

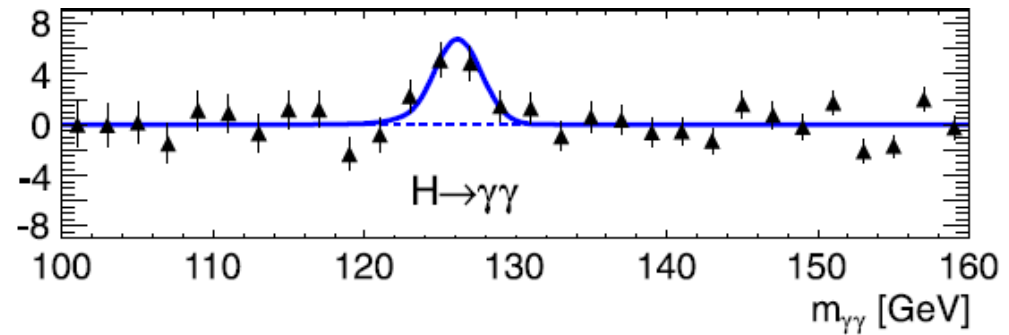


EP122

Measurement Techniques and Calibration

Topic 7

Calibration



<http://www.gantep.edu.tr/~bingul/ep122>

Department of
Engineering Physics
University of Gaziantep

Apr 2015

Calibration

Calibration is a comparison between measurements (best and unknown).

The device with the known or assigned correctness is called the *standard*.

The second device is the unit under test is called the *test instrument*.

Test Device



The Standard



Mass Calibration Instruments



Voltage Calibration

Very Sensitive Voltage generator is used.



Temperature Calibration



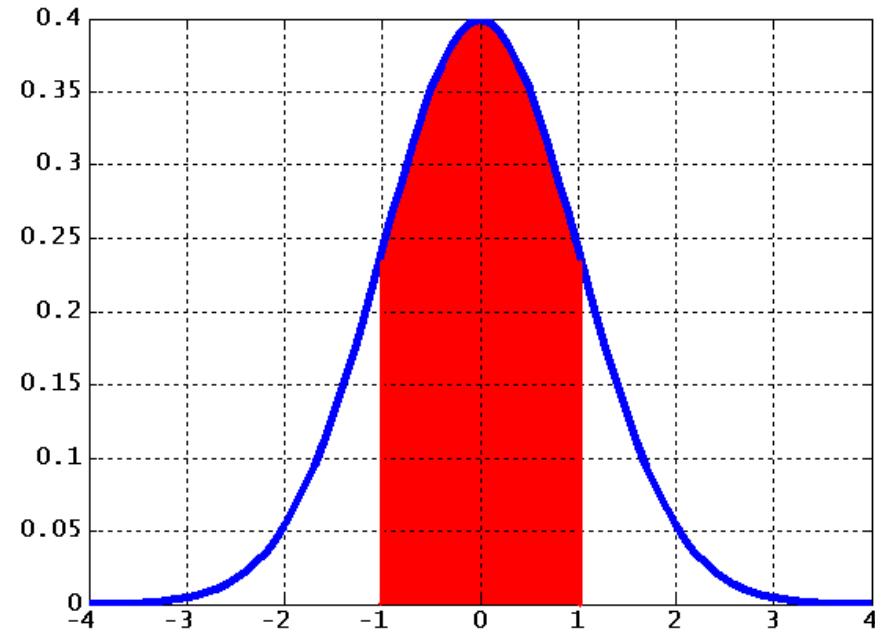
Important Functions used in Measurement & Calibration

