

# MJERNA I REGULACIJSKA TEHNIKA

Uređuje: Nenad Bolf



N. Bolf\*

Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije  
Sveučilišta u Zagrebu  
Zavod za mjerenja i automatsko vođenje procesa  
Savska cesta 16/5a, 10 000 Zagreb

## Karakteristike i specifikacije mjernih osjetila i pretvornika

Kvaliteta mjernih uređaja često se izražava samo putem točnosti. Iako odabir odgovarajućih karakteristika mjernog pretvornika izgleda jednostavno, to u praksi nije tako. Odabir prikladnog mjernog instrumenta zahtijeva razumijevanje svih čimbenika koji pridonose mjernoj nesigurnosti. Zauzvrat dobivamo razumijevanje onoga što je navedeno u specifikacijama – ali i onoga što nije.

Mjerenje karakterizira mjerno područje i mjerni opseg, dinamika (brzina odziva), točnost, ponovljivost, preciznost i osjetljivost te stabilnost (tolerancija na starenje i nepovoljne radne uvjete). No, prije odabira potrebno je razmotriti niz pitanja:

- Koje je normalno radno područje mjerene varijable? Postoje li ekstremi?
- Kolika je točnost, preciznost i osjetljivost potrebna?
- Kakva je dinamika osjetila potrebna?
- Kolika je pouzdanost potrebna?
- Kolika je cijena mjernog pretvornika? Kolika je cijena ugradnje i održavanja?
- Postoje li posebni zahtjevi, npr. korozivne tekućine, eksplozivne tvari?
- Koja su ograničenja vezana uz dimenzije i oblik?
- Kako će se prenositi signal u sustavu?

S tom listom izbor osjetila postaje složen i zbog toga je nužno konzultirati stručnjake i proizvođače, knjige i priručnike te mrežne stranice posvećene mjerenju temperature, protoka, tlaka, koncentracije, pH, razine i drugih procesnih varijabli.

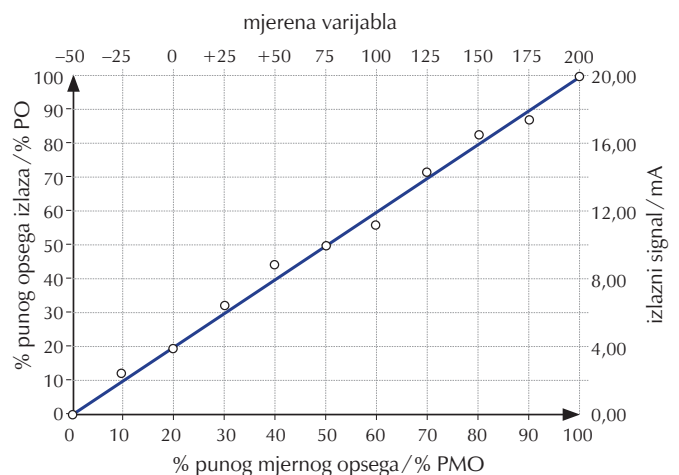
Značajke mjernih pretvornika možemo podijeliti na *ulazne*, *izlazne* i *prijenosne*. **Ulazne** su definirane veličinom koja se mjeri, mjernim područjem (engl. *range*) i mjernim rasponom (engl. *span*) koji predstavlja razliku između najveće i najmanje vrijednosti koja se mjeri. **Izlazne značajke** definirane su vrstom mjernog signala (tipično strujni, naponski, pneumatski, analogni/digitalni), područjem mjernog signala (npr. 4 – 20 mA, 1 – 5 V, 20 – 100 kPa) i još nekim karakteristikama bitnim za prijenos signala (kao što ulazni i izlazni otpor, mjerni šum, brzina uzorkovanja itd.). Najvažnije su **prijenosne značajke**. One karakteriziraju kvalitetu pretvorbe veličine koja se mjeri u mjerni signal. U njih spada statička karakteristika, osjetljivost, linearnost, histeriza, točnost i preciznost, ponovljivost i obnovljivost te klizanje karakteristike.

