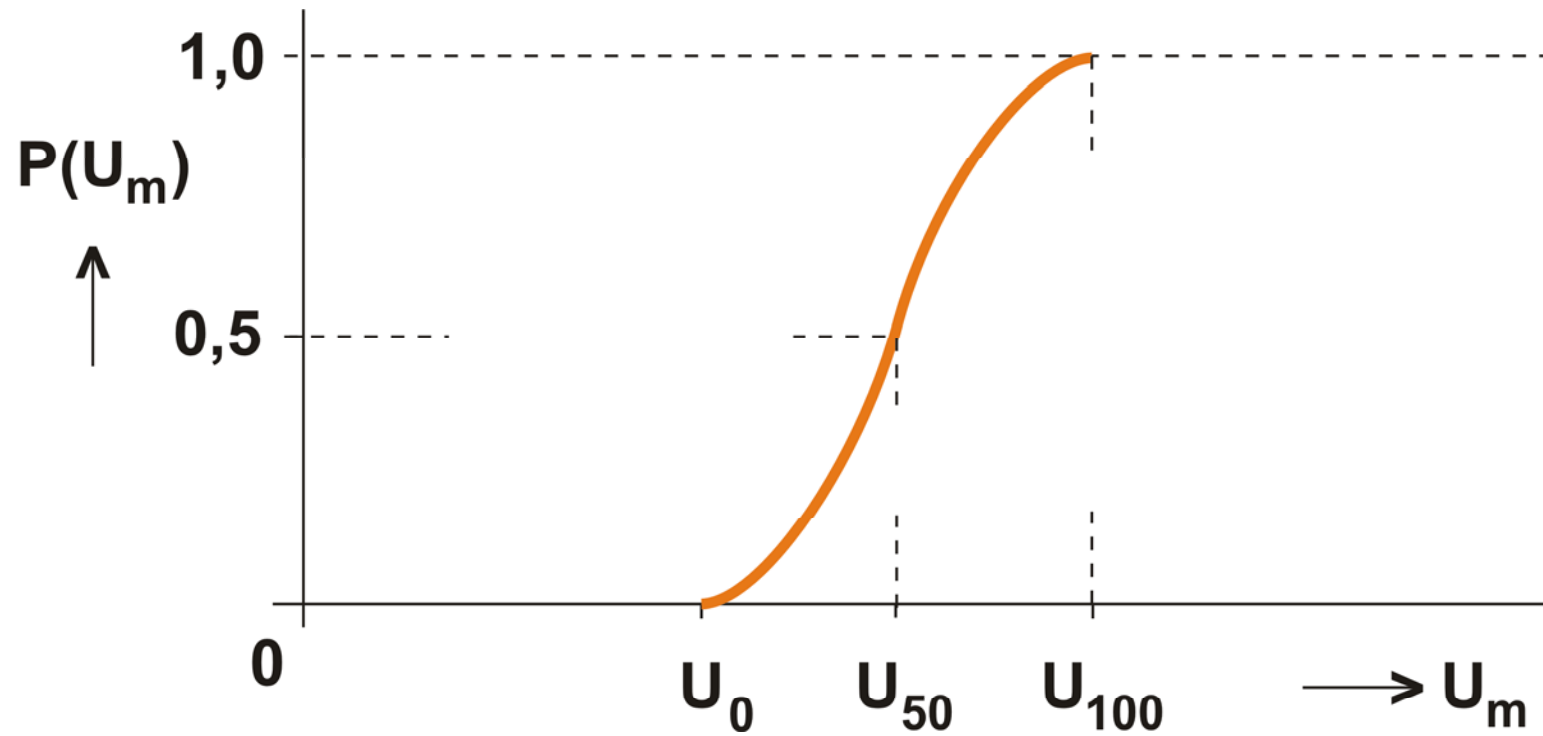


**Vyhodnocování
impulsních měření
a
kvalita vysokonapět'ových
měření**

Měření impulsních napětí

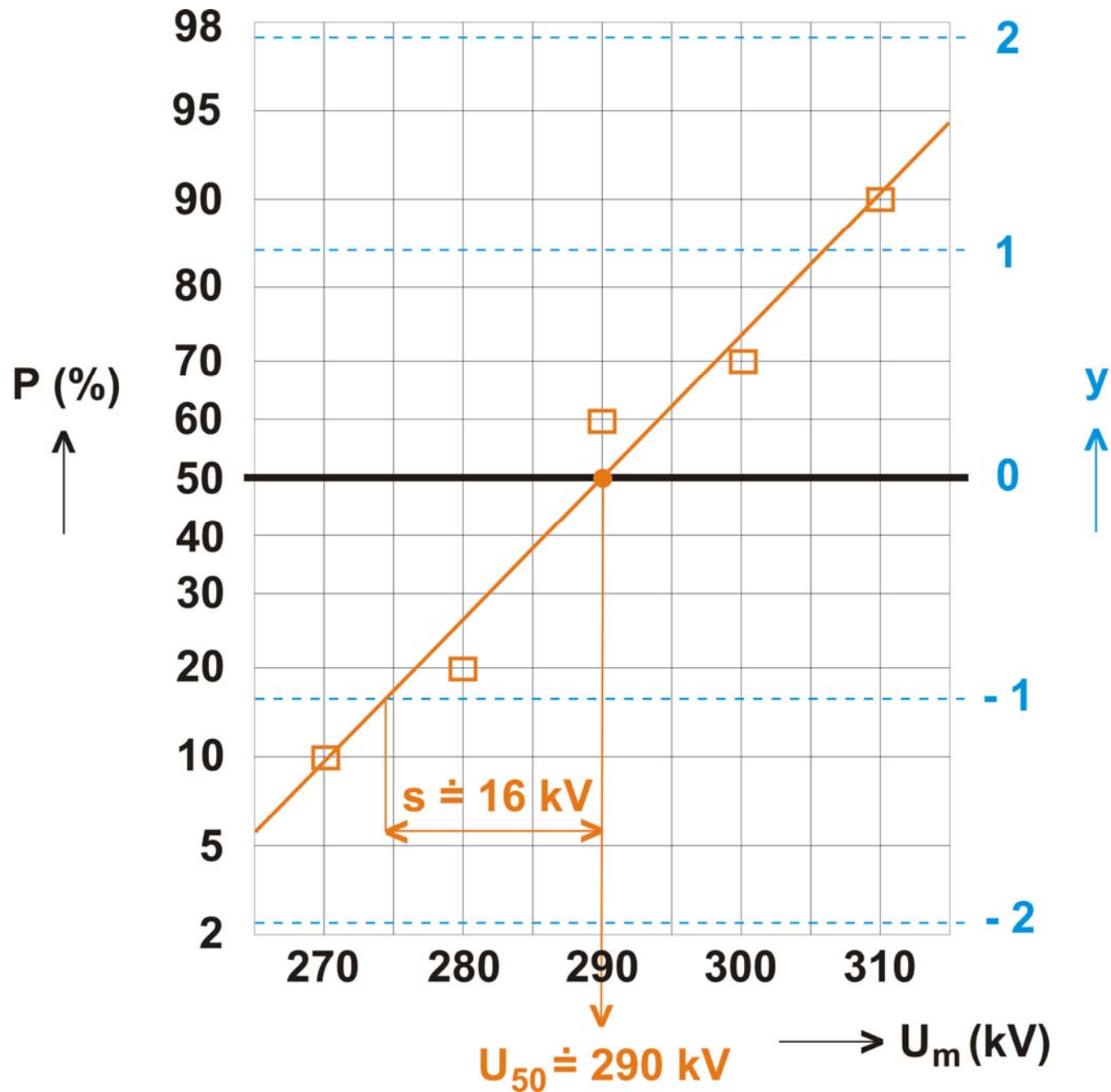


Metody pro stanovení U_{50}

konvenční (po hladinách)

U_m (kV)	sled výbojů	p(%)
310	+ + + - + + + + +	90
300	+ - + + + - + + - +	70
290	+ - + + - + + - - +	60
280	- + - - - - + - - -	20
270	- - - - + - - - -	10

Pravděpodobnostní papír



Výpočet U_{50} a s pomocí metody nejmenších čtverců

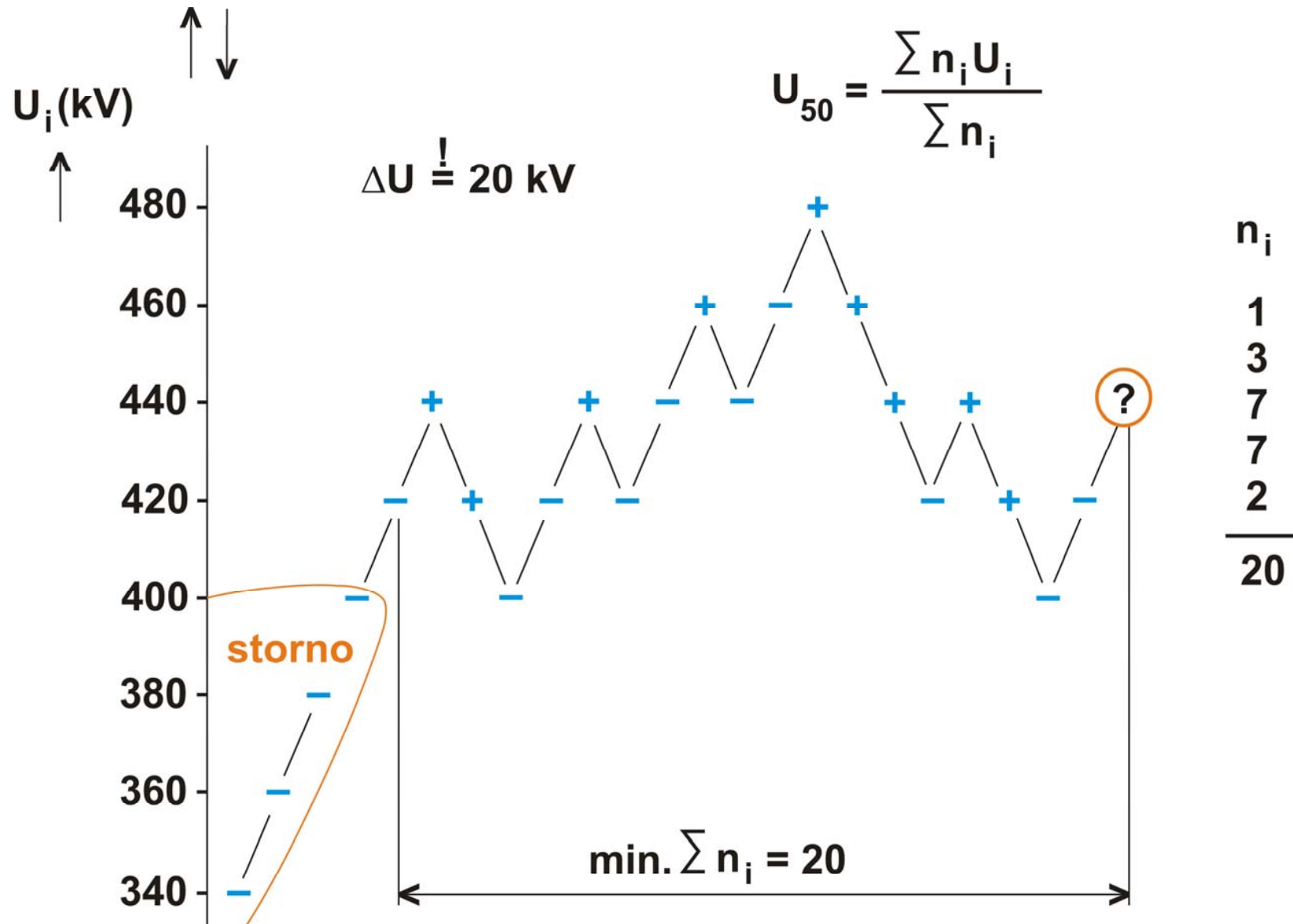
$$y - \bar{y} = b(U - \bar{U}), \quad \bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{y}}{n}, \quad \bar{U} = \frac{\sum_{i=1}^n U_i}{n}$$

$$b = \frac{\frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n y_i U_i - \bar{y} \bar{U} \right)}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (U_i - \bar{U})^2}, \quad \text{pro } y = 0 \quad \rightarrow \quad U_{50} = \bar{U} - \frac{\bar{y}}{b}$$

$$\text{pro } y = 1 \quad \rightarrow \quad U_{\sigma} = \frac{1 - \bar{y} + b\bar{U}}{b}$$

$$\sigma_{\%} = \frac{U_{\sigma} - U_{50}}{U_{50}} \cdot 100 = \frac{100}{b\bar{U} - \bar{y}}$$

Metoda „nahoru - dolů“



U_i (kV)	Sled prvních 20 impulsů										Σ \pm	Sled dalších 25 impulsů										$\Sigma +$	$\Sigma -$																															
280																							0																		1	0
270																																			1																	3	2	
260																																			4																	6	4	
250																																			6																5	6		
240																																			4																3	6		
230																																			3																2	3		
220																																			2																1	2		
210																																			0																0	1		
200																																			0																0	0		
Celkový počet přeskoků a nepřeskoků dohromady											20	Celkový počet přeskoků či nepřeskoků											21	24																														

i	0	1	2	3	4	5	6 = k	Σ
n_i	1	2	3	5	6	3	1	$\Sigma n_i = 21 = N$
U_i	220	230	240	250	260	270	280	
$n_i \cdot i$	0	2	6	15	24	15	6	$\Sigma(n_i \cdot i) = 68 = A$
$n_i \cdot i^2$	0	2	12	45	84	75	36	$\Sigma(n_i \cdot i^2) = 254 = B$

Postup vyhodnocení:

Přesnější hodnotu U_{50} včetně směrodatné odchylky získáme z delšího souboru pokusů (40 až 50). Vyhodnocení se provede pouze s jevem, který je méně četný.

