

**Filozofická fakulta Univerzity Palackého**

**Analýza vybraných kapitol amatérského  
překladu Uživatelské příručky ISO 10110  
(Bakalářská práce)**

2015

Mgr. Ondřej Žůrek

**Filozofická fakulta Univerzity Palackého**

**Katedra anglistiky a amerikanistiky**

**Analýza vybraných kapitol amatérského překladu  
Uživatelské příručky ISO 10110**

**The analysis of selected chapters from the ISO  
10110 User's Guide Amateurish Translation**

(bakalářská práce)

Autor: Mgr. Ondřej Žůrek (Angličtina se zaměřením na tlumočení a překlad)  
Vedoucí práce: Mgr. Michal Kubánek

Olomouc 2015

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně a uvedl jsem úplný seznam použité a citované literatury.

V Olomouci dne 7. 12. 2015

.....  
*vlastnoruční podpis*

*Děkuji Mgr. Michalu Kubánkovi za odborné vedení při zpracování mé bakalářské práce a za užitečné rady, které mi v průběhu psaní poskytl. Dále chci poděkovat RNDr. Mgr. Ladislavu Stankemu za poskytnutí jeho amatérského překladu a svolení k jeho použití pro tuto bakalářskou práci.*

## **Abecední seznam zkratk**

CJ – cílový jazyk

CT – cílový text

VJ – výchozí jazyk

VŘ – vlastní řešení překladu

VT – výchozí text

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>7</b>
<b>1 TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>10</b>
<b>1.1 Odborný text a jeho specifika</b> .....	<b>10</b>
1.1.1 Funkční styl odborný a jeho dělení .....	11
<b>1.2 Překlad odborného textu</b> .....	<b>12</b>
<b>1.3 Typografické rozdíly mezi českým a anglickým jazykem</b> .....	<b>13</b>
<b>1.4 Odborná terminologie</b> .....	<b>14</b>
<b>1.5 Překladačský proces</b> .....	<b>17</b>
<b>1.6 Překladačské kompetence</b> .....	<b>19</b>
1.6.1 Anthony Pym.....	19
1.6.2 Skupina PACTE.....	20
1.6.3 Yves Gambier .....	23
1.6.3.1 Kompetence pro poskytování překladačských služeb.....	23
1.6.3.2 Jazykové kompetence.....	24
1.6.3.3 Interkulturní kompetence.....	24
1.6.3.4 Kompetence získávání informací, tematické a technologické kompetence .....	25
<b>1.7 Účel CT a překladačské kompetence autora CT</b> .....	<b>25</b>
<b>1.8 Teorie překladačské analýzy</b> .....	<b>27</b>
<b>1.9 Analýza výchozího textu</b> .....	<b>28</b>
1.9.1 Vnětextové faktory.....	29
1.9.1.1 Záměr autora a funkce textu .....	29
1.9.1.2 Autor textu .....	29
1.9.1.3 Příjemce textu.....	30
1.9.2 Vnitrotextové faktory.....	30
1.9.2.1 Výstavba textu .....	30
1.9.2.2 Žánrově stylistická charakteristika.....	31
1.9.2.3 Lexikální rovina textu.....	31
1.9.2.4 Syntaktická rovina.....	31
<b>2 PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>34</b>
<b>2.1 Textová rovina</b> .....	<b>34</b>
2.1.1 Koherence textu .....	34
2.1.2 Koheze textu .....	34
2.1.3 Funkční větná perspektiva .....	36
<b>2.2 Morfologicko-syntaktická rovina</b> .....	<b>37</b>
2.2.1 Pasivní konstrukce.....	38
2.2.2 Infinitivní vazby .....	39
2.2.3 Gerundium .....	39

2.2.4	Hranice větných celků .....	40
<b>2.3</b>	<b>Lexikální rovina .....</b>	<b>42</b>
2.3.1	Všeobecná slovní zásoba a obecné termíny, posun ve významu .....	42
2.3.2	Odborné termíny.....	44
2.3.2.1	Derivace .....	44
2.3.2.2	Výpůjčky.....	45
2.3.2.3	Doslovný překlad .....	46
<b>2.4</b>	<b>Převod symbolů, vzorců a grafických prvků.....</b>	<b>47</b>
<b>3</b>	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>49</b>
<b>4</b>	<b>BIBLIOGRAFIE .....</b>	<b>51</b>
<b>5</b>	<b>PŘÍLOHA 1 – VÝCHOZÍ TEXT .....</b>	<b>55</b>
<b>6</b>	<b>PŘÍLOHA 2 – CÍLOVÝ TEXT .....</b>	<b>78</b>
	<b>ANOTACE .....</b>	<b>108</b>

## ÚVOD

Bakalářská práce se věnuje analýze amatérského překladu vybraných kapitol z Uživatelské příručky pro normu ISO 10110 Optika a fotonika – Příprava výkresů optických prvků a sestav, která se zabývá optikou a optickými nástroji. Tento překlad byl vytvořen pro osobní účely optické dílny Společné laboratoře optiky Univerzity Palackého a Fyzikálního ústavu AV ČR.

Předmětem analýzy jsou jazykové roviny výchozího (anglického) a cílového (českého) textu, a to především rovina gramatická, lexikální, úroveň správnosti a přesnosti terminologie, vzorců a symbolů a převodu grafických prvků s vysvětlivkami. Srovnání těchto jazykových rovin má následně za úkol zjistit rozdíly ve kvalitě překladu a zhodnotit, zda může překlad odborníka v dané oblasti, který však není profesionálním překladatelem, dosahovat kvalit profesionálního překladu. Součástí práce je i překladatelský komentář s návrhy změn.

Smyslem teoretické části práce je především vymezení pojmy odborný text a technický překlad, jelikož oba tyto texty s sebou nesou specifické lexikální a gramatické rysy, které se v mnohém liší od textu a překladu uměleckého. Podle Hrdličky je hlavním úkolem odborného textu vystihnout významovou vrstvu, což ale není vždy možné, a to z toho důvodu, že ani samotná odborná sdělení nepřichází ve formě mnoha po sobě jdoucích termínů, ale slova často vystupují i v neterminologických významech. (Hrdlička 2000, s. 54). Tuto informaci je třeba následně zohlednit při vypracovávání technického překladu.

Technickým překladem je myšlen pouze ten překlad, jenž se vztahuje k technickým textům. Mezi lidmi panuje přesvědčení, že jakmile se nejedná o text umělecký a zároveň se v něm vyskytuje specifická terminologie, můžeme mluvit o textu technickém. Proto je při překladu nutné rozlišovat mezi technickým a specializovaným překladem, nebo ještě lépe mezi technickým, vědeckým a specializovaným (jelikož vědecký a technický bývají často zaměňovány anebo spojovány jako totožné). Naproti tomu terminologie samotná ještě nemusí nutně značit odborný text. Newmark ve své knize *A Textbook of Translation* o technickém překladu tvrdí, že „*se od ostatních forem překladu liší především užitím specifické terminologie, ačkoliv sama terminologie tvoří pouhých 5 - 10 %*



*celého textu.*<sup>1</sup> (1988, s. 151). Toto zmiňuje také Byrne, který navíc dodává, že ačkoliv je technický překlad z hlediska literárního víceméně chudý, tak výběr slov a způsob konstrukce vět je v technickém překladu stejně důležitý, ne-li důležitější než v odborném překladu. Důvod je podle něj prostý – použitá slova a věty jsou tam za konkrétním účelem, a nikoliv z uměleckých či estetických důvodů. (Byrne 2006, s. 4). Na druhou stranu musíme vzít v potaz i rozdílnost mnoha jazykových a mimojazykových faktorů, a to jak u původního autora, tak i u překladatele. I přesto je ale podle Levého důležité, aby překladatel vytvořil hodnotné přestylizování originálu. (Levý 1983, s. 125-126). Hrdlička k tomu ale dodává, že překladatel je adresátem originálního textu a zároveň autorem jeho překladu, tudíž z hlediska sdělování dochází u adresáta překladu ke dvojímu posunu. (Hrdlička 2000, s. 54).

V případě mé bakalářské práce se jedná o amatérský překlad kapitol 7, 8 a 9 Uživatelské příručky ISO 10110, který vypracoval doktorand Katedry experimentální fyziky Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého pro účely užívání této příručky personálem optické dílny. Na základě těchto skutečností předpokládám, že z jazykového hlediska, především na rovině gramatické a stylistické, se bude výchozí a cílový text lišit, cílový text bude obsahovat chyby a nebude stylisticky vhodný. Naopak rovina terminologická, stejně jako práce se symboly, grafy, schémata a dalšími grafickými prvky cílového textu bude dosahovat kvalit výchozího textu.

V praktické části mé bakalářské práce srovnávám konkrétní pasáže amatérského překladu s výchozím textem, komentuji užití postupy, poukazují na kvality a nedostatky, které se ve vybraných kapitolách vyskytují, a na jejich základě navrhuji možné změny či jiné způsoby překladu. Komentáře obsažené v praktické části mají za úkol vystihnout nejčastější chyby, kterých se překladatelé-amatéři mohou dopouštět, a mohou tak sloužit jako určité vodítko při dalším překládání. Čerpám především z anglické příručky pro normu ISO 10110 a jejího amatérského překladu a ze samotné normy ISO 10110, jak v anglickém originále, tak v oficiálním českém překladu vyhotoveném pro společnost Meopta – optika s.r.o. (ten však není součástí této práce, jelikož se jedná interní dokument

---

<sup>1</sup> Není-li uvedeno jinak, jedná se o vlastní překlad autora. „Technical translation is primarily distinguished from other forms of translation by terminology, although terminology usually only makes up about 5-10% of a text.“

společnosti a nebylo mi dovoleno jej publikovat či jinak využívat nad rámec  
vlastního výzkumu) a při analýze vycházím z *Text Analysis in Translation*  
Christiane Nordové (2005).

# 1 TEORETICKÁ ČÁST

Na začátek je nutné si definovat, co je odborný text a jak se odborný text překládá. To s sebou přináší nutnost popisu jazykových specifik a odlišností VJ a CJ, v mém případě anglického a českého jazyka. Dále je v teoretické části definována terminologie a úskalí, která při práci s odbornou terminologií mohou vzniknout. Důležitým bodem teoretické části jsou i kompetence překladatele. Má hypotéza se tedy zakládá na srovnání překladatelských kompetencí studenta-odborníka na daný obor a profesionálního překladatele. Ke srovnání využívám model překladatelských kompetencí Yves Gambiera. V poslední kapitole teoretické části popisují překladatelský proces včetně přístupů a strategií překladatelské analýzy a vytvářím překladatelské strategie, které by si měl překladatel stanovit před překladem samotné uživatelské příručky ISO 10110.

## 1.1 Odborný text a jeho specifika

Jediná unifikovaná definice, která by určila, co je odborný text a co už ne, neexistuje. Právě naopak, každý autor či jazykovědec popisuje odborný text po svém. Všem se ale víceméně daří vystihnout tutéž charakteristiku odborného textu. Podle Šanderové jde například o nástroj spolupráce a komunikace badatelů a odborníků, kteří rozvíjejí určitý obor lidského poznání. Jde tak především o zprávu o tomto bádání, o otázkách, jejichž zodpovězení si autor vytyčil, o jeho předpokladech, metodách, výsledcích i nezdarech. (Šanderová 2005, s. 20). Podle Novotného je odborný text písemným vyjádřením odborného stanoviska, má specifické čtenáře, charakter a je vytvořen za specifických podmínek (Novotný 2014, s. 7).

Kromě toho najdeme v odborné literatuře množství specifických znaků, jimiž se odborné texty odlišují od textů uměleckých či publicistických. A nejde samozřejmě jen o častý výskyt termínů, s nimiž si mnozí lidé odborný text spojují. Jde také o samotný vzhled textu. Stejně jako tato bakalářská práce je i většina odborné literatury členěna do oddílů, kapitol, nadpisů, odstavců, grafů

či referencí. Podle Strakové (1992) je tato hierarchizace základním stavebním kamenem každého odborného textu, navíc je zde také požadavek explicitnosti, jednoznačnosti a kontinuity textu. Jazyková specifika odborného textu jsou shrnuta například v publikaci *Preklad odborného textu* pedagogické fakulty v Nitře (1972). Zmíněno je například užití substantiva verbale, slovesných přídavných jmen, komparativních a superlativních forem přídavných jmen a příslovcí, které se užívají především pro kvantifikaci, či polovětné vazby. Co naopak v odborném textu oproti textům uměleckým chybí, je vyjadřování emocí či expresivita jazyka. Žváček navíc dodává, že odborný text tíhne k sevřenosti větné vazby, nastává u něj posun k abstraktnímu, nedějovému vyjádření a také text ztrácí subjektivní ráz (Žváček, 1995, s. 33).

### ***1.1.1 Funkční styl odborný a jeho dělení***

Odborný styl se řadí ke stylům knižním a má odborně sdělnou a vzdělávací funkci (Knittlová 2010, s. 148). To znamená, že seznamuje čtenáře a posluchače s poznatky z vědních oborů a odborných oblastí činnosti člověka. Jak již bylo zmíněno výše, odborné texty se vyznačují svou věcností, přesností, jednoznačností a zřetelností obsažených informací. Takové texty mají také přesně vymezený účel a cíl sdělení, proto v nich nalezneme především fakta a logickou argumentaci. Naopak neobsahují žádná emotivní zbarvení jazyka a potlačena je často i osoba autora užíváním neosobních a pasivních větných konstrukcí. Odborné texty můžeme dělit několika způsoby.

Podle formy projevu rozlišujeme projevy mluvené a psané. V případě psaných projevů se užívá spisovného jazyka, v mluvené formě můžeme nalézt i hovorové, občas i nespisovné prvky.

Dělení odborných textů dle jejich zaměření není snadné, jelikož současní lingvisté nevyužívají jednotnou terminologii ani definice. Například Čechová (2003, s. 175-193) uvádí pět různých zaměření. Styl vědeckých textů má propracovanou kompozici a především interpretuje fakta z hlediska autora a s těmito fakty následně seznamuje příjemce textu. Styl prakticky odborných textů je podobný předchozímu stylu, ale zaměřuje se především na praktickou

oblast, a proto je i jeho kompozice poněkud jednodušší. Styl učební se zaměřuje především na příjemce, kteří si mají komunikované informace osvojit. Tento styl ovlivňují také didaktické standardy a trendy, a tudíž je i v zájmu autora, aby dokázal výsledný text čtenáře dostatečně zaujmout. U stylu populárně naučného je také patrné zaměření na čtenáře, ale předpokládá se, že jeho znalosti v daném oboru nejsou nijak hluboké, což se odráží i ve výběru a zpracování informací. Poslední zmiňovaný styl je styl esejistický, kde se prolínají odborné a umělecké prvky. Charakteristický je především volnější kompozicí a obraznými pojmenováními.

I v oblasti žánrů odborného stylu nejsou jazykovědci jednotní. Čechová (2003) je dělí systematicky podle slohového postupu. První skupinou jsou odborné projevy výkladové, kam spadají převážně disertační práce, studie, články, úvahy nebo eseje. Do situačních odborných projevů patří referát a přednáška, u odborných projevů dialogických nalezneme diskusi, polemiku a diskusní příspěvek. Kritiku, recenzi či posudky řadíme k hodnotícím odborným stylům, a kromě toho můžeme mít i speciální útvary, kam spadají pracovní návody a příručky, encyklopedie či výpisky.

## **1.2 Překlad odborného textu**

Jak jsem již uvedl v předchozí kapitole, odborný text klade důraz především na obsah a jeho zprostředkování čtenáři. Proto je vždy vyzdvižována již zmíněná logičnost a jednoznačnost. Ovšem jednoznačnost je právě to, co není při překladu odborné literatury jednoduché udržet. Překladatel totiž nemusí být vždy odborníkem v oboru, jehož překladu se v danou chvíli věnuje. Pokud ale překladatel specialistou je, získává tímto značnou výhodu, jelikož kromě snadné orientace v terminologii i tématu často zná i oborový žargon, jež může při vypracovávání překladu využívat. Ku pomoci jsou mu často také i technické a odborné slovníky. Může ovšem nastat situace, kdy se potřebný termín nevyskytuje ani v těchto zdrojích, proto se často překladatel uchýlí do jazyka třetího, který je většinou příbuzný jazyku cílovému, a zkouší hledat

terminologický ekvivalent tam. U češtiny se jedná především o jiné slovanské jazyky, jako například slovenština, polština, ukrajinština a ruština, či chorvatština a srbština.

Na rozdíl do překladů uměleckých či publicistických je k odbornému textu třeba přistupovat jinak. Přestože je odborný a vědecký překlad často stavěn pod úroveň uměleckých textů ve smyslu náročnosti překladu, a to především díky mylné myšlence, že technický překlad je pouze převod termínů a neexpresivních vyjádření z jednoho jazyka do druhého, podle Kufnerové (2003, s. 25) moderní teorie překladu odborný překlad nepodceňuje. Naopak jej díky jeho specifikům respektuje a považuje jej za rovnocenný.

### 1.3 Typografické rozdíly mezi českým a anglickým jazykem

Anglický i český jazyk obsahují řadu odlišností v typografii jazyka. Na první pohled by se mohlo zdát, že jsou tyto rozdíly oproti obecným jazykovým odlišnostem irelevantní. Ve skutečnosti však jde o velmi důležitý aspekt překladu, který nesmí být přehlížen, a při práci s vědními disciplínami, jako jsou například fyzika, matematika či chemie, může překladatel vytvořit mnoho závažných chyb.

Prvním rozdílem, kterého si můžeme všimnout, je psaní velkých písmen. V obou jazycích píšeme velké písmena na začátcích vět a ve vlastních jménech. Na rozdíl od češtiny se ale v angličtině píší velká počáteční písmena v každém slově (s výjimkou nepřízvučných předložek, spojek a členů) u názvů knih, esejí, básní, v novinových titulcích, atd. Dále pak v angličtině používáme velká počáteční písmena u názvů profesí a funkcí, u konkrétních událostí či období (Kovačičinová 2010). Příklad můžeme nalézt ihned na první straně překladu příručky – ve druhém odstavci CT v kapitole 1.1 je zmíněna *společnost Eastman Kodak*, v odpovídající části VT jako *Eastman Kodak Company*.

Další rozdíly můžeme nalézt v psaní čísel. Nejznámějším rozdílem je užití desetinné tečky v anglickém jazyce pro desetinnou čárku v jazyce českém. Angličtina běžně užívá čárky pro oddělování tisíců, proto 7 652,13 zapíšeme podle anglického úzu jako 7,652.13. Přesto se ve VT setkáme s desetinnou

čárkou. Nejednotnost užívání desetinné čárky a tečky lze dle Williamsonové (2008, s. 43) dohledat až k počátkům 17. století, kdy skotský matematik John Napier ve své knize *Rabdologia* úmyslně použil desetinnou tečku s odůvodněním, že cokoliv, co následuje desetinnou tečku, je zlomek. Sám Napier ale v téže knize užívá i desetinnou čárku. V češtině se také setkáme s oddělováním tisíců pomocí pevné mezery, která se občas vyskytuje u anglicky píšících autorů také – jednotné pravidlo pro angličtinu neexistuje.

K užívání čísel se váže i užívání znaménka pro procenta. V angličtině píšeme tento znak těsně za číslo (ve VT např. v kapitole 7.2.2.5 *20% of the allowed imperfections*). V češtině mohou naopak nastat dva případy, jak procento zapsat. Pokud chceme zachovat význam prvního příkladu, musíme mezi číslo a procento vložit pevnou mezeru (*20 % povolených nedokonalostí – dvacet procent*). Pokud pevnou mezeru vynecháme, máme na mysli procentuální hodnotu, která zastupuje přídavné jméno (jako například *5% roztok – pětiprocentní*).

V češtině se můžeme často setkat s dělením slov na koncích řádků, pro které platí dělení podle slabik (*dva-ce-ti-pro-cent-ní*). Naopak angličtina se řídí morfologií jednotlivých slov a dělí je podle toho, jak vznikaly (*im-per-fec-tion*). Na toto si musí překladatelé dávat veliký pozor, neboť při dodržování českého pravidla slabik bychom se dostali k nesmyslně vyhlížejícím tvarům (*imp-er-fec-tion*).

#### 1.4 Odborná terminologie

Terminologií se v oblasti aplikované lingvistiky rozumí obor, který se zabývá pojmenováváním objektů odbornými jazyky, které využívají odborníci v rámci určitého oboru. Často se můžeme také setkat s oborem *terminografie*, u kterého se klade důraz především na sběr jednotlivých termínů a tvorbu terminologických standardů. Kromě toho můžeme terminologii chápat také jako soubor slov využívaných odborníky v daném odvětví, jako je například odvětví trestního práva, anorganické chemie či IT. Termínem myslíme lingvistický prvek,

ať už ve formě jednoho slova či slova složeného, který odkazuje na konkrétní koncept v rámci určitého odvětví. *Termínem* se také často myslí *symbol*, který v sémiotickém trojúhelníku Ogdena a Richardse (1989, s. 11) zaznamenává určitý referent. Oproti teorii znaku a jeho významu, se kterou přišel de Saussure, se koncept Ogdena a Richardse liší v tom, že symbol (termín) se k určitému reálnému objektu (*referentu*) nevztahuje přímo, ale skrze *pojmem*. Právě ten je termínem symbolizován a vyjadřuje referent.

Definicí a vlastnostmi termínů se zabývá mnoho jazykovědců. Například podle Masára (2000) musí být termín jednoznačný, krátký, ustálený, motivovaný, systémový, derivovatelný a přeložitelný. Jednoznačnost termínu ukládá vymezit jazykovou jednotku tak, aby (ideálně) jeden symbol odrážel právě jeden referent. To by ale znamenalo přehlčení slovní zásoby. Proto se musíme spokojit s tím, že jednoznačnosti a přesnosti termínu můžeme dosáhnout v rámci jednoho oboru, potažmo odborů k němu přílehlým. S jednoznačností souvisí i délka termínu. Dalo by se říct, že čím kratší termín je, tím je praktičtější. Toto může ale naopak způsobit, že nebude daný termín tak přesný jako jeho delší, mnohoslovná verze. Ustálenost termínu má za následek využívání společného termínu pro určitý pojem napříč různými obory. Termíny by měly být také motivované, tzn. odrážet motiv a způsob jeho vytvoření, aby bylo nanejvýš jasné, co pojmenováváme a proč to pojmenováváme. Systémovost termínů je v podstatě zařazení termínu do soustavy termínů daného oboru a také míra jeho propojení s ostatními termíny v dané soustavě. K tomu také patří výběr jazykových prostředků při popisování vzájemných logických vztahů mezi termíny v takové soustavě. Aby mohl být termín derivovatelný, musí mít takovou jazykovou strukturu, aby bylo možné s jeho pomocí vytvářet potřebné jazykové prostředky v daném oboru. V praxi to znamená vytváření podstatných a přídavných jmen či sloves. Derivovatelnost navíc pomáhá vytvářet motivované, systémové a často i krátké termíny. V rámci translologie je přeložitelnost termínu častým tématem diskuzí. Při zavádění nových termínů by se neměly vytvářet novotvary z nahodilých hlásek či slov, ale upřednostňovat termíny, které lze lehce přeložit či kalkovat. To následně ulehčuje odbornou komunikaci mezi odborníky i překladateli.

Kromě výše zmíněných vlastností je třeba také uvést, že existují i termíny, které žádná slova neobsahují. Prvním takovým typem jsou termíny nejazykové,



sem patří symboly a ikony. Symbol je znak, který neodráží vztah mezi jeho formou a tím, co reprezentuje. Tento vztah je založený čistě na konvencích. Jako příklad nám může sloužit obr. 9.1 ze str. 59 VT, kde se v nákrese symbol  $\lambda$  v uzavřeném kruhu, který se dotýká daného povrchu, znázorňuje tenký povlak a čerchovaná čára znázorňuje ochrannou vrstvu. Ikona je naopak znak, který odráží vztah mezi jeho formou a tím, co tento znak zastupuje, a nemusí se jednat pouze o vztah vizuální, ale spadají sem i zvuková a jiná smyslová vyjádření dané věci.

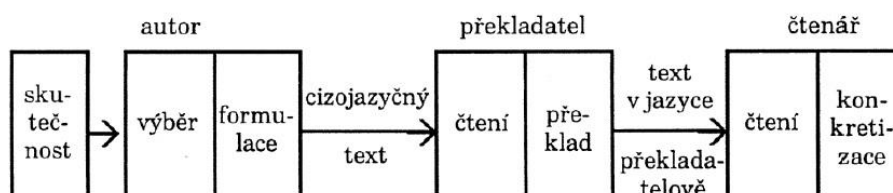
Odborná terminologie v sobě nese řadu úskalí, se kterými se musí každý překladatel umět vypořádat. Prvotním problémem je to, kde lze vyhledat dvojjazyčné odborné terminologické slovníky. V případě této příručky se nejvíce nabízí *Oborová encyklopedie Lasery a moderní optika* nakladatelství Prometheus nebo *Slovníček optických termínů s anglickými ekvivalenty* od Miroslava Milera, který vyšel jako příloha časopisu Fyzikálního ústavu AV ČR *Jemná mechanika a optika 11 – 12/2014*. Tištěné slovníky mají ale tu nevýhodu, že s postupem času ztrácí svou aktuálnost. Na jednu stranu můžeme říci, že běžné termíny daného oboru se v průběhu času měnit nebudou, avšak na druhou stranu přibývá množství nových termínů a také slov, jejichž terminologický význam se zužuje nebo rozšiřuje, a ty se v tištěných slovnících objevují až s delším časovým odstupem. Oproti tomu můžeme sáhnout po slovnících elektronických, jako je například *Lexicon 5* od společnosti Lingea (který obsahuje verze z oborů lékařství, techniky, ekonomiky nebo práva), který umožňuje i ukládání vlastních hesel, čímž dosahuje (za pomoci samotného uživatele) aktuálnosti.

Dalším úskalím odborné terminologie je častá rozsáhlost nominálních řetězců, které jsou v anglických odborných textech vytvářeny především podstatnými a přídavnými jmény, případně za použití nedokonavých sloves („scattered light measuring instruments“). Čeština má poté tendence takové fráze verbalizovat („měření pomocí rozptýleného světla“). K tomu se úzce vztahuje i určitá nejasnost či neprůhlednost takové struktury. Předchozí uvedený příklad „scattered light measuring instruments“ můžeme při prvním setkání chápat jako *nástroje, které měří rozptýlené světlo*, avšak jiný překladatel by to mohl chápat jako *\*rozházené nástroje na měření světla*. S tímto dále souvisí již dříve zmiňovaný pojem, že terminologie může slovům běžného jazyka připisovat

specifický význam. Toto lze opět demonstrovat na předchozím příkladu. Slovo *scatter* v obecné angličtině znamená *rozházet, roztrousit, rozptýlit*. Teprve až znalost termínu *scattered light*, který můžeme do češtiny přeložit jako *rozptýlené světlo* či *difusní světlo*, což je světlo, které přichází ze všech směrů a rovnoměrně osvětluje povrch určitého objektu (Honskus 2004, s. 70), nám pomůže zvolit přesný termín.

## 1.5 Překladačský proces

Pokud se bavíme o překladačském procesu, musíme blíže specifikovat, co konkrétně máme na mysli. Překladačským procesem se mezi teoretiky může myslet nejen produkt samotný, ale také i činnost, při které tento produkt vzniká. V současnosti se sice teoretikové zaměřují více na proces než na produkt samotný, avšak každý si jej definuje po svém. Jak jsem již zmínil v úvodu této práce, podle Jiřího Levého je překladačský proces dešifrování informací, které chce sdělit autor výchozího textu, a které následně zašifrovává do jazyka výchozího, ze kterého si je dešifrovává příjemce překladačského, čili čtenář (Levý 1983, s. 42).



Obrázek 1: Komunikační řetězec podle Jiřího Levého (1983, s. 42).

Dvoufázový model ne nepodobný tomu od Jiřího Levého popisuje i Nordová. Podle její teorie se dvoufázový proces skládá z analytické a syntetické části. Během analýzy překladačský dekóduje VT a při syntéze jej opět kóduje do CJ a snaží se o co nejuvěrnější vyjádření smyslu VT. Při tomto procesu zaměňuje překladačský jeden jazykový znak za druhý (znakem samozřejmě není myšlena číslice či písmeno, ale slovo či fráze) (Nord 2005, s. 34). Překladačští teoretikové jako např. Basil Hatim a Ian Mason ale často kritizují to, jak přistupují současní překladačské k procesu překladačského. Podle nich se spousta překladačských

zaměřuje především na výchozí a cílový text jako produkty dvou autorů (respektive autora a překladatele) a často přehlíží sociálně-kulturní a komunikační aspekt (Hatim, Mason 1990, s. 3).

Nordová zmiňuje také třífázový model, kterému se detailněji věnuje Eugene Nida. Podle něj první fázi tvoří proces rozkladu VT a výběr hlavní myšlenky v co nejjednodušší formě. Ve druhé fázi se tato myšlenka převádí do cílového jazyka, a ve třetí fázi se tato myšlenka restrukturalizuje na úroveň příjemce. Za nejdůležitější část třífázového překladatelského modelu považuje Nida právě část převodu (transferu) z VJ do CJ. Tvrdí, že v této části se může překladatel setkat s mnoha situacemi, které následně vedou k misinterpretaci myšlenek či chybnému překladu. Zmiňuje například neschopnost překladatele odpoutat se od VJ, chybný předpoklad překladatele, že příjemce CT má stejně širokou znalost tématu jako on sám, a jiné (Nida, Taber 1982, s. 33).

Sama Nordová ale neužívá ani jeden z výše popsaných modelů a přichází s vlastním, který nazývá *looping model*. Ten nepopisuje překladatelský proces jako přímou trasu z bodu A (výchozí text) do bodu B (cílový text), ale jako kruhový proces neustále se opakujících smyček, při kterém překladatel opakovaně používá zpětné vazby a opakovaně se vrací k počáteční fázi analýzy. Tím neustále kontroluje, zda správně interpretuje myšlenky autora VT, udržuje koherenci a kohezi textu a také dodržuje vytyčené překladatelské strategie, které si na začátku sám zvolil, a případně je upravuje a tím pádem upravuje již dříve přeložené části CT. V první fázi tedy dochází k analýze skoposu (účelu) cílového textu a následně k dvojí analýze výchozího textu (první, zběžná analýza hodnotí shodu zadání s VT a druhá analyzuje VT v rámci skoposu). Poté následuje transfer významu, při kterém je na překladateli, aby zvolil vhodné jazykové prostředky, které následně využívá v posledním kroku, což je syntéza CT (Nord 2005, s. 37-38).

## 1.6 Překladatelské kompetence

Aby bylo možné v praktické části analyzovat amatérský překlad odborníka v oblasti optiky, je nutné popsat kompetence, které by měl každý překladatel mít. Ty jsou totiž nezbytné pro to, aby se překladatel, ať už amatér či profesionál, dokázal se svým úkolem správně vypořádat. Tímto tématem se teoretikové zabývají již od 70. let 20. století. V této kapitole představím tři modely překladatelských kompetencí, minimalistický model Anthony Pyma, model kompetencí skupiny PACTE a model Yves Gambiera, který tyto kompetence definuje jako překladatelské a tlumočnické standardy Evropské Unie.

### 1.6.1 Anthony Pym

Pym například zmiňuje, že mezi názory na překladatelské kompetence se vyskytuje například to, že jde o určitý způsob dvojjazyčnosti, která je otevřená lingvistické analýze, že je to otázka nabídky a poptávky na překladatelském trhu, která je navíc ovlivněná historickými a sociálními změnami, či že jde o vícesložkovou kompetenci, která zahrnuje jazykové, kulturní, odborné a technologické schopnosti. Kromě toho může ale také jít o jakousi „superkompetenci,“ která obsahuje všechny předchozí pohledy. Kromě toho zdůrazňuje, že je důležité nezaměňovat překladatelské kompetence s odbornou kvalifikací překladatele, jež se vyvíjí s postupem času, s vývojem nových technologií, a odráží se v ní i společenské požadavky (Pym 2003).

Pym je také autorem tzv. minimalistického modelu překladatelské kompetence. Podle něj je překladatelská kompetence

- a) schopnost vytvořit řadu (více než 1) použitelných cílových textů (CT<sub>1</sub>, CT<sub>2</sub>, ... CT<sub>n</sub>) na základě jediného relevantního výchozího textu, a
- b) schopnost rychle a s jistotou vybrat právě jeden CT z této řady, který plní požadované funkce.

