

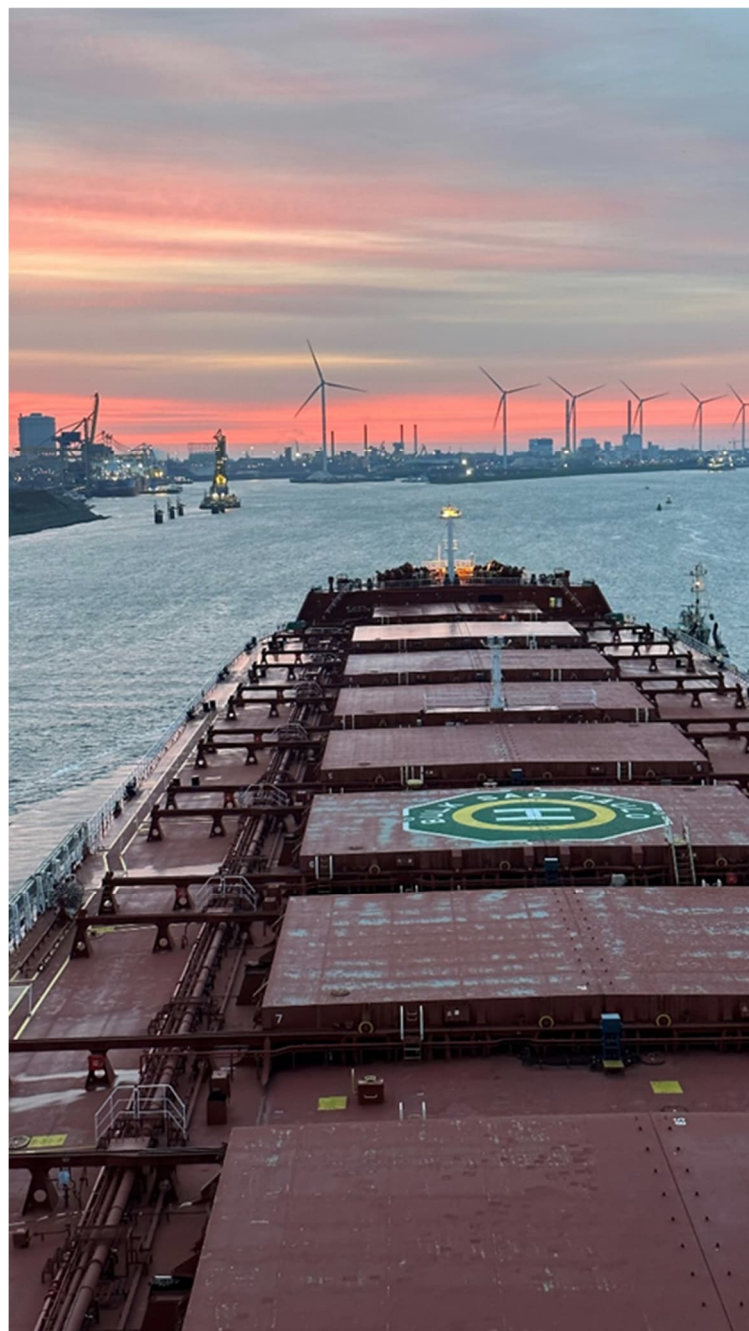


Tijpoortregeling IJgeul

"Groene Boekje"

RWS INFORMATIE

Datum	juli 2025
Versie	6.0
Status	DEFINITIEF



Inhoud

Lijst met tabellen 4

Lijst met figuren 4

1	Inleiding 5
1.1.	De geschiedenis van de tijpoortregeling 5
2	AANLOOP EN GEUL 8
2.1.	Algemeen 8
2.2.	Geulschematisatie 9
3	DE PROBABILISTISCHE TIJPOORTREGELING 12
3.1.	Algemeen 12
3.2.	Veiligheidscriteria 12
3.2.1.	Meerjarig criterium: 12
3.2.2.	Individuele vaartcriterium: 13
3.2.3.	Manoeuvrermarge: 13
3.2.4.	Stroomcriterium: 13
3.2.5.	Deiningcriterium: 13
3.3.	Probabilistische tijpoortberekening 14
3.3.1.	Verwachtingen 14
3.3.2.	Scheepsgegevens 17
3.3.3.	Scheepsbewegingen 18
3.3.4.	Tijd-weg diagram 19
3.3.5.	Snelheidsregime 20
3.3.6.	Toepassing Veiligheidscriteria 22
3.3.7.	Onzekerheden, onnauwkeurigheden en spreiding 24
4	EVALUATIE VAN DE TIJPOORTREGELING 26
4.1.	Kwaliteitsborging 26
4.2.	Evaluatie aan de hand van historische data 26
4.3.	Ervaringen in de praktijk 26
5	HET TIJPOORTADVIES 28
5.1.	Algemeen 28
5.2.	De website 28
5.3.	Het online tijpoortformulier 28
5.3.1.	Grafiek UKC 29
5.3.2.	Grafiek Roll and Pitch 30
5.3.3.	Grafiek Wave Spectrum 31
5.3.4.	Grafiek Vertical Motion 32
5.3.5.	Verondiepingen 32
5.4.	Het pdf tijpoortformulier 32
5.5.	De tijpoortsamenvatting 32
6	BEGRIPPENLIJST 34
7	Literatuur 37

BIJLAGEN 38

Diepgangsvermeerdering door slingeren, uitgedrukt in meters 39

Diepgangsvermeerdering door stampen uitgedrukt in meters 41

Diepgangsvermeerdering door snelheid (squat) 43

Squat tabel 45

Padbreedte 47

Draaicirkelgegevens 49

Schaal van Beaufort 51

“Fact sheet”: Tidal bound navigation in the IJgeul

Lijst met tabellen

Tabel 2-1 Gegevens van de geulsegmenten 10

Tabel 3-1 Locaties voor modelgegevens 16

Tabel 3-2 Vaartijden en vaarsnelheden 22

Lijst met figuren

Figuur 2-1 Overzicht aanlooproute en aanloopgebied 8

Figuur 2-2 Schematisatie van de toegangsgeul met posities lichtboeien IJ-1 en IJ-9 9

Figuur 2-3 Schematisatie van het binnengebied 9

Figuur 3-1 Modelverwachtingen (korte termijn en astronomisch) in Matroos viewer 15

Figuur 3-2 Verwachtingen in Waterberichtgeving 15

Figuur 3-3 schematische voorstelling van de verticale striptheorie 18

Figuur 3-4 Tijd-weg diagram van de geulvaart 19

Figuur 3-5 Tijd-weg diagram uit Protide met veilige punten, tijpoort, vaarplan en stroomuitsluiting 20

Figuur 3-6 NMS recordings van snelheidsverloop langs de geul 21

Figuur 3-7 Vertaling naar snelheidsregime in Protide 21

Figuur 3-8 kans op bodemberoering langs de geul en criteriumwaarden 23

Figuur 3-9 Verloop van kans op bodemberoering bij afnemende kielspeling (voorbeeld)

1 Inleiding

Van oorsprong is "het groene boekje" een benaming die gebruikt werd voor de beschrijving van de Euro-Maasgeul met zijn tijpoortregeling. De kaft was namelijk groen...

Het "groene boekje" voor de IJgeul is bestemd voor degenen, die van overheidswege of in opdracht van de overheid betrokken zijn bij de vaart met tijgebonden schepen naar de haven van IJmuiden.

De inhoud bestaat uit een beschrijving van de vaarroute naar de haven van IJmuiden. Vervolgens wordt achtergrondinformatie gegeven betreffende het vaargeulontwerp. Een belangrijk onderdeel vormt echter de beschrijving van en de vaststelling van de te volgen procedures om te komen tot de samenstelling van een tijpoort. Het boekje is tot slot aangevuld met bijlagen uit vorige versies van het "groene boekje".

De tijpoortregeling wordt gebruikt om, rekening houdend met de hydro/meteo omstandigheden en de karakteristieken van het schip, de tijdvensters te bepalen waarbinnen een geulvaart veilig kan plaatsvinden.

Naast een noodzakelijke vastlegging van processen en procedures biedt dit boekwerk ook een inzicht in het tijpoortproces. Dit zal bijdragen tot een hogere transparantie en commitment voor het gebruik van de procedures. Een vlotte en veilige vaart kan alleen bestaan bij een goede, gedragen en begrepen tijpoortadvisering.

1.1. De geschiedenis van de tijpoortregeling

In 1971 verscheen het "groene boekje" met informatie over de vaart met Euro-Maasgeul gebonden schepen naar de haven van Rotterdam, uitgegeven door Rijkswaterstaat (RWS) in overleg met het voormalig Rijkslodswezen, de Rijkshavendienst en het Gemeentelijk Havenbedrijf Rotterdam (GHR). Naar aanleiding van de vernieuwde tijpoortregeling is in 2007 een nieuwe versie van het Groene Boekje verschenen.

Voor de IJgeul is in 2005 daadwerkelijk begonnen om een tijpoortregeling op probabilistische basis te ontwikkelen. In tegenstelling tot de tot dusver gebruikte methode met vaste kielspelingspercentages biedt de probabilistische methode de mogelijkheid om bij gunstige omstandigheden meer en/of ruimere tijpoorten uit te geven, of om dan schepen met een grotere diepgang toe te laten. De vaste UKC is namelijk onnodig groot bij goed weer terwijl deze onder zeer ongunstige omstandigheden (grote verticale scheepsbewegingen) juist te klein zou kunnen zijn en dus onvoldoende veilig. In combinatie met een verlenging en een verdieping van de geul heeft de invoering van de probabilistische tijpoortregeling geleid tot het toelaten van diepgangen tot maximaal 17,80m s.w.¹.

¹ 'sea water', de diepgang in zout water ter onderscheid van diepgang in zoet water ('f.w.')

Centraal Nautisch Beheer (CNB)

Diverse instanties in de regio (waaronder de gemeenten Velsen, Beverwijk, Zaanstad en Amsterdam) hebben met Rijkswaterstaat een gezamenlijk convenant gesloten ten behoeve van het nautisch beheer in het Noordzeekanaalgebied. Op 1 april 1994 is het openbaar lichaam Centraal Nautisch Beheer Noordzeekanaalgebied opgericht waarvan de divisie Havenmeester van Havenbedrijf Amsterdam als uitvoerende instantie is aangewezen.

In april 2013 is het mandaatbesluit aangepast: de Directeur-Generaal Rijkswaterstaat verleent mandaat voor de nautische rijkstaken en bevoegdheden aan de directeur van het Centraal Nautisch Beheer Noordzeekanaalgebied.

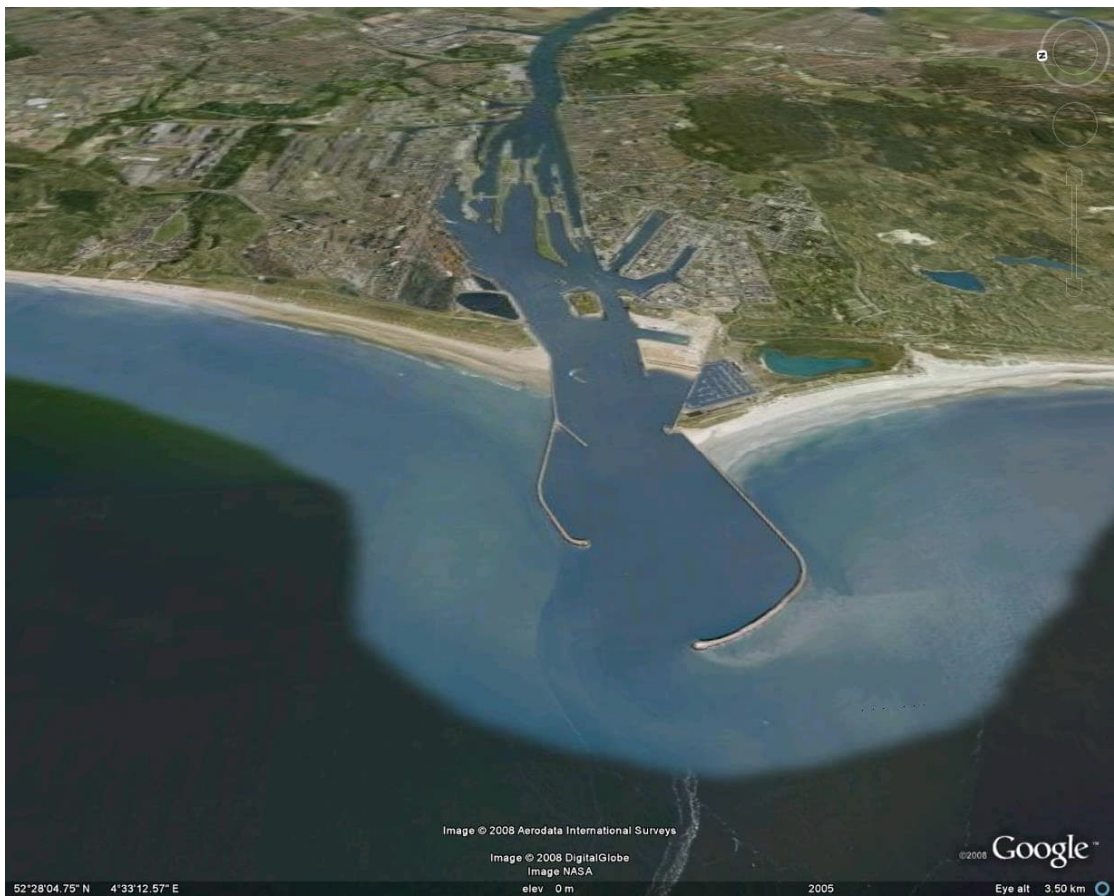
Hieronder vallen de volgende taken en bevoegdheden:

- **Scheepvaartverkeerswet (Svw)**
Het namens het bevoegd gezag zorg dragen voor vlotte, veilige en milieuverantwoorde afwikkeling van het scheepvaartverkeer.
- **Besluit administratieve bepalingen scheepvaartverkeer (BABS)**
Het namens het bevoegd gezag uitoefenen van de bevoegdheden als bedoeld in het Besluit administratieve bepalingen scheepvaartverkeer.
- **Binnenvaartpolitiereglement (BPR)**
Het namens de bevoegde autoriteit BPR uitoefenen van de bevoegdheden.

Bij brief d.d. 22 april 2006 van de HID RWS Noordzee (NZ) en de HID RWS NH is aan het CNB tijdelijk mandaat verleend voor het uitvoeren van nautische rijkstaken op de zeemijlen 12 tot en met 23 in de IJgeul op de Noordzee. Deze regeling maakt geen deel uit van het onderhavige mandaatbesluit, maar blijft als zelfstandig besluit bestaan.

Verkeersleiding

De operationele planning en afwikkeling van het scheepvaartverkeer in het beheersgebied van het CNB is belegd bij de afdeling Operatie van de divisie Havenmeester van het Havenbedrijf Amsterdam. De tijpoorten voor IJgeul gebonden schepen worden door het HMC geleverd. Hiertoe zijn per 1 maart 2015, tussen het HMC en afdeling Operatie HbA werkafspraken gemaakt.



Aanloop IJmuiden (Google Earth)

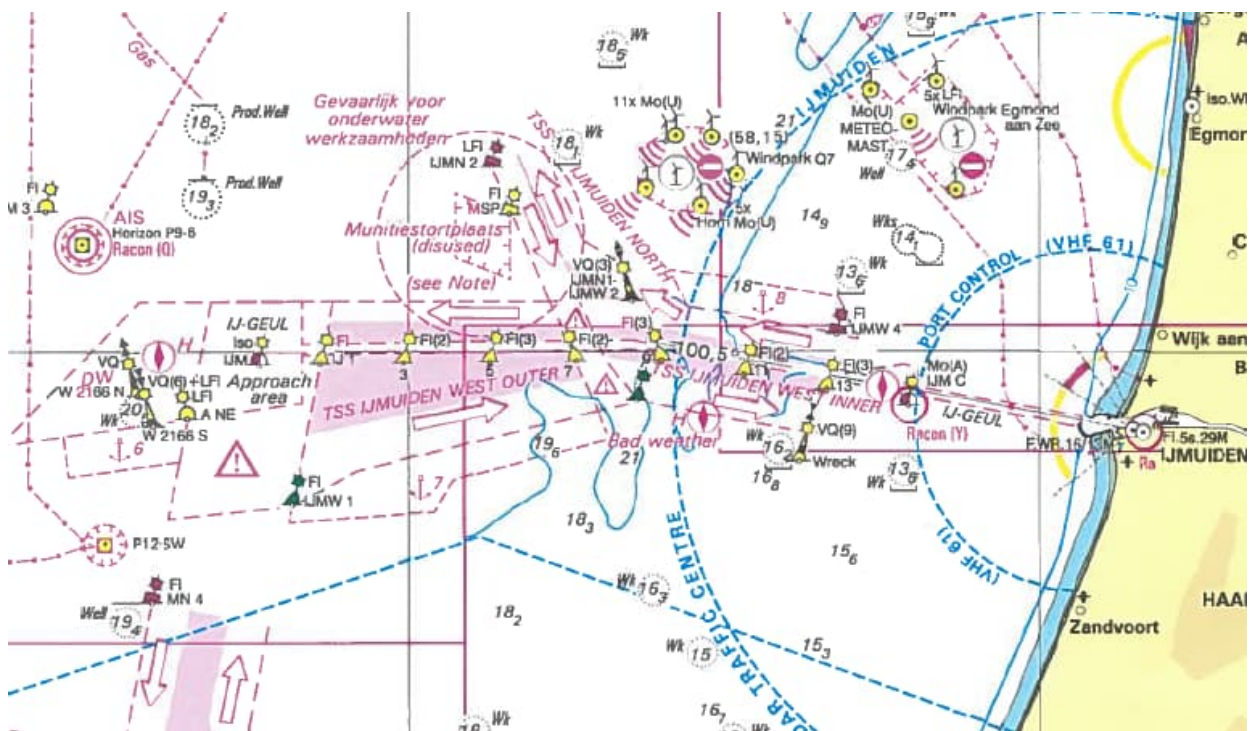
2 AANLOOP EN GEUL

2.1. Algemeen

Vanaf de Zuidelijke Noordzee, via de Selected Route en het Aanloopgebied is de haven van Amsterdam via de toegangsgeul, de IJgeul, bereikbaar voor schepen met een diepgang tot en met 17,80 m s.w. (zie figuur 2.1). Schepen met een diepgang $> 14,1\text{m}$ en $\leq 17,80\text{m}$ s.w. zijn IJgeul gebonden. Deze schepen zijn verplicht om, met behulp van een vaarplan welke gerelateerd is aan een tijpoortadvies, gebruik te maken van het aanloopgebied en de IJgeul.

