

# STOP EXTRA

PENTRONIC

Pentronic AB, 590 93 Gunnebo, telefon 0490-25 85 00, fax 0490-237 66, internet www.pentronic.se, e-post info@pentronic.se

UTGÅVA  
101

## Forskning på nanometernivå skapar nya sensorer och tåligare skyddsror



– Vårt arbete med sensorer har begränsats av kontakterna. Nya material skapar nya möjligheter, säger professor Anita Lloyd Spetz.

Ett forskningsprogram av betydelse för framtidens temperaturmätning har nyligen påbörjats vid Linköpings universitet.

Universitetet, Vinnova och flera företag satsar 200 miljoner kronor under tio år på att utveckla nya material, som kan användas både för temperatursensorer och i skyddsror.

Arbetet sker inom ramen för forskningscentret FunMat – functional nanoscale materials – där ett 40-tal forskare deltar. Dessutom medverkar ett antal företag som delfinansierar och partners.

– Målet är att skapa en världsledande forskningsmiljö kring ytbeläggning med s.k. MAX-material, berättar Lars Hultman, föreståndare och professor i tunnfilmfysik.

De nya materialen skräddarsys på nanometernivå för olika tillämpningar. Tekniken har många användningsområden. Ett av dem skulle kunna vara beläggning av skyddsror för temperaturmätning i aggressiva atmosfärer och vätskor.

– Vi siktar på att utveckla ett material som klarar en svetslåga utan att förändras, avslöjar Lars Hultman.

### Sensorer av kiselkarbid

I Linköping bedrivs sedan länge forskning i sensorteknik. Det mest kända resultatet är den s.k. elektroniska näsan, som idag används för t ex läcksökning och för kemisk

analys. Nu får sensorforskningen ett nytt avstamp genom FunMat.

– Vårt arbete har begränsats av tillgängliga kontaktmaterial, säger professor Anita Lloyd Spetz som leder sensorforskningen.

Bättre material för kontakter öppnar i sin tur möjligheter för en ny typ av temperatursensor av kiselkarbid; ett material som det forskats kring i många år med de forna öststaterna som pionjärer.

– Sensorer av kiselkarbid är kemiskt stabila, tål högre temperaturer och ger en signal med bättre upplösning, berättar professor Rositza Yakimova som flyttade från Bulgarien till Linköping för att komma vidare i sin forskning.

### Klarar högre temperaturer

Det är två problem som fram till nu hindrat en kommersialisering, förutom kontaktmaterial som tål höga temperaturer även tillgången på kiselkarbid av tillräckligt hög kvalitet. Kiselkarbid är ett av de hårdaste materialen efter diamant och används bl. a. som slipmedel. Det materialet är inte tillräckligt rent för tillverkning av sensorer som arbetar över 300 °C. I sammanhanget är det värt att påpeka att företaget Norstel nyligen invigde en waferfabrik för kiselkarbid i Norrköping.


Kiselkarbid av rätt kvalitet finns numera tillgänglig för kommersialisering och kontaktproblemen är genom FunMat på väg mot sin lösning. Resultatet kan bli en ersättare till da-

gens termistorer. De båda sensortyperna har samma karaktäristik, med den skillnaden att kiselkarbidsensorer klarar högre temperaturer och är tåligare.

– Det teoretiska mätområdet går från 0 till 1000 °C. Dagens kontaktmaterial sätter en gräns vid 300 °C, förklarar Rositza Yakimova.

### Forskar för industrin

I volymproduktion beräknas kostnaden för kiselkarbidsensorer ligga på samma nivå som dagens termistorer. Det öppnar möjligheter att mäta på ställen där det idag inte är ekonomiskt försvarbart. Ett annat potentiellt område är kontroll av kemiska processer med hjälp av temperaturmätning.

Pentronic kommer att följa forskningen inom FunMat. De resultat som forskarna eftersträvar är tillämpbara i den industriella verkligheten och kan göra det möjligt att mäta i miljöer och temperaturer som tidigare varit uteslutna av tekniska eller ekonomiska skäl. 



Det som professor Rositza Yakimova arbetar med inne i dragskåpet kan även leda till nya beläggningar för skyddsror för höga temperaturer och krävande miljöer.

