



HOGERE ZEEVAARTSCHOOL ANTWERPEN

Stromingen in Belgische Badwateren

Thomas D'Hollandere

Scriptie voorgedragen tot het behalen
van de graad van
Master in de Nautische Wetenschappen

Promotor: Deirdre Luyckx
Copromotor: Pieter Decanq
academiejaar: 2019-2020

VOORWOORD

Bij aanvang van deze scriptie zou ik eerst een woord van dank willen richten tot volgende mensen/ instanties. Als eerste wil ik mevrouw Deirdre Luyckx bedanken die dit onderwerp wou promoten. Dankzij dit onderwerp heb ik dingen over stromingen en veiligheid in onze Belgische kustwateren bijgeleerd die achteraf gezien van levensbelang kunnen zijn. Verder heeft zij mij ook goed op weg geholpen door de aanvoer van enkele goede basisbronnen. Als tweede wil ik graag meneer Pieter Decancq bedanken die niet alleen copromotor was, maar ook geholpen heeft bij het in contact komen met de Belgische reddingsdiensten en het bekomen van hun cursussen. Ten derde wil ik Emiel Van Driessche bedanken. Hem wil ik bedanken voor zijn masterthesis waarop dit werk gebaseerd is. Verder heeft hij mij ook een zeer goed beeld gegeven van hoe men de proeven het best kan uitvoeren. Hierdoor kunnen wij nu dankbaar gebruik maken van zijn bekomen data. Vervolgens wil ik kapitein Réjane Gyssens van het MRCC in Oostende bedanken voor het verlenen van toestemming met betrekking tot het plaatsen van een meetboei in de badwateren.

Heel belangrijk voor deze thesis was ook het personeel van de kustreddingsdiensten die met hun materieel en personeel dit onderzoek hebben mogelijk gemaakt.

Hieronder vallen mevrouw An Beuns die het contact met de hoofdredders mogelijk gemaakt heeft en de (hoofd)redders van De Panne, Koksijde, Middelkerke en Oostende die hun diensten ter beschikking hebben gesteld.

Als laatste wil ik ook iedereen bedanken die heeft geholpen bij het nalezen van deze thesis.

SAMENVATTING

Bij het werk van de kustredders is kennis van de overheersende stromingen belangrijk om de veiligheid van de baders te garanderen. Op basis van eerder exploratief onderzoek bestaat het vermoeden dat er een tijdsverschil is tussen het kenteren van de stromingen vermeld in de stroomtabellen en de stromingen waargenomen in de badzone.

Het doel van deze scriptie is het bepalen van het effectieve moment van kentering nabij het strand om zo te komen tot praktisch bruikbare richtlijnen die relevant zijn voor de strandredders.

Om dit doel te bereiken, is er enerzijds een enquête afgenomen bij de strandredders om hun werkervaringen na te gaan. Anderzijds werd er een meetcampagne georganiseerd om de kenteringen ter plaatse te gaan meten met behulp van een ankerboei met GPS-tracker.

Uit de resultaten van de meetcampagne blijkt dat er dicht bij het strand wel degelijk een tijdsverschil optreedt in vergelijking met de drie uur die voorspeld wordt door de stroomtabellen.

De gemiddelde kenteringen vallen in de badzone namelijk 2u.44 na laag water en 2u.26 na hoog water. De metingen bevestigen hiermee de beroepspraktijk van strandredders, die in hun dagelijkse werk al rekening houden met dit tijdsverschil.

ABSTRACT

In the working environment of lifeguards, knowledge of the prevailing currents is important to guarantee the safety of the bathers. Based on earlier exploratory research, it is conjectured that there is a time difference between the reversal of the currents mentioned in the flow charts and the currents observed in the bathing area. The aim of this thesis is to determine the effective moment of reversal near the beach in order to construct useful guidelines which are relevant to the work of the lifeguards.

To achieve this goal, on the one hand, a survey was conducted with the beach rescuers to check their work experiences. On the other hand, a measurement campaign was organized to measure the current reversals on the spot, using an anchor buoy with GPS tracker.

The results of the measurement campaign show that there is indeed a time difference closer to the beach compared to the three hours predicted by the flow charts.

On average, the reversal of the flow is observed 02:44 after low tide and 02:26 after high tide in the bathing area. The measurements thus confirm the practical experiences of the lifeguards, who have already taken this time difference into account in their daily work.

Inhoudsopgave

1 INLEIDING.....	1
2 STROMING.....	3
2.1 Ontstaan van stromingen.....	4
2.1.1 Primaire krachten.....	4
2.1.2 Secundaire krachten.....	5
2.1.3 Theorie van Eckman.....	6
2.1.4 Divergentie en convergentie.....	7
2.2 Soorten stromingen.....	8
2.2.1 Oceaanstromingen.....	8
2.2.2 Kuststromingen.....	10
3 METEN VAN STROOMSNELHEID/ -RICHTING.....	13
3.1 meetmethoden.....	13
3.1.1 Euleriaanse snelheidsmeting.....	13
3.1.2 Lagrangiaanse snelheidsmeting.....	14
3.2 GPS 14	
4 BELGISCHE STRANDREDDINGSDIENST.....	16
4.1 Opbouw van de enquête.....	16
4.2 Resultaten enquête.....	18
4.3 Conclusie enquête.....	23
5 VOORGAANDE ONDERZOEKEN.....	24
5.1 Onderzoek Waterbouwkundig Laboratorium.....	24
5.2 Onderzoek Emiel Van Driessche.....	28

5.2.1 3D-boei.....	29
5.2.2 Ankerboei.....	30
5.2.3 Eigen metingen Emiel Van Driessche:.....	31
5.2.4 Resultaten:.....	33
5.2.5 Conclusie metingen E. Van Driessche:.....	35
6 EIGEN ONDERZOEK.....	37
6.1 De boei.....	37
6.1.1 Eerste boei.....	37
6.1.2 Tweede boei.....	41
6.1.3 Definitieve boei.....	42
6.2 Procedure.....	43
6.2.1 Toestemming Zeevaartpolitie en MRCC.....	43
6.2.2 Overeenkomst met de redders.....	44
6.2.3 Te water lating boei.....	46
6.2.4 Recupereren van de boei.....	48
7 ANALYSE VAN DE MEETGEGEVENS.....	49
7.1 R-versie 1.....	50
7.2 R-versie 2.....	54
7.3 R-versie 3 – app.....	59
8 BESPREKING MEETRESULTATEN.....	61
8.1 De Panne.....	61
8.2 Koksijde.....	62
8.3 Middelkerke.....	63
8.4 Oostende.....	66
8.5 Conclusies van het eigen onderzoek.....	68

8.6 Verbeterpunten.....	69
9 ALGEMENE CONCLUSIE.....	70
10 BIBLIOGRAFIE.....	72
11 BIJLAGEN.....	77
11.1 Vragen enquête.....	77
11.2 Goedkeuringsdocument MRCC Oostende.....	78
11.3 Info van de metingen.....	82
11.4 De metingen.....	82
11.5 Verwerkingsprogramma R.....	83

Lijst van afbeeldingen

Afbeelding 1: Theorie van Eckman.....	6
Afbeelding 2: Divergentie en convergentie.....	8
Afbeelding 3: Bewegpatronen oceaanstromingen.....	9
Afbeelding 4: Muistroming.....	12
Afbeelding 5: Kentering van het getij.....	12
Afbeelding 6: Meettoren MOW.....	20
Afbeelding 7: Meetboei.....	20
Afbeelding 8: Onderzoeksgebied Waterbouwkundig Laboratorium.....	25
Afbeelding 9: Ankerboei E. Van Driessche.....	31
Afbeelding 10: onderzoeksgebied eigen meting E. Van Driessche.....	32
Afbeelding 11: Bewegpatroon stroming voor kentering.....	34
Afbeelding 12: Bewegpatroon stroming tijdens moment van kentering.....	34
Afbeelding 13: Plat anker.....	38
Afbeelding 14: eerste ontwerp meetboei.....	39
Afbeelding 15: Eerste testen: test waterdichtheid GPS-koker.....	40
Afbeelding 16: Eerste testen: test werking vinnen op stroming.....	40
Afbeelding 17: Boei met dwarse verhooging GPS-koker.....	42
Afbeelding 18: Eindproduct: boei met GPS-koker en gewicht.....	43
Afbeelding 19: Dropzone De Panne.....	47
Afbeelding 20: Dropzone Koksijde.....	47
Afbeelding 21: Dropzone Oostende.....	47
Afbeelding 22: Punt van kentering.....	51
Afbeelding 23: Traject boei met aanduiding kenteringspunt.....	51
Afbeelding 24: Plot lengteligging in functie van tijd.....	51
Afbeelding 25: Plot snelheid in functie van tijd.....	51
Afbeelding 26: Snelheidsvectoren per meting in buurt van kentering.....	52
Afbeelding 27: Verandering van positie in functie van tijd.....	55
Afbeelding 28: Verwerking met gemiddelde afstand en stilstandslijn.....	56
Afbeelding 29: Weergave meting in app.....	60
Afbeelding 30: boei rond golfbreker.....	65
Afbeelding 31: Parallele stroming.....	66

Lijst van tabellen

Tabel 1: Oorspronkelijk aanvraag proefdagen.....	44
Tabel 2: Werkplan in samenspraak met hoofdredders.....	45
Tabel 3: tijdstippen van kentering volgens de vier methoden.....	58
Tabel 4: Kentering laag water De Panne.....	61
Tabel 5: Kentering hoog water De Panne.....	61
Tabel 6: Kentering laag water Koksijde.....	62
Tabel 7: Kentering hoog water Koksijde.....	62
Tabel 8: Kentering laag water Middelkerke.....	63
Tabel 9: Kentering hoog water Middelkerke.....	63
Tabel 10: Kentering hoog water Oostende.....	67

1 Inleiding

Deze scriptie gaat over stromingen in de Belgische badwateren en meer specifiek over de stromingen bij het kenteren van het getij. Dit onderwerp is gekozen omdat we allemaal wel het fenomeen kennen: bij een dagje aan zee luiden plots de toeters van de redders en loopt iedereen naar het water. Hierbij kunnen wel al eens wat dingen fout lopen en dit ligt niet alleen aan menselijke aspecten, maar ook aan natuurfenomenen zoals de wind en stroming in de zee. Dit laatste onderwerp wordt in deze thesis besproken.

In hoofdstuk 2 van dit werk wordt eerst en vooral besproken wat stroming is. Hierbij beginnen we met een definitie van (ocean)stroming. Vervolgens verklaren we hoe stroming tot stand komt, te beginnen met de primaire en secundaire krachten om dan uiteindelijk bij het model van Eckman terecht te komen. Na verklaard te hebben wat stroming inhoudt, gaan we over naar de soorten stromingen. Hier beperken we ons tot de stromingen die voor dit werk van toepassing zijn, namelijk oppervlakteoceanstromingen, getijstromingen en stromingen door de kentering van het getij. We gaan hier dus niet in detail in op dieper gelegen oceanstromingen.

In hoofdstuk 3 wordt uitgelegd wat de meest voorkomende, hedendaagse principes zijn die gebruikt worden om stromingen te meten. Het betreft de Euleriaanse en Lagrangiaanse meetmethodes. Verder wordt in dit onderdeel ook het meest voorkomende meetinstrument voor het bepalen van stromingen besproken: de GPS.

In hoofdstuk 4 gaat het over de werkervaringen van de kustredders. Hoe ervaren zij stromingen en in het bijzonder de kentering ervan tijdens hun dagelijkse werk.

In hoofdstuk 5 komen een aantal onderzoeken aan bod die eerder al naar de kentering na hoog of laag water werden gedaan. Het gaat hier over een studie van het Waterbouwkundig Laboratorium en het thisonderzoek van Emiel Van Driessche, voormalig student aan de HZS.

Hoofdstuk 6 behandelt alle voorbereidingen voorafgaand aan de eigen meetcampagne. Dit gaat onder andere over de constructie van de meetboei, het opstellen van de planning, en de werkprocedures bij het uitzetten van de boei.

In hoofdstuk 7 wordt de verwerking van de verzamelde gegevens besproken. Hierbij besteden we ook aandacht aan de ideeën achter de verwerkingsmethodes.

In hoofdstuk 8 ten slotte worden de resultaten besproken die komen uit de verwerking van de bekomen meetresultaten, om zo te komen tot een aantal conclusies.

De verschillende delen van deze scriptie dragen bij tot de centrale onderzoeksvragen van deze scriptie. Een eerste centrale vraag waarop deze scriptie een antwoord probeert te geven, is de vraag wanneer de kentering van de getijstroming, na hoog en laag water, in de Belgische badzone plaatsvindt. Daarnaast wil deze scriptie nagaan wat de ervaringen van de kustredders ter plaatse zijn: ondervinden zij een verschil tussen de kentering gemeten aan de meetpalen en die gemeten in de badzones? Tot slot wordt bekeken hoe relevant de kentering van de getijstroming is voor de kustredders.

2 Stroming

Deze scriptie gaat over stromingen en meer bepaald over kuststromingen en de kentering ervan. Vooraleer we echter over het meten van stromingen en hun kenteringen kunnen spreken, moeten we eerst bepalen wat stroming precies is. Men kan stromingen volgens “*The Free Dictionary*” definiëren als: “Een horizontale beweging van water door een oceaan. Warme en koude oppervlaktestromingen herverdelen de warmte van de zon evenwichtiger rond de Aarde” [a]. Verder kunnen we stellen dat de kentering het moment is dat de stroming van richting veranderd.

[a] ‘Sea current’ (z.d.) *TheFreeDictionary.com*.

<https://www.thefreedictionary.com/Sea+current> (Geraadpleegd 9 maart 2018).

2.1 Ontstaan van stromingen

Als men stroming definieert als de beweging van een watermassa, dan zijn er krachten nodig om de bewegingstoestand van de watermassa te veranderen. Deze krachten deelt men op in primaire en secundaire krachten [24].

Primaire krachten zetten de watermassa in beweging, terwijl secundaire krachten pas in werking treden eens de massa reeds in beweging is. Er zijn verschillende primaire krachten die aan de basis liggen van het ontstaan van (zee)stromingen.

2.1.1 Primaire krachten

Onder de primaire krachten vallen de wind en de verschillen in druk. Hierdoor worden respectievelijk driftstromen en geostrofische stromen (gradiëntstromingen) gecreëerd. We bespreken het ontstaan van beide types stromingen wat meer in detail [30].

Windeffect

Het is reeds gekend dat er een invloed is van land- en zeeoppervlakte op de wind, een remmend effect. Deze invloed werkt echter ook in de andere richting. Een gekend fenomeen van deze invloed is de golfvorming op zee [12], maar dus ook het in beweging brengen van een watermassa aan het wateroppervlak. Bij het in beweging brengen van een watermassa wordt een stroming gecreëerd. Men noemt deze stromingen 'driftstromen' of 'winddriften'.

Drukkrachten

De hydrostatische druk op een zekere diepte in een oceaan kan gedefinieerd worden als het gewicht van de waterkolom erboven, de hydrostatische druk:

$$p = \rho * g * h$$

Hierbij wordt de druk p uitgedrukt in pascal, de dichtheid van het zeewater ρ in kg/m^3 en de diepte in m. De valversnelling g is gelijk aan $9,81 \text{ m/s}^2$ [28].

Indien er tussen twee punten in hetzelfde horizontale vlak (op gelijke bodemdiepte) een verschil in druk waargenomen wordt, zal er een stroming ontstaan die loopt van de hoge druk richting de lage druk [12]. De verplaatsing van een watermassa die zich door drukverschillen of drukveranderingen verplaatst noemt men een 'geostrofische' stroming.

Drukverschillen kunnen om volgende redenen ontstaan:

- De densiteit van zeewater kan veranderen door een temperatuursverandering of een verandering in zoutconcentratie[18]. Zo zal warm water minder zout bevat dan koud water, wat een verschil geeft in hydrostatische druk. Dit kan worden toegepast op de Middellandse Zee dat met zijn heel hoge zoutgehalte ongeveer een meter lager ligt dan de Atlantische Oceaan.
- Ook grote atmosferische drukverschillen kunnen een hoogteverschil van het zeeoppervlak creëren. Dit komt echter alleen bij extreme situaties zoals orkanen voor, want over het algemeen zijn de barometrische verschillen te klein om een noembaar hoogteverschil te laten ontstaan [27].
- Verder kunnen ook constante winden een ophoping van water tegen de continenten creëren, we spreken hier dan onder andere over de passaatwinden. Deze winden vindt men in de tropengordel en komen het hele jaar uit dezelfde richting. Hierdoor ontstaan weer hoogteverschillen in de watermassa, met een stroming tot gevolg [30].

2.1.2 Secundaire krachten

Secundaire krachten hebben een invloed op de beweging van de watermassa zodra deze al in beweging is, maar ze kunnen een watermassa niet zelf in beweging zetten. We bespreken hier over corioliskrachten en de viscositeit of interne wrijving.

Corioliskracht

De corioliskracht is een fictieve kracht die ontstaat doordat een voorwerp draait in de ruimte. Aangezien de aarde om haar as draait, merkt een waarnemer op aarde de Corioliskracht op als een afbuiging van een bewegend voorwerp: naar rechts op het noordelijk halfrond en naar links op het zuidelijk halfrond. Ten gevolge van de Corioliskracht buigen de winden bijvoorbeeld af naar rechts op het noordelijk halfrond op Aarde. Dit fenomeen is ook wel bekend als de wet van *Buys Ballot*. Bij zeestromingen is dit mooi te zien op figuur 3 dewelke gaat over de patronen van oceaanstromingen [27][12].

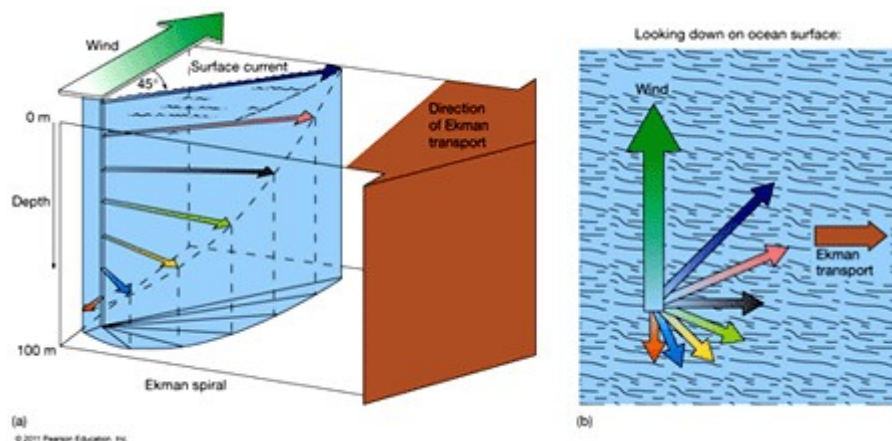
Viscositeit:

Viscositeit is de mate waarin deeltjes binnen eenzelfde stof elkaar beïnvloeden door interne wrijving. Bij stromingen zorgt de viscositeit van het zeewater dat de bovenste laag zeewater die aangedreven wordt door onder andere de wind, de onderliggende lagen met zich meetrekt [27].

Bovengenoemde effecten komen mooi tot uiting bij de theorie van Eckman.

2.1.3 Theorie van Eckman

De theorie van Eckman wordt uitgelegd aan de hand van afbeelding 1 en start met de veronderstelling van een constante wind (groene vector) over een theoretisch onbeperkt grote ondiepe en homogene oceaan [1]. Verder zou deze constante wind al lang genoeg blazen om een constante waterverplaatsing te bekomen in functie van de tijd. Verder stelde Eckman ook dat de hydrostatische druk onveranderd blijft.



Afbeelding 1: Theorie van Eckman

bron: Ernest Knowles [14]

Omwille van de wind ontstaat er een driftstroom aan het oppervlak (blauwe vector). Deze verplaatsing van de bovenste laag trekt door de viscositeit tussen de waterdeeltjes de onderliggende lagen met zich mee, wat een algemene waterverplaatsing met zich meebrengt: een stroming.

Deze stroming zal naar rechts worden afgebogen op het noordelijk halfrond door de corioliskracht die voortkomt uit de draaiing van de aarde.

Uit bovenstaande krachten (wind en coriolis) besloot Eckman dat in een voldoende diep vat/bassin de stroming een afbuiging van 45° naar rechts maakt op de windrichting (op het noordelijk halfrond).

Ook stelde hij dat de kracht van deze driftstroom proportioneel wijzigt met de windkracht en dat ze ongeveer 3% van de windkracht bedraagt. Daarenboven komt dat de kracht van de stroming afneemt met de diepte. Deze afname in kracht wijst men toe aan interne wrijving of viscositeit van het water. Daarbij komt ook nog dat de driftstroom meer en meer afwijkt met de diepte, ten opzichte van de windrichting. Deze afwijking is ook telkens een 45 graden ten opzichte van de bovenliggende waterlagen. Dit wordt aangetoond op de tekening door de blauwe tot en met de oranje vector.

