

Összetett ipari mérőrendszerek mérési bizonytalanságának értelmezése és becslése

NAH-ASZEK konferencia, 2017.október 25.

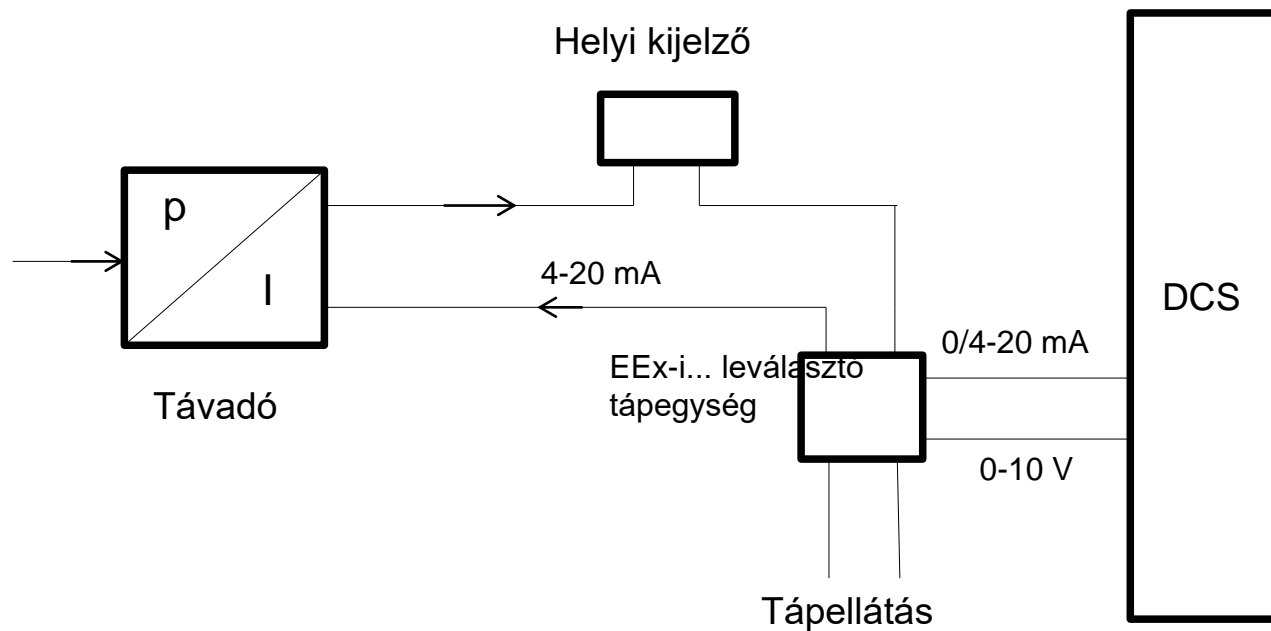
Reményi Tibor

okl.villamosmérnök
metrológiai szakértő

Ahol a tárgyalt mérőkörök(mérőrendszerek) előfordulnak

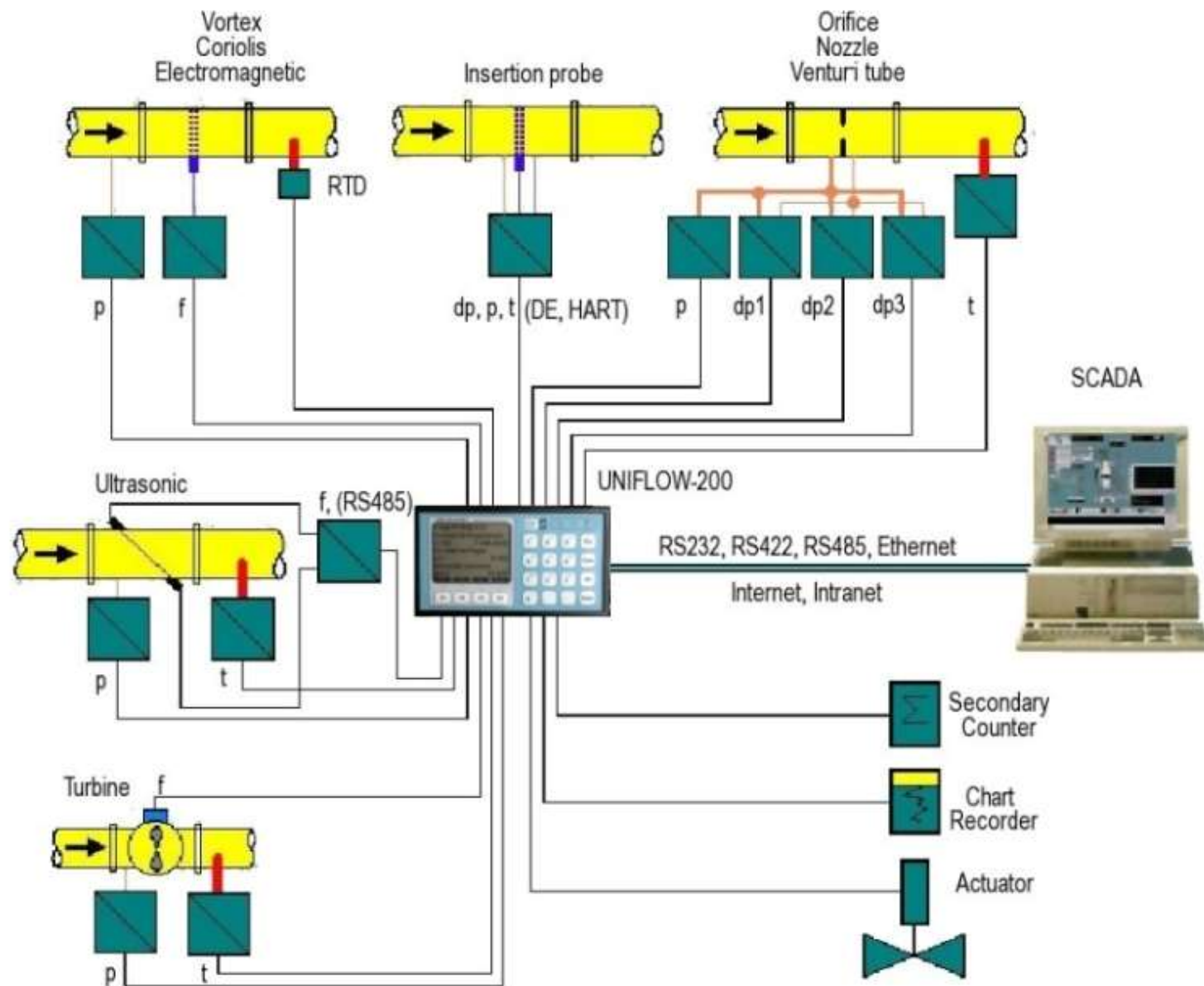
- .Energiaipar, erőművek
- .Olaj-és gázipar
- .Kohászat, alumínium-, vas- és acélipar
- .Vegyipar
- .Szilikátipar, üveggyártás, cementgyártás
- .Gyógyszeripar
- .Élelmiszer és konzervipar
- .Anyag és energiaszállítás
- .Távhőszolgáltatás
-