Schepen met een aankomst diepgang tussen de 12,60 m en 14,10 m s.w. worden gezien als stroomgebonden. Zij zijn niet verplicht gebruik te maken van de IJgeul maar zullen veelal de havenmond passeren volgens een opgezet vaarplan gerelateerd aan een tijpoortadvies (waarvoor de dwarsstroomsnelheid ten hoogste 1 knoop is).

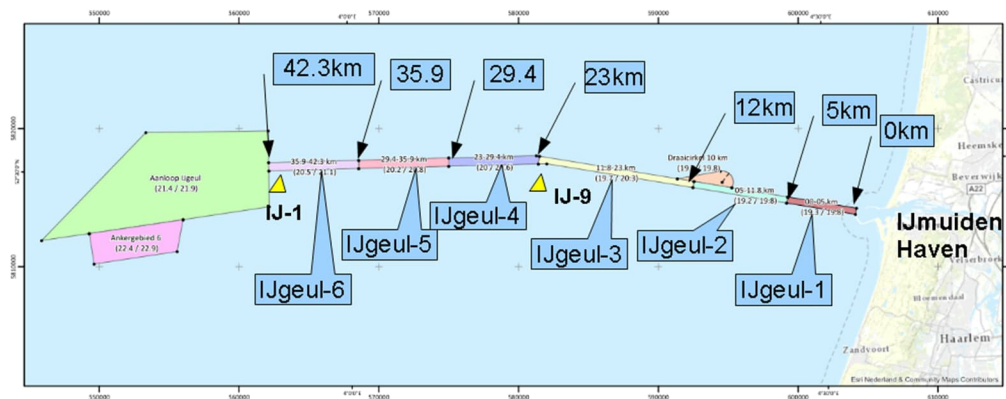
Een tijpoort geeft aan gedurende welke tijdsperiode van het verticale- en horizontale getij de geulvaart met tijgebonden schepen kan plaatsvinden. De tijpoort is dus de periode welke beschikbaar is voor een veilige vaart.



Figuur 2-1 Overzicht aanlooproute en aanloopgebied

2.2. Geulschematisatie

De toegangsgeul wordt geschematiseerd tot een aantal *segmenten* achter elkaar, waarbij een segment een geuldeel met constante richting en diepte is. Voor de tijpoortberekeningen is per segment een contante diepte gebruikt (de nautisch gegarandeerde diepte, NGD). Dit is een veilige benadering: op de meeste plaatsen en meestal is de geul dieper.



Figuur 2-2 Schematisatie van de toegangsegeul met posities lichtboeien IJ-1 en IJ-9

De lengte van segmenten wordt alleen bepaald door veranderingen in NGD en/of geulrichting. Voor de tijpoortberekening speelt de segmentgrens verder geen rol.

Het nulpunt voor de geulcoördinaat (referentiepunt) is de havenmond. Voorbij de havenhoofden worden negatieve getallen gebruikt. De schematisatie van het binnengebied met drie mogelijke ligplaatsen (IJ-palen, Buitenkade II – West en Buitenkade II – Oost) is in de volgende figuur aangegeven.



Figuur 2-3 Schematisatie van het binnengebied

De gegevens van de achtereenvolgende segmenten is in onderstaande tabel weergegeven.

Tabel 2-1 Gegevens van de geulsegmenten

Traject	Segment Naam	Van (km)	Tot (km)	lengte m	Richting deg	Diepte LAT m
1	IJgeul-6	42.342 (IJ-1)	35.9	6442	89.2	20.4
	IJgeul-5	35.9	29.429	6471	89.2	20.2
	IJgeul-4	29.429	23 (IJ-9)	6429	89.2	19.9
2	IJgeul-3	23 (IJ-9)	12	11000	100.5	19.6
	IJgeul-2	12	5	7000	100.5	19.2
	IJgeul-1	5	0 – Referentiepunt Havenhoofden	5000	100.5	19.3
3	Nieuwe Buitenhaven	0 (Referentiepunt)	-1.420 (Oude Havenhoofd)	1420	100.5	19.5
	Oude Buitenhaven	-1.420 (Oude Havenhoofd)	-2.750	1330	77	18.9
	NBK part-1	-2,750	-3.475	725	77	18.9
	Ligplaats IJ-palen	-3.475	-3.785	310	77	18.5
4	NBK part-2	-3.475	-3.895	420	65	17.6
	Ligplaats Buka2W	-3.895	-4.195	300	59	17.0
	Bagger vak F	-3.895	-4,150	255	65	18.4
	Bagger vak E	-4.150	-4.450	300	65	16.0
	Ligplaats Buka2O	-4.450	-4.740	290	59	15.0

In de IJgeul schematisatie worden vier trajecten onderscheiden, nl:

- Traject 1: IJ-1 tot IJ-9;
- Traject 2: IJ-9 tot het referentiepunt (havenhoofden);
- Traject 3: (binnen gebied) referentiepunt tot ligplaats IJ-palen;
voor IJgeul gebonden schepen is deze ligplaats bereikbaar met behulp van de probabilistische tijpoortregeling (v.v.);
- Traject 4: (binnen gebied) IJ-palen tot ligplaatsen Buka2W en Buka2O;
Voor IJgeul gebonden schepen kan een tijpoort tot deze ligplaatsen berekend worden waarbij rekening gehouden wordt met eventueel wachten in de haven tot er voldoende water staat op de ligplaats.

v.v.: Met de vigerende tijpoortregeling (Protide) kunnen ook tijpoorten van bovengenoemde ligplaatsen naar zee worden verstrekt. De vertrekdiepgang mag (i.v.m. sterk wisselende saliniteit in de buitenhaven) echter nooit groter zijn dan de maximaal toegestane aankomstdiepgang voor die ligplaats.

De gehanteerde diepten zijn de nautisch gegarandeerde diepten. Vanwege onnauwkeurigheden bij het loden en vanwege de kans op plotselinge aanzandingen en aanslibbingen, die vooral ten gevolge van stormen kunnen voorkomen, worden de geultrajecten 1 en 2 en het Binnengebied (traject 3) onderhouden op een niveau dat onder de nautisch gegarandeerde diepte ligt. In de praktijk is er dus een overdiepte aanwezig. In de berekening van de tijpoorten is deze overdiepte echter niet meegenomen.



Noorder havenhoofd IJmuiden.

3 DE PROBABILISTISCHE TIJPOORTREGELING

3.1. Algemeen

De tijpoortregeling is gebaseerd op de probabilistische ontwerpmethod, die normaliter toegepast wordt bij het ontwerp van bijvoorbeeld waterbouwkundige constructies. Hierbij wordt de faalkans van de constructie berekend, waarna de kosten van dat falen kunnen worden afgewogen tegen de kosten van een zwaardere constructie, waarmee de faalkans kleiner wordt. Uiteindelijk wordt dan een bepaalde faalkans als acceptabel beschouwd (bijvoorbeeld de kans dat een dijkkring overstroomt van 1 x per 10000 jaar).

Bij de probabilistische tijpoortregeling staat de kans dat er schade ontstaat, doordat een schip tijdens de geulvaart de bodem van de geul raakt, centraal. Deze kans moet uiteraard zeer klein zijn, maar zal principieel nooit geheel gelijk aan nul zijn. Als de kans klein genoeg is dan beschouwen we de vaart als veilig.

De kans op bodemberoering wordt bepaald door de kielspeling als het schip stil zou liggen, de squat ten gevolge van de vaarsnelheid en de verticale bewegingen van het schip in de golven. Daarnaast speelt de onzekerheid over de werkelijk aanwezige omstandigheden tijdens de geulvaart een rol: ook deze wordt vertaald in een kansverdeling.

3.2. Veiligheidscriteria

Een groot voordeel van de probabilistische tijpoortregeling is dat de veiligheid (in de zin van kans op raken van de bodem) van elke geulvaart berekend wordt.

Door middel van een toelatingsregeling worden de meest onveilige vaarten uitgesloten. Om deze onveilige vaarten te kunnen onderscheiden worden enkele veiligheidscriteria gebruikt. Dit betekent dat vooraf een te accepteren kans op bodemberoering moet worden vastgesteld, die uiteraard zeer klein is.

Bij het vaststellen van de maximaal acceptabele bodemberoeringskans moet een idee bestaan van de ernst van de gevolgen van een bodemberoering. Zou een bodemberoering bijvoorbeeld direct tot olieverlies of geulblokkade leiden, dan zal de kans een extra lage waarde moeten krijgen (immers risico = kans x gevolg).

Aan de gevolgen van een bodemberoering is door TNO een speciaal onderzoek gewijd. Uit sterkteberekeningen is gebleken dat een schip enkele decimeters in een harde zandbodem kan dringen, voordat de beplating blijvend gaat vervormen. De kans op scheuren of breuk is daarbij nog vrijwel nihil. Dit resultaat heeft een belangrijke rol gespeeld bij het vaststellen van de veiligheidscriteria waaraan de geulvaarten moeten voldoen.

Bij de vaststelling van de veiligheidscriteria is een vergelijking met andere nautische faalkansen gemaakt (aanvaringskans, strandingskans e.d.). In die zin is de geulvaart een activiteit, die een relatief laag risico met zich meedraagt.

Voor meer achtergronden van de probabilistische tijpoortberekening is het werk van Juan Blankenburgh (Blankenburgh 2019) een lezenswaardige aanrader.

De veiligheidscriteria zijn als volgt geformuleerd:

3.2.1. *Meerjarig criterium:*

In een periode van 25 jaar (beschouwd als de levensduur van het ontwerp) mag de kans dat er een bodemberoering optreedt waarbij (tenminste) lichte schade ontstaat, niet meer

zijn dan 10%. Dit komt overeen met een maximale verwachting van 1 maal per 235 jaar. De tijpoortregeling garandeert dat deze kans niet overschreden wordt. In de Protide berekening wordt steeds maar een enkele vaart beschouwd, waarvoor dan een 'evenredig deel' van deze meerjarige kans wordt toegestaan.

3.2.2. *Individuele vaartcriterium:*

In de in het bovengenoemde meerjarige criterium vastgestelde maximale gemiddelde bodemberoeringskans moet theoretisch ook de kans van voorkomen van de bijbehorende golf- en waterstandsconditie worden meegewogen. Een individuele vaart, dit is een vaart waarbij geen rekening gehouden is met de kansen van die golf- en waterstandscondities, kan bijvoorbeeld een kans op bodemberoering hebben van 5%, maar toch aan het meerjarige criterium voldoen als de kans van voorkomen van de condities waaronder de vaart plaatsvindt maar klein genoeg is. Dit is probabilistisch gezien geheel juist. Toch is besloten om een bovengrens te stellen aan de kans op bodemberoering tijdens een individuele vaart. De kans dat een schip tijdens een geulvaart de bodem raakt dient onder alle omstandigheden kleiner te zijn dan 1%, ongeacht de kans op voorkomen van de betreffende combinatie van omstandigheden.

In de huidige opzet van de tijpoortregeling speelt dit criterium geen rol omdat voor elke vaart, ongeacht de kans op de actuele omstandigheden, dezelfde maximale kans aangehouden wordt. Deze kans is zo gekozen dat altijd aan het meerjarig criterium wordt voldaan en is veel kleiner dan 1%.

3.2.3. *Manoeuvrermarge:*

Als de verticale scheepsbewegingen zeer klein zijn (vrijwel geen deining, dit geldt voor ongeveer 80% van de vaarten) dan is de kans op raken van de bodem ook nog klein bij een kielspeling van minder dan 1.0 m. Toch zal er met zo weinig kielspeling geen geulvaart kunnen plaatsvinden omdat het schip vrijwel niet meer te besturen is. Daarom is het manoeuvreercriterium toegevoegd, wat eist dat de kielspeling in vlak-water conditie, na aftrek van de squat, tenminste 1.0 m is².

Tijdens varen met deining kan de actuele kielspeling door de verticale bewegingen wel kleiner dan 1 m worden. Omdat dit slechts even optreedt – de *gemiddelde* kielspeling is altijd minstens 1.0 m – wordt aangenomen dat de bestuurbaarheid daardoor niet te zeer aangetast wordt.

Als er meer deining is dan worden vaarten waarbij de kielspeling 1 m is al snel afgekeurd vanwege de kans op raken van de bodem door het bewegen van het schip, die dan te groot gaat worden.

3.2.4. *Stroomcriterium:*

De maximale dwarsstroom waarbij passage van de havenhoofden nog veilig mogelijk is, is op 1,0 kn gesteld. Vaarten met een ETA havenhoofden waarop de dwarsstroomsnelheid meer dan 1 knoop wordt, worden uitgesloten.

3.2.5. *Deiningcriterium:*

De voorspelde deiningshoogte (He10) voor Munitiestort mag niet boven de 140 cm komen binnen de periode van de tijpoort voor een inkomende of vertrekkende geul in de IJ-geul.

² Deze kielspeling wordt wel aangegeven als *Dynamic UKC*, omdat het om een varend schip gaat, ter onderscheid van de *Static UKC*. De *Dynamic UKC* houdt altijd rekening met squat, niet altijd echter met diepgangsvermeerdering door beweging in golven en helling in bochten en door wind.

Als dat wel zo is wordt de vaart niet meer veilig geacht, ook als Protide op basis van de UKC wel een tijpoort kan uitrekenen.

3.3. Probabilistische tijpoortberekening

Voor een volledig probabilistische berekening is een kansverdeling van alle relevante parameters nodig. Dergelijke kansverdelingen zijn echter niet beschikbaar. Daarom wordt de volgende aanpak gebruikt: de totaal in 25 jaar maximaal 'op te lopen' kans wordt evenredig verdeeld over het totale aantal te verwachten vaarten in die 25 jaar. Wanneer elke vaart op deze grens zit dan wordt nog juist aan het meerjarig criterium voldaan (zie 3.2.1). De meeste tijpoorten zullen ver onder deze maximale kans per vaart blijven zodat er ruimschoots aan het meerjarig criterium wordt voldaan.

In de volgende paragrafen worden de achtereenvolgende stappen van een tijpoortberekening zoals Protide die uitvoert beschreven.

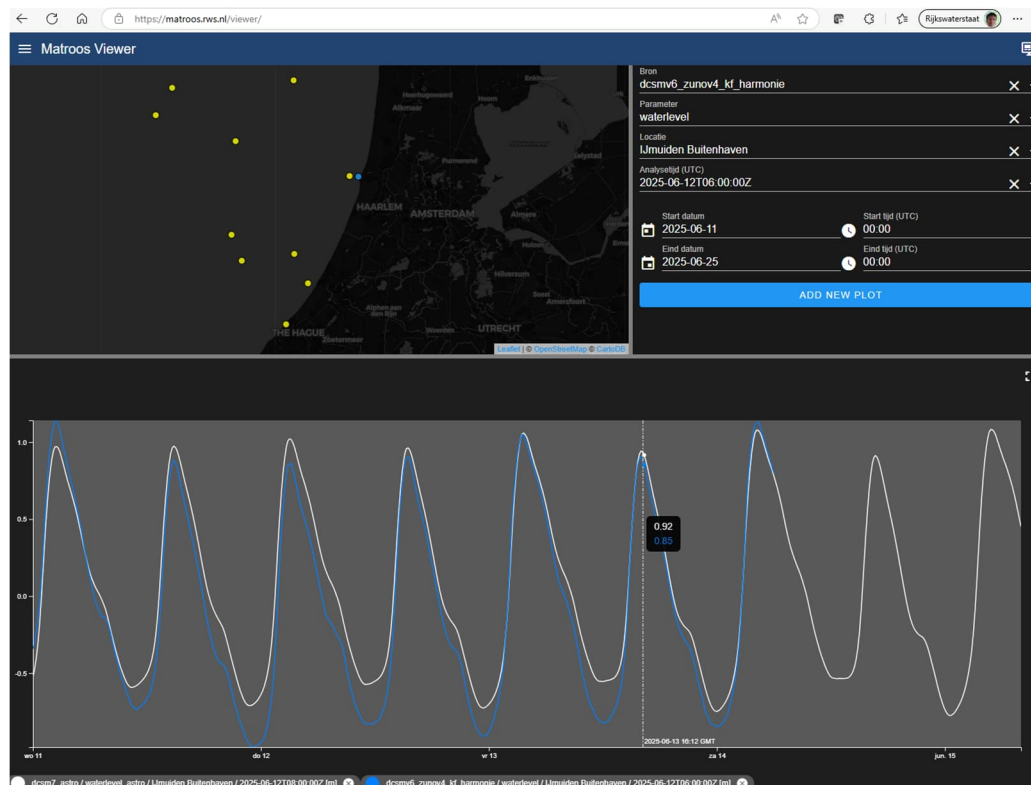
3.3.1. *Verwachtingen*

Omdat een tijpoortadvies altijd betrekking heeft op een periode in de toekomst moet er gerekend worden aan de hand van verwachte gegevens: waterstand, stroom, deining, golfhoogte. Deze verwachtingen worden over het algemeen met rekenmodellen gemaakt die om de paar uur met nieuwe, actuele beginwaarden worden opgestart. Door het HMC (Hydro-Meteo Centrum) van Rijkswaterstaat worden resultaten van die modellen gemonitord en een eventueel bijgestelde verwachting op internet gepubliceerd.

