto heropname in interactief document	niet gecontroleerd	niet gecontroleerd
S64	64						Moeilijk bereikbaar	-	-	-	-	geen foto heropname in interactief document	niet gecontroleerd	niet gecontroleerd
S65	65	500	1.3	13	600	1.5	Diepte bij herhaalmeting niet opgenomen	20%	15%	-	-	Op basis van foto geen verschil waarneembaar. Toename lengte lijkt onwaarschijnlijk door begrenzing tussen 2 muren	nee	niet bruikbaar
S66	66	700	0.3		800	1.8		14%	500%	-	-	Op basis van foto geen verschil waarneembaar. Opname van breedte bij initiele opname lijkt niet kloppen	nee	niet bruikbaar

Appendix B

1418-0227-010_sensor-test

1418-0227-010 Sensor Test

To: TDG
From: Fugro
Date: 12 June 2020
Ref no.: 1418-0227-010
Subject: Sensor Test

Fugro has concerns about the data quality of the "SENSEBOX7003-TD" sensor which was purchased from TDG which is used in the Fugro project 1418-0227-000. In order to investigate the concerns a number of tests have been performed. The goal of this test is to assist in the confirmation or denial of these concerns. In this memo a description of the test is provided, the results are shown in graphs and conclusions are drawn.

Description of the test

Several aspects of the concerns are investigated

1. Investigate the influence of the Plexiglas mounting plate (as described in Fugro report 1418-0227-010.R01)
2. Investigate the influence of temperature to the output of the sensor

The sensors used in this test are indicated in Table .1 together with the thermal shift correction as provided by TDG.

Table .1: Serial numbers of sensors used in test an provided calibration factors by TDG

Serial number	Measured thermal shift in [deg / °C] x 10 ⁻³		
	x	y	z
100001911000001	1.43	-2.52	-0.38
100001911000002	2.97	0.57	0.916
100001911000003	0.53	-0.58	2.57
100001911000004	-0.53	1.42	3.03

Four "SENSEBOX7003-TD" sensors are mounted on a wall close to each other as shown in Table 2. For all three test configuration 1 day of data is collected. A fifth sensor is also installed this is a dynamic Epson accelerometer/tiltsensor, for brevity this data is not presented in this memo. In the graphs presented in this memo sampling is performed at 1 Hz and a sample every minute, causing the difference in line thickness between "Test 1" and "Test 2".

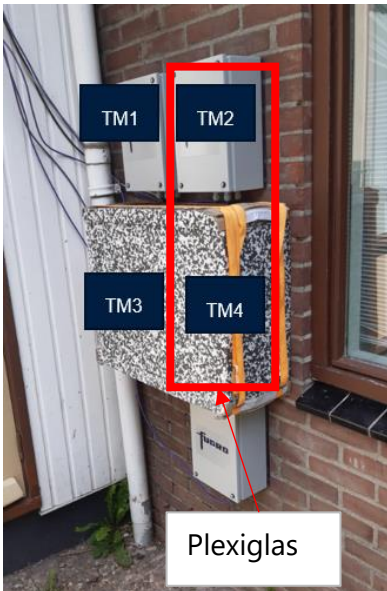
In Table 2, 4 photographs are presented showing the different test configurations. The configuration vary in the use of the Plexiglass mounting plate, a cover by an insulating box and sensor location (test 3). In test 4 the sensors are mounted on the ground to be able to check the y-axis of the sensor. In the

graphs presented on the next page the test results are shown. In each graph the result of 1 axis of the 4 tilt sensors of 1 test configuration is shown. The labelling numbering corresponds to the numbering in Table 2. Additionally in the legend the presence of the plexi glass mounting plate is indicated with (P) and the presence of the isolating box with (I). Two versions of the data is presented the data uncorrected for temperature (indicated with "c" after the sensor ID) and with the temperature correction with the factors as presented in Table .1.

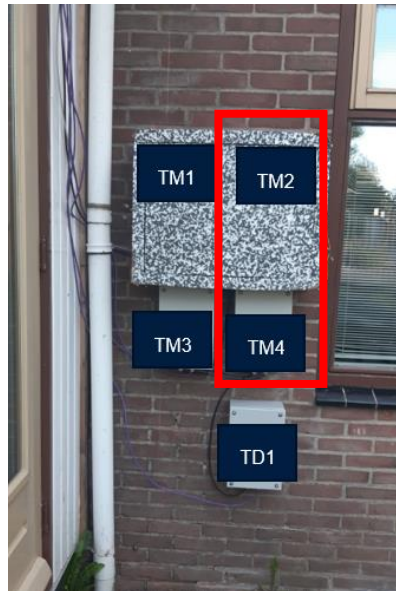
From the results it can be concluded that the temperature correction factors provided by TDG in general do not reduce the temperature dependency of the output and sometimes increase the temperature dependency of the output. This test demonstrates the need for an improved temperature correction factor to increase the accuracy of the sensors.

Table 2: description of the tests performed

Test 1



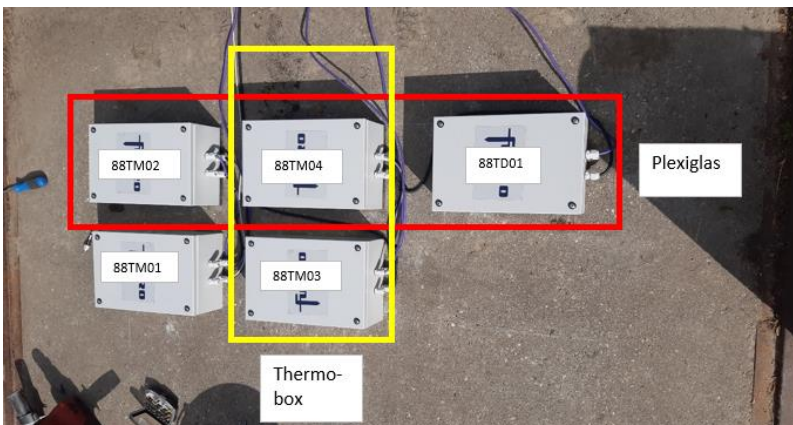
Test 2



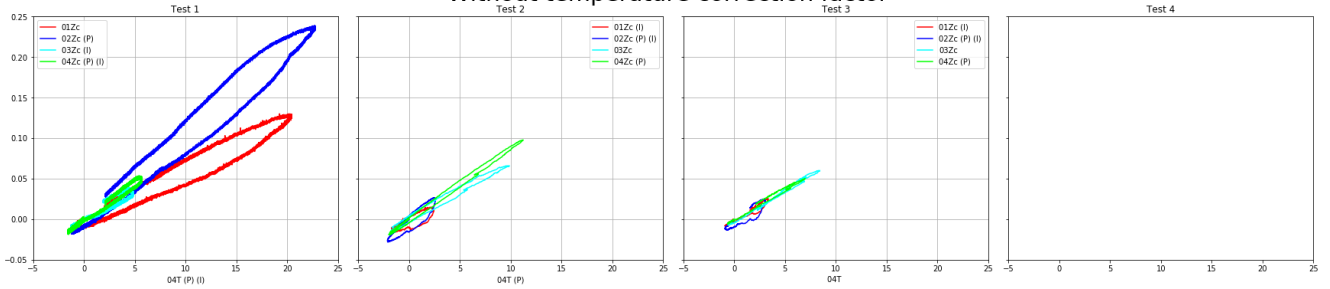
Test 3



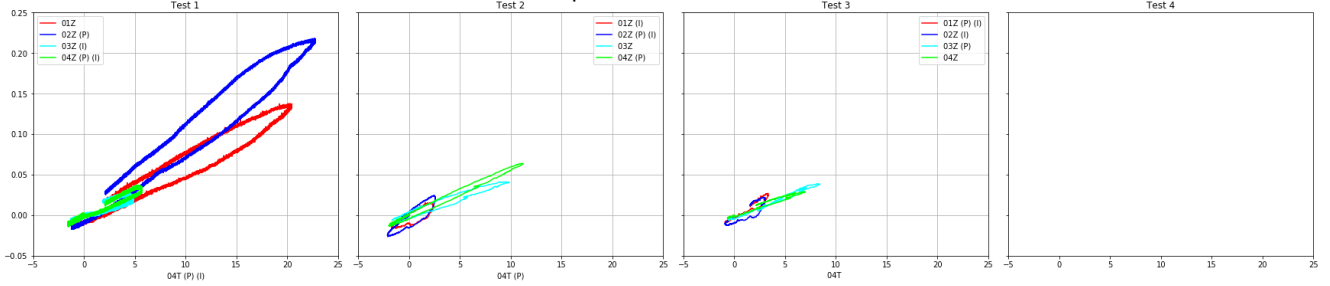
Test 4



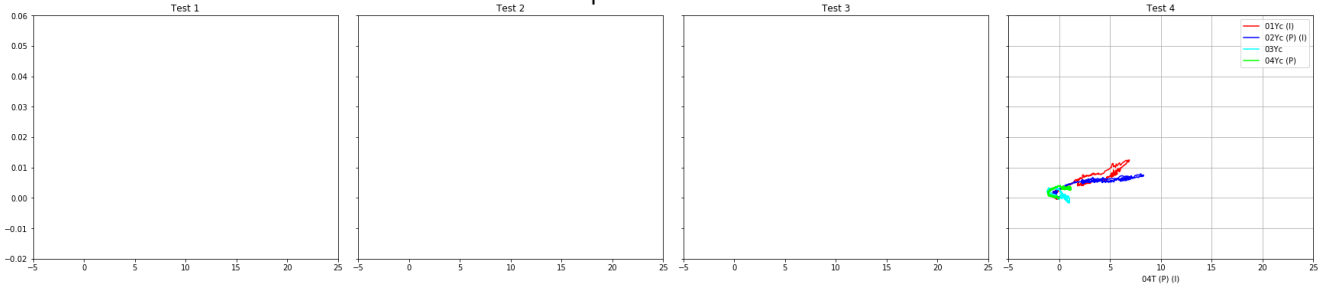
Without temperature correction factor



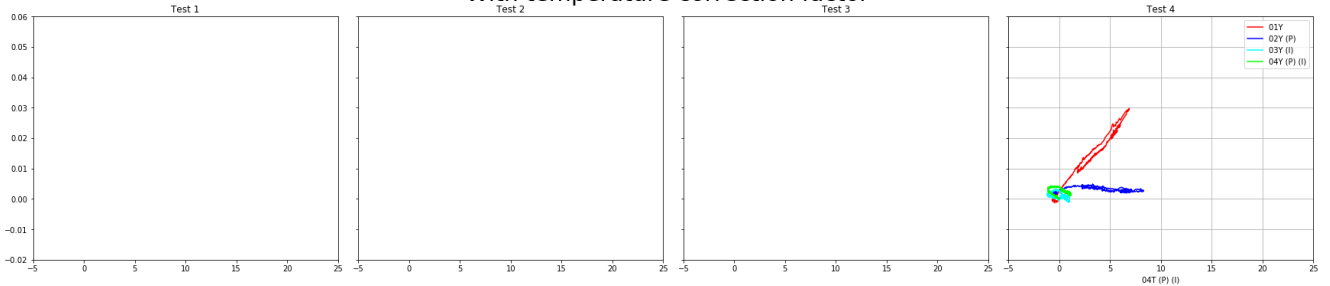
With temperature correction factor



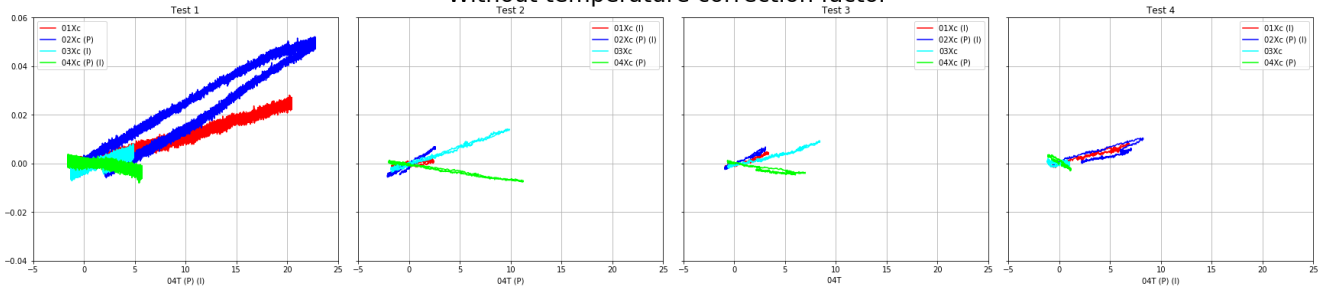
Without temperature correction factor



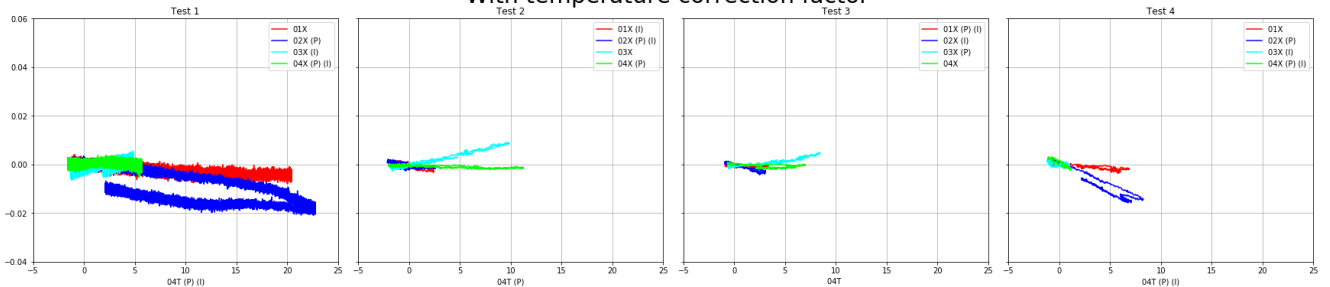
With temperature correction factor



Without temperature correction factor



With temperature correction factor



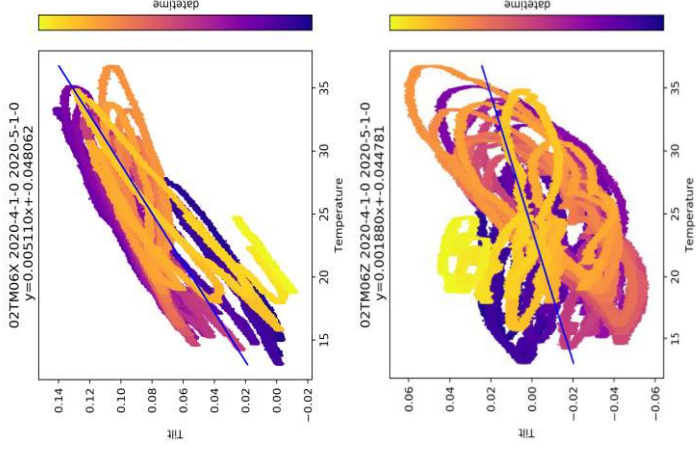
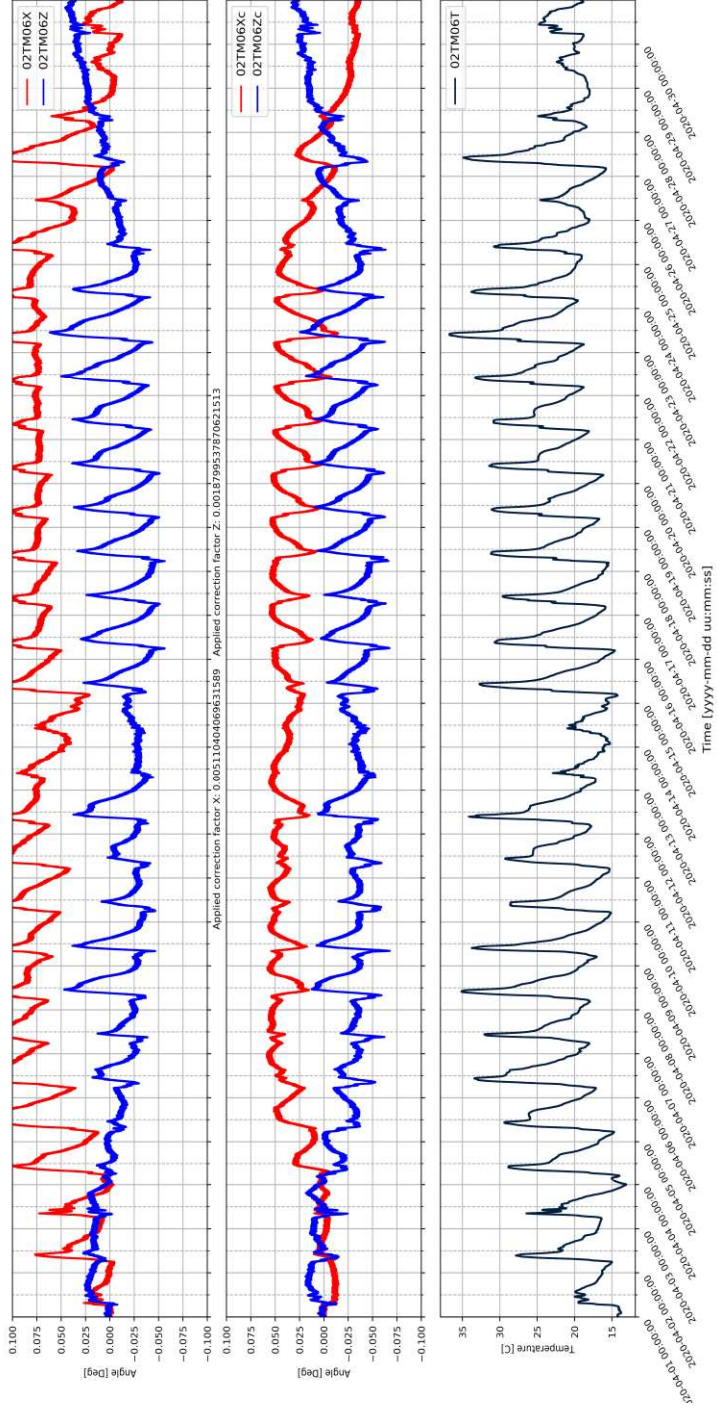
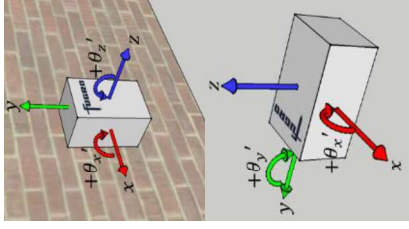
Appendix C

10TM13 2020-12

1418-0227-010 Pilot Tiltensoren Groningen

Plattegrond sensorlocatie

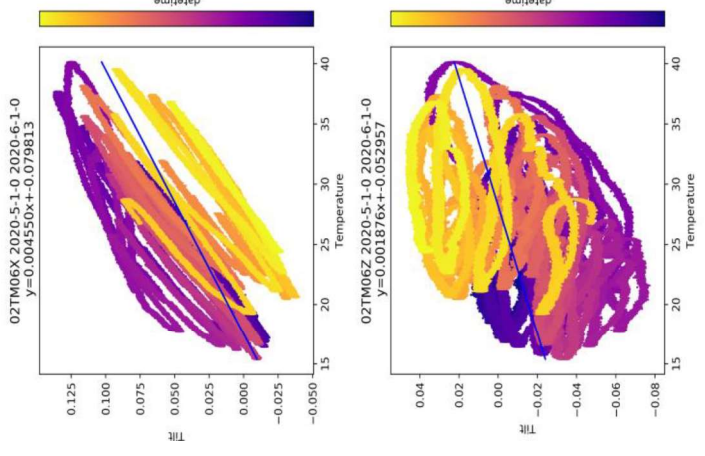
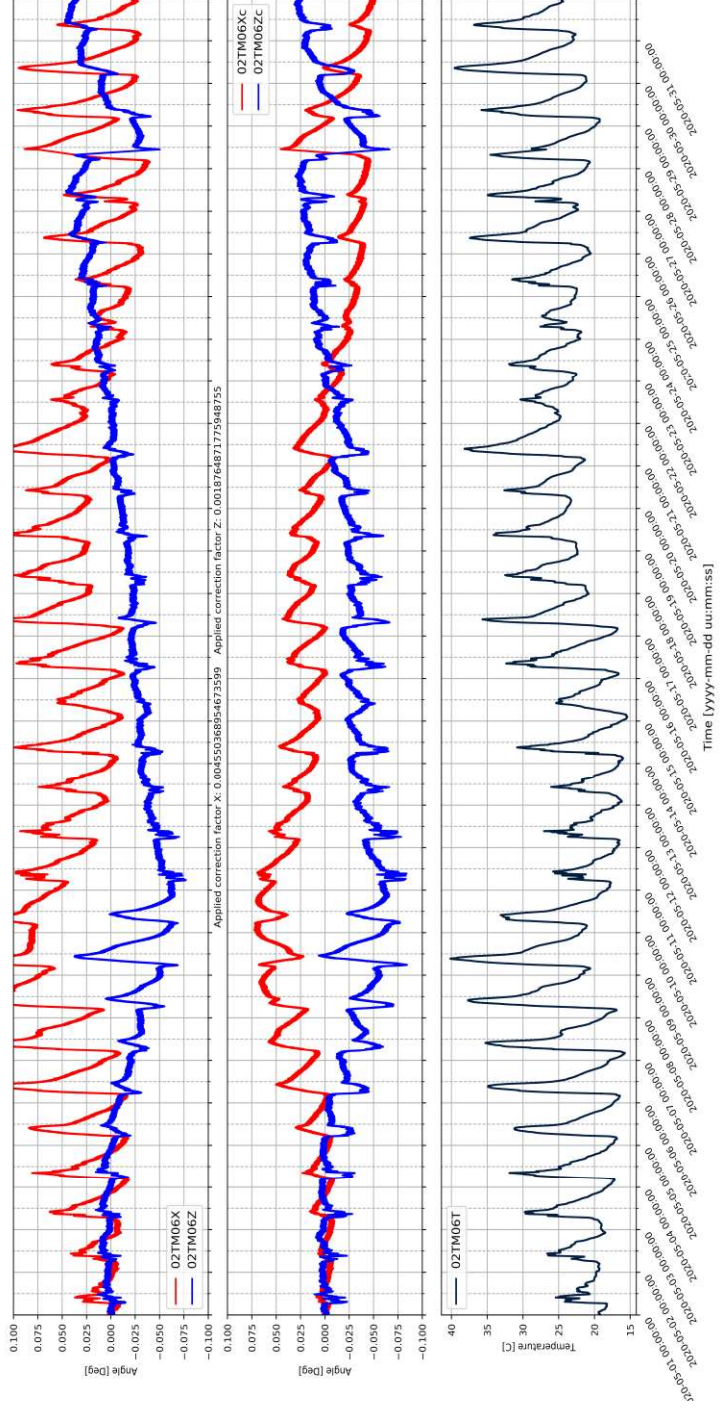
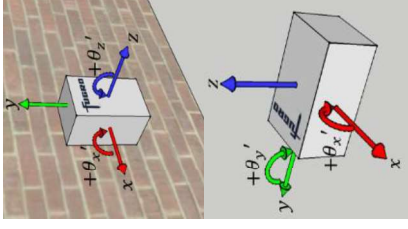
Foto sensorlocatie



1418-0227-010 Pilot Tiltensoren Groningen

Plattegrond sensorlocatie

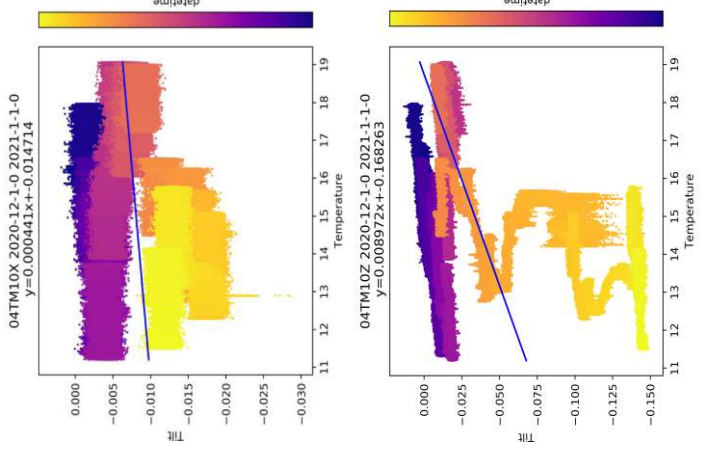
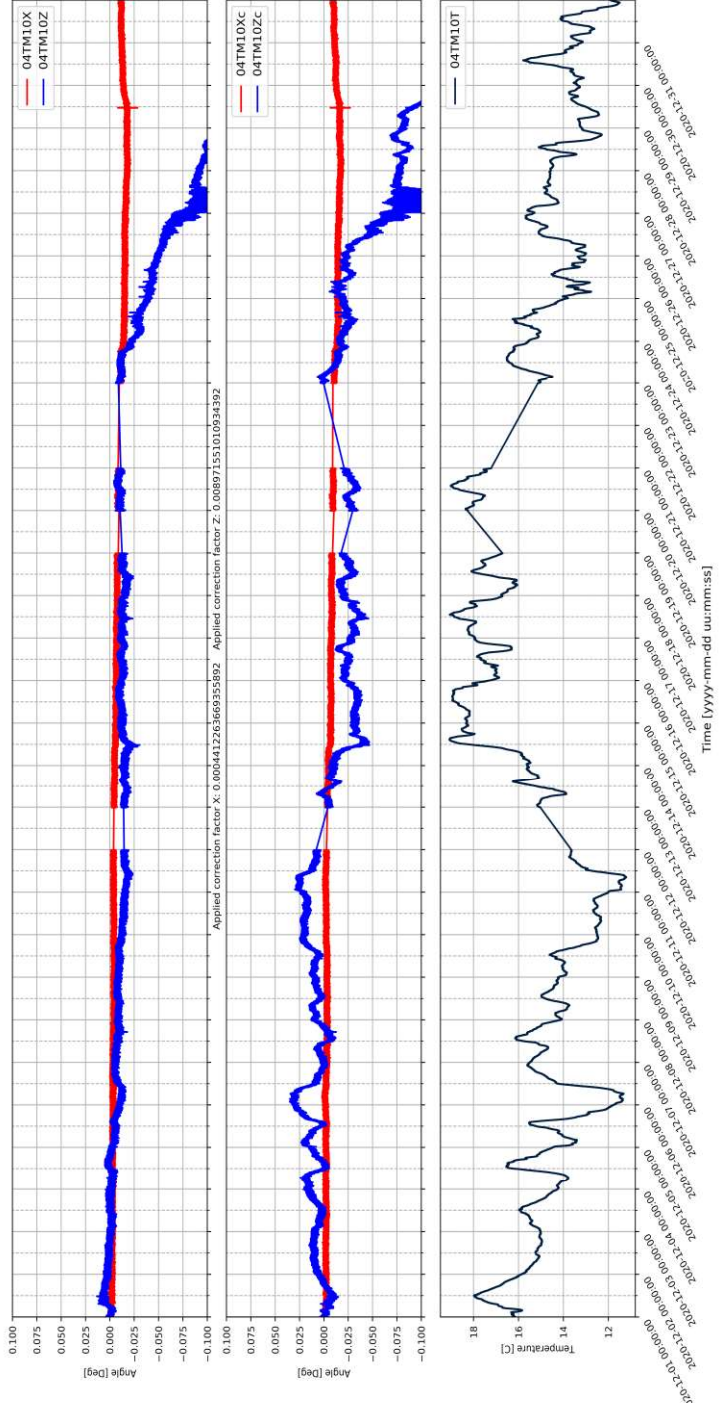
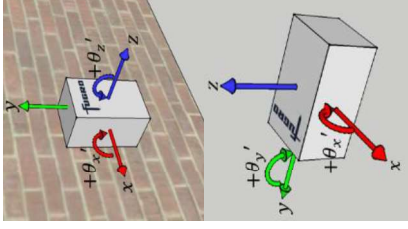
Foto sensorlocatie



1418-0227-010 Pilot Tiltensoren Groningen

Plattegrond sensorlocatie

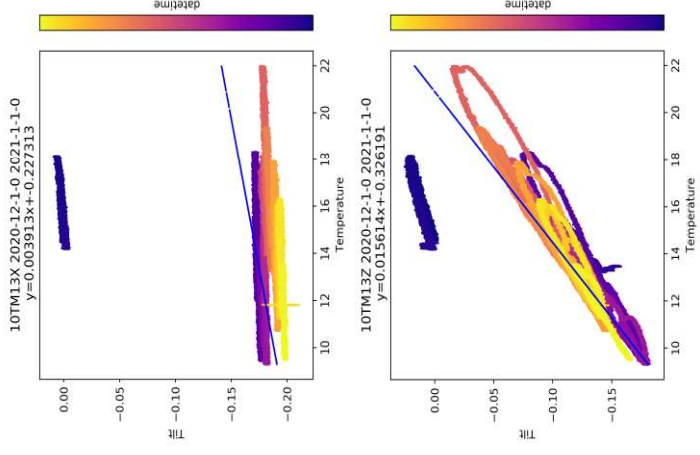
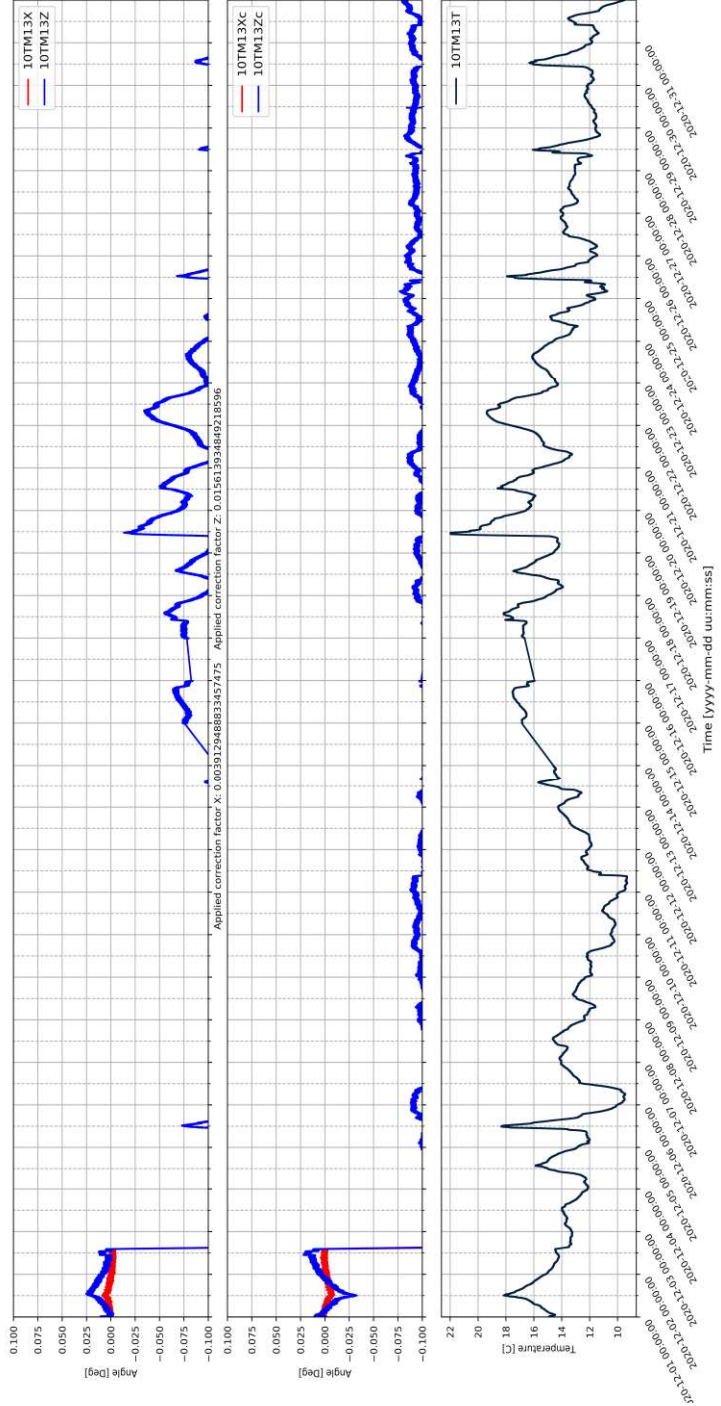
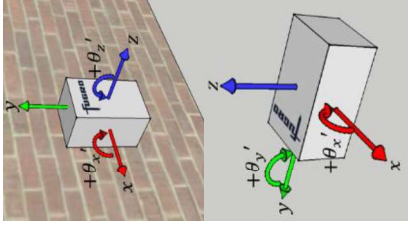
Foto sensorlocatie



1418-0227-010 Pilot Tiltensoren Groningen

Plattegrond sensorlocatie

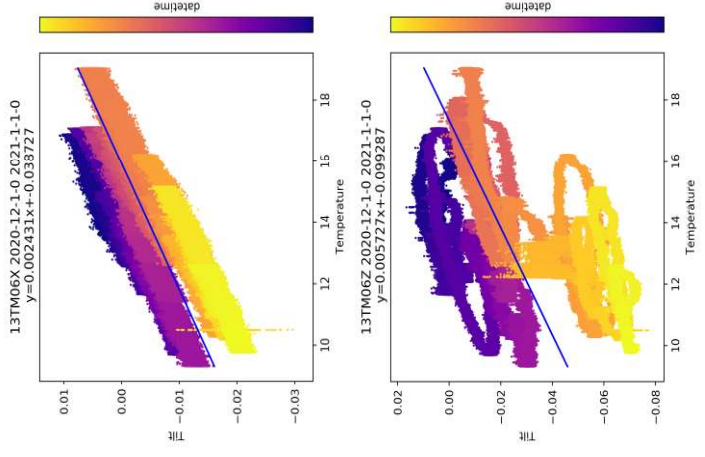
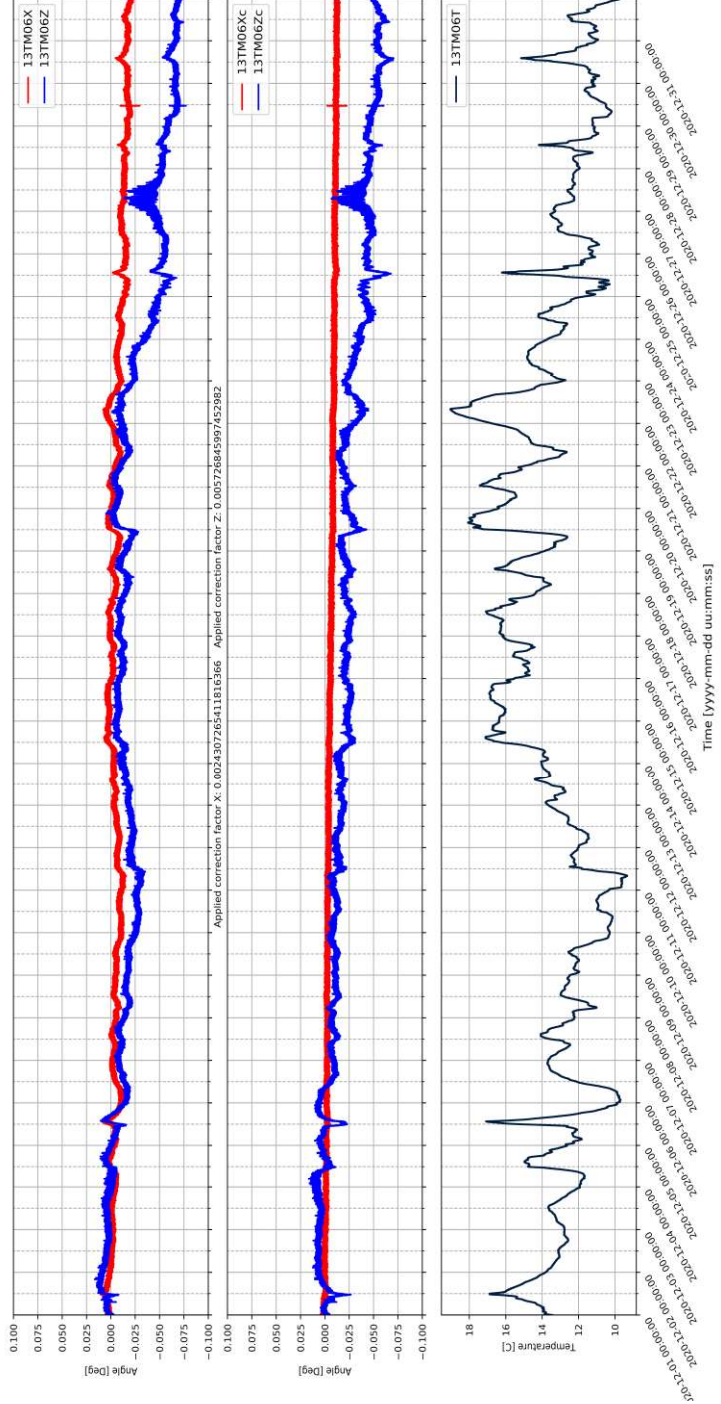
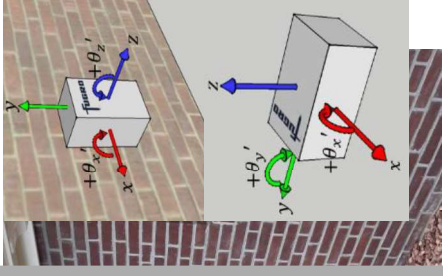
Foto sensorlocatie



1418-0227-010 Pilot Tiltensoren Groningen

Plattegrond sensorlocatie

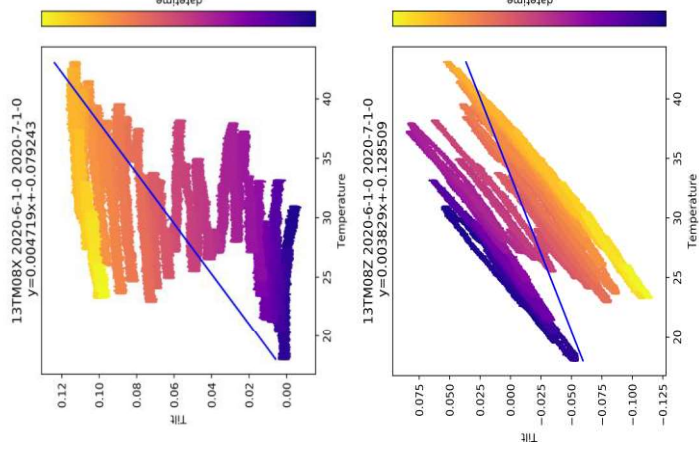
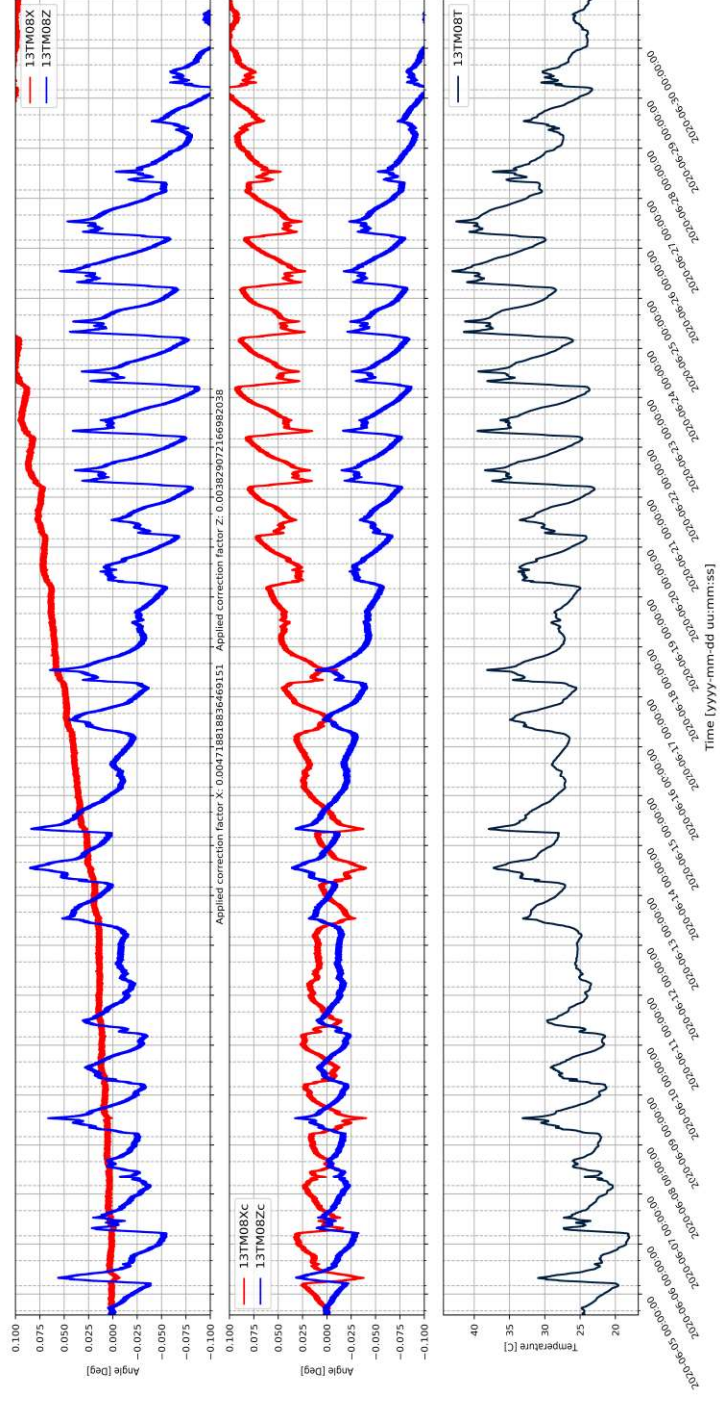
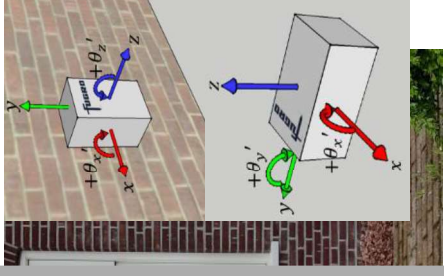
Foto sensorlocatie



1418-0227-010 Pilot Tiltensoren Groningen

Plattegrond sensorlocatie

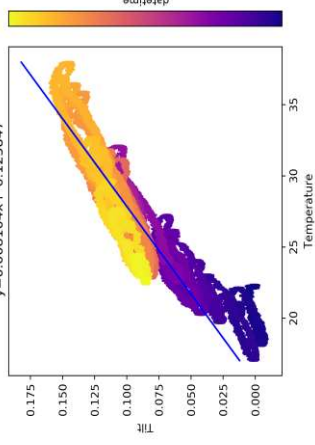
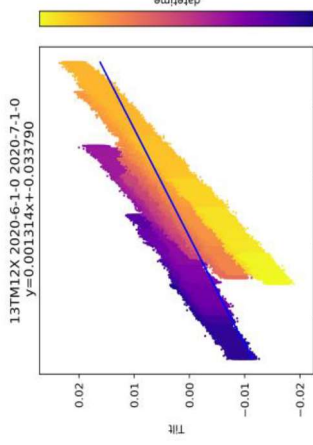
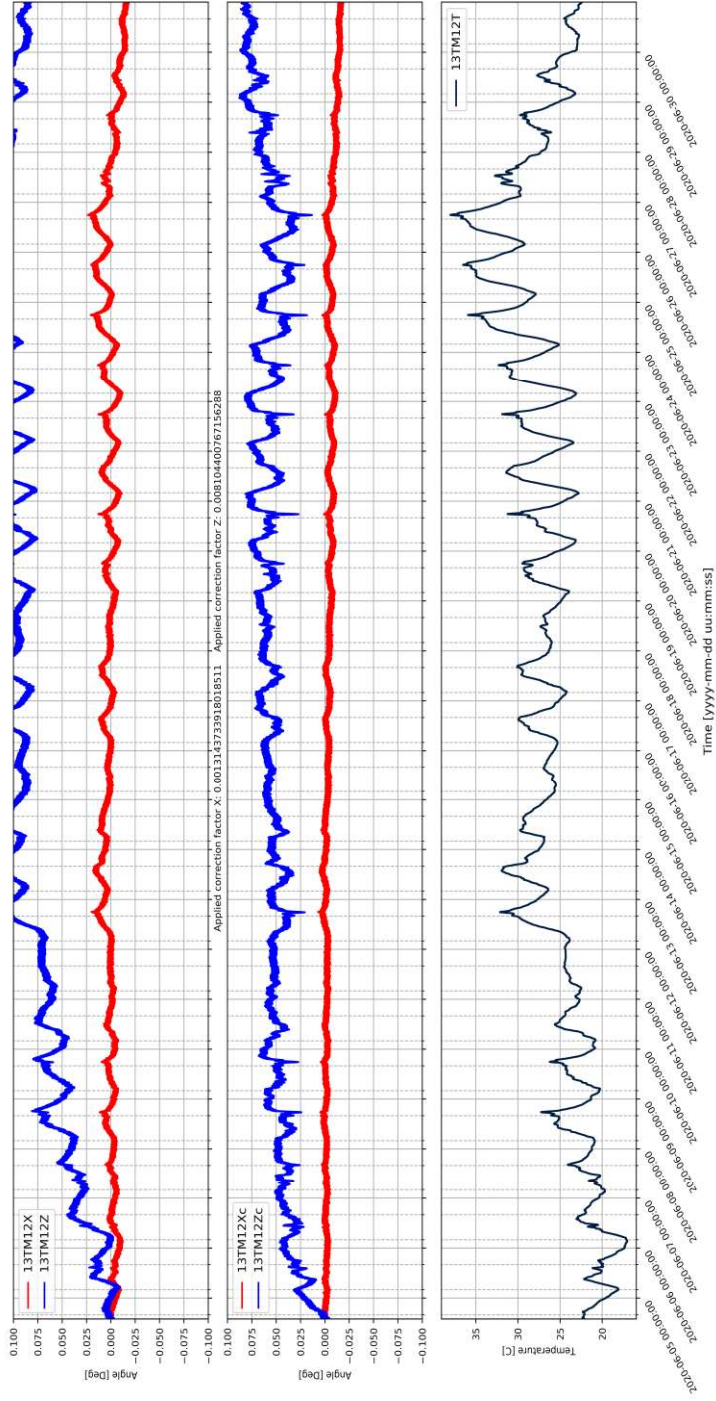
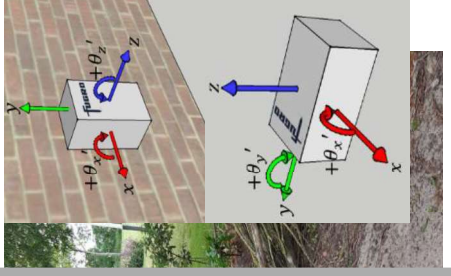
Foto sensorlocatie



1418-0227-010 Pilot Tiltensoren Groningen

Plattegrond sensorlocatie

Foto sensorlocatie



Appendix D

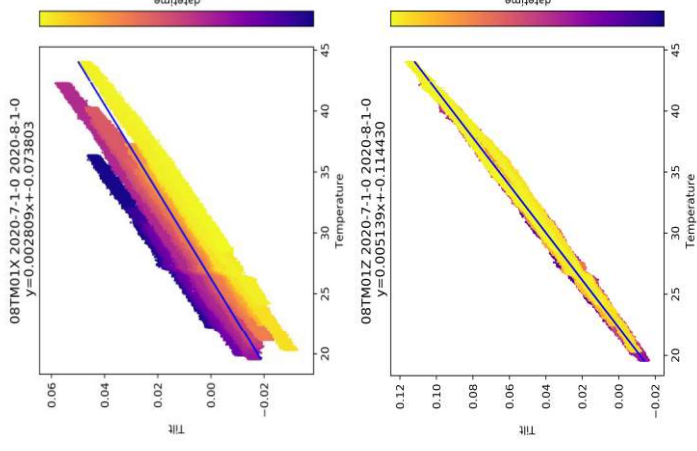
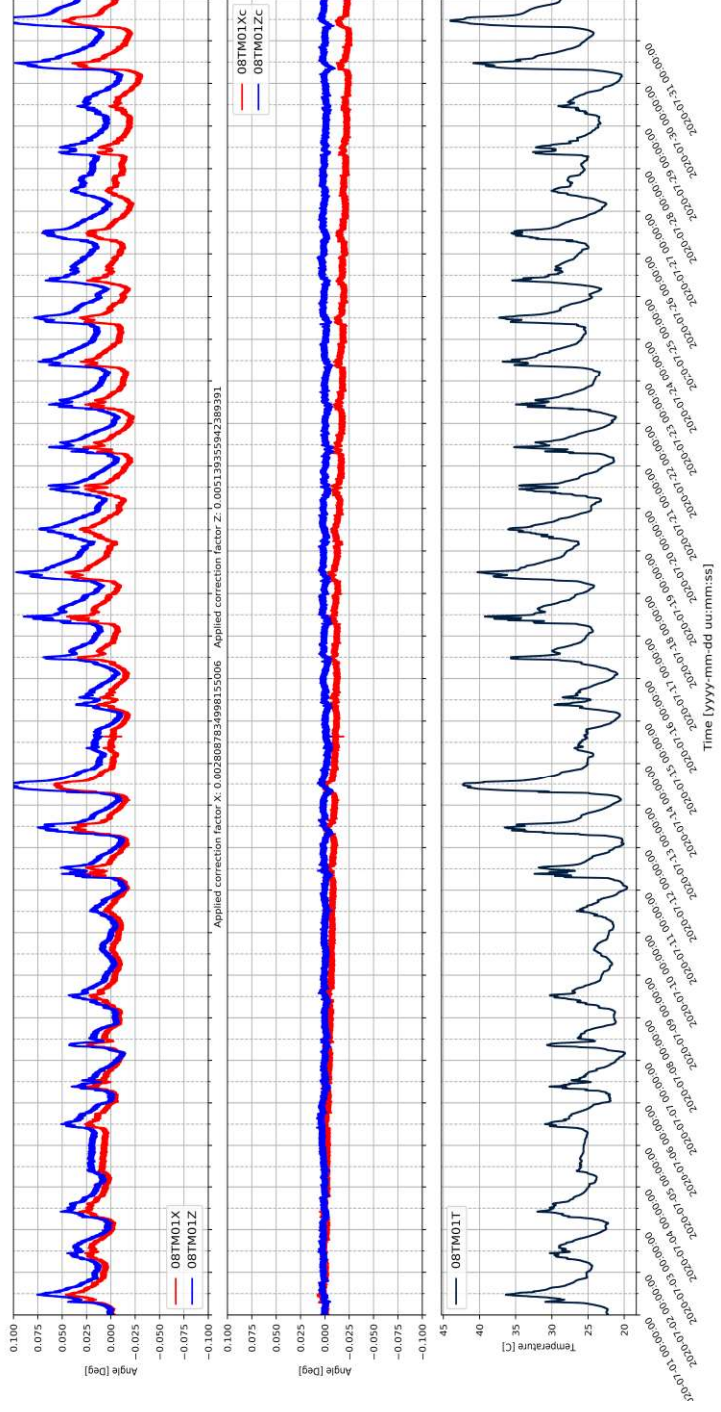
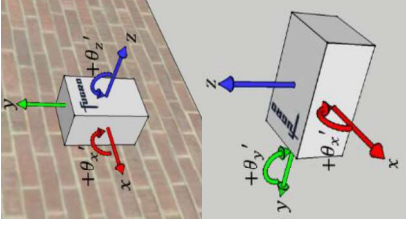
TM metingen events $M > 2.0$

1418-0227-010 Pilot Tiltensoren Groningen

Plattegrond sensorlocatie



Foto sensorlocatie



1418-0227-010 Pilot Tiltensoren Groningen

Plattegrond sensorlocatie

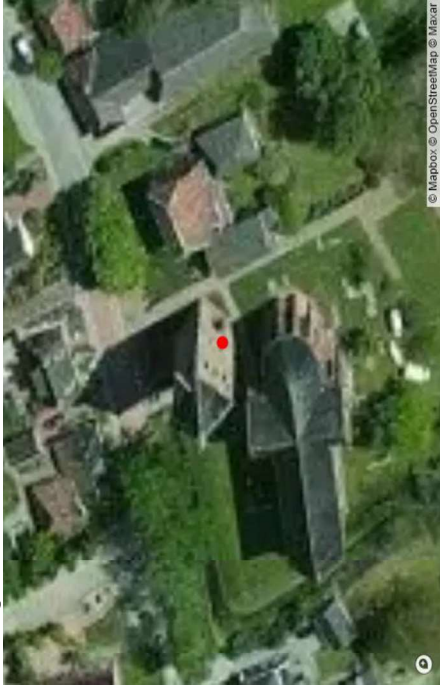
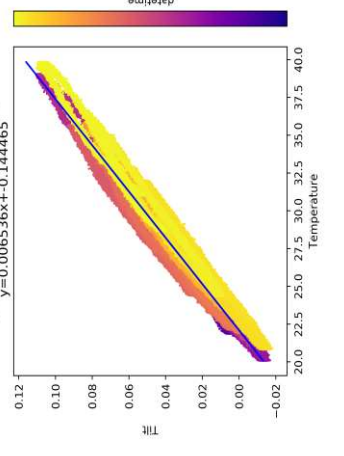
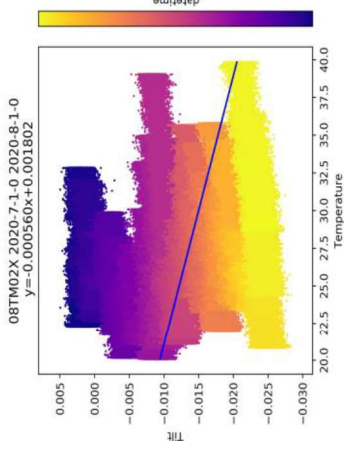
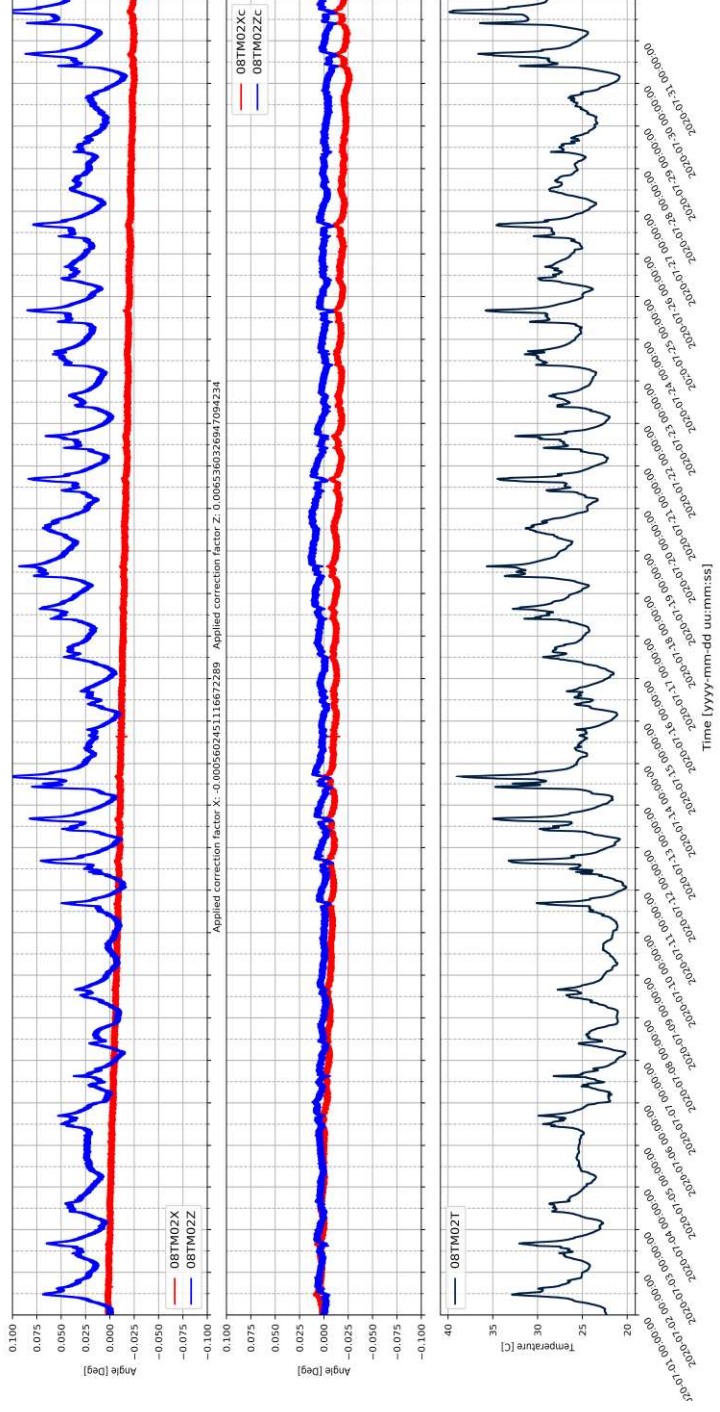
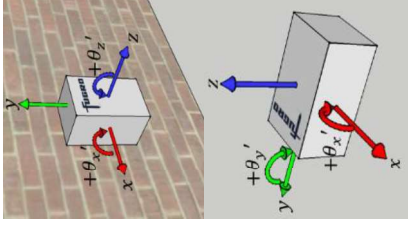


Foto sensorlocatie



1418-0227-010 Pilot Tiltensoren Groningen

Plattegrond sensorlocatie

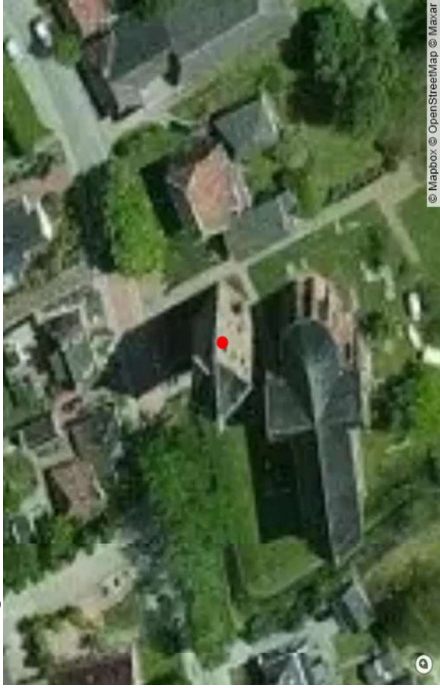
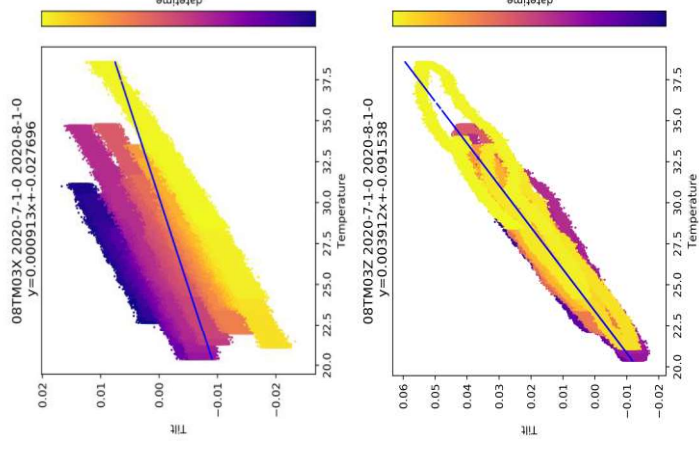
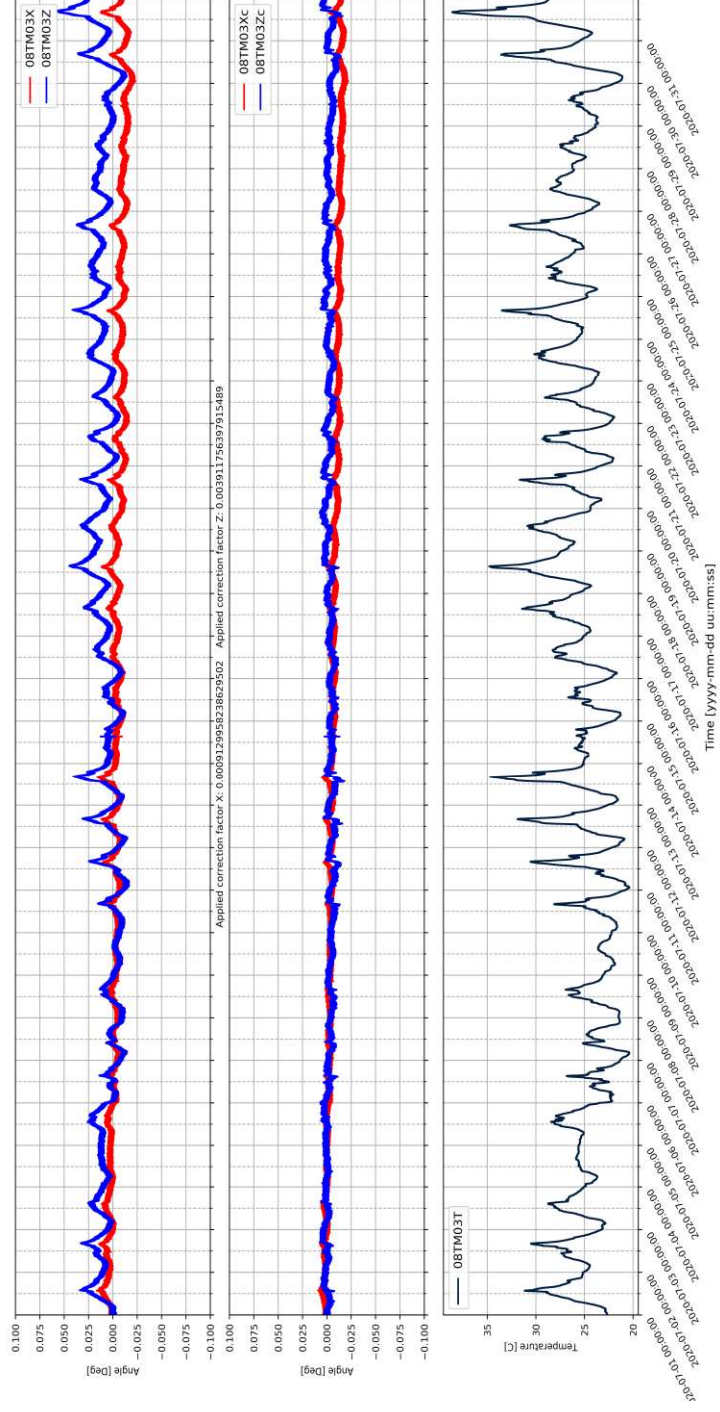
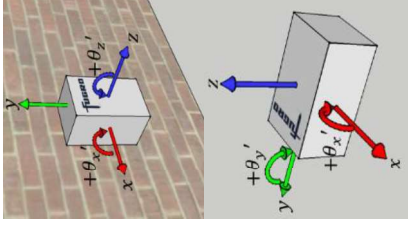


Foto sensorlocatie



1418-0227-010 Pilot Tiltensoren Groningen

Plattegrond sensorlocatie

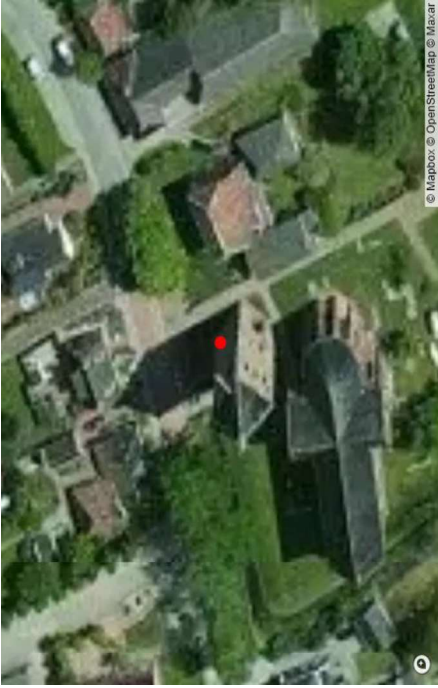
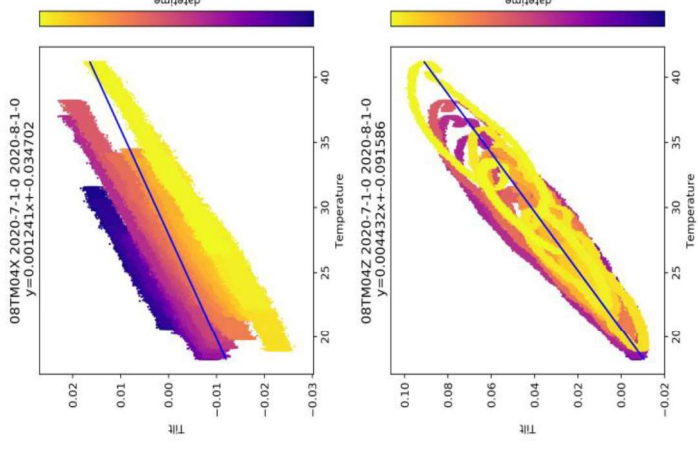
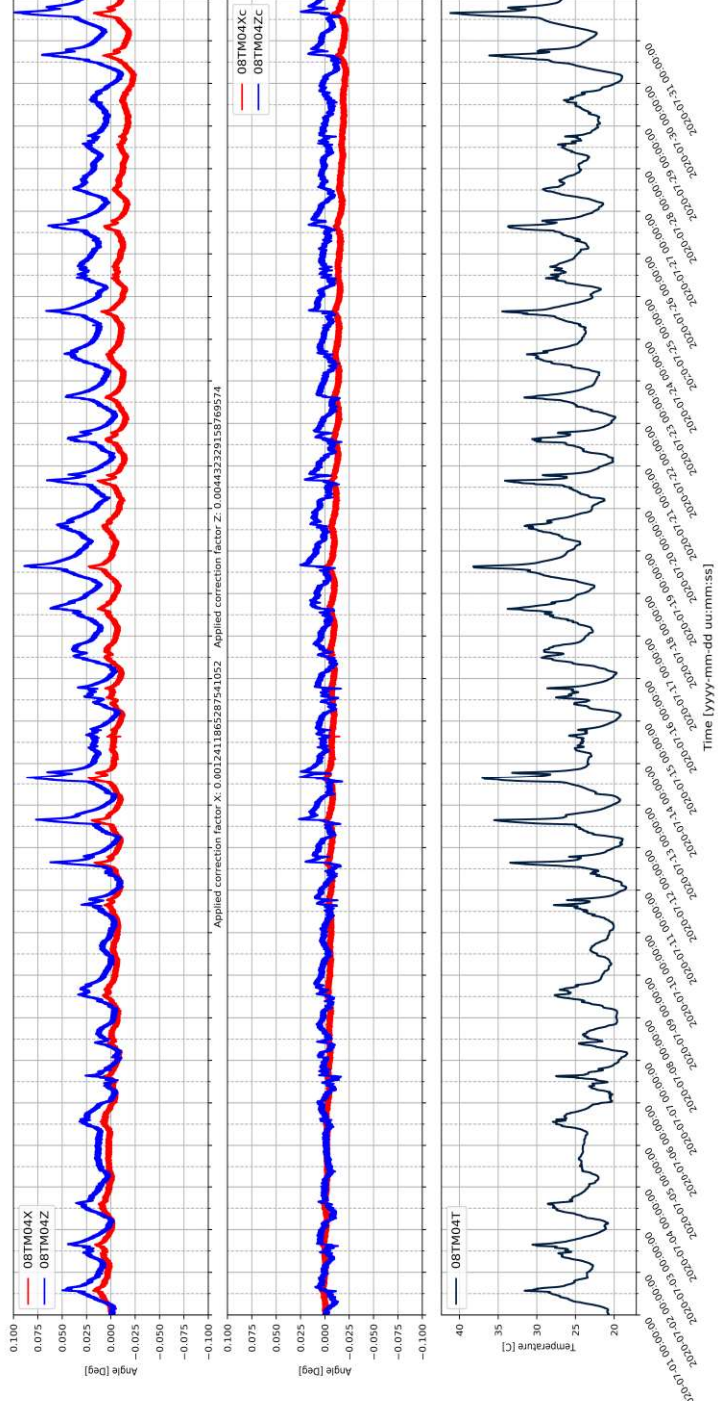
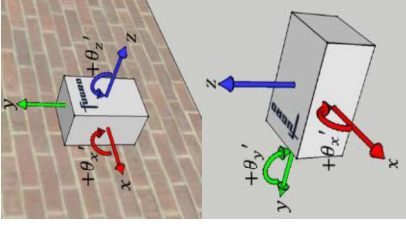


Foto sensorlocatie

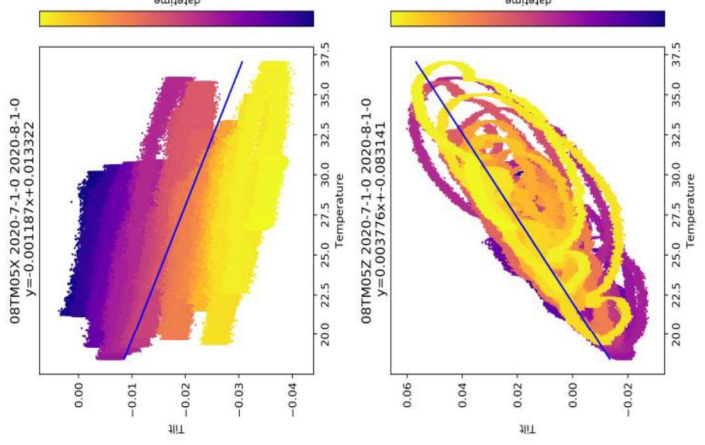
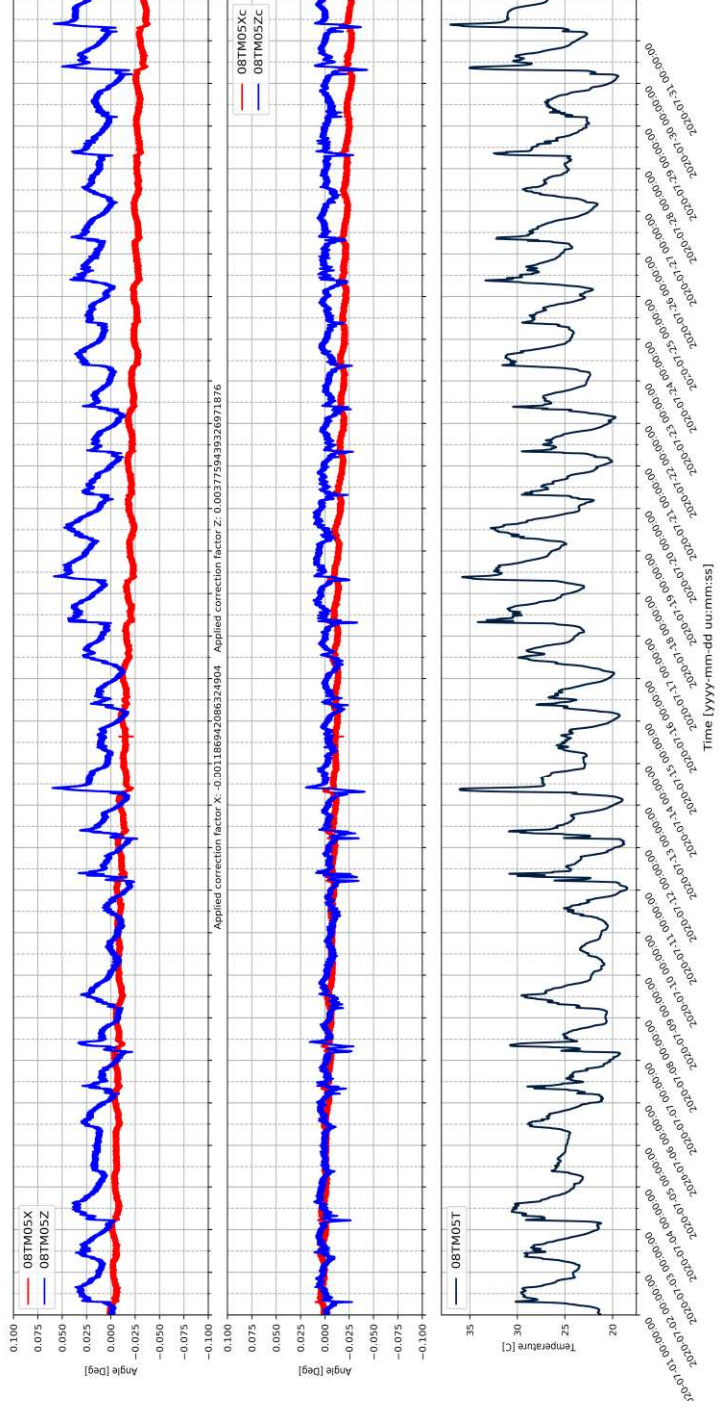
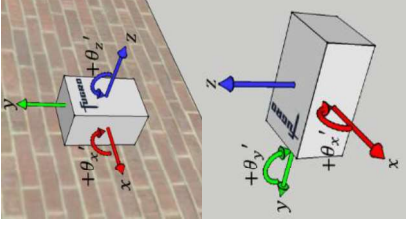


1418-0227-010 Pilot Tiltensoren Groningen

Plattegrond sensorlocatie



Foto sensorlocatie



1418-0227-010 Pilot Tiltensoren Groningen

Plattegrond sensorlocatie

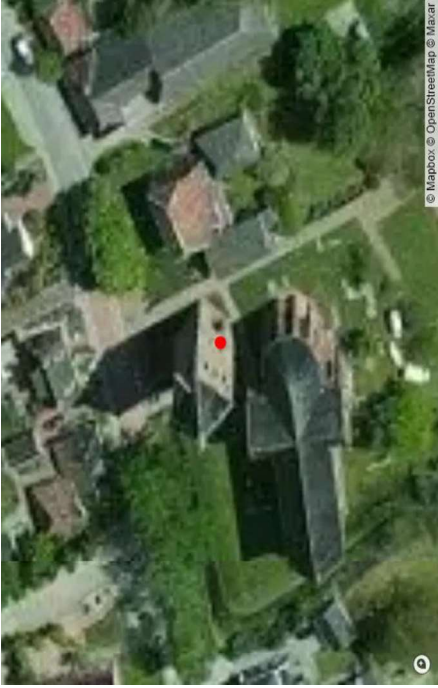
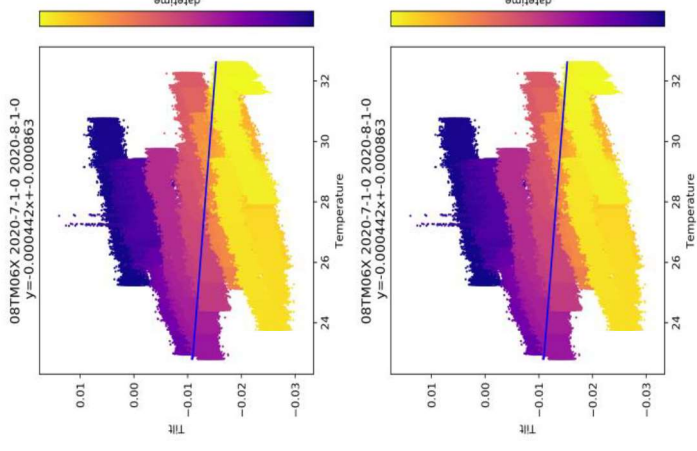
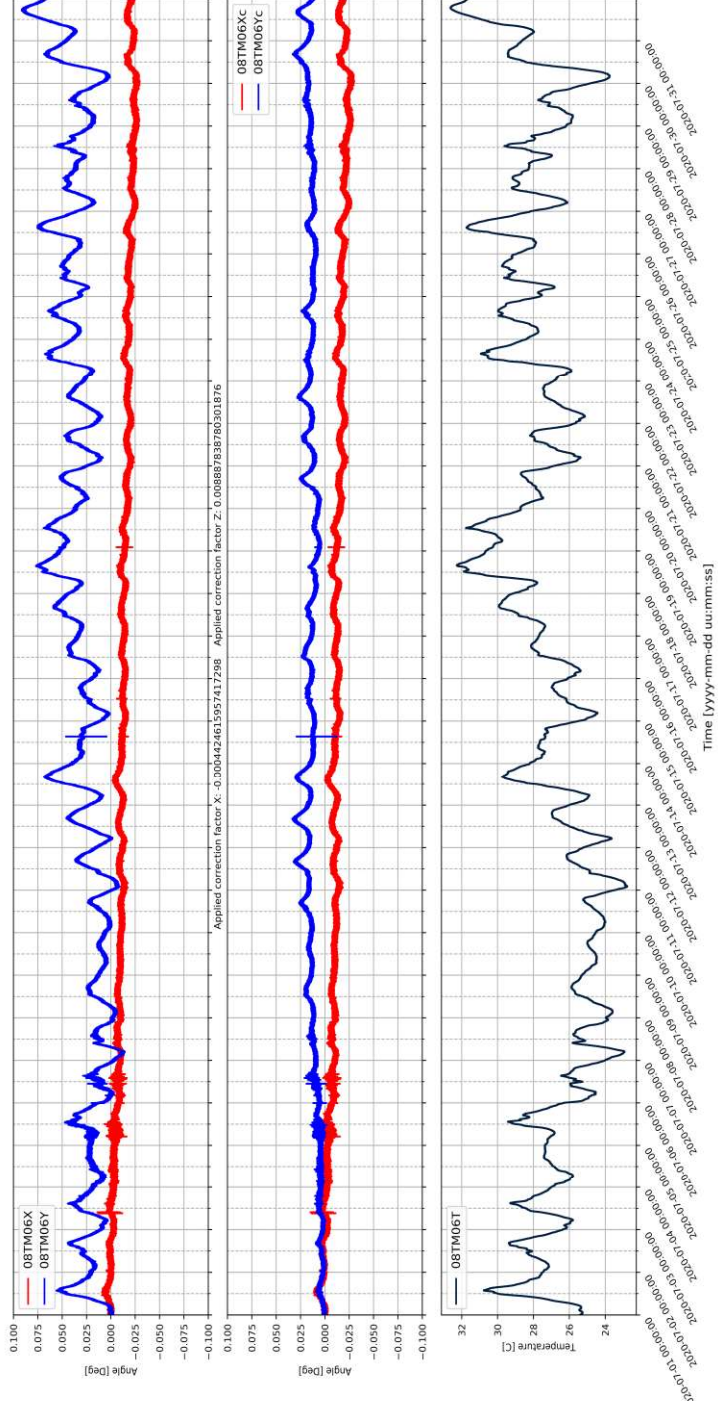
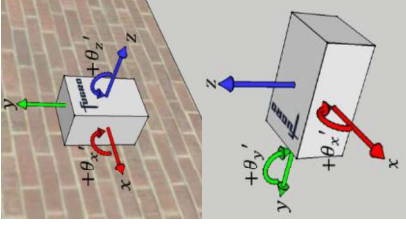


Foto sensorlocatie

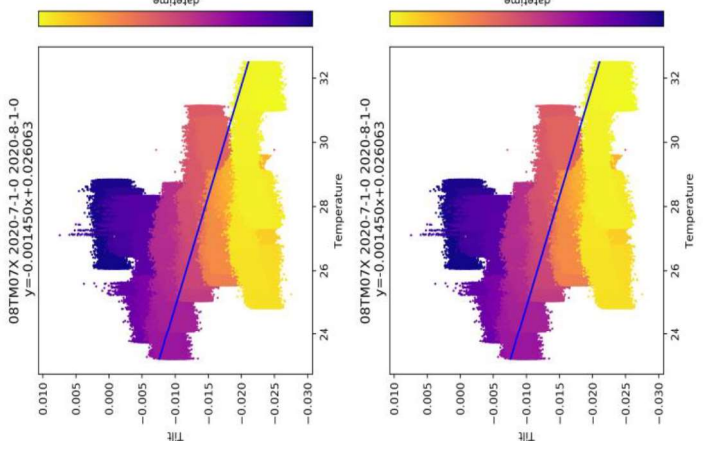
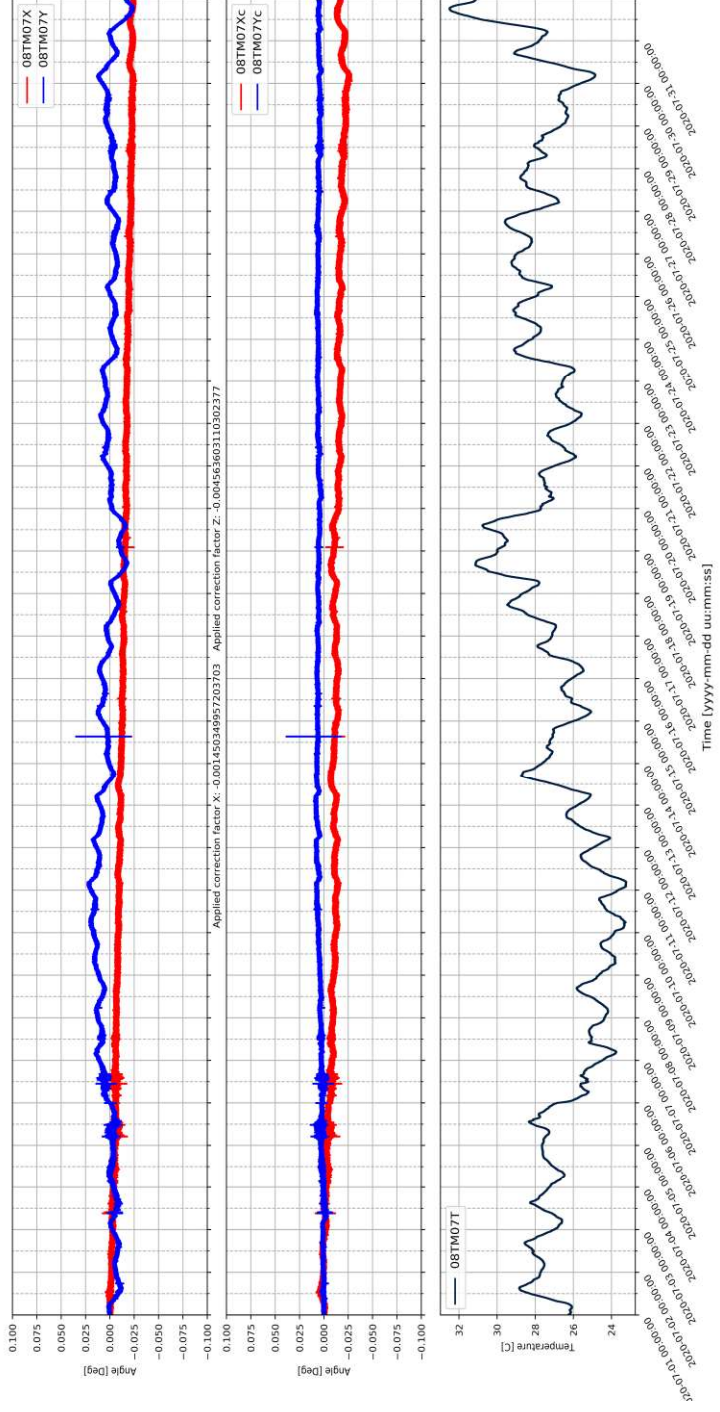
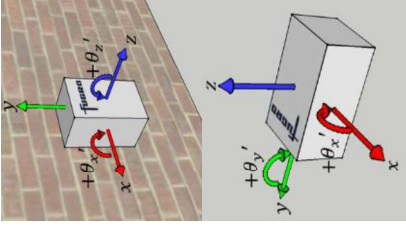


1418-0227-010 Pilot Tiltensoren Groningen

Plattegrond sensorlocatie



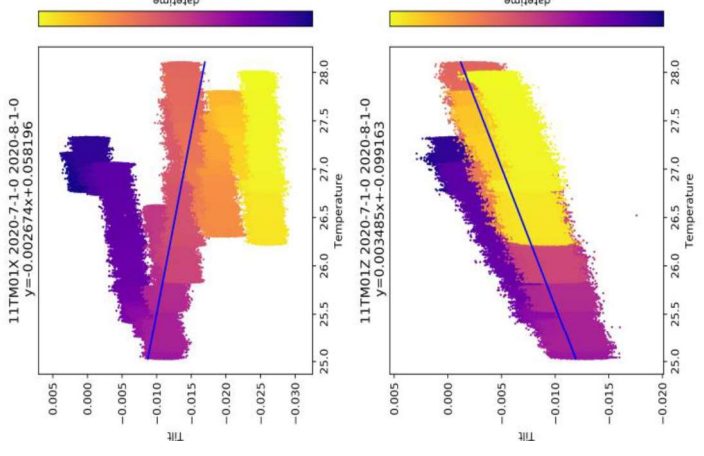
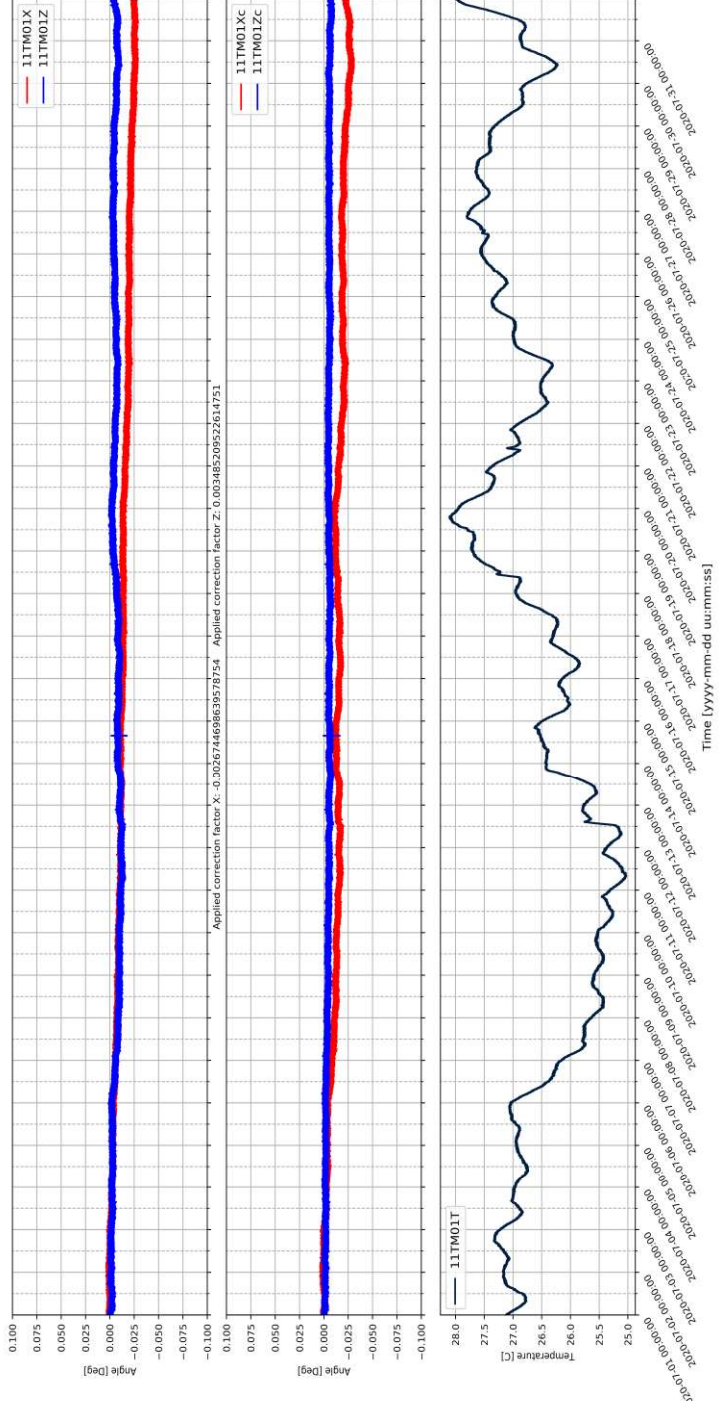
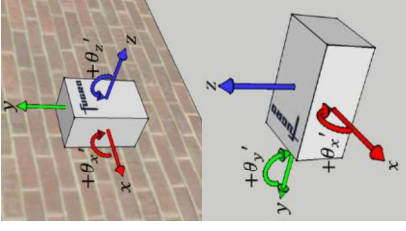
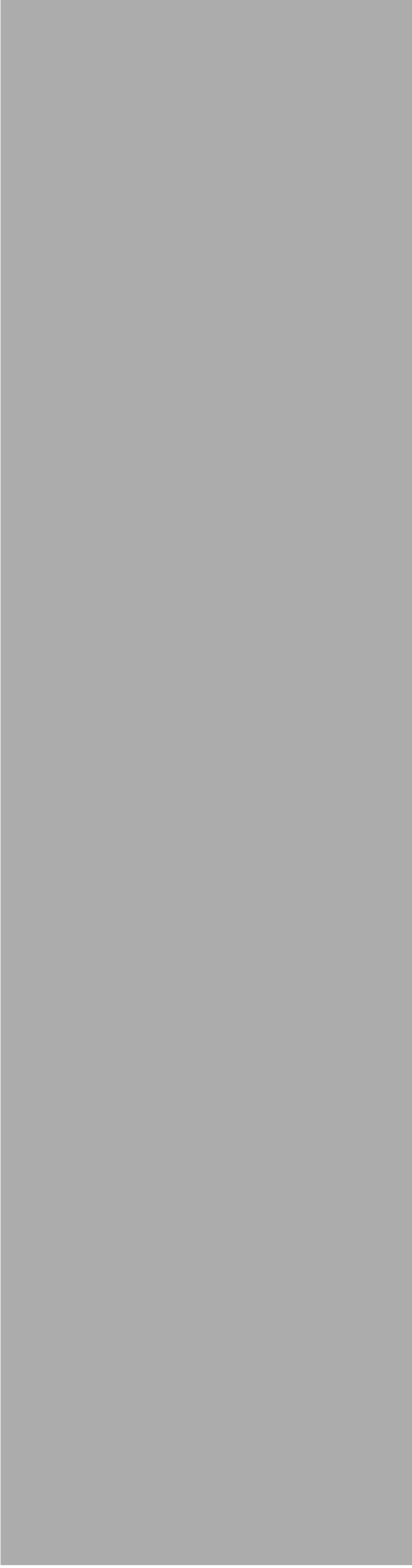
Foto sensorlocatie



1418-0227-010 Pilot Tiltensoren Groningen

Plattegrond sensorlocatie

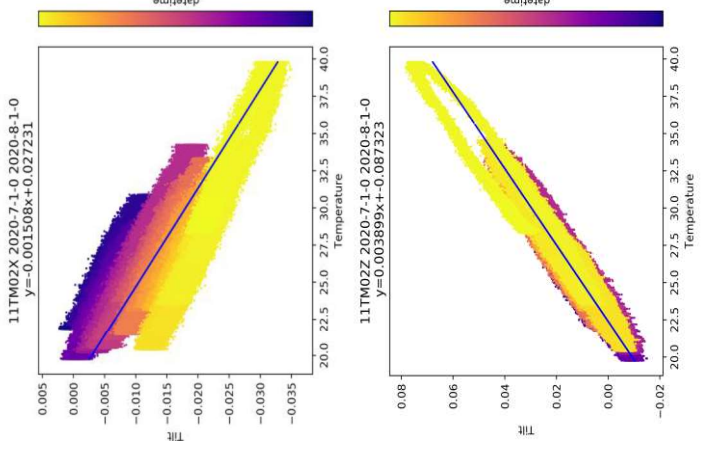
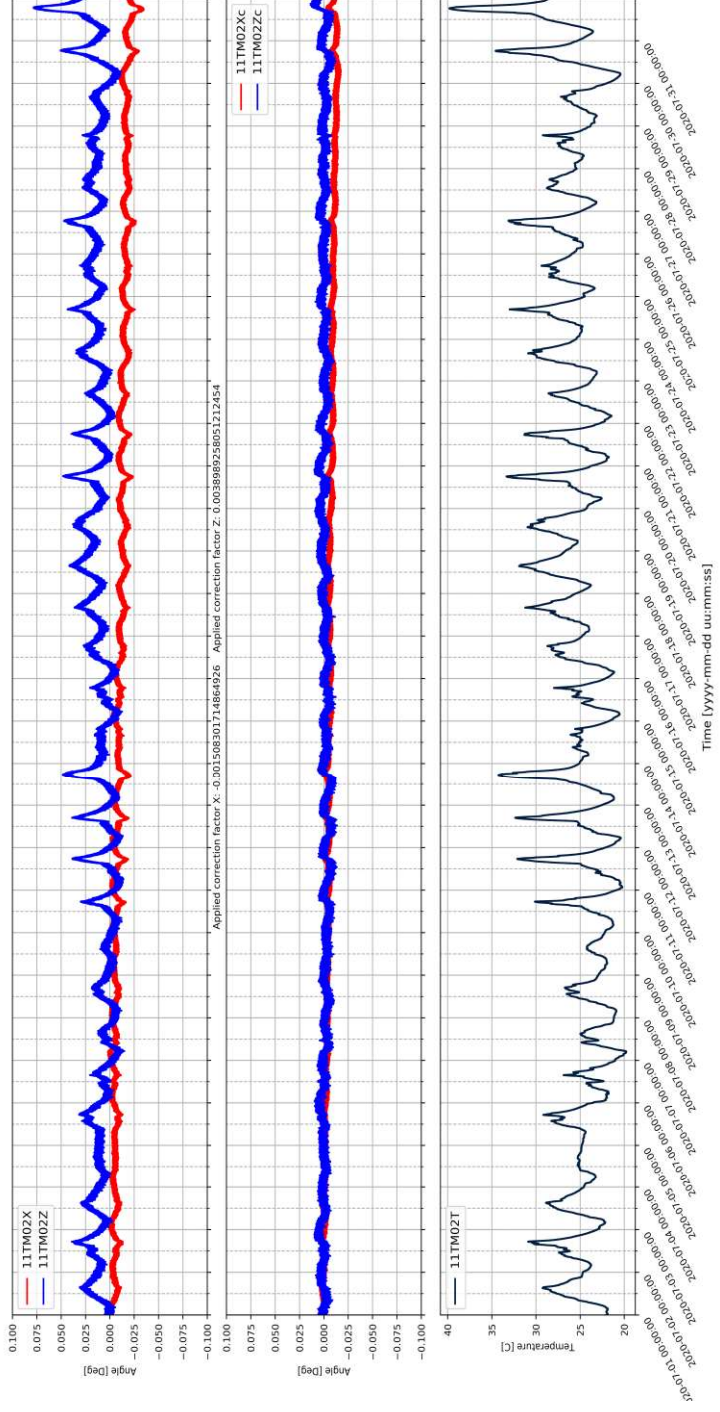
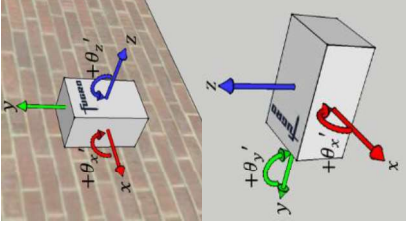
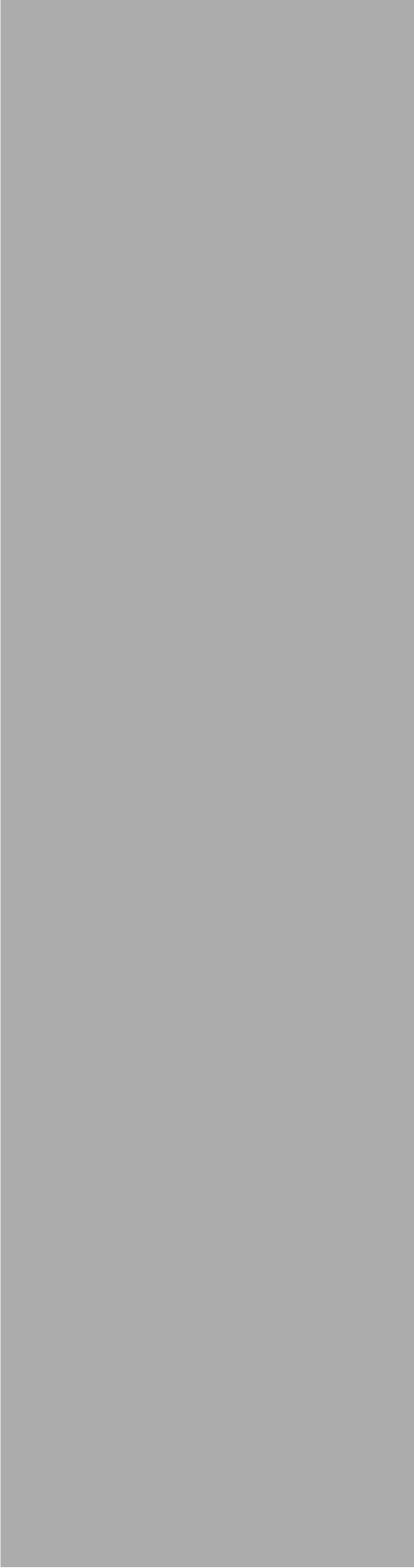
Foto sensorlocatie



1418-0227-010 Pilot Tiltensoren Groningen

Plattegrond sensorlocatie

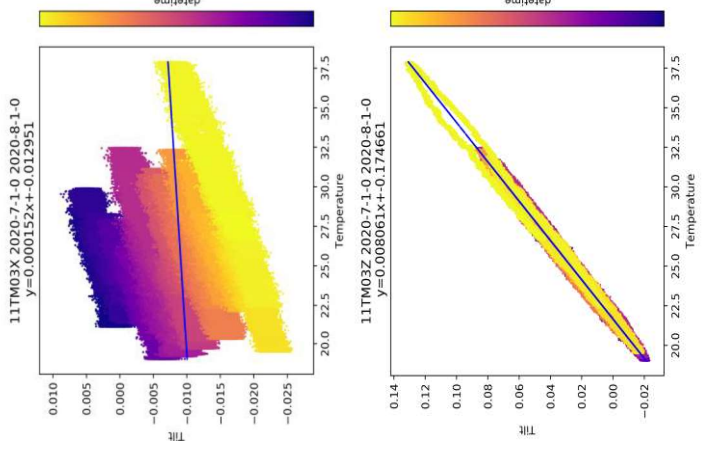
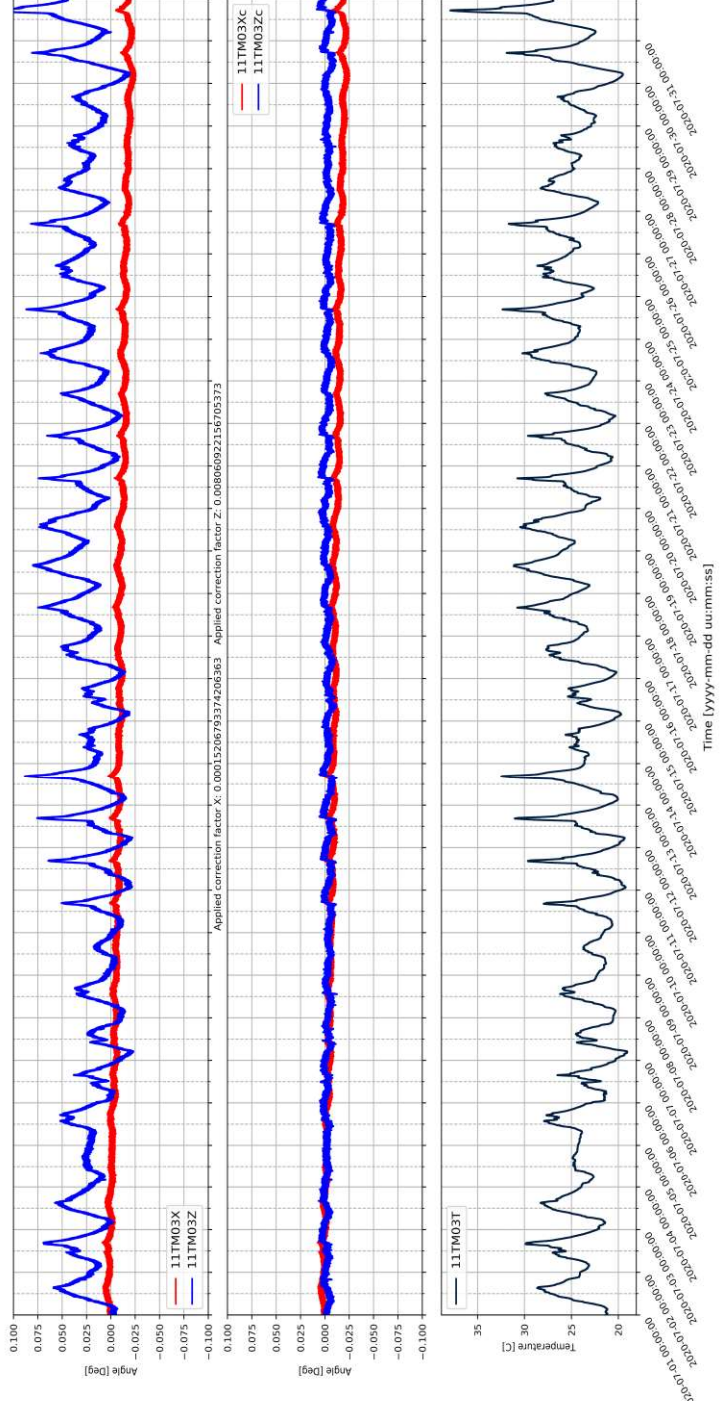
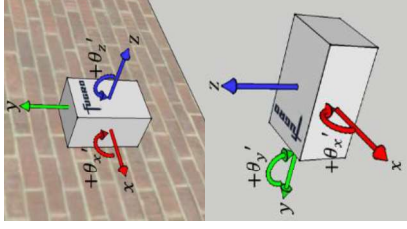
Foto sensorlocatie



1418-0227-010 Pilot Tiltensoren Groningen

Plattegrond sensorlocatie

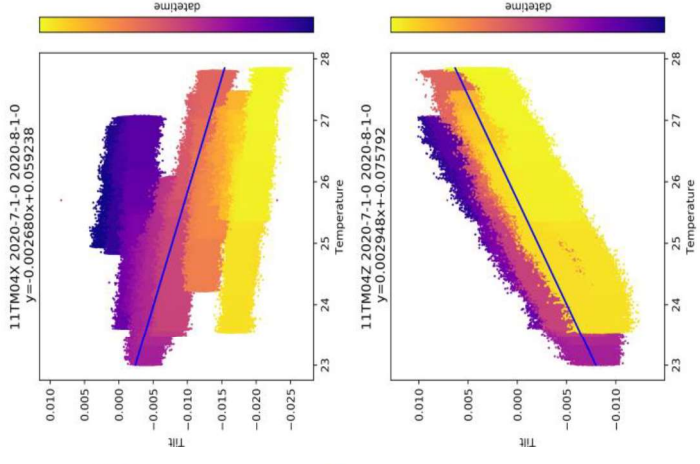
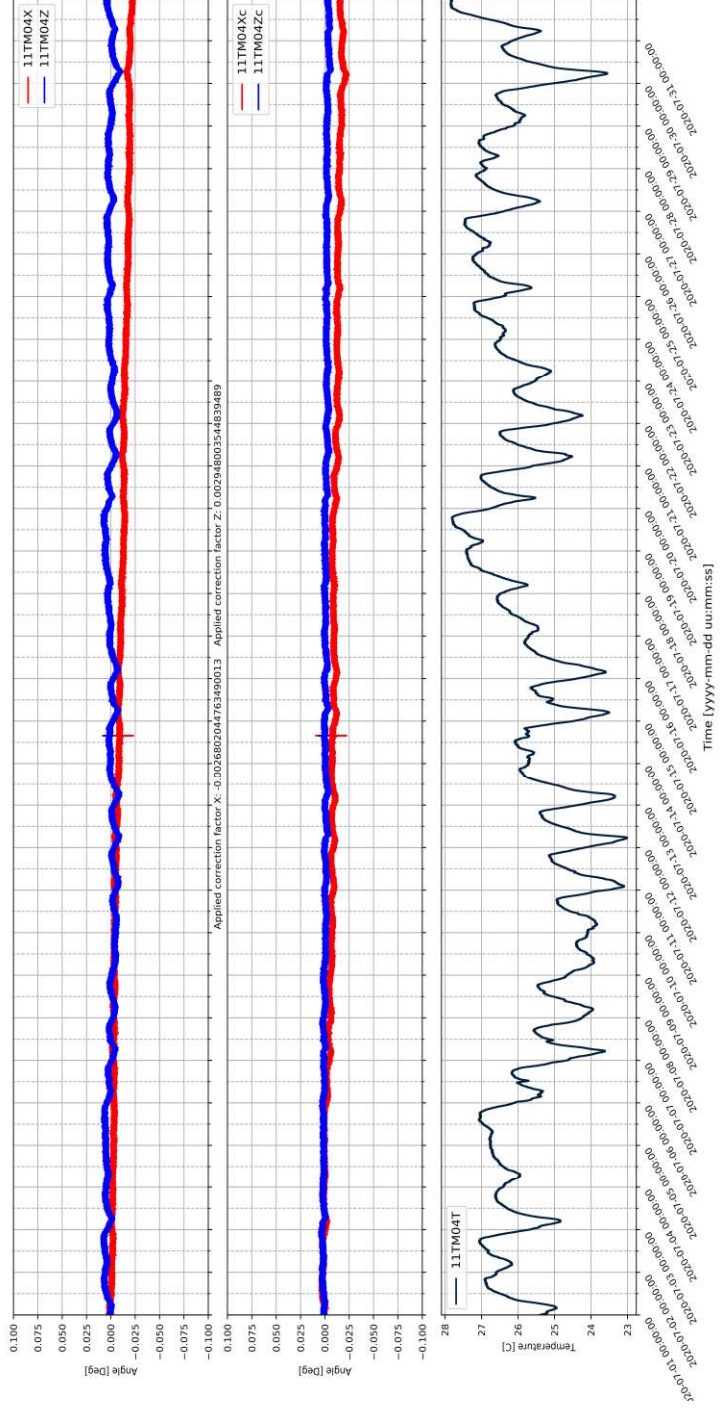
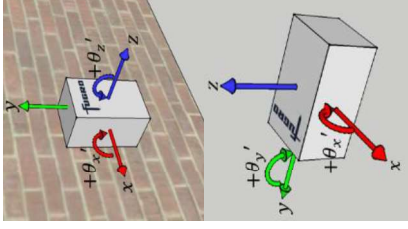
Foto sensorlocatie



1418-0227-010 Pilot Tiltensoren Groningen

Plattegrond sensorlocatie

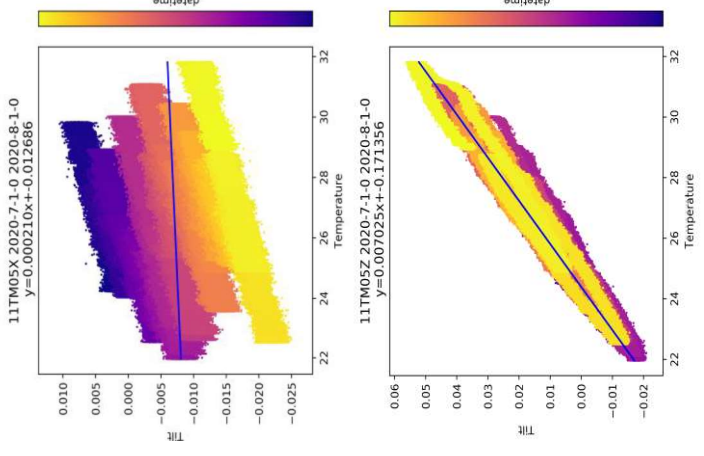
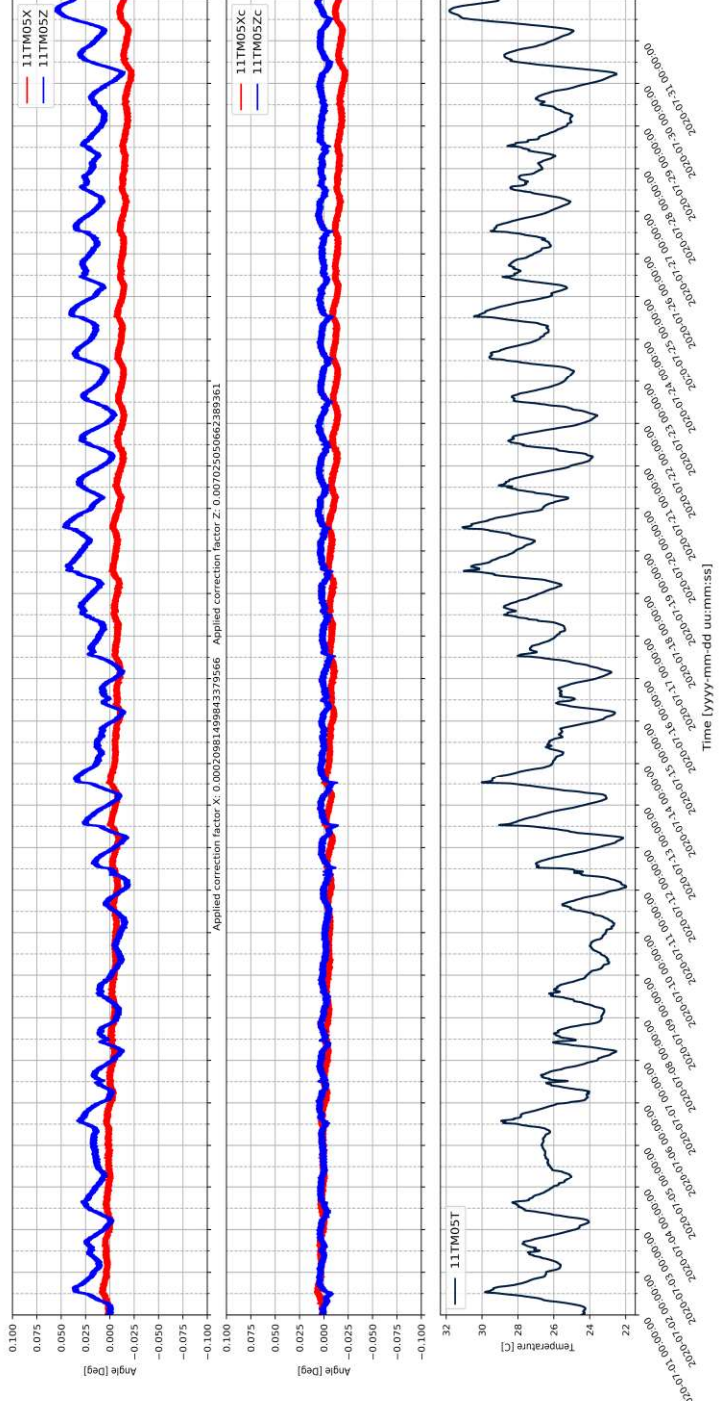
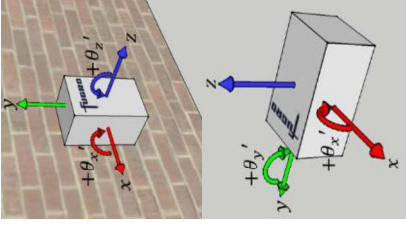
Foto sensorlocatie



1418-0227-010 Pilot Tiltensoren Groningen

Plattegrond sensorlocatie

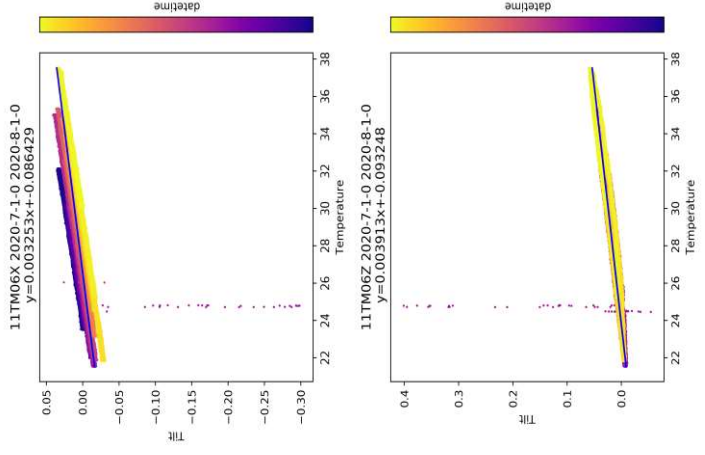
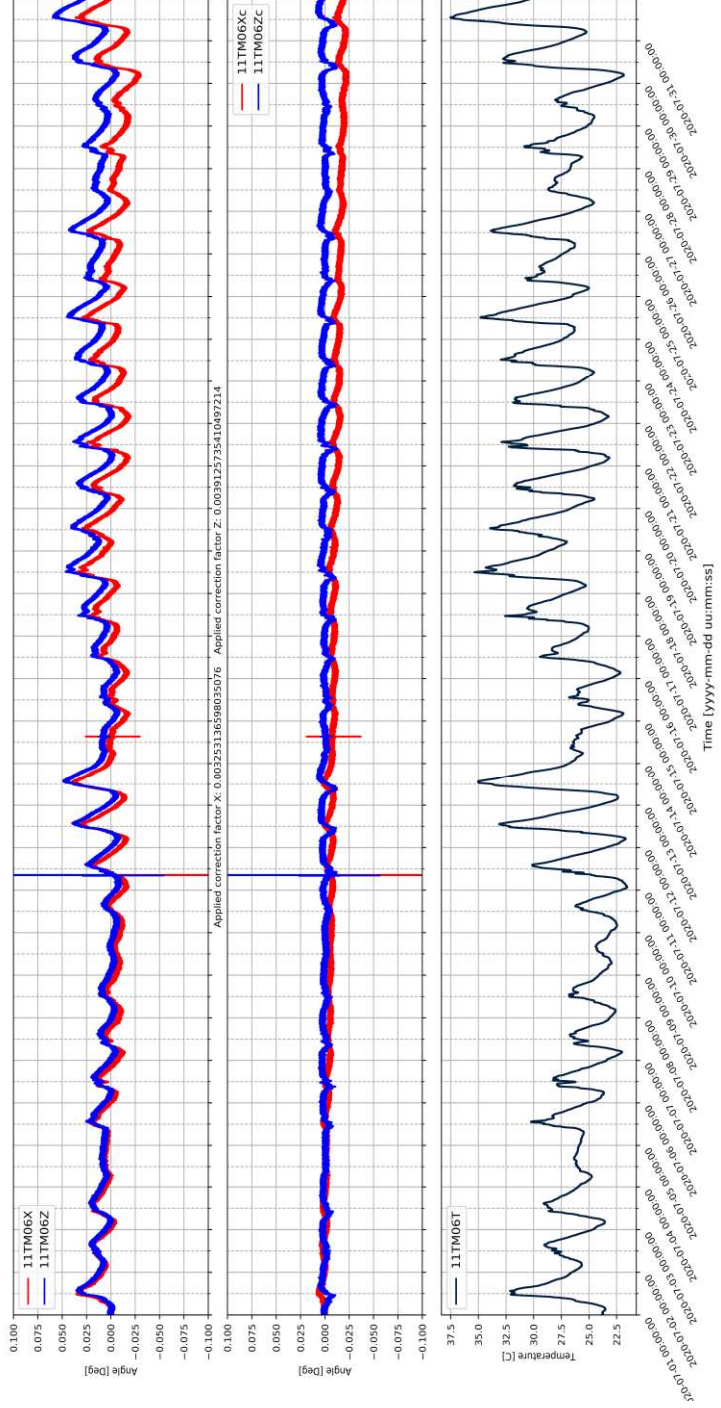
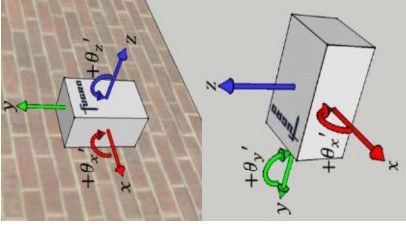
Foto sensorlocatie



1418-0227-010 Pilot Tiltensoren Groningen

Plattegrond sensorlocatie

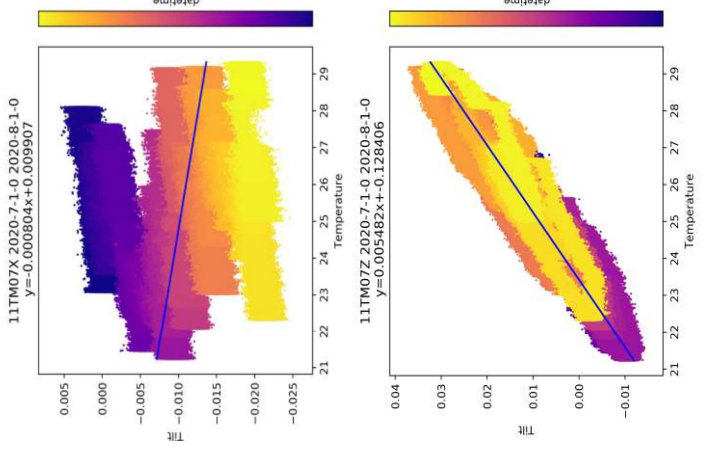
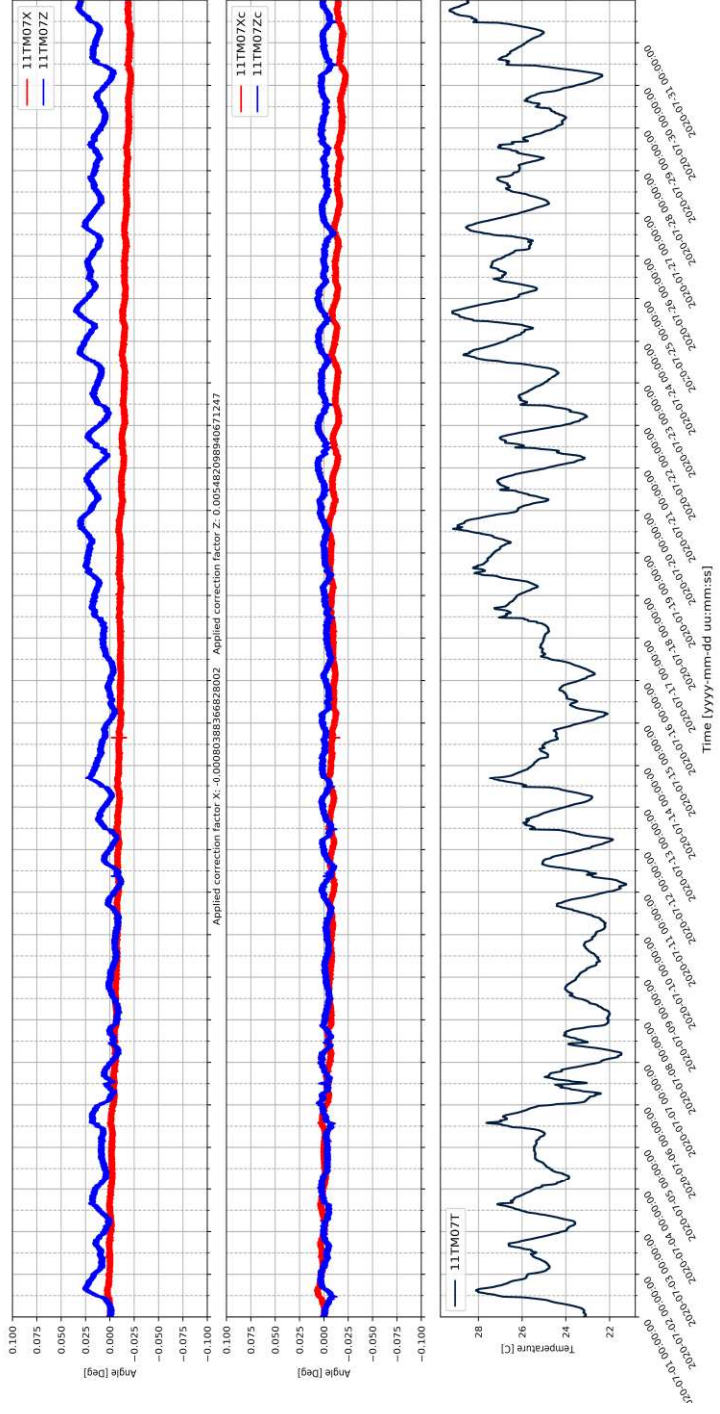
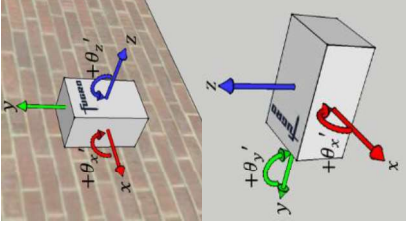
Foto sensorlocatie



1418-0227-010 Pilot Tiltensoren Groningen

Plattegrond sensorlocatie

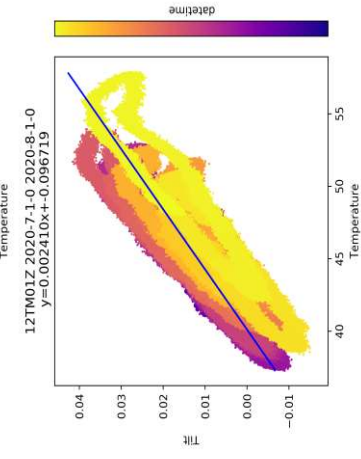
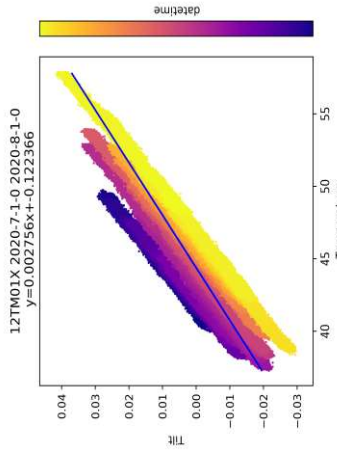
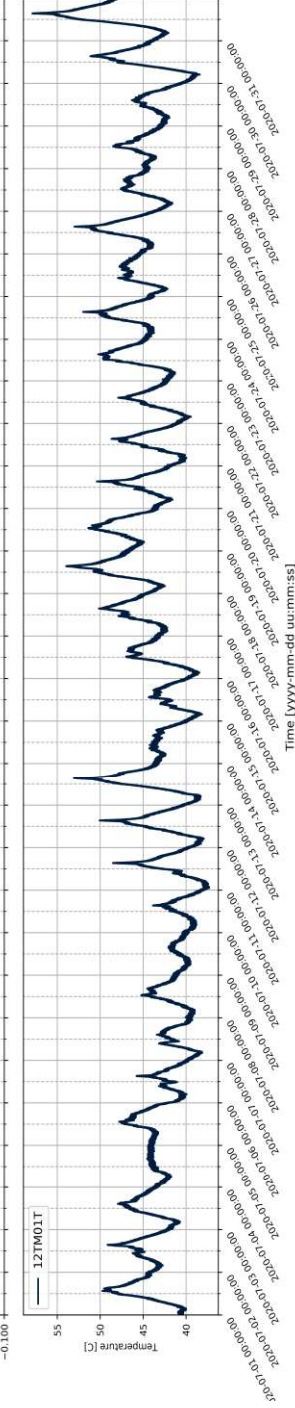
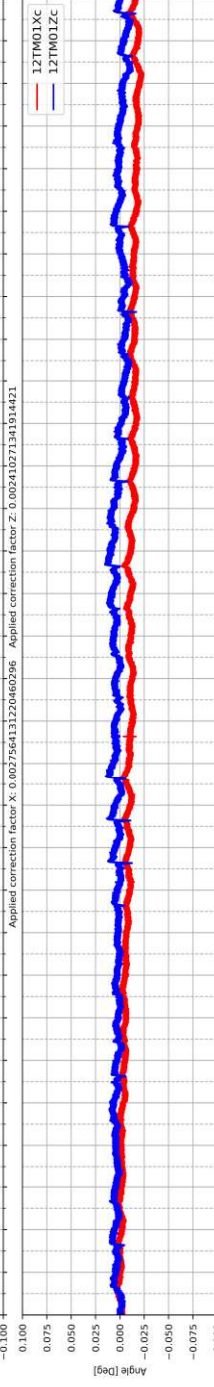
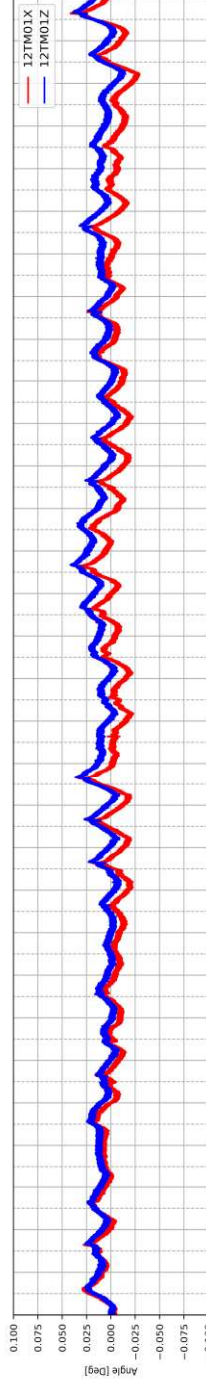
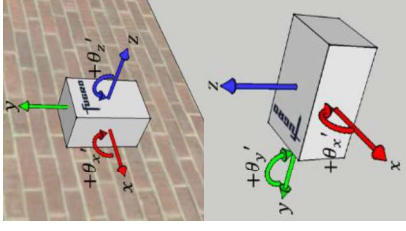
Foto sensorlocatie



1418-0227-010 Pilot Tiltensoren Groningen

Plattegrond sensorlocatie

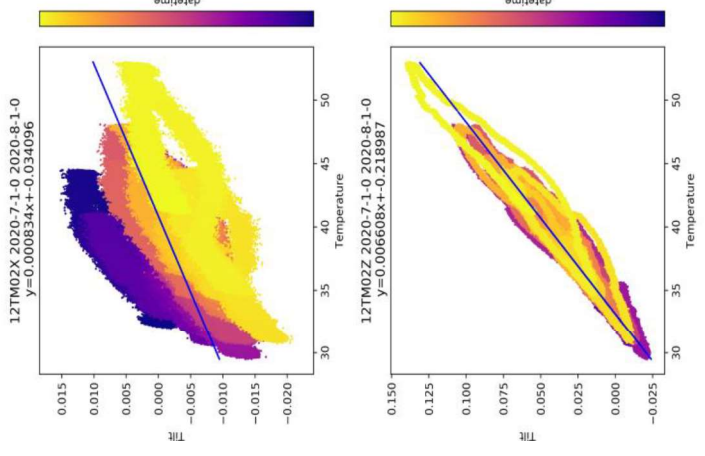
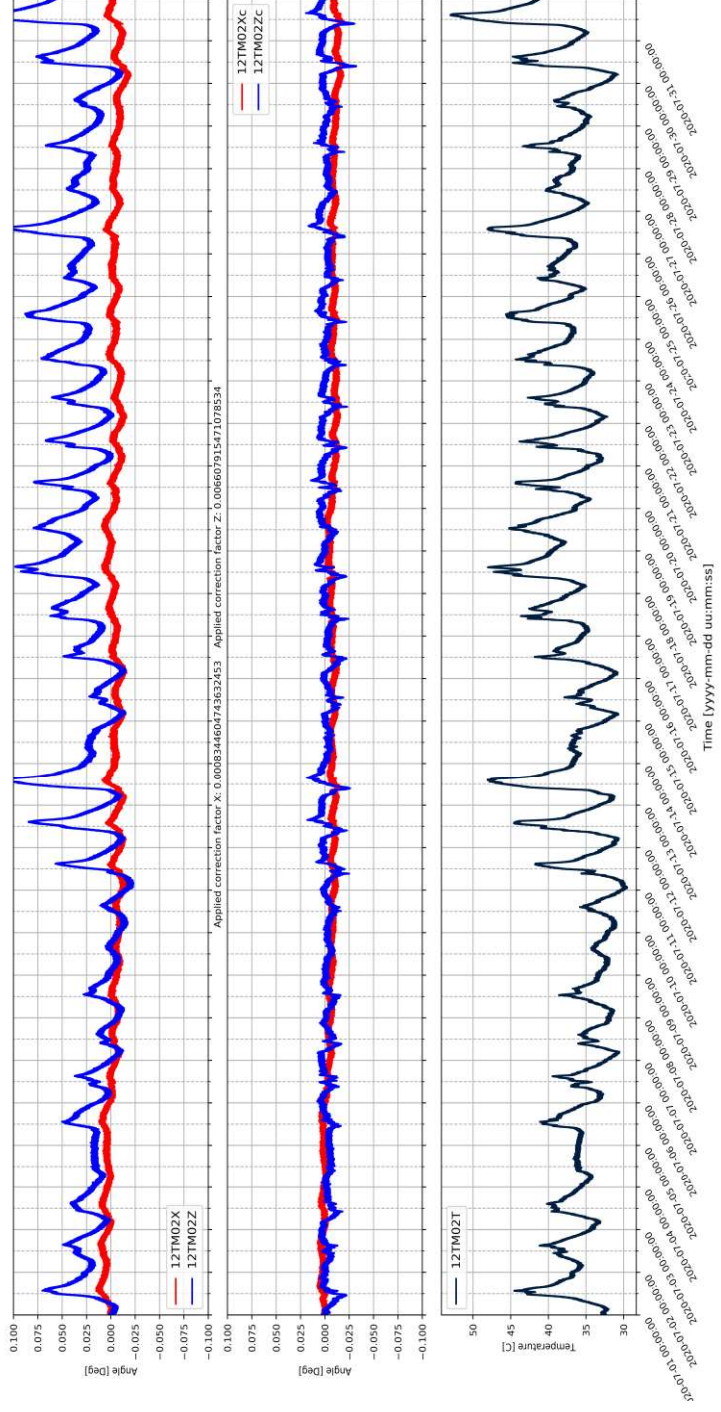
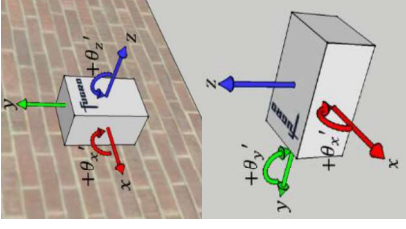
Foto sensorlocatie



1418-0227-010 Pilot Tiltensoren Groningen

Plattegrond sensorlocatie

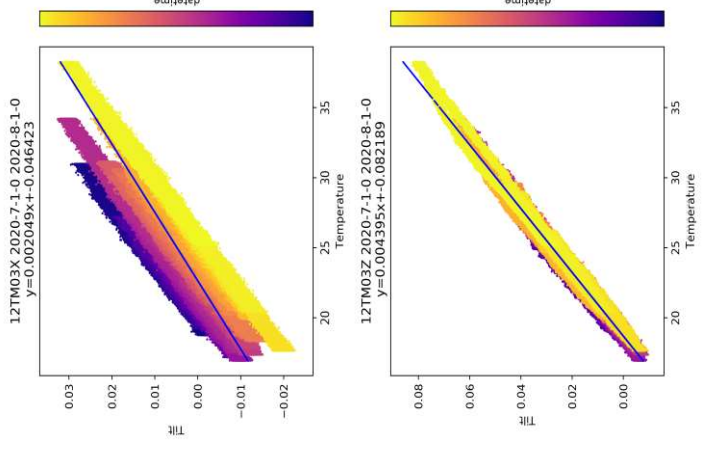
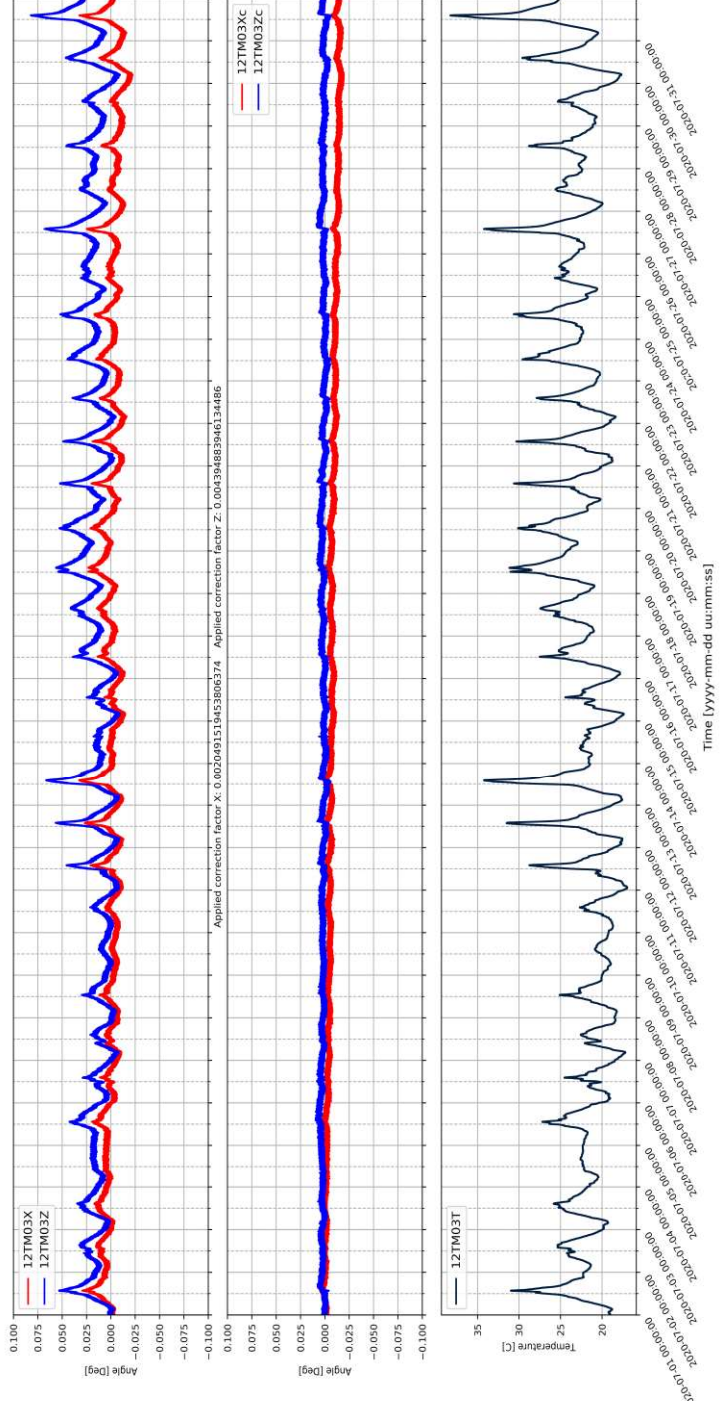
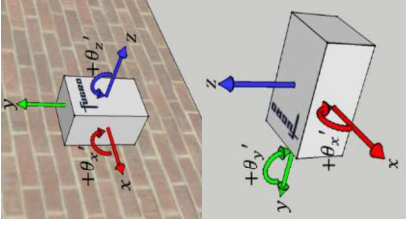
Foto sensorlocatie



1418-0227-010 Pilot Tiltensoren Groningen

Plattegrond sensorlocatie

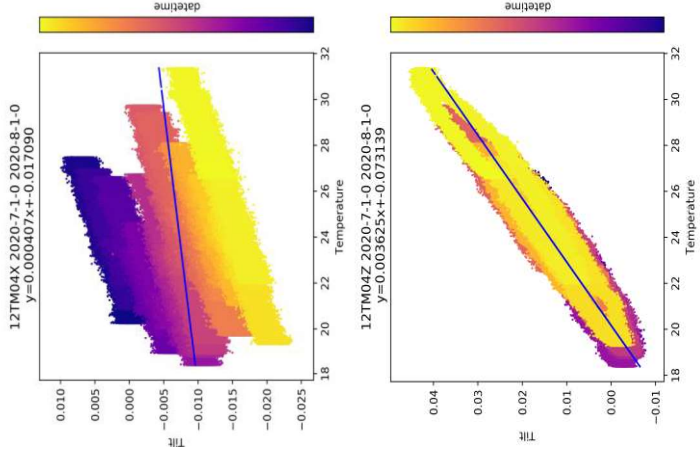
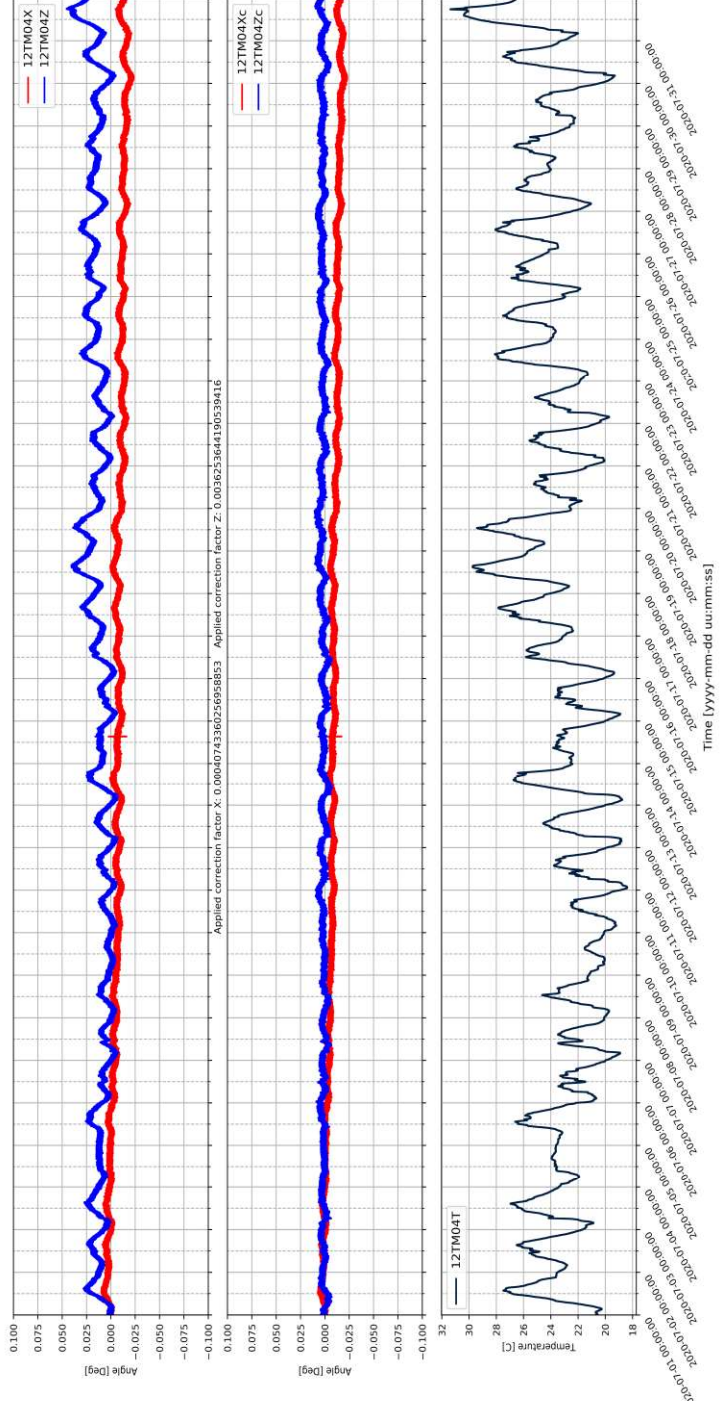
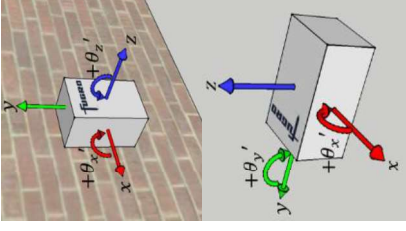
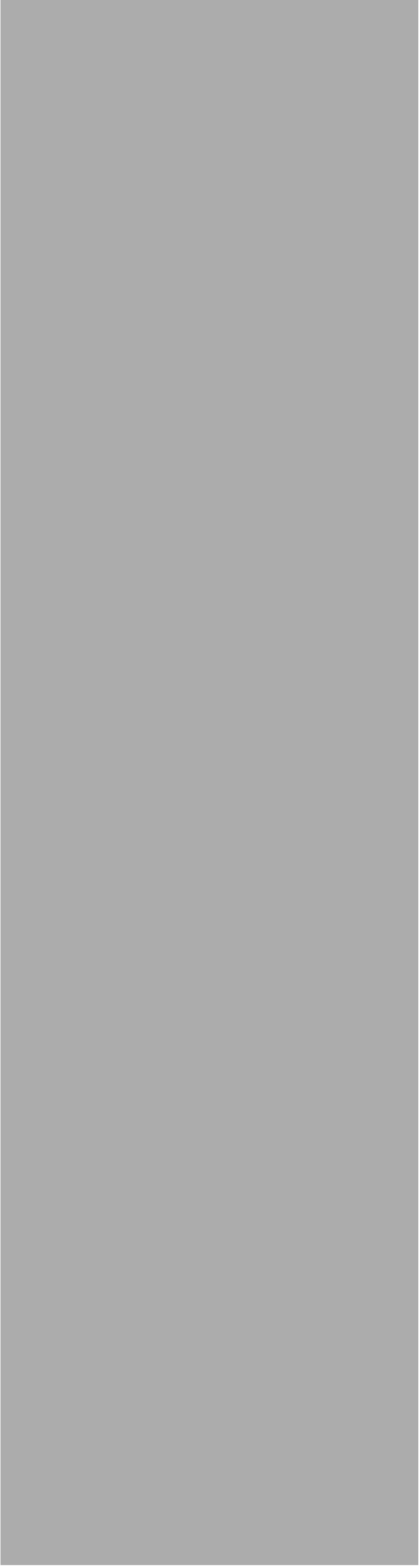
Foto sensorlocatie



1418-0227-010 Pilot Tiltensoren Groningen

Plattegrond sensorlocatie

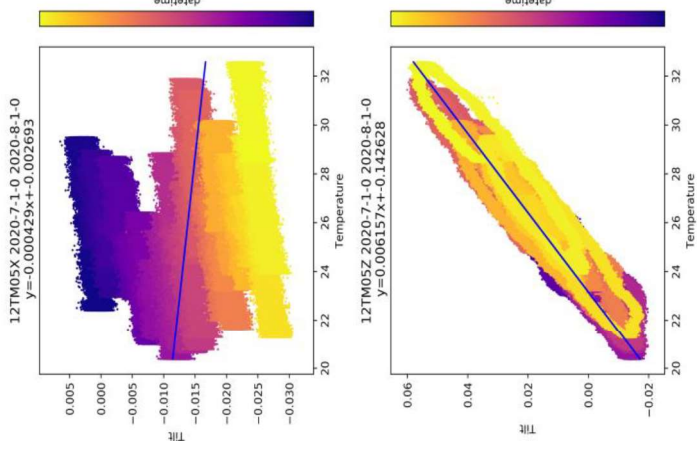
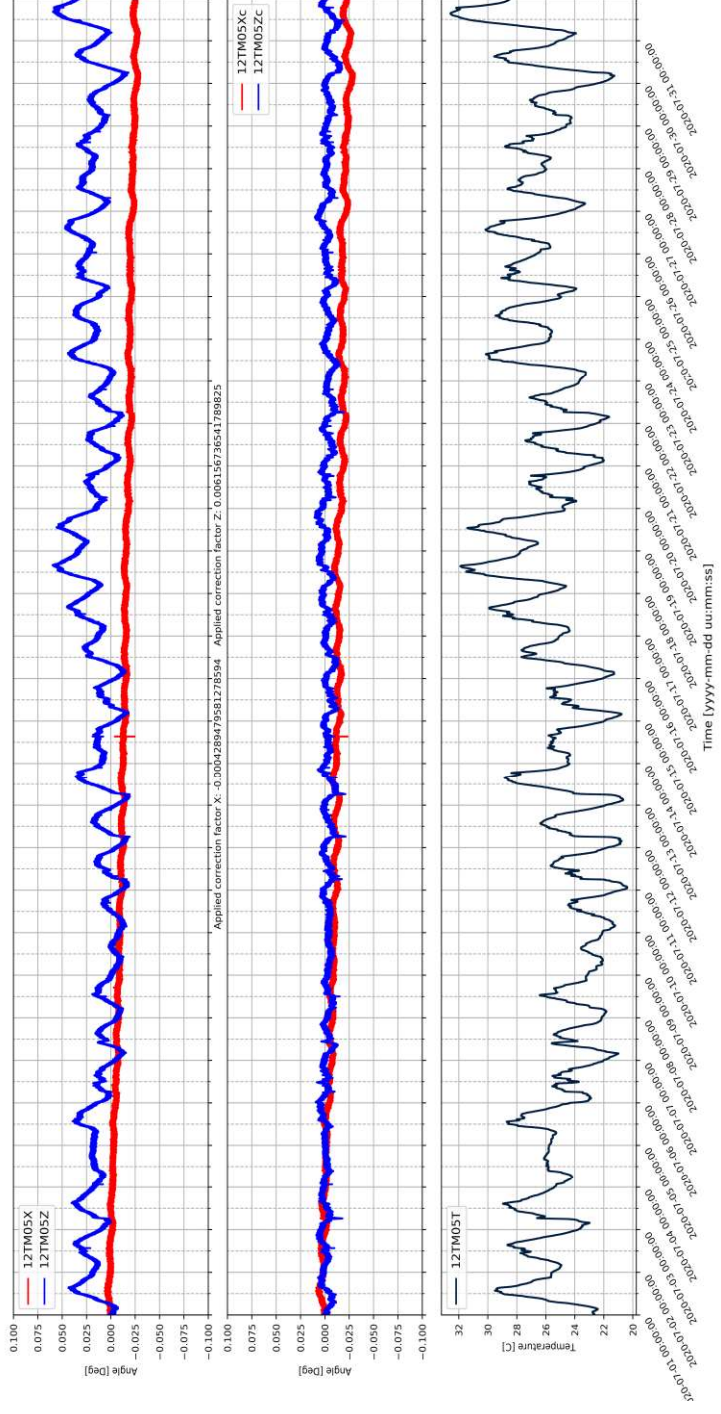
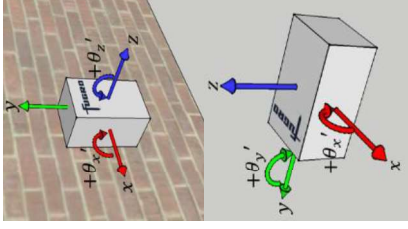
Foto sensorlocatie



1418-0227-010 Pilot Tiltensoren Groningen

Plattegrond sensorlocatie

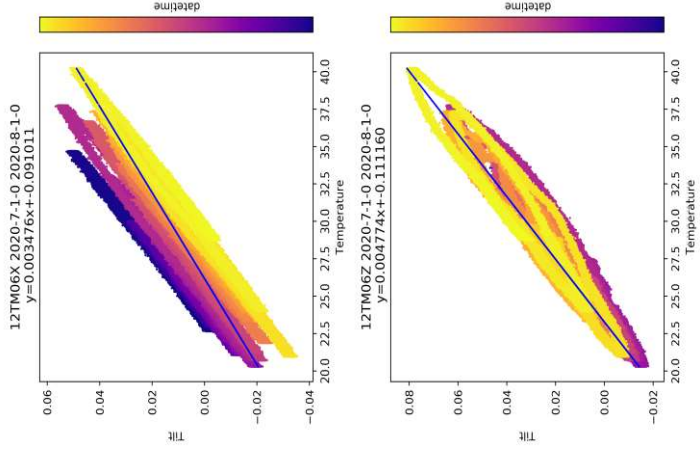
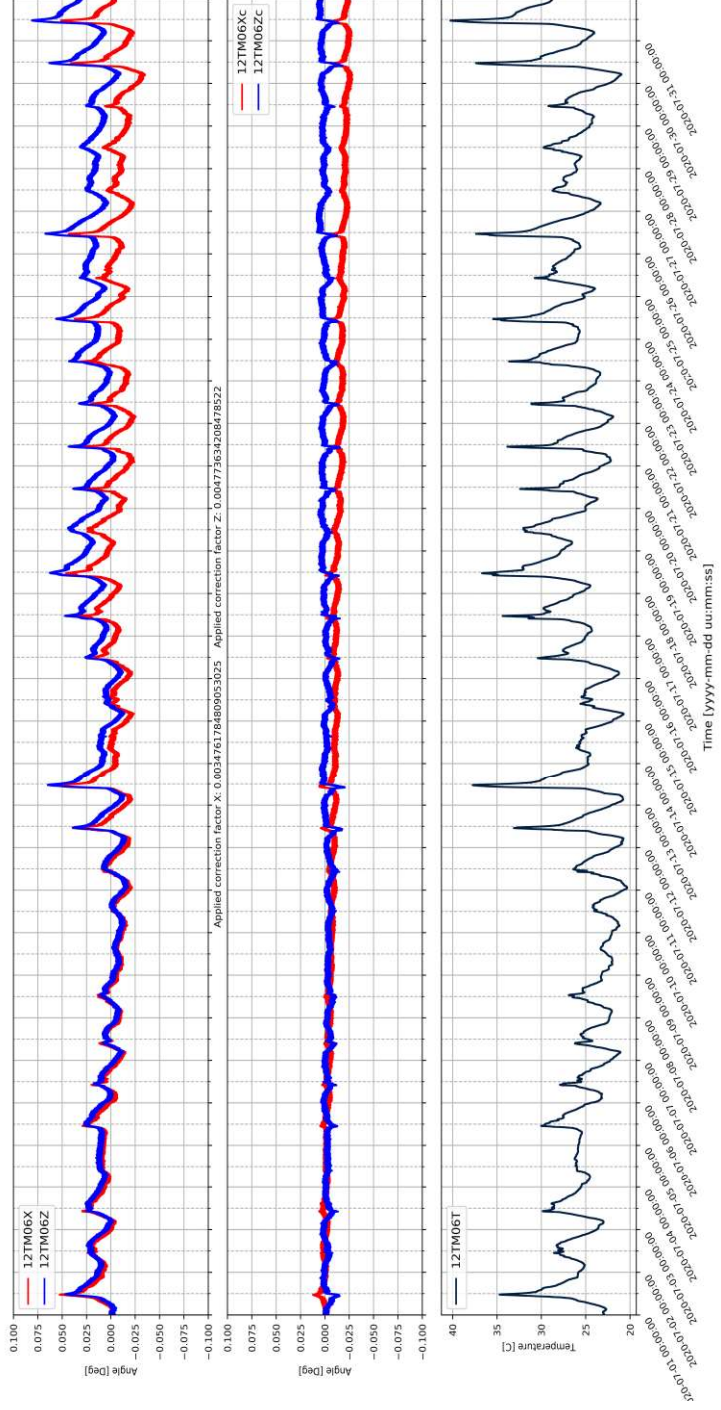
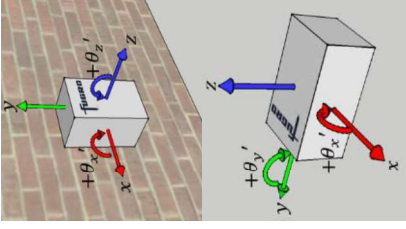
Foto sensorlocatie



1418-0227-010 Pilot Tiltensoren Groningen

Plattegrond sensorlocatie

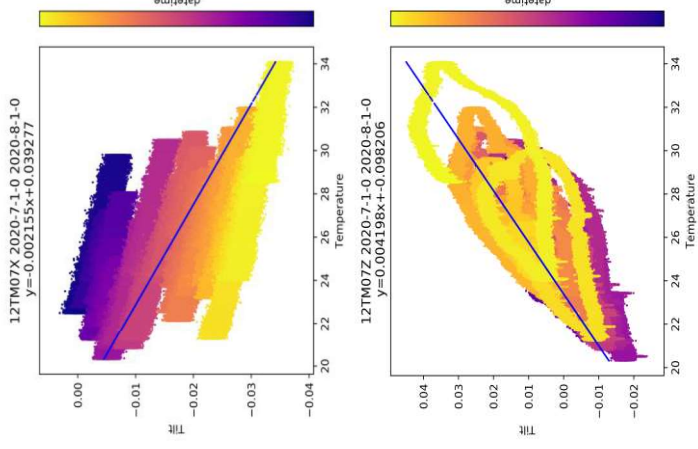
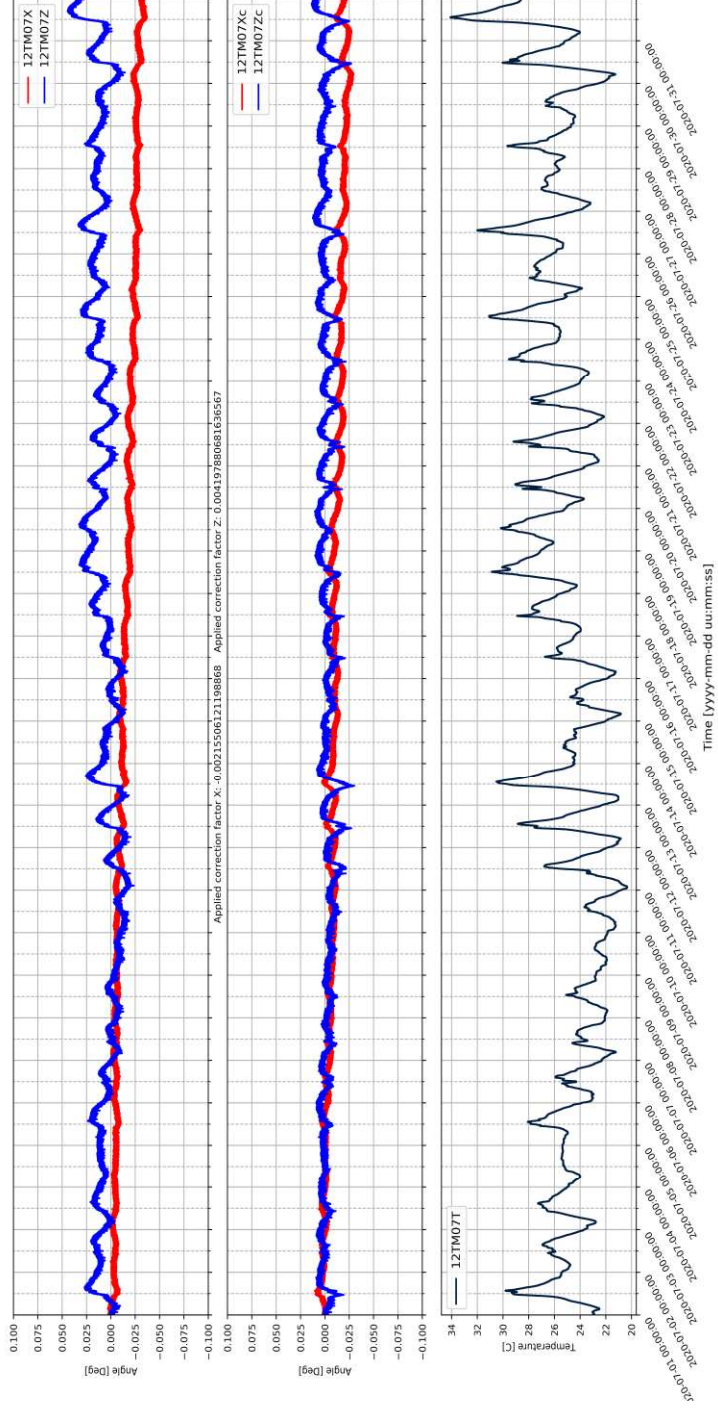
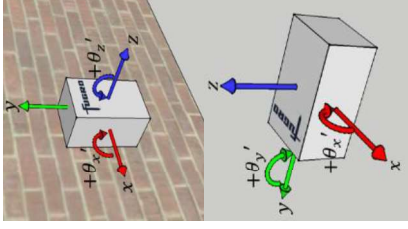
Foto sensorlocatie



1418-0227-010 Pilot Tiltensoren Groningen

Plattegrond sensorlocatie

Foto sensorlocatie



Appendix E

AC resultaten Loppersum M2.7
event