Kritérium správnosti metody: $C = \frac{N \cdot B - A^2}{N^2}$, $C > 0,3$

i	0	1	2	3	4	5	6=k	Σ
n_i	1	2	3	5	6	3	1	$\Sigma n_i = 21 = N$
U_i	220	230	240	250	260	270	280	
$n_i \cdot i$	0	2	6	15	24	15	6	$\Sigma(n_i \cdot i) = 68 = A$
$n_i \cdot i^2$	0	2	12	45	84	75	36	$\Sigma(n_i \cdot i^2) = 254 = B$

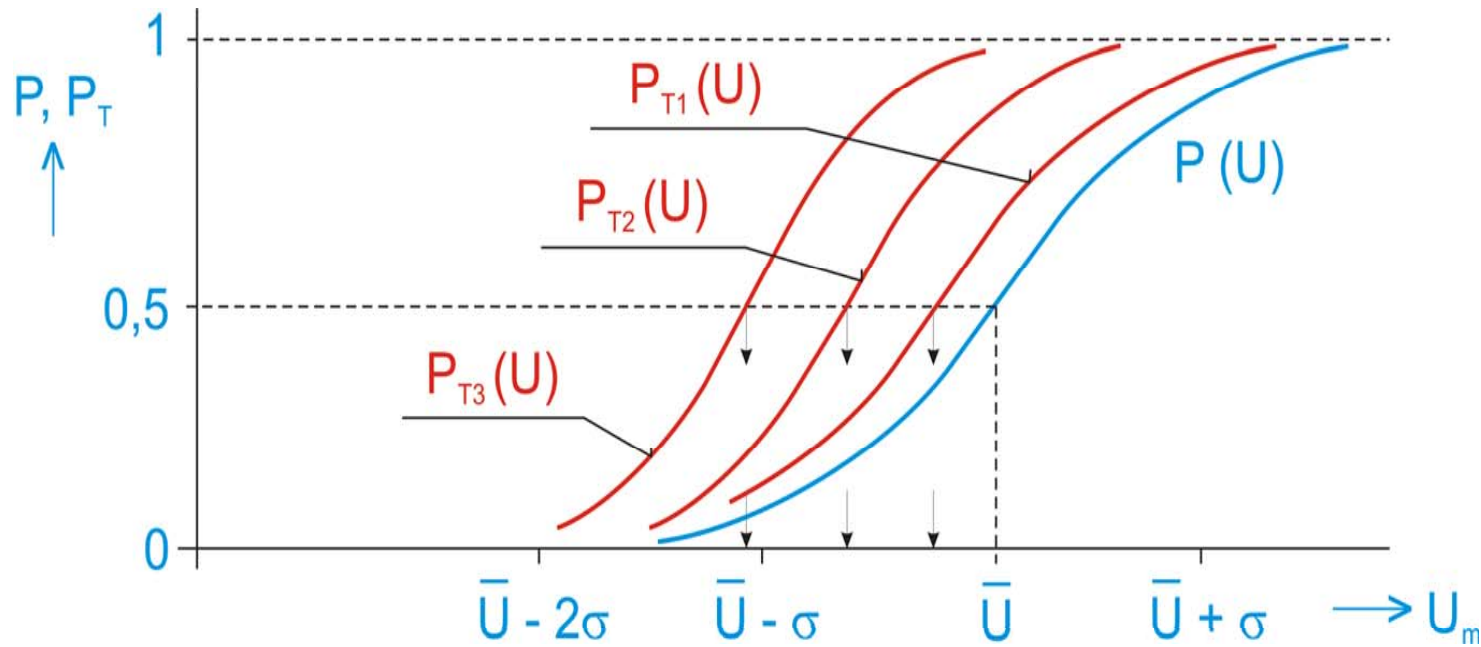
$$U_{50} = U_0 + \Delta U \left(\frac{A}{N} \mp \frac{1}{2} \right) \quad s = 1,62 \cdot \Delta U (C + 0,029)$$

Tetznerova metoda

m sérií impulsů rostoucích do přeskočků po ΔU_T

U_{iT} (kV)	$m = 20$	r_{iT} (%)	R_{iT} (%)
660	+	5	100
630	- + + +	15	95
600	+ - + - + - - + +	25	80
570	+ - + - - - + - - + - + + - -	30	55
540	- - - + - - - - + - - - + - - - + -	20	25
510	- - - - - - - + - - - - - - - -	5	5
480	- - - - - - - - - - - - - - - -	0	0

Z bodů $[U_{iT} ; R_{iT}]$ se stanoví U_{50T} , s_T



- $P_{T1}(U) \dots \dots \Delta U_{T1} = \sigma$
- $P_{T2}(U) \dots \dots \Delta U_{T2} = 0,4\sigma$
- $P_{T3}(U) \dots \dots \Delta U_{T3} = 0,1\sigma$

S klesajícím ΔU_T klesá U_{50T} a $s_T \Rightarrow$ přepočít $P_T(U)$ na $P(U)$

Přepočet parametrů funkce chování izolace

Parametry u standardní metody:

střed rozdělení U_{50}

směrodatná odchylka S

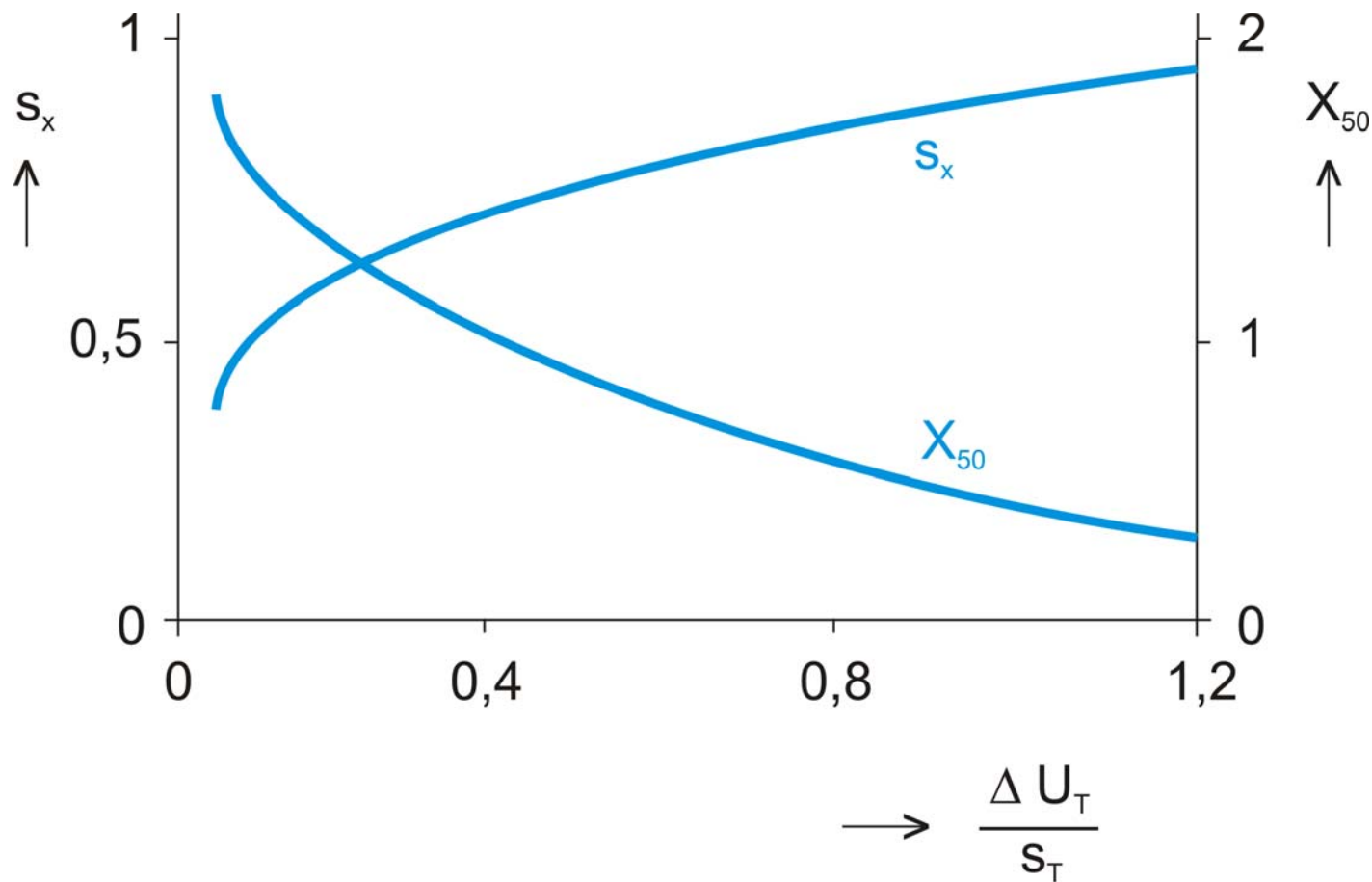
Parametry u Tetznerovy metody:

střed rozdělení U_{50T}

směrodatná odchylka S_T

Přepočet U_{50T} a s_T na U_{50} a s

$$s = \frac{s_T}{s_X} \quad U_{50} = U_{50T} + X_{50} \frac{s_T}{s_X}$$



Akreditace laboratoří a zkušeben

- Význam akreditace laboratoří a zkušeben
- Akreditaci v ČR organizačně zajišťuje ČIA, o.p.s.
- Podkladem je **ČSN EN ISO/IEC 17025**
- Postup pro získání akreditace:
 - zajistit odborný personál (vedoucí, metrolog, manažer kvality)
 - mít k dispozici zkušební a měřicí techniku
 - měřidla mít metrologicky navázaná u AKL nebo ČMI
 - zajistit si validované zkušební postupy pro akreditaci
 - připravit a zavést systém řízené dokumentace
 - zpracovat „Příručku kvality“ laboratoře
 - podat přihlášku na ČIA

Prostředky pro zajištění jakosti měření

Metrologická návaznost:

- Návaznost všech měřidel postupně až na nejvyšší etalony
- Kalibraci měřidel zajišťují AKL a laboratoře ČMI
- Možnost interních kalibrací (splnění podmínek pro AKL)
- Stanovení kalibračních lhůt
- Mezikalibrační kontroly; opakovaná měření stejného vzorku

Vyjadřování nejistot měření:

Tradiční způsob vyjádření kvality měření spočívá ve stanovení jeho chyby jako rozdílu mezi výsledkem měření a „skutečnou hodnotou“ měřené veličiny, která je prakticky nezjistitelná.

Od 80. let 20. století nový přístup k vyjádření kvality měření:

Výsledek měření je nejlepším odhadem měřené veličiny a tento odhad je zatížen určitou „**nejistotou měření**“.

Kvantitativní charakteristikou nejistoty je **standardní nejistota**.

Je to směrodatná odchylka veličiny, pro niž je nejistota udávána.

Podle způsobu svého vyhodnocování se dělí na:

Standardní nejistotu typu A (u_A)

je způsobena náhodnými vlivy a stanovuje se z výsledků opakovaných měření statistickým přístupem; hodnota s rostoucím počtem pozorování klesá.

Standardní nejistotu typu B (u_B)

má známé a odhadnutelné příčiny; získává se jiným způsobem, přičemž složky tohoto typu nejistoty pocházející z různých zdrojů se slučují do výsledné standardní nejistoty typu B.

Celková nejistota je dána tzv. **kombinovanou standardní nejistotou**

$$u = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} \text{ - udává interval kolem naměřené hodnoty (68 \%)}$$

Při požadavku na větší pravděpodobnost se zvětší interval (95 %)

Pak **rozšířená kombinovaná nejistota měření** $U = k_U \cdot u$

k_U · · · koeficient rozšíření; doporučená hodnota pro měření a kalibrace je $k_U = 2$

Postup při určování standardních nejistot:

Standardní nejistota typu A - (u_A)

Určuje se statistickou analýzou série naměřených hodnot

Střední hodnota $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$

Experimentální směrodatná odchylka

$$s_e = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

Experimentální směrodatná odchylka průměru

$$s_m = \frac{s_e}{\sqrt{n}}$$

Standardní nejistota typu A pak je $u_A = s_m$

Standardní nejistota typu B - (u_B)

Příspěvky typu B mohou pocházet z následujících zdrojů:

- nejistoty při kalibraci použitého měřicího systému
- nelinearity systému
- krátkodobé stability (např. vliv samovyhřívání děličů)
- dlouhodobé stability
- závislosti na okolní teplotě