De resultaten van de modelberekeningen worden naar een database geschreven (MATROOS: Multifunctional Access Tool foR Operational Oceandata Services)³, waar Protide ze via internet zelfstandig uit kan lezen. Als voorbeeld hieronder de weergave van een verwachte waterstand te IJmuiden (merk op dat de modellen rekenen ten opzichte van het middenstandsvlak, wat als NAP te zien is; de vertaling naar LAT waarden wordt binnen Protide gedaan), waarbij het korte-termijn model (blauwe lijn), afkomstig uit model dcsmv6_zunov4_kf_harmonie, dat een rekenhorizon van enkele dagen heeft, waarna overgestapt kan worden op een lange termijn verwachting (witte lijn: astronomisch getij).

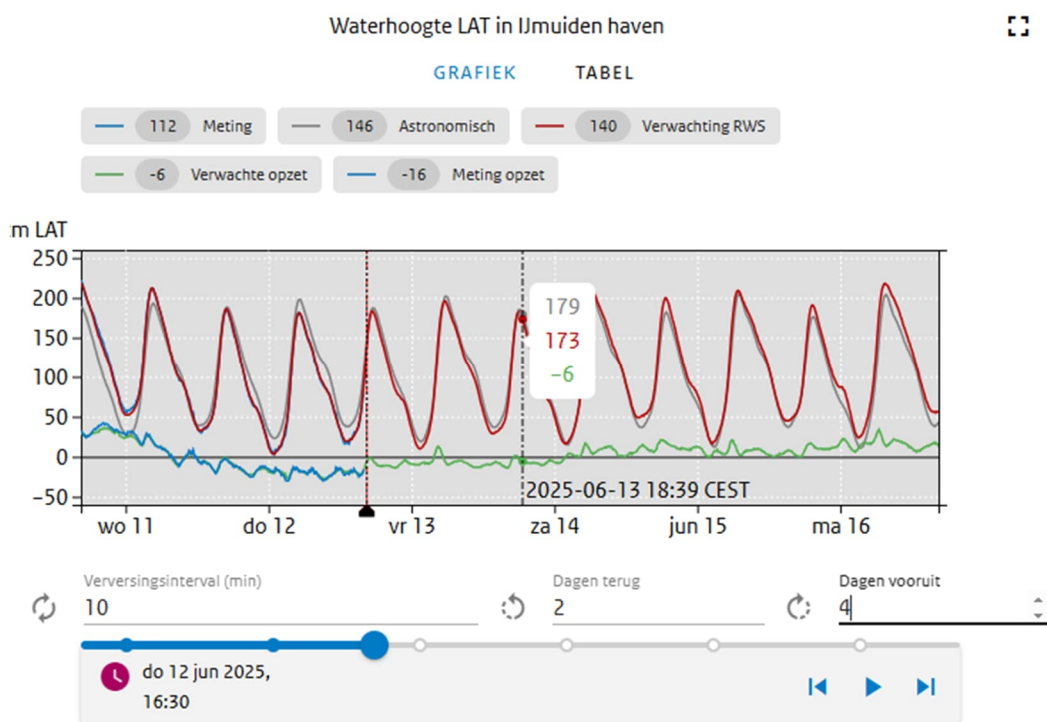
Binnen Protide wordt gelaagde opzet toegepast: er is een prioriteit aangegeven van de verschillende te gebruiken bronnen. Zo wordt de RWS-eindverwachting bij voorkeur gebruikt, maar als daarvan geen waarden meer zijn wordt overgestapt op het eerstvolgende model in de hiërarchie en zo voorts.

³ De modelgegevens zijn ook door derden uit MATROOS te lezen, maar daarvoor moet wel een account aangevraagd worden. Een groot deel van de data is echter ook (open) terug te vinden op <https://waterberichtgeving.rws.nl/klanten/regio-ijmond> en <http://waterinfo.rws.nl/#!/nav/expert/>



Figuur 3-1 Modelverwachtingen (korte termijn en astronomisch) in Matroos viewer

Binnen Protide zijn de gebruikte data ook zichtbaar; in het tijpoortadvies maar ook in de webapplicatie zijn de beschikbare gegevens op te vragen. Op de Waterberichtgeving site zijn ook de geldende verwachtingen terug te vinden, maar daar is niet meer te zien uit welk model de data afkomstig zijn.



Figuur 3-2 Verwachtingen in Waterberichtgeving

Aan de verschillende bronnen is een betrouwbaarheid gekoppeld. Deze wordt tijdens de berekening vertaald in een spreiding van de verdeling waaruit verschillende waarden worden getrokken – waarover later meer. Het resultaat daarvan is dat een 'slechtere' (dat wil zeggen onzekerder) verwachting zal leiden tot een grotere bodemberoeringskans.

Als laatste redmiddel wordt voor golfhoogte en deininghoogte het jaargemiddelde gebruikt en voor de waterstand het astronomisch getij.

De gegevens die nu gebruikt worden voor de tijpoortberekening zijn in Tabel 3-1 weergegeven.

Tabel 3-1 Locaties voor modelgegevens

Grootheid	Locatie
Waterstand	Havenhoofd, IJ-1
Stroomsnelheid	Stroommeetpaal
Stroomrichting	Stroommeetpaal
Stroomcomponent E	IJ-1
Stroomcomponent N	IJ-1
2D-golfspectra	4 locaties langs geul
Deininghoogte (H_{E10})	(1 waarde buitengebied)
Significante golfhoogte (H_{m0})	(1 waarde buitengebied)

De gegevens kunnen uit modelberekeningen komen of waargenomen zijn (deze laatste kunnen uiteraard niet gebruikt worden bij het berekenen van een toekomstige tijpoort, maar kunnen wel een indruk geven van de overeenkomst tussen geldende verwachting en realisatie). De modelberekeningen zijn beschikbaar met verschillende voorspellingshorizon en nauwkeurigheid. Zo zijn de 'astro' verwachtingen over 8 dagen vooruit beschikbaar, maar missen de invloed van weersomstandigheden. Voor kortere termijn verwachtingen wordt gerekend met een windverwachting uit het HARMONIE model, de langere termijn verwachting komt uit ECMWF. Voor berekeningen in een kleiner gebied wordt op een fijner rekenraster gewerkt, waardoor er in oplopende fijnheid berekeningen zijn voor DCSM (Dutch Continental Shelf Model), ZuNov4 (Zuidelijke Noordzee) en KuststrookFijn. De combinaties en versies die leidend zijn voor verwachtingen zijn onderhevig aan voortdurende ontwikkeling en kunnen dus veranderen; dit wordt dan in de configuratie van Protide aangepast.

Wanneer er meer bronnen en meer locaties beschikbaar komen via MATROOS dan zullen deze eenvoudig aan de berekening toegevoegd kunnen worden. De grootheden worden dan tussen de locaties geïnterpoleerd.

De reactie van het schip op golven is afhankelijk van de golflengte (of eigenlijk: ontmoetingsperiode) en de invalrichting van de golf. Er wordt verder als benadering genomen dat de amplitude van de scheepsbeweging evenredig is met de golfhoogte. Het model SWAN (Simulating Waves Nearshore), ontwikkeld aan de TU Delft, wordt door RWS gebruikt om de golfverwachtingen op de Noordzee te berekenen. Als invoer voor dit model wordt de uitvoer van het waterstand- en stromingmodel, de wind- en druk verwachtingen en de golfcondities aan de randen uit oceaanmodellen gebruikt. Op enkele punten langs het geultraject worden hieruit voor elk rekentijdstip 2D golfenergiespectra bepaald. Deze spectra worden 'gevoerd' aan een scheepsbewegingenmodule (een zogeheten strippenmethode), die hieruit de verticale beweging van de hoekpunten van het schip berekent.

De HMC-operator verwachting van golfhoogte en deininghoogte op de locatie Munitiestortplaats wordt gebruikt om de SWAN-voorspellingen naar de gemeten waarden toe te trekken.

Wanneer er geen resultaten van SWAN beschikbaar zijn dan worden deze golfhoogte en deininghoogte, aangevuld met de meest ongunstige deiningsrichting (NNW; deze komt ook relatief vaak voor), gebruikt voor een 1D berekening.

In het binnengebied kan de invloed van golven uitgeschakeld worden. Hiervoor wordt het reductiepercentage opgegeven en het punt vanaf waar deze reductie toegepast moet worden. Voor IJmuiden is het nu zo ingesteld dat bij de oude havenhoofden (km -1.4) de invloed van deining en golven geheel verdwijnt.

3.3.2. Scheepsgegevens

Voor de berekening van het gedrag in golven zijn de volgende eigenschappen van het schip van belang:

- Afmetingen (lengte, breedte, diepgang, deadweight, actuele waterverplaatsing)
- Scheepsvorm (volheid, verdeling over lengte van het schip, schouders → scheepstype)
- Stabiliteit (dwarsscheepse stabiliteit heeft invloed op slingerperiode, langsscheepse op stampperiode)
- Massaverdeling (dwarstraagheidsstraal: invloed op slingerperiode, langstraagheidsstraal op stampperiode)

De berekening zoals die in de volgende paragraaf is beschreven maakt van al deze gegevens gebruik waardoor een behoorlijk goede voorspelling van het gedrag in golven gemaakt kan worden. Maar dan moeten deze gegevens natuurlijk wel beschikbaar zijn.

De hoofdafmetingen zijn altijd goed bekend, hoewel voor de berekening L_{pp} eigenlijk de juiste maat is, niet de Loa . Daar kan nog wel eens verwarring over zijn, maar is in elk geval wel een constant gegeven voor elk schip. In Protide wordt een schepenbestand bijgehouden waardoor dit soort constante gegevens niet steeds opnieuw hoeft te worden ingevoerd.

Voor de scheepsvorm zijn enkele standaard-scheepsvormen ingebouwd: bulkcarrier, tanker, containerschip. Deze standaard-scheepsvorm wordt dan zodanig geschaald dat hoofdafmetingen en deadweight overeenstemmen met de opgegeven waarden.

De beladingspecifieke gegevens – waterverplaatsing, metacenterhoogte GM , vrijevloeistofcorrectie GG' en slingerperiode – moeten ook opgegeven worden. Als deze (nog) niet bekend zijn kan Protide zelf een schatting van deze grootheden maken, maar het is duidelijk dat het de voorkeur verdient om de eigenschappen van het betreffende schip te kennen.

De schattingen worden als volgt gemaakt:

Waterverplaatsing

$$\Delta = L * B * T * C_B * 1.025 \text{ t,}$$

waarbij

$$C_B = 0.8 \text{ (tanker) of } 0.82 \text{ (bulkcarrier)}$$

$$GM = KB + BM - KG, \text{ met}$$

$$KB = \frac{C_{WP}}{C_{WP} + C_B} * T$$

$$BM = \frac{0.008 + 0.0745 C_{WP}^2}{C_B} * \frac{B^2}{T}$$

waarin

L = lengte (tussen loodlijnen) in m

B = breedte in m

T = diepgang in m

C_{WP} = waterlijncoefficient

C_B = blokcoefficient

KG uit zwaartepuntsschatting met als uitgangspunten:

$$\text{gewicht lading} = 0.88 * \Delta$$

hoogte zwaartepunt lading 0.65 T (tankers) en 0.55 T (bulker)

hoogte zwaartepunt schip 0.8 T

Traagheidsstraal voor slingeren:

$$k_{\phi\phi} = 0.373 + 0.023 (B/T) - 0.043 (L/100) \quad (4)$$

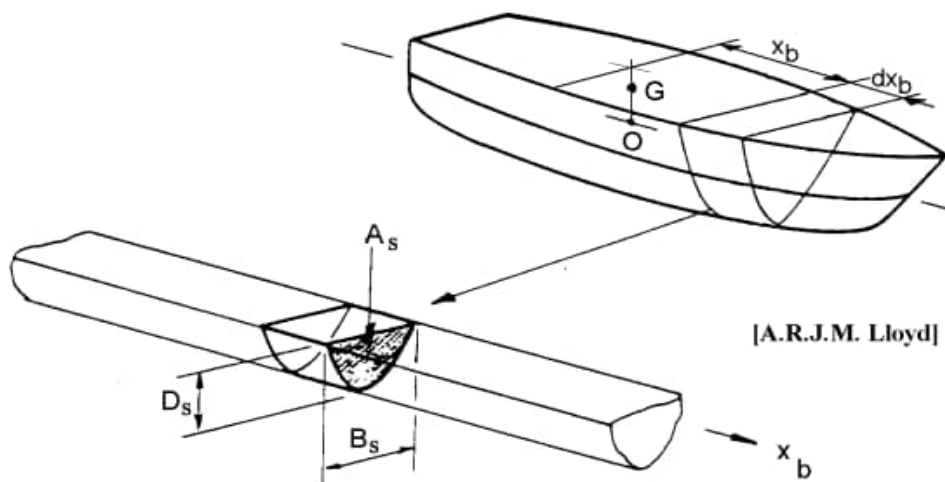
Slingertijd:

$$T_{\phi\phi} = 2 k_{\phi\phi} / \sqrt{GM}$$

3.3.3. Scheepsbewegingen

Om de scheepsbewegingen in golven te kunnen berekenen zijn overdrachtsfuncties nodig. Zo'n overdrachtsfunctie geeft aan hoe groot een bewegingsamplitude van het schip wordt als het de invloed van een enkele golfcomponent ondervindt, in verhouding tot de amplitude van die golfcomponent. Deze waarde is uiteraard afhankelijk van de frequentie (of golflengte) en van de invalshoek. Vaak worden de overdrachtsfuncties RAO's genoemd, wat de afkorting is van Response Amplitude Operators.

De berekeningsmethode die wordt toegepast om deze RAO's te bepalen is de verticale striptheorie, die grotendeels aan de TU Delft ontwikkeld is. Hierbij wordt de scheepsvorm in verticale dwarsseepse schijfjes verdeeld, waarna voor elk schijfje in zijn eigen vlak een 2 dimensionale (potentiaal)berekening van de waterstroming wordt gemaakt. De krachten en momenten op de schijfjes worden tenslotte opgeteld om de krachten en momenten op het schip te vinden.



Figuur 3-3 schematische voorstelling van de verticale striptheorie

De benodigde berekeningen worden gedaan door de door ABB/Amarcon geleverde rekenmodule die ook de basis vormt van hun pakketten Seaway en Octopus Office. Behalve de genoemde RAO's berekent deze ook de squat bij de ingevoerde snelheid.

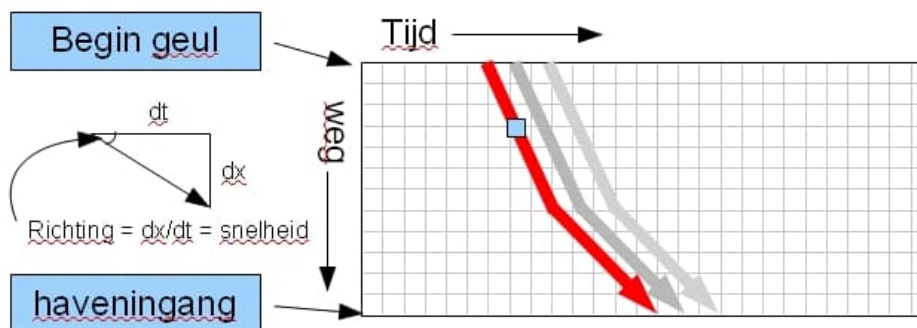
De berekeningen moeten gedaan worden voor elke combinatie van kielspeling (h/T verhouding), invalshoek golven, vaarsnelheid (ten opzichte van het water) en amplitudespectrum van de golven.

Om de rekentijd niet uit de hand te laten lopen worden eerst de relevante combinaties voor de hele geulvaart bepaald en de RAO's voor die combinaties uitgerekend en opgeslagen. Bij het doorrekenen van de geulvaart worden dan resultaten uit deze voorraad getrokken in plaats van steeds opnieuw RAO's te berekenen.

⁴ Deze benadering wordt door IMO (en aan boord van veel schepen) gebruikt. Resultaten lijken wat beter dan de eerder in Protide gehanteerde 0.38 B.

3.3.4. *Tijd-weg diagram*

Een tijpoort is op te vatten als de begintijdstippen van een (aaneengesloten) verzameling toe te stane geulvaarten die allemaal voldoen aan de veiligheidscriteria. Met andere woorden, als een geulvaart start binnen de tijpoorten dan is de kans op raken van de bodem gedurende deze geulvaart klein genoeg. Als we vervolgens uitgaan van een vastgestelde vaarsnelheid langs het traject dan kan voor elk tijdstip van de geulvaart aangegeven worden op welke positie het schip zal zijn. Merk op dat de vaarsnelheid nu ten opzichte van de grond wordt gebruikt, juist omdat dit de positieplanning en –monitoring eenvoudiger maakt. De combinatie van plaats en tijd is belangrijk voor de bodemberoeringskans omdat de bodemligging van de plaats afhangt en de waterstand, golven en deining van de tijd (en ook van de plaats). Als we de geulvaart in een tijd-weg diagram weergeven dan moeten alle tijd/weg combinaties op de lijn ‘veilig’ zijn. Deze notie vormt de basis van de tijpoortberekening.



