

**Studie naar parameters voor  
verspreidingsmodellen van koelwater**

**Approved for  
electronic  
distribution**



50331042-KPS/TPE 03-1113  
Classificatie: 2 (beschikbaar voor derden)

Productnummer 50331003.CL.3 03P3.11.2

## **Studie naar parameters voor verspreidingsmodellen van koelwater**

Arnhem, 11 november 2003

Auteurs R. Hunik en G. Koopmans  
KEMA Power Generation & Sustainables

TSA Power Generation 2003

Opdrachtgevers: DELTA  
Electrabel  
E.ON  
EPZ  
Essent  
Nuon Power Buggenum  
Reliant

---

auteur : R. Hunik en G. Koopmans	03-11-11	beoordeeld : P.J. Ploumen	03-11-17
14 blz. - bijl. MvD		goedgekeurd : H.A. Jenner	03-11-19

---

vrijgave TSA: N. Bolt  03-11-24

© KEMA Nederland B.V. Alle rechten voorbehouden.

Dit document bevat vertrouwelijke informatie. Overdracht van de informatie aan derden zonder schriftelijke toestemming van of namens KEMA Nederland B.V. is verboden. Hetzelfde geldt voor het kopiëren van het document of een gedeelte daarvan.

KEMA Nederland B.V. en/of de met haar gelieerde maatschappijen zijn niet aansprakelijk voor enige directe, indirecte, toekomstige of gevolgschade ontstaan door of bij het gebruik van de informatie of gegevens uit dit document, of door de onmogelijkheid die informatie of gegevens te gebruiken.

## INHOUD

		blz.
	EXECUTIVE SUMMARY .....	4
1	Inleiding .....	5
2	Algemene koelwatermodelparameters .....	6
2.1	Warmtebalansmodellen .....	6
2.2	Afkoelingsmodellen.....	7
2.3	Verspreiding.....	8
2.3.1	Nabije veld .....	8
2.3.2	Verre veld .....	9
3	Parameters van gedetailleerd model van koelwaterlozing met stratificatie .....	10
3.1	Empirische modellen .....	10
3.2	Gedetailleerde modellering van koelwaterlozing .....	10
4	Conclusies .....	13
	REFERENTIES .....	14

**EXECUTIVE SUMMARY**

During hot summer days rules for the discharge of cooling water are sometimes exceeded. These rules are based on the common discharge practice, in which the cooling water is soon completely mixed with the surface water. Another way of discharge might reduce mixing, and result in a hot water layer on the surface water (stratification). The possibility to model this way of discharge is studied. Models are determined, which can calculate the mixing of the stratified water in practical circumstances. These models appear to require input of the horizontal diffusion coefficient. Modelling of the turbulence near the free surface is at this moment insufficiently developed to model the mixing accurately enough.

## 1 INLEIDING

Bij de lozing van koelwater van grote energiecentrales op het oppervlaktewater treedt soms gedurende warme zomerse dagen overschrijding van de koelwaternormen op. Ten aanzien van deze overschrijding past de overheid momenteel een gedoogbeleid toe, maar de overheid heeft de wens dit gedoogbeleid stop te zetten.

Door de Commissie Integraal Waterbeheer (CIW), werkgroep 4, wordt getracht een beoordelingssystematiek op te stellen om lokale effecten van warmtelozingen op het ontvangende water vast te stellen. Om deze systematiek te realiseren wordt door KEMA in samenwerking met RIZA een studie verricht. Onderdeel hiervan is deze deskstudie naar alle bekende en benodigde fysische koelwatermodelparameters.

De gangbare gedachte bij lozing van koelwater is dat de koelwaterpluimen zo snel en zo efficiënt mogelijk moeten opmengen met het ontvangende water om effecten voor vissen en andere organismen zo gering mogelijk te laten zijn. De huidige normen zijn hierop gericht. Echter, de mogelijkheid bij de lozing zo min mogelijk op te mengen en stratificatie met daarbij behorende koeling over grotere afstanden te realiseren biedt perspectieven voor de centrales voor lozing van hun koelwater zonder grote milieueffecten op de warme zomerse dagen. Gedacht wordt hierbij aan een lozing, waarbij een relatief warme, dunne drijvende toplaag op het oppervlaktewater ontstaat, die over grote afstand in tact blijft en voor versnelde koeling zorgt. Op grond van de perspectieven is besloten met name deze mogelijkheid verder uit te werken.