### Prijenosne značajke mjernih pretvornika

#### Statička karakteristika

Statička karakteristika (engl. *calibration curve*) ili *prijenosna funkcija* (engl. *transfer function*) mjernog pretvornika predstavlja za-

visnost mjernog signala (izlaz) o mjerenoj varijabli (ulaz). Ona se određuje postupkom umjeravanja (baždarenja, kalibriranja, engl. *calibration*), što znači eksperimentalnog određivanja stvarne statičke karakteristike mjernog pretvornika. Na slici 1 prikazan je primjer linearne statičke karakteristike mjernog pretvornika mjernog područja od –50 do 200 i mjernog signala od 0 do 20 mA.



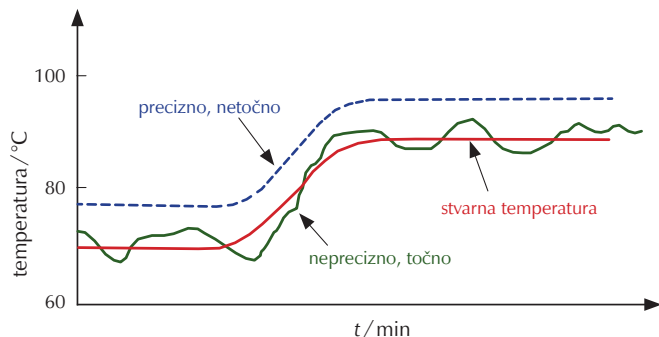
**Slika 1** – Statička karakteristika mjernog pretvornika. Na apscisi je skala u postotcima punog mjernog opsega (%PMO) ulaza, a na ordinati je skala u postotcima punog opsega izlaznog signala (% FS) (*full scale – % FS*). Točke predstavljaju izmjerene vrijednosti izlaznog signala ovisno o promjeni mjerene veličine tijekom postupka umjeravanja

#### Točnost, preciznost i ponovljivost

**Točnost** (engl. *accuracy*) se definira kao blizina mjerenja pravoj vrijednosti mjerene veličine. **Preciznost** (engl. *precision*) je mjera veličine slučajne pogreške (engl. *random error*). Pri svakom mjerenju, izvori slučajne pogreške dodavat će rezultatu svoju nepoznatu komponentu.

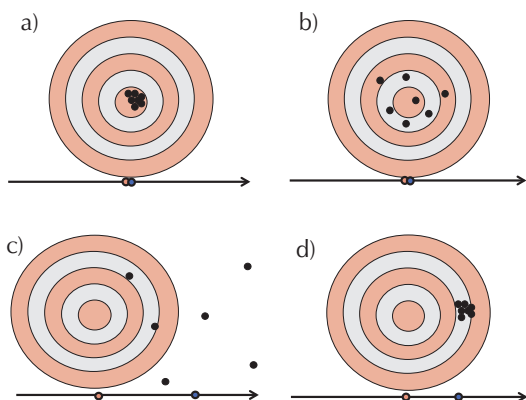
Uobičajeniji pojam povezan s preciznošću je **ponovljivost** (engl. *repeatability*). Za vođenje procesa, preciznost i ponovljivost važnije su od točnosti. Drugim riječima, često je važnije izmjeriti veličinu precizno nego s velikom apsolutnom točnošću (slika 2). Ipak, kad se provode mjerenja kvalitete i svojstva proizvoda ili poluproizvoda, kao i pri mjerenjima koje se primjenjuju u prijenos i prodaju energenata i drugih tvari bitno je ostvariti točno i sljedivo mjerenje o čemu sve već pisali u ovoj rubrici.

\* Prof. dr. sc. Nenad Bolf  
e-pošta: [bolf@fkit.hr](mailto:bolf@fkit.hr)



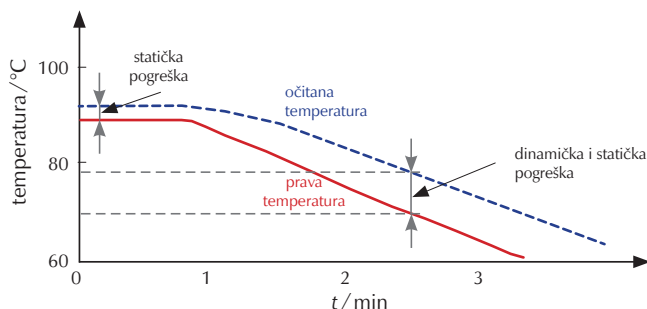
Slika 2 – Točnost i preciznost na primjeru mjerenja temperature

