

SKYLLA: Wave motion in and on coastal structures

GEBRUIKERS HANDLEIDING

DELFT HYDRAULICS

H1780, July 1994

Voorwoord

In de voor u liggende gebruikers handleiding vindt u een beschrijving van de van in- en uitvoer files en praktische overwegingen die het gebruik van het programma SKYLLA kunnen vereenvoudigen. Opgemerkt moet worden dat het programma SKYLLA nog in ontwikkeling is zodat wat vandaag in de gebruikers handleiding geschreven wordt morgen reeds verouderd kan zijn. Bovendien bestond bij het schrijven van deze tekst de neiging om ook dat reeds op te nemen wat nog niet in de code gerealiseerd was maar wel gerealiseerd zou worden.

Een en ander maakt het begrijpelijk dat de gebruikers handleiding pas aan het eind van het SKYLLA project een definitieve vorm kan krijgen.

Inhoud

- 1 Inleiding
 - 1.1 Korte beschrijving van SKYLLA
 - 1.2 Toepassingen
 - 1.3 De vergelijkingen
 - Randvoorwaarden
 - 1.4 Enkele numerieke aspecten
 - 2 Overwegingen bij het gebruik
 - 2.1 Keuze van het rooster
 - 2.2 Centraal geheugen
 - 2.3 CPU tijd
 - 2.4 Uitvoer files
 - 3 Hoe te beginnen
 - 4 Invoer beschrijving
 - 5 Uitvoer beschrijving
 - 6 Enkele voorbeelden van invoerfiles
- index

1 Inleiding

1.1 Korte beschrijving van SKYLLA

Voor waterbouwkundige toepassingen is het van groot belang om de waterbeweging bij constructies, die door golven aangevallen worden, nauwkeurig te kunnen beschrijven. Het WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM heeft in opdracht van de Dienst Weg en Waterbouw van Rijkswaterstaat en met assistentie van de Technische Universiteit Delft, het computer programma SKYLLA ontwikkeld. Het programma heeft tot doel om twee-dimensionale incompressibele vloeistof stroming te simuleren (met een verticale snelheids component). SKYLLA is in staat het vrije wateroppervlak te beschrijven ook nadat golven gebroken zijn.

SKYLLA kan een nuttig gereedschap zijn bij het ontwerp van bijvoorbeeld dijken omdat gegevens als drukken, snelheden en bijvoorbeeld oploophoogten op een talud bepaald kunnen worden.

1.2 Toepassingen

Het programma SKYLLA lost de twee-dimensionale Navier-Stokes vergelijkingen met konstante viscositeit op. Aan zowel de linker- als de rechterrandaan kan een zwak reflecterende randvoorwaarde gebruikt worden die de gebruiker in staat stelt om golven het model binnen te laten komen. Golven die bijvoorbeeld na reflectie op een constructie weer naar de zwak reflecterende rand toe bewegen moeten hier het model kunnen verlaten. De niet lineaire golven die het model binnen komen, worden bepaald door het Rieneker en Fenton model. SKYLLA kan echter ook met lineaire golftheorie verkregen golven het model laten binnenkomen. De huidige (1994) versie van SKYLLA is in staat om de vloeistofbeweging op een ondoorlatend glad talud te modelleren. Dit talud mag zowel stijgende als dalende delen hebben. Het programma is bovendien in staat om de stroming door stortsteenconstructies te modelleren. Hierbij is de vorm van de constructie geheel aan de gebruiker. Het aantal soorten stortsteen dat bij het numerieke modelleren gebruikt wordt is beperkt tot tien.

1.3 De vergelijkingen

De binnen SKYLLA op te lossen vergelijkingen zijn:

de Navier-Stokes vergelijkingen:

$$\frac{1+C_M}{n} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial(u/n)^2}{\partial x} + \frac{\partial uv/n^2}{\partial y} = -\frac{\partial P}{\partial x} + n^5 \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - a g u - b u \sqrt{u^2 + v^2} + g_x \quad (1)$$

$$\frac{1+C_M}{n} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial uv/n^2}{\partial x} + \frac{\partial(v/n)^2}{\partial y} = -\frac{\partial P}{\partial y} + n^5 \nu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) - a v - b v \sqrt{u^2 + v^2} + g_y \quad (2)$$

met

$$a = \alpha \frac{(1-n)^2}{n^3} \frac{\nu_t}{g d^2}$$

$$b = \beta \frac{1-n}{n^3} \frac{1}{g d}$$

$$C_M = \gamma \frac{1-n}{n}$$

In deze vergelijkingen geeft n de porositeit van de steenmassa aan, d de gemiddelde steendiameter en ν , de kinematische viscositeit van zuiver water. De coëfficiënten α , β en γ moeten door de gebruiker gekozen worden.

Merk op dat voor $n \rightarrow 1$ de vergelijkingen tot de gewone N-S vergelijkingen reduceren. In het poreuze materiaal zou de visceuze term weggelaten moeten worden. Omdat SKYLLA gebruikt zal worden op vector computers geven we er de voorkeur aan om de visceuze term toch op te nemen maar dan vermenigvuldigd met een gewichtsfunctie (n^5) die erg klein wordt binnen het poreuze medium. Voor een afleiding van de coëfficiënten C_M , a , en b verwijzen we naar (M.R.A. van Gent, 1992).

de onsamendrukbaarheids relatie:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (3)$$

de relatie voor de F-functie:

$$\frac{u}{n} \frac{\partial F}{\partial x} + \frac{v}{n} \frac{\partial F}{\partial y} + \frac{\partial F}{\partial t} = 0$$

De F-functie is een twee-dimensionale stap functie die aangeeft waar in het domein zich vloeistof bevindt. Binnen de vloeistof geldt $F=1$ daarbuiten $F=0$. Omdat een stapfunctie niet differentieerbaar is moet de vergelijking voor F gezien worden als een formele manier om aan te geven dat F met het snelheidsveld wordt meegevoerd.

In de Navier-Stokes vergelijkingen staat P voor de gereduceerde druk: $P = \frac{p}{\rho}$ met p de druk en ρ de (konstante) massa dichtheid van de vloeistof. In dezelfde vergelijkingen is ν de (eveneens konstante) kinematische viscositeit.

randvoorwaarden

Voor de randvoorwaarden zijn meerdere keuzen mogelijk:

.Wrijvingsloze ondoorlatende randvoorwaarde ('free-slip boundary condition'), op horizontale of verticale randen en op een talud:

$$\frac{\partial u_\tau}{\partial n} = 0 \quad \text{en} \quad u_n = 0.$$

Hierin geeft u_τ de tangentiële en u_n de normale component van de snelheid weer, en is n de normale richting en τ de tangentiële richting op de rand.