Als men vectoren zou toewijzen aan deze stroomveranderingen met de diepte, vormen deze 'De spiraal van Eckman'.

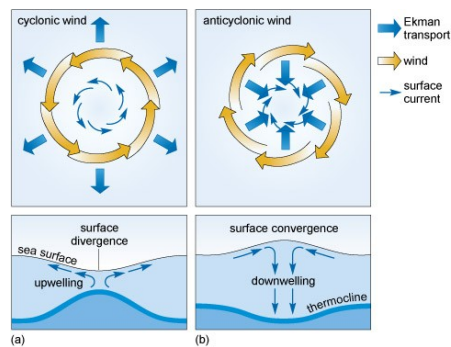
Doordat de stroming een spiraal vormt met het dieper worden zal deze stroming uiteindelijk in de tegengestelde richting en zin bewegen als de oppervlaktestroming (oranje vector). De stroming zal dan nog een kracht bezitten van $1/23$ van de kracht van de oppervlaktestroming. De neerwaartse beweging van de spiraal blijft ook niet eeuwig duren en stopt aan de 'Eckmanlaag' dewelke wordt begrensd door de 'wrijvingsdiepte' (de wrijving is zodanig groot geworden dat onderliggende waterlagen zich niet meer in beweging zetten).

Men stelt bovendien vast dat de netto-waterverplaatsing (de som van de stroomvectoren) loodrecht ligt op de windrichting, naar rechts op het noordelijk halfrond (bruine vector).

Een uitzondering op deze hele theorie is het evenaarsgebied want er heerst daar geen Corioliskracht. De stroming volgt daar dus gewoon de richting van de wind.

2.1.4 Divergentie en convergentie

Het gevolg van driftstromingen is dat een watermassa zich verplaatst van een punt A naar een punt B waardoor er er meer water toekomt dan er wegstroomt. Dit verschijnsel noemt men convergentie en resulteert in een neerwaartse beweging van watermassa. Het omgekeerde noemt men divergentie en resulteert in een opwaartse beweging van de watermassa [29].



Afbeelding 2: Divergentie en convergentie

bron: Open learn [28]

De bovengenoemde waterverplaatsing wordt op afbeelding 2 uitgelegd door een combinatie van de Eckmantheorie en de wind. Hierbij is zoals eerder verklaard een netto waterverplaatsing loodrecht op de windrichting. Aangezien bij drukgebieden de wind in een wijzerzin of tegen-wijzerzin beweegt en de nettowaterverplaatsing loodrecht naar rechts staat op de stroming, zal een cyclonale wind zorgen voor een uitholling van het wateroppervlak en een anti-cyclonale wind voor een ophoping van water, de eerder vermelde divergentie en convergentie.

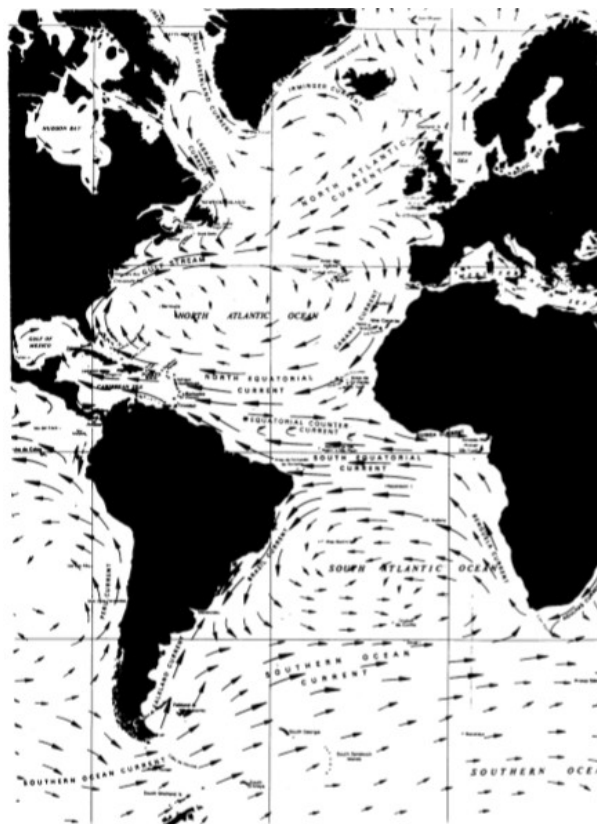
2.2 Soorten stromingen

2.2.1 Oceaanstromingen

Oceaanstromingen zijn onder andere over driftstromingen en geostrofische stromingen die reeds hiervoor besproken werden [30].

Aangezien de oppervlaktestromingen in de Atlantische Oceaan een invloed hebben op de Noordzee, bespreken we deze kort.

In de Atlantische Oceaan bevinden zich twee anticyclonale draaikolken die zich respectievelijke noord en zuid positioneren. Deze stromingen worden op gang gestoken door de passaatwinden. Deze winden zijn een constante in het (sub)tropisch gebied en waaien het hele jaar door van oost naar west en komen samen op de Intertropische Convergentiezone. Eenmaal op de 40ste breedtegraad buigen deze stromingen terug af. Op het noordelijk halfrond komt dit neer op de golfstroom die zich op de 40ste breedtegraad splitst in de noord Atlantische stroom en de Canarische stroom. Het is uiteindelijk de noord Atlantische stroom die de stromingen in de Noordzee beïnvloedt [32].



*Afbeelding 3: Beweegpatronen
oceanstromingen*

bron: Cursus Meteorologie en Oceanografie

[12]

2.2.2 Kuststromingen

Vervolgens bespreken we de soorten kuststromingen en meer bepaald de getijstromingen, we doen dit direct in verband met de Belgische kust. Hierbij moet wel worden opgemerkt dat volgens sommige bronnen getijstromingen niet als ware stromingen beschouwd worden doordat de nettowaterverplaatsing hier nul is. De reden dat de getijstromingen wel in deze scriptie zijn opgenomen, is dat het uiteindelijke doel van dit onderzoek het bepalen van een nauwkeuriger tijdstip van de kentering van het getij is, hetwelk in direct verband staat met de omkeer van de getijstromingen.

Getijstromingen ontstaan, in samenwerking met de primaire en secundaire krachten, door de verticale beweging van het wateroppervlak dewelke veroorzaakt wordt door de aantrekkingskrachten van zon en maan, waarbij de invloed van de maan sterker is doordat deze zich veel dichterbij de aarde bevindt dan de zon [30].

Zoals de aantrekkingskracht van de Aarde ervoor zorgt dat de Maan in een baan rond de Aarde blijft, oefent de Maan ook een zekere aantrekkingskracht uit op Aarde. Door het grote massaverschil uit het effect van de aantrekkingskracht van de maan zich in een verplaatsing van de watermassa's.

Aan de basis van het ontstaan van getijden, ligt het getijdenveld van de maan. Intuïtief kun je dit getijdenveld zien als het verschil in aantrekkingskracht op een (water)deeltje aan het aardoppervlak, met de aantrekkingskracht die op hetzelfde deeltje zou werken als het zich in het massamiddelpunt van de aarde zou bevinden. Doordat de aantrekkingskracht van de maan aan de achterkant van de aarde kleiner is dan in het massamiddelpunt, vormt zich daar een 'bult': het water wordt er dus minder hard aangetrokken. Ook aan de voorkant van de aarde ontstaat een 'bult', doordat het water daar sterker aangetrokken wordt dan in het massamiddelpunt [42].

Indien we alle bovengenoemde krachten samenbrengen creëren we twee 'getijbulten' op dewelke het hoog tij zich bevindt [26].

Indien de zon en maan zich op één lijn bevinden met de aarde, versterken de aantrekkingskrachten van maan en zon, waardoor het hoog tij hoger wordt: we spreken dan van springtij. Als de zon en maan een hoek van 90 graden maken (met de Aarde als hoekpunt), zwakken beide effecten elkaar af en ontstaat er een erg gering laag tij: we spreken van dood tij.

Vloedstroming

Aan de Belgische kust loopt de vloedstroom in een oost-noordoostelijke richting (richting Nederland), evenwijdig met de kustlijn en neemt een tijdszone van twee uur voor hoog water tot drie uur na hoog water in beslag [41].

Met de vloedstroom bedoelt men in de volksmond het “opkomend water”.

Ebstroom

Deze stroming loopt tegenovergesteld aan de vloedstroom en gaat dus in een west-zuidwestelijke richting (richting Frankrijk), ook evenwijdig met de kustlijn. Deze stroming loopt van twee uur voor tot drie uur na laag water [41].

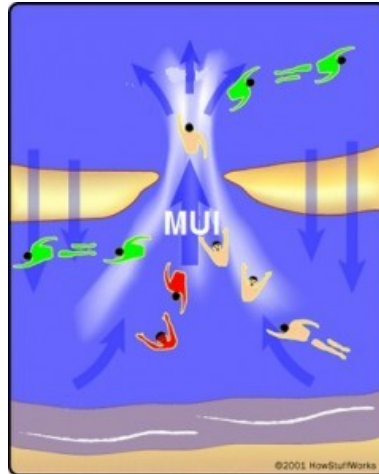
In de volksmond spreekt men over “afnemend water”.

Muistromen

Muistromingen komen zowel bij een opkomend als afnemend getij voor, maar dan toch vooral bij een afnemend [8]. Muistromingen zijn stromingen die tussen de zandbanken doorgaan. Door deze vernauwde doorgang wordt de druk groter waardoor er hier een sterkere onderstroming ontstaat dan in de omliggende gebieden. Het zijn deze onderliggende stromingen die de baders in zee kunnen sleuren.

Bijkomend zijn muistromingen ook gedeeltelijk verantwoordelijk voor het eroderen van de stranden doordat deze sterkere stromingen zand en ander sediment mee naar zee sleuren.

Zoals op afbeelding 8 wordt aangetoond is de enige manier om deze stromingen te ontwijken, naar de zijkant uitwijken en er niet proberen tegen in te zwemmen.



Afbeelding 4: Muistroming

bron: Egmondse

Reddingsbrigade [8]

De kentering van het getij is de overgang van getijden en komt aan de Belgische kust twee maal per getijdencyclus voor, namelijk bij de overgang van vloed naar eb en bij de overgang van eb naar vloed.

Deze cyclus komt meermaals per dag voor aangezien we aan de Belgische kust een semi-diurnaal schema volgen wat overeenkomt met twee maal laag en twee maal hoog water per dag.



Afbeelding 5: Kentering van het getij

bron: WOBRA [41]

Verder neemt men aan dat de kentering van het getij aan onze kust plaatsvindt telkens drie uur na hoog en laag water zoals te zien is op het schema op afbeelding 4 van de Belgische kustwacht. Deze bepaling van het moment van kentering is belangrijk voor het werk van strandredders, zoals wordt uitgewerkt in Hoofdstuk 5 met een enquête over de werkervaringen van de redders.

3 Meten van stroomsnelheid/ -richting

In het vorige hoofdstuk werd uitgelegd wat het begrip stroming precies inhoud en welke soorten stromingen er bestaan. Om echter iets met deze stromingen te kunnen doen, moeten ze worden gemeten. De verschillende meetmethoden en frequentste meetinstrumenten worden in dit hoofdstuk besproken.

3.1 meetmethoden

Sinds de tijden van de eerste ontdekkingsreizen werd een correcte meting van de stromingen als zeer belangrijk beschouwd. Hierbij concentreerde men zich op het meten/observeren van de snelheid en richting van een stroming in een bepaald gebied zoals havens, baaien of nauwe doorgangen. Men voerde deze meting uit door observatie van afstand, tijd en richting.

De simpelste methode bestond er uit gebruik te maken van een drijvend object, een tijdsmeter en een observator [32]. De proef bestond eruit om van op de boeg van een ten anker liggend schip een drijvend object in het water te gooien en de tijd te meten die het nodig had om langs de volledige lengte van het schip te drijven. De richting van de stroming werd bepaald door visuele observatie.

Eens men de snelheid en richting van de stroming kent, kan men de snelheidsvector van de stroming berekenen (uitgedrukt in knopen).

Tegenwoordig is de meting van stroomsnelheden doorgaans gebaseerd op één van twee mogelijke basisprincipes: het Euleriaanse of het Lagrangiaanse principe.

3.1.1 Euleriaanse snelheidsmeting

De Euleriaanse meting gaat uit van de meting van waterdeeltjes die voorbij een vast punt stromen [9][21]. Toestellen die het principe van de Euleriaanse snelheidsmeting toepassen, bevinden zich dus op een vaste locatie en zijn opgebouwd uit een vlotter/boei die door middel van ankerkabels verbonden is aan de bodem. De meetapparatuur is vastgemaakt aan de ketting en drijft dus op zekere hoogte in het water. Verder bevatten deze toestellen een vorm van zendapparatuur. De boei wordt gebruikt om een zo constant mogelijke spanning in de ankerkabel te behouden en zo meetstoringen te voorkomen. Men zou dit principe kunnen vergelijken met een politiewagen die langs de snelweg staat met zijn handrem op en met behulp van een fliccamera controleert hoe snel de voorbijgaande auto's rijden.

3.1.2 Lagrangiaanse snelheidsmeting

De Lagrangiaanse meting bestaat eruit om de verplaatsing van een groep waterdeeltjes te (achter)volgen [9][21]. Toestellen die hiervoor gebruikt worden, bestaan meestal uit een drifter die op het water of onder water drijft. Deze toestellen kunnen al dan niet verankerd worden. Omdat deze toestellen zich door het water verplaatsen, is voor een nauwkeurige meting een zeer nauwkeurig bepaalde beginpositie nodig. Deze positie kan bepaald worden door GPS, andere satellietplaatsbepalingssystemen of nautische kaartprincipes, zoals besproken in de cursus "Nautical Publications, Part 2" door Patricia Van Langenhoven [39] Verder kan men dan een GPS-tracker gebruiken om de verplaatsing alsook de snelheid van de drifter en zo ook de verplaatsing/snelheid van de waterdeeltjes te bepalen. De meeste toestellen zijn uitgerust met zendapparatuur voor direct doorstroom van gegevens.

Men kan dit principe vergelijken met een politiewagen die een achtervolging uitvoert en ondertussen op de snelheidsmeter van de politiewagen kijkt hoe snel hij aan het rijden is.

3.2 GPS

De plaatsverandering en snelheid kunnen bijvoorbeeld met behulp van een GPS-systeem bepaald worden. GPS staat voor *Global Positioning System* en maakt gebruik van satellieten voor een plaatsbepaling. Over het algemeen bestaat een GPS-systeem uit een ruimtesegment, een controlesegment en een gebruikerssegment [37].

Hierbij bestaat het ruimtesegment uit uit 24 actieve satellieten die op zes banen rond de Aarde draaien. Door de verdeling van de satellieten op hun respectievelijke banen wordt elk punt op aarde door hoogstens vijf satellieten gedekt.

Het controlesegment staat op Aarde en bestaat uit grondstations die men kan opsplitsen in *Monitor Stations* (voor het volgen en berekenen van de satellietbanen), *Master Control Stations* (voor de samenstelling van de satellietboodschap) en *Upload Stations* (voor versturen van de satellietboodschap naar de satelliet) [37].

Als laatste hebben we het gebruikerssegment dat bestaat uit de GPS ontvangers. Deze bestaan uit een data-input, een klok, een computer, een videoscherm en een paar externe aankoppelingspunten voor onder andere stroomaansluiting.

Hieronder wordt kort de werking van een GPS-systeem uitgelegd omdat in het kader van het onderzoek naar stroomsnelheden de goede bepaling van een positie belangrijk is.

De procedure start met het uitzenden van een signaal door de satellieten, de ontvanger meet de reistijd van satelliet naar ontvangstantenne: voor een nauwkeurige bepaling zijn minstens vier satellieten nodig. Door het bestralingsgebied van de verschillende satellieten te bepalen via de computer van de satelliet kan men het snijpunt van de straalgebieden van de verschillende satellieten berekenen en zo de positie bepalen.

In dit volledige proces komen ook de nodige fouten naar boven, maar de bespreking hiervan gaat buiten het kader van deze thesis. De GPS gebruikt tijdens het onderzoek van deze thesis heeft een nauwkeurigheid van 5m. Meer details worden bijvoorbeeld gegeven in het boek:

“Plaatsbepalings- en detectiesystemen op zee” door Linda Van Dessel [37].

De snelheid van de stroming kan dan worden berekend via de positieverandering door het vergelijken van de afgelegde afstand en de verlopen tijdsduur [18].

4 Belgische strandreddingsdienst

Het doel van deze thesis is om een verduidelijking te scheppen over de huidige toestand van de redders en hun werkomstandigheden met betrekking tot stromingen. Om later, indien van toepassing, een verbeterd beeld/model aan te bieden omtrent de kentering van de getijstroming.

Na uit voorgaande hoofdstukken bepaald te hebben wat stromingen precies zijn en hoe ze kunnen gemeten worden, gaan we in dit hoofdstuk even dieper in over wat de redders zelf denken over het belang van stromingen, en meer specifiek het moment van de kentering tussen ebstroom en vloedstroom of omgekeerd. We doen dit aan de hand van een online-enquête met enkele vragen over hun opleiding en hun werkervaringen.

4.1 Opbouw van de enquête

De vragen van deze enquête werden opgesteld aan de hand van wat nuttig zou kunnen zijn voor het verdere verloop van deze thesis. Met andere woorden, voornamelijk stromingsgerelateerde vragen. De enquête begint met een vraag over de kwaliteit van de cursus betreffende stromingen die de redders krijgen en hoe die zich naar de praktijk richt. Verder wordt ook gevraagd of ze het idee kennen achter het opstellen van deze cursus/tabellen. Vervolgens volgen er een paar vragen over hun werkervaringen met betrekking tot stromingen. Dit gaat onder andere over hun mening naar de gevaarlijkste stromingen, mogelijks meegemaakte ongevallen en of zij een verschil waarnemen tussen de beschreven kenteringen (zoals in de tabellen) en de waargenomen kenteringen. Dit laatste is relevant naar het verdere verloop van de thesis toe.

Als laatste wordt ook gevraagd naar externe oorzaken die een invloed kunnen hebben op het verloop van stromingen. Dit omvat geografische oorzaken zoals zandbanken, golfbrekers en weerkundige oorzaken zoals wind.

De enquête werd gemaakt op het gratis online platform SURVIO (<https://www.survio.com/en/>) [43]. Er werd voor dit platform gekozen omdat het erg gebruiksvriendelijk is, zeker in vergelijking met andere platformen zoals bijvoorbeeld LimeSurvey of SurveyMonkey. Dit komt voornamelijk door de eenvoud van het opstellen van vragen, de ingebouwde mogelijkheid tot gegevensverwerking en de simpele methode tot verspreiden.

Bij het opstellen van de enquête moet men beginnen met het invullen van de naam van de enquête. Daarna kan men een inleidende tekst schrijven die de bestaansreden van de enquête en de werking ervan bevat, ofwel meteen beginnen met het opstellen van de eerste vraag. Mijn enquête begint met een inleidende tekst waarna de eerste vraag volgt. Bij het opstellen van de vragen kan men ook het type vraag bepalen zoals meerkeuzevragen of tekstantwoordvragen. In mijn geval werd gekozen voor meerkeuzevragen gevolgd door telkens een tekstantwoordvraag die vrij in te vullen was ter verklaring van de voorgaande meerkeuzevraag. Deze verklaring kan maximaal 500 lettertekens bevatten, beperkt door het programma zelf.