Deze deskstudie behandelt daarom enerzijds de algemene lozings situatie met het oog op bovengenoemde mogelijkheid en beschrijft de daarbij behorende (algemene) koelwatermodelparameters. Anderzijds wordt nagegaan aan welke eisen een gedetailleerd koelwatermodel moet voldoen om de boven beschreven situatie van lozing met stratificatie goed te kunnen beschrijven. Bij de studie is gebruik gemaakt van een nog uit te brengen rapport "Warmtelozing in oppervlaktewater en uitwisseling met de atmosfeer", waarin een inventarisatie van rekenmethodieken en –modellen wordt beschreven. Dit rapport dient als referentie voor de algemene koelwatermodelparameters (BODERIE, 2003).

## 2 ALGEMENE KOELWATERMODELPARAMETERS

Bij de beschrijving van de algemene koelwatermodelparameters kan onderscheid gemaakt worden tussen de volgende deelmodellen:

- warmtebalansmodellen
- afkoelingsmodellen (versimpelde warmtebalansmodellen)
- verspreidingsmodellen, waarbij onderscheid gemaakt wordt in:
  - het nabije veld, waar de verspreiding bepaald wordt door de wijze van toevoer van het koelwater
  - het verre veld, waar de eigenschappen van het ontvangende water (de rivier, het meer, de zee) de verdere verspreiding bepalen.

### 2.1 Warmtebalansmodellen

De processen die de uitwisseling van warmte tussen water en de omgeving (bodem, bedding, atmosfeer) bepalen zijn:

- *de zonnestraling*: de belangrijkste parameters zijn hier de zonneconstante, de instralingshoek van de zon (te berekenen uit de breedtegraad, het seizoen en het tijdstip van de dag), de vermindering, die wordt veroorzaakt door de verstrooiing, reflectie en absorptie in de atmosfeer (met name door bewolking) en de reflectie aan het wateroppervlak. De door deze straling veroorzaakte opwarming wordt in de meeste modellen aan het wateroppervlak toegevoerd, hetgeen feitelijk niet correct is. In het geval van stratificatie is het raadzaam de absorptie in het water beter te formuleren (vooral voor de warme zomerse dagen). Voor Nederland bedraagt de gemiddelde dagsom van deze opwarming ongeveer  $100 \text{ Wm}^{-2}$
- *de atmosferische straling*: dit betreft de Planckse straling van de atmosfeer, die (in tegenstelling tot de zonnestraling) langgolvig ( $0.5 \mu\text{m}$ - $4\mu\text{m}$ ) is. Deze langgolvige straling wordt aan het wateroppervlak geabsorbeerd, waardoor de aanname van warmtetoevoer aan dit oppervlak juist is. De kleurfactor (bepaald door de vochtigheid en de bevolkingsgraad) geeft weer welk deel van deze straling bij het oppervlak van het water terecht komt. Na correctie voor de reflectie aan het oppervlak bedraagt de warmtetoevoer in deze  $200\text{-}400 \text{ Wm}^{-2}$  (dag en nacht aanwezig)
- *de uitstraling van het water (golflengtegebied 4-120  $\mu\text{m}$ )*: deze vindt plaats aan het oppervlak en kan berekend worden uit de temperatuur van het water. Gemiddeld bedraagt deze uitstraling  $300\text{-}450 \text{ Wm}^{-2}$ . Een toename van temperatuur van 10 graden leidt tot een verandering van uitstraling van  $\pm 10\%$

- *verdamping en condensatie energie*: deze energiestroom kan berekend worden uit de dampdruk van de lucht vlak boven het wateroppervlak en de actuele dampdruk van de lucht, die sterk door windinvloeden bepaald worden. Hoge watertemperatuur, droge lucht en veel wind leiden tot grote verdamping en veel koeling. De koeling varieert in het algemeen zeer sterk (250-1100 Wm<sup>-2</sup>). De meeste warme zomerse dagen worden in Nederland gekenmerkt door een vrije hoge vochtigheid en weinig wind
- *geleiding tussen water en lucht*: de convectieve warmte-uitwisseling aan het wateroppervlak is in het algemeen (en zeker op warme zomerse dagen bij een verhoogde watertemperatuur door lozing) aanzienlijk kleiner dan de overige termen in de warmtebalans en mag daarom verwaarloosd worden
- *de warmtegeleiding tussen water en bodem*; ook deze warmteuitwisseling is zo gering dat verwaarlozing geen significant andere uitkomst levert
- *de neerslag*: ook hiervoor geldt dat de invloed op de warmtebalans erg gering is en dat verwaarlozing geen problemen levert.

