

MEMO	EV/M04.082
Datum	26 augustus 2004
Auteur(s)	Edwin Vollebregt
Onderwerp	Verschillen tussen simulaties van het Markermeer met globale wind en met SVWP

## Samenvatting

In dit memo wordt verslag gedaan van een onderzoek naar een probleem m.b.t. het gebruik van ruimtelijk variërende wind (SVWP) op een kromlijng rooster (M03087). Het probleem is dat simulaties met het SVWP-mechanisme met in principe uniforme wind andere resultaten opleveren dan simulaties waarin de wind uniform als tijdreeks is opgegeven. In simulaties voor het Markermeer kan dit bij een windsnelheid van  $40\text{ m/s}$  verschillen tot  $5\text{ cm}$  opleveren.

Op basis van onze analyse van de relevante subroutines en daarin gebruikte tussenresultaten stellen we dat het SIMONA interpolatietool prima functioneert voor wat betreft de conversie van de (uniforme) windvectoren naar het kromlijngige grid. Bij het gebruik van het SVWP-mechanisme van WAQUA/TRIWAQ wordt er echter door de grid-stagging onnauwkeurigheid geïntroduceerd. Dit is dezelfde onnauwkeurigheid als in melding M01069 bij het gebruik van SDS2MAT is geconstateerd.

Om de onnauwkeurigheden in de windstresses te voorkomen moeten de volledige windvectoren in de  $u$ -punten en  $v$ -punten nauwkeurig worden bepaald. Een oplossing hiervoor is gerealiseerd via het SIMONA interpolatietool. Deze oplossing bestaat uit het laten interpoleren van de windgegevens van de wind SDS-file naar Cartesische  $(x, y)$  vectoren in  $u$ -punten en naar Cartesische vectoren in  $v$ -punten. Liever zouden we het interpolatietool gelijk vectoren op het kromlijngige grid ( $u, v$ -componenten) laten berekenen, maar dat is nog niet mogelijk. De rotatie van  $x, y$ -vectoren naar  $u, v$ -richtingen wordt nu door onszelf uitgevoerd.

Deze oplossing is geïmplementeerd en verhelpt het oorspronkelijke probleem volledig. De verschillen tussen de twee simulaties zijn nu bij een windsnelheid van  $40\text{ m/s}$  vrijwel in het gehele gesimuleerde gebied kleiner dan  $0,2\text{ mm}$ .

Een complicatie met deze oplossing is dat er zeer recent een andere wijziging in de berekening van windstresses in SIMONA is geïntroduceerd. Die andere wijziging betreft verwisseling van de tijdsinterpolatie en conversie naar windstresses. Deze verwisseling verstoort de hier gerealiseerde overeenstemming tussen berekeningen met SVWP en met globale wind. Wanneer in het SVWP-gedeelte de stresses in de tijd worden geïnterpoleerd, dan zou dat in geval van globale wind eigenlijk ook moeten worden gedaan. Het is aan ons onduidelijk of dat echter voor wind opgegeven via een tijdserie wel is gewenst. Misschien dat de gebruiker moet kunnen kiezen of de windsnelheid of de windstress lineair in de tijd varieert.

## 1 Inleiding

Op 20 augustus 2003 heeft Carlijn Bak bij *MX.Systems* een probleem gemeld m.b.t. het gebruik van ruimtelijk variërende wind (SVWP) op een kromlijng rooster (M03087). Het probleem is dat simulaties met het SVWP-mechanisme met in principe uniforme wind andere resultaten opleveren dan simulaties waarin de wind uniform als tijdreeks is opgegeven. In simulaties voor het Markermeer kan dit bij een windsnelheid van  $40\text{ m/s}$  verschillen tot  $5\text{ cm}$  opleveren. Dit is lastig voor het ijken van modellen en beperkt de nauwkeurigheid voor productieberekeningen.

Op 17 augustus 2004 is dit probleem aan VORtech Computing voorgelegd en zijn de benodigde invoerbestanden verstrekt. Dit probleem wordt onderzocht in het kader van het contract RKZ-1460, expertise-ondersteuning van het SIMONA beheer en onderhoud. Binnen dit contract wordt hiervoor het probleemnummer “v04005” gebruikt.