- elektromagnetické rušení
- nejistoty programu pro určení střední křivky atmosférických impulsů, zejména při použití programů pro digitální zapisovače

Příspěvky typu B mohou mít různé typy rozložení:

a) Příspěvky s normálním (Gaussovým) rozložením

- z kalibračních listů
- z údajů výrobce

Udaná je nejistota, včetně údajů ($k = 2$, $P = 95 \%$) a z nich se určí směrodatná odchylka S_{Bg}

Např. nejistota z kalibračního listu U_{KL} poskytne
$$S_{Bg} = \frac{U_{KL}}{2}$$

Celková směrodatná odchylka pro n příspěvků s normálním rozložením

$$s_{Bg} = \sqrt{s_{Bg1}^2 + s_{Bg2}^2 + \dots + s_{Bgn}^2}$$

b) Příspěvky s **rovnoměrným rozložením**

V případech, kdy lze provést pouze odhad horní a dolní hranice měřené veličiny

- rozlišovací schopnost přístroje
- kolísání konstanty přístroje

Toto rozložení je charakterizováno:

- poloviční šířkou pásma $a = 1/2 \cdot (a_h - a_d)$

- střední hodnotou $a_m = 1/2 \cdot (a_h + a_d)$

- směrodatnou odchylkou $s_{Br} = \frac{a}{\sqrt{3}}$

Uvažujeme-li opět n vzájemně nezávislých příspěvků, pak celková směrodatná odchylka

$$s_{Br} = \sqrt{\frac{a_1^2}{3} + \frac{a_2^2}{3} + \dots + \frac{a_n^2}{3}}$$

Směrodatná odchylka všech příspěvků typu B

$$s_B = \sqrt{s_{Bg}^2 + s_{Br}^2 + \dots}$$

Kombinovaná standardní nejistota vznikne sloučením u_A a u_B

$$u = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = \sqrt{s_m^2 + s_B^2}$$

Pak **rozšířená kombinovaná nejistota měření**

$$U = k_U \cdot u$$

Příklad: Kalibrace 2 MV impulsního měřicího systému.

System pro měření impulsního napětí 2 MV (MS) byl kalibrován pomocí 400 kV referenčního systému (RMS) s nejistotou 0,5 %.

Amplituda RMS V1 (kV)	Amplituda MS V2 (V)	Konstanta MS V1 / V2
270,4	136,0	1988,2
⋮	⋮	⋮
270,8	136,9	1978,1
Střední hodnota		1978,5
Směrodatná odchylka	$s_e = 7,69$	0,389 %

**Experimentální směrodatná
odchylka průměru**

$$s_m = \frac{0,389}{\sqrt{10}} = 0,12 \%$$

Příspěvky nejistoty typu B pro amplitudu:

Zdroj nejistoty	Hodnota (%)	Směrodatná odchylka (%)	Rozptyl (%) ²
Nejistota kal. RMS	$U_1 = 0,5$	$s_{Bg1} = 0,5/2 = 0,25$	$s_{Bg1}^2 = 0,0625$
Nejistota kal. zapis.	$U_2 = 0,6$	$s_{Bg2} = 0,6/2 = 0,3$	$s_{Bg2}^2 = 0,09$
Nelinearita děliče	$a_1 = 0,5$	$s_{a1} = 0,5/(3)^{0,5} = 0,2887$	$s_{a1}^2 = 0,0833$
Vliv vzdálenosti	$a_2 = 0,2$	$s_{a2} = 0,2/(3)^{0,5} = 0,1155$	$s_{a2}^2 = 0,0133$
Změny doby čela	$a_3 = 0,5$	$s_{a3} = 0,5/(3)^{0,5} = 0,2887$	$s_{a3}^2 = 0,0833$
Rušivé napětí	$a_4 = 0,3$	$s_{a4} = 0,3/(3)^{0,5} = 0,1732$	$s_{a4}^2 = 0,03$
Vliv teploty	$a_5 = 0,7$	$s_{a5} = 0,7/(3)^{0,5} = 0,4041$	$s_{a5}^2 = 0,1633$
		Součet rozptylů	$\sum s^2 = 0,5257$

Výsledná směrodatná odchylka typu B

$$s_B = \sqrt{0,5257} = 0,73 \%$$

Kombinovaná standardní nejistota

$$u = \sqrt{s_m^2 + s_B^2} = \sqrt{0,12^2 + 0,73^2} = 0,74 \%$$

Rozšířená kombinovaná nejistota měření

$$U = k_U \cdot u = 2 \cdot 0,74 = 1,5 \%$$

Přiřazená konstanta impulsního měřicího systému se pak vyjádří

$$\mathbf{1979 \pm 29,7 \quad \text{pro } P = 95 \%$$

Rozšířená nejistota měření je $\pm 1,5 \%$. Nejistota je součinem standardní nejistoty měření a koeficientu rozšíření $k=2$, což pro normální rozdělení odpovídá pravděpodobnosti pokrytí 95% . Standardní nejistota měření byla určena v souladu s dokumentem EAL-R2.

Použitá literatura:

- ČSN EN 600 60-2, Změna A11: 12/1999.
- EAL-R2: Metodika vyjadřování nejistot měření při kalibracích, ČNI, 5/1996.
- ISO/TAG 4/WG3: Guide to the expression of uncertainty in measurement, 1993, Ženeva.

Mezilaboratorní porovnávací zkoušky (MPZ)

- hlavní forma zvyšování odborné úrovně zkušeben a prostředkem ke zvýšení jakosti měření.

Cílem MPZ není vyslovit soud, ale buď potvrdit měřicí schopnost zkušebny, nebo dát podklad k nápravným opatřením.

1. Metoda založená na referenční hodnotě

Hodnotícím kritériem je odchylka od referenční hodnoty.

Výpočet tohoto kritéria se provádí podle EAL - P7:

$$E_n = \frac{x_{lab} - x_{ref}}{\sqrt{U_{lab}^2 + U_{ref}^2}}$$

Tato metoda vyhodnocení je zejména používána při tzv. klíčových porovnáních a dále tam, kde je k dispozici pilotní laboratoř s důvěryhodnou referenční hodnotou a dostatečně nízkou nejistotou měření.

2. Metoda za použití Grubbsova testu (ČSN ISO 5725-1 až 6)

Hodí se v případech, kdy se měření porovnávané veličiny provádí opakovaně a je k dispozici směrodatná odchylka.

Základem metody je přijatá referenční hodnota.

U změřených dat se aplikují statistické postupy (provede se Cochranův a Grubbsův test) a podle Mandelových statistik se určí vybočující a odlehlé hodnoty.