## 2.2 Afkoelingsmodellen

Een afkoelingsmodel is in feite een samenvattende versimpeling van de modellen, die de warmtebalans beschrijven. Hierbij wordt de relatie geformuleerd tussen de warmte afgifte,  $q$ , het temperatuursurplus,  $\Theta$  (berekend uit de water- en luchttemperaturen) en het zelfkoelingsgetal,  $Z$  (bepaald door de omstandigheden en empirisch vastgesteld of berekend):

$$q = -Z \cdot \Theta$$

Hierbij wordt ervan uitgegaan dat alle warmteuitwisseling aan het oppervlak plaatsvindt.

Voor zomerse dagen geldt in Nederland dat  $Z$  tussen de 30-45 Wm<sup>-2</sup>K<sup>-1</sup> ligt. De daaruit voortkomende warmtestroom op een warme zomerse dag bij een rivier met verhoogde temperatuur door koelwaterlozing is qua grootte vergelijkbaar met de warmtestroom door zonnestraling. In verband hiermee en in verband met het reeds vermelde feit, dat zoninstraling ook een warmtestroom levert ver verwijderd van het oppervlak, wordt het gebruik van een afkoelingsmodel bij de modellering met stratificatie afgeraden.



## 2.3 Verspreiding

De karakteristieken van de invoer (vorm, uitstroomrichting en snelheid) van het koelwater bepalen samen met de snelheids- en dichtheidsverschillen de mengzone rond deze invoer ("near field"). Op enige afstand van de lozing ("far field") bepalen de stroming en de turbulente dispersie in het ontvangende oppervlaktewater de menging. Normaliter is bij de lozing het temperatuurverschil 7-15 K, hetgeen veel hoger is dan de maximaal toegestane temperatuurverhoging van 2 K in het oppervlaktewater na menging.

### 2.3.1 Nabije veld

Menging in het nabije veld wordt normaliter voornamelijk bepaald door turbulente diffusie. Deze bestaat uit:

- *straaldiffusie*: deze treedt op, als de snelheid van het koelwater aanzienlijk verschilt van die van het ontvangende water. Deze situatie dient, indien men zoveel mogelijk stratificatie wil bereiken, zo goed mogelijk vermeden te worden
- *turbulente diffusie*: als de uitstroomsnelheid van de lozing weinig verschilt van de snelheid van het ontvangende water zal de turbulente diffusie in het oppervlaktewater op de randen van de lozingspluim de belangrijkste menging veroorzaken. Dit type diffusie is nauwelijks te vermijden
- *sleeprachten*: als lozing plaatsvindt (nagenoeg) dwars op de hoofdstroom zal de stroomrichting van de geloosde pluim bijgedraaid moeten worden. De krachten op de pluim zullen zorgen voor extra turbulentie en menging. Het zal duidelijk zijn dat dit type lozing zoveel mogelijk vermeden moet worden, als men stratificatie wil realiseren
- *bouyancy*: bij een warme lozing zal de dichtheid van het geloosde water vrijwel altijd lager zijn dan de dichtheid van het ontvangende water. Hierdoor zal de uitstromende pluim de neiging hebben om te gaan drijven op het koudere oppervlaktewater, hetgeen ook leidt tot turbulente menging en bij geringe menging tot stratificatie zal leiden. Het dichtheidsverschil tussen het geloosde water en het oppervlaktewater is echter relatief gering, zodat om stratificatie te realiseren de menging zorgvuldig geminimaliseerd moet worden en eventueel de dichtheidsverschillen vergroot moeten worden door verhoging van temperatuurverschillen (en daarbij vermindering van het lozingsdebiet). De consequenties hiervoor voor het functioneren van de centrale zullen in een ander deel van studie naar stratificatie bij lozing nagegaan worden.