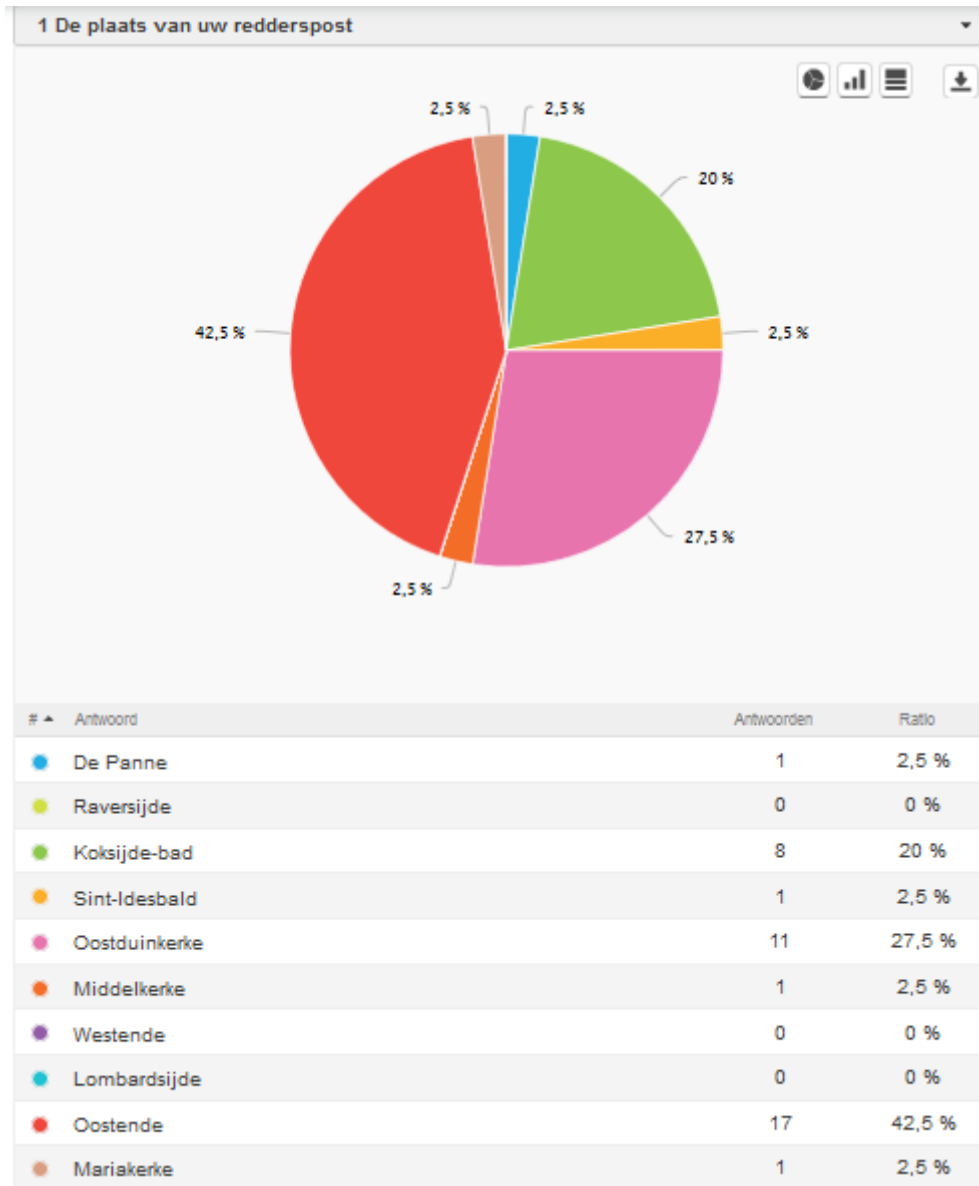
Eens de enquête werd opgesteld, kan ze zeer makkelijk verspreid worden vanuit SURVIO. Dit gebeurt met behulp van een weblink aangeboden door SURVIO. De link kan dan per mail of via sociale media verspreid worden. Ik heb de link per mail naar het algemeen secretariaat van de IKWV (Intercommunale Kustreddingsdienst West-Vlaanderen) en de hoofdredders van De Panne, Koksijde, Middelkerke en Oostende doorgestuurd. Zij hebben die op hun beurt per mail en sociale media onder hun leden verdeeld. Eens er op de link geklikt wordt, komt men automatisch op de korte inleiding van SURVIO zelf vooraleer door te klikken naar de inleidingstekst van de eigenlijke enquête.

Tot slot biedt SURVIO een ingebouwde gegevensverwerking aan. Terwijl de enquête bezig is en achteraf, kan de enquêtebeheerder ten aller tijde de binnengekomen gegevens raadplegen. De ingebouwde gegevensverwerking bevat onder andere het totaal aantal inzendingen met daaronder de procentuele verdeling van de binnengekomen antwoorden (bij meerkeuzevragen) en een oplijsting van de antwoorden op de tekst-antwoordvragen. De antwoorden op de meerkeuzevragen worden ook gevisualiseerd in een diagram met keuze uit een cirkeldiagram, een staafdiagram of een gestapeld staafdiagram.

De enquête was beschikbaar gesteld op 21 januari 2020, was beschikbaar voor drie maanden en werd afgesloten op 16 april 2020. Gedurende deze periode werd de enquête en werd 41 maal ingevuld. De volledige vragenlijst kan worden gevonden in bijlage 11.1 .

4.2 Resultaten enquête

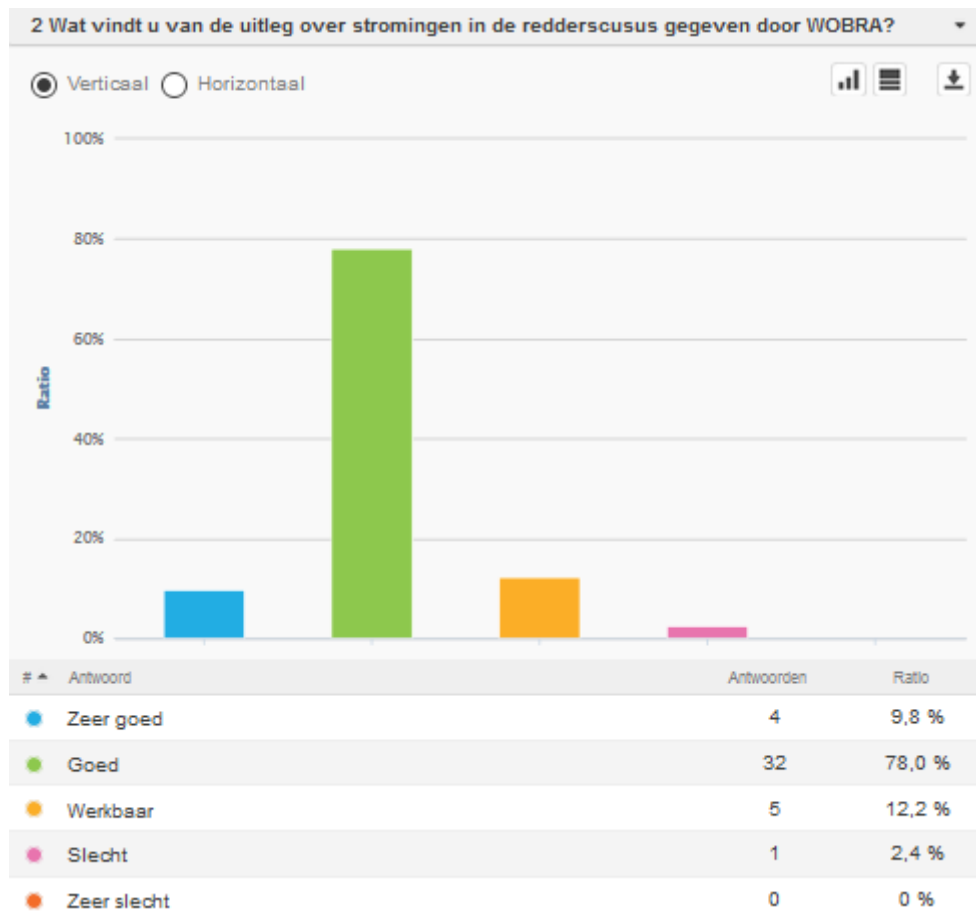
De enquête werd door 41 redders beantwoord, waarvan het grootste deel in Oostende werkt, gevolgd door Oostduinkerke en Koksijde-bad. Deze 3 reddersposten zijn samen goed voor 36 respondenten (87,8%).



Grafische weergave verdeling deelnemers enquête

bron: eigen verwerking gegevens uit SURVIO

De eerste vraag van de eigenlijke enquête peilde naar wat de redders vinden van de cursus die ze krijgen over stromingen. Uit de resultaten blijkt dat 87,8% van de deelnemers tevreden tot heel tevreden is met de cursus. Dit blijkt uit de figuur bekomen uit de enquête.



grafische weergave verdeling antwoorden eerste vraag enquête

bron: eigen verwerking gegevens uit SURVIO

Hierbij werd vermeld dat de cursus de redders goed voorbereidt op potentiële gevaren en het werk op het strand. Ze is voldoende theoretisch onderbouwd, duidelijk geformuleerd en makkelijk te begrijpen zonder overdreven diepgang. Algemeen kan worden gezegd dat de cursus een goede basis geeft onder andere over het ontstaan van stromingen, met een goede slaagkans op het examen. Daar tegenover staat dat de cursus maar één maal gegeven wordt en dat de uitleg voor sommigen, zonder herhaling, lang geleden is. Verder was er ook de opmerking dat de cursus veelal uitging van theorielessen en dat er meer oefeningen mochten gemaakt worden. Ook gaven de redders aan dat er te weinig belang wordt gehecht aan uitzonderingen op de regel zoals het vollopen van kellen, het bewegen van de stroming rond golfbrekers; het belang van de invloed van wind en onderstroming.

Hierna volgde de vraag over de gebruikte meetmethoden bij het opstellen van de stroomtabellen zoals de meetpalen en -boeien in zee, zichtbaar op de afbeeldingen 6 en 7



Afbeelding 6: Meettoren MOW

bron: Vlaamse hydrografie [39]



Afbeelding 7: Meetboei

bron: Vlaamse Hydrografie [39]

Hierbij werd aangegeven dat de redders hier geen gedetailleerde kennis over hebben, maar er wel op vertrouwen dat de informatie bekomen van bovengenoemde instrumenten correct is. Uit de tekstantwoorden blijkt ook dat redders er zich bewust van zijn dat de meetinstrumenten een goede weergave geven voor hun locatie, maar dat dit niet helemaal van toepassing is dicht bij de kust.

Hierbij moet ook vermeld worden dat het vertrouwen van de redders in de stroomtabellen heel groot is.

Na de vragen over de kennis en reddercursus, komen we bij de vragen over de eigen werkervaringen. Aansluitend op de eerdere vraag over de meetmethoden, kwam de vraag of dat de redders een verschil verwachten tussen stromingen gemeten aan de meetpalen en de stromingen waargenomen in de badwateren. Deze vraag werd door 78,0% van de deelnemers positief beantwoord. Zij gaven aan dat de oorzaak mogelijks ligt aan de geografische factoren dicht bij het strand. Zo heb je de zandbanken, muien en kellen die een variatie in bodem-reliëf geven, wat een verandering in stroompatroon geeft. Verder kunnen ook golfbrekers en opgespoten zand de stromingen beïnvloeden.

Over het algemeen werd aangegeven dat men meer variatie verwacht dicht bij de kust door branding, muien, wind,

Twee derde van de redders gaf aan (in zekere mate) rekening te houden met een mogelijks tijdverschil tussen de stromingen waargenomen door de meetpalen en die waargenomen aan het strand. Als extra uitleg bij deze vraag werd aangegeven dat men moet kijken naar de realiteit. In het bijzonder de windrichting of het geobserveerde opschuiven van de baders geeft een goede praktische indicatie van de heersende stroming (onafhankelijk van wat de getijtabel zegt). Wel worden de stroomtabellen als een goede richtlijn/basis beschouwd.

Vervolgens werd gepeild naar het moeilijkste moment was om een operatie uit te voeren: tijdens hoog water, laag water, kentering van hoog naar laag water of kentering van laag naar hoog water. Hierbij gaf 78,1% van de redders aan dat het moeilijkste moment om een operatie uit te voeren zich situeert tijdens hoog water of tijdens de kentering van hoog naar laag water.

Over de factoren die het werk bemoeilijken, lopen de meningen uiteen. Bij hoog water wordt bijvoorbeeld een sterkere stroming ervaren, zijn er meer baders, zijn de strandhoofden niet zichtbaar, kan de boot moeilijker in het water worden geplaatst en is er minder plaats op het strand doordat al de strandgangers zich op een kleiner oppervlak moeten positioneren.

Bij laag water moet men dan weer opletten bij het uitvaren wegens de zandbanken, moeten hulpdiensten een langere weg afleggen tot aan de waterlijn door het grotere strand, gaat de stroming richting zee en lopen de muien leeg.

Bij de omkering van hoog naar laag water, worden de baders richting zee getrokken. Veder moet men ook opletten voor gevaarlijke dieptes en hevige onderstromen bij rustig weer. Ook aanschouwen de redders de weersomstandigheden als belangrijker dan stromingen in hun werk. Om het belang van de stroming in te schatten voor het werk van de redders, werd gevraagd of de redders al ongevallen hebben meegemaakt ten gevolge van de stroming. Een grote meerderheid (85,4%) heeft nog geen ongevallen meegemaakt ten gevolge van stroming. Ze gaven aan dat ze leren preventief te werk te gaan zoals bijvoorbeeld belemmeren dat baders te ver in zee gaan of vermijden dat ze uit de zwemzone worden geduwd. Wel is het oppassen voor kleine kinderen op opblaasbaar speelgoed die dreigen af te drijven.

Materiaalschade komt bijvoorbeeld wel voor wanneer de boot te laat wordt verplaatst bij opkomend water.

Vervolgens werd gevraagd wat volgens de redders de gevaarlijkste kentering is: de overgang van hoog naar laag water of die van laag naar hoog water. Iets meer dan de helft (51,2%) identificeerde de kentering van hoog naar laag water als de gevaarlijkste, een minderheid (14,6%) de kentering van laag naar hoog water en 34,1% oordeelt dat beide kenteringen even gevaarlijk zijn. Als oorzaak wordt vermeld dat baders mee naar zee worden getrokken bij de overgang van hoog naar laag water. Ook werd aangegeven dat een stroming in dezelfde richting als de wind, door de wind versterkt wordt.

Indien er muien zijn, worden deze leeggetrokken bij afnemend water en kunnen zo baders mee naar zee getrokken worden.

In het laatste deel van de enquête werd gepolst naar de invloed van externe weers- en geografische factoren op de stromingen.

Een ruime 92,7% van de deelnemers beaamt dat slecht weer de stromingen beïnvloed. Hierbij werd "slecht weer" gedefinieerd als een situatie met wind van meer dan 5 Bft, extreem getij en een hoge deining.

Het voornaamste is dat alles elkaar hier in de hand werkt. Indien stroming en wind in dezelfde richting gaan, wordt de stroming versterkt. En als ze in tegengestelde richting gaan, wordt de golfwerking versterkt. Over het algemeen wordt (zoals eerder reeds vermeld) de invloed van wind als belangrijker beschouwd dan de stroming tijdens interventies.

Ten tweede is er de invloed van springtij en doortij. Bij springtij vermelden de redders een groter verschil tussen laag en hoog water, wat de stroomverandering duidelijker en woeliger maakt. Verder duurt de kentering bij springtij minder lang en worden er sterkere stromingen waargenomen.

Ten derde en laatste is er de invloed van obstakels zoals pieren, zandbanken en golfbrekers op de stromingen. De meerderheid van de redders (80,5%) geeft aan variaties in de stromingen door voorgenoemde factoren te ondervinden.

De aanwezigheid van obstakels maakt het werk voornamelijk gevaarlijker. Zo kunnen er onder andere rip-currents zijn tussen zandbanken, die mensen naar zee sleuren.

Verder kunnen er sterke stromingen waargenomen worden nabij golfbrekers en eens er voorbij. Zo kunnen er lichte draaikolk-effecten waargenomen worden aan de "rustige" zijde van de golfbreker.

De effecten van deze obstakels kunnen de stroming een heel andere richting laten uitgaan dan initieel verwacht was.

4.3 Conclusie enquête

De enquête werd beantwoord door 41 redders waarvan 87,8% uit Oostende, Oostduinkerke of Koksijde-bad kwam.

Een ruime 87% gaf aan tevreden te zijn over de cursus die ze krijgen met betrekking tot stromingen. Hierbij werd ook aangegeven dat de cursus vooral op theoretisch vlak een goede basis geeft. Anderzijds wordt in de cursus weinig aandacht besteed aan de praktische toepassing van de stroomtabellen in de badzone waarin de redders werken.

Uit de vragen over hun werkervaring blijkt dat 78,0% van de kustredders een verschil in tijd verwacht tussen de stromingen gemeten aan de meetpalen en die waargenomen in de badwateren, mogelijks door geografische factoren.

Verder gaf twee derden van de redders aan ook in hun werk rekening te houden met een tijdsverschil. Over het algemeen wordt hoog water of het omkeren van de stroming tussen hoog water en laag water als het gevaarlijkst aanschouwt. Hierbij worden de beperkte plaats op het strand en het afdrijven van de baders als voornaamste reden gegeven. Verder worden ook variaties in stromingen verwacht door onder andere weersomstandigheden, extreme getijden, geografische factoren en door de mens ontworpen obstakels.

5 Voorgaande onderzoeken

Na in voorgaande delen te hebben besproken wat het begrip 'stroming' precies inhoudt en wat de redders van hun huidige situatie vinden, worden twee voorgaande onderzoeken besproken naar het exacte moment van de kentering tussen hoog water en laag water.

Dit betreft enerzijds een onderzoek dat werd uitgevoerd door het Waterbouwkundig Laboratorium [6][7] en anderzijds het thésisonderzoek van een vorige student aan de HZS, Emiel Van Driessche [38].

5.1 Onderzoek Waterbouwkundig Laboratorium

Deze studie bestaat uit twee luiken. Oorspronkelijk was de bedoeling van de studie om de stromingsleer beter in kaart te brengen en om waterbewegingen binnen de Blankenbergse Geul na te gaan wegens de grote verzandingen. Na aanvraag van de strandreddingsdienst van Blankenberge werd er ook een tweede studie bijgevoegd die in de branding plaats vond. De bedoeling was om de kerende stromingen en de kentering van het getij beter te bepalen om zo de beweging van baders in de zeestromingen te kunnen simuleren. Dit tweede deelonderzoek moest de waarnemingen van de kentering na hoogwater door de redders bevestigen, en is voor deze scriptie in het bijzonder relevant.

In dit tweede onderdeel van de studie gebruikt men twee toestellen:

- een Aquadopp profiler, een toestel waarmee zeer accuraat watersnelheden en stromingsrichtingen gemeten kunnen worden door gebruik te maken van akoestische dopplermetingen.
- drifters, opgebouwd uit PVC-buizen met een GPStoestel. De drifter drijft als het ware op het water en zijn positie kan zeer accuraat worden geregistreerd. De drifter bezit de volgende kenmerken:
 - * Diepste punt drifter onder water: 116,5 cm
 - * Maximum breedte: 25cm
 - * Totaal gewicht: 6,4 kg
 - * GPS: Garmin 60 Cx met een externe antenne boven water, een nauwkeurigheid tot op 3,5 m en een batterijduur van ongeveer 18 uur.

Op de figuur hieronder wordt het onderzoeksgebied van het tweede deel van de studie afgebeeld.



*Afbeelding 8: Onderzoeksgebied
Waterbouwkundig Laboratorium*

bron: Vlaamse hydrografie [6]

De gele rechthoek in figuur 8 toont waar deze drifters werden geplaatst. De Aquadopp profiler werd buiten dit vierkant geplaatst, verder weg van het strand. De exacte coördinaten van de hoekpunten van de rechthoek worden niet vermeld. De metingen gebeurden op 27 juni 2013 tussen 13:4:00 UTC en 18:00:00 UTC. Het onderzoek verliep als volgt: de drifters werden op één verticale lijn van het gele vierkant geplaatst, de zes drifters werden op deze verticale lijn geplaatst met 50 meter afstand tussen elkaar. Indien een drifter het onderzoeksgebied verliet ten gevolge van de stroming, werd deze opgehaald met een reddingsboot van de strandredders en vervolgens terug op deze lijn geplaatst. Het GPS-toestel registreerde telkens de posities van de drifters met een interval van drie seconden. Dit leverde een totaal van 43 metingen op. Na afloop van de proef werden de geregistreerde posities geanalyseerd en kon men de verplaatsingsrichting en verplaatsingssnelheid van de drifters bepalen.

De GPS-posities van de drifters werden in deze studie verwerkt en geanalyseerd met de softwareprogramma's 'ArcGis' en 'R'. Voor de gegevens van het getij tijdens de metingen werd er gebruikgemaakt van de database van Meetnet Vlaamse Banken. Informatie over de aanwezige wind werd gehaald uit metingen van Meetpaal 4 Scheur Wielingen, gepositioneerd ten oosten van de haven van Zeebrugge.

