

Strategische en technische haalbaarheid Protide

Probabilistic tidal window determination

Inleiding en doelstelling

In opdracht van AVV (adviesdienst verkeer en vervoer van verkeer en waterstaat) heeft Charta Software tussen februari en juni 2007 een haalbaarheidsstudie uitgevoerd naar een nieuw tijpoortadviesprogramma. Dit programma zou de opvolger moeten zijn van het in Rijnmond gebruikte model HARAP (*harbour approach*), wat bij het geven van tijpoortadviezen voor de IJgeul in een proeffase zit.

Een nieuw tijpoortadviesprogramma is gewenst omdat HARAP rekent met gemodelleerde gegevens, (willekeurige) klassegrenzen en weinig inzicht geeft in de rekenmethode. Protide, het geplande nieuwe tijpoortadviesprogramma, heeft dan ook als doel deze onvolkomenheden op te lossen door gebruik te maken van actuele voorspellingen, waar mogelijk zonder klassegrenzen te werken en gebruik te maken van de huidige technische mogelijkheden om inzicht te geven in de berekening.

Dit document geeft inzicht de functionele en technische mogelijkheden door de genomen stappen in het project af te lopen en toe te lichten. De volgende hoofdstukken zijn opgenomen:

1. Projectopzet haalbaarheidsonderzoek
2. Interviews
3. Probleemanalyse
4. Berekening
5. Prototype
6. Technisch kader

Projectopzet haalbaarheidsonderzoek

Een eerste stap in een mogelijke realisatie van Protide is het uitwerken van de functionele en technische haalbaarheid. Dit is opgepakt in het haalbaarheidsonderzoek waar alle beschikbare informatie is doorgewerkt met als resultaat een Protide prototype met functionele en technische uitwerking. De volgende stappen zijn doorlopen:

Inhoudelijke uitwerking	Inhoudelijke sessies met AVV over beschikbare gegevens en bereken methodieken.
-------------------------	--

Interviews	Gesprekken met het loodswezen, havenbedrijven, rijkswaterstaat Noordzee en HMCN over functionele wensen.
Probleemanalyse	Het doorwerken van beschikbare documentatie en onderzoek naar de verschillende bereken methodieken: vaste kielspeling, HARAP en het afstudeerwerk naar mogelijkheden tot verbetering in probabilistische tijpoort bereken methoden (R. Bouw 2005).
Berekening opzet	Het bepalen van de stappen in een berekening die gebruik maakt van de laatste inzichten op het gebied van tijpoortadviesberekeningen en aansluit bij de wensen van toekomstige gebruikers / belanghebbenden.
Ontwerp en ontwikkeling prototype	Het vertalen van de gebruikerswensen naar een tastbare applicatie die een eerste inzicht geeft in de mogelijkheden van Protide.
Technisch kader	Formulering van technische mogelijkheden, keuzen en aandachtspunten van een toekomstige applicatie.

De opgeleverde stukken zijn:

- Strategisch en technisch ontwerp Protide (dit document)
- Eindpresentatie Protide haalbaarheidsonderzoek
- Protide prototype (beschikbaar via <http://protide.chartasoftware.com/>)

Interviews

Om een beeld te krijgen van de wensen van de gebruikers zijn gesprekken gevoerd met de volgende partijen / personen.

Havenbedrijf Rotterdam	Jan Prince
RWS Dienst Noordzee	Wim Verhagen Hans van der Gouwe Henk Keyser Marc Philippart
Nederlands Loodswezen	Adri Schippers André Eelman René van Essen
Gemeentelijk havenbedrijf Amsterdam	Herman Anker

Samenvatting gesprekken

In de gesprekken is ingegaan op de huidige toelatingsprocedure, de rollen van verschillende partijen, de wijze waarop tijpoorten worden berekend, de rol van

HARAP en de verwachtingen en wensen rondom Protide. Aanvullende onderwerpen betroffen de technische mogelijkheden, de aanwezigheid van actuele gegevens, veiligheidscriteria, overlig/down-time cijfers, nautisch gegarandeerde diepte en de wens van terugkeermogelijkheden en individuele tijpoortadviezen.

De gesprekken die zijn gevoerd geven een goed beeld van de wensen en verwachtingen van de gebruikers. Een aantal dingen komt bij elk gesprek terug en sommige zijn specifiek voor "Amsterdam", "Rotterdam" of "RWS"¹.