Pymova dvojí definice překladatelských kompetencí je výjimečná v tom, že právě kombinace výše zmíněných schopností je vlastní jen a pouze překladu (Pym 2003, s. 489). Na základě této definice pak Pym vytváří i definici překladatelské chyby, podle které jde o výskyt nedostatku v jedné z výše uvedených schopností.

Takové chyby však mohou vzniknout na různých textových úrovních, a někdy dokonce i na několika úrovních zároveň (textová, morfologicko-syntaktická, lexikální, atp.). Pym tedy vytvořil i jednoduchou klasifikaci, dle které rozlišuje binární a nebinární chyby. U binárních chyb předpokládá rozlišení mezi možnostmi *správně* a *špatně*, přičemž takovéto chyby lze jednoduše odhalit a rychle opravit. Oproti tomu jsou nebinární chyby složitější a zahrnují několik možných řešení při výběru vhodných a méně vhodných verzí překladu. Navíc by taková oprava měla vést k následné diskuzi a zdůvodnění. Pym na závěr usuzuje, že ačkoliv jsou dle jeho definic všechny překladatelské chyby nebinárními chybami, nejsou všechny nebinární chyby chybami překladatelskými. (Pym 1992, s. 283).

### **1.6.2 Skupina PACTE**

Tato skupina sídlící v Barceloně se výzkumu překladatelských kompetencí a jejich získávání v oblasti psaného překladu věnuje již od roku 1997. Kromě toho se PACTE zaměřuje i na výuku překladatelství, empirický a experimentální výzkum v rámci translatologie a využívání nových technologií pro translatologický výzkum. PACTE se skládá především z profesionálních překladatelů, učitelů a také studentů translatologie, a zaměřuje se převážně na španělštinu, katalánštinu, němčinu, angličtinu a francouzštinu. To jsou totiž jazyky, které dominují překladatelskému trhu v Katalánsku.

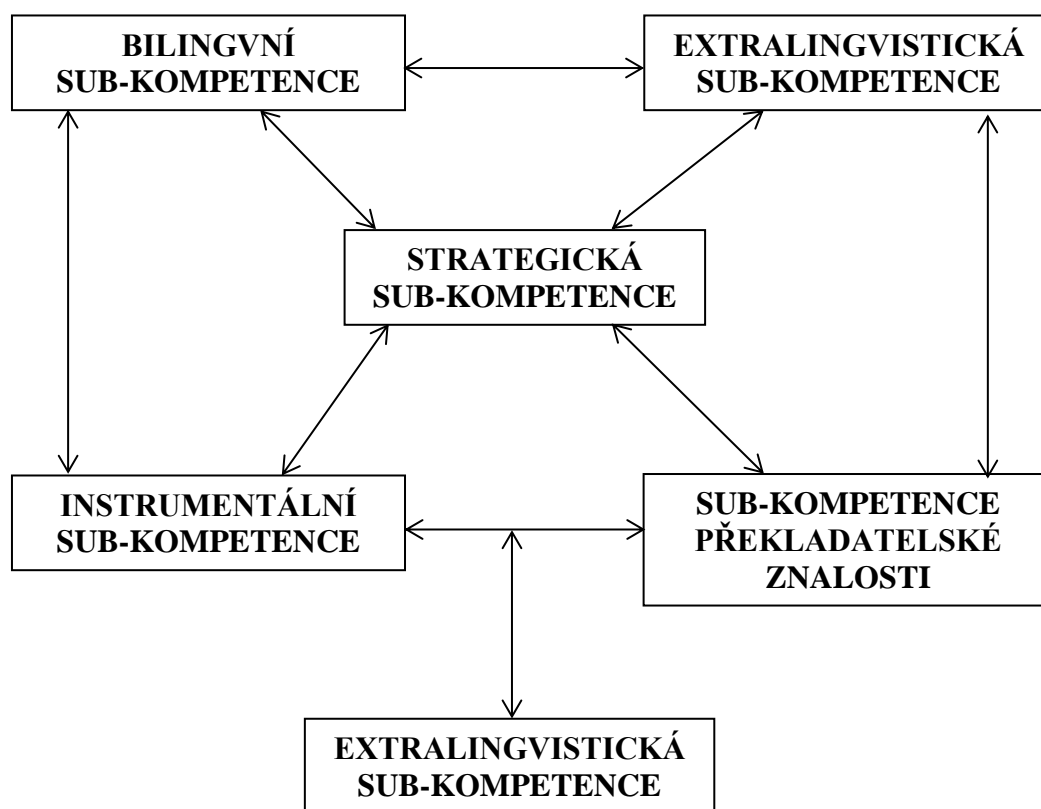
Jejich současný model se tedy nezaměřuje pouze na teoretickou definici překladatelských kompetencí, ale i na různé aspekty překladatelského procesu. Původní definice, kterou tato skupina vytvořila, pohlížela na překladatelské kompetence jako na „*základní systém znalostí a schopností, které jsou potřebné k tomu, abychom mohli překládat.*“ (Orozco 2002, s. 376). Současný model kompetencí podle PACTE obsahuje několik sub-kompetencí, které jsou vzájemně nezávislé (na rozdíl od Pymovy definice), hierarchicky uspořádané, a mohou se vzájemně nahrazovat. Význam tohoto modelu je především v tom, že v PACTE kladou důraz především na procedurální stránku překladu, protože podle nich je překladatelská kompetence „*odborná znalost, u které převládá znalost překladatelského procesu.*“ (PACTE 2003, s. 59).

Všechny sub-kompetence, které PACTE definovala, lze navzájem přeskupovat na základě překladatelského zadání (směr překladu, jazyková kombinace, téma) a podle samotného překladatele (resp. podle jeho zaměření a zkušeností). Proto je podle PACTE získávání překladatelských kompetencí založeno na přeskupování těchto sub-kompetencí a jde o průběžný vývoj překladatelských znalostí od začátečníka až po profesionála, a zakládá se především na znalostech překladatelského procesu a strategických sub-kompetencí.

Prvotní modely skupiny PACTE se však zakládaly především na teoretických úvahách a subjektivních zkušenostech, ať už z překládání samotného či z výuky překladatelské praxe. Tyto modely však bylo třeba empiricky ověřit a následně upravit. Oproti Pymovi tedy kromě překladatelských chyb sledovala PACTE i překladatelské problémy a poznámky studentů týkající se překládání. Překladatelský problém je obsažen ve VT a překladatel se s ním musí vypořádat bez ohledu na jeho odbornost. Řešení takového problému potom odráží překladatelova kompetence. Překladatelská chyba je pak překladatelský problém, který byl buď vyřešen nevhodně, nebo nebyl vyřešen vůbec. (Orozco 2000, s. 205).

Současný model překladatelské kompetence podle PACTE se skládá z 6 sub-kompetencí a jeho schéma nalezneme na obrázku 2. *Bilingvní sub-kompetence* vyjadřuje především procedurální znalost, která je potřebná pro komunikaci ve dvou jazycích a zahrnuje schopnost správně přecházet z jednoho jazyka do druhého a zpět. Tato sub-kompetence obsahuje pragmatické, socio-lingvistické, textové, gramatické a lexikální znalosti obou jazyků. *Extralingvistická sub-kompetence* zahrnuje explicitní a implicitní znalosti o světě, jak obecné, tak ve specifických oblastech. Patří sem znalost kultur VJ a CJ, encyklopedická (obecná znalost) a předmětná znalost (znalosti konkrétních oborů). U *sub-kompetence překladatelské znalosti* se jedná především o znalosti překladatelského procesu a aspekty tohoto povolání (patří sem např. ponětí o tom, jak funguje překlad či profesní znalost překladatelské praxe). *Instrumentální sub-kompetence* popisuje především schopnost používat vhodné zdroje informací a komunikační technologie, které k překladatelskému procesu patří (encyklopedie, gramatické příručky, paralelní texty, korpusy a další). *Strategická sub-kompetence*

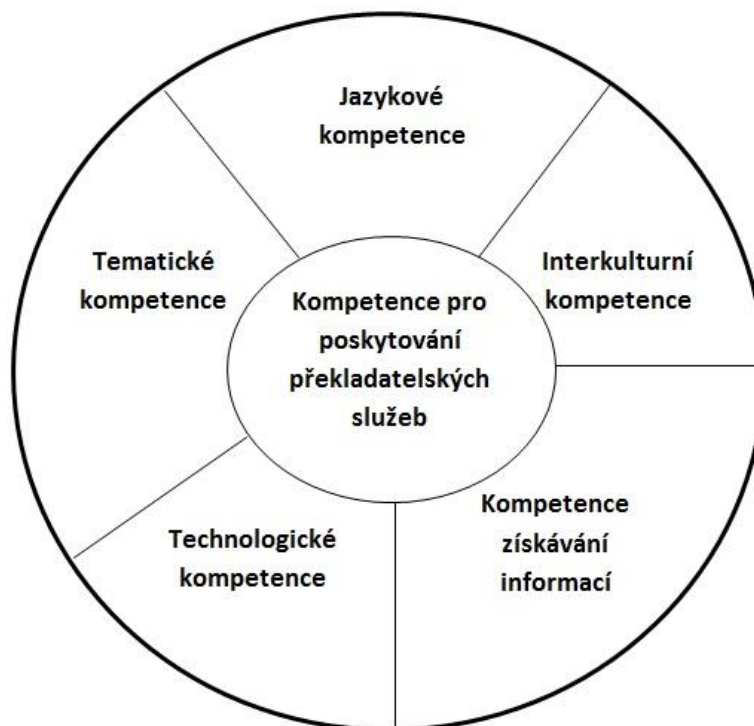
se zaměřuje na schopnost řešit překladatelské problémy a zajišťuje tak efektivitu překladatelského procesu. Jde o nejzákladnější sub-kompetenci, která ovlivňuje všechny ostatní sub-kompetence a zajišťuje mezi nimi vzájemné vztahy, protože překladatelský proces ovládá. *Psychologicko-fyziologické složky* se skládají z různých kognitivních složek a psychomotorických mechanismů. Patří sem například paměť, vnímání, pozornost, emoce, zvědavost, vytrvalost, přísinnost nebo vlastnosti jako kreativita, logické zdůvodňování, analýza a syntéza a jiné. (PACTE 2005, s. 58-59).



Obrázek 2: Model překladatelských sub-kompetencí podle PACTE (2005, s. 60).

### 1.6.3 Yves Gambier

Gambier, který patří k projektu European Masters in Translation (EMT), detailně rozebírá šest kompetencí, které by měl mít překladatel a tlumočník v rámci standardů Evropské Unie (obr. 3).



Obrázek 3: 6 překladatelských kompetencí podle Gambiera (2009, s. 4).

#### 1.6.3.1 Kompetence pro poskytování překladatelských služeb

Kompetence pro poskytování překladatelských služeb Gambier rozlišuje na interpersonální a produktivní oblast. V rámci interpersonálních kompetencí zmiňuje například povědomí o sociální roli překladatele, schopnost splňovat požadavky překladatelského trhu a sledovat jeho vývoj, marketingové schopnosti (organizace a přístup ke klientům a potenciálním klientům), schopnost časového plánování, zvládnutí stresu, práce pod tlakem, práce v týmu překladatelů a pod dozorem manažera projektu, řízení vlastního rozpočtu, schopnosti



dodržovat klientem vytyčené pokyny, lhůty, a závazky vůči klientům, jak vystavovat faktury a kalkulovat ceny svých služeb, a v neposlední řadě také jak provádět sebehodnocení a další profesní vzdělávání. Do produktivní oblasti pak Gambier zařazuje to, jak vůbec vlastní překladatelské služby nabídnout, jaké strategie a postupy si v rámci zakázky volit, jak odhalit překladatelsky obtížná místa textu a jak s nimi pracovat. Dále je důležitá schopnost racionálně zdůvodnit klientovi, proč se uchýlil právě k daným překladatelským postupům, schopnost dělat proofreading a revize a také schopnost udržovat a sledovat kvalitu svých zakázek (Gambier 2009, s. 4-5).

### *1.6.3.2 Jazykové kompetence*

V rámci jazykových kompetencí zmiňuje Gambier kromě porozumění gramatickým, lexikálním a idiomatickým znakům jazyka i porozumění grafickým a typografickým znakům daného jazyka, jak tyto znaky převádět z jazyka A do jazyka B a naopak. Dále je podle něj důležitá schopnost převádět ustálené a běžné výrazy mezi pracovními jazyky překladatele a zdůrazňuje i to, že by si měl překladatel vytvořit jakýsi cit pro jazyk a jeho vývoj a jeho změny, což procvičuje překladatelovu kreativitu (Gambier 2009, s. 5).

### *1.6.3.3 Interkulturní kompetence*

Interkulturní kompetence opět Gambier rozděluje na dvě části – sociolingvistickou a textovou. K sociolingvistické části řadí schopnost rozpoznat jazykovou variantu, správně vyhodnocovat význam slov v ní (v rámci zeměpisného, společenského, kulturního a historického hlediska) a také správně volit vhodné chování a vhodný registr vzhledem ke konkrétní situaci. Textová část zahrnuje analýzu dokumentu a hodnocení jeho koherence, schopnost rozpoznat intertextové a implikované prvky textu, stereotypní výrazy a aluze, jak správně komponovat konkrétní druh dokumentu, ale také sem patří například to, jak popsat a vyhodnotit problémy s porozuměním a jak tyto problémy úspěšně řešit (Gambier 2009, s. 6).

#### *1.6.3.4 Kompetence získávání informací, tematické a technologické kompetence*

U kompetencí získávání informací stojí za zmínku především schopnost provádět rešerši sekundárních dokumentů a vyhledávání terminologie a to, jak rozpoznat relevantní zdroj. Tematické kompetence zahrnují rozšiřování znalostí překladatele v různých tematických odvětvích a schopnost hledání a získávání relevantních informací pro tuto odvětví. Neméně důležitou součástí je u tematických kompetencí podle Gambiera i profesní zvědavost. Technologická kompetence zahrnuje především schopnost správně a efektivně využívat škálu překladatelského software včetně spravování databáze překladů, terminologických databází, či schopnost používat software na rozpoznávání hlasu (Gambier 2009, s. 6-7).

### **1.7 Účel CT a překladatelské kompetence autora CT**

V případě této bakalářské práce se snažím zjistit, jakých chyb se dopouští ve svém překladu student, který je odborníkem v oblasti optiky a fotoniky, ale nemá odborné vzdělání v oblasti překladu ani jazyka samotného. Je samozřejmé, že pro kvalitní výkon překladatelské práce by měl překladatel – profesionál splňovat veškeré kompetence, které jsem popsal výše. Je však nutné, aby tyto kompetence splňoval i překladatel – amatér, který je však odborníkem v dané oblasti? Přestože je účel překladu této příručky specifický, tj. neslouží k oficiální publikaci, ale pouze pro potřeby personálu optické dílny, měl by tento překlad splňovat požadavky odborného překladu.

Nejprve se zaměříme na účel překladu kapitol 7, 8 a 9 uživatelské příručky ISO 10110. Ten byl vytvořen doktorandem RNDr. Mgr. Ladislavem Stankem pro personál optické dílny z toho důvodu, že tento personál nedisponuje znalostí technické angličtiny. Proto lze předpokládat, že takovýto překlad nebude dosahovat kvalit, jež by měl, pokud by byl vytvořen profesionálním překladatelem za účelem oficiálního publikování a vydání příručky. Již v této fázi je možné si všimnout některých faktorů v CT, které lze při takovémto účelu překladateli

prominout. Předně se jedná hlavně o fakt, že CT nezahrnuje celou příručku, ale pouze vybrané kapitoly, které byly pro daný účel žádoucí. Dále můžeme zmínit to, že ačkoliv se jedná o kapitoly 7, 8 a 9 (ve VT), v CT jsou číslovány jako 1, 2 a 3. To je také pochopitelné, očíslovat vybraný text, který má specifický účel stejnými čísly jako ve VT by postrádalo smysl. Dále lze přejít fakt, že kapitoly 7 a 8 CT neobsahují seznam citované literatury, jelikož pro výše zmíněný účel překladu jsou nejdůležitější právě pokyny a informace v příručce, nikoliv sekundární zdroje v ní citované. Poslední bod, který můžeme považovat za nedůležitý, je absence kapitol 9.2.4 – 9.5. Kapitola 9.2.4 se věnuje konkrétnímu příkladu značení na výkresech, který nebyl dle vyjádření autora překladu pro účely překladu důležitý, stejně jako kapitola 9.3, jež popisuje další standardy ISO a standardy Armády Spojených států amerických. Kapitoly 9.4 a 9.5 se zaměřují na funkce různých typů vrstvení a na způsoby měření a testování těchto povlaků.

Nyní se vraťme zpět k překladatelským kompetencím, jak je popisuje Gambier (2009). U kompetencí pro poskytování překladatelských služeb je v našem případě nejdůležitější schopnost určit přesné požadavky klienta (v našem případě Společné laboratoře optiky Univerzity Palackého a Fyzikálního ústavu AV ČR.), určit účel překladu, který klient zadává, a určit také příjemce CT. Dále je důležitá kompetence pro práci s časem a konečnými termíny, schopnost vypořádat se s problémy při samotném překládání a tyto problémy úspěšně řešit, a samozřejmě také sebehodnocení a hodnocení a revidování CT. Co se týče jazykových kompetencí, přestože pracoval autor CT v rámci studia s mnoha publikacemi v anglickém jazyce a vytvořil několik odborných prací jak v anglickém, tak v českém jazyce, nemá odborné vzdělání v anglickém jazyce a ani vzdělání v oblasti translatologie. Proto lze předpokládat, že jazykové kompetence bude splňovat pouze minimálně. Naopak můžeme předpokládat, že autor CT bude splňovat kompetence tematické, protože oblast optiky byla a je jeho hlavní studijním oborem na Přírodovědecké fakultě UP. Během překladu této příručky údajně využíval oficiální překlad normy ISO 10110, proto lze předpokládat i splnění kompetence získávání informací. Jelikož je VT textem odborným, a tuto odbornost si víceméně zachoval i CT, lze říci, že pro daný účel byly jeho kompetence dostačující. Kompetence technologické autor CT nesplňuje. Nemá znalosti práce s překladatelským softwarem, ani si během překladu

nevytvářel terminologickou databázi. Příručku měl dostupnou pouze ve formátu PDF, ze kterého vybrané kapitoly překládal přímo do textového editoru MS Word. Sporným faktem je využití optického rozpoznávání znaků neboli OCR pro převod VT do editovatelného formátu pro usnadnění překladu. Kvalita VT je špatná a při jeho převodu do formátu DOCX pomocí specializovaného software vznikne velmi velké množství chyb a nepřesností, což překladatelský proces velmi ztíží. Stejně tak nesplňuje autor CT kompetence pro poskytování překladatelských služeb. Z interpersonální oblasti těchto kompetencí mu bylo sděleno pouze přibližné datum pro odevzdání překladu, tudíž rozvržení práce záviselo pouze na něm. V týmu překladatelů nepracoval, ani na něj nedohlížel manažer projektu, a znalost překladatelského trhu pro něj nebyla relevantní. Nejsou splněné ani kompetence pro poskytování překladatelských služeb v produktivní oblasti. Jak je zmíněno výše, autor CT nemá vzdělání v oblasti translatologie, tudíž neví, jak a jaké překladatelské strategie zvolit, ani jak se vypořádat s překladatelsky obtížnými pasážemi. Jediné, k čemu během překladu docházelo, bylo revidování již přeložených částí textu. Naopak interkulturní kompetence autor CT splnil, jelikož zde šlo především o zvolení a užití správného registru a správnou kompozici dokumentu.

## **1.8 Teorie překladatelské analýzy**

Dříve než překladatel přistoupí k samotnému překládání výchozího textu, musí provést tzv. překladatelskou analýzu. Obecně lze říci, že jde o jakousi přípravu překladatele, při které si na základě VT volí strategie a postupy, jak bude daný text převádět do cílového jazyka. Přístupy k analýze se ovšem liší, a proto zde uvedu několik nejznámějších teorií.

Newmark pokládá za nejdůležitější funkci textu samotného. Překladatelé by se podle něj měli zaměřit především na záměr textu, záměr překladatele, který může být odlišný od záměru autora výchozího textu, na čtenáře, na autorův styl a stylistické aspekty, časoprostorový a socio-kulturní kontext, ve kterém VT vznikl, na konotaci a denotaci, a také kvalitu výchozího textu. Navíc dodává, že

samotná analýza, která s překladem souvisí, je mnohonásobně rozsáhlejší než překlad sám (Newmark 1988, s. 11-17).

Juliane Houseová se na rozdíl od Newmarka zaměřuje na srovnávání výchozího a cílového textu a jejím základem je stanovení funkce textu na základě žánru a registru. Při analýze registru se Houseová zaměřuje na téma a obsah sdělení, na vztah účastníků komunikace (stejně jako Newmark zmiňuje časoprostorový a socio-kulturní původ autora, jeho vzájemný vztah se čtenářem, a vztah mezi jednotlivými účastníky v textu) a na způsob, jakým je text komunikován. Houseová navíc uvádí, že je třeba zaměřit se i na další vrstvy, které text obsahuje – lexikální, syntaktickou či fonologickou. Stejně se poté postupuje u CT, a následně dochází ke srovnání s VT (House 2001).

Nordová zastává tzv. funkcionalistické překládání (teorie skoposu), jež je naprostým protipólem k překladatelské teorii ekvivalencí. Překladatel se nemá řídit výchozím textem, jeho účinkem na příjemce ani jeho funkcí, ale skoposem nebo zamýšlenou funkcí textu cílového. Nordová poukazuje na mnoho textových a kontextových faktorů, kterým by se měl překladatel při analýze věnovat. Důležité je *„kdo převádí text komu, za jakým účelem, jakým médiem, kde, kdy, proč a s jakou funkcí? Co (ne)říká autor na dané téma, v jakém pořadí, jakých neverbálních prvků užívá, pomocí jakých slov, jakými větami, jakým tónem, s jakým účinkem?“*<sup>2</sup> (Nord 2005, s. 41).

## 1.9 Analýza výchozího textu

Jak už jsem zmínil v části 2.6, překladatelská analýza je důležitým aspektem překladatelské práce. Jelikož pracuji s CT, jehož autor překladatelskou analýzu neprovedl, činím tak já a uvádím překladatelské strategie, které bych při vlastním překladu využíval. K tomu uvádím vybrané pasáže VT a CT, komentuji jakékoliv kvality a nedostatky CT a přidávám vlastní návrhy překladu.

---

<sup>2</sup> *Who transmits to whom, what for, by which medium, where, when, why a text with what function? On what subject matter does s/he say what (what not), in what order, using which non-verbal elements, in which words, in what kind of sentences, in which tone, to what effect?*

## ***1.9.1 Vnětextové faktory***

### *1.9.1.1 Záměr autora a funkce textu*

Mezi nejdůležitější parametry překladatelské analýzy patří bezesporu analýza funkce textu a záměru autora. Jsou to jedny z prvních parametrů, pomocí kterých si následně překladatel volí vhodné překladatelské postupy.

V případě Uživatelské příručky ISO 10110 je záměrem autora pomoci čtenáři orientovat se v normě ISO 10110 Optika a fotonika – Příprava výkresů optických prvků a sestav, efektivně ji používat a seznámit čtenáře s důvody a důsledky vzniku této normy. Text má funkci informativní, jeho úkolem je především objasnit čtenáři význam normy ISO 10110 a způsoby, jakými s touto normou pracovat.

Překladatelskou strategií bude tedy autorský záměr a funkci uživatelské příručky zachovat (tzn. jak správně a efektivně používat normu ISO 10110) s ohledem na českého čtenáře a české prostředí.

### *1.9.1.2 Autor textu*

První vydání této příručky původně sepsali Eugene Church, Jane Clover, Manfred Grindel, Rudolf Hartmann, Gordon Kane, Ronald Kimmel, Robert Parks, Steve Seitel, Lars Selberg, Douglas Sinclair, Peter Takacs, a Patrick Trotta v roce 1995. Od té doby ale proběhlo několik důležitých změn této normy, a proto byla v roce 2002 upravena a aktualizována Ronaldem K. Kimmelem a Robertem E. Parksem. V této formě se užívá i dnes. Protože se jedná o odbornou publikaci, která neodráží socio-kulturně-historické pozadí autorů, a jejíž jazyk je naprosto neosobní, stačí zmínit, že z profesního hlediska jsou všichni autoři mnohaletými odborníky na poli optiky, výroby optických nástrojů a jejich testování a analýzy.

Proto jako překladatelskou strategií volím zachování neosobnosti textu, a vyvarování se popisům a promluvám v 1. osobě jednotného i množného čísla.

### *1.9.1.3 Příjemce textu*

Stanovení příjemce textu je další nedílnou součástí překladatelské analýzy. V případě uživatelské příručky ISO 10110 je primární okruh cílových čtenářů VT i CT velice úzký. Je vyžadována znalost specifické terminologie a oboru optiky a optických povrchů a čtenář ji primárně vyhledá, pokud přijde do kontaktu s normou ISO 10110. Dle mého názoru je pravděpodobnost, že by si tuto příručku pořídil čtenář, který se v tomto oboru neorientuje, téměř nulová.

Z hlediska překladatelské strategie stanovují cílového čtenáře jako odborníka v oblasti optiky, optických povrchů a fotoniky. Tomu je třeba přizpůsobit volbu jazykových prostředků, tzn. odborný jazyk, vyhledávání oficiálních názvů pro termíny, atp.

## **1.9.2 Vnitrotextové faktory**

### *1.9.2.1 Výstavba textu*

VT začíná krátkým úvodem, který v krátkosti pojednává o událostech, které vedly ke vzniku standardizovaných norem a následně i norem, které se věnují optickým vlastnostem a přístrojům. Úvod také popisuje účel vzniku příručky a změny, ke kterým od jejího vytvoření došlo. Následně tato příručka je rozdělena do 13 kapitol, které se věnují různým částem této normy. Součástí příručky je i glosář. Mnou zkoumané kapitoly se zabírají tolerancí povrchových nedokonalostí (kapitola 7), texturou povrchu (kapitola 8) a povrchové úpravě a vrstvení (kapitola 9). Každá z kapitol obsahuje krátký úvod do problematiky dílčích témat a je rozdělena na několik podkapitol. Výchozí text je doplněn odkazy na referenční literaturu a díla jiných autorů, kteří se touto problematikou zabývali, jejichž seznam je uveden na konci kapitol. Text je kompaktní a umožňuje snadnou orientaci, jelikož je členěn do menších smysluplných celků. Sdělení jsou řazena logicky a lze tak sledovat myšlenkovou strukturu textu. Text je také doplněn o řadu grafických prvků, jako jsou nákresy, grafy, vzorce, či tabulky.

CT obsahuje pouze výše zmíněné kapitoly a výstavba textu je shodná s VT. Neobsahuje však seznam referenční literatury, který je ve VT uveden.

#### 1.9.2.2 *Žánrově stylistická charakteristika*

VT vykazuje znaky odborného funkčního stylu. Jak je zmíněno v 2.8.2.1, ve VT najdeme množství odkazů na referenční literaturu i její seznam. Výchozí text je plný odborných termínů, a je napsaný neutrálním jazykem. Mistrík dále rozděluje odborný styl na vědecko-naučný a populárně-naučný styl. Navíc tvrdí, že hranice mezi těmito dvěma styly je plynulá (Mistrík 1985, s. 430). Mnou analyzovaný text lze zařadit do oblasti vědecko-naučného stylu.

CT se v tomto ohledu stylisticky drží VT a jazyk odpovídá odbornému funkčnímu stylu.

#### 1.9.2.3 *Lexikální rovina textu*

V textu se vyskytuje velké množství odborných termínů, zejména z oblasti optiky a fotoniky. Přestože je VT svým tématem velmi specifický a je určen jen úzkému okruhu čtenářů, jedná se o příručku, která má za úkol osvětlit čtenáři funkci jednotlivých standardů a pomoci mu s těmito standardy co nejlépe a nejefektivněji pracovat. Proto je patrné občasné dovysvětlování („In reality, however, it is necessary to measure surface texture at several positions to determine the average characteristics in order to ensure compliance with the drawing requirements.“) či uvádění příkladů („N can be any integer, but would usually be in the range of 1-5.“).

#### 1.9.2.4 *Syntaktická rovina*

Věty VT jsou tvořeny převážně oznamovacím způsobem, který má funkci asertivní. To znamená, že má výpověď oznamovací, sdělovací či tvrdící funkci (Grepl a Karlík 1998, s. 430). Můžeme se ale setkat i s větami podmiňovacími („*If, however, one desires to reflect x-rays from a normal incidence multilayer*



*coating, one needs to extend the lateral resolution down to the nanometre region, necessitating the use of a scanning probe instrument.“).*

Autoři textu se vyjadřují neosobně, výjimečně se můžeme setkat s autorským plurálem (*„This mixing of units is unavoidable if **we are to maintain** the connection with the terminology in ISO 468 and 4288 which define the surface sampling lengths in units of mm.“*). Často se vyskytují pasivní vazby, podmětem je často abstraktní skutečnost (*„Theoretical **calculations** of scattered light arising from surface roughness have been verified by numerous measurements.“*) nebo jím je neživotný činitel (*„The coated **surface** will be cemented using cement ABC.“*). Střídání abstraktních výrazů a konkrétních pojmenování je zřetelné především mezi teoretickými a praktickými částmi VT. Vyjadřování je převážně jmenné, s využitím pasivních konstrukcí a neplnovýznamových sloves (*„Instrumentation to measure TIS is **available** from only a few manufacturers on a special order basis.“*), jednak slovesné s plnovýznamovými slovesy (*„We can easily **determine** the  $R_q$   $r_{max}$  value for this entire data set by **performing** the summation in equation 2, which would **give** us the roughness over spatial bandwidth of 2,5  $\mu\text{m}$  to 5 mm.“*).

Lze očekávat, že v odborném textu tohoto typu bude docházet k opakování slov a termínů. Jako příklad poslouží termín quantifier v následujícím úryvku:

*„When Method 1 is used, there are four categories of **quantifiers**. If the **quantifier** has the form “NxA“ it refers to surface imperfections on an uncoated surface. If the **quantifier** is preceded by the letter “C,” as in “C NxA,” the indication refers to surface imperfections on a coated surface. If the indication is preceded by the letter “L,” as in “L NxA,” the **quantifier** refers to long scratches. If the indication is of the form “E A,” where A is a number, the **quantifier** refers to edge chips.“ (Kimmel, Parks 2002, s. 41-42).*

Nejčastějším typem věty je ve VT souvětí podřadné. Narazit můžeme i na složená souvětí, lze však říci, že pro zachování logičnosti a přehlednosti příručky

nejsou tato souvětí nijak komplikovaná. Setkat se můžeme i s krátkými jednoduchými větami.

Angličtina jakožto jazyk analytický umožňuje řetězení slov ve výpovědi a tím pádem i určitou ekonomičnost. Větné členy VT jsou nezřídka rozvinuté, což vede ke značné hutnosti textu („*Software is available from the manufacturers to compute most of the desired statistical parameters of the surface important for mechanical engineering purposes, such as  $R_q$  and  $R_a$  but no manufacturer presently provides software to calculate the PSD from the measured data.*“).

Jak již bylo uvedeno výše, řazení výpovědí je logické a její návaznosti napomáhají autoři pomocí navazovacích formulí (*now, in order, while, however, because, atd.*).

Členění výpovědi v rámci výpovědní větné perspektivy je tvořeno přirozeným slovosledem a kontextem. Podle Duškové se v angličtině (na rozdíl od češtiny) podílí na dynamice výpovědi sémantika větných členů, slovních druhů a některých slov a také kontext (Dušková 2006, 14.3). Knittlová uvádí, že u vědeckého stylu postupuje výpověď vždy od tématu k rématu a dodává, že réma je obvykle vyjádřeno složitou formou a je uvedeno až na konci výpovědi (Knittlová 2010, s. 56). V případě uživatelské příručky ISO 10110 jsou věty zapojené do kontextu a neobsahují citové zbarvení. Réma je často vyjádřeno syntaktickými či lexikálními prvky.

## 2 PRAKTICKÁ ČÁST

V praktické části se věnuji srovnání VT a CT na textové, morfologicko-syntaktické a lexikální rovině, věnuji se také převodu terminologie, symbolů a vzorců a převodu grafických prvků. U problematických pasáží či nedostatků přikládám vlastní překladatelská řešení, ale také poukazuji na kvality amatérského překladu vybraných kapitol uživatelské příručky normy ISO 10110.