## 2 Toegeleverde informatie, naspelen van het probleem

Ten behoeve van dit onderzoek zijn door Henk Goedings van *MX.Systems* de volgende bestanden toegeleverd:

- Een memo van Carlijn Bak van juni 2003 waarin het probleem wordt toegelicht.
- Bijlage bij het memo: e-mail van Herman Hanzon van 6 november 2001 betreffende melding M01069 (onnauwkeurigheid van windvectoren bepaald met SDS2MAT).
- Eerste bevindingen van *MX.Systems* bij het onderzoeken van dit probleem.
- Invoerbestanden van de simulaties van Carlijn Bak.
- Wind SDS-files voor de simulaties van Carlijn Bak voor het HP platform.

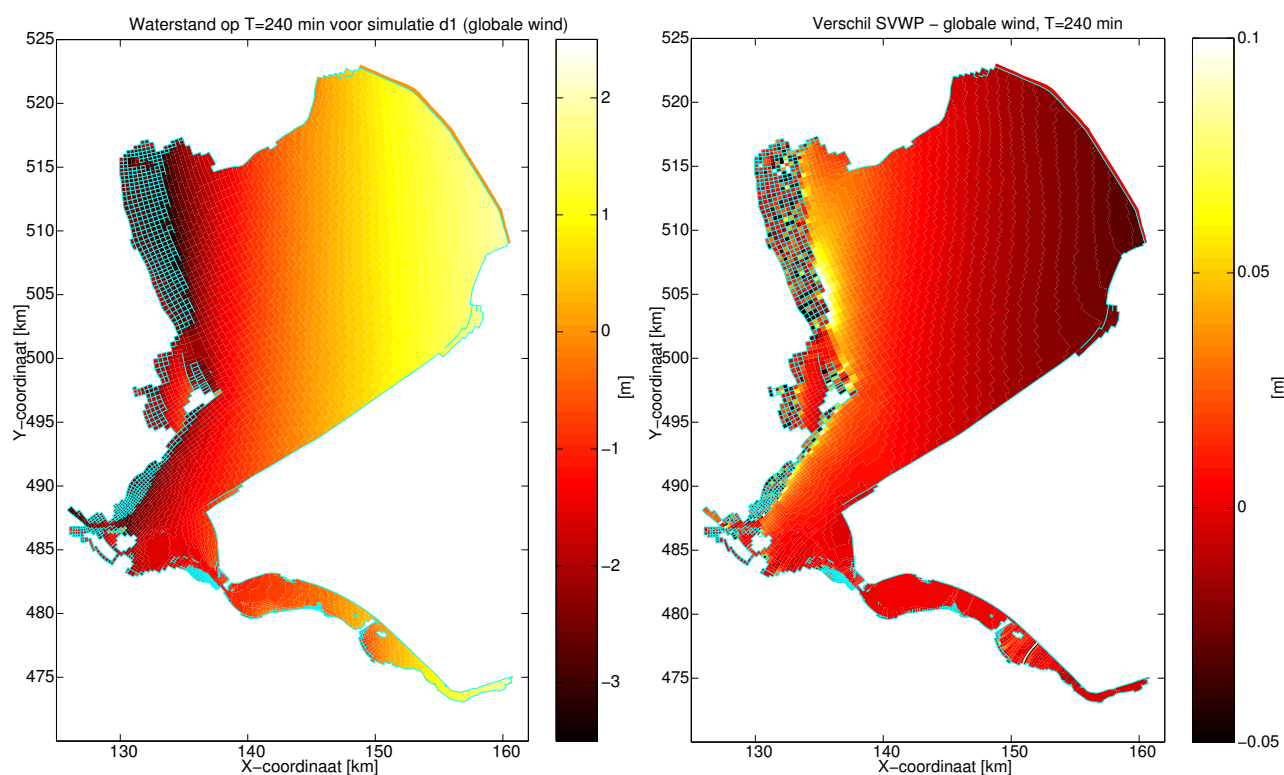
Het bleek niet eenvoudig mogelijk om de wind SDS-files te converteren naar het Linux-platform. Dit is als probleem aangemeld bij het beheer en onderhoud van de Kalmina-programmatuur, waartoe de programma's `sdshdf` en `hdfsds` behoren.