1. Gaussian Function

$$p(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right]$$

Mean: μ

Std.Dev: σ

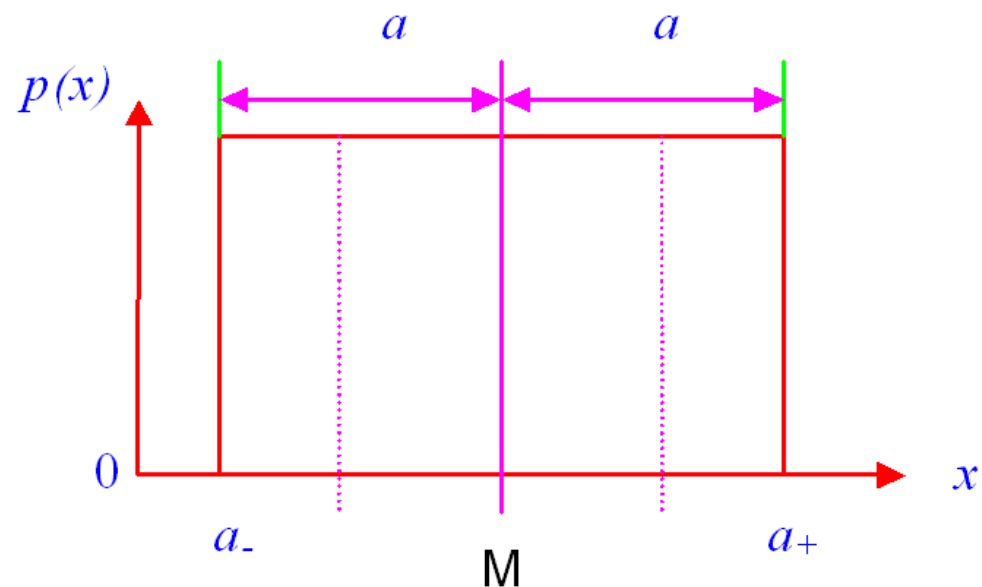


Important Functions for Measurement & Calibration

2. Rectangular Distribution

Mean: M

Std.Dev: $\sigma = \frac{a}{\sqrt{3}}$

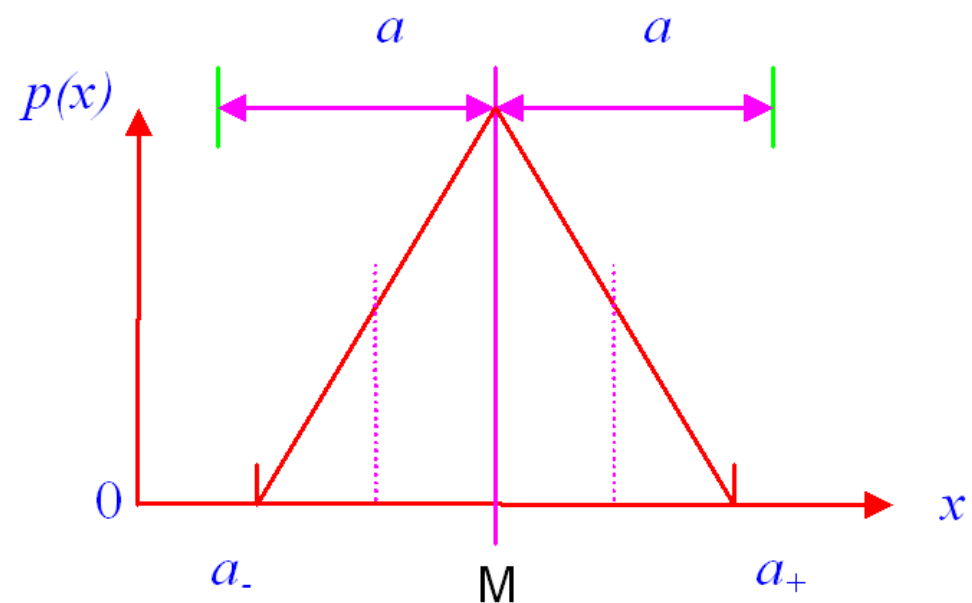


Important Functions for Measurement & Calibration

3. Triangular Distribution

Mean: M

Std.Dev: $\sigma = \frac{a}{\sqrt{6}}$

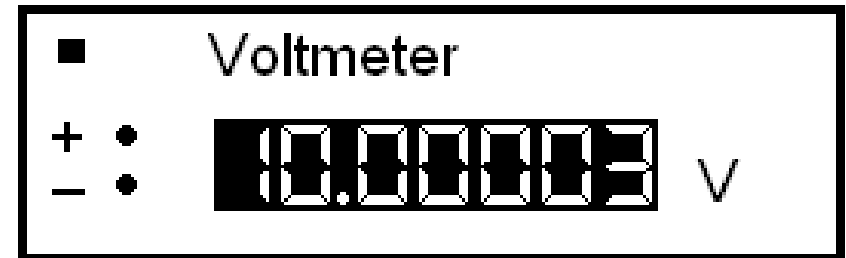


Example: Voltmeter Calibration

Consider a precise Voltage Generator outputs 10.0 V.
10 voltage readings have been observed via
5-digit Voltmeter as follows:

#	Measured value
1	10.00001
2	10.00003
3	10.00002
4	10.00001
5	10.00002
6	10.00003
7	10.00003
8	10.00002
9	10.00002
10	10.00001
Mean	10.00002

An example reading



Possible uncertainties:

- Calibrator uncertainty (Kalibratörün belirsizliği)
- Shift in calibrator value (Kalibratör değerinin kayması)
- Resolution of voltmeter (Voltmeter çözünürlüğü)
- Repeatability (Tekrarlanabilirlik)
- Uncertainty due to cables (Kablodan kaynaklı belirsizlik)

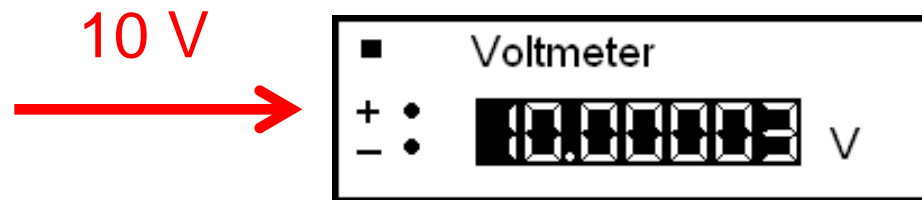
Calibrator

A precise Voltage Generator



Test device

A voltmeter



<u>Possible uncertainties</u>	<u>Value</u>	<u>Distribution</u>
• Calibrator uncertainty*	20 μV with 95% CL	Gaussian
• Shift in calibrator value*	0.5 μV	Rectangular
• Resolution of voltmeter	10/2 μV	Rectangular
• Repeatability	8.16 μV	Gaussian
• Uncertainty due to cables	Negligible	-

* *This value can be obtained from the certificate (hand book) of the calibrator.*

Calculations:

Calibrator uncertainty* 20 μV with 95% CL Gaussian

$$\sigma_{\text{calibrator}} = \frac{\sigma_{\text{certificate}}}{k} = \frac{20 \mu\text{V}}{2} = 10 \mu\text{V}$$

Shift in calibrator value* 0.5 μV Rectangular

$$\sigma_{\text{shift}} = \frac{0.5 \mu\text{V}}{\sqrt{3}} = 0.29 \mu\text{V}$$

Resolution of voltmeter 10/2 μV Rectangular

$$\sigma_{\text{res}} = \frac{10/2 \mu\text{V}}{\sqrt{3}} = 2.89 \mu\text{V}$$

#	Measured value
1	10.00001
2	10.00003
3	10.00002
4	10.00001
5	10.00002
6	10.00003
7	10.00003
8	10.00002
9	10.00002
10	10.00001
mean	10.00002000
std	0.00000816

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{9-1} \sum_{i=1}^{10} (x_i - \bar{x})^2} = 8.16 \mu\text{V}$$

$$\sigma_{rep} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{8.16 \mu\text{V}}{\sqrt{10}} = 2.58 \mu\text{V}$$

Total uncertainty:

$$\begin{aligned}\sigma_{total} &= \sqrt{\sigma_{calibrator}^2 + \sigma_{shift}^2 + \sigma_{res}^2 + \sigma_{rep}^2} \\ &= \sqrt{10.00^2 + 0.29^2 + 2.89^2 + 2.58^2} \\ &= 10.73 \text{ } \mu\text{V}\end{aligned}$$

Extended uncertainty:

$$\sigma_{ext} = k \times \sigma_{total} = 2 \times 10.73 \text{ } \mu\text{V} = 21.46 \text{ } \mu\text{V}$$

Result:

$$V = 10.00002000 \pm 0.00002146 \text{ V}$$

or

$$V = 10.00002000(2146) \text{ V}$$

Our test device shows 5 digits after decimal point.
So the value must be reported as:

$$V = 10.00002 \pm 0.00002 \text{ V}$$

or

$$V = 10.00002(2) \text{ V}$$

Ölçümlerin ortalaması 10.00002 V ve belirsizlik 2 μV 'dur.

Kalibrasyondaki belirsizlik “Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM, ISO 1993)” dokümanına uygun olarak hesaplanmıştır. Kalibrasyonun toplam belirsizliği genişletilmiş belirsizlik olup, bileşik belirsizlikten kapsam faktörü $k = 2.0$ kullanılarak elde edilmiştir. Güvenilirlik düzeyi % 95'tir.

Writing Report

At the end of your calibration, you should prepare a report and present it to the company.

Here is sample report related to the calibration of a Digital Multimeter.

KALİBRASYON SERTİFİKASI**Calibration Certificate****Cihazın Sahibi / Adresi**

Customer / Address

: ESSCO ÖLÇ. KONT. SIS. KALİBRASYON SAN. TİC. LTD. ŞTİ.

1345 SOKAK NO:2/1 TEKNİK MALZEME İŞ MERKEZİ

YENİŞEHİR/İZMİR

: 2013 -2604

İstek Numarası

Order Number

Makine / Cihaz

Instrument / Device

: DİJİTAL MULTİMETRE

İmalatçı

Manufacturer

: TT T ECHNİ C

Tip

Type

: VC68C

Seri Numarası

Serial Number

: 993822450

Kalibrasyon Tarihi

Date of Calibration

: 26.04.2013

Sertifika Sayfa Sayısı

Number of pages of the Certificate

: 7

Bu kalibrasyon sertifikası, Uluslararası Birimler Sisteminde (SI) tanımlanmış birimleri realize eden ulusal ölçüm standartlarına izlenebilirliği belgelemektedir.

