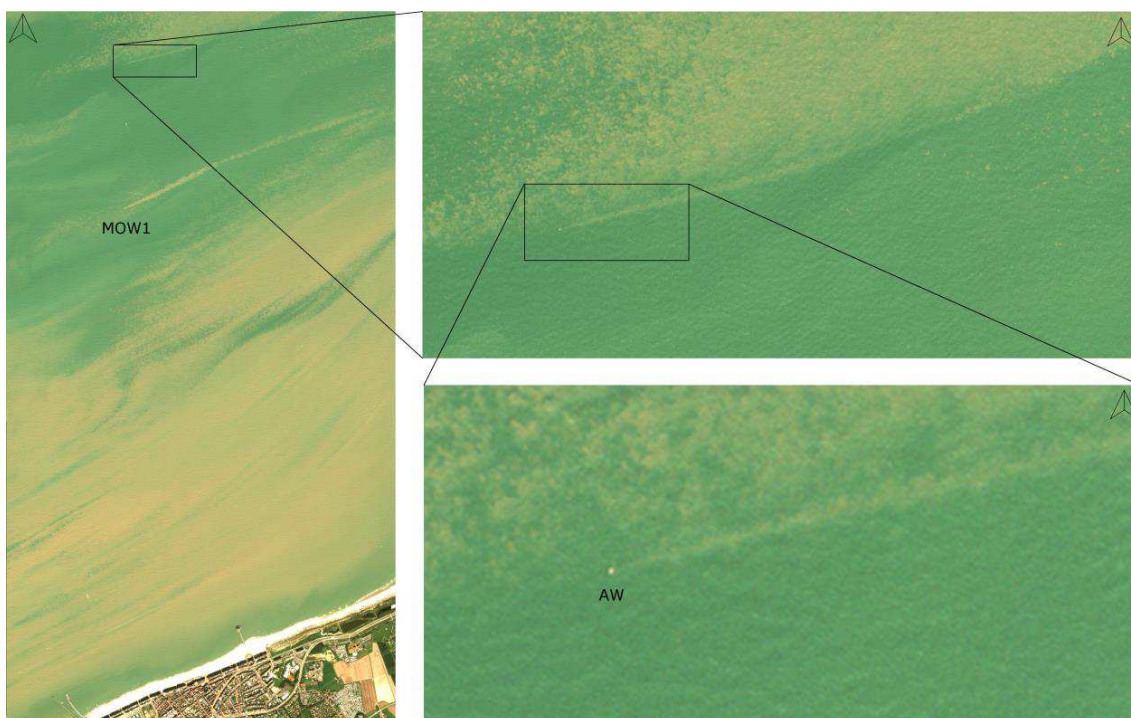


## MONitoring en MOdellering van het cohesieve sedimenttransport en evaluatie van de effecten op het mariene ecosysteem ten gevolge van bagger- en stortoperatie (MOMO)



### Activiteitsrapport (1 januari 2016 - 30 juni 2016)

Michael Fettweis, Matthias Baeye, Frederic Francken, Dries Van den Eynde

MOMO/7/MF/201609/NL/AR/5

## Inhoudstafel

<b>4.</b>	<b>Inleiding</b>	<b>3</b>
4.1.	Voorwerp van deze opdracht	3
4.2.	Algemene doelstellingen	3
4.3.	Onderzoek Januari 2014 – December 2016	4
4.4.	Gerapporteerde en/of uitgevoerde taken	8
4.5.	Publicaties (januari 2014 – juni 2016)	9
<b>2.</b>	<b>Oppervlakte SPM concentratie aan de AW boei</b>	<b>12</b>
2.1.	Method	12
2.2.	Results	13
2.3.	Comparison with MOW1 tripod data	17
<b>3.</b>	<b>Vergelijking tussen SPM concentratie uit in-situ en remote sensing metingen</b>	<b>20</b>
3.1.	Buoy platform	20
3.2.	Remotely derived SPM concentrations	20
3.2.1.	MODIS satellite	20
3.2.2.	LANDSAT-8 satellite	21
3.2.3.	Descriptive statistics	22
3.3.	Inter-comparison of in situ and remote sensing SPM concentrations	22
3.4.	Origin of satellite underestimation	24
<b>4.</b>	<b>Reconstructie van gesatureerde SPM concentraties in de tijdreeksen</b>	<b>26</b>
4.1.	Principal Component Analysis en afgeleide methodes	27
4.2.	Toepassing van PCA en SSA op SPM data	28
4.3.	Toepassen van een eenvoudige methode voor de reconstructie van SPM concentratie pieken: resultaten en bespreking	32
<b>5.</b>	<b>Referenties</b>	<b>37</b>
<b>Appendix 1:</b>	Tijdsreeks AW-boei: OBS5-SPM concentratie	
<b>Appendix 2:</b>	Van den Eynde D, Francken F, Fettweis M. 2016. A simple method for the reconstruction of saturated SPM concentration peaks. Report RBINS, MOMO/X/DVDE/201605/EN/TR01	
<b>Appendix 3:</b>	Bijdragen VLIZ Marine Scientists' Day, 12 February, Brugge	

## 4. Inleiding

### 4.1. Voorwerp van deze opdracht

Het MOMO-project (MONitoring en MODellering van het cohesieve sedimenttransport en de evaluatie van de effecten op het mariene ecosysteem ten gevolge van bagger- en stortoperatie) maakt deel uit van de algemene en permanente verplichtingen van monitoring en evaluatie van de effecten van alle menselijke activiteiten op het mariene ecosysteem waaraan België gebonden is overeenkomstig het Verdrag inzake de bescherming van het mariene milieu van de noordoostelijke Atlantische Oceaan (1992, OSPAR-Verdrag). De OSPAR Commissie heeft de objectieven van haar huidige "Joint Assessment and Monitoring Programme" (JAMP) gedefinieerd tot 2010 met de publicatie van een holistisch Quality Status Report Noordzee en waarvoor de federale overheid en de gewesten technische en wetenschappelijke bijdragen moeten afleveren ten laste van hun eigen middelen.

De menselijke activiteit die hier in het bijzonder wordt beoogd, is het storten in zee van baggerspecie waarvoor OSPAR een uitzondering heeft gemaakt op de algemene regel "alle stortingen in zee zijn verboden" (zie OSPAR-Verdrag, Bijlage II over de voorkoming en uitschakeling van verontreiniging door storting of verbranding). Het algemene doel van de opdracht is het bestuderen van de cohesieve sedimenten op het Belgisch Continentaal Plat (BCP) en dit met behulp van zowel numerieke modellen als het uitvoeren van metingen. De combinatie van monitoring en modellering zal gegevens kunnen aanleveren over de transportprocessen van deze fijne fractie en is daarom fundamenteel bij het beantwoorden van vragen over de samenstelling, de oorsprong en het verblijf ervan op het BCP, de veranderingen in de karakteristieken van dit sediment ten gevolge van de bagger- en stortoperaties, de effecten van de natuurlijke variabiliteit, de impact op het mariene ecosysteem in het bijzonder door de wijziging van habitats, de schatting van de netto input van gevaarlijke stoffen op het mariene milieu en de mogelijkheden om deze laatste twee te beperken.

Een samenvatting van de resultaten uit de voorbije vergunningsperioden kan gevonden worden in de Syntheserapportten over de effecten op het mariene milieu van baggerspeciéstortingen (Lauwaert et al. 2004; 2006; 2008; 2009a, 2009b, 2011a, 2011b, 2014) die gepubliceerd werden conform art. 10 van het K.B. van 12 maart 2000 ter definiëring van de procedure voor machtiging van het storten in de Noordzee van bepaalde stoffen en materialen.

### 4.2. Algemene doelstellingen

Het onderzoek uitgevoerd in het MOMO project kadert in de algemene doelstellingen om de baggerwerken op het BCP en in de kusthavens te verminderen en om een gedetailleerd inzicht te verwerven van de fysische processen die plaatsvinden in het mariene kader waarbinnen deze baggerwerken worden uitgevoerd. Dit impliceert enerzijds beleids-ondersteunend onderzoek naar de vermindering van de sedimentatie op de baggerplaatsen en het evalueren van alternatieve stortmethoden. Anderzijds is onderzoek naar knelpunten voor het plannen en schatten van de effecten van de baggerwerken vereist. Dit is specifiek gericht op het dynamische gedrag van silb in de waterkolom en op de bodem en zal uitgevoerd worden met behulp van modellen en in situ metingen. De specifieke acties die binnen dit onderzoek uitgevoerd worden om de algemene doelstellingen in te vullen zijn:

### **1. Streven naar een efficiënter stortbeleid door:**

- optimalisatie van de stortlocaties. Gebaseerd op onderzoek uitgevoerd in de voorbije jaren (zie vorige syntheserapporten) zal een terreinproef worden uitgevoerd om de efficiëntie van een stortlocatie ten westen van Zeebrugge te bepalen;
- gebruik te maken van een operationeel stortmodel. Dit model zal geïntegreerd worden in de binnen BMM beschikbare operationele modellen. Het model zal gebruikt worden om in functie van de voorspelde fysische (wind, stroming, golven, sedimenttransport, recirculatie), economische (afstand, grootte baggerschip) en ecologische aspecten op korte termijn een keuze te kunnen maken tussen de beschikbare stortlocaties. Hiervoor zal binnen de huidige periode het slibtransportmodel gevalideerd worden op de geografische variabiliteit van de turbiditeitszones en de flocculatie van het slib.

**2. Continue monitoring van het fysisch-sedimentologische milieu** waarbinnen de baggerwerken worden uitgevoerd en aanpassing van de monitoring aan de nog op te stellen targets voor het bereiken van de goede milieutoestand (GES), zoals gedefinieerd zal worden binnen MSFD;

**3. Uitbouw en optimalisatie van het numerieke modelinstrumentarium**, ter ondersteuning en verfijning van acties 1 en 2.

#### **4.3. Onderzoek Januari 2014 – December 2016**

In het bijzonder is bij het opstellen van de hieronder vermelde taken rekening gehouden met de aanbevelingen voor de minister ter ondersteuning van de ontwikkeling van een versterkt milieubeleid zoals geformuleerd in het “Syntheserapport over de effecten op het mariene milieu van baggerspeciëstoringen (2011)” dat uitgevoerd werd conform art. 10 van het K.B. van 12 maart 2000 ter definiëring van de procedure voor machtiging van het storten in de Noordzee van bepaalde stoffen en materialen

#### **Taak 1: In situ metingen en data analyse**

Monitoring moet gericht zijn op het begrijpen van processen, zodoende dat de waargenomen variabiliteit in een correcte kader geplaatst kan worden. In vele kustzones is er een gebrek aan langdurige en hoogfrequente data over sleutelparameters die de milieutoestand beschrijven, zoals turbiditeit en SPM concentratie. De tripodmetingen in het kader van het MOMO project te MOW1 vormen een uitzondering hierop gezien hun langdurig karakter. De eerste verankeringen werden in 2004 uitgevoerd, vanaf november 2009 worden er continue metingen gedaan. Deze data laten toe om om zowel de natuurlijke variabiliteit, de langdurige trends en de effecten van menselijke ingrepen op de turbiditeit te achterhalen. Een groot deel van de activiteiten is daarom gericht op zowel het uitvoeren van de metingen, het garanderen van kwalitatief hoogwaardige data en het archiveren, rapporteren en interpreteren ervan.

##### Taak 1.1 Langdurige metingen

Sinds eind 2009 worden er continue metingen uitgevoerd te MOW1 met behulp van een meetframe (tripode). Met dit frame worden stromingen, slibconcentratie, korrelgrootteverdeling van het suspensiemateriaal, saliniteit, temperatuur, waterdiepte en zeebodem altimetrie gemeten. Om een continue tijdreeks te hebben, wordt gebruik gemaakt van 2 tripodes. Na ongeveer 1 maand wordt de verankerde tripode voor onderhoud aan wal gebracht en wordt de tweede op de meetlocatie verankerd.

In 2013 werd gestart met langdurige metingen met behulp van een OBS-5 sensor vastgemaakt aan de AW boei; deze metingen zullen verdergezet worden. De data geven informatie over de SPM concentratie aan het oppervlak en zijn aldus complementair aan

de bodem nabije metingen met de tripode. De data zijn ook van belang voor het calibreren en valideren van de oppervlakte SPM concentraties uit satellietbeelden.

#### Taak 1.2 Calibratie van sensoren tijdens in situ metingen

Tijdens 4 meetcampagnes per jaar met de R/V Belgica zullen een voldoende aantal 13-uursmetingen uitgevoerd worden met als hoofdoel het calibreren van optische of akoestische sensoren en het verzamelen van verticale profielen. De metingen zullen plaatsvinden in het kustgebied van het BCP. De optische metingen (transmissometer, Optical Backscatter Sensor) zullen gecalibreerd worden met de opgemeten hoeveelheid materie in suspensie (gravimetrische bepalingen na filtratie) om te komen tot massa concentraties. Naast de totale hoeveelheid aan suspensiemateriaal (SPM) wordt ook de concentratie aan POC/PON, chlorophyl (Chl-a, Chl-b) en phaeofytine (a, b) bepaald. Stalen van suspensiemateriaal zullen genomen worden met de centrifuge om de samenstelling ervan te bepalen.

#### Taak 1.3: Data archivering en rapportage

De meetdata worden gearchiveerd en er wordt een kwaliteitsanalyse uitgevoerd, zodat de goede data onderscheiden kunnen worden van slechte of niet betrouwbare data. Slechte data kunnen bv optreden doordat het instrument slecht heeft gewerkt en verkeerd werd ingesteld. Niet betrouwbare data zijn typisch geassocieerd met bv biofouling. De data en metadata worden gearchiveerd.

#### Taak 1.4: Verwerking en interpretatie van metingen

De metingen vergaard tijdens de 13-uursmetingen aan boord van de Belgica en met de tripode worden verwerkt en geïnterpreteerd. Hiervoor werden in het verleden reeds heel wat procedures (software) toegepast of ontwikkeld, zoals de berekening van de bodemschuifspanning uit turbulentiemetingen, entropieanalyse op partikelgrootteverdelingen, de opsplitsing van multimodale partikelgrootteverdeling in een som van lognormale verdelingen, het groeperen van de data volgens getij, meteorologie, klimatologie en seizoenen. Deze methodes (zullen opgenomen worden) zijn opgenomen in de standaardverwerking van de data. De aldus verwerkte data dienen als basis voor het verder gebruik binnenin wetenschappelijke vragen (zie taak 2.2, 2.3 en 4.2, 4.4).

### **Taak 2: Onderzoek en monitoring alternatieve stortstrategie onderhoudsbaggerwerk voorhaven Zeebrugge**

De BMM is auteur van de voorbereidende studies voor de terreinproef en zal de terreinproef mee opvolgen. BMM-OD Natuur zal verantwoordelijk zijn voor het uitvoeren van de langdurige frame metingen (lopen tot eind april 2014) en de statistische verwerking van de resultaten (Taak 2.1). De resultaten van de metingen zullen gebruikt worden bij de analyse van de efficiëntie van de baggerproef (Taak 2.3). Door de BMM-OD Natuur zullen ook met behulp van het Automatic Underway Monitoring System (AUMS) op het onderzoeksschip Belgica opnames gemaakt worden van de sedimentconcentratie binnen de haven (Taak 2.2). Deze gegevens zullen ter beschikking gesteld worden voor verdere verwerking. BMM-OD Natuur zal deel uitmaken van de stuurgroep.

#### Taak 2.1: Uitvoeren van lange termijn metingen in de omgeving van de haven van Zeebrugge voor het opvolgen van de terreinproef, en het bestuderen van de interne sedimentdynamiek in de haven

Voor dit deel van de opdracht is de BMM-OD Natuur verantwoordelijk voor het uitvoeren van de metingen en het aanleveren van de gevalideerde data voor verdere verwerking in de factual data rapportering en omzetting naar het standaardformaat. Het betreft twee meetframes, een ter hoogte van de meetpaal MOW 1 (als achtergrondwaarde, zie Taak

1.1) en een ander ter hoogte van de ingang van de haven van Zeebrugge (WZ-boei). Deze meetframes dienen afdoend de saliniteit, stromingen, sedimentconcentratie en korrelgrootteverdeling te meten.

#### Taak 2.2: Beschrijving van de omgevingscondities

Gedurende de meetperiode van de langdurige metingen dienen ook de verschillende externe factoren die een invloed kunnen hebben op de interne slibdynamiek in de haven nauwkeurig bijgehouden worden en dit gedurende dezelfde periode als de metingen in taak 2.1. De BMM-OD Natuur is verantwoordelijk voor het opleveren van informatie over de sedimentconcentraties uit het AUMS aan boord van de Belgica.

#### Taak 2.3: Analyse efficiëntie baggerproef

Na afloop van de baggerproef dient de efficiëntie van de uitgevoerde proef geschat te worden. Hiervoor dient als eerste een T0 toestand gedefinieerd te worden, waarbij op basis van de binnen Taak 2.1 en Taak 2.2 verzamelde data een inschatting kan gemaakt worden van de mogelijke events die tijdens de proef hebben plaatsgevonden, en hun invloed op de resultaten van de baggerproef. De BMM-OD Natuur zal een statistische benadering van de efficiëntie van de baggerproef uitvoeren, waarbij nagegaan wordt in hoeverre de tijdens de baggerproef gemeten waardes op de twee frames afwijken van de waardes die gemeten werden buiten de stortproef. Deze analyse werd reeds toegepast bij de evalueren van de baggerproef in het Albert II dok.

### **Taak 3: Uitbouw en optimalisatie van het modelinstrumentarium**

#### Taak 3.1: Validatie van het slibtransportmodel

Het tijdens de voorbije jaren verbeterde en aangepaste slibtransportmodel zal worden gevalideerd met behulp van de langdurige meetreeksen en de satellietbeelden. Hierbij zal dezelfde methode als in Baeye et al. (2011) en zoals in taak 1.4 worden gebruikt om de modelresultaten te groeperen en te klasseren volgens windrichting, weertype en getij. Het voordeel van deze werkwijze is dat niet zozeer gekeken wordt of de correlatie tussen meting en modelresultaat in één of meerder punt goed is, maar dat globaal nagegaan wordt of het model de SPM dynamica op het BCP goed kan reproduceren. Deze taak zal in nauwe samenwerking met het WLH gebeuren die eenzelfde benadering zullen toe passen op hun model (contacten zijn gelegd met B De Maerschalk).

#### Taak 3.2: Operationeel stortmodel

Dit model zal geïntegreerd worden in de binnen BMM-OD Natuur beschikbare operationele modellen. Het model zal gebruikt worden om in functie van de voorspelde fysische (wind, stroming, golven, sedimenttransport, recirculatie), economische (afstand, grootte baggerschip) en ecologische aspecten op korte termijn een keuze te kunnen maken tussen de beschikbare stortlocaties. Hiervoor zal binnen de huidige periode het slibtransportmodel gevalideerd worden op de geografische variabiliteit van de turbiditeitszones en de flocculatie van het slib.

### **Taak 4: Oplossingen voor knelpunten**

#### Taak 4.1: Kwaliteitscontrole van de data en de integratie ervan in de monitoring voor de KRMS

##### *Taak 4.1.1: KRMS monitoring*

De data verzameld in Taak 1, zullen worden opgenomen in de nog op te zetten monitoringsverplichtingen van de Belgische Staat (07/2014) in het kader van de Kaderrichtlijn Mariene Strategie (MFSD). De KRMS monitoring zal in 2015 starten en zal dienen om de toestand van het mariene milieu te evalueren aan de goede milieutoestand



(GES), zoals opgeteld door de Belgische Staat in 2012 (Belgische Staat 2012a, 2012b).

Er zal verder geëvalueerd worden of het MOMO meetprogramma aan de monitoringsverplichtingen die voor de KRMS (MFSD) moeten worden opgesteld zal voldoen en/of er aanpassingen nodig zijn. De wetenschappelijke vragen die hier bekeken worden hebben vooral betrekking op de geografische spreiding van de data. Is het voldoende om – zoals nu gebeurt – te berusten op satellietbeelden voor de geografische en in situ meetreeksen voor de temporele spreiding of dienen we te opteren voor één vast meetpunt (MOW1) en bijkomend een aantal andere punten (Nieuwpoort, Kwintebank, Gootebank) waar random in de tijd gemeten wordt met een tripode gedurende telkens een periode van ongeveer 1 maand. Hiervoor zou bv de tripode die nu ingezet wordt voor de terreinproef gebruikt kunnen worden.

#### *Taak 4.1.2: Kwaliteitscontrole*

Een belangrijk aandachtspunt bij deze langdurige datareeksen is het garanderen van een gelijke kwaliteit in de tijd van de verzamelde data. De vraag die zich bij onze SPM concentratiemetingen stelt is niet zozeer het opmeten van hogere of lagere waarden, mogelijks veroorzaakt door het toepassen van een andere stortstrategie, maar het garanderen dat deze waarden inderdaad veroorzaakt worden door menselijke activiteiten (bv storten) en niet het effect zijn van natuurlijke fluctuaties. De natuurlijke variabiliteit van SPM concentratie is groot en wordt veroorzaakt door de getijwerking, dootij-springtijcyclus en meteorologische en klimatologische fenomenen. De tijdschalen gaan van seconden tot seizoenen, met mogelijks langere fluctuaties voor (nodale cyclus, klimaatsverandering, zeespiegelstijging,...). Langdurige variaties kunnen bv geïdentificeerd worden als een trend of een cosinusfunctie met lage frequentie. Om kwaliteitsvolle data te kunnen leveren over een lange periode, die gebruikt kunnen worden om langdurige trends te identificeren, is het nodig om een rigoureuze kwaliteitscontrole uit te voeren. OBS alsook akoestische sensoren zijn gevoelig aan de samenstelling en korrelgrootte van het gesuspendeerde materiaal. Dit kan variëren in functie van de boven vermelde frequenties, maar hieromtrent is er nog geen afdoende duidelijkheid wat de metingen te MOW1 betreft.

- Hoe veranderen de calibratieconstanten i.f.v. externe parameters (dootij-springtij, zomer-winter)? Hoe dikwijls moeten de sensoren in situ gecalibreerd worden om de rekening te kunnen houden met de mogelijke fluctuaties in samenstelling van het suspensiemateriaal?
- Wat is de fout op de metingen? Het uitvoeren van directe (waterstaal) en indirecte metingen (OBS, akoestische backscatter) van SPM concentratie gaat inherent gepaard met onzekerheden (meetfouten). In situ metingen zijn steeds onderhevig aan onzekerheden tengevolge van random meetfouten (gebrek aan precisie), systematische fouten (onnauwkeurigheid), menselijke fouten, en de statistische variabiliteit van de parameter. De fouten hebben hun oorsprong in de onnauwkeurigheid en het gebrek aan precisie van het meetinstrument of de procedures (bv. waterstaalname en filtratie). Doel is om de fout op de verschillende onderdelen van de metingen (filtratie, calibratie, langdurige trends...) te schatten.

#### *Taak 4.1.3: Aanvulling van ontbrekende data met behulp van statistische methodes*

Het gebeurt regelmatig in de metingen te MOW1 dat de OBS sensoren verzadigen (vooral deze op 0.2 m) of uitvallen en er aldus gedurende een korte of langere perioden geen (betrouwbare) data beschikbaar zijn. In de statistiek bestaan technieken de ontbrekende data te reconstrueren. Er zal nagegaan worden wat de meest geschikte methode is om de tijdseries te vervolledigen.

#### Taak 4.2: Biologische effecten en de seizoenale variaties in SPM concentratie

De correlatie tussen biomassa (zoals o.a. POC en chlorophyl) en vlok grootte en vorm wordt dikwijls aangehaald in de literatuur, maar dit bleek sterk plaatsgebonden te zijn en dikwijls gebaseerd op korte meetperioden. De lange tijdsreeks te MOW1 werd geanalyseerd in combinatie met satelliet data, de omgekeerde correlatie tussen de chlorophyll en de SPM concentratie is opvallend. Er werd de hypothese opgesteld, dat door de algenbloei in de lente de concentratie aan kleverige organische moleculen (TEPs) wordt verhoogd, waardoor meer macrovlokken gevormd worden, het SPM sneller bezinkt en moeilijker kan eroderen en aldus de SPM concentratie gaat afnemen. Erder onderzoek richt zich naar:

- 1) Analyse van TEP concentraties. Tot nu toe worden geen TEP analyses uitgevoerd, nochtans is dit noodzakelijk om deze hypothese te toetsen. Er zal nagegaan worden hoe de TEPs geanalyseerd kunnen worden in waterstalen, wat en hoe dit meetprogramma uitgevoerd kan worden. Er wordt geopteerd om tegen 2015 met de eerste metingen te kunnen beginnen.
- 2) De invloed van lichthoeveelheid op de start van de algenbloei in de lente en de afname van de SPM concentratie;
- 3) Wat gebeurt er met het SPM dat uit de waterkolom verdwijnt door snellere sedimentatie in de zomer? Heeft dit een effect op de frequentie van hooggeconcentreerde slijsuspensies en mogelijks aanslibbing van vaargeulen en havens?
- 4) Verdere ontwikkeling van het flocculatiemodel zodat seizoenale effecten in rekening gebracht kunnen worden. Simulatie in 2D/3D met dit flocculatiemodel teneinde het model te valideren.

#### Taak 4.3: Alternatieve Stortstrategie Nieuwpoort

Er zal ondersteuning gegeven worden aan MDK in verband met het opzetten van een wetenschappelijke terreinproef om de impact van het verpompen van baggerspecie uit de haven van Nieuwpoort op een stortzone te evalueren. Details hiervan zullen op een vergadering van de technische werkgroep besproken worden.

#### Taak 4.4: Golfsystemen en hun impact op de zeebodem en de SPM concentratie

Er bestaan verschillende soorten golven en golfsystemen (korte golven, deining) die een impact hebben op de zeebodem. Tot nu toe werd dit aspect nog niet in rekening gebracht in de analyse van de data. Wat is de impact van deining of korte golven op de resuspensie van sedimenten? Wat zijn de belangrijkste parameters en wat is hun belang voor waterbouwkundige werken (baggeren)?

#### 4.4. Gerapporteerde en/of uitgevoerde taken

##### Periode Januari 2014 – Juni 2014

Taak 1.1: De meetreeks te MOW1 werd verdergezet.

Taak 1.2: Calibratie van sensoren werd uitgevoerd tijdens RV Begica campagnes 2014/01 en 2014/11

Taak 1.4: Verwerking en interpretatie van OBS meetdata (gerapporteerd in activiteitsrapport MOMO/7/MF/201408/NL/AR/1)

Taak 2.1: De metingen aan de WZ boei werden beëindigd eind maart 2014.

##### Periode Juli 2014 – December 2014

Taak 1.1: De meetreeks te MOW1 werd verdergezet.

Taak 1.2: Calibratie van sensoren werd uitgevoerd tijdens RV Begica campagnes 2014/22, 2014/28 en 2014/31

Taak 1.4: Verwerking en interpretatie van LISST meetdata (gerapporteerd in activiteitsrapport MOMO/7/MF/201501/NL/AR/2).

Taak 2.2: ADCP data gemeten aan boord van de Belgica en de satellietbeelden tijdens



de stortproef werden verwerkt en de data opgeleverd.

Taak 4.2: Wat gebeurt er met het SPM dat uit de waterkolom verdwijnt door snellere sedimentatie in de zomer? (gerapporteerd in activiteitsrapport MOMO/7/MF/201501/NL/AR/2, voorgesteld op PiE 2014, PECS 2014, VLIZ Young Scientist day 2015 en gepubliceerd in JGR in augustus 2015).

#### Periode Januari 2015 – Juni 2015

Taak 1.1 De meetreeks te MOW1 werd verdergezet.

Taak 1.2 Calibratie van sensoren werd uitgevoerd tijdens RV Begica campagnes 2015/01 en 2015/10.

Taak 2 Terreinproef, analyse efficiëntie baggerproef (zie activiteitsrapport MOMO/7/MF/201508/NL/AR/3).

#### Periode Juli 2015 – December 2015

Taak 1.1 De meetreeks te MOW1 werd verdergezet.

Taak 1.2 Calibratie van sensoren werd uitgevoerd tijdens RV Begica campagnes 2015/32.

Taak 2 Terreinproef (voorgesteld op INTERCOH 2015).

Taak 4.1.2 Kwaliteitscontrole (voorgesteld op INTERCOH 2015).

Taak 4.4 Golfsystemen en hun impact op de zeebodem en de SPM concentratie (gerapporteerd in activiteitsrapport MOMO/7/MF/201603/NL/AR/4, voorgesteld op INTERCOH 2015).

#### Periode Januari 2016 – Juni 2016

Taak 1.1 De meetreeks te MOW1 werd verdergezet. AW boei data gerapporteerd in MOMO/7/MF/201608/NL/AR/5

Taak 1.2 Calibratie van sensoren werd uitgevoerd tijdens RV Begica campagnes 2016/03 en 2016/11.

Taak 4.1.2 24-25 februari 2016 werd een internationale workshop over 'Best practice in generating long-term and large-scale data sets of suspended particulate matter concentration' met experts uit Duitsland, Nederland, Frankrijk en België te Brussel georganiseerd met als doel de kwaliteitscontrole van SPM oconcentratie metingen te bespreken. Er werden concrete afspraken gemaakt betreffende het rapporteren van bestaande procedures en het ontwikkelen van 'best practices'.

Taak 4.1.3 Aanvulling van ontbrekende data met behulp van statistische methodes (gerapporteerd in activiteitsrapport MOMO/7/MF/201608/NL/AR/5).

### 4.5. Publicaties (januari 2014 – juni 2016)

Hieronder wordt een overzicht gegeven van publicatie (rapporten, papers, thesissen en presentatie op workshops en conferenties) waar resultaten en data uit het MOMO project in werden gebruikt.

#### Activiteits-, Meet- en Syntheserapporten

Fettweis M, Baeye M, Francken F, Van den Eynde D. 2016. MOMO activiteitsrapport (1 januari – 30 juni 2016). BMM-rapport MOMO/7/MF/201609/NL/AR/5, 39pp + app.

Van den Eynde D, Francken F, Fettweis M. 2016. A simple method for the reconstruction of saturated SPM concentration peaks. Report RBINS, MOMO/X/DVDE/201605/EN/TR01, 28pp

Backers J, Hindryckx K, Vanaverbeke W. 2016. Rapport van de RV Belgica Meetcampagnes en Verankering van Meetsystemen MOMO – 2015. BMM-rapport BMM-MDO/2016-03/MOMO/2015, 89pp.

Backers J, Hindryckx K, Vanaverbeke W. 2016. Rapport van de RV Belgica Meetcampagnes en Verankering van Meetsystemen MOMO – 2014. BMM-rapport BMM-MDO/2016-03/MOMO/2015-05/MOMO/2014, 165pp.

Fettweis M, Baeye M, Francken F, Van den Eynde D, Thant S. 2016. MOMO activiteitsrapport (1 juli – 31 december 2015). BMM-rapport MOMO/7/MF/201603/NL/AR/4, 25pp + app.

- Fettweis M, Baeye M, Francken F, Van den Eynde D. 2015. MOMO activiteitsrapport (1 januari – 30 juni 2015). BMM-rapport MOMO/7/MF/201508/NL/AR/3, 76pp + app.
- Van den Eynde D, Fettweis M. 2015. Modelleren van een alternatieve stortstrategie voor de onderhoudsbaggerwerken in de voorhaven van Zeebrugge. Technisch rapport MOMO/7/DVDE/201506/NL/TR01, 17pp.
- Fettweis M, Baeye M, Francken F. 2015. MOMO activiteitsrapport (1 juli – 31 december 2014). BMM-rapport MOMO/7/MF/201501/NL/AR/2, 41pp + app.
- Backers J, Francken F, Hindryckx K, Vanaverbeke W. 2014. Rapport van de RV Belgica Meetcampagnes en Verankering van Meetsystemen MOMO – 2013. BMM-rapport BMM-MDO/2014-10/MOMO/2013, 213pp.
- Fettweis M, Baeye M, Francken F, Van den Eynde D. 2014. MOMO activiteitsrapport (1 januari - 30 juni 2014). BMM-rapport MOMO/7/MF/201408/NL/AR/1, 43pp + app.
- Lauwaert B, Fettweis M, De Witte B, Devriese L, Van Hoei G, Timmermans S, Martens C. 2014. Vooruitgangsrapport (juni 2014) over de effecten op het mariene milieu van baggerspeciëstoringen (vergunningperiode 01/01/2012 – 31/12/2016). Rapport uitgevoerd door KBIN-BMM, ILVO, CD, aMT. BL/2014/01, 20pp + app.

#### Conferenties/Workshops

- Fettweis M. 2016. Long-term observations of suspended particulate matter concentration. NewSTHEPS Follow-up Comitee Meeting, 12 April, Brussels (Belgium).
- Backers J. 2016. Instrument related problems with optical backscatter sensors. Workshop Best practice in generating long-term and large-scale data sets of suspended particulate matter concentration, 24-25 February, Brussels (Belgium).
- Fettweis M. 2016. Long term measurements of SPM concentration in the Belgian near-shore: How to estimate the uncertainty? Workshop Best practice in generating long-term and large-scale data sets of suspended particulate matter concentration, 24-25 February, Brussels (Belgium).
- Fettweis M, Baeye M, Cardoso C, Dujardin A, Van den Eynde D, Van Hoestenbergh T, Vanlede J, Van Poucke L, Velez C, Martens C. 2016. The impact of disposal of fine grained sediments from maintenance dredging works on SPM concentration and fluid mud in and outside the harbor of Zeebrugge. VLIZ Marine Scientists' Day, 12 February, Brugge (Belgium).
- Dujardin A, Vanlede J, Van Hoestenbergh T, Van Poucke L, Fettweis M, Cardoso C, Velez C, Martens M. 2015. Factors influencing top sediment layer and SPM concentration in the Zeebrugge harbor. INTERCOH, 7-11 September, Leuven (Belgium).
- Fettweis M, Baeye M, Verney R. 2015. Uncertainty of in situ SPM concentration measurements. INTERCOH, 7-11 September, Leuven (Belgium).
- Fettweis M, Baeye M, Francken F, Van den Eynde D, Van Hoestenbergh T, Van Poucke L, Dujardin A, Martens C. 2015. In situ measurements of SPM concentration to evaluate the impact of the disposal of fine grained sediments from maintenance dredging. INTERCOH, 7-11 September, Leuven (Belgium).
- Lee BJ, Bi Q, Toorman EA, Fettweis M, Weillbeer H. 2015. Two-Class Flocculation kinetic model: Development and application to large-scale, multi-dimensional cohesive sediment transport. INTERCOH, 7-11 September, Leuven (Belgium).
- Thant S, Fettweis M, Baeye M, Monbaliu J. 2015. Wave systems and their impact on the seabed and water column turbidity in the Belgian coastal zone. INTERCOH, 7-11 September, Leuven (Belgium).
- Van den Eynde D, Baeye M, Fettweis M, Francken F, Van Lancker V. 2015. Validation of modelled bottom shear stress under the influence of currents and waves using long-term measurements. INTERCOH, 7-11 September, Leuven (Belgium).
- Fettweis M, Baeye M. 2015. Seasonality in concentration, size and settling velocity of muddy marine snow in the southern North Sea and their effects on the sea bed. VLIZ Young Marine Scientists' Day, 20 February, Brugge (Belgium).
- Fettweis M, Baeye M. 2015. SPM dynamics at the marine limit of influence of the Westerschelde estuary. Ems-Scheldt workshop, 12-13 February, Delmenhorst (Germany).
- Fettweis M, Baeye M, Francken F. 2014. Seasonality of the near bed SPM dynamics in the southern North Sea. PECS, 20-24 October, Porto de Galinhas (Brazil).

- Fettweis M, Baeye M. 2014. Variability in concentration, size and settling velocity of muddy marine flocs from the southern North Sea. *Particles in Europe*, 7-9 October, Esbjerg (Denmark).
- Fettweis M, Lee B, Toorman E. 2014. Multimodal particle size distribution of fine-grained cohesive sediments: Observation and simulation. *Reactive Transport Workshop*, 20 May, Louvain-la-Neuve (Belgium).
- Baeye M, Francken F, Fettweis M, Van den Eynde D. 2014. The first buoy for continuous measuring of surface Suspended Particulate Matter concentration on the Belgian inner shelf. *VLIZ Young Marine Scientists' Day*, 7 March, Brugge (Belgium) (poster).
- Fettweis M, Baeye M, Van der Zande, Van den Eynde D, Lee BJ. 2014. Seasonality of near-shore marine snow in the southern North Sea. *VLIZ Young Marine Scientists' Day*, 7 March, Brugge (Belgium).
- Thant S, Baeye M, Fettweis M, Monbaliu J, Van Rooij D. 2014. Extreme values of Suspended Particulate Matter concentration and their relation to wave systems along the Belgian inner shelf. *VLIZ Young Marine Scientists' Day*, 7 March, Brugge (Belgium).