.Plak konditie ('no-slip boundary condition') op horizontale en verticale randen:

$$u = 0 \quad \text{en} \quad v = 0.$$

.Zwak reflecterende randvoorwaarde op linkerrand:

$$\frac{\partial u}{\partial t} - c \frac{\partial u}{\partial x} = \frac{\partial u_{in}}{\partial t} - c \frac{\partial u_{in}}{\partial x}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} - c \frac{\partial v}{\partial x} = \frac{\partial v_{in}}{\partial t} - c \frac{\partial v_{in}}{\partial x}$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} - c \frac{\partial \eta}{\partial x} = \frac{\partial \eta_{in}}{\partial t} - c \frac{\partial \eta_{in}}{\partial x}$$

.Zwak reflecterende randvoorwaarde aan de rechterrاند:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + c \frac{\partial u}{\partial x} = \frac{\partial u_{in}}{\partial t} + c \frac{\partial u_{in}}{\partial x}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + c \frac{\partial v}{\partial x} = \frac{\partial v_{in}}{\partial t} + c \frac{\partial v_{in}}{\partial x}$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + c \frac{\partial \eta}{\partial x} = \frac{\partial \eta_{in}}{\partial t} + c \frac{\partial \eta_{in}}{\partial x}$$

In de vergelijkingen voor de zwak reflecterende randvoorwaarden geeft de index 'in' aan dat het het voorgeschreven inkomende signaal betreft.

.Overslag uitstroom randvoorwaarde:

Deze randvoorwaarde wordt gegeven door de vergelijkingen

$$F = 0$$

$$P = 0$$

Deze randvoorwaarde mag alleen gebruikt worden als de vloeistofsnelheid superkritisch is of als zodanig behandeld mag worden.

.Overslag instroom randvoorwaarde:

De vergelijkingen worden gegeven door:

$$u = u_{in}$$

$$v = v_{in}$$

$$F = F_{in}$$

waarbij de rechterleden van deze vergelijkingen bekende functies van de plaats (op de rand) en de tijd bekend moet zijn. Deze randvoorwaarde kan ook gebruikt worden om een snelheidsveld op de rand direct voor te schrijven.

De vergelijkingen die de stroming beschrijven (dit zijn vergelijkingen (1), (2) en (3)) worden opgelost op een rechthoekig domein. Op de horizontale en verticale begrenzingen van dit domein moeten randvoorwaarden opgelegd worden. Als een (stijgend) talud gemodelleerd moet worden zijn de voorwaarden aldaar automatisch de 'free slip' randvoorwaarden. Bovendien wordt de ondoorlatendheid van het talud ondersteld zodat snelheidsvectoren op het talud geen normale component hebben. Onder het talud echter, zullen de snelheden niet nul zijn na de berekening. Bij de interpretatie van de rekenresultaten moeten deze snelheden genegeerd worden.

De discretizatie van de stromingsvergelijkingen wordt uitgevoerd op een rechthoekig rooster van horizontale en verticale lijnen. De afstand tussen naastgelegen roosterlijnen mag variëren. Dit geeft de gebruiker de mogelijkheid om nauwkeuriger te rekenen in gebieden die voor hem belangrijk zijn. Bij problemen met golven zou zo'n gebied bijvoorbeeld een horizontale strook rond SWL kunnen zijn.

De reken grootheden die door SKYLLA gebruikt worden zijn de fysische grootheden u , v , P en de vullingsgraad F . Deze grootheden worden op een 'staggered' rooster gedefinieerd zodat de snelheid in de x -richting u , gegeven wordt in het midden van de verticale celwand. De snelheid in y -richting wordt op een horizontale celwand gegeven. De grootheden P en F worden in het centrum van cellen gedefinieerd. De situatie is in Fig.1 in beeld gebracht. In de numerieke afhandeling geeft de waarde van F in een cel, het deel van het voor water beschikbare volume van de cel aan dat door water wordt ingenomen (vandaar de naam 'Volume Of Fluid' methode). Bij de modellering van poreus materiaal is het voor water beschikbare deel van de cel gelijk aan het product van de porositeit en het celvolume.

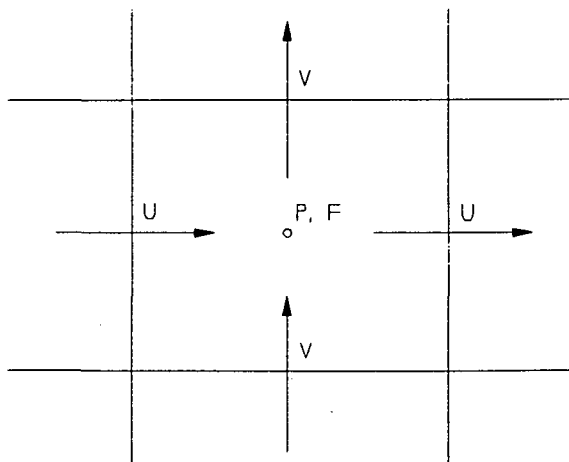


Fig.1

Bij de VOF oplossingsmethode worden de snelheden in de Navier-stokes vergelijkingen expliciet gediscretiseerd. De druk daarentegen wordt impliciet gediscretiseerd om aan de onsamendrukbaarheid relatie (3) te voldoen.

2. Overwegingen bij het gebruik

Bij het ontwikkelen van het programma is de nadruk gelegd op rekensnelheid bij gebruik op vector computers. De subroutine die gebruikt wordt om de Poisson vergelijking voor de druk op te lossen bijvoorbeeld, maakt gebruik van een PCGS (Preconditioned Conjugate Gradient Squared) methode waarbij de preconditionering van de matrix ook gevectoriseerd is. Doordat de methode om de snelheden op een nieuw tijdniveau te vinden, expliciet is, zullen de te maken tijdstappen aan stabiliteits beperkingen moeten voldoen. Deze tijdstap beperkingen worden strenger (kleinere tijdstappen) naarmate de snelheden groter worden, ergens in het domein. De grenzen aan de tijdstappen worden ook strenger wanneer de roosterafstanden klein gekozen zijn. Het programma reduceert de tijdstap automatisch wanneer stabiliteitsgrenzen overscheden dreigen te worden. Wordt echter ruim aan het stabiliteitscriterium voldaan, dan wordt de tijdstap vergroot tot maximaal de door de gebruiker gekozen tijdstap. De gebruiker zal de gevolgen van gereduceerde tijdstappen ondervinden doordat de totale CPU tijd, die het programma nodig heeft, toeneemt (zie ook 2.2).