### 2.3.2 Verre veld

Menging in het verre veld wordt vooral bepaald door:

- *horizontale stroming*: de temperatuurbelasting door de lozing wordt in het oppervlaktewater getransporteerd door de stroming die in het verre veld voornamelijk horizontaal is
- *horizontale en verticale diffusie*: de turbulente diffusie bij ondiep watersystemen is in het algemeen anisotroop: horizontaal is deze diffusie groot, verticaal klein en de verticale diffusie is vooral van belang indien er (zoals gewenst) stratificatie optreedt. Hierbij wordt de verticale diffusie versterkt door verticale snelheidsverschillen, maar onderdrukt dan verticale dichtheidsverschillen.

Het is van belang, indien men stratificatie wenst te behouden, verticale snelheidsverschillen te vermijden. Belangrijke verstoringen die leiden tot verticale snelheidsverschillen zijn:

- recirculatie
- bochten
- ondiep-diep overgangen
- windgedreven stromingen (zowel de recirculatie daarvan als ook de golfbeweging)
- *stratificatie*: naast de door de lozing veroorzaakte stratificatie kan er ook van nature in het oppervlaktewater stratificatie voorkomen. Dit laatste gebeurt vooral in diepere meren, waarbij de spronglaag (thermocline) in het voorjaar en in de zomer wordt gevormd door de lokale opwarming van het water. Wind en stroming zijn de versturende factoren die in het najaar de stratificatie meestal weer doen verdwijnen. De diepte, waarop de stratificatie zich stabiliseert, is gerelateerd aan het dimensieloze Richardson getal. Dit getal geeft de verhouding tussen het opdrijvend vermogen (dichtheidsgradiënt) en de stroomsnelheid weer. Het verticale transport over de spronglaag kan in geval van extreme stratificatie sterk gereduceerd worden. In zo'n situatie zal in plaats van turbulente diffusie uitsluitend moleculaire diffusie optreden. In de meeste stromingsmodellen wordt hiermee rekening gehouden. Echter, een (sterk) versturend proces hierbij is de vorming van dichtheidsgolven in de spronglaag (analoog aan golven aan het oppervlak), die voor extra menging kunnen zorgen. Slechts in een beperkt aantal modellen wordt hiermee rekening gehouden.

### **3 PARAMETERS VAN GEDETAILLEERD MODEL VAN KOELWATERLOZING MET STRATIFICATIE**

De modellering van de koelwaterlozing met stratificatie is, mits met de relevante fysische processen met bijbehorende parameters rekening wordt gehouden, mogelijk met een groot aantal academische, vaak onderzoeksgerichte, modellen. Toepassing van dergelijke modellen vereist echter een vaak bij de gebruikers bij energiecentrales ontbrekende deskundigheid. Door hen worden de meestal uit de academische modellen afgeleide gebruikersvriendelijke modellen toegepast. Deze modellen, die vaak gebruik maken van versimpelde oplossingsmethoden en waarvan de uitkomsten vaak geverifieerd kunnen worden aan praktijksituaties, worden in dit rapport empirische modellen genoemd.

#### **3.1 Empirische modellen**

In de studie (BODERIE, 2003), die in de inleiding is genoemd, wordt een inventarisatie beschreven van modellen van lozing van koelwater op het oppervlaktewater. Bij deze inventarisatie zijn de modellen geclassificeerd. Zeer moeilijk is het aan de hand van dit overzicht te beoordelen welk empirisch model geschikt zal zijn voor doorrekenen van de in dit rapport genoemde koelwaterlozing met stratificatie. Selectiecriteria zijn in elk geval:

- modellering van stratificatie dient mogelijk te zijn; dit vereist vanwege de afmetingen van de stratificatielaag een hoge ruimtelijke resolutie bij het rekenen, hetgeen bij empirische modellen meestal niet gerealiseerd kan worden
- het betreft vooral modellering van het verre veld, ofschoon in het nabije veld wel nagegaan moet worden, of de gewenste stratificatie ontstaat
- modellering van de warmtebalans is noodzakelijk, waarbij rekening wordt gehouden met de gespreide warmtedepositie bij instraling van het zonlicht
- rivieren en kanalen zijn voor de berekeningen de belangrijkste oppervlaktewateren
- de modellering moet in 3 dimensies gedaan kunnen worden
- verificatie van de modellering is zeer gewenst
- de gebruiksvriendelijkheid moet groot zijn.