#### Publicaties (tijdschriften, hoofdstuk in boeken)

- Thant S, Baeye M, Fettweis M, Monbaliu J. Extreme values of suspended particulate matter concentration and their relation to wave height and period. *Ocean Dynamics* (ingedient 14/02/2016)
- Fettweis M, Baeye M, Cardoso C, Dujardin A, Lauwaerts B, Van den Eynde D, Van Hoestenbergh T, Vanlede J, Van Poucke L, Velez C, Martens C. 2016. The impact of disposal of fine grained sediments from maintenance dredging works on SPM concentration and fluid mud in and outside the harbor of Zeebrugge. *Ocean Dynamics* (in press)
- Toorman E, Mertens T, Fettweis M, Vanlede J (Eds). 2015. *INTERCOH2015. 13th International Conference on Cohesive Sediment Transport Processes*. Leuven, Belgium, 7-11 September 2015. Hydraulics Division, Department of Civil Engineering, KU Leuven. VLIZ Special Publication 74 – Flanders Marine Institute (VLIZ). Oostende, Belgium. xii+224p.
- Fettweis M, Baeye M. 2015. Seasonal variation in concentration, size and settling velocity of muddy marine flocs in the benthic boundary layer. *Journal of Geophysical Research Oceans* 120, 5648-5667. doi: 10.1002/2014JC010644
- Van Lancker V, Deronde B, De Vos K, Fettweis M, Houthuys R, Martens C, Mathys M. 2015. *Kust en Zee*. In: Borremans M. (Ed.) *Geologie van Vlaanderen*. Academia Press/Genootschap van Gentse Geologen.
- Van den Eynde D, Fettweis M. 2014. Towards the application of an operational sediment transport model for the optimisation of dredging works in the Belgian coastal zone (southern North Sea). In: Dahlin H., Flemming N.C., Petersson S.E. (Eds.). *Sustainable Operational Oceanography*, 250-260.
- Fettweis M, Baeye M, Van der Zande D, Van den Eynde D, Lee BJ. 2014. Seasonality of floc strength in the southern North Sea. *Journal of Geophysical Research Oceans*, 119, 1911-1926. doi:10.1002/2013JC09750
- Lee BJ, Toorman E, Fettweis M. 2014. Multimodal particle size distribution of fine-grained sediments: Mathematical modeling and field investigations. *Ocean Dynamics* 64, 429-441. doi: 10.1007/s10236-014-0692-y

#### Thesis

- Nelson M. 2015. *Soft sediment dynamics in a high-turbidity environment, Belgian coastal zone*. Master thesis in Marine and Lacustrine Science and Management. UA, UGent and VUB. 38pp+app.
- Thant S. 2014. *Study on wave systems and their impact on the seabed and water column turbidity in the Belgian coastal zone*. Master thesis in Marine and Lacustrine Science and Management. UA, UGent and VUB. 43pp+app.

## 2. Oppervlakte SPM concentratie aan de AW boei

The AW buoy (51°N 22.40'; 003°E 6.90'), situated in the vicinity of the MOW1 tripod measuring location, is a navigational buoy that was used as a platform for deployment of the OBS5+ sensor. The buoy with all-chain design is anchored at the seabed with a chain length of about 3 times the water depth, which is about 15 m, resulting in some action radius relative to its anchor point (Figure 2.1).

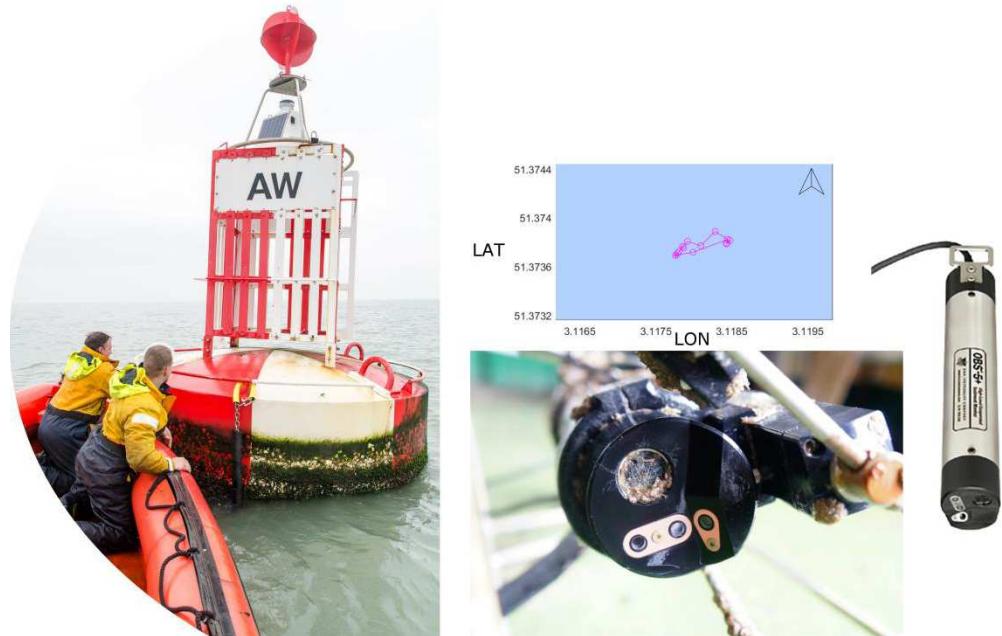


Figure 2.1: AW-navigational buoy during deployment of the OBS5+ (see right panel); also shown is the GPS track of the buoy during a tidal cycle.

### 2.1. Method

The Campbell Scientific© OBS5+ is an optical backscatter point sensor measuring turbidity. It is a stand-alone system, equipped with an anti-biofouling wiper to keep the optics clean. The sensor is installed in a stainless steel frame attached to a surface buoy measuring turbidity at 1.5 m below sea surface. Turbidity measuring scheme includes a measuring interval of 10 minutes with sampling frequency of 25 Hz during a period of 10 seconds. A mean and standard deviation of the distribution (with n=250) are stored. The standard deviation is used for data quality purpose. Measurements span over a period of 442 days (1.2 years) from 8 separate measurement periods that cover seasons and tidal conditions and also include different meteorological conditions between 2013 and 2015. The OBS5+ was calibrated in the lab using AMCO clear that was gradually cleared with MilliQ water to obtain solutions with 1000, 750, 500 and 250 NTU. The offset of the sensor was measured using distilled water with 0 NTU. This calibration procedure is repeated every 2 years. The relationship between counts (C) and NTU is

$$\text{NTU} = 0.7900498 \times 10^{-6} C^2 - 0.03426471 C + 280.0666$$

In order to obtain SPM concentration in g/l the OBS5+ was further calibrated in-situ by means of water samples (5 L Niskin bottles) that were filtered using Whatman® microfibril GF/C filters during two 13-hours-cycles. The relationship between turbidity (NTU) and SPM concentration (SPMC) is

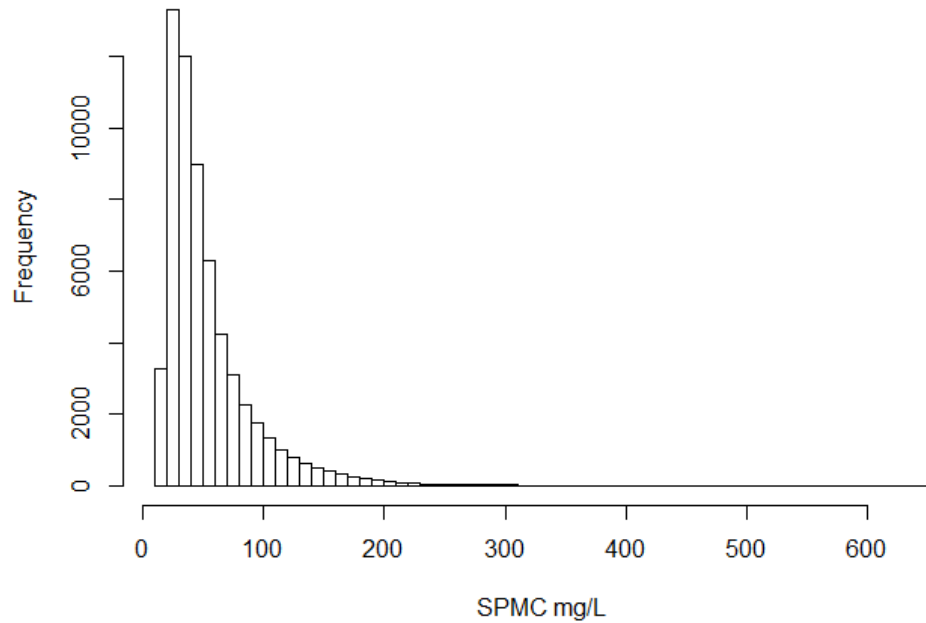
$$\text{SPMC} = 2.6015 \text{ NTU} - 5.0238$$

## 2.2. Results

In Figures 2.2-2.4, all the OBS5+ time-series converted into SPM mass concentration (mg/l) are shown together with tidal, wind and wave data to show harmonic (tides, season) and random (storms) variations. The detailed time series have been put in appendix 1 (Figures A1.1-A1.18). The frequency distribution of SPM concentration values (Figure 2.5) is log-normal (left skewed). The right tail part contains the maximum values (up to 300 mg/L) that typically occur during high-energy conditions (spring tides or storms). Low water phases under spring tide conditions correspond to the highest SPM concentrations. Mean and standard deviations of the log-normal distribution are given in Table 2.1.

*Table 2.1: Geometric mean and standard deviation of SPM concentration from the OBS5+ and MODIS SPM concentration distributions.*

	geometric		range		number of data
	mean	stdv	mean/stdv	mean×stdv	
OBS5	45.2	1.78	25.3	80.6	61561
MODIS	16.6	1.91	8.7	31.6	132



*Figure 2.5: Histogram of the surface SPM concentration (mg/l) at AW buoy location derived from the OBS5+ data acquired in 2013, 2014 and 2015.*

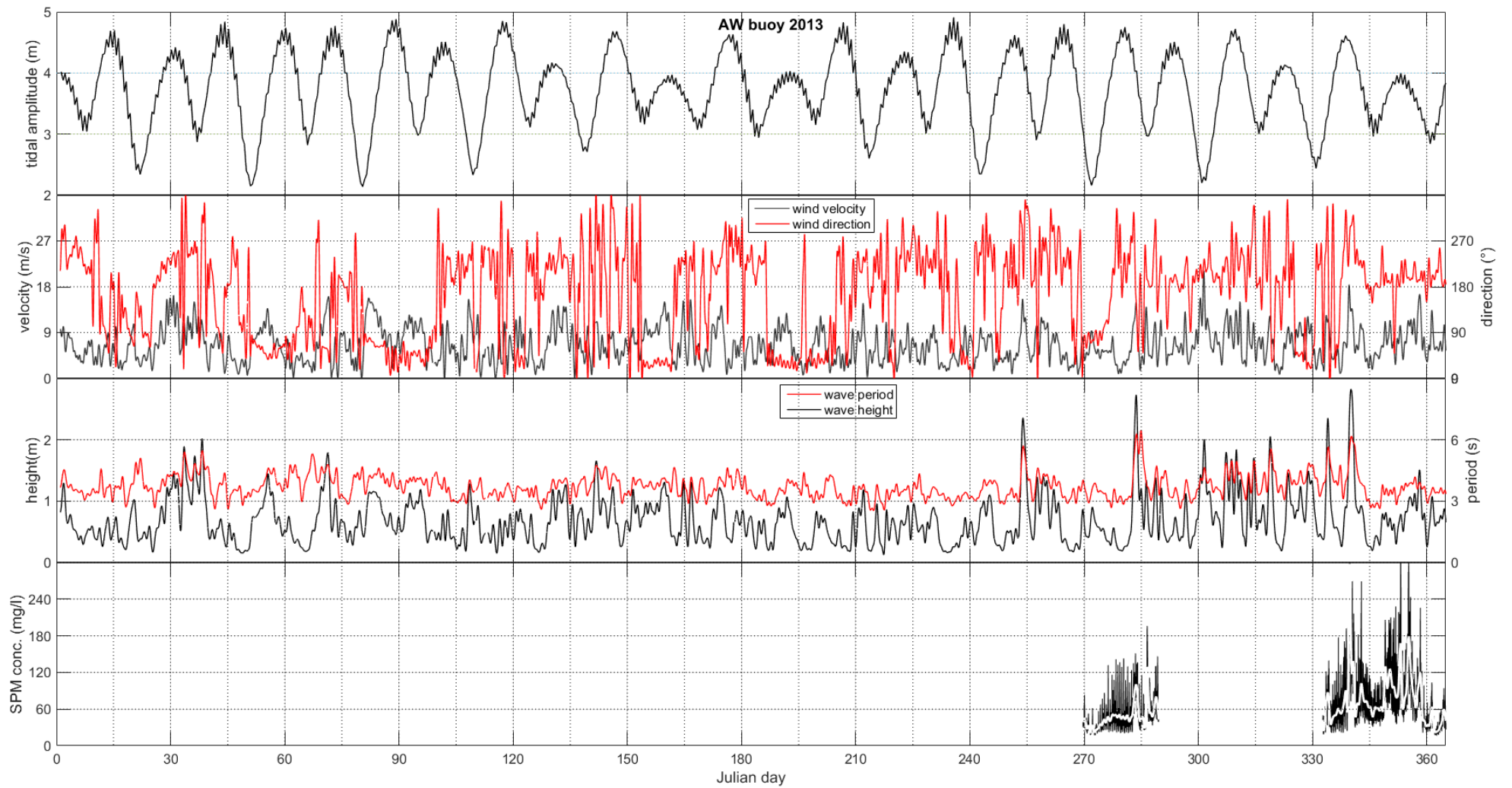


Figure 2.2: AW-buoy 2013, tidal amplitude, low-passed filtered wind direction and velocity at Zeebrugge Dam, low-passed filtered significant wave height and period at A2 buoy, and the OBS5 derived surface SPM concentration (white line is the low-pass filtered signal).



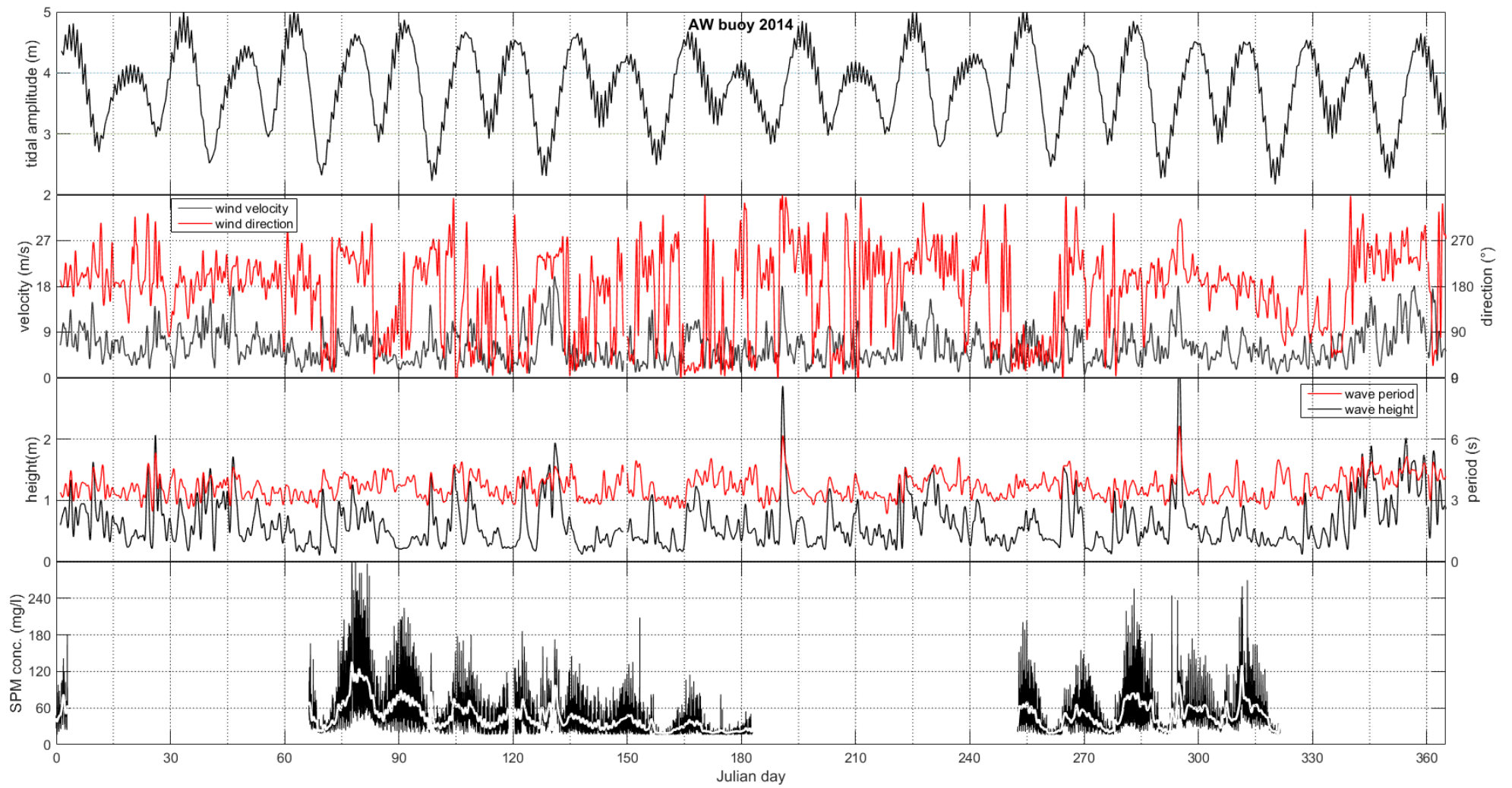


Figure 2.3: AW-buoy 2014, tidal amplitude, low-passed filtered wind direction and velocity at Zeebrugge Dam, low-passed filtered significant wave height and period at A2 buoy, and the OBS5 derived surface SPM concentration (white line is the low-pass filtered signal).

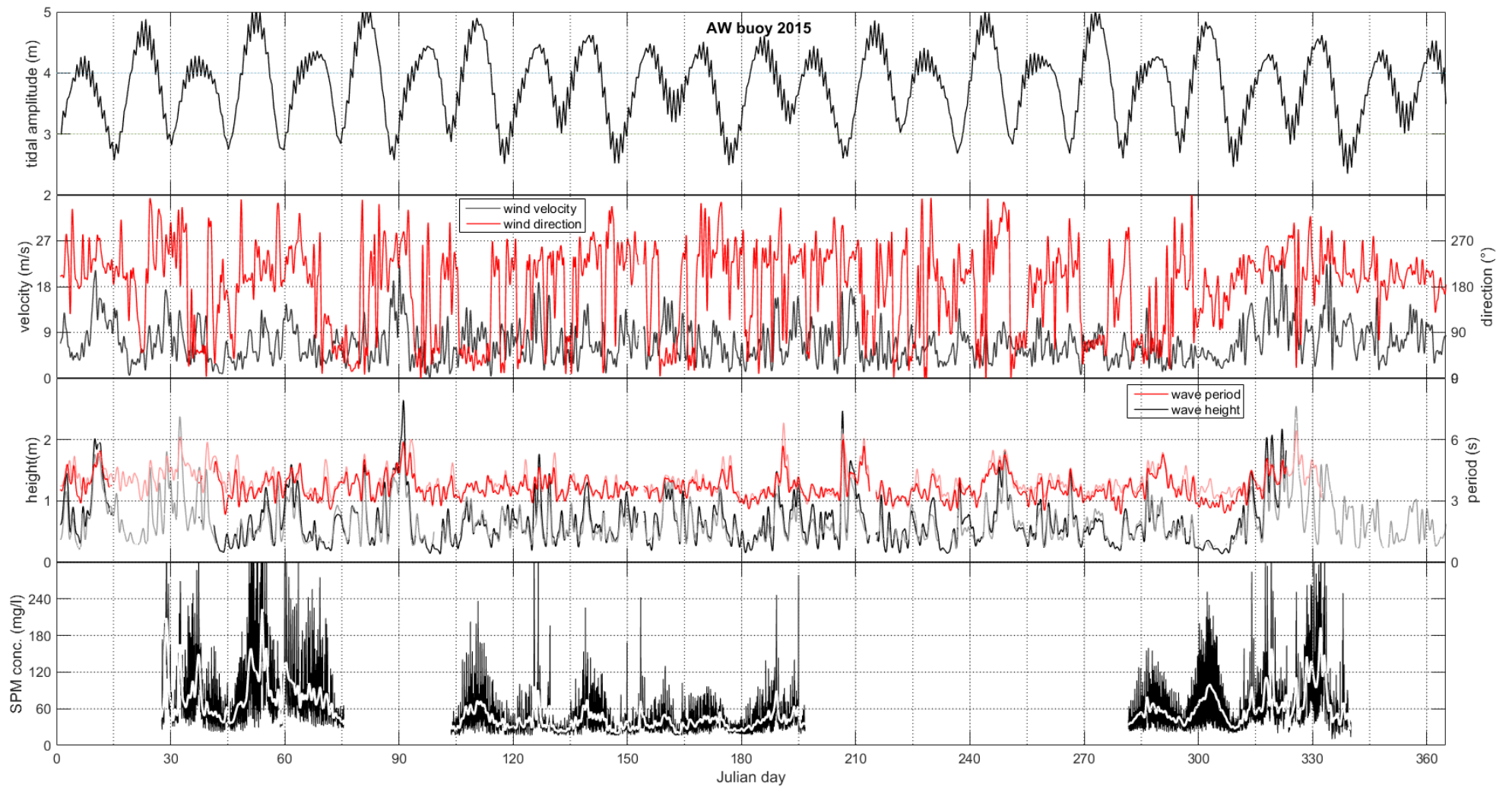


Figure 2.4: AW-buoy 2015, tidal amplitude, low-passed filtered wind direction and velocity at Zeebrugge Dam; low-passed filtered significant wave height and period at A2 buoy and at Trapegeer (lighter lines) and the OBS5 derived surface SPM concentration (white line is the low-pass filtered signal).

### 2.3. Comparison with MOW1 tripod data

The OBS5+ data have been compared with the OBS3+ data collected since 2005 near the bed (0.2 and 2 m above bed) at MOW1 using data classification. To every tidal cycle classification, parameters were assigned that take into account seasons, tidal range, and the significant wave height. Each tidal cycle starts at high water (HW) and finishes at the following HW and was resampled to obtain 50 data points per cycle (i.e., every 15 min). The tidal cycles of each class were then ensemble averaged, and the standard error was calculated. The tidal range was calculated from the harmonic tidal signal and then grouped according to the P66 (3.95 m) and P33 (3.31 m) percentiles into a spring tide (SP, >P66), mean tide (MT, P66-P33), and neap tide (NT, <P33). This division in spring, mean and neap tides is not necessarily corresponding to the astronomical definition of the spring-neap cycle, as some astronomical spring tides or neap tides can have sufficient small or large tidal ranges to be classified as mean tides. The influence of wave systems was looked at by grouping the data into tidal cycles with significant wave heights  $H_s < 0.75\text{m}$  (<P50) and  $H_s > 1.25\text{m}$  (>P90). Classification into seasons was limited to 2 periods, one with a lower SPM and a high Chl concentration in the water column (April-September: summer) and one with a higher SPM and low Chl concentration (October-March: winter), similar as in Fettweis et al. (2014) and Fettweis & Baeye (2015). The results are shown in figures 2.6 and 2.7, and the geometric mean values in tables 3.1-3.3.

Table 3.1: AW buoy 2013-2015, geometric mean surface SPM concentration (mg/l), between brackets is the ration between the value and the mean of all tides.

	year	winter	summer
all tides	45	56 (1.24)	36 (0.80)
spring tide	53 (1.18)	69 (1.53)	41 (0.91)
mean tide	45 (1.00)	58 (1.29)	33 (0.73)
neap tide	36 (0.80)	41 (0.91)	30 (0.67)
$H_s > 1.25\text{m}$	71 (1.58)	89 (1.98)	58 (1.29)
$H_s < 0.75\text{m}$	41 (0.91)	50 (1.11)	33 (0.73)

Table 3.2: MOW1 2005-2013, geometric mean SPM concentration at 2 m above bed (mg/l), between brackets is the ration between the value and the mean of all tides.

	year	winter	summer
all tides	131	165 (1.26)	100 (0.76)
spring tide	163 (1.24)	203 (1.55)	128(0.98)
mean tide	134 (1.02)	177 (1.35)	96 (0.73)
neap tide	97 (0.74)	120 (0.92)	73 (0.56)
$H_s > 1.25\text{m}$	166 (1.27)	181 (1.38)	126 (0.96)
$H_s < 0.75\text{m}$	113 (0.86)	126 (0.96)	101 (0.77)

Table 3.3: MOW1 2005-2013, geometric mean SPM concentration at 0.2 m above bed (mg/l), between brackets is the ration between the value and the mean of all tides.

	year	winter	summer
all tide	332	374 (1.13)	288 (0.87)
spring tide	412 (1.24)	460 (1.38)	366 (1.10)
mean tide	333 (1.00)	405 (1.22)	264 (0.80)
neap tide	250 (0.75)	268 (0.81)	227 (0.68)
$H_s > 1.25\text{m}$	443 (1.33)	433 (1.30)	502 (1.51)
$H_s < 0.75\text{m}$	273 (0.82)	310 (0.93)	244 (0.73)

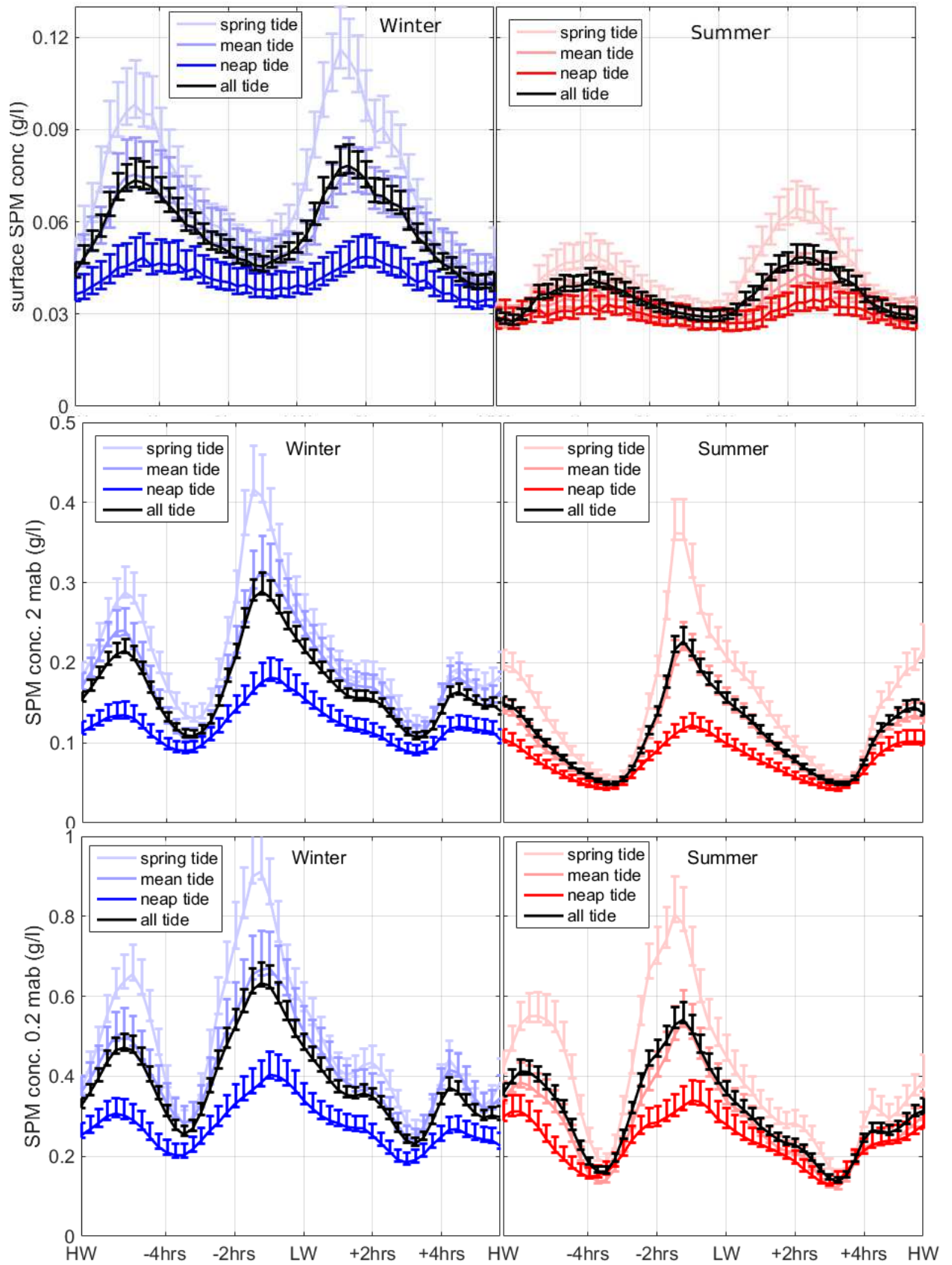


Figure 2.6: Ensemble averaged OBS derived SPM concentration at the surface (AW buoy) and at 2 and 0.2 mab (MOW1) during a tidal cycle in winter (left) and summer (right) and for different tidal ranges. The black line is the seasonal averaged SPM concentration. The error bars are the standard errors.

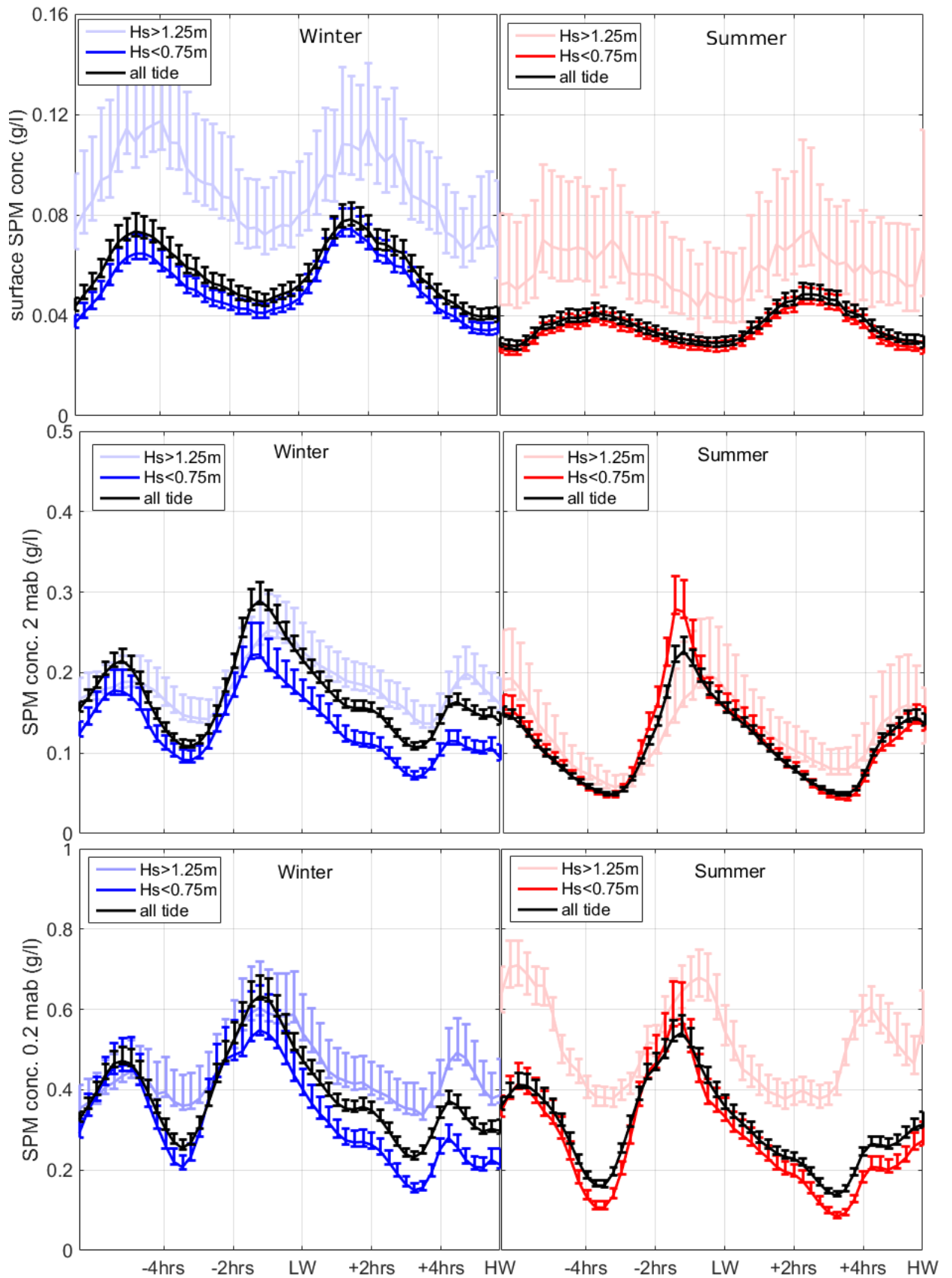


Figure 2.7: Ensemble averaged OBS derived SPM concentration at the surface (AW buoy) and at 2 and 0.2 mab (MOW1) during a tidal cycle in winter (left) and summer (right) and for different tidal ranges. The black line is the seasonal averaged SPM concentration. The error bars are the standard errors.



### 3. Vergelijking tussen SPM concentratie uit in-situ en remote sensing metingen

Satellietbeelden zijn belangrijk voor de studie van SPM dynamica in kustgebieden. De satellietdata kunnen worden gevalideerd door de data te vergelijken met in-situ metingen dicht aan het wateroppervlakte. In deze studie werden de data van de OBS5+ gebruikt die gedurende lange tijd gemeten heeft aan de AW boei (zie hoofdstuk 2). In dit hoofdstuk wordt de vergelijking tussen in-situ en remote sensing data van SPM concentratie beschreven. Voor de satellietdata worden beelden met verschillende horizontale resolutie gebruikt die afkomstig zijn van MODIS en LANDSAT-8 satellieten.

#### 3.1. Buoy platform

The AW buoy is a navigational buoy that was used as a platform for deployment of the OBS5+ sensor. The buoy with all-chain design is anchored at the seabed with a chain length of about 3 times the water depth, which is about 15 m, resulting in some action radius relative to its anchor point (Figure 2.1). Heavy weather conditions (typically NNW or SW storms) made the buoy drift. After the buoy is adrift, the buoy is picked up and deployed in its dedicated position. It is crucial to know the position of the buoy as the obtained in-situ measurements need to be compared with the satellite; therefore, we looked for different methods to estimate the position: a) GPS fix every time the OBS5+ was deployed, b) from the RV Belgica RADAR when in the proximity of the buoy, c) Arduino UNO and Adafruit GPS kit on the buoy, and d) from PLEIADES high-resolution (1 by 1 m) satellite imagery.

A low-cost Arduino UNO - Adafruit GPS in DGPS mode in water-proof housing was deployed to measure the action radius of the buoy under tidal forcing during 5.5 tidal cycles (Figure 1). The action radius was maximal along the main current axis (77 m) and less for the cross-current direction (slack tide window) (20 m). The buoy followed thus more or less the tidal current ellipse i.e. at full current speeds (ebb and flood) the buoy is located furthest from its centre (anchor) point.

#### 3.2. Remotely derived SPM concentrations

##### 3.2.1. MODIS satellite

The Moderate Resolution Imaging Spectro-radiometer (MODIS) onboard of the Aqua satellite, part of the NASA Earth Observation System, provides 1 to 2 daily images over the North Sea area since July 2002. These data up to the year 2014 and with a 250 by 250 m pixel size are used for mapping the SPM concentration distribution. Besides georeferencing, the MODIS images have been processed as follow: a) subtracting the atmospheric contributions by air molecules and aerosols from the radiances measured by the sensor at the top of the atmosphere, and b) obtaining then the marine reflectances,  $\rho_w$ , at MODIS bands. Surface SPM concentration is then retrieved from the remote sensing reflectance at MODIS central band wavelength 667 nm, using the Nechad et al. (2010) algorithm:

$$SPMC = 362.1 * \rho_w / (1 - \rho_w / 0.17)$$

Finally, processing flags (Patt et al. 2003) are used to mask out the land and cloud pixels and any bad quality pixel (e.g. due to atmospheric correction failure, negative reflectance neighboring clouds, adjacency effects).



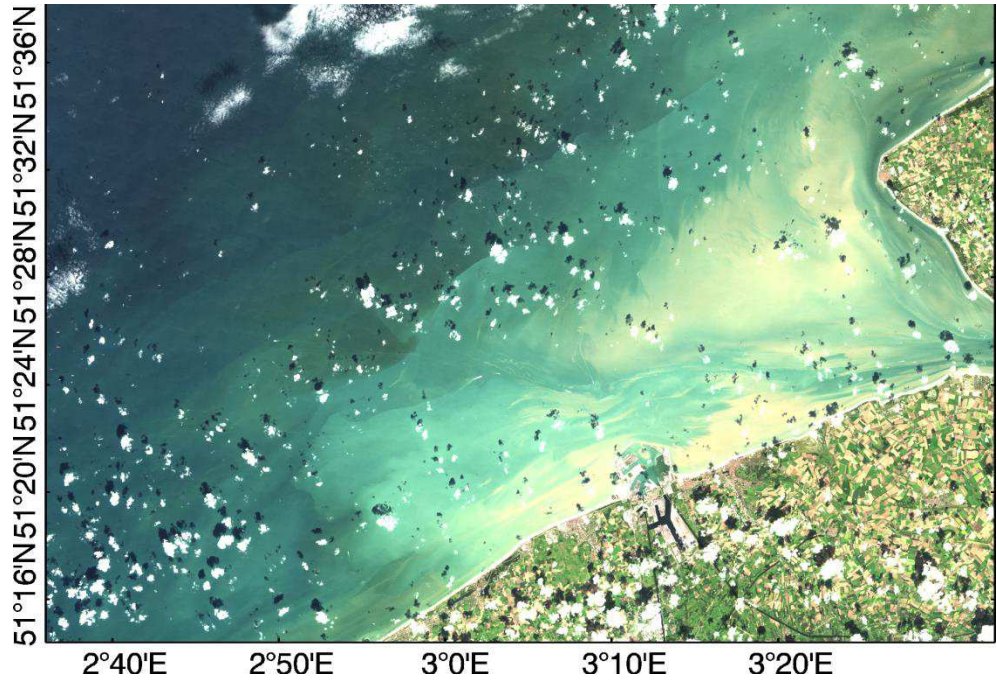


Figure 3.1: LANDSAT-8 original RGB photo of the Belgian coastal zone with scattered cumulus clouds

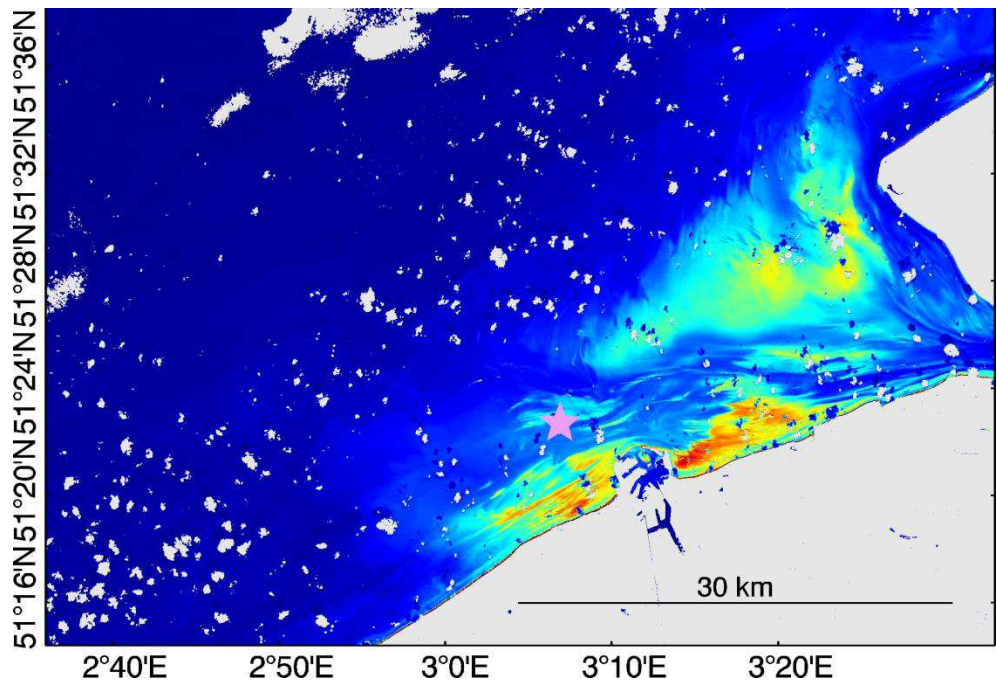


Figure 3.2: SPM concentration derived from LANDSAT-8 SPM concentration map of the Belgian coastal zone (deep blue color is close to 0 mg/L, deep red is about 100 mg/L). The pink star is the location of the OBS5+ measurements.