De resultaten van het onderzoek zijn als volgt:

- Interval tussen 14:43:04 en 15:13:04: de gemeten stroomsnelheden hebben lage waarden die variëren van 0,1 tot 0,2 m/s en de stroomrichtingen zijn zeer verschillend. Dit komt door het feit dat de stroomrichting op dat moment gaat veranderen.
- Interval tussen 15:13:04 en 15:43:04: de snelheid van de stroming verhoogt van 0,1 tot 0,5 m/s en richt zich ENE.
- Interval tussen 15:43:04 en 16:13:04: de gemeten stroming heeft een snelheid die varieert tussen de 0,25 tot 0,5 m/s heeft richting NE tot ENE.
- Interval tussen 16:13:04 en 16:43:04: enkele drifters bevinden zich nu verder van de kust en meten een stroomsnelheid die varieert tussen de 0,5 en 1 m/s met een stroomrichting naar het ENE. De andere drifters blijven dicht bij de kust en beginnen invloed te krijgen van brekende golven. Om die reden registreerden deze drifters een lagere snelheid en een stromingsrichting richting de kust.
- Interval tussen 16:43:04 en 17:13:04: de drifters splitsen zich opnieuw op in twee groepen. De eerste groep dicht bij de kust meet zeer lage stroomsnelheden die variëren tussen de 0,1 en 0,4 m/s met afwisselende stroomrichtingen tussen N en S. De andere groep verder van het strand meet een constante stroomrichting richting ENE tot NE met snelheden die variëren tussen de 0,3 en 0,7 m/s.
- Interval tussen 17:13:04 en 17:43:04: de gemeten stroomsnelheden van beide groepen drifters verminderen tot bijna 0 m/s en er worden stroomrichtingen in alle richtingen gemeten. Het Aquadopp-meettoestel dat nog verder in zee geplaatst is registreert constante stroming richting het noordoosten.
- Interval tussen 17:43:04 en 17:58:04: de gemeten snelheden van beide groepen blijven zeer laag en stroomrichtingen variëren. De groep verder van de kust heeft een snelheid van ongeveer 0 m/s. Men kan wel opmerken dat de groep die dicht bij de kust meer van elkaar wegdrijft. Dit komt door het effect van de brekende golven. Het Aquadopp-meettoestel, dat nog verder in zee geplaatst is, registreert een stromingsrichting tussen het noorden en het noordoosten.

Volgende informatie werd bekomen vanuit data van het Aquadopp-meettoestel, de database van Meetnet Vlaamse Banken en metingen van Meetpaal 4 Scheur Wielingen. Hieruit werd een beeld geschetst waarin de proef met de drifters werd uitgevoerd.

- Het hoogste waterniveau op 27/06/2013 was 4,584 m om 16:15:00 UTC.
- Het waterniveau aan de start van de metingen om 14:40:00 UTC bedraagt 2,94 m.
- Het waterniveau aan het einde van de metingen om 18:00:00 UTC bedraagt 3,89 m.
- De significante golfhoogte gedurende de proef is 0,8 m en de maximale golfhoogte bedraagt 1,5 m.
- De windsnelheid verandert van 4,5 m/s tijdens de start van de proef naar 1,5 m/s tijdens het einde van de proef. De wind kwam vanuit het westen aan de start van de proef en komt van het zuidwesten aan het eind van de proef.

Uit de resultaten van het onderzoek met de drifters werden hieruit volgende conclusies getrokken door het Waterbouwkundig Laboratorium:

- De gemeten stromingen hebben een gemiddelde snelheid tussen de 0,4 en 1,2 m/s.
- De gemiddelde gemeten stromingsrichting is naar het ZW tussen 14:40:00 UTC en 15:30:00 UTC en naar het NE tussen 15:30:00 UTC en 18:00:00 UTC.

In de conclusie van deze proef in het rapport van het Waterbouwkundig Laboratorium wordt niet expliciet vermeld wanneer exact de kentering na hoogwater plaatsvindt [6]. Er werd wel bewezen dat tijdens de vloedstroom voornamelijk een noordoostelijke stroming en bij de ebstroom voornamelijk een zuidwestelijke stroming kan worden waargenomen in de badzone. Een persoonlijke interpretatie van de gemeten resultaten was noodzakelijk om een tijdsinterval toe te kennen waarin de kentering na hoogwater gebeurt.

Tussen 16:43:04 UTC en 17:13:04 UTC registreren de drifters die zich dicht bij het strand bevinden al lagere snelheden van de stroming. Men kan opmerken dat dus dicht bij het strand de noordoostelijk tot oostnoordoostelijke stroming verdwijnt. Deze stroming werd voordien nog waargenomen tussen 15:43:04 UTC en 16:43:04 UTC. Tussen 17:13:04 UTC en 17:43:04 UTC registreren beide groepen van drifters een stroomsnelheid die nagenoeg gelijk is aan nul. Dit wil zeggen dat nu ook de groep drifters die zich verder van het strand bevinden een veranderende stroomrichting ondervinden.

Daar WOBRA de kentering definieert als het moment waarop de stroming van richting begint te veranderen, kan worden geconcludeerd dat (volgens deze definitie) dicht bij het strand de kentering begint rond 16:43:04 UTC. Dit is 00:28:04 later dan hoogwater om 16:15:00 UTC. In het rapport van de studie wordt ook vermeld dat deze verlaagde snelheden deels hun oorzaak vinden in het effect van brekende golven. Daarom lijkt het beter te stellen dat de kentering ergens tussen 00:28:00 en 01:28:04 na hoogwater plaatsvindt, omdat tussen 17:13:04 UTC en 17:43:04 UTC beide groepen drifters dezelfde kenmerken van beweging vertonen.

5.2 Onderzoek Emiel Van Driessche

Het doel van de thesis van Emiel Van Driessche bestond er voornamelijk uit om de studie van het Waterbouwkundig Laboratorium te hernemen en eventueel uit te breiden [38].

Zijn methode bestond eruit om een eigen boei zelf in elkaar te steken, er een GPS-toestel aan te bevestigen en te laten meedriften met de stroming om zo de kentering te bepalen.

5.2.1 3D-boei

E. Van Driessche heeft voor dit type boei verschillende prototypes gemaakt. Hieronder wordt enkel het laatste en best ontwikkelde model besproken [38]. Dit model was gemaakt uit verschillende lagen PLA die met een 3D-printer in de vorm van een bol werden uitgeprint. In deze uitgeprinte versie was plaats voorzien voor ballast en een GPS-logger. De ballastruimte is voorzien om lucht in de boei te laten ter compensatie van het gewicht van de bouten en moeren die het geheel tezamen houden in de boei te kunnen plaatsen zodat de boei zo weinig mogelijk boven het wateroppervlak uitsteekt om op deze manier zo weinig mogelijk wind te vangen. Een probleem van deze uitgeprinte versie is dat ze laag per laag moet uitgeprint worden en tussen deze lagen is er ruimte waardoor er potentieel water kan naar binnen sijpelen, maar dit probleem wordt later besproken.

E. Van Driessche heeft als materiaal voor de 3D-boei geopteerd voor PLA '*PolyLactic Acid*' of polymelkzuur. Dit is een biologisch afbreekbare kunststof gemaakt uit hernieuwbare plantaardige grondstoffen waaronder suikerriet, maïs en tarwe. Het materiaal is afbreekbaar in composteringsinstallaties. Een alternatieve materiaalkeuze zou ABS kunnen geweest zijn, wat een product is op basis van aardolie. De afkorting staat hier voor 'Acrylonitril-Butadien-Styreen'. Dit materiaal is steviger dan het voorgaande PLA en ook makkelijker waterdicht/effen te maken. Men maakt hiervoor gebruik van de 'Aceton-smoothing' techniek. Deze techniek bestaat eruit om het voorwerp in een ruimte met aceton-dampen te laten zakken. Deze dampen laten het materiaal smelten aan de buitenkant. Op deze manier worden oneffenheden zoals groeven tussen de uitgeprinte lagen afgevlakt en gedicht om zo een homogeen effen oppervlak te krijgen. Deze methode is helaas niet bruikbaar voor PLA. Om een PLA boei waterdicht te maken, kan een epoxylaag aangebracht worden. Deze laag bestaat uit een stroperige epoxyhars en een verharder. Na het aanbrengen van de hars-verharder laag moet deze 24 uur uitharden. Na het uitharden werd de boei aan een waterproef onderworpen om de waterdichtheid te testen. Deze test werd uitgevoerd door middel van crêpepapier, dat een kleur afgeeft aan het water. Na een twaalf uur durende proefperiode bleek dat er na het afdrogen van de boei zwarte vegen op de handdoek achterbleven. De boei was dus niet waterdicht.

Hierna werd niet naar een verdere oplossing gezocht en werd direct overgegaan naar een ander type boei dat hierna wordt besproken.

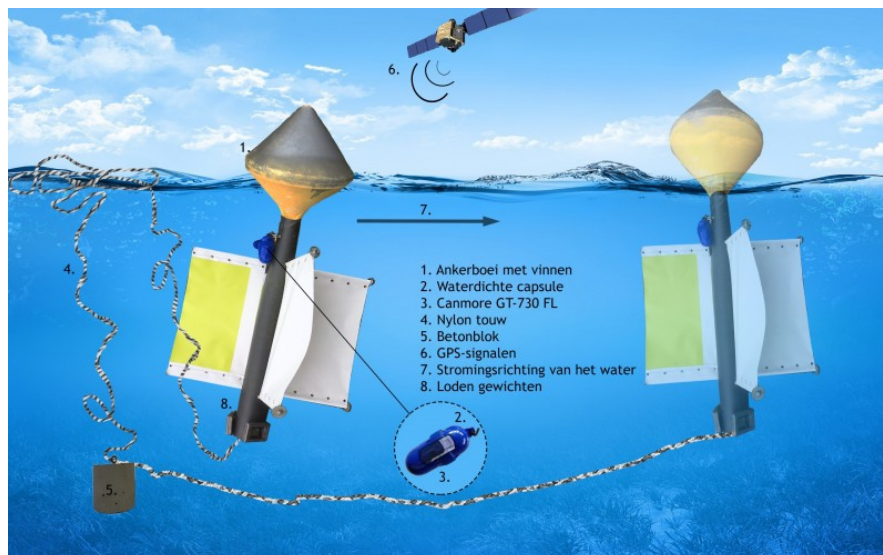
5.2.2 Ankerboei

Door tijdsgebrek van E. Van Driessche wegens naderende testen werd het idee van een uitgeprinte boei niet verder uitwerkt en werd er overgeschakeld naar een kant-en-klare ankerboei [38]. Dit zijn boeien die als doel hebben een uitgeworpen anker, vislijn of ander object in het water te lokaliseren. Bijgevolg zijn deze boeien zeer goed zichtbaar.

Aangezien dit een volledig dichte boei is, kan de GPS-logger er niet meer in geplaatst worden. Hij moet er nu met een capsule langs de buitenkant aan gehangen worden. Als capsule werd gekozen voor een instrument dat vaak door duikers gebruikt wordt.

Doordat deze boei reeds gemaakt was, kon er direct worden overgegaan naar de positionering in het water. De boei wordt met een kunststof touw aan een betonnen blok verbonden. Er werd voor kunststof geopteerd omdat hier het sponseffect het kleinst is. Hoe meer water het touw opneemt, hoe zwaarder het wordt en dit zou de meetresultaten kunnen beïnvloeden.

Na een eerste drijftest bleek dat de boei omkantelde in het water, dit werd verholpen door extra gewichten. Bij een tweede test werd het effect van de stroming op de boei getest in de Schelde en hier bleek dat de wind een veel groter effect had dan de stroming. Dit probleem werd verholpen door een plastieken buis met vinnen onder aan de boei te bevestigen. Hierna werd nog een test uitgevoerd en bleek dat door de vinnen het gewenste effect van de stroming bekomen werd, zie afbeelding 9 voor het uiteindelijke resultaat.



Afbeelding 9: Ankerboei E. Van Driessche

bron: masterscriptie E. Van Driessche [38]

Een voordeel van de ankerboei ten opzichte van de 3D-boei is dat het drijfvermogen groter is door het grotere volume lucht. Hierdoor is de boei beter zichtbaar en kan de stroomrichting ook visueel waargenomen worden. Verder was de ankerboei ook conisch van vorm waardoor deze minder snel zal omkantelen dan de sferische 3D-boei. Tot slot lag de ankerboei dieper in het water, waardoor ze minder onder invloed lag van de golven, die voor een kanteling van de boei kunnen zorgen.

5.2.3 Eigen metingen Emiel Van Driessche:

E. Van Driessche heeft slechts op één dag gemeten op één locatie, namelijk die locatie waar ook de proef van het Waterbouwkundig Laboratorium plaatsvond: in Blankenberge [38].

De praktische proef vond plaats op maandag 22/05/2017 tussen 08:11:24 UTC en 11:38:47 UTC. De drifterboei werd 01:32:00 voor hoogwater in het water gelegd tussen dezelfde golfbrekers als in het onderzoeksgebied van de studie van het Waterbouwkundig Laboratorium.

Het onderzoeksgebied wordt geïllustreerd met volgende waypoints:

Latitude: 51°319115 N longitude: 3°115853 E

Latitude: 51°317653 N longitude: 3°121989 E

Latitude: 51°320291 N longitude: 3°120251 E

Latitude: 51°319138 N longitude: 3°115874 E



*Afbeelding 10: onderzoeksgebied eigen meting E.
Van Driessche*

bron: masterscriptie E. Van Driessche [38]

De eerste plaatsing vond plaats aan ongeveer het einde van de meest westelijke golfbreker. De boei werd tijdens de proef in de gaten gehouden vanuit een reddingsboot ter plaatse. Nabij de oostelijke golfbreker werd de boei uit het water gehaald en teruggeplaatst. Afhankelijk van de visuele waarnemingen werd de boei soms iets verder of dichtter geplaatst. In het onderzoek wordt er slechts één drifter gebruikt. Daardoor is deze visuele controle nodig. Indien er meerdere drifters zouden zijn, zou dit meer duidelijkheid geven over de gedraging van de stroming dichtter of verder van het strand. Wanneer en waarom de boei verplaatst werd, wordt later besproken. Als laatste werd de boei nog even ter hoogte van de meetpaal MOW1 geplaatst om ook hier een meting te doen. Deze meetpaal staat in positie 51°365833 N - 3°116944 E.

Informatie over de omgevingsfactoren werd verkregen via Meetnet Vlaamse banken en geeft een idee van de omstandigheden tijdens de praktische proef in Blankenberge.

- Het hoogste waterniveau op 22/05/2017 was 4,10 m om 09:35:00 UTC.
- Het waterniveau aan de start van de metingen om 08:03:00 UTC bedraagt 3,54 m.
- Het waterniveau aan het einde van de metingen om 11:50:00 UTC bedraagt 3,10 m.
- De windsnelheid blijft gedurende de hele proef onveranderd en varieert tussen de 3 tot 4 m/s. De wind kwam vanuit het zuidoosten aan de start van de proef en komt van het zuidwesten aan het eind van de proef.

5.2.4 Resultaten:

De geregistreerde gegevens op de GPS-logger werden met het softwareprogramma van 'Canmore' geïmporteerd op een computer. De 'talker sentences' werden geëxporteerd in een .csv bestand, leesbaar in Microsoft Excel. Vervolgens werden de gegevens geanalyseerd met het softwareprogramma 'R' [38].

Na analyse van de gegevens van de praktische proef in Blankenberge konden hieruit volgende resultaten worden afgeleid:

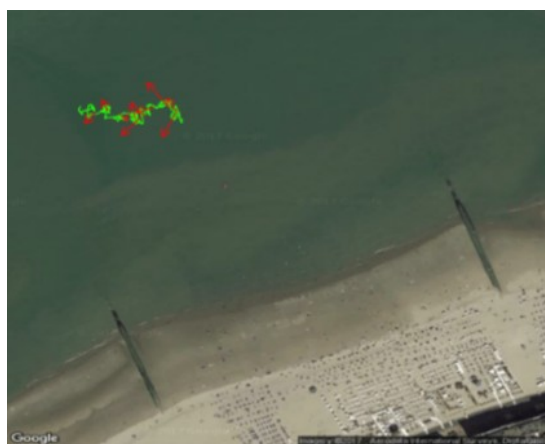
- Meting 1: interval tussen 08:11:24 UTC en 08:26:27 UTC. De boei drijft in oostnoordoostelijke richting met gemiddelde snelheid van 0,26 m/s. Tussen dit tijdsinterval kan de vloedstroom zeer duidelijk worden gezien.
- Meting 2: interval tussen 08:28:57 UTC en 09:04:36 UTC.
De boei werd op ongeveer het zelfde beginpunt gezet en de gemiddelde snelheid neemt af tot 0,10 m/s. Het water stroomt nog altijd in oostnoordoostelijke richting. Gedurende de praktische proef kon worden opgemerkt dat aan het begin en einde van dit interval de boei soms de neiging heeft om naar het strand toe te bewegen. Dit komt mogelijks door het effect van de golfbrekers.
- Meting 3: interval tussen 09:06:15 UTC en 09:34:17 UTC. De boei werd nu ongeveer 100 m dieper in zee geplaatst. De stroming is ook hier in noordoostelijke tot oostnoordoostelijke richting, met een gemiddelde snelheid van 0,19 m/s. Dit komt omdat de stroming mogelijks minder invloed ondervindt van de golfbrekers.
- Meting 4: interval tussen 09:35:57 UTC en 10:10:57 UTC. De snelheid van de stroming neemt af tot ongeveer 0,12 m/s en de richting van de stroom is nu iets noordelijker.
- Meting 5: interval tussen 10:11:52 UTC en 11:02:13 UTC. De gemiddelde snelheid van de stroming neemt verder af tot 0,09 m/s. De richting van de stroming verandert plots heel sterk en de boei drijft zelfs bijna helemaal in noordelijke richting. Dit komt omdat de ebstroom nu meer en meer de overhand begint te nemen.
- Meting 6: interval tussen 11:03:18 UTC en 11:17:09 UTC. Omdat de ankerboei al een hele afstand richting zee had afgelegd, werd deze terug dichterbij het strand geplaatst. In dit tijdsinterval kan men zeer duidelijk zien dat de ebstroom begonnen was. De ankerboei drijft nu in westelijke richting aan een gemiddelde snelheid van 0,11 m/s.

- Meting 7: interval tussen 11:18:03 UTC en 11:24:37 UTC. De ankerboei werd nogmaals dichterbij het strand geplaatst. Hier kan men een westelijke ebstroom waarnemen met een gemiddelde snelheid van 0,21 m/s
- Meting 8: interval tussen 11:32:16 UTC en 11:38:47 UTC. Als laatste werd de ankerboei ter hoogte van meetpaal MOW1 geplaatst. Hier kan men nog steeds de noordoostelijke vloedstroom waarnemen. Deze heeft een gemiddelde snelheid van 0,41 m/s. Om de afgelegde weg van de ankerboei duidelijk weer te geven in een figuur, moest er op de afbeelding worden ingezoomd.



Afbeelding 11: Bewegingspatroon stroming voor kentering

bron: masterscriptie E. Van Driessche [38]



Afbeelding 12: Bewegingspatroon stroming tijdens moment van kentering

bron: masterscriptie E. Van Driessche [38]

5.2.5 Conclusie metingen E. Van Driessche:

Tussen 10:11:52 UTC en 11:02:13 UTC is de gemiddelde stroomsnelheid 0,09 m/s. Ook de trage verandering van oostnoordoostelijke naar noordnoordoostelijke richting is zichtbaar [38]. Een duidelijke verandering van de richting van de stroom is pas echt goed te zien tussen 10:11:52 UTC en 11:02:13 UTC. Omdat er tussen 11:03:18 UTC en 11:38:47 UTC een in snelheid toenemende westelijke ebstroom kan worden waargenomen, kan met zekerheid worden gezegd dat de kentering tussen 10:11:52 UTC en 11:02:13 UTC plaatsvindt. Dit is van 00:36:00 tot 1:27:00 na hoogwater. Deze bevinding bevestigt dan ook dat het mogelijk is de kentering na hoogwater te bepalen met een goedkoop zelfgebouwd meettoestel.

De richting en snelheid van de stroom werd ook gemeten ter hoogte van meetpaal MOW1. nemen. Deze heeft een gemiddelde snelheid van 0,41 m/s en stroomt in noordoostelijke richting. Dit wil zeggen dat vanaf ongeveer 2 uur na hoogwater de kentering aan de meetpaal nog niet heeft plaatsgevonden. Deze laatste meting bevestigt dat er wel degelijk een verschil in het tijdstip van de overgang van de vloedstroom naar de ebstroom kan worden waargenomen tussen de positie van de meetpaal en de badzone van Blankenberge.

Kort samengevat:

- De vloedstroom, de gemiddeld oostnoordoostelijke stroming richting Nederland, stopt vanaf 00:36:00 na hoogwater in de badzone van Blankenberge.
- De ebstroom, de gemiddeld westzuidwestelijke stroming richting Frankrijk, begint vanaf 01:28:00 na hoogwater in de badzone van Blankenberge.
- De kentering vindt plaats ergens tussen 00:36:00 en 01:28:00 na hoogwater in de badzone van Blankenberge.
- Het tijdstip waarop de kentering wordt ingezet in de badzone van Blankenberge verschilt van het tijdstip waarop deze wordt ingezet ter hoogte van meetpaal MOW1. Dieper in zee vindt de kentering later plaats.
- Deze resultaten komen overeen met de bevindingen van het Waterbouwkundig Laboratorium. Gedurende deze studie vindt de kentering plaats ergens tussen 00:28:00 en 01:43:00 na hoogwater.