The calibration certificate documents the traceability to national standards, which realize the unit of measurement according to the International System of Units (SI)

Türk Akreditasyon Kurumu (TÜRKAK) kalibrasyon sertifikalarının tanınması konusunda Avrupa Akreditasyon Birliği (EA) ve Uluslararası Laboratuvar Akreditasyon Birliği (ILAC) ile karşılıklı tanıma anlaşmasını imzalamıştır.

The Turkish Accreditation Agency (TÜRKAK) is signatory to the multilateral agreements of the European co-operation for the Accreditation (EA) and of the International Laboratory Accreditation (ILAC) for the Mutual recognition of calibration certificates.

Ölçüm sonuçları, genişletilmiş ölçüm belirsizlikleri ve kalibrasyon metodları bu sertifikanın tamamlayıcı kısmı olan takib eden sayfalarda verilmiştir.

The measurements the uncertainties with confidence probability and calibration methods are given on the following pages which are part of this certificate.

Mühür

Seal

Tarih

Date

Kalibrasyonu Yapan

Calibrated by

Laboratuvar Müdürü

Head of Calibration Laboratory



26.04.2013

Tolga AKDENİZ

Erdem ŞAĞBANOĞLU

Bu sertifika laboratuvarın izni olmadan kısmen kopyalamp çoğaltılamaz. İzmasız ve mühürsüz sertifikalar geçersizdir.

This certificate shall not be reproduced other than in full expect with the permission of the laboratory. Calibration certificates without signature and seal are not valid

Cihaz Adı : DİJİTAL MULTİMETRE
 Üretici Firma : TT TECHNİC
 Model/Sınıf : VC68C
 Seri No : 993822450

Kalibrasyon Metodu : Temel elektriksel birimlere göre kalibrasyonu yapılmış referans elektriksel kalibratörden elde edilen değerler, kalibrasyonu yapılan cihazın giriş terminallerine uygulanarak kalibratörün değeri ile cihazın gösterge değerinin karşılaştırılması metoduyla yapılmıştır. Gerçek Değer kalibratörden uygulanan değeri, Gösterge Değeri cihazdan okunan değeri ifade etmektedir.

Referans Doküman : R20-13 Sayısal Multimetrelerin Kalibrasyonu İçin Rehber 20.10.2004 Rev :00 (Kaynak : TURKAK DOKUMANLARI)

Ortam Şartları ; Sıcaklık : 22 °C
 Bağıl Nem : 55 %rH

Ölçme Belirsizliği : Ölçmenin yapıldığı bölgelerde ayrı olarak verilmiştir.

Ölçümdeki belirsizlik " Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM,ISO 1993)" dokümanına uygun olarak hesaplanmıştır. Sonuçtaki toplam belirsizlik k=2 kapsam faktörü (% 95güvenlilik faktörü) kullanılarak elde edilen genişletilmiş belirsizliktir.

Kullanılan Referans Standartlar ve İzlenebilirlikleri :

Multi Product Calibrator	TRANSMILLE 3050A	K1149J12	T0A149J12	UKAS	12.11.2012	12.11.2013
-----------------------------	---------------------	----------	-----------	------	------------	------------

Fonksiyon Testi : OK

Ölçüm Sonuçları : Test cihazının ölçüm sonuçları diğer sayfalarda bölge bölge verilmiştir.

Kalibrasyonu Yapan

Performed By



Tolga AKDENİZ

ÖLÇÜM FONKSİYONU : DC GERİLİM

BÖLGE	GERÇEK DEĞER	GÖSTERGE DEĞERİ	BELİRSİZLİK
	(mV)	(mV)	
400	40	39,6	± 40 µV
	360	357,5	± 88 µV
	-360	-357,1	± 88 µV
4	(V)	(V)	
	0,4	0,378	± 88 µV
	3,6	3,413	± 810 µV
40	-3,6	-3,413	± 810 µV
	4	3,792	± 810 µV
	20	19,05	± 810 µV
400	36	34,44	± 9,9 mV
	-4	-03,77	± 810 µV
	-36	-34,50	± 9,9 mV
1000	40	38,31	± 9,9 mV
	360	350,7	± 120 mV
	-360	-350,8	± 120 mV
	100	096,4	± 9,9 mV
	900	0882	± 120 mV
	-900	-0882	± 120 mV

Kalibrasyonu Yapan

Performed By



Tolga AKDENİZ

ÖLÇÜM FONKSİYONU : DC AKIM

BÖLGE	GERÇEK DEĞER	GÖSTERGE DEĞERİ	BELİRSİZLİK
	(μ A)	(μ A)	
400	360	356,3	$\pm 0,58 \mu$ A
4000	3600	3573	$\pm 3 \mu$ A
	(mA)	(mA)	
40	36	35,57	$\pm 31 \mu$ A
400	360	358,4	$\pm 500 \mu$ A
	-360	-358,3	$\pm 500 \mu$ A
	(A)	(A)	
4	2	1,972	$\pm 4,6$ mA
	3,6	3,555	$\pm 4,6$ mA
10	5	04,93	$\pm 4,6$ mA
	9	08,89	$\pm 4,6$ mA

Kalibrasyonu Yapan

Performed By



Tolga AKDENİZ

ÖLÇÜM FONKSİYONU : DİRENÇ (2 UÇLU)

BÖLGE	GERÇEK DEĞER (Ω)	GÖSTERGE DEĞERİ		BELİRSİZLİK
			(Ω)	
Ω	174 m Ω		0,3	170mohm
BÖLGE	GERÇEK DEĞER (Ω)	GÖSTERGE DEĞERİ		BELİRSİZLİK
			(Ω)	
Ω	10,18200 Ω		10,3	170mohm
	100,1980 Ω		99,8	1,9ohm
BÖLGE	GERÇEK DEĞER (k Ω)	GÖSTERGE DEĞERİ		BELİRSİZLİK
			(k Ω)	
Ω	1,000261 k Ω		0,996	9,4ohm
	10,00042 k Ω		9,96	37ohm
	100,0006 k Ω		99,6	4,7ohm
BÖLGE	GERÇEK DEĞER (M Ω)	GÖSTERGE DEĞERİ		BELİRSİZLİK
			(M Ω)	
Ω	0,999972 M Ω		0,998	47ohm
	10,00000 M Ω		09,94	47ohm