Figuur 3-4 *Tijd-weg diagram van de geulvaart*

De vorm van de rode pijl geeft een bepaald snelheidsverloop langs de geul aan; door deze pijl langs de Tijd-as op te schuiven tot er alleen veilige tijd/weg combinaties ontmoet worden, wordt een tijpoort gevonden. In Protide wordt het tijd/weg vlak eerst gevuld met veilige en onveilige punten en vervolgens wordt gekeken bij welke starttijdstippen alleen veilige punten horen.

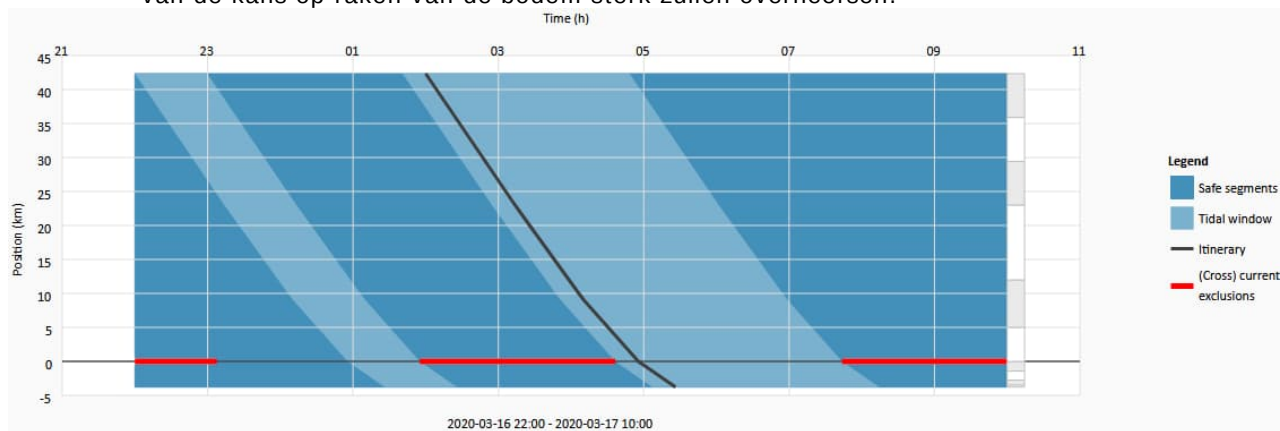
Voor het berekenen van de veiligheid in zo'n punt moet het volgende gebeuren:

- Bepalen voorspelde waterstand, stroming, golfspectrum of golfhoogte en deininghoogte op dat tijdstip
- Spreiding per voorspelde grootte bepalen (afhankelijk van de bron)
- Interpoleren waterstand, stroming, golfhoogte en deininghoogte (voor zover er verwachtingen op meerdere locaties zijn gegeven)
- Interpoleren bodemligging
- Bepalen snelheid en koers door het water
- Bepalen van de verticale beweging (grootte en periode) bij de zo gevonden h/T, vaarsnelheid, invalshoek, golfhoogte, deininghoogte
- Berekenen van de kans op raken van de bodem met deze verticale beweging en de UKC, als gedurende de hele geulvaart dezelfde condities zouden gelden.
- Vergelijken van deze kans met de maximaal toegelaten kans per geulvaart; is de kans kleiner dan is het tijd/weg punt 'veilig'.

Bij het onderdeel 'bepalen van de verticale beweging' vindt een groot aantal trekkingen plaats uit de verdelingen rond de voorspelde grootheden. Van de resultaten wordt de 95% waarde van de verticale beweging genomen als uitgangspunt voor de kansberekening in de volgende stap.

De kwaliteit van de voorspellingen (die tot uiting komt in de spreiding) kan zo een grote invloed hebben. Als er voor de deining bijvoorbeeld geen voorspelling beschikbaar is dan wordt het jaargemiddelde 0.2 m aangenomen, maar wel met een grote spreiding. Bij de

trekkingen zullen dan ook veel grotere deininghoogten voorkomen, die bij de berekening van de kans op raken van de bodem sterk zullen overheersen.



Figuur 3-5 Tijd-weg diagram uit Protide met veilige punten, tijpoort, vaarplan en stroomuitsluiting

Naast de kans op raken van de bodem kan er in het tijd/weg diagram ook een dwarsstroombeperking worden opgenomen. Over het algemeen gaat het dan op een maximale dwarsstroom die het schip op een specifieke locatie mag ondervinden. Door de dwarsstroom op die locatie als functie van de tijd te bepalen kan op een horizontale lijn in het tijd/weg diagram aangegeven worden op welke tijdstippen de stroom te sterk is en dus geen passage mag plaatsvinden.

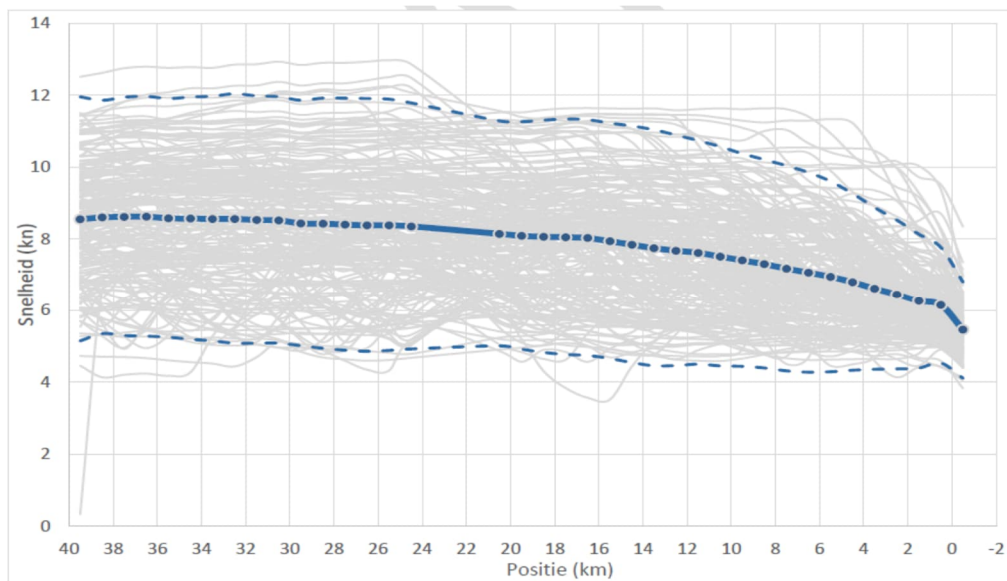
Voor de IJgeul geldt een dwarsstroombeperking vlak voor de invaart van de haven. In Figuur 3-5 is een voorbeeld van een tijd/weg diagram gegeven. De stroombeperking is zichtbaar als rode lijnstukken op de locatie 0 km (dat is het havenhoofd), de blauwe punten zijn 'veilig' en de witte punten 'onveilig'. Wanneer nu een schuine lijn die het snelheidsverloop over het traject weergeeft, van links naar rechts over het tijd/weg diagram geschoven wordt dan is de eerste mogelijkheid dat er geen witte of rode punten gekruist worden de lichtblauwe lijn die begint op 23:10. Dit is het openingstijdstip van de tijpoort. De lijn kan verder geschoven worden tot aan de rode lijn, waar de eerste witte punten worden ontmoet. De tijpoort sluit daarom om 02:10.

De groene lijn is het vertrektijdstip waarvoor de omstandigheden die tijdens deze geulvaart gelden worden weergegeven in het tijpoortformulier. Dat tijdstip is gekozen 'aan het begin van de tijpoort, maar niet exact op het openingstijdstip', betrekkelijk willekeurig op 15 minuten na het openingstijdstip. Dit wordt het 'tijpoortadvies' genoemd. Het tijpoortformulier wordt in het volgende hoofdstuk verder besproken.

3.3.5. Snelheidsregime

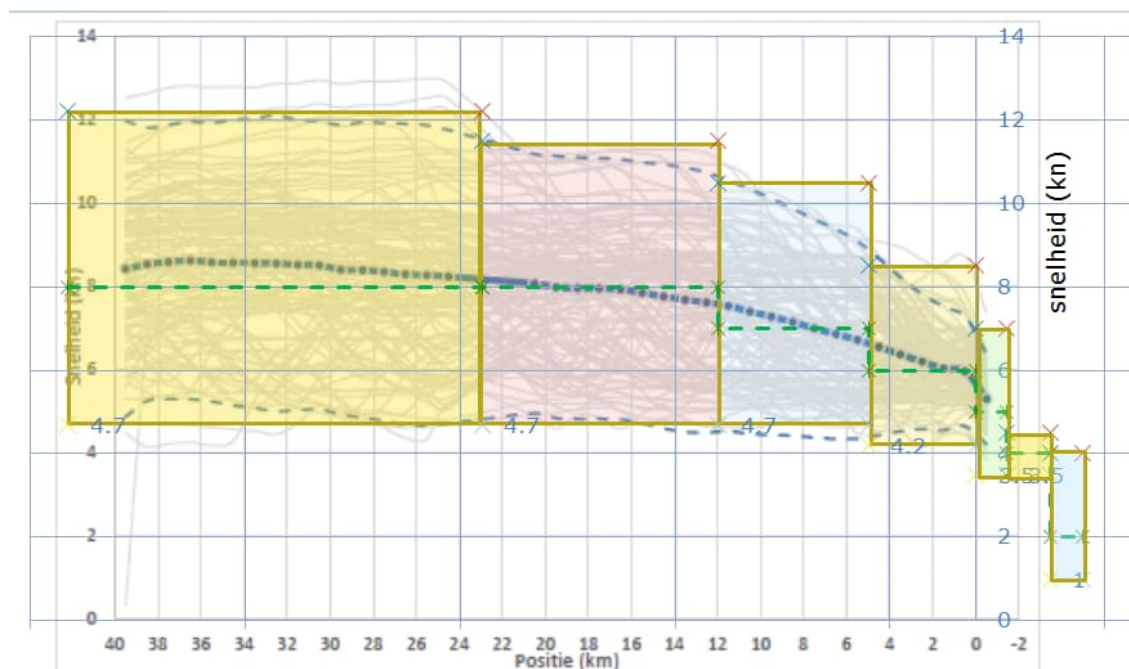
De vorm van het traject in het tijd-weg diagram wordt bepaald door het verloop van de snelheid langs de geul. Uit NMS⁵ registraties van een groot aantal vaarten is afgeleid op welke vaarsnelheid gerekend kan worden.

⁵ Navigator Marginale Schepen, de Portable Pilot Unit die de loads aan boord meeneemt.



Figuur 3-6 NMS recordings van snelheidsverloop langs de geul

In Figuur 3-6 is te zien dat de vaarsnelheid varieert in een brede band rond een gemiddelde vaart, maar dat er niet echt een concentratie rond het gemiddelde te zien is. Daarom wordt een uniforme kansverdeling voor de snelheid gebruikt, waardoor de kans op elke snelheid binnen de opgegeven bandbreedte gelijk is. Het standaard in Protide toegepaste snelheidsregime is zo opgezet dat vrijwel al deze geregistreerde vaarten er al binnen blijven, zoals de volgende figuur illustreert.



Figuur 3-7 Vertaling naar snelheidsregime in Protide

Tabel 3-2 Vaartijden en vaarsnelheden

	Van (km)	Tot (km)	Plan- snelheid (kn)	Min. snelheid (kn)	Max. snelheid (kn)	Vaartijd (min)	Totale vaartijd (min)
IJ1 ⁶ -IJ9	42.3	23	8	4.7	12.2	78	78
IJgeul-3	23	12	8	4.7	11.5	45	123
IJgeul-2	12	5	7	4.7	10.5	32	155
IJgeul-1	5	0	6	4.2	8.5	27	182
Nieuwe Buitenhaven	0	-1.42	5	3.5	7	9	191
Oude Buitenh & NBK1	-1.42	-3.5	4	3.5	4.5	17	208
NBK2	-3.5	-5	2	1	4	24	232

3.3.6. Toepassing Veiligheidscriteria

In 3.2 zijn de te gebruiken veiligheidscriteria beschreven. Deze moeten dus gebruikt worden bij het goed- of afkeuren van de tijd/weg punten. Hiertoe worden de squat, de UKC en de kans op raken van de bodem berekend met getrokken waarden voor snelheid, golven, stroom en waterstand. Dit wordt een groot aantal malen herhaald (huidige instelling 2000 maal) en van de resultaten worden gemiddelden en percentielwaarden bepaald.

In het onderstaande wordt daar per criterium op ingegaan.

Manoeuvrecriterium

Dit criterium eist een minimale UKC van 1.0 m, gecorrigeerd voor squat. De squat wordt berekend met de Octopus rekenmodule en is afhankelijk van de snelheid door het water en de h/T verhouding. De 2.5-percentiel waarde voor de UKC moet tenminste 1.0 m zijn, anders wordt het tijd/weg punt afgekeurd.

Meerjarig criterium

Dit criterium zegt wat over de kans op raken van de bodem. De 97.5-percentiel waarde van de kans op raken van de bodem in het tijd-weg punt moet nu vergeleken worden met een criteriumwaarde, maar welke?

Het criterium is niet toe te passen volgens de oorspronkelijke definitie omdat daarvoor ook de kans op de condities tijdens een geulvaart meegewogen moet worden. Bij de huidige aanpak is het alleen mogelijk om op de conditionele kans te toetsen, dat wil zeggen de kans op raken van de bodem *gegeven* de actuele omstandigheden. Het criterium stelt dat er in 25 jaar geulgebruik maximaal 10% kans op schade mag worden opgelopen. Als bij elke vaart een maximum voor de conditionele kans wordt aangehouden, ongeacht de omstandigheden (in feite wordt er geen onderscheid gemaakt tussen de omstandigheden waarbij de vaart plaatsvindt) dan kunnen we wel de waarde van dit maximum bepalen, zodanig dat altijd aan het meerjarig criterium wordt voldaan.

Als we uitgaan van 250 tijgebonden geulvaarten per jaar dan is dat 6250 vaarten over de 25 jaar. Stel nu dat per vaart een kans p_{max} op raken van de bodem met minimaal lichte schade wordt toegestaan. De kans dat er in 25 jaar, of na 6250 vaarten, *een of meer* schades ontstaan is gelijk aan $(1 - \text{de kans dat alle vaarten schadevrij zijn})$, zodat het meerjarig criterium wordt:

⁶ Het eigenlijke begin van de geul, wat hier bedoeld wordt, ligt 0.4 NM ten westen van de boei IJ1.

$$P\{\text{minstens 1 schade}\} = 1 - (1 - p)^n \leq 0.1$$

$$(1 - p)^n \geq 0.9$$

$$1 - p \geq 0.9^{1/n}$$

$$p \leq 1 - 0.9^{1/n}$$

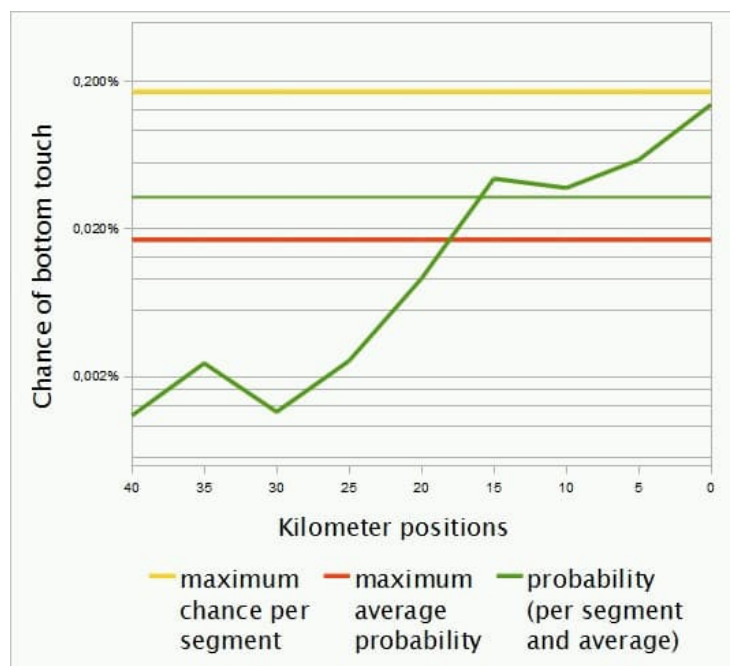
$$\text{met } n = 6250 \quad p \leq 0.0017\%$$

waarin p de kans op schade tijdens een enkele vaart is.

In het verleden is door TNO naar de gevolgen van het raken van de bodem gekeken. Op basis van deze studie is destijds gesteld dat (voor de bodemgesteldheid van de Eurogeul) een 10 maal zo grote kans op raken van de bodem geaccepteerd kan worden – de meeste bodemberoeringen resulteren niet in een blijvende vervorming van de scheepshuid.

Daarmee geldt per vaart: p (bodemberoering) < 0.017% (of $1.7 \cdot 10^{-4}$) bij 250 tijgebonden vaarten per jaar.

Als elke vaart precies op dit maximum zit dan wordt nog juist aan het meerjarig criterium voldaan. Zoals we later zullen zien komen de meeste vaarten echter lang niet aan dit maximum zodat er ruimschoots aan het meerjarig criterium wordt voldaan.



Figuur 3-8 kans op bodemberoering langs de geul en criteriumwaarden

Wat betekent dit nu voor de veiligheid van een tijd/weg punt? De kans dat er een bodemberoering optreedt is afhankelijk van de tijdsduur dat het schip in die omstandigheden verblijft. Er wordt berekend welke kans op raken opgelopen zou worden als het schip gedurende de hele geulvaart onder de betreffende omstandigheden zou verkeren. Een punt is dan veilig als deze kans kleiner is dan de bovengenoemde 0.017%: als deze kans op elk tijd/weg punt van het traject zou gelden dan komt de vaart juist aan de criteriumwaarde.