### 2.1 Textová rovina

#### 2.1.1 *Koherence textu*

Koherencí se myslí souhrn informací, které jsou obsažené v textu, a také informací, které si čtenář vyvodí z kontextu. Koherentní text je proto takový text, jenž je chápán uživateli daného jazyka jako smysluplný. To se však odvíjí od mnoha faktorů. Jak uvádí Bakerová, k těmto faktorům patří například věk, pohlaví či vzdělání čtenáře (Baker 1992, s. 219). Proto je koherence subjektivní záležitostí, a jak už bylo zmíněno v 1.9.1.3, okruh cílových čtenářů je v případě této příručky velice úzký. Proto lze z definice koherence vyvodit, že ačkoliv by se VT i CT zdál náhodnému čtenáři nekoherentní, pro odborníka v oblasti optiky bude text naopak koherentní.

#### 2.1.2 *Koheze textu*

Kohezi máme na mysli veškeré jazykové prostředky (lexikální, gramatické, atd.), které zajišťují návaznost jednotlivých částí textu, a tvoří celkovou strukturu textu, což má mimo jiné i dopad na textovou koherenci. Oproti koherenci je ale koheze objektivní a přispívá k logičnosti výkladu (Knittlová 2003, s. 99-103).

Lexikální koheze odkazuje ke stejným tematickým prvkům pomocí opakování stejných slov, užívání synonym či zobecňování a konkretizace. To lze demonstrovat na příkladu 1. V něm autor CT použil pro termín *coating* kromě

termínu *vrstva* i termín *povlak*, čímž se tento úsek stává nekoherentním. K tomu došlo ze dvou důvodů v rámci jazykové kompetence. Autor se jednak snažil vyhnout repetici slova *vrstva*, navíc pro sloveso *to coat* vybral termín *povlakovat* namísto *povrstvit*. Pro češtinu je však slovní spojení *vrstva barvy* běžné, proto by mělo být termín *vrstva* zachován v celém textu.

VT	After an optical surface is produced, it is frequently <b>coated</b> with materials for protection or to change its optical characteristics. A <b>coating</b> , such as paint, can be used to seal a surface from chemical attack or to prevent stray radiation from entering an optical system. Multiple <b>thin layers of various materials</b> may be deposited sequentially onto a surface to form an interference <b>coating (thin film coating)</b> that changes the amount of energy reflected, transmitted, or absorbed at the surface. These <b>coatings</b> can also enhance the ability of the surface to withstand harsh physical or radiation environments.
CT	Po vytvoření optického povrchu je časté tento povrch <b>povlakovat</b> dalšími materiály pro jeho ochranu, nebo pro změnu jeho optických vlastností. <b>Vrstva</b> tvořená například barvou může sloužit pro utěsnění povrchu před chemickým napadením, nebo pro zabránění vniku rozptylového světla do optického systému. Mnohonásobné <b>tenké vrstvy různých materiálů</b> mohou být sekvenčně nadeponovány na povrch pro dosažení interferenčního <b>povlaku (tenkých vrstev)</b> , který mění množství energie odražené, propuštěné a absorbované na povrchu. Tyto <b>vrstvy</b> mohou také vylepšovat schopnost povrchu odolávat náročným fyzikálním, nebo radiačním podmínkám.

*Příklad 1*

Dalším prostředkem koheze jsou spojky a spojovací výrazy. Ve VT se nejčastěji vyskytují spojky *and* a *or*, nalezneme také *but*. U vztažných zájmen

se nejčastěji setkáme s *which* a *that*. Takovéto výrazy nejsou vždy převedeny do češtiny ekvivalentně, jelikož je čeština na nadmíru vztažných zájmen poměrně citlivá. V následujícím úryvku (příklad 2) se autor CT poměrně zručně vyhnul zopakování vztažného zájmena vypuštěním druhé vedlejší věty přívlastkové, čímž zároveň vypustil její funkci konkretizace, ale zároveň se i odchýlil od celkového smyslu VT. Dle hypotézy stanovené v kapitole 1.7 předpokládám, že k tomu došlo z toho důvodu, že autor považuje informaci ve vedlejší větě „*which is usually different for every surface*“ za samozřejmou a tudíž ji lze vypustit. U vlastního řešení jsem se rozhodl tuto vedlejší větu zachovat a souvětí rozdělit. Kromě toho jsem se vyhnul repetici vztažného zájmena  *který* pomocí tvaru zájmena *jenž*.

VT	This illustrates the utility of the PSD function in allowing one to see exactly <b>at which</b> spatial periods figure error begins to depart from the underlying surface finish, <b>which</b> is usually different for every surface.
CT	Toto ilustruje schopnost funkce PSD přesně popsat <b>na jakých</b> prostorových periodách se vyskytují chyby tvaru.
VŘ	To znázorňuje užitečnost funkce PSD, která nám pomáhá přesně určit prostorové periody, <b>na nichž</b> začíná docházet k odchýlkám od základního povrchu. Ty jsou pro každý povrch různé

*Příklad 2*

### **2.1.3 Funkční větná perspektiva**

Často se také setkáváme s termínem aktuální členění větné. Jde o jedno ze základních pravidel jazyka, podle kterého se řídí slovosled výpovědi a je dáno kontextovými vazbami. Základem je možnost rozdělit výpověď na téma (východisko) a réma (jádro výpovědi). Východisko označuje tu část výpovědi, která je pro čtenáře známá ze situace či z předchozího kontextu, jádro pak vyjadřuje stěžejní sdělení, podává nové informace. Funkční styl vědy a techniky je běžně psaný tzv. objektivním slovosledem, který je podle Knittlové (2003, s. 144)

nutný k přesnému odlišení nových a již známých informací ve výpovědi. Toto lze jasně demonstrovat na následujícím úryvku z 8. kapitoly (příklad 3). Tuto část VT převedl autor CT velmi kvalitně. Druhou větu rozdělil na větu jednoduchou a samostatné souvětí, frázi „*on the other hand*“ správně vložil jako uvozující „*naopak*“. Jediné chyby se autor CT dopustil opět v interpunkci, když vložil čárku před spojku *nebo*, která je užitá v poměru slučovacím.

VT	ISO 10110, Part 8, divides surface textures into two classes – <b>matte surfaces</b> and <b>specular surfaces</b> . <b>Matte surfaces</b> are usually produced by grinding or chemical etching, and have the functional property of intentionally scattering light diffusely into large angles away from the specular direction. <b>Specular surfaces</b> on the other hand, are meant to produce very little scattered light.
CT	ISO 10110, část 8, dělí povrchovou texturu do dvou tříd – <b>matné povrchy</b> a <b>zrcadlové povrchy</b> . <b>Matné povrchy</b> se většinou vytvářejí broušením, nebo chemickým leptáním. Jejich vlastností je, že difuzně rozptylují světlo do úhlů větších, než je úhel odrazu. Naopak <b>zrcadlové povrchy</b> mají velmi malé rozptylové úhly.

*Příklad 3*

## 2.2 Morfologicko-syntaktická rovina

Tato rovina jazyka se zaměřuje na užívání jednotlivých slovních druhů, ohýbání slov (tj. skloňování a časování) a na tvoření jednotlivých vět či souvětí. Jak bylo popsáno v kapitole 1.1, odborný styl využívá logické stavby vět, polovětné vazby, neosobnost výpovědí, častost pasivních konstrukcí a také objektivní slovosled popsany ve 2.1.3. V této kapitole je popsáno několik jevů morfologicko-syntaktické roviny, které se běžně v odborných textech vyskytují, a k nim jsou uvedeny názorné příklady z VT a CT.

### 2.2.1 Pasivní konstrukce

Užívání pasiva v odborných textech je běžné jak pro český, tak pro anglický jazyk. Angličtina však na rozdíl od češtiny užívá pasivních konstrukcí běžně i mimo odborný funkční styl. V rámci odborných textů je pasivum jedním z nejčastějších nástrojů, které umožňují vytvořit logické návaznosti výpovědi a zprostředkovat přenos informací co nejpřesněji a nejobjektivněji, a to tím způsobem, že eliminuje konatele děje, čímž snižuje množství nepodstatných informací. Pokud je nutné konatele děje zmínit, angličtina tak činí pomocí předložky *by*, čímž ale dochází k rematizaci tohoto konatele.

V příkladu 4 dochází k převodu pasiva z VT do rodu činného. Autor CT se vhodně vyhnul repetici slova *inspekce* z první věty a zaměnil je za slovo *proces*. Přestože je výpověď v CT v rodu činném, réma výpovědi zůstalo zachováno. Jak bylo zdůvodněno dříve, v CT chybí seznam citované literatury, tudíž byl v tomto příkladu vynechán i referenční odkaz. Příklad 5 zachovává pasivní konstrukci z VT a přesně tak kopíruje původní styl výpovědi. Na druhou stranu užívá autor CT archaického výrazu *poněvadž* namísto nabízejících se *ačkoliv* či *jelikož*.

VT	Because surface imperfections are small and localized, inspection is tedious and requires skilled personnel. One practical idea to speed up inspection <b>was proposed by</b> Macleod and Sherwood in 1945 (see Ref: 1).
CT	Poněvadž jsou povrchové nedokonalosti malé a lokalizované, inspekce je obtížná a vyžaduje zkušený personál. Praktický nápad na urychlení procesu <b>předložili</b> v roce 1945 MacLeod se Sherwoodem.

*Příklad 4*

VT	Appropriate quantifiers <b>are added</b> after the 5/ depending on which of the two methods of inspection are desired.
CT	Vhodné kvantifikátory <b>jsou přidány</b> za 5/ v závislosti na požadované inspekční metodě.

*Příklad 5*

### 2.2.2 Infinitivní vazby

Další běžný jev anglického jazyka je užívání infinitivu, a to buď ve formě časovaného slovesa, které je následování částicí *to* nebo tzv. holým infinitivem (infinitiv bez *to*). Takovéto větné vazby se často překládají do češtiny pomocí vedlejších vět, v příkladu 6 jde o vedlejší větu předmětnou. Autor CT zvolil nevhodnou spojku *že* pro vedlejší větu, ve vlastním řešení jsem ji zaměnil za spojku *aby*.

VT	It is the job of the metrologist to make sure that the measuring instruments provide the desired information over the specified bandwidth.
CT	Prací metrologa je zajistit, že přístroje dodají požadované informace napříč specifikovanou šířkou pásma.
VŘ	Prací metrologa je zajistit, aby měřicí přístroje poskytly požadované informace napříč specifikovanou šířkou pásma.

Příklad 6

### 2.2.3 Gerundium

Anglický jazyk užívá gerundií velmi často. Používá se podobně jako infinitiv, může zastupovat podmět, předmět, jmenné části přísudků, přívlastků nebo příslovečných určení. Často také vytváří polovětné konstrukce, které se do češtiny překládají pomocí vedlejších vět (Dušková 2006, 15.2).

V příkladu 7 je gerundia užito ve formě příslovečného určení způsobu. V této formě předchází gerundium předložka *by* a ptáme se na něj „*Jak?*“ či „*Jakým způsobem?*“ V CT se však místo vedlejší věty vyskytuje podstatné jméno slovesné, což je běžná překladatelská chyba, která vzniká zachováním nominálnosti anglického jazyka v jazyce českém. Dále v CT došlo k záměně terminologických prvků, konkrétně termín *rms drsnosti* za termín *povrchová drsnost* a *celkový integrovaný rozptyl světla* za *rozptýlené světlo*. U vlastního řešení jsem užil správné terminologie a v rámci zachování koheze jsem VT



rozdělil na dvě samostatné věty tak, že druhá věta zároveň rematizuje příslovečné určení způsobu vyjádřené vedlejší větou.

VT	This relationship between RMS surface roughness and scattered light forms the basis for an ASTM standard for estimating the surface roughness <b>by measuring</b> the total integrated scatter from a surface in a prescribed way (see Ref. 15).
CT	Tento vztah mezi povrchovou drsností a rozptýleným světlem tvoří základ standardu ATSM pro stanovení povrchové drsnosti <b>z měření</b> rozptýleného světla.
VŘ	Tento vztah mezi RMS povrchové drsnosti a rozptýleným světlem tvoří základ standardu ASTM pro stanovení povrchové drsnosti. Ta se určí tak, <b>že se změří</b> celkový integrovaný rozptyl světla předem daným způsobem (viz Ref. 15).

*Příklad 7*

#### **2.2.4 Hranice větných celků**

Odborných textů vynikají složitou strukturou výpovědi a rozsáhlostí vnitřní logiky textu (viz 2.1), a proto je při překladu obtížné dodržovat i hranice větných celků. Jak je vidět z předchozích mých návrhů překladatelských řešení (viz např. 2.1.2, 2.1.3, 2.2.3), pro lepší orientaci v textu a zvýšení přehlednosti je vhodné se někdy uchýlit k rozdělení výpovědi na menší celky. V příkladu 8 zachovává CT větnou strukturu, avšak autor CT se po morfo-syntaktické stránce příliš drží VT, což se odráží na nižší srozumitelnosti. Například není jasné, zda se sloveso *nestanovují* váže k předmětu *požadavky*, k předmětu *výkresy* nebo k podmětu *standards*. V mém vlastním řešení jsem pro lepší logickou návaznost přeložil spojku *but* jako spojku *však* a u druhého souvětí jsem zvýšil kohezi částicí *navíc*.

VT	Existing standards for optical coatings are used on optical drawings, but these standards deal with spectral, environmental, and durability requirements, and do not state explicitly how to indicate a coating on the drawing.
CT	Existující standardy pro optické vrstvy jsou aplikovány na optických výkresech, nicméně tyto standardy řeší spektrální, ekologické a odolnostní požadavky, přičemž explicitně nestanovují, jakým způsobem značit vrstvy na výkresech.
VŘ	Současné standardy optických vrstev se používají na optických výkresech, zabývají se však spektrálními a environmentálními požadavky a požadavky na odolnost. Navíc v nich není přímo určeno, jak na těchto výkresech vrstvy značit.

*Příklad 8*

V příkladu 9 si naopak autor CT umně poradil se souvětím složeným, ve kterém po vedlejší větě dále následuje výčet příkladů. Namísto zachování struktury VT převedl výčet prvků z konce souvětí do závorčky ve vedlejší větě, čímž značně zpřehlednil strukturu souvětí. Na druhou stranu přeložil autor CT frázi *made by several manufacturers* docela kostrbatě jako *vyrábí řada výrobců*. Namísto slovesa *vyrábět* mohl užít například *produkuje* či *nabízí*.

VT	Another type of contact profiling instrument is the scanning probe microscope, of which there are a number of variations made by several manufacturers, such as the tunneling microscope and the atomic force microscope.
CT	Dalším typem kontaktního profilovacího zařízení je skenovací mikroskop, jehož různé varianty (tunelovací mikroskopie, mikroskopie atomárních sil, apod.) vyrábí řada výrobců.

*Příklad 9*

## 2.3 Lexikální rovina

### 2.3.1 Všeobecná slovní zásoba a obecné termíny, posun ve významu

V odborných textech nalezneme širokou škálu všeobecné slovní zásoby. Protože jde o uživatelskou příručku, je slovní zásoba VT i CT formální a postrádá jakoukoliv expresivitu. V rámci funkčního stylu odborného je užito mnoha výrazů zajišťujících kohezi textu. Patří sem například výrazy *firstly*, *however*, *probably*, *thus*, *in addition* nebo *further*.

Kromě toho také nalezneme ve VT i všeobecné termíny, které se běžně vyskytují v mnoha odborných textech. Nalezneme slova jako *method*, *observe*, *de facto*, *performance* nebo *assume*.

V mnoha místech CT však dochází k posunu významu. Na příkladu 10 je vidět nepochopení hned několika frází. Fráze *lack of quality workmanship* byla převedena na *ztrátu kvality dílenského zpracování* namísto *nedostatků ve kvalitě zpracování*. Zde si autor CT neověřil význam slova *lack*. Zároveň i chybně přeložil přídavné jméno *exposed* na *ovlivněný*. Celý úsek je tak nesrozumitelný

Znovu se zde odráží nejen nedostatečné jazykové kompetence, ale i nedostatky v kompetenci získávání informací.

VT	The concern with surface imperfections is two-fold. The first is cosmetic, and the other is the functional effect on system performance caused by light scattered from imperfections. The cosmetic aspect concerns the apparent lack of quality workmanship if imperfections are visible on exposed optical surfaces, or are visible when looking through an instrument. The functional aspect relates to the loss in contrast in an image due to stray light produced by surface imperfections and is related to the severity of the imperfection in terms of scatter per unit area, and its area relative to the total clear aperture.
CT	Problematika povrchových nedokonalostí je dvojího

	<p>charakteru – první je čistě kosmetická stránka věci a ta druhá se týká samotné funkce optického systému, která je ovlivněna rozptylem světla. Kosmetický aspekt je spojen s evidentní ztrátou kvality dílenského zpracování při pohledu očima, nebo optickou pomůckou, na ovlivněný optický povrch. Funkční stránka problému se týká ztráty kontrastu vlivem světla rozptýleného na povrchových nedokonalostech. Závažnost povrchové nedokonalosti se pak vyjádří jako poměr rozptýleného světla na plochu k ploše celé apertury.</p>
VŘ	<p>Vady povrchů lze rozdělit na dvě oblasti – kosmetickou a funkční, kdy je výkon systému ovlivněn světlem odraženým od těchto vad. Kosmetická oblast se zabývá zjevnými nedostatky ve kvalitě zpracování, pokud jsou tyto vady na povrchu zřetelné pouhým okem nebo při prozkoumání optickými pomůckami. Funkční oblast se vztahuje ke ztrátě kontrastu obrazu kvůli rozptýlenému světlu, které vzniká odrazem od vad povrchu. Závažnost takové vady se pak odvíjí od množství rozptýleného světla na jednotku plochy a také od poměru celkové velikosti plochy k celkové velikosti otvoru, kterým světlo proniká.</p>

*Příklad 10*

K dalším posunům ve významu došlo v následujícím úryvku (příklad 11). Díky špatnému slovosledu první věty se ztrácí celkový význam, ve druhé větě je *no attention was given* přeloženo jako *nebyla kladena velká pozornost* namísto *nebyla věnována žádná pozornost*.

VT	<p>The output voltage signals were first passed through high-pass RC filter networks to cut off low frequency artifacts that usually were caused by instrumental drift and instabilities. No attention was given to high frequency, short period, limitations in the measurement methods. Average quantities are computed by time-averaging the output signals over time</p>
----	--

	windows corresponding to a certain trace length on the surface.
CT	Výstupní napěťové signály byly nejdříve pomocí upraveny RC filtrů zapojených jako horní propust pro odřezání nízkofrekvenční artefaktů způsobených odchylkami měřicího přístroje a nestabilitami. Nebyla kladena velká pozornost na vysokofrekvenční limity měření. Průměrné hodnoty jsou vypočteny časovým průměrováním výstupních signálů přes časová okna, která odpovídají specifické dráze na povrchu předmětu.
VŘ	Výstupní signály napětí nejdříve prošly sítí RC filtrů s horní propustí, aby došlo k odřezání nízkofrekvenčních artefaktů. Ty jsou běžně způsobeny malými pohyby měřicího přístroje a jinými nestálostmi. Vysokým frekvencím, krátkým periodám, ani omezením u měřících metod nebyla věnována žádná pozornost. Průměrné hodnoty se vypočítají tak, že se vytvoří časový průměr výstupního signálu za časové okno, které odpovídá dané délce stopy na povrchu.

*Příklad 11*

### **2.3.2 Odborné termíny**

Teoretickou stránkou odborné terminologie se zabývá kapitola 1.4. V této se zaměřuji na překladatelské strategie, které byly použity při vytváření českých termínů, včetně několika příkladů.

#### *2.3.2.1 Derivace*

V textu se vyskytuje několik termínů, které vznikly derivací. Jde o proces, při kterém se k základu slova přidávají předpony a přípony. Slova vzniklá derivací si mohou buď zachovat stejný slovní druh (ze slovesa vzniká sloveso, z podstatného jména jiné podstatné jméno) nebo dochází ke změně slovního druhu (z podstatného jména vzniká sloveso, ze slovesa příslovce, atd.).

### ***Imperfections***

V CT přeloženo jako ***nedokonalosti***, což zachovává derivační strukturu původního slova *im-perfect-ion*. Předpona *im-* nese význam negace, přípona *-ion* slouží k vytvoření podstatného jména ze slovesa. Při vyhledávání vlastního řešení (viz příklad 9) jsem zvolil slovo ***vada***, které nese totožný význam jako *nedokonalost*, navíc je toto užito i v oficiálním překladu normy ISO 10110-7 (2008).

### ***Reflectance***

V CT správně přeloženo jako ***odrazivost***. V optice se setkáme s konkretizací, a to v termínu ***odrazivost záření***, jelikož se v rámci fyziky objevuje i např. odrazivost tepelná. Jde o fyzikální koeficient značený  $\rho$  (řecké ró), který určuje poměr odraženého záření a záření dopadajícího.

#### 2.3.2.2 *Výpůjčky*

V odborných textech se s výpůjčkou setkáváme poměrně často. Jedná se o proces, při kterém se termín z VJ použije ve stejném tvaru v CJ.

### ***micro-defect***

*Micro* je jednotková předpona značící jednu miliontinu ( $10^{-6}$ ) a pochází z řeckého *mikrós*, což znamená malý. Slovo *defect* má původ v latinském *deficere*, což znamenalo *selhat*. V českém jazyce se předpona *mikro* užívá v odborném stylu běžně (převážně ve spojitosti s matematikou, fyzikou, chemií, atd.), *defekt* je však častým výrazem obecné češtiny pro píchlé kolo. ***Mikrodefekt*** je však v optice termínem pro malé vady na optické ploše, standardně jde „o místo, kde se výška povrchu liší od průměrné výšky povrchu o více než dvojnásobek standardní odchylky“ (ISO 10110-08 2010, s. 3). I tento doslovný překlad termínu užil autor CT správně.

### 2.3.2.3 Doslovný překlad

S doslovnými překlady se setkáváme u odborných textů často, jedná se o rozšířenou překladatelskou strategii. V CT najdeme mnoho chyb při užívání doslovných překladů.

#### *spatial period, spatial frequency*

Přídavné jméno *spatial* má původ v latinském slově *spatium* (prostor), a bylo vytvořeno derivační koncovkou *-al*. Stejně tak slovo *dimension* pochází původem z latiny. Do češtiny se tyto termíny běžně překládají jako **prostorová perioda** a **prostorová frekvence** (Raida 2010, s. 342). Tyto termíny jsou správně užity i v CT.

#### *power spectral density*

Neboli **spektrální hustota výkonu**, kterou však nesprávně autor CT uvádí jako **spektrální hustotu prostorových frekvencí**. Jedná se o druhou mocninu velikosti Fourierovy rovnice transformace funkce reziduální výšky povrchu podél jednoho rozměru za použití příslušné váhové funkce (ISO 10110-08 2010, s. 5).

#### *edge chip*

V českém jazyce jako **záštipek na okraji**, což je lokální jev na okraji optického povrchu, který může nepříznivě ovlivnit výkon optické sestavy, i když se vyskytuje mimo opticky účinnou plochu (ISO 10110-07 2008, s. 3). V CT autor nesprávně přeložil termín jako **odštipnutá hrana**. Přestože si tento termín zachovává implikovaný význam termínu z VJ, je třeba zdůraznit fakt, že by všechny termíny uvedené v uživatelské příručce měly odpovídat termínům v normě samotné.

## 2.4 Převod symbolů, vzorců a grafických prvků

V rámci převodu symbolů dodržel autor CT skoro všechna pravidla pro systém českého jazyka, které jsou popsány v kapitole 1.3. Jedná se o kvantifikátory a značky („5/TV;EA“, „C NxA“) a čísla, hodnoty a řecká písmena ( $\Delta x_i = 2,5 \mu m$ , 0,016 A). Chyb se dopouštěl pouze při psaní procentuálních hodnot (viz příklad 12).

VT	A concentration occurs when more than <b>20%</b> of the allowed imperfections fall inside an area that is <b>5%</b> of the area of the surface under inspection.
CT	Shlukování nastává, když více než <b>20%</b> povolených nedokonalostí pokryje plochu odpovídající <b>5 %</b> plochy zkoumaného povrchu.

*Příklad 12*

Při přepisu vzorců využíval autor CT editor rovnic, který je k dispozici v programu MS Word. Proto jsou všechny vzorce bezchybné a snadno čitelné. Při popisu vzorců a výpočtů užívá totožných symbolů a parametrů, tudíž jsou vzorce a doprovodný text jednotné a srozumitelné.

Velké nedostatky však vidím v převodu nákresů a grafů z VT do CT. Prvním nedostatkem je jejich vizuální kvalita. Autor CT měl k dispozici VT pouze ve formě ne příliš kvalitního skenu, který obsahuje opravdu vysoké množství nedokonalostí (šmouhy, tečky, vysoká zrnitost). To bylo zřejmě způsobeno samotným pořizováním skenu VT, kdy šlo o nekvalitní skenovací přístroj v kombinaci s nekvalitním tiskem samotného VT. Skeny jsou navíc různě pootočené. Autor CT pak tyto nákresy a grafy převáděl do VT formou snímků obrazovky, na čemž se odráží všechny výše zmíněné nedokonalosti. Na čisté bílé straně jsou zrnité grafy, navíc má každý odlišný náklon, což působí velmi neprofesionálně.

Za druhý a hrubý nedostatek považuji samotné popisy grafů a nákresů, které zůstaly v původním znění bez jakéhokoliv překladu. Mnohdy tak chybí důležité



vysvětlivky, které naprosto neodpovídají účelu CT. Pokud personál optické dílny potřebuje pracovat s přeloženou příručkou (kvůli předpokládané neznalosti VJ), jsou grafy a nákresy, včetně jejich popisů, nedílnou součástí překladu, a měly by tak být přeloženy stejně jako vybrané kapitoly uživatelské příručky.

### 3 ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo analyzovat vybrané kapitoly Uživatelské příručky ISO 10110 a její amatérský překlad a vyhodnotit, zda je tento amatérský překlad dostačující pro specifické účely. Přínos této práce spočívá ve vytvoření poznámek a komentářů k překladu odborného textu, které mohou sloužit nejen autorovi CT jako vodítko při vypracovávání odborného překladu za obdobným účelem. Stejně tak mohou tuto práci využít začínající překladatelé a studenti translatologie, pokud by se při své práci setkali s problémem překladu odborného textu. Vypracování bakalářské práce přineslo mnoho poznatků i mně samotnému, jelikož jsem se v minulosti s podobnými problémy při překladu odborného textu setkal také, a určitě se s podobnými problémy v budoucnosti znovu setkám.

První část práce definuje problematiku překladu odborných textů a popisuje různá úskalí této práce a systémové rozdíly mezi výchozím a cílovým jazykem, tedy angličtinou a češtinou. Dále jsou v této rozebírány i kompetence překladatele a kompetence, které by měl splňovat překladatel-amatér, pokud chce vytvořit jakýkoliv překlad. V této fázi je i popsána hypotéza bakalářské práce, která předpokládá, že autor CT bude mít nedostatky v jazykových kompetencích a naopak jeho tematické kompetence a kompetence získávání informací budou dosahovat na úrovni profesionálního překladatele. Teoretická část obsahuje navíc i předpřekládovou analýzu a stanovení překladatelských strategií, jelikož ty autor CT nevytvořil.

Hlavní částí práce je komparativní analýza výchozího a cílového textu na úrovni textové, morfologicko-syntaktické, lexikální a na úrovni převodu symbolů, vzorců a grafických prvků. Na textové úrovni je důležité správně určit téma a réma výpovědi ve výchozím textu a následně tomu přizpůsobit výpověď v jazyce cílovém. Na morfologicko-syntaktické úrovni bylo patrné zejména nedodržování systémových rozdílů mezi anglickým a českým jazykem, a docházelo tedy k běžným chybám, kterých se dopouští překladatelé-začátečníci. Poznatky získané analýzou výchozího a cílového textu z praktické části mou hypotézu nepotvrdily. Potvrdilo se sice, že autor CT dle předpokladu nemá jazykové kompetence překladatele, čímž dochází ke vzniku překladatelských chyb na všech rovinách, avšak předpoklad, že odborná a terminologická stránka bude

dosahovat úrovně profesionálního překladatele, se nepotvrdil. Grafická a formální stránka sice dosahuje kvalit profesionálního překladu, terminologie se ale často liší od té, která je uvedena v oficiálním překladu normy ISO 10110. Kvůli nesplnění jazykových kompetencí však dochází na mnoha místech CT ke značnému posunu ve významu výpovědních informací, tudíž je výsledný překlad neadekvátní a od VT se liší. I přes přihlídnutí k faktu, že se nejedná o překlad za účelem oficiálního vydání, ale o překlad sloužící pouze pro interní účely optické dílny, však amatérský překlad nespĺňuje základní požadavky kvalitního překladu, a proto není jeho kvalita dostačující.

## 4 BIBLIOGRAFIE

### Seznam použité literatury:

BAKER, Mona. 1992. *In Other Words: A Coursebook on Translation*. Londýn: Routledge. 304 s.

BYRNE, Jody. 2006. *Technical Translation: Usability strategies for Translating Technical Documentation*. Dordrecht: Springer. 280 s.

ČECHOVÁ, M. a kol. 2003. *Současná česká stylistika*. Praha: ISV nakladatelství. 340 s.

DUŠKOVÁ, Libuše a kol. 2006. *Elektronická mluvnice současné angličtiny*. [online]. [cit. 10. 8. 2015]. Dostupné z: <http://emsa.ff.cuni.cz/>

GAMBIER, Yves. 2009. *Competences for professional translators, experts in multilingual and multimedia communication*. Brusel: EMT. 7 s.

GREPL, Miroslav; KARLÍK, Petr. 1998. *Skladba češtiny*. 1. vyd. Olomouc: Votobia. 503 s.

HATIM, Basil; MASON, Ian. 1990. *Discourse and the Translator*. 1st edition. Londýn: Longman. 258 s.

HONSKUS, Jiří. 2004. *Fotografie: Technika snímání*. Praha: Pražská fotografická škola. 298 s.

HOUSE, Juliane. 2001. *Translation Quality Assessment: Linguistic Description versus Social Evaluation*. Hamburk: University of Hamburg. 257 s.

HRDLIČKA, Milan. 2000. *Odborný text a jeho translace*. In: 12x o překladu. Praha: Jednota tlumočnicků a překladatelů. 134 s.

ISO 10110-7. 2008. *Optika a fotonika – příprava výkresů optických prvků a sestav. Část 7: Tolerance vad plochy*. 7 s.

ISO 10110-8. 2010. *Optika a fotonika – příprava výkresů optických prvků a sestav. Část 8: Jakost povrchu; drsnost a vlnitost*. 21 s.

ISO 10110-9. 2000. *Optika a fotonika – příprava výkresů optických prvků a sestav. Část 9: Povrchové úpravy a vrstvení*. 7 s.

LEVÝ, Jiří. 1983. *Umění překladau*. 1. vydání. Praha: Apostrof. 386 s.

KIMMEL, Ronald, K.; PARKS, Robert, E.. 2002. *ISO 10110 Optics and Optical Instruments – Preparation of drawings for optical elements and systems: A User's Guide, Second Edition*. Washington D. C.: Optical Society of America. 81 s.

KNITTLOVÁ, Dagmar. 2003. *K teorii i praxi překladau*. 2. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého. 215 s.

KNITTLOVÁ, Dagmar a kol. 2010. *Překlad a překládání*. 1. vydání. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. 291 s.

KOVAČIČINOVÁ, Irena. 2010. *Odborná angličtina pro řešení VaV projektů se zaměřením na specifické lexikální, gramatické a stylistické prostředky*. Olomouc: Moravská vysoká škola Olomouc, o. p. s. 45s.

KUFNEROVÁ, Zlata. 2003. *Překládání a čeština*. Vyd. 2. Jinočany: H. 260 s.

MASÁR, Ivan. 2000. *Ako pomenúvame v slovenčině: Kapitoly z terminologickej teorie a praxe*. Slovenská jazykovedná spoločnosť pri SAV a Jazykovedný ústav Ľudovíta Štúra SAV, Bratislava. 62 s.

MISTRÍK, Jozef. 1985. *Štylistika*. Bratislava: Slovenské pedagogické nakadateľstvo. 584 s.

NEWMARK, Peter. 1988. *A Textbook of Translation*. Hemel Hempstead, UK: Prentice Hall. 292 s.