Door iedereen genoemd zijn:

- een geulvaart moet veilig zijn
- het veiligheids criterium moet begrijpelijker zijn: individueel criterium
- gebruik actuele (continue) gegevens
- probabilistisch is beter dan deterministisch
- inzicht in de invoer van het model
- inzicht in uitvoer: kans op bodemberoering, visualisaties, mogelijkheid tot terugkeren
- technische vooruitgang is gewenst: Internet

Specifiek voor Amsterdam:

- er moeten goede cijfers voor de dwarsstroom worden gebruikt
- visualisatie van uitkomsten is essentieel voor vertrouwen in het model

Specifiek voor Rotterdam:

- de weg inslaan naar een individueel toelatingsbeleid
- de mogelijkheid tot uitgaande tijpoorten moet worden onderzocht

Rijkswaterstaat Dienst Noordzee:

- constante afweging veiligheid, kosten en toegankelijkheid
- extra mogelijkheden model: inzicht geven in geul bottlenecks, geulontwerp ondersteunen
- inzicht in de te ontwikkelen rekenmethode is gewenst
- "live" bijsturen van verwachtingen

1 Het is een globale aanduiding per "partij". De meeste punten zijn overal genoemd, maar het onderscheid wordt gemaakt op basis van het urgentieniveau.

Probleemanalyse

Het probleem van het geven van een tijpoortadvies voor geulvaarten kent een aantal onderdelen. Deze onderdelen worden in dit hoofdstuk besproken.

Veiligheids criterium

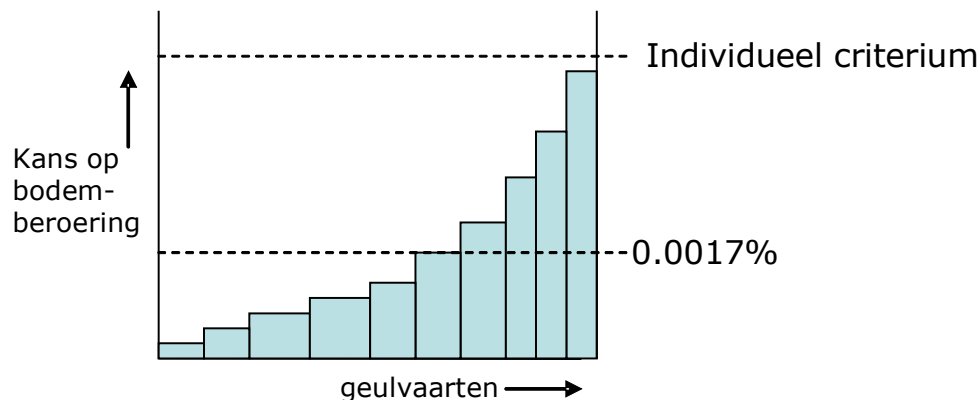
Een tijpoortadvies berekend met een probabilistische methode is gebaseerd op de kans dat een schip tijdens een geulvaart de bodem mag raken. Deze kans is, voor HARAP, bepaald op basis van de "levensduur" van de vaargeul: 25 jaar. Gegeven deze levensduur is het volgende criterium opgesteld:

De kans op één of meer bodemberoeringen met meer dan toegestane lichte schade in 25 jaar mag niet groter zijn dan 10%

Dit wil zeggen dat er in 25 jaar slechts 10% kans mag zijn dat er een schip meer dan 25 centimeter de bodem penetreert. Dit komt overeen met één schadegeval in 238 jaar. Uit de interviews kan de conclusie worden getrokken dat dit een ondoorzichtig criterium is omdat het geen uitspraak doet over individuele geulvaarten. Daarom doen we het voorstel om dit bekende lange termijn criterium om te rekenen naar een maximale kans op bodemberoering gedurende één vaart². De volgende stappen kunnen hiervoor worden genomen.

10% kans op een bodemberoering in 25 jaar komt overeen met gemiddeld 0.004 bodemberoeringen per jaar. Gegeven ongeveer 250 geulreizen, komt dit overeen met een gemiddelde toegestane kans van 0.000017 op een bodemberoering gedurende één vaart.

Om gemiddeld op deze kans uit te komen zullen sommige reizen meer en andere reizen minder kans op bodemberoering hebben. De volgende figuur illustreert dit.