## Paketlösning med handburna temperaturmätare

Bilagan presenterar fem paketlösningar för industri och livsmedelshandling. Paketet täcker mätningar för vätskor och luft samt insticks- och yttemperatur. Dessutom finns mätare som mäter både beröringsfritt med IR och med beröringsgivare.

# Kiselkarbid är mer än framtidens sensorer

På första sidan i detta nummer berättar vi om framtidens temperatursensorer av kiselkarbid. Materialet har liknande fördelar inom andra områden och material av hög kvalitet tillverkas sedan några månader i industriell skala.

– Vi startade produktionen i somras, berättar Asko Vehanen, vd för Norstel i Norrköping.

Fabriken är världens första i sitt slag och bygger på patenterad teknik utvecklad vid Linköpings universitet. I en process som kallas HTCVD odlas skivor av kiselkarbid i särskilda ugnar, som arbetar enligt en princip som går under namnet högttemperaturepitaxi. Jämfört med tidigare metoder blir resultatet större skivor, s.k. wafers, av högre kvalitet. Pentronic




En skiva kiselkarbid under tillväxt. Resultatet är underlag för framtidens elektronik och vackra smycken.

har för övrigt levererat pyrometrarna som mäter temperaturen i dessa ugnar.

Kiselkarbid används sedan många år för tillverkning av lysdioder och som smyckestenar. Med den nya tillverkningsmetoden blir kvaliteten så hög att nya möjligheter öppnar sig.

– Halvledare av kiselkarbid klarar högre spänningar och strömstyrkor, högre frekvenser och högre temperaturer, förklarar Asko Vehanen.

Det öppnar stora möjligheter inom flera områden. Exempel är miniaturiserade nät-aggregat. I framtiden behövs inte separata nätadapterar till bärbara datorer. Effektivare elektronik till hybridbilar och minskade förluster i elnätet är andra exempel.

Tekniken för framställning av kiselkarbid utvecklades till en början i forna Sovjetunionen. Tack vare mer än tio års forskning i Linköping, patenterade metoder och Norstels etablering är Sverige idag världsledande inom området. Fabriken i Norrköping invigdes i slutet av augusti och har ett 50-tal anställda. 

# Finlir håller Pentronic innanför väggarna

Pentronic fortsätter att växa, utan att bygga ut.

En av förklaringarna är Bernt Alfredsson. Sedan ett år ingår han i ett projekt för att fintrimma hela verksamheten.

– Det handlar kort och gott om lean production, säger Bernt som arbetat med produktionsförbättringar på toppnivå i nästan 30 år.

Han kommer från Electrolux fabrik i Västervik, som flyttade utomlands för ett par år sedan. Trots flytten var det en av landets effektivaste produktionsanläggningar, dit japaner och andra vallfärdade för att lära sig det som idag kallas lean och ständiga förbättringar.

– Det är omöjligt att överföra metoderna rakt av. Electrolux är en volymtillverkare

medan Pentronic ägnar sig åt kundorderstyrt hantverk, säger Bernt.

Det är inte bara hantverket som skiljer ut Pentronic. Här används metoder och maskiner som knappt finns någon annanstans, inom exempelvis svetsning, lödning och bearbetning.


Skillednaderna gör att leanprojektet får en delvis annan inriktning än vad som är brukligt. Här står leveransprecision och en hög och jämn kvalitet i centrum. Ett annat resultat är att produktionen ska kunna öka inom samma vägg.

– Lean bygger på att många små förbättringar tillsammans ger stora resultat. Det är en långsiktig process där alla medarbetare ska vara delaktiga, understryker Berndt.

En av åtgärderna har varit att låta hela personalen, även den administrativa, delta



Bernt Alfredsson har granskat Pentronics hela verksamhet i ett års tid som en del i arbetet med lean production, för att ytterligare förbättra kvalitet och leveranssäkerhet.

i ett leanspel. Det är något som vanligen är förbehållet ledningen, men i en hantverksmässig produktion gäller det att få med alla för att det ska fungera. 

# Logistikchefen blir aldrig nöjd

Pentronics nye logistikchef har som uppgift att arbeta mot sitt efternamn.

Han heter Nöjd, Jonas Nöjd.


– En logistikchef får aldrig bli nöjd, säger han.



