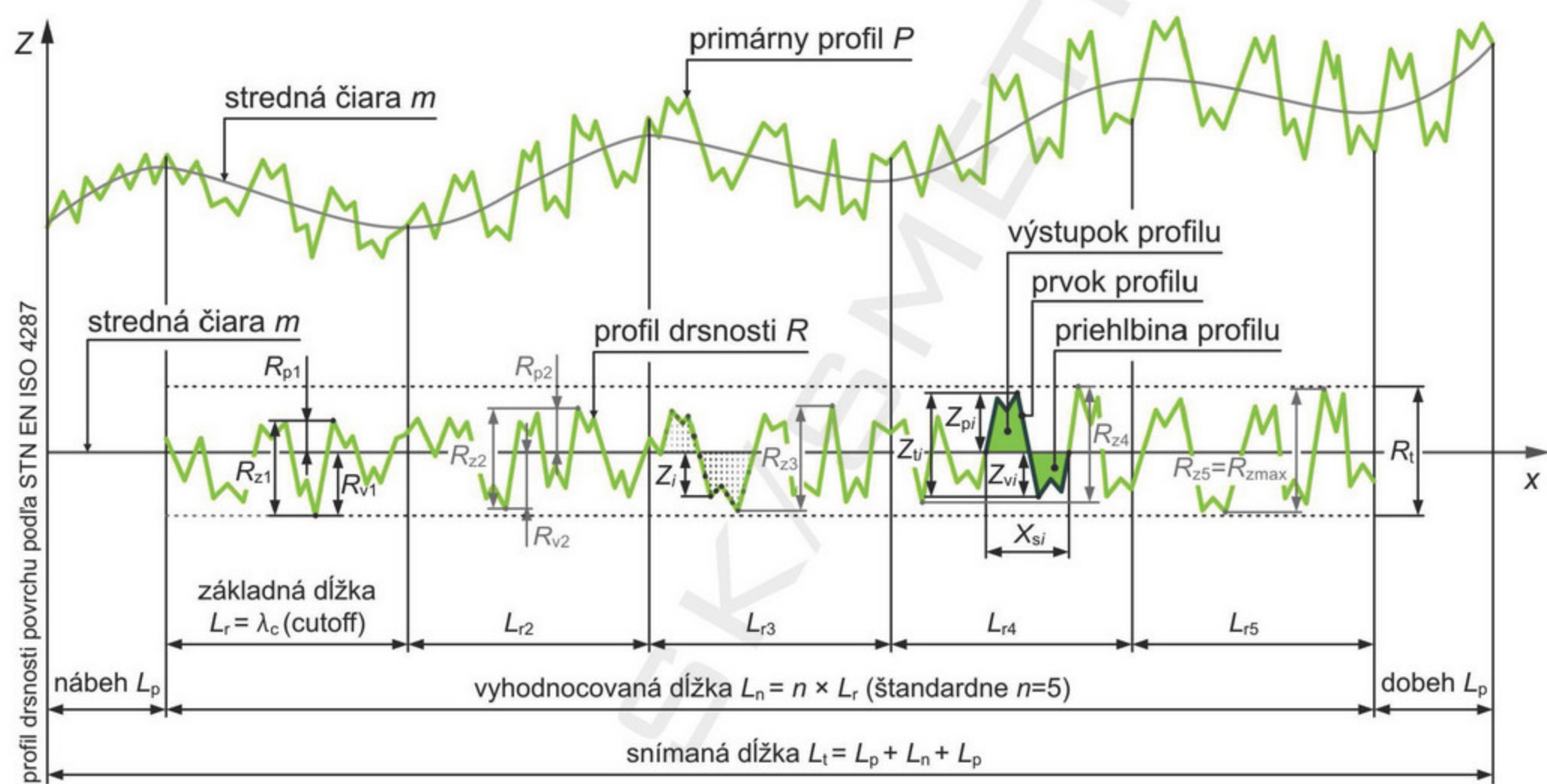


**Drsnosť povrchu** je definovaná ako súhrn nerovností povrchu s relatívne malými vzdialenosťami vznikajúcich ako dôsledok použitej technológie výroby (STN EN ISO 4287 [49]).

V praxi sa vo veľkej miere drsnosť povrchu kontroluje dotykovým spôsobom profilovou metódou. Snímaný profil, nazývaný primárny profil, obsahuje okrem zložiek drsnosti aj ďalšie zložky (vlnitosť a tvar), ktoré je pre vyhodnotenie drsnosti potrebné eliminovať filtrovaním. Po odfiltrovaní sa získa profil drsnosti (Obr.10.1).

Z merania dotykovou metódou sa nie celá snímaná dĺžka  $L_t$  vyhodnocuje. Na začiatku a konci snímania dochádza k nežiaducim rušeniam spôsobeným rozbehom a dobehom snímača. Odstránením týchto častí profilu sa získava vyhodnocovaná dĺžka  $L_n$ . Vyhodnocovaná dĺžka sa delí na niekoľko základných dĺžok  $L_r$  (zvyčajne 1 až 5). Stredná čiara profilu  $m$  rozdeľuje skutočný profil tak, že v rozsahu základnej dĺžky je súčet štvorcov odchýlok profilu od tejto čiary minimálny. V rámci každej základnej dĺžky sa samostatne vyhodnocujú charakteristiky v pozdĺžnom a priečnom smere. Najčastejšie vyhodnocovanými parametrami drsnosti povrchu sú stredná aritmetická odchýlka povrchu  $R_a$  (najčastejšie predpisovaná na výkrese), aritmetický priemer najväčších výšok profilu  $R_z$  a maximálna hodnota najväčších výšok profilu  $R_{zmax}$ .