2.1 Keuze van het rooster

Een algemene bruikbare set regels voor de keuze van het rekenrooster lijkt niet mogelijk. Met de berekeningen die uitgevoerd zijn bij het WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM voor het geval van brekende golven op een talud, kunnen we echter wel tot enkele vuistregels komen. Voor de binnenkomende golf moeten zeker 50 cellen per golflengte gebruikt worden. Binnen een golfhogte moeten 30 to 40 cellen gebruikt worden rond SWL. Daar waar verwacht wordt dat de golf breekt moet de breedte van de cellen niet meer dan twee keer de hoogte zijn.

2.2 Centraal geheugen

Het door het programma gebruikte centrale geheugen is afhankelijk van de grootte, gemeten in aantal cellen, van het te gebruiken rekenrooster.

In de broncode wordt de grootte van een aantal parameters gekozen die bepalend zijn voor de voor SKYLLA gereserveerde werkruimte. Deze parameters zijn KMAX, LMAX en LARGE.

Berekeningen kunnen uitgevoerd worden als voldaan is aan:

$$KMAX > 31*IMAX*JMAX + 9*IMAX + 8*JMAX + 2*LARGE$$

en aan:

$$LMAX > 3*IMAX*JMAX$$

Hierin is IMAX het aantal cellen in x-richting, JMAX is het aantal cellen in y-richting en LARGE is een groot getal (in de meeste gevallen voldoet $LARGE=2000$). Als meer geheugenruimte nodig is dan beschikbaar is gesteld met de keuze van de parameters, genereert het programma een foutmelding. Dit kan voorkomen als de gebruiker te grote waarden voor IMAX en JMAX kiest.

2.2 CPU tijd

Het is niet mogelijk in een algemeen geval een nauwkeurige schating te geven van de voor een berekening noodzakelijke CPU tijd. De gebruiker moet gewaarschuwd zijn dat zelfs op een zeer snelle computer, simulaties met een fijn rooster uren aan CPU tijd kunnen vergen.

Hier zullen we een groffe schatting geven van de CPU tijd die nodig is op een CONVEX C3820 in het geval van een brekende golf op een talud.

In deze schatting wordt aangenomen dat de kinematische viscositeit wordt gekozen als: $\nu = 0.025 \text{ m}^2/\text{s}$. Door een (veel) kleinere keuze van ν zal de rekentijd (dramatisch) toenemen.

We zullen beginnen met een schatting te maken van de gemiddelde tijdstap.

Hier nemen we aan dat de cellen minimale afmetingen hebben in de buurt van de plaats waar de golven breken. We definiëren $\Delta = \min(\Delta x, \Delta y)$.

Als schatting voor de gemiddelde snelheid op de plaats van breken, gebruiken we:

In het geval van een 1:8 helling of steiler:

$$|v|_{gem} = \frac{\omega}{2k_{in}}.$$

Hierin wordt k_{in} bepaald met de dispersie relatie:

$$\omega^2 = gk \tanh(kh)$$

voor h wordt hier de diepte aan de instroom rand gebruikt.

In het geval van een minder steile helling dan 1:8 gebruiken we:

$$|v|_{gem} = \frac{\omega}{2k_B}.$$

Hierin wordt k_B bepaald met $h = \frac{H}{0.8}$ en de dispersie relatie.

De gemiddelde tijdstap wordt nu geschat als:

$$\Delta t_{gem} = \frac{0.2 \Delta}{|v|_{gem}}.$$

We gebruiken als benadering dat de CPU tijd die nodig is per tijdstap evenredig is met het kwadraat van het totale aantal cellen in het rekengebied. De helft van dit aantal wordt 'nat' verondersteld.

Nu vinden we:

$$CPU = \frac{T}{\Delta t_{gem}} \beta (IMAX * JMAX)^2.$$

Hierin is T , de totale te simuleren tijd, $\beta = 1.79 * 10^{-9} \text{ S}$ en $IMAX$ en $JMAX$ het aantal cellen in x- en y-richting.

Om de resultaten naar andere computers te vertalen gebruiken we:

voor de NEC SX3: delen door 7,

voor de CRAY YMP: delen door 3.

Nogmaals merken we op dat dit soort schattingen grof zijn en een fout van 100% ons niet zou verrassen.

2.3 Uitvoer files

Het programma SKYLLA kan voor verscheidene doelen uitvoer files produceren:

- printer files: deze geven informatie over de gebruikte tijdstap grootte en andere informatie die inzicht geeft in hoe goed de berekening is verlopen.
- plot files: De gebruiker kan een aantal grootheden kiezen waarvoor het programma files voor plot doeleinden maakt. Deze grootheden zijn F , P of de combinatie (u,v) . Steeds worden de grootheden in cel middens gegeven. In de invoer file kan de gebruiker een increment aangeven waarmee de informatie in x- en y-richting uitgevoerd moet worden, zodat cellen overgeslagen kunnen worden.
- animatie files: De gebruiker heeft de mogelijkheid om SKYLLA files te laten produceren die voor het maken van animaties gebruikt kunnen worden. De grootheden die uitgevoerd kunnen worden zijn: F , u , v , P en $\nabla \times v$. Ook hier kan de gebruiker door het kiezen van een increment in x- en in y-richting de uit te voeren hoeveelheid gegevens reduceren.
- Voor de manier waarop de gegevens worden weggeschreven, kan de keuze gemaakt worden uit ASCII of NEFIS files:
- ASCII: Voor elke grootheid en voor elke tijdstip (met vast increment) wordt een nieuwe file geproduceerd. De grootte van elke file is het aantal cellen dat voor uitvoer gebruikt wordt maal 17 bytes.
- NEFIS: Slechts een file wordt aangemaakt. Deze bevat dezelfde informatie als die in de ASCII files wordt opgeslagen. De grootte van deze file is 2/5 maal de som van de afmetingen van de ASCII files.

3 Hoe te beginnen

(nog niet geschreven)

4 Invoer beschrijving

De invoer van SKYLLA bestaat uit een invoer-file (ASCII) en, als niet-lineaire golven aan de rand of randen het model moeten binnenlopen, een tweede en eventueel derde (ASCII) file die de Fourier coëfficiënten bevat die de niet-lineaire golf beschrijven.