### 3.2.2. LANDSAT-8 satellite

LANDSAT-8 was launched in February 2013 with a ground track repeat cycle of 16 days and a crossing time at 10:45 a.m. for the Belgian coastal zone. The Operational Land Imager (OLI) on LANDSAT-8 is a nine band push broom scanner with a swath width of 185 km. Suspended particulate matter is retrieved using OLI bands 4 (red) and 5 (near infra-red) at 30 m spatial resolution. Processing included, among others, atmospheric correction and correction for scattering by molecules and aerosols to retrieve water-leaving radiance

reflectance (for details see Vanhellemont & Ruddick 2014). A set of 20 cloud-free LANDSAT-8 images (this is about one fourth of the total amount of images acquired in 2013 and 2014) were used for this study. Figure 3.1 is an original RGB LANDSAT-8 image of the Belgian coastal zone area, and an example of the derived SPM concentration map is shown in Figure 3.2.

### 3.2.3. Descriptive statistics

MODIS-Aqua satellite data reveal fortnightly (spring-neap) and meteorological variations in surface SPM concentrations (Figure 3.3). The most pronounced cycle is related to seasonal variations and is well described in literature (Fettweis et al. 2007; Van den Eynde et al. 2007; Pietrzak et al. 2011). SPM concentrations during winter are a factor 2 higher than during summer. Influences of spring-neap cycles are also possible to identify. Note that MODIS cannot be used to gather SPM concentration during the different phases of tide (i.e. high water, low water and slack tides) for both spring and neap tides (Doxaran et al. 2009; van der Wal et al. 2010). This is a result of the 24 h sampling interval of the MODIS-Aqua which is 0.84 h shorter than the 24.84 h period of the diurnal tide. Every 15 days the same phase of the tide is sampled, corresponding to the periodicity of the spring – neap cycles. Table 2.1 gives the characteristics of the MODIS SPM concentration that also represents a log-normal distribution. Overall, the MODIS SPM concentration values are lower than what is derived in-situ with the OBS5+.

For the time being, the LANDSAT8 data set is quite limited due to the satellite-sensor being operational only since 2013, to the low sampling interval (every 16 days), and to the frequent occurrence of clouds. Therefore the available data set is not yet sufficient to study time-series of SPM dynamics but gives a nice and detailed snapshot. Nevertheless an analysis of the match-ups between OBS5+ and LANDSAT-8 was realized and discussed in the next paragraph.

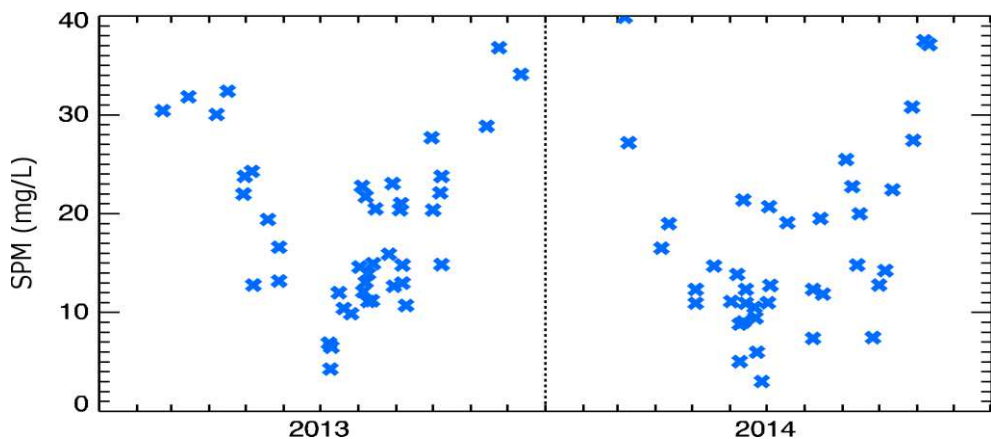


Figure 3.3: MODIS time-series of SPM concentration in 2013 and 2014.

### 3.3. Inter-comparison of in situ and remote sensing SPM concentrations

The scatter plot between in situ OBS5+ vs. MODIS data during match-ups (Figure 3.4) shows a high occurrence of points lying under the 1:1 line implying OBS5+ derived SPM concentration being 2 to 4 times higher than the MODIS derived one. The reason for the large difference between satellite and in situ data is probably caused by the difference in resolution of both measuring systems. The scatter plot represents the comparison of an over 250×250m averaged SPM concentration pixel in MODIS with a point measurement of the OBS5+ undergoing spatial variations due to tidal movements of the buoy (77×20m). We can assume that the movements of the buoy occur in one pixel of the satellite. The occurrence of high spatial variability is shown in the LANDSAT-8 picture (Figure 3.2). The high

spatial variability is translated in high temporal variation in the OBDS5+ data, suggesting that the underestimation of the MODIS is probably partly due to the averaged value in MODIS.

An underestimation of MODIS vs in situ data was also inferred from the statistics: geometric mean of MODIS distribution is less than the geometric mean of the OBS5+ distribution (Table 2.1). Regardless of the match-ups, parts of the tidal cycle in relation to spring-neap tides are not captured by sun-synchronous satellites, such as MODIS. The OBS5+ in-situ data show that SPM concentration is highest during LW at spring tides; a tidal phase that is not measured by MODIS in the study area. The latter, together with the fact that satellite images consist of a subset of the population, biased towards good weather condition and spring–summer seasons (Fettweis & Nechad 2011) explains also the lower SPM concentrations found in the satellite images when comparing to in situ data. Surface sediment transport or light infiltration in turbid waters, based on MODIS data, will thus under- or overestimate reality respectively.

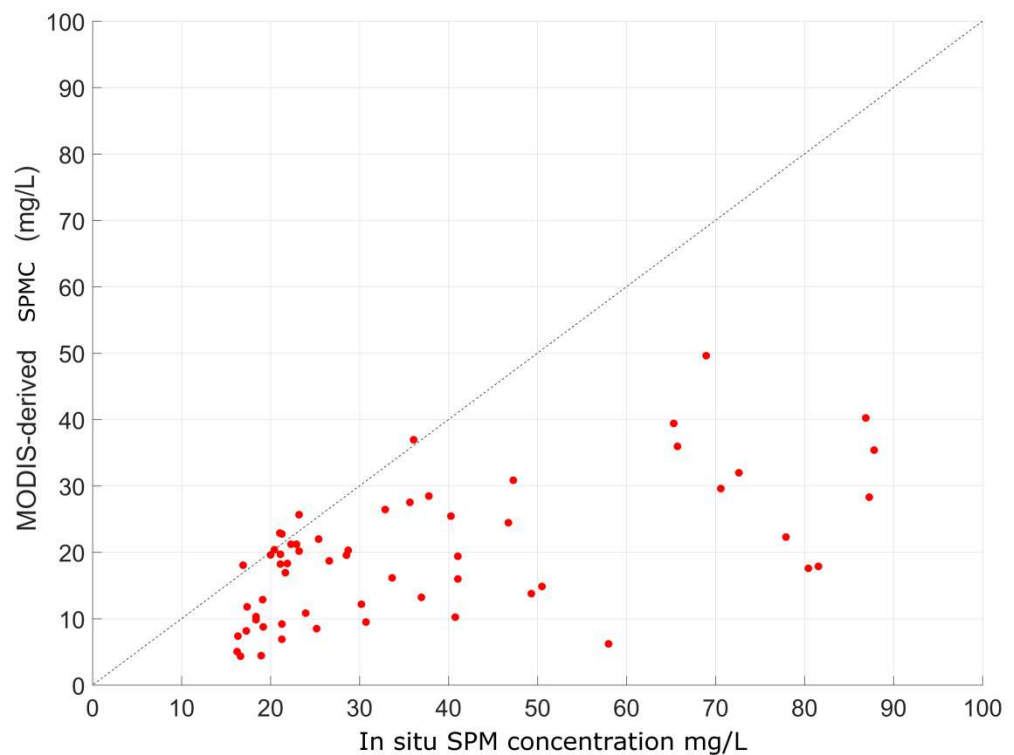


Figure 3.4: Match-ups relationship between MODIS and OBS5+ with reference dashed 1:1 line.

The scatter plot of in situ data OBS5+ vs. LANDSAT-8 represents the comparison of an over 30×30m averaged SPM concentration pixel in LANDSAT-8 with a point measurement of the OBS5+ undergoing some spatial variations due to the tidal movements of the buoy (77×20m). In this case the buoy is depending on the tide not always situated in the same pixel of the satellite. When comparing the SPMC between LANDSAT-8 and OBS5+ (only n = 11 match-ups), we found a very good correlation (n=5) for the lower range concentrations (less than 45 mg/L) with a Pearson’s correlation of 0.97 (Figure 3.5). The other 6 match-ups are lying under the 1:1 line, again points with higher SPM concentration measured by the OBS5+ compared to the LANDSAT-8-derived SPMC. The scatter data plot is quite similar to what is produced with the MODIS vs. OBS5+ data.

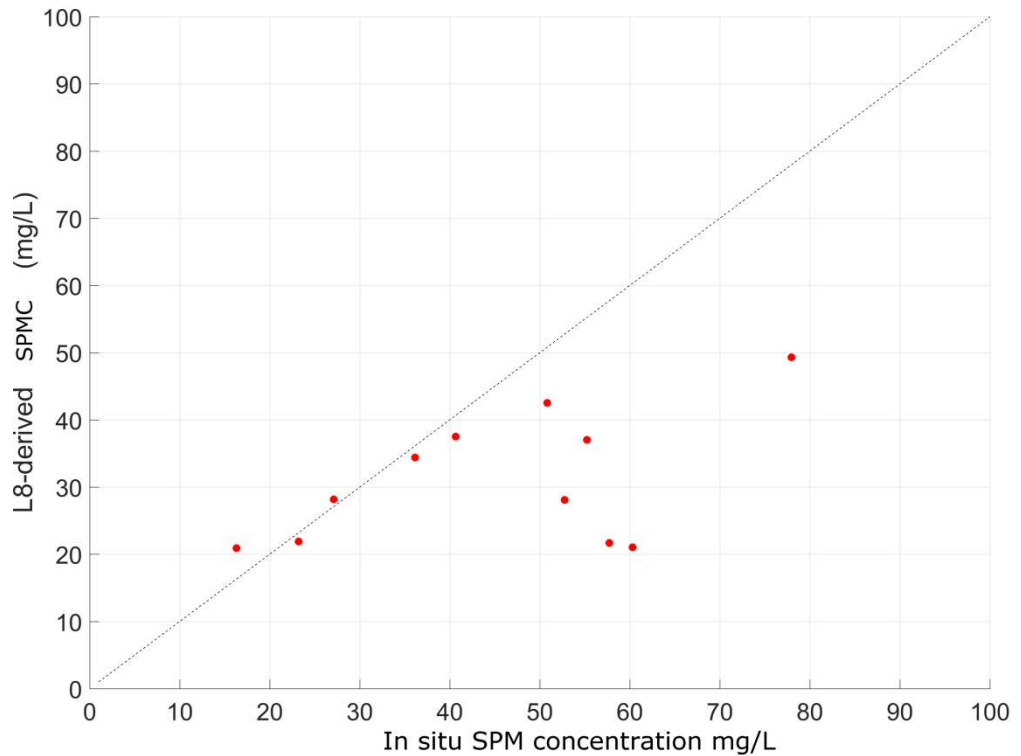


Figure 3.5: Match-ups relationship between LANDSAT-8 and OBS5+ with reference dashed 1:1 line.

### 3.4. Origin of satellite underestimation

The match-ups between MODIS and LANDSAT-8 respectively with the OBS5+ show a high amount of data where the satellite has significantly lower values than the in situ data. This underestimation is probably due to the averaged values that are obtained from MODIS and LANDSAT-8 and that filter out high spatial variabilities that are already visible in the LANDSAT-8 images (Figure 3.2) but much better in the 1×1m resolution PLEIADES image (Figure 3.6). The logical question now would be why overestimation in the satellites vs OBS5+ is hardly observed and – if present - far less pronounced than the underestimation.

Not only the use of PLEIADES comes in handy for geo-locating the buoy, but allowed also to observe small-scale phenomena of increased SPM concentration in the wake of the buoy (Figure 3.6). These wakes typically align to the current downstream during full current. The origin of these wakes is likely to be the buoy anchorage concrete blocks and chain. This immediately raises the question if the surface buoy and the attached OBS5+ sensor are directly present in this wake effect? This phenomenon of sediment wakes have already been observed associated to offshore wind turbines (Baeye & Fettweis 2015; Vanhellemont & Ruddick 2014), measuring piles, and even submerged shipwrecks (Baeye et al. 2016). It explains to our opinion why mainly under full current speeds and thus especially for the higher SPM concentrations the match-up between SPM concentration from the OBS5+ and the LANDSAT-8 is poor (see Figure 3.5). Both MODIS (250×250 m) and LANDSAT-8 (30×30 m) are not able to capture this small-scale process, and consequently these sediment plumes will be averaged out in the associated MODIS and LANDSAT-8 pixels. SPM concentration maps derived from Pleiades is work in progress but first results already correspond with sediment wake concentrations of about 4 times the surrounding concentrations, confirming the above-mentioned findings.



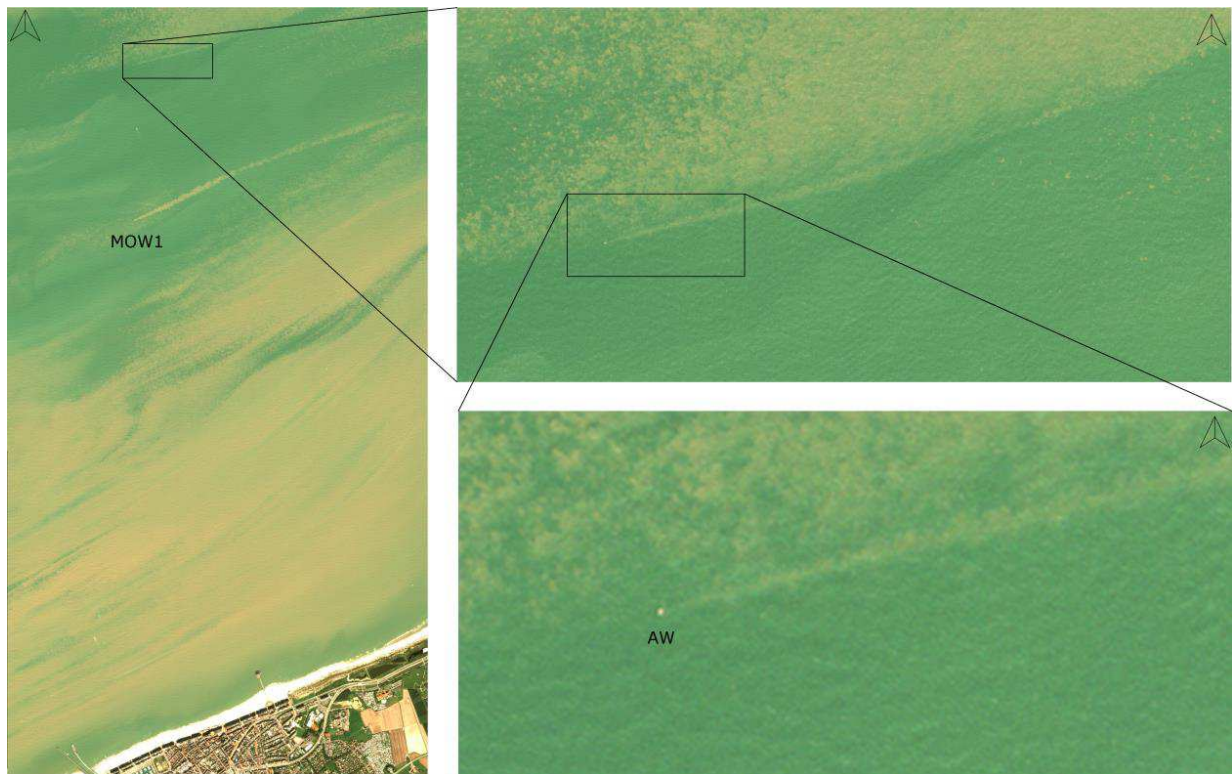
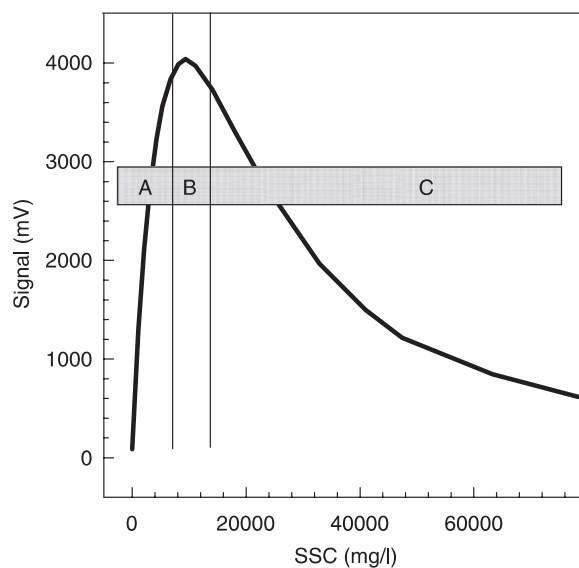


Figure 3.6: PLEIADES 1×1m resolution images of the Belgian coastal zone off Blankenberge with MOW1, a measuring pile, and its SPM wake in NE direction clearly detectable (left). The two zooms (right panel) show the SPM wake that is associated with the AW navigational buoy.

## 4. Reconstructie van gesatureerde SPM concentraties in de tijdreeksen

Een OBS signaal wordt beïnvloed door de SPM concentratie, de partikelgrootte, nabij-infrarood reflectie en flocculatie/aggregatie. Het is het effect van de verandering in lichtverstrooiing, rechtstreeks gekoppeld aan de concentratie aan SPM, dat in dit geval het belangrijkste is. Die invloed wordt weergegeven in figuur 4.1, waarin we 3 zones zien waarin de OBS (Optische Backscatter Sensor) verschillend reageert op een stijging in SPM concentratie (Downing 2006). In de eerste zone, A, reageert de OBS nagenoeg lineair op de toename in concentratie aan SPM. Rond 6000 mg/l wordt lichtattenuatie doorslaggevend en vlakt het signaal af (zone B). In zone C gaat de OBS zich als een transmissometer gedragen en zal het licht dat de sensor detecteert, exponentieel dalen met toenemende concentratie aan SPM.



*Figuur 4.1: Respons van een OBS-3 sensor op een toename aan SPM concentratie (uit Downing 2006)*

De in situ metingen van de concentratie aan SPM nabij de meetpaal MOW1, ten NW van de haven van Zeebrugge, uitgevoerd met een autonome tripode, uitgerust met Optische Backscatter Sensoren (OBS), vertonen in de periode 2005-2013 verzadigingen. Het is de OBS sensor die het dichtst bij de bodem werd opgesteld die gemakkelijk verzadigd raakte door een combinatie van periodes met verhoogde SPM concentraties (hogere golven, stormen, ...) en het gebruik van sensoren met een beperkt bereik.

De opzet van deze studie is het aanvullen van de ontbrekende data, ontstaan door saturatie; de reconstructie van de SPM pieken die nu afgeknot zijn. De methodes die getest zijn kunnen opgedeeld worden in twee groepen: enerzijds de bestaande methodes van het opvullen van gaten in datareeksen en anderzijds een methode die de vorm van de pieken bestudeert en op die manier de afgeknotte piek zal trachten te reconstrueren.

De eerste groep van methodes wordt hierna kort beschreven en besproken. Het werd duidelijk dat deze in het geval van saturaties tekort schieten. De tweede methode wordt in een aparte bijlage beschreven. Het is deze, vrij simpele methode, die uiteindelijk werd toegepast op de datareeks van 2005-2013. Een statistische beschrijving van de toegepaste methode rond dit hoofdstuk af.



#### 4.1. Principal Component Analysis en afgeleide methodes

In datasets komen groepen variabelen voor die tezamen bewegen. Een reden hiervoor kan zijn dat meer dan één variabele dezelfde achterliggende drijvende kracht meet die het gedrag van een systeem bepaalt. In vele systemen zijn er slechts enkele zulke aandrijvende krachten, maar een overvloed van instrumentatie en sensoren stellen je ertoe in staat om tientallen systeemvariabelen te meten. In zo'n geval kan je gebruik maken van die overtolligheid aan informatie. Je kan het probleem vereenvoudigen door een groep gelinkte variabelen te vervangen door één enkele, nieuwe variabele.

Principal component analysis (PCA) is een kwantitatief rigoureuze methode om deze vereenvoudiging te bereiken. De methode gaat al terug tot Pearson (1901) en levert een nieuwe reeks van variabelen, de hoofdcomponenten of principal components genaamd. Elk principal component is een lineaire combinatie van de oorspronkelijke variabelen. Alle principal components staan loodrecht op elkaar, zodat er geen overbodige informatie is. De principal components als geheel vormen een orthogonale basis voor de ruimte van de data.

Er is een oneindig aantal manieren om een orthogonale basis te maken voor meerdere kolommen data. Wat de principale component zo speciaal maakt is dat de eerste principale component één as in de ruimte is. Als je elke waarneming op die as projecteert, dan vormen de resulterende waarden een nieuwe variabele. En de variantie van deze variabele is maximaal langs alle mogelijke keuzes van de eerste as. De tweede principale component is een as in de ruimte, loodrecht op de eerste. Observaties die op deze as geprojecteerd worden, genereren ook een nieuwe variabele. De variantie van deze variabele is eveneens maximaal langs alle mogelijke keuzes van de tweede as.

De volledige set van de principale componenten is net zo groot als de originele set van variabelen, maar het is gebruikelijk om de som van de varianties van de eerste aantal principale componenten 80% van de totale variantie van de oorspronkelijke gegevens te laten overschrijden. Door plots van deze enkele nieuwe variabelen te bestuderen, kan men vaak een dieper begrip ontwikkelen van de drijvende krachten die de oorspronkelijke gegevens genereerden.

De Probabilistische PCA (PPCA) methode en de Singular Spectrum Analysis zijn twee afgeleide methodes van de PCA, die toegepast kunnen worden op datasets met ontbrekende data. PPCA is gebaseerd op een isotrope foutenmodel. Het tracht een  $p$ -dimensionale waarnemingsvector  $y$  te relateren aan een overeenkomstige  $k$ -dimensionale vector van latente (of niet geobserveerde) variabele  $x$ , die normaal is bij een gemiddelde van nul en covariantie  $I(k)$  (Tipping & Bishop 1999). De relatie is:

$$y^T = Wx^T + \mu + \varepsilon,$$

waarbij  $y$  de vector is van de waargenomen variabele,  $x$  de vector van latente variabelen is en  $\varepsilon$  de isotrope ruis- of foutterm is.  $\varepsilon$  is Gaussiaans met een gemiddelde gelijk aan nul en covariantie van  $v * I(k)$ , waarin  $v$  de residuele variantie is. Standaard PCA, waarbij de residuele variantie nul is, is het grensgeval van PPCA. De waargenomen variabelen  $y$  zijn voorwaardelijk onafhankelijk gezien de waarde van de latente variabelen,  $x$ . De latente variabelen verklaren dus de correlaties tussen de waarnemingsvariabelen en de fout verklaart de variabiliteit specifiek voor een bepaalde  $y$ . De  $p \times k$  matrix  $W$  verbindt de latente en observatie variabelen en de vector  $\mu$  laat toe het model een gemiddelde nul te hebben. PPCA gaat ervan uit dat de waarden in willekeurige volgorde ontbreken door de dataset. Dit betekent dat of een datawaarde ontbreekt of niet, niet afhangt van de latente variabele gegeven de geobserveerde datawaarden.

Singular Spectrum Analysis (SSA) is in essentie een PCA in het tijdsdomein die

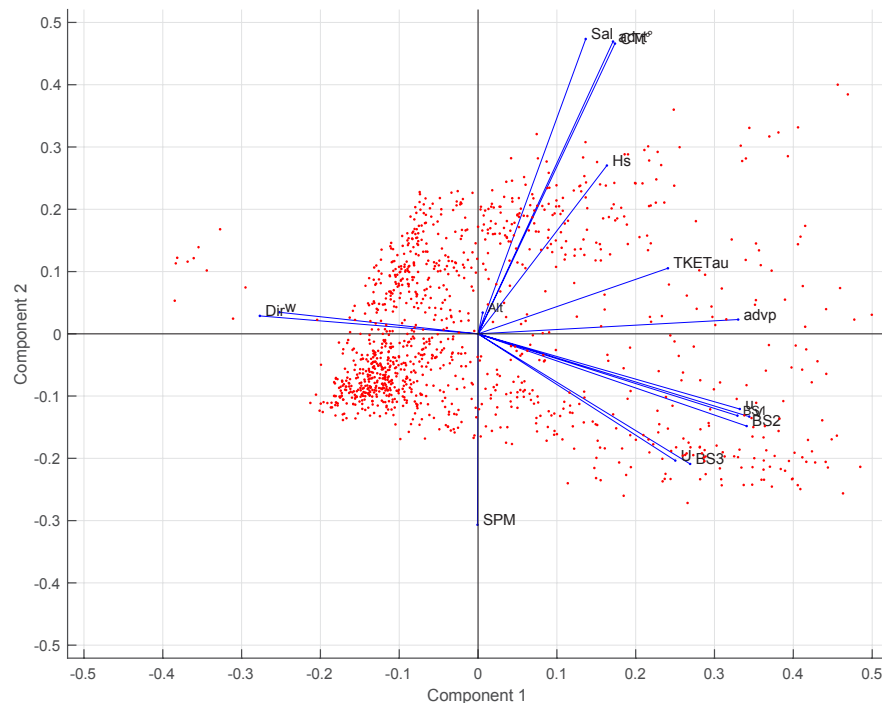
informatie haalt uit korte tijdsreeksen met ruis, zonder voorgaande kennis over de dynamica die de tijdsreeks beïnvloedt (Vautard & Ghil 1989; Dettinger et al. 1995). Schoellhamer (2001) presenteert een methode om SSA in aanwezigheid van ontbrekende data toe te passen. Hij paste de methode (SSAM) succesvol toe om ontbrekende SPM concentratie metingen in de San Franciscobaai aan te vullen (Schoellhamer 2001, 2002). Het SPM signaal wordt hierbij ontbonden in diurnale, semidiurnale en andere, hoog frequentie, getijdcomponenten. Een typisch 30-uren window wordt hierbij gehanteerd om de onderliggende getijdesignalen volledig te capteren. Andere windowgroottes (semimaandelijks, maandelijks, ...) kunnen eveneens toegepast worden.

Deze twee methodes, De PPCA en de SSAM, komen in aanmerking om de gesatureerde SPM pieken aan te vullen, ten minste, als men ervan uitgaat dat een verzadiging van een sensor als ontbrekende data kan beschouwd worden.

#### 4.2. Toepassing van PCA en SSA op SPM data

Een Principal Component Analyse werd toegepast op een dataset, komende van de Acoustic Doppler Velocimeter (ADV), gekoppeld aan een Hydra die data van de ADV en een CT sensor, uitgerust met 2 OBSen, wegschrijft. De dataset die gekozen werd, de eerste verankering van 2008 (28 januari tot en met 24 februari), vertoonde nergens verzadigingen en kwam dus in aanmerking voor PCA om te kijken welke variabelen een proxy voor elkaar kunnen zijn. Het resultaat wordt weergegeven in Figuur 4.2.

Uit Figuur 4.2 kan men al gauw afleiden dat een aantal variabelen met elkaar clusteren, maar dat SPM zich alleen op de eerste principele as bevindt en er geen variabele in de buurt is, zelfs geen negatief gecorreleerde variabelen (die zich aan de overkant van de as zou moeten bevinden). De PCA toont, met andere woorden, aan dat er geen proxy voor SPM te vinden is en dat er dus geen andere variabele kan gebruikt worden om eventuele ontbrekende data aan te vullen.

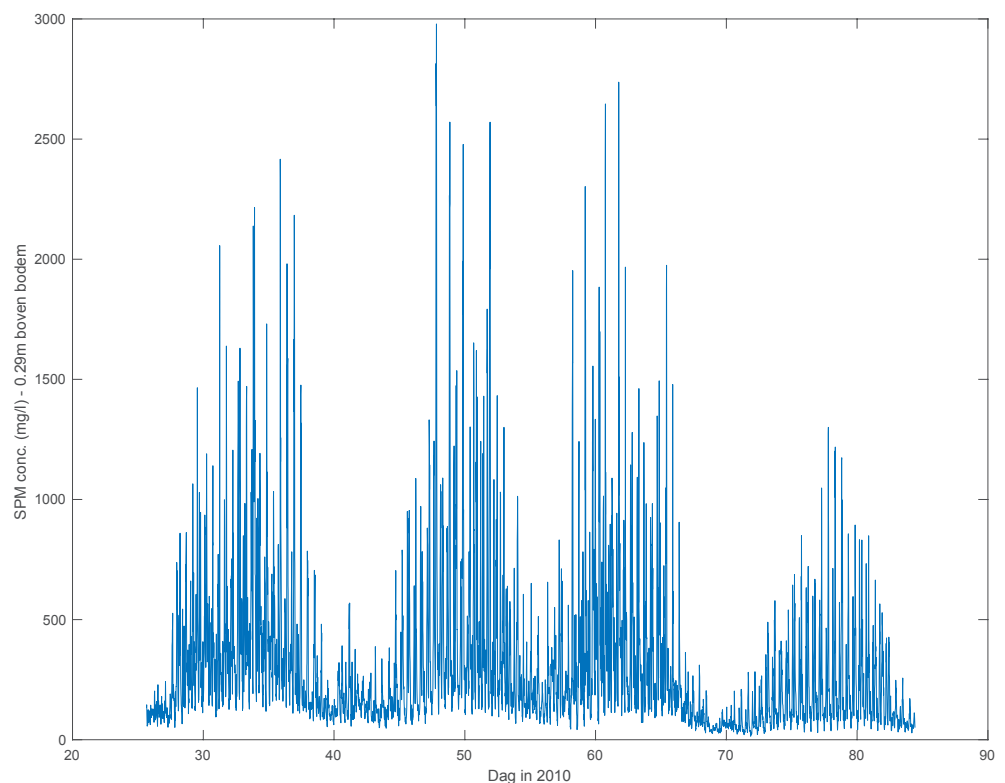


Figuur 4.2: PCA van ADV data. Gebruikte variabelen: SPM, advp (diepte van de ADV), advt° (watertemperatuur gemeten door ADV), BS1, BS2, BS3 (akoestische backscatter), Sal (saliniteit), CTt°, (watertemperatuur gemeten door CT), Alt (altimeter, hoogte boven de zeebodem), u, v, w (stroomcomponenten), U (magnitude stroom), Dir (stroomrichting), TKETau (bodemschuifspanning, gebaseerd op de TKE-methode), HS (golfhoogte).

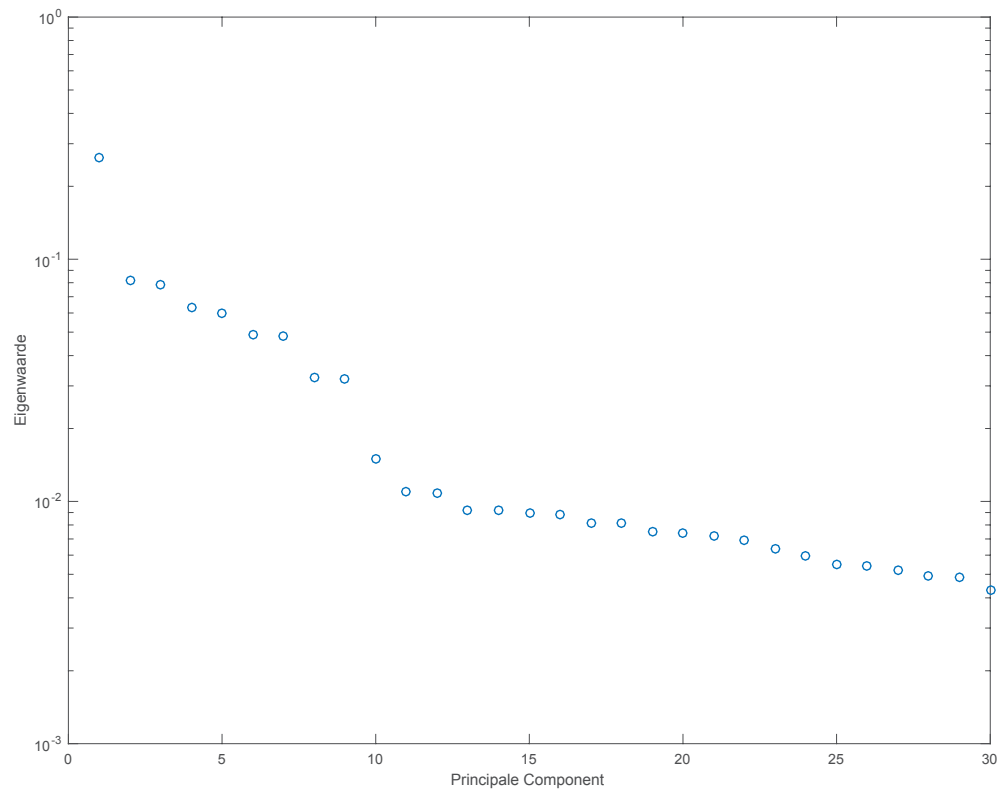
Als tweede test werd een SSAM uitgevoerd. Hiervoor werd een dataset gebruikt uit 2010 (25 januari – 25 maart) die geen verzadigingen vertoont (Figuur 4.3). In deze dataset werd een verzadiging ingevoerd op 1500 mg/l. Alle hogere concentraties werden uit de dataset verwijderd en bijgevolg als missende waarde aangeduid. Bij het uitvoeren van een SSAM wordt eerst de achterlopende autocorrelatie berekend (waarbij het window telkens opschuift), waarbij ieder datapaar met een missende waarde wordt genegeerd. Vervolgens worden, net als bij SSA, de eigenwaarden en de eigenvectoren berekend voor de achterlopend autocorrelatie matrix (Figuur 4.4).

Figuur 4.4 toont dat om aan minstens 80% van de totale variantie (= de som van de eigenwaarden) te komen er 19 componenten dienen genomen te worden. De eerste component is goed voor 26.10% van de totale variantie. De som van de 19 componenten stijgt tot 80.27%. Figuur 4.5 toont de afzonderlijke gereconstrueerde componenten (de eerste 10 van de in totaal 19). We onderscheiden in deze eerste 10 alvast 3 types signalen (1<sup>e</sup>, 2<sup>e</sup> tot en met 9<sup>e</sup> en het tiende).

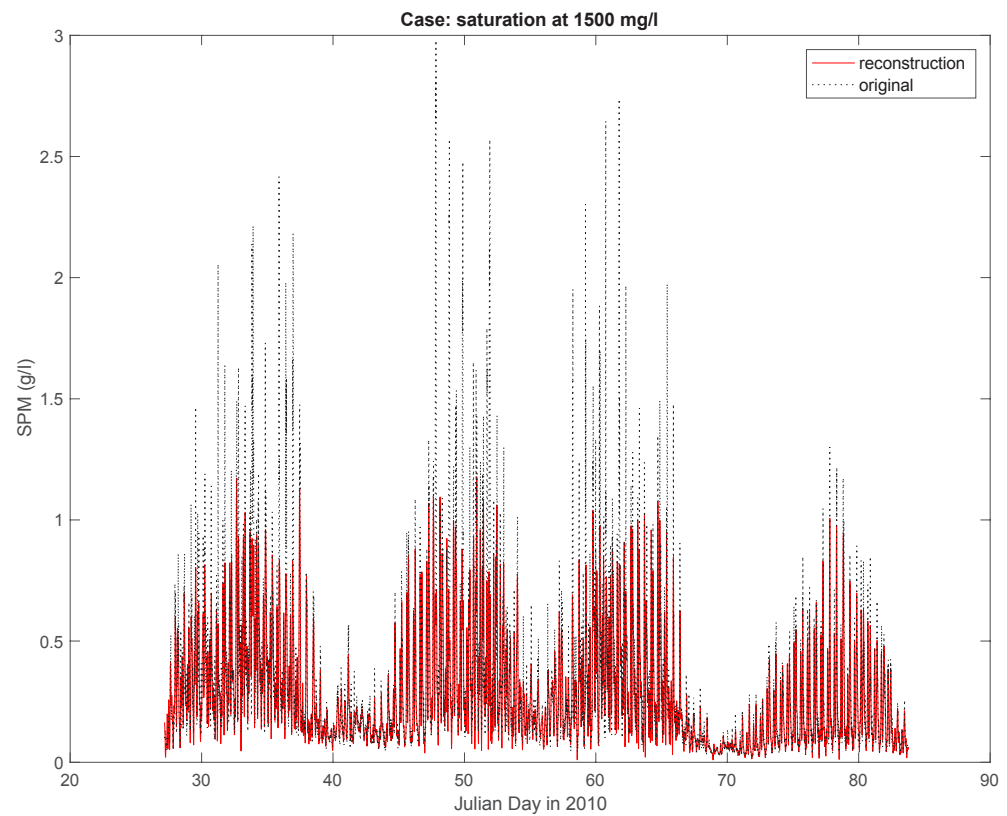
De volgende stap is het berekenen van het gereconstrueerde SPM signaal door de afzonderlijke componenten op te tellen, te vermenigvuldigen met de standaard deviatie en het gemiddelde erbij op te tellen. Figuur 4.6 toont het gereconstrueerde SPM signaal met daarbij het originele SPM signaal. Het is meteen duidelijk dat de methode niet in staat is de hoge SPM waarden, die verwijderd werden uit de set, terug te reconstrueren.