Parametre drsnosti povrchu vzťahované na

prvok profilu	základnú dĺžku	vyhodnocovanú dĺžku
$Z_{pi}$ - výška výstupku profilu	$R_{pi}$ - výška najväčšieho výstupku profilu	$R_{zmax}$ - maximálna hodnota najväčších výšok profilu
$Z_{vi}$ - hĺbka priehlbiny profilu	$R_{vi}$ - hĺbka najväčšej priehlbiny profilu	$R_z$ - aritmetický priemer najväčších výšok profilu
$Z_{tj}$ - výška prvku profilu	$R_{zj}$ - najväčšia výška profilu	$R_t$ - najväčšia výška profilu
$X_{si}$ - šírka prvku profilu	$R_c$ - stredná výška prvkov profilu	
	$R_a$ - stredná aritmetická odchýlka profilu	
	$R_q$ - stredná kvadratická odchýlka profilu	
	$R_{sm}$ - stredná šírka prvkov profilu	

Obr.10.1 Profil a základné parametre drsnosti povrchu

Pre jednotlivé parametre drsnosti povrchu definované na Obr.10.1 platia vzťahy

$$Z_{tj} = Z_{pi} - Z_{vi} \quad (10.1)$$

$$R_{pi} = \max\{Z_i\} \quad (10.2)$$

$$R_{vi} = \min\{Z_i\} \quad (10.3)$$

$$R_{zi} = R_{pi} - R_{vi} \quad (10.4)$$

$$R_{zmax} = \max\{R_{zi}\} \quad (10.5)$$

$$R_t = \max\{R_{pi}\} - \min\{R_{vi}\} \quad (10.6)$$

$$R_a = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n |Z_i| \quad (10.7)$$

$$R_z = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n R_{zi} \quad (10.8)$$

$$R_c = \frac{1}{m} \cdot \sum_{i=1}^m Z_{ti} \quad (10.9)$$

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n Z_i^2} \quad (10.10)$$

$$R_{sm} = \frac{1}{m} \cdot \sum_{i=1}^m X_{si} \quad (10.11)$$

## ÚLOHA Č.10

### DOTYKOVÉ A BEZDOTYKOVÉ METÓDY MERANIA DRSNOSTI POVRCHU

#### Kontrola drsnosti povrchu

Pri kontrole drsnosti povrchu sa využívajú metódy, ktoré možno rozdeliť na metódy kvalitatívne a kvantitatívne.

Metódy kvalitatívne sú založené na subjektívnom porovnávaní kontrolovaného povrchu s povrchom vzorovým, ktorého drsnosť je známa. Porovnávať sa môžu iba povrchy opracované rovnakým alebo aspoň podobným spôsobom pričom výsledkom kontroly je zistenie, že kontrolovaná plocha je hladšia alebo drsnejšia ako vzorová, resp. že jej drsnosť je v rozmedzí dvoch po sebe nasledujúcich vzoriek (napr. 3,2  $\mu\text{m}$  a 6,3  $\mu\text{m}$ ). Na porovnávanie sa využívajú vzorkovnice drsnosti povrchu (Obr.10.2). Sú to kazety zoradené do jednotlivých kolekcí obsahujúce vzorky (etalóny) obrobené rôznymi druhmi opracovania v rôznych stupňoch drsnosti. Porovnávanie sa vykonáva hmatom a zrakom, pričom hmat umožňuje presnejšie rozlíšenie dvoch drsností. Pri kontrole zrakom je možné pomôcť si lupou alebo sa využívajú porovnávacie mikroskopy (napr. Comporex Meopta).



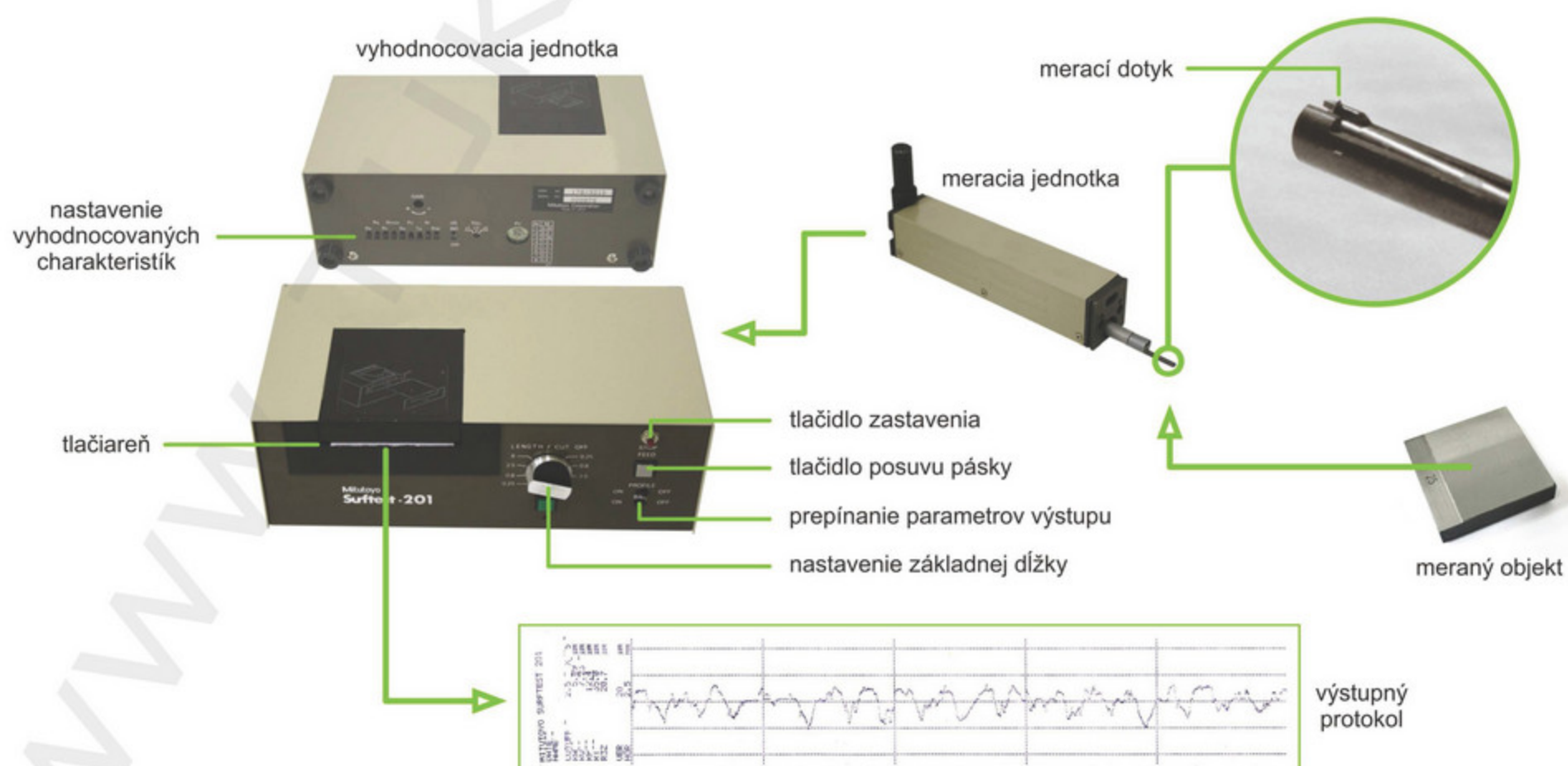
Obr.10.2 Vzorkovnice a jednotlivé vzorky drsnosti povrchu

