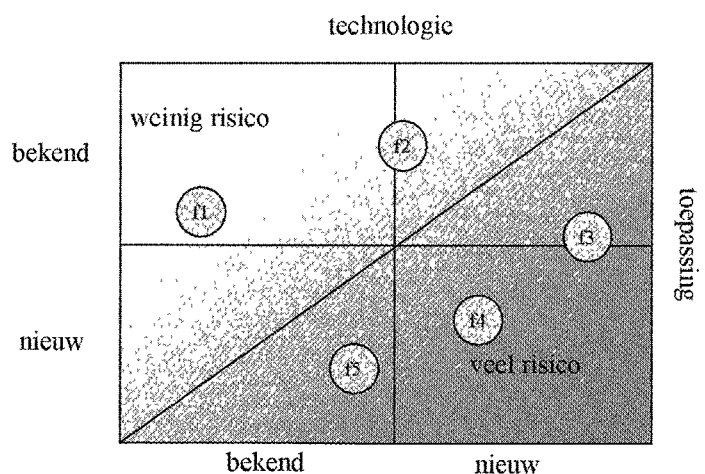


# Simulatie als hulpmiddel in risico-management

*Simulatie, met behulp van Eindige Elementen Methode, stroming simulaties (CFD) en MatLab/Simulink simulaties, wordt steeds vaker toegepast tijdens het ontwikkelen van producten. Niet alleen het gebruik neemt toe, maar ook de effectiviteit waarmee deze tools worden ingezet. Een tiental jaar geleden werden berekeningen voornamelijk ingezet wanneer er een probleem in de praktijk werd geconstateerd. Het probleem werd dan gereproduceerd met simulatietechnieken en de oplossingen werden op hun haalbaarheid getoetst. Hiermee is de kracht van de technieken zichtbaar gemaakt, hetgeen er toe heeft geleid dat ze in steeds vroegere fasen van een project worden toegepast.*

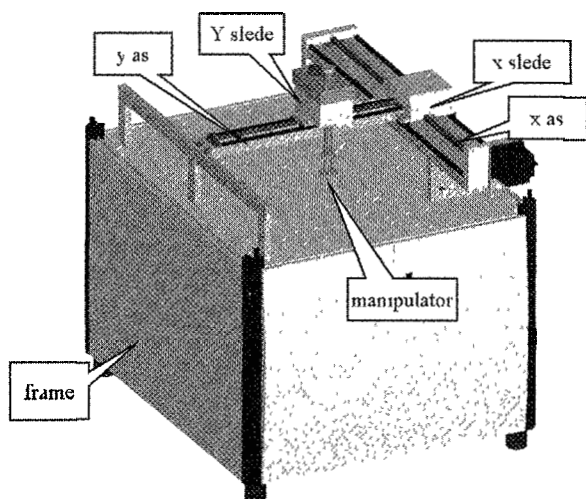
• B. Bakker (Mecal, [www.mecal.nl](http://www.mecal.nl), [b.bakker@mecal.nl](mailto:b.bakker@mecal.nl)) •

Zo worden tegenwoordig simulaties als hulpmiddel gebruikt bij risico-management in innovatieve productontwikkeling. Een belangrijk uitgangspunt hierbij is dat de beheersbaarheid van productontwikkeling wordt bepaald door de onbekendheid met de technologie die wordt toegepast. Door uit te gaan van 'proven technologie' worden de functionele risico's aanmerkelijk verkleind. Innovatieve productontwikkeling kenmerkt zich echter juist door grotere technologisch stappen. Het beheersbaar maken van de risico's die hiermee gepaard gaan is dan ook essentieel. In afbeelding 1 is uiteengezet waar deze risico's uit bestaan. Voor bepaalde producten zijn de benodigde deelfuncties, f1 t/m f5, ingedeeld naar de mate van (on)bekendheid met de technologie en de mate van (on)bekendheid met de toepassing.