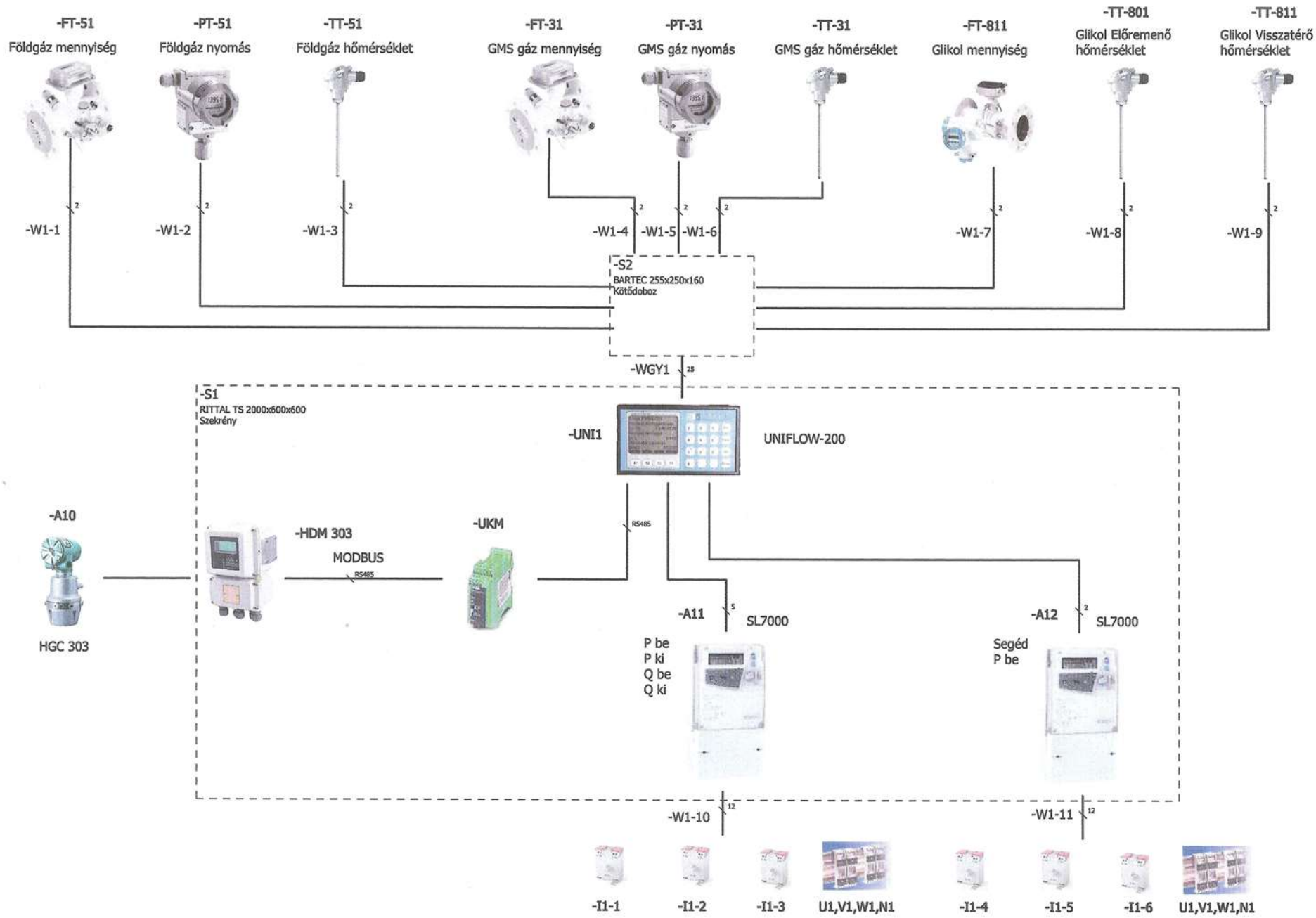
Tipikus távadó-áramkör



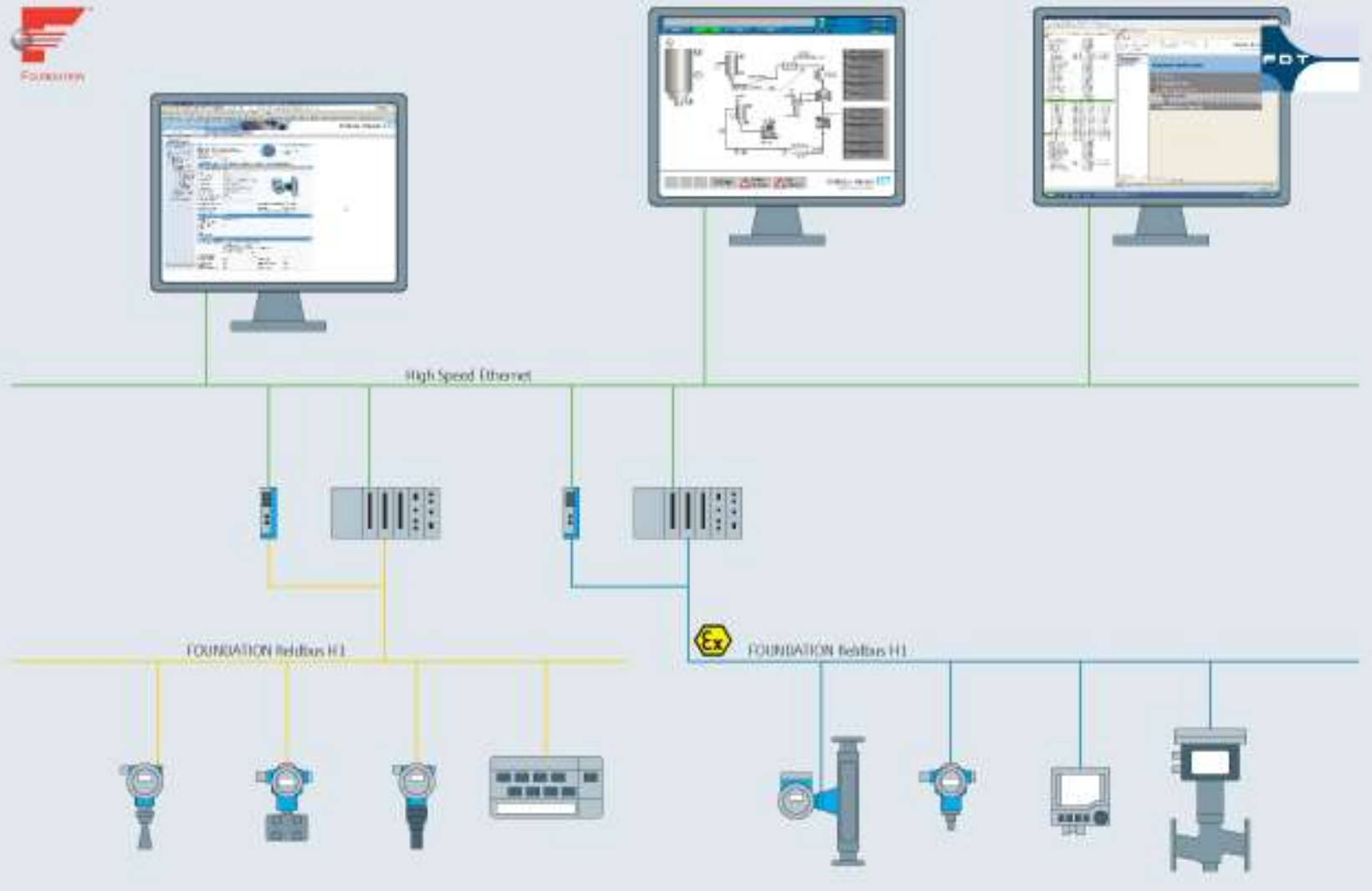
Korszerű nyomástávadó







Typical FOUNDATION fieldbus network



Összetett (több mérőszközből álló) ipari mérőrendszerek eredő bizonytalansága

h_{ia} = a mérőrendszer i -edik tagjának aktualizált alaphibája hibája a műszerkönyv adatai szerint

h_k = helyesbitéssel (korrekcióval) "eltüntetett", becsült hiba; továbbá

$$u_{ia} = \frac{h_i}{2} \left[\frac{h_i}{3} \right], \text{ vagy } u_{ia} = \frac{h_i}{\sqrt{3}}, \text{ vagy } u_{ik} = \frac{h_k}{b * \sqrt{3}}, \text{ ahol } b = 1\text{-nél}$$

nagyobb osztószám, amely azt fejezi ki, hogy a korrekció becslésének hibahatára hányszor kisebb, mint maga a korrekció.

h_{ij} = a járulékos (hőmérsékleti) hiba a mérési ponton

$$u_{ij} = \frac{h_{ij}}{\sqrt{3}} \text{ (?) = a járulékos (hőmérsékleti) hibából adódó standard}$$

bizonytalanság, és

$$u_{er} = \sqrt{\sum_{i=1}^n u_{ia}^2 + u_{ik}^2 + u_{ij}^2} \text{ és}$$

$$U = 2 * u_{er}$$

Amiket egy műszerkönyvben találhatunk...