Metódy kvantitatívne vyjadrujú drsnosť povrchu číselne pomocou niektorého z parametrov definovaných na Obr.10.1. Prístroje, ktorými sa tieto parametre zisťujú, sú založené buď na optickom (bezdotykovom) alebo dotykovom spôsobe merania.

Pri **optickom spôsobe** zisťovania drsnosti sa využíva napríklad princíp svetelného rezu a princíp interferenčný (podrobnejšie viď príslušné podkapitoly).

#### Dotyková meracia metóda

Pri dotykovom spôsobe zisťovania drsnosti sa po povrchu pohybuje merací dotyk s malým polomerom hrotu (zvyčajne 2  $\mu\text{m}$  až 10  $\mu\text{m}$ ), ktorý je súčasťou snímača založeného zvyčajne na princípe indukčnom alebo piezoelektrickom. Pohyb meracieho dotyku pozdĺž meraného povrchu je motoricky. Vychýľovanie meracieho dotyku vyvoláva zmenu elektrických veličín, ktoré sa zachytávajú a spracovávajú vo vyhodnocovacej jednotke. Tá následne vyhodnotí preddefinované parametre a výsledné hodnoty vypíše cez tlačiareň, displej alebo ich zasiela do počítača. Forma výstupu ako aj možnosť voľby vyhodnocovaných parametrov sú závislé na type a výbave profilomeru (Obr.10.3).

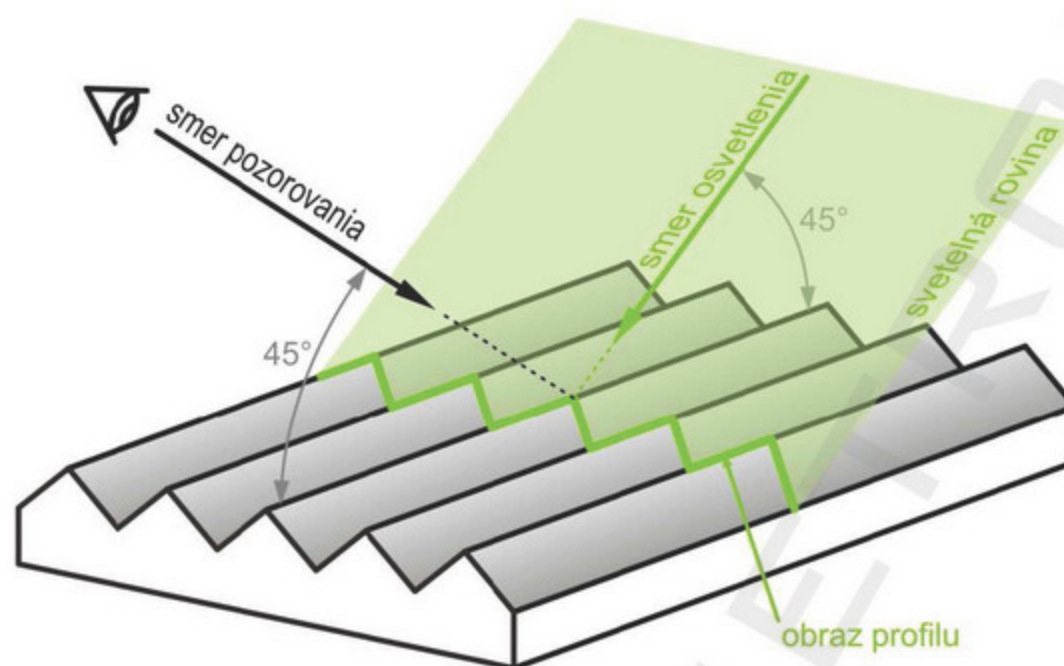


Obr.10.3 Dotykový spôsob merania drsnosti povrchu s využitím profilomeru

Pri určovaní drsnosti povrchu nejakej plochy je dôležitý smer zisťovania drsnosti. Ak nie je predpísaný tak pri obrábaní sa zisťuje priečna drsnosť t.j. kolmo na stopy po opracovaní, v prípade ak nie je možné určiť prevažujúci smer stôp tak sa meria v dvoch na seba kolmých smeroch a rozhoduje väčšia nameraná hodnota.