Kalibrasyonu Yapan

Performed By

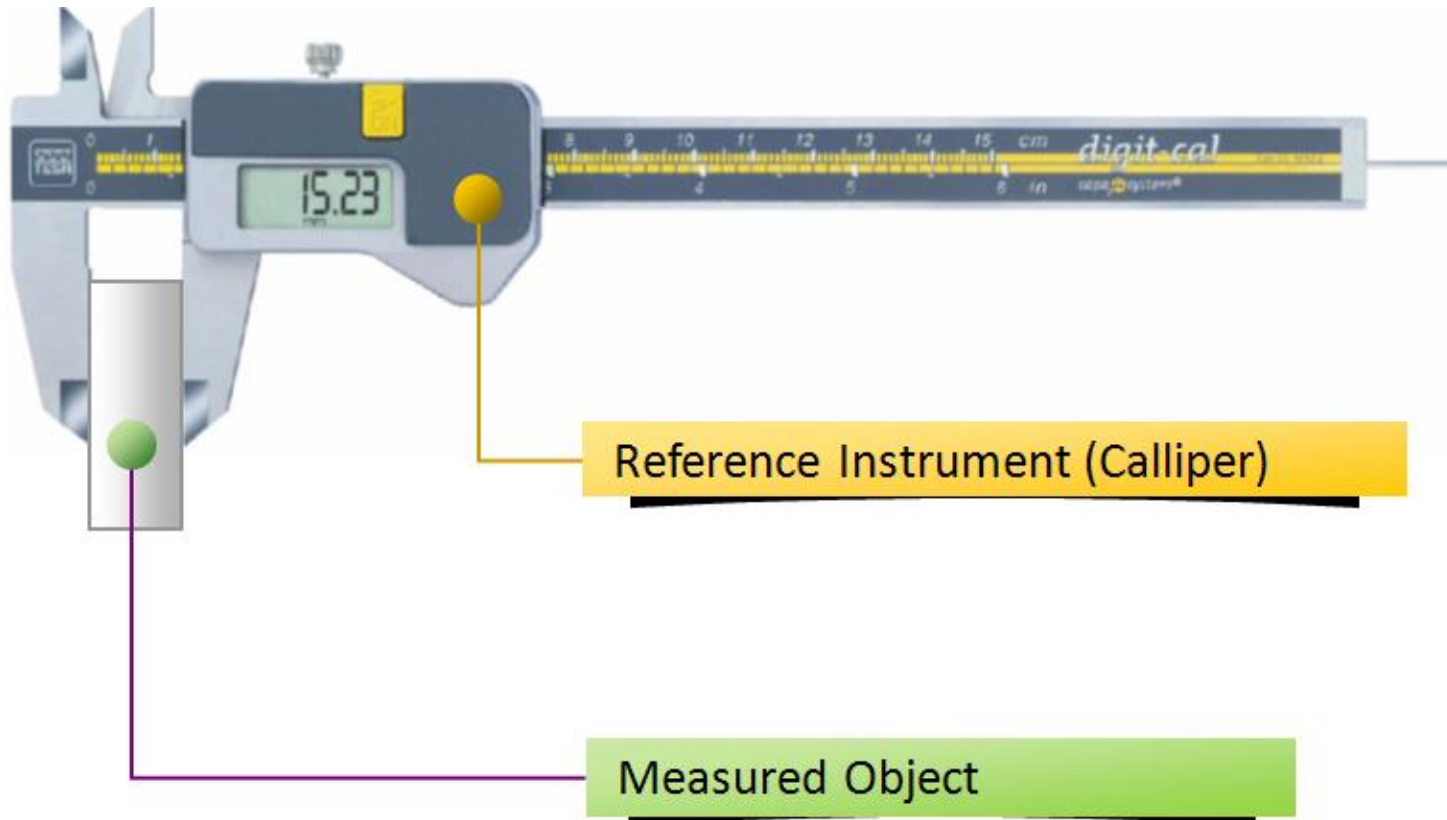


Tolga AKDENİZ

Example: Measuring with Calipper

Purpose:

Estimation of the measurement uncertainty by measuring a reference object (=master) whose length is 15.2 mm.



Air Temperature 25 °C



Environmental Temperature :	$t_0 =$	25 °C
Deviation of Environmental Temperature :	$\Delta t =$	± 5 °C
Length of Object :	$l_N =$	15,2 mm
Resolution (Caliper) :	$a_R =$	0,01 mm
Linear Thermal Expansion Coefficient (Caliper) :	$\alpha_R =$	$11,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
Linear Thermal Expansion Coefficient (Object) :	$\alpha_N =$	$11,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$

Uncertainty Contribution:

- due to calibration certificate of the caliper
- due to resolution of the caliper
- due to thermal expansion
- due to Mechanical effects
- due to repeatability

Calculations:

1. Uncertainty Contribution due to Calibration Certificate of the Caliper

Caliper is Calibrated in an Accredited Calibration Laboratory.

Calibration uncertainty is:

$$U = \pm (10 + 20 \times 10^{-6} L) \mu\text{m} \quad [L \text{ in mm , } k=2 , 95\% \text{ CL }]$$

Measurement Uncertainty is declared in the Calibration Certificate.

* Standard measurement uncertainty:

$$\sigma = \frac{\sigma_{\text{certificate}}}{k} = \frac{10 + 20 \times 10^{-6} L}{2} = \frac{10 + 20 \times 10^{-6} \times 15.2 \times 1000}{2} = 5.2 \mu\text{m}$$

* Sensitivity coefficient: $c = 1$

* Contribution: $\sigma_{\text{cal}} = c \sigma = 1 \times 5.2 \mu\text{m} = 5.2 \mu\text{m}$

2. Uncertainty Contribution due to Resolution of the Caliper

The Resolution of the Digital Caliper is $a = 0.01 \text{ mm}/2 = 5 \text{ }\mu\text{m}$.

* Standard measurement uncertainty (rectangular):

$$\sigma = \frac{5 \text{ }\mu\text{m}}{\sqrt{3}} = 2.9 \text{ }\mu\text{m}$$

* Sensitivity coefficient: $c = 1$

* Contribution: $\sigma_{cal} = c\sigma = 1 \times 2.9 \text{ }\mu\text{m} = 2.9 \text{ }\mu\text{m}$

3. Uncertainty Contribution due to thermal expansion

The Change of environmental temperature (Δt), induce change of the Calipers and Objects Length. If the Physical Change of Length is ΔL , then:

$$\Delta L = L \alpha \Delta t$$

α : Linear Thermal Expansion Coefficient,

Δt : Temperature Change,

L : Nominal Length

* Standard measurement uncertainty (rectangular):

$$\sigma = \frac{\Delta t}{\sqrt{3}} = \frac{5K}{\sqrt{3}} = 2.9K$$

* Sensitivity coefficient:

$$\sigma = \frac{\partial}{\partial(\Delta t)} (L\alpha\Delta t) = L\alpha = 15.2 \times 1000 \times 11.5 \times 10^{-6} = 0.18 \mu m / K$$

* Contribution: $\sigma_{ther} = c\sigma = 0.5 \mu m$

4. Uncertainty Contribution due to Mechanical Effects

During Measuring the Object with Caliper, it is possible to encounter form errors due to mechanical forces. This Contribution is estimated to as the resolution of the Caliper: $a = 10 \mu\text{m}$.