Afbeelding 1. De functies van een te ontwerpen systeem, ingedeeld naar (on)bekendheid met de technologie of met de toepassing.

# del bij productontwikkeling



Afbeelding 2. Inspectie-apparaat met xy-robot

De eerste fase in risicomangement is het onderkennen van deze onzekerheden en wegen vinden waarmee de onbekendheid kan worden weggenomen. Een tot nu toe veel gebruikte aanpak is het maken van een functioneel model of pre-proto, een opstelling waarin deze nieuwe functie kan worden getest. Een opstelling levert weliswaar veel informatie op, maar heeft als nadeel dat het relatief kostbaar en tijdrovend is. Zo is een opstelling niet erg flexibel en is het vaak niet mogelijk om voor alle mogelijke concepten een proto te bouwen alvorens de beste te kiezen.

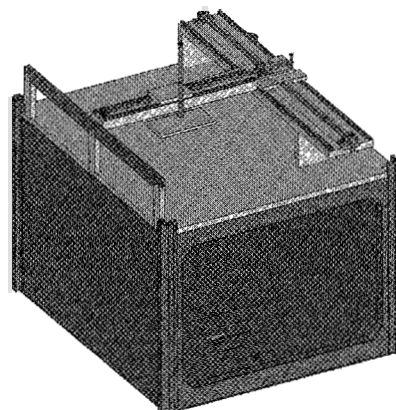
Een alternatieve methode is het inzetten van simulatiemethoden in deze fase van productontwikkeling. Met behulp hiervan wordt een zogenaamd 'virtueel prototype' gebouwd, een op simulatietechnieken gebaseerde aanpak waarmee op een zeer effectieve wijze de nieuwe functies kunnen worden getest zonder een werkelijk prototype te bouwen. De voordelen van een virtueel prototype komen tot uiting in een korte doorlooptijd, de flexibiliteit waarmee veranderingen kunnen worden doorgevoerd en het veel grotere aantal con-

cepten dat onderling kan worden vergeleken. Hierdoor neemt de doorlooptijd van het project af, zijn de kosten lager en is het projectresultaat in een vroeg stadium zeker te stellen. Uiteraard heeft een virtueel prototype z'n beperkingen, een model kan eenvoudigweg geen antwoorden geven op vragen die vooraf niet in het model zijn opgenomen. Op basis van modelvorming is echter tegen een fractie van de kosten zo'n 80% van de vragen te beantwoorden. Bovendien zijn 'wat als' vragen in een virtueel proto zeer effectief te beantwoorden waardoor onzekerheden die in het projectteam leven worden weggenomen. Hierdoor wordt de focus verlegd van de risico's van het ontwerp naar de doelen van het project

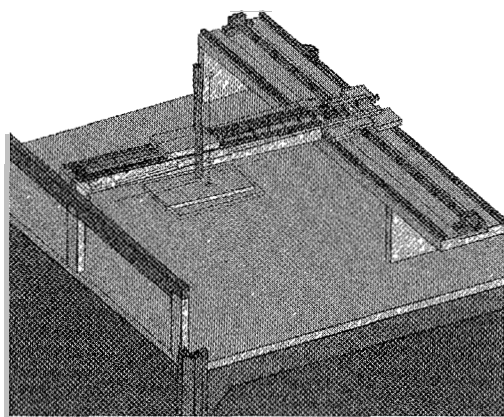
## Voorbeeld

Als voorbeeld wordt in dit artikel de toepassing van een virtueel prototype besproken van een xy-robot voor een inspectie apparaat. Het inspectieapparaat pakt een product uit een buffer, positioneert deze boven een digitale camera, en plaats het product daarna in een afkeurbak of in de output buffer, afhankelijk van het resultaat van de inspectie (zie afbeelding 2).