- **Accuracy**
- Reference accuracy
- Basic accuracy
- Inaccuracy
- Non-conformity
- Overall accuracy
- Combined accuracy
- Basic error
- Total error
- Combined error
- Tolerance
- Error limits
- Uncertainty
- Linearity
- Non-linearity
- Hysteresis
- Hysteresis error
- Repeatability
- Non-repeatability
- Reproducibility
- Long-term drift
- Long-term stability
- Thermal effect
- **Temperature coefficient**
- Temperature influence

Yokogawa EJA510... p-távadó-2

■ STANDARD SPECIFICATIONS

Refer to GS 01C31T02-01EN for Fieldbus communication type and GS 01C31T04-01EN for PROFIBUS PA communication type for the items marked with "ø."

□ SPAN AND RANGE LIMITS

(For EJA510E, values are in absolute and lower range limits are 0.)

Measurement Span/Range		MPa	psi (/D1)	bar (/D3)	kg/cm ² (/D4)
A	Span	10 to 200 kPa	1.45 to 29	0.1 to 2	0.1 to 2
	Range	-100 to 200 kPa	-14.5 to 29	-1 to 2	-1 to 2
B	Span	0.1 to 2	14.5 to 290	1 to 20	1 to 20
	Range	-0.1 to 2	-14.5 to 290	-1 to 20	-1 to 20
C	Span	0.5 to 10	72.5 to 1450	5 to 100	5 to 100
	Range	-0.1 to 10	-14.5 to 1450	-1 to 100	-1 to 100
D	Span *	5 to 50	720 to 7200	50 to 500	50 to 500
	Range *	-0.1 to 50	-14.5 to 7200	-1 to 500	-1 to 500

*: Maximum value shall be 70 MPa, 10150 psi, 700 bar or 700 kgf/cm² respectively when /HG is specified.

□ PERFORMANCE SPECIFICATIONS

Zero-based calibrated span, linear output, wetted parts material code 'S' and silicone oil, unless otherwise mentioned.

For Fieldbus and PROFIBUS PA communication types, use calibrated range instead of span in the following specifications.

Specification Conformance

EJA-E series ensures specification conformance to at least $\pm 3\sigma$.

Reference Accuracy of Calibrated Span

(includes the effects of terminal-based linearity, hysteresis, and repeatability)

Measurement span	Reference Accuracy	
	Span \geq X	Span<X
A	$\pm 0.055\%$ of Span	$\pm(0.0055 \text{ URL/ span})\%$ of Span
B		
C		
D		$\pm(0.0088 * 50 \text{ MPa/ span})\%$ of Span

[When /HAC is specified]

Measurement span	Reference Accuracy	
	Span \geq X	Span<X
A	$\pm 0.04\%$ of Span	$\pm(0.004 \text{ URL/ span})\%$ of Span
B		$\pm(0.005+0.0035 \text{ URL/ span}) \%$ of Span
C		
D		$\pm(0.0064 * 50 \text{ MPa/ span})\%$ of Span

Measurement span	A	B	C	D
X	20 kPa (2.9 psi)	0.2 MPa (29 psi)	1 MPa (145 psi)	8 MPa (1160 psi)
URL (Upper range limit)	200 kPa (29 psi)	2 MPa (290 psi)	10 MPa (1450 psi)	50 MPa (7200 psi)

dp/l távadó specifikált hibái

- **alaphiba vagy referenciali pontosság,**
- **járulékos hőmérsékleti hiba,**
- statikus nyomás miatti járulékos hiba,
- hosszú idejű instabilitás,
- tápfeszültség-változás hatása,
- mechanikai rezgések okozta hiba,
- szerelési helyzetből jövő eltérés,
- rádiófrekvenciás zavarás hatása.