- De gegevens uit de cursus van WOBRA zijn gebaseerd op de gemeten waarden van de meetpalen. Deze komen echter niet geheel overeen met de resultaten bekomen van het eigen onderzoek. De verschillen treden op in verband met de duur van de vloedstroom en de tijd van kentering na hoog water. Deze zouden respectievelijke tot drie uur na hoog water duren en drie uur na hoog water beginnen.

6 Eigen onderzoek

6.1 De boei

Om de stroming in zee te meten werd ervoor gekozen om zelf een meetboei te maken. Hiervoor werden twee hedendaagse principes onderzocht, namelijk de Euleriaanse en Lagrangiaanse snelheidsmethoden. Deze worden in 3.1.1 en 3.1.2 beschreven. Van deze twee principes heb ik uiteindelijk gekozen voor de Lagrangiaanse methode, want deze bood een eenvoudigere oplossing naar constructie van het meetinstrument (de boei) toe.

Hieruit volgde de constructie van twee boeien. Deze worden hieronder besproken samen met de tests over de werkbaarheid van de boeien en het uiteindelijke eindresultaat.

6.1.1 Eerste boei

De eerste meetboei werd gebaseerd op het model van Emiel van Driessche (zoals omschreven in 5.2.2). Deze omvatte een boei om voor drijfvermogen te zorgen, een verticale buis met vinnen om de stromingen te volgen, gewichten om verticaal in het water te blijven en een koker om een GPS-tracker in te plaatsen. De tracker werd gebruikt om de afgelegde weg van de boei in de stroming te kunnen volgen.

Hieronder volgt een omschrijving van het constructieproces en de doorlopen testen.

De boei wordt gemaakt met een groene kegelboei die bestaat uit de boei en onderaan een versterkte ankering. Deze boei moet voor het drijfvermogen zorgen. Onder deze groene boei wordt een PVC-buis gehangen met een lengte van één meter, buitendiameter 10,5cm en binnendiameter 9,5cm . In de buis worden vervolgens gaten geboord waar dwarsstangen twee kruisen vormen op 60 centimeter van elkaar. Verder worden er extra gaten gemaakt om makkelijker water in de buis te laten, want een lege buis zou voor te veel drijfvermogen zorgen wat de boei horizontaal in plaats van verticaal in het water zou positioneren. De eerder vermelde dwarsstangen zijn gemaakt van gietijzer en hebben een diameter van 80 millimeter. Aan deze stangen worden een totaal van vier zeilen (gemaakt van gewapend rubber) in elk kwartaal van de buis met spanbandjes vastgemaakt.

Verder is er op het contactpunt tussen boei en buis een rubberen zegel voorzien om voor een goede afsluiting/aansluiting te zorgen. Deze doet ook dienst om schokken op te vangen wanneer de boei in het water wordt gegooid. Ook is er onderaan de buis een ring voorzien om een ijzeren gewicht van vier kilogram aan te hangen. Dit gewicht dient om de boei verticaal in het water gepositioneerd te houden.

Om de boei niet te laten afdrijven wordt een 100 meter lang Polyprop-touw voorzien en een plat-anker van zes kilogram, zie figuur 13.



Afbeelding 13: Plat anker

bron: eigen werk

Om het geheel ook in heviger weer in elkaar te houden wordt er van de gewicht-ring, door de buis tot aan het oog van de boei een staalkabeltje vastgemaakt.

De koker voor de GPS wordt vastgemaakt aan de buis, onder de boei.

Als GPS-tracker wordt een Canmore GT 730-FL gebruikt die beschikbaar wordt gesteld door de school. De voordelen van deze tracker zijn het beperkte formaat, de geoptimaliseerde elektronica, de spatwaterdichtheid, de instelbaarheid van de opnamefrequentie en de mogelijkheid om posities op te slaan op een intern geheugen in NMEA-formaat [2]. Dit laatste zorgt er voor dat de posities kunnen verwerkt worden in bijgeleverde software en geëxporteerd kunnen worden naar onder andere 'Google Earth'. Verder is er beslist om de tracker op twee manieren in te stellen: registratie elke vijf meter en elke vijf seconden.



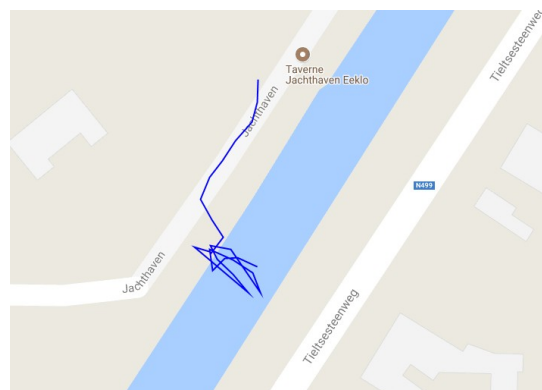
Afbeelding 14: eerste ontwerp meetboei

bron: eigen werk

Na de constructie van de boei, moet ze uiteraard eerst getest worden voor ze kan ingezet worden tijdens de metingen. De eerste testen werden uitgevoerd in de wateren van de plezierhaven van Eeklo op 15 augustus 2018. De tests bestonden er uit om eerst de boei een paar keer van op de kant in het water te werpen en vervolgens ongeveer 60m door het water te trekken. Uit het eerste werd vastgesteld dat de dwarsstangen niet sterk genoeg waren: de stangen waren gebogen ten gevolge van de herhaalde impact met het water.

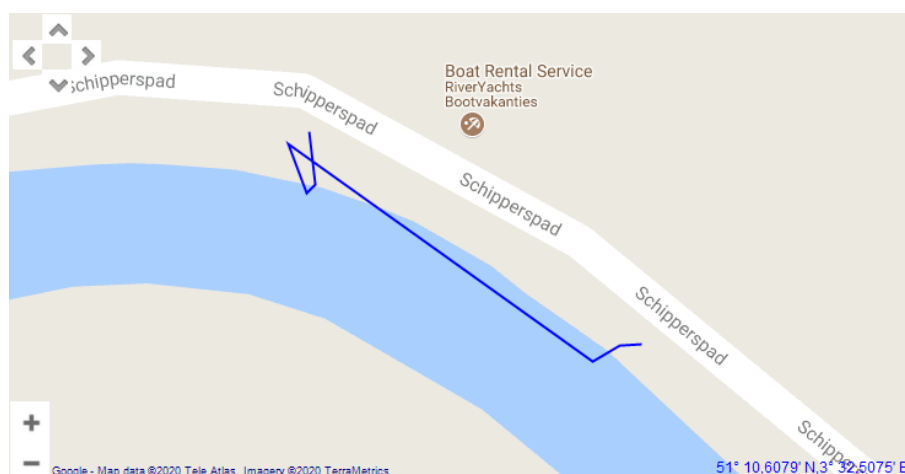
Deze stangen werden later vervangen door stangen met diameter 12,0 millimeter. Vervolgens werd vastgesteld dat de vinnen er wel degelijk voor zorgen dat de boei de stroming volgt, wat men kon zien doordat de boei de stroming volgde zonder externe inwerkende kracht. Verder konden we vaststellen dat de GPS-koker waterdicht was en dat de GPS-tracker een goede ontvangst had (in zoet water).

De registratie in seconden was beter dan in meter. Dit werd gekozen omdat indien de registratie in afstandsintervallen zou gebeuren, de boei deze minimumafstand zou moeten overbruggen voor er een registratie gebeurt. Registratie bij een tijdsinterval gebeurt onafhankelijk van de overbrugde afstand.



Afbeelding 15: Eerste testen: test waterdichtheid GPS-koker

bron: eigen werk via Canway



Afbeelding 16: Eerste testen: test werking vinnen op stroming

bron: eigen werk via Canway

6.1.2 Tweede boei

De groene boei werd vervangen door een gele waar ook het logo van de school was op geschilderd. Dit was vereist door het MRCC (*Maritime Rescue and Coordination Centre*). Het betreffende MRCC voor België is de MRCC-centrale in Oostende. Zij zijn onder andere bevoegd voor het plaatsen van (tijdelijke) boeien binnen Belgische wateren. Het contact met het MRCC verliep via kapitein Réjane Gyssens.

Na de aanpassingen in de constructie moest ook deze weer getest worden.

Deze tweede serie tests verliep aan zee in Koksijde op 25 en 26 juni 2019 en Middelkerke op 6 en 7 juli 2019. Hier werden twee problemen vastgesteld. Ten eerste is er een ballastgewicht verloren gegaan. Daarnaast bleken de GPS-metingen in zee (in zeewater) hiaten en andere storingen te vertonen. Het probleem van de hiaten was eerder niet opgevallen daar GPS-signalen verder doordringen in zoet water dan in zeewater (zout water). Uit eigen proeven bleek dat de signalen in zoet water wegvielen op een diepte tussen de 50cm en 60 cm terwijl dit in zout water beperkt wordt tot 20cm – 30cm. Deze proef werd uitgevoerd met behulp van een anderhalve meter lange houten stok. De stok werd om de 10cm gemarkeerd om vervolgens op elke markering een afstand door het water (zoet en zout) af te leggen. Zo werd bepaald tot op welke diepte er een duidelijk GPS-signaal ontvangen werd. Bij het ontwerp van de eerste boei hing de GPS-koker op een diepte van 39,5 cm onder het wateroppervlak. Dit zorgde er dus voor dat er een goed signaalontvangst was bij de eerste tests in zoet water, maar een signaalonderbreking gebeurde bij de eerste zee-tests. Verder bleek het eerste ankergewicht wel zwaar genoeg maar hechtte het zich niet genoeg vast aan de bodem. Hierdoor begon de boei af te drijven.

Om bovenvermelde problemen op te lossen werd het voor het volgende gekeken. Ten eerste werd een nieuw ballastgewicht met een slot aan de boei vastgemaakt. Ten tweede werd er een nieuwe dwarsstang met een gebogen deel van 90° aan de buis vastgemaakt om zo de GPS-koker boven het wateroppervlak te brengen, zoals zichtbaar is op figuur 17. De aannemer van wie dit onderdeel komt, waarschuwde mij dat het gebogen deel van dit element een zwak punt is. Om zeker geen problemen bij verdere proeven te krijgen of zelfs de GPS te verliezen, is het rechte deel van de stang met een staalplaatje en spanbandjes verbonden aan een ring die door de PVC-buis loopt. Het aangepaste ontwerp loste het probleem van de hiaten op. Als laatste werd er ook voor een ander/beter anker gekeken, met name een paraplu-anker dat vier mogelijke aangrijppunten in de bodem heeft.



Afbeelding 17: Boei met dwarse verhooging GPS-koker

bron: eigen werk

6.1.3 Definitieve boei

Na alle aanpassingen, werd de definitieve boei bekomen zoals in figuur 18. De totale kostprijs van de boei kon worden bepaald op 188 euro met de gele boei van €50, het touw van €100 en het anker van €38. Al het andere materiaal kon worden ontleend van een bouwbedrijf.



Afbeelding 18: Eindproduct: boei met GPS-koker en gewicht

bron: eigen werk

6.2 Procedure

6.2.1 Toestemming Zeevaartpolitie en MRCC

Na een eerste misverstand met de zeevaartpolitie op 10 juli 2019 in Oostende over het illegaal plaatsen van de boei, werd schriftelijk toestemming gevraagd aan het MRCC in Oostende of de boei mocht geplaatst worden. Met het MRCC werd dan schriftelijk overeengekomen in welke gebieden en op welke momenten de boei mocht geplaatst worden. Deze gebieden werden afgebakend op kaart.

Om de boei legaal te kunnen plaatsen, is het vooral belangrijk dat het MRCC op voorhand op de hoogte wordt gebracht van de dagen waarop de boei geplaatst wordt en op welke posities. Ook de zichtbare kenmerken van de boei moeten op voorhand gecommuniceerd worden aan het MRCC. Als aan deze voorwaarden voldaan wordt, wordt een schriftelijke aanvraag zelden geweigerd indien dit de veiligheid van de mens en het zeevaartverkeer niet gevaar brengt. Het document met de officiële toestemming om de boei te plaatsen is bijgevoegd in bijlage 11.2.

6.2.2 Overeenkomst met de redders

Vooraleer toestemming te vragen aan het MRCC, heb ik eerst bij de redders rondgevraagd welke diensten wilden meewerken.

Het eerste contact verliep via de algemeen secretaris van de IKWV (Intercommunale Kustreddingsdienst West-Vlaanderen), Mvr. Ann Beun. Hierna werd ik doorverwezen naar de verschillende hoofdredders die bereid waren mee te werken aan het onderzoek. Na ter plaatse contact opgenomen te hebben, werden beschikbare periodes, aanvangstijden en werkprocedures afgesproken.

Oorspronkelijk was het idee om volledige zone De Panne – Zeebrugge te bespreken met een meting in elke tweede kustgemeente volgens volgende planning:

Gemeente	Datum (in 2019)	Uur
De Panne	28/06/20	HW van 10.20
	01/07/20	HW van 12.50
Oostduinkerke	04/07/20	HW van 14/56
	06/07/20	LW van 10.59
Westende	08/07/20	LW van 12.37
	09/07/20	LW van 13.30
Oostende	<u>25/03/20</u>	LW van 10.35
	11/07/20	HW van 09.16
	12/07/20	HW van 10.21
Wenduine	15/07/20	HW van 13/40
	16/07/20	HW van 14.21
Knokke	<u>27/03/20</u>	LW van 12.14
	18/07/20	HW van 15.40
	20/07/20	LW van 10.36

Tabel 1: Oorspronkelijk aanvraag proefdagen

Bron: eigen werk

Na de algemene aanvraag tot bereidheid van meewerken van mevrouw Beun aan alle redders bleken de volgende gemeenten te willen meewerken: De Panne, Koksijde, Middelkerke en Oostende. In samenspraak met hun hoofdredders werd een werkplan afgesproken voor de maanden juni en juli 2019 zoals weergegeven in in tabel 2. Dit betrof een totaal van 34 geplande meetdagen. Met meetdagen in:

- Koksijde van 24 tot en met 27 juni 2019,
- De Panne op 29 en 30 juni 2019,
- Oostende van 9 tot en met 11 juli 2019,
- Middelkerke van 1 tot en met 7 juli 2019 en 14 tot en met 31 juli 2019

Eens met de metingen begonnen, bleek dat deze planning niet altijd te volgen was. Dit kwam onder meer door de problemen met de constructie en het uiterlijk van de boei, de weersomstandigheden op sommige meetdagen en de toestemming van het MRCC.

Uiteindelijk werden er 27 metingen gedaan op volgende data:

- Koksijde van 30 augustus tot en met 5 september 2019,
- De Panne op 2 en 3 augustus 2019,
- Oostende op 9 en 10 juli 2019 en van 7 tot en met 11 september 2019,
- Middelkerke op 6 en 7 juli 2019 en van 18 tot en met 31 juli 2019.

Dit komt er op neer dat er een totaal van 27 metingen zijn uitgevoerd over 34 dagen met 26 gerealiseerde waarnemingen van kenteringen van het getij. Een volledig overzicht wordt gegeven in Bijlage 11.3.

		Voormiddag	Namiddag
Juni	24	Koksijde	
	25	Koksijde	Koksijde
	26	Koksijde	
	27	Koksijde	Koksijde
	28		
	29	De Panne	De Panne
	30	De Panne	De Panne
juli	1	Middelkerke	Middelkerke
	2	Middelkerke	Middelkerke
	3	Middelkerke	
	4	Middelkerke	
	5	Middelkerke	
	6		Middelkerke
	7	Middelkerke	Middelkerke
	8		
	9	Oostende?	
	10	Oostende?	Oostende?
	11	Oostende?	Oostende?
	12		
	13		
	14	Middelkerke	Middelkerke
	15	Middelkerke	Middelkerke
	16	Middelkerke	Middelkerke
	17	Middelkerke	Middelkerke
	18	Middelkerke	Middelkerke
	19	Middelkerke	Middelkerke
	20	Middelkerke	Middelkerke
	21	Middelkerke	Middelkerke
	22	Middelkerke	Middelkerke
	23	Middelkerke	Middelkerke
	24	Middelkerke	Middelkerke
	25	Middelkerke	Middelkerke
	26	Middelkerke	Middelkerke
	27	Middelkerke	Middelkerke
	28	Middelkerke	Middelkerke
	29	Middelkerke	Middelkerke
	30	Middelkerke	Middelkerke
	31	Middelkerke	Middelkerke

Tabel 2: Werkplan in samenspraak met hoofdredders

Bron: eigen werk

6.2.3 Te water lating boei

Vooraleer de boei te water kan gelaten worden, moet eerst alles in gereedheid gebracht worden. Dit houdt in dat de te gebruiken boot tot aan de waterlijn geplaatst en in gereedheid gebracht wordt. Verder moeten alle componenten van de boei aan elkaar gehangen worden (boei, gewicht, touw en anker). Dit volledige proces neemt ongeveer 10 à 15 minuten in beslag. Om de boei in de boot te plaatsen wordt geadviseerd om het ballastgewicht en het anker achteraan de boot te plaatsen. Deze elementen zijn het zwaarst en zouden bij het bewegen van de boot de inzittenden kunnen verwonden. Doordat de achterkant het minst 'springt', is er daar minder kans op verwondingen. Net voor vertrek wordt de GPS-tracker aangezet en in zijn koker geplaatst. Vervolgens moet iedereen een reddingsvest aandoen en kunnen we vertrekken.

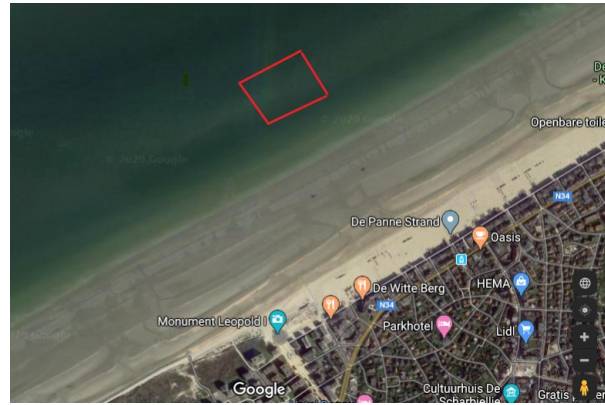
Eerst wordt de boot een eind het water in geduwd zodat de motor zonder schade kan starten. Dan springt iedereen in de boot en wordt er naar de uitzetplaats gevaren.

Eens ter plaatse wordt eerst het anker, dan het volledige touw (60m) en als laatste de boei te water gelaten.

Hierna wordt terug naar het strand gevaren en de boot op het strand getrokken.

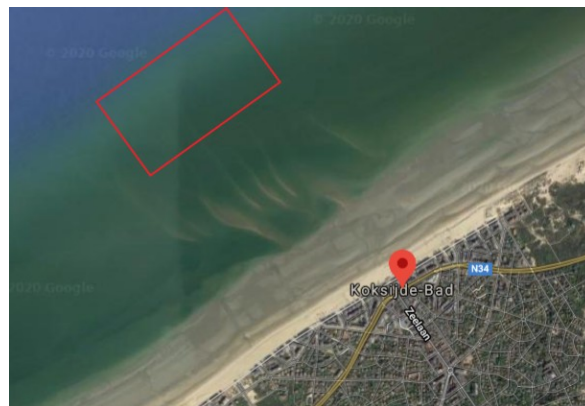
De uitzetplaats ligt niet in elke kustgemeente op gelijke afstand van het strand. Dit kan komen door geografische of gerechtelijke belemmeringen. Zo is het strand in De Panne bij laag water heel uitgestrekt zodat er bij het uitzetten van de boei voldoende ver in zee moet gegaan worden om ook bij laag water genoeg water onder de boei te hebben voor vrije beweeglijkheid, zie figuur 19. Verder moet ook in Koksijde-bad voldoende ver in zee gegaan worden. Ditmaal niet vanwege de strandgrootte, maar vanwege de aanwezigheid van zandbanken die droog komen te liggen bij laag water, zie figuur 20.

De gerechtelijke belemmering komt dan weer voor in Oostende, waar door de aanwezigheid van de haven en de vaarroutes en -zones goed met het MRCC afgesproken moet worden over waar de boei geplaatst mag worden.