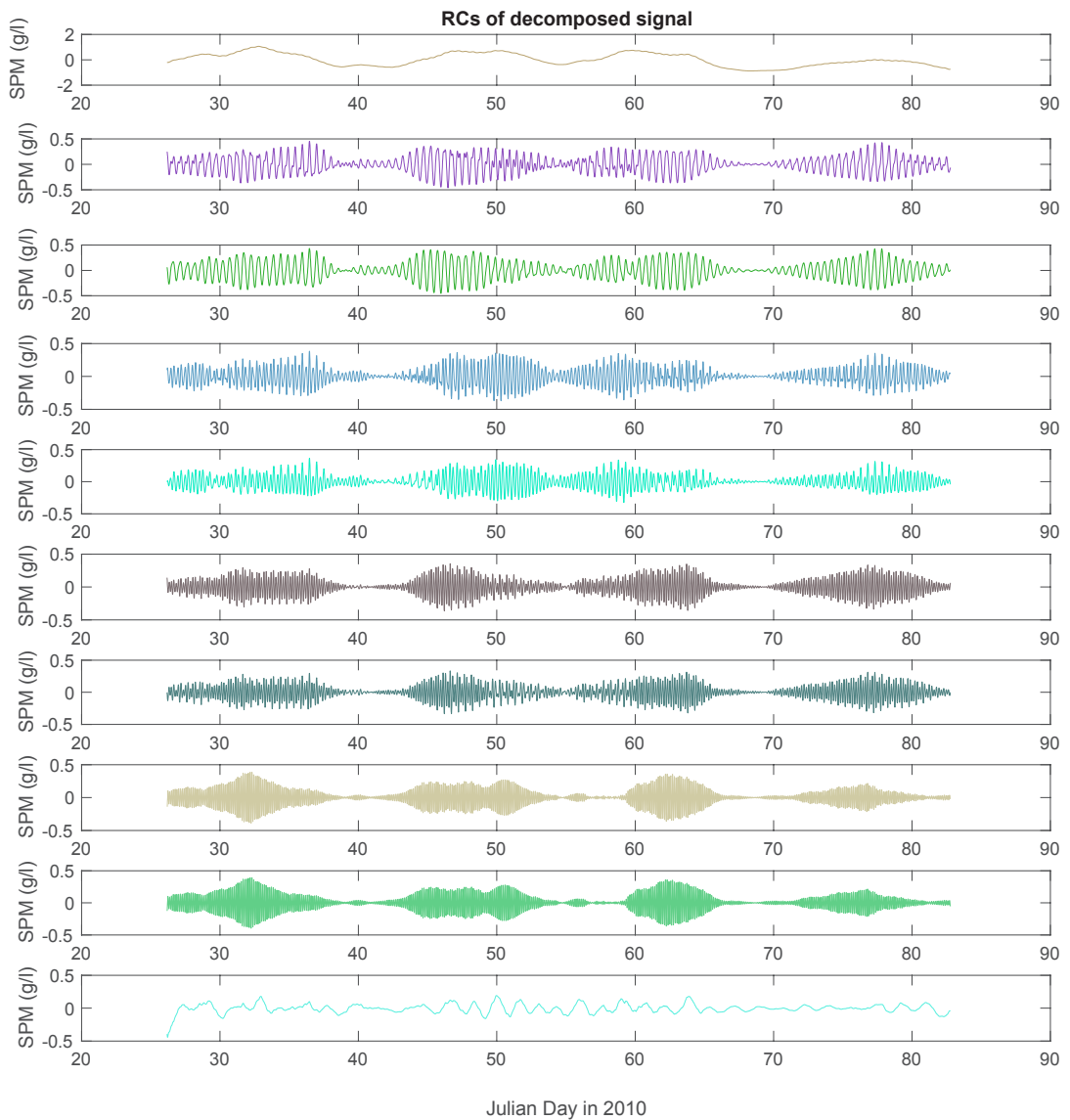
*Figuur 4.3: SPM concentratie dataset 25/01/2010 – 25/03/2010.*



Figuur 4.4: De gesorteerde principale componenten met bijhorende eigenwaarden.



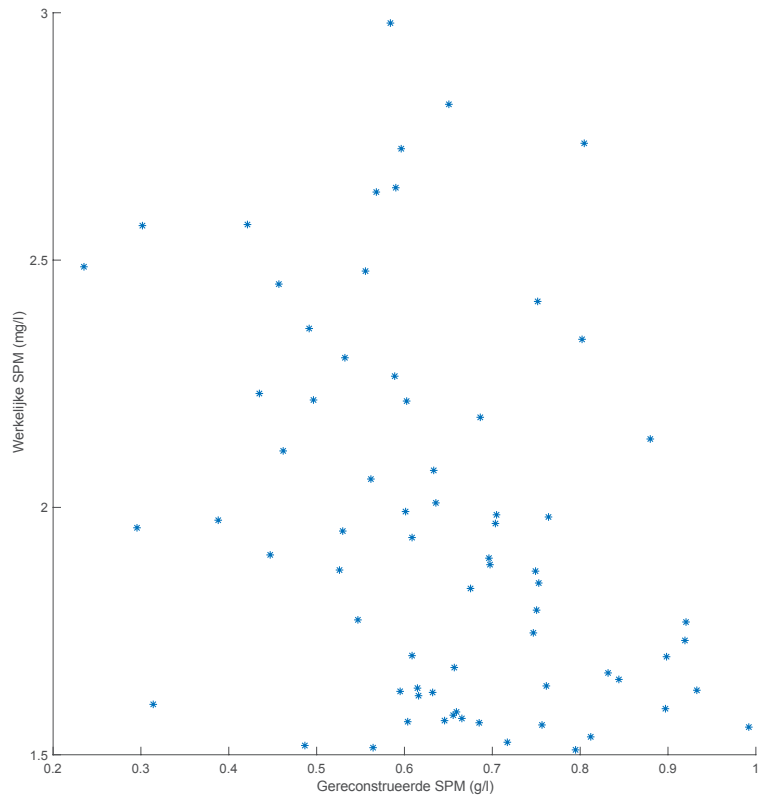
Figuur 4.6: SPM concentratie dataset 25/01/2010 – 25/03/2010. Reconstructie van het SPM concentratiesignaal (rood) in vergelijking met het oorspronkelijke SPM signaal (zwarte stippellijn).



*Figuur 4.5: De eerste 10 gereconstrueerde componenten van het ontleedde signaal.*

Als we de gereconstrueerde waarden op de plaatsen waar een missende waarde was plotten tegen de originele waarden, dan zien we de tekortkoming van deze methode duidelijk (Figuur 4.7). Er is geen correlatie tussen beide data.

De aanname was dat men ervan uitgaat dat een verzaaging van een sensor als ontbrekende data kan beschouwd worden. En net daar ligt het probleem. Beide methodes zijn uitermate geschikt om ontbrekende data in tijdsreeksen op te vullen, zolang de volledige schaal of de maximale waarde van de variabele is gekend. Het zijn dus, met andere woorden, geen extrapolators en zullen problemen hebben met het aanvullen van gesatureerde data, want de maximale uitwijking in de dataset is niet gekend.



Figuur 4.7: Scatterplot van gereconstrueerde SPM data (daar waar de data verwijderd werd) ten opzichte van de originele data.

### 4.3. Toepassen van een eenvoudige methode voor de reconstructie van SPM concentratie pieken: resultaten en bespreking

Een eenvoudige methode, waarbij de relatie tussen de breedte en de hoogte van een SPM piek werd onderzocht, werd ontwikkeld (zie appendix 2). De methode werd op de volledige SPM datareeks (2005 – 2013) toegepast en de invloed van de reconstructie wordt in dit deel besproken.

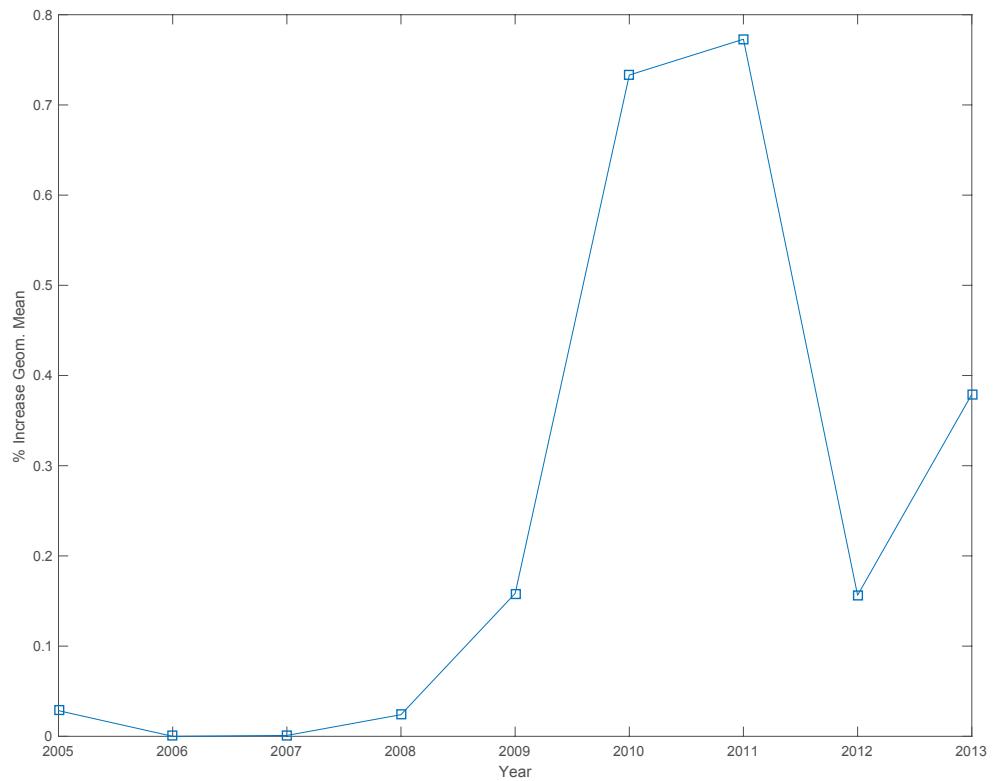
De invloed van de reconstructie, waarbij de SPM concentratie stijgt, wordt getest door per maand en per jaar het geometrisch gemiddelde te berekenen, en dit zowel voor de oorspronkelijke, gesatureerde data, als voor de gereconstrueerde data. De invloed van de reconstructie wordt dan beoordeeld door de twee gemiddelden per tijdspanne met elkaar te vergelijken en de eventuele toename in concentratie aan SPM als een percentage uit te drukken.

Het geometrisch gemiddelde van  $n$  getallen wordt verkregen door de getallen met elkaar te vermenigvuldigen en vervolgens van het product de  $n$ -de-machtswortel te nemen. Het geometrisch gemiddelde wordt ook wel meetkundig gemiddelde genoemd. Voor  $n=2$  gebruikt men ook de synoniemen middelevenredige of middenevenredige. Het geometrisch gemiddelde  $m$  is

$$m = \left[ \prod_{i=1}^n x_i \right]^{\frac{1}{n}}$$

Figuren 4.8 en 4.9 geven het procentuele stijgen van het geometrisch gemiddelde van de gereconstrueerde SPM concentratie per maand en per jaar weer. Figuur 4.10 geeft het geometrisch gemiddelde na reconstructie weer.



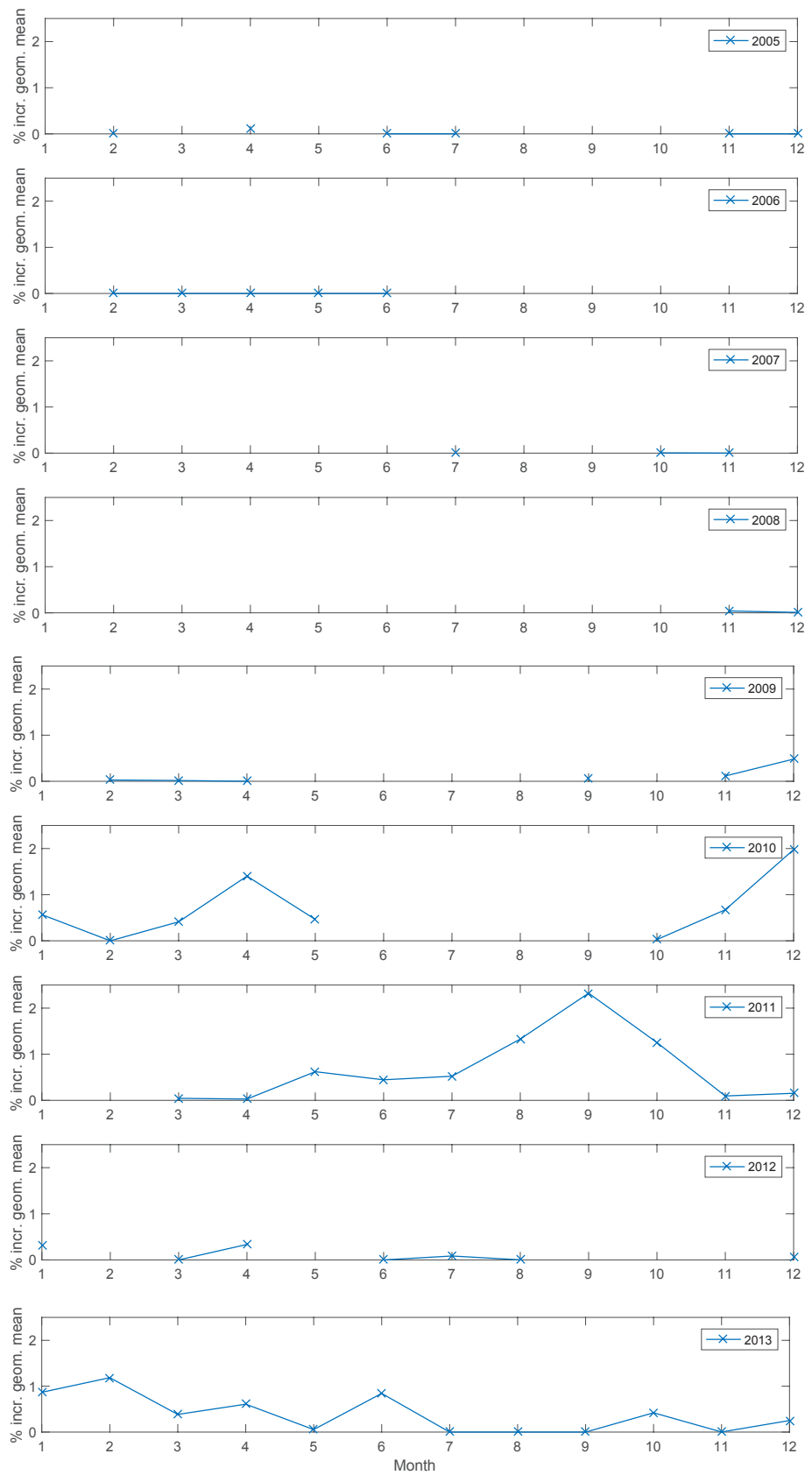


*Figuur 4.8: Procentuele toename in de geometrisch gemiddelde SPM concentratie per jaar.*

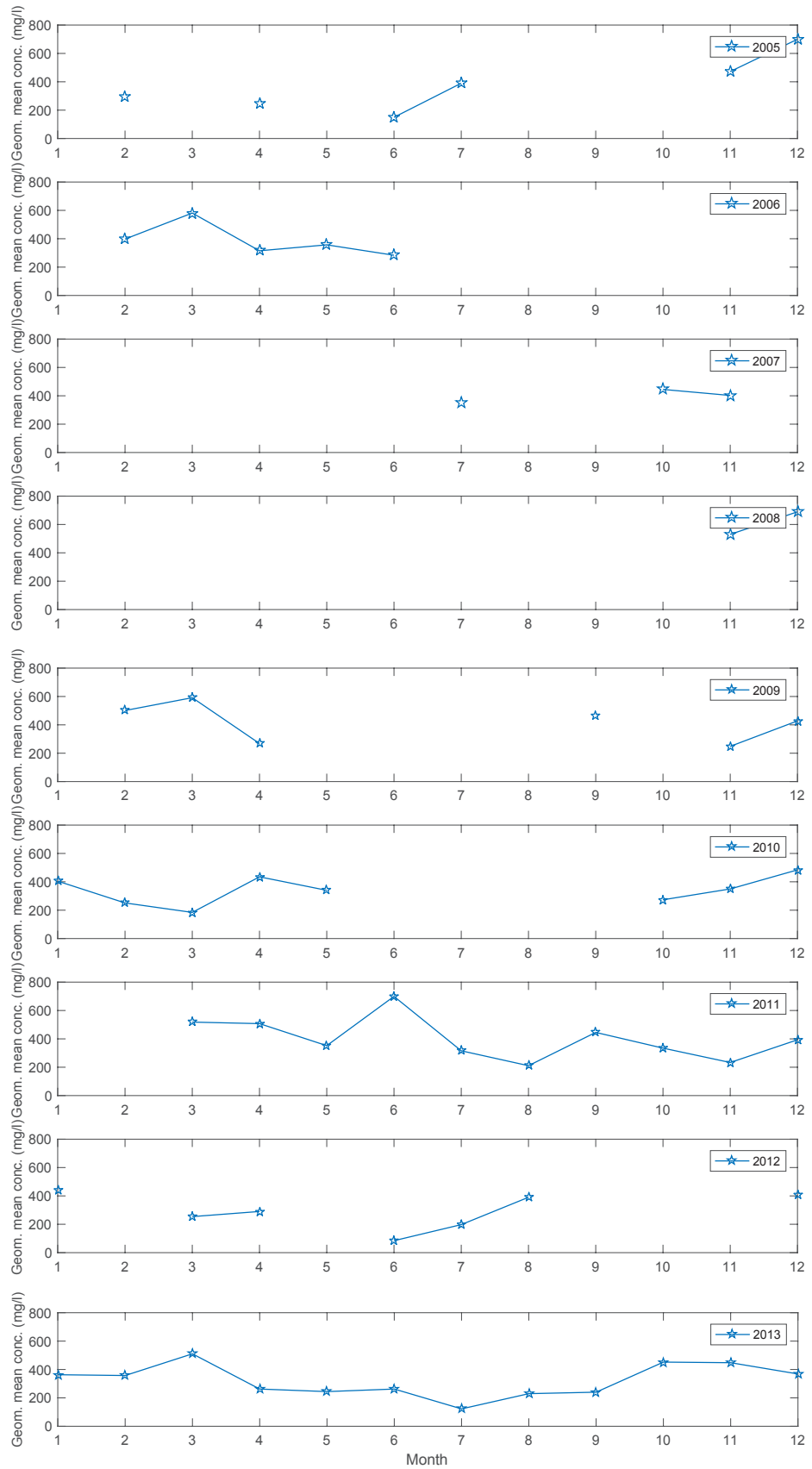
Het geometrisch gemiddelde neemt vanaf 2009 procentueel sterk toe, om dan in 2012 terug te dalen. Toch is de gemiddelde toename in SPM concentratie door de reconstructie van de SPM pieken eerder aan de lage kant, met minder dan 1% op jaarbasis. Dat er pas in 2009 een toename te zien is, kan verklaard worden door het feit dat er vanaf 2009 op quasi permanente basis metingen werden uitgevoerd en dat er dus vanaf dan veel meer data werd vergaard.

De grootste invloed van de reconstructie is te zien in de laatste maanden van 2010 en de periode augustus – oktober 2011, met telkens een toename die tussen de 1 en 2% ligt. Om dit percentage toename te koppelen aan een concentratie wordt in Figuur 4.10 het geometrisch gemiddelde van concentratie SPM weergegeven. De invloed van de reconstructie is waarneembaar, maar blijft beperkt over een maand en een jaar.

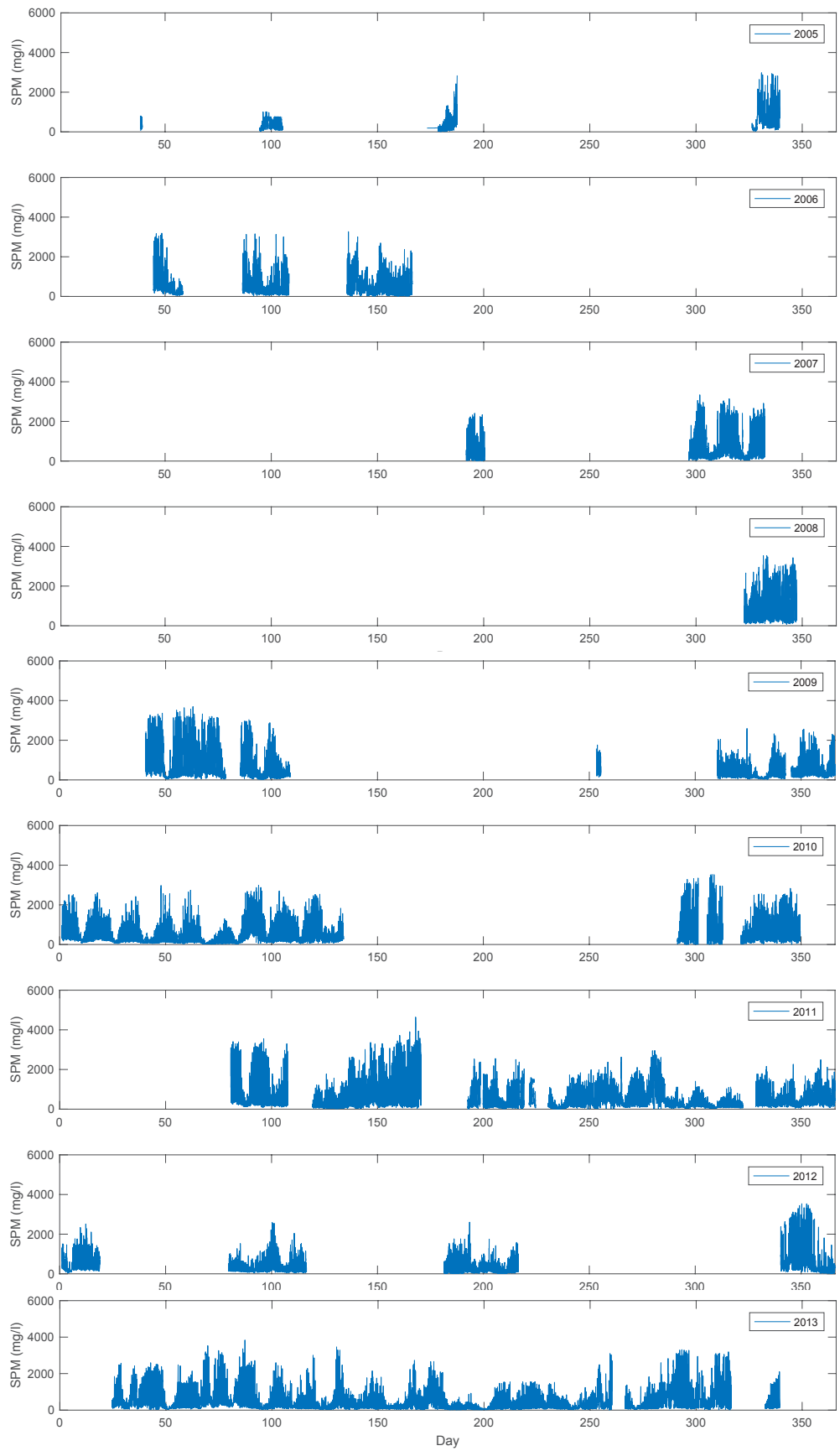
Ten slotte wordt in figuur 4.11 de gereconstrueerde SPM concentraties van alle data in de periode 2005 – 2013 weergegeven.



Figuur 4.9: Procentuele toename in de geometrisch gemiddelde SPM concentratie per maand.



Figuur 4.10: Geometrisch gemiddelde concentratie SPM per maand.



Figuur 4.11: Gereconstrueerde SPM concentratie tijdseries.

## 5. Referenties

- Baeye M, Fettweis M. 2015. In situ observations of suspended particulate matter plumes at an offshore wind farm, southern North Sea. *Geo-Marine Letters*, 35, 247-255.
- Baeye M, Quinn R, Deleu S, Fettweis M. 2016. Detection of shipwrecks in ocean colour satellite imagery. *Journal of Archaeological Science*, 66, 1-6.
- Dettinger MD, Ghil M, Strong M, Weibel W, Yiou P. 1995. Software expedites singular-spectrum analysis of noisy time series. *EOS Transactions, AGU* 76.
- Downing J. 2006. Twenty-five years with OBS sensors: the good, the bad, and the ugly, *Continental Shelf Research*, 26:2299–2318.
- Doxaran D, Froidefond J-M, Castaing P, Babin M. 2009. Dynamics of turbidity maximum zone in a macrotidal estuary (the Gironde, France): Observations from field and MODIS satellite data. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 81, 321-332.
- Fettweis M, Nechad B, Van den Eynde D. 2007. An estimate of the suspended particulate matter (SPM) transport in the southern North Sea using SeaWiFS images, in situ measurements and numerical model results. *Continental Shelf Research* 27, 1568-1583.
- Fettweis M, Nechad B. 2011. Evaluation of in situ and remote sensing sampling methods of SPM concentration, Belgian continental shelf (southern North Sea). *Ocean Dynamics*, 61, 157-171.
- Fettweis M, Baeye M, Van der Zande D, Van den Eynde D, Lee BJ. 2014. Seasonality of floc strength in the southern North Sea. *Journal of Geophysical Research*, 119, 1911–1926
- Fettweis M, Baeye M. 2015. Seasonal variation in concentration, size and settling velocity of muddy marine flocs in the benthic boundary layer. *Journal of Geophysical Research*, 120, 5648–5667.
- Lauwaert B, Fettweis M, Cooreman K, Hillewaert H, Moulaert I, Raemaekers M, Mergaert K, De Brauwer D. 2004. Syntheserapport over de effecten op het mariene milieu van baggerspeciëstoringen. BMM, DVZ & aMT rapport, BL/2004/01, 52pp.
- Lauwaert B, De Brauwer D, Fettweis M, Hillewaert H, Hostens K, Mergaert K, Moulaert I, Parmentier K, Verstraeten J. 2006. Syntheserapport over de effecten op het mariene milieu van baggerspeciëstoringen (vergunningperiode 2004-2006). BMM, ILVO & aMT rapport, BL/2006/01, 87pp.
- Lauwaert B, Bekaert K, Berteloot M, De Brauwer D, Fettweis M, Hillewaert H, Hoffman S, Hostens K, Mergaert K, Moulaert I, Parmentier K, Vanhoey G, Verstraeten J. 2008. Syntheserapport over de effecten op het mariene milieu van baggerspeciëstoringen (vergunningperiode 2006-2008). BMM, ILVO, aK & aMT rapport, BL/2008/01, 128pp.
- Lauwaert B, Bekaert K, Berteloot M, De Backer A, Derweduwen J, Dujardin A, Fettweis M, Hillewaert H, Hoffman S, Hostens K, Ides S, Janssens J, Martens C, Michielsens T, Parmentier K, Van Hoey G, Verwaest T. 2009a. Synthesis report on the effects of dredged material disposal on the marine environment (licensing period 2008-2009) Report by MUMM, ILVO, CD, aMT & WL, BL/2009/01. 73pp.
- Lauwaert B, Bekaert K, Berteloot M, De Backer A, Derweduwen J, Dujardin A, Fettweis M, Hillewaert H, Hoffman S, Hostens K, Ides S, Janssens J, Martens C, Michielsens T, Parmentier K, Van Hoey G, Verwaest T. 2009b. Syntheserapport over de effecten op het mariene milieu van baggerspeciëstoringen (vergunningperiode 2008-2009). Rapport uitgevoerd door BMM, ILVO, CD, aMT & WL, BL/2009/01. 18pp.
- Lauwaert B, Delgado R, Derweduwen J, Devriese L, Fettweis M, Hostens K, Janssens J, Robbens J, Timmermans S, Van Hoey G, Verwaest T. 2011a. Synthesis report on the effects of dredged material disposal on the marine environment (licensing period 2010-2011). Report by MUMM, ILVO, CD, aMT & WL, BL/2011/12, 85pp.
- Lauwaert B, Delgado R, Derweduwen J, Devriese L, Fettweis M, Hostens K, Janssens J, Robbens J, Timmermans S, Van Hoey G, Verwaest T. 2011b. Synthese rapport over de effecten op het mariene milieu van baggerspeciëstoringen (vergunningperiode 2010-2011). Rapport uitgevoerd BMM, ILVO, CD, aMT & WL, BL/2011/12, 16pp.
- Lauwaert B, Fettweis M, De Witte B, Van Hoey G, Timmermans S, Martens C. 2014. Vooruitgangrapport (januari 2012 – juni 2014) over de effecten op het mariene milieu van baggerspeciëstoringen. Rapport door KBIN-BMM, ILVO, CD & aMT, BL/2014/01,

21pp.

- Nechad B, Ruddick K, Park Y. 2010. Calibration and validation of a generic multisensor algorithm for mapping of total suspended matter in turbid waters. *Remote Sensing of Environment*, 114, 854-866.
- Patt FS, Barnes RA, Eplee RE Jr, Franz BA, Robinson WD, Feldman GC, Bailey SW, Gales J, Werdell PJ, Wang M, Frouin R, Stumpf RP, Arnone RA, Gould RW Jr, Martinolich PM, Ransibrahmanakul V, O'Reilly JE, Yoder JA. 2003. Algorithm Updates for the Fourth SeaWiFS Data Reprocessing. In: Hooker SB, Firestone ER (Eds.), *NASA Tech. Memo. 2003--206892*, 22, 74 pp.
- Pearson K. 1901. On lines and planes of closest fit to systems of points in space. *Philosophical Magazine* 2, 559–572.
- Pietrzak JD, de Boer GJ, Eleveld MA. 2011. Mechanisms controlling the intra-annual meso-scale variability of SST and SPM in the southern North Sea. *Continental Shelf Research*, 31, 594-610.
- Schoellhamer DH. 2002. Variability of suspended-sediment concentration at tidal to annual time scales in San Francisco Bay, USA. *Continental Shelf Research*, 22, 1857–1866.
- Schoellhamer, D.H., 2001. Singular spectrum analysis for time series with missing data. *Geophysical Research Letters*, 28, 3187–3190.
- Tipping, M., E., Bishop, C., M., 1999. Probabilistic Principal Component Analysis. *Journal of the Royal Statistical Society, Series B (Statistical Methodology)*, 611–622.
- van der Wal D, Wielemaker-Van den Dool A, Herman P. 2010. Spatial synchrony in intertidal benthic algal biomass in temperate coastal and estuarine ecosystems. *Ecosystems*, 13, 338-351.
- Van den Eynde D, Nechad B, Fettweis M, Francken F. 2007. Seasonal variability of suspended particulate matter observed from SeaWiFS images near the Belgian coast. In: Maa JP-Y, Sanford LP, Schoellhamer DH (Eds.) *Estuarine and coastal fine sediments dynamics, Proceedings in Marine Science*, 8, 291-311.
- Vanhellemont Q, Ruddick K. 2014. Turbid wakes associated with offshore wind turbines observed with Landsat 8. *Remote Sensing of Environment*, 145, 105-115.
- Vautard R, Yiou P, Ghil M. 1992. Singular-spectrum analysis: A toolkit for short, noisy chaotic signals. *Physics D*, 58, 95–126.

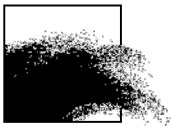
## COLOPHON

Dit rapport werd voorbereid door de BMM in september 2016  
Zijn referentiecode is .MOMO/7/MF/201609/NL/AR/5

De scheepstijd met de RV Belgica werd voorzien door BELSPO en KBIN-OD Natuur

Indien u vragen hebt of bijkomende copies van dit document wenst te verkrijgen, gelieve een e-mail te zenden naar [mfettweis@naturalsciences.be](mailto:mfettweis@naturalsciences.be), met vermelding van de referentie, of te schrijven naar:

Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen  
OD Natuur – BMM  
t.a.v. Michael Fettweis  
Gulledelle 100  
B-1200 Brussel  
Tel: +32 2 773 2132;  
email: [mfettweis@naturalsciences.be](mailto:mfettweis@naturalsciences.be)





## **APPENDIX 1**

**Tijdseries AW-boei: OBS5-SPM concentratie 2013-2015**

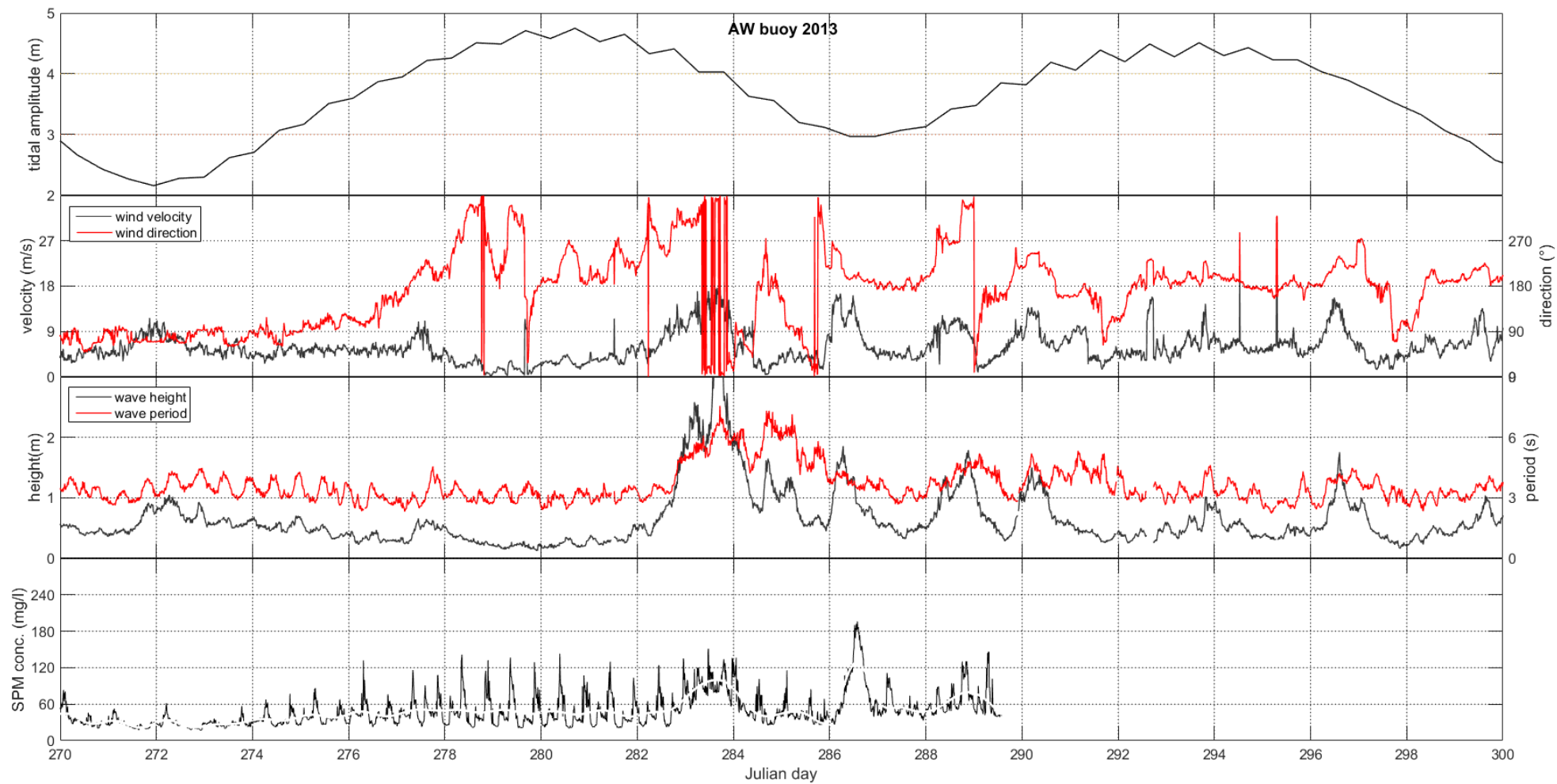


Figure A1.1: AW buoy 2013, tidal amplitude wind direction and velocity at Zeebrugge Dam, significant wave height and period at A2 buoy, and the OBS5+ derived surface SPM concentration (white line is the low-pass filtered signal).