Omdat de kans ook gedurende een geulvaart sterk varieert blijft de kans per vaart op deze manier ver onder de criteriumwaarde. Daarom wordt in eerste instantie per punt een 10 maal hogere kans toegestaan. Zolang dit gedurende een klein deel van de reis optreedt kan

deze nog makkelijk aan het criterium voldoen. De kans over de hele geulvaart wordt berekend en vergeleken met het criterium. Als deze lager is dan voldoet de vaart, zo niet dan wordt de berekening opnieuw gedaan maar dan zonder lokaal de factor 10 toe te staan. In Figuur 3-8 is dit weergegeven.

De rode lijn geeft de criteriumwaarde 0.017% aan, de gele de 10 maal hogere kans die lokaal, per punt, toegelaten wordt. De dikke groene lijn geeft het verloop van de kans over de geulvaart aan en de dunne groene het resultaat over de hele vaart. Omdat dit hoger is dan de rode criteriumwaarde zal de berekening in dit geval opnieuw gebeuren waarbij ook de punten boven de rode lijn worden uitgesloten.

Individuele vaart criterium

Dit criterium stamt uit de tijd dat ook de kans op omstandigheden in de berekening van het meerjarig criterium werden meegenomen. Omdat dat nu niet meer gebeurt garandeert het meerjarig criterium zelf al dat voor elke vaart de kans op raken van de bodem kleiner is dan 0.017%. Dat is vanzelf al veel kleiner dan de 1% die door het individuele vaart criterium werd geëist.

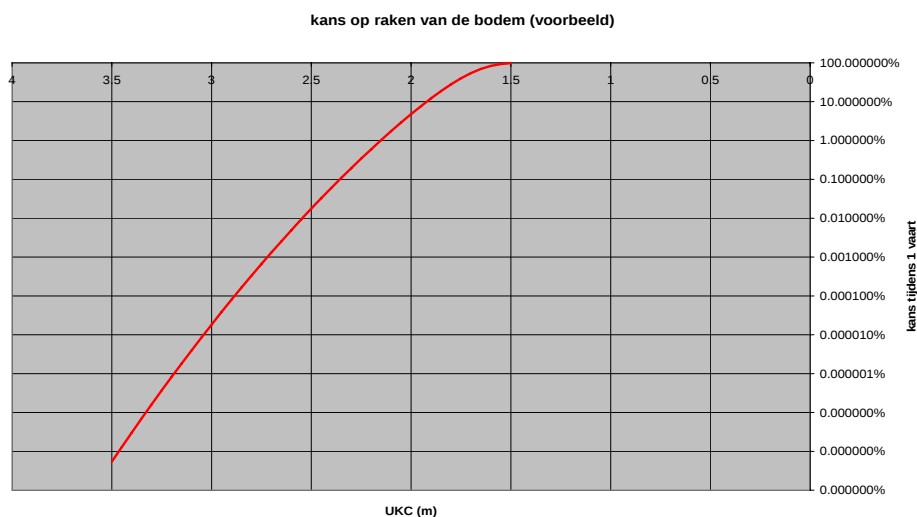
3.3.7. *Onzekerheden, onnauwkeurigheden en spreiding*

Alle gegevens die voor de berekening nodig zijn bezitten een onzekerheid (modelvoorspelling, opgave scheepsparameters) en/of een onnauwkeurigheid (meetwaarden). Beide zaken kunnen in de berekening worden meegenomen door te stellen dat de – onbekende – werkelijke waarde met een bepaalde kansverdeling rond de opgegeven waarde zal zitten. Over het algemeen wordt hiervoor een normale kansverdeling aangehouden.

Zoals in 3.3.1 beschreven wordt in de berekening van de kans op raken van de bodem een aantal trekkingen gedaan uit deze verdelingen. Het betreft dan de voorspelde waarden van:

- Waterstand
- Stroomrichting
- Stroomsnelheid
- Golfhoogte
- Deininghoogte

Zolang het om de kans op raken van de bodem gaat ten gevolge van verticale bewegingen in golven kan de trekking van bijvoorbeeld een waterstand van 30 cm lager wel een factor 100 grotere kans tot gevolg hebben omdat deze kans een exponentieel verloop heeft - Figuur 3-9 illustreert dit.



Figuur 3-9 Verloop van kans op bodemberoering bij afnemende kielspeling (voorbeeld)

In het binnengebied is er wat anders aan de hand. Omdat hier vrijwel geen verticale bewegingen zijn heeft een 30 cm lagere waterstand alleen maar als effect dat de kielspeling kleiner is en daardoor mogelijk de manoeuvreerbaarheid gevaar loopt. De kans op raken van de bodem is hier geen geschikt criterium. In het verleden zijn in de havengebieden vaste UKC's aangehouden. In Rotterdam was voor de onzekerheden in waterstand en diepgang in totaal een standaardafwijking van 19 cm bepaald. Bij een extra marge van 38 cm zou statistisch 97.5% van de vaarten een grotere kielspeling overhouden. In IJmuiden werd voor de onzekerheden een marge van 25 cm aangehouden.

Met extra toeslagen voor de squat en dichtheidseffect is dan ongeveer 1.5m statische UKC nodig om zeker te zijn van 1.0 m werkelijke kielspeling. Omdat Protide al trekkingen doet voor de waterstand hoeft met deze onzekerheid niet nogmaals rekening te worden gehouden in het criterium voor het binnengebied, net zo min als met de squat, die Protide berekent afhankelijk van de snelheid. In de buitenhaven wordt daarom als criterium gebruikt dat de UKC, gecorrigeerd voor squat, tenminste 1.0 m moet zijn. De laatste tientallen meters tot de ligplaats, als er niet meer gemanoeuvreerd wordt, is 0.5m acceptabel.

4 EVALUATIE VAN DE TIJPOORTREGELING

4.1. Kwaliteitsborging

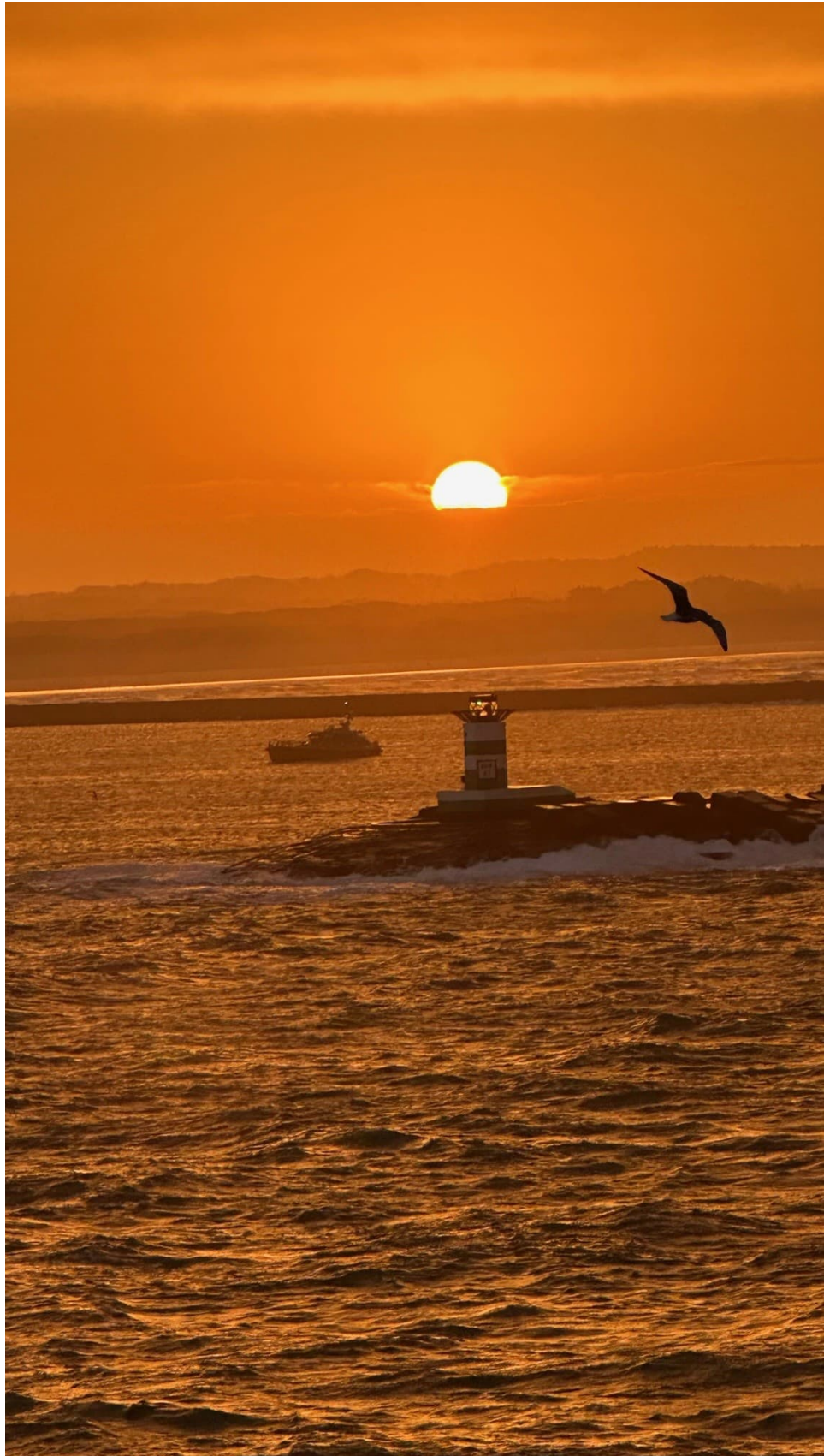
Om te kunnen garanderen dat de tijpoortberekening volgens de huidige technische inzichten verloopt is MARIN sinds 2018 belast met de kwaliteitsborging van Protide.

4.2. Evaluatie aan de hand van historische data

Door historische meetreeksen over een aantal jaren te gebruiken als testinvoer voor Protide kan voor een bepaald schip berekend worden welke overlig- en downtimepercentages in die periode gerealiseerd zouden zijn. Dit is in 2015 door Alkyon gedaan met de toenmalige versie van Protide. Op deze werkwijze is het programma METRIS gebaseerd. Hiermee kan RWS onderzoeken uitvoeren, naar specifieke scenario's zoals via de keerplaats terugvaren naar zee. Om de rekentijd enigszins hanteerbaar te houden worden dan echter meestal alleen de interessante combinaties van omstandigheden doorgerekend.

4.3. Ervaringen in de praktijk

Tweemaal per jaar wordt er een nieuwe versie van Protide opgeleverd. Inhoudelijke veranderingen zijn inmiddels niet meer groot; meestal gaat het om beperkte aanpassingen in de manier van bedienen en de presentatie van resultaten. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de ervaringen en wensen van gebruikers die enkele malen per jaar in de Protide gebruikersgroep bijeenkomen.



5 HET TIJPOORTADVIES

5.1. Algemeen

De berekening van de tijpoorten vindt plaats via de website van Protide. Als het resultaat voldoet aan eventuele andere randvoorwaarden kan de tijpoort worden vrijgegeven. Hierna kunnen loodsen de resultaten ook inspecteren en gebruiken.

De tijpoortinformatie kan ook als pdf-bestand opgeslagen en vervolgens afgedrukt of gemaïld worden. Dit is nu de normale gang van zaken. De hoofdgegevens van het tijpoortadvies kunnen ook als samenvatting opgeslagen worden – deze is vooral bedoeld voor planning omdat daarvoor alleen de tijdstippen van belang zijn.

5.2. De website

Het rekenmodel waar de tijpoorten mee berekend worden, is via internet te bereiken op het adres <https://protide.rws.nl>. Om tijpoorten te bekijken of te berekenen moet men eerst inloggen. De mogelijkheden die een gebruiker heeft zijn afhankelijk van de rol die aan zijn of haar account gekoppeld is. Eén en ander wordt uitvoeriger beschreven in de 'Protide Gebruikershandleiding' die op de website van het HMC (<https://waterberichtgeving.rws.nl/klanten/regio-ijmond>) is te vinden.

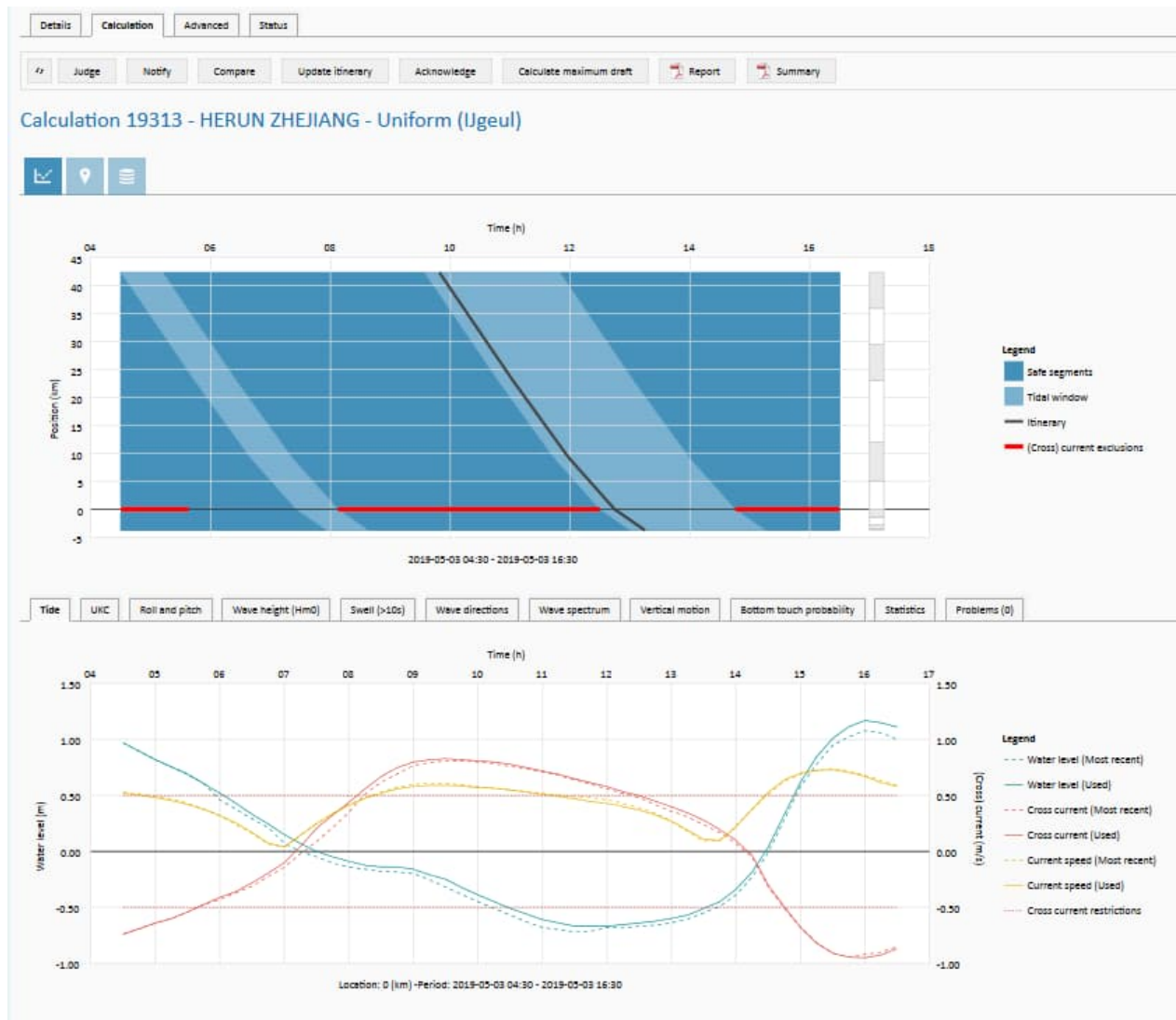
Voor de mogelijkheden en de bediening van de site wordt verder naar deze documentatie verwezen. In dit rapport zullen verder de achtergronden en betekenis van de informatie op de tijpoortformulieren besproken worden.

5.3. Het online tijpoortformulier

Het resultaat van een tijpoortberekening kan zichtbaar gemaakt worden door te klikken op de link 'Definitive' of 'Indicative' in de kolom 'Result' van de lijst van transits.

Het scherm wat nu getoond wordt bevat eerst het eerder besproken tijd/wegdiagram, vervolgens een aantal grafieken die het verloop van de belangrijkste grootheden gedurende de planperiode en langs de geulreis die op het 'advies'tijdstip start. In het tijd-weg diagram geeft blauw aan dat het voldoende veilig is, lichtblauw geeft de tijpoort langs de geulposities, uitgaande van het gebruikte snelheidsregime. De zwarte lijn is het opgegeven opvaartijdstip of, als dat nog niet was opgegeven, het opvaartijdstip 15 min na openen van de tijpoort. De grafieken zijn gelden voor dit vaarplan.

De verschillende grafieken worden onder de tabbladen halverwege het scherm getoond.

