

Engineering White Paper

HOE Kiest U EEN KRACHTOPNEMER PENKO ENGINEERING B.V.



INLEIDING

Dit White Paper bespreekt de uitdagingen, opties en oplossingen voor de industrie wanneer voor het ontwerp van een weegstelsel een of meerdere krachtopnemer(s) of load cell(s) gekozen moet(en) worden. De definitie van wegen is: "het meten van massa met behulp van de zwaartekracht". Veel eindproducten zijn chemische of natuurkundige verbindingen, waarvan de formule gebaseerd is op de moleculaire massa, zodat de mengverhouding vast ligt in grammoleculen. Op gewicht mengsels samenstellen of het vullen van verpakkingen is dan ook chemisch juist, u telt als het ware moleculen. Krachtopnemers vormen een essentieel onderdeel van het weegstelsel, zij vertalen de belasting in een meetsignaal.

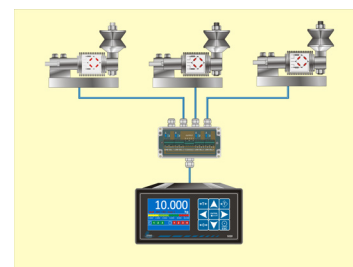
DOEL VAN DIT WHITE PAPER

...- is het uitleggen van het belang om de juiste sensor te kiezen. Het te kiezen type bepaalt namelijk de bouwwijze, de nauwkeurigheid van het weegstelsel en de geschiktheid voor de omgevingsomstandigheden.

ACHTERGROND VAN KRACHTOPNEMERS

De basis van een modern massa meetstelsel is het omzetten van een kracht, de last die op de sensor(en) rust, in een elektrische grootte, zie figuur 1. De industrie vereist een systeem dat nauwkeurig en tevens ongevoelig is voor vervuiling en vocht op het meetpunt, dus ligt het voor de hand er één te kiezen dat op het meetpunt volledig statisch en tevens robuust en klein is. Aan al deze eisen voldoet de rekstrookkrachtopnemer.

Wordt het betreffende weegstelsel voor handelsdoeleinden gebruikt, dan moet het geheel toegelaten zijn conform de richtlijn voor niet-automatische weegwerktuigen 2014/31/EU, respectievelijk, wanneer het een automatisch werkend systeem is, die voor meetinstrumenten 2014/32/EU. Voor deze toepassingen beschikken veel krachtopnemers over een evaluatie certificaat. Als normatief document voor deze certificaten geldt OIML (Internationale Organisatie voor Wettelijke Metrologie) aanbeveling R60 van 2017. De indeling in nauwkeurigheidsklassen met het bijbehorende aantal afleeseenheden d ligt vast in tabel 1 van de aanbeveling:



Figuur 1. Een basis weegstelsel

HOE KIEST U EEN KRACHTOPNEMER PENKO ENGINEERING B.V.



	Klasse A	Klasse B	Klasse C	Klasse D
Ondergrens	50 000	5 000	500	100
Bovengrens	onbegrensd	100 000	10 000	1 000

Voor gewone weging, onder andere voor industriële toepassingen en handelsdoeleinden, is klasse C bestemd. De vereiste nauwkeurigheid vermeldt tabel 4 van de aanbeveling:

MPE (+/-)	Klasse A	Belasting Klasse B	m Klasse C	Klasse D
PLC x 0,5 v	$0 \leq m \leq 50\,000\ v$	$0 \leq m \leq 5\,000\ v$	$0 \leq m \leq 500\ v$	$0 \leq m \leq 50\ v$
PLC x 1 v	$50\,000\ v < m \leq 200\,000\ v$	$5\,000\ v < m \leq 20\,000\ v$	$500\ v < m \leq 2\,000\ v$	$50\ v < m \leq 200\ v$
PLC x 1,5 v	$200\,000\ v < m$	$20\,000\ v < m \leq 100\,000\ v$	$2\,000\ v < m \leq 10\,000\ v$	$200\ v < m \leq 1\,000\ v$