Jonas är civilingenjör med inriktning på maskin- och industriell ekonomi. Han arbetade tidigare med reservdelslogistik inom

Jonas Nöjd, ny logistikchef hos Pentronic.

försvaret och distribution av Stockholms morgontidningar, en logistisk utmaning som går utanpå det mesta.

På Pentronic är hans ansvarsområden inköp, lager, administration och IT. Spridningen förklaras av att hans överordnade uppgift är att förbättra flödet genom företaget. Bland det första han fick göra på nya jobbet var att gå Pentronics kurs Spårbar Temperaturmätning. 

# En kund som kvalitetschef


30 års kvalitetsarbete på tre Electroluxföretag. Sådan är bakgrunden för Pentronics nya kvalitetschef Kristina Wiberg-Kindahl. Hon anställdes i slutet av förra året och har

tillfört viktigt kunnande och erfarenheter om kvalitetssäkring.

På Electrolux arbetade hon bland annat med kvalitetssäkring i outsourcingprojekt och acceptanstester av ny produktionsutrustning. I den rollen fick hon handfast syssla med temperaturmätning.

– Vi köpte termoelement och tjänster av Pentronic för att kontrollera utrustning för formsprutning och gjutning, berättar hon.



Som kvalitetschef vet hon hur viktigt det är att hennes forna kolleger kan lita på Pentronic. 

Pentronics kvalitetschef Kristina Wiberg-Kindahl.

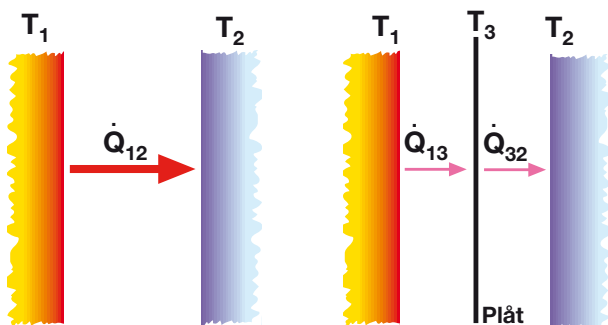
## Skärm bromsar strålvärme!

**FRÅGA:** Vi har en mätutrustning som befinner sig i närheten av en vägg, som under korta perioder kan bli mycket varm. Lönar det sig att montera ett strålningskydd mellan väggen och utrustningen för att minska värmeflödet?

Roland G

**SVAR:** Rent värmetekniskt lönar det sig alltid att montera ett strålningskydd (en plåt) för att reducera strålningsvärmeflödet mellan två ytor. Om det är möjligt, bör man dock först försöka att isolera den varma väggen, för att på så sätt sänka yttemperaturen och därmed värmeflödet från väggen. En annan möjlighet som man bör utnyttja är att ha blanka ytor på både väggen och mätutrustningen, eftersom låga emissionskoefficienter minskar strålningsvärmeflödet. I normalfallet bör man undvika att isolera mätutrustningen, på grund av att detta skulle kunna leda till att elektroniken blir varmare i stället för kallare. Vilken lösning som är ekonomiskt mest lönsam får man avgöra från fall till fall.

Om vi enbart betraktar strålningen mellan två stora parallella ytor med de konstanta



Utan strålningskydd är värmeflödet genom strålning  $\dot{Q}_{12}$  mellan ytorna 1 och 2. Med ett strålningskydd gäller för strålningen  $\dot{Q}_{13} = \dot{Q}_{32}$  som är mindre än  $\dot{Q}_{12}$ .

De frågor som vi tar upp här skall ha allmänt mättekniskt och/eller värmetekniskt intresse.

**FRÅGA?**  
**SVAR!**


temperaturerna  $T_1$  respektive  $T_2$  (i Kelvin) kan värmeflödet,  $\dot{Q}$ , beräknas ur sambandet

$$\dot{Q} = A \sigma (T_1^4 - T_2^4) / (1/\epsilon_1 + 1/\epsilon_2 - 1) \quad W$$

Där  $\epsilon_1$  och  $\epsilon_2$  är ytornas emissionskoefficienter och  $A$  ytornas area i  $m^2$ . Konstanten  $\sigma$  är Stefan-Boltzmanns konstant,  $5,67 \cdot 10^{-8} W/m^2 K^4$ .