#### **3.2 Gedetailleerde modellering van koelwaterlozing**

Van de in het overzicht (BODERIE, 2003) genoemde programma's waarmee koelwaterlozingen gedetailleerd zouden kunnen worden gemodelleerd is Delft3D-FLOW (2001) bestudeerd aan de hand van de beschikbaar gestelde documentatie.

Daarnaast is THREETOX (2003) onderzocht. Van deze twee programma's worden diverse submodellen vergeleken, met nadruk op de fysica. Voor de details wordt verwezen naar de documentatie.

Er wordt uitgegaan van driedimensionale modellering op basis van de ondiep water vergelijkingen in combinatie met het  $k-\epsilon$  model van turbulentie (zie vervolg). De belangrijkste aspecten van de modellering betreffen:

- *ondiep water vergelijkingen*

De ondiep water vergelijkingen zijn een benadering van de Navier-Stokes vergelijkingen voor de gemiddelde snelheid, die geldt als verticale snelheidscomponenten in de stroming relatief klein zijn. In deze benadering gaat de vergelijking voor de verticale snelheidscomponent over in een vergelijking voor de hydrostatische druk. De verticale snelheidscomponenten zijn in het algemeen niet klein bij het lozingspunt, in het nabije veld. Daar moet dus van een andere beschrijving gebruik gemaakt worden, bijvoorbeeld van CORMIX (EPA, 1992), als startpunt voor de berekeningen met de ondiep water vergelijkingen

- *modellering van de turbulentie*

Turbulente stromingen worden gekenmerkt door chaotische fluctuaties op de gemiddelde snelheid, aangeduid als wervels ("eddies"). Deze veroorzaken een menging die in het  $k-\epsilon$  model wordt beschreven als turbulente diffusie en turbulente viscositeit, naar analogie van moleculaire diffusie en viscositeit. In het  $k-\epsilon$  model worden transportvergelijkingen opgelost voor de gemiddelde snelheid en temperatuur, waarin plaatsafhankelijke turbulente diffusiecoëfficiënten en viscositeiten voorkomen in plaats van de moleculaire waarden. Deze coëfficiënten worden bepaald door de lokale waarden van de kinetische energie  $k$  van de turbulente fluctuaties en de dissipatiesnelheid  $\epsilon$  daarvan. Voor  $k$  en  $\epsilon$  worden aparte transportvergelijkingen opgelost.

In ondiep water hebben de wervels in het horizontale vlak een andere uitbreidheid dan anders georiënteerde wervels, hetgeen zich uit in een veel betere menging in het horizontale vlak dan in verticale richting. De anisotropie is het meest uitgesproken bij het wateroppervlak, omdat verticale snelheidsfluctuaties daar nagenoeg afwezig zijn. Turbulentie-anisotropie wordt met het  $k-\epsilon$  model niet gemodelleerd. Om die reden wordt het  $k-\epsilon$  model in de bestudeerde programma's alleen gebruikt om verticaal transport te beschrijven. In Delft3D-FLOW wordt van de gebruiker gevraagd een horizontale diffusiecoëfficiënt te specificeren en in THREETOX is zo te zien hetzelfde het geval, getuige de afwezigheid van een model in de documentatie.

Voor de modellering van de pluimdispersie is de gekozen waarde wél van belang, omdat deze de dikte van de pluim aan het oppervlak en daarmee de snelheid van menging bepaalt.

Er zijn in de literatuur voor de horizontale menging in ondiep water wel modellen beschreven, maar deze zijn nog niet geaccepteerd voor algemeen gebruik

- *modellering van effecten van dichtheidsverschillen*

Dichtheidsverschillen door stabiele thermische stratificatie dempen de turbulentie omdat wervels die verticale menging veroorzaken arbeid tegen de zwaartekracht moeten verrichten. In Delft3D-FLOW wordt dit effect verdisconteerd door extra termen in de  $k$ - en  $\epsilon$ -vergelijkingen. In THREETOX worden analytische benaderingen voor de turbulente viscositeit gebruikt die een vergelijkbaar effect sorteren. Beide programma's houden rekening met de effecten van interne dichtheidsgolven. Omdat de dichtheidsverschillen in de te onderzoeken situatie gering zijn is de modellering van de invloed daarvan waarschijnlijk van ondergeschikt belang