Hierin is:

MPE = maximaal toegestane fout

v = verificatie schaaldeel interval; de kleinste toegestane afleeseenheid

PLC = toerekeningsfactor, voor krachtopnemers is deze 0,7 x de toegestane fout van het weegstelsel

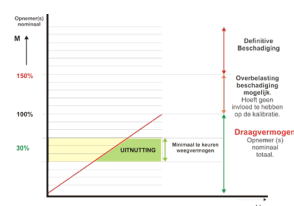
m = de aanwezige belasting

Belangrijke factoren, die vastliggen in het evaluatie-certificaat, zijn verder de uitnutting, het maximale aantal afleeseenheden (d) en de minimale verificatie-eenheid (V_{min}), zie figuur 2.

Het verband hiertussen is het volgende. Een weegstelsel heeft een draagvermogen, het product van de vermenigvuldiging van het aantal krachtopnemers met de capaciteit hiervan. Een percentage van dit product, vastliggend in de uitnutting, vormt het kleinste toegestane effectieve weegbereik. Het minst uit te nutten deel van het draagvermogen, gedeeld door het maximale aantal afleeseenheden (d), levert als resultaat de minimale verificatie-eenheid (V_{min}).

De "industriële standaard" voor krachtopnemers bestaat uit een aantal van 3 000 afleeseenheden (d), een uitnutting van 30 % en een minimale verificatie-eenheid (V_{min}) van 1/10 000.

Als rekenvoorbeeld nemen wij een éénpunts opnemer (centre cell) van 100 kg met de genoemde eigenschappen. Met deze opnemer kan dus een weegbereik van 30 kg (30% van 100 kg) gerealiseerd worden met de nauwkeurigheid respectievelijk afleeseenheid d van 0,01 kg (30 kg : 3 000 d). De genoemde 0,01 kg is tevens de minimale verificatie-eenheid (V_{min}). Bij gebruik van meerdere krachtopnemers mag de V_{min} van het totaal gedeeld worden door \sqrt{n} , waarin n het aantal krachtopnemers is.



Figuur 2. Het verband tussen draagvermogen, weegvermogen en uitnutting.

HOE KIEST U EEN KRACHTOPNEMER PENKO ENGINEERING B.V.



DE SELECTIE CRITERIA

De selectie criteria zijn achtereenvolgens de bouwwijze, het gewenste weegvermogen, de vereiste nauwkeurigheid, het materiaal en de bestendigheid tegen omgevingsinvloeden zoals vocht en chemicaliën.

Voor de bouwwijze kan gekozen worden uit:

- *een eenpunts of meerpuntsoplegging.
- *hangende of staande constructies.

Waar de voorkeur naar uit gaat, hangt af van de constructieve mogelijkheden.

Voor iedere keuze is een ruime sortering beschikbaar.

Het weegvermogen wordt bepaald door hetgeen u wilt wegen, eventueel inclusief de bijbehorende verpakking.

Voor industrieel gebruik is zoals gezegd 3 000 d (0,03 %) min of meer standaard. Diverse types zijn ook beschikbaar met de nauwkeurigheden van 1 000 d (0,1 %) tot en met 6 000 d (0,017 %). Voor de goede orde, deze nauwkeurigheden gelden voor het gehele weegsysteem. Dit houdt verband met de, in het vorige hoofdstuk genoemde, toerekeningsfactor.

Afhankelijk van de omgeving kan uit de volgende materialen gekozen worden:

1. Aluminium, veelal geëloxeerd.

Voordelen: minder sterk, dus geschikt voor lage draagvermogens.
goede fysische eigenschappen, zoals lineariteit en kruip.
voordelig.

Nadelen: minder sterk, dus niet geschikt voor hoge draagvermogens.
trillingsgevoelig.
gevoelig voor chemische verontreiniging en corrosie.
gevoelig voor metaalmoeheid.