Om vi sätter ett strålningskydd mellan ytorna kommer värmeflödet genom strålning att reduceras. Strålningskyddets emissionskoefficient förutsätts vara  $\epsilon_3$  på båda sidorna. Om  $\epsilon_1 = \epsilon_2 = \epsilon_3$  kommer värmeflödet mellan ytorna 1 och 2 att reduceras till hälften. Med två strålningskydd och samma förutsättningar som ovan reduceras värmeflödet genom strålning till 1/3 av det ursprungliga värmeflödet osv.

Diskussionen ovan avser endast strålningen och temperaturdifferensen tvärs strålningskyddet har försumrats. Om vi tar med konvektionen i diskussionen, kommer värmeflödet att påverkas, men huvudbudskapet är ändå detsamma: ett strålningskydd reducerar värmeflödet. Temperaturdifferensen

över strålningskyddet är med ytterst få undantag helt försumbar. 

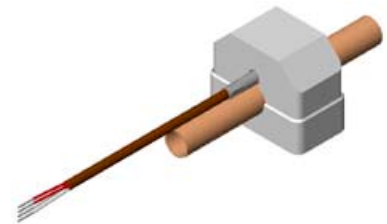
Har du synpunkter eller frågor kontakta professor Dan Loyd, LiTH, på E-post: [danlo@ikp.liu.se](mailto:danlo@ikp.liu.se)

## PRODUKT-NYTT

Årets produktnyheter är samlade på [www.pentronic.se](http://www.pentronic.se)

### Mät flödes-temperaturen utanpå röret

Pentronic har konstruerat en ny Pt 100-givare, modell 7908 för flexibel mätning på rörbundna vätskeflöden utan ingrepp. Konstruktionen är motiverad av läkemedels- och livsmedelsindustrins krav på få ingrepp i processernas rörsystem kombinerat med möjligheten att enkelt tillfoga eller flytta mätpunkter i ett sent skede utan att öppna eller bearbeta rören. Dessutom uppfyller givaren de renhetskrav som ofta gäller och kan användas för temperaturer till omkring 130 °C. Givaren är konstruerad för att mäta lika bra eller bättre än traditionella insticksgivare utan att extra isolering behöver monteras. För närvarande finns givaren anpassad till följande utvändiga rördiametrar: 12, 16, 24 och 38 mm.



Givarhuset består av två delar som man enkelt placerar på motstående sidor om röret och drar samman med två skruvar som är åtkomliga underifrån på bilden. Pt100-enheten är löstagbar för exempelvis kalibrering.

### Snabba kalibreringsugnar

ISOTECH introducerar Fast-Cal, en ny serie kalibreringsugnar. Vägledande vid konstruktionen har varit bl a robusthet, låg vikt, enkel användning vid processen samt kort tid till stabil temperatur. Tre arbetsområden finns: -35 till 140 °C, 30 till 350 °C och 35 till 650 °C.

Höljet är av rostfritt stål och omålat vilket lämpar sig för hygieniska tillämpningar.



Isotech Fast-Cal i rostfritt stål är lämpad för t ex livsmedels- och läkemedelsindustri.


## Allt mer beställs spårbart kalibrerat

Vi har tidigare berättat att uppdragen ökar för Pentronics ackrediterade laboratorium. En förklaring är att svensk industri går på högarvar, en annan att ökade kvalitetskrav leder till mer kalibrering av mätutrustning för styrning och kontroll.

– En tydlig trend är att Pentronics kunder allt oftare beställer spårbart kalibrerad utrustning, säger laboratoriets chef Lars Grönlund. Det är en väl genomtänkt åtgärd för alla som jagar mätosäkerhet. I förlängningen blir resultatet sänkta kostnader och ökad säkerhet i mätningarna. Som exempel innebär en samkalibrering av givare och instrument redan vid leverans att mätosäkerheten blir 5-10 gånger bättre.

Specifikationerna är en tolerans som tillverkaren garanterar att alla instrument och givare håller sig inom.

– Utan kalibrering är det specifikationerna som styr mätosäkerheten. Vid en kalibrering kartläggs varje enskild individs egenskaper, förklarar Lars.