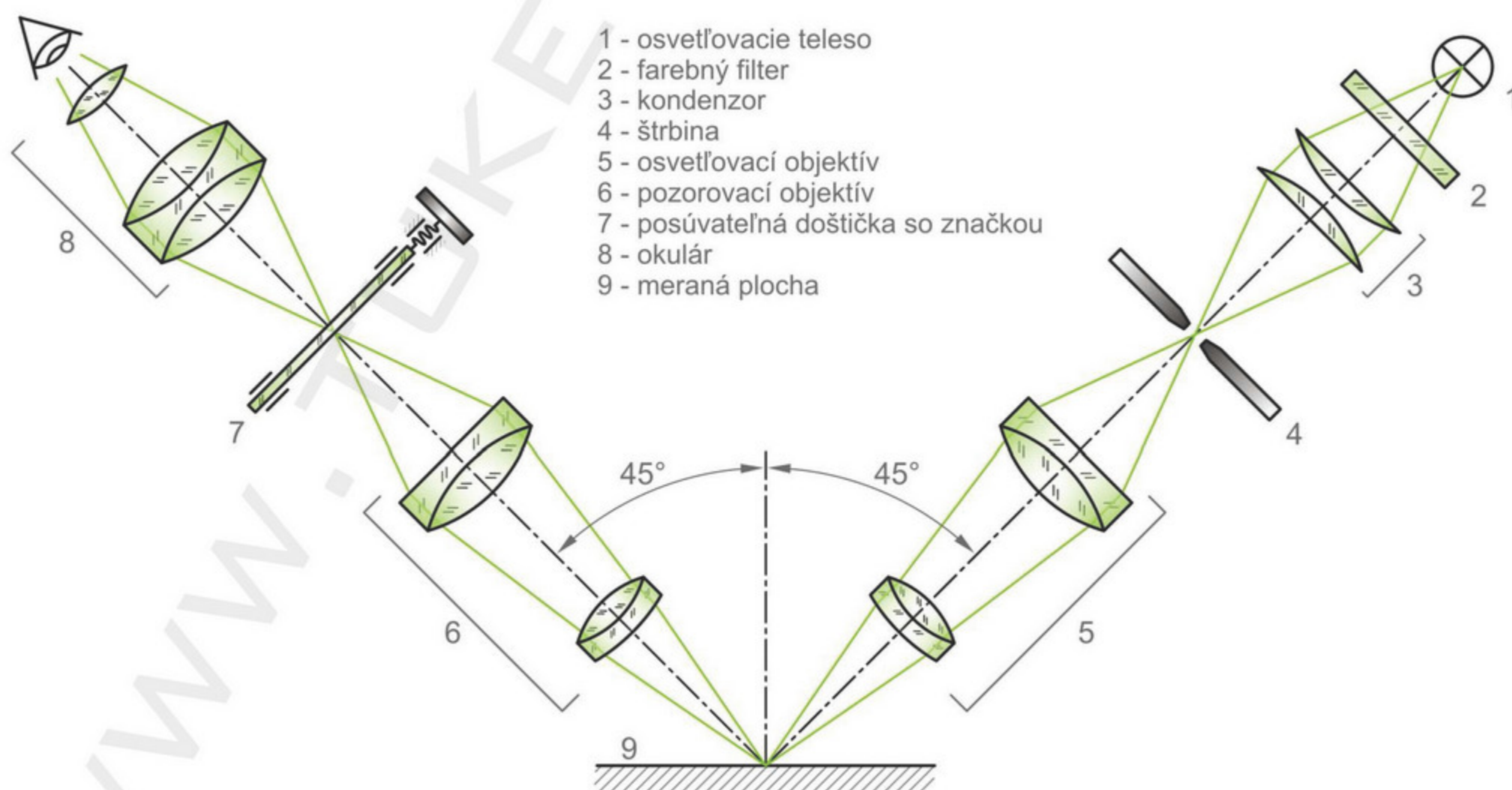
### Bezdotyková meracia metóda – Metóda svetelného rezu

Pri metóde svetelného rezu je rovnobežný zväzok svetelných lúčov obmedzený štrbinou do tvaru veľmi tenkej svetelnej roviny a je premietaný optickým systémom pod uhlom  $45^\circ$  na meraný povrch. Prienikom tejto roviny s nerovnosťami povrchu vznikne obraz profilu šikmého rezu nerovnosti plochy, ktorý má väčšinou tvar vlny v tmavom poli mikroskopického obrazu. Z obrysu ostrejšej strany tohto obrazu sa stanoví meraním pomocou okuláru hodnota parametra drsnosti (Obr.10.4).