NIDA, Eugene A.; TABER, Charles R. 1982. *The Theory and Practice of Translation*. Leiden: E. J. Brill. 218 s.

NORD, Christiane. 2005. *Text Analysis in Translation: Theory, Methodology, and Didactic Application of a Model for Translation-Oriented Text Analysis*. 2nd edition. Amsterdam; New York: Rodopi. 274 s.

NOVOTNÝ, Petr. 2014. Co je odborný text. In: LOJDOVÁ, Kateřina; NOVOTNÝ, Petr; TRNKOVÁ, Kateřina; ŠEĐOVÁ, Klára; ŠVARŤÍČEK, Roman; ZOUNEK, Jiří. *Psaní odborných textů: průvodce tvorbou ročníkové práce na Ústavu pedagogických věd FF MU*. Brno: Masarykova Univerzita. 106 s.

OGDEN, Charles Kay; RICHARDS, Ivor Armstrong. 1989. *The Meaning of Meaning: A Study of the Influence of Language upon Thought and of the Science of Symbolism*. Harvest/HBJ. Orlando. 359 s.

OROZCO, Mariana. 2000. Building A Measuring Instrument for the Acquisition of Translation Competence in Trainee Translators. In: SCHÄFFNER, Christina; ADAB, Beverly. *Developing Translation Competence*. Amsterdam: John Benjamins. S. 199-214.

OROZCO, Mariana; HURTADO ALBIR, Amparo. 2002. Measuring Translation Competence Acquisition. In: *Meta: Translator's Journal*, vol. 47. [online] Montréal: Les Presses de l'Université de Montréal. S. 375-402. [cit. 21. 11. 2015] Dostupné z: <http://www.erudit.org/revue/meta/2002/v47/n3/008022ar.pdf>

PACTE. 2003. *Building a Translation Competence Model*. [online] PACTE, Universitat Autònoma de Barcelona. [cit. 21. 11. 2015] Dostupné z: [http://grupsderecerca.uab.cat/pacte/sites/grupsderecerca.uab.cat.pacte/files/2003\\_PACTE\\_Benjamins\\_0.pdf](http://grupsderecerca.uab.cat/pacte/sites/grupsderecerca.uab.cat.pacte/files/2003_PACTE_Benjamins_0.pdf). 161 s.

*Preklad odborného textu: Práce I. celoštátnej konferencie o preklade odborného textu na pedagogickej fakulte v Nitre v septembri 1972.* Bratislava: Slovenské pedagogické nakladateľstvo, 1977. 253 s.

PYM, Anthony. 1992. Translation Error Analysis and the Interface with Language Teaching. In: DOLLERUP, Cay; LODDEGAARD, Anne. *The Teaching of Translation*. [online] Amsterdam: John Benjamins. S. 279-288. [cit. 20. 11. 2015] Dostupné z: [http://usuaris.tinet.cat/apym/on-line/training/1992\\_error.pdf](http://usuaris.tinet.cat/apym/on-line/training/1992_error.pdf)

PYM, Anthony. 2003. Redefining Translation Competence in an Electronic Age. In Defence of a Minimalist Approach. In: *Meta: Translators' Journal vol. 48*. [online] Montréal: Les Presses de l'Université de Montréal. S. 481-497. [cit. 12. 8. 2015] Dostupné z: <http://www.erudit.org/revue/meta/2003/v/n4/008533ar.html>

RAIDA, Zdeněk a kol. 2010. *Elektromagnetické vlny, mikrovlnná technika. Multimediální učebnice*. [online] Brno: Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií VUT v Brně. 352 s. [cit. 14. 8. 2015] Dostupné z: [http://www.urel.feec.vutbr.cz/~raida/multimedia/cz/multimedia\\_textbook\\_cz.pdf](http://www.urel.feec.vutbr.cz/~raida/multimedia/cz/multimedia_textbook_cz.pdf)

ŠANDEROVÁ, Jadwiga. 2005. *Jak číst a psát odborný text ve společenských vědách: několik zásad pro začátečníky*. Vyd. 1. Praha: Sociologické nakladatelství. 209 s.

WILIAMSON, Amelia A. 2008. *Period or Comma? Decimal Styles over Time and Place*. [online] In: Science Editor Vol. 31, No. 2. Wheat Ridge: Council of Science Editors. S. 42-43. Dostupné z: <http://www.councilscienceeditors.org/wp-content/uploads/v31n2p042-043.pdf>

ŽVÁČEK, Dušan. 1995. *Kapitoly z teorie překlada I (Odborný překlad)*. 1. vyd. Olomouc: Vydavatelství Univerzity Palackého v Olomouci. 51 s.

## **5 PŘÍLOHA 1 – VÝCHOZÍ TEXT**



## CHAPTER 7

# Surface Imperfection Tolerances

Surface imperfections are localized imperfections, such as scratches and digs, on the surface of an optical element. Global imperfections that cover the entire surface are considered texture and are discussed in Chapter 8. In ISO 10110, the term surface imperfections has an expanded meaning that includes edge chips and imperfections in coated surfaces. The standard includes 2 methods of indicating surface imperfections, one method that is somewhat analogous to the U.S. MIL scratch and dig standard, and the other that is a strict "go"—"no go" indication based on the visibility of the imperfections.

### 7.1 BACKGROUND

The concern with surface imperfections is two-fold. The first is cosmetic, and the other is the functional effect on system performance caused by light scattered from imperfections. The cosmetic aspect concerns the apparent lack of quality workmanship if imperfections are visible on exposed optical surfaces, or are visible when looking through an instrument. The functional aspect relates to the loss in contrast in an image due to stray light produced by surface imperfections and is related to the severity of the imperfection in terms of scatter per unit area, and its area relative to the total clear aperture.

Because surface imperfections are small and localized, inspection is tedious and requires skilled personnel. Thus, the cost of inspection of optical elements is a major problem. One practical idea to speed up inspection was proposed by MacLeod and Sherwood in 1945 (see Ref. 1). These workers at Eastman Kodak Company outlined a method for the classification of cosmetic defects that was adopted by the U.S. military and incorporated into MIL-O-13830. This concept is based on a comparison of the surface under examination with standard size imperfections on glass samples. This method has been shown to have limited application in specifying the surface quality of laser optical elements (see Ref. 2). The other inspection method that gained wide acceptance is the German DIN 3140 Standard, Part 7, where imperfections were compared to chrome on glass line width standards.

Continuing practical problems associated with both methods led to a new look, during the writing of ISO 10110, at the inspection techniques and means of indicating surface imperfections on drawings. Some of the problems considered were: (1) the difficulty of producing real scratches on glass artifacts and quantitatively categorizing their visibility, (2) the difficulty of measuring the actual widths of small scratches due to diffraction effects, and (3) the continued expense of needing highly skilled inspectors to do the comparisons.

These problems lead to two types of indications for surface imperfections and the development of several instruments to aid in quantifying the inspection of optical elements. Many of the concepts used in the standard are familiar, but the ways of expressing and implementing them are sufficiently different from current practice in the U.S. and elsewhere that this may be the most difficult part of the new standard to interpret correctly.

### 7.2 INDICATIONS ON DRAWINGS

The drawing symbol for surface imperfections is "5/." Appropriate quantifiers are added after the 5/ depending on which of the two methods of inspection are desired. The two methods of quantifying surface imperfections are mutually exclusive. The first method, referred to as Method 1, or the Obscured Area Method, is a quantitative approach related to how much surface area the imperfections obscure. The second method, referred to as Method 2, or the Visibility Method, is an inspection approach based on the visibility of surface imperfections when observed under controlled lighting conditions and is a "go"—"no go" method. If the quantifier is of the form "NxA," where N and A are numbers, Method 1 is being used. If the quantifier is of the form "TV" or "RV," where V is an integer, Method 2 is being used.

#### 7.2.1 Imperfection quantifiers

When Method 1 is used, there are four categories of quantifiers. If the quantifier has the form "NxA," it refers to surface imperfections on an uncoated surface.

If the quantifier is preceded by the letter "C," as in "C NxA," the indication refers to surface imperfections on a coated surface. If the indication is preceded by the letter "L" as in "L NxA," the quantifier refers to long scratches. If the indication is of the form "E A," where A is a number, the quantifier refers to edge chips. If more than one quantifier is needed, the quantifiers should be separated by a semicolon. Further, when several quantifiers are used, they should be indicated in the order given above, that is, imperfections on uncoated surfaces, imperfections on coated surfaces, long scratches, and finally edge chips.

If Method 2 is desired, the quantifier will be either "TV" or "RV," where V is an integer between 1 and 5. The "T" or "R" refers to either a (T)ransmissive element, or a (R)eflective element or mirror. Both T and R may be indicated for a beamsplitter. The integer is an indicator of the severity of the allowed imperfections, with 1 meaning imperfections of the least visibility, and 5 imperfections of the greatest visibility, or those most easily seen.

The quantifier for edge chips from Method 1 may be appended to the quantifier for Method 2 if needed. It should be separated by a semicolon as in 5/TV;EA.

The transmission test part of Method 2 can only be indicated for elements that are transmissive in the visible, because the test method assumes light will be transmitted through the element being inspected. Elements that are opaque in the visible spectrum may be inspected in reflection if the reflectance of the surface is high enough in the visible spectrum.

## 7.2.2 Method 1

**7.2.2.1 General imperfections.** In Method 1, the quantifier "N" for uncoated, coated, or long scratches is the *maximum* number of permitted, or allowed, imperfections of the maximum specified size, A. N can be any integer, but would usually be in the range of 1-5.

The quantifier "A" is related to the *area* of the maximum allowed imperfection and should be selected from column 1 in Table A.1 of Part 7. "A" is the square root of the area of an imperfection, for example, the length in mm of the side of a square of the maximum allowed area. Thus, if  $A = 0,1$ , the area of the maximum allowed imperfection is  $0,01 \text{ mm}^2$ . The imperfection does not have to be square, and, in general, will not be. Fig. 7.1 illustrates several imperfections of the same area, but having varying aspect ratios. Another item to note about "A," is that the values in Table A.1 appear to be quite closely packed. Because, however, A is related to area through the side of a square, the progression in area is a factor of 2,5, a step that is readily apparent to the eye. Fig. 7.2 shows the areas of square and rectangular imperfections that increase in size with the progression in column 1 in Table A.1.

**7.2.2.2 Coating imperfections.** Some further words of explanation are needed for the other categories of surface imperfections in Method 1. The indication for

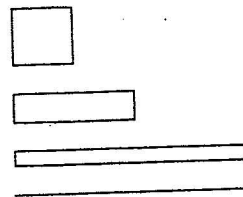


FIG. 7.1. Imperfections of the same grade (A) with aspect ratios from 1:1 to 64:1.

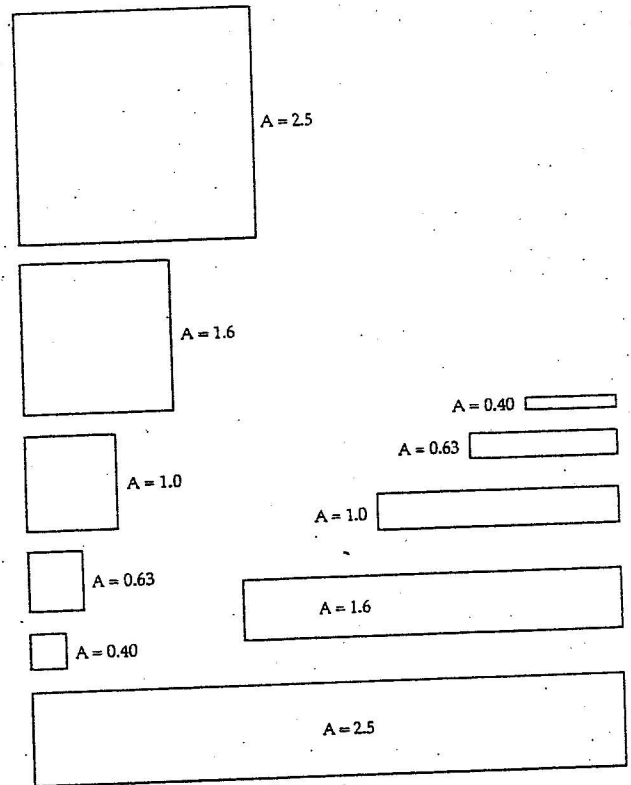


FIG. 7.2. A progression of imperfection sizes that vary as column 1 of Table A.1 of ISO 10110-7.

coated surfaces does not have to be used on a drawing for a coated element. The call out for an uncoated surface can also be used to specify the level of inspection for the finished optic. Using the indication for a coated surface does give the designer additional flexibility in specifying surface imperfections, in that they will appear more or less visible than on bare glass, depending on whether the coating applied was reflective or antireflective.

**7.2.2.3 Long scratches.** When using the "L" designation for long scratches, the number "A" refers to the *width* of the scratches in mm since long scratches are assumed to go across the entire surface. The concept of area has no place with regard to long scratches. The number "N" is simply the number of long scratches allowed. Subdivision of long scratches is allowed as long as the combined widths of the smaller scratches does not exceed NxA, and scratches of width less than  $0,3 A$  are not counted.

7.2.2.4 Edge chips. Edge chips have a single quantifier  $A$  that indicates the maximum depth that a chip may intrude inside the polished surface of the element. The measurement of depth from the beginning of the polish does not consider the size of the chamfer (or bevel), and does not depend on the location of the clear aperture. Since the size given for  $A$  may depend on both the chamfer and the clear aperture, it is necessary to work backwards to come up with an appropriate value for  $A$ . Any number of edge chips are allowed as long as they do not exceed the specified depth inside the polished edge.

7.2.2.5 Subdivision of imperfections. In Method 1, the number of allowed imperfections may be subdivided as long as certain rules are observed. First, the total area of all imperfections may not exceed  $N \times A^2$ , the total area of the maximum allowed imperfections. Second, imperfections with a size of  $0,16 A$  or less, shall not be counted in figuring the total area. Finally, while imperfections may be subdivided, concentrations of imperfections are not permitted. A concentration occurs when more than 20% of the allowed imperfections fall inside an area that is 5% of the area of the surface under inspection. Each of these rules will be discussed in more detail below. The U.S. standard MIL-O-13830 has similar provisions to accomplish much the same effect.

The total area of all imperfections must not exceed the area of the original indication. If there was only one maximum-sized imperfection  $A$  allowed, the total area obscured would be  $A^2$ . Table A.1 is helpful in showing that 3 (2,5 rounded up to 3) imperfections of size  $0,016 A$  or 6 (6,3 rounded to 6) imperfections of size  $0,01 A$  or 16 imperfections of size  $0,006 A$  obscure, or have the same area as one imperfection of size  $0,025 A$ . If  $N$  were an integer larger than one, then in each of the above cases, the total number of allowed imperfections would be  $N$  times larger. Fig. 7.3 illustrates this example using rectangular imperfections.

There is a limit to subdivision. If  $A$  is the largest allowed imperfection, imperfections of  $0,16 A$  and smaller are not to be counted. This is a reasonable limit, because there is the possibility of subdividing  $A$  into 16 imperfections of a size  $0,25 A$ , but no further.

7.2.2.6 Concentration of imperfections. Concentrations of imperfections are not allowed, and this is a fairly stringent requirement as written. If there are ten or fewer imperfections, a concentration is present when two or more imperfections lie within a 5% sub-area of the whole surface. If the surface has a unit diameter, then no two imperfections may lie within a distance of  $0,224$  of the diameter of each other.

## 7.3 OTHER STANDARDS

### 7.3.1 U.S. national standards

7.3.1.1 ANSI PH3.617-1980(R1985), Definitions, Methods of Testing, and Specifications for Appearance

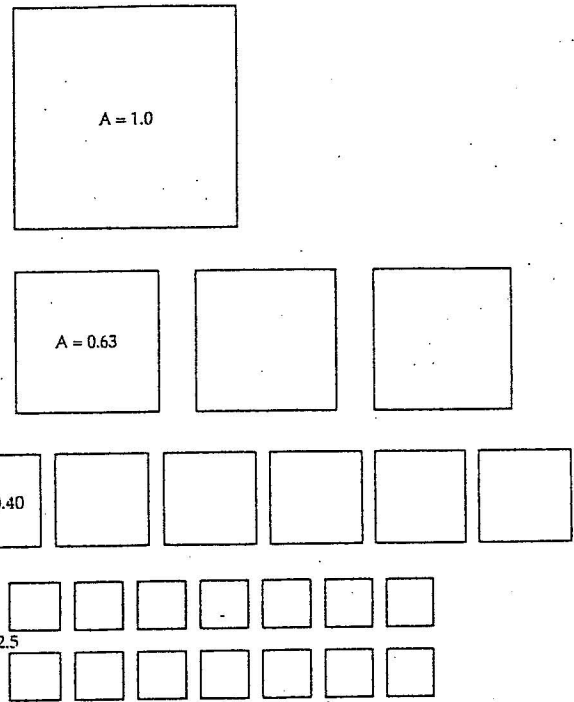


FIG. 7.3. Example of subdivision where the largest imperfection is equivalent to a series of smaller imperfections in total area, rounded off to the nearest number of whole imperfections.

ance Imperfections of Optical Elements and Assemblies. ANSI PH3.617 is similar in terms of inspection method to Method 2 of this standard.

### 7.3.2 U.S. military standards

7.3.2.1 MIL-O-13830A, Optical Components for Fire Control Instruments; General Specification Governing the Manufacture, Assembly and Inspection of. Section 3.5 of this standard refers to surface imperfections and is typically referred to as the Scratch and Dig specs. Drawing No. 7641866, Rev. L., which is an integral part of this standard, governs the dimensions of the glass scratch comparison samples. That the drawing is up to Rev. L, is some indication of the problem with this method. Digs are defined by linear dimension, but scratches are defined by visibility.

7.3.2.2 MIL-C-675C, Coating of Glass Optical Elements (Anti-reflection). This standard for single layer magnesium fluoride coatings says that the coating process shall not produce surface imperfections that make the surfaces unacceptable when inspected to MIL-O-13830A.

7.3.2.3 MIL-C-48497A, Coating, Single or Multi-layer, Interference: Durability Requirements for. This standard defines scratches in coatings in terms of measured *widths* rather than *visibility*.

### 7.3.3 German national standards

DIN 3140, Part 7, Dimensional and tolerance data for optical components—Surface defects. This stan-

dard forms the basis for the approach in Method 1 and has been the basis for specifying surface imperfections in the German-speaking parts of Europe for 30 years or more.

#### 7.3.4 French national standards

AFNOR S 10.006, Optics—Optical Elements—Surface Imperfections of Appearance—Industrial Method of Inspection and Classification of Optical Parts. This standard is essentially identical with Method 2.

#### 7.3.5 British national standards

BS-4301 (1982)—Preparation of Drawings for Optical Elements and Systems. This includes a section that is quite similar to the U.S. MIL system for scratch and dig, except that their artifact is different and contains only three grade levels of scratches.

### 7.4 THE FUNCTIONAL EFFECT OF SURFACE IMPERFECTIONS

#### 7.4.1 Cosmetic effects

One could easily argue that cosmetic effects are not functional at all, but when such imperfections affect whether or not a customer purchases a given optical instrument, cosmetics become very functional. The genuine concern with cosmetic imperfections is that they are interpreted as indicators of poor workmanship in parts of an instrument that may well affect function, even though the obvious appearance imperfection has no influence on function. Thus, the outermost surface in an optical instrument should be imperfection-free to a level that will not be noticed with casual inspection. Since this casual inspection will most likely be in reflection, the reflection test in Method 2 may be a more realistic specification, even though the element is transmissive. In IR instruments this is even more the case. The instrument, especially rifle sights and telescopes, may be held 10–20 in. from the eye by a consumer with a store light as a background. Any internal imperfections magnified by the instrument optics may be seen by the observer, and must be appropriately specified. Unfortunately, there are no widely published guides relating appearance to the scratch and dig standards.

Another area where cosmetic appearance more closely relates to function, but is just as much a true cosmetic problem, is where an optical element is in an image plane, as in the case of a field lens or a reticule. Surface imperfections on field lenses and reticules will be more or less visible when viewed through the eyepiece of an instrument, depending on the magnification at which the element is seen. Particularly since reticules are designed to be viewed under fairly high magnification, it is apparent that they must have only the faintest surface imperfections. In the case of field

lenses and reticules, they are truly viewed in transmission, so this might seem to make the transmission test of Method 2 the best candidate. There is some concern, however, that this method may not be sensitive enough to pick up imperfections small enough to still be objectionable.

#### 7.4.2 True functional effects

The really functional effect of surface imperfections is to scatter non-image forming light into the image plane. A surface imperfection is detrimental in two ways. First, light is scattered out of the image in proportion to the area of the imperfection relative to the area of the beam at the surface. If we think of the Strehl ratio as representing the amount of light in the central core of a point image relative to what would be there if a perfect lens were used, one can see that it is possible to calculate the effect of the imperfection on the Strehl ratio. Clearly, the imperfection has to be large to have much effect relative to other errors, such as aberrations.

Second, the scattered light is thrown into the skirt of the Airy disk, further reducing the apparent height of the central core. Thus, the core height is reduced by twice what might be thought at first glance, but this is still a small effect placed beside other effects if the instrument is being used to look at low contrast objects. On the other hand, if the purpose of the instrument is to view small, faint objects that are near to very bright objects, the small amount of scattered light from surface imperfections may become very objectionable in a very functional way. The intended use of the instrument must be kept in mind when specifying surface imperfections from a truly functional viewpoint.

### 7.5 INSPECTION FOR SURFACE IMPERFECTIONS

#### 7.5.1 Method 1

In Method 1, it is expected that a line width comparison plate of bright chrome lines on glass will be used in just the same manner as the U.S. MIL scratch and dig standard artifacts that are now used. The maximum width imperfection must be quantified by observing how much light is scattered from it, relative to that scattered by the chrome line. Then an estimate must be made of the length of the scratch to see if the area is less than the maximum allowed imperfection. Notice that the *actual* width of the scratch being measured has nothing to do with anything during the inspection. It is how much light is apparently removed from the viewing beam by scattering. Just as with the traditional methods of inspection, scratches are most easily seen when aligned parallel to a bright/dark line, such as might be formed by back-lit frosted glass covered with bands of black tape making equispaced light and dark areas. For some of the smaller imperfection widths, the inspection should be done with a loupe. A

high intensity light source is also acceptable, if the comparison plate and sample are illuminated and viewed in the same way.

As this new method of indication and inspection is being implemented, there are bound to be disagreements about whether or not a certain imperfection is of a certain visibility. An instrument called a microscope image comparator (see Ref. 3), has been developed and can be used to settle such disputes. This instrument has also been used to interrelate the various national scratch artifacts (see Ref. 4), and is now being used to interpret the visibility of the U.S. MIL Scratch Standards (see Ref. 5).

### 7.5.2 Method 2

Method 2 relies on a viewing station where the front and back lighting on the sample under test can be controlled in various ratios. This setting is accomplished with the artifact described in the standard. A commer-

cial version of the inspection station is available from GIAT Industries (see Ref. 6). The operation and preliminary results with the station have been documented in the literature (see Refs. 7, 8).

### REFERENCES

1. McLeod, J. H. and Sherwood, W. T., "A proposed method of specifying appearance defects of optical parts," *JOSA*, 35, 166-168 (1945).
2. Bennett, H. E., "Use of MIL-O-13830A for specifying the surface quality of laser optics," *Proc. SPIE*, 525, 78-81 (1985).
3. Baker, L. R., "Comparison of Visibility of Scratches," *Proc. SPIE*, 525, 64-69 (1985).
4. Comier, A. J., "Assessment of current scratch standards," *Proc. SPIE*, 805, 152-159 (1987).
5. Salerno, J., U.S. ARRADCOM, Picatinny Arsenal, Dover, N.J.
6. GIAT Industries, F-78013 Versailles, France.
7. Huard, A., "Visibility method for classifying microscopic surface defects for both reflection and transmission systems," *Proc. SPIE*, 525, 37-42 (1985).
8. Huard, A., et al., "Validation of a local defect classification procedure," *Proc. SPIE*, 1009, 218-233 (1988).

## CHAPTER 8

# Surface Texture

Surface texture is a global characteristic of optical surfaces and does not include the localized imperfections described in ISO 10110-7 Surface Imperfection Tolerances. Surface texture is, for the purpose of ISO 10110-8, a statistical property of the surface and is assumed to have the same character and magnitude over any area of the surface. A measurement made on one part of the surface is considered to be representative of the entire surface. In reality, however, it is necessary to measure surface texture at several positions to determine the average characteristics in order to ensure compliance with the drawing requirements.

### 8.1 BACKGROUND

Surface roughness is an important parameter in assessing the quality of high performance surfaces, such as those used in laser gyro systems, high power laser optics, and x-ray mirrors, where control over scattered light is crucial for successful system performance. Historically, the specification of surface roughness and texture has been driven by the needs of the mechanical and materials engineering communities. The primary purpose of this activity was to enable the preparation of metal surfaces to allow them to perform properly in mechanical applications where contact was required between surfaces, such as in bushings and sleeve bearings. In recent years, the optics industry has begun to use the same surface roughness concepts to specify the quality of optical surfaces.

The optics industry has found, however, that the existing standards for mechanical surfaces as found in ANSI/ASME B46.1 and ISO 1302 are inadequate for specifying the quality of optical surfaces for a number of reasons. The most obvious is that the magnitude of height irregularities relevant for optical surfaces is smaller by several orders of magnitude than those for mechanical surfaces: optical surfaces are measured in units of Angstroms or nanometres, while mechanical surfaces are measured in units of micrometres. A second reason is the introduction of non-contact optical profiling instruments in the past decade with digital data analysis, making surface roughness measurements on very smooth surfaces very easy to perform. Computer analysis of measurement data has allowed

for the rapid calculation of numerous statistical quantities related to the roughness, including the power spectral density function. Theoretical calculations of scattered light arising from surface roughness have been verified by numerous measurements. Using measured profiles and computed power spectra, it is now possible to predict the light-scattering properties of an optical surface without having to set up a functional scattered light test at the appropriate wavelength. This is an extremely useful evaluation technique when the surface is designed to be used at wavelengths outside the visible spectrum.

Perhaps the most significant aspect of the present specification is the adoption of the power spectral density (PSD) function as a means to specify the surface roughness. Implicit in the use of the PSD function is the concept of "bandwidth" of the roughness and of the measuring instrument. The designer now has more control over the specification of roughness: he/she can relax the tolerances in spatial frequency regions that have little impact on performance, and conversely, can tighten the parameters in spatial frequency regions that significantly impact system performance. The manufacturer can also tailor his process to meet the precisely specified roughness criteria, provided he has the instrumentation and analysis tools to measure the surface roughness spectral density function.

### 8.2 ISO 10110 INDICATIONS IN DRAWINGS

#### 8.2.1 Basic drawing indication symbol

ISO 10110, Part 8, divides surface textures into two classes—matte surfaces and specular surfaces. Matte surfaces are usually produced by grinding or chemical etching, and have the functional property of intentionally scattering light diffusely into large angles away from the specular direction. Specular surfaces, on the other hand, are meant to produce very little scattered light. Matte surfaces act as they do because the magnitude of the vertical height variations, over the appropriate range of lateral dimensions on the surface, are a significant fraction of a wavelength of light. The appropriate lateral spatial dimensions relevant for large angle scatter usually encompass spatial periods from a

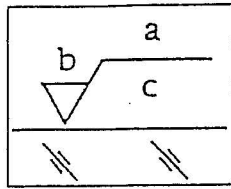


FIG. 8.1. Basic "check mark" indication for surface texture specification, showing the location of modifier symbols that provide specific detailed information.

TABLE 8.1. Parameters used on the check mark symbol for the various surface texture specification methods. A particular indication requires the combination of symbols indicated in the appropriate column in the proper units.

	Matte or Ground	Polished		
		Micro-defects	RMS Surface Roughness	FSD
a	G	Pn	P or Pn	P or Pn
b	$R_q$ $R_{qmax}$ or $R_q$ $R_{qmin}$ [ $\mu$ m]	-----	$R_q$ $R_{qmax}$ [ $\mu$ m]	A/B
c	$l_{min}$ or $l_{min}/l_{max}$ [mm]	-----	$l_{min}/l_{max}$ [mm]	C/D [mm]

small fraction of the incident wavelength up to between 10 and 100 times the incident wavelength. Conversely, specular surfaces are very smooth because height variations do not exceed a small fraction of the incident wavelength. Because of this wide range of surface roughness values, and also for historical reasons, a number of different texture specification methods have been incorporated into this document. All make use of the "check mark" symbol found in ISO 1302, but with special indications to distinguish it as an optical surface indicator, rather than a mechanical surface. The generic form of the check mark symbol for optical surface texture specification is shown in Fig. 8.1. The variables a, b, and c, located as indicated relative to the elements of the check mark, assume specific values based on the parameters of the indicated surface. Allowed values for the various symbol combinations are presented in Table 8.1 and are explained in the following sections.

### 8.2.2 Parameter definitions

Conventional surface texture parameters for ground and polished surface specification, based on the use of contact stylus profiling instruments, are defined in ISO 4287/1-1984—Surface roughness—Terminology—Part 1: Surface and its parameters and in ISO 4287/2-1984—Surface roughness—Terminology—Part 2: Measurement of surface roughness parameters. One must be aware that the definitions presented in these documents were drafted before the use of computer-aided, digitized data acquisition became the norm in optical surface texture metrology. Most of the terminology was developed specifically for mechanical stylus profilers with analog voltage output signals recorded on

strip chart recorders. The output voltage signals were first passed through high-pass RC filter networks to cut off low frequency artifacts that usually were caused by instrumental drift and instabilities. No attention was given to high frequency, short period, limitations in the measurement methods. Average quantities are computed by time-averaging the output signals over time windows corresponding to a certain trace length on the surface. The formulae used to define surface texture parameters are given in terms of definite integrals of a continuous variable, rather than as a discrete summation over a digitized number of data points. Acknowledgment of digital data methods is only found in Part 2 of ISO 4287 in paragraph 3.9, which defines "profile sampling interval,  $\Delta x$ " as the "distance between the adjacent discrete ordinates of the profile when measuring surface parameters by digital methods." Digital data processing by computer has made it easy to apply statistical signal processing methods to surface profile data. In order to take full advantage of signal processing methodology, it is necessary to add the concept of "spatial frequency bandwidth" to the measurement vocabulary. Based on the current state-of-the-art in surface topography measurement and analysis methods, we need to review the concepts presented in the above standards and apply them to current computer data acquisition and analysis methods.

8.2.2.1 Sampling length and spatial bandwidth. Figure 8.2 illustrates parameters as defined in the ISO 4287 standards relevant to the measurement of data over a finite trace length by a mechanical stylus profiling instrument. The measuring instrument traces out a profile over a long distance,  $l_n$ , called the "evaluation length." The evaluation length is divided into several adjacent subintervals identified as "sampling lengths," each of length  $l$ . A "mean line" is fit to each sampling length by a least-squares process, and the relevant surface descriptors are calculated relative to these mean lines. An average value for the particular descriptor over the evaluation length is then calculated by averaging the individual values over the total number of sampling lengths. For contact stylus profilers, it is recommended that the evaluation length be comprised of at least 5 sampling lengths and that, according to ISO 3274, the sampling length should be equal to the "cut-off" wavelength of the high pass filter used to suppress low frequency information from contributing to the calculated parameters. Standard cut-off wavelengths for filtering the data from these instruments range from 0,08 mm to 8 mm.

Digital data acquisition appears to have caused a de facto generalization of the term "sampling interval" as used in Part 8 of ISO 10110. For the RMS surface roughness specification method, minimum and maximum sampling lengths are required in the check mark symbol. These sampling lengths, however, are not exactly those as defined in ISO 4287/1, but rather are meant to be the user-required spatial frequency band-

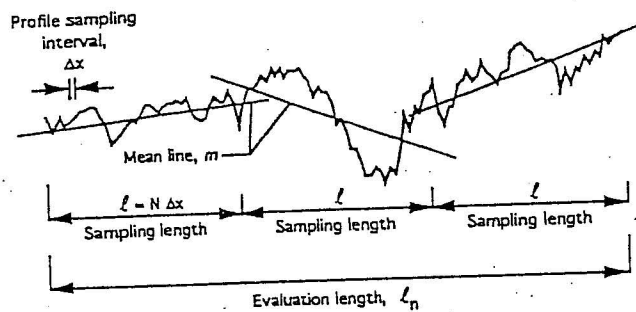


FIG. 8.2. Parameters as defined in ISO 4287 related to the measurement of surface texture.

width that needs to be provided by the measurement method. The maximum sampling length,  $\ell_{\max}$ , in the RMS roughness indication can be considered equivalent to the "sampling length" as defined in Fig. 8.2, but the minimum sampling length,  $\ell_{\min}$ , is not addressed in ISO 4287. What is meant by  $\ell_{\min}$  in Part 8 is: the shortest spatial period contribution to the bandwidth-limited roughness parameter, which is equivalent to the highest spatial frequency in the specified bandwidth.