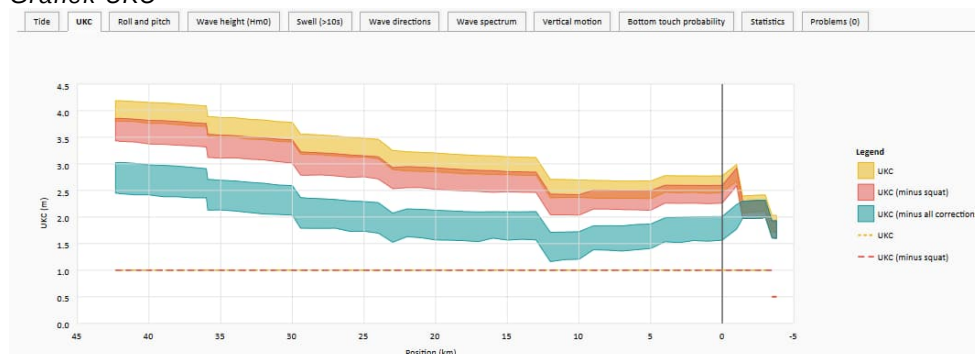


De eerste grafiek geeft de verwachte getij beweging (waterhoogte en dwarsstroomsnelheid) vlak voor de havenmond weer. De getrokken lijnen zijn de gegevens die voor de berekening gebruikt zijn, de gestippelde lijnen geven de laatst bekende verwachting. Als deze gestippelde lijn in belangrijke mate afwijkt van de getrokken lijn dan is dat een signaal dat het nodig kan zijn om de tijpoort opnieuw te berekenen.

De meeste grafieken spreken voor zich, maar die voor 'UKC' en 'Roll and Pitch' worden hier iets verder toegelicht.

5.3.1.

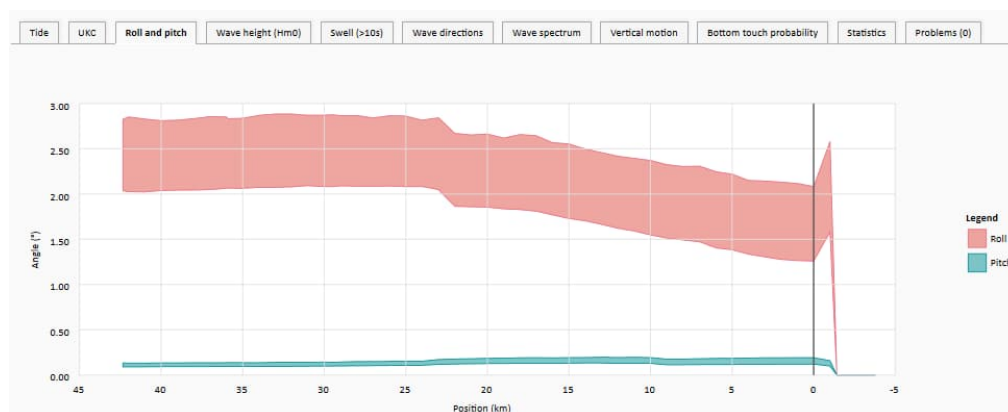
Grafiek UKC



De bovenste, gele, band geeft de UKC zonder squat en bewegingen (de “Gross UKC”) weer, die onderweg gerealiseerd wordt wanneer het vaarplan (de itinerary, de zwarte lijn in het tijd-weg diagram) gevolgd wordt. De bovenrand van de gele band is de gemiddelde waarde van de getrokken waterstanden, de onderrand de 97.5 percentielwaarde. De roze band is de gele minus de squat, waarbij in de berekening van de squat de spreiding van de vaarsnelheid en van stroomsnelheid en –richting meespeelt bij de trekkingen.

Om van de roze naar de blauwe band te komen moeten de verticale bewegingen er nog af. De Octopus rekenmodule voor scheepsbewegingen geeft per ‘hoekpunt’ de significante waarde⁷ van de verticale beweging. Bij dit resultaat wordt nog een variatie opgeteld afkomstig uit de evaluatie (vergelijking van scheepsbewegingen op in een bepaalde periode gemeten golven, ten opzichte van de scheepsbewegingen op de door het golfmodel (Swan) voorspelde golven). Als ‘Most Probable Extreme’ waarde wordt 2 x de significante waarde aangehouden. De band in de grafiek geeft dan het gemiddeld en het 97.5-percentiel van deze extreme waarden die voor elke getrokken combinatie (waterstand, stroomsnelheid, vaarsnelheid, golfhoogte) berekend is.

5.3.2. Grafiek Roll and Pitch



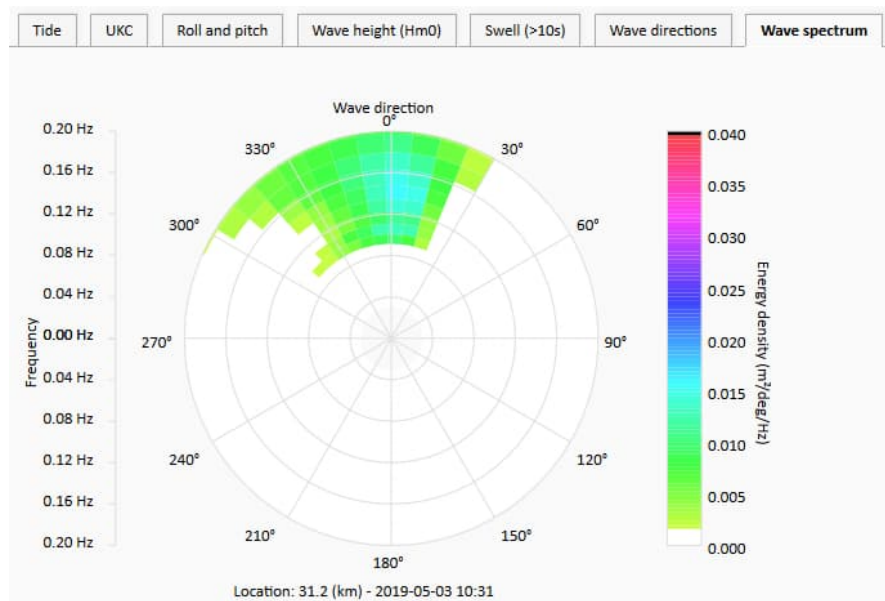
De roze band geeft de slingerhoek aan, de blauwe de stamphoek. Net als bij de UKC grafiek is de kleinste waarde de gemiddelde waarde en de grootste waarde het 97.5-percentiel van het dubbele van de door Octopus berekende significante bewegingen, over alle getrokken combinaties.

De berekening van de scheepsbewegingen levert behalve de maximale verticale beweging van een van de ‘hoek’punten van het schip ook de slinger- en stamphoeken op. In de grafiek is de paarse lijn de slingerhoek met de waarde langs de linker as, de groene lijn is de stamphoek met de waarde aan de rechterkant.

Per berekening van scheepsbewegingen wordt een ‘Significant Double Amplitude’ voor slinger- en stampbeweging verkregen; de band in de grafiek laat het gemiddelde tot 97.5% waarde van deze waarden zien.

⁷ De significante waarde van de golfhoogte is de gemiddelde golfhoogte van het hoogste 1/3 deel van alle golven. Dezelfde definitie geldt voor de bewegingen van het schip, die immers ook een spectrum kennen.

5.3.3. Grafiek Wave Spectrum



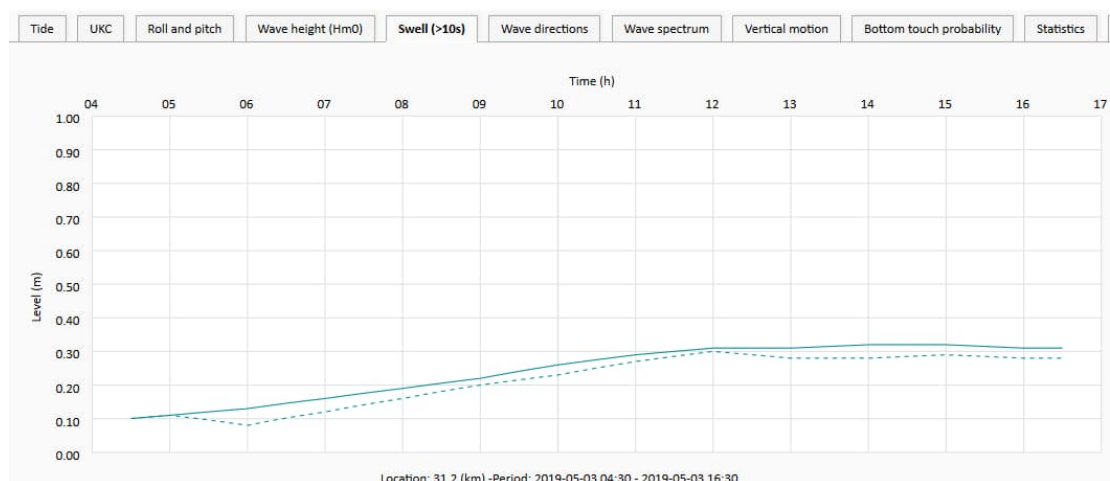
Het golfspectrum zoals dat door het rekenmodel (Svan) verwacht wordt bij de Munitiestort is weergegeven in een polair diagram (eigenlijk een 2D histogram). Hierin is voor een combinatie golfrichting (dat is de richting vanuit waar de golf komt) en golfperiode aan de kleur te zien hoeveel golfenergie er in die 'cel' verwacht wordt.

De richting spreekt voor zich; voor de golfperiode is aan de linkerkant de schaalverdeling van de frequentie te zien. Deze schaalverdeling correspondeert met de afstand vanuit het midden; zo staat de eerste cirkel hier voor 0.04 Hz ofwel een periode van 25s. De deining zit het dichtst bij het centrum: vooral tussen de tweede en derde cirkel, tussen resp 12.5 s en 8.3 s golfperiode.

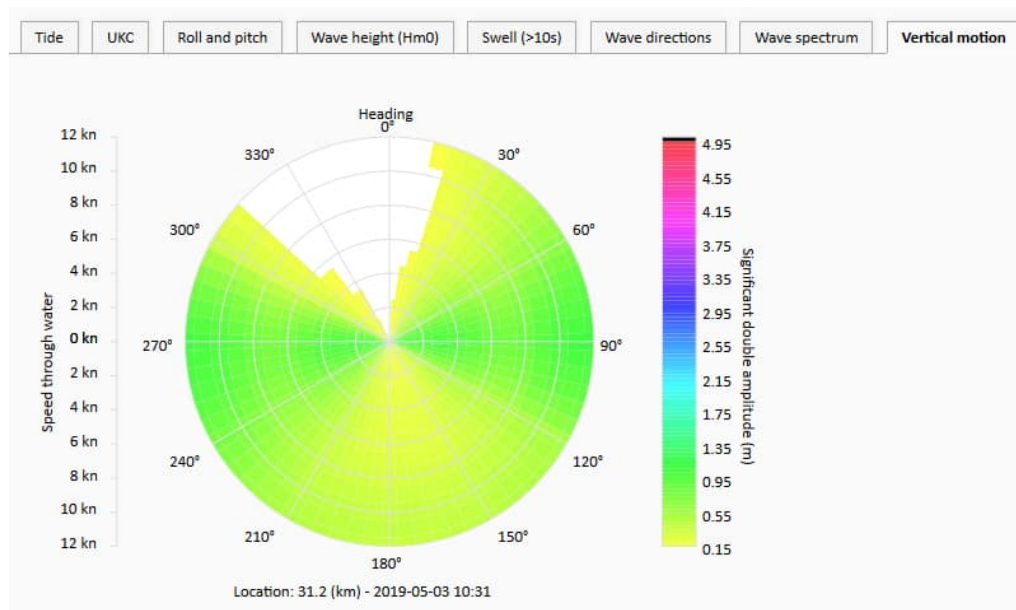
Omdat het diagram een energiedichtheid geeft moet geïntegreerd worden naar richting en frequentie om tot een energiewaarde te komen. Zo is de LFE, de laagfrequente energie – waarde van het spectrum, te visualiseren als de inhoud onder het energiedichtheidsoppervlak binnen de cilinder van 0.10 Hz.

Als voorbeeldje: een grove benadering voor de LFE van dit spectrum is $0.01 \text{ m}^2/\text{deg}/\text{Hz} * 60 \text{ deg} * 0.01 \text{ Hz} = .006 \text{ m}^2 = 60 \text{ cm}^2$. De HE10 is gedefinieerd als $4\sqrt{\text{LFE}} = 31 \text{ cm}$.

In het tabblad Swell is deze grootte ook weergegeven, de waarde komt hier inderdaad mee overeen:



5.3.4. Grafiek Vertical Motion



De berekende verticale bewegingen van het schip op basis van dit golfspectrum zijn op een vergelijkbare manier als het golfspectrum weergegeven.

De richting in het diagram geeft hier de koers van het schip weer, de afstand tot het centrum staat voor de vaarsnelheid. De kleur geeft de dubbele significante verticale beweging weer, wat beschouwd kan worden als een extreme waarde (zie 5.3.1).

Het ongekleurde deel (noordwaarts varend) geeft aan dat de berekende beweging van het meest bewegende 'hoekpunt' van het schip daar kleiner is dan 0,15 m. De grootste beweging zijn er bij oostelijke en westelijke koersen, omdat de golven daar vooral dwarsscheeps inkomen.

5.3.5. Verondiepingen

Als er in afwijking van het verloop van de nautisch gegarandeerde diepte (zie 2.2) er lokaal, ergens binnen de geulbreedte, een kleinere diepte beschikbaar is dan is er ook een tabblad "Channel layout". Hier is te zien met welke bodemligging de berekening is uitgevoerd.

5.4. Het pdf tijpoortformulier

Het pdf-tijpoortformulier wordt gemaakt door op het  [PDF] knopje in het online formulier te drukken. In principe komen dezelfde figuren in dit formulier terecht als hiervoor besproken, alleen is de tabelinformatie naar de eerste pagina verplaatst. Ook zijn natuurlijk de interactieve dataschermpjes niet meer beschikbaar en is de 'most recent prediction' degene die beschikbaar was toen de pdf gemaakt werd..

5.5. De tijpoortsamenvatting

Wanneer er een 'papieren' resultaat van de tijpoortberekening gewenst is maar de figuren niet nodig zijn, bijvoorbeeld voor de verkeersplanning, kan ook een pdf van de tijpoortsamenvatting gemaakt worden. Deze bestaat in feite uit de eerste pagina van het pdf-tijpoortformulier.



IJmuiden Buitenkade

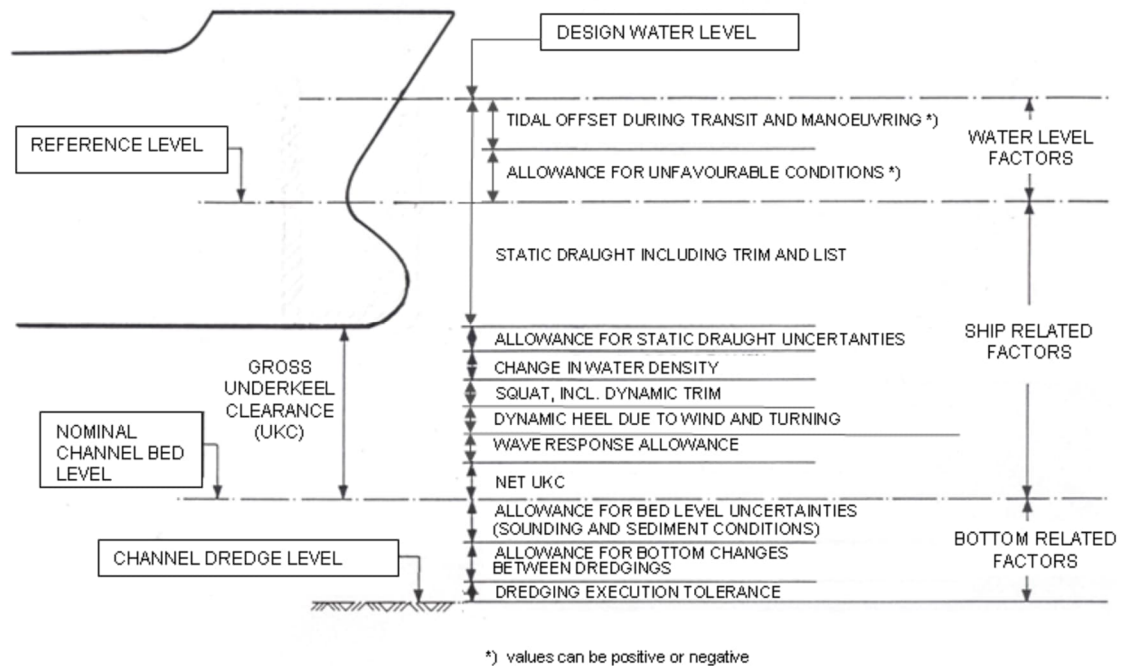
6

BEGRIPPENLIJST

astronomisch getij	het getij zoals uitsluitend bepaald door invloeden van de hemellichamen
bruto kielspeling (UKC)	de waterkolom onder het stilliggende schip (zie onderstaande figuur)
CNB	Centraal Nautisch Beheer
Deining	Golven die niet meer door wind worden aangedreven. Deze zijn bijvoorbeeld afkomstig van een zeegangsgolfveld waarboven de wind is weggevallen, of ze zijn door hun grotere snelheid uit een zeegangsgebied weggelopen. De deining bestaat uit het deel van het golfspectrum met een golfperiode van meer dan 6 á 7 sec. (zie ook H_{E10})
Down-time	het deel van de tijd (over een lange periode) dat er geen opvaart mogelijk is. Hier wordt de tijd binnen een tijcyclus dat de waterstand te laag is toe gerekend. (NB: vaak wordt die tijd niet meegerekend en komt de betekenis overeen met wat hier <i>Overligpercentage</i> genoemd wordt.)
Dynamische UKC	De kielspeling waar squat en scheepsbewegingen in mindering zijn gebracht. In andere bronnen wordt soms alleen de squat in mindering gebracht.
Golfhoogte	Hiermee wordt in dit rapport de significante golfhoogte bedoeld; zie H_{m0}
HIRLAM	Weermodel: High Resolution Limited Area Model
H_{E10}	laag frequente golfhoogte; equivalente golfhoogte van de golfenergie in het spectrum van de golfcomponenten met een periode groter dan 10 seconden
H_{m0}	De significante golfhoogte: de gemiddelde golfhoogte van het hoogste 1/3 deel van alle golven. Dit blijkt overeen te komen met de hoogte die een geoefende waarnemer als golfhoogte zou schatten. Formeel is H_{m0} een schatting van de significante golfhoogte H_s bepaald uit het frequentiespectrum en is $H_{1/3}$ een schatting daarvan op basis van de waargenomen golven.
HMC	Hydro Meteo Centrum
LAT	Lowest Astronomical Tide – laagste punt van het astronomisch getij, internationaal gehanteerde definitie van referentievlaak op zee (helaas nog niet internationaal precies hetzelfde vlak)
MATROOS	Online repository van modelresultaten en meetdata
MS, MSL	Middenstandsvlak, Mean Sea Level; tijdgemiddelde stand van het zeeoppervlak
NMS	Navigator Marginal Ship; Precisie navigatie apparatuur gebruikt door de geulloodsen
nautisch gegarandeerde diepte (NGD)	de gegarandeerde bovengrens voor de bodemligging (ten opzichte van MSL). Bij de bepaling van de tijpoorten is verondersteld dat de bodem overal gelijk is aan deze NGD. In werkelijkheid is de diepte meestal en op de meeste plaatsen groter.
Vlakwater kielspeling	de waterkolom onder het varende schip in vlak water
overliggen	minstens één getij wachten ten gevolge van te lage waterstand en/of te hoge H_{E10} -waarde