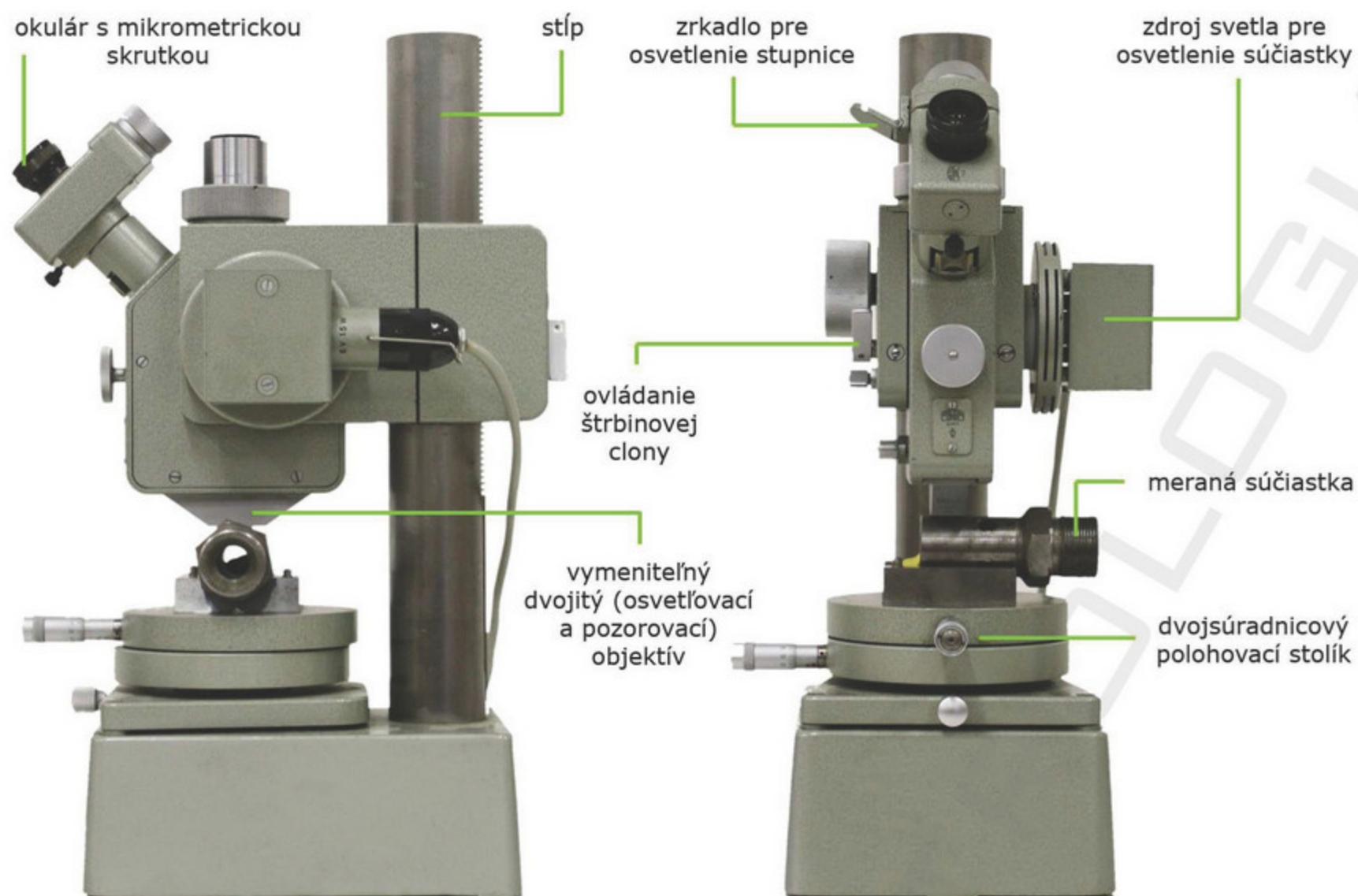


Obr.10.4 Princíp merania pri metóde svetelného rezu

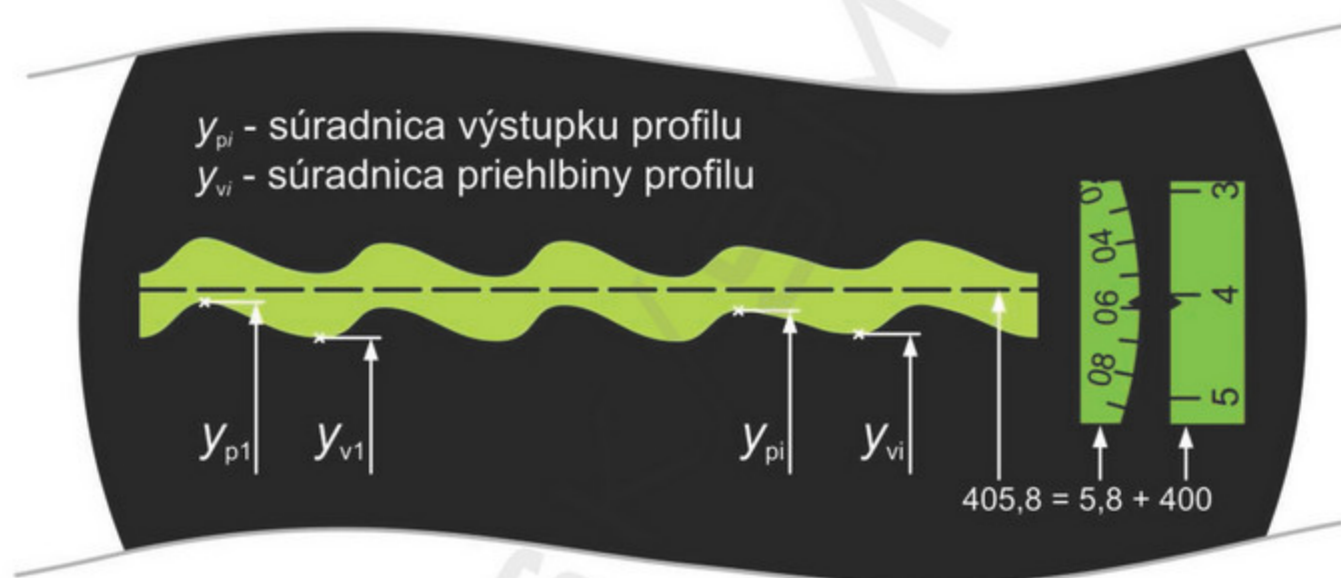
Na meranie drsnosti povrchu metódou svetelného rezu sa využíva prístroj, ktorého optická schéma je na Obr.10.5 a mechanické prevedenie na Obr.10.6. Na stípe masívneho stojana je výškovo a otočne prestavitelné rameno s osvetľovacím a pozorovacím mikroskopom, ktorých osi zvierajú  $90^\circ$ . Lúče vychádzajúce z osvetľovacieho telesa 1 prechádzajú farebným filtrom 2 a kondenzorom 3. Rovnobežný zväzok lúčov je obmedzený štrbinou 4 do tvaru veľmi tenkej svetelnej roviny a je premietaný sústavou šošoviek osvetľovacieho objektívu 5 pod uhlom  $45^\circ$  na meraný povrch. Prienikom svetelnej roviny s povrchom vzniká obraz profilu šikmého rezu nerovností plochy, ktorý sa pozoruje druhým mikroskopom 6, 7, 8 s rovnakými optickými vlastnosťami ako má osvetľovací mikroskop. V zornom poli meracieho okulára 7, 8 má svetelný rez tvar úzkeho zvlneného prúžku v tmavom poli (Obr.10.7). Optické zväčšenie mikroskopického obrazu zabezpečujú výmenné páry objektívov 5 a 6, ktoré sa volia na základe odhadu parametra drsnosti meraného povrchu pomocou vzorkovnice drsnosti (Tab.10.1).