Digital output data from a linear surface profiler consists of a set of height values sampled at uniform "profile sampling intervals,"  $\Delta x$ , along the surface. If there are  $N$  total data points, the total trace length is  $L = N \Delta x$ . According to the principles of signal processing theory, information on the frequency content in this set of sampled data is available from the low frequency limit defined by the inverse of the total trace length,

$$f_{lo} = 1/L = 1/(N \Delta x) \quad (1)$$

up to the high frequency limit given by the Nyquist frequency of the data sample,

$$f_{Ny} = 1/(2 \Delta x) \quad (2)$$

Converted into spatial period or spatial wavelength, the low frequency limit in the data array is given by:

$$\ell_{lo} = 1/f_{lo} = L = N \Delta x \quad (3)$$

and the high frequency (Nyquist) limit in terms of spatial period becomes:

$$\ell_{Ny} = 1/f_{Ny} = 2 \Delta x \quad (4)$$

Note that the maximum spatial frequency information in the data set is imposed by the discrete nature of the sampling process. The actual surface probably contains higher spatial frequency components, but information about them is inaccessible to us when the sampling interval is not small enough. In fact, higher frequency information can leak through the Nyquist frequency and contaminate lower spatial frequencies,

a process known as "aliasing." There are standard techniques available for minimizing errors caused by aliasing, such as removing trends from the data and applying window functions, which can be found in various textbooks on the subject (see Ref. 1). The main point of interest to us here is that the texture specification on the drawing specifies a spatial period bandwidth over which the RMS roughness is to be derived by integration over all spatial period components within that bandwidth. The specified spatial period bandwidth may or may not coincide exactly with the bandwidth available from a particular measuring instrument. For this reason it is usually easier to convert the measurement data into the spatial frequency domain, and then compute the desired statistical quantities over a given frequency bandwidth. This will be covered in more detail in a later section. It is the job of the metrologist to make sure that the measuring instruments provide the desired information over the specified bandwidth.

8.2.2.2 RMS roughness estimators. The root-mean-square roughness parameter is calculated over each sampling length according to the integral defined in ISO 4287/1, Subclause 5.11:

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{\ell} \int_0^{\ell} y^2(x) dx} \quad (5)$$

where  $y(x)$  is the filtered height of the profile relative to the mean line at each value of  $x$ . Note that the calculation of  $R_q$  is cast in the form of an integral over a continuous variable. For discretely-sampled digitized data, the appropriate form for the RMS roughness becomes

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i^2} \quad (6)$$

where each data point corresponds to a measurement over a finite sampling interval,  $\Delta x$ , at locations spaced that same distance apart. This form of the equation for the RMS roughness is appropriate for profile data from computer-controlled instruments that either digitize the signal from an analog transducer, or that utilize a detector comprised of individual pixels spaced on a uniform grid.

In the field of statistics, the algebraic expressions in equations 5 and 6 are called "estimators," and the numerical values derived from them are called "estimates," and would be distinguished from the true value of the statistic  $R_q$  by the presence of the caret symbol "ˆ" above the  $R$ , e.g.  $\hat{R}$ . Here, however, we drop these distinctions and use the terms interchangeably.

### 8.2.3 Matte or Ground Surfaces—G

Ground surfaces are usually thought of as diffuse scatterers. They act as they do because the roughness of the surface usually exceeds one wavelength of the incident light. Usually surfaces are left ground if they



are not part of the refracting or reflecting function of the element. In some cases the surface is purposely ground to a specific finish value in order to control some aspect of stray light in the system, or to provide some specific interface property with another element, such as for adhesion of bonding materials.

The allowed combinations of surface specifiers for ground surfaces are shown in Fig. 8.3 and in the columns in Table 8.1. The basic indicator for matte or ground surfaces is the letter G located in the "a" position above the check mark. The RMS roughness values, in units of micrometres, are placed in the "b" position above the triangle. A single number above the triangle indicates the maximum permissible  $R_q$  value. The designator " $R_q$ " is always placed in front of the number to indicate that it is an RMS quantity, not an  $R_a$  quantity. If desired, the minimum allowed surface roughness can be indicated below the maximum value, in accord with the check mark format in ISO 1302. In the "c" position, a single number placed under the horizontal line indicates the minimum sampling length,  $l_{min}$ , in millimetres over which the  $R_q$  value is to be measured. This sampling length corresponds to that defined in ISO 4287/1, Subclause 4.16. In practice,  $l_{min}$  is usually the length of a segment of the total profile over which a least-squares straight line (the "mean line") has been subtracted. The  $R_q$  value is computed from the residuals about the mean line over the  $l_{min}$  distance. The upper limit of the sampling length,  $l_{max}$ , in units of millimetres, can be specified by placing a second number under the slash. This maximum sampling length is identified with the "evaluation length" defined in ISO 4287/1, Subclause 4.17, and is comprised of one or more adjacent sampling lengths. The minimum sampling length,  $l_{min}$ , corresponds to the instrument cut-off, as defined in ISO 3274.

### 8.2.4 Polished Surfaces—P

Polished surfaces are distinguished from matte surfaces by the characteristics of high specular reflectance and low scattered light. In general, the roughness of polished surfaces is usually a small fraction of the wavelength of light. Some surfaces intended for use in

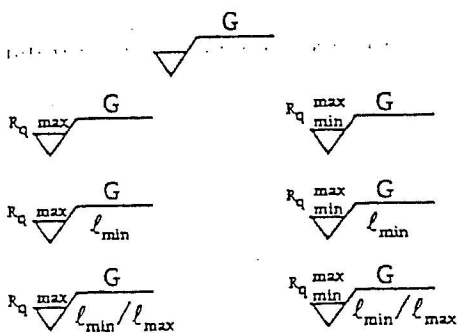


FIG. 8.3. Allowed designations for ground, or matte, surface parameters.  $R_q$  max and  $R_q$  min are in units of micrometres;  $l_{min}$  and  $l_{max}$  sampling lengths are in units of millimetres.

the far infrared may not appear very specular when tested with visible light. The parameters used in this ISO specification for polished surfaces give the designer and fabricator precise information about surface properties that is independent of the wavelength of light. This eliminates the potential for a great deal of confusion in defining what one means by "polished" surface.

There are three methods in Part 8 that can be used alone or in various combinations to specify the quality of polished surfaces. They are: RMS surface roughness, micro-defects, and power spectral density function. RMS roughness and power spectral density are closely related quantitative concepts, while the micro-defect method, which is the basis for a German DIN 3140 standard, is more qualitative and is seldom used in the United States. With reference to Fig. 8.4 and the entries in Table 8.1, the basic designation for a polished surface is the letter P placed above the line in the "a" position on the check mark. Various parameters are added to the symbol to specify the nature of the polished surface.

8.2.4.1 Micro-defects. Micro-defects are small pits or depressions found in polished surfaces that are smaller than the scratch and dig surface defects covered under Part 7 of this specification. The desired surface quality is indicated by adding an integer in the range from 1 to 4 next to the P symbol above the line, as done for the symbols in the column on the right side of Fig. 8.4. This specification method is based upon the German DIN 3140 standard, where the surface quality indication is specified by the number of rhomboidal, or diamond-shaped, figures placed next to a surface (see Ref. 2). The integers refer to entries in a table of values (Annex 1 in Part 8 of the specification) relating the number of observed defects to a particular grade number. The integer value corresponds to the number of diamonds, 1 is the lowest quality range and 4 is the highest quality. Range 1 contains no more than 400 micro-defects per 10 mm sampling length; range 4 contains no more than 3 per sampling length. The method used to quantify micro-defects is based upon measur-

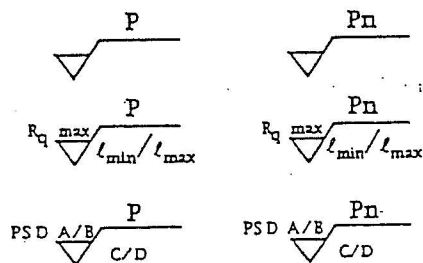


FIG. 8.4. Allowed designations for polished surfaces. Micro-defect method indicated by integer "n." RMS roughness is indicated by  $R_q$  max value in  $\mu\text{m}$  units and requires sampling length range in units of mm. PSD indicated by parameters A/B and C/D, where A is the value of the numerator and B is the exponent in the denominator of the power law function. The C/D spatial period range designations are in mm.

ing the number of times a stylus profiler indicates a "significant" departure from an otherwise smooth surface in a 10 mm trace length. This method is roughly related to the number of times a surface deviates by more than four or five standard deviations from its average value as measured by a profiling instrument, although the definition is not stated in this way.

8.2.4.2 RMS surface roughness. The root mean square (RMS) surface roughness is designated by  $R_q$ , and is defined in ISO 4287/1, Subclause 5.11, as:

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{L} \int_0^L y^2(x) dx} \quad (7)$$

where  $L$  is one sampling length. The units of  $R_q$  are in micrometres and the sampling lengths are always in millimetres, to be consistent with ISO 468-1982, which deals with conventional machined surfaces. A more useful form of equation 1, for use with digitized or sampled data, is the discrete summation:

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i^2} \quad (8)$$

where the discrete height values,  $y_i$ , are sampled at uniformly spaced points along the surface, where the distance between points,  $\Delta x_i$ , is the "profile sampling interval" as defined in ISO 4287/2, Subclause 3.9. As noted in Subclause 5.11 of ISO 4287/1, values of  $R_q$  are usually averaged over several sampling lengths within the longer evaluation length to give a better estimate of the true surface roughness. For ordinary machined surfaces there is a set of standard sampling lengths defined for contact stylus profiling instruments in ISO 3274-1975, which are the low spatial frequency cut-off values to be used in filtering the measurement data. These same low frequency cut-off values are found in ANSI/ASME B46.1-1985. The ISO documents do not address the high frequency behavior of the measuring system. The B46 document, however, does specify that the short wavelength cut-off is to be at 2,5  $\mu\text{m}$  (0,0001 in.).

Both of these equations refer to departures of the surface profile from some "average" profile over some finite sampling length. There are a number of ways to define this "average" profile. The recommended method is to use the "least squares mean line of the profile," or simply "mean line," as defined in ISO 4287/1, Subclause 4.19. Most of the statistical properties of the surface are calculated with reference to the mean line. In practice, this means that the average piston term, or DC level, and the average tilt have been subtracted from the data set. This can be achieved in practice by subtracting a least-squares-fit straight line to the data segment or by applying a high-pass filter to remove low spatial frequencies below the cutoff value. ANSI B46.1-1985 and ISO 3274-1975 (E) contain recommended filter parameters appropriate for stylus profiling instruments on machined surfaces.

Implicit in the definition of the mean line is the need to subtract the ideal surface form from the measurement if the ideal surface is anything other than flat. In general, optical surfaces are usually segments of spheres, so that the lowest order "mean line" actually needs to be a 2nd-order polynomial, which is the parabolic approximation to a sphere. Aspheres will generally require a higher-order polynomial fit subtraction. In practice, low order polynomial functions are fit to the linear or area profiler measurements by the analysis software so that the user can remove piston, tilt, curvature in 1 or 2 directions, and possibly quartic terms, from the optical surface measurement before computing the  $R_q$  value.  $R_q$  can also be computed by a summation of the power spectral density function over a particular range of spatial frequencies. This method is discussed in the next section.

The use of the  $R_q$ max value without a range of sampling lengths in the check mark symbol is not permitted. There is, however, no standard practice to define how to compute  $R_q$ max from a measured data set over a limited spatial bandwidth. For instance, suppose the data consists of discrete points sampled at  $\Delta x_i$  intervals of 2,5  $\mu\text{m}$  over a total trace length (evaluation length) of 5 mm. We can easily determine the  $R_q$ max value for this entire data set by performing the summation in equation 2, which would give us the roughness over the spatial bandwidth of 2,5  $\mu\text{m}$  to 5 mm. Now suppose we were only interested in the roughness over the spatial period range from 50  $\mu\text{m}$  to 1 mm. How do we go about manipulating the data set to give us the correct number? We first need to apply a bandpass filter to the entire data set with the correct wavelength cut-off values. This is most easily accomplished if we work in the frequency domain, not in the spatial domain. We can use standard signal processing methods by Fourier transforming the original data set into the spatial frequency domain, cutting off the spatial frequencies outside the desired bandwidth, then inverse transforming back into the spatial domain. We can then apply equation 8 to the entire filtered spatial domain data set to compute the value of  $R_q$ max, which now contains information only over the desired spatial period range. Or, after Fourier transforming the data into the frequency domain, we can compute the power spectral density function and use it to compute the  $R_q$ max value over any range of spatial frequencies by simple integration. This method is explained more fully in the next section.

Typical values of  $R_q$ max for various polished surfaces can range from less than 0,1 nm for "super polished" surfaces, between 0,1 and 1 nm for "very good" surfaces, and above 1 nm for "ordinary" surfaces. These are arbitrary distinctions, but they serve to indicate the typical range of surface finishes produced by present-day optical fabrication technology.

8.2.4.3 Power spectral density function. The power spectral density (PSD) function offers the maximum flexibility in specifying the topography of high per-

formance optical surfaces. Various statistical quantities can be derived from it, such as the RMS roughness and slope error values over selected bandwidths (see Refs. 3 and 4). Most useful is the fact that the intensity and angular distribution of scattered light is directly related to the PSD function: a measurement of the scattered-light intensity or "power" in an angle-resolved scatter measurement is a direct measurement of the "power" spectrum of the surface roughness (see Ref. 5).

The PSD function used in ISO 10110 is more precisely called the "one-dimensional" power spectrum to distinguish it from the "two-dimensional" power spectrum. This distinction arises from the nature of the profiler measurement that is most commonly used in the calculation of the PSD function. A typical profiling instrument makes a single linear trace along one dimension on a surface, resulting in a one-dimensional array of surface height data versus a single surface co-ordinate direction. The spectrum computed from the one-dimensional Fourier transform of the height data is called the "one-dimensional" PSD function. The actual scattered light distribution from a surface at normal incidence is, however, directly related to the "two-dimensional" PSD function. Newer profiling instruments are capable of measuring the surface topography over a two-dimensional area on a surface, and it is possible to compute the two-dimensional PSD function from this data. If the surface roughness is isotropic and has no preferred direction, or lay, it is possible to relate the two spectra through an integral transform. This relationship is discussed more fully in a later section. Since it is always possible to extract a linear subset of data from a two-dimensional array, it is computationally easier to work with the one-dimensional PSD function as a means of specifying surface properties.

The one-dimensional power spectral density of a surface profile measurement is given by (see reference 6)

$$S_1(f_m) = \frac{2D}{N} \left| \sum_{n=0}^{N-1} e^{i2\pi mn/N} \cdot W(n) \cdot Z(nD) \right|^2 K(n) \quad (9)$$

where the surface height,  $Z(nD)$ , is sampled at a finite number of discrete points,  $N$ , each separated by the uniform sampling distance,  $D = \Delta x_i$ .  $W(n)$  is a data window that is used to condition the random profile data and eliminate spurious effects caused by nonzero values at the endpoints of the profile data set, and  $K(n)$  is a bookkeeping factor:  $K(n) = 1$ , except  $K(0) = K(N/2) = 1/2$ , which ensures that the RMS roughness value computed from the PSD function over the full spatial period bandwidth is identical to the RMS value computed from the height data. Computing RMS roughness values from the power spectrum is useful because it allows one to select the range of spatial frequencies to include in, or exclude from, the RMS roughness number.

Four parameters are required in using the PSD method to specify surface roughness; they are denoted A, B, C, and D. The first two parameters, A and B, are the coefficients in the power law function used to model the shape and magnitude of the PSD function. This form of a two-parameter power law function is chosen because most polished optical surfaces are observed to fit this type of a function over the range of spatial frequencies available to present-day profiling instruments. The other two parameters, C and D, refer to the shortest and longest spatial periods (in units of millimetres) over which the PSD function is to be defined. One needs to be aware that the units of spatial frequency in the power law function are "micrometres," so there is a danger of dropping a factor of 1000 when converting from the C,D parameters to the values of  $f$  for the power law function.

In the power law model, the functional form of the power spectrum is given by:

$$\text{PSD}(f) = \frac{A}{f^B} [\mu\text{m}^{-3}] \quad \text{over } [C,D] \text{ in mm} \quad (10)$$

where the spatial frequency range is inversely related to the spatial periods by

$$f_{\min} = \frac{1}{1000 \cdot D} \quad \text{and} \quad f_{\max} = \frac{1}{1000 \cdot C} \quad (11)$$

or

$$\frac{1}{1000 \cdot D} \leq f \leq \frac{1}{1000 \cdot C} \quad \text{in units of } \mu\text{m}^{-1} \quad (12)$$

Note that the spatial frequency values entering into the PSD calculation are converted to units of inverse micrometres from the spatial periods given in units of millimetres in the drawing indication. This mixing of units is unavoidable if we are to maintain the connection with the terminology in ISO 468 and 4288 which define the surface sampling lengths in units of mm. The more natural unit for optical surface is micrometres, so the least-confusing procedure is to first convert spatial periods in mm to spatial frequency in micrometres before proceeding with any PSD calculations.

The PSD function is very useful for computing bandwidth-limited statistics from the surface profile. The RMS roughness over the range of spatial frequencies  $f_{lo} = 1/D$  to  $f_{hi} = 1/C$  is computed from:

$$\sigma^2 = \int_{f_{lo}}^{f_{hi}} S_1(f_x) df_x \quad (13)$$

and the RMS slope error is computed from:

$$\mu^2 = \int_{f_{lo}}^{f_{hi}} (2\pi f_x)^2 S_1(f_x) df_x \quad (14)$$

These definitions for RMS roughness and slope error are valid for any functional form of the spectrum. If

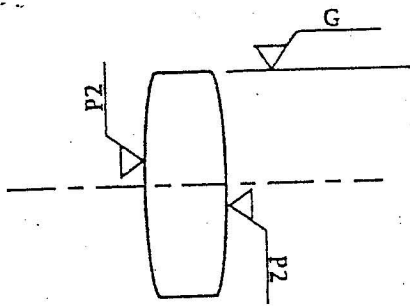


FIG. 8.5. Drawing indication that allows less than 80 micro-defects in a 10 mm length on two polished surfaces. RMS and PSD are unspecified. A ground edge is indicated.

the spectrum is evaluated in discrete form, the integrals in these equations can be replaced by discrete summations. These two equations give the roughness and slope values for the measured profile, which may differ from the intrinsic surface parameters as a result of the non-unity transfer function of the measurement process. One must always be aware that the measurement may not give true information about the surface because of instrument limitations.

### 8.2.5 Examples

**8.2.5.1 Micro-defect and RMS indications.** Examples of the use of the check mark symbol to indicate the quality of several surfaces on two lenses are shown in Figs. 8.5 and 8.6. These figures illustrate the specification of a ground surface and of polished surfaces by the micro-defect method and by the RMS roughness method. The parameters in these figures are only indicative of the way in which surface texture can be specified. The actual values used will depend on the application.

**8.2.5.2 PSD indications and practical considerations.** An example of power law functions fit to measurements made on a real surface with two different surface profiling instruments is shown in Fig. 8.7. This surface is a polished electroless nickel-plated aluminum mirror 610 mm long. Measurements were made with two different profiling instruments: a WYKO NCP-1000 optical profiler (see Ref. 7), and a Long Trace Profiler (LTP) (see Ref. 8), at Brookhaven National Laboratory. A typical profile measurement of this surface made with the WYKO instrument is shown in the lower panel of Fig. 8.8, and a typical LTP profile is shown in the upper panel. The WYKO instrument covers the high frequency range over spatial periods from 5 mm down to 5  $\mu\text{m}$  using a 2,5x magnification objective; the LTP measures over the low frequency range covering spatial periods from 610 mm (the full length of the surface) to 2 mm. The Nyquist frequency for each instrument, which is the inverse of twice the maximum sampling period, is 10  $\mu\text{m}$  for the WYKO and 4 mm for the LTP. The two instruments measure over complementary spatial fre-

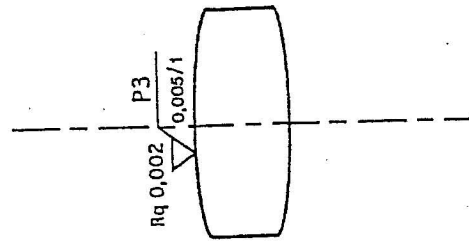


FIG. 8.6. Drawing indication that allows RMS roughness of 0,002 micrometres over sampling lengths between 0,005 mm and 1 mm. Micro-defects less than 16 defects per 10 mm sampling length.

quency ranges. There is, however, a region of overlap between the 4 and 5 mm spatial periods, which is useful as a consistency check to insure that each instrument is performing properly.

It is important to note that each of the PSD curves plotted in Fig. 8.7 is comprised of an average of several individual PSD curves, each computed from separate profile measurements on the surface. Averaging the PSD curves is necessary to smooth out statistical fluctuations in the individual measurements, especially at the higher spatial frequencies, which arise from the random nature of the surface roughness. Averaging several PSD curves allows one to extract the true nature of the surface roughness spectrum from the "speckle" fluctuations. The curves are presented on log-log plot axes, rather than on log-linear or all linear axes, to better visualize the power law nature of the spectrum. A power law function plotted on a log-log scale results in a straight line, from which it is easy to measure the slope (B-parameter) and the intercept with the 1  $\mu\text{m}^{-1}$  frequency coordinate (A-parameter). The A-B parameter can also be computed by a non-linear least-squares fit to the model, or by ordinary least-squares fitting to the logarithm of the data point values. It is necessary to weight each data point by the inverse of the spatial frequency in order to balance the greater density of points at the higher spatial frequencies, which arises from the nature of the discrete Fourier transform calculation algorithm.

One can see from Fig. 8.7 that the underlying surface roughness is best fit by two power law functions of the form of equation 10 over two distinct spatial frequency ranges. The dashed lines show the two power law curves that result from a least-squares fit over the appropriate range of spatial frequencies. There is a natural break point between the "high" and "low" frequency ranges occurring at a spatial period of about 1 mm, where the two dashed curves intersect. In fact, the break point between the two curve fits lies outside the frequency limits of the low frequency instrument, well within the range of the high frequency profiler at a spatial period of about 1 mm. This is confirmation that the observed power spectrum is an intrinsic property of the surface and is not an artifact of the measuring instrument.

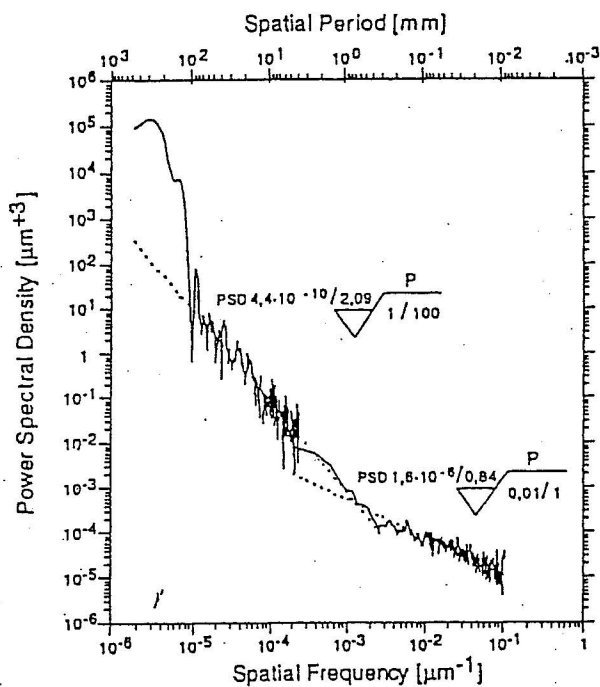


FIG. 8.7. Power law functions (dashed lines) fit to averaged PSD curves for an electroless Ni surface as measured with two different profiling instruments, each covering a different range of spatial periods. Note that the check mark indications do not coincide with the instrument measurement bandwidths. The dashed lines extend beyond the range of the fit regions in each case for illustration only. Spatial period numbers under the check mark are in millimetres.

The check mark symbols corresponding to the power law functions fit over the two frequency ranges are:

$$\text{PSD } 4,4 \cdot 10^{-10} / 2,09 \begin{array}{c} \text{P} \\ \checkmark \\ 1/100 \end{array}$$

for the low frequency segment (to the left of the break point), and

$$\text{PSD } 1,6 \cdot 10^{-6} / 0,84 \begin{array}{c} \text{P} \\ \checkmark \\ 0,01/1 \end{array}$$

for the high frequency segment. The RMS roughness value for the low frequency segment, computed by integrating the power law function over the spatial frequency range from  $10^{-5}$  –  $10^{-3}$   $\mu\text{m}^{-1}$  (corresponding to the spatial period range from 100 mm – 1 mm), is about 10,3 nm. The RMS value for the high frequency segment over the spatial frequencies  $10^{-3}$  –  $10^{-1}$   $\mu\text{m}^{-1}$  (corresponding to the spatial period range from 1 mm – 10  $\mu\text{m}$ ) is about 1,9 nm. The large increase in the PSD at the lowest spatial frequencies is not included in the low frequency roughness value, since it is more properly identified with figure errors in the surface. The power law function is only intended to describe the

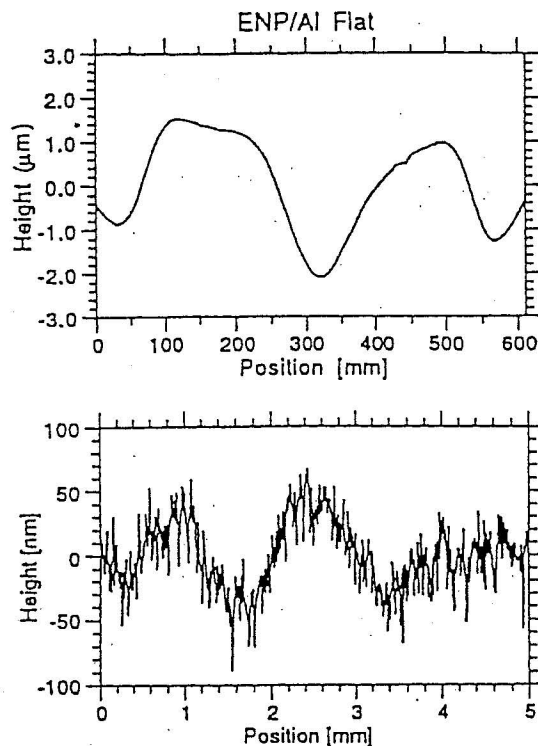


FIG. 8.8. Individual profiles used in the calculation of the PSD for the electroless Ni surface in Fig. 8.7. (Top) Profile made with the Long Trace Profiler covering the 2 mm to 610 mm spatial period bandwidth. (Bottom) Profile of a 5 mm segment of the surface made with a WYKO NCP-1000 profiler with pixel size of 5  $\mu\text{m}$ .

underlying random surface roughness phenomenon, which, in this case, appears to extend well into the region that one would normally call "waviness." This illustrates the utility of the PSD function in allowing one to see exactly at which spatial periods figure error begins to depart from the underlying surface finish, which is usually different for every surface.

Actual profile measurements of the surface are shown in Fig. 8.8. The upper frame shows a measurement from the LTP; the lower frame is from the WYKO NCP-1000 with 2,5x objective. The large excess low frequency component in the spectrum in Fig 8.7 is identified with the large amplitude figure error that is apparent in the upper frame in Fig. 8.8. It must be noted that the PSD curves presented in Fig. 8.7 are only an example of how the power law function can describe the parameters of a real surface. Other surfaces will have PSD curves that may be entirely different from those shown in this example. These PSD curves are presented here only for purposes of illustration, and are not meant to imply that other surfaces will have these same figure and finish properties.

The ENP/AI mirror surface example illustrates the relationship between the four parameters in the PSD specification to an actual measured power spectral density function. The fact that two separate check mark symbols are used to describe this surface is not

precluded by this specification. Each check mark is valid over a limited range of spatial periods. The ranges do not overlap, so there is no contradiction between them. The dashed lines in Fig. 8.7 are separately fit to each spatial period range indicated on the check mark symbol, but are shown extending beyond each region of applicability in order to illustrate the departure of the fit from the actual spectrum outside the region of validity of the curve fit. Two check mark symbols could also be used with the RMS specification method.

The question arises as to the physical dimensions of the power law coefficients, A and B. For most real surfaces, which exhibit fractal behavior, the value of B is generally not observed to be an integer. This tends to generate unwarranted confusion if one requires that dimensional analysis of the PSD equation lead to some physical meaning for the non-integral dimension of A. For the purpose of specifying surface roughness, it is sufficient to understand A and B as merely parameters describing the magnitude and slope of a mathematical line on a log-log plot scale. Without reading any deep physical significance into the meaning of these parameters, we see that the numerical value of A is the value of the function at the frequency of  $1 \mu\text{m}^{-1}$  (or at  $1 \mu\text{m}$  spatial period), or, in other words, A is the value of the PSD function when the denominator assumes a value of unity. Of course, dimensional analysis says that the parameter A has units of "micrometres to the 3-B power," but this has no physical significance for the purpose of this specification.

As in the discussion of the RMS roughness method in the previous section, one needs to remove the mean line from the raw profile data before computing the PSD function. If the profile is not pre-processed properly, spurious information can be added into the computed spectrum, which usually shows up as excess high frequency power. The same ideal surface subtraction concepts hold for this method as for the RMS method, i.e., the ideal surface shape should be subtracted from the raw data before processing. In addition, other signal processing techniques can be applied to the data sample, such as applying a window function to reduce the effects of edge discontinuities at the ends of the profile, in order to eliminate spurious information from being introduced into the processed data. For a more complete discussion of the problem of signal processing in the frequency domain, see the discussion in *Numerical Recipes* (see Ref. 1), or in several of the papers by Church and co-workers (see Refs. 9-12).

### 8.3 OTHER STANDARDS

8.3.1 ISO 4287/1-1984 Surface roughness— Terminology—Part 1: Surface and its parameters  
ANSI/ASME B46.1-1985—Surface texture (Surface Roughness, Waviness, and Lay)

These documents define the various terms used to describe surface texture parameters, such as  $R_a$ ,  $R_q$ ,

roughness, waviness, lay, etc. Waviness is not currently part of the ISO nomenclature; it is only found in the U.S. documents. The concept of "waviness" is implicitly included in the ISO standard by allowing for a variable maximum and minimum surface sampling length in the measurement of  $R_q$  and in the use of the PSD function.

8.3.2 ISO 1302-1992 (E) Technical Drawings— Method of Indicating Surface Texture on Drawings

The check mark symbol for surface texture is described. The finest grade surface that is covered by this specification is designated as Grade 1 with a 25 nm  $R_a$  value.

8.3.3 ANSI Y14.36-1978 Engineering Drawing and Related Documentation Practices, Surface Texture Symbols

This standard defines the style of check mark used in U.S. drawings. The finest surface finish that is addressed is 0,5 microinch or 12 nm.

### 8.4 FUNCTIONAL EFFECTS OF SURFACE TEXTURE

The specification of surface texture has evolved over time to keep pace with advancements in optical fabrication techniques. Before the advent of sophisticated military surveillance systems and laser gyro systems, it was sufficient merely to specify that a surface be polished, with a certain limit placed on the number of cosmetic defects (scratch and dig) (see Ref. 13), distributed on the surface. This scratch and dig specification was, and still is, sufficient for commercial optics, where large amounts of scattered light can be tolerated, but has been found to be inadequate in the production of high performance systems. Computer codes for stray light were developed to improve the design of baffle structures, which were a significant source of scattered light in surveillance and tracking systems.