overligpercentage	Het aantal getijcycli dat er geen opvaart mogelijk is (geen tijpoort is) ten opzichte van het totaal aantal getijcycli in een lange periode.
s.w. (bij diepgang)	Sea water: diepgang in zout water (zoet water: f.w.)
SWAN	Simulation Waves Nearshore: door TU Delft ontwikkeld rekenmodel voor zeegolven
squat	diepgangsvermeerdering en vertrimming ten gevolge van de snelheid van het schip door het water
tijpoort	de tijdsperiode gedurende welke een tijgebonden schip een bepaald punt kan passeren
toegangsgedul	IJgeul
UKC	Under Keel Clearance, kielspeling. De definitie wil nog wel variëren, IMO en PIANC hanteren verschillende bruto en netto kielspeling: IMO: - net UKC: afstand tot NGD vlak in varende toestand, dus squat en verticale bewegingen in rekening gebracht - Gross UKC: afstand in stilligende toestand tussen kiel en interventie (onderhouds-) diepte. - dynamic UKC: in varende toestand, dus squat en (meestal ook) verticale bewegingen in rekening gebracht - static UKC: in stilligende toestand, dus zonder squat en verticale bewegingen PIANC: - bruto kielspeling: stilliggende afstand tussen kiel en NGD - netto kielspeling: met aftrek van squat en verticale bewegingen. De kielspeling zoals in dit rapport gebruikt voor het manoeuvreercriterium is de afstand tussen kiel en NGD in vlak water (dus met aftrek van squat, maar geen verticale bewegingen).
verondieping	een obstakel, aanzanding of aanslibbing die door de nautisch gegarandeerde diepte steekt
zeegang	een groeiend of volgroeid golfspectrum, dat is opgewekt door een nog aanwezige lokale wind

Definities UKC volgens PIANC (2014)



7 Literatuur

Blankenburgh (2019) -Inleiding probabilistische tijpoortregeling, Juan Blankenburgh 2019, j.blankenburgh@member.fsf.org

PIANC (2014) - Harbour Approach Channels
Design Guidelines, MarCom, Report No 121 – 2014

BIJLAGEN

Onderstaand volgt een overzicht van de bijlagen die bedoeld zijn voor "praktisch" gebruik en geen directe relatie hebben met de toepassing van de probabilistisch berekende tijpoorten.

Bijlage 1 Diepgangsvermeerdering door slingeren

Bijlage 2 Diepgangsvermeerdering door stampen

Bijlage 3 Squat

Bijlage 4 Inzinking op de voorloodlijn in meters

Bijlage 5 Padbreedte t.g.v. opstuurhoeken

Bijlage 6 Schema draaicirkelproef

- Draaicirkelgegevens tanker diepgang 21,95m (278.000 dwt)

Bijlage 7 Windsnelheden en Beaufort-schaal

Bijlage 1

Diepgangsvermeerdering door slingeren, uitgedrukt in meters

	Slingerhoek in graden											
scheeps- breedte in m	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
30	0.3	0.5	0.8	1.0	1.2	1.5	1.7	1.9	2.1	2.4	2.6	2.8
31	0.3	0.5	0.8	1.0	1.3	1.5	1.8	2.0	2.2	2.4	2.7	2.9
32	0.3	0.5	0.8	1.1	1.3	1.6	1.8	2.1	2.3	2.5	2.8	3.0
33	0.3	0.6	0.8	1.1	1.4	1.6	1.9	2.1	2.4	2.6	2.9	3.1
34	0.3	0.6	0.9	1.1	1.4	1.7	2.0	2.2	2.5	2.7	2.9	3.2
35	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.7	2.0	2.3	2.5	2.8	3.0	3.3
36	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.3	2.6	2.9	3.1	3.4
37	0.3	0.6	0.9	1.3	1.6	1.8	2.1	2.4	2.7	3.0	3.2	3.5
38	0.3	0.7	1.0	1.3	1.6	1.9	2.2	2.5	2.8	3.1	3.3	3.6
39	0.3	0.7	1.0	1.3	1.6	2.0	2.3	2.6	2.9	3.1	3.4	3.7
40	0.3	0.7	1.0	1.4	1.7	2.0	2.3	2.6	2.9	3.2	3.5	3.8
41	0.4	0.7	1.1	1.4	1.7	2.1	2.4	2.7	3.0	3.3	3.6	3.9
42	0.4	0.7	1.1	1.4	1.8	2.1	2.4	2.8	3.1	3.4	3.7	4.0
43	0.4	0.7	1.1	1.5	1.8	2.2	2.5	2.8	3.2	3.5	3.8	4.1
44	0.4	0.8	1.1	1.5	1.9	2.2	2.6	2.9	3.2	3.6	3.9	4.2
45	0.4	0.8	1.2	1.5	1.9	2.3	2.6	3.0	3.3	3.7	4.0	4.3
46	0.4	0.8	1.2	1.6	1.9	2.3	2.7	3.0	3.4	3.8	4.1	4.4
47	0.4	0.8	1.2	1.6	2.0	2.4	2.7	3.1	3.5	3.8	4.2	4.5
48	0.4	0.8	1.2	1.6	2.0	2.4	2.8	3.2	3.6	3.9	4.3	4.6
49	0.4	0.8	1.3	1.7	2.1	2.5	2.9	3.3	3.6	4.0	4.4	4.7
50	0.4	0.9	1.3	1.7	2.1	2.5	2.9	3.3	3.7	4.1	4.5	4.8
51	0.4	0.9	1.3	1.7	2.2	2.6	3.0	3.4	3.8	4.2	4.6	5.0
52	0.5	0.9	1.3	1.8	2.2	2.6	3.0	3.5	3.9	4.3	4.7	5.1
53	0.5	0.9	1.4	1.8	2.2	2.7	3.1	3.5	3.9	4.4	4.8	5.2
54	0.5	0.9	1.4	1.8	2.3	2.7	3.2	3.6	4.0	4.4	4.9	5.3
55	0.5	0.9	1.4	1.9	2.3	2.8	3.2	3.7	4.1	4.5	5.0	5.4
56	0.5	1.0	1.4	1.9	2.4	2.8	3.3	3.7	4.2	4.6	5.0	5.5
57	0.5	1.0	1.5	1.9	2.4	2.9	3.4	3.8	4.3	4.7	5.1	5.6
58	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	2.9	3.4	3.9	4.3	4.8	5.2	5.7
59	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	3.9	4.4	4.9	5.3	5.8
60	0.5	1.0	1.5	2.1	2.6	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.4	5.9

Deze tabel is berekend met de formule

$$\Delta T = T(\cos(\varphi) - 1) + \frac{1}{2} B \sin(\varphi),$$

waarin φ de hellingshoek, T de diepgang en B de breedte van het schip zijn.

Er is met een diepgang van 16 m gerekend (grotere diepgang geeft een marginaal kleinere uitkomst). Bij de berekening van de tabel is ervan uitgegaan dat de slingeras op de hartlijn van het waterlijnveld ligt. In werkelijkheid ligt de slingeras iets lager waardoor, voor slingeren groter dan 5 graden, de diepgangsvermeerdering iets kleiner is dan in de tabel aangegeven. Deze correctie bedraagt maximaal enkele centimeters.

Bijlage 2

Diepgangsvermeerdering door stampen uitgedrukt in meters

scheeps- lengte in m	Stamphoek in graden															
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6
100	0.1	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4
110	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.2	1.3	1.4	1.5
120	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7
130	0.1	0.2	0.3	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8
140	0.1	0.2	0.4	0.5	0.6	0.7	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.5	1.6	1.7	1.8	2.0
150	0.1	0.3	0.4	0.5	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.3	1.4	1.6	1.7	1.8	2.0	2.1
160	0.1	0.3	0.4	0.6	0.7	0.8	1.0	1.1	1.3	1.4	1.5	1.7	1.8	2.0	2.1	2.2
170	0.1	0.3	0.4	0.6	0.7	0.9	1.0	1.2	1.3	1.5	1.6	1.8	1.9	2.1	2.2	2.4
180	0.2	0.3	0.5	0.6	0.8	0.9	1.1	1.3	1.4	1.6	1.7	1.9	2.0	2.2	2.4	2.5
190	0.2	0.3	0.5	0.7	0.8	1.0	1.2	1.3	1.5	1.7	1.8	2.0	2.2	2.3	2.5	2.7
200	0.2	0.3	0.5	0.7	0.9	1.0	1.2	1.4	1.6	1.7	1.9	2.1	2.3	2.4	2.6	2.8
210	0.2	0.4	0.5	0.7	0.9	1.1	1.3	1.5	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.7	2.9
220	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.3	1.5	1.7	1.9	2.1	2.3	2.5	2.7	2.9	3.1
230	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	3.2
240	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.3	1.5	1.7	1.9	2.1	2.3	2.5	2.7	2.9	3.1	3.4
250	0.2	0.4	0.7	0.9	1.1	1.3	1.5	1.7	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.1	3.3	3.5
260	0.2	0.5	0.7	0.9	1.1	1.4	1.6	1.8	2.0	2.3	2.5	2.7	2.9	3.2	3.4	3.6
270	0.2	0.5	0.7	0.9	1.2	1.4	1.6	1.9	2.1	2.4	2.6	2.8	3.1	3.3	3.5	3.8
280	0.2	0.5	0.7	1.0	1.2	1.5	1.7	2.0	2.2	2.4	2.7	2.9	3.2	3.4	3.7	3.9
290	0.3	0.5	0.8	1.0	1.3	1.5	1.8	2.0	2.3	2.5	2.8	3.0	3.3	3.5	3.8	4.0
300	0.3	0.5	0.8	1.0	1.3	1.6	1.8	2.1	2.4	2.6	2.9	3.1	3.4	3.7	3.9	4.2
310	0.3	0.5	0.8	1.1	1.4	1.6	1.9	2.2	2.4	2.7	3.0	3.2	3.5	3.8	4.1	4.3
320	0.3	0.6	0.8	1.1	1.4	1.7	2.0	2.2	2.5	2.8	3.1	3.4	3.6	3.9	4.2	4.5
330	0.3	0.6	0.9	1.2	1.4	1.7	2.0	2.3	2.6	2.9	3.2	3.5	3.7	4.0	4.3	4.6
340	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.7	3.0	3.3	3.6	3.9	4.2	4.5	4.7
350	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.7	3.1	3.4	3.7	4.0	4.3	4.6	4.9

Deze tabellen zijn berekend met de formule $T = \frac{1}{2} L_{pp} \times \sin(\theta)$,

waarbij is aangenomen de "scheepslengte" L_{pp} is en dat de stampas op de halve lengte ligt.

Bijlage 3

Diepgangsvermeerdering door snelheid (squat)

Ten gevolge van de vaart van het schip ontstaat onder en naast het schip een waterstroming. Door deze stroming ontstaat een drukverlaging (in de binnenvaart is dit bekend als de 'kuil' die een passerend schip trekt) waardoor het schip dieper en eventueel vertrimd komt te liggen. Dit verschijnsel wordt in de zeevaart 'squat' genoemd.

De mate waarin dit gebeurt is vooral afhankelijk van de snelheid, maar ook van de vorm (volheid) van het schip, de waterdiepte (en waar van toepassing vaarwegbreedte) en de initiële trim.

Voor de meeste schepen resulteert de drukverdeling onder het schip in een (extra) trim voorover. In Protide wordt de squat tegelijk berekend met de overdrachtsfuncties in de rekenmodule van Seaway/Octopus. De door Tuck in zijn empirische formule voor squat gebruikte vormparameters C_z en C_θ worden berekend uit het spantenraam.

Daarnaast bestaan er vele verschillende schattingsmethoden voor squat, gebaseerd op empirische data (over het algemeen metingen in de sleeptank). Voor het type vaarweg en de scheepstypen waar het hier om gaat, blijkt de Tuck-Taylor (of ICORELS) formule bruikbare resultaten te geven. Dit is in wezen dezelfde formule als de hierboven bedoelde, alleen zijn de vormparameters hier vervangen door een constante (1.75). In de onderstaande tabel zijn squat waarden (diepgangsvermeerdering aan de boeg) bepaald volgens deze formule:

$$S_b = 1.75 \frac{\nabla}{L_{pp}^2} \frac{F_{nh}^2}{\sqrt{1 - F_{nh}^2}}$$

waarin

S_b	= inzinking aan de boeg
∇	= volume onderwaterschip
L_{pp}	= lengte tussen de loodlijnen
F_{nh}	= froudegetal op basis van waterdiepte = $V / \sqrt{gh}$

met

V	= snelheid door het water in m/s
g	= versnelling zwaartekracht (9.81 m/s ²)
h	= waterdiepte

Bijlage 4

Squat tabel

Inzinking (squat) op de voorloodlijn in meters, voor een schip van LxBxT = 280m x 44.6m x 17.8m en $\nabla=185000 \text{ m}^3$ ($C_B=0.83$)

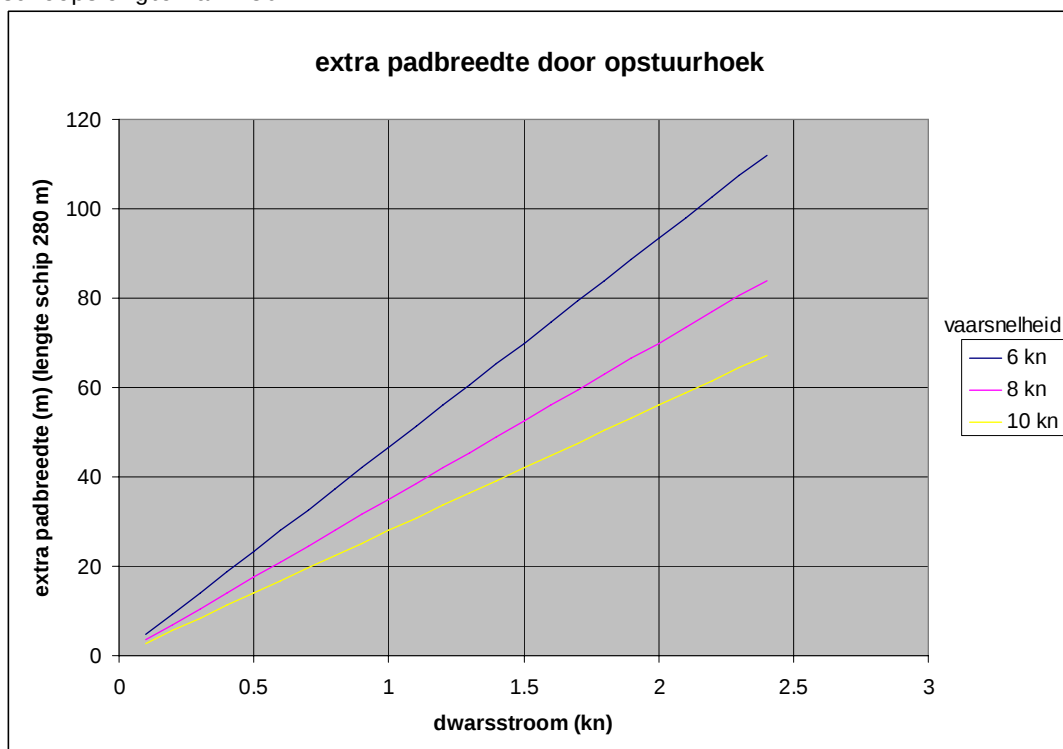
	Kielspeling (m) (bij diepgang 17,8m)							
	1	2	3	4	5	7.5	10	20
	Waterdiepte (m)							
snelheid (kn)	18.8	19.8	20.8	21.8	22.8	25.3	27.8	37.8
1	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01
3	0.05	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	0.03
4	0.10	0.09	0.09	0.08	0.08	0.07	0.06	0.05
5	0.15	0.14	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10	0.07
6	0.22	0.21	0.20	0.19	0.18	0.16	0.15	0.11
7	0.30	0.29	0.27	0.26	0.25	0.22	0.20	0.15
8	0.40	0.38	0.36	0.34	0.33	0.29	0.26	0.19
9	0.51	0.48	0.46	0.44	0.42	0.37	0.34	0.25
10	0.64	0.61	0.57	0.55	0.52	0.47	0.42	0.31
11	0.79	0.74	0.71	0.67	0.64	0.57	0.52	0.37
12	0.96	0.90	0.86	0.81	0.77	0.69	0.62	0.45
13	1.15	1.08	1.02	0.97	0.92	0.82	0.74	0.53
14	1.37	1.29	1.22	1.15	1.09	0.97	0.87	0.62

Bijlage 5

Padbreedte

Verzet ten gevolge van stroom wordt gecompenseerd door een opstuurhoek, om de drift door dwarswind te compenseren moet eventueel ook enkele graden hoger gestuurd worden. Het verschil tussen de gyrokoers en de grondkoers (is geulrichting) maakt dat de gebruikte padbreedte groter is dan de scheepsbreedte.