Obr.10.5 Optická schéma mikroskopu pre svetelný rez



Obr.10.6 Prístroj na meranie drsnosti metódou svetelného rezu



Obr.10.7 Pohľad do okulára mikroskopu pre svetelný rez

Tab.10.1 Voľba vhodného zväčšenia a príslušné optické parametre

zväčšenie objektívu z	7×	14×	30×	60×
celkové zväčšenie z <sub>c</sub>	60×	120×	260×	520×
veľkosť zorného poľa d <sub>sv</sub> (mm)	2,5	1,3	0,6	0,3
optimálny merací rozsah R <sub>a</sub> (μm)	3,75 – 12,5	1,25 – 3,75	0,375 – 1,25	0,125 – 0,375
konštanta objektívu k (μm)	1,27	0,64	0,29	0,15

Pre najväčšiu výšku nerovnosti profilu na vyhodnocovanej dĺžke platí

$$R_t = [\max\{y_{pi}\} - \min\{y_{vi}\}] \cdot k \quad (10.12)$$

Pre výšku nerovnosti profilu z desiatich hodnôt platí

$$R_{(10)} = \frac{\sum_{i=1}^5 y_{pi(max)} - \sum_{i=1}^5 y_{vi(min)}}{5} \cdot k \quad (10.13)$$

Pre strednú aritmetickú odchýlku profilu platí približný vzťah

$$R_a \approx \frac{1}{4} \cdot R_{(10)} \quad (10.14)$$

Pre všetky spôsoby obrábania platí presnejší vzťah, z ktorého je možné  $R_a$  vyjadriť

$$\log R_{(10)} = 0,65 + 0,97 \cdot \log R_a \quad (10.15)$$

kde  $y_{pi}$  je súradnica výstupku profilu,

$y_{vi}$  je súradnica priehlbiny profilu,

$y_{pi(max)}$  je  $i$ -tá maximálna súradnica výstupku profilu,

$y_{vi(min)}$  je  $i$ -tá minimálna súradnica priehlbiny profilu,

$k$  je konštanta objektívu (z Tab.10.1 na základe odhadnutej drsnosti kontrolovaného povrchu).

Pre maximálnu dovolenú chybu prístroja platí

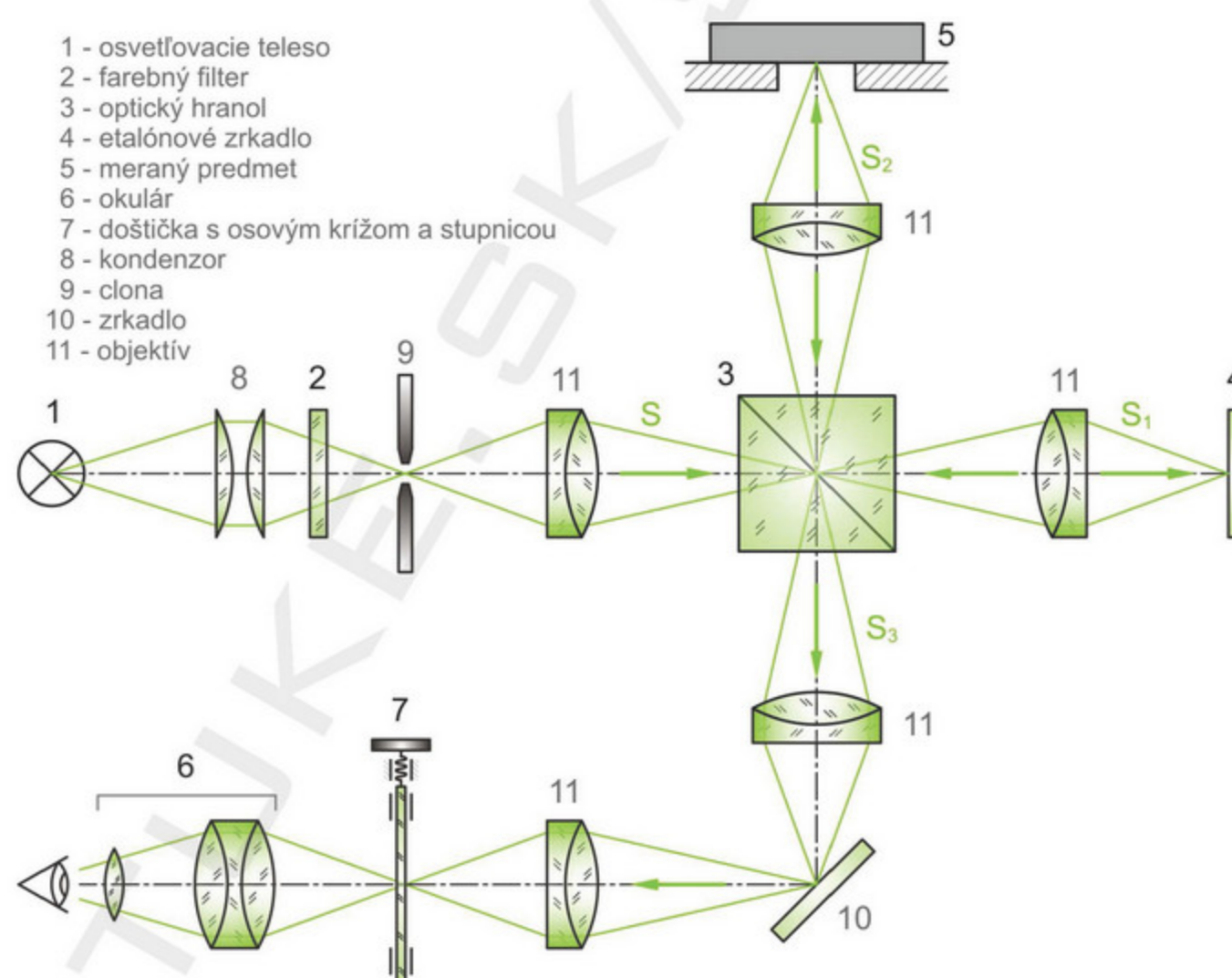
$$z_{max} = \pm(0,03 \cdot R_{(10)} + 0,07) \mu m \quad (10.16)$$