Som exempel ger han ett instrument med en termoelementgivare av typ K som ska mäta vid 100 °C. En beräkning utifrån specifikationerna ger en mätosäkerhet på cirka  $\pm 2$  °C. Med kalibrering kan mätosäkerheten minskas till i storleksordningen  $\pm 0,2$  °C. Kalibreringen gör det enklare att byta givare i framtiden. Montera en ny kalibrerad givare och mata in korrekteringstermerna i styrsystemet. Allt fler upptäcker fördelarna med spårbar kalibrering och därför ökar uppdragen i laboratoriet. 

Rapport från labbet

SWEDAC  
AKKREDITERING  
0076  
ISO/IEC 17025

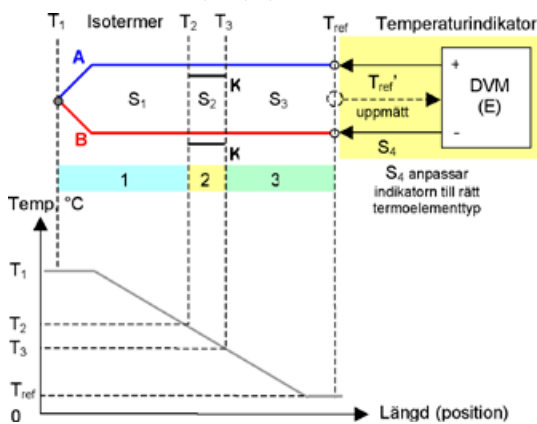
# Avvikande material skarvar mätfelet

**Varför är det så viktigt att termoelement skarvas med lika material från mätpunkt till instrumentanslutning? Hur kan temperaturskillnader på ett fåtal grader utefter en skarvad kabel ge mätfel som är av samma storlek? Frågorna är vanliga och här följer en analys med förklaringar.**

Pt100 resistanstermometrar, termistorer och många andra givartyper har en känslkropp vars resistans är ett mått på temperaturen i denna. Termoelementet däremot har den ovanliga egenskapen att signalen inte alstras i en mätpunkt. Istället är det hela längden mellan mätpunkt och referensstället som genererar signalen. Anledningen är att termoelement mäter temperaturskillnaden mellan dessa punkter. Jämför den engelska benämningen thermocouple som antyder två mätpunkter. Temperaturskillnaden (°C) multiplicerad med termoelementets känslighet ( $\mu V/^{\circ}C$ ) ger en spänning som utsignal ( $^{\circ}C \cdot \mu V/^{\circ}C = \mu V$ ).

Dessutom kan man dela upp termoelementet i ett antal delsträckor och summerna produkten av aktuell känslighet  $S_n$  och temperaturskillnad ( $T_n - T_{n+1}$ ) från alla delsträckor (n) till den totala utsignalen E från termoelementet. Se figur 1.

$$E = S_1(T_1 - T_2) + S_2(T_2 - T_3) + S_3(T_3 - T_4) + \dots \quad (1)$$



Figur 1. Mätrets med oskarvat termoelement AB från mätpunkt till indikator. Alternativt är här sträckan i position 2 bruten och skarvad med koppartrådar (K) vilket ger mätfel. Inverkan av koppar i sträckorna 1 och 3 framgår av texten.

För figur 1 gäller enligt uttrycket (1):

$$E = S_1(T_1 - T_2) + S_2(T_2 - T_3) + S_3(T_3 - T_{ref}) + S_4(T_{ref} - 0) \quad (2)$$

där  $S_3 T_{ref}$  och  $S_4 T_{ref}$  är referenstemperaturens spänning respektive motsvarande uppmätta temperaturspänning som vid termisk jämvikt ska balansera ut varandra. Det kallas också för kompensering för kalla lödställets temperatur. Vid korrekt inkoppling är vidare termoelementtrådarna tagna ur samma rulle varför  $S_1 = S_2 = S_3$  och ekvation (2) reduceras till

$$E = S_1 T_1 \quad (3)$$

där  $T_1 = E/S_1$  ger den önskade temperaturen vid mätpunkten.

Om vi nu relaterar känsligheten eller seebeckkoefficienten S till ingående trådar A och B i termoelementet kan vi använda beteckningen  $S_{AB} = S_A - S_B$  d v s skillnaden mellan trådarnas egna absoluta känsligheter.