Deze figuur geeft over de horizontale as de tijgebonden geulvaarten en op de verticale as de kans op bodemberoering. Door een maximale kans op

² Dit is ook gedaan in het afstudeeronderzoek van R. Bouw (2005) waarop de berekeningswijze in de haalbaarheidsonderzoek gebaseerd is.

bodemberoering hoger te nemen dan 0.0017%, blijft de gemiddelde kans nog netjes onder dit criterium en wordt er ook aan het lange 25 jaar criterium voldaan. In het afstudeeronderzoek van R. Bouw wordt dit individueel criterium op 0.017% gezet.

Data

Het tweede deel van het probleem is om gegeven de maximale kans op bodemberoering voor een geulvaart te bepalen wanneer aan deze voorwaarden wordt voldaan. Hiervoor moet er rekening worden gehouden met de omstandigheden tijdens de geulvaart. Deze omstandigheden zijn gegeven door de volgende gegevens en voorspellingen:

Waterstandsvoorspelling	Rondom een gegeven tijdstip heeft het model de beschikking nodig over de waterstand op verschillende momenten en op verschillende plaatsen op de geul. Deze data kan als voorspelling met een gegeven variatie worden opgegeven.
Vaargeul	Voor elke positie op de geul moet de bruikbare diepte bekend zijn. Dit kan worden gedaan door een gegeven nautisch gegarandeerde diepte en mogelijk met correcties daarop voor bijvoorbeeld verondiepingen.
Stroomvoorspellingen	Rondom de havenmond kan het door teveel dwarsstroom noodzakelijk zijn om tijdelijk geen vaarten toe te staan. Voor deze stroomuitsluiting is de richting en sterkte van de stroom nodig.
H _{E10}	Om rekening te houden met de verwachte deining van schepen is een voorspelling nodig van de hoogte en richting van laag frequente golfenergie. Bij deze voorspelling kan ook een variatie worden opgegeven.

Tijpoort aanvraag

Een tijpoort aanvraag wordt gedaan voor een schip dat de haven nadert en gegeven een bestemming (berth) en aankomsttijd (ETA) rondom een hoogtij naar binnen zou willen komen. Voor een aanvraag zijn de volgende gegevens nodig:

Moment van aankomst	estimated time of arrival rendez-vous
Bestemming	berth
Scheepseigenschappen	uniek identificatienummer van het schip (IMO), scheepstype (bulk, tanker, container), lengte, breedte, squat coëfficiënt
Belading	GM (metacentric height), dead weight, water verplaatsing (omvang schip onder de waterspiegel), trim (helling) en snelheidsmogelijkheden (dead

slow, full maneuvering, sea)

Op dit moment wordt in HARAP gebruik gemaakt van scheepsklassen waarvoor veel van de bovenstaande parameters zijn afgeschat. Omdat veel van de benodigde gegevens waarschijnlijk niet direct bij aanvraag gegeven kunnen worden, zijn deze klassen waarschijnlijk nog nodig bij eerste implementaties van Protide. Wel kunnen dergelijke gegevens zo veel mogelijk verzameld worden om een database op te bouwen waarmee in de toekomst de stap naar een individueel tijpoortadvies kan worden gemaakt.

Parameters

Naast het veiligheids criterium is er nog een aantal parameters dat ingesteld moeten worden voordat er een berekening kan worden uitgevoerd:

Manoeuvreerruimte	De minimale kielspeling zonder deining.
Snelheidsregime	De snelheid of snelheidsopbouw waarvoor het model een tijpoortadvies moet geven.
Dwarsstroomuitsluiting	De maximale dwarsstroom die bij de havenmond mag gelden voor een veilige havenbenadering.
Toegestane schade	De maximale hoeveelheid bodempenetratie waarbij er nog sprake is van lichte schade.

Berekening

De berekening van het tijpoortadvies kan in de volgende vier stappen:

1. Het bepalen van de basis onder keel clearance (UKC)
2. Het berekenen van het tijd-weg-diagram op basis van de maximale kans op bodemberoering voor een individuele vaart
3. Het opleggen van de dwarsstroomuitsluiting in het tijd-weg-diagram
4. Het bepalen van een mogelijke vaart in het tijd-weg-diagram

Basis UKC

De basis UKC is de UKC van een schip gegeven de waterstand, de diepgang van het schip en de squat. Deze waarde moet bepaald worden voor een aantal posities in de geul gedurende een periode rondom het tij dat het schip verwacht wordt naar binnen te kunnen.