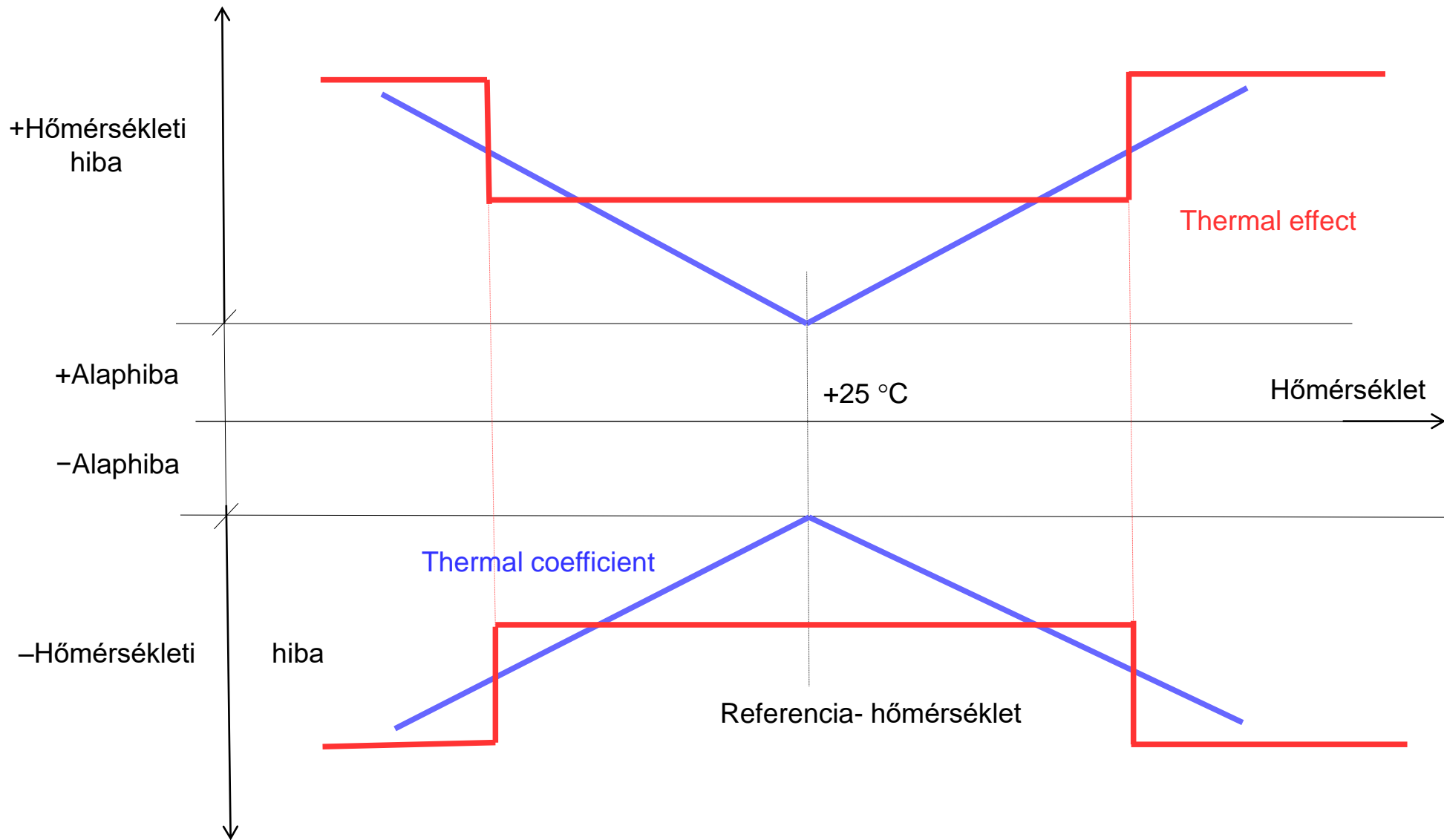


Table 3 – Typical table of device errors

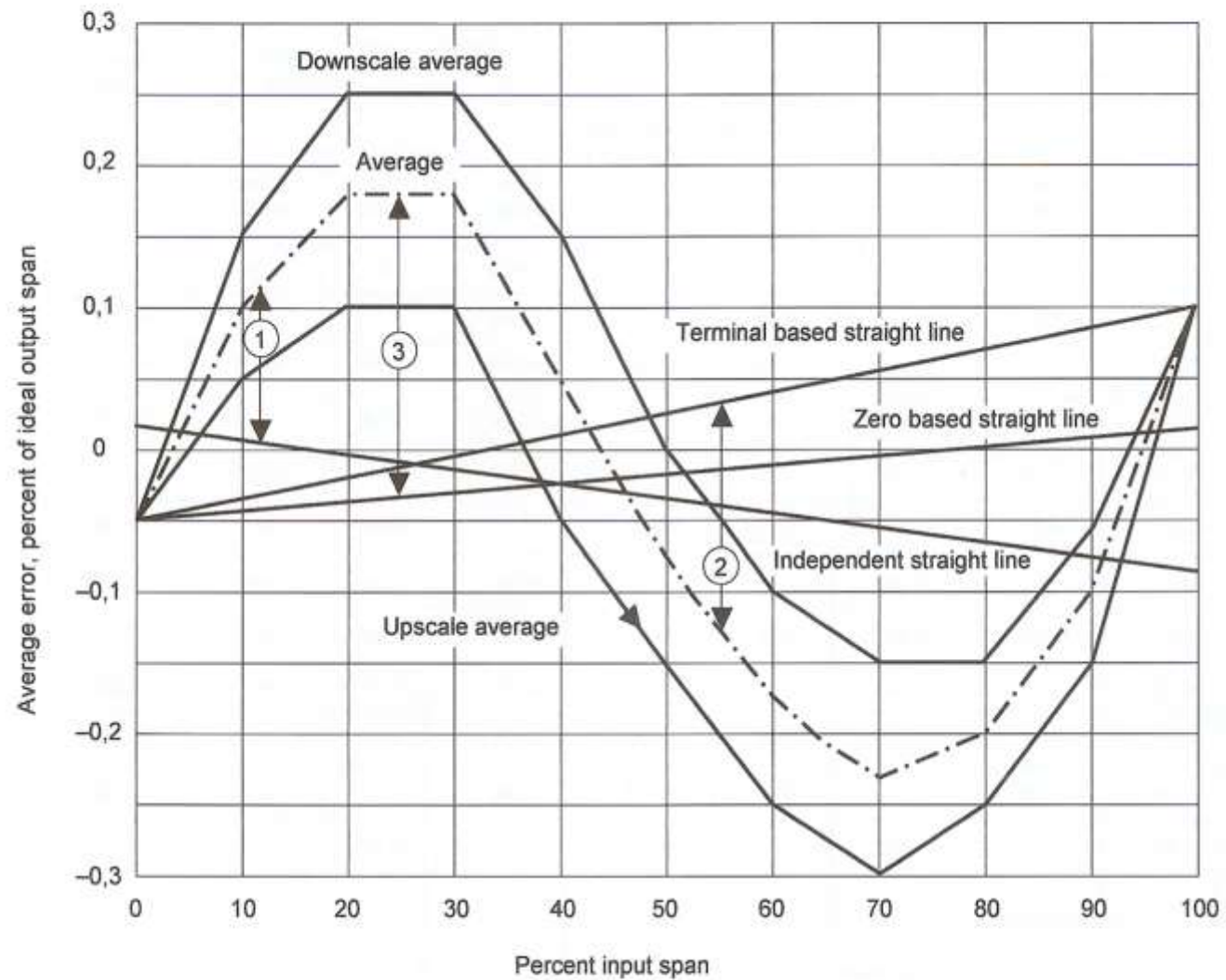
	1 st cycle		2 nd cycle		3 rd cycle		Average of the cycles		Total average
Error (in % of ideal span)									
Input in % span	Up actual	Down actual	Up actual	Down actual	Up actual	Down actual	Up actual	Down average	Average error
	%	%	%	%	%	%	%	%	%
0		-0,04		-0,05		+0,06		-0,05	-0,050
10	+0,06	+0,14	+0,04	+0,15	+0,05	+0,16	+0,05	+0,15	+0,100
20	+0,13	+0,23	+0,08	+0,26	+0,09	+0,26	+0,10	+0,25	+0,175
30	+0,11	+0,24	+0,09	+0,25	+0,10	+0,26	+0,10	+0,25	+0,175
40	-0,04	+0,13	-0,07	+0,15	-0,04	+0,17	-0,05	+0,15	+0,050
50	-0,18	-0,02	-0,16	+0,01	-0,13	+0,01	-0,15	0,00	-0,075
60	-0,27	-0,12	-0,25	-0,10	-0,23	-0,08	-0,025	-0,10	-0,175
70	-0,32	-0,17	-0,30	-0,16	-0,28	-0,12	-0,30	-0,15	-0,225
80	-0,27	-0,17	-0,26	-0,15	-0,22	-0,13	-0,25	-0,15	-0,200
90	-0,16	-0,06	-0,15	-0,05	-0,14	-0,04	-0,15	-0,05	-0,100
100	+0,09		+0,11		+0,10		+0,10		+0,100