Po vyloučení odlehlých dat se stanoví dosahovaná hranice opakovatelnosti a reprodukovatelnosti a opravená referenční hodnota.

Z těchto parametrů se určí vychýlenost zkušeben, která se porovnává s kritickou hodnotou stanovenou z dlouhodobých výsledků měření.

Při vyhodnocení v diagnostice se tato metoda může použít v případech, kdy se při měření získá série výsledků a porovnání se opakuje častěji. Např. v diagnostice olejů.

V porovnání s dalšími metodami je méně citlivá na stanovení „odlehlých“ výsledků.

3. Metoda za použití χ^2 testu

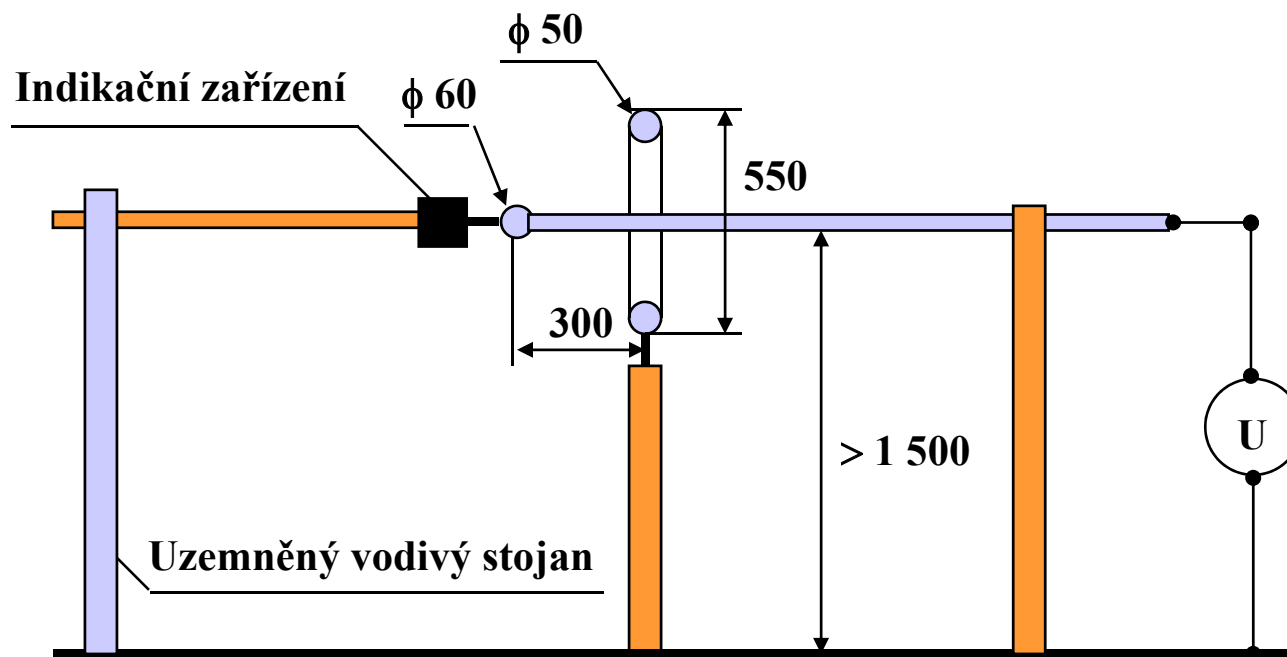
Tento postup je určen pro případy, kdy je k dispozici jedna změřená hodnota a je udaná nejistota měření.

Opět se jedná o statistické zpracování změřených dat jako u předchozí metody. Vypočte se srovnávací referenční hodnota a dále její nejistota.

Za použití χ^2 testu se určí odlehlé výsledky, ty se pak odstraní a vypočte se nová referenční hodnota.

Tato metoda je vhodná pro vyhodnocování měření celé řady diagnostických veličin, a to změřených akreditovanými zkušebnami, případně zkušebnami s věrohodně určenými nejistotami měření.

Zkušební uspořádání



V okolním prostoru do min 1 m žádné vodivé ani uzemněné předměty!

Atmosférické podmínky:

Teplota:	15 °C až 35 °C
Tlak:	86 kPa až 106 kPa
Relativní vlhkost:	45 % až 75 %

Metodika měření:

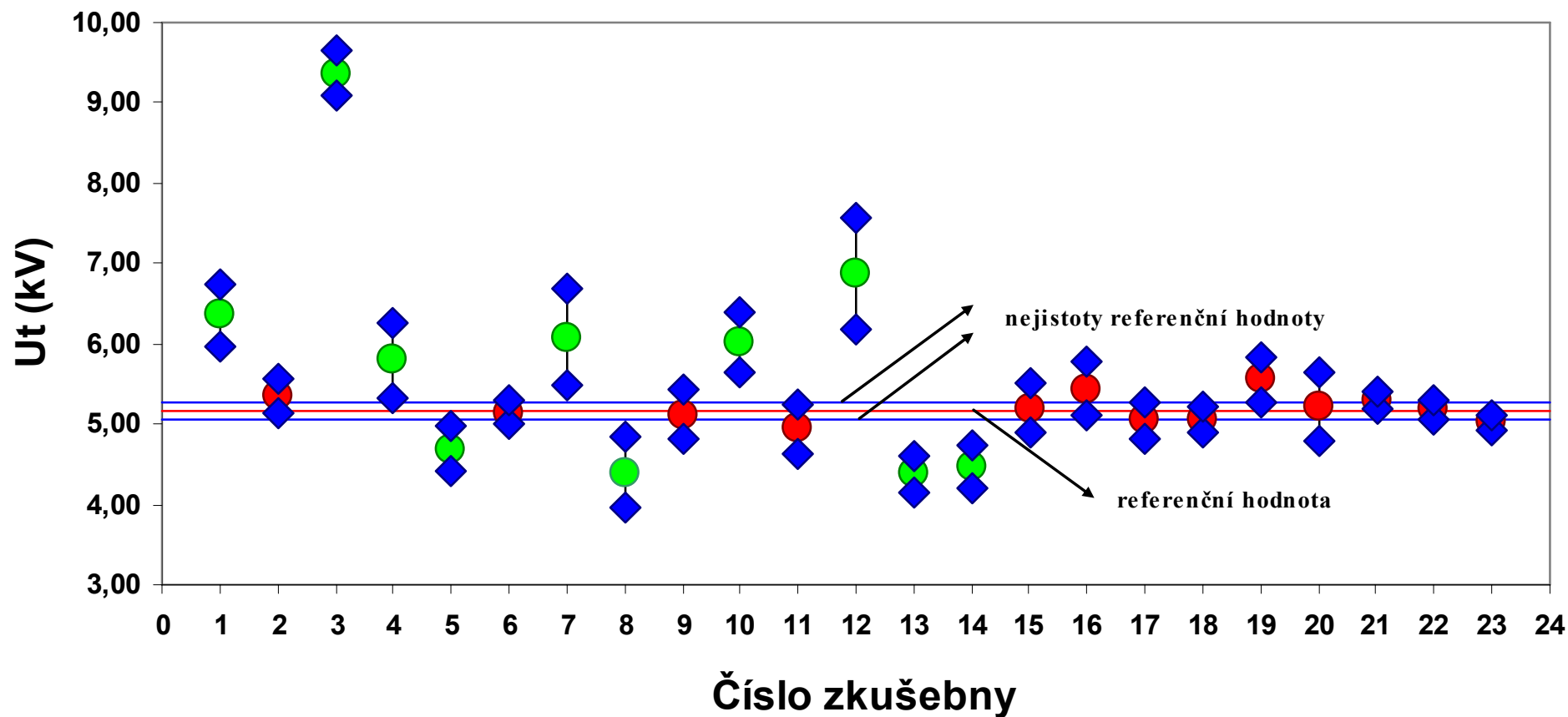
Na každé zkoušečce se měřilo prahové napětí podle kapitoly 5.9 PNE 35 9700:2003.