Obično se razlika između preciznosti i točnosti na zoran način ilustrira grafički prikazivanjem rezultata gađanja u metu:



Slika 3 – a) Velika točnost i preciznost, b) mala preciznost i prihvatljiva točnost, c) mala preciznost i točnost, d) velika preciznost, mala točnost

Praktičari razlikuju dvije vrste točnosti: *statičku točnost* (engl. *static, steady-state accuracy*) i *dinamičku točnost* (engl. *dynamic accuracy*). Statička točnost blizina je primicanja stvarnoj vrijednosti kad je stvarna vrijednost konstantna. Dinamička točnost je blizina primicanja kad se stvarna vrijednost mijenja. Ti pojmovi su pri mjerenju temperature ilustrirani na slici 4.

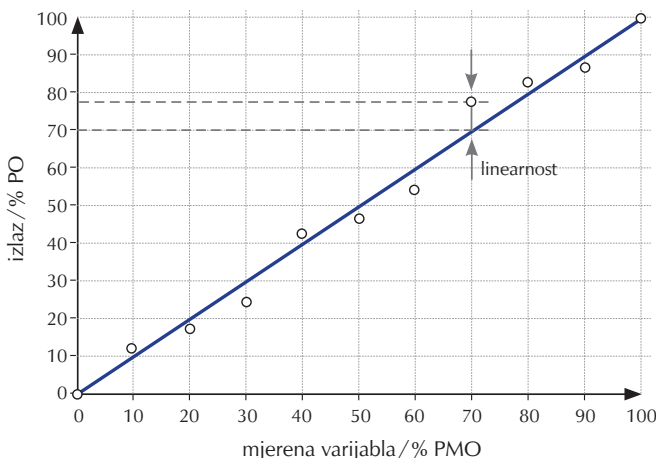


Slika 4 – Dinamička i statička pogreška

Dinamička točnost zavisi o prirodi dinamičke promjene nastale mjerenjem trenutačne vrijednosti mjerene veličine. Utjecaj će imati i značajke samog mjernog sustava. Ispitivanje se obično izvodi *pravčastom pobudom* (engl. *ramp forcing*), poput one prikazane na slici 4. Iznos dinamičke točnosti dan je s *dinamičkom pogreškom* koja nastaje tijekom pravčaste pobude.

### Linearnost

U idealnom je slučaju statička karakteristika savršeno linearna na čitavom mjerenom području, ali u praksi se javljaju odstupanja. Linearnost (engl. *linearity*) je maksimalno uočeno odstupanje pojedinih mjerenja od pravca koji predstavlja statičku karakteristiku mjernog pretvornika. Određuje se tijekom umjeravanja mjernog pretvornika. Obično se izražava u postotcima puno opsega (PO) (engl. *full scale – %FS*).



Slika 5 – Određivanje linearnosti iz statičke karakteristike mjernog pretvornika

### Osjetljivost

*Osjetljivost* (engl. *sensitivity*) mjerila definirana je kao omjer promjene izlaznog signala ( $y$ ) i promjene mjerene veličine ( $u$ ) koja predstavlja ulaz u mjerni pretvornik. Mjerna jedinica osjetljivosti definirana je jedinicama izlaznog signala podijeljenim s jedinicama ulaznog signala. Što je veća promjena izlaznog signala na istu promjenu ulazne veličine, veća je osjetljivost mjernog pretvornika. Osjetljivost je definirana pri ustaljenom (stacionarnom) stanju.

$$S = \frac{dy}{du}$$

Za pretvornike s linearnom zavisnosti signal vrijedi:

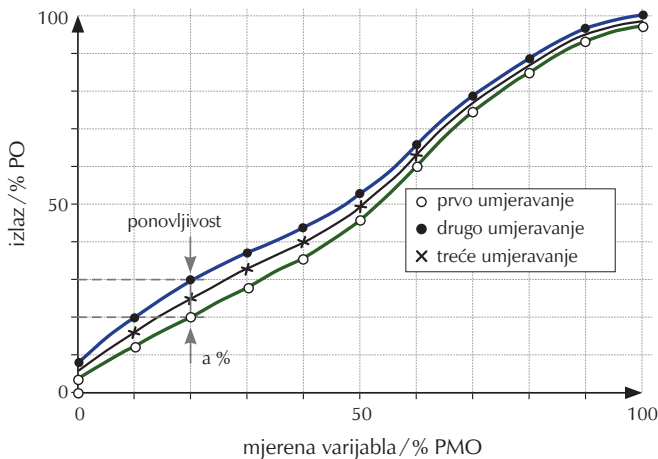
$$S = \frac{\Delta y}{\Delta u} = \text{konst.}$$