* Standard measurement uncertainty (rectangular):

$$\sigma = \frac{10 \mu\text{m}}{\sqrt{3}} = 5.8 \mu\text{m}$$

* Sensitivity coefficient: $c = 1$

* Contribution: $\sigma_{mec} = c\sigma = 5.8 \mu\text{m}$

5. Uncertainty Contribution due to Repeatability

Consider we have obtained 5 different measurements results as follows:

15.21, 15.23, 15.20, 15.21, 15.22

=> Mean = 15.21 mm

=> Std = 12 μm

* Standard measurement uncertainty (rectangular):

$$\sigma_E = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{12\mu\text{m}}{\sqrt{5}} = 5.4\mu\text{m}$$

* Sensitivity coefficient: $c = 1$

* Contribution: $\sigma_{mec} = c\sigma = 5.4\mu\text{m}$

Total Measurement Uncertainty (u) and Expanded Measurement Uncertainty (U)

Sample length L = 15.2 mm

Input Quantities	Estimated Values	Probability Distribution	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Uncertainty Contribution	Variance
1	10.4 um	Normal	5.2 um	1	5.2 um	27.0
2	5.0 um	Rectangular	2.9 um	1	2.9 um	8.4
3	5.0 K	Rectangular	2.9 K	0.18 um/K	0.5 um	0.3
4	10.0 um	Rectangular	5.8 um	1	5.8 um	33.7
5	15.21 um	Normal	5.4 um	1	5.4 um	28.8

sum = 98.17

Total measurement uncertainty $u = \sqrt{\text{sum}} = 9.9 \text{ um}$

Expanded Measurement Uncertainty $U = 2 * \sqrt{\text{sum}} = 19.8 \text{ um} = 0.02 \text{ mm}$

Final Result:

$$Y = (15.21 \pm 0.02) \text{ mm}$$

$$Y - U \leq Y \leq Y + U$$

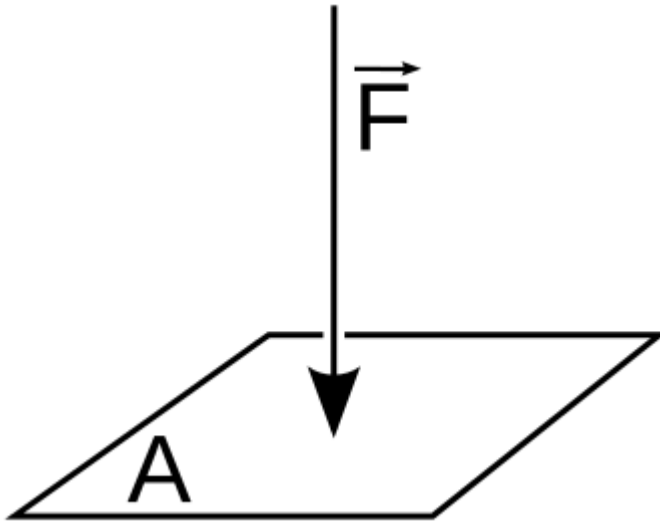
$$15.21 \text{ mm} - 0.02 \text{ mm} \leq Y \leq 15.21 \text{ mm} + 0.02 \text{ mm}$$

$$15.19 \text{ mm} \leq Y \leq 15.23 \text{ mm}$$

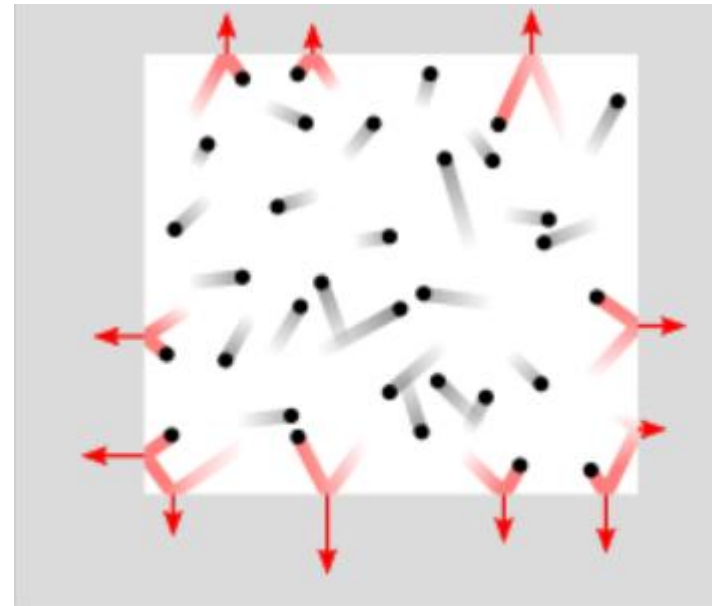
Example: Pressure Calibration

Pressure (symbol: p or P)

is the force applied perpendicular to the surface of an object per unit area over which that force is distributed.



$$P = \frac{F}{A}$$



Pressure as exerted by particle collisions inside a closed container.

Units of Pressure

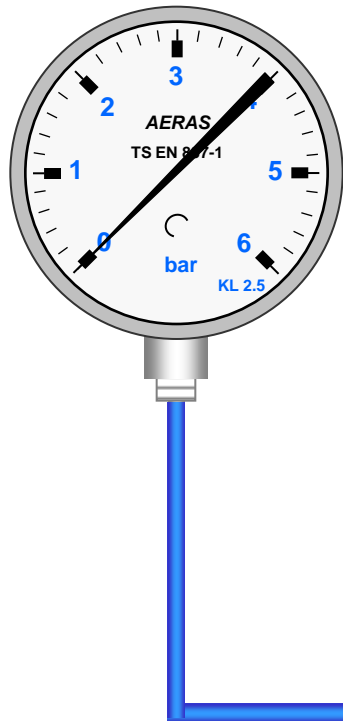
$$P = \frac{F}{A}$$

- SI unit is the pascal (Pa) $\text{Pa} \equiv \text{N/m}^2 \equiv \text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-2}$.
- 1 bar = 10^5 Pa
- 1 atm = 1.01325×10^5 Pa \approx 1 bar
- 1 Torr = 133.3224 Pa \approx 1 mmHg
- 1 psi = 6.8948×10^3 Pa = lbf / in² (pound per square inch)

See also:

<http://en.wikipedia.org/wiki/Pressure>

Sample : Manometer



Reference



Measurement (bar)	Increasing (bar)	Deviation (bar)	decreasing (bar)	Deviation (bar)
0,0	0,00	0,00	0,00	0,00
1,0	1,10	0,10	1,00	0,00
2,0	2,30	0,30	2,20	0,20
3,0	3,30	0,30	3,10	0,10
4,0	4,20	0,20	4,00	0,00
5,0	5,10	0,10	4,80	-0,20
6,0	5,90	-0,10	5,90	-0,10

Repeated Measurements at p = 6 bar

n	1	2	3	4	5
X_i (bar)	5,90	5,91	5,93	5,89	5,92

Data

Uncertainty of Reference from its certificate	1 mbar
Resolution of the reference :	0,5 mbar
Accuracy of Reference (drift) :	0,5 mbar
Manometer max value :	6 bar
Resolution of manometer :	0,2 bar



Sources of Uncertainties

ÖRNEK

1

Uncertainty of Reference from its certificate

2

Resolution of reference

3

Accuracy of the reference

4

Manometer resolution

5

Manometer Hysteresis

6

Repeatability

7

Extended uncertainty

Uncertainty of Reference from its certificate

Lab results:

$U = 1 \text{ mbar}$ [k=2, %95 CL]

See calibration certificate of the reference

Standard calculation

$$u_{Kal} = \frac{U_{Kal}}{k} = \frac{1 \cdot 10^{-3} \text{ bar}}{2} = \frac{1 \cdot 10^{-3} \text{ bar}}{2} = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ bar}$$

Sensitivity coeff.

$$c = 1$$

Uncertainty

$$u(\delta U_{Kal}) = u_{\delta U_{Kal}} \cdot c_{\delta U_{Kal}} = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ bar} \cdot 1 = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ bar}$$