2. Staal, veelal vernikkeld

Voordelen: sterk, dus geschikt voor grote draagvermogens.
goede fysische eigenschappen, zoals lineariteit en kruip.
minder gevoelig voor metaalmoeheid.
voordelig.

Nadelen: sterk, dus niet geschikt voor lage draagvermogens.
gevoelig voor chemische verontreiniging en corrosie.

3. Roestvrij staal, veelal type 17-4 PH, AISI630 respectievelijk (1.4548).

Voordelen: sterk, dus geschikt voor grote draagvermogens.
goede fysische eigenschappen, zoals lineariteit en kruip.
nauwelijks gevoelig voor chemische verontreiniging en corrosie.
minder gevoelig voor metaalmoeheid.

HOE KIEST U EEN KRACHTOPNEMER PENKO ENGINEERING B.V.



- Nadelen: sterk, dus niet geschikt voor lage draagvermogens.
minder voordelig.

De geschiktheid voor omgevingsinvloeden ligt vast in de beschermingsklasse, conform de norm IEC 60 529, hoofdstuk 3. Kijkt u dus wat de omstandigheden zijn in uw productieproces en kiest de daarbij behorende beschermingsklasse.

Voorbeeld van de weergave van een beschermingsklasse, bijvoorbeeld IP43

Kenletters

IP

Eerste kencijfer

4

Beschermingsniveau voor bescherming tegen aanraking en vreemde deeltjes, eerste kencijfer

X Niet vereist

0 Geen bescherming

- 1 Beschermd tegen vaste voorwerpen > 50 mm
- 2 Beschermd tegen vaste voorwerpen > 12 mm
- 3 Beschermd tegen vaste voorwerpen > 2,5 mm
- 4 Beschermd tegen vaste voorwerpen > 1 mm
- 5 Beschermd tegen stof
- 6 Stofdicht

Tweede kencijfer

3

Beschermingsniveau voor bescherming tegen water, tweede kencijfer

X Niet vereist

0 Geen bescherming

- 1 Beschermd tegen waterdruppels
- 2 Beschermd tegen waterdruppels tot 15°
- 3 Beschermd tegen sproeiwater
- 4 Beschermd tegen opspattend water
- 5 Beschermd tegen waterstralen
- 6 Beschermd tegen krachtige waterstralen
- 7 Beschermd tegen onderdompeling
- 8 Beschermd tegen verblijf onder water
- 9K Beschermd tegen water bij hoge druk/ stoomstraalreiniging

Voor krachtopnemers gebruikelijke beschermingsklassen zijn:

beschermd met een coating: IP65 en IP66

hermetisch gesloten: IP68 en IP69K

BEREKENEN VAN HET DRAAGVERMOGEN

U gaat uit van wat u moet wegen en de minimaal door u vereiste nauwkeurigheid. Het gewicht deelt u door de genoemde systeemnauwkeurigheid, in een metrische gewichtseenheid, 1.10^x , 2.10^x of 5.10^x . Hierbij kan x zowel een positief als een negatief getal zijn. Voorbeelden zijn 0,1, 0,2 of 0,5 kg, 10, 20 of 50 kg dan wel 1, 2 of 5 t. De gevonden waarde, het minimaal gewenste aantal afleeseenheden/delen, rondt u naar boven af naar een gangbaar aantal, bijvoorbeeld 2 000 of 4 000 d. Het afgeronde getal vermenigvuldigt u met de gewenste nauwkeurigheid/afleeseenheid. Het resultaat vormt het gewenste weegvermogen. Dat getal deelt u door de uitnutting. Zo vindt u het maximale, bij dit gewicht en nauwkeurigheid behorende, draagvermogen. Dit maximale draagvermogen deelt u door het aantal benodigde krachtopnemers/oplegpunten. Het maximale draagvermogen per opnemer rondt u naar beneden af naar een courante waarde. Bij gebruik van meerdere krachtopnemers mag de V_{min} van het totaal gedeeld worden door V_n , waarin n het aantal krachtopnemers is.