Postoji i druga vrsta osjetljivosti koja je vrlo važna kod mjernih sustava definirana kao najmanja promjena mjerne varijable koja će uzrokovati mjerljivu promjenu izlaznog signala, a naziva se *prag osjećanja* (engl. *threshold*). U većini mjernih sustava, posebno onih koji imaju poluge, spojnice i mehaničke dijelove, pokretni dijelovi mogu se slijepiti (engl. *stiction – “static friction”*) ili imati određeni prazan hod (engl. *free play, dead band*). Posljedica toga je da mala promjena ulaza ponekad ne može proizvesti uočljiv izlazni signal.

### Ponovljivost

*Ponovljivost* (engl. *repeatability*) je sposobnost pretvornika da ponovi izlaz kad se ista mjerna vrijednost mjeri veći broj puta uzastopno, pod istim uvjetima okoline i istim uređajem. Prema *Guidelines for Evaluating and Expressing the Uncertainty of NIST Measurement Results*, uvjeti za ponovljivost su: isti mjerni postupak, isti motritelj, isti mjerni instrument pod istim uvjetima, ista lokacija i ponavljanje u kratkom razdoblju. Izražava se kao

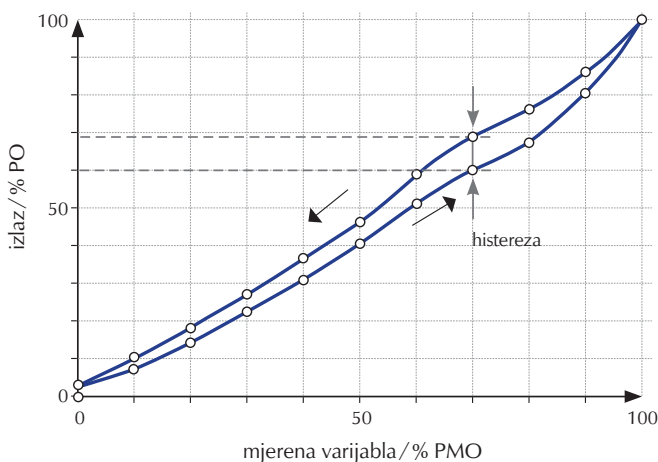
maksimalna uočena razlika u postotcima punog opsega signala (% PO, engl. *full scale* – % FS) ili postotku mjernog opsega (razlike između maksimalne i minimalne vrijednosti).



Slika 6 – Ponovljivost pri provedbi više umjeravanja

### Histereza

Ime dolazi od riječi *ὑστέρησις* (starogrčki "zaostajanje", "nedostatak"). Oko 1890. James A. Ewing skovao je taj izraz za opis vladanja magnetskih materijala. Radi se o razlici u vrijednostima izlazne veličine za istu vrijednost mjerene varijable kad se mjerena varijabla mijenja tako da najprije raste, a zatim se smanjuje. Izražava se najvećom ustanovljenom razlikom vrijednosti izlazne veličine ili u postotcima punog opsega (npr.  $\pm 0,5$  % PO – % FS). Uzroke te pojave nalazimo u mrtvom pojasu, elastičnim deformacijama, utjecaju trenja, feromagnetskim pojavama (npr. u navojima el. žica), vezanje molekula senzora vlage na molekule vode i sl.