De invoer file heeft de vaste naam: SKYLLA.INP. In het volgende wordt de structuur van de invoerfile gegeven:

**** NUMBER OF CELLS IN X AND Y DIRECTION ****

imax (I)

jmax (I)

**** GEOMETRY ****

xmin (R)

xmax (R)

ymin (R)

ymax (R)

cx0 (R)

cx1 (R)

cy (R)

ysc (R)

nslp (I)

x1 (R) y1 (R)

x2 (R) y2 (R)

.. ..

.. ..

xnslp (R) ynslp (R)

**** POROSITY PARAMETERS ****

nst (I)

nu_k (R)

alfa (R)

cm (R)

beta_c (R)

T (R)

Ud (R)

N(1) (R)

D(1) (R)

n1 (I)

x1 (R) y1 (R)

x2 (R) y2 (R)

.. ..

.. ..

xn1 (R) yn1 (R)

N(2) (R)

D(2) (R)

n2 (I)

x1 (R) y1 (R)

x2 (R) y2 (R)

.. ..

.. ..

xn2 (R) yn2 (R)

.. ..

.. ..

.. ..

N(nst) (R)

D(nst) (R)

nnst (I)

x1 (R) y1 (R)

x2 (R) y2 (R)

```

..      ..
..      ..
xnst    (R)    ynnst  (R)
**** MATHEMATICAL MODEL PARAMETERS ****
iwl     (I)
iwr     (I)
iwt     (I)
iwb     (I)
**** STILL WATER LEVEL ****
nswl    (I)
xswl1   (R)    yswl1  (R)
xswl2   (R)    yswl2  (R)
..      ..
..      ..
xswlnswl(R)  yswlnswl(R)
**** MATERIAL QUANTITIES ****
rnu     (R)
**** BODY FORCE PER UNIT OF MASS ****
gx      (R)
gy      (R)
**** LINEAR WAVE PARAMETERS ****
(ampl   (R))
freq    (R)
**** NUMERICAL MODEL PARAMETERS ****
alpha   (R)
epsi    (R)
itmax   (I)
nflmax  (I)
delt    (R)
prtdt   (R)
anid    (R)
twfin   (R)
inci    (I)
incj    (I)
icai    (I)
icaj    (I)
xreg    (R)
**** FUNCTIONS FOR ANIMATION (SURF, PRES, U-VEL, V-VEL or ROTAT) ****
na              (I)
aname-1         (C)
aname-2         (C)
..
..
aname-na        (C)
**** NAME OF RESULTFILES ****
addi    (C)
ftype   (C)

```

Elk van de in de invoer-file voorkomende groepen zal hierna behandeld worden.
De in te voeren informatie is van het type integer (I), real (R) of character (C).

**** NUMBER OF CELLS IN X AND Y DIRECTION ****

imax (I)

jmax (I)

imax , jmax

Omdat SKYLLA gebruik maakt van virtuele cellen in de randen, is het aantal cellen in het gebied waar vloeistofbeweging wordt gesimuleerd gelijk aan: imax-2 in de x richting en jmax-2 in de y richting.

**** GEOMETRY ****

xmin (R)

xmax (R)

ymin (R)

ymax (R)

cx0 (R)

cx1 (R)

cy (R)

ysc (R)

nslp (I)

x1 (R) y1 (R)

x2 (R) y2 (R)

.. ..

.. ..

xnslp (R) ynslp (R)

xmin , xmax
ymin , ymax

De geometrie van het 'natte' gebied is bepaald door:
xmin < x < xmax en ymin < ymax. Dit zijn de uiterste grenzen van het rekengebied.

cx0

cx0 is de roosterafstand aan de linkerrand, dus de eerste cel omvat xmin < x < xmin + cx0.

cx1

cx1 is de roosterafstand aan de rechterrاند, dus de laatste cel omvat xmax - cx1 < x < xmax.

ysc

ysc is de y-coördinaat waar de verticale roosterafstand is voorgeschreven.

cy

cy is de verticale roosterafstand in y=ysc.

nslp

nslp is het aantal punten dat gebruikt wordt om het talud als polygoon te beschrijven.

Als nslp=0 betekent dit dat er geen talud gemodelleerd wordt. De keuze nslp=1 is niet toegestaan!

x1,y1,....

Als nslp> 1 dan moeten nslp coördinaat paren x,y gegeven worden. Er moet gelden y1=ymin en (xnslp=xmax of ynslp=ymin). Bovendien moet gelden xi < xj als i < j.

**** POROSITY PARAMETERS ****

```

nst      (I)
nu_k     (R)
alfa     (R)
cm       (R)
beta_c   (R)
T        (R)
Ud       (R)
N(1)     (R)
D(1)     (R)
n1       (I)
x1       (R)    y1    (R)
x2       (R)    y2    (R)
..       ..
..       ..
xn1      (R)    yn1    (R)
N(2)     (R)
D(2)     (R)
n2       (I)
x1       (R)    y1    (R)
x2       (R)    y2    (R)
..       ..
..       ..
xn2      (R)    yn2    (R)
..
..
..
N(nst)   (R)
D(nst)   (R)
nnst     (I)
x1       (R)    y1    (R)
x2       (R)    y2    (R)
..       ..
..       ..
xnnst    (R)    ynnst  (R)

```

nst

SKYLLA biedt de mogelijkheid om meerdere soorten stortsteen in een simulatie berekening te gebruiken. Het aantal gebruikte soorten moet door de gebruiker opgegeven worden als nst. Het aantal mag niet groter zijn dan 10.

De Forchheimer vergelijking heeft de volgende gedaante:

$$i = au + bu|v| + c \frac{\partial u}{\partial t}.$$

$$\text{Hierin is } a = \alpha \frac{(1-n)^2}{n^3} \frac{\nu}{gd^2},$$

$$b = \beta \left[1 + \frac{7.5nd}{\hat{u} T} \right] \frac{1-n}{n^3 g d} \quad \text{en} \quad c = \frac{1 + \gamma \frac{1-n}{n}}{ng}.$$