Met een programmaatje “unformat” is een wind-file aangemaakt voor het Markermeer. Hierin wordt een rooster van  $3 \times 3$  punten gebruikt:

```
x: start 120.000, step 25.000,  
y: start 470.000, step 30.000.
```

De druk is  $100.000\text{ Pa}$  gedurende de simulatie, de componenten van de wind zijn  $u = 10, 20, 30, 40\text{ m/s}$ ,  $v = 0, 0, 0, 0\text{ m/s}$  op tijdstippen  $0, 60, 120, 180\text{ min}$ . Dit levert waarschijnlijk niet exact dezelfde wind SDS-file op als door Carlijn Bak is gebruikt, maar levert wel een vergelijkbaar gedrag.

Met deze wind SDS-file wordt ongeveer hetzelfde beeld verkregen als met de simulatie met globale wind, zie Figuur 1. In het Markermeer ontstaat van links naar rechts een waterstandsverschil (verhang) van zo'n  $5\text{ m}$ . Wel zijn de verschillen tussen onze twee simulaties iets groter dan in de rapportage van Carlijn Bak wordt vermeld: in het natte gedeelte tot  $10\text{ cm}$ , in droge punten tot  $60\text{ cm}$  verschil. Dit kan samenhangen met details van de versie en het



Figuur 1: Links: waterstand in het Markermeer na 4 uur simulatie met uniforme wind opgegeven als tijdserie (run “d1”). Rechts: verschil in waterstand tussen simulaties met uniforme wind opgegeven als tijdserie (run “d1”) en met uniforme wind opgegeven via het SVWP-mechanisme van WAQUA (run “a1oud”).

platform dat wordt gebruikt (moederversie juni 2004 incl DDH+V, Linux), of met verschillen in de invoer die wordt gebruikt.

### 3 Analyse van het probleem

Uitgaande van de eerste bevindingen van MX.Systems zijn de subroutines van globale wind en van space varying wind geanalyseerd. In het eerste geval wordt de globale wind eerst in de tijd geïnterpoleerd, dan wordt de windsnelheid bepaald, wordt er voor ieder ( $u$ - en  $v$ -) roosterpunt een  $C_d$ -coëfficiënt berekend, vervolgens worden de  $x$ ,  $y$ -componenten van de windstress bepaald, en tenslotte worden deze naar het kromlijnige rooster geroteerd ( $u$ ,  $v$ -componenten van windstress).

globale wind:

- wasgws - tijdsinterpolatie van windsnelheid en -richting
- wassgw - berekening  $u$ ,  $v$ -componenten windstress per roosterpunt

ruimtelijk variabele wind:

- wasvwp - stuur-routine, aanmaken arrays in 1e call

<b>wasfwp</b>	- opzoeken van benodigde tijdstippen van SDS-file
<b>waswps</b>	- lezen van SDS-file, interpoleren naar WAQUA-grid
<b>waswsp</b>	- berekenen windsnelheid per roosterpunt
<b>waswpt</b>	- tijdsinterpolatie windcomponenten en snelheid, berekening windstress per roosterpunt

In het tweede geval (SVWP) worden eerst de geschikte time-instances op de wind SDS-file bepaald en ingelezen (“set 1” en “set 2”). In subroutine **waswps** worden deze naar het WAQUA rooster geïnterpoleerd. Hierbij worden de windsnelheden door het SIMONA interpolatietool gelijk naar het kromlijnige grid geroteerd ( $u, v$ -componenten van windstress). Vervolgens wordt in ieder ( $u$ - en  $v$ -) roosterpunt de windsnelheid berekend (**waswsp**), en worden de  $C_d$ -coefficient en windstress componenten bepaald (**waswpt**).