All rights reserved © 2015 ETC – No part of this document may be reproduced of any kind without explicit approval of PENKO Engineering B.V.

HOE KIEST U EEN KRACHTOPNEMER PENKO ENGINEERING B.V.



▶ Voorbeeld 1, gegevens:

- Wegende rollenbaan
- Te controleren: ≤ 48 kg.
- Gewenste nauwkeurigheid: 20 g.
- Maten: 450 x 600 mm.
- Dood gewicht: ≤ 12 kg.

Te berekenen met

- Geschikt voor een éénpunts krachtopnemer (CentreCell)
- $48 : 0,02 = 2\ 400$ d (afgerond \uparrow naar 3 000 d)
- $0,02 \times 3\ 000 = 60$ kg (weegvermogen)
- $60 : 0,3 = 200$ kg (een standaard draagvermogen)
- $200 - 60 = 140$ kg, voldoende reserve voor het dode gewicht.

Voorbeeld 2, gegevens:

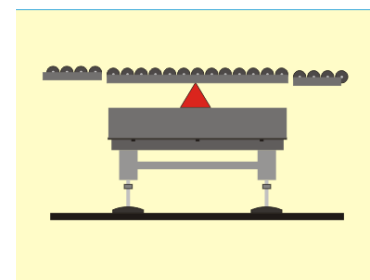
- Rijdende verladingsbunker.
- Te verladen: $\leq 1\ 100$ kg per (deel)verlading.
- Gewenste nauwkeurigheid: $\leq 0,5$ kg.
- Maten: 2 000 x 2 000 x 1 600 mm (l x b x h).
- Dood gewicht: ≤ 250 kg.

Te berekenen met:

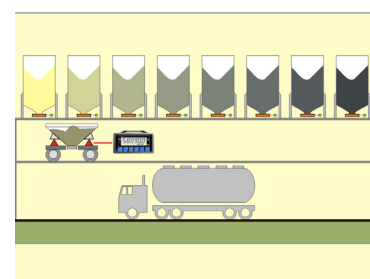
- De constructie leent zich voor een vierpunts oplegging
- $1\ 100 : 0,5 = 2\ 200$ d (afgerond \uparrow naar 3 000 d)
- $0,5 \times 3\ 000 = 1\ 500$ kg (weegvermogen)
- $1\ 500 : 0,3 = 5\ 000$ kg (maximaal draagvermogen)
- $5\ 000 : 4 = 1\ 250$ kg, afgerond \downarrow naar 1 000 kg per opnemer
- $(4 \times 1\ 000) - 1\ 500 = 2\ 500$ kg, voldoende reserve voor het dode gewicht.

Berekening met hogere nauwkeurigheid:

- $1\ 100 : 0,2 = 5\ 500$ d (afgerond \uparrow naar 6 000 d)
- $0,2 \times 6\ 000 = 1\ 200$ kg (weegvermogen)
- $1\ 200 : 0,3 = 4\ 000$ kg (max. draagvermogen)
- $4\ 000 : 4 = 1\ 000$ kg, een standaard opnemer capaciteit
- $(4 \times 1\ 000) - 1\ 200 = 2\ 800$ kg, voldoende reserve voor het dode gewicht



Figuur 3. Een wegende rollenbaan.



Figuur 4. Een verladingsstelsel voor bulkmateriaal

HOE KIEST U EEN KRACHTOPNEMER PENKO ENGINEERING B.V.

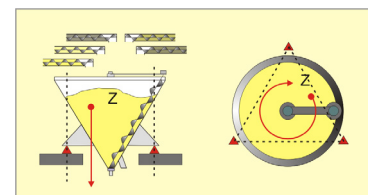


▶ Voorbeeld 3, gegevens:

- Conische menger
- Te controleren: ≤ 900 kg.
- Gewenste nauwkeurigheid: 0,5 kg.
- Maten: 1 500 x 1300 mm (\varnothing x h).
- Dood gewicht: $\leq 3\ 200$ kg.