In dit voorbeeld wordt een concept van de xy-robot gekozen. De xy-robot moet een groot werkveld kunnen bestrijken en een hoge snelheid combineren met een hoge nauw-



Afbeelding 3. Eindige elementenmodel van het inspectieapparaat.

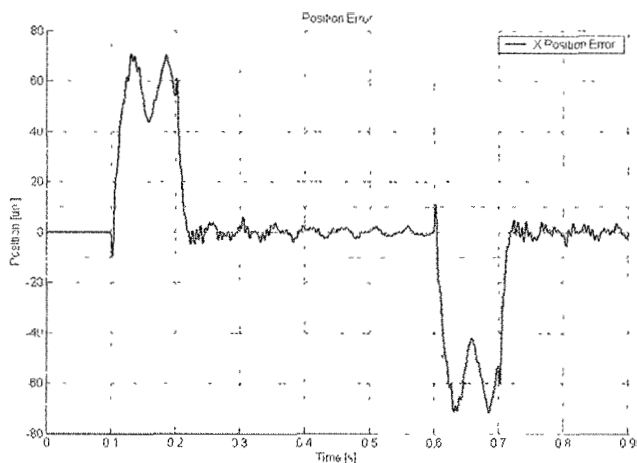


Afbeelding 4. Vervorming tijdens versnelling in xy-richting.

keurigheid. Voor deze functie zijn twee basis concepten opgezet, een concept op basis van spindelaandrijving en een concept op basis van lineaire motoren.

Het opzetten van een virtueel prototype en het uitvoeren van de simulaties is voer voor specialisten. Verderop in dit artikel (Simulatietechniek) zijn de details nader uiteengezet. Hier beperken we ons tot de hoofdlijn. De simulaties bestaan uit drie fasen, modelvorming van de mechanica, modelvorming van de meet & regeltechniek en het simuleren van de functie tezamen met het interpreteren van de resultaten

De basis van het virtuele prototype wordt gevormd door de mechanica die met behulp van de EEM wordt gemodelleerd. In dit model worden de hoofdcomponenten opgenomen die



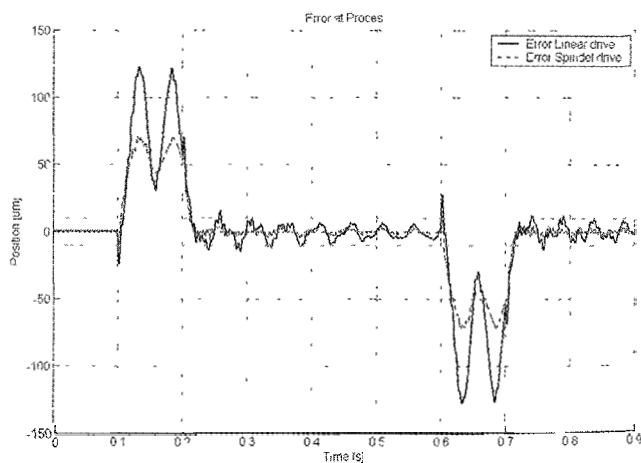
Afbeelding 5. Berekende positie fout in x-richting tijdens versnelling, lineaire beweging en vertraging.

het mechanisch en dynamisch gedrag bepalen (afbeelding 3). De details worden in deze fase met opzet buiten het model gelaten. Dit model is al geschikt voor het uitvoeren van de eerste simulaties zoals het functioneren bij onregelmatige thermische uitzetting en het in kaart brengen van vervormingen tijdens bedrijf (afbeelding 4).