As requirements on optical system performance became more stringent, methods were developed to quantify the amount of light scattered from polished surfaces, in addition to that scattered from bubbles and imperfections in the glass. Measurement techniques such as angle-resolved scatter (ARS) (see Ref. 14), and total integrated scatter (TIS) (see Ref. 15), have recently been developed to assess the quality of the surface finish by measuring the amount of light scattered at various wavelengths. However, careful consideration must be given to the cleanliness of the surface in performing a scattered light test, since a small amount of contamination can cause a large amount of scatter and lead to an overestimate of the intrinsic surface roughness. Surface profiling techniques have evolved rapidly over the past decade or so with the

advent of optical profiling instruments, which allow one to measure surface roughness quickly and accurately. The theoretical framework has been developed to connect intrinsic surface roughness with the amount and distribution of scattered light from a surface. An important motivator of this theoretical development has been the desire to use surface roughness measurements to predict the performance of optical components at wavelengths outside the visible spectrum, e.g., at x-ray wavelengths, where it would be difficult for a manufacturer to set up an at-wavelength test for scatter in his or her shop. Detailed discussions of the connection between surface texture properties and scattered light, with extensive bibliographies, can be found in the books by Stover (see Ref. 16), and by Bennett and Mattsson (see Ref. 17), and in the chapter on "Surface Scattering," by Church and Takacs in the 1995 edition of the *Handbook of Optics* (see Ref. 18). We will present just a brief review of the connection between surface roughness and scattered light. For a more detailed discussion on the connection between surface texture and scattered light, consult the references.

There are a number of levels of sophistication that are permitted by Part 8 in the specification of surface roughness on polished surfaces. The most fundamental level is to merely designate that the surface is to be specular by placing the P indicator alone above the check mark. The cosmetic quality of the surface is then governed by specification of surface imperfections (scratches, digs, seeks) found in Part 7 of ISO 10110 or in MIL-O-13830A. Usually the optical designer knows from past experience what effect a particular surface imperfection level has on the performance of the optical system. There is, however, no simple quantitative link between the magnitude of scattered light and the cosmetic surface imperfection specification.

#### 8.4.1 Connection to total integrated scatter

As surface profiling instruments with sub-nanometre height resolution have become widely available in the past decade, it is now possible to measure the topography of polished surfaces with extremely high precision and accuracy. It is then possible to determine statistical properties of the surface from the measured data, such as  $R_a$ , the arithmetic average roughness, or  $R_q$ , the root-mean-square roughness, and to use these quantities in equations that predict the amount of light scattered from a surface. The equations relating the surface roughness statistics to scattered light have been derived from various scalar and vector scattering theories over the past several decades. A summary of surface roughness and scattering theory and measurement can be found in the articles by Church and Takacs and by Stover in the 1995 edition of *Handbook of Optics*. A more complete discussion of the historical background and evolution of surface scattering theories with numerous references can be found in Bennett and Mattsson (see Ref. 17), and Stover (see Ref. 18).

Scalar scattering theory (see Refs. 19 and 20), gives a simple result that can be used as a rule-of-thumb expression to estimate the magnitude of the scattering from a surface with a known RMS roughness value,  $R_q$ :

$$\text{TIS} \equiv \frac{I_s}{I_0} \approx \left( \frac{4\pi R_q \cos \theta_i}{\lambda} \right)^2 \quad (15)$$

where TIS is Total Integrated Scatter,  $I_s$  and  $I_0$  are the scattered and incident light beams,  $\theta_i$  is the incident angle, and  $\lambda$  is the wavelength of the incident light. This relationship between RMS surface roughness and scattered light forms the basis for an ASTM standard for estimating the surface roughness by measuring the total integrated scatter from a surface in a prescribed way (see Ref. 15). This relationship between surface roughness and scattered light is strictly valid only in the limit of smooth surfaces, i.e., when  $\lambda \gg 4\pi R_q \cos \theta_i$ . As an example, a surface with an  $R_q$  of 10 nm would scatter 0.04 of the light incident normal to the surface with a wavelength of 632 nm. If the roughness were 1 nm on this surface, the TIS would be 0.0004.

#### 8.4.2 Connection to angle resolved scatter

The simple TIS formula, however, does not give sufficient information about the details of the scattered light distribution. In particular, it does not allow one to calculate the angular distribution of scattered light from the one parameter,  $R_q$ . For this information, one needs to turn to results from higher order scattering theories, which relate the magnitude and direction of the scattered light to the power spectral density function. A result of angle-resolved scatter for the case of s-polarized light incident at a polar angle  $\theta_i$  is given by (see Refs. 21 and 22)

$$\frac{1}{I_0} \frac{dI_s}{d\Omega} = \frac{16\pi^2}{\lambda^4} \cos \theta_i \cos^2 \theta_s \cos^2 \phi_s r_{ss} S_2(\vec{f}) \quad (16)$$

In this expression,  $\phi_s$  is the azimuthal angle of scatter out of the plane of incidence,  $\Omega$  is the unit of solid angle in the direction of scatter,  $r_{ss}$  is a factor describing the reflectivity of the surface at that incidence and scatter angle, and  $S_2(\vec{f})$  is the 2-dimensional power spectral density function of the surface. For the general case of light incident at some angle  $\theta_i$  and scattered into some direction (not necessarily in the plane of incidence) defined by the polar angle  $\theta_s$  and the azimuthal angle  $\phi_s$ , the relationship between surface spatial frequency components in the  $\hat{x}$  and  $\hat{y}$  directions of the surface ( $\hat{x}$  is in the plane of incidence,  $\hat{y}$  is orthogonal to  $\hat{x}$ ) and the scattered light direction is given by a generalization of the grating equation:

$$\lambda \vec{f} = (\sin \theta_s \cos \phi_s - \sin \theta_i) \hat{x} + (\sin \theta_s \sin \phi_s) \hat{y} \quad (17)$$

Thus, equations 16 and 17 relate the absolute intensity and angular distribution of scattered light to the

power spectral density function and to the surface spatial frequency and, thus, give a complete description of the scattering in terms of intrinsic surface properties.

In order to calculate the scattering into a 2-dimensional area in an image plane, one needs to compute the 2-dimensional PSD function for the surface from measurements of the surface topography over a finite area on the surface. If the surface roughness is isotropic, i.e., the roughness parameters are the same regardless of direction on the surface, we can reduce the problem to a one-dimensional measurement and calculation. If the surface is random and isotropic, the 2-D power spectrum is related to the 1-D spectrum by an integral transform (see Ref. 10):

$$S_2(\vec{f}) = -\frac{1}{2\pi} \int_1^{\infty} \frac{df_x}{\sqrt{f_x^2 - f^2}} \frac{d}{df_x} S_1(f_x) \quad (18)$$

where  $f = |f|$ . As an example, for an isotropically rough fractal surface with a 1-D power law spectrum given in the standard form  $S_1(f_x) = A/f_x^B$ , the 2-D spectrum is given by (see Ref. 18)

$$S_2(\vec{f}) = \frac{\Gamma[(B+1)/2]}{2\Gamma(1/2)\Gamma(B/2)} \cdot \frac{A}{f_x^{B+1}} \quad (19)$$

As a numerical example, for the case of a surface with a 1-D inverse square power law function,  $B = 2$ , the value of the gamma function term is simply  $1/4$ , and the form of the 2-D PSD function is just  $1/4$  times the 1-D function, with the exponent of the spatial frequency equal to 3 instead of 2.

In most practical applications, rather than compute the 2-D power spectrum directly from the data, it is much easier to measure the profile in one dimension along several lines on the surface, compute the average 1-D power spectrum and then use the integral transform method to compute the 2-D form of the power spectrum. The practical process for estimating the 2-D spectrum is then to measure the surface topography in one dimension, compute the 1-D spectrum, fit the 1-D spectrum to the power-law model to determine the  $A$  and  $B$  coefficients, and then evaluate the  $\Gamma$ -function coefficient and spatial frequency exponent in equation 19, that are dependent upon the value of  $B$ . If the 1-D surface spectrum cannot be fit to the simple power law function, then the 2-D PSD function must be computed numerically from equation 18.

## 8.5 INSPECTION AND TEST

The ability to specify surface texture precisely by drawing indication is important when surface texture plays a significant role in the process that ultimately needs to be controlled. For optical surfaces, that process is usually scattered light. Because of the close functional relationship between surface roughness and scattered light, there are two fundamentally different methods that have been developed to characterize surface texture. They are: 1) directly by surface pro-

filometry, and 2) indirectly by optical scatter methods, either by total integrated scatter or by angle resolved scatter methods. Each method has its strong points and its drawbacks. What is important is that the results of the test method are meaningful to both the supplier of the parts and to the end user. The drawing indication does not, however, specify which method is to be used in measuring RMS roughness or the power spectral density function—it is up to the manufacturer and procurer to be sure that the test methods actually used really do measure the appropriate quantity over the specified bandwidth.

### 8.5.1 Surface profilers—contact instruments

A recent review of instruments available for measuring surface topography can be found in the book by Bennett and Mattsson (see Ref. 17). In general, there are two classes of profiling instruments currently in common use, contact and non-contact instruments. The best-known of the contact instruments are the stylus types made by Tencor, Veeco/Sloan, and Rank Taylor Hobson. These instruments use a shaped diamond stylus to follow the contour of the surface as the surface is translated under it, or vice versa. A very sensitive linear transducer, usually an LVDT, measures the vertical motion of the stylus. Instruments are available with varying degrees of vertical sensitivity. For optical surfaces, high vertical sensitivity is always required in order to measure to the Ångstrom level. Also required is a low system noise level and measurement repeatability. If the noise level is too high, the true surface roughness will be impossible to extract from the data, and if the measurement is not repeatable, the validity of the data is questionable. Software is available from the manufacturers to compute most of the desired statistical parameters of the surface important for mechanical engineering purposes, such as  $R_q$  and  $R_a$ , but no manufacturer presently provides software to calculate the PSD from the measured data. An ASTM subcommittee, E12.09, is currently at work on a standard to define the calculation of the PSD from surface profile data.

Another type of contact profiling instrument is the scanning probe microscope, of which there are a number of variations made by several manufacturers, such as the tunneling microscope and the atomic force microscope. These profilers allow one to approach atomic dimensions both on a vertical scale and on the lateral scale. The diamond stylus instruments typically provide information on spatial periods longer than 100 nanometres, while scanning probe instruments extend that range down by two orders of magnitude to the nanometre lateral scale. It is important to realize that if one wishes to use profiling instruments to predict scattered light from surfaces, the spatial bandwidth of the measuring instrument should match, or at least partially overlap, the spatial periods that contribute to the scattering at the wavelength of interest.



For instance, at normal incidence and at visible wavelengths, the shortest spatial period that contributes to scattered light (i.e., when  $\theta_s = 90^\circ$ ) is approximately equal to the wavelength of the light, which is on the order of 0.5  $\mu\text{m}$ . For the purpose of predicting scattered light, it is not necessary to extend the measurement range to spatial periods much below this value. Diamond stylus profilers match the bandwidth required for normal incidence visible scattering very closely, while the scanning probe microscopes provide lateral resolution far beyond the cutoff frequency for visible light scatter. If, however, one desires to reflect x-rays from a normal incidence multilayer coating, one needs to extend the lateral resolution down to the nanometre region, necessitating the use of a scanning probe instrument.

### 8.5.2 Surface profilers—non-contact instruments

The other class of surface profiler is the non-contact instrument, of which the most common are based upon various kinds of optical probes. The most prevalent type of optical profiler is the micro phase-measuring interferometer (micro PMI), which consists of a microscope with a interferometric objective, a means to modulate the distance between the objective and the test surface, and a linear or area array detector. A selection of micro PMI instruments for surface profilometry are available from a number of manufacturers, such as WYKO, Zygo, Micromap, and Phase Shift Technology. Micro PMI profilers are available with a range of objective magnifications, but are constrained to a high spatial frequency limit by the wavelength of the source illumination and the numerical aperture of the objective, which for practical purposes is the illumination wavelength. The low spatial frequencies are limited only by the total length of the trace, which, for 1.5x magnification objectives, is about 8 mm. In addition to micro PMI profiling systems, other kinds of optical systems with subnanometre resolution are available for surface topography measurement. These usually entail scanning a focused spot across a surface and measuring the phase shift between the probe and reference beams by Nomarski techniques or by various heterodyne techniques. Scanning spot profilers are available from Chapman Instruments, Bauer Associates, Optra, and Cranfield Precision Engineering, among others. The Bauer instrument is rather unique, in that it measures surface "curvature" directly, rather than surface height or slope, as do the other instruments. Another class of non-contact scanning optical profiler is the pencil-beam type, of which the Long Trace Profiler (LTP II) manufactured by Continental Optical Corporation is the most widely known. A particularly useful characteristic of scanning profilers is that they are capable of measuring over long traverse lengths. The Chapman instrument has a typical scan range of 100 mm, while the LTP II is capable of 1 or 2 metre long measurements.

### 8.5.3 Scattered light measuring instruments

The other method of surface texture characterization is by scattered light measurement, of which there are two main methodologies. These are total integrated scatter (TIS) methods and angle-resolved scatter (ARS) methods. TIS measures the ratio of the total amount of light scattered into a hemisphere from a region on a surface relative to the incident beam intensity. The quantity of interest to the surface texture drawing indication is derived from the measured TIS by solving equation 15 for the RMS roughness,  $R_q$ . One must always be alert to the fact that other factors may contribute to the measured TIS in addition to surface roughness, for example, particulate contamination, solvent residue or differential phase retardance due to position-dependent optical constants, so that the  $R_q$  number derived from equation 15 may be larger than the true  $R_q$  of the surface. This caveat is also true for ARS measurements, where the derived quantity is the "apparent" surface power spectral density function via equation 16.

Instrumentation to measure TIS is available from only a few manufacturers on a special order basis. A number of institutions have the capability to perform TIS measurements in accordance with ASTM F1048-87 with instruments that were custom built for that purpose. The heart of a TIS instrument is a highly-reflecting concave hemisphere, known as a Coblenz sphere (see Ref. 23). Instruments to measure ARS are available from a number of sources—TMA, Inc. and Breault Research are the most widely known suppliers. The traditional result from the ARS instrument is the surface bidirectional reflectance distribution function (BRDF), which can then be transformed into the surface PSD function by software analysis.

### REFERENCES

1. Press, W. H., B. P. Flannery, S. A. Teukolsky, and W. T. Vetterling, *Numerical recipes—the art of scientific computing*. (Cambridge University Press, Cambridge, 1986).
2. Schorsch, H., "Zur oberflächenqualität von glaspolituren und ihrer beziehung zu den bearbeitungszeichen nach DIN 3140," *Fachberichte für Oberflächentechnik*, 8, 151-158 (1970).
3. Church, E. L., H. A. Jenkinson, and J. M. Zavada, "Relationship between surface scattering and microtopographic features," *Opt. Eng.*, 18, 125-136 (1979).
4. Church, E. L. and H. C. Berry, "Spectral analysis of the finish of polished optical surfaces," *Wear*, 83, 189-201 (1982).
5. Church, E. L., H. A. Jenkinson, and J. M. Zavada, "Measurement of the finish of diamond-turned metal surfaces by differential light scattering," *Opt. Eng.*, 16, 360-374 (1977).
6. Church, E. L. and P. Z. Takacs, "BASIC program for power spectrum estimation," *Brookhaven National Laboratory Informal Report #49035* (May, 1993).
7. Bhushan, B., J. C. Wyant, and C. L. Koliopoulos, "Measurement of surface topography of magnetic tapes by Mirau interferometry," *Appl. Opt.*, 24, 1489-1497 (1985).
8. Takacs, P. Z., S.-C. K. Feng, E. L. Church, S.-N. Qian, and W.-M. Liu, "Long trace profile measurements on cylindrical aspheres," in *Advances in Fabrication and Metrology for Optics*

- and *Large Optics*, Jones B. Arnold and Robert A. Parks, eds., Proc. SPIE, 966, 354-364 (1989).
9. Church, E. L. and P. Z. Takacs, "Specification of surface figure and finish in terms of system performance," *Appl. Opt.*, 32, 3344-3353 (1993).
  10. Church, E. L. and P. Z. Takacs, "The optimal estimation of finish parameters," *Proc. SPIE*, 1530, 71-85 (1992).
  11. Church, E. L. and P. Z. Takacs, "Statistical and signal processing concepts in surface metrology," in *Optical Manufacturing, Testing, and Aspheric Optics*, G. M. Sanger, ed., Proc. SPIE, 645, 107-115 (1986).
  12. Church, E. L. and P. Z. Takacs, "Instrumental effects in surface finish measurement," in *Surface Measurement and Characterization*, J. M. Bennett, ed., Proc. SPIE, 1009, 46-55 (1989).
  13. Military Specification MIL-O-13830A Optical Components for Fire Control Instruments: General Specification Governing the Manufacture, Assembly and Inspection of (1963).
  14. ASTM E 1392-90—Standard Practice for Angle Resolved Optical Scatter Measurements on Specular or Diffuse Surfaces. Philadelphia, PA: American Society for Testing and Materials (1990).
  15. ASTM F1048-87—Standard Test Method for Measuring the Effective Surface Roughness of Optical Components by Total Integrated Scattering. Philadelphia, PA: American Society for Testing and Materials (1987).
  16. Stover, J. C., *Optical scattering: measurement and analysis*. Optical and Electro-Optical Engineering Series, Robert E. Fischer and Warren J. Smith, eds. (McGraw-Hill, Inc., New York, 1990).
  17. Bennett, J. M. and L. Mattsson, *Introduction to surface roughness and scattering*. Washington, D.C.: Optical Society of America (1989).
  18. Church, E. L. and P. Z. Takacs, "Surface scattering," Chap. 7, Vol. 1, *Handbook of Optics*, Michael Bass, ed. (McGraw-Hill, Inc., 1995).
  19. Bennett, H. E. and J. E. Porteus, "Relation between surface roughness and specular reflectance at normal incidence," *J. Opt. Soc. Am.*, 51, 123-129 (1961).
  20. Elson, J. M. and J. M. Bennett, "Relation between the angular dependence of scattering and the statistical properties of optical surfaces," *J. Opt. Soc. Am.*, 69, 31-47 (1979).
  21. Church, E. L. and P. Z. Takacs, "The interpretation of glancing-incidence scattering measurements," in *Grazing Incidence Optics*, J. F. Osantowski and L. Van Speybrock, eds., Proc. SPIE, 640, 126-133 (1986).
  22. Church, E. L., P. Z. Takacs, and T. A. Leonard, "The prediction of BRDFs from surface profile measurements," in *Scatter from Optical Components*, J. C. Stover, ed., Proc. SPIE, 1165, 136-150 (1989).
  23. Bennett, H. E., "Scattering characteristics of optical materials," *Opt. Eng.*, 17, 480-488 (1978).

## CHAPTER 9

# Surface Treatment and Coating

After an optical surface is produced, it is frequently coated with materials for protection or to change its optical characteristics. A coating, such as paint, can be used to seal a surface from chemical attack or to prevent stray radiation from entering an optical system. Multiple thin layers of various materials may be deposited sequentially onto a surface to form an interference coating (thin film coating) that changes the amount of energy reflected, transmitted, or absorbed at the surface. These coatings can also enhance the ability of the surface to withstand harsh physical or radiation environments.

### 9.1 BACKGROUND

Existing standards for optical coatings are used on optical drawings, but these standards deal with spectral, environmental, and durability requirements, and do not state explicitly how to indicate a coating on the drawing. ISO 10110-9, however, describes how to indicate a coating specification, either optical or protective, and other documents are used to specify the coating requirements. ISO/CD 9211 Optical coatings, defines optical properties and environmental and durability requirements, and how to define spectral requirements on the drawing. When the ISO standards are fully approved and implemented, a coating specification such as the U.S. MIL-standards in 9.3 will specify only the spectral and material properties, and the environmental and durability requirements of the ISO standards will take precedence over the specifications of the individual standards.

### 9.2 INDICATIONS IN DRAWINGS

ISO 10110-9 shows how to indicate on the drawing the surface treatment required and which type(s) of treatment (protective or thin film coating) is to be used. ISO documents in preparation, e.g., ISO 9211, will deal with the properties of various thin film coatings and how they are to be specified.

#### 9.2.1 Symbols

The drawing symbol for thin film coating is the Greek letter lambda enclosed in a circle that is tangent

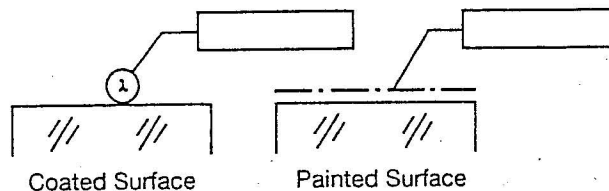


FIG. 9.1. Indication that surface is to be coated.

to the surface to be treated, while the symbol for a protective coating is a chain thick line (ISO 128, line J) just above the surface to be treated. The symbol is attached by a leader line to a box that contains the specifications for the treatment to be applied. These symbols are shown in Fig. 9.1.

#### 9.2.2 Area coated

That portion of the optical surface which forms the optically effective surface, commonly called the clear aperture or free aperture in the U.S., must be specified on the drawing. This is the area that must meet the optical and physical specifications. If no other indications are given on the drawing, only this optically effective area must be coated. There will usually be a transition zone from no coating to the full thickness of the coating between the effective area and the edge of the part.

If the optical element must be mounted on an uncoated area of the substrate, this area must be specified to be free of coating. This should clearly be indicated on the drawing with a "no coating allowed" or "do not coat" note on the drawing.

If protection from the environment or control of unwanted radiation is of concern, the entire surface may need to be coated. This should also be clearly indicated on the drawing, with a short note inside or adjacent to the specification box.

#### 9.2.3 Specification of coatings in the box

The box that identifies the coating requirements may list them in full, may identify them by a manufacturer's trade name or a military specification, or may refer to another document or area of the drawing where the requirement may be illustrated or described.

Coatings either transmit, reflect, or absorb incident energy. According to ISO 10110-9, Greek letters shall be used to indicate these properties on drawings:  $\tau$  for transmission,  $\rho$  for reflection, and  $\alpha$  for absorption. The direction of the incident beam should be specified for reflectors, since a coating may reflect energy at one interface, but absorb it at another. In transmission, the direction of the beam is not important, as long as the incident angle is specified for the incident medium.

Coatings are designed to operate in a medium of a given index of refraction, usually air or vacuum on one side of the coating and the index of the substrate on the other. If the coating is to be cemented, immersed in another medium, or covered by paint, this must be clearly stated on the drawing.

The angle of incidence over which the coating must perform is critical and must be specified on the drawing. A coating designed to operate at  $45^\circ$  will not behave the same way at normal incidence ( $0^\circ$ ) or at  $75^\circ$ . If no angle is specified,  $0^\circ$  incidence is assumed to be the correct angle. Commercial spectrophotometers used to specify spectral performance have non-collimated measurement beams, which is equivalent to measuring performance at a known angle. The data obtained may need to be shifted mathematically to account for the angle introduced by the measurement system. If performance is to be determined at an angle other than normal incidence, it may be possible to take measurements at a different angle that will give equivalent performance in a desired optical system. The coating designer must determine which approach is best to use.

Spectral performance will vary with temperature, humidity, and pressure; if performance is required at extreme conditions, this must be stated on the drawing.

#### 9.2.4 Examples

Fig. 9.2 shows a lens of 40 mm diameter that will have a coating xyz over the central 38 mm diameter (optically effective area). Xyz could be the trade name of a coating manufactured by company abc, or be a special coating per military or other specification such as MIL-C-675. Either way, there is a written description of the coating readily available and that descrip-

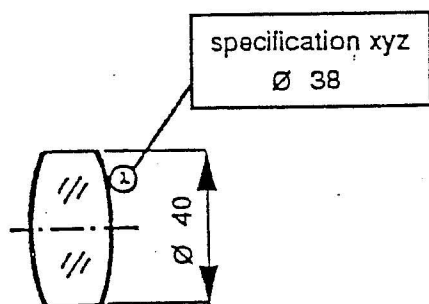


FIG. 9.2. Special coating with specified properties, e.g., xyz.

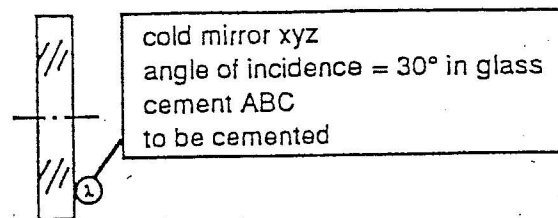


FIG. 9.3. Beam splitting coating—indicates that the disc will be cemented.

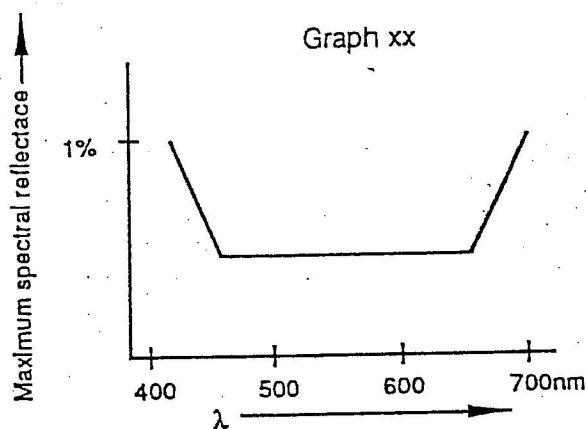
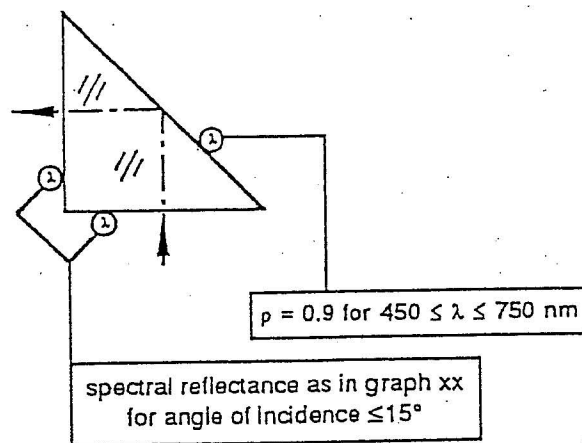


FIG. 9.4. Coating with special properties and graph.

tion does not have to be reproduced on the optical element drawing.

Fig. 9.3 shows a beamsplitter coating "cold mirror xyz" applied to the surface for use at an angle of incidence of  $30^\circ$  in glass. The coated surface will be cemented using cement ABC. This is important to indicate since the coating will perform differently when it is cemented than it will in air.

Fig. 9.4 shows one box that specifies the hypotenuse coating fully: reflectance ( $\rho$ )  $\geq 90\%$  (0,90) for all wavelengths from 450 to 750 nm. Another box refers to the graph that shows performance of the antireflection coating on each leg of the prism at angles of incidence between  $0$  and  $15^\circ$ . The graph shows the maximum reflectance allowed at wavelengths between 400 and 700 nm.

## 9.3 OTHER STANDARDS

### 9.3.1 ISO standards

9.3.1.1 ISO/CD 9211 Optical coatings. This is a four-part standard for optical coatings. It includes definitions, optical properties, and environmental durability requirements and specific test methods.

9.3.1.2 ISO/DIS 9022 Optics and optical instruments—Environmental test methods. This is an 18-part standard for testing completed instruments, but is applicable to coatings in that all surfaces of an instrument must meet these requirements.

### 9.3.2 U.S. military standards

Numerous U.S. military specifications exist for optical coating, with environmental and durability requirements defined in each standard.

9.3.2.1 MIL-C-675 Coating of glass optical elements (anti-reflection). An anti-reflection coating with 1/4 wavelength optical thickness between 0,45 and 0,6 micrometres is specified. The material of the coating is magnesium fluoride.

9.3.2.2 MIL-M-13508 Mirror, front surfaced aluminized: for optical elements. A deposited aluminum reflective film with an overcoat of magnesium fluoride or silicon monoxide is specified. The coating shall have more than 86% luminous reflectance, or as specified on the drawing.

9.3.2.3 MIL-C-14806 Coating, reflection reducing, for instrument cover glasses and lighting wedges. This standard applies to cover glasses with a substrate index of refraction between 1,47 and 1,55. Tables of required effective aperture and reflectance requirements are given.

9.3.2.4 MIL-C-48497 Coating, single or multilayer, interference, durability requirements for. This standard applies to optics within the confines of a sealed optical system. It may be applied to both (visually) transparent and opaque optical systems.

9.3.2.5 MIL-F-48616 Filter (coatings), infrared interference: general specification for. This standard applies to optical elements to be used in the spectral region 0,7 to 50 micrometres. Specification sheets that give spectral requirements for several types of coatings are included, and a specification "MIL-F-48616/XXX" may be used as a complete coating specification.

## 9.4 FUNCTIONAL

### 9.4.1 Types of coatings

Coatings are identified by the effect on the incident radiation at the coating/substrate interface. Common optical coatings are:

Antireflection: reduces the reflectance, increases transmittance if the coating is not absorbing.

High reflector (mirror): increases reflectance, decreases transmittance, may increase absorption.

Beamsplitter: divides the incident energy spectrally, radiometrically, or both.

Hot mirror: reflects heat energy, transmits other wavelengths.

Cold mirror: transmits heat energy, reflects other wavelengths.

Neutral density: transmits approximately the same amount of energy over a wide range of wavelengths. May control transmittance by reflection or absorption of coating.

Bandpass filter: transmits one band of radiation while blocking radiation at wavelengths above and below the band.

Short wavepass filter: transmits radiation below a given wavelength, but not above it.

Long wavepass filter: transmits radiation above a given wavelength, but not below it.

### 9.4.2 Effects of surface treatment and coating

9.4.2.1 Surface accuracy. Coating can induce stress in an optical element that results in a change in surface accuracy after coating.

9.4.2.2 Thickness. Depending on the optical requirements, coating can add significant thickness to an optical element. An anti-reflection coating for the visible wavelengths may be only 100 nanometres thick, but a narrow bandpass coating for the infrared with a requirement for low out of band energy may be several micrometres thick.

9.4.2.3 Surface texture. The surface texture of an optical surface with a low scatter finish (before coating) may be degraded by the optical coating.

9.4.2.4 Surface appearance. The appearance of a coated surface will be different from the uncoated surface. Stains that cannot be seen may be enhanced, and surface imperfections that are acceptable before coating may not be acceptable after coating. Indeed, a transparent substrate that can be evaluated using the Frankford Arsenal Visual Comparison Standard before coating may be opaque and may not be able to be evaluated after coating.

## 9.5 MEASUREMENT AND TEST

Coatings may be deposited on elements that have shapes and sizes that cannot be easily measured for spectral performance in a commercial spectrophotometer. The elements may be too large to fit in a measurement compartment, so thick or curved so that the spectrophotometer beam is no longer focused properly on the detector, or shaped to deviate a beam from a straight line. To overcome these measurement prob-

lems, flat, parallel witness substrates that are coated with the optical elements are used to measure spectral performance of the coating.

Durability tests are usually accelerated life tests of coated elements, so witness substrates are used for

these tests instead of the expensive coated elements.

The witness substrates should be made of the same substrate type of the optical element so that they will show the same optical and durability properties after coating.

## **PŘÍLOHA 2 – CÍLOVÝ TEXT**

# 1 Tolerance povrchových nedokonalostí

Povrchové nedokonalosti jsou lokalizované nedokonalosti jako např. škrábance a vrypy na povrchu optického elementu. Globální nedokonalosti, které pokrývají celý povrch jsou považovány za zrnitost a budou dále diskutovány v kapitole 8. V normě ISO 10110 má pojem povrchových nedokonalostí širší význam, který zahrnuje odštípnuté hrany i nedokonalosti nanesených vrstev. Norma obsahuje dvě metody posouzení povrchových nedokonalostí. První je analogická k americkému vojenskému standardu a druhá je založena striktně na posouzení vyhovuje/nevyhovuje z míry viditelnosti povrchových nedokonalostí.

## 1.1 Úvod

Problematika povrchových nedokonalostí je dvojího charakteru - první je čistě kosmetická stránka věci a ta druhá se týká samotné funkce optického systému, která je ovlivněna rozptylem světla. Kosmetický aspekt je spojen s evidentní ztrátou kvality dílenského zpracování při pohledu očima, nebo optickou pomůckou, na ovlivněný optický povrch. Funkční stránka problému se týká ztráty kontrastu vlivem světla rozptýleného na povrchových nedokonalostech. Závažnost povrchové nedokonalosti se pak vyjádří jako poměr rozptýleného světla na plochu k ploše celé apertury.

Poněvadž jsou povrchové nedokonalosti malé a lokalizované, inspekce je obtížná a vyžaduje zkušený personál. Největším problémem je tedy cena. Praktický nápad na urychlení procesu předložili v roce 1945 MacLeod se Sherwoodem. Tito zaměstnanci společnosti Eastman Kodak navrhli metodu klasifikace kosmetických defektů, která byla přijata americkou armádou a zahrnuta do standardu MIL-O-13830. Koncept je založen na porovnávání nedokonalostí se standardními nedokonalostmi na skleněných vzorcích. Tato metoda se omezeně osvědčila při specifikování povrchové kvality laserových optických komponent. Další metoda, která se dočkala širokého přijetí je popsána německým standardem DIN 3140, část 7, kde jsou nedokonalosti taktéž porovnávány se specifickými standardy.