Resolution of Digital Reference apparatus $a_R = 0.001 \text{ bar}$

Reading error:

$$\delta_{aR} = a_R / 2 = 0,001 \text{ bar} / 2 = 0.0005 \text{ bar}$$

Standard calculation

$$u_R = \frac{\delta a_R}{\sqrt{3}} = \frac{0,0005 \text{ bar}}{\sqrt{3}} = 0,0003 \text{ bar}$$

Sensitivity coefficient

$$c = 1$$

Uncertainty

$$u(\delta a_R) = u_{\delta a_R} \cdot c_{\delta a_R} = 0.0003 \text{ bar} \cdot 1 = 0.0003 \text{ bar}$$

Accuracy of the reference

Referans Cihazın daha önce yapılan kalibrasyonlarına ait sertifika değerleri mevcut ise Driftin (Kaymanın) Belirsizlik katkısı hesaplanır. Eğer herhangi bir Drift bilgisi yok ise, referans cihazın üreticisi tarafından beyan edilen doğruluk (Accuracy) bilgisinden faydalanılır:

$$\delta D_R = 0.5 \text{ mbar} = 0.0005 \text{ bar}$$

Standard Calculation

$$u_{\delta D_R} = \frac{\delta D_R}{\sqrt{3}} = \frac{0,0005 \text{ bar}}{\sqrt{3}} = 0,0003 \text{ bar}$$

Sensitivity coefficient

$$c = 1$$

Unertainty

$$u(\delta D_R) = u_{\delta D_R} \cdot c_{\delta D_R} = 0,0003 \text{ bar} \cdot 1 = 0,0003 \text{ bar}$$

Reading error:

$$\delta a_N = a_N = 0,2 \text{ bar}$$

Standard calculation

$$u_{\delta a_N} = \frac{\delta a_N}{\sqrt{3}} = \frac{0.2 \text{ bar}}{\sqrt{3}} = 0.12 \text{ bar}$$

Sensitivity coeff.

$$c_{\delta a_N} = 1$$

Uncertainty

$$u(\delta a_N) = u_{\delta a_N} \cdot c_{\delta a_N} = 0,12 \text{ bar} \cdot (1) = 0.12 \text{ bar}$$

Manometer Hysteresis

Take measurement points first in increasing and then in decreasing order.
Maximum variation (deviation) between the values is known as hysteresis error.

$$\delta H_N = 0.3 \text{ bar}$$

Standard calc.

$$u_{\delta H_N} = \frac{\delta H_N}{\sqrt{3}} = \frac{0.3 \text{ bar}}{\sqrt{3}} = 0.18 \text{ bar}$$

Sensitivity

$$c_{\delta H_N} = 1$$

Uncertainty

$$u(\delta H_N) = u_{\delta H_N} \cdot c_{\delta H_N} = 0.18 \text{ bar} \cdot (1) = 0.18 \text{ bar}$$

Hysteresis is the time-based dependence of a system's output on current and past inputs.

Aritmetik Mean						Standart Deviation	
n	1	2	3	4	5	$\delta S_N = s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0,016 \text{ bar}$	
X_i (bar)	5,90	5,91	5,93	5,89	5,92		
$\bar{x}_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{5,90 + 5,91 + 5,93 + 5,89 + 5,92}{5} = 5,91 \text{ bar}$							

Standard calculation

$$u_{\delta S_N} = \frac{\delta S_N}{\sqrt{n}} = \frac{0,016 \text{ bar}}{\sqrt{5}} = 0,007 \text{ bar}$$

Uncertainty

$$u(\delta S_N) = u_{\delta S_N} = 0,007 \text{ bar}$$

Extended uncertainty

$$u_C = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + \dots + u_m^2}$$

Combined uncertainty :

$$u_C = \sqrt{(0,5 \cdot 10^{-3})^2 + (0,12 \cdot 10^{-3})^2 + (0,3 \cdot 10^{-3})^2 + (0,03)^2 + (0,18)^2 + (0,007)^2} = 0,2 \text{ bar}$$

Extended uncertainty

$$U = k \cdot U_C = 2 \times 0,2 \text{ bar} = 0,4 \text{ bar}$$

Relative Measurement Uncertainty:

$$U_{\text{Rel}} = \frac{U}{\text{Full Scale}} = \frac{0,4 \text{ bar}}{6,0 \text{ bar}} = 0,067 = 6,7\%$$

BUDGET OF MEASUREMENT UNCERTAINTY (ÖLÇÜM BELİRSİZLİĞİ BÜTÇESİ)

INPUTS		Estimated	Distribut- ion	Standart Measurem- ent uncertainty	Sens. Coefficie nt	Uncertainty contibution	Variance	
						bar	bar ²	
$X(i)$		x_i	N_i	$u(xi)$	c_i	$u_i(y)$	$u^2_i(y)$	
1	Certificate Error	U_R	$1 \cdot 10^{-3}$ bar	G=1	$0,5 \cdot 10^{-3}$ bar	1	$0,5 \cdot 10^{-3}$	$0,25 \cdot 10^{-6}$
2	Reference Resolution	δa_R	0,0005 bar	Rectangle	0,0003 bar	1	0,0003	$9 \cdot 10^{-10}$
3	Refernce drift	δD_R	0,0005 bar	Rectangle	0,0003 bar	1	0,0003	$9 \cdot 10^{-8}$
4	Manometer resolution	δa_N	0,05 bar	Rectangle	0,03 bar	1	0,03	$9 \cdot 10^{-4}$
5	Hysteresis	δH_N	0,3 bar	Rectangle	0,18 bar	1	0,18	0,0324
6	Repeatability	δS_N	0,016 bar	G=1	0,07 bar	1	0,07	0,0049
$\Sigma u^2_i(y) \approx$							0,04	
Combined measurment uncertainty :			$u_c = \sqrt{\Sigma u^2_i(y)} = \sqrt{0,04} = 0,2$ bar					
Extended measurment uncertainty :			$U = u_c \cdot k = 0,2 \text{ bar} \cdot 2 = 0,4$ bar					
Result :			$Y = y \quad U = 5,91 \text{ bar} \quad 0,4 \text{ bar}$ $y - U \leq Y \leq y + U$ $5,91 \text{ bar} - 0,4 \text{ bar} \leq Y \leq 5,91 \text{ bar} + 0,4 \text{ bar}$ $5,51 \text{ bar} \leq Y \leq 6,31 \text{ bar}$					

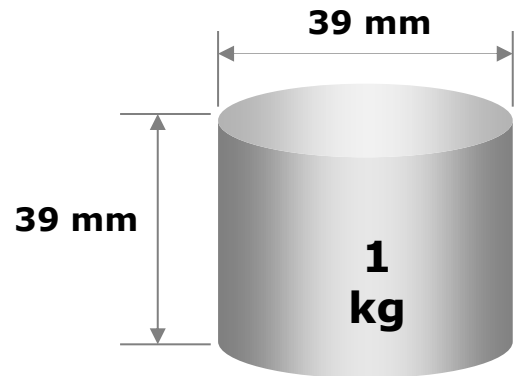
Example: Mass Calibration

Tubitak UME has one prototype of 1 kg.