MX.*Systems* rapporteert dat er vooral bij de randen verschillen in tussenresultaten ontstaan. Dat zou duiden op problemen met de randafhandeling in het SIMONA interpolatietool of in de conversies die er daarna worden gedaan. Anderzijds geeft bovenstaande analyse aan dat er ook een verschillende volgorde van berekeningen wordt gebruikt. In geval van het SVWP-mechanisme wordt er veel eerder in het proces geroteerd naar het WAQUA-rooster, waardoor er later onnauwkeurigheden zouden kunnen ontstaan.

Om de vraag te onderzoeken of het probleem door randafhandeling wordt veroorzaakt is een roosterpunt midden in het Markermeer geselecteerd: (54, 90), met **nm**=3122. In dit punt blijken de wind-stresses die in de berekening worden gebruikt 1,5 tot 2% te verschillen, zie Figuur 2. Omdat er totaal geen randen in de buurt van dit punt zijn kan de randafhandeling niet de enige oorzaak van de verschillen zijn. Waarschijnlijker is zelfs dat de verschillen vooral de volgorde van berekeningen in de conversies worden veroorzaakt.

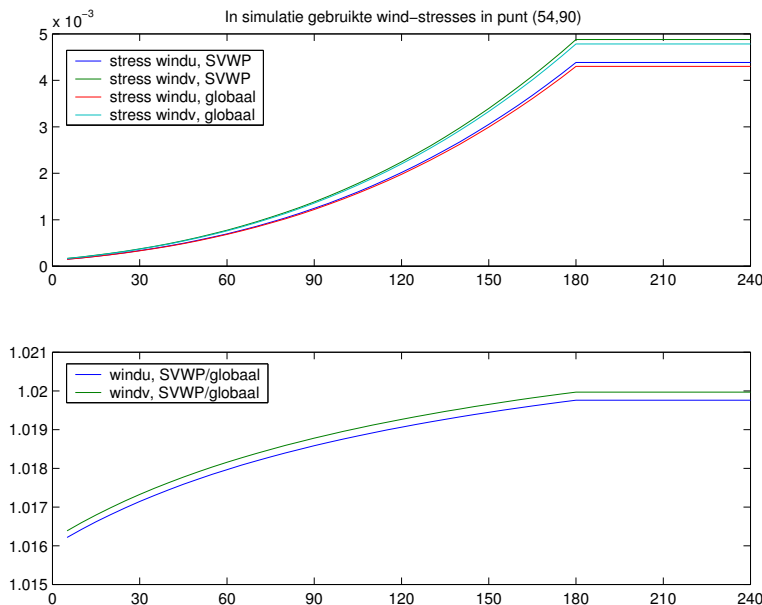
Op het eindtijdstip is de windsnelheid in de simulatie met globale wind 40 *m/s* en de bijbehorende  $C_d$ -coefficient is 0,0033000. In de simulatie met SVWP wordt echter met snelheid 40,460 gewerkt (+1,1%) en met bijbehorende  $C_d$ -coefficient 0,0033276 (+0,8%). Samen verklaren deze precies het verschil in de berekende stress **windv** van 1,997%.

Wanneer in subroutine **wasgws** de globale windvector zelf naar het WAQUA rooster wordt getransformeerd op dezelfde manier als de wind stresses worden geroteerd, dan levert dit exact dezelfde windsnelheidscomponenten op het kromlijnige rooster op als door het SIMONA interpolatie-tool worden bepaald (print in **waswpt**).

De windsnelheid die in subroutine **waswpt** wordt gebruikt wordt berekend in subroutine **waswsp**. Hiervoor is in een  $u$ -punt de snelheid in  $u$ - en in  $v$ -richting nodig. De snelheid in  $u$ -richting is door het interpolatie-tool bepaald en stemt overeen met de snelheid die bij de globale wind wordt gebruikt. De snelheid in  $v$ -richting is echter nog niet bekend; deze wordt bepaald door middeling van  $v$ -snelheden in de vier omliggende  $v$ -punten (de-stagging).