Pokračující problémy s implementací obou zmíněných metod vedly k novému pohledu na inspekční techniky a značení povrchových nedokonalostí na výkresech. Největší problémy jsou: vytváření reálných škrábanců na skle a kvantitativní kategorizace jejich vizibility, složitost měření šířky malých škrábanců vzhledem k difrakčním efektům a v neposlední řadě taktéž výdaje za kvalifikované pracovníky provádějící kontroly.

Zmíněné problémy vedly ke dvěma typům indikace povrchových nedokonalostí stejně jako k vývoji nástrojů pro jejich kvantifikování. Mnoho konceptů použitých v tomto standardu je obecně známých, nicméně to jak jsou aplikovány se značně liší po celém světě.



## 1.2 Značky na výkresech

Značka pro povrchové nedokonalosti je „5/”. Vhodné kvantifikátory jsou přidány za 5/ v závislosti na požadované inspekční metodě. Jedna metoda vylučuje druhou. První metoda (dále jen Metoda 1) , nebo také metoda zakrytého povrchu, je kvantitativní metoda popisující velikost plochy, které nedokonalosti zakrývají. Druhá metoda (dále jen Metoda 2), metoda vizibility, je založena na viditelnosti povrchových nedokonalostí při pozorování za kontrolovaných světelných podmínek. Jedná se o dvoukriteriální metodu - vyhovuje/nehovuje. Pokud je kvantifikátor ve tvaru „NxA”, kde N a A jsou čísla, tak se využívá Metoda 1. Pokud je kvantifikátor ve formátech „TV”, nebo „RV”, kde V je celé číslo, pak se využívá Metoda 2.

### 1.2.1 Kvantifikátory povrchových nedokonalostí

V případě Metody 1 jsou zde čtyři kategorie kvantifikátorů. Pokud je kvantifikátor ve tvaru „NxA”, pak se jedná o povrchové nedokonalosti na nepovrstveném povrchu. Pokud kvantifikátor předchází písmeno „C”, tedy „C NxA”, pak se jedná o povrchovou nedokonalost na povrstveném povrchu. Písmenem „L”, tedy „L NxA”, se značí dlouhé škrábance. Pokud se používá zápisu „E A”, kde A je číslo, pak kvantifikátor popisuje odštipnuté hrany. V případě zápisu více kvantifikátorů je nutné je oddělit středníkem. Taktéž je nutné, aby tyto kvantifikátory byly seřazeny v pořadí v jakém byly uvedeny ve výše zmíněném textu, tedy: nedokonalosti na nepovrstvených povrchích, na povrstvených povrchích, dlouhé škrábance a odštipnuté hrany.

V případě využití Metody 2 mohou mít kvantifikátory podobu „TV”, nebo „RV”, kde V je číslo mezi 1 a 5. Písmena „T” a „R” pak označují transmisivní, nebo reflektivní optický element. V případě děliče svazku je možné použít „T”, nebo „R”. Číslovka pak označuje závažnost pozorované nedokonalosti, přičemž číslo 1 označuje nedokonalosti s nejmenší vizibilitou, zatímco číslo 5 ty s nejvyšší vizibilitou.

Kvantifikátor popisující odštipnuté hrany z Metody 1 může být v případě potřeby dopsán ke kvantifikátoru z Metody 2. Tyto dva kvantifikátory by měly být odděleny středníkem, např. „5/TV;EA”.

Test na průchod Metodou 2 může být použit pouze v případě, že element je transmisivní ve viditelné části spektra. Elementy, které nejsou průsvitné ve viditelné části spektra mohou být testovány na odraz, v případě, že jejich reflektance je ve viditelné oblasti dostatečně vysoká.

### 1.2.2 Metoda 1

**1.2.2.1 Obecné nedokonalosti** V Metodě 1 vyjadřuje kvantifikátor „N” pro nepovrstvené povrchy, povrstvené povrchy a dlouhé škrábance, maximální počet dovolených nedokonalostí o maximální specifikované velikosti A. N může být jakékoliv celé číslo, nicméně většinou bývá v rozsahu 1-5.

Kvantifikátor „A” je vztažen na plochu maximálně povolených nedokonalostí a měl by být vybrán z prvního sloupce tabulky A1 z části 7. „A” označuje odmocninu z plochy nedokonalosti - tedy stranu čtverce v milimetrech. Například pro  $A=0,1$  je plocha maximálně povolených nedokonalostí  $0,01 \text{ mm}^2$ . Nedokonalosti nemusejí být čtvercové a obecně ani nejsou. Obrázek 7.1 ilustruje několik různých nedokonalostí o stejné ploše s různým poměrem stran. Je třeba poznamenat, že hodnoty „A” v tabulce A.1 se zdají být velice blízko sebe. Nicméně vzhledem k tomu, že A je vztaženo na stranu čtverce, tak je faktor zvětšení plochy 2,5. Tento krok je již dobře pozorovatelný pouhým okem. Obrázek 7.2 ukazuje čtvercové a obdélníkové plochy s progresí dle sloupce 1 tabulky A.1.

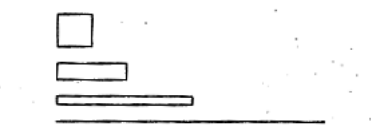


FIG. 7.1. Imperfections of the same grade (A) with aspect ratios from 1:1 to 64:1.

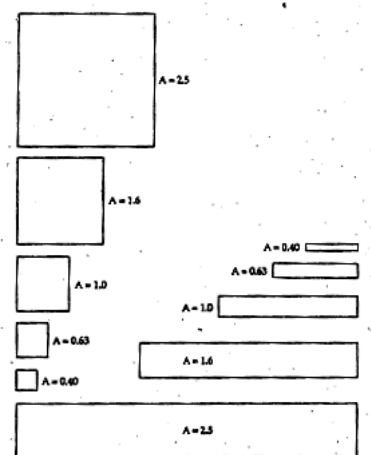


FIG. 7.2. A progression of imperfection sizes that vary as column 1 of Table A.1 of ISO 10110-7.

**1.2.2.2 Nedokonalosti vrstev** Označení povrstvených povrchů nemusí být použito na nákresu povrstveného elementu. Specifikace pro nepovrstvený povrch může být také použita pro popis míry inspekce hotového elementu. Použití popisu pro povrstvený povrch dává návrháři dodatečnou volnost ve specifikaci nedokonalostí povrchu, které mohou být více či méně viditelné, než na nepovrstveném skle, v závislosti na tom, jestli se jedná o reflexní či antireflexní vrstvy.

**1.2.2.3 Dlouhé škrábance** Písmeno „L” označuje dlouhé škrábance, zatímco písmeno „A” značí jejich šířku v milimetrech. Za dlouhé škrábance se považují ty, které se táhnou přes celý optický povrch. Koncept založený na měření ploch zde nemá smysl. Písmeno „N” jednoduše označuje tolerovaný počet

dlouhých škrábanců. Rozdělení dlouhých škrábanců je povoleno pokud kombinovaná šířka kratších škrábanců nepřesáhne  $N \times A$  a škrábance šířky menší, než  $0,3 A$  nejsou započteny.

**1.2.2.4 Odštipnuté hrany** Kvantifikátor  $A$  vyjadřuje maximální hloubku průniku do leštěného povrchu elementu. Měření hloubky od počátku povrchu nebere v potaz velikost zkosení ani případné fasety, stejně tak nezávisí na poloze apertury. Jelikož číslo  $A$  na předcházejících faktorech může záviset je nutné vhodně stanovit toto číslo. Jakýkoliv počet vrypů je tolerován pokud jejich hloubka nepřesahuje hloubku tolerovaného vniku do leštěného povrchu.

**1.2.2.5 Rozdělování nedokonalostí** Při používání Metody 1 je možné větší počty povolených nedokonalostí rozdělovat do té míry, dokud jsou dodržována jistá pravidla. Celková plocha všech nedokonalostí nesmí přesáhnout  $N \times A^2$ , což je celková plocha maximálně povolených nedokonalostí. Nedokonalosti s rozměrem menším, než je  $0,16 A$  se nepočítají do celkové plochy. Zatímco mohou být nedokonalosti rozdělovány, jejich shlukování povoleno není. Shlukování nastává, když více než 20% povolených nedokonalostí pokryje plochu odpovídající 5 % plochy zkoumaného povrchu. Každé z těchto pravidel bude ještě dále diskutováno. Americký standard MIL-O-13830 má podobné nařízení pro dosažení téhož účinku.

Celková plocha všech nedokonalostí nesmí překročit plochu původní indikace. V případě jedné nedokonalosti s maximálním povoleným rozměrem  $A$  je celková pokrytá plocha  $A^2$ . Tabulka A.1 ukazuje, že 3 (2,5 zaokrouhleno na 3) nedokonalosti velikosti  $0,016 A$ , nebo 6 (6,3 zaokrouhleno na 6) nedokonalostí velikosti  $0,01 A$ , nebo 16 nedokonalostí velikosti  $0,006 A$  zakrývají, nebo mají stejnou plochu jako jedna nedokonalost velikosti  $0,025 A$ . Pokud by  $N$  bylo celé číslo větší, než 1, pak by celkový počet povolených nedokonalostí byl v předchozích případech  $N$ -krát větší. Na obrázku 7.3 je příklad s obdélníkovými nedokonalostmi.

Existuje limit pro dělení nedokonalostí. Pokud je  $A$  největší povolená nedokonalost, nedokonalosti velikosti  $0,16 A$  a menší se nepočítají. Jedná se o výhodně zvolenou hodnotu, poněvadž je zde možnost rozdělit  $A$  nejvíce do 16 nedokonalostí velikosti  $0,25 A$ .

**1.2.2.6 Shlukování nedokonalostí** Striktní podmínka stanoví, že není povolené shlukování nedokonalostí povrchu. V případě 10, nebo méně nedokonalostí se za shluk považuje, pokud dvě, nebo více nedokonalostí leží v 5% oblasti celkové plochy povrchu. Pokud má povrch jednotkový průměr, pak žádné dvě nedokonalosti nesmí ležet ve vzdálenosti  $0,224 A$  od sebe.

## 1.3 Ostatní standardy

### 1.3.1 Americké národní standardy

**1.3.1.1 ANSI PH3.617-1980(R1985), Definice, metody testování a specifikace pro vzhled nedokonalostí optických elementů a soustav.**

ANSI PH3.617 je z hlediska inspekčních metod podobná Metodě 2.

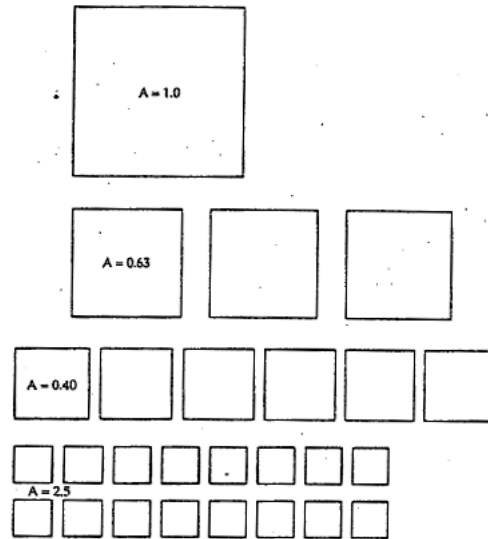


FIG. 7.3. Example of subdivision where the largest imperfection is equivalent to a series of smaller imperfections in total area, rounded off to the nearest number of whole imperfections.

### 1.3.2 Americké vojenské standardy

**1.3.2.1 MIL-O-13830A Optické komponenty pro nástroje palebné kontroly, všeobecná specifikace týkající se výroby, sestavení a inspekce.** Sekce 3.5 tohoto standardu se odkazuje na povrchové nedokonalosti a uvádí je jako specifikace škrábanců a vrypů. Nákres No. 7641866, Rev. L, který je nedílnou součástí tohoto standardu upravuje velikosti škrábanců na skle. Vrypy jsou definovány lineárním rozměrem, zatímco škrábance jsou definovány vizibilitou.

**1.3.2.2 MIL-C-675C Vrstvy na skleněných optických elementech (antireflexe)** Tento standard říká, že proces deponování jednoduché vrstvy fluoridu hořečnatého nesmí způsobit vznik povrchových nedokonalostí, které by nešlo akceptovat při aplikaci standardu MIL-O-13830A.

**1.3.2.3 MIL-C-48497A Jednoduché vrstvy a multivrstvy, interferenční: požadavky na odolnost** Tento standard definuje škrábance v tenkých vrstvách z hlediska šířky spíše než z hlediska vizibility.

### 1.3.3 Německé národní standardy

DIN 3140, část 7, Rozměrové a toleranční parametry optických komponent - povrchové defekty. Tento standard formuluje základy pro Metodu 1 a byl používán

v německy mluvících částech Evropy po více než 30 let.

### **1.3.4 Francouzské národní standardy**

AFNOR S 10.006, Optika - Optické elementy - Povrchové nedokonalosti - Průmyslové metody inspekce a klasifikace optických součástí. Tento standard je v podstatě identický s Metodou 1.

### **1.3.5 Britské národní standardy**

BS-4301 (1982) - Příprava výkresů pro optické elementy a systémy. Obsahuje část, která je značně podobná americkým vojenským normám pro škrábance a vrypy. Nicméně využívá pouze třístupňovou škálu pro popis škrábanců.

## **1.4 Vliv povrchových nedokonalostí na funkci**

### **1.4.1 Kosmetický vliv**

Mohlo by se říci, že kosmetické vlivy nejsou vůbec funkční, ale na druhou stranu v situaci, kdy si zákazník vybírá na tomto základě, začnou být kosmetické vlivy velmi funkční. Kosmetické nedokonalosti mohou být indikátorem špatného dílenského zpracování částí strojů, které mohou ovlivnit jeho funkci, i když jeho samotný vzhled nemá žádný evidentní vliv na jeho funkci. Z toho vyplývá, že vnější optický povrch by měl být úplně prostý vad viditelných běžným pohledem. Jelikož se většinou pozoruje na odraz, tak Metoda 2 použitá v případě na odraz dá realističtější výsledky i v případě, že element je transmisivní. V případě přístrojů pro infraoblast to platí ještě více. Přístroje, speciálně puškohledy a teleskopy, jsou drženy v ruce zákazníka ve vzdálenosti zhruba 30 cm od oka, přičemž jako pozadí je umělé světlo obchodu. Jakékoliv vnitřní nedokonalosti zvětšené optikou přístroje sledované pozorovatelem musí být důkladně specifikovány. Naneštěstí neexistují žádné návody, jak najít vztah mezi vzhledem a standardy pro škrábance a vrypy.

Další oblastí, kde se kosmetický vzhled zdá být napojený na funkci, ale je stejně dobře i kosmetickým problémem, je při použití optického elementu v obrazové rovině, jako u polních čoček a nitkových křížů. Povrchové nedokonalosti polních čoček a nitkových křížů budou vidět lépe s vyšším zvětšením okuláru přístroje, kterým je např. nitkový kříž pozorován. Zejména nitkové kříže jsou navrhovány pro pozorování při velkém zvětšení, což vede k tomu, že jejich povrchové nedokonalosti musí být co nejmenší. Jak polní čočky, tak nitkové kříže jsou pozorovány na průchod, tudíž nejlepším kandidátem je transmisní test Metody 2. Na druhou stranu tato metoda nemusí být dostatečně citlivá pro sotva pozorovatelné nedokonalosti.

### **1.4.2 Skutečné vlivy na funkci**

Skutečný funkční vliv povrchových nedokonalostí vyplývá z rozptylu světla, které neformuje obraz, do roviny obrazu. Povrchová nedokonalost škodí dvěma

způsoby. Světlo obrazu je rozptýleno úměrně ploše nedokonalosti k ploše svazku na povrchu. Efekt, kterým působí nedokonalost na obraz se dá popsat za pomoci Strehlova kritéria. Tedy, jedná se o poměr zaznamenaného množství světla v centrálním maximu Airyho disku ku množství, které by přenesla dokonalá čočka. Samozřejmě nedokonalosti musí mít větší efekt, než aberace, aby bylo možné toto provést.

Druhý problém je, že světlo může být přeneseno do bočních maxim Airyho disku, což dále snižuje zdánlivou výšku centrálního maxima. V důsledku může být výška centrálního maxima dvakrát menší, než se může na první pohled zdát. Toto je ale stále malý problém, vzhledem ostatním, které mohou nastat při pozorování objektů se slabým kontrastem. Na druhé straně pokud bude přístroj užíván pro pozorování velmi malých, ale hodně jasných objektů, pak začne být rozptylové světlo velmi dobře pozorované a celý problém se stává funkčním. Při specifikaci povrchových nepřesností musí být proto brán zřetel na finální aplikaci daného přístroje.

## **1.5 Inspekce povrchových nedokonalostí**

### **1.5.1 Metoda 1**

Při použití Metody 1 se očekává, že porovnávací deska s chromovými čarami na skle bude použita stejně jako při aplikaci amerických vojenských standardů pro měření škrábanců a vrypů. Maximální šířka nedokonalosti je kvantifikována tak, že je porovnáno množství světlé rozptýleného od ní a rozptýleného od chromové čáry na porovnávací desce. Poté se stanoví délka povrchové nedokonalosti pro určení, zda-li její plocha nepřekračuje maximální tolerovanou mez. Je důležité poznamenat, že skutečná šířka škrábance nemá co dělat se samotnou inspekcí. Místo toho se zjišťuje kolik světla je ztraceno rozptylem. Stejně jako při tradičních metodách inspekce, škrábance jdou nejlépe vidět, pokud jsou rovnoběžné se světlými/tmavými čarami, které mohou být vytvořeny matnicí, na kterou je ekvidistantně nanese černá páska. Pro malé šířky nedokonalostí povrchu by měla být využita lupa. Je možné používat i vysoce intenzivních zdrojů světla, ale je nutné mít na paměti, že na vzorek i srovnávací desku je nutné se dívat za stejných pozorovacích podmínek.

Při implementaci této metody docházelo k neshodám, zda-li různé nedokonalosti odpovídají daným vizibilitám. Aby se zabránilo těmto neshodám, byl vyvinut přístroj, který se nazývá mikroskopický obrazový komparátor. Dokonce byl využit pro nalezení vztahu mezi různými standardizovanými škráby. Nyní je používán pro interpretaci vizibility amerických vojenských standardů.

### **1.5.2 Metoda 2**

Metoda 2 závisí na zobrazovací stanici, kde je možné při testování vzorků nastavovat podsvícení a čelní světlo v různých poměrech. Nastavení je provedeno v souladu se standardem. Komerční verze inspekční stanice je nabízena společností GIAT Industries. Používání a první výsledky práce se stanicí jsou zdokumentovány v literatuře.

## 2 Textura povrchu

Textura povrchu je globální charakteristika optických povrchů a neobsahuje lokalizované nedokonalosti popsané v ISO 10110-7 Tolerance povrchový nedokonalostí. Pro potřeby normy ISO 10110-8 je povrchová textura statistická vlastnost povrchu a má se za to, že má stejný charakter i velikost na celém studovaném povrchu. Měření provedené na jedné části povrchu reprezentuje celý povrch. Nicméně ve skutečnosti je nutné provést měření více pro zjištění průměrných charakteristik a zajištění shody s výkresovou dokumentací.

### 2.1 Úvod

Povrchová drsnost je velmi důležitým parametrem při posuzování kvality povrchů pro laserové gyroskopické systémy, vysokovýkonovou laserovou optiku, rentgenovská zrcadla a všude tam, kde je třeba mít kontrolu nad rozptýleným světlem pro dosažení co nejlepší kvality. Historicky byla specifikace povrchové drsnosti řízena potřebami mechanického a materiálového inženýrství. Hlavním úkolem této aktivity byla příprava kovových povrchů pro zajištění jejich vzájemného kontaktu v aplikacích jako jsou například kluzná ložiska. V posledních letech začal optický průmysl využívat stejného konceptu pro popis povrchové drsnosti ke specifikaci kvality optické drsnosti.

Optický průmysl nicméně naznal, že existující standardy ANSI/ASME B46.1 a ISO 1302 jsou nedostatečné pro stanovení kvality optických povrchů hned z několika důvodů. Největším důvodem je však rozdíl ve velikostech výškových rozdílů na optickém povrchu, které jsou řádově v Angstromech, nebo nanometrech na rozdíl od mechanických povrchů, jejichž výškové rozdíly jsou typicky v jednotkách mikrometrů. Druhým důvodem je zavedení bezkontaktních optických profilovacích zařízení v poslední dekádě, které ve spolupráci s digitálním zpracováním obrazu, dělá měření hladkých povrchů jednoduchým. Počítačová analýza naměřených dat dovoluje rychlý výpočet řady statistických veličin, které se k drsnosti vztahují, včetně spektrální hustoty prostorových frekvencí. Teoretické výpočty světla vzniklého povrchovou drsností byly ověřeny řadou měření. Užitím naměřených profilů a vypočtených spekter je nyní možné předpovědět rozptylové vlastnosti bez přípravy vlastního rozptylového testu na dané vlnové délce. Tato technika je zejména výhodná v případě, kdy má být systém užíván mimo spektrum viditelného záření.

Nejdůležitějším aspektem současné specifikace je zavedení spektrální hustoty prostorových frekvencí (Power spectral density - PSD) jako funkce pro popis povrchové drsnosti. Se zavedením PSD je možné využívat konceptu šířky pásma drsnosti a měřicího nástroje. Návrhář má nyní větší kontrolu nad specifikací drsnosti, neboť může snížit nároky v těch oblastech pásma, které mají malý vliv na výkon systému a naopak zvýšit nároky v těch oblastech, které mají vliv velký. Výrobce může taktéž ušít na míru svůj proces, který bude splňovat požadovaná kritéria, za předpokladu, že vlastní nástroje pro měření PSD.

## 2.2 Značení na výkresech

### 2.2.1 Základní výkresová značka

ISO 10110, část 8, dělí povrchovou texturu do dvou tříd - matné povrchy a zrcadlové povrchy. Matné povrchy se většinou vytvářejí broušením, nebo chemickým leptáním. Jejich vlastností je, že difuzně rozptylují světlo do úhlů větších, než je úhel odrazu. Naopak zrcadlové povrchy mají velmi malé rozptylové úhly. Rozptyl u matných povrchů je zaviněn velikostí výškových rozdílů na určité délkové části povrchu. Tyto výškové rozdíly se blíží vlnové délce. Vhodné rozměry relevantní pro velké rozptylové úhly většinou zahrnují prostorové periody od malých částí až po 10-100násobky vlnové délky dopadajícího světla. Naopak zrcadlové povrchy jsou velmi hladké, jelikož výškové rozdíly nepřekročí malou část vlnové délky dopadajícího světla. Vzhledem k velkým rozdílům v povrchových drsnostech a také z historických důvodů, bylo do této normy zavedeno více metod jak drsnost specifikovat. Všechny využívají tzv. „fajfky“, kterou je možné najít v normě ISO 1302. Tato fajfka je doplněna o ukazatel, který označuje, že se jedná o optický, nikoliv mechanický povrch. Obecná forma této značky pro značení povrchové textury je na Obr. 8.1. Parametry a, b a c umístěné dle obrázku popisují konkrétní vlastnosti daného povrchu. Povolené hodnoty těchto parametrů jsou v tabulce 8.1 a budou dále vysvětleny v následujícím textu.

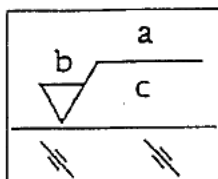


FIG. 8.1. Basic “check mark” indication for surface texture specification, showing the location of modifier symbols that provide specific detailed information.

TABLE 8.1. Parameters used on the check mark symbol for the various surface texture specification methods. A particular indication requires the combination of symbols indicated in the appropriate column in the proper units.

	Matte or Ground	Polished		
		Micro-defects	RMS Surface Roughness	PSD
a	G	Pa	P or Pa	P or Pa
b	$R_q$ $R_{qmax}$ or $R_q$ $R_{qmin}$ [ $\mu\text{m}$ ]	-----	$R_q$ $R_{qmax}$ [ $\mu\text{m}$ ]	A/B
c	$\ell_{min}$ or $\ell_{min}/\ell_{max}$ [mm]	-----	$\ell_{min}/\ell_{max}$ [mm]	C/D [mm]



### 2.2.2 Definice parametrů

Obvyklé parametry povrchové textury broušených a leštěných povrchů vycházejících z měření kontaktními profilovacími zařízeními jsou definovány v ISO4287/1-1984-Povrchová drsnost-Terminologie-Část 1: Povrch a jeho parametry a ISO 4287/2-1984-Povrchová drsnost-Terminologie-Část 2: Měření parametrů povrchové drsnosti. Je třeba mít na paměti, že definice prezentované v tomto dokumentu byly navrženy ještě v době, kdy se nepoužíval počítačový záznam dat, který se stal dnes běžným. Velká část terminologie byla vyvinuta speciálně pro mechanické profilometry s analogovými napěťovými výstupy, které umožňovaly záznam dat na pás papíru. Výstupní napěťové signály byly nejdříve pomocí upraveny RC filtrů zapojených jako horní propust pro odřezání nízkofrekvenčních artefaktů způsobených odchylkami měřicího přístroje a nestabilitami. Nebyla kladena velká pozornost na vysokofrekvenční limity měření. Průměrné hodnoty jsou vypočteny časovým průměrováním výstupních signálů přes časová okna, která odpovídají specifické dráze na povrchu předmětu. Vzorce použité pro stanovení parametrů povrchové textury jsou v podobě konečných integrálů spojitých proměnných, spíše než v podobě diskrétní sumace kvantovaných hodnot. Zmínku o digitálních metodách je možné nalézt pouze v části 2 normy ISO 4287 v odstavci 3.9, který definuje profilový vzorkovací interval  $\Delta x$  jako vzdálenost mezi sousedními diskrétními ordinátami profilu při digitálním měření povrchových parametrů. Počítačové zpracování digitálních dat usnadnilo aplikaci statistického zpracování povrchových profilových dat. Pro plné využití metodologie práce se signály je nutné do slovníku zařadit pojem šířky pásma prostorových frekvencí. Koncepty zmíněné v předcházejícím textu je nutné zrevidovat a aplikovat je na současné metody počítačového záznamu.

**2.2.2.1 Základní délka a prostorová šířka pásma** Obrázek 8.2 ilustruje parametry definované v ISO 4287, které jsou relevantní pro data naměřená na konečné délce mechanickým hrotovým profilovacím zařízením. Měřicí zařízení trasuje profil přes vzdálenost  $l_n$ , které se říká vyhodnocovaná délka. Vyhodnocovaná délka je rozdělena do několika subintervalů, kterým se říká základní délka a značí se  $l$ . Střední čára představuje fit naměřeného profilu provedený metodou nejmenších čtverců na intervale  $l_n$ . Popis se pak provádí relativně k této střední čáře. Střední hodnota konkrétní veličiny přes vyhodnocovanou délku je poté spočtena středováním jednotlivých hodnot přes celkový počet základních délek. Pro kontaktní hrotové profilometry je doporučeno aby se vyhodnocovaná délka skládala alespoň z 5 základních délek, přičemž dle ISO 3274 by základní délka měla být rovna ořezávací („cut-off“) vlnové délce horní propusti potlačující nízkofrekvenční informace přispívající k vypočítávaným parametrům. Standardní ořezávací vlnová délka pro filtrování dat se pohybuje v rozsahu 0,08 mm až 8 mm.

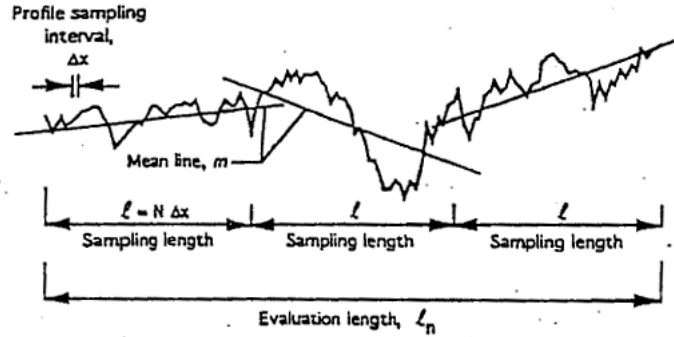


FIG. 8.2. Parameters as defined in ISO 4287 related to the measurement of surface texture.

Digitální záznam dat způsobil zobecnění pojmu vzorkovacího intervalu, jak je použit v části 8 normy ISO 10110. Metoda pracující s RMS povrchovou drsností si žádá, aby ve „fajfce“ byly stanoveny minimální a maximální základní délky. Nicméně tyto základní délky nebudou přesně odpovídat ISO 4287/1, nýbrž se bude jednat o uživatelem definované frekvenční pásma, které musí být poskytnuty danou měřicí metodou. Maximální základní délka  $l_{max}$  je při měření RMS drsnosti stanovena jako základní délka na obrázku 8.2, nicméně minimální základní délka  $l_{min}$  není normou ISO 4287 řešena. Co se považuje za nejkratší základní délku  $l_{min}$  v části 8 je nejkratší příspěvek do prostorové periody šířky pásma daného parametru drsnosti, který je ekvivalentní nejvyšší prostorové frekvenci specifikovaného pásma.

Digitální výstupní data z lineárního profilovacího zařízení se skládají z řady výškových hodnot vzorkovaných v uniformní vzdálenosti (profilový vzorkovací interval)  $\Delta x$  podél povrchu. Pokud existuje  $N$  datových bodů, pak celková uražená dráha odpovídá vzdálenosti  $L = N\Delta x$ . V souladu s teorií signálů a informace, informace o zastoupení frekvencí v množině vzorkovaných dat je dána nízkofrekvenčním limitem, který je definován jako převrácená hodnota celkové dráhy, tedy

$$f_{lo} = 1/L = 1/(N\Delta x) \quad (1)$$

a vysokofrekvenčním limitem, který je popsán Nyquistovou frekvencí

$$f_{Ny} = 1/(2\Delta x). \quad (2)$$

Převedením do prostorových period, nebo prostorových vlnových délek, jsou jednotlivé limity udány vztahy

$$l_{lo} = 1/f_{lo} = L = N\Delta x \quad (3)$$

a

$$l_{Ny} = 1/f_{Ny} = 2\Delta x. \quad (4)$$

Maximální prostorová frekvence je dána diskrétní povahou vzorkovacího procesu. Skutečný povrch pravděpodobně obsahuje i vyšší prostorové frekvenční

komponenty, informace o nich je ale nedostupná, pokud vzorkovací interval není dostatečně malý. Ve skutečnosti se může vysokofrekvenční komponenta smísit s nízkofrekvenční. Tomuto procesu se říká aliasing. Existuje množství technik jak minimalizovat chyby způsobené aliasingem. Příkladem je aplikace apodizační funkce. Specifikace textury na výkresech definuje šířku pásma prostorové periody, přes kterou je RMS drsnost odvozena integrací přes všechny komponenty prostorové periody uvnitř pásma. Tato šířka pásma může, nebo také nemusí přesně souhlasit se šířkou pásma, kterou je přístroj schopen naměřit. Z tohoto důvodu je výhodnější naměřená data převést do frekvenční domény a poté spočítat hledané statistické údaje přes dané frekvenční spektrum. Tento postup bude popsán v další části. Prací metrologa je zajistit, že přístroje dodají požadované informace napříč specifikovanou šířkou pásma.

**2.2.2.2 Stanovení RMS drsnosti** Parametr RMS (Root mean square - kvadratický průměr) drsnosti je dle ISO 4287/1 vypočten přes základní délku následujícím integrálem

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{l} \int_0^l y^2(x) dx}, \quad (5)$$

kde  $y(x)$  představuje filtrovanou výšku profilu relativně ke střední čáře v každém bodě  $x$ . Tento vzorec platí v případě spojitě proměnné. Pro diskrétně vzorkované data platí

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i^2}, \quad (6)$$

kde každý datový bod odpovídá měření na konečném vzorkovacím intervalu  $\Delta x$  ve vzájemně stejně vzdálených bodech. Tato forma zápisu je vhodná v případě, kdy počítačově řízený nástroj provádí digitalizaci signálu A/D převodníkem, nebo v případě, že je detektor složen z jednotlivých pixelů tvořících uniformní mřížku.