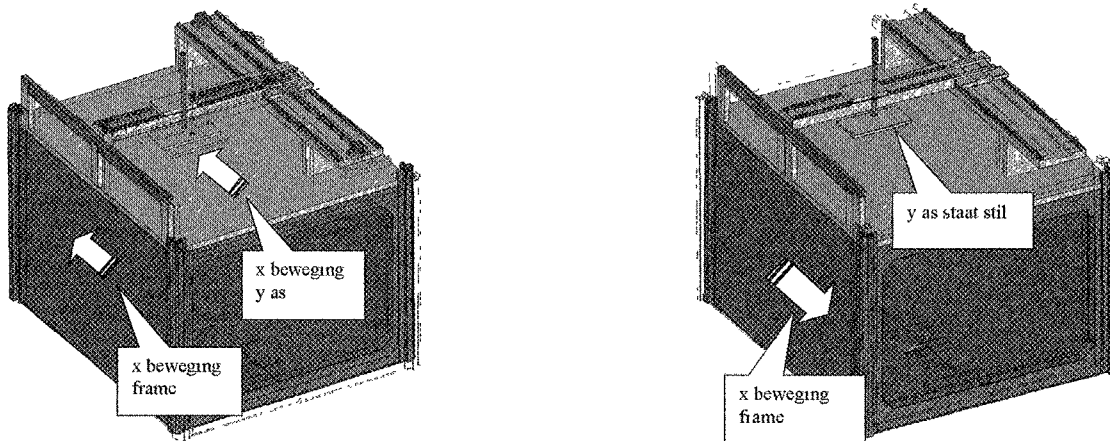
Voor het simuleren van de beweging, met MatLab/Simulink, wordt ook de meet & regeltechniek opgenomen in het model. Daarna is het mogelijk de verschillende bedrijfssituaties van de robot na te spelen. Zo wordt de gehele pick & place actie van de robot op de voet gevolgd en worden snelheid, settingtijden en procesnauwkeurigheid zichtbaar gemaakt (zie afbeelding 5). Met name de procesnauwkeurigheid is terug te voeren op de stijfheid en afmetingen van de x-balk. Hiermee wordt de functie dus direct gekoppeld aan de uitvoeringsvorm van het ontwerp. Een waardevolle stap in de richting van een 'first time right' ontwerp!

Het doel van de analyse is het kiezen van een aandrijfconcept. Hierbij is er de keuze tussen een spindelaandrijving en een aandrijving met lineaire motoren. In de simulaties komt duidelijk het verschil tussen beide concepten naar voren (zie afbeelding 6). In deze figuur is het verschil te zien tussen de positie van de kop en de positie van de inspectiecamera. Hieruit komt naar voren dat het concept op basis van lineaire motoren een veel grotere positiefout geeft dan het spindelconcept

In deze fase van het ontwerp is de verklaring van dit verschil even belangrijk als de harde getallen. De verklaring levert de onderbouwing van de conceptkeuze, op basis waarvan het vervolg van het project richting wordt gegeven.



Afbeelding 6. Berekende positiefout in x-richting, robot met spindelaandrijving vergeleken met robot met lineaire motor.



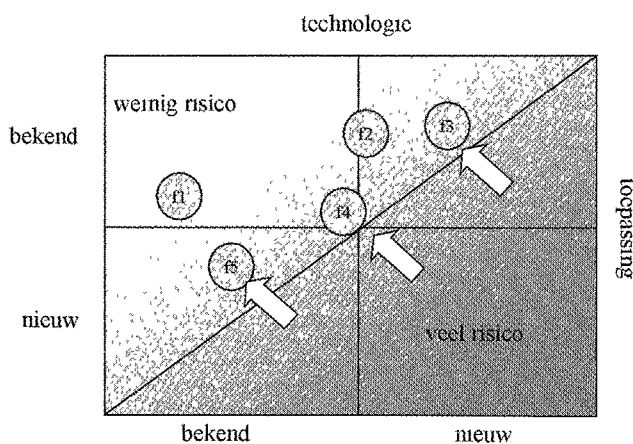
Afbeelding 7. Bewegingsvorm van het frame bij 29 [Hz]. Links: de spindel aangedreven robot beweegt mee met het frame. Rechts: de lineair aangedreven robot blijft achter.