1. *water level*: Er worden trekkingen gedaan uit de gegeven waterstandsvoorspelling op de gewenste locatie en tijdstip.
2. *maximum squat*: de maximale squat wordt bepaald met de formule gegeven door Tuck-Taylor:

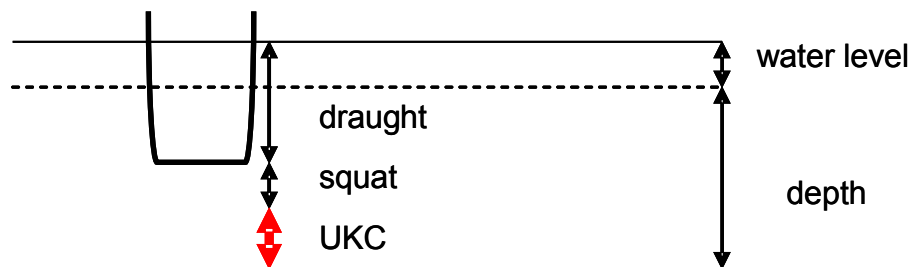
$$F = \text{Froude - number} = \frac{v_s}{\sqrt{g \cdot h}}$$

$$\text{squat} = \frac{F^2}{\sqrt{1 - F^2}} \cdot \frac{\nabla}{L_{pp}^2} \cdot C_{squat}$$

met:

v_s	Snelheid van het schip
g	Valversnelling
∇	Waterhoogte
	Waterverplaatsing
L_{pp}	Scheeps lengte

3. De basis UKC volgt uit: *depth + water level - draught - maximum squat*



Berekening tijd-weg diagram

Het effect van deining

Na het bepalen van de basis UKC kan het effect van scheepsdeining worden meegenomen. Hiervoor worden formules gebruikt die zijn bepaald door het programma SEAWAY. Hierdoor zijn er voor gegeven scheepstypen, invalshoeken van golven, snelheid en H/T ratio³ formules beschikbaar voor de significante verticale beweging als functie van H_{E10} :

³ H/T ratio is de ratio tussen de hoeveelheid water en de diepgang van het schip. Bij geul- en tijgebonden schepen ligt deze ongeveer tussen de 1.1 en 1.5.

$$Z_s = a \cdot H_{E10} + b$$

$$\sigma_s = a_1 \cdot H_{E10}^2 + b_1 \cdot H_{E10} + c_1$$

De waarden voor de a , b en c 's worden bepaald door SEAWAY. Door trekkingen te doen uit de H_{E10} voorspelling kan hieruit de verdeling worden vastgesteld van de frequentie van bodemberoeringen gedurende een vaart:

$$m_0 = \frac{1}{16} Z_s^2$$

$$\lambda = \frac{1}{T} \cdot e^{-\frac{KC^2}{2m_0}}$$

met:

m_0	0de spectrale moment van de scheepsbewegingen
KC	Berekende basis UKC
T	Gemiddelde periode van scheepsbewegingen ⁴
λ	Frequentie van bodemberoeringen gedurende een vaart

Omdat wordt aangenomen dat de bodemberoeringen Poisson verdeeld zijn kan hieruit de kans op het aantal bodemberoeringen gedurende een geulvaart (T_{pas}) worden bepaald:

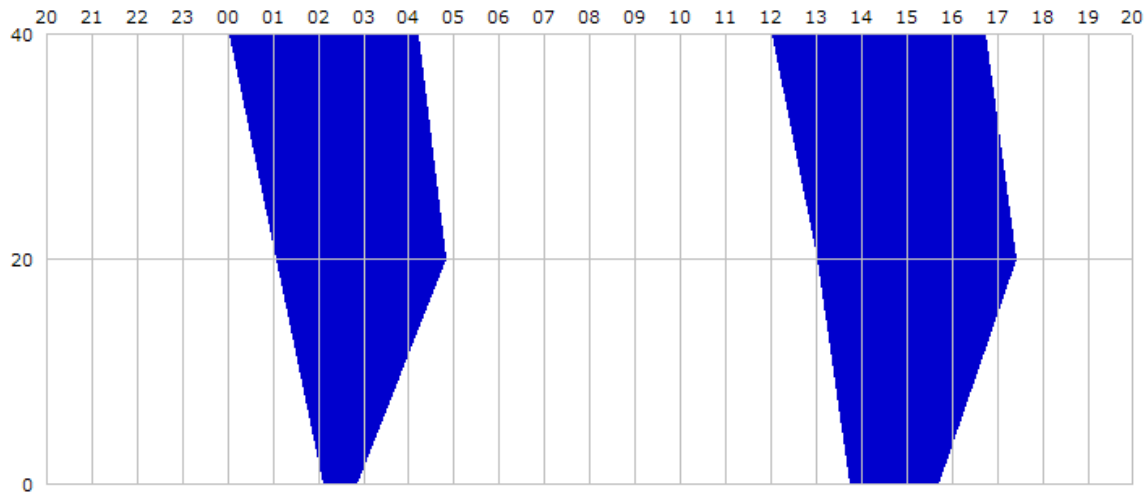
$$P(\lambda \cdot T_{pas} > 0) = 1 - e^{-\lambda \cdot T_{pas}}$$