Te berekenen met:

- De constructie leent zich voor een drie of vierpunts oplegging, bij voorkeur 3
- $900 : 0,5 = 1\ 800$ d (afgerond \uparrow naar 2 000 d)
- $0,5 \times 2\ 000 = 1\ 000$ kg (weegvermogen)
- $1\ 000 : 0,3 = 3\ 333$ kg (draagvermogen)
- $3\ 333 < (900 + 3\ 200)$ kg, moet met reserve (10%) zijn 4 500 kg
- $4\ 500 : 3 = 1\ 500$ kg, afgerond \uparrow naar 2 000 kg per opnemer
- met drie opnemers is de nauwkeurigheid $(3 \times 2\ 000 \times 0,3) : \sqrt{3} = 0,35$ kg, afgerond \uparrow 0,5 kg.



Figuur 5. Een conische menger

OPVALLENDE VOORDELEN

Het ontbreken van bewegende delen vrijwaart voor slijtage en dus veroudering. De compacte bouwwijze in combinatie met uitnuttingen tot 20 % maakt het mogelijk de sensor in vrijwel iedere constructie te integreren; ondanks hoge dode gewichten blijft een nauwkeurige meting mogelijk. Zo vormt de rekstrookkrachtopnemer de ideale schakel tussen het werktuigbouwkundige deel en het besturingssysteem. Dankzij de beschermingsklassen tot en met IP69K en de uitvoering in roestvrij staal is gebruik in vrijwel alle industriële omgevingen mogelijk. Ook ruimtes met beperkt explosiegevaar vormen geen belemmering, certificeringen zoals Ex II I GD Ex ia, EX II 3G Ex nA en Ex II 3 D Ex tc bieden volop mogelijkheden.

HOE KIEST U EEN KRACHTOPNEMER PENKO ENGINEERING B.V.



PRODUCT OPLOSSINGEN

Eenpunts krachtopnemers (single points of centrecells) uit aluminium, staal en roestvrij staal.

Deze opnemers zijn speciaal ontworpen voor inbouw in kleine weegplateaus, zie figuur 6. Door de bouwwijze zijn de opnemers ongevoelig voor torsie waardoor een opnemer, in het midden van het plateau gemonteerd, voldoende is. Dwarskrachten verstoren de meting.

Specificaties zijn:

beschermingsklassen:	IP65 tot en met IP69K.
draagvermogens:	0,3 tot en met 5 000 kg.
nauwkeurigheidsklassen:	tot en met 6 000 d.
plateaumaten:	tot en met 1 400 x 1 400 mm.

Complete plateau's inclusief krachtopnemer zijn ook beschikbaar.

Gedempte eenpunts krachtopnemers (single points of centrecells) uit staal en roestvrij staal.

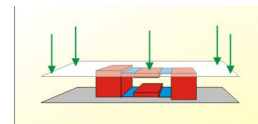
Ook deze opnemers zijn speciaal ontworpen voor inbouw in kleine weegopstellingen. Zij bestaan uit een eenpunts krachtopnemer, gemonteerd tussen koppelingsplaten in een, met dempingsvloeistof gevulde, behuizing. Aanvullend op de eenpunts-eigenschappen onderdrukt deze demping de dynamische effecten waardoor bijvoorbeeld bewegende objecten goed te controleren zijn.

Specificaties zijn:

beschermingsklassen:	IP65 tot en met IP68.
draagvermogens:	2 tot en met 200 kg.
nauwkeurigheidsklassen:	tot en met 3 000 d.
plateaumaten:	vanaf 150 x 150 tot en met 400 x 400 mm.



Foto 1. Éénpunts krachtopnemer type 1006.



Figuur 6. De belasting van een éénpunts krachtopnemer (centrecell).