Non-repeatability = +0,05 %

Hysteresis = +0,22 %
= hysteresis error + dead band

Inaccuracy = -0,32 % +0,26 %

Maximum measured error = -0,30 %



- ① Independent non-linearity = $\pm 0,2 \%$
- ② Terminal based non-linearity = $-0,28 \%$ and at $\pm 0,28 \%$
- ③ Zero based non-linearity = $\pm 0,22 \%$

A mérési **körülményekből** adódó járulékos hibaforrások

- Telepítési, **beépítési szabálytalanságok**
- Hővezetésből** származó eltérések
- Hősugárzás okozta mérési hiba
- Mechanikai rezgések
- A mérendő anyag mozgása
- A mérendő anyag inhomogenitása
- A mérendő anyag állapotváltozása
- Lerakódások, kicsapódások torzító hatásai
- Korroziós és eróziós hatások

Pt100 ellenállás-hőmérő standard fejjel – menetes felerősítése



A Pt100 elem egy hegesztett végű rozsdamentes acélcső végében helyezkedik el. Az elem csak 10mm hosszú, így a minimális bemerülési hossz legalább 50mm kell hogy legyen. A védőburok hegesztetlen végén standard, vízálló fém fej (IP67) biztosítja a mérőkörhöz történő csatlakoztathatóságot. Ideális megoldást nyújt ez a változat az olyan 350°C alatti hőmérsékletmérésekhez, ahol megbízható, stabil csatlakozással kell az érzékелőnek kapcsolódnia a mérőkörhöz. Egy 1/2 collos, BSP hengeres csőmenet van a fejrész végén kialakítva az érzékелő rögzítése érdekében.

- **3 vezetékes kialakítás**
- **B osztályú MSZ EN 60751 Pt100 elem**
- **Védőburok: 1.4435 rozsdamentes acél, 6mm átmérővel**
- **Többféle hosszúságban rendelhető. A hossz nem tartalmazza a fejrészt**

Üzemi hőmérséklet tartomány: 7500 - 95000

Hőmérsékletmérő rendszer hibái -1

PRTD érzékelők esetében

$E_m = E_p + E_i$ = a hőmérsékletmérés összes hibája

$E_p = E_1 + E_2 + E_3 + E_4$ = a technológiai telepítésből származó rendszeres hibák