### **Bezdotyková meracia metóda – Interferenčná metóda merania drsnosti povrchu**

Interferenčná metóda sa využíva pri meraní drsnosti povrchu veľmi jemne obrobených plôch (brúsených, honovaných, superfinišovaných, lapovaných) do hodnoty  $R = 1 \mu m$ .

Princíp interferencie svetla spočíva v skladaní vlnení s rovnakou frekvenciou a konštantným fázovým posuvom (koherentné vlnenie), čo sa dosiahne využitím jedného zdroja, kedy sa svetlo rozdelí a opäť spojí. Interferencia sa v okulári javí ako súbor svetlých a tmavých kriviek. Označenie a názov interferencie pochádza od Thomasa Younga (1801).

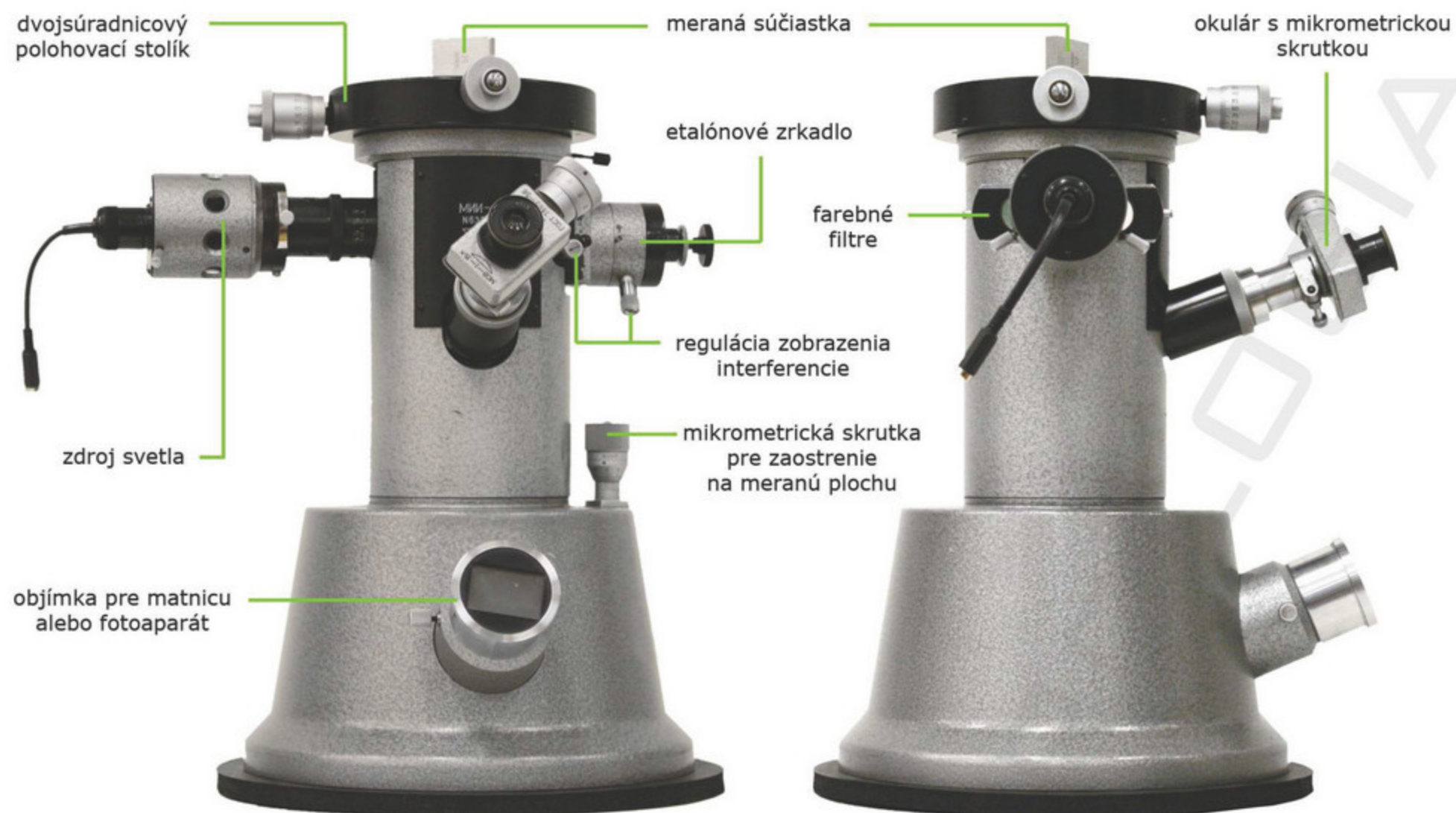
Optická schéma interferometra je na Obr.10.8. Svetelný lúč  $S$  vychádzajúci zo zdroja **1** a prechádzajúci farebným filtrom **2** je optickým hranolom s deliacou rovinou **3** rozdelený na dva lúče. Jeden lúč  $S_1$  je prepustený na etalónové zrkadlo **4** a druhý lúč  $S_2$  je usmernený na kontrolovaný povrch meraného predmetu **5**. Oba lúče sa odrážajú a vracajú sa späť do hranola kde sa spájajú do lúča  $S_3$  a sú usmernené do okulára **6**. Objektívy **11** zabezpečujú správne zaostrenie a zväčšenie pozorovaného interferenčného obrazu.