Foto 2. Gedempte éénpunts krachtopnemer type 260.

HOE KIEST U EEN KRACHTOPNEMER PENKO ENGINEERING B.V.



► Buigstaafkrachtopnemers uit roestvrij staal.

Een universele krachtopnemer voor middelgrote industriële toepassingen, zie figuur 7, die de doorbuiging meet. De compacte bouwwijze maakt de montage eenvoudig. Dwarskrachten en torsie verstoren het meetresultaat.

Specificaties zijn:

beschermingsklassen:	IP68 en IP69K.
draagvermogens:	5 tot en met 1 500 kg.
nauwkeurigheidsklassen:	tot en met 6 000 d.

Complete plateau's inclusief deze krachtopnemers zijn beschikbaar.



Foto 3. Buigstaafkrachtopnemer type 300.

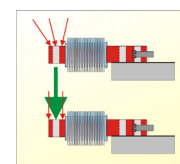


Fig. 7. Krachten op een buigstaaf

Shearbeam krachtopnemers uit staal en roestvrij staal.

Een universele krachtopnemer voor de grotere industriële toepassingen, zie de figuren 8 en 9. Te zien is dat hier niet de doorbuiging maar de afschuifkracht (shear) vrijwel in de neutrale lijn van de krachtopnemer gemeten wordt. Dit maakt deze opnemers redelijk ongevoelig voor dwarskrachten, torsie echter verstoort het meetresultaat. De compacte bouwwijze maakt de montage eenvoudig.

Specificaties zijn:

beschermingsklassen:	IP66 tot en met IP69K.
draagvermogens:	200 tot en met 45 360 kg.
nauwkeurigheidsklassen:	tot en met 6 000 d.

Complete plateau's inclusief deze krachtopnemers zijn ook beschikbaar.

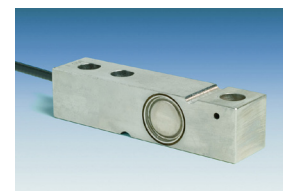
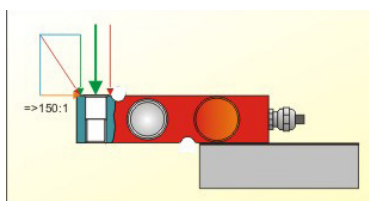
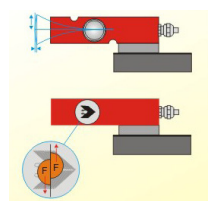


Foto 4. Shearbeam type 350



Figuur 8. De krachtleiding van een opnemer voor een shearbeam



Figuur 9. Het meten van de afschuifkracht

HOE KIEST U EEN KRACHTOPNEMER PENKO ENGINEERING B.V.



Trekrachtopnemers uit aluminium, staal en roestvrij staal.

Een universele krachtopnemer voor kleine en grote industriële toepassingen in hangende constructies, zie figuur 10. De basis vormt een meetelement waarmee de doorbuiging of de afschuifkracht (shear), afhankelijk van het type en draagvermogen, gemeten wordt. Om het meetelement bevindt zich een S-vormige lichaam met koppelpunten voor de ophanging. Daar vrijwel altijd gebruik wordt gemaakt van schakels of stangkoppen met kogelscharnieren zal de opnemer zich altijd richten naar de belasting en zijn dwarskrachten respectievelijk torsie uitgesloten. Bovendien wordt de montage zo eenvoudig.

Specificaties zijn:

beschermingsklassen:	IP66, IP67, IP68 en IP69K.
draagvermogens:	50 tot en met 25 000 kg.
nauwkeurigheidsklassen:	tot en met 3 000 d

Dubbelzijdige shearbeam krachtopnemers uit staal en roestvrij staal.