10% Iridium

90% Platinum

Density: 21.5 kg/m³.



kg - PROTOTİPİ



MESURING THE DEVIATION

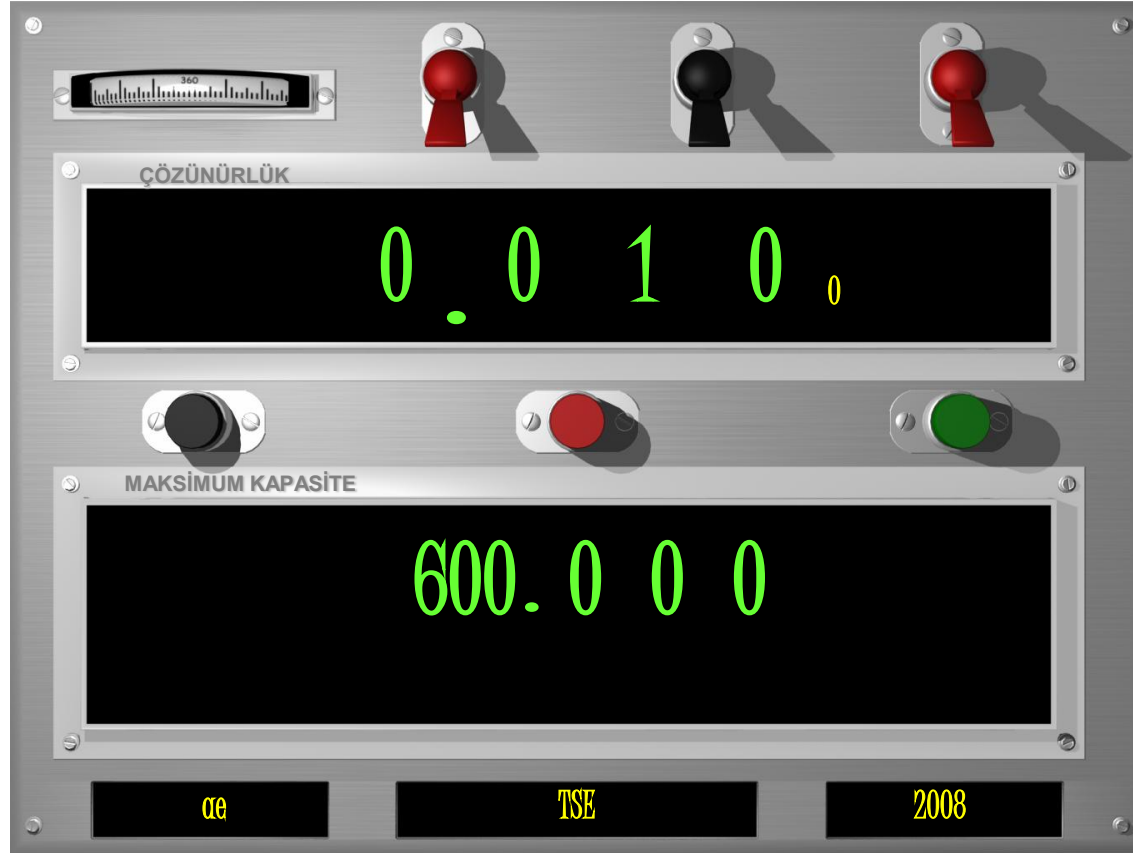


	Reference Value	Measured Value	Deviation
e.g.	g	g	g
	200	199,999	-0,001

	Reference Value	Measured Value	Deviation
e.g.	kg	kg	kg
	50	51,50	+1,50



RESOLUTION



Control Weights

Kontrol ağırlıkları, elektronik ve mekanik terazilerin ayar ve kontrolünde kullanılır. Terazilerin doğruluğu, yerçekimi ivmesine bağlı olduğu için, kontrol ağırlıklarının önemi daha da artmaktadır. Bu nedenle, teraziler yerleri değiştiği zaman ağırlıklar ile tekrar ayarlanıp kalibrasyonu yapılmalıdır.

?



Leaf (Yaprak Ağırlıklar)



Wire (Tel Ağırlıklar)



Head (Başlıklı Ağırlıklar)



Weight Set



Cylindrical Weights



Block Weights



CLASSIFICATIONS

E_1

- Ulusal ağırlık standartları ile E_2 sınıfı arasında izlenebilirliği sağlar
- Yüksek vasıflı paslanmaz çelik
- Antimanyetik
- Tek parça
- Yüzeylerinde sınıf ve nominal değer ibaresi yoktur.

E_2

- Analitik terazilerin ve F_1 sınıfı ağırlıkların kalibrasyonunda kullanılır
- Yüksek vasıflı paslanmaz çelik
- Antimanyetik
- Tek parça
- Yüzeylerinde sınıf ve nominal değer ibaresi yoktur.

F_1

- I. ve II. Sınıf terazilerin ve F_2 sınıfı ağırlıkların kalibrasyonunda kullanılır
- Yüksek vasıflı paslanmaz çelik
- Antimanyetik
- Ayar haznelidir
- Yüzeylerinde nominal değer ibaresi vardır

F_2

- II. Sınıf terazilerin ve M_1 sınıfı ağırlıkların kalibrasyonunda kullanılır
- Yüksek vasıflı paslanmaz çelik
- Antimanyetik
- Ayar haznelidir
- Yüzeylerinde sınıf ve nominal değer ibaresi vardır

M_1

- III. Sınıf terazilerin ve M_2 sınıfı ağırlıkların kalibrasyonunda kullanılır
- Çelik, Pirinç, Dökme demir malzemeli
- Antimanyetik
- Ayar haznelidir
- Yüzeylerinde sınıf, nominal değer ve Üreticisini belirten ibareler vardır

M_2

- III. ve IV. Sınıf terazilerin ve M_3 sınıfı ağırlıkların kalibrasyonunda kullanılır
- Çelik, Pirinç, Dökme demir malzemeli
- Antimanyetik
- Ayar haznelidir
- Yüzeylerinde sınıf, nominal değer ve Üreticisini belirten ibareler vardır





DEVIATIONS (AĞIRLIKLARIN SAPMA SINIRLARI) (OIML R111)