Het berekenen van het tijd-weg diagram

De tijden en locaties waar de kans op bodemberoering exact gelijk is aan het gestelde criterium geven de randen aan van het tijd-weg-diagram. Door op zoek te gaan naar deze uitersten (bijvoorbeeld door middel van een nul-punt zoek methode) kan het tijd-weg-diagram relatief efficiënt gevonden worden.

⁴ Deze periode volgt, naast de formules voor de significante verticale verdeling, ook uit SEAWAY.

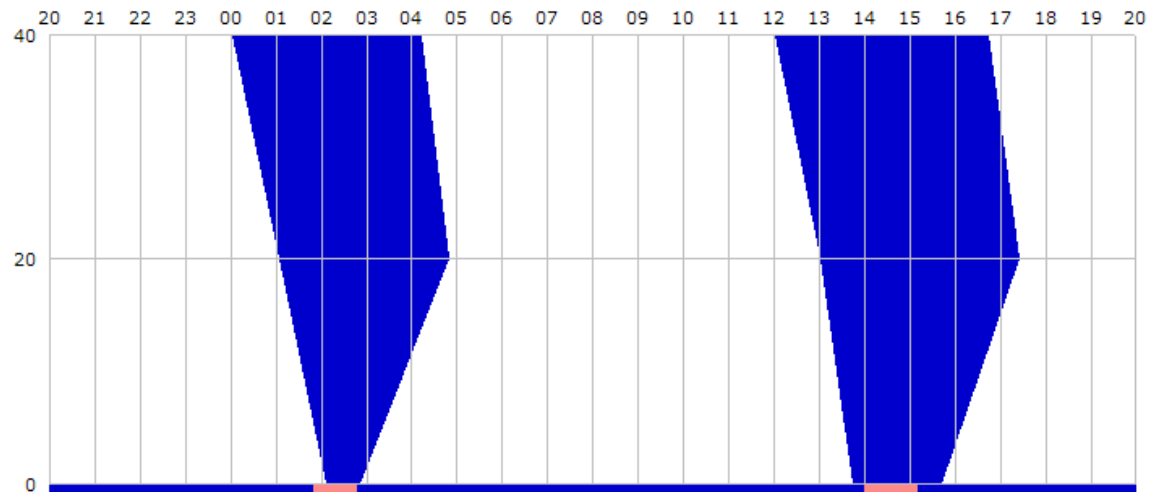
Time / location diagram



Dwarsstroomuitsluiting

In het tijd-weg-diagram geldt de dwarsstroomuitsluiting alleen bij de havenmond (kilometer 0). Deze uitsluiting geldt als de dwarsstroom groter is dan het gestelde maximum.