Napětí se na zkušební elektrodě zvyšovalo do objevení signálu „přítomnost napětí“. Měření se opakovalo 5x.

Vyhodnocení MPZ_ZN

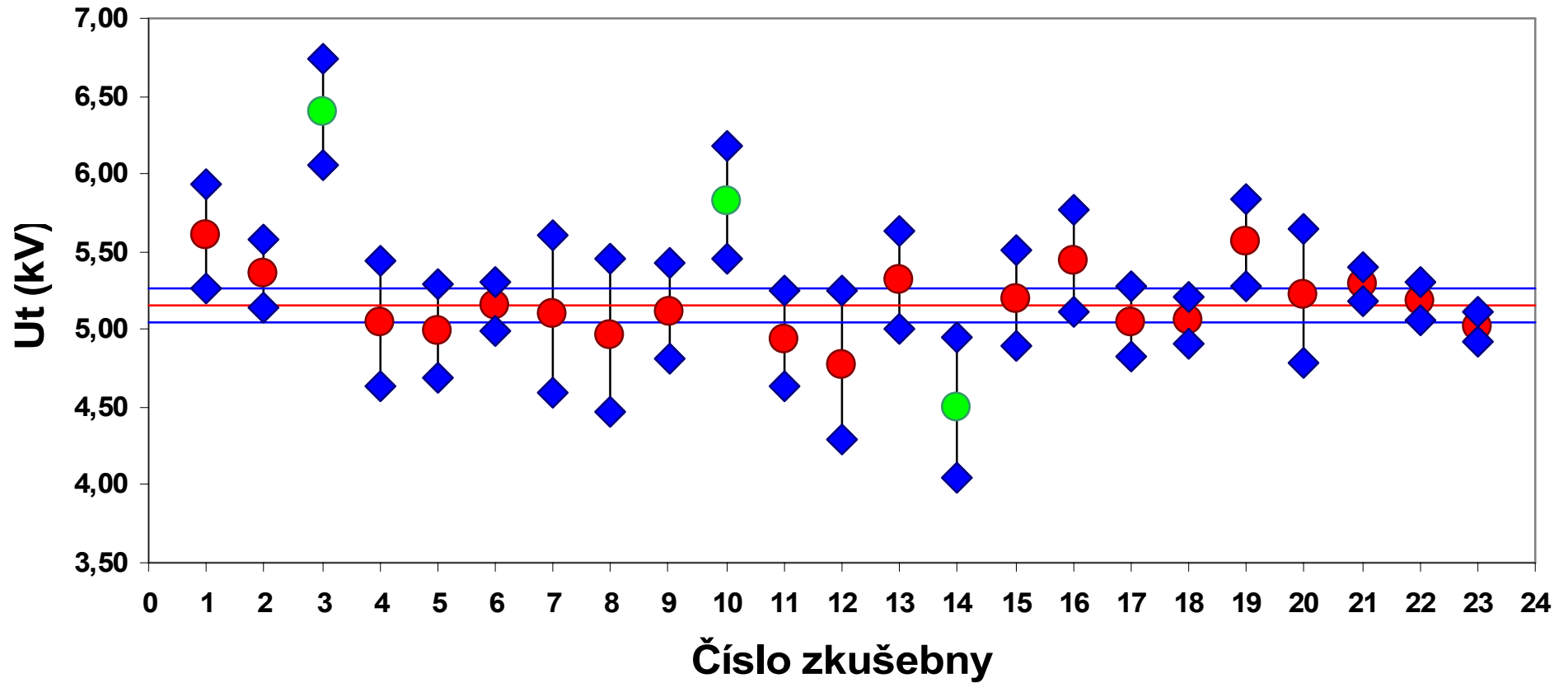
(podle průměru tří zkušeben)