## Kopparskarv ger fel

I nästa exempel skarvar vi det avbrutna termoelementet AB i position 2 med kopparledare (K). Insättning i ekvation (2) och byte av beteckningar  $S_1 = S_{AB}$  o s v ger:

$$E = S_{AB}(T_1 - T_2) + S_{KK}(T_2 - T_3) + S_{AB}(T_3 - T_{ref}) + S_{AB}(T_{ref} - 0) \quad (4)$$

I ekvation (4) ser vi att relativa känsligheten för kopparledningen  $S_{KK} = S_K - S_K = 0$  vilket ger uttrycket (5):

$$E = S_{AB}[T_1 - (T_2 - T_3)] \quad (5)$$

Här kan vi konstatera en avvikelse mot ekvation (3). Den önskade temperaturen  $T_1$  har i ekvation (5) reducerats med temperaturskillnaden ( $T_2 - T_3$ ) som är belägen just över kopparskarven. Skulle skillnaden vara 5 °C sjunker alltså mätvärdet också med 5 °C. Råkar  $T_2 = T_3$  försvinner feltermen.

Man kan roa sig med att byta ut delarna 1 och 3 i tur och ordning mot kopparledare. Det är bara att ersätta  $S_{AB}$  med  $S_{KK}$ , som är noll, och se vad som blir kvar av ekvation (4). Byte av del 1 innebär att mätpunkten flyttas till isoterm  $T_2$ . Byte av del 3 betyder att det

verkliga referensstället  $T_{ref}$  flyttas till isotermen  $T_3$  medan kompenseringen för referensstället  $T_{ref}$  ligger kvar i indikatorns terminal. Temperaturskillnaden går rakt in som mätfel.

I verkligheten har man sällan samma isotermer genom båda ledarnas skarvpunkter. De blandtermer som uppstår ändrar oftast felets storlek marginellt.

I praktiken kan dessa fall inträffa utan att man tänker på det. Skarvning kan ske med plintar, kontakter och krokodilklämmor i kopparmaterial eller genom signalomkopplare. Genomföringar till ugnar och liknande får absolut inte göras med lika material, koppar eller annat, i båda ledarna. I ugnsväggar är temperaturskillnaden oftast avsevärd och felet blir lika stort.

## Rekommendationer

Med utgångspunkt från ekvation (5) kan följande åtgärder rekommenderas i turordning:

1. Använd obrutet termoelement i samma material och helst från samma rulle hela vägen ut ur temperaturzonen. Betecknas t ex K eller KX. Beteckningar se StoPextra 1-97 på www.pentronic.se/stopextra.

2. Då skarvning trots allt måste ske använd termoelementmaterial K eller KX. Exempelvis kontakter kan även innehålla KC. Undvik att lämna glipor med annat material. Lägg omlott i plintar och skarvlistor eller bara från ena hållet.

3. Exempelvis signalomkopplare är sällan utförda i termoelementmaterial. Här måste man inrikta sig på lika temperatur i skarvområdet. Kapsla därför omkopplaren i metall-dosa eller liknande som jämnar ut temperaturen runt om.



Plintar monterade på DIN-skena i skåp utgör en typisk risk för mätfel när sådana med kopparledare används för att ansluta termoelementen. Skillnadstemperaturen över plinten tas inte upp av termoelementkretsen och blir till mätfel.

Synpunkter och frågor är välkomna till: hans.wenegard@pentronic.se

### Kursen Spårbar temperaturmätning 1

Kryssa i anmälan till önskad kurs.

- 15-16 nov 2006
- 14-15 mars 2007

### Kursen Spårbar temperaturmätning 2

- 21-23 nov 2006

### Jag vill ha mer information om:

- Utvändig givare för flödestemp.
- Snabb hygienisk kalibreringsugn
- Termoelementtråd och kontakter
- Kalibreringstjänster
- Temperaturmätning

### Jag vill ha:

- Gratis prenumeration av StoPextra
- Kontakta mig om företagsförlagd kurs
  - Halv- eller heldag teori
  - ST1 komplett, två dagar
  - Annan lösning



590 93 Gunnebo  
Fax. 0490-237 66, Tel. 0490-25 85 00  
E-mail: info@pentronic.se

www.pentronic.se/svar

StoPextra 5-2006

Namn .....

Företag .....

Adress .....

Postnr ..... Ort .....

Telefon ..... Fax .....

E-post .....