<u>nu_k</u>	De kinematische viscositeit ν die voorkomt in de uitdrukking voor a heeft in het programma de naam <u>nu_k</u> en moet door de gebruiker gekozen worden.
<u>alfa</u>	De coëfficiënt α met programma naam <u>alfa</u> moet eveneens gekozen worden.
<u>cm</u>	<u>cm</u> = γ
<u>beta_c</u>	<u>beta_c</u> = β
<u>T</u> , <u>Ud</u>	<u>T</u> = T de golfperiode, <u>Ud</u> = $\hat{u}$ de verwachte snelheidsamplitude bij de steenmassa.
<u>N(i)</u>	De porositeit in de stortsteenlaag met nummer i wordt gegeven door <u>N(i)</u> voor $i = 1(1)\text{nst}$.
<u>D(i)</u>	De steendiameter d in de stortsteenlaag met nummer i wordt gegeven door <u>D(i)</u> voor $i = 1(1)\text{nst}$.
<u>n1</u> , <u>n2</u> , .. <u>nnst</u>	Om een gebied met stortsteen (laag met nummer i) te modelleren moet de gebruiker de knooppunten van een gesloten polygoon geven. De cellen die binnen dit polygoon liggen krijgen nu de betreffende waarde voor de porositeit en de steendiameter zijnde $N(i)$ en $D(i)$. Voorafgaand aan de coördinaten van de knooppunten van de polygoon wordt eerst het aantal op te geven punten gegeven. Omdat de polygoon gesloten moet zijn is het eerste punt gelijk aan het laatste punt. Het op te geven aantal punten is dus het aantal punten op de polygoon + 1. Laat b.v. het vijfde stortsteengebied een driehoek zijn dan geldt $n5 = 4$.
<u>x1</u> , <u>y1</u> , <u>x2</u> , <u>y2</u> , ..	Nadat het aantal knooppunten gegeven is moeten de coördinaten van de knooppunten van de polygoon ingevoerd worden. Merk hierbij op dat <u>x1</u> = <u>xni</u> en <u>y1</u> = <u>yni</u> voor stortsteenlaag i met <u>ni-1</u> knooppunten. Verder moet opgemerkt worden dat wanneer een polygoon met een hoger volgnummer een doorsnijding heeft met een polygoon met een lager volgnummer, dan worden de waarden voor de porositeit en de steendiameter genomen van de stortsteenlaag met het hoogste volgnummer.

**** STILL WATER LEVEL ****

nswl	(I)	
xswl1	(R)	yswl1 (R)
xswl2	(R)	yswl2 (R)
..		..
..		..
xswlnswl(R)		yswlnswl(R)

nswl

Aan het begin van de berekening is de vloeistof in rust. Het vloeistofniveau hoeft echter niet horizontaal te zijn. Een polygoon wordt gebruikt om het initieel natte gebied aan te geven. Het aantal knooppunten waarmee het polygoon gegeven wordt is nswl.

xswl1, yswl1,
xswl2, yswl2, ...

De getallen paren (xswlj, yswlj) voor $j=1(1)\underline{\text{nswl}}$ geven de positie van de knooppunten.

De x coördinaten van de knooppunten moeten toenemen met de index. Tussen opvolgende knooppunten wordt lineair geïnterpoleerd om de grens met het natte gebied te vinden. Buiten het bereik van het polygoon dus voor $x < \underline{\text{xswl1}}$ en voor $x > \underline{\text{xswlnswl}}$ wordt het waterniveau op yswl1 resp. yswlnswl gezet. Het natte gebied wordt nu dus begrensd door ymin, het polygoon met eventuele horizontale uitbreidingen links en rechts en xmin en xmax.

**** MATHEMATICAL MODEL PARAMETERS ****

iwl (I)
iwr (I)
iwt (I)
iwb (I)

iwl , iwr
iwt , iwb

iwl, iwr, iwt en iwb geven het type van de gebruikte randvoorwaarde aan de linkerrand, rechterrands de top (bovenrand) en bodem (onderrand).

De keuze 0, -1, -2 of -3 is slechts toegestaan voor iwl en iwr.

De mogelijke keuzen zijn:

-4 :Overslag uitstroom randvoorwaarde. Deze randvoorwaarde is alleen zinvol als aangenomen mag worden dat de uitstroming superkritisch is op deze rand. Bij de keuze van deze randvoorwaarde worden u, v en F waarden op elke tijdstap en voor elke cel op de uitstroomrand weggeschreven naar file. Betreft het een linkerrand dan heet deze file: fuvbcl.out, betreft het een rechterrands dan fuvbcr.out.

-3 :Overslag instroom randvoorwaarde. Hier zijn u, v en F op de rand gegeven functies van plaats en tijd. Voor elk van deze grootheden moet tijdsignaal beschikbaar zijn. Interpolatie in ruimte en tijd wordt door SKYLLA gedaan. Betreft het een randvoorwaarde aan de linkerrand dan heet de file fuvbcl.inp, betreft het een rechterrands dan fuvbcr.inp.

De structuur van van de files fuvbc.out , fuvbcr.out , fuvbcl.inp en fuvbcr.inp is als volgt.

De file begint met een integer m die het aantal records per groep geeft. Op elk tijdstip waarop gegevens beschikbaar zijn worden die gegeven als zo'n groep. Elke groep bestaat uit m records die er als volgt uitzien:

t_i, y_u, y_v, u, v, F

Dit record bevat informatie van tijdstip t_i de y-coördinaat y_u de aldaar gegeven snelheid u en de vullingsgraad F. Bovendien bevat dit record de y-coördinaat y_v en de aldaar gegeven snelheidscomponent v. Elk record van een groep heeft dezelfde waarde voor t_i . Voor twee opvolgende records uit een groep geldt $(y_u)_i < (y_u)_{i+1}$ en $(y_v)_i < (y_v)_{i+1}$.

- 2 :Zwak reflecterende randvoorwaarden waar het signaal gebaseerd op niet-lineaire golftheorie, wordt binnengestuurd. In dit geval moet een file die de Fourier componenten bevatten, door de gebruiker worden toegeleverd. De Fourier componenten behoren bij de Rieneker en Fenton formulering waarmee de snelheden en de oppervlakte uitwijking beschreven kan worden. (zie ook **** WAVE PARAMETERS ****).
- 1 :Zwak reflecterende randvoorwaarde waar een signaal gebaseerd op lineaire golftheorie, wordt binnengestuurd. In dit geval moeten de golf amplitude, de frequentie en de diepte aan de rand gegeven worden in de input file. (zie ook **** WAVE PARAMETERS ****).
- 0 :Zwak reflecterende randvoorwaarde waar geen signaal wordt binnengestuurd. Deze randvoorwaarde wordt alleen gebruikt om golven het domein te laten verlaten.
- 1 :Wrijvingsloze ondoorlatende ('free-slip') randvoorwaarde.
- 2 :Plak conditie aan ondoorlatende rand ('no-slip').

**** MATERIAL QUANTITIES ****

rnu (R)

rnu

rnu is de kinematische viscositeit (in m²/s).