Dat uit deze middeling een andere dan de “echte”  $v$ -snelheid kan komen is goed in te zien in de situatie van Figuur 3. Hierin is een  $u$ -cellface getekend waar de “echte” wind uit het noorden (paarse vectoren) loodrecht op staat. De groene en blauwe vectoren zijn de ontbinding van de echte wind naar de  $u$ - en  $v$ -richtingen van het kromlijnige grid.

De  $u$ -snelheid van de wind in het  $u$ -punt is 0. In de vier  $v$ -punten wordt de  $v$ -component van de wind berekend. Dit is de snelheid loodrecht op de cellfaces. Deze componenten zijn



Figuur 2: *Windstress in roosterpunt (54,90) bij gebruik van globale wind (tijdserie) en ruimtelijk variërende wind (SVWP).*

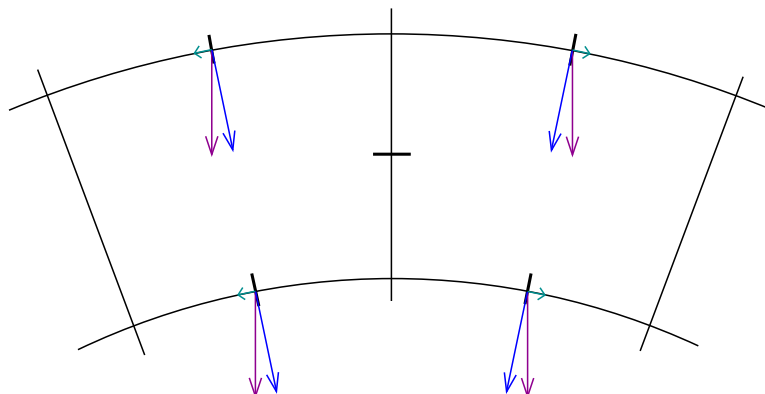
ieder voor zich kleiner dan de oorspronkelijke  $y$ -component !!! . Het gemiddelde van de vier in het  $u$ -punt moet dus ook kleiner zijn. Dus door het de-staggeren wordt onnauwkeurigheid geïntroduceerd.

Het probleem is dat  $v$ -richting in de vier gebruikte  $v$ -punten anders is dan de  $v$ -richting in het  $u$ -punt waarnaartoe ge-destaggered wordt. Dit probleem is lastig op te lossen met de gegevens die nu beschikbaar zijn. Bijvoorbeeld zou je kunnen proberen om in de  $v$ -punten de snelheidsvector in de  $v$ -richting van het  $u$ -punt te reconstrueren (de richting van de paarse pijlen), om dan daar het gemiddelde van te nemen. De moeilijkheid daarbij is dat de benodigde  $u$ -component in  $v$ -punten niet bekend is.

Op basis van deze analyse stellen we dat het SIMONA interpolatietool prima functioneert voor wat betreft de conversie van de (uniforme) windvectoren naar het kromlijnige grid. De rotaties die hierbij worden uitgevoerd leveren (vrijwel?) exact dezelfde resultaten als de rotaties van vectoren die in andere gedeeltes van de programmatuur worden gedaan. Bij het gebruik van het SVWP-mechanisme van WAQUA/TRIWAQ wordt er echter door de grid-staggering onnauwkeurigheid geïntroduceerd. Dit is dezelfde onnauwkeurigheid als in melding M01069 bij het gebruik van SDS2MAT is geconstateerd. Deze onnauwkeurigheid beïnvloedt de uiteindelijke windstress via de windsnelheid  $\|\bar{w}\|$  en de coëfficiënt  $C_d$  die daarvan afhankelijk is.