Time / location diagram



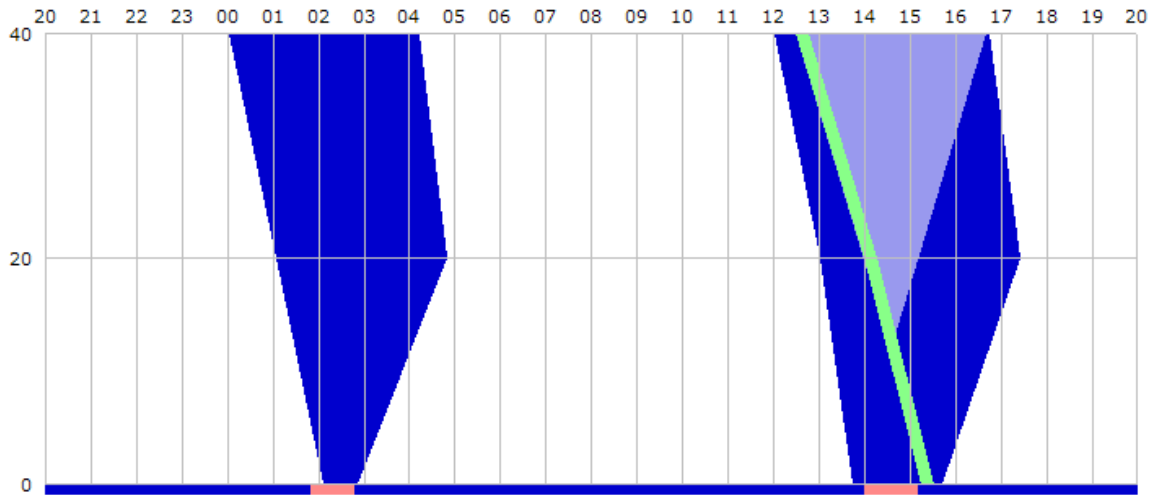
Tijpoortadvies

Als laatste stap in de berekening wordt een tijpoortadvies bepaald. Dit gebeurt door het breedst mogelijke pad te trekken van het begin van de vaargeul tot de havenmond met het gekozen snelheidsregime. Als het mogelijk is deze lijn te trekken waarbij ook rekening wordt gehouden met de dwarsstroom en eventueel de

minimale breedte van een tijpoort, geldt dit als het tijpoortadvies en wordt er ook de mogelijkheid tot terugkeer aangegeven. Indien het niet mogelijk is een tijpoortadvies te berekenen voor de geven omstandigheden, dan moet het schip een tij overliggen waarvoor dan een nieuwe berekening moet worden gemaakt.

Gedurende de gehele geadviseerde vaart ligt de kans op het beroeren van de bodem onder het gestelde criterium. De gerealiseerde risico's op bodemberoeringen kunnen afzonderlijk worden weergegeven.

Time / location diagram



Prototype

In een incrementeel proces is er een Protide prototype ontwikkeld. Hierbij betekent incrementeel dat er telkens een gedeelte is ontwikkeld en daar feedback op is gevraagd en ontvangen van de aanwezigen bij de feedback sessies. Het resultaat is een applicatie die een idee geeft van de mogelijke schermen in de eventueel te ontwikkelen uiteindelijke applicatie. Hierbij gelden een paar kernpunten:

1. Het gaat om operationele ondersteuning: door live een tijpoortadvies te berekenen, kan er zo actueel mogelijke data worden gebruikt en zijn de resultaten betrouwbaarder.
2. Per vaart een advies: per tijgebonden geulvaart wordt een nieuwe berekening gedaan.
3. Het prototype is een internet applicatie: door de applicatie als internetsite te ontwikkelen is het makkelijk toegankelijk voor belanghebbenden.
4. Verschillende gebruikers met verschillende rechten: in het tijpoortadvies proces zijn er verschillende partijen te onderscheiden: (data) leveranciers, havenbedrijven, loodsen, agenten, kapiteins, rijkswaterstaat Noordzee, etc.

Deze partijen hebben verschillende belangen, rechten en plichten. Deze worden geregeld door verschillende gebruikersrechten.

5. Inzicht in invoer, status en uitvoer: in het prototype is veel aandacht gegeven aan inzicht in de verschillende onderdelen van het tijpoortadvies traject. Hierbij gaat het om de benodigde gegevens (voorspellingen), status van bestaande aanvragen en analyse mogelijkheden op uitvoer van gemaakte tijpoortadviezen.

Het proces is als volgt:

1. Er wordt voor een schip een aanvraag gedaan voor een tijpoort (door een "Ship master" of "Port Authority").
2. Rondom het gewenste tij worden data voorspellingen geleverd (door een "Provider"). Dit kan automatisch en via een handmatige actie worden bijgesteld.
3. De tijpoortberekening wordt uitgevoerd (door een "Provider" of "Port Authority") met als resultaat een voorlopig tijpoortadvies (tentative).
4. Eén instantie geeft expliciet aan akkoord te zijn (approved).
5. Alle partijen kunnen de status van de aanvraag, de data voorspellingen en de uitkomsten bekijken (onder andere "Ship master" en "Pilot").

Het prototype is beschikbaar via <http://protide.chartasoftware.com>.