Zkoušečka napětí 25 kV



Zkoušečka napětí 25 kV

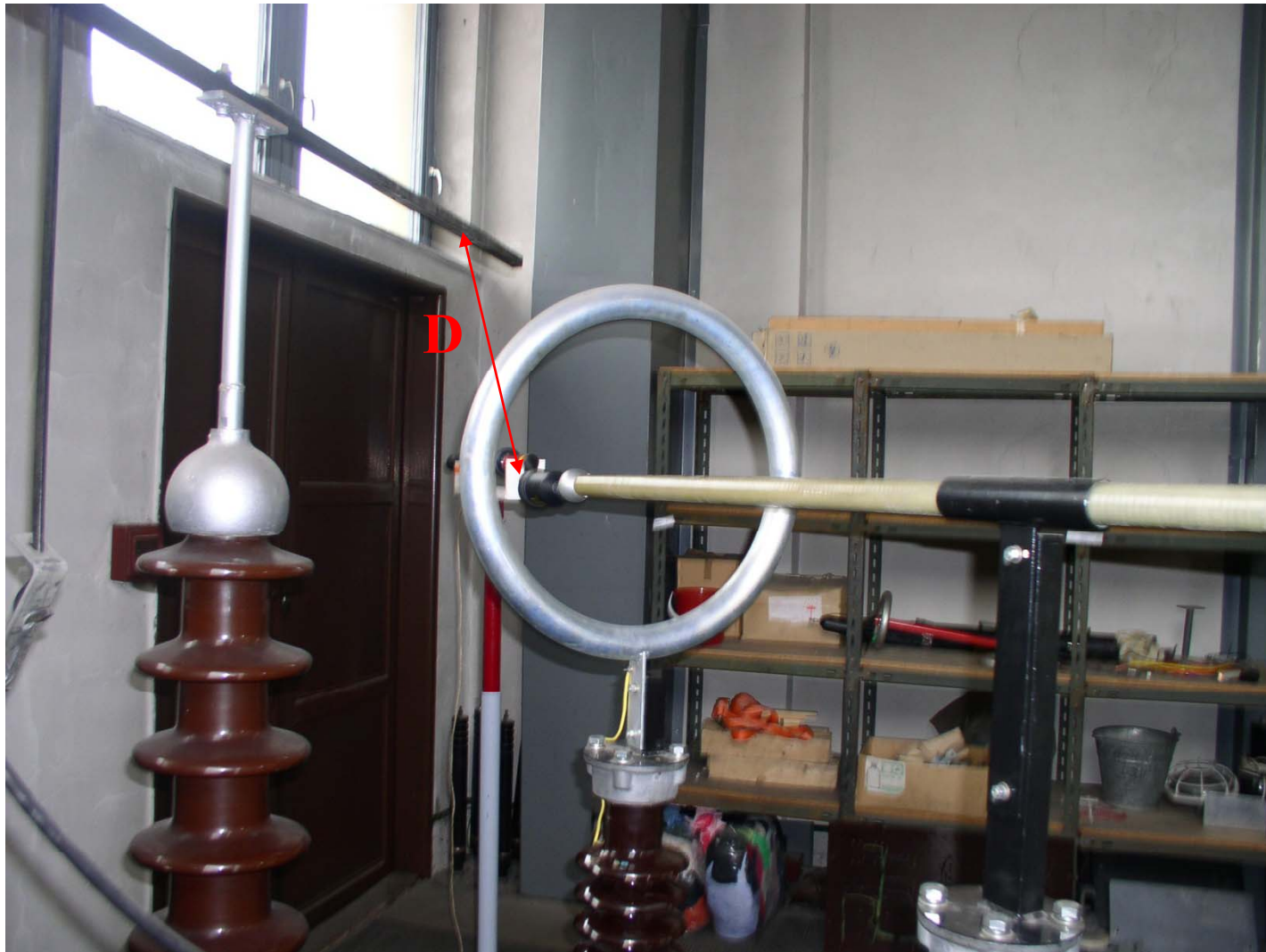
(po opravě u č. 1, 3, 4, 5, 7, 8, 10, 12, 13, 14)





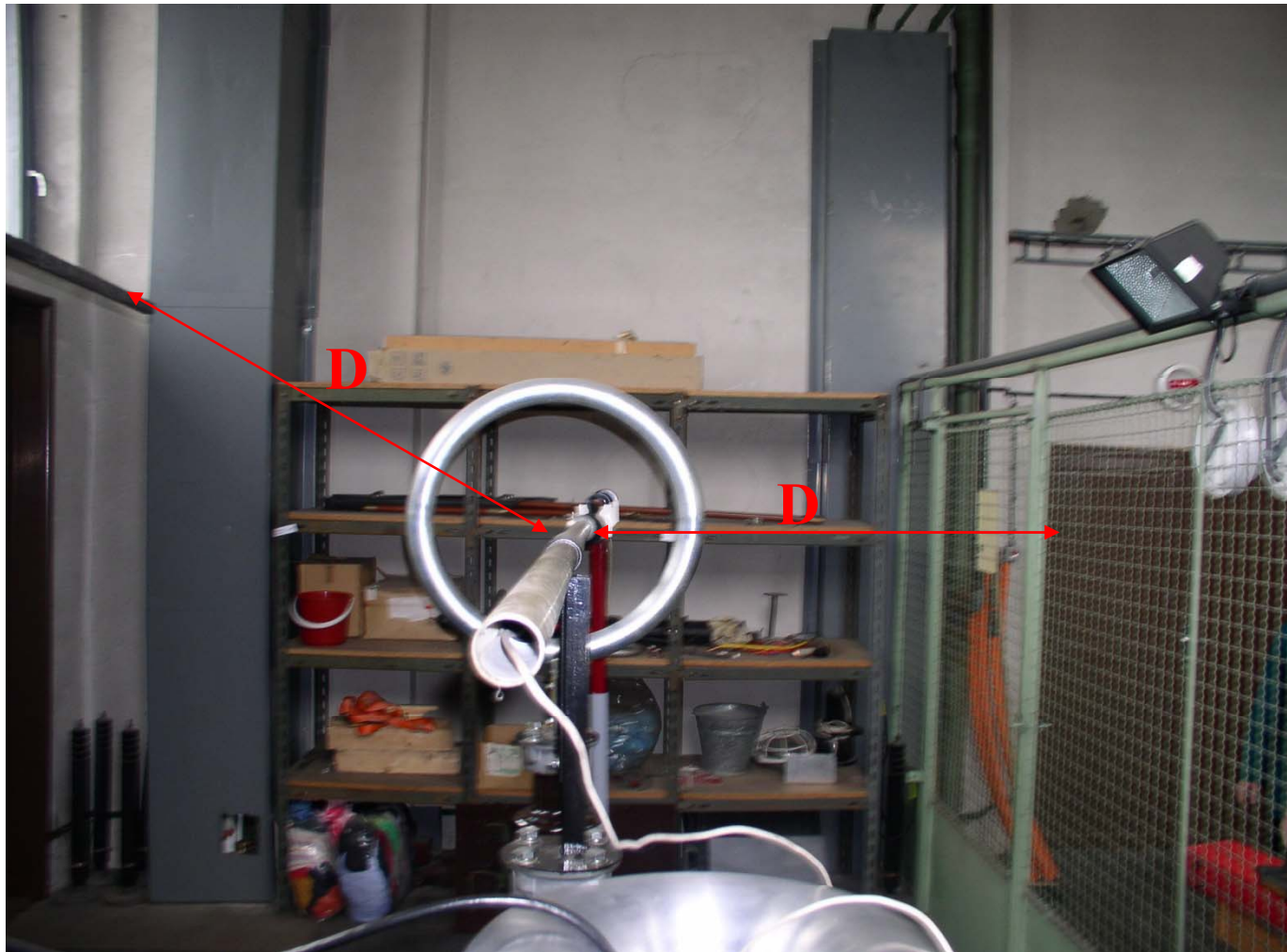
$D = 730 \text{ mm}$

$U_t = 7,9 \text{ kV}$



$D = 520 \text{ mm}$

$U_t = 10,6 \text{ kV}$



$D = 1\,300\text{ mm}$

$U_t = 8,92\text{ kV}$