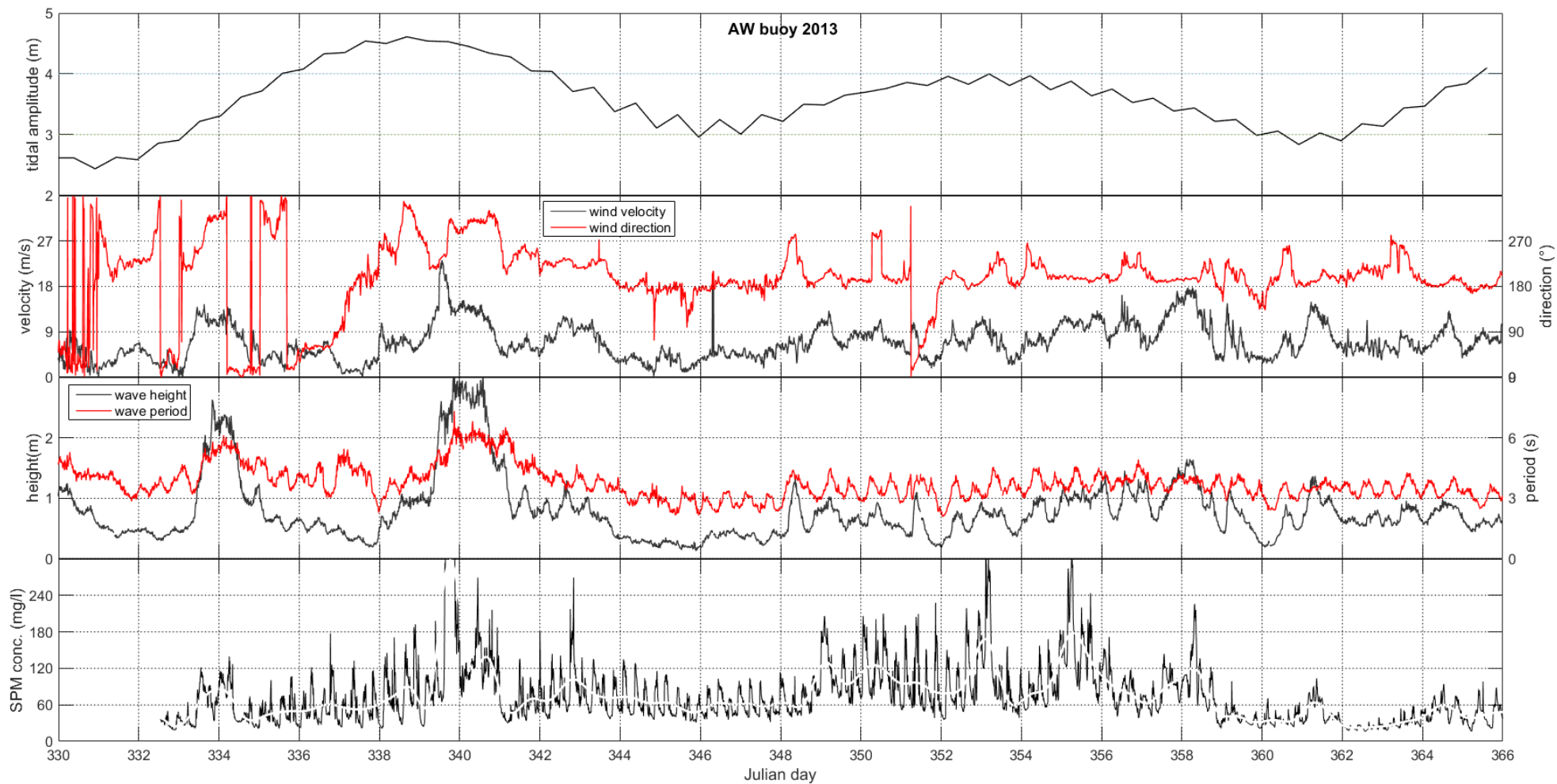


Figure A1.2: AW buoy 2013, tidal amplitude wind direction and velocity at Zeebrugge Dam, significant wave height and period at A2 buoy, and the OBS5+ derived surface SPM concentration (white line is the low-pass filtered signal).

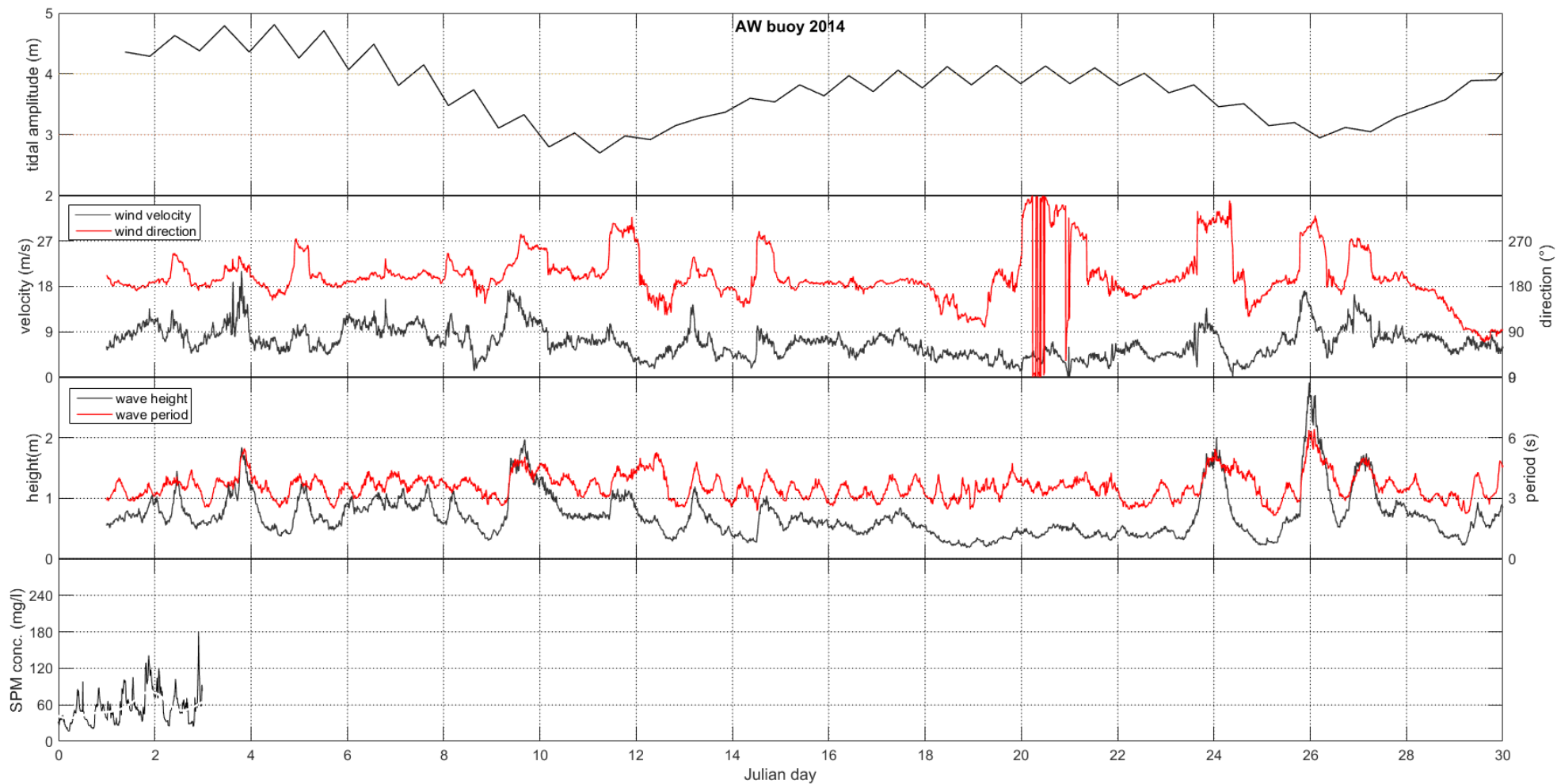


Figure A1.3: AW buoy 2014, tidal amplitude wind direction and velocity at Zeebrugge Dam, significant wave height and period at A2 buoy, and the OBS5+ derived surface SPM concentration (white line is the low-pass filtered signal).

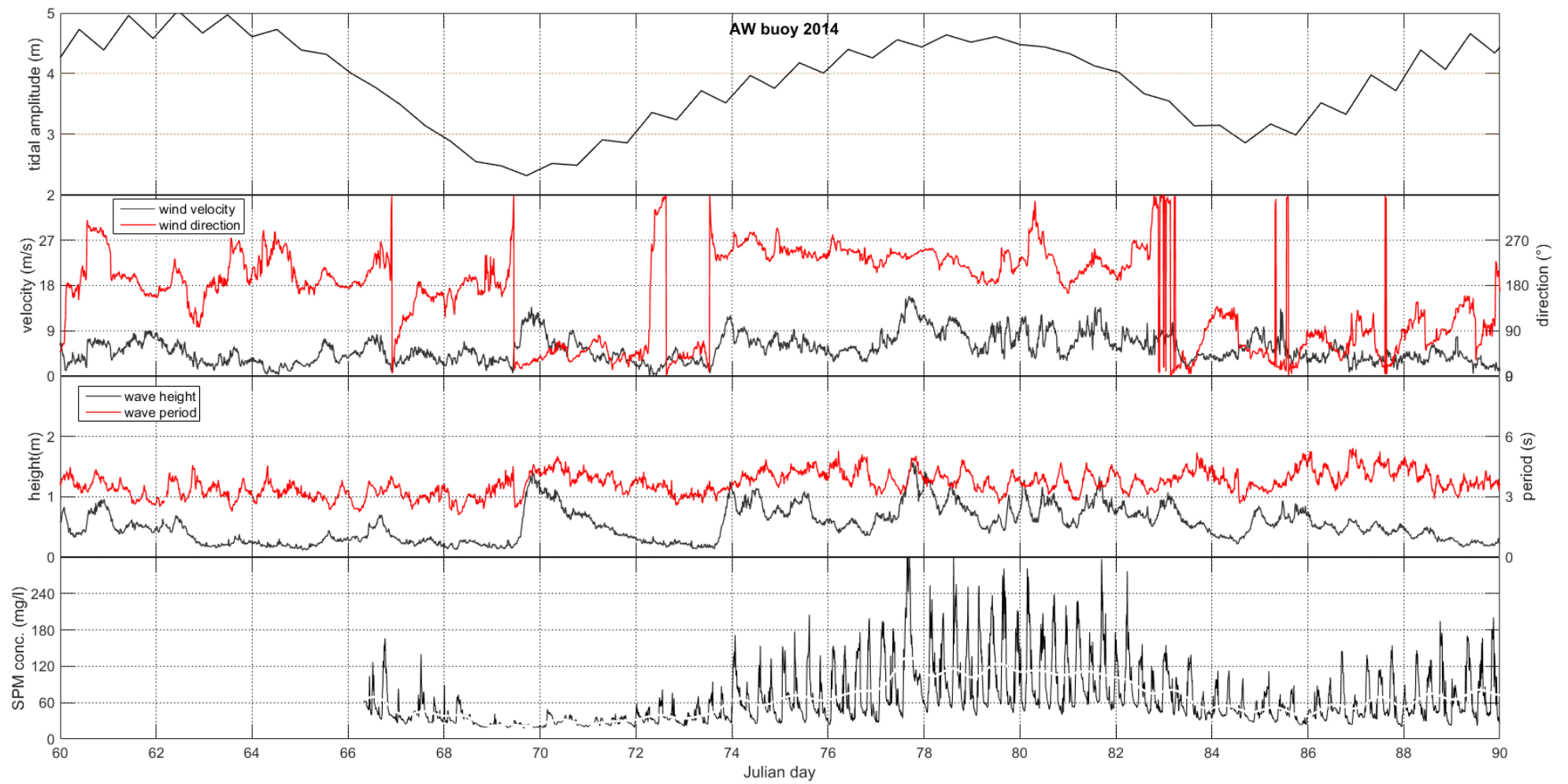


Figure A1.4: AW buoy 2014, tidal amplitude wind direction and velocity at Zeebrugge Dam, significant wave height and period at A2 buoy, and the OBS5+ derived surface SPM concentration (white line is the low-pass filtered signal).

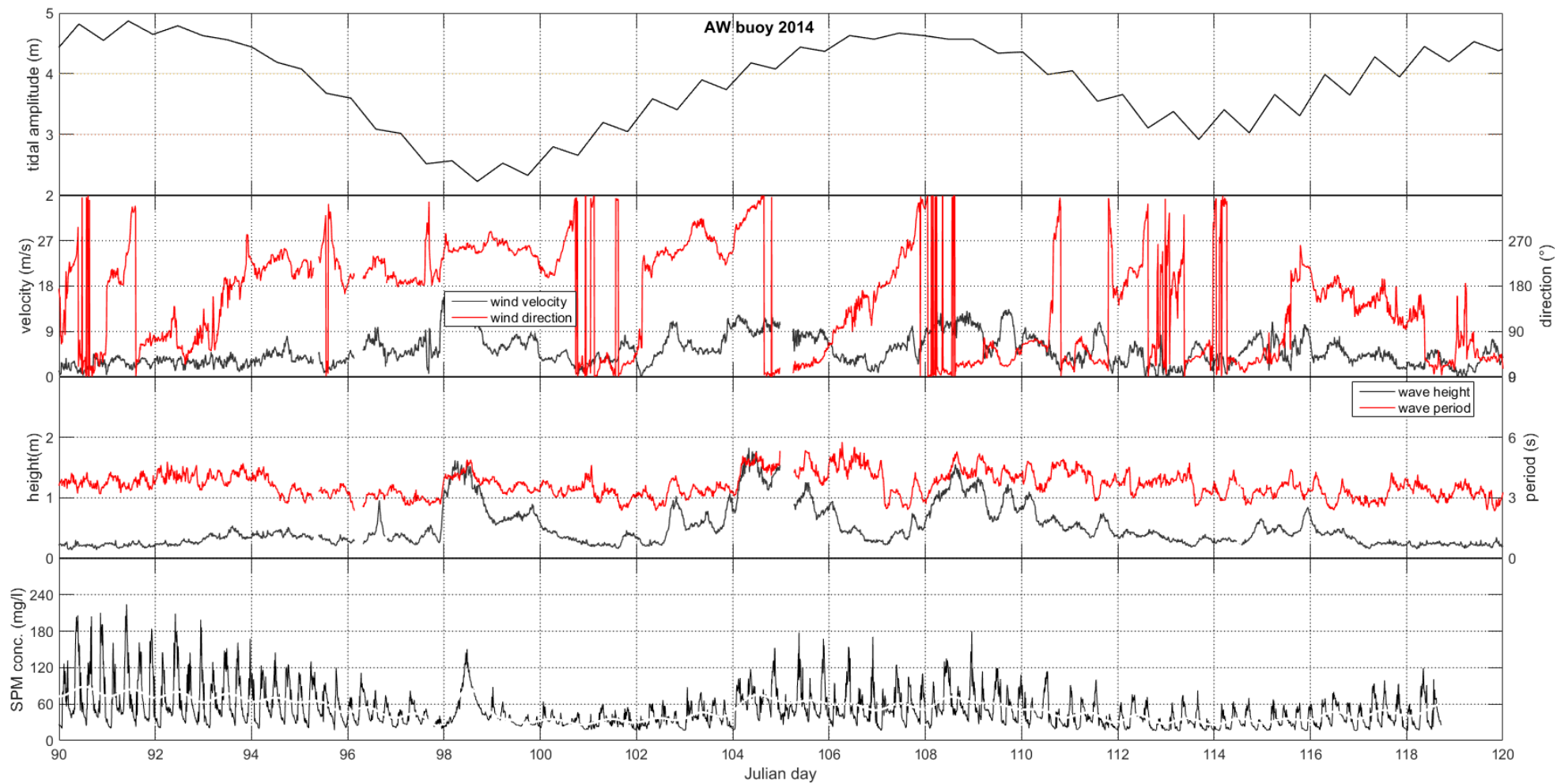


Figure A1.5: AW buoy 2014, tidal amplitude wind direction and velocity at Zeebrugge Dam, significant wave height and period at A2 buoy, and the OBS5+ derived surface SPM concentration (white line is the low-pass filtered signal).



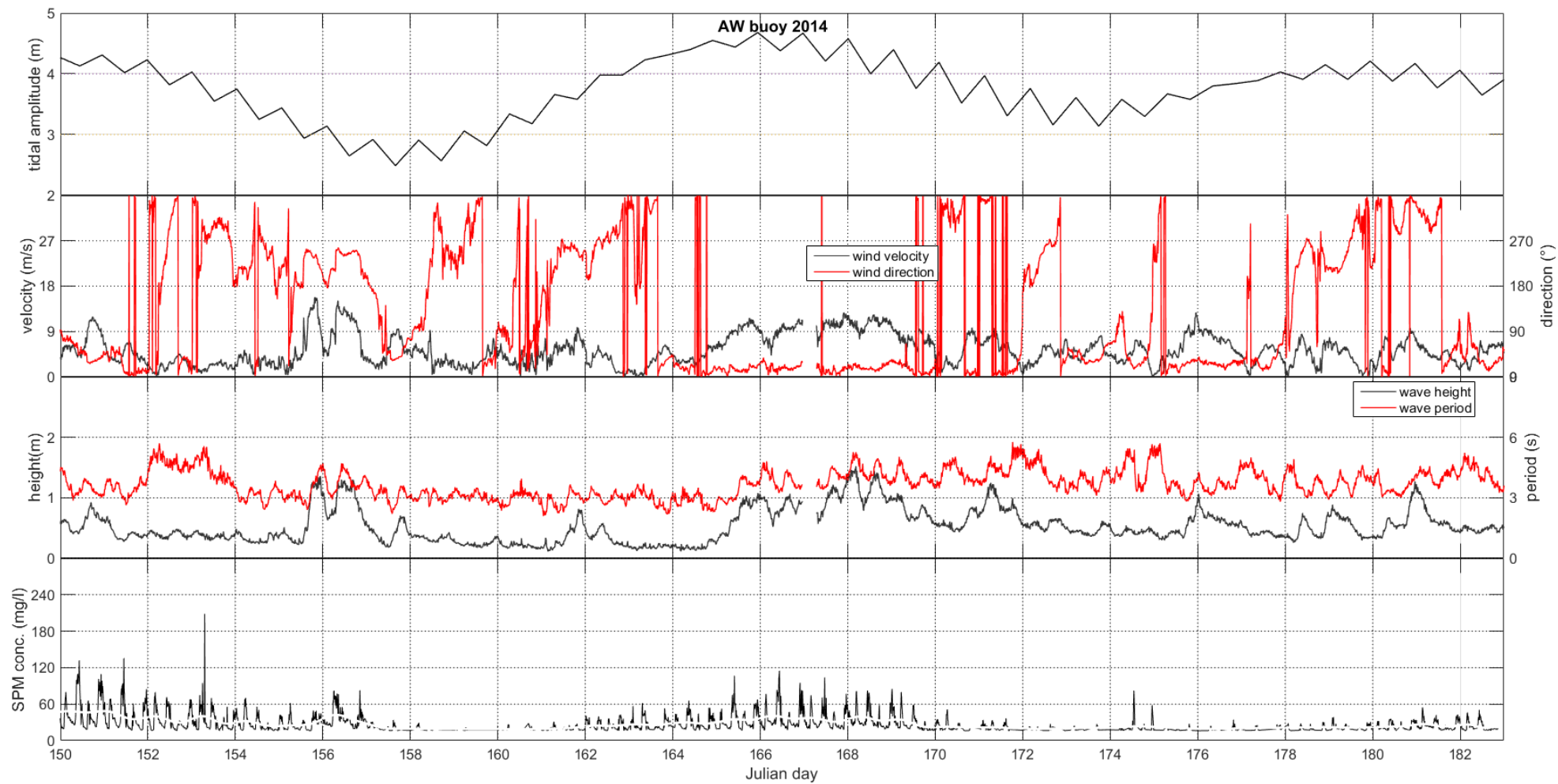


Figure A1.6: AW buoy 2014, tidal amplitude wind direction and velocity at Zeebrugge Dam, significant wave height and period at A2 buoy, and the OBS5+ derived surface SPM concentration (white line is the low-pass filtered signal).

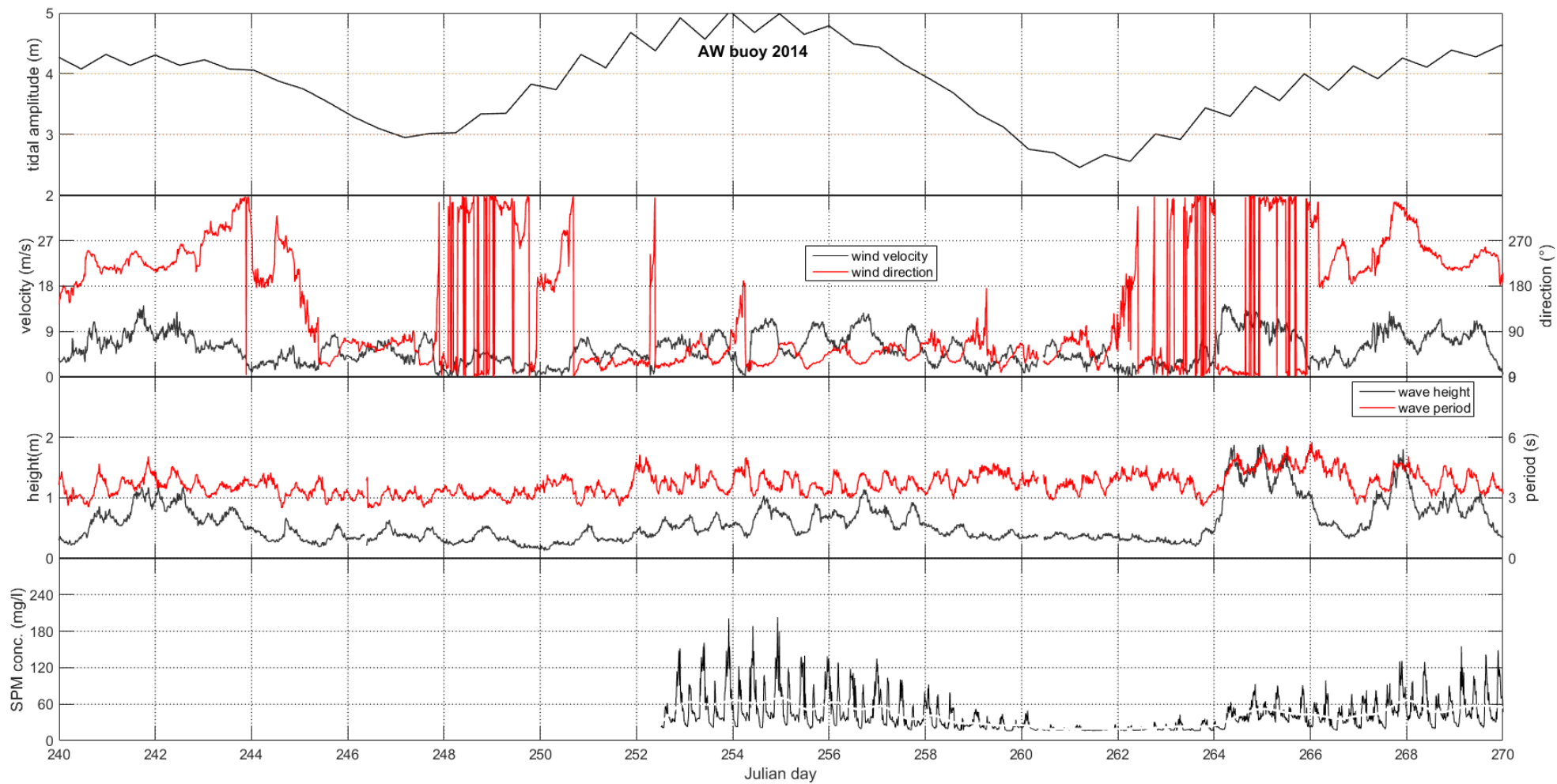


Figure A1.7: AW buoy 2014, tidal amplitude wind direction and velocity at Zeebrugge Dam, significant wave height and period at A2 buoy, and the OBS5+ derived surface SPM concentration (white line is the low-pass filtered signal).

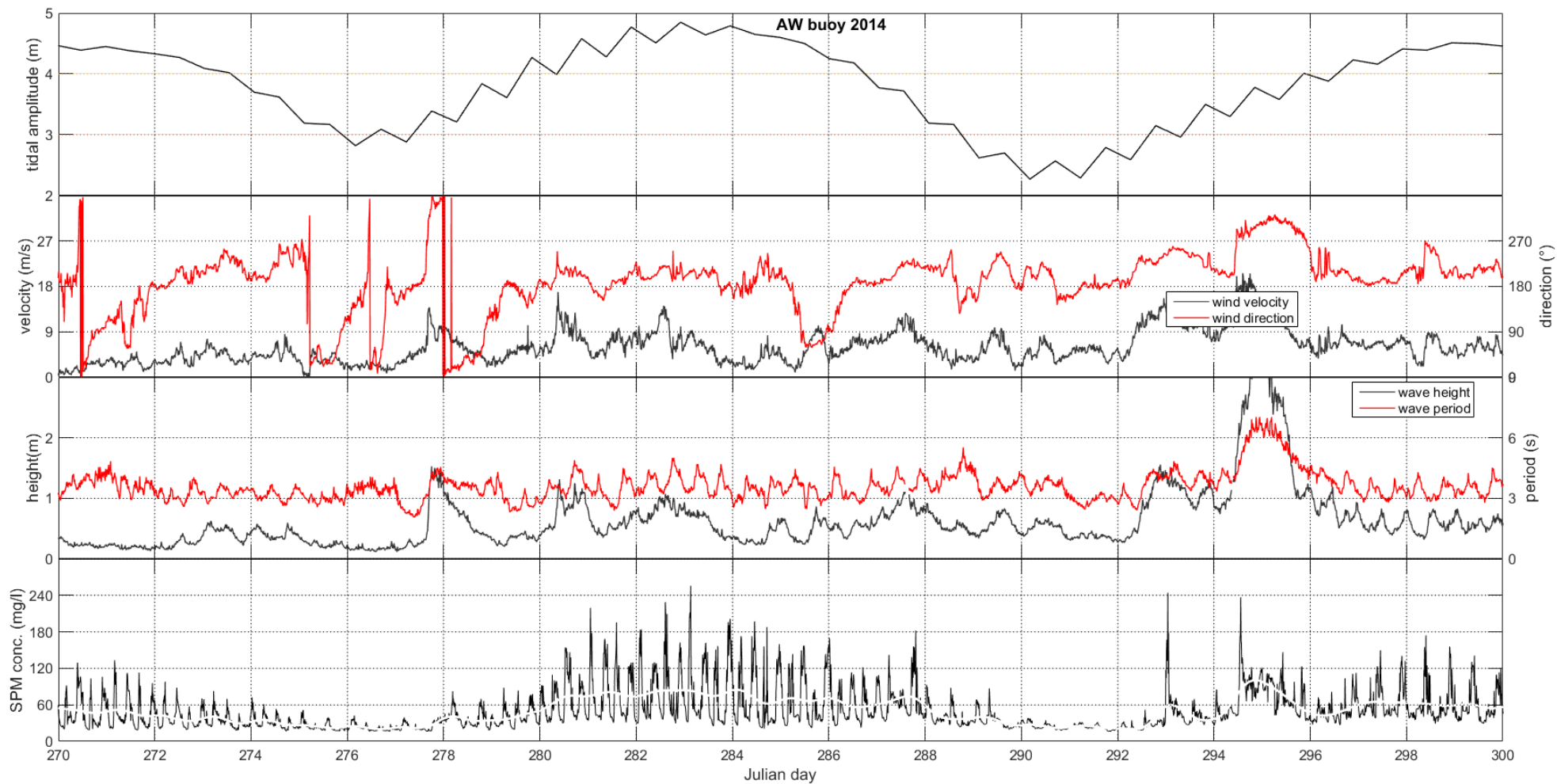


Figure A1.8: AW buoy 2014, tidal amplitude wind direction and velocity at Zeebrugge Dam, significant wave height and period at A2 buoy, and the OBS5+ derived surface SPM concentration (white line is the low-pass filtered signal).

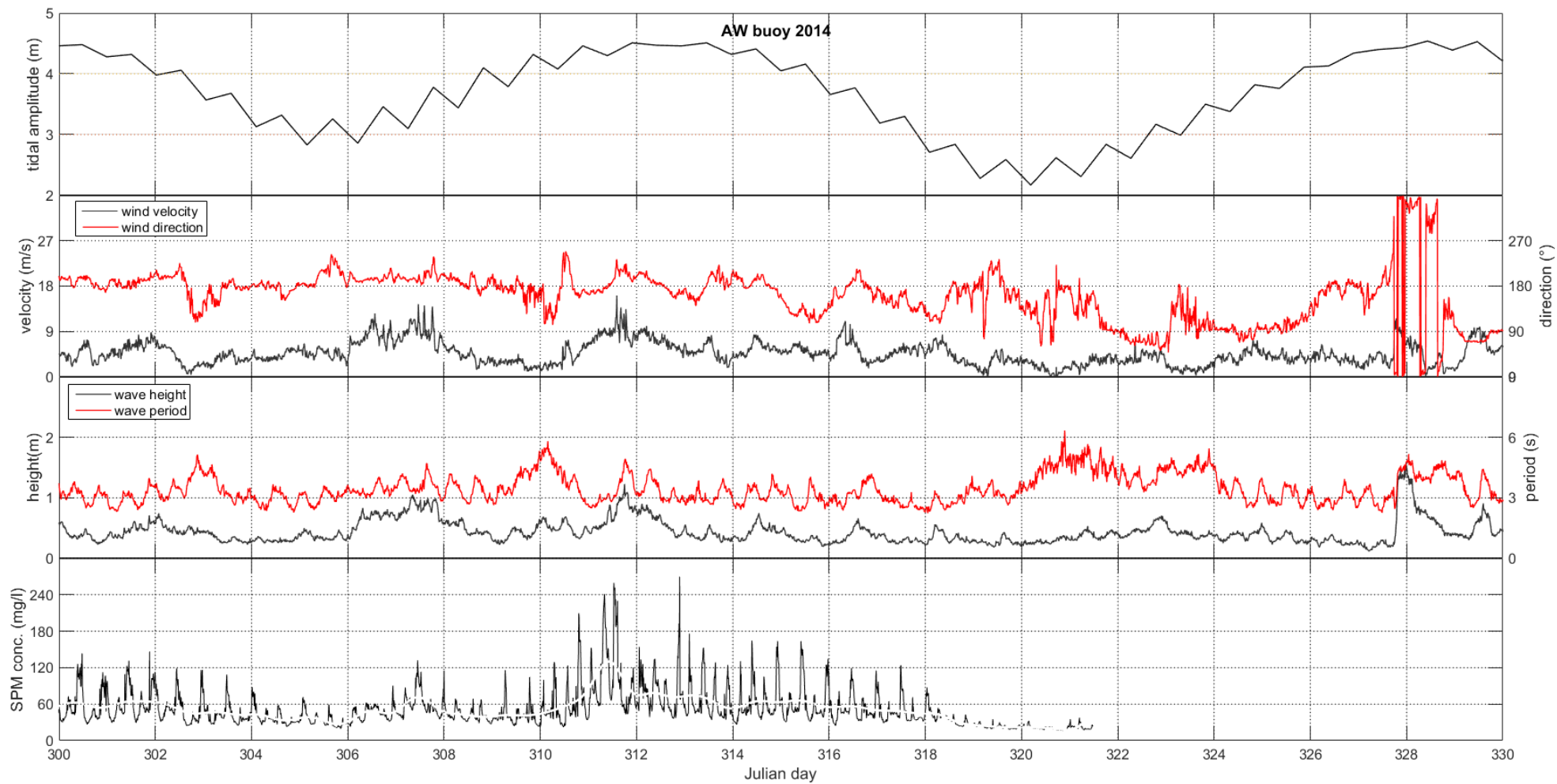


Figure A1.9: AW buoy 2014, tidal amplitude wind direction and velocity at Zeebrugge Dam, significant wave height and period at A2 buoy, and the OBS5+ derived surface SPM concentration (white line is the low-pass filtered signal).

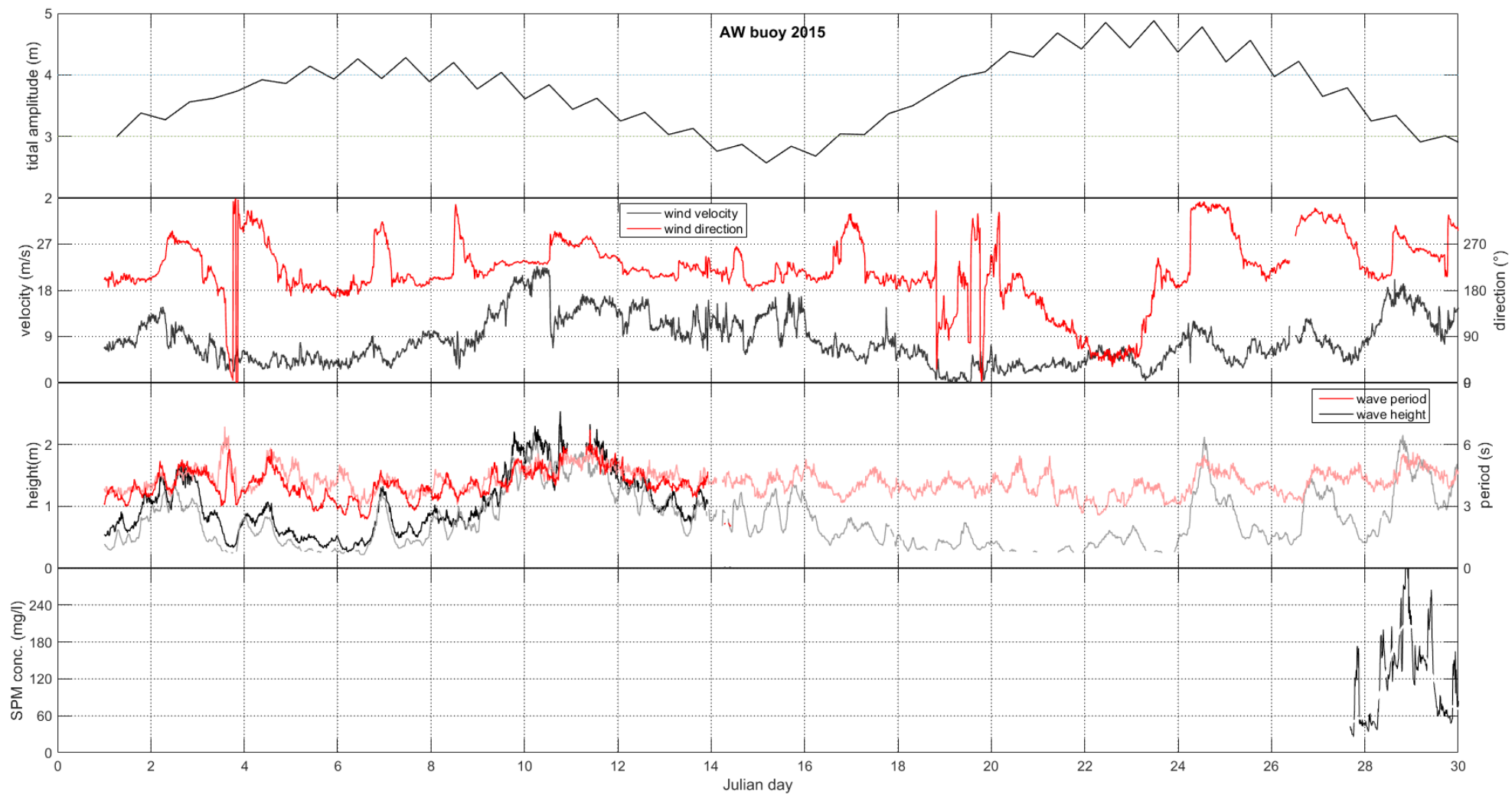


Figure A1.10: AW buoy 2015, tidal amplitude, wind direction and velocity at Zeebrugge Dam, significant wave height and period at A2 buoy (bold lines) and Trapegeer (light lines), and the OBS5+ derived surface SPM concentration (white line is the low-pass filtered signal).

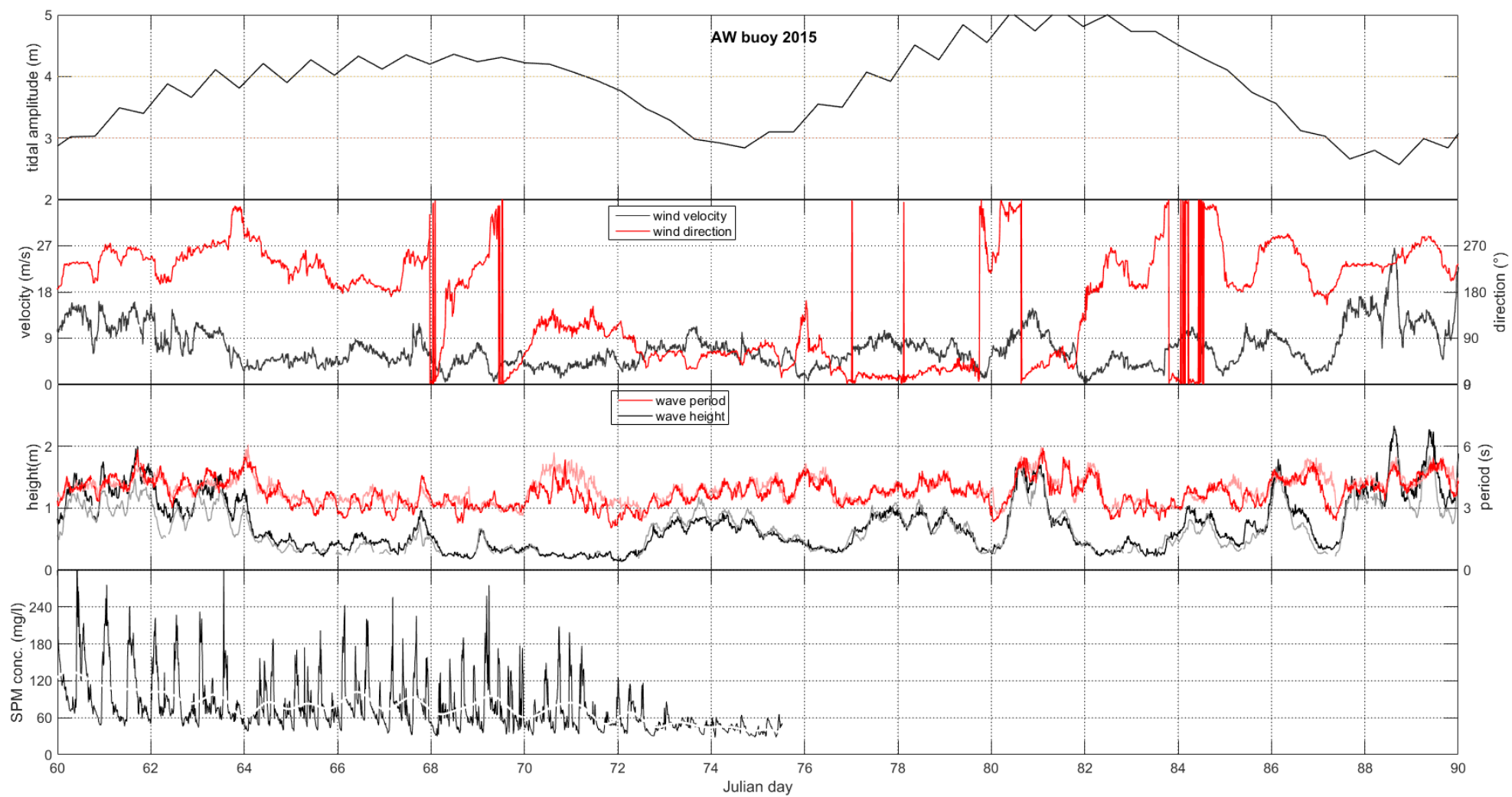


Figure A1.11: AW buoy 2015, tidal amplitude, wind direction and velocity at Zeebrugge Dam, significant wave height and period at A2 buoy (bold lines) and Trapegeer (light lines), and the OBS5+ derived surface SPM concentration (white line is the low-pass filtered signal).