#### 4 Oplossing van het probleem

Om de onnauwkeurigheden in de windstresses te voorkomen moeten de volledige windvectoren in de  $u$ -punten en  $v$ -punten nauwkeurig worden bepaald. Een oplossing hiervoor is gerealiseerd



Figuur 3: *De-staggering op een krom rooster: in deze situatie levert wind uit het noorden (paarse vectoren) in de vier getekende  $v$ -punten  $v$ -componenten (blauw) op die ieder kleiner zijn dan de oorspronkelijke vector. Het gemiddelde van deze vier dat in het  $u$ -punt wordt gebruikt bevat dus een fout ten gevolge van de kromming van het grid.*

via het SIMONA interpolatietool. Deze oplossing bestaat uit het laten interpoleren van de windgegevens van de wind SDS-file naar Cartesische  $(x, y)$  vectoren in  $u$ -punten en naar Cartesische vectoren in  $v$ -punten. Liever zouden we het interpolatietool gelijk vectoren op het kromlijnige grid ( $u, v$ -componenten) laten berekenen, maar dat is nog niet mogelijk. Het interpolatietool onderkent vooralsnog alleen de snelheid loodrecht op cellfaces en niet de langssnelheid in de richting van cellfaces. De rotatie van  $x, y$ -vectoren naar  $u, v$ -richtingen wordt nu door onszelf uitgevoerd.

Hiervoor zijn de volgende aanpassingen gemaakt:

- In subroutine `wap128` van `WAQPRE` worden twee nieuwe “solution types” toegevoegd aan het `WAQUA` array `PROBLEM_FLOW`:

```

c      6: Cartesian vector (2d) in socalled u-velocity points
c      array | TYP SOL          | FREEDOM | IFUNC
c      index | 1 2  3  4 |          | 1 2 3 4 5 6 7 8 9
c      value | 1 0 2*mnmaxk 2 | 201    | 0 0 0 1 0 0 0 1 0
c      value |          | 202    | 0 0 0 1 0 0 0 1 0
c
c      7: Cartesian vector (2d) in socalled v-velocity points
c      array | TYP SOL          | FREEDOM | IFUNC
c      index | 1 2  3  4 |          | 1 2 3 4 5 6 7 8 9
c      value | 1 0 2*mnmaxk 2 | 201    | 0 1 0 0 0 1 0 0 0
c      value |          | 202    | 0 1 0 0 0 1 0 0 0

```

- In subroutine `wapf02` van `WAQPRE` wordt het aantal solution types `nsoltp` opgehoogd van 5 naar 7.

- In subroutine `wasvwp` van WAQPRO worden vier nieuwe arrays geïntroduceerd: `wvecu1`, `wvecu2`, `wvecv1` en `wvecv2`, `intgda`-posities 324-327,2. Deze arrays worden gebruikt voor het opslaan van de vectoren in  $u$ - en in  $v$ -punten, “set 1” en “set 2”. De eerste twee arrays hebben solution type 6, de andere twee zijn van type 7.
- In subroutine `waswps` worden de windvectoren van de SDS-file naar de nieuwe arrays geïnterpoleerd. Wanneer de gebruiker in de SDS-file echter windstresses heeft opgegeven (`istres.eq.1`) dan worden de oude arrays en oude interpolaties gebruikt. De oude arrays worden nu altijd voor windstresses gebruikt. Ze zijn hernoemd van `wndu1`, ..., `wndv2` naar `windu1`, ..., `windv2` om hun relatie met arrays `windu` en `windv` te benadrukken.
- Het berekenen van wind snelheden `wnspu1`, ... `wnspv2` in subroutine `waswsp` wordt sterk vereenvoudigd door de introductie van de nieuwe arrays `wvec`... Het is niet langer nodig om te de-staggeren, en daarom hoeven er ook geen aanpassingen bij de randen van het rooster te worden gemaakt.
- De conversie naar wind-stresses in subroutine `waswpt` wordt wel wat complexer door de aanpassingen. Om dit enigszins te beperken is de tijdsinterpolatie van wind-stresses in geval `istres.eq.1` in een nieuwe subroutine `waswp2` ondergebracht. In subroutine `waswpt` is de tijdsinterpolatie van `wvecu` en `wvecv` toegevoegd, alsmede de rotatie hiervan naar de  $u$ - en  $v$ -richtingen van het kromlijnige grid.