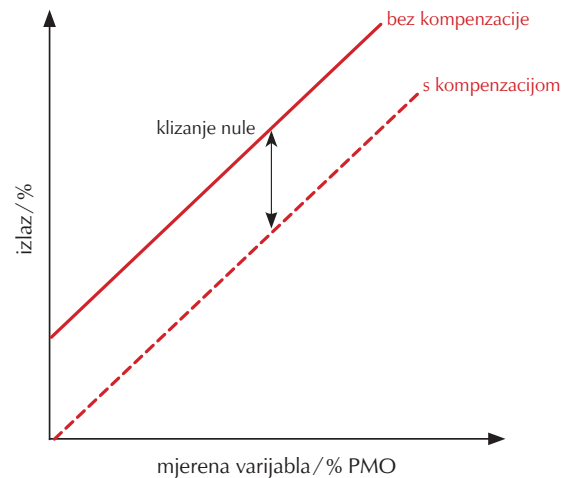


Slika 7 – Histereza pri umjeravanju kada mjerna varijabla najprije raste pa zatim pada

### Klizanje karakteristike pretvornika

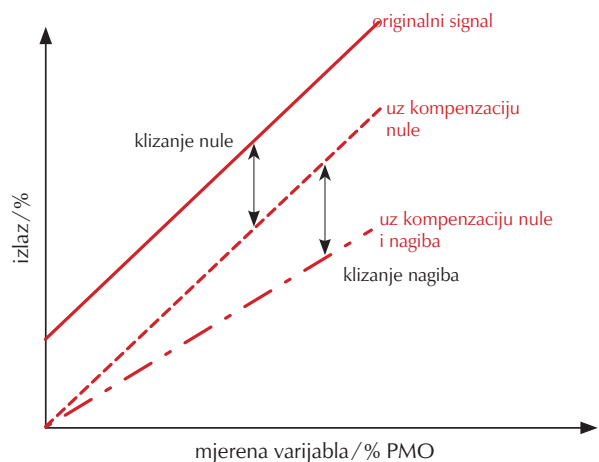
**Klizanje nule** (engl. *offset error*, *zero-scale error*) predstavlja odstupanje ili pomak mjerenja s obzirom na referentu (pravu) vrijednost. Klizanje nule može znatno utjecati na ukupnu točnost. Velik broj uređaja ima ugrađenu "autozero" funkciju koja interno

kontinuirano mjeri odstupanje i kompenzira. Ako mjerna naprava nema tu funkciju, potrebno je redovito provoditi umjeravanja i dokumentirati kako pogreška klizanja utječe na ukupnu mjernu točnost.



Slika 8 – "Autozero" funkcija za kompenziranje klizanja nule

**Klizanje nagiba** ili pogreška pojačanja (engl. *gain error*) je razlika u nagibu stvarne karakteristike i prave (idealne) karakteristike mjernog pretvornika.



Slika 9 – Kompenziranje klizanja nule i nagiba

### Stabilnost

Okolni uvjeti kao što su temperatura i tlak također utječu na točnost mjerenja. Ako nije određena temperaturna ovisnost i značajno se mijenja radna temperatura, može se ugroziti ponovljivost. Specifikacija se može dati za cijelo radno područje temperature, ili za ograničeno ili "tipično" radno područje.

Osjetljivost mjernog uređaja može se promijeniti tijekom vremena zbog promjena svojstva materijala (starenje). U nekim se slučajevima taj učinak ubrzava utjecajem kemikalija ili drugih čimbenika okoline. Spora promjena osjetljivosti (*drift*) predstavlja problem, jer se teško prati i može uzrokovati latentne probleme u sustavu za vođenje.

PX236 SPECIFICATIONS AT 10.0 ± 0.01 Vdc EXCITATION, 25°C							UNITS
RANGES	5	15	30	60	100	150	PSI
MINIMUM FS OUTPUT	48	98	78	58	98	58	mV
TYPICAL FS OUTPUT	50	100	80	60	100	60	mV
MAXIMUM FS OUTPUT	52	102	82	62	102	62	mV
TYPICAL SENSITIVITY	10.0	6.67	3.33	1.00	1.00	0.40	mV/PSI
OVERPRESSURE	20	45	60	100	150	225	PSI
TYPICAL LINEARITY	1.5	1.0	.50	.50	.50	.50	%FS
MAX. LINEARITY	3.0	2.5	1.50	.50	.50	.50	%FS