**** BODY FORCE PER UNIT OF MASS ****

gx (R)

gy (R)

gx

gx is de x-component van de gravitatie versnelling (in m/s/s). In toepassingen met een zwak reflecterende randvoorwaarde moet deze 0 zijn.

gy

gy is de y-component van de gravitatie versnelling (in m/s/s). In toepassingen met een zwak reflecterende rand moet deze negatief zijn (bv. gy = -9.81)

**** LINEAR WAVE PARAMETERS ****

(ampl (R))

freq (R)

Deze groep kan gebruikt worden om lineaire golven aan een zwak reflecterende rand (type -1) naar binnen te sturen. In dit geval moeten zowel de amplitude als de frequentie verstrekt worden. Deze groep kan ook gebruikt worden om een zwak reflecterende rand te definiëren waar geen golven het domein binnenkomen. in dat geval (type 0) moet alleen de verwachte frequentie van de uitgaande golf gegeven worden.

Deze groep wordt gebruikt als tenminste een van de parameters iwl, iwr de waarde 0 of -1 heeft.

Als beide parameters ongelijk zijn aan 0 of -1, moet de groep weggelaten worden.

Als één van de parameters iwl en iwr uit {0,-1} is komt deze groep een keer voor. Zijn beide parameters uit {0,-1} dan komt deze groep twee keer voor; eerst voor de linkerrand en dan voor de rechterrand.

Merk op dat als tenminste een van de parameters iwl of iwr gelijk is aan -2, een file, met Fourier componenten die de niet-lineaire golf beschrijven, door de gebruiker verstrekt moet worden. Voor de linkerrand heet deze file WAVCFL.INP, voor de rechterrand WAVCFR.INP.

ampl, freq

De inkomende lineaire golf wordt gekarakteriseerd door zijn amplitude ampl (in m), dit is de helft van de golfhoogte, de frequentie freq (in Hz) en de golflengte.

SKYLLA bepaalt de golflengte door gebruik te maken van de lineaire dispersie relatie. ampl moet weggelaten worden als de corresponderende waarde van iwl of iwr gelijk is aan 0.

**** NUMERICAL MODEL PARAMETERS ****

alpha	(R)
epsi	(R)
itmax	(I)
nflmax	(I)
delt	(R)
prtdt	(R)
anid	(R)
twfin	(R)
inci	(I)
incj	(I)
icai	(i)
icaj	(I)
xreg	(R)

alpha

alpha is de 'upwind' fractie in de discretisatie van de ruimtelijke afgeleiden in de Navier-Stokes vergelijkingen.

Een PCGS ('Preconditioned Conjugate Gradient Squared) methode wordt gebruikt om de drukvergelijking op te lossen.

epsi

epsi is het stopcriterium dat de PCGS iteraties stopt wanneer de norm van de residu-vector kleiner is dan deze waarde. We adviseren epsi=1.0d-10.

itmax

Het maximale aantal iteraties dat door de PCGS methode gebruikt mag worden heet itmax. Als dit maximale aantal iteraties wordt bereikt gaat de berekening gewoon door, ondanks dat de berekende druk niet aan het stopcriterium voldoet. In dat geval zal op de printer file informatie gegeven worden over de grootte van de residu vector.

delt

Als de numerieke tijdstappen te groot zijn zal de berekening instabiel worden. Een stabiliteit criterium in SKYLLA bepaalt in elke cel of de locale snelheden te groot zijn om stabiliteit te garanderen. Wordt een cel gevonden waar dit het geval is dan wordt de numerieke tijdstap gehalveerd. Wordt daarentegen vastgesteld dat in elk van de cellen ook met de dubbele tijdstap aan het stabiliteits criterium wordt voldaan dan wordt de tijdstap

<u>nflmax</u>	verdubbeld. De tijdstap wordt echter nooit groter genomen dan de initiële tijdstap <u>delt</u>. Het maximale aantal keer dat de tijdstap gehalveerd mag worden is <u>nflmax</u>. Als na dit aantal halveringen van de initiële tijdstap nog niet aan het stabiliteits criterium wordt voldaan, wordt de berekening gestaakt.
<u>prtdt</u>	Met tijdsintervallen van <u>prtdt</u> seconden simulatietijd worden rekenresultaten weggeschreven naar de file die voor plot doeleinden gebruikt kan worden. Bovendien worden dan gegevens naar de printer file geschreven. Om animaties te kunnen maken van de berekening worden gegevens ook naar speciale daarvoor bedoelde files geschreven. Een keuze kan hier gemaakt worden tussen twee soorten files ASCII en NEFIS.
<u>anid</u>	Op tijdsintervallen van <u>anid</u> seconden worden de te animeren grootheden naar file geschreven. Als voor ASCII gekozen wordt zal op elk tijdstip van uitvoer een nieuwe file aangemaakt worden. Is voor NEFIS gekozen dan komen alle resultaten in één file terecht.
<u>twfin</u>	De te simuleren tijd (in s) heet <u>twfin</u>. Omdat SKYLLA geen herstart optie heeft is de simulatie tijd waarop de berekening start altijd gelijk aan 0 s. Bij berekeningen waar de cellen zeer kleine afmetingen hebben (relatief tot het totale rekengebied) kan de hoeveelheid informatie die naar files voor plotdoeleinden geschreven wordt te groot zijn. Vooral bij vectorplots kan dit leiden tot een te grote pijlen dichtheid.
<u>inci</u>	De hoeveelheid informatie kan gereduceerd worden door een increment van <u>inci</u> cellen in x richting te kiezen waarop informatie wordt weggeschreven.
<u>incj</u>	In y richting kan een increment <u>incj</u> gekozen worden voor hetzelfde doel.
<u>icai</u> , <u>icaj</u>	De waarden <u>icai</u> en <u>icaj</u> worden als increment in resp. x en y richting gebruikt bij het schrijven naar file(s) voor animatie doeleinden.
<u>xreg</u>	Als een overslag randvoorwaarde gebruikt wordt met het doel een tweede berekening te doen om het gebied na overslag te simuleren moet in de berekening de x coördinaat gegeven worden van de vertikaal waar de gegevens (F, u en v) geregistreerd worden. Deze x coördinaat heet <u>xreg</u>. De gegevens worden geschreven naar de file met naam RGFUV<u>addi</u> (zie ook **** NAME OF RESULTFILES ***). Om te voorkomen dat gegevens weggeschreven worden moet gekozen worden voor <u>xreg</u> = 999.99.

**** FUNCTIONS FOR ANIMATION (SURF, PRES, U-VEL, V-VEL or ROTAT) ****

na (I)

aname-1 (C)

aname-2 (C)

..