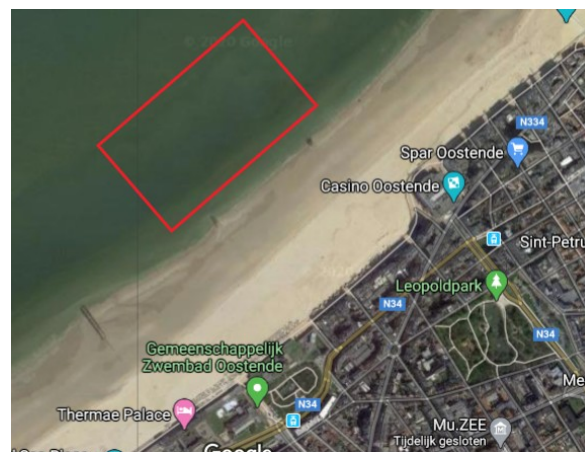
Afbeelding 19: uitzetzone De Panne

bron: eigen werk via google earth



Afbeelding 20: uitzetzone Koksijde

bron: eigen werk via google earth



Afbeelding 21: uitzetzone Oostende

bron: eigen werk via google earth

6.2.4 Recupereren van de boei

Dit is ongeveer het omgekeerde van het te water laten van de boei.

Na de boot in het water gebracht te hebben, wordt er naar de boei gevaren. Het naderen van de boei gebeurt tegen de stroming in zodat de schroef van de boot zich zeker niet kan verwickelen met het ankertouw van de boei. Vervolgens wordt eerst de boei binnengehaald om dan het touw binnen te trekken samen met het anker.

Eens alles in de boot gerecupereerd is, wordt er weer naar het strand gevaren waarna de boot van het binnengelopen water wordt ontdaan en afgespoeld.

7 Analyse van de meetgegevens

Na het uitvoeren van een meting, werd de GPS-logger aangesloten aan een computer. De gegevens van de logger werden dan geïmporteerd in de “Canway” software die bij de GPS geleverd werd. Met deze software kan men het afgelegde traject op een kaart zien en een paar basisfactoren zoals de afgelegde afstand en de gemiddelde snelheid aflezen. Verder kan men vanuit Canway het bestand exporteren in verschillende formaten zoals .gpx en .csv . Dit eerste is handig indien de metingen moeten overgezet worden naar een andere computer, want dit is het enige formaat dat importeerbaar is in een andere Canway op een verschillende computer. Het tweede wordt gebruikt om de meting te exporteren bestandsformaat dat leesbaar is door bijvoorbeeld Excel, maar ook door de meeste andere rekenprogramma's.

Ik heb in mijn geval voor de .csv gekozen daar het makkelijk met Excel te combineren is en een mooi overzicht biedt van de data over de betreffende meeting. Ook kan het .csv formaat in R (rekenprogramma) geïmporteerd worden voor een verdere verwerking en de uiteindelijke bepaling van de kentering.

De verwerking in R gebeurt met een zelfgeschreven programma, gemaakt door Mevrouw Luyckx. Er werden drie programma's geschreven die hieronder uitgelegd worden.

Vooraleer met R aan de slag te kunnen gaan, hebben we een paar dingen nodig. Dit omvat de R-rekensoftware versie 3.6.1 . De software R wordt vanuit RStudio [24] aangeroepen. RStudio is een integrated development environment (IDE) [13] of software-ontwikkelomgeving voor R en omvat een console, een editor die toelaat de code makkelijk uit te voeren door een eenvoudige druk op de run-knop, toepassingen voor grafieken en figuren, en nog een aantal andere nuttige functies. Voor de verschillende programma's die gebruikt werden om de metingen te verwerken, werd ook gebruik gemaakt van een aantal pakketten in R. De installatie van een pakket moet eenmalig uitgevoerd worden. Daarna moet het pakket telkens geactiveerd worden voor gebruik in het programma.

Een belangrijk pakket voor de verwerking van de gegevens, is het pakket 'leaflet' voor R, dat toelaat de gegevens op een (interactieve) kaart weer te geven. Leaflet [15] is een open source JavaScript bibliotheek voor de creatie van interactieve kaarten. Voor de verwerking van de meetgegevens in dit project, worden kaarten van OpenStreetMap [16] gebruikt, die vrijgegeven zijn onder de licentie Creative Commons Naamsvermelding-Gelijk delen 2.0 (CC BY-SA).

Tot slot wordt voor elk programma een reeks meetgegevens ingelezen vanuit het .csv-bestand.

7.1 R-versie 1

Het algemene idee achter de eerste versie van het verwerkingsprogramma was dat de kentering verwacht wordt op een uiterste waarde van lengteligging. We bekijken dus of de kentering overeenkomt met een minimum of maximum in lengteligging en of dit overeenkomt met een minimum in bewegingssnelheid van de boei (wat verwacht wordt bij een kentering).

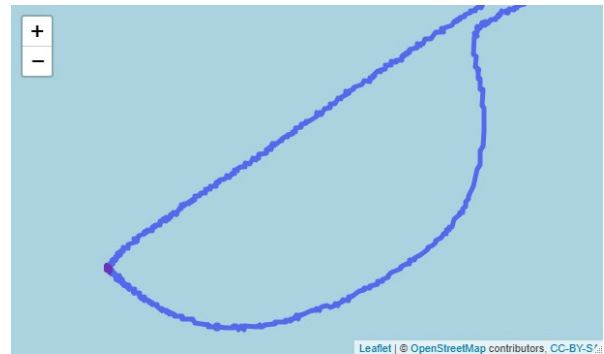
Bij de start van het eerste verwerkingsprogramma, wordt een kaart gegenereerd met daarop het traject van de meting. Vervolgens moet men de meetfrequentie van de GPS-logger invullen; voor alle meetreeksen werd één meting om de vijf seconden geregistreerd.

Eens dit gebeurd is, moet je een ruw interval invullen waarin het moment van de kentering zal liggen. Zo'n ruw interval kun je gemakkelijk bepalen door middel van de Canway software, waarin visueel het interval van de kentering bij benadering wordt bepaald. Om een voldoende groot interval te bekomen, wordt in ronde uren gerekend en gebruikt men het dichtste volle uur bij de kentering. Nadat het interval van de kentering werd bepaald, wordt dit als een paars stuk op het eerder geprojecteerde traject aangeduid (figuur 23). Dit stuk omvat de kentering.



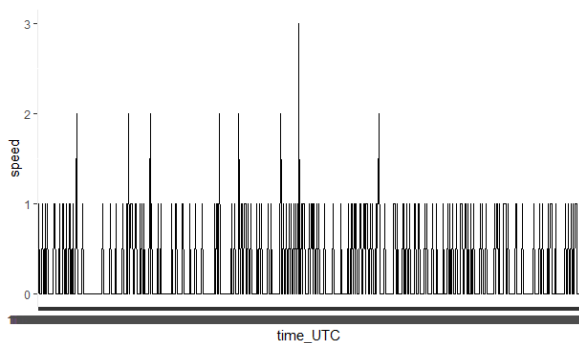
Afbeelding 23: Traject boei met aanduiding kenteringspunt

bron: eigen werk



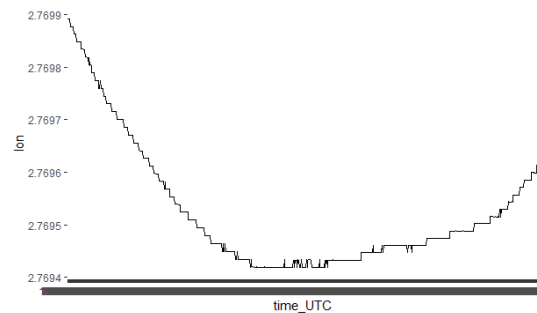
Afbeelding 22: Punt van kentering

bron: eigen werk



Afbeelding 25: Plot snelheid in functie van tijd

bron: eigen werk



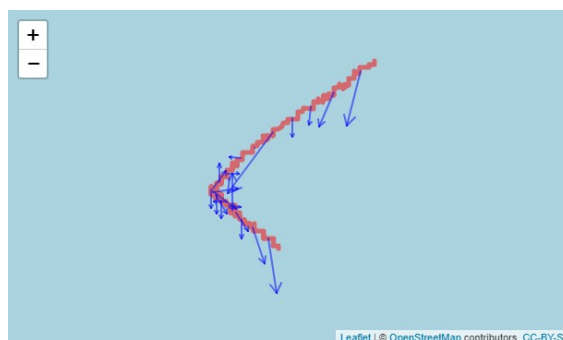
Afbeelding 24: Plot lengteligging in functie van tijd

bron: eigen werk

Voor dit paarse stuk kunnen dan weer verschillende *plots* gemaakt worden die helpen om de eigenlijke kentering te bepalen (figuur 24). Dit omvat een plot van de snelheids grootte in functie van de tijd en een plot van de lengteligging in functie van de tijd. De hypothese hierbij is dat de kentering verwacht wordt op het moment van maximale/minimale lengteligging van de meting. Indien deze methode werkt, geeft de laatste plot een redelijk accurate weergave van het interval van kentering. Men kan voor dit interval opnieuw de lengteligging en snelheid plotten in functie van de tijd om het precieze moment van kentering te bepalen (figuur 24 en 25).

Bij de snelheidsplot verwachten we vanuit theoretisch oogpunt dat de snelheid op het moment van de kentering nagenoeg nul is, voordat de overheersende stroming omdraait.

Hiertegenover staat dat de snelheids grootte geen goede indicator is, omdat de boei nooit precies stil ligt ten gevolge van deining en golven. Om die reden bekijken we de snelheidsvectoren, waarbij een gemiddelde snelheidsvector over een zeker interval wordt berekend. In eerste instantie opteren we voor een interval van 30 metingen, dat is dus $30 \times 5\text{s} = 150\text{ s} = 2,5\text{ minuten}$. Mocht dit interval niet geschikt blijken, dan kan de lengte van het interval makkelijk anders ingesteld worden in het programma. Op de figuur hieronder (figuur 28) is in het rood een deel van het afgelegde traject te zien, met in het blauw een snelheidsvector om de 30 metingen. Je ziet eerst snelheidsvectoren die grotendeels SW wijzen; inde buurt van het keerpunt (minimum van de lengteligging) zien we snelheidsvectoren met een kleine lengte die in verschillende richtingen wijzen. Dat betekent dat de boei even ter plaatse rondobbert en de overheersende stroming inderdaad aan het omkeren is. Daarna zien we snelheidsvectoren die grotendeels S wijzen, en neemt de snelheids grootte duidelijk toe.



Afbeelding 26: Snelheidsvectoren per meting in buurt van kentering

bron: eigen werk

Na het toepassen van deze methode op alle metingen kwamen volgende bemerkingen naar boven.

Ten eerste gaf de methode enkel een goed resultaat bij de metingen waarbij het anker losgeslagen was en de boei dus rondreef en een tijd lang parallel aan de kust voortbewoog vooraleer met de stroming mee om te keren. Dit was het geval bij twee metingen waaronder de meting waarvoor de verwerkingsmethode ontwikkeld was.

Ten tweede werkte de methode niet goed in de meerderheid van de gevallen waarin het anker naar behoren functioneerde. In deze gevallen dreef de boei een tijd lang rond dezelfde positie waardoor de uiterste waarden van lengteligging moeilijk te bepalen zijn en deze waarden niet noodzakelijk overeenkomen met het moment van kentering.

En ten derde werden niet bij alle metingen de snelheid en lengteligging in functie van de tijd geplot (zoals in figuur 26 en 27), de grafische weergave werd niet weergegeven.

Dit alles zorgde er voor dat er een nieuw verwerkingsprogramma ontwikkeld moest worden, dit wordt besproken in R-versie 2.

7.2 R-versie 2

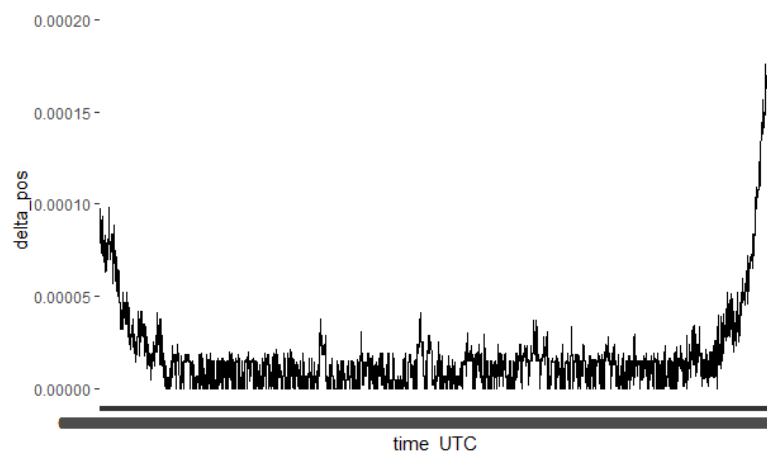
In het tweede programma werd gezocht naar mogelijkheden om de kentering correct te bepalen wanneer deze niet overeenkomt met een minimum of maximum van de lengteligging. Hierbij werden 4 verschillende werkwijzen onderzocht op hun nut en haalbaarheid.

Bij aanvang van het programma wordt weer een meetreeks ingelezen vanuit het .csv-bestand, waarna de gebruikte meetfrequentie correct wordt ingesteld. Verder wordt er ook in dit geval met een (groot) interval rond de kentering gewerkt. Aangezien er voor dit programma gekeken werd naar de gevallen waarbij het anker een goede grip op de bodem had, kan men op het traject de uiterste positie zien. De boei volgt de stroming tot hij op het uiterste van het touw komt en blijft dan enkele uren daar “hangen” tot de stroming omkeert. Als interval voor de verwerking wordt een (lang) interval als volgt uitgeknipt. Als startpunt van het interval wordt met behulp van de Canway-software een tijdstip geselecteerd waarop de boei duidelijk in beweging is, onderweg naar zijn uiterste positie. Als eindpunt wordt op dezelfde manier een tijdstip bepaald waarop de boei zich duidelijk niet meer in de uiterste positie bevindt, maar opnieuw beweegt na de kentering. We beschouwen de kentering dan als het moment waarop de boei de “vaste” positie verlaat. Dit stuk wordt dan op het traject (afgelegd door de boei) geplot; en er worden verschillende methodes getest om in het uitgeknipte interval het moment van kentering te berekenen.

De eerste werkwijze betreft het vergelijken van de lengteligging, dat is de werkwijze uit het eerste programma, die vooral wordt toegevoegd om na te gaan of de alternatieve methodes betere resultaten opleveren. Deze methode blijkt echter niet zo goed te werken, zoals was verwacht op basis van de bemerkingen bij het programma “R-versie 1”. Een andere storende factor is het feit dat de boei niet stil blijft liggen op zijn uiterste punt vanwege de bewegingen van het water.

De tweede werkwijze is gebaseerd op het principe dat de boei een tijd lang ongeveer op dezelfde positie blijft liggen. De kentering zou moeten overeenkomen met het ogenblik waarop de boei zich, vanuit deze min of meer vaste positie, weer begint te verplaatsen. Om dit principe uit te werken, wordt voor elke meting de verandering van positie berekend tussen deze meting en de meting een vast tijdsinterval later. Als tijdsinterval wordt gekozen voor een interval van 5 minuten. Wanneer de positieveranderingen in functie van de tijd worden geplot, blijkt dat deze inderdaad lange tijd nagenoeg nul zijn, om dan opeens weer toe te nemen. Op basis van deze werkwijze wordt het interval van de kentering geschat als een (symmetrisch) interval van 10 minuten rond het ogenblik waarop de berekende positieverandering voor het laatst nul was.

Deze methode is natuurlijk niet helemaal exact, maar geeft wel een inschatting van het interval waarin de kentering plaatsvindt.



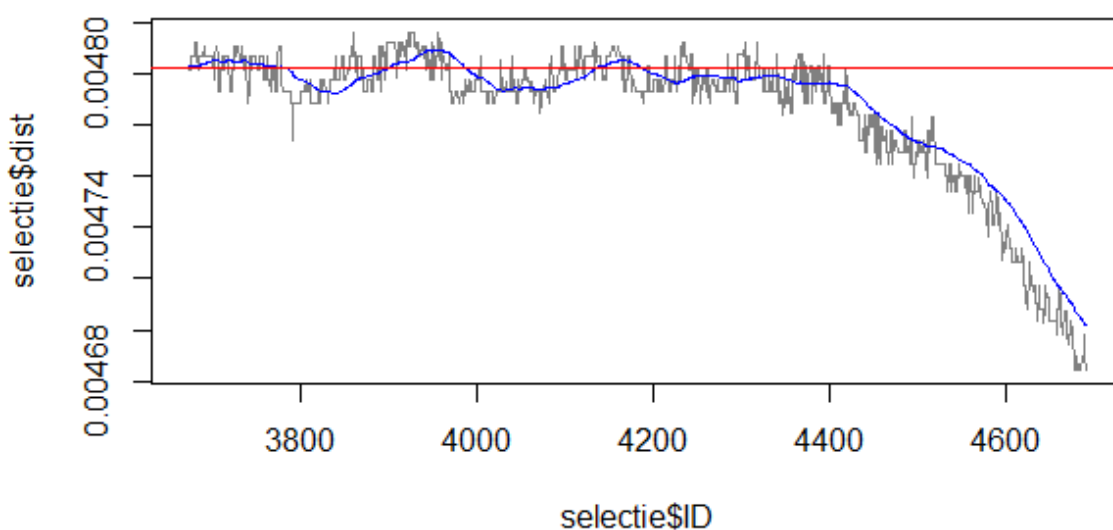
Afbeelding 27: Verandering van positie in functie van tijd

bron: eigen werk

Links op figuur 27 is te zien hoe de verandering van positie afneemt tot ze uiteindelijk nagenoeg nul wordt. Dit wijst er op dat de boei op zijn uiterste punt komt. Helemaal rechts op de figuur is dan weer te zien hoe de verandering van positie plotseling sterk toeneemt. Dit wijst op een verplaatsing, met andere woorden op de kentering. Doordat de boei niet perfect op dezelfde plaats blijft liggen, is het echter moeilijk om het exacte moment van de kentering te bepalen.

Bij de derde werkwijze wordt eerst geprobeerd de kleine bewegingen van de boei ten gevolge van bijvoorbeeld deining uit te middelen door een lopend gemiddelde te bepalen van zowel lengteligging als breedteligging. Ook hier is de achterliggende gedachte dat de boei een tijdlang op ongeveer dezelfde positie blijft liggen. Als alternatieve werkwijze om de “vaste” positie te beschrijven, wordt in methode 3 de afstand tot een vast referentiepunt berekend.

Voor dit vaste punt wordt het eindpunt van de meting gekozen. Deze keuze is arbitrair, maar maakt voor de methode weinig uit zolang het referentiepunt niet te dicht in de buurt van de positie van het anker ligt. Op die reden wordt een punt op het strand gekozen, bijvoorbeeld het eindpunt van de meting. De periode waarin de boei vrijwel stil ligt, tot aan de kentering, komt dan overeen met het tijdsinterval waarin de afstand tot het eerder besproken vaste punt constant is. Als werkinterval wordt met een interval van 30 minuten rond de vorige schatting van de kentering gewerkt. De afstand tot het referentiepunt blijkt lange tijd te variëren rond een min of meer constante waarde, de “stilstandswaarde”. Deze waarde wordt ingeschat als de gemiddelde afstand tijdens een periode van 2 uur ruim voor de vermoedelijke kentering. De kentering zelf wordt bepaald als een interval van 5 minuten rond het moment waarop de afstand tot het vaste punt kleiner wordt dan de vastgestelde constante “stilstandswaarde”.



Afbeelding 28: Verwerking met gemiddelde afstand en stilstandslijn

bron: eigen werk

Op figuur 28 is te zien hoe binnen een bepaald interval de afstanden tot een vast referentiepunt (de stilstandswaarde, in het rood) geplot zijn. Dit wordt voorgesteld door de grijze lijn. Nadien wordt het lopend gemiddelde van deze afstanden bepaald en geplot, voorgesteld door de blauwe lijn. De kentering wordt dan bekomen wanneer deze gemiddelde positie sterk afwijkt of met andere woorden, een sterke daling/stijging van de blauwe lijn.

De vierde werkwijze is gebaseerd op de grootte van de gemiddelde snelheidsvectoren, waarbij gemiddelde snelheidsvectoren bepaald worden over een interval van 5 minuten. Zolang de boei zich op ongeveer dezelfde positie bevindt, verwachten we dat de gemiddelde snelheidsvectoren een kleine lengte hebben. Zodra de kentering optreedt, verwachten we gemiddelde snelheidsvectoren met een merkkelijk grotere lengte.

De kentering wordt dan bepaald als het ogenblik waarop de grootte van de gemiddelde snelheidsvector groter wordt dan zijn grootte tijdens de periode van stilstand.