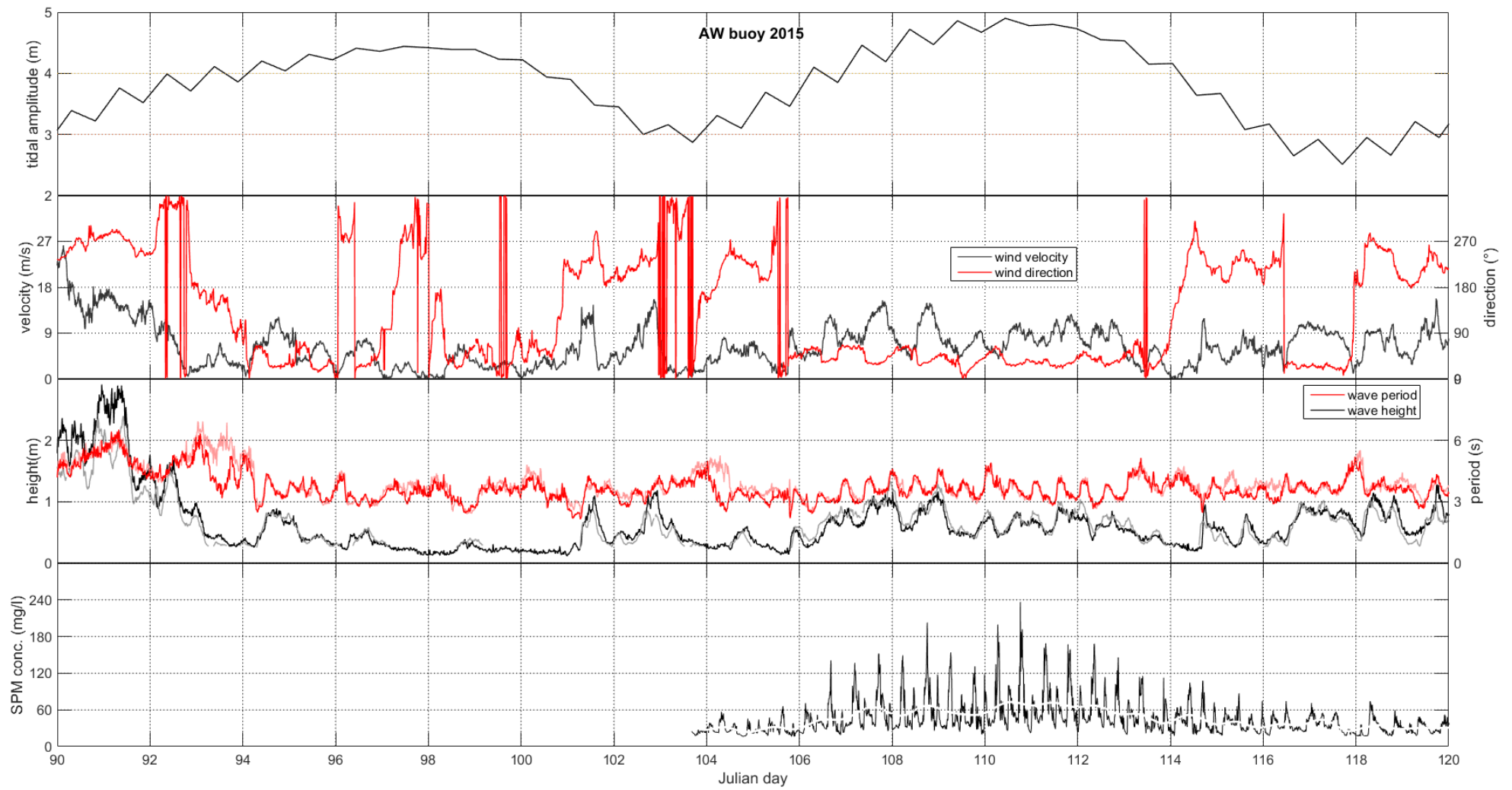


Figure A1.12: AW buoy 2015, tidal amplitude, wind direction and velocity at Zeebrugge Dam, significant wave height and period at A2 buoy (bold lines) and Trapegeer (light lines), and the OBS5+ derived surface SPM concentration (white line is the low-pass filtered signal).

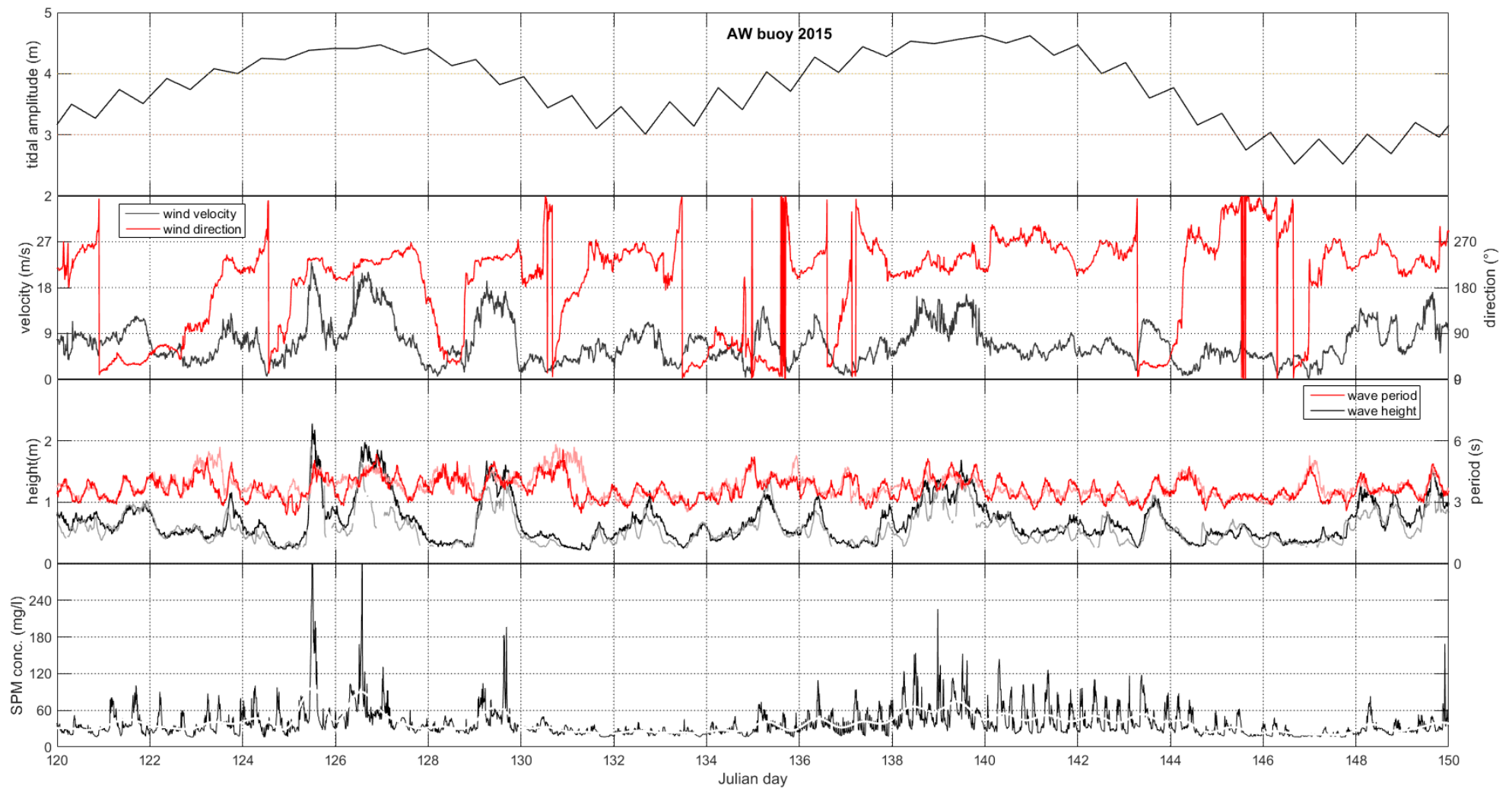


Figure A1.13: AW buoy 2015, tidal amplitude, wind direction and velocity at Zeebrugge Dam, significant wave height and period at A2 buoy (bold lines) and Trapegeer (light lines), and the OBS5+ derived surface SPM concentration (white line is the low-pass filtered signal).

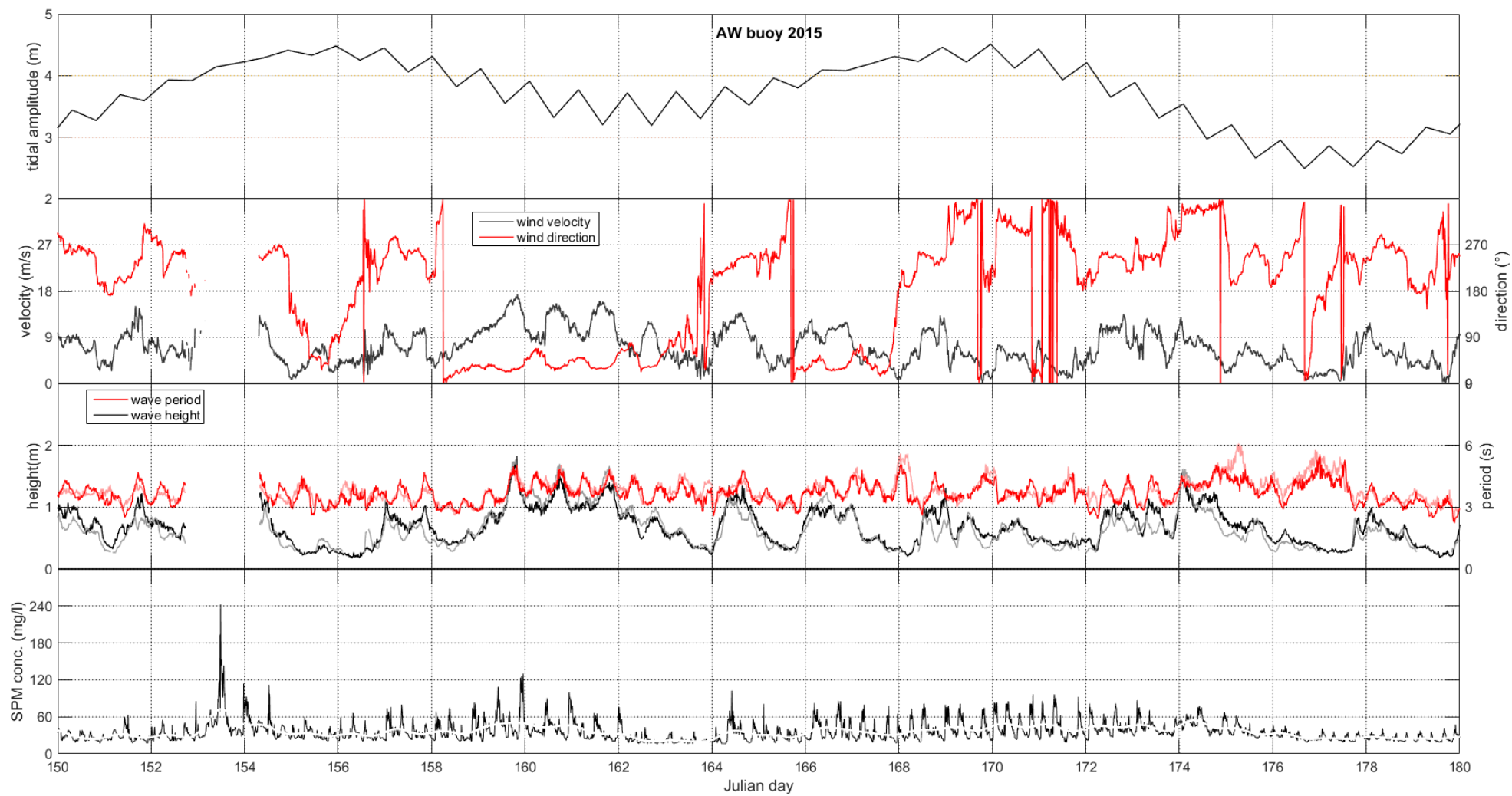


Figure A1.14: AW buoy 2015, tidal amplitude, wind direction and velocity at Zeebrugge Dam, significant wave height and period at A2 buoy (bold lines) and Trapegeer (light lines), and the OBS5+ derived surface SPM concentration (white line is the low-pass filtered signal).

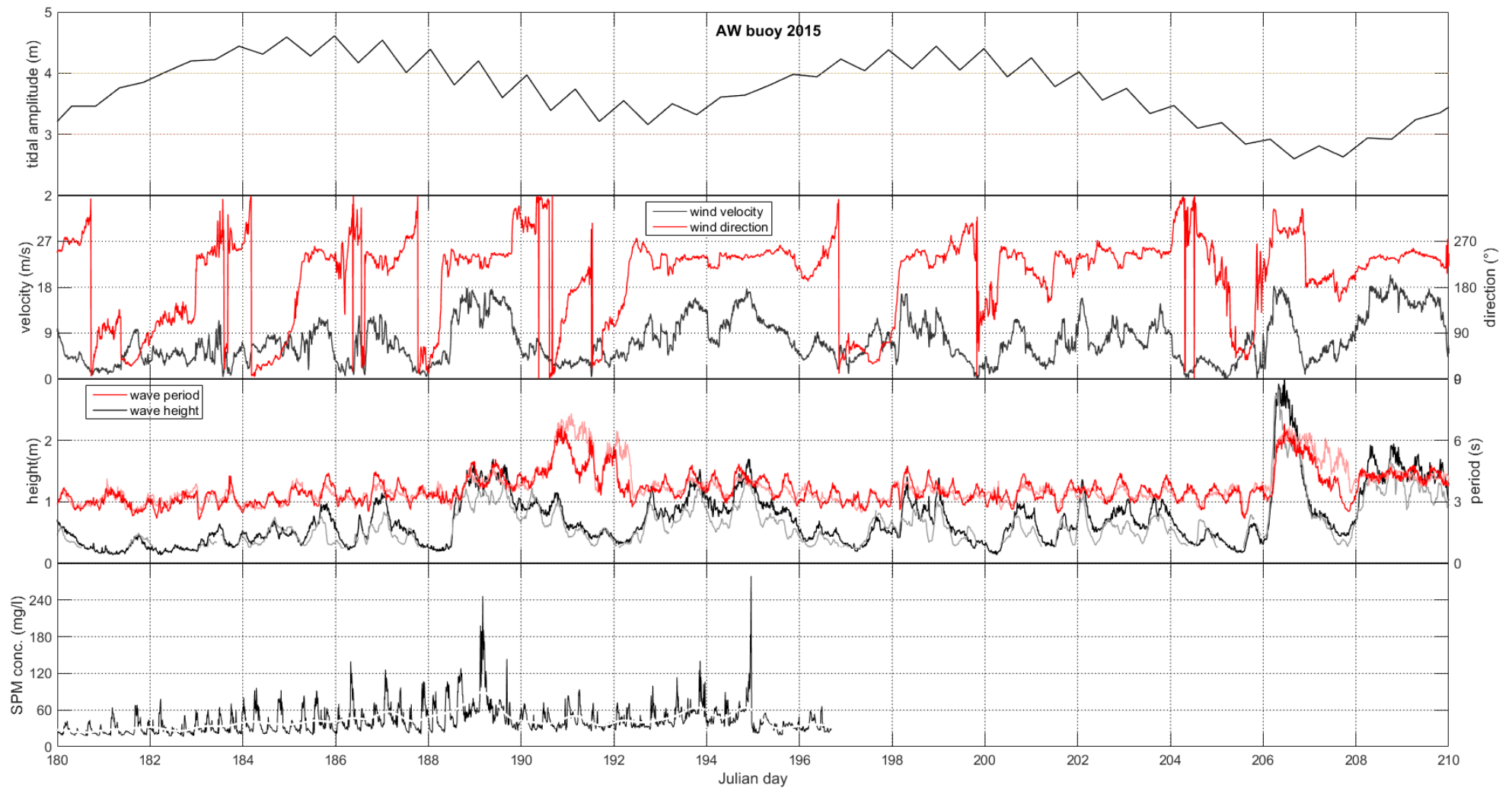


Figure A1.15: AW buoy 2015, tidal amplitude, wind direction and velocity at Zeebrugge Dam, significant wave height and period at A2 buoy (bold lines) and Trapegeer (light lines), and the OBS5+ derived surface SPM concentration (white line is the low-pass filtered signal).

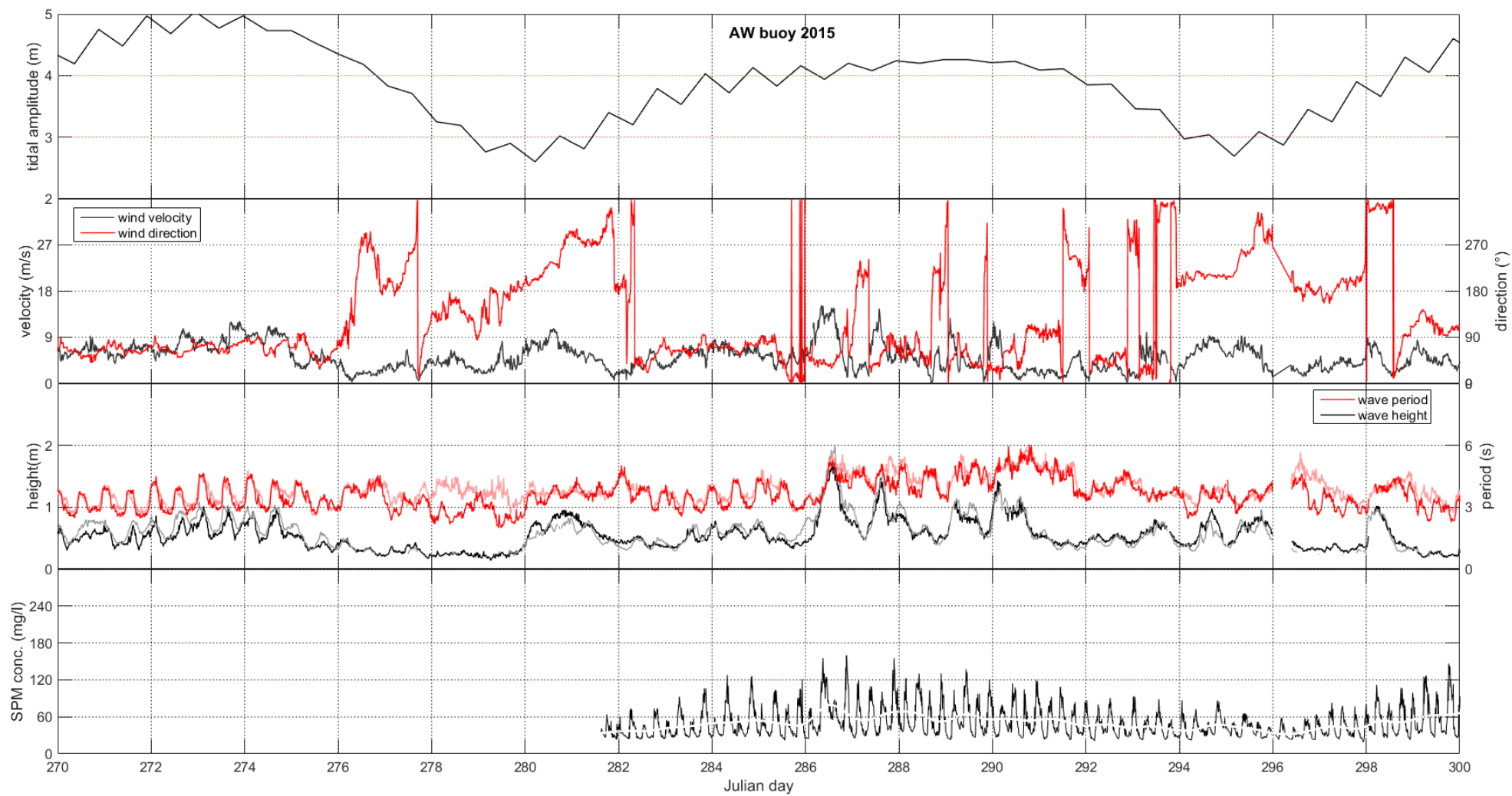


Figure A1.16: AW buoy 2015, tidal amplitude, wind direction and velocity at Zeebrugge Dam, significant wave height and period at A2 buoy (bold lines) and Trapegeer (light lines), and the OBS5+ derived surface SPM concentration (white line is the low-pass filtered signal).

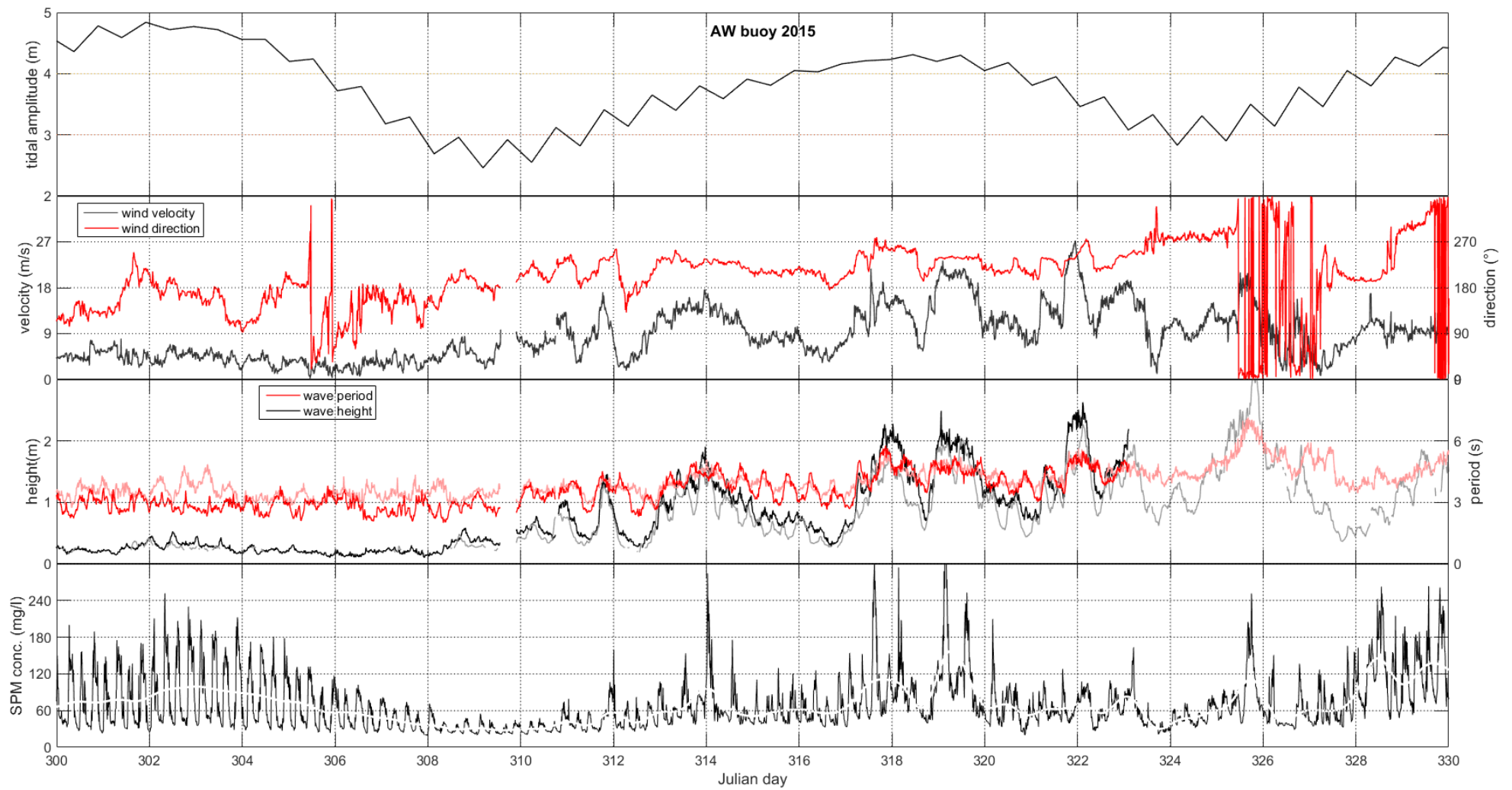


Figure A1.17: AW buoy 2015, tidal amplitude, wind direction and velocity at Zeebrugge Dam, significant wave height and period at A2 buoy (bold lines) and Trapegeer (light lines), and the OBS5+ derived surface SPM concentration (white line is the low-pass filtered signal).



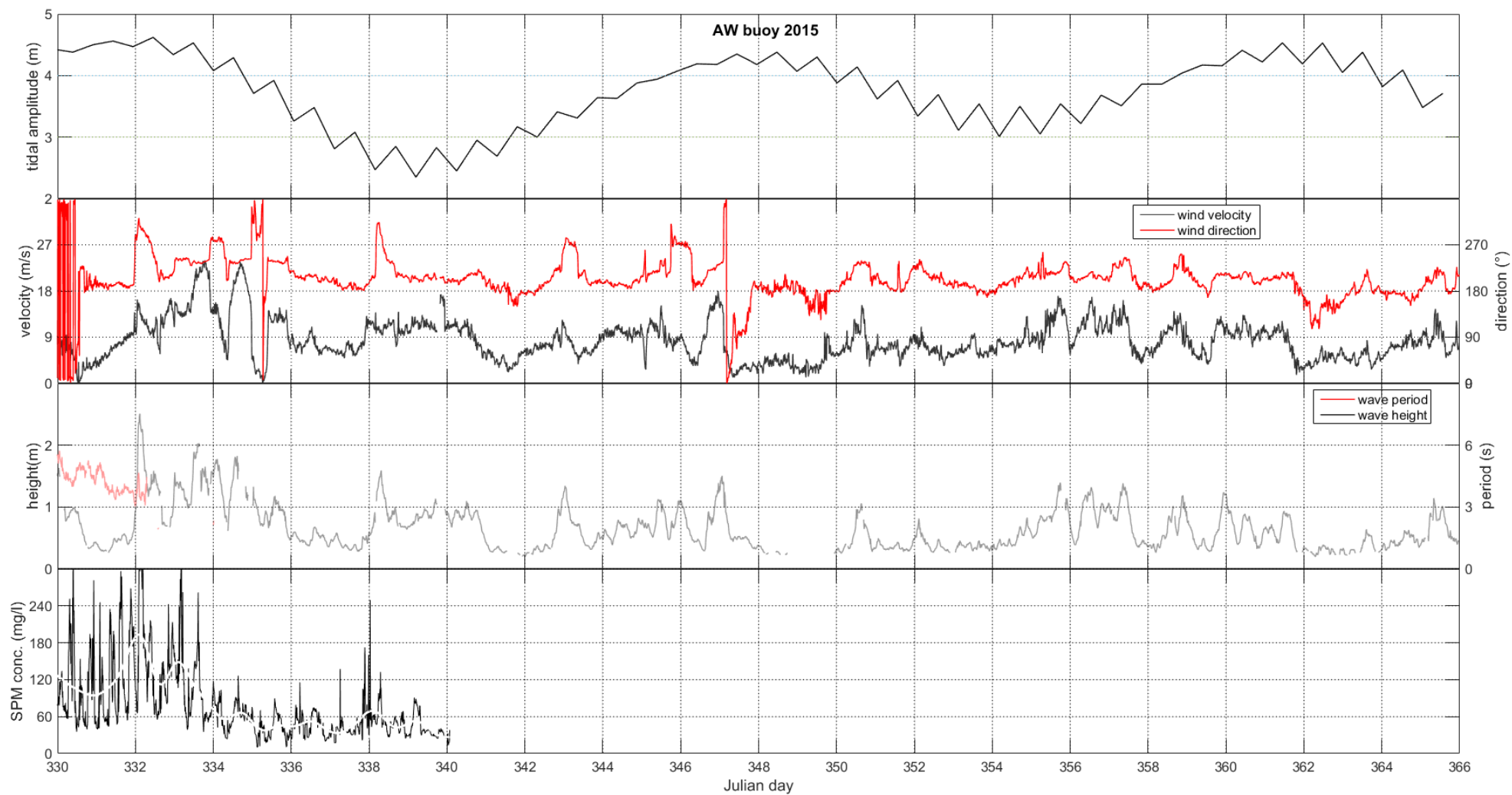


Figure A1.18: AW buoy 2015, tidal amplitude, wind direction and velocity at Zeebrugge Dam, significant wave height and period at A2 buoy (bold lines) and Trapegeer (light lines), and the OBS5+ derived surface SPM concentration (white line is the low-pass filtered signal).

## **APPENDIX 2**

**Van den Eynde D, Francken F, Fettweis M. 2016. A simple method for the reconstruction of saturated SPM concentration peaks. Report RBINS, MOMO/X/DVDE/201605/EN/TR01**

ROYAL BELGIAN INSTITUTE FOR NATURAL SCIENCES  
OPERATIONAL DIRECTORATE NATURAL ENVIRONMENT

Section Ecosystem Data Analysis and Modelling  
Suspended Matter and Sea Bottom Modelling and Monitoring Group (SUMO)  
*and*  
Management Unit of the North Sea Mathematical Models (MUMM)



## **A simple method for the reconstruction of saturated SPM concentration peaks**

Dries Van den Eynde, Fritz Francken and Michael Fettweis

MOMO/X/DVDE/201605/EN/TR01

Prepared for the MOMO project

RBINS-OD Nature  
100 Gulledele  
B-1200 Brussels  
Belgium



## Table of Contents

<b>1. INTRODUCTION .....</b>	<b>3</b>
<b>2. MEASUREMENTS .....</b>	<b>4</b>
<b>3. METHODOLOGY.....</b>	<b>7</b>
<b>4. RESULTS.....</b>	<b>13</b>
4.1. TESTING ON EXISTING PEAKS.....	13
4.2. APPLICATION TO SATURATED VALUES .....	21
<b>5. CONCLUSIONS .....</b>	<b>24</b>
<b>6. REFERENCES .....</b>	<b>25</b>
<b>7. APPENDIX 1: STATISTICAL PARAMETERS .....</b>	<b>26</b>

## I. Introduction

From 2005 time series of suspended particulate matter concentrations (SPMC) have been measured using a benthic lander close to the measuring pole MOW1, located about 5 km off the harbour of Zeebrugge, Belgium. The tripod was moored between 3 and 6 weeks and was then recovered and from December 2009 on replaced with a similar tripod system to ensure continuous time series. SPMC measurements were executed using Optical Backscatters Sensors. The OBS readings were converted to SPMC after calibration with in situ water samples.

During the measurements the OBS near the bed was regularly saturated, cutting of the SPMC peaks. In this report, an attempt is undertaken, to reconstruct the peaks, using a simple method, on the basis of the characteristics of the peaks measured during the long-term time series.

In a first part, the measurements are discussed, where after the methodology, developed to reconstruct the saturated peaks, on the basis of the other measurements, is discussed. A first test of the method is used to reconstruct peaks that are cut off artificially, on the basis of the other peaks in the measurements. The saturated peaks are then reconstructed on the basis of the characteristics of the other peaks in the time series. The deviation of the log-normal histogram of the SPMC of the original time series and the time series with reconstructed peaks are checked as a control of the final results.

Some conclusions of these first tests are presented in a last section.



## 2. Measurements

In the current report, time series of the SPMC are used that were measured near the bed using a tripod located in the vicinity of the measuring pole MOW1. Measurements were taken with an Optical Backscatter Sensor (OBS) at 0.2 meter above the bottom (mab) and at 2 mab. The measuring range of the sensors was about 0.7, 1.5 or 3.0 g/l, above this value the sensor saturated. The OBS signal was used to estimate SPM concentration. OBS voltage readings were converted into SPM concentration by calibration against filtered water samples collected during four tidal cycles every year, i.e. one in spring, summer, autumn and winter. A linear regression was used to fit a straight line between the OBS signal (in NTU) and the filtered SPM concentration (in mg/l). The time step of the time series was extrapolated/interpolated to 15 minutes for the entire period. In Figure 1, the percentage of data as a function of the years is presented. In the years 2010, 2011 and 2013, more the 50% of the time is covered. Between the years 2005 and 2008, the coverage is less than 20%.

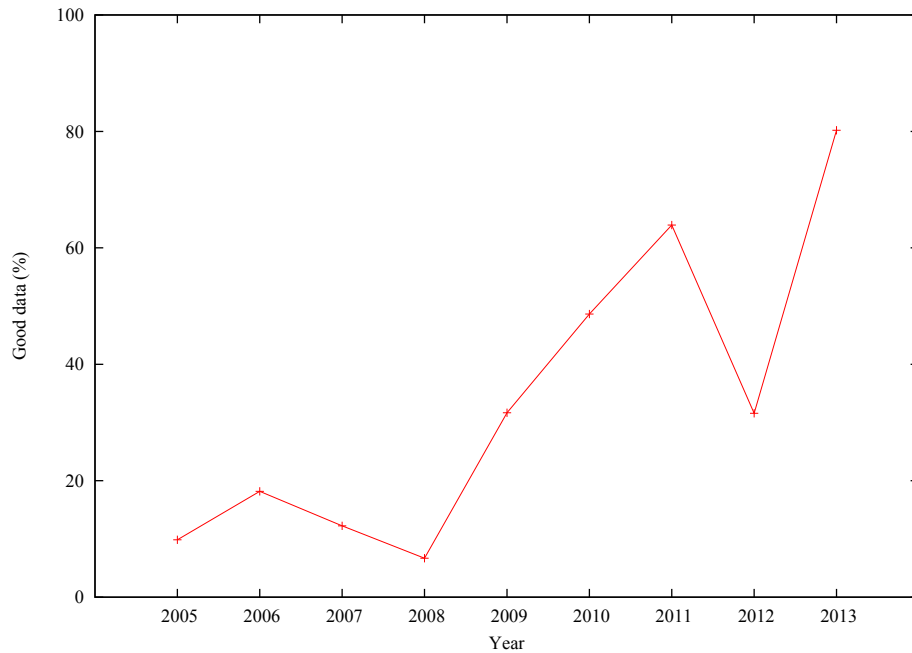


Figure 1: Percentage of data for the different years.

During high energy conditions, SPM concentrations at 0.2 mab were regularly higher than 1.5 or 3 g/l. Under these circumstances the OBS saturated and underestimated the actual SPM concentration. The OBS at 0.2 mab was in this state during about 2.0% of the time in summer and 1.7% of the time in winter. Although this represents relative short period of times, it significantly affects the mean SPM concentration, e.g. an underestimation of the peak SPM concentration during saturation by 2 g/l results in an underestimation of the mean SPM concentration in summer by 64 mg/l and in winter by 28 mg/l. In this study, a method is tested to

reconstruct the peaks, based on the characteristics of the peaks.

In a first step, the peaks and the saturated peaks are selected. A peak is hereby defined as the highest value in a period of 2h30, i.e. a SPMC is a peak, when the SPMC is higher than all values of 1h15 before and of 1h15 after the value. Furthermore, the value must be at least 800 mg/l. A total of 2628 peaks were selected over the entire period.

Saturated peaks were defined as a period where the SPMC is higher than a specified saturation value. This saturation value varies between 686 mg/l and 3220 mg/l (see Figure 2). For saturation duration longer than 2h45, it is assumed that reconstruction is not possible anymore. A total of 716 saturated peaks have been selected for reconstruction.

In Figure 3, the selection of peaks and saturated peaks is illustrated for day 27 in year 2013.

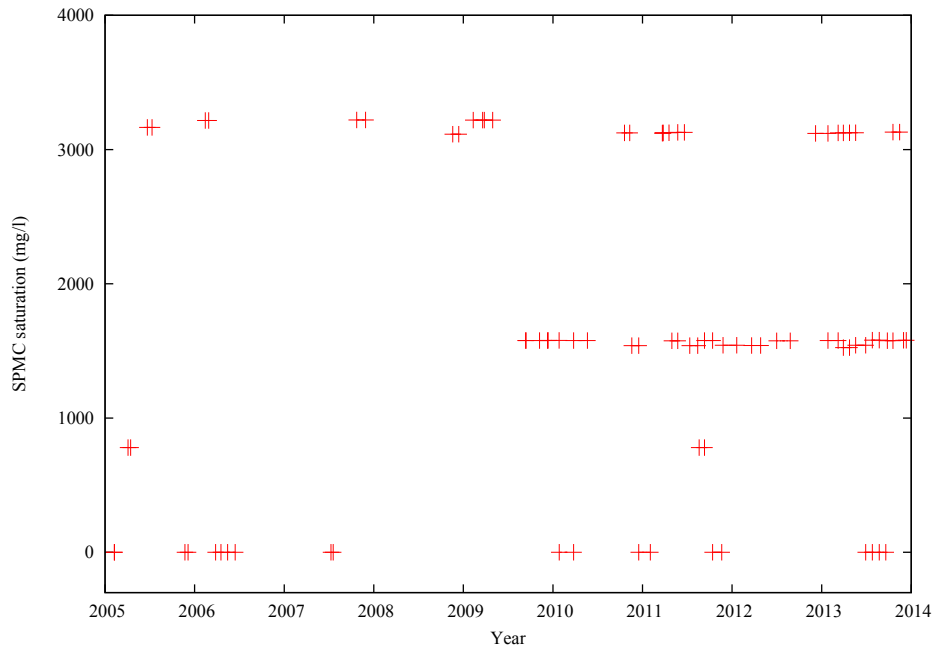


Figure 2: Value of the SPMC saturation for the different deployments. Value=0 means no saturation.