..

aname-na (C)

na Het aantal functies waarvoor animatie gegevens weggeschreven moet worden wordt gegeven door na. De keuze na=0 betekent dat van animatie wordt afgezien.

aname Een lijst van na namen moet gegeven worden om de te animeren functies te specificeren. Mogelijke keuzen voor aname zijn:

SURF :De F functie wordt voor animatie weggeschreven.

PRES :De gereduceerde druk wordt voor animatie weggeschreven.

U-VEL :De snelheid in x richting u, wordt voor animatie weggeschreven.

V-VEL :De snelheid in y richting v, wordt voor animatie weggeschreven.

ROTAT :De rotatie van het snelheidsveld wordt voor animatie weggeschreven.

**** NAME OF RESULTFILES ****

addi (C)

ftype (C)

De uit te voeren files kunnen van een unieke naam voorzien worden door aan het begin van de file naam een aantal karakters toe te voegen.

addi addi is de string van karakters die voor dit doel gebruikt wordt. De gebruiker mag een rij van 0 tot 50 karakters gebruiken.

De ASCII files die voor plot doeleinden worden aangemaakt (met op elke prtdt seconden informatie) krijgen nu de namen:

PRESSaddi.DAT met druk informatie,

VELOaddi.DAT met snelheid vectors en

SURFaddi.DAT met informatie over het vrije oppervlak (op $F=1/2$).

ftype Met ftype kan de gebruiker het type file voor animatie doeleinden kiezen. De mogelijke keuzen zijn:

ASCII :ASCII files worden aangemaakt voor elke animatie tijdstap en voor elke te animeren functie. Verder worden drie ASCII files aangemaakt die informatie over de geometrie bevatten.

NEFIS Een NEFIS file die de informatie van alle te animeren functies bevat op alle animatie tijdstippen wordt gemaakt. Verder wordt een NEFIS definitie file aangemaakt die de structuur van de NEFIS file vastlegt.

In het geval waar gekozen is voor ASCII files zijn de resulterende files voor de mogelijke keuzen van aname:

FFUN : Faddi0001.AN2, Faddi0002.AN2, Faddi0003.AN2, etc.
PRES : Paddi0001.AN2, Paddi0002.AN2, Paddi0003.AN2, etc.
U-VEL : Uaddi0001.AN2, Uaddi0002.AN2, Uaddi0003.AN2, etc.
V-VEL : Vaddi0001.AN2, Vaddi0002.AN2, Vaddi0003.AN2, etc.
ROTAT : Raddi0001.AN2, Raddi0002.AN2, Raddi0003.AN2, etc.
en de geometrie files:

Gaddi_CEN.AN1

Gaddi_U.AN1

Gaddi_V.AN1

In het geval waar gekozen is voor NEFIS files heeft de resulterende file onafhankelijk van de keuzen voor aname:

ANIMAaddi.DAT

en de NEFIS definitie file:

ANIMAaddi.DEF

5 Uitvoer beschrijving

In de beschrijving van de invoer files worden diverse uitvoer opties genoemd. We zullen beginnen met de beschrijving van de ASCII files.

De voor plot doeleinden gemaakte files heten:

PRESS <u>addi</u> .DAT	deze bevat informatie over de gereduceerde druk.
VELOC <u>addi</u> .DAT	bevat de componenten van de snelheids vector
SURF <u>addi</u> .DAT	bevat het vrije oppervlak, gedefinieerd als $F=1/2$.

De informatie op de files PRESSaddi.DAT en VELOCaddi.DAT is verdeeld in groepen. Elke groep begint met een uitvoer nummer iprt (integer), dat gerelateerd is aan de simulatietijd t op het moment van uitvoer door: $t = iprt * prtdt$.

In het volgende record worden drie integers gegeven. De eerste is nrec en geeft het aantal records dat informatie op het betreffende tijdstip bevat. De tweede integer ncol geeft het aantal kolommen in een record. De derde integer nxc geeft het aantal records dat informatie op dezelfde horizontale roosterlijn bevat. Het rooster wordt dus rij voor rij doorlopen. De volgende nrec records geven de coördinaten van het centrum van de cel en de functiewaarde(n) van de betreffende functie op dat tijdstip.

De cellen waar informatie wordt gegeven wordt mede bepaald door de gekozen waarden van inci en incj.

De eerste groep (met iprt=0) geeft de begin toestand weer.

In het volgende schema is de structuur van de files voor de druk en de snelheid weergegeven voor twee opvolgende tijdstippen.

PRESS <u>addi</u> .DAT			VELOC <u>addi</u> .DAT			
iprt	t		iprt	t		
nrec	ncol	nxc	nrec	ncol	nxc	
x	y	P	x	y	u	v
x	y	P	x	y	u	v
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
x	y	P	x	y	u	v
iprt	t		iprt	t		
nrec	ncol	nxc	nrec	ncol	nxc	
x	y	P	x	y	u	v
x	y	P	x	y	u	v
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
x	y	P	x	y	u	v

De rijen in de file SURFaddi.DAT geven de x en y coördinaten van het polygoon die de lijn (of lijnen) beschrijft waar geldt dat $F=1/2$. Omdat het domein meervoudig samenhangend kan zijn kunnen meerdere polygonen noodzakelijk zijn. Om aan te geven waar een nieuw polygoon begint wordt een x-y combinatie met waarde (999.999,999.999) gegeven. Als b.v. 4 contouren getekend moeten worden komt de combinatie (999.999,999.999) drie keer voor.

SURFaddi.DAT

iprt	t
nrec	ncol
x	y
x	y
.	.
x	y
iprt	t
nrec	ncol
x	y
x	y
.	.
x	y

6 Enkele voorbeelden van invoerfiles

Het eerste voorbeeld betreft de verificatieberekening met een ondoorlatend glad onderwater talud met helling 1:20 zoals beschreven in het verslag:

'SKYLLA: Wave motion in and on coastal structures,
 Verification of kinematics of breaking waves on an offshore bar'
 DELFT HYDRAULICS, June 1994

```
**** NUMBER OF CELLS IN X AND Y DIRECTION
480          IMAX
50           JMAX
**** TANK GEOMETRY ****
0.0          XMIN
14.000       XMAX
0.00         YMIN
1.2000       YMAX
0.020        CX0
0.020        CX1
.015         CY
0.80         YSC
3
.5      0.
12.5    .60
14.0    .61
**** POROSITY PARAMETERS ****
0
**** MATHEMATICAL MODEL PARAMETERS ****
-2          IWL
0           IWR
1           IWT
1           IWB
**** Still water level ****
2
0.0    0.8
14.0    0.8
**** MATERIAL QUANTITIES ****
0.0          SIGMA
0.008000     RNU
90.0         CANGLE
**** BODY FORCE PER UNIT OF MASS ****
0.00000      GX
-9.80999     GY
**** Wave parameters ****
.0           ampl
.55555       freq
**** NUMERICAL MODEL PARAMETERS ****
2           ISOLV
0.200       ALPHA
0.000000100001 EPSI
1.4         OMG
2000        ITMAX
15          NFLMAX
0.01000     DELT
0.0100      PRTDT
0.020       ANID
10.0        TWFIN
1           INCI
1           INCJ
1           ICAI
1           ICAJ
999.99
```

```
**** Functions for animation (SURF PRES U-VEL V-VEL or ROTAT ****  
1  
SURFACE  
**** NAME OF RESULTFILES ****  
_v2f          FILE  
NEFIS          Animation output to NEFIS or ASCII files
```

Het tweede voorbeeld geeft de invoerfile die gebruikt is voor een berekening ten behoeve van de verificatie van de stortsteenformulering in SKYLLA. De voor de verificatie gebruikte fysische experimenten zijn beschreven in het verslag:

'SKYLLA: Wave motion in and on coastal structures,
Implementation and verification of flow on and in permeable structures'
Draft, DELFT HYDRAULICS, December 1993

**** NUMBER OF CELLS IN X AND Y DIRECTION

271 IMAX

80 JMAX

**** TANK GEOMETRY ****

0.0 XMIN

8.00 XMAX

0.00 YMIN

2.5000 YMAX

0.000 CX0

0.000 CX1

0.020 CY

0.75 YSC

0 nslp

**** POROSITY PARAMETERS ****

2

.0000013 nu_k

1000. alfa

0.85 cm

0.5000 Beta_c

9999. T

7.5 Ud

0.418 N(1)

.0175 D(1)

5 n1

5.00 0.00

7.75 0.00

6.45 0.87

6.30 0.87

5.00 0.00

0.418 N(2)

0.0266 D(2)

55 n2

4.00 0.00

5.00 0.00

6.30 0.87

6.45 0.87

7.75 0.00

7.925 0.00

6.500 0.95

6.400 0.96

6.350 0.99

6.300 1.00

6.250 0.975

6.200 0.93

6.150 0.88

6.100 0.84

6.050 0.805

6.025 0.7925

6.0 0.78

5.95 0.755

5.90 0.73

5.85 0.71

5.80	0.70
5.75	0.69
5.70	0.68
5.65	0.675
5.60	0.67
5.55	0.665
5.50	0.66
5.45	0.655
5.40	0.65
5.35	0.6425
5.30	0.635
5.25	0.6275
5.20	0.62
5.15	0.61
5.10	0.60
5.05	0.595
5.00	0.59
4.90	0.565
4.80	0.54
4.75	0.52
4.70	0.50
4.65	0.485
4.60	0.46
4.55	0.43
4.50	0.395
4.45	0.36
4.40	0.31
4.35	0.27
4.30	0.22
4.25	0.17
4.20	0.12
4.15	0.07
4.10	0.02
4.07	0.00
4.00	0.00

**** MATHEMATICAL MODEL PARAMETERS ****

-2	IWL
0	IWR
1	IWT
1	IWB

**** Still water level ****

4	
0.0	0.735
6.3	0.735
6.31	0.775
8.0	0.775

**** MATERIAL QUANTITIES ****

0.0	SIGMA
0.002500	RNU
90.0	CANGLE

**** BODY FORCE PER UNIT OF MASS ****

0.00000	GX
-9.80999	GY

**** Wave parameters ****

.00	ampl
0.6667	freq

**** NUMERICAL MODEL PARAMETERS ****

2	ISOLV
0.200	ALPHA
0.0001e-03	EPSI
1.4	OMG
200	ITMAX
12	NFLMAX
0.01000	DELT
0.0100	PRTDT
5.000	ANID
15.0	TWFIN

```
1          INCI
1          INCJ
1          ICAI
1          ICAJ
999.99
**** Functions for animation (SURF PRES U-VEL V-VEL or ROTAT ****
1
SURFACE
**** NAME OF RESULTFILES ****
_vs2a      FILE
NEFIS      Animation output to NEFIS or ASCII files
```

REFERENTIES

'Communications on hydraulic and geotechnical engineering', 'Formulae to describe porous flow',
M.R.A. van Gent, Delft University of Technology, ISSN 0169-6548, 1992

'SKYLLA: Wave motion in and on coastal structures, Verification of kinematics of breaking waves on an offshore bar',

M.R.A. van Gent, J.P. de Waal, H.A.H. Petit and P. van den Bosch, DELFT HYDRAULICS, June 1994

'SKYLLA: Wave motion in and on coastal structures, Implementation and verification of flow on and in permeable structures', Draft version

M.R.A. van Gent, H.A.H. Petit and P. van den Bosch, DELFT HYDRAULICS, December 1993

INDEX

addi 13 , 21
alfa 12 , 15 , 16
alpha 13 , 19
ampl 13 , 18 , 19
aname 13 , 21
anid 13 , 19 , 20
ASCII 21
beta_c 12 , 15 , 16
cm 12 , 15 , 16
cx0 12 , 14
cx1 12 , 14
cy 12 , 14
D 12 , 15 , 16
delt 13 , 19
epsi 13 , 19
freq 13 , 18 , 19
ftype 13 , 21
gx 13 , 18
gy 13 , 18
icai 13 , 19 , 20
icaj 13 , 19 , 20
imax 12 , 14
inci 13 , 19 , 20
incj 13 , 19 , 20
itmax 13 , 19
iwb 13 , 17
iwl 13 , 17
iwr 13 , 17
iwt 13 , 17
jmax 12 , 14
N 12 , 15 , 16
na 13 , 21
NEFIS 21
nflmax 13 , 19 , 20
nnst 15
nslp 12 , 14
nst 12 , 15
nswl 13 , 16
nu_k 12 , 15 , 16
PRES 21
prtdt 13 , 19 , 20
rnu 13 , 18
ROTAT 21
SURF 21
T 12 , 15 , 16
twfin 13 , 19 , 20
U-VEL 21
Ud 12 , 15 , 16
V-VEL 21
xmax 12 , 14
xmin 12 , 14
xreg 13 , 19 , 20
xswl 13 , 16 , 17

y_{max} 12 , 14
y_{min} 12 , 14
y_{sc} 12 , 14
y_{swl} 13 , 16 , 17