E_1 = hőáramok okozta hővezetési hiba

E_2 = dinamikus (beállási) hiba

E_3 = hőszugárzás miatti hiba

E_4 = a mérendő anyag(gáz) áramlásából eredő hiba

E_i = a mérőrendszert alkotó eszközök véletlen hibái

$E_i = \sqrt{E_5^2 + E_6^2 + E_7^2 + E_8^2}$, ahol

E_5 = az elektronikai mérőrendszer összesített hibája,

E_6 = a mérőérezkelő alaphibája (szabványos tűrése),

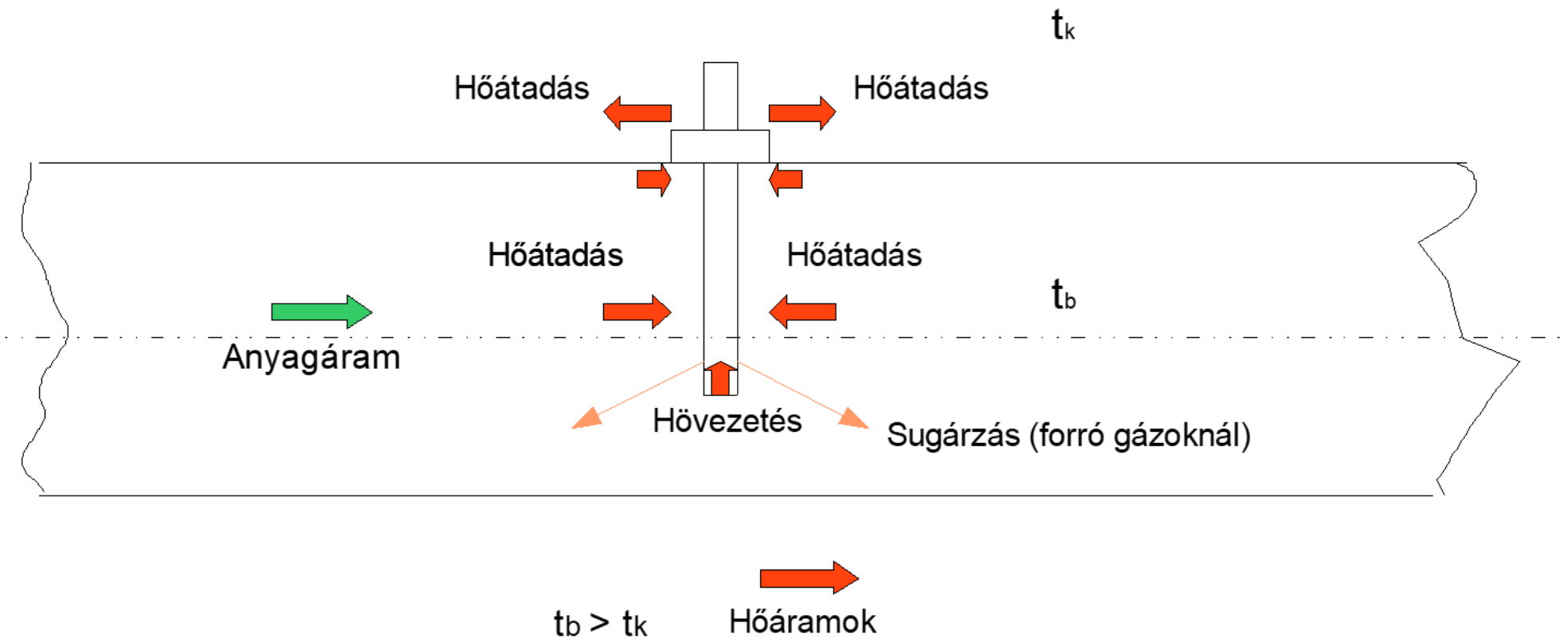
E_7 = a villamos szigetelések változásából jövő hibanövekmény,

E_8 = a vezetékellenállás kiegyenlítetlensége miatti hiba, ha nem 4-vezetékes a mérőrendszer.

Az előző dián bemutatott klasszikus hibakezelés a hőmérsékletmérés egész **technológiai rendszerére** kiterjed.

Kalibráláskor viszont rendszerint csak az egyedi **mérőeszközöket** (és legfeljebb a mérőkört) vizsgáljuk, így számos hibafajta kimarad az ellenőrzésből.

Hőközlési viszonyok a hőérzékelő körül



Hőmérsékletmérő körök eredő bizonytalansága

PRT és egyéb ellenálláshőmérők esetében 4 vezetékes kapcsolásban

$$U_{er} = \sqrt{u_1^2 + u_3^2 + u_5^2 + u_6^2} \text{ , és}$$

$$U = 2 * u_{er}$$

Hőelemek esetében

$$U_{er} = \sqrt{u_1^2 + u_3^2 + u_5^2 + u_6^2 + u_{10}^2 + u_{12}^2} \text{ , és}$$

$$U = 2 * u_{er}$$

Mindkét esetben kihagytuk a bizonytalansági "leltárból" a feltehetően nem számottevő, és nehezen megfogható, nehezen becsülhető bizonytalansági összetevőket (pl. a dinamikus hibákból, az áramlási sebesség-változásokból, a kompenzációs vezetékekből, linearitásváltozásból stb. származó bizonytalanságokat.)

Az öregedés miatt jelentős hibanövekmény állhat elő, ennek nagyságát csak gondos laboratóriumi kalibrálással lehet megállapítani.