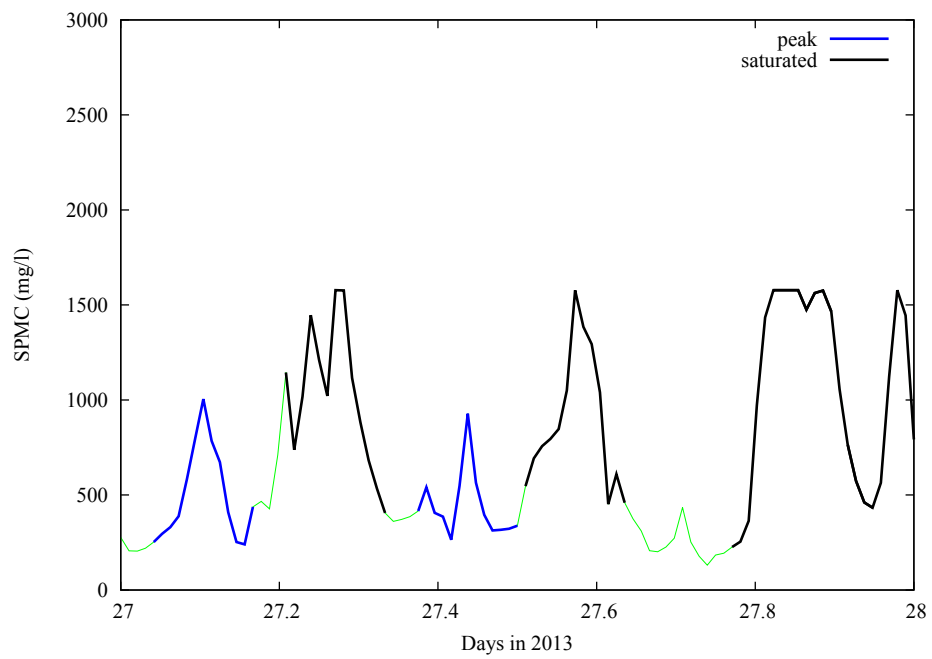


Figure 3: Selection of peaks and saturated peaks.

### 3. Methodology

To reconstruct the peaks, it is assumed that there is a relation between the ratio of the SPMC at the peak and the mean SPMC at a certain time from the peak on the one hand, and the mean SPMC at that time difference from the peak on the other hand. To setup this relationship, for the selected non-saturated peaks, the peak is artificially cut off at a certain level. Depending on the level and on the evolution of the peak, a different number of points are cut off. In Figure 4, depending on the level, 1 to 5 points are replaced by the cut-off value.

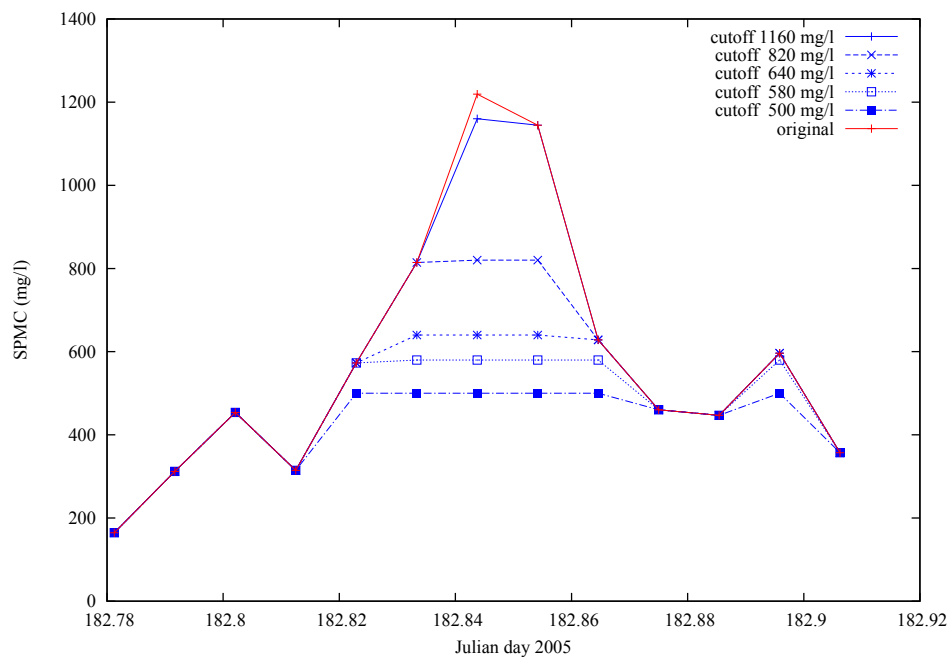


Figure 4: Artificial cut off of a peak at different levels.

The SPMC at the time step before and after the time steps of the cut-off value, are used to calculate a mean SPMC level. This mean SPMC level is used to calculate the ratio between the height of the peak and this mean SPMC value. In Figure 5 to Figure 8, some of the scatter plots are shown for different cut-off periods.

To model the relation between the peak and the mean SPMC, a LOWESS (locally weighted scatterplot smoothing) technique is used, which is a non-parametric regression method that combines multiple regression models in a nearest-neighbour-based model (Cleveland, 1979). For each cut-off period, a different model is constructed. The model is interpolated at equidistant intervals of SPMC. Furthermore, for each interval, where enough data are available, the -90% and +90% limits are calculated, to get an indication of the possible variability in the calculated peak. The results for different cut-off periods are shown in Figure 5 to Figure 8.

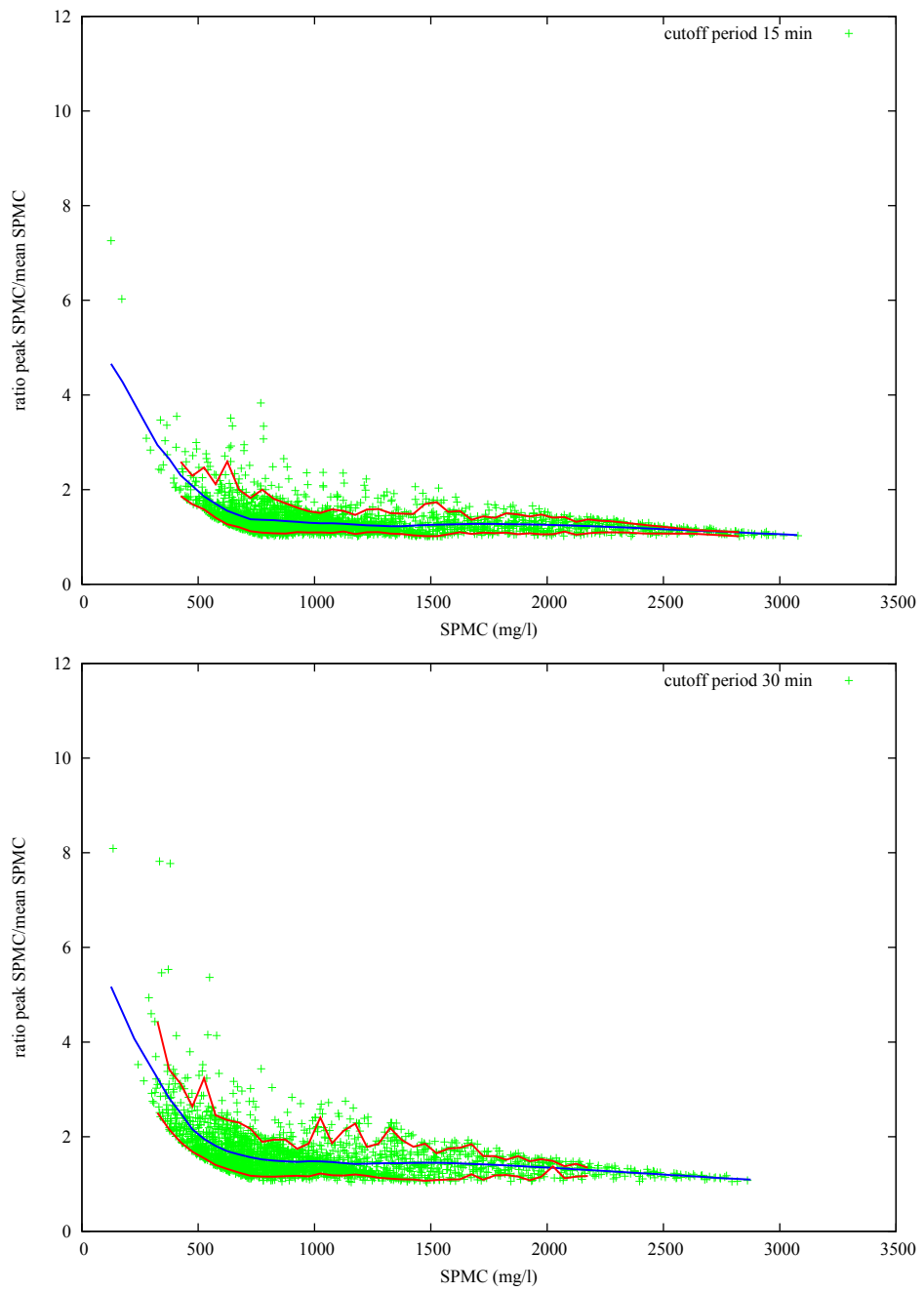


Figure 5: Relation between the peak/mean SPMC and mean SPMC for a cutoff period of 15 min and 30 min together with the LOWESS model (blue) and the -90% and +90% limits (red).

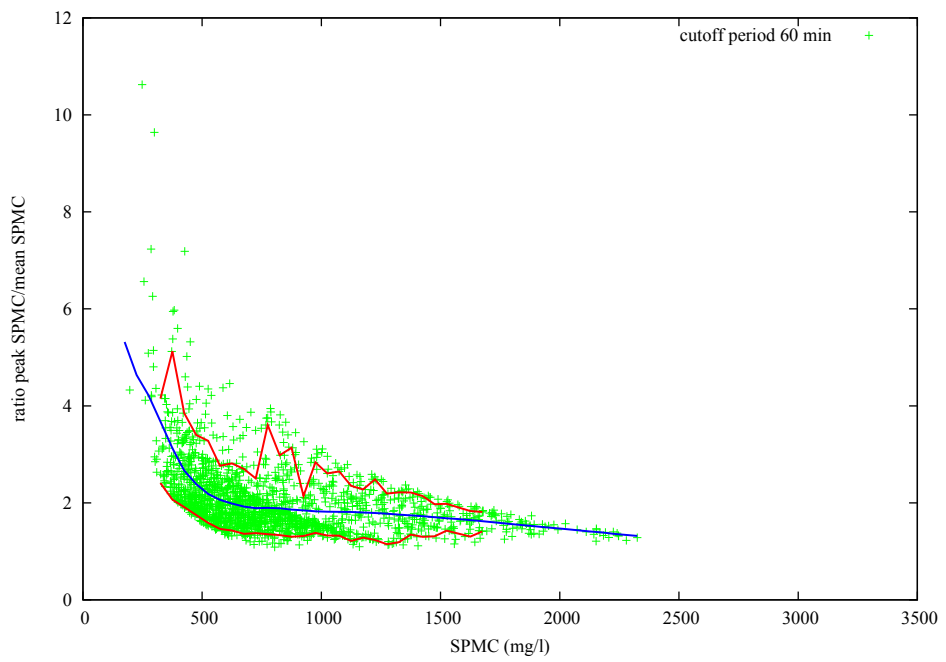
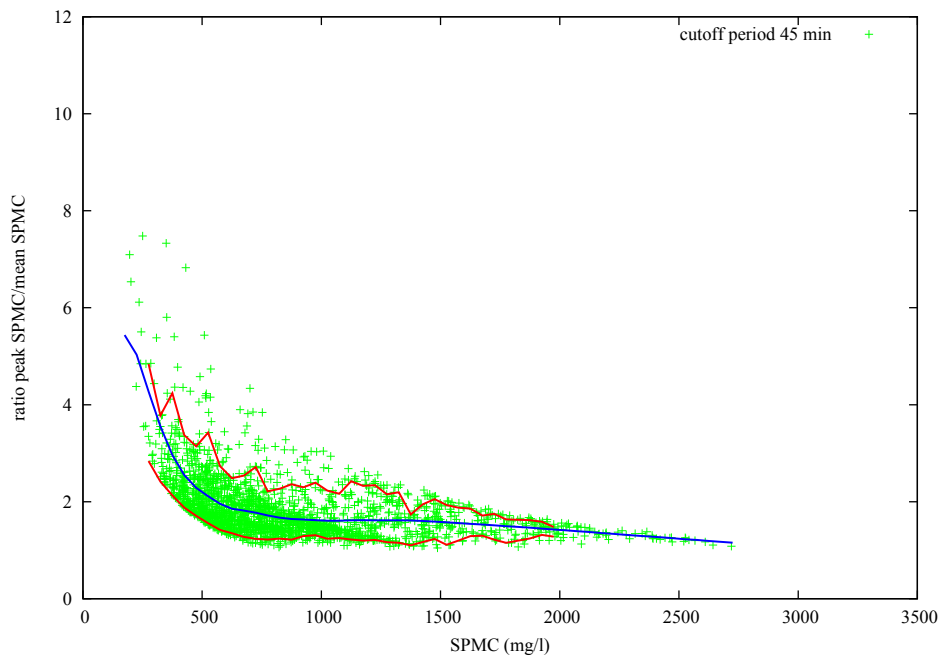


Figure 6: Relation between the peak/mean SPMC and mean SPMC for a cutoff period of 45 and 60, together with the LOWESS model (blue) and the -90% and +90% limits (red).



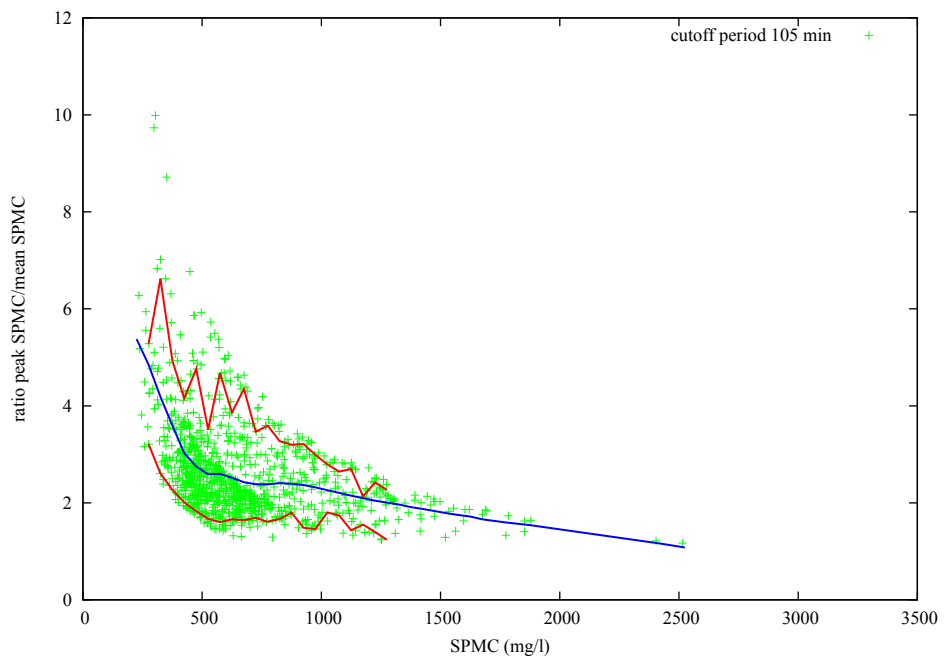
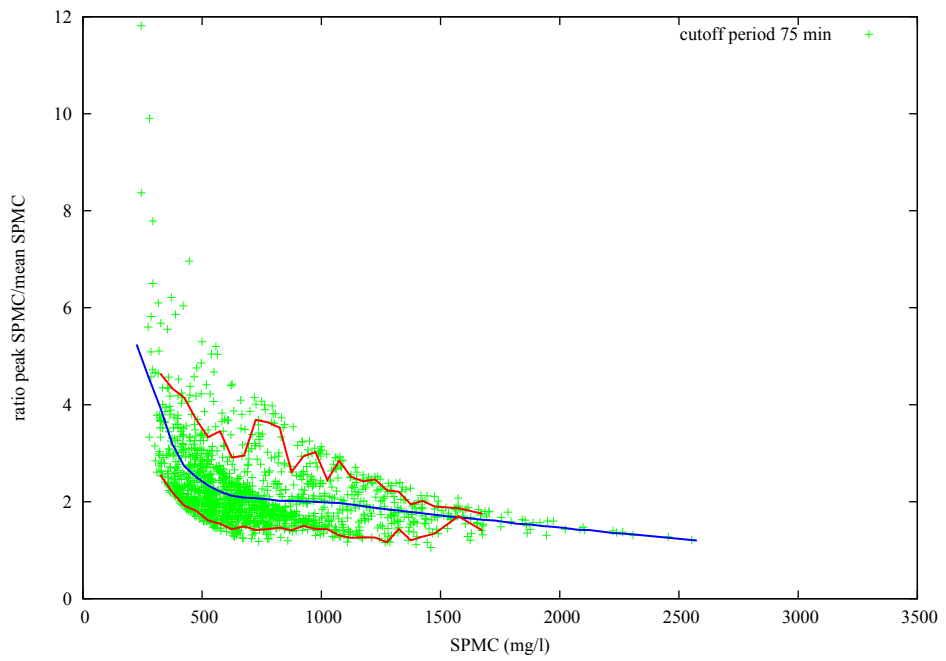


Figure 7: Relation between the peak/mean SPMC and mean SPMC for a cutoff period of 75 and 105, together with the LOWESS model (blue) and the -90% and +90% limits (red).

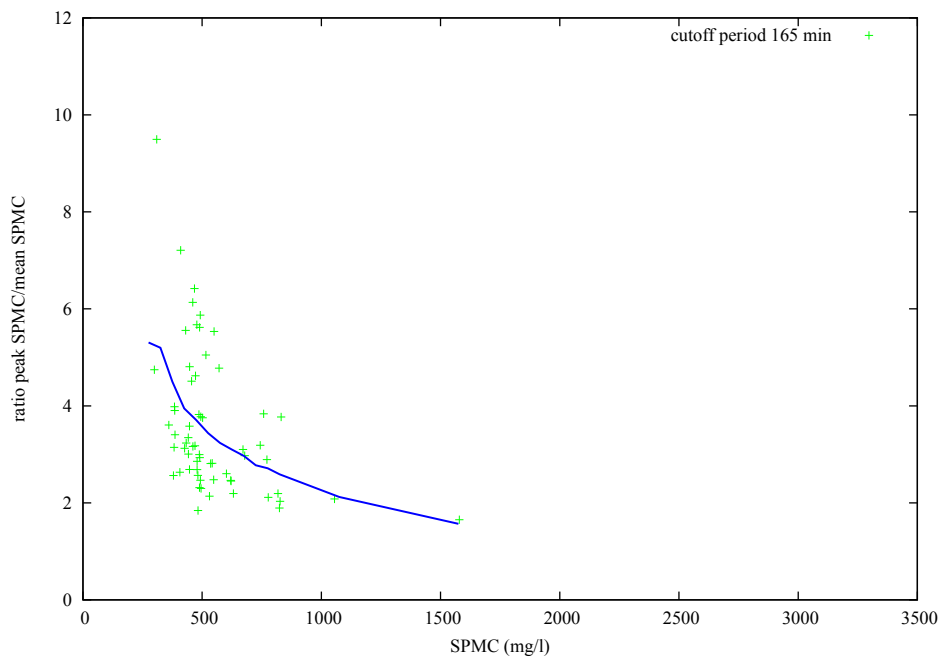
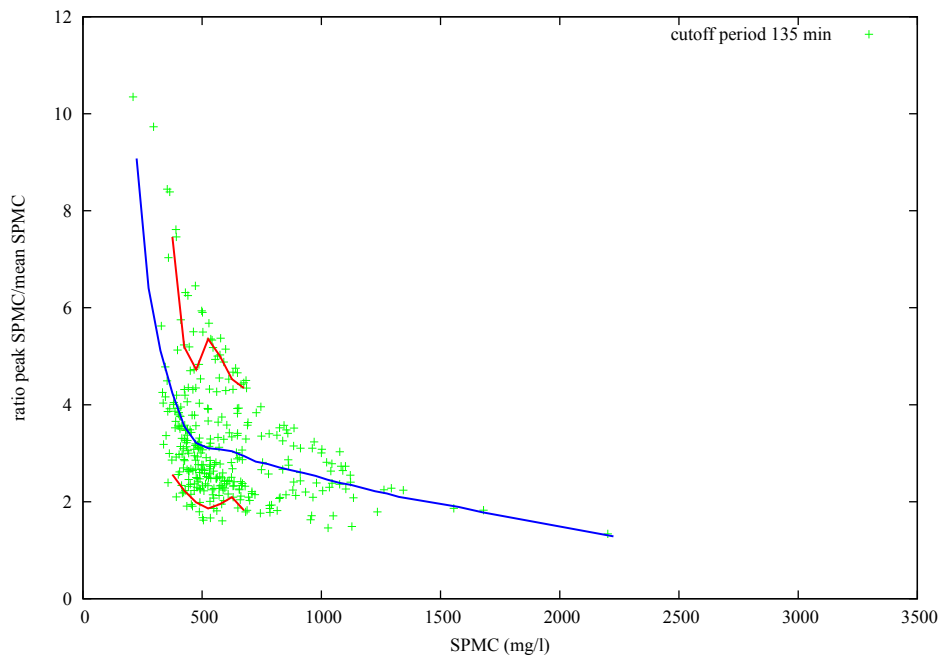


Figure 8: Relation between the peak/mean SPMC and mean SPMC for a cutoff period of 135 min and 165 min, together with the LOWESS model (blue) and the -90% and +90% limits (red).

To reconstruct a saturated peak, the following method is used. First of all, the last good SPMC before saturation and the first good SPMC after saturation are identified. The mean of these two values is calculated as mean SPMC. Further the time of the saturation period is calculated. The minimum time is 15 minutes, when only one SPMC value is saturated, the maximum time between these values is 165 minutes. If the saturation period is longer, no reconstruction will be performed. For this cut-off period, the corresponding LOWESS model is applied to calculate the peak height. The position of the peak is calculated by calculating a parabola through the points before and after the saturated period with the top of the parabola, being the height of the reconstructed peak. Remark that this position is then shifted to the nearest time step. The peak is then reconstructed by a linear combination of a parabola through the points before and after the saturation values and the (shifted) peak, and a piecewise linear function between the same points.

In two cases, a reconstruction of the peak is not possible and will not be performed. First of all, when the period of the saturation is longer than 165 minutes, no reconstruction is performed. Furthermore, no reconstruction is performed when the value before and/or after the saturation is not a good SPMC. In this case, no good mean SPMC can be calculated that could be used to reconstruct the peak. In 8% of the cases, no reconstruction is possible of the saturated values, due to too long saturation (5.8%) or due to bad SPMC before and/or after the saturation (2.2%).

Remark that some correction mechanisms are implemented. When one of the points before or after the saturation period is much lower than the saturation value, it is possible that the reconstructed peak is lower than the saturation value. In this case the peak calculated from the highest good value or from the saturation value, using a corrected ratio.

## 4. Results

### 4.1. Testing on existing peaks

To test the method and to get an idea of the accuracy of the reconstructed peaks, the method is tested first on non-saturated peaks. Only half of the peaks are used to construct the LOWESS models and the -90% to +90% limits (peaks 1). These models are used to reconstruct the other half of the peaks (peaks 2). The results are compared with the original peaks, to check the method and to evaluate the accuracy of the method. To test the method and to evaluate the influence of the LOWESS models, the original peaks, that were used to construct the LOWESS models (peaks 1), also were reconstructed, using the proposed method.

In Figure 9 to Figure 12, for different cutoff periods, the scatter plots between the peaks 2 (reconstructed) versus the original peaks. One can observe that for the smaller cutoff periods, the scatter plots show a better relation and a better correlation.

In Figure 13 and Figure 14, the evolution of the bias, the Root-Mean-Square-Error (RMSE), the correlation coefficient and the scatter index (see Appendix 1) is shown as a function of the cut off period, for the reconstructed peaks 1 and the peaks 2, using the LOWESS model, based on the peaks 1. One can observe that the bias for the reconstructed peaks 1 remains very small. This is as expected, since the LOWESS model was based on these data. The small positive bias (too high reconstructed peaks) is due to the correction mechanism (see above). For the peaks 2, the bias remains low, for a cut off period up to 135 minutes. For longer cut off periods, the bias increases and reaches values up to +181 mg/l for a cut off period of 165 minutes. Remark that the fact that the bias increases when reconstructing the peaks 2, is depending on the characteristics of the peaks 1 and peaks 2. When reconstructing the peaks 1, using the LOWESS models, based on the second half of the peaks, the bias would decrease for longer cutoff periods.

For the RMSE, the correlation and the scatter index, the behavior for the reconstruction of the peaks 1 and the peaks 2 is similar. The RMSE increases from about 200 mg/l for a cut off period of 15 minutes, to a RMSE of about 600 mg/l for a cut off period of 165 minutes while the correlation decreases from 94% to less than 29% (for reconstruction of peaks 2). Remark, however, that the correlation coefficients remains higher than 50% for the reconstruction of the independent peaks for a cut off period until 135 minutes. The scatter index, finally, increases from 14% for a cutoff period of 15 minutes, to around 30% for cut off periods higher than 105 minutes. Overall the reconstruction of the peaks is satisfactory, certainly for cut off periods smaller than 60 to 120 minutes.

In Figure 15 and Figure 16 a time series is given of original peaks and reconstructed peaks for a period in 2005. Three different time series are presented for a cutoff period of 15, 60 and 120 minutes. Also the -90% and +90% limits are plotted.

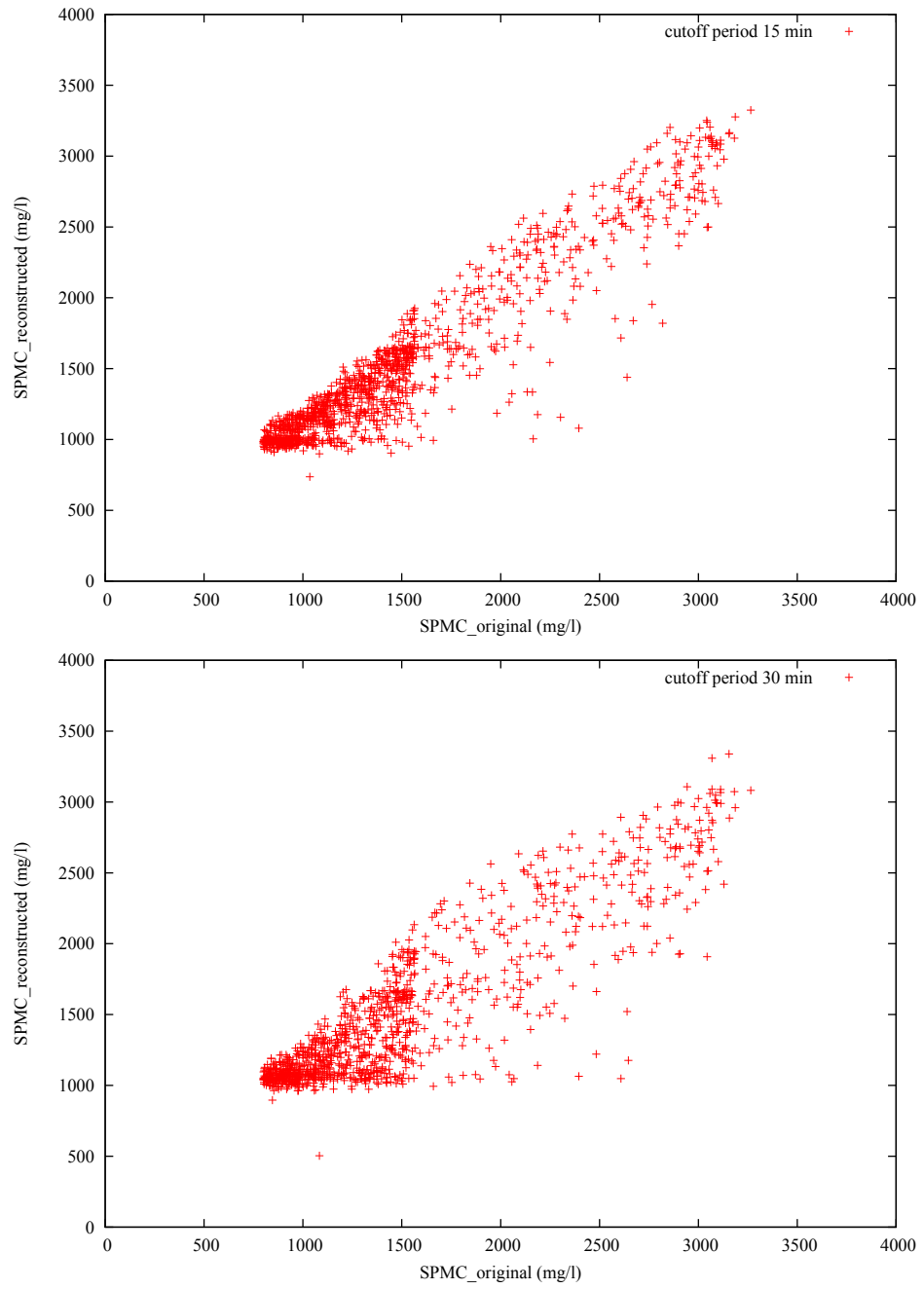


Figure 9: Scatter plots between the reconstructed SPMC peaks and the original SPMC peaks for a cutoff period of 15 min and 30 min.

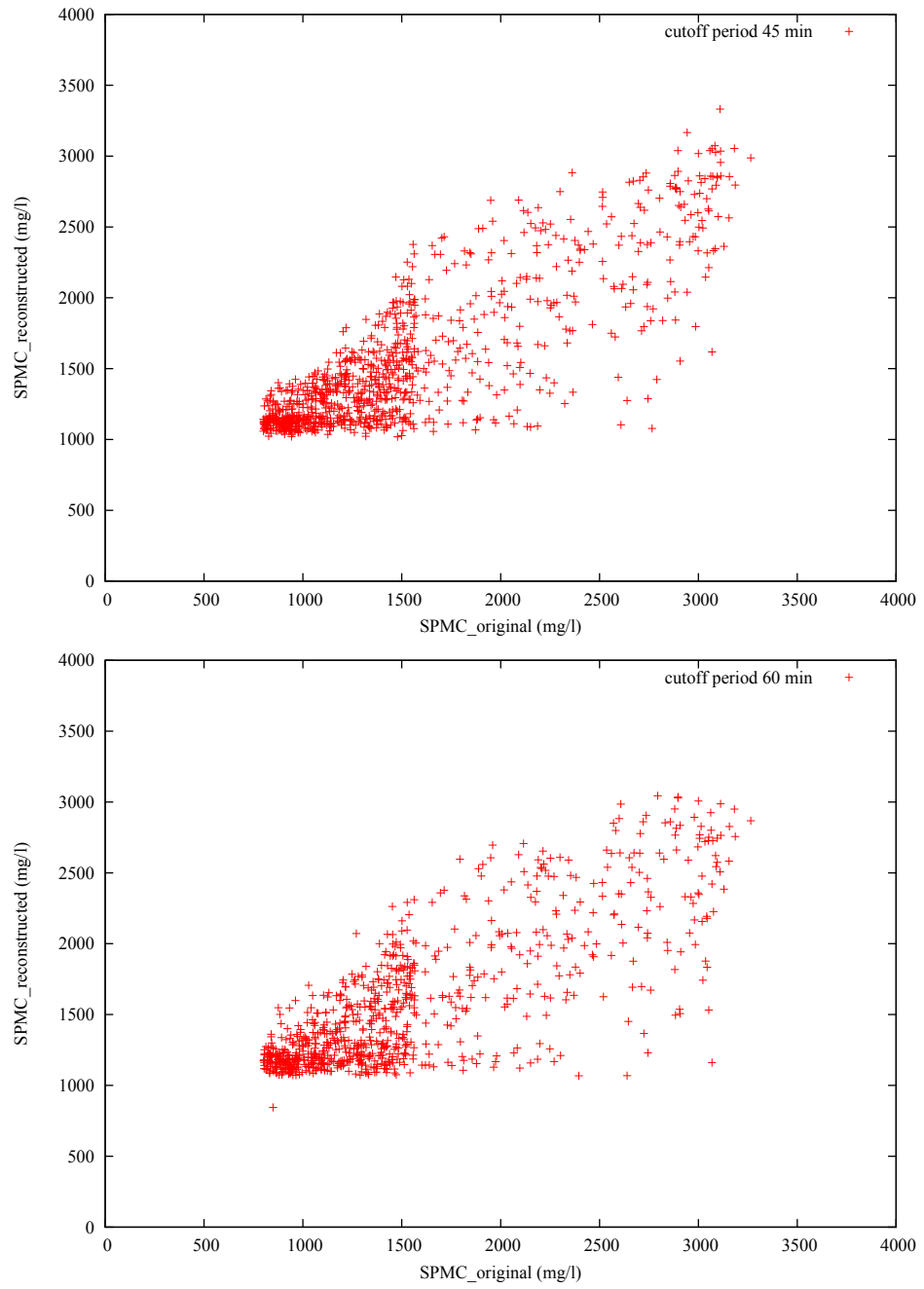


Figure 10: Scatter plots between the reconstructed SPMC peaks and the original SPMC peaks for a cutoff period of 45 min and 60 min.



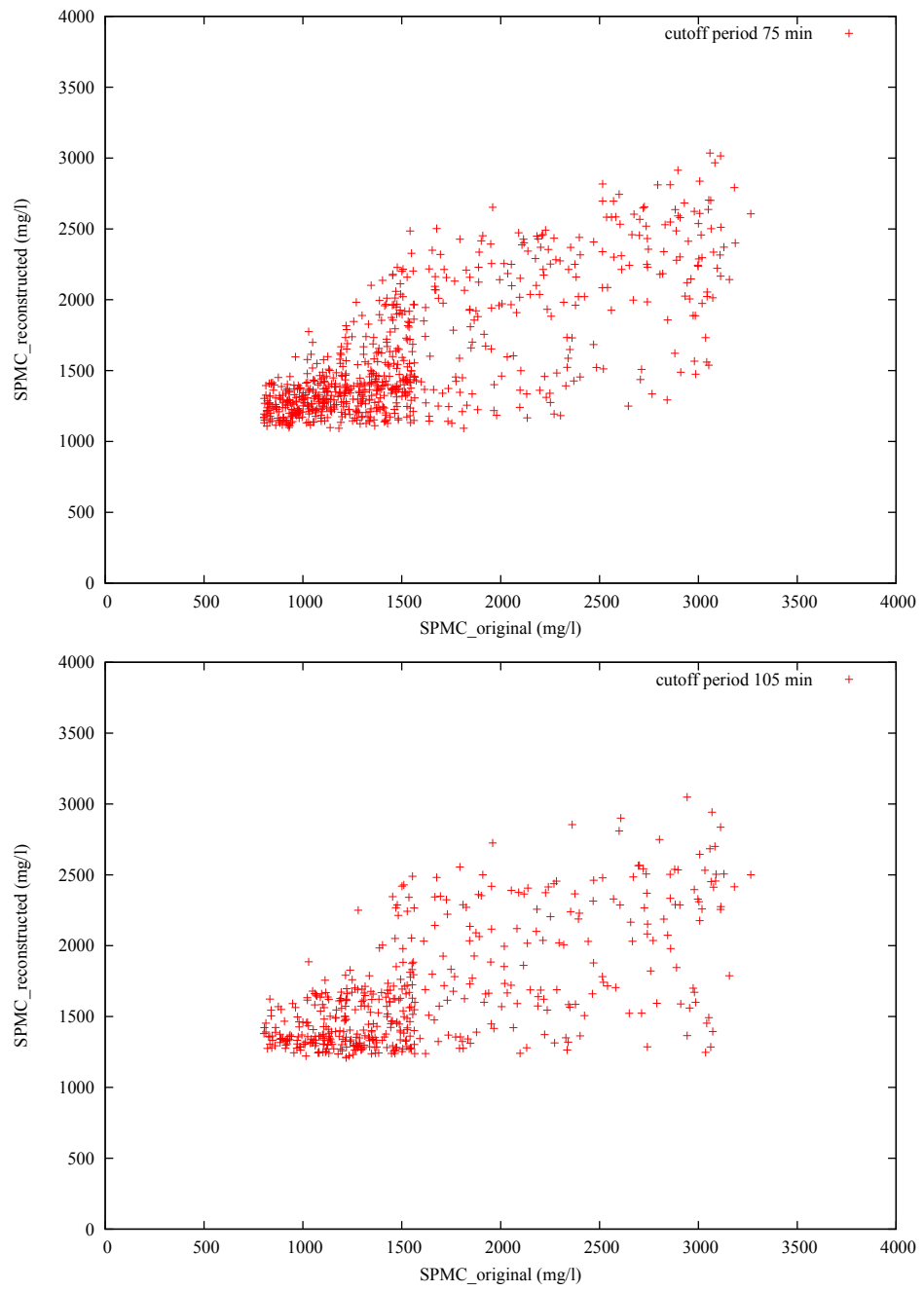


Figure 11: Scatter plots between the reconstructed SPMC peaks and the original SPMC peaks for a cutoff period of 75 min and 105 min.