Technisch kader

Internet applicatie

Zoals het hierboven is aangegeven is het prototype ontwikkeld als internet applicatie. Omdat de mogelijke wens van een internet applicatie naar voren is gekomen tijdens de interviews en omdat dit tegenwoordig ook goed haalbaar is, is dit ook de aanbeveling voor het uiteindelijke Protide. Met een internet applicatie kunnen geïnteresseerde partijen op ieder moment toegang krijgen tot de gewenste informatie en kan een tijpoortadvies op willekeurige momenten worden bijgestuurd bij nieuwe inzichten.

Gegeven deze keuze zijn er een aantal aandachtspunten voor de ontwikkeling van Protide:

1. Up-time: het is noodzakelijk dat de applicatie (bijna) altijd in de lucht is om binnenkomende schepen van een tijpoort advies te kunnen voorzien.
2. Back-up: in het geval dat het (tijdelijk) onmogelijk is om gebruik te maken van de applicatie via het internet is het misschien aan te raden een "stand alone" back-up systeem te hebben draaien.

3. Regie: belanghebbenden kunnen inloggen op de internet applicatie en voorspellingen of de status van tijpoortadviezen bekijken. De regie voor het verlenen van toegang moet nog worden uitgewerkt.
4. Export: alle data en adviezen moeten kunnen worden geëxporteerd
5. Logging: data, berekeningen en adviezen worden bewaard

Huidige implementatie en installatie

De huidige implementatie van het prototype is op basis van het Charta Platform. Dit wil zeggen dat het gebruik maakt van bij Charta Software ontwikkelde componenten voor:

- gebruikers management
- module opbouw
- tabel- en figuurcomponenten
- export naar CSV
- activiteiten log
- database connectie
- web componenten

Alle code is ontwikkeld in *Borland Delphi for Windows* versie 10, waarbij alle data is opgeslagen in een *MySQL 5.0* database. Het prototype draait op een *Windows Server 2003* machine van Charta Software.

Data beschikbaarheid

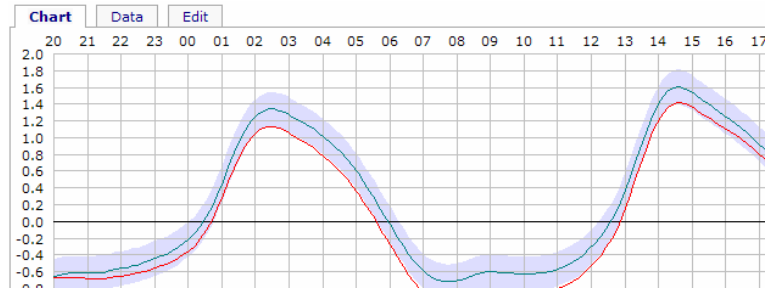
Data leverancier

Een belangrijk onderdeel van Protide wordt de beschikbaarheid van actuele gegevens. Hierbij gaat het zowel om voorspellingen van waterstanden, golven en stroom, als om de gegevens over de diepte (en verondiepingen) van de geul. Deze gegevens worden opgesteld door HMCN, dus moet er onderzocht worden hoe er een aansluiting kan worden gemaakt met de daar aanwezige data.

Handmatige data aanpassingen

Ook bij een actuele data connectie met de data leverancier, kan het wenselijk zijn om gegevens (zoals voorspellingen) handmatig nog aan te passen. Hierdoor kan er (door de geautoriseerde partijen) op basis van externe informatie noodzakelijke aanpassingen worden gedaan. Het onderstaande voorbeeld toont die mogelijkheid als tabbladen in het prototype.

Door deze mogelijkheid kunnen er aanpassingen worden gedaan die worden bijgehouden voor alle tijpoortadviezen. Hiermee kan er bijvoorbeeld door analyse geleerd worden waar data voorspellingen verbeterd kunnen worden.



Rekentijd

In het prototype is geen aandacht besteed aan de te verwachten rekentijd voor een tijpoortadvies. In ieder geval kan door vereenvoudiging altijd snel een tijpoort worden gegenereerd, maar dit zal gevolgen hebben voor de kwaliteit van de oplossing. De volgende parameters hebben invloed op de rekentijd:

1. het aantal kansverdelingen zoals waterstand en H_{E10} , maar misschien is er ook variatie mogelijk in snelheid, diepgang of bodemligging
2. precisie van het tijd-weg diagram: hoe meer punten in tijd en/of plaats, hoe meer rekentijd nodig is
3. de precisie van het veiligheids criterium: de kans op bodemberoering moet minimaal met dezelfde precisie worden berekend als het veiligheids criterium