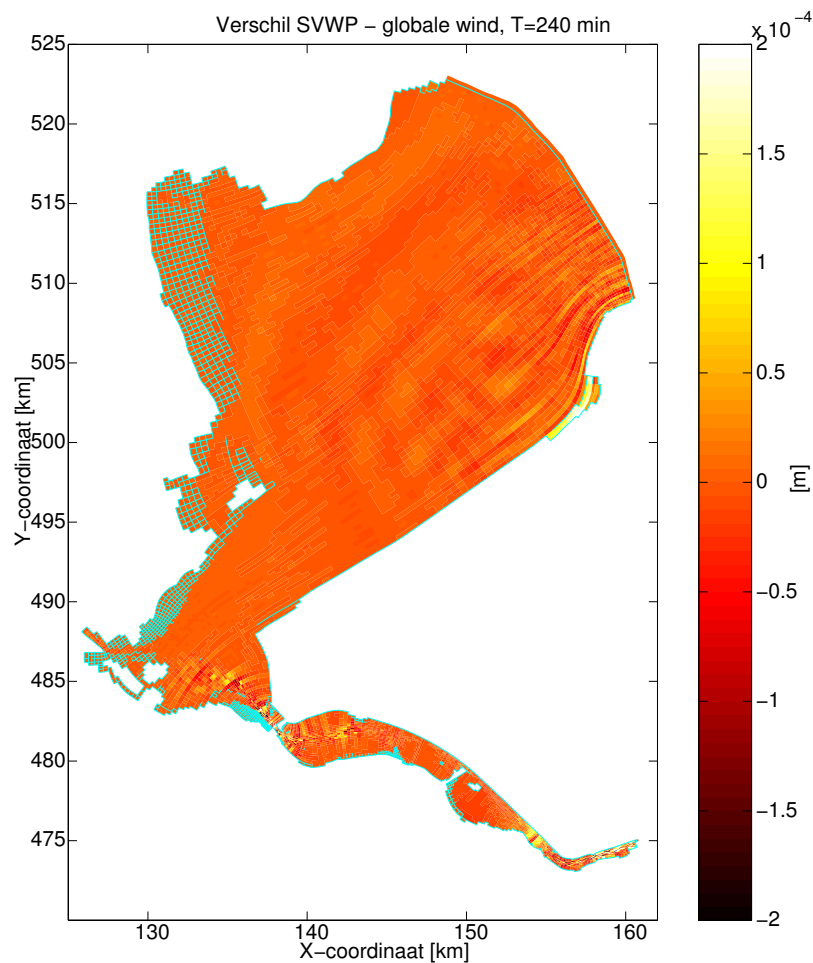
Met deze aanpassingen wordt het verschil tussen de berekeningen met globale wind en SVWP geminimaliseerd. Na vier uur simulatie is dit verschil overal minder dan 1 *mm*, zie Figuur 4.

## 5 Volgorde van tijdsinterpolatie en conversie naar stresses

In het kader van de uitbreidingen van WAQWND die in 2002 in het Kalmina-project zijn gerealiseerd (melding rzk1107-03-007) is ook een aanpassing aan WAQPRO gemaakt. In deze aanpassing is de volgorde van berekeningen in `wasvwp` omgedraaid: eerst worden de windstresses berekend op de tijdstippen van de wind SDS-file, en dan worden deze stresses in de tijd geïnterpoleerd. Dit levert andere resultaten op dan de huidige manier van werken waarbij er eerst in de tijd wordt geïnterpoleerd en dan naar stresses wordt geconverteerd. Zie Figuur 5, gekopieerd uit memo CvV/M04.071 uit Kalmina melding rzk1107-03-039.

Deze verandering van de volgorde van berekeningen in subroutine `waswpt` is zeer recent ook in SIMONA geïntroduceerd. Ze is nog niet in het huidige onderzoek verwerkt, vooral omdat de nieuwe SIMONA-versie nog niet aan VORtech Computing was verstrekt. Dat heeft zowel een voor- als een nadeel voor het onderzoek opgeleverd. Het voordeel is dat we nu sneller het probleem konden traceren. De wijziging uit het Kalmina-project levert namelijk extra verschillen tussen globale wind en SVWP op die anders ook hadden moeten worden onderkend. Het nadeel is dat er een integratie moet plaatsvinden van de subroutines die in deze melding zijn aangepast met de subroutines die in de moederversie zijn aangepast.