In de onderstaande grafiek is aangegeven wat de extra padbreedte is bij een opstuurhoek in verband met dwarsstroom, bij verschillende vaarsnelheden. Er is gerekend met een scheepslengte van 280 m.



De gebruikte formule is eenvoudig:

$$b = L * V_c / V_s$$

waarin:

b = extra padbreedte

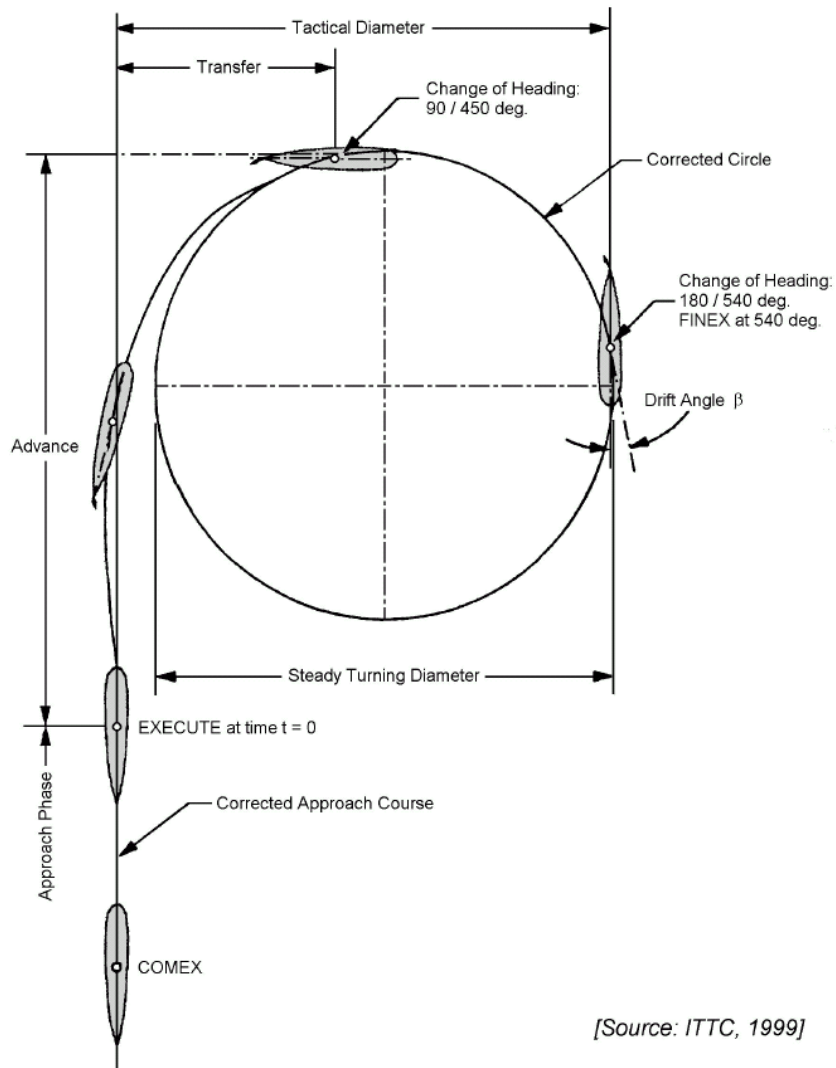
L = scheepslengte

V_c = dwarsstroom (kn)

V_s = vaarsnelheid (kn)

Bijlage 6

Draaicirkelgegevens



In de onderstaande tabellen zijn draaicirkelgegevens weergegeven van een 278.000 dwt tanker, geregistreerd tijdens praktijkmetingen en gecorrigeerd voor stroom en wind. Hoewel dit schip niet met deze diepgang de IJgeul zal inlopen illustreren de tabellen drie belangrijke constatering:

- De draaicirkel-afmetingen zijn nauwelijks afhankelijk van de vaarsnelheid
- De draaicirkel-afmetingen zijn wel zeer afhankelijk van de kielspeling
- De draaicirkel kan (in aanvang) zeer klein gemaakt worden door bij lage snelheid maar veel schroeftoeren aan de draai te beginnen (de zogenaamde toerenstoot-draai).

Roerhoek	Aanvangs- snelheid (kn)	RPM tijdens rondtorn	Advance (m)	Diameter (m)	T 90 (min)
35 SB	7.0	39	990 (3.3 L)	1075 (3.6 L)	6,0
35 SB	7.0	39	915 (3.1 L)	1075 (3.6 L)	6,0
35 SB	0.1	56	470 (1.6 L)	810 (2.7 L)	10,5
35 SB	0.4	56	355 (1.2 L)	750 (2.5 L)	9,5
Draaicirkelgegevens tanker van 278.000 dwt, diepgang 21,95 meter (72 voet), praktijkgegevens, waterdiepte 1,5T (50% K.C.)					

Roerhoek	Aanvangs- snelheid (kn)	RPM tijdens rondtorn	Advance (m)	Diameter (m)	T 90 (min)
35 SB	7.0	39	1180 (3.9 L)	1590 (5.3 L)	8,0
35 SB	7.0	39	1190 (4.0 L)	1565 (5.2 L)	7,5
35 SB	4.9	29	1150 (3.8 L)	1370 (4.6 L)	10,5
35 SB	5.0	29	1200 (4.0 L)	1630 (5.4 L)	10,0
35 SB	0.3	56	490 (1.6 L)	1060 (3.5 L)	12,0
Draaicirkelgegevens tanker van 278.000 dwt, diepgang 21,95 meter (72 voet), praktijkgegevens, waterdiepte 1,2T (20% K.C.)					

Bijlage 7

Schaal van Beaufort

	Wind in m/sec	Wind in knopen	Benaming wind	Benaming engels	Omschrijving van het zeeoppervlak
0	0.0- 0.2	0 - 1	Stilte	Calm	Spiegelgladde zee.
1	0.3- 1.5	1 - 3	Flauw en stil	Light air	Kleine golfjes die de zee een geschubd aanzien geven.
2	1.6- 3.3	4 - 6	Flauwe koelte	Light breeze	Kleine, nog korte golven, toppen glasachtig aanzien.
3	3.4- 5.4	7 -10	Lichte koelte	Gentle breeze	Kleine golven, beginnen te breken, eerste schuimkopjes.
4	5.5- 7.9	11-15	Matige koelte	Moderate Breeze	Kleine, langer wordende golven, schuimkoppen komen nu vrij veel voor.
5	8.0-10.7	16-21	Frisse bries	Fresh breeze	Matige golven van grotere lengte, overal schuimkoppen, hier en daar opwaaiend schuim.
6	10.8-13.8	22-27	Stijve bries	Strong breeze	Grotere golven, brekende koppen doen overal grote witte schuimplekken ontstaan opwaaiend schuim komt vrij veelvuldig voor.
7	13.9-17.1	28-33	Harde wind	Near gale	Golven worden hoger, witte schuim van brekende golven begint zich als strepen in de richting van de wind te ontwikkelen.
8	17.2-20.7	34-40	Stormachtig	Gale	Matig hoge golven met aanmerkelijke kamlengte, toppen waaien af en vormen goed ontwikkelde schuimstrepen in de richting van de wind.
9	20.8-24.4	41-47	Storm	Strong gale	Hoge golven, zware strepen schuim, rollers beginnen zich te vormen, het zicht kan door verwaaid schuim worden beïnvloed.
10	24.5-28.4	48-55	Zware storm	Storm	Zeer hoge golven met lange overstortende golfkammen, grote oppervlakken schuim, de zee krijgt een wit aangezicht, zware overslaande rollers, verwaaid schuim vermindert het zicht.
11	28.5-32.6	56-63	Zeer zware storm	Violent storm	Buitengewoon hoge golven, de zee is geheel bedekt met lange schuimstrepen, de randen van de golfkammen verwaaien overal, het zicht is sterk verminderd.
12	32.7 +	64 +	Orkaan	Hurricane	De lucht is met schuim en verwaaid zeewater gevuld, de zee is volkomen wit, zicht op enige afstand bestaat niet meer.

Tidal bound navigation in the IJgeul

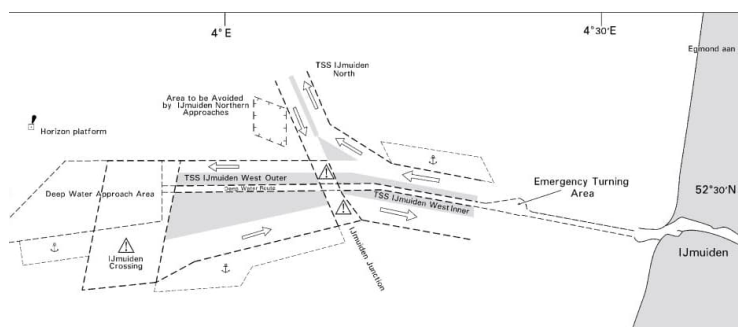
IJmuiden Deep Water Route

Ships with draughts between 14.10 and 17.80 meters for IJmuiden are considered as Deep Draught Vessels and must follow the Deep Water Route IJgeul. The particulars of the channel are:

	direction	width	Minimum depth	Length
IJ-1 to IJ-9	89.2°	600 m	LAT – 19.90 m	10.4 nautical miles
IJ-9 to harbour	100.5°	450 m	LAT – 19.20 m	12.4 nautical miles
Total length:	22.8 nautical miles			

Deep Water Route navigation IJgeul

Deep Draught Vessels are constrained by their draught in relation to both depth and width of the IJgeul and cannot deviate from their track. The Traffic Separation Scheme in the approaches to IJmuiden consists of *IJmuiden West Outer*, *IJmuiden West Inner* and *IJmuiden North*. Furthermore, two precautionary areas, *IJmuiden Crossing* and *IJmuiden Junction*, are established. According to the International Regulations for Preventing Collision at Sea the appropriate signals must be shown. In addition to the normal navigation lights for a power driven vessel prescribed in Rule 23, the Deep Draught Vessel will, by day, exhibit a black cylinder and by night, three all round red lights in a vertical line, as prescribed in Rule 28. As an extra safety measure, masters are advised to make sure the Constrained by Draught status of their ship is entered in the ship's AIS.



Tidal windows

There are tidal restrictions for Deep Draught Vessels using the IJgeul. The Dutch Hydro Meteo Centre (HMC) defines safe tidal windows during which these vessels may enter and navigate the channel. Tidal windows guarantee a safe Under Keel Clearance (UKC) in every part of the channel. These tidal windows are determined via a method based on probabilistic calculations. That means that for every actual channel passage, the safety of approach will be assessed in advance, using strict safety criteria that are designed and classified according to different levels of risk of touching the bottom. The IJgeul has a sandy bottom.

Safety criteria

For all IJgeul transits the following safety criteria are integrated into the probabilistic method and these safety criteria will be guaranteed within the limits of the tidal window:

- The under keel clearance (UKC), with squat but without the effect of list, waves and swell taken into account, must be more than 1.00 m at all times to preserve manoeuvrability.
- A transit within the tidal window will stay clear of the channel bottom, effect of squat, waves and swell taken into account, with a reliability level of at least 99.98%.
- The tidal (cross-)current rate at the Harbour entrance must be less than 1 knot.

Design of Deep Water Route

The depth-design of the IJgeul is closely related to the method of probabilistic calculation of tidal windows. Ideally, the safety level is equal for all sections of the channel. If the safety level is lower for any section, that section should be dredged deeper. In practice, this ideal cannot be achieved because the channel must be used for a variety of draughts and conditions. The tidal window regime assures that the overall safety level of all admitted transits in the final channel design meets the criteria. This method is world-wide proven to be safe and the Port of Rotterdam has worked with probabilistic design and probabilistic tidal windows since 1985.

Example of calculation

Deterministic safety allowance

A deterministic UKC method uses a fixed safety allowance related to draught, under all tidal-hydro-meteo conditions. For instance:

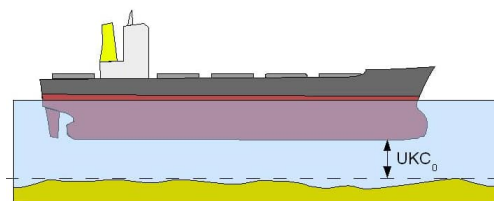
15% of 17.50 m = 2.62 m UKC. In the case of flat calm weather, this may be unnecessary large. But if, during bad weather, this 46m wide ship has a roll angle of 7 degrees, then this will lead to a draught increase of 2.67 meters (pitching and squat not taken into account). In that case a safe deterministic UKC of 2.62 m will be insufficient. So master and pilot should at all times check the actual conditions, the ship's movements and the UKC, before entering the channel.

Probabilistic Safety allowance

A probabilistic UKC method calculates safety allowances according to a prediction of condition-related models. The thus established UKC should be more realistic in relation to the actual tidal-hydro-meteo conditions. So in flat calm weather, this may result in a safe probabilistic UKC which is less than 15%. But in bad weather the probabilistic UKC will be more (safer) than 15%. So master and pilot should at all times check the actual conditions, the ship's movements and the UKC, before entering the channel.

Minimum Under Keel Clearance

According to International Safety Management (ISM) guidelines, it is the master's responsibility to estimate the safe minimum under keel clearance (UKC) along the whole transit route of the vessel. For Deep Water Routes the ISM guidelines recommend a safe UKC based on a fixed formula of 15% of the ship's deepest draught, with a minimum of 2 meters. This is called the Deterministic UKC method.



Dutch Government uses Probabilistic UKC

A Government or Port Authority may demand a specific minimum UKC, other than the recommended 15%, based on the probabilistic method. In that case a safety allowance of 15% is not necessary, because when establishing explicit hydro-meteo and tidal restrictions for channel transit, the probability of touching the bottom will already have been calculated and taken into account. In such cases the master is advised to accept that the actual UKC during IJgeul transit will be different from that stated in ISM guidelines, but always within guaranteed safe limits as long as the ship navigates within the correct tidal window. For the major Dutch ports the tidal windows are determined with a probabilistic method.

Factors defining the UKC

The probabilistic method calculates all the factors that define the vessel's UKC. These are factors causing an increase in draught, such as squat, or wave-induced vertical ship motions, such as rolling, pitching and heaving. The probabilistic method also accounts for the uncertainties in the predicted tidal height, wave height and swell height. Inaccuracies in draught calculation, density of the water, the vessel's heeling, hogging or sagging, are modelled as a combined uncertainty for the draught in the probabilistic method.

Ship's response to waves

The response to waves and swell are determined using the state-of-the-art calculation engine from the Octopus®Office application. The ship's main dimensions, hull form, metacentric height and natural roll period are all used to calculate the Response Amplitude Operators (RAOs), which represent the multiplication factors to determine the ship motion amplitude from the amplitude of the incident wave component. The forecast of directional wave spectra is produced by a SWAN wave calculation model for the southern North Sea, closely monitored by HMC experts. Together with the RAO's, spectra of vertical ship motions are produced to make the risk calculation possible.

Tidal window forms and tidal graphs

Tidal window forms show first of all a time-location graph with the recommended passage plan. For this passage plan the calculated UKC, roll and pitch angles and safety level is shown as a function of the position along the channel. Also time plots of the predicted water level, cross current, wave height and swell height are shown. Finally, vessel details, destination, date and time of issue and calculation settings are shown as tabular data.

The tidal window forms are produced based on a predetermined average speed along the track, taking into account that the actual speed may vary within a wide range around this average. This range has been based on AIS recordings of a large number of IJgeul passages. The average speed on the outer leg is 8 kn, decreasing to 7 kn at IJ-11, 6 kn at IJM-C and 5 kn at the harbour entrance.

Predictions used

Wind and weather prediction

Forecasts by the national meteorological weather service (KNMI) are used to predict and calculate the effects of wind and weather on the tidal window.

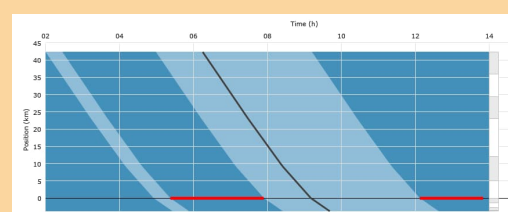
Prediction of wave spectra

A mathematical model of the southern North Sea, SWAN-North Sea, is used to calculate expected wave spectra along the channel for the next day. Actual wave spectra measurements are used to improve the first hours of the prediction. The Dutch Hydro Meteo Centre (HMC) extends beyond the horizon of the SWAN calculation, producing expected trends for swell and wave height. The height and direction of longer wave components determine the ship motions in waves and thus strongly influence the probability of touching the channel bottom.

Prediction of tidal level and cross current

For a number of locations along the coast and at sea, the water level and strength and direction of the current are predicted using tidal, meteorological and hydrological models. The models are based on observed (actual) and historic data and the predictions are updated every 3 hours by HMC.

The time-location graph



A passage starts at the top (seaside), moves with increasing time (to the right) in the direction of the harbour (down). Blue areas are safe, white not safe enough. The designated tidal window is indicated in light blue, the black line is the current passage plan. A horizontal red line denotes that the passage is blocked due to the cross current limit.