NA 200-as légcsatornában a lassan áramló levegő hőmérsékletét A osztályú Pt100 hőmérővel mérjük. A végponti kijelző **+120,3 °C**-ot mutat.
Mekkora a mérés(mérőkör) bizonytalansága ?

$$E_1 = -1,95 \text{ °C, amiből } u_1 = \frac{1,95}{5 \cdot 1,732} = 0,225 \text{ K}$$

$$E_3 = -0,12 \text{ °C, amiből } u_3 = \frac{0,12}{5 \cdot 1,732} = 0,0138 \text{ K}$$

A mérőkör digitális jelátvivő és megjelenítő készülékeinek összesített standard bizonytalansága külön számítás szerint

$$u_5 = 0,08 \text{ K}$$

Az "A" osztályú Pt100 szabványos alapbizonytalansága:

$$u_6 = \frac{0,39}{2} = 0,195 \text{ K}$$

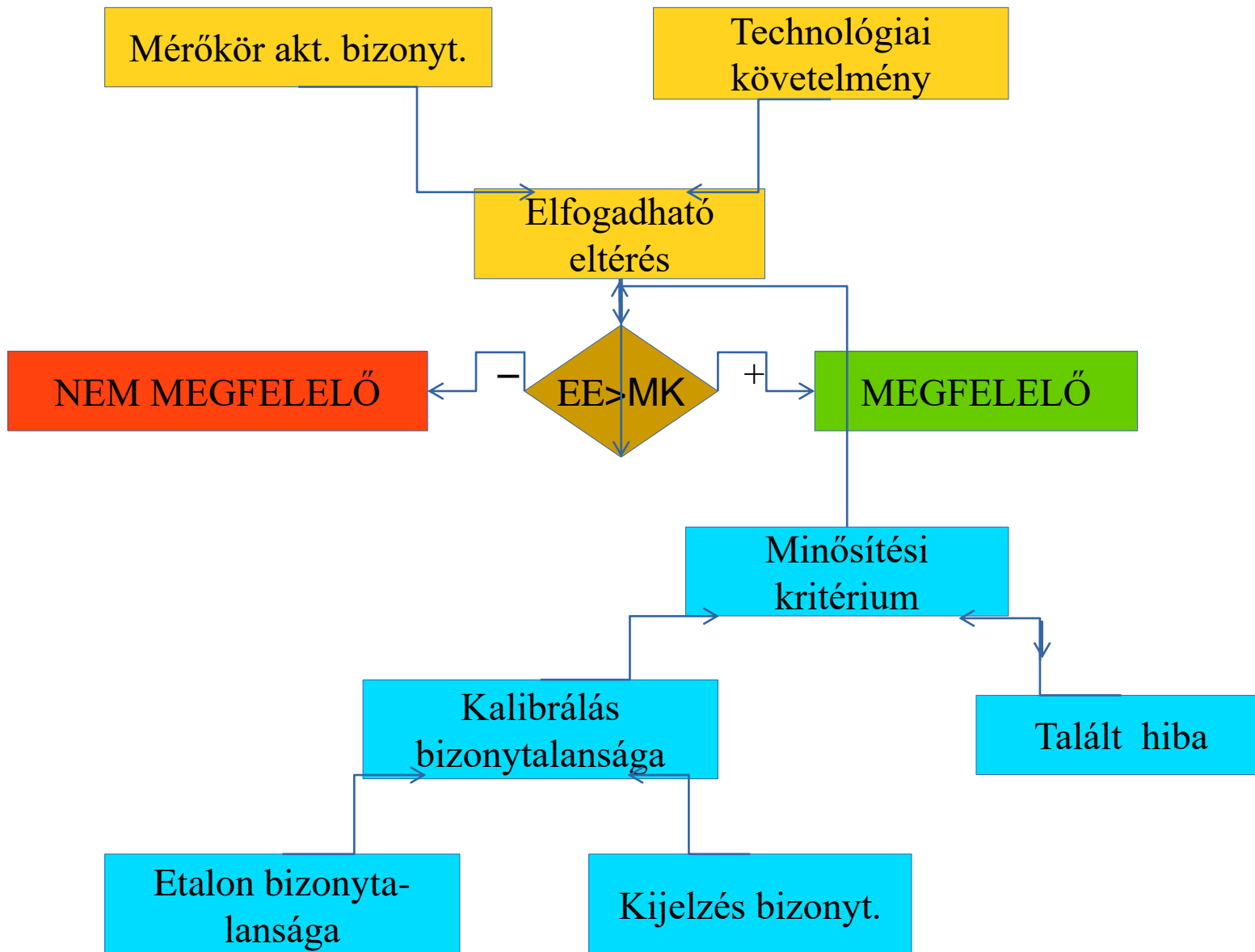
$$u_{\text{er}} = \sqrt{0,225^2 + 0,0138^2 + 0,08^2 + 0,195^2} = \sqrt{0,09524} = 0,3086 \text{ K, és}$$

$$U = 0,617 \text{ K}$$

Tehát a tényleges hőmérséklet: $120,3 + 1,95 + 0,12 = \mathbf{122,37 \pm 0,62 \text{ °C}}$

Ahol a korszerű hőmérsékletmérő körökben digitális távadó és terepi buszrendszer van, illetve az RTD hőérzékelő közvetlenül csatlakozik a végponti vagy egy üzemi munkaállomási digitális jelfeldolgozó és számító készülékekhez, a mérőkör ezen részeinek hibája viszonylag kicsi, következésképp megnő az villamos **hőérzékelő/távadó** eszközök kivitelének és technológiai **beépítésének** jelentősége a mérőkör eredő bizonytalanságának alakulásában.

- üzemszerű,
- közvetlen vagy
- jelszimulációs (részleges)



Az őszinte metrológus minőségfilozófiája

Pontosan, olcsón és megbízhatóan

MÉRÜNK.

Ön ebből **kettőt** választhat.