Een complicatie bij deze integratie is dat verandering van de volgorde van berekeningen in het SVWP-gedeelte de overeenstemming met berekeningen met globale wind verstoort. Wanneer in het SVWP-gedeelte de stresses in de tijd worden geïnterpoleerd, dan zou dat in



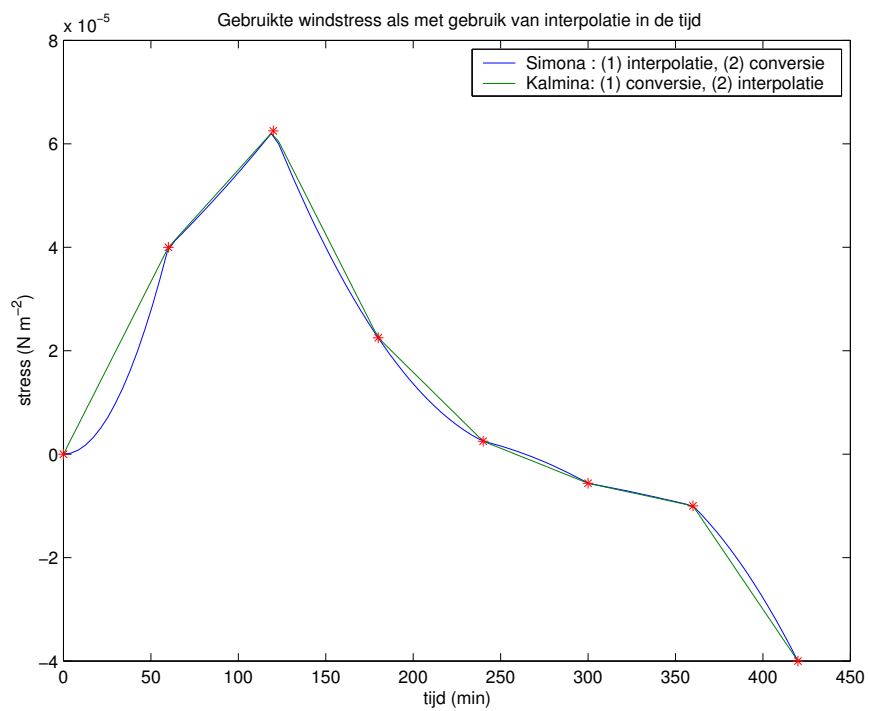
Figuur 4: *Verschil tussen runs met globale wind (“d1”) en met het SVWP-mechanisme (“a1”) na aanpassing van WAQUA.*

geval van globale wind eigenlijk ook moeten worden gedaan. Het is aan ons onduidelijk of dat echter voor wind opgegeven via een tijdserie wel is gewenst. Misschien dat de gebruiker moet kunnen kiezen of de windsnelheid of de windstress lineair in de tijd varieert.

De integratie van de verschillende wijzigingen kan redelijk eenvoudig worden uitgevoerd. Daarbij kan het beste in onze versies van de routines de volgorde van berekeningen worden omgedraaid. Dit gaat met de volgende wijzigingen:

- De tijdsinterpolatie kan uit subroutine `waswpt` worden verwijderd. Het doel van deze routine wordt dan om een enkele set van windvectoren naar windstresses te converteren.
- De berekening van windsnelheden van subroutine `waswsp` kan in bovengenoemde subroutine `waswpt` worden geïntegreerd. Arrays `wnsp..` kunnen dan vervallen.
- De tijdsinterpolatie van windstresses kan tenslotte in alle gevallen in subroutine `waswp2` worden gedaan. Nu wordt die routine alleen in het geval “`istres.eq.1`” gebruikt.





Figuur 5: Verschillen in de gebruikte windstress afhankelijk van de volgorde waarin de tijdsinterpolatie en omrekening van snelheden naar stresses plaatsvindt.