Een universele krachtopnemer voor de grote industriële toepassingen. Te zien is dat ook hier niet de doorbuiging maar de afschuifkracht (shear) op twee punten vrijwel in de neutrale lijn van de krachtopnemer gemeten wordt. Dit maakt deze opnemers redelijk ongevoelig voor dwarskrachten, torsie echter verstoort de meting. De compacte bouwwijze maakt de montage eenvoudig.

Specificaties zijn:

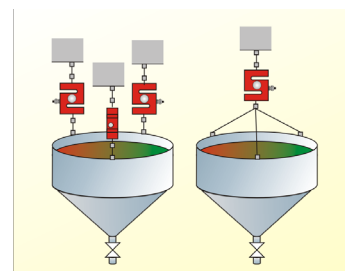
beschermingsklassen:	IP67 en IP68.
draagvermogens:	5 000 tot en met 200 000 kg.
nauwkeurigheidsklassen:	tot en met 3 000 d.

Torsieringkrachtopnemers uit roestvrij staal.

Een universele krachtopnemer voor de grote industriële toepassingen. Te zien is dat de inverting een binnenring laat kantelen waardoor de halfronde rekstroken onderling tegengesteld vervormen. Hierdoor ontstaat een lage, vlakke krachtopnemer die redelijk ongevoelig is voor dwarskrachten en torsie. De compacte bouwwijze maakt de montage eenvoudig.

Specificaties zijn:

beschermingsklassen:	IP68.
draagvermogens:	500 tot en met 50 000 kg.
nauwkeurigheidsklassen:	tot en met 6 000 d.



Figuur 10. De krachtleiding van een buigstaafopnemer.



Foto 5. Trekrachtopnemer type 610



Foto 6. Dubbelzijdige shearbeam type 460



Foto 7. Torsieringkracht-opnemer type 220

HOE KIEST U EEN KRACHTOPNEMER PENKO ENGINEERING B.V.



▶ Kolomvormige krachtometers uit roestvrij staal.

Een universele krachtometer voor het zware werk. Te zien is dat de inverting van een staaf, het meetelement, wordt bepaald. Doordat het meetelement aan onder- en bovenzijde een sferisch uiteinde heeft, richt de opnemer zich. De radiussen van beide oplegvlakken zijn zodanig gekozen dat bij kanteling de last wordt opgetild. Door de combinatie van belasting en zwaartekracht blijft het geheel dus staan. De bijbehorende montagehulpstukken maken de montage eenvoudig.

Specificaties zijn:

beschermingsklassen:	IP68 en IP69K.
draagvermogens:	7 500 tot en met 600 000 kg.
nauwkeurigheidsklassen:	tot en met 4 000 d.



Foto 8. Kolomvormige krachtometer type RC3

CONCLUSIE

Mits goed gekozen en geïnstalleerd vormt de rekstrookkrachtometer een betrouwbare, nauwkeurige, basis voor ieder industrieel weegstelsel.

Het bepalen van het gewicht om daarmee processen te bewaken, te regelen dan wel de gang van zaken te registreren binnen strikte nauwkeurigheidseisen blijft een uitdaging voor de procesindustrie en zal van fabrikant tot fabrikant verschillen. Er moet niet alleen aandacht worden besteed aan het risico van het over of onder vullen, bereiden van foutieve mengsels of te hoge dan wel te lage materiaalstromen, maar elk product - met name natuurlijke - heeft zijn eigen, het regelproces beïnvloedende, massadichtheid en volume.

Voor het kiezen van de ideale sensor per soort industriële toepassing, product of bedrijf, is er geen "one-size-fits-all" -oplossing. Technici bij PENKO werken de beste en effectiefste manier voor het verwezenlijken hiervan voor u uit.

Andere White Papers behandelen de montage van krachtometers, niet-automatische weegsystemen, controleweegsystemen, afvulsystemen, continue totalisering met transportbanden, continu totaliseren op basis van gewichtsvermindering (LIW), discontinu totaliseren met weeghoppers, gewichtssorteersystemen en het besturen van mengselbereiding op gewicht.

Voor informatie: www.penko.com