OIML

Max = 1 200 g

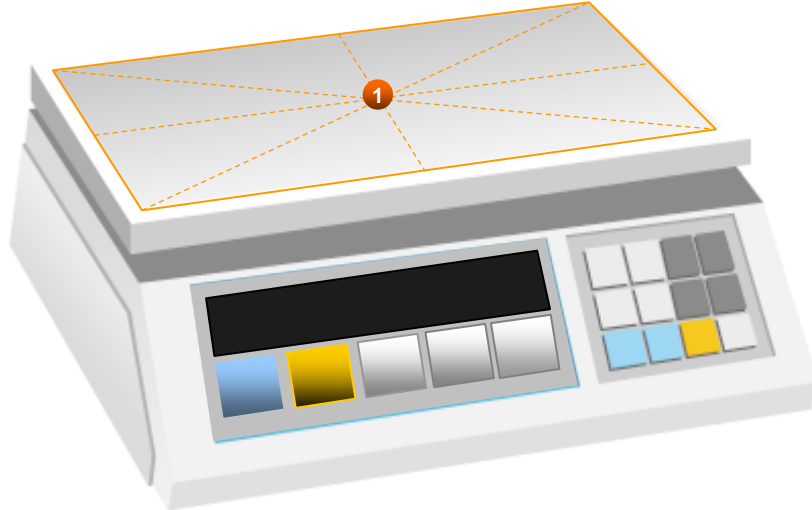
d = 10 mg

Nominal Değer	E ₁ Sınıfı mg	E ₂ Sınıfı mg	F ₁ Sınıfı mg	F ₂ Sınıfı mg	M ₁ Sınıfı mg	M ₁₋₂ Sınıfı mg	M ₂ Sınıfı mg	M ₂₋₃ Sınıfı mg	M ₃ Sınıfı mg
1 mg	0.003	0.006	0.020	0.06	0.20	-	-	-	-
2 mg	0.003	0.006	0.020	0.06	0.20	-	-	-	-
5 mg	0.003	0.006	0.020	0.06	0.20	-	-	-	-
10 mg	0.003	0.008	0.025	0.08	0.25	-	-	-	-
20 mg	0.003	0.010	0.03	0.10	0.3	-	-	-	-
50 mg	0.004	0.012	0.04	0.12	0.4	-	-	-	-
100 mg	0.005	0.015	0.05	0.16	0.5	-	1.6	-	-
200 mg	0.006	0.020	0.06	0.20	0.6	-	2.0	-	-
500 mg	0.008	0.025	0.08	0.25	0.8	-	2.5	-	-
1 g	0.010	0.03	0.10	0.3	1.0	-	3.0	-	10
2 g	0.012	0.04	0.12	0.4	1.2	-	4.0	-	12
5 g	0.016	0.05	0.16	0.5	1.6	-	5.0	-	16
10 g	0.020	0.06	0.20	0.6	2.0	-	6.0	-	20
20 g	0.025	0.08	0.25	0.8	2.5	-	8.0	-	25
50 g	0.03	0.10	0.3	1.0	3.0	-	10	-	30
100 g	0.05	0.16	0.5	1.6	5.0	-	16	-	50
200 g	0.10	0.3	1.0	3.0	10	-	30	-	100
500 g	0.25	0.8	2.5	8.0	25	-	80	-	250
1 kg	0.5	1.6	5.0	16	50	-	160	-	500
2 kg	1.0	3.0	10	30	100	-	300	-	1 000
5 kg	2.5	8.0	25	80	250	-	800	-	2 500
10 kg	5.0	16	50	160	500	-	1 600	-	5 000
20 kg	10	30	100	300	1 000	-	3 000	-	10 000
50 kg	25	80	250	800	2 500	5 000	8 000	16 000	25 000

Repeatibility Test

Bu test, terazinin mümkün olduğunca normal çalışma şartları ve sabit test koşulları altında, aynı yükün terazi kefesine üzerine tekrar tekrar konmasından oluşmaktadır.

?



Tekrarlanabilirlik Test Ağırlığı = 500 g

Mesurement No	Measured value (W_i) g	Deviation g
1	500	0
2	500	0
3	499	-1
4	501	+1
5	498	-2

Ölçüm Değerleri Ortalaması

$$\bar{W} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n W_i$$

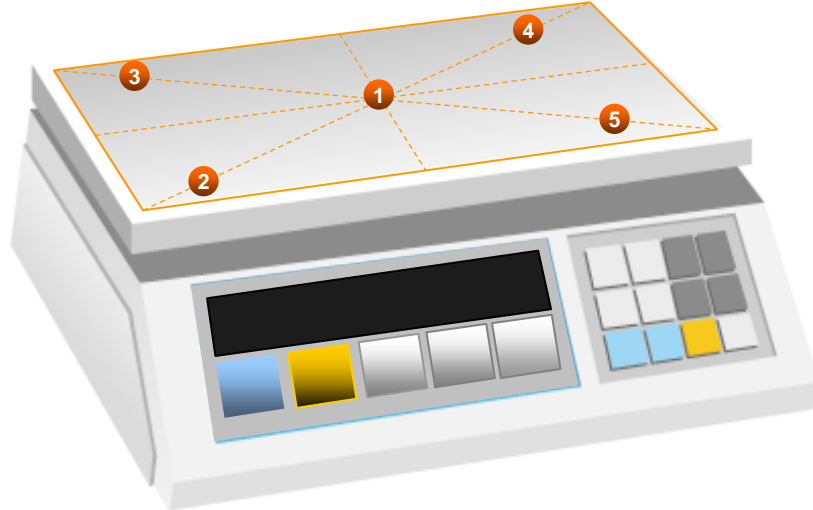
Standard Sapma

$$S = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \cdot \sum_{i=1}^n (W_i - \bar{W})^2}$$

Corner load test (Köşe Yüğü Testi)

Bir test yükünün terazi kefesi üzerine yükün aşağıdaki resimde belirtilen pozisyonları alacak şekilde farklı pozisyonlara yerleştirilmesinden oluşur.

?



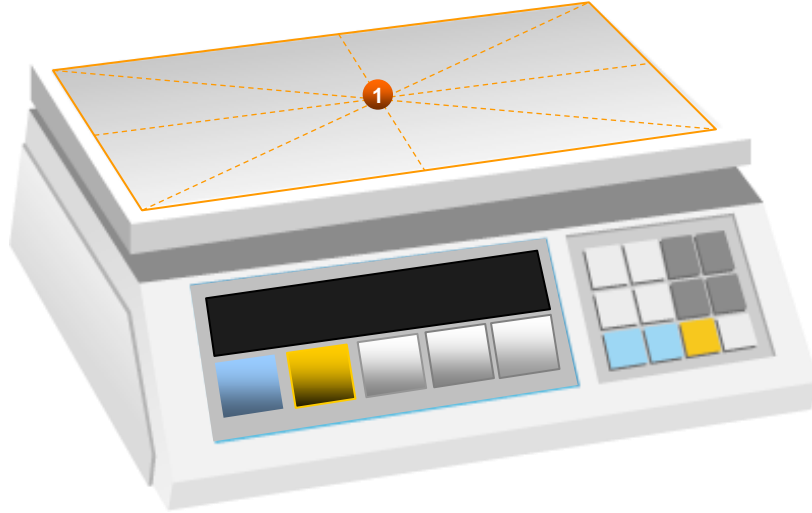
Köşe Yüğü Test Ağırlığı = 1 000 g

Position	Measured value g	Dev. g
1 (Center)	999	-
2 (front left)	1002	+3
3 (back left)	998	-1
4 (front right)	1000	+1
5 (back right)	1001	+2

Doğruluk Testi (Linearite Testi)

Bu test, normal tartım aralığında veya müşterinin belirlemiş olduğu minimum ve maksimum test noktalarında oldukça eşit şekilde dağıtılan en az 5 farklı test yükleri ile yapılır. Bu testin amacı, cihazın performansının tüm tartım aralığında değerlendirilmesidir.

?



Maksimum Kapasite = 1000 g

Test Ağırlıkları g	Ölçülen Değerler (W_i) g	Sapma g
Minimum = 100	99	-1
Maks %25 = 250	251	+1
Maks %50 = 500	500	0
Maks %75 = 750	749	-1
Maksimum = 1000	998	-2