- *randvoorwaarden*

Zogenaamde wandwetten worden gebruikt om randvoorwaarden voor stroming en turbulentie aan de bodem te specificeren, waarop hier niet wordt ingegaan. Voor zijwanden zoals kademuren zijn de wandwetten niet bruikbaar omdat horizontale menging niet goed wordt gemodelleerd. Randvoorwaarden die enigszins vergelijkbaar zijn met wandwetten worden gebruikt aan het oppervlak. De invloed van wind en golven op de stroming en turbulentie wordt berekend uit een uitdrukking voor de door wind veroorzaakte kracht op het oppervlak. In de zomersituatie zullen deze krachten gering zijn. Het is niet duidelijk of, bij afwezigheid van wind en golven, de turbulentie randvoorwaarden aan het oppervlak wel voldoen, omdat pas de laatste jaren hierover voldoende gegevens beschikbaar zijn gekomen.

Thermische randvoorwaarden zijn in hoofdstuk 2.1 aan de orde gekomen. De bodem en zijwanden worden als isolerend beschouwd. In beide programma's kunnen zo te zien adequate warmtebalansmodellen worden toegepast. In THREETOX wordt de warmteflux strikt aan het oppervlak toegevoegd. In Delft3D-FLOW is het daarentegen mogelijk om bij het effect van zoninstraling rekening te houden met de doorzichtigheid van het water, hetgeen voor het onderhavige probleem gewenst lijkt te zijn

- *numerieke aspecten*

Op de numerieke implementatie van de vergelijkingen wordt hier niet ingegaan, hoewel dit een beslist niet onbelangrijk punt is.

Vanzelfsprekend is dat het rooster dat in de simulaties wordt gebruikt voldoende fijn moet zijn om de te modelleren effecten voldoende nauwkeurig te berekenen. Omdat vooral de verticale diffusie van de pluim van belang is in het onderhavige geval, dienen er meerdere roosterpunten over de pluimdikte voor te komen in de simulaties.

De genoemde onzekerheden in de turbulentiemodellering hebben tot gevolg dat de nauwkeurigheid van de uitkomsten van modelberekeningen met deze programmatuur niet goed aan te geven is. Verificatie van uitkomsten zal derhalve zeer gewenst blijven.

#### **4 CONCLUSIES**

De in dit rapport onderzochte modellering is beoordeeld op toepasbaarheid op de in de inleiding besproken lozing van koelwater op oppervlaktewater, met vorming van thermische stratificatie bij het wateroppervlak.

Afgeraden wordt om met empirische modellen de pluimdiffusie in het verre veld te beschrijven. Naar verwacht, kunnen deze modellen in het nabije veld wél toegepast worden om de vorming van een thermisch gestratificeerde stroming te beschrijven.

De onderzochte programmatuur voor detailberekeningen maakt gebruik van de ondiep water vergelijkingen en is daarom alleen toepasbaar voor de beschrijving van het verre veld.

In deze programmatuur wordt de horizontale diffusie van de koelwaterpluim berekend met een diffusiecoëfficiënt die niet uit het model volgt, maar door de gebruiker moet worden gespecificeerd.

Modellering van de turbulentie bij het vrije wateroppervlak is nog onvoldoende ontwikkeld om er zeker van te zijn dat de menging bij het oppervlak voldoende nauwkeurig wordt beschreven.

**REFERENTIES**

EPA, 1993. User's manual for CORMIX 2.10, Center for Exposure Assessment Modelling (CEAM) Customers.

Delft3D-FLOW, 2001. User manual, version 3.06. WL | Delft Hydraulics, Delft.

THREETOX, 2003. Threetox model description, private communication.

BODERIE, P., and Dardengo, L., 2003. Conceptrapportage, nr. Q3315. WL | Delft Hydraulics, Delft.

**Extern**

---

Begeleiders van product 03P3.11.2 uit Cluster 3 Regelgeving en Milieu (15x)  
KEMA-projectleider: W.C. Kok KPS/M03 (1x)

**Formeel intern**

---

N. Bolt (projectmanager TSA Power Generation) KPS/M05  
S. de Zwart, KPS archief KPS/M05  
KEMA Information Research FIT/H01

**Intern**

---

R. Hunik KPS/M03  
H.A. Jenner KPS/M05  
G. Koopmans KPS/M03  
P.J. Ploumen KPS/M03