**COMMON SPECIFICATIONS**

**EXCITATION:** 10 Vdc regulated, 16 Vdc max.

**HYSTERESIS & REPEATABILITY:** ± 0.25% FS

**NULL OFFSET:** ± 2 mV

**OPERATING TEMPERATURE:** -30° to 70°C (-22 to 158°F)

**STORAGE TEMPERATURE:** -40° to 105°C (-40 to 221°F)

**COMPENSATED TEMPERATURE:** 0° to 50°C (32° to 122°F)

**THERMAL EFFECTS:** ZERO ± 3 mV (0° to 25°C, 25° to 50°C)  
SPAN ± 1.5% FS (0° to 25°C, 25° to 50°C)

**INPUT RESISTANCE:** 6.8 kΩ

**OUTPUT RESISTANCE:** 4 kΩ

**RESPONSE TIME:** 1 mS

**WETTED PARTS:** 303 SS, Epoxy adhesive, silicon, borosilicate glass, silicon to glass bond

**PRESSURE CAVITY:** 0.055 in<sup>3</sup>

**STABILITY:** 0.5% FS per year

**SHOCK:** Qualification tested to 100 g, half sine, 11 msec

**VIBRATION:** Qualification tested at 20 g over 10 to 2000 Hz

**WEIGHT:** 56 grams (2 oz.)

**TERMINATION:** 18" long, 22 gage 4 conductor wire with tinned Atmospheric vent

Slika 10 – Primjer specifikacije mjernih pretvornika tlaka

Primjer specifikacije mjernog pretvornika dan je na slici 10.

Specifikacija se odnosi na šest piezoelektričnih mjernih pretvornika tlaka istog tipa, ali različiti mjernih područja. U specifikaciji možemo vidjeti tipične prijenosne karakteristike koje smo prethodno opisali, ali i neke informacije vezane uz napajanje pretvornika i električne značajke, dimenzije, materijal izrade i otpornost na vibracije.

### Literatura

- Seminar AVP-4 – Procesna mjerenja, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjstva i tehnologije, Laboratorij za automatiku i mjerenja, Zagreb, 2017.
- [www.omega.com](http://www.omega.com) (28. 7. 2018.)
- <https://emtoolbox.nist.gov/Publications/NISTTechnicalNote1297s.pdf> (28. 7. 2018.)

## ACHEMA 2018 u Frankfurtu

Na najvažnijem svjetskom sajmu za procesnu industriju, više od 3700 izlagača iz 55 zemalja predstavilo je najnoviju opremu te inovativne procese kemijske, farmaceutske i prehrambene industrije



“Izagači s kojima smo razgovarali, kao i mi sami, zadovoljni smo s ovogodišnjem zbivanjem”, izjavio je Jürgen Nowicki, predsjednik organizacijskog odbora Achema-e. “Povratne informacije od izlagača bile su vrlo pozitivne”, slaže dr. Thomas Scheuring, predsjednik Uprave DECHEMA Exhibitions. Vidljivi trend ove godine na mnogim štandovima bila je mogućnost za posjetitelje da pomoću posebnih naočala iskuse rad postrojenja i opreme u “proširenoj stvarnosti” ili čak testiraju svoje sposobnosti u potpuno virtualnom okruženju.

Tri fokalne teme bile se vrlo dobro prihvaćene. Pod motom **Fleksibilna proizvodnja** brojni izlagači pokazali su modularna rješenja i inteligentne komponente sutrašnjice. **Biotech for Chemistry** obuhvatio je razvoj procesa i opremu od laboratorija do fermentora koji integriraju biotehnoške metode u kemijsku industriju. **Kemijska i farmaceutska logistika** stavila je naglasak na naprednu integraciju lanca opskrbe i privukle nove sistemske partnere procesne industrije. U kongresnom dijelu programa mnogo pažnje privukle su teme vezane uz digitalizaciju, ali i prezentacije na temu energetike.



Treba reći da je uočen pad broja posjetitelja na oko 145 000 (2015. ih je bilo 166 000). Organizatori to djelomice objašnjavaju složenijim postupkom registracije zbog većih sigurnosnih zahtjeva, no treba napomenuti i da troškovi smještaja u Frankfurtu i neki popratni troškovi za vrijeme sajma u Frankfurtu rastu ponekad i višestruko.

Sljedeća stanica za procesnu industriju je *AchemAsia* koja se održava od 21. do 23. svibnja 2019. po prvi put u Šangaju. Međunarodni forum za inovacije za održivu kemijsku proizvodnju u Kini usmjeren je na trenutačne trendove procesne industrije u Kini i Aziji. Sljedeća Achema u Frankfurtu održat će se od 14. do 18. lipnja 2021.

Izvor: [www.achema.de](http://www.achema.de)