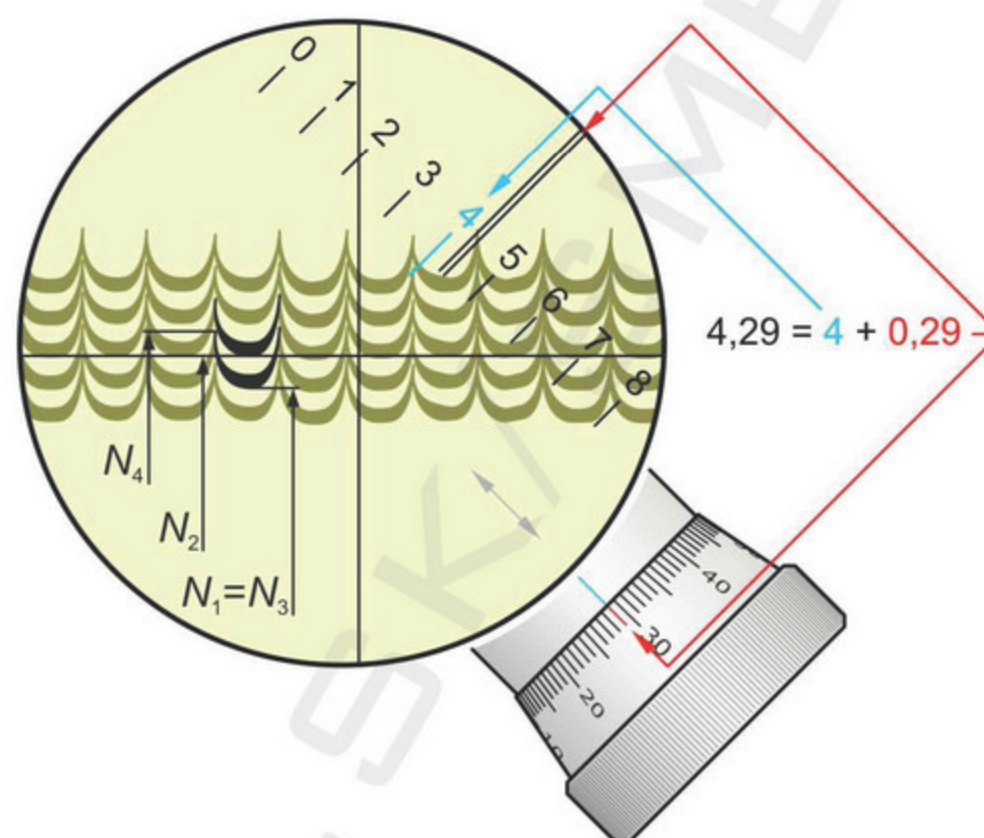
Obr.10.8 Optická schéma interferometra

Pri pozorovaní interferenčného obrazu sa pri ideálnej rovnej ploche zobrazujú rovnomerne rovnobežné pásiky. Ak sa na povrchu nachádza ryha prejaví sa to vychýlením pásika v tomto mieste. Vzdialenosť interferenčných pásikov zodpovedá polovici vlnovej dĺžky použitého svetla  $\lambda/2$ . Ak je teda známe vychýlenie pásika ako zlomok vzdialenosti pásikov, po vynásobení  $\lambda/2$  sa získa hodnota hĺbky ryhy.

Pri meraní na mikrointerferometri (Obr.10.9) sa pre zistenie hodnoty vychýlenia interferenčného pásika využíva okulár s mikrometrickou skrutkou. V zornom poli okulára sa nachádza pohyblivý nitkový kríž a pevná stupnica. Pomocou mikrometrickej skrutky sa vhodná čiara nitkového kríža postupne nastavuje do polohy pre odčítanie jednotlivých hodnôt slúžiacich pre výpočet parametra drsnosti. Pohľad do okulára a spôsob odčítania hodnoty je vidieť na Obr.10.10.



Obr.10.9 Mikrointerferometer



Obr.10.10 Pohľad do okulára mikrointerferometra

Pre veličinu drsnosti povrchu  $i$ -tého merania platí

$$R_i = \frac{\lambda}{2} \cdot \frac{N_3 - N_4}{N_1 - N_2} \cdot m \quad (\mu\text{m}) \quad (10.17)$$

kde  $\lambda$  je vlnová dĺžka svetla použitého pri meraní ( $\lambda = 0,546 \mu\text{m}$ ),

$N_1$  je prvé odčítanie pri meraní intervalu medzi pásikmi,

$N_2$  je druhé odčítanie pri meraní intervalu medzi pásikmi,

$N_3$  je prvé odčítanie pri meraní deformácie pásika,

$N_4$  je druhé odčítanie pri meraní deformácie pásika,

$m$  je počet intervalov medzi pásikmi použitými na odčítanie.

Pre veličinu drsnosti kontrolovaného povrchu platí

$$R = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n R_i \quad (10.18)$$

kde  $n$  je počet meraní.