Voor beide concepten geldt dat de versnellingskrachten bij een beweging van de x-balk op het onderframe worden afgezet. Hierdoor buigt het onderframe in tegengestelde richting uit waarna het een trilling uitvoert. De inspectiecamera die stijf verbonden is met het frame, volgt deze trilling die daardoor zichtbaar is op het camerabeeld. Opmerkelijk is dat in beide concepten de dynamische verstoring van het onderframe en de camera ongeveer even groot is. De verschillen worden dus verklaard uit het feit dat de spindel met kogelomloopmoer de x-balk meeneemt en de beweging van het onderframe op de balk overdraagt. Hierdoor blijven de plaatsingsverschillen tussen kop en camera significant kleiner dan in het lineaire motorconcept waarin geen mechanische koppeling tussen x-balk en frame bestaat in de bewegingsrichting (afbeelding 7).

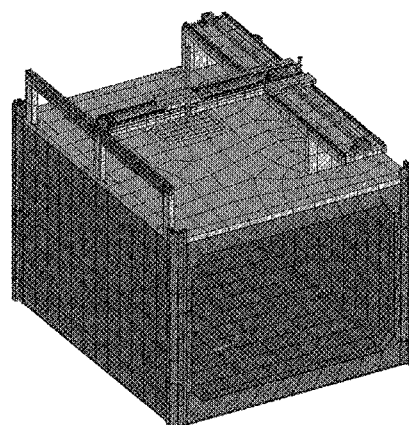
sche koppeling tussen x-balk en frame bestaat in de bewegingsrichting (afbeelding 7).

### Conclusies

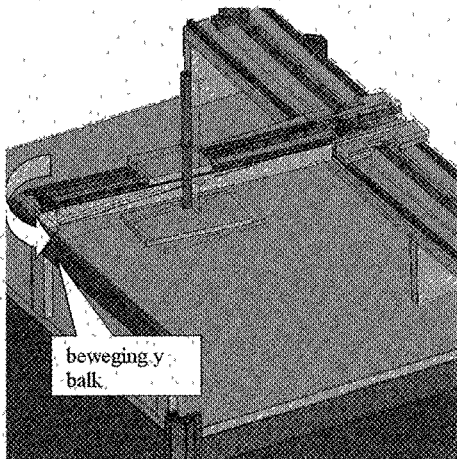
De huidige simulatietechnieken bieden, met name in de eerdere fasen van een ontwerpproces, een goed alternatief voor het bouwen van prototypen. Op basis van modelvorming wordt het functioneren van nieuwe technologie in bedrijfs-situaties inzichtelijk gemaakt en wordt de uitvoeringsvorm aan de performance gekoppeld. Door de flexibiliteit en snelheid van modelvorming is het bovendien mogelijk om meerdere concepten onderling te vergelijken. Hierdoor komt beheersbare productontwikkeling binnen bereik.



Afbeelding 8. Door middel van simulatietechnieken is van bepaalde functies in het systeem de onbekendheid met technologie en toepassing, en daarmee het ontwerprisico, afgenomen.



Afbeelding 9. Eindige elementenmodel van xy-robot.



Afbeelding 10. Trilvorm bij 59 [Hz.], spindel aangedreven robot

**Simulatietechniek**

Een belangrijk kenmerk van mechatronische systemen is dat de werking tot stand komt door een combinatie van besturing, elektronica en mechanica. Om tot een goed voorspellend model te komen moeten deze zaken integraal worden beschouwd.

De modellering hiervan begint met het mechanisch model volgens de eindige elementen methode (afbeelding 9). Met dit model worden de dynamische eigenschappen van het mechanische ontwerp beschreven in trilvormen en eigenfrequenties (afbeelding 10). Belangrijke aspecten van dit model zijn onder meer de posities van sensoren en actuatoren, de massa middelpunten van componenten en de flexibiliteit van belangrijke constructiedelen.