### 2.2.3 Matné a broušené povrchy - G

Broušené povrchy jsou běžně považovány za difuzní rozptylová prostředí. Jejich chování je způsobeno tím, že povrchová drsnost většinou převyšuje hodnotu vlnové délky dopadajícího světla. Většinou se povrchy pouze brousí, pokud netvoří součást refraktivní, nebo reflektivní funkce elementu. V některých případech se povrch záměrně brousí k dosažení specifického povrchu který bude zajišťovat specifickou míru rozptylového světla v systému, popřípadě k dosažení specifických vlastností na rozhraní dvou materiálů, například kvůli adhezi při jejich spojování.

Povolené kombinace povrchových specifikátorů pro broušené povrchy jsou ukázány na obrázku 8.3 a ve sloupcích tabulky 8.1. Základním indikátorem matovaného, nebo broušeného povrchu je písmeno G umístěné v pozici „a” nad

fajfkou. RMS drsnost v jednotkách mikrometrů je umístěna v pozici „b” nad trojúhelníkem. Jediné číslo nad trojúhelníkem vyjadřuje maximální povolenou hodnotu  $R_q$ . Označovač „ $R_q$ ” je vždy umístěn před tímto číslem pro vyjádření, že se jedná o RMS veličinu, nikoliv  $R_a$ . V případě potřeby je možné uvést minimální povolenou hodnotu povrchové drsnosti pod maximální hodnotu, jak udává ISO 1302. V pozici „c” udává číslo pod horizontální čarou minimální základní délku  $l_{min}$  v milimetrech přes kterou je veličina  $R_q$  měřena. Základní délka koresponduje s tou, která je definována v ISO 4287/1, pododstavec 4.16. V praxi je  $l_{min}$  délka segmentu z celkového profilu od kterého byl odečten fit sestavený metodou nejmenších čtverců. Hodnota  $R_q$  je vypočtena z rozdílů od střední hodnoty na intervalu  $l_{min}$ . Horní limit základní délky  $l_{max}$  v milimetrech může být specifikován umístěním dalšího čísla za lomítko. Maximální základní délka je identická s vyhodnocovací délkou (ISO 4287/1, pododstavec 4.1.7), která je složena z několika sousedních základních délek. Minimální velikost základní délky  $l_{min}$  odpovídá ořezávací (cut-off) frekvenci přístroje, jak je definováno v ISO 3274.

#### 2.2.4 Leštěné povrchy - P

Leštěné povrchy se od matných odlišují vysokou mírou odrazivosti a malým množstvím rozptylového světla. Obecně drsnost leštěných povrchů je zlomkem vlnové délky světla. Některé povrchy určené k použití ve vzdálené infračervené oblasti se nemusejí zdát odrazivé, pokud jsou testovány světlem z viditelné části spektra. Parametry definované touto normou ISO dávají jak návrháři, tak výrobci přesnou informaci o vlastnostech povrchu nezávisle na vlnové délce. Tímto se eliminuje možnost pro zmatení pojmu leštěného povrchu.

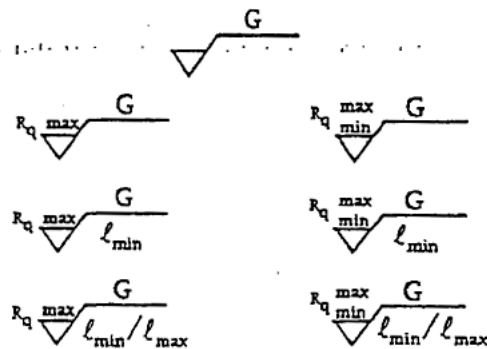


FIG. 8.3. Allowed designations for ground, or matte, surface parameters.  $R_q$ max and  $R_q$ min are in units of micrometres;  $l_{min}$  and  $l_{max}$  sampling lengths are in units of millimetres.

V části 8 jsou popsány tři metody, které mohou být samostatně, nebo v kombinaci použity pro popis kvality leštěného povrchu. Jsou to: RMS povrchová drsnost, mikrodefekty a spektrální hustota prostorových frekvencí (PSD).

Zatímco RMS a PSD jsou srovnatelné kvantitativní koncepty, metoda mikrodefektů vycházející z německé normy DIN 3140 je více kvalitativní a velmi zřídka používaná v USA. Dle obrázku 8.4 a tabulky 8.1 je možné vidět, že základním označením leštěných povrchů je písmeno P umístěné nad čarou fajfky v pozici „a“. Další parametry jsou dodány k tomuto symbolu pro bližší udání charakteru leštěného povrchu.

**2.2.4.1 Mikrodefekty** Mikrodefekty jsou malé prohlubně, nebo důlky nalézající se na leštěném povrchu, kterou jsou menší než škrábance a vrypy popsané v části 7 této specifikace. Požadovaná kvalita povrchu je vyjádřena přidáním celého čísla v rozsahu od 1 do 4 vedle symbolu P nad čáru stejně jako u symbolů ve sloupci na pravé straně obrázku 8.4. Metoda vychází z německé normy DIN 3140, kde je povrchová kvalita indikována určitým počtem kosodélníkových nebo kosočtverečných obrazců vedle povrchu. Jejich počet je vztažen k počtu pozorovatelných defektů určité třídy. 1 symbol představuje nejnižší kvalitu, zatímco 4 tu nejvyšší. V případě jednoho není přítomno více než 400 mikrodefektů na základní délku 10 mm, V případě čtyř jich není více než 3 na základní délku. Metoda použitá pro stanovení množství mikrodefektů je založena na počtu „výrazných“ odskoků od jinak hladkého povrchu na 10 mm délky. Tato metoda je zhruba navázána na počet kolikrát se povrch odchýlí na 4-5 standardních odchylek od průměrné hodnoty stanovené profilovacím zařízením, ačkoli takto není definice zavedena.

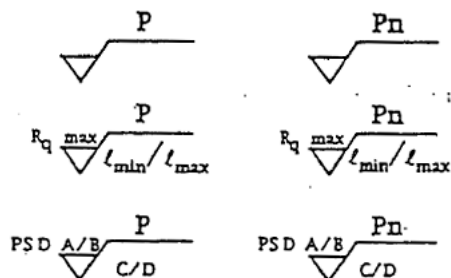


FIG. 8.4. Allowed designations for polished surfaces. Microdefect method indicated by integer “n.” RMS roughness is indicated by  $R_q$ max value in  $\mu\text{m}$  units and requires sampling length range in units of mm. PSD indicated by parameters A/B and C/D, where A is the value of the numerator and B is the exponent in the denominator of the power law function. The C/D spatial period range designations are in mm.

**2.2.4.2 RMS povrchová drsnost** RMS (Root mean square - kvadratický průměr) drsnost je popsána pomocí  $R_q$ , které je v normě ISO 4287/1, pododstavec 5.11 definována jako

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{L} \int_0^L y^2(x) dx}, \quad (7)$$

kde  $L$  je jedna základní délka.  $R_q$  je v jednotkách mikrometrů a základní délka vždy v milimetrech konzistentně s normou ISO 468-1982, která se týká konvenčně opracovaných povrchů. Vhodnější podoba rovnice pro využití s digitalizovanými daty je

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i^2}, \quad (8)$$

kde  $y_i$  označuje diskrétní výškové hodnoty, které jsou vzorkovány v uniformně vzdálených bodech podél povrchu, kde  $\Delta x_i$  je vzorkovací interval jak je definován v ISO 4287/2, pododstavec 3.9. Jak stojí v pododstavci 5.11 normy ISO 4287/1, hodnoty  $R_q$  jsou většinou průměrovány přes několik základních délek uvnitř delší vyhodnocovací délky pro dosažení přesnějšího vyhodnocení opravdové povrchové drsnosti. Pro běžně opracované povrchy je zde dle ISO 3274-1975 řada standardně používaných základních délek definovaných pro kontaktní hrotové profilovací nástroje, které představují nízkofrekvenční cut-off (ořez) pro účel filtrování dat. Nízkofrekvenční cut-off je možné nalézt i v normě ANSI /ASME B46.1-1985. Dokumenty ISO nepopisují vysokofrekvenční chování měřicího systému. Avšak dokument B46 specifikuje krátkovlnný cut-off na  $2,5 \mu\text{m}$ .

Obě rovnice popisují odchytku profilu povrchu od jistého „průměrného“ povrchu na specifikované základní vzdálenosti. Je zde řada metod jak stanovit tento průměrný profil. Doporučenou metodou je použít střední čáru fitovanou pomocí metody nejmenších čtverců, nebo jednoduše střední čáru, jak je nadefinována v ISO 4287/1, pododstavec 4.19. Většina statistických vlastností povrchu je vypočtena pomocí střední čáry. V praxi to znamená, že stejnosměrná složka a průměrný náklon byly odečteny od této řady dat. Toho může být dosaženo pomocí odečtení fitované rovné čáry získané metodou nejmenších čtverců od segmentu dat, nebo aplikací horní propusti pro odstranění nízkofrekvenčních složek pod ořezávací frekvencí. Normy ANSI B46.1-1985 a ISO 3274-1975 (E) obsahují doporučené parametry filtrů pro měření obrobených povrchů hrotovými profilometry.

Následně po zavedení střední čáry je zde nutnost odečíst ideální tvar povrchu od naměřených dat, pokud je ideální povrch jakkoli odlišný od roviny. Ve většině případů jsou optické povrchy částmi sféry, z toho vyplývá, že střední čára musí ve skutečnosti být polynomem druhého řádu, což je parabolická aproximace sféry. Asféry budou obecně vyžadovat polynomy vyšších řádů. Polynomy nízkých řádů jsou použity pro fitování rádkových, nebo plošných měření, aby uživatel mohl odstranit náklon, zakřivení a složky 4. řádu, než spočítá hodnotu  $R_q$ .  $R_q$  může být taktéž spočítáno jako suma PSD přes konkrétní rozsah prostorových frekvencí. Tato metoda bude diskutována v další sekci.

Použití maximální hodnoty  $R_q$  bez rozsahu základních délek v symbolu fajky není dovoleno. Avšak není zde žádný standardní postup jak spočítat maximální hodnotu  $R_q$  z dat naměřených v omezeném pásmu prostorových frekvencí. Například předpokládejme, že se data skládají z diskrétních bodů vzorkovaných v intervalu  $\Delta x_i = 2,5 \mu\text{m}$  na celkové vyhodnocované délce  $5 \text{ mm}$ . Pak je možné pomocí sumační rovnice (8) stanovit maximální hodnotu  $R_q$  přes prostorovou

šířku pásma od 2,5  $\mu\text{m}$  do 5 mm. Nyní předpokládejme, že nás zajímá drsnost pouze v rozsahu prostorových period od 50  $\mu\text{m}$  do 1 mm. V takovém případě je nutné aplikovat na celou množinu dat pásmovou propust se správně zadanými ořezovými frekvencemi. Toho se nejsnáze docílí, pokud se pracuje ve frekvenční, nikoliv prostorové oblasti. S využitím standardních postupů známých z teorie signálů a informace je možné pomocí Fourierovy transformace převést zaznamenanou množinu dat do frekvenční oblasti, vykonat požadovaný ořez frekvencí a poté provést inverzní transformaci zpět do prostorové oblasti. Poté je možné aplikovat vztah (8) na veškerá získaná filtrovaná data pro stanovení maximální hodnoty  $R_q$ , která nyní obsahuje pouze data z požadované prostorové periody. Nebo je možné po převedení dat do frekvenční domény spočítat PSD a použít jej pro výpočet maximální hodnoty  $R_q$  přes libovolný rozsah frekvencí jednoduchou integrací. Tato metoda bude lépe popsána v další části textu.

Maximální hodnoty  $R_q$  se pohybují pod 0,1 nm pro „supervyleštěné“ povrchy, přes 0,1 až 1 nm pro „velmi dobré“ povrchy až přes 1 nm pro „běžné“ povrchy. Jedná se o rozdělení typických rozsahů, kterých je možné použitím dnešních optických technologií dosáhnout.

**2.2.4.3 Spektrální hustota prostorových frekvencí (Power spectral density - PSD)** Tato funkce nabízí maximální flexibilitu při specifikaci vysoce kvalitních optických povrchů. Je z ní možné odvodit různé statistické veličiny, jako např. RMS a chyby sklonu přes vybrané šířky pásma. Nejužitečnější je fakt, že intenzita a úhlová distribuce rozptýleného světla jsou přímo svázány s funkcí PSD. Měření intenzity rozptýleného světla, nebo výkonu v úhlově rozlišeném měření rozptylu je přímým měřením výkonového spektra povrchové drsnosti.

PSD funkce používaná v normě ISO 10110 je přesněji nazývána jednodimenzionální funkcí výkonového spektra pro její odlišení od dvoudimenzionální varianty. Toto rozlišení vychází z podstaty samotného měření profilovacím nástrojem, které bývá používáno pro výpočet PSD. Typické profilovací zařízení dělá jednu lineární stopu napříč jednou dimenzí povrchu. Výsledkem měření je jednodimenzionální závislost mezi povrchovou výškou a souřadnicí v dané dimenzi. Spektrum vypočtené jednodimenzionální Fourierovou transformací se nazývá jednodimenzionální spektrální hustotou prostorových frekvencí. Nicméně distribuce rozptylových úhlů při normálovém dopadu je spjata s dvoudimenzionální spektrální hustotou prostorových frekvencí. Novější profilovací zařízení jsou schopna měření povrchové topografie přes dvě dimenze povrchu a z těchto dat je možné následně vypočítat dvoudimenzionální funkci PSD. Pokud je povrchová drsnost izotropická a nemá žádný preferovaný směr, je možné tato dvě spektra dát do vztahu pomocí integrální transformace. Tento vztah bude lépe prodiskutován v další sekci. Jelikož je jednoduché vybrat lineární podmnožinu z dvoudimenzionální matice, je výpočetně jednodušší pracovat s jednodimenzionální PSD, pomocí které se specifikují povrchové vlastnosti.

Jednodimenzionální spektrální hustota prostorových frekvencí povrchového

profilu je dána vztahem

$$S_1(f_m) = \frac{2D}{N} \left| \sum_{n=0}^{N-1} e^{i2\pi mn/N} \cdot W(n) \cdot Z(nD) \right|^2 K(n), \quad (9)$$

kde povrchová výška  $Z(nD)$  je vzorkována přes konečný počet diskretních bodů  $N$ , přičemž jsou odděleny základní délkou  $D = \Delta x_i$ .  $W(N)$  je datové okno, které slouží pro úpravu náhodného profilu a odstraňování nežádoucích efektů způsobených nenulovými hodnotami na koncích datové řady představujících profil povrchu. Faktor  $K(n) = 1$ , kromě hodnoty v bodě 0, kde platí  $K(0) = K(N/2) = 1/2$ , zajistí, že RMS vypočtené pomocí PSD přes celou prostorovou šířku pásma bude identické RMS získanému z dat měřeného povrchu. Výpočet RMS drsnosti ze spektra je užitečné, jelikož je možné vybrat rozsah prostorových frekvencí, které budou zahrnuty, nebo naopak vyloučeny do výpočtu RMS.

Při používání PSD při stanovování povrchové drsnosti jsou požadovány 4 parametry: A, B, C a D. Parametry A a B jsou koeficienty mocninné funkce použité pro modelování řádu a tvaru PSD funkce. Tato forma mocninné funkce se dvěma parametry je zvolena proto, že většina leštěných optických povrchů se blíží této funkci přes rozsah prostorových frekvencí měřitelných dnešními přístroji. Parametry C a D popisují nejkratší a nejdelší prostorovou periodu (v milimetrech), přes kterou je funkce PSD definována. Je třeba mít na paměti, že jednotky prostorových frekvencí v mocninné funkci jsou mikrometry a hrozí zde nebezpečí chyby v řádu 1000 při převodu parametrů C a D do hodnot  $f$  mocninné funkce.

V modelu mocninné funkce je spektrum dáno jako

$$PSD(f) = \frac{A}{f^B} [\mu m^{+3}] \quad (10)$$

přes  $[C, D]$  v milimetrech, kde rozsah prostorových frekvencí je vztážen k prostorovým periodám pomocí vztahů

$$f_{min} = \frac{1}{1000 \cdot D} \text{ a } f_{max} = \frac{1}{1000 \cdot C} \quad (11)$$

nebo

$$\frac{1}{1000 \cdot D} \leq f \leq \frac{1}{1000 \cdot C} \quad (12)$$

v jednotkách  $\mu m^{-1}$ . Hodnoty prostorových frekvencí, které vstupují do výpočtu PSD jsou převedeny do jednotek reciprokých mikrometrů z prostorových period, které jsou ve výkresech udány v jednotkách milimetrů. Míchání jednotek se nedá zabránit pokud chceme zachovat návaznost s terminologií v normách ISO 468 a 4288, které definují základní délky v jednotkách mm. Přirozenou jednotkou pro popis optických povrchů jsou mikrometry, nejméně matoucí je tedy nejprve převést prostorové periody v milimetrech do prostorových frekvencí v mikrometrech, než se přejde k samotnému výpočtu PSD.



Funkce PSD je velmi užitečná při výpočtech šířkou pásma limitovaných povrchových statistik. RMS drsnost frekvenčně omezená mezi  $f_{lo} = 1/D$  a  $f_{hi} = 1/C$  se spočte jako

$$\sigma^2 = \int_{f_{lo}}^{f_{hi}} S_1(f_x) df_x \quad (13)$$

a chyba sklonu jako

$$\mu^2 = \int_{f_{lo}}^{f_{hi}} (2\pi f_x)^2 S_1(f_x) df_x. \quad (14)$$

Tyto definice RMS drsnosti a chyby sklonu jsou platné pro jakýkoliv funkční tvar spektra. Pokud je spektrum hodnoceno v diskrétní podobě, pak mohou být integrály v rovnicích nahrazeny sumacemi. Tyto dvě rovnice dávají hodnoty měřeného povrchu, které se mohou odlišovat od vlastních parametrů povrchu vzhledem k nejednotkové přenosové funkci měřicího procesu. Je nutné mít na zřeteli, že měření nedává skutečné informace vzhledem k různým omezením měřicího aparátu.

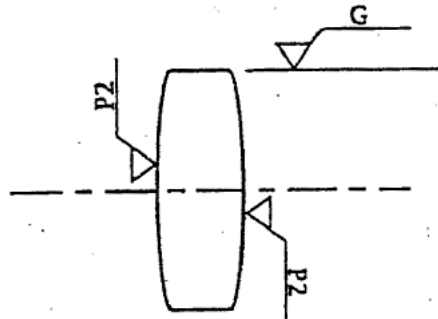


FIG. 8.5. Drawing indication that allows less than 80 micro-defects in a 10 mm length on two polished surfaces. RMS and PSD are unspecified. A ground edge is indicated.

## 2.2.5 Příklady

**2.2.5.1 Značení mikrodefektů a RMS** Příklady užití „fajfky“ pro vyjádření kvality několika povrchů dvou čoček jsou znázorněny na Obr. 8.5 a 8.6. Tyto obrázky ilustrují specifikaci broušeného a leštěného povrchu metodou mikrodefektů a pomocí RMS drsnosti. Parametry jsou jen informativní. Skutečné hodnoty budou záviset na konkrétní aplikaci.

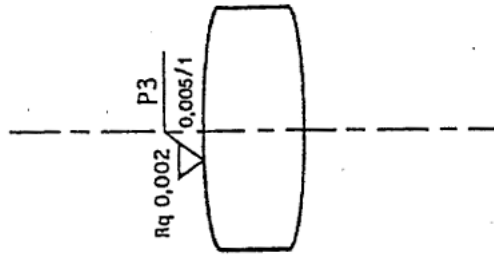


FIG. 8.6. Drawing indication that allows RMS roughness of 0,002 micrometres over sampling lengths between 0,005 mm and 1 mm. Micro-defects less than 16 defects per 10 mm sampling length.

**2.2.5.2 Značení PSD a praktická doporučení** Příklad fitování mocniných křivek několika měření reálných povrchů dvěma profilometry je na Obr. 8.7. Povrch je leštěné bezproudově poniklované aluminiové zrcadlo o délce 610 mm. Měření byla provedena dvěma různými profilovacími zařízeními: WYKO NCP-1000 a Long Trace profilometrem (LTP) v Brookhaven National Laboratory. Příklad profilu měřeného pomocí WYKO je ve spodní části Obr. 8.8, měření pomocí LTP je pak v horní části téhož obrázku. Přístroj WYKO pokrývá vysokofrekvenční rozsah v periodě od 5 mm až po 5  $\mu\text{m}$  přičemž používá objektivu s 2,5 násobným zvětšením. LTP měří v rozsahu nízkých frekvencí od 610 mm (celá délka povrchu) až po 2 mm. Nyquistova frekvence pro oba přístroje, která je převrácenou hodnotou dvojnásobku maximální základní délky, je 10  $\mu\text{m}$  pro WYKO a 4 mm pro LTP. Tyto dva přístroje měří přes vzájemně se doplňující spektrum prostorových frekvencí. Nicméně je zde překryv mezi 4 a 5 mm, který představuje vhodnou kontrolu konzistence, zda oba přístroje pracují správně.

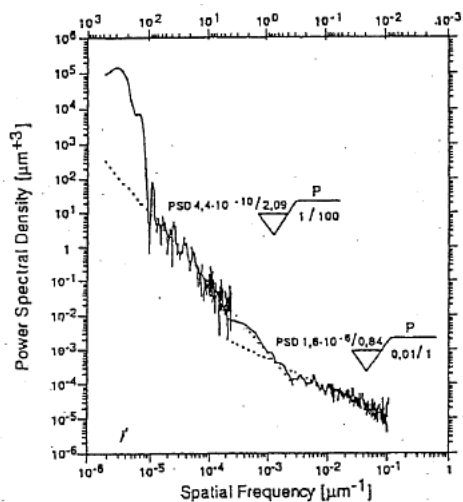


FIG. 8.7. Power law functions (dashed lines) fit to averaged PSD curves for an electroless Ni surface as measured with two different profiling instruments, each covering a different range of spatial periods. Note that the check mark indications do not coincide with the instrument measurement bandwidths. The dashed lines extend beyond the range of the fit regions in each case for illustration only. Spatial period numbers under the check mark are in millimetres.

Je důležité poznamenat, že každá z PSD křivek vynesných na Obr. 8.7 je složena z průměru několika jednotlivých PSD křivek, přičemž každá je spočtena ze samostatného měření profilu povrchu. Průměrování PSD křivek je nezbytné pro vyhlazení statistických fluktuací jednotlivých měření, zejména těch v oblasti vysokých prostorových frekvencí, které vznikají vzhledem k náhodné podstatě povrchové drsnosti. Průměrování několika PSD křivek dovoluje extrahovat skutečný charakter spektra povrchové drsnosti z náhodných fluktuací. Křivky jsou prezentovány v grafech, které mají obě osy logaritmické pro lepší vizualizaci mocninného charakteru funkcí. Obě lineární, nebo kombinované lineárně-logaritmické osy se nepoužívají. Mocninná funkce vynesná do grafu s oběma osami logaritmickými vypadá jako rovná čára, což usnadňuje měření sklonu (parametru B) a průsečíku se souřadnicí frekvence  $1 \mu\text{m}^{-1}$  (parametr A). Parametry A a B mohou být vypočteny také pomocí nelineárního fitování tohoto modelu metodou nejmenších čtverců, nebo pomocí běžné metody nejmenších čtverců, pokud budou data nejprve logaritmována. Je nutné měřená data povážít převrácenou hodnotou prostorové frekvence k zajištění vyvážení větší hustoty bodů s vyššími frekvencemi, což je způsobeno povahou diskretní Fourierovy transformace.

Z obrázku 8.7 je možné vidět, že povrchová drsnost je nejlépe fitována pomocí dvou mocninných závislostí v podobě rovnice (10) přes dva separátní rozsahy prostorových frekvencí. Čárkované čáry představují křivky mocninné závislosti získané metodou nejmenších čtverců přes vhodné rozsahy prostorových frekvencí. Je zde přirozený bod zlom mezi „vysokými“ a „nízkými“ frekvencemi v

bodě s prostorovou frekvencí kolem 1 mm, kde se tyto dvě křivky protínají. Bod zlomu leží za frekvenčním limitem nízkofrekvenčního přístroje a uvnitř rozsahu vysokofrekvenčního profilometru při prostorové periodě kolem 1 mm. Toto je potvrzení, že pozorované spektrum a je intrinsickou vlastností povrchu a není artefaktem měřicích přístrojů.

Symbole „fajfek“ pro dva frekvenční rozsahy jsou:

$$\text{PSD } 4,4 \cdot 10^{-10} / 2,09 \sqrt{\frac{P}{1/100}} \quad \text{pro}$$

nízkofrekvenční část a  $\text{PSD } 1,6 \cdot 10^{-6} / 0,84 \sqrt{\frac{P}{0,01/1}}$  pro vysokofrekvenční část (vlevo od bodu zlomu). RMS drsnost pro nízkofrekvenční část vypočtená jako integrál mocninné funkce přes prostorové frekvenční spektrum  $10^{-5} - 10^{-3} \mu\text{m}^{-1}$  (odpovídající prostorovým periodám 100 mm - 1 mm) je asi 10,3 nm. RMS hodnota pro vysoké frekvence v rozsahu  $10^{-3} - 10^{-1} \mu\text{m}^{-1}$  (které odpovídají periodám od 1 mm do 10  $\mu\text{m}$ ) je asi 1,9 nm. Velký nárůst PSD na nízkých frekvencích není zahrnut v drsnosti pro nízké frekvence, neboť se většinou jedná o chyby tvaru. Mocninná funkce popisuje náhodné projevy povrchové drsnosti, v tomto případě běžně nazývaných vlnitostí povrchu. Toto ilustruje schopnost funkce PSD přesně popsát na jakých prostorových periodách se vyskytují chyby tvaru.

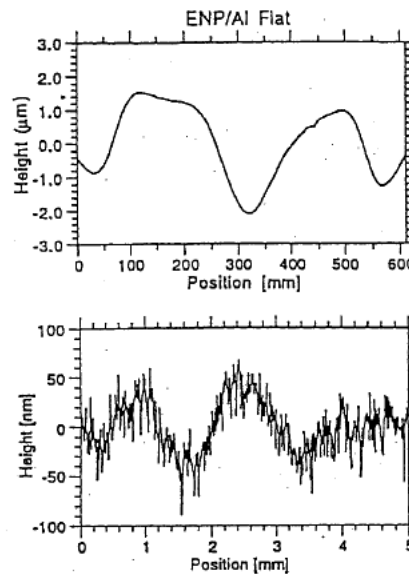


FIG. 8.8. Individual profiles used in the calculation of the PSD for the electroless Ni surface in Fig. 8.7. (Top) Profile made with the Long Trace Profiler covering the 2 mm to 610 mm spatial period bandwidth. (Bottom) Profile of a 5 mm segment of the surface made with a WYKO NCP-1000 profiler with pixel size of 5  $\mu\text{m}$ .

Konkrétní měření povrchu je ukázáno na Obr. 8.8. Horní rám ukazuje měření pomocí LTP, zatímco spodní ukazuje měření pomocí přístroje WYKO NCP-1000

s 2,5x objektivem. Přebytek nízkofrekvenční komponenty ve spektru na Obr. 8.7 odpovídá velké amplitudě chyby tvaru, kterou lze vidět v horním rámu Obr. 8.8. Je nutné poznamenat PSD křivky prezentované na Obr. 8.7 jsou jen příkladem jak mocninné funkce mohou popisovat reálný povrch. Jiné povrchy mohou mít naprosto odlišné křivky, než jaké jsou zde ukázány. Prezentované křivky mají proto pouze ilustrativní charakter.

Povrch ENP/Al zrcadla ukazuje vztah mezi čtyřmi parametry ve specifikaci PSD se skutečně naměřeným spektrem hustoty prostorových frekvencí. Skutečnost, že dva symboly „fajfky“ jsou použity pro popis povrchu není touto normou vyloučena. Každý ze symbolů platí v limitovaném rozsahu prostorových period. Rozsahy se nepřekrývají a tudíž si neodporují. Čárkované čáry na Obr. 8.7 jsou, každá zvlášť, fitovány pro rozsah period, který je specifikován na symbolu fajfky. Nicméně jsou vyneseny v rozsahu širšího spektra, než ve kterém je fitování platné, pro ilustraci rozsahu, ve kterém jsou stále ještě použitelné. Dva symboly fajfky mohou být taktéž použity při specifikaci pomocí RMS.

Vyvstává otázka z fyzikálními rozměry koeficientů mocninné funkce A a B. Pro většinu reálných povrchů, které vykazují fraktální chování, nemá většinou hodnotu B podobu celého čísla. To většinou vede k neoprávněným nejistotám, pokud je vyžadována dimenzionální analýza PSD rovnice, která vede k jistému fyzikálnímu smyslu pro neceločíselné dimenze parametru A. Pro účely specifikace povrchové drsnosti stačí znát, že A a B jsou parametry popisující velikost sklonu matematické křivky na grafu s oběma měřítky v logaritmické škále. Bez studia fyzikálního smyslu těchto parametrů lze vidět, že numerická hodnota A je hodnota funkce při frekvenci  $1 \mu m$  (prostorové periodě  $1 \mu m$ ). Z hlediska rozměrové analýzy vyplývá, že A má rozměr mikrometru na  $3xB$ -tou, což nemá žádný hlubší fyzikální smysl z hlediska specifikace.

Stejně jako v předchozí diskusi o RMS drsnosti i zde v případě výpočtu PSD je nutné nejprve odstranit střední čáru z dat profilu povrchu. Pokud nejsou data předzpracována správně, pak se mohou do spektra dostat nežádoucí informace, které obvykle vedou k přebytku signálu ve vysokofrekvenční části spektra. Stejně principy jako v případě RMS tedy platí i zde - před zpracováním je nutné ze surových dat odstranit ideální tvar povrchu. Dále je možné použít ořezové funkce pro potlačení efektu diskontinuit na okrajích, které by mohly zanést nežádoucí informace mezi zpracovávaná data.

## 2.3 Ostatní standardy

### 2.3.1 ISO 4287/1-1984 Povrchová drsnost - Terminologie - Část 1: Povrch a jeho parametry ANSI/ASME B46.1 - 1985 - Povrchová textura

Tyto dokumenty definují různé termíny pro popis parametrů povrchové textury jako  $R_a$ ,  $R_q$ , drsnost, vlnitost, atd. Vlnitost povrchu není v současnosti součástí ISO nomenklatury, je možné ji najít pouze v amerických dokumentech. Koncept vlnitosti je v normě ISO implicitně zahrnut v podobě měnitelné maximální a minimální základní délky pro měření  $R_q$  a výpočet PSD.

### 2.3.2 ISO 1302-1992 (E) Technické výkresy - Metoda značení povrchové drsnosti na výkresech

Je zde popsán symbol „fajfky“. Nejvyšší povrch popsán touto normou je označen Třídou 1 s hodnotou  $R_a = 25 \text{ nm}$ .

### 2.3.3 ANSI Y14.36-1978 Strojírenské výkresy a podobná dokumentace, Symboly pro povrchovou texturu

Norma definuje styl symbolu „fajfky“ v amerických výkresech. Nejlepší povrch je označen číslem 0,5 microinch, nebo 12 nm.

## 2.4 Vliv povrchové textury na funkci

Specifikace povrchové textury se vyvíjela společně s technikami optické výroby. Před rozmachem vojenských sledovacích zařízení a laserových gyroskopických systémů, stačilo pouze specifikovat, že povrch je vyleštěný s určitým počtem kosmetických defektů (škrábance a vrypy). Specifikace pomocí škrábanců a vrypů je stále dostatečná pro většinu komerční optiky, kde je možné tolerovat velké množství rozptýleného světla, nicméně v systémech orientovaných na velmi vysokou kvalitu již tyto parametry nestačí. Byly vyvinuty počítačové programy pro analýzu rozptylového světla.

Společně s požadavky na kvalitu optických systémů se vyvíjely i metody pro kvantifikování množství světla rozptýleného od vyleštěných povrchů, bublinek a nedokonalostí skla. Měřicí techniky jako ARS (Angle Resolved Scatter - Rozptyl s úhlovým rozlišením) a TIS (Total Integrated Scatter - Celkový integrovaný rozptyl) se v současnosti používají pro analýzu kvality povrchu měřením světla rozptýleného na různých vlnových délkách. Je třeba věnovat zvýšenou pozornost minimalizaci možného znečištění povrchu