De Panne	<i>Methode 1</i>	<i>Methode 2</i>	<i>Methode 3</i>	<i>Methode 4</i>
03/08/19	09:09:37	09:31:09	09:55:51	09:55:01
Koksijde				
31/08/19	08:55:46	09:45:26	/	09:45:21
01/09/19	08:52:28	09:21:37	/	09:42:40
02/09/19	09:44:44	10:06:35	/	10:32:32
03/09/19	09:17:19	10:43:39	10:06:40	10:47:59
05/09/19	11:26:43	12:32:26	11:59:14	12:56:09
Oostende				
09/07/19	06:48:52	06:04:04	/	06:08:39
10/07/19	/	/	/	/
07/09/19	/	/	/	/
08/09/19	08:35:53	/	/	08:47:08
09/09/19	10:27:58	10:12:52	10:37:38	09:41:23
10/09/19	12:01:26	11:25:36	10:34:06	11:36:21
Middelkerke				
06/07/19	16:40:41	16:27:01	15:32:31	15:46:36
07/07/19	12:01:40	12:05:30	12:30:10	/
18/07/19	/	/	/	/
21/07/19	10:00:28	11:06:46	10:43:35	10:48:30
22/07/19	10:15:11	11:01:33	10:58:28	11:26:19
23/07/19	09:16:55	12:19:41	11:27:50	12:40:56
24/07/19	08:58:07	12:10:40	/	12:14:40
25/07/19	09:09:08	13:28:22	/	13:28:22
26/07/19	/	/	/	/
27/07/19	09:29:21	08:18:47	/	09:04:23
29/07/19	09:09:22	10:42:18	11:07:01	10:45:08
30/07/19	13:32:15	12:26:10	15:50:50	13:29:50

Tabel 3: tijdstippen van kentering volgens de vier methoden

Bron: eigen werk

De vier methodes werden op zo goed als alle uitgevoerde metingen toegepast en gaven opmerkelijk nergens een eenduidig antwoord voor één meting. Er lagen soms enkele uren verschil tussen de bekomen resultaten.

Na vergelijking van deze vier methoden blijkt:

- Methode vier geeft het beste resultaat.
- Methode één is niet werkbaar doordat het maximum/minimum van de longitude niet noodzakelijk overeenkomt met de kentering, zoals reeds besproken bij de bespreking van R-versie 1.
- Methode 3 was in een groot deel van de gevallen niet bruikbaar.

Een belangrijke conclusie die we na het uitvoeren van de vier methoden kunnen trekken is dat het erg moeilijk blijkt om de kentering te berekenen vanuit de gegevens. De 4 methoden leveren verschillende resultaten op.

Verder kunnen we stellen dat we 4 methodes besproken hebben in een poging om het moment van kentering te berekenen, gebaseerd op een aantal mogelijke redeneringen. Deze 4 methodes zijn zeker niet de enige mogelijkheden om de kentering te berekenen. Omdat het niet erg duidelijk is wat nu de “beste” methode is, werd de zoektocht naar andere berekeningsmethodes gestaakt. Als alternatief werd een “visuele” methode uitgewerkt, wat we hier onder bespreken in R-versie 3-app.

7.3 R-versie 3 – app

Het derde verwerkingsprogramma genereert een applicatie van het traject van de meting op een interactieve kaart, door gebruik te maken van het R-pakket ‘Shiny’. Shiny is een pakket voor R dat ontwikkeld werd om web-gebaseerde toepassingen te creëren die een R-code uitvoeren [25].

De Shiny-app voor R start ook met het inlezen van de meetgegevens. Om een correcte datum weer te geven, moet de datum van de meting ook handmatig ingevoerd worden in de app.

De app plot het traject van de boei op een kaart, en toont op die manier de beweging van de boei als een soort filmpje, zodat de kentering visueel kan worden bepaald. Om de totale duurtijd van één “film” te beperken, worden niet alle meetpunten op de kaart geplot. De gebruiker kan aangeven om de hoeveel metingen het programma een punt plot. Voor de metingen van de boei volstond een interval van 30 metingen in de meeste gevallen. In een aantal gevallen werd dit verlaagd naar 15 metingen indien het vorige niet werkbaar/leesbaar was. Bovenaan figuur 29 is het nummer van de meting te zien en onderaan de datum en tijd van de betreffende meting. De rode bol stelt het meetpunt voor dat wordt aangegeven in de balk bovenaan de figuur. Deze rode bol is dynamisch en laat dus zo toe om visueel het moment van kentering in te schatten.

Daarnaast kan men ook de maximale schaalfactor van de kaart aanpassen, om voldoende ver te kunnen inzoomen.

Voor mij was dit de meest gebruiksvriendelijke werkwijze. Daarom nog niet de meest nauwkeurige, want deze werkwijze hangt af van een visuele vaststelling en geen (computer)berekening.

Als laatste kon ik ook vaststellen dat de resultaten van de visuele waarnemingen in de meeste gevallen tussen de berekende waardes liggen, bekomen via de vier meetmethoden van R-versie 2 in 7.2. Opvallend hierbij was dat de metingen van 18 en 26 juli 2019 zowel bij R-versie 2 als bij de app geen berekenbare/buikbare resultaten geven. Dit zet aan tot verder nadenken over wat er speciaal is aan deze gevallen en dit zal worden besproken in hoofdstuk 8.3 .



Afbeelding 29: Weergave meting in app

bron: eigen werk

8 Bespreking meetresultaten

Na het uitvoeren van de metingen en het berekenen van het kenteringsmoment in R, wordt er een vergelijking gemaakt tussen de bekomen kenteringstijden en hun plaatsvinden na hoog of laag water.

De bekomen resultaten worden in dit hoofdstuk besproken per badplaats en per getij, gevolgd door een algemeen overzicht van alle metingen.

Nadien volgt ook nog een deel van merkwaardige fenomenen die zijn opgemerkt tijdens het uitvoeren van de metingen (met betrekking tot stromingen).

8.1 De Panne

In De Panne werden metingen gedaan op twee en drie augustus 2019 en werden een totaal van drie kenteringen waargenomen. Hiervan zijn er twee kenteringen na laag water en één na hoog water. De resultaten worden in tabellen 4 en 5 weergegeven.

datum	tijd laag water	tijd waargenomen kentering	tijd tussen getij en kentering	windrichting	afbuiging boei
02/08/19	09:13:00	11:50:10	02:37:10	NW	strand
03/08/19	09:58:00	12:45:34	02:47:34	N-NE	strand

Tabel 4: Kentering laag water De Panne

bron: eigen werk

datum	tijd hoog water	tijd waargenomen kentering	tijd tussen getij en kentering	windrichting	afbuiging boei
02/08/19	14:40:00	17:05:20	02:25:20	NW	strand

Tabel 5: Kentering hoog water De Panne

bron: eigen werk

Hieruit leren we dat de kentering 2 uur 25 minuten na hoog water plaatsvindt en dat de kentering na laag water gemiddeld na 2 uur en 42 minuten (SD = 7 minuten 21 seconden) plaatsvindt.

Bij deze metingen moet worden opgemerkt dat de plaats van meten al redelijk ver in zee ligt doordat het strand in De Panne bij laag water zeer uitgestrekt is, zoals zichtbaar is op figuur 21 in deel 6.2.3 .

Bij de meting van 2 augustus 2019 werd een fenomeen waargenomen wat tegen de verwachtingen inging. Intuïtief lijkt het logisch dat de afbuiging van de boei bij de overgang van hoog naar laag water het terugtrekkende water zou volgen, en de boei dus in de richting van de open zee zou afbuigen. Bij de kentering van laag naar hoog water wordt dan een afbuiging richting strand verwacht, mee met het opkomende water. Ook een aantal redders gaven aan dat ze dit gedrag van de boei verwachtten. Bij de meting van 2 augustus nemen we echter waar dat deze afbuiging in beide gevallen in de richting van het strand gebeurt. Dit zou mogelijks kunnen liggen aan de noordwestelijke wind die er die dag stond. Hierbij zouden we dus moeten aannemen dat de kracht van de wind de kracht van het opkomende of afnemende getij overwint. Dit wordt ook verder in de delen hieronder besproken.

8.2 Koksijde

In Koksijde werden een totaal van zes effectieve metingen gedaan waarvan er één kentering is gemeten na hoog water en vijf na laag water. De meetresultaten voor Koksijde worden weergegeven in tabellen 6 en 7.

datum	tijd laag water	tijd waargenomen kentering	tijd tussen getij en kentering	windrichting	afbuiging boei
31/08/19	08:55:00	12:10:22	03:15:22	S-W	strand
01/09/19	09:39:00	12:40:15	03:01:15	NW	strand
02/09/19	10:22:00	13:15:06	02:53:06	W	strand
03/09/19	11:06:00	14:00:37	02:54:37	W	strand
05/09/19	12:36:00	15:41:11	03:05:11	NW	strand

Tabel 6: Kentering laag water Koksijde

bron: eigen werk

datum	tijd hoog water	tijd waargenomen kentering	tijd tussen getij en kentering	windrichting	afbuiging boei
30/08/19	13:38:00	17:13:19	03:35:19	W-N-NW	strand

Tabel 7: Kentering hoog water Koksijde

bron: eigen werk

De enige geregistreerde kentering na hoog water vond plaats 3 uur en 35 minuten na hoog water. De kentering na laag water vond gemiddeld 3 uur en 2 minuten (SD = 8 minuten 59 seconden) na laag water plaats.

Ook in Koksijde moest de boei redelijk ver in zee geplaatst worden, ditmaal wegens de aanwezigheid van zandbanken die bij laag water de bewegingsvrijheid van de boei zouden kunnen belemmeren. De kenmerken van het strand van Koksijde werden reeds besproken in hoofdstuk 6.2.3 en de zandbanken zijn duidelijk zichtbaar op figuur 22.

Verder stellen we hier vast dat de afbuiging van de boei in de richting van het strand gebeurt bij opkomend en afnemend getij, net zoals in De Panne, wat ook hier aan de windrichting zou kunnen liggen.

8.3 Middelkerke

In Middelkerke werden een totaal van 12 effectieve metingen gedaan waarvan er zeven kenteringen zijn gemeten na laag water en vijf na hoog water. De metingen voor Middelkerke worden samengevat in tabellen 8 en 9.

datum	tijd laag water	tijd waargenomen kentering	tijd tussen getij en kentering	windrichting	afbuiging boei
07/07/19	11:47:00	14:14:05	02:27:05	N-NE	strand
18/07/19	09:30:00	10:55:32	01:25:32	W-SW	strand
21/07/19	11:06:00	13:11:06	02:05:06	W-NW	strand
22/07/19	11:38:00	14:18:54	02:40:54	SW-W	strand
23/07/19	12:15:00	14:56:00	02:41:00	NE-SE	strand
24/07/19	12:58:00	15:29:45	02:31:45	W-SW	strand
25/07/19	13:54:00	16:23:27	02:29:27	E-SE	strand

Tabel 8: Kentering laag water Middelkerke

bron: eigen werk

datum	tijd hoog water	tijd waargenomen kentering	tijd tussen getij en kentering	windrichting	afbuiging boei
06/07/19	16:26:00	18:39:11	02:13:11	NW-N	strand
26/07/19	08:23:00	13:23:33	05:00:33	W-NW	strand
27/07/19	09:29:00	11:21:57	01:52:57	NW	strand
29/07/19	11:34:00	13:42:43	02:08:43	SW-NW-N	strand
30/07/19	12:28:00	15:27:25	02:59:25	S-SW	zee

Tabel 9: Kentering hoog water Middelkerke

bron: eigen werk

Uit tabellen 8 en 9 kunnen we bepalen dat de kentering in Middelkerke gemiddeld 2 uur en 20 minuten (SD = 26 minuten 54 seconden) na laag water plaats vindt. De kentering na hoog water wordt gemiddeld 2 uur en 51 minuten (SD = 1 uur 16 minuten 33 seconden) na hoog water geregistreerd. Deze gemiddelde waarden zijn duidelijk minder precies dan de geregistreerde gemiddeldes voor de andere badsteden, wat voor een aanzienlijk deel het gevolg is van twee opmerkelijke metingen die ver van de andere afwijken. Deze worden hieronder kort besproken.

Uit tabel 6 blijkt dat de meting van 26 juli 2019, met een waargenomen kentering van 5 uur na hoog water, heel ver boven de anderen uitsteekt. Voor de meting van 26 juli 2019 was het bepalen van de kentering niet makkelijk. De 4 rekenmethodes die besproken werden in hoofdstuk 7.2 geven voor deze meting geen resultaat; en ook de visuele methode leverde geen duidelijke kentering op. De waarde in Tabel 5 is in dit geval de best mogelijke visuele benadering van een omkering van de overheersende stroming, maar komt niet noodzakelijk overeen met de reële kentering. Dit kan aan een aantal factoren liggen. Zo was de boei relatief laat in het water gezet vergeleken met andere dagen, meer bepaald ruim twee uur na hoog water (zie bijlage 11.3). Dit zou er kunnen toe leiden dat de boei net voor/na het moment van kentering is geplaatst en dat zo de kentering na hoog water niet correct werd geregistreerd. Een andere verklaring zou kunnen zijn dat er op die datum een doodtij was, dat mogelijk een invloed heeft op het kenteren van de stroming. Verder bleek achteraf dat de boei die dag dicht bij de kust werd gedropt dan de andere dagen, wat bij laag water voor een slepen over de bodem gezorgd heeft.

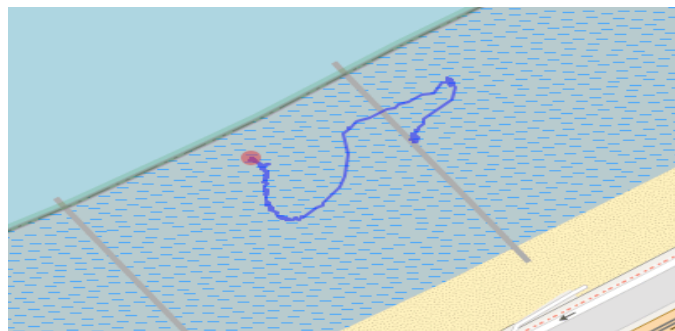
Een tweede meting die opvallend afwijkt van de andere metingen, vond plaats op 18 juli 2019 (zie tabel 8). Ook bij deze meting was het moeilijk om visueel de kentering vast te leggen. Dit kwam doordat er geen duidelijk moment van stilstand te zien is, wat men zou verwachten voordat de stroming omkeert. Op basis van het afgelegde traject van de boei, wordt vermoed dat het anker is losgekomen kort voor of na het moment van de kentering, waardoor de boei op drift is geslagen en een duidelijke vaststelling van de kentering niet meer mogelijk is. Ook in dit geval kon de kentering niet bepaald worden door de rekenmethodes besproken in hoofdstuk 7.2.

Zowel de meting van 26 juli 2019 als de meting van 18 juli 2019 wordt onvoldoende betrouwbaar geacht om mee te nemen in de analyse van de gegevens.

Indien men de gemiddelde kenteringen berekent zonder de twee bovenvermelde metingen, bekomt men volgende resultaten: in Middelkerke vindt de kentering gemiddeld 2 uur en 29 minuten (SD = 13 minuten 11 seconden) na laag water plaats. De kentering na hoog water wordt gemiddeld 2 uur en 18 minuten (SD = 28 minuten 35 seconden) na hoog water geregistreerd.

Verder werden in Middelkerke een paar fenomenen waargenomen waarvan er al het vermoeden was dat deze zouden voorkomen.

Als eerste is er het fenomeen dat de stroming een golfbreker volgt in plaats van er gewoon over te gaan. Dit wordt aangetoond op de afbeelding 1 hieronder.



Afbeelding 30: boei rond golfbreker

bron: eigen werk via Canway

Op afbeelding 30 is de meting van 6 juli 2019 te zien. Merk op dat de meting start op het rode punt. In tegenstelling tot andere metingen waar de boei in voldoende diep water werd gedropt, werd de boei op 6 juli 2019 aan de laagwaterlijn werd gelegd om zo door het opkomende getij opgepikt te worden. Eens er genoeg water onder de boei is voor een vrije beweeglijkheid, kunnen we zien dat de boei zich omhoog “krult” langs de golfbreker. Als het water verder opkomt en zo diep genoeg wordt dat de kracht van de stroming de aanzuigkracht van de golfbreker overwint, kunnen we zien dat de boei de golfbreker oversteekt.

Een tweede punt dat opviel is dat eens de stroming gekeerd is, de boei zich vrijwel parallel aan de kust voortbeweegt. Dit verschijnsel is duidelijk waarneembaar bij de eerder vermelde meting van 18 juli 2019 en wordt weergegeven in figuur 31.



Afbeelding 31: Parallele stroming

bron: eigen werk via Canway

De meting op afbeelding 31 start, net als in afbeelding 30, in het rode punt. Eens te water gelaten is onderaan links het traject in de vorm van een boog te zien waar de boei nog wordt tegengehouden door het anker. Op een bepaald ogenblik wordt de stroming echter te sterk en verliest het anker de grip op de bodem, zodat de boei loskomt en meegenomen wordt door de stroming. Nadat het anker is losgekomen kunnen we de beweging van de boei mooi volgen. Hierdoor is duidelijk zichtbaar dat de boei zich bijna parallel langs de kustlijn van Middelkerke voortbewoog, vooraleer ze in de avond door de redders weer werd opgepikt. Hierdoor kunnen we stellen dat in elk geval in Middelkerke de overheersende stroming op de dag van de meting parallel aan de kust loopt.

8.4 Oostende

In Oostende werden een totaal van zeven metingen uitgevoerd met een totaal van vijf gemeten kenteringen. Bij twee waarnemingen gaf de visuele bepalingsmethode van de kentering geen duidelijk antwoord, en konden ook de rekenmethodes van hoofdstuk 7.2 geen kentering bepalen. Alle geregistreerde kenteringen vonden plaats na hoog water. De resultaten voor Oostende worden samengevat in tabel 10.

datum	tijd hoog water	tijd waargenomen kentering	tijd tussen getij en kentering	windrichting	afbuiging boei
09/07/19	07:07:00	09:23:48	02:16:48	E-N	strand
10/07/19	08:13:00	10:34:35	02:21:35	S	strand
08/09/19	09:22:00	11:27:11	02:05:11	N-NE-N	strand
09/09/19	10:51:00	13:24:08	02:33:08	S-SW	zee
10/09/19	12:02:00	14:18:56	02:16:56	NW-W	strand

Tabel 10: Kentering hoog water Oostende

bron: eigen werk

Uit tabel 7 kunnen we bepalen dat de kentering in Oostende gemiddeld 2 uur en 19 minuten (SD = 10 minuten en 5 seconden) na hoog water gebeurt.

Verder kunnen we hier waarnemen dat de afbuiging van de boei in de meeste gevallen in de richting van het strand gebeurt behalve bij een afnemend getij (na de kentering na hoog water) en een zuid tot zuidwestelijke wind. Een gelijkaardige observatie geldt voor de metingen in Middelkerke.

8.5 Conclusies van het eigen onderzoek

Na het bekomen van de metingen en het berekenen van de resultaten bekomen uit die metingen, kunnen we volgende conclusies trekken:

Ten eerste wordt de kentering van de stroming dicht bij de kust vroeger waargenomen dan de voorgeschreven drie uur. Zo vindt de gemiddelde kentering na laag water voor de verschillende badplaatsen plaats tussen 2u.29 en 3u.02 na laag water. Als algemene gemiddelde tijd na laag water voor alle metingen samen, ongeacht badplaats, vinden we een gemiddelde van 2 uur en 44 minuten (SD = 18 minuten 38 seconden). De gemiddelde kentering na hoog water vindt in de verschillende badplaatsen tussen 2u.18 en 3u.35 na hoog water plaats. Hier bedraagt de algemeen gemiddelde tijd na hoog water, voor alle badplaatsen samen 2 uur en 26 minuten (SD = 28 minuten 33 seconden). Dit komt overeen met wat blijkt uit de enquête, waar 78,0% van de redders verwacht dat de kentering vroeger gebeurt dan aangegeven in de cursus.

Ten tweede kan men stellen dat indien men verder van de kust gaat (zoals in Koksijde), de kentering wel op ongeveer drie uur na het getij zal worden waargenomen. Ook deze waarneming bevestigt de uitkomst van de enquête, waarin de redders aangeven dat de voorgeschreven drie uur wel klopt dieper in zee, dicht bij de meetpalen.

Ten derde is de invloed van de wind niet te onderschatten, zoals bij de waarnemingen van het afbuigen van de boei is waargenomen. Zo bleek dat de boei na hoog water, dus met het afnemende getij, enkel richting zee afdrijft bij een zuid tot zuidwestelijke wind. Deze observatie komt niet overeen met de hypothese die initieel werd aangenomen, namelijk dat de boei na hoog water met het afnemende getij richting zee zou afdrijven.

Ten vierde kunnen we stellen dat stromingen zich nabij de kust, zonder verdere obstakels, zo goed als parallel aan de kust bewegen, zoals werd waargenomen in Middelkerke.

Als laatste is waargenomen dat stromingen zich in eerste instantie rond een golfbreker bewegen tot de stroming de aanzuigkrachten van de golfbreker overwint. Dit wordt in de enquête ook door de redders bevestigd.