Vervolgens worden de resultaten van het EEM model omgeschreven naar een toestandsbeschrijving. Met deze

**Modale Data uit EEM analyse**

Diagonaal matrix met n eigenfrequenties  
 $W = \text{diag}(\omega_1, \omega_2 \dots \omega_n)$

Diagonaal matrix met n demping factoren  
 $Z = \text{diag}(\beta_1, \beta_2 \dots \beta_n)$

Matrix van n eigenvectoren (trilvormen)  
 $V = [v_1, v_2 \dots v_n]$

De matrix met trilvormen V is genormaliseerd naar de massa matrix, dus:  
 $V^T M V = I$

**Toestandsbeschrijving voor dynamisch model in Matlab/ Simulink**

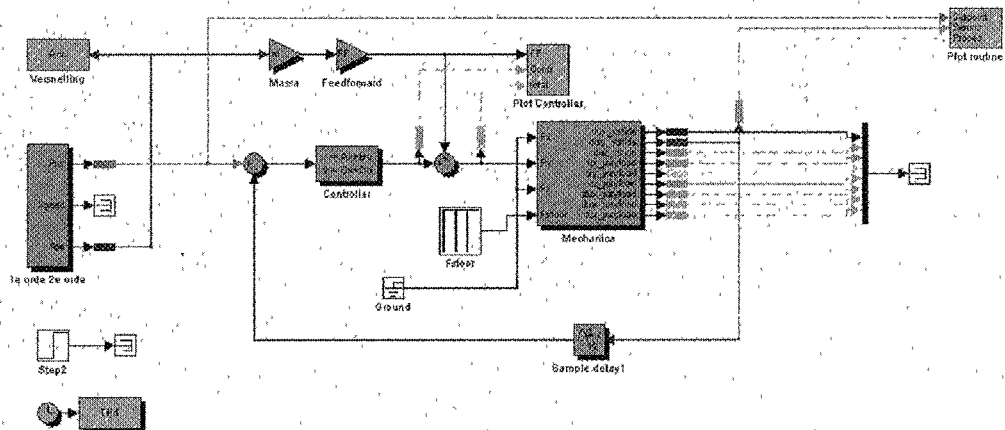
$\dot{x} = Ax + Bu$   
 $y = Cx + Du$

met.

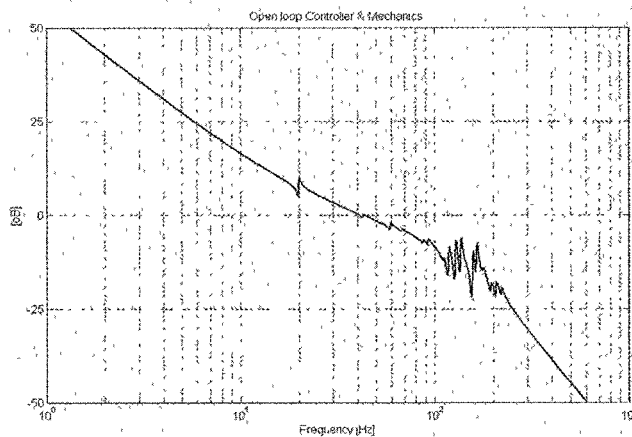
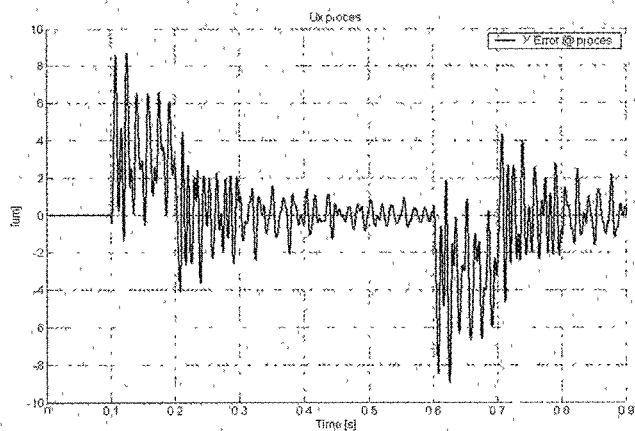
$A = \begin{bmatrix} 0 & I \\ -W^2 & -2 \cdot Z \cdot W \end{bmatrix}$	$B = \begin{bmatrix} 0 \\ V^T \end{bmatrix}$
$C = [V \ 0]$	$D = [0]$