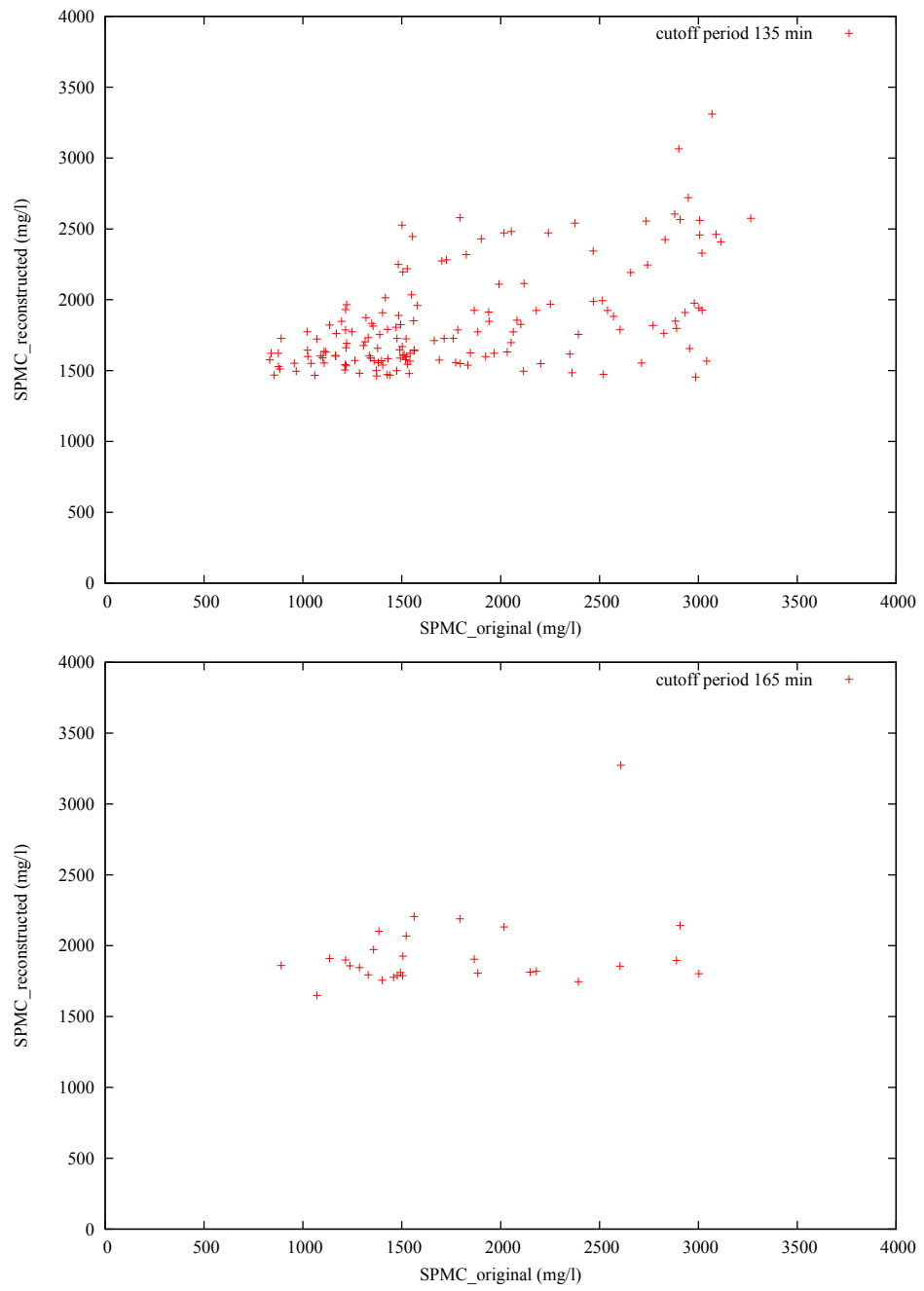


Figure 12: Scatter plots between the reconstructed SPMC peaks and the original SPMC peaks for a cutoff period of 135 min and 165 min.

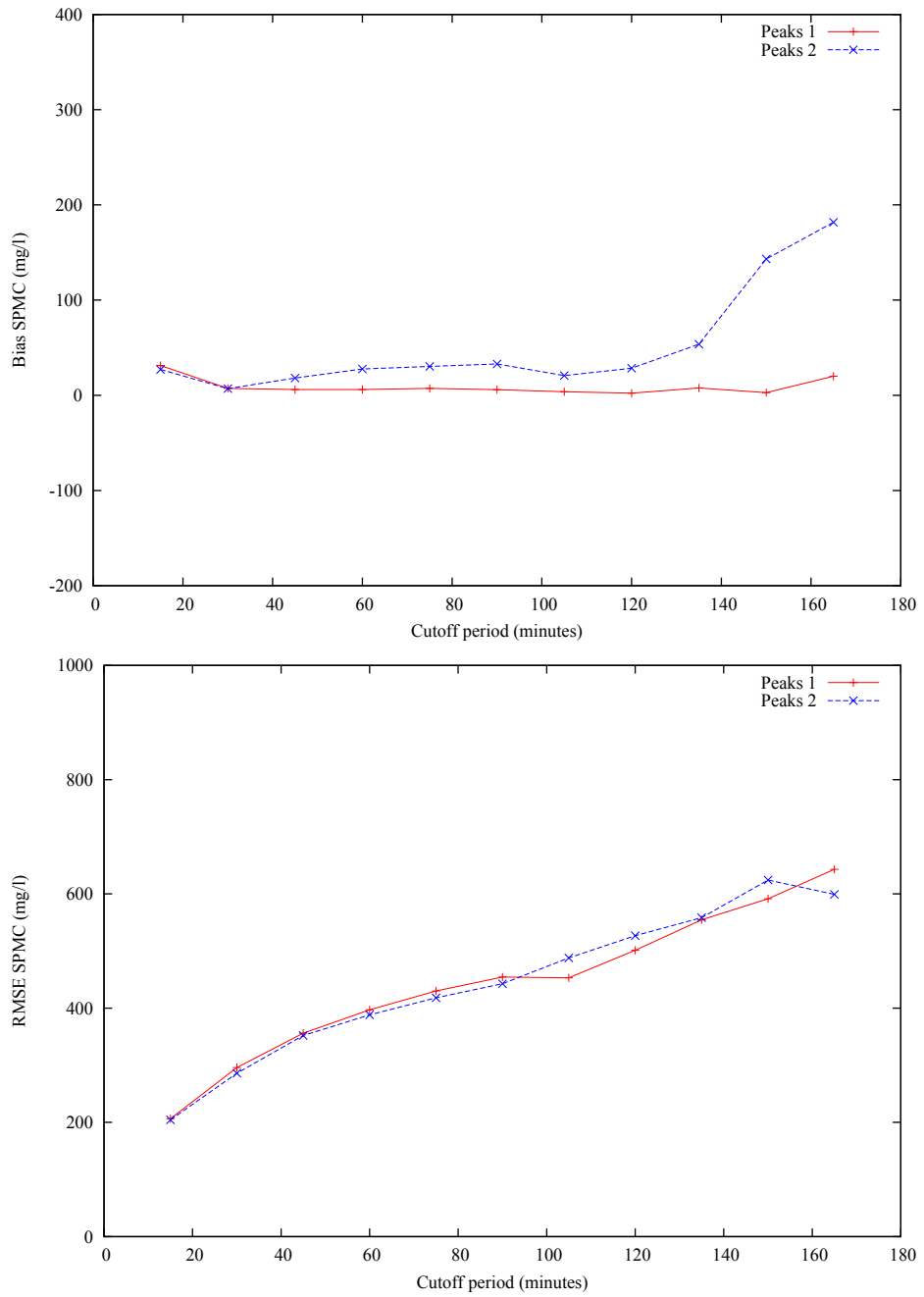


Figure 13: Bias and RMSE as a function of the cutoff period, for the reconstruction of the first half of the peaks (peaks 1) and the second half of the peaks (peaks 2), using the LOWESS model, based on the first half of the peaks.

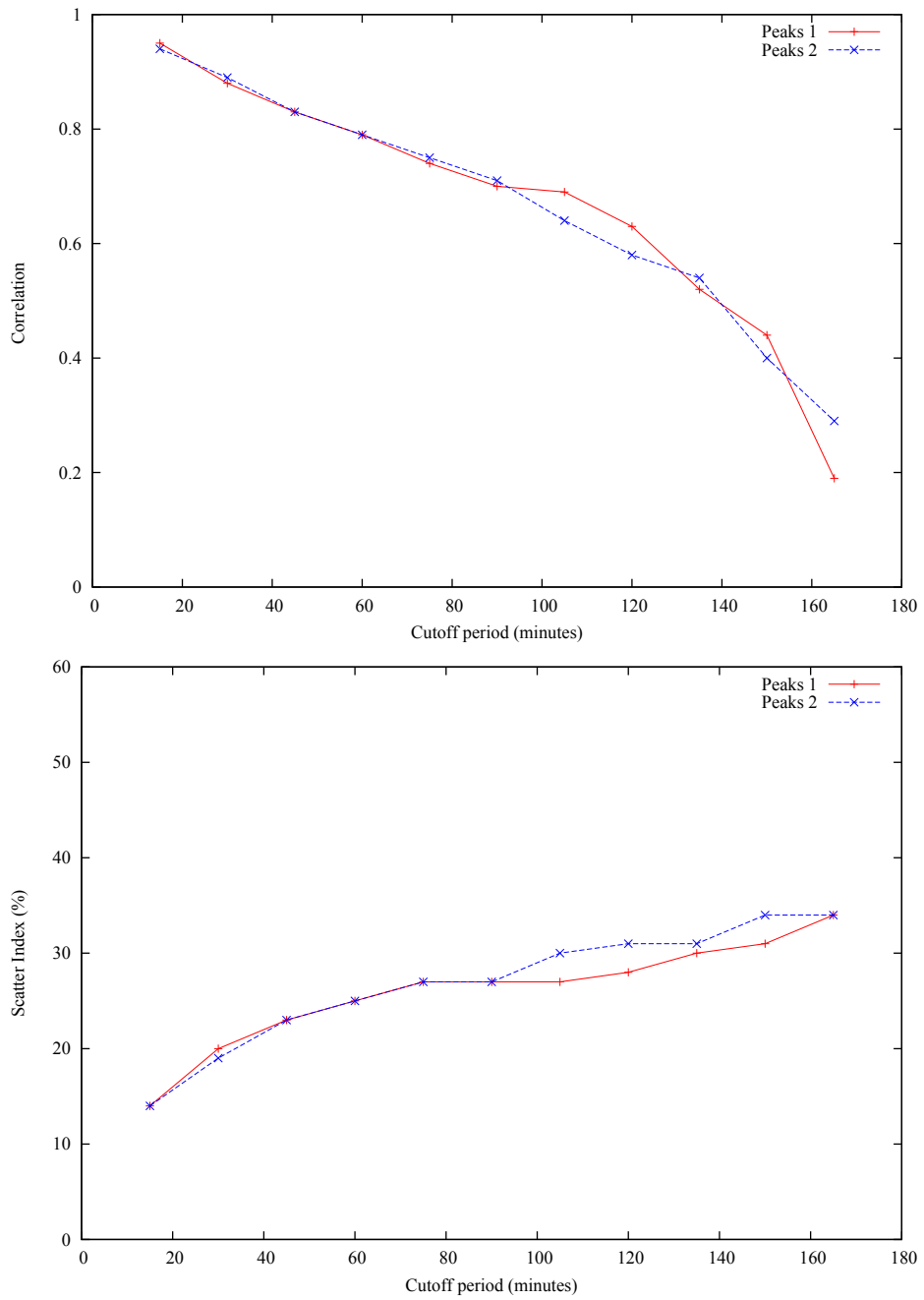


Figure 14: Correlation and Scatter Index as a function of the cutoff period, for the reconstruction of the first half of the peaks (peaks 1) and the second half of the peaks (peaks 2), using the LOWESS model, based on the first half of the peaks.

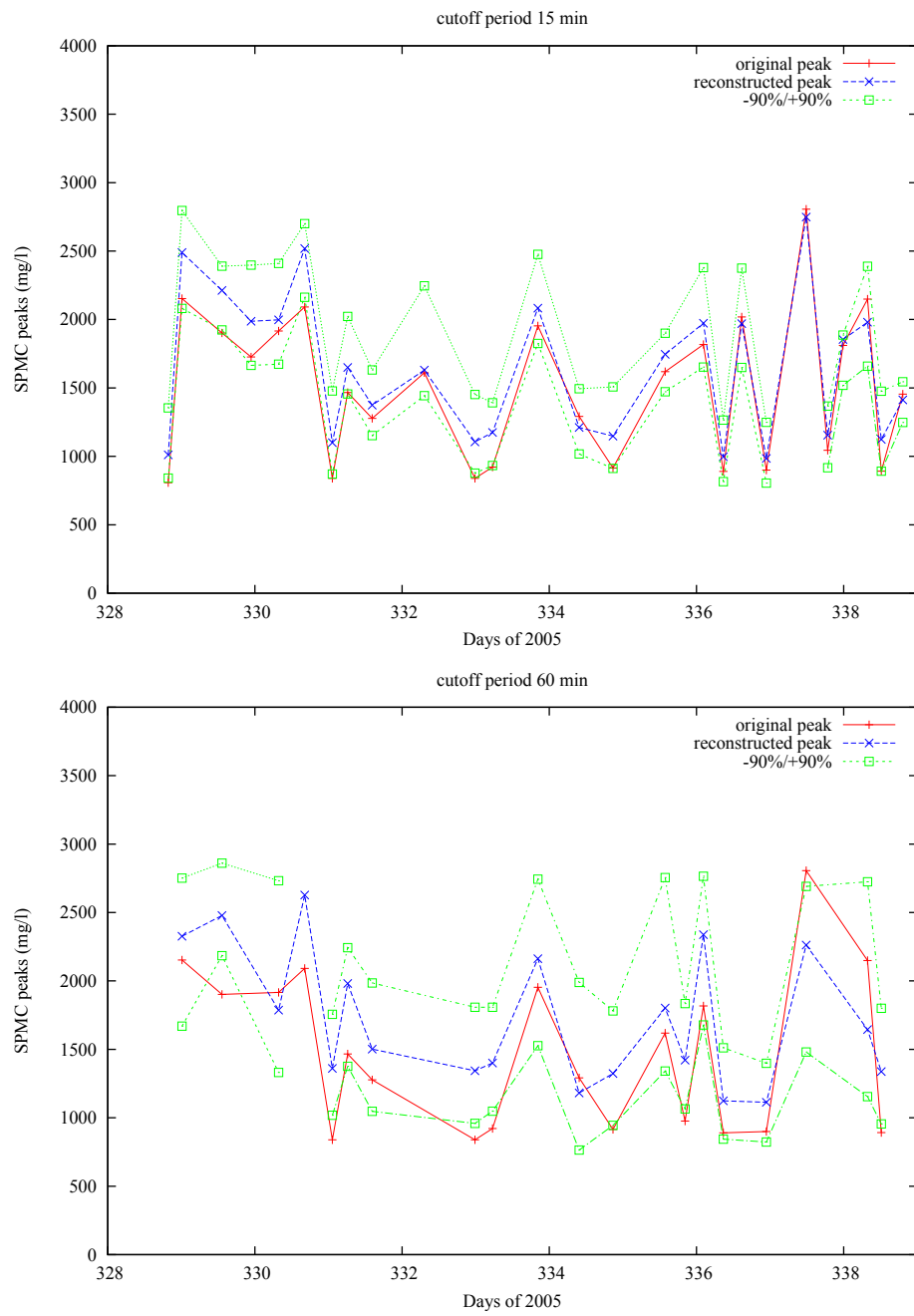


Figure 15: Time series of original peaks and reconstructed peaks for a cutoff period of 15 min and 60 min, for a period in 2005.

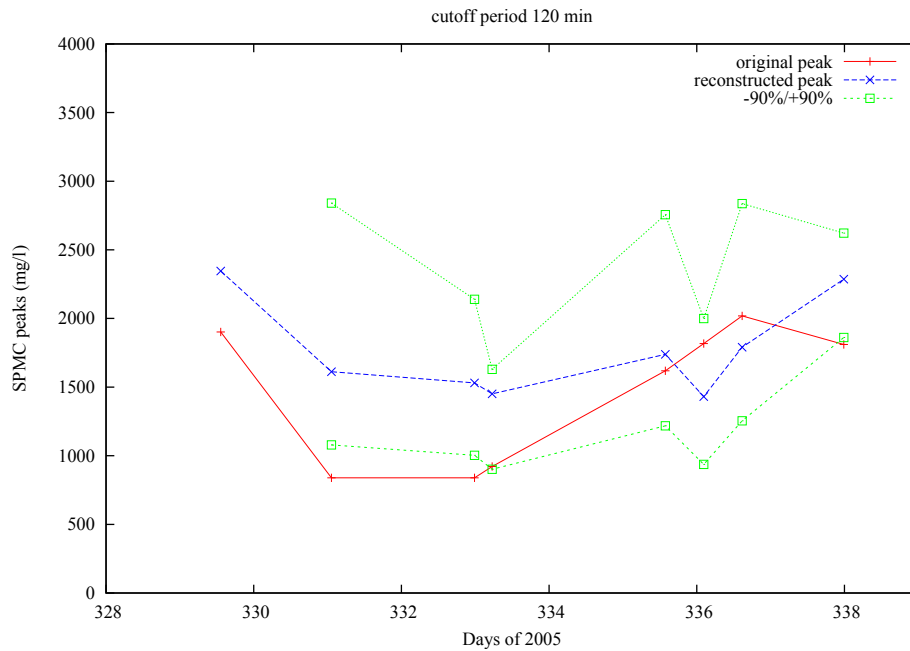


Figure 16: Time series of original peaks and reconstructed peaks for a cutoff period of 120 min, for a period in 2005.

#### 4.2. Application to saturated values

The method described above, was used to reconstruct the saturated peaks in the times series. The LOWESS model was based on all non-saturated peaks in the time series. An example is shown in Figure 17, where the same peaks and saturated peaks of Figure 3 are plotted against the reconstructed peaks. A total of 716 saturated peaks have been reconstructed in this way.

To validate the results, the distribution of all SPMC data is plotted. Figure 18 shows the (log-normal) distribution of the original time series and time series with reconstructed peaks is shown. The distribution has a higher probability than expected from a log-normal distribution around 1500 mg/l and 3000 mg/l, indicating saturated values. In Figure 19, a more detailed view is shown for SPMC between 800 and 5000 mg/l. One can clearly see that the number of SPMC with values around 1500 mg/l and 3000 mg/l have decreased and that the values between 1500 mg/l and 3000 mg/l and values higher than 3000 mg/l have increased after reconstruction. However, the distribution shows also that some of the values are still too low and no complete reconstruction of the peaks was obtained, using the proposed method.



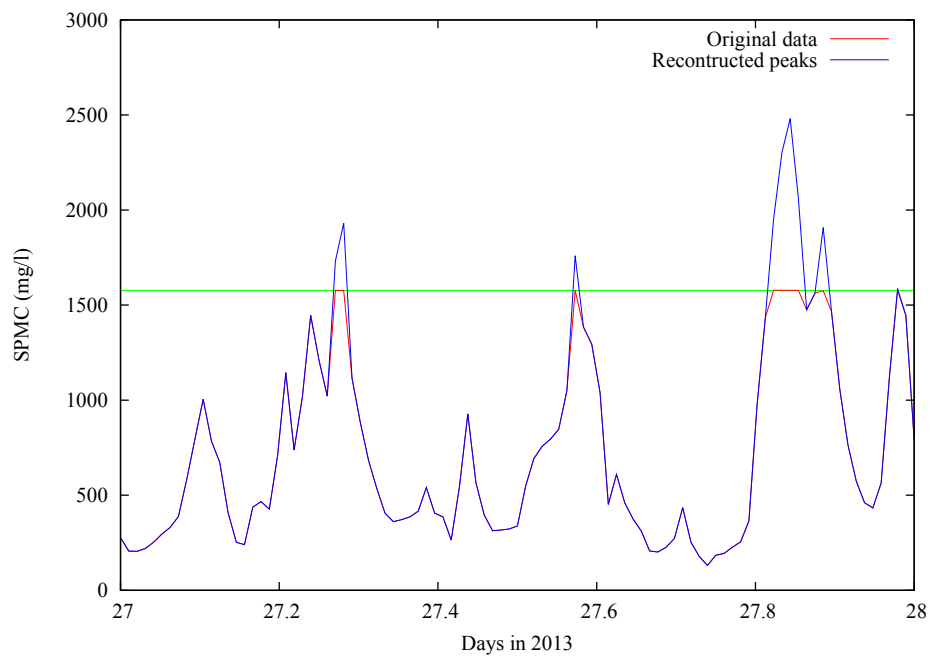


Figure 17: Reconstructed peaks.

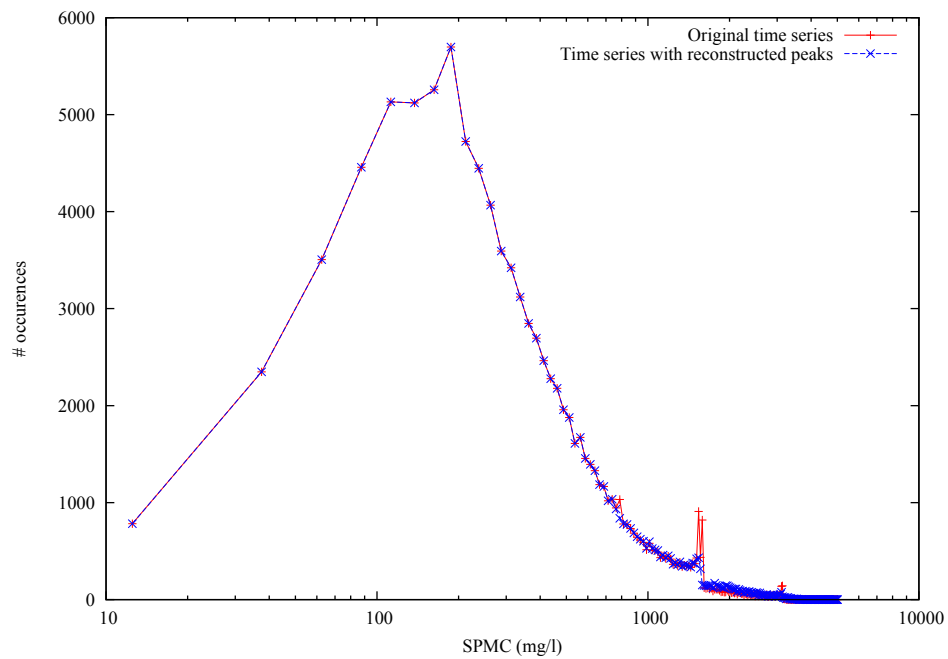


Figure 18: Distribution of the original time series, where saturation occurred, and of the time series with reconstructed peaks.

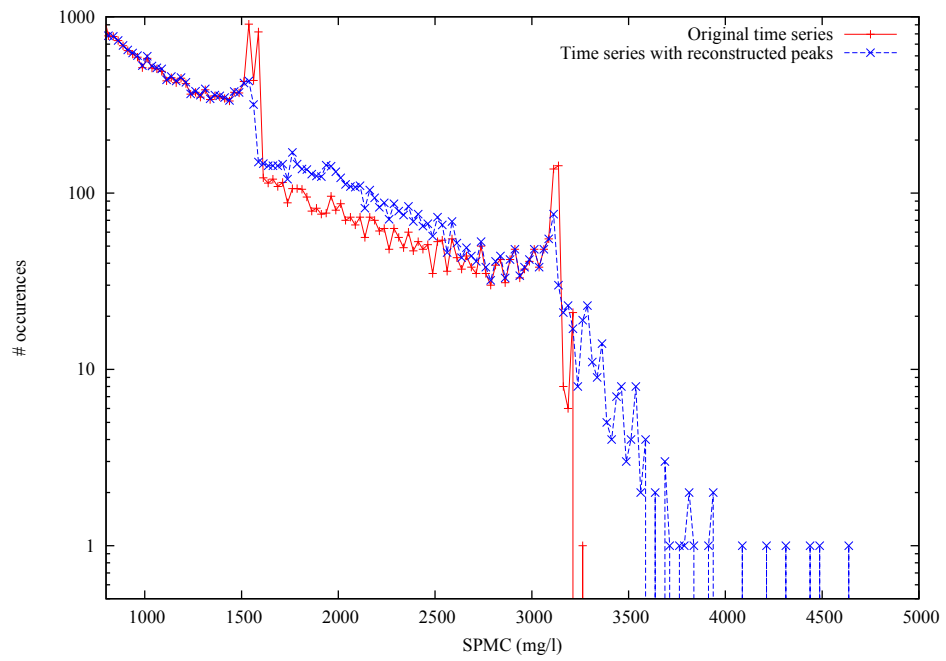


Figure 19: Detail of the distribution, of the original time series, where saturation occurred, and of the time series with reconstructed peaks.

## 5. Conclusions

In the present report, a simple method was proposed to reconstruct peaks that were cut off due to saturation of the OBS sensors. Based on the period of the saturation and the mean level of the SPMC just before and after the saturation, a LOWESS model was constructed for the ratio between the mean SPMC and the top of the peak. If the cutoff period was longer than 15 minutes, a combination of a parabola and a linear function was used to reconstruct the saturated peak.

In a first test to control the methodology, half of the peaks were cut off artificially and were reconstructed using the LOWESS models, based on the other half of the peaks. In this way the reconstruction of the peaks was independent of the peaks. For a cut off period of less than 120 minutes, the bias remains low, with a bias less than 33 mg/l. For longer cutoff periods, the bias increases and reaches higher values up to biases of +181 mg/l for a cutoff period of 165 minutes. The RMSE increases from about 200 mg/l for a cutoff period of 15 minutes, to a RMSE of about 600 mg/l for a cutoff period of 165 minutes. The correlation decreases from 94% for a cutoff period of 15 minutes, to 29% for a cutoff period of 165 minutes, but remains higher than 54% for a cutoff period, lower than 135 minutes. The scatter index, finally, increases from 14% for a cutoff period of 15 minutes, to values around 30% for cutoff periods higher than 105 minutes. Overall the reconstruction of the peaks seems satisfactory, certainly for cutoff periods smaller than 60 to 120 minutes.

In the distribution of the original time series, deviations from the log-normal distributions are observed around the saturation values. In the time series with the reconstructed peaks, these deviations have decreased and less deviation from the log-normal distribution is found.

Overall, one can conclude that the simple method, to reconstruct the saturated peaks, gives satisfactory results, in a first attempt to reconstruct the peaks.

## 6. References

Cleveland, W.S., 1979. Robust Locally Weighted Regression and Smoothing Scatterplots. *Journal of American Statistical Association*, 74, 829-836.

## 7. Appendix I: Statistical parameters

For the validation, the statistical parameters bias, root mean square error (RMSE), the systematic and unsystematic RMSE and the correlation coefficient can be calculated.

Hereafter, the measurements series will be presented as  $x$  and the model results (that is subject to the test) as  $y$ .

The mean values of the time series are represented by  $\bar{x}$  (reference) and  $\bar{y}$  (subject to test):

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$$

$$\bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i$$

with  $N$  the length of the time series.

The bias is the difference between the mean of the modelled and the measured time series:

$$bias = \bar{y} - \bar{x}$$

The closer the bias is to zero, the better both time series correspond. A positive bias value means that the modelled time series are an overestimation of the observed time series. A negative bias value means that the modelled time series are an underestimation of the observed time series.

The root mean square error (RMSE) is a measure for the absolute error and is defined as:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y_i - x_i)^2}{N}}$$

Corresponding time series will result in RMSE values close to zero.

Furthermore, a systematic RMSE ( $RMSE_s$ ) and an unsystematic RMSE ( $RMSE_u$ ) can be defined, that evaluate respectively, the (absolute) error, which is generated by the deviation from the linear regression of the modelled time series from the measurements, and the error that is generated by the deviation from the individual model results from the linear regression itself. While the systematic RMSE could be reduced by applying a correction, using the linear regression, the unsystematic RMSE is the error which is inherent from the variation from the results themselves. These parameters can be calculated as:

$$RMSE_s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\hat{y}_i - x_i)^2}{N}}$$

$$RMSE_u = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2}{N}}$$

Hereby,  $\hat{y}_i$  is defined from the linear regression

$$\hat{y}_i = mx_i + b$$

with slope  $m$  and intercept  $b$  calculated from:

$$m = \frac{N \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{N \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$$

$$b = \bar{y} - m\bar{x}$$

The correlation between both signals is given by Pearson's correlation coefficient, defined as:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}}$$

The scatter index is a measure for the relative error and is defined by:

$$S.I. = \frac{RMSE}{\bar{x}}$$

© COLOPHON

This report was issued by Operational Directorate Natural Environment in August 2016.

The reference code is MOMO/X/DVDE/201605/EN/TR01.

Status  draft  
 final version  
 revised version of document  
 confidential

Available in  English  
 Dutch  
 French

If you have any questions or wish to receive additional copies of this document, please send an e-mail to [DVandenEynde@naturalsciences.be](mailto:DVandenEynde@naturalsciences.be), quoting the reference, or write to:

Royal Belgian Institute of Natural Sciences  
Operational Directorate Natural Environment  
100 Gulledele  
B-1200 Brussels  
Belgium  
Phone: +32 2 773 2111  
Fax: +32 2 770 6972  
<http://www.mumm.ac.be/>

Royal Belgian Institute of Natural Sciences  
Operational Directorate Natural Environment  
Suspended Matter and Seabed Monitoring and Modelling Group



The typefaces used in this document are Gudrun Zapf-von Hesse's *Carmina Medium* at 10/14 for body text, and Frederic Goudy's *Goudy Sans Medium* for headings and captions.



## **APPENDIX 3**

**Bijdrage VLIZ Marine Scientists' Day 12 February, Brugge**

# **The impact of disposal of fine grained sediments from maintenance dredging works on SPM concentration and fluid mud in and outside the harbor of Zeebrugge**

Michael Fettweis<sup>1</sup>, Matthias Baeye<sup>1</sup>, Claudio Cardoso<sup>2</sup>, Arvid Dujardin<sup>3</sup>, Dries Van den Eynde<sup>1</sup>, Thomas Van Hoestenbergh<sup>2</sup>, Joris Vanlede<sup>3</sup>, Luc Van Poucke<sup>2</sup>, Carlos Velez<sup>2</sup>, Chantal Martens<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Royal Belgian Institute of Natural Sciences, Operational Directorate Natural Environment  
Gulledelle 100, B-1200 Brussels, Belgium

<sup>2</sup> Antea Group, Buchtenstraat 9, B-9051 Gent, Belgium

<sup>3</sup> Department of Mobility and Public Works, Flanders Hydraulics Research, Berchemlei 115, B-2140 Antwerp, Belgium

<sup>4</sup> Department of Mobility and Public Works, Maritime Access Division, Tavernierkaai 3, B-2000 Antwerp, Belgium

The amount of sediments to be dredged and disposed depends to a large part on the Suspended Particulate Matter (SPM) concentration. Tidal, meteorological, climatological and seasonal forcings have an influence on the horizontal and vertical distribution of the SPM in the water column and on the bed, and control the inflow of fine-grained sediments towards harbors and navigation channels. About 3 million tons (dry matter) per year of mainly fine-grained sediments is dredged in the port of Zeebrugge and is disposed on a nearby disposal site. The disposed sediments are quickly resuspended and transported away from the site. The hypothesis is that a significant part of the disposed sediments recirculates back to the dredging places and that a relocation of the disposal site to another location at equal distance to the dredging area would reduce this recirculation. In order to validate the hypothesis a one year field study was set up in 2013-2014. During one month the dredged material was disposed at a new site. Variations in SPM concentration were related to tides, storms, seasonal changes and human impacts. In the high-turbidity Belgian near shore area the natural forcings are responsible for the major variability in the SPM concentration signal, while disposal has only a smaller influence. The conclusion from the measurements is that the SPM concentration decreases after relocation of the disposal site, but indicate stronger (first half of field experiment) or weaker (second half of field experiment) effects that are, however, supported by the environmental conditions. The results of the field study may have consequences on the management of disposal operations as the effectiveness of the disposal site depends on environmental conditions, which are inherently associated with chaotic behavior.

# In situ measurements of SPM concentration to evaluate the impact of the disposal of fine grained sediments from maintenance dredging

Michael Fettweis<sup>1</sup>, Matthias Baeye<sup>1</sup>, Frederic Francken<sup>1</sup>, Dries Van den Eynde<sup>1</sup>, Thomas Van Hoestenbergh<sup>2</sup>, Luc Van Poucke<sup>2</sup>, Arvid Dujardin<sup>2,3</sup>, Chantal Martens<sup>4</sup>

- <sup>1</sup> Royal Belgian Institute of Natural Sciences – Operational Directorate Natural Environment, Gulledele 100, B-1200 Brussels, Belgium
- <sup>2</sup> Antea Group, Buchtstraat 9, B-9051 Gent, Belgium
- <sup>3</sup> Flanders Hydraulics Research, Flemish Government, Department of Mobility and Public Works, Berchemlei 115, B-2140 Antwerp, Belgium
- <sup>4</sup> Maritime Access Division, Flemish Government, Department of Mobility and Public Works, Tavernierkaai 3, B-2000 Antwerp, Belgium

The 19,100 TEU CSCL Globe enters the port of Zeebrugge on 17 January 2015. These type of ships have a large draft and increase maintenance dredging works.

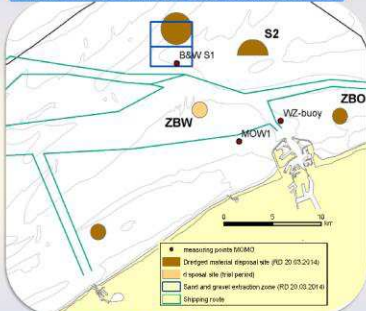
## Reducing maintenance dredging through relocation of disposal site

1. What is the recirculation of disposed fine grained sediments from the disposal site towards the dredging site?
2. Relocation of the disposal site (from ZBO to ZBW). Is the SPM concentration significantly decreasing near the dredging places?
3. What is the impact of disposal of fine-grained sediments on the SPM concentration in the turbid Belgian nearshore area (southern North Sea)?



## Methods

### In situ measurements and disposal sites



Belgian nearshore area near the port of Zeebrugge

### Long time series of SPM concentration to resolve:

- 1) harmonic signals (tide, spring-neap cycle)
- 2) seasonal signal (+/- harmonic)
- 3) random signals (meteo, waves)

### Design of the experiment

- 11 month with disposal site ZBO (as usual)
- 1 month with disposal site ZBW

### Analysis of data

- as a function of residual alongshore flow, waves, tidal range, season; identify similar periods in time-series
- ensemble averaging
- statistical analysis

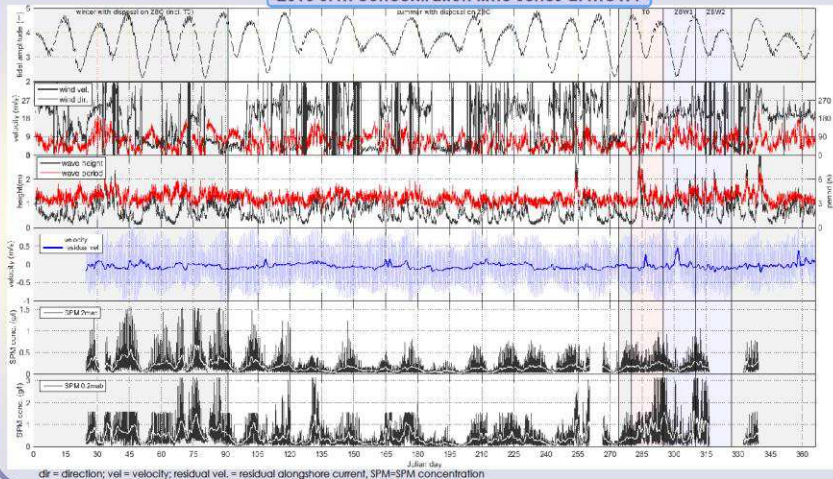
### Tripod measurements at MOW1 & WZ buoy



SPM concentration (OBS ADP), Fluid mud layer (ADV altimetry), CTD, LISST, current velocity (ADV, ADP), turbulence (ADV)

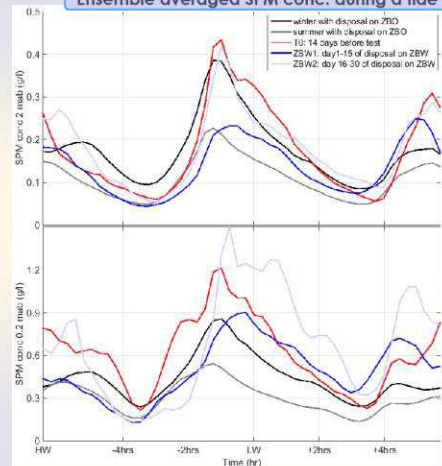
## Results

### 2013 SPM concentration time series at MOW1



dir = direction; vel = velocity; residual vel. = residual alongshore current, SPM=SPM concentration

### Ensemble averaged SPM conc. during a tide



## Conclusions

1. SPM dynamics, although dominated by tidal forcing, is significantly influenced by spring-neap cycles, seasons and meteo conditions.
2. This variability has been eliminated by using long time series and by choosing the same season (winter) and similar periods of meteo and residual currents (T0 & ZBW1).
3. The effect of disposal of fine grained matter on SPM concentration at MOW1 and WZ Buoy is about one order of magnitude lower than the natural SPM concentration.
4. During the ZBW-period the SPM concentration was lower than during T0 period. The decrease in SPM concentration is partially due to the fact another disposal site that is not influencing the SPM concentration at the measuring location (ZBW) was used.
5. The results indicate that sedimentation of mud in port and navigation channels situated in a high turbidity area can be reduced by a smart relocation of the disposal site.