De praktische aanbevelingen voor de redders kan dus als volgt worden samengevat: de kentering vindt vroeger plaats naar mate zich men dichtter naar het strand toe beweegt, wind heeft een grote invloed op de afdrijfrichting van objecten in het water, stromingen (en objecten/personen) bewegen zich nabij de kust parallel aan de kust en stromingen “krullen” zich in eerste instantie rond grote objecten (zoals golfbrekers) in het water.

8.6 Verbeterpunten

Na het uitvoeren van de proeven en het maken van de berekeningen en conclusies, zijn er een aantal bemerkingen naar boven gekomen die het onderzoek een stuk efficiënter hadden kunnen maken. Deze opmerkingen zouden ook van pas kunnen komen bij een eventueel vervolgonderzoek.

Ten eerste bleek de invloed van de wind toch zeer groot te zijn. Om de invloed van de wind te verminderen, kan bijvoorbeeld gewerkt worden met een boei die minder ver boven water uitsteekt. Een belangrijk aandachtspunt hierbij is wel dat het MRCC bepaalde eisen stelt in verband met zichtbaarheid en herkenbaarheid. Als de boei minder ver boven water uitsteekt, zou dit in conflict kunnen komen met de vereisten van het MRCC.

Verder zou men een GPS kunnen gebruiken met langere batterijduur zodat de boei eventueel een volledige dag in het water zou kunnen blijven liggen. Dit zorgt dan voor opeenvolgende metingen zonder onderbrekingen.

9 Algemene Conclusie

Stroming is als een horizontale verplaatsing van een watermassa, die op gang wordt gebracht door primaire krachten en van richting verandert door secundaire krachten. Onder de primaire krachten vallen de wind- en drukkrachten en onder de secundaire vallen de corioliskrachten en de viscositeit. Oppervlakteoceanstromingen ontstaan door alle bovengenoemde krachten en getijstromingen in kustwateren ontstaan door de aantrekkingskrachten van de hemellichamen in de buurt van de aarde in combinatie met de primaire en secundaire krachten.

In dit onderzoek wordt de stroming gemeten met behulp van de Lagrangiaanse methode waarbij de waterdeeltjes gevolgd worden door een GPS-logger.

Na het bepalen van wat stroming is en hoe deze gemeten kan worden, wordt een enquête besproken die werd afgenomen onder de strandredders om te vragen naar hun ervaringen betreffende stromingen. Uit deze enquête komt naar voor dat strandredders in hun dagelijkse werk rekening houden met een mogelijk tijdsverschil tussen de stroomtabellen en de effectieve kentering in de badzone. Om dit eventuele verschil te meten, wordt voor dit onderzoek gewerkt met een ankerboei met GPS-logger, gebaseerd op eerder onderzoek door het Waterbouwkundig Laboratorium en E. Van Driessche.

De proef bestaat eruit om de meetboei voor of kort na het uiterste getij in het water te plaatsen en deze dan de stroming te laten volgen. Het traject van de boei en dus ook het omkeren van de stroming wordt met een GPS-logger vastgelegd.

Na het verzamelen van de meetresultaten, worden deze resultaten in het verwerkingsprogramma R verrekend om zo het moment van kentering te bepalen. Nadien worden de resultaten vergeleken met de theoretische waarden uit de reddercursus.

Uit de eigen meetcampagne kunnen we volgende conclusies trekken.

Ten eerste wordt de kentering van de stroming dicht bij de kust vroeger waargenomen dan de voorgeschreven drie uur. Zo vindt de gemiddelde kentering gemiddeld 2 uur en 44 minuten (SD = 18 minuten 38 seconden) na laag water plaats. De gemiddelde kentering na hoog water vindt gemiddeld 2 uur en 26 minuten plaats (SD = 28 minuten 33 seconden) na hoog water plaats.

Ten tweede kan men stellen dat indien men verder van de kust gaat (zoals in Koksijde), de kentering wel op ongeveer drie uur na het getij zal worden waargenomen.

Ten derde is de invloed van de wind niet te onderschatten, zoals door de waarnemingen van het afbuigen van de boei wordt bevestigd. De boei blijkt bij de kentering na hoog water vaak niet richting zee af te drijven, wat een gevolg zou kunnen zijn van de aanlandse wind.

Ten vierde kunnen we stellen dat stromingen zich nabij de kust, zonder verdere obstakels, zo goed als parallel aan de kust bewegen, zoals waargenomen in Middelkerke.

Als laatste is waargenomen dat stromingen zich in eerste instantie rond een golfbreker bewegen tot de stroming de aanzuigkrachten van de golfbreker overwint. Hiermee bevestigt de meetcampagne de belangrijkste punten die door de kustredders werden gemeld in de enquête, en ondersteunt ze de bevindingen van de kustredders dat de kentering in de badzone veeleer vroeger dan 3 uur na hoog of laag water plaatsvindt.

10 Bibliografie

- [1] American meteorological society (z.d.) 'Ocean Motion : Background : Ocean in Motion - Ekman Transport'. <http://oceanmotion.org/html/background/ocean-in-motion.htm> (Geraadpleegd 9 maart 2018).
- [2] Canada GPS (z.d.) 'Canmore GT-730FL-S Data Logger / USB GPS Receiver - Smallest Dimension & Lowest Power Consumption (65 Channels, WAAS, A-GPS, 256,000 Waypoints, Windows, Mac, Linux Compatible)'. <http://www.canadagps.com/CanmoreGT-730FL-S.html> (Geraadpleegd 13 mei 2020).
- [3] Chegg Study (z.d.) 'Chegg.com'. <https://www.chegg.com/homework-help/definitions/radial-and-transverse-components-5> (Geraadpleegd 22 april 2018).
- [4] Cheng, J., Karambelkar, B., Xie, Y., Wickham, H., Russell, K., Johnson, K., Schloerke, B., e.a. (2019) *leaflet: Create Interactive Web Maps with the JavaScript 'Leaflet' Library*. <https://CRAN.R-project.org/package=leaflet> (Geraadpleegd 15 mei 2020).
- [5] Dan, S., Vereecken, H., Levy, Y., De Backer, E., Verwaest, T. en Mostaert, F. (z.d.) 'Hydrodynamic conditions Blankenberge area. Sub report 1. Drifter...'. www.vlaanderen.be. <https://www.vlaanderen.be/publicaties/hydrodynamic-conditions-blankenberge-area-sub-report-1-drifter-measurements-june-2013> (Geraadpleegd 17 mei 2020).
- [6] Dan, S., Vereecken, H., Levy, Y., Delgado, R., De Backer, E. en Mostaert, F. (z.d.) 'Hydrodynamic climate for the vicinity of Blankenberge harbor: Campaign June July 2013. Version 2_0. WL Rapporten. Antwerpen, België: Flanders Hydraulic Research, 2014.'
- [7] Dean, P. (z.d.) 'Canmore GT-730FL-S GPS data logger review | Pete's ponderings'. <https://peterdean.co.uk/wpblog/?p=218> (Geraadpleegd 16 mei 2020).
- [8] Egmondse Reddingsbrigade (2012) 'Let op levensgevaarlijke muistromen!' *Reddingsbrigade Egmond*. <https://www.reddingsbrigade.info/2012/08/08/let-op-levensgevaarlijke-muistromen/> (Geraadpleegd 9 mei 2018).

- [9] 'Euler and Lagrange descriptions' (z.d.) http://fisica.unipv.it/Mihich/FM/7-PDF_1_sect05.pdf
- [10] Feistel, R. en Hagen, E. (z.d.) 'MEASUREMENT TOOLS: WATER SYSTEMS (OCEANS)'. <https://www.eolss.net/Sample-Chapters/C09/E4-20-01-03B.pdf>
- [11] IKWV NL (z.d.) 'opleiding - IKWV NL'. <http://www.redderaanzee.be/opleiding.html> (Geraadpleegd 15 mei 2018).
- [12] Jacobs, W. (z.d.) *CURSUS METEOROLOGIE EN OCEANOGRAPHIE*.
- [13] JeroenvB (2019) 'Integrated development environment'. *Wikipedia*. https://nl.wikipedia.org/w/index.php?title=Integrated_development_environment&oldid=53295626 (Geraadpleegd 15 mei 2020).
- [14] Knowles, E. (z.d.) 'Chapter09Part1'. <http://www4.ncsu.edu/~ceknowle/chapter07/part1.html> (Geraadpleegd 8 mei 2018).
- [15] 'Leaflet — an open-source JavaScript library for interactive maps' (z.d.) <https://leafletjs.com/index.html> (Geraadpleegd 15 mei 2020).
- [16] Mediawiki (z.d.) 'OpenStreetMap Foundation'. https://wiki.osmfoundation.org/wiki/Main_Page (Geraadpleegd 15 mei 2020).
- [17] 'Meetnet Vlaamse Banken' (z.d.) </nl/meetnet-vlaamse-banken> (Geraadpleegd 8 mei 2018).
- [18] Mei, C. C. (2001) 'Advanced Environmental Fluid Mechanics'. http://web.mit.edu/fluids-modules/www/basic_laws/1-1-LagEul.pdf
- [19] Neumann, G. (1968) *Ocean Currents*. Burlington: Elsevier. http://www.123library.org/book_details/?id=41465 (Geraadpleegd 12 augustus 2018).

- [20] NIWA (2011) 'Water Flow Instruments'. NIWA. <https://www.niwa.co.nz/our-services/instruments/instrumentsystems/products/water-flow-instruments> (Geraadpleegd 24 maart 2018).
- [21] Price, J. F. (2006) 'Lagrangian and Eulerian Representations of Fluid Flow: Kinematics and the Equations of Motion'. Woods Hole Oceanographic Institution. <http://www.whoi.edu/science/PO/people/jprice/class/ELreps.pdf>
- [22] Roberti, H. (z.d.) 'Measuring instruments for fluid velocity, pressure and wave height - Coastal Wiki'. http://www.coastalwiki.org/wiki/Measuring_instruments_for_fluid_velocity,_pressure_and_wave_height (Geraadpleegd 24 maart 2018).
- [23] Rogers, D. (1991) *Waves, tides, and currents*. New York: Bookwright Press.
- [24] RStudio (z.d.) 'RStudio'. <https://rstudio.com/products/rstudio/> (Geraadpleegd 15 mei 2020).
- [25] RStudio (z.d.) 'Shiny'. <https://rstudio.com/products/shiny/> (Geraadpleegd 15 mei 2020).
- [26] Simanek, D. E. (z.d.) 'Misconceptions about tides.' <https://www.lockhaven.edu/~dsimanek/scenario/tides.htm> (Geraadpleegd 12 juli 2018).
- [27] Subramaniam, G. (z.d.) 'Explain the factors responsible for the origin of ocean currents. How do they influence regional climates, fishing and navigation? - Quora'. <https://www.quora.com/Explain-the-factors-responsible-for-the-origin-of-ocean-currents-How-do-they-influence-regional-climates-fishing-and-navigation> (Geraadpleegd 9 maart 2018).
- [28] Sündermann, J. en Pohlmann, T. (z.d.) 'A brief analysis of North Sea physics'. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0078323411500193>
- [29] The open university (z.d.) 'The oceans'. *OpenLearn*. <http://www.open.edu/openlearn/science-maths-technology/the-oceans/content-section-0> (Geraadpleegd 8 mei 2018).

- [30] Thorpe, S. A. (2009) *Encyclopedia of ocean sciences: ocean currents*. London: Academic Press. <http://public.eblib.com/choice/publicfullrecord.aspx?p=648826> (Geraadpleegd 12 augustus 2018).
- [31] Time and date (z.d.) 'Weather in juli 2019 in Ostend Port, Belgium'. <https://www.timeanddate.com/weather/@9828972/historic?month=7&year=2019> (Geraadpleegd 16 mei 2020).
- [32] US Department of Commerce (z.d.) 'NOAA's National Ocean Service Education: Currents: How Are Currents Measured?'. <https://oceanservice.noaa.gov/education/kits/currents/07measure1.html> (Geraadpleegd 24 maart 2018).
- [33] US Department of Commerce (z.d.) 'Ocean currents | National Oceanic and Atmospheric Administration'. <http://www.noaa.gov/resource-collections/ocean-currents> (Geraadpleegd 9 maart 2018).
- [34] US Department of Commerce, N. O. and A. A. (z.d.) 'What causes ocean currents?'. <http://oceanexplorer.noaa.gov/facts/currents.html> (Geraadpleegd 9 maart 2018).
- [35] US geological survey (2013) *Techniques and Methods*. Techniques and Methods
- [36] Valeport (z.d.) 'Current Meters, Single Point Meter, Direct Reading, Self Recording'. *Current meters*. <https://www.valeport.co.uk/Products/Current-Meters> (Geraadpleegd 24 maart 2018).
- [37] Van Dessel, L. (2012) *Plaatsbepalings- en detectiesystemen op zee* 2de dr. Linda Van Dessel.
- [38] Van Driessche, E. (2016) 'Kentering na hoog water in de Belgische badzone'. Masterthesis. Antwerpen, België: Hogere Zeevaartschool Antwerpen.
- [39] Van Langenhoven, P. (z.d.) *Nautical Publications, Part 2* *Transition from paper navigation to digital navigation*.
- [40] Vlaamse overheid (z.d.) 'Vlaamse Hydrografie'. /nl/vlaamse-hydrografie (Geraadpleegd 24 maart 2018).

- [41] WOBRA (2017) 'Getijden- en Stromingsleer'.
http://www.redderaanzee.wobra.be/MEDIA/cursussen/HFK3_versie%202017.pdf
- [42] WOBRA (z.d.) 'Redder Aan Zee'.
<http://www.redderaanzee.wobra.be/cursus1718.html#Cursussentheorie>
(Geraadpleegd 24 maart 2018).
- [43] www.surveio.com, all: S.- (z.d.) 'Online Survey Software | Create Free & Beautiful Survey | Survio.com'. *Survio*. <https://www.surveio.com/en/> (Geraadpleegd 16 mei 2020).

11 Bijlagen

11.1 Vragen enquête

- De plaats van uw redderpost
- Wat vindt u van de uitleg over stromingen in de reddercursus gegeven door WOBRA?
- Wat vindt u van de gebruikte meetmethoden voor het opstellen van de stroomtabellen, zoals de meetpalen en meetboeien in zee?
- Is er volgens u een verschil tussen stromingen gemeten aan de meetpalen (zoals beschreven in de reddercursus) en de stromingen waargenomen in de zwemzone aan het strand?
- Houdt u tijdens uw reddingswerk rekening met een (mogelijk) tijdsverschil tussen de stromingen gemeten aan de meetpalen (zoals in de cursus) en de stromingen waargenomen aan het strand?
- Wanneer is het voor u het gevaarlijkst om een operatie uit te voeren?
- Hebt u al (zware) gevolgen/ongevallen meegemaakt door een foutieve inschatting van het getij?
- Welke is de gevaarlijkste kentering?
- Zijn de stromingen bij slecht weer verschillend van de stromingen bij goed weer? Versta onder slecht weer: wind van meer dan 5 Bft, extreem getij (springtij/doodtij), hoge deining.
- Zijn er verschillen in stroming/kentering bij doodtij of springtij?
- Ondervindt u variaties in de stromingen door obstakels (pielen, zandbanken, golfbrekers...)?

11.2 Goedkeuringsdocument MRCC Oostende

AGENTSCHAP
MARITIEME
DIENSTVERLENING en
KUST

afdeling Scheepvaartbegeleiding
T.a.v. Kapt. Réjane Gyssens
Maritiem Plein 3
8400 OOSTENDE
T 059 25 54 59
rejane.gyssens@mow.vlaanderen.be

D'Hollandere Thomas

Uw bericht van
12/07/2019

Uw kenmerk

Ons kenmerk

MRCC/JH/77.2-16EN-U-15-

Vragen naar/e-mail

Dries Boodts
dries.boodts@mow.vlaanderen.be

Telefoonnummer

059/255.460

Datum

16/07/2019

Betreft: 19073 Bijzondere voorwaarden voor het uitzetten van onderzoeksboei nabij de stranden

Geachte,

Als gevolg van uw aanvraag d.d. 12/07/2019 legt ondergetekende, Kapt. Réjane Gyssens, nautisch dienstchef MRCC – afdeling Scheepvaartbegeleiding, bijzondere voorwaarden op voor het uitzetten van een onderzoeksboei nabij de stranden

Beschrijving van de activiteiten:

Het doel van de boei is het bepalen van de kenteringen van de stromingen in de Belgische badwateren ten gevolge van de kering van de getijden.

De boei wordt met 60 meter touw vastgemaakt aan een anker ter voorkoming van het afdrijven en wordt geplaatst/gerecupereerd met behulp van de RHIB's van de strandreddingsdienst (IKWV).

De boei wordt in de ochtend geplaatst wanneer de redders op het strand komen (10u30), of ten vroegste om 08u00 indien zo te regelen met de reddingsdiensten.

De boei wordt geplaatst met behulp van de reddingsboten, onder toezicht van de redders.

De boei wordt in de avond gerecupereerd door de redders wanneer deze stoppen met werken (18u00 → 18u30).

Gedurende de tijd dat de boei in het water ligt, volgt deze de stroming rond zijn verankering (maximaal een cirkel met straal 60m).

Locatie en periode

AGENTSCHAP
MARITIEME
DIENSTVERLENING en
KUST

Oostende: (rode gebied)

periode: 07/09/2019 → 11/09/2019



Middelkerke: (Rode gebied)

periode: 18/07/2019 → 31/07/2019



AGENTSCHAP
MARITIEME
DIENSTVERLENING en
KUST

Kokside: (rode kleur)

periode: 29/08/2019 → 05/09/2019



De Panne: (rode kleur)

periode: 01/08/2018 → 03/08/2019



Betrokken vaartuigen

RHIB's IKWW

Ingezette materialen

meetboei

Veiligheidsmaatregelen

De boei dient elke avond uit het water gehaald te worden. Wanneer dit niet gebeurt dient , ongeacht de reden, het MRCC steeds telefonisch op de hoogte gebracht te worden.

De Vlaamse Overheid, Agentschap voor Mobiliteit en Openbare Werken, Maritieme Dienstverlening & Kust, afdeling Scheepvaartbegeleiding kan in geen geval door het afleveren van deze vergunning enige verantwoordelijkheid worden opgelegd.

Hoogachtend,

Dries
Boodts
(Signature)

Digitaal
ondertekend door
Dries Boodts
(Signature)
Datum: 2019.07.16
14:03:00 +02'00'

In opdracht van
Kapt. Réjane Gyssens
Nautisch Dienstchef
Celhoofd MRCC-SA

11.3 Info van de metingen

Het bestand “overzicht metingen stromingen zomer 2019.ods” betreft een LibreOffice Calc bestand met verschillende tabbladen.

Het eerste tabblad bevat een tabel met de datum van elke uitgevoerde meting, de plaats van de meting, de momenten waarop de boei in het water is geplaatst, een weergaven van de getijden en windsnelheden van de dag van meting, een korte weergaven van speciale gebeurtenissen van die dag en de datum waaronder de meting was opgeslagen op de GPS.

Het tweede tabblad bevat een uitbreiding op het eerste tabblad met de weergaven van de resultaten bekomen uit de visuele verwerking (met de app) met R. Dit omvat onder andere het metingsnummer waarop de kentering wordt waargenomen, de tijd van die meting, de omvorming van de waargenomen tijd naar werkelijke tijd en het tijdsverschil tussen de werkelijke tijd kentering en hoog/laag water.

De tabbladen die daarop volgen bevatten opnieuw de verwerking tussen waargenomen tijden van kenteringen en de getijden, ditmaal geordend volgens badplaats en hoog- of laag water. Hiervoor werden dan ook telkens de gemiddelde tijdsverschillen berekend.

11.4 De metingen

Dit betreft een bestandsmap met verschillende sub-mappen. De naam van de hoofdmap is “metingen thesis” en de namen van de verschillende sub-mappen zijn respectievelijk Blankenberge, De Panne, Koksijde, Middelkerke en Oostende. In de sub-mappen bevinden zich telkens alle metingen betreffende die locatie. Elke meting komt in twee formaten voor: .gpx en .csv.

Verder kan men hier ook de verschillende verwerkingsprogramma's voor het rekenprogramma R terugvinden.

11.5 Verwerkingsprogramma R

Het Script “metingen(1).R”, toegevoegd als elektronische bijlage, bevat R-code voor het eerste verwerkingsprogramma, zoals beschreven in 7.1.

Het script “metingen-v2.R”, toegevoegd als elektronische bijlage, bevat R-code voor het tweede verwerkingsprogramma, zoals beschreven in 7.2.

Het script “app(1) aanpassing.R”, toegevoegd als elektronische bijlage, bevat R-code voor het derde verwerkingsprogramma, zoals beschreven in 7.3.