Afbeelding 11. Wiskundige beschrijving van de omzetting van EEM resultaten naar toestandsbeschrijving.

beschrijving worden de overdrachten van inputs (zoals actuator krachten) naar outputs (zoals sensor posities) bepaald. Bij het omzetten van de EEM resultaten naar een toestandsbeschrijving wordt overgegaan naar een nieuwe set vrijheidsgraden: de bewegingen van het systeem worden niet meer beschreven via de verplaatsingen van de knopen in het EEM model maar als een combinatie van trilvormen (afbeelding 11).



Afbeelding 12. Matlab/Simulink model van een feedback servoluus.



Afbeelding 13. Resultaten Matlab/Simulink model. Links: dynamische overdracht in het frequentie domein. Rechts: dynamische respons in het tijddomein.

Hierdoor neemt het aantal vrijheidsgraden doorgaans sterk af, bijvoorbeeld van 50000 berekende knooppuntsverplaatsingen in drie richtingen naar honderd berekende trilvormen, waardoor de hanteerbaarheid van het model toeneemt. De nauwkeurigheid van de simulatieresultaten wordt hiermee niet beperkt, maar wel de geldigheid: Het model mag alleen gebruikt worden in de frequentieband waarbinnen trilvormen en eigenfrequenties zijn berekend. Als toestandsbeschrijving kan het mechanisch ontwerp vervolgens worden opgenomen in het model van de complete regellus, waarin ook van andere componenten, zoals de feedback en de feed

forward controller software en elektronische componenten, als toestandsbeschrijving zijn opgenomen. Dit model van de complete regelkring wordt in Matlab/Simulink opgezet (afbeelding 12).

Met het Simulink model kan het dynamisch gedrag van het complete systeem in het frequentie domein en in het tijddomein worden bepaald (afbeelding 13). Hiermee wordt een directe relatie gelegd tussen het mechanische ontwerp, het regelaarontwerp en de haalbare performance in termen van snelheid, nauwkeurigheid en servostabiliteit.

## PERSBERICHTEN

# Nieuwe digitale thermometer voor groot meetbereik

De nieuwe SKF TMDT 1300 is een tweekanaalsthermometer die twee sensoren op hetzelfde moment met elkaar verbindt. De thermometer is voorzien van een gevoelige microprocessor, die een hoge mate van nauwkeurigheid tijdens temperatuurmeting mogelijk maakt met een bereik van -50 tot aan 1300 °C. De grote display maakt uitlezing eenvoudig en duidelijk.

De TMDT 1300 is ontwikkeld door SKF Nederland en is voorzien van handige

functies. Zoals het vasthouden van de maximale uitlezing, verschil tussen temperatuur 1 en temperatuur 2 en temperatuuruitleiding in zowel °C als °F.

Daarnaast heeft de TMDT 1300 een analoge uitgang voor het doorgeven van meetgegevens of het gebruik in combinatie met een temperatuurrecorder.

Een flexibele rubberen huls beschermt de behuizing van de elektronica van de TMDT 1300. De TMDT 1300 is voorzien van een steun, waardoor de thermometer

“los” kan staan tijdens de meting.

De nieuwe TMDT 1300 wordt geleverd in een stevige draagkoffer compleet met een standaard oppervlaktesensor (TMDT2-30), een batterij en een gebruiksaanwijzing. Bovendien is de thermometer geschikt voor gebruik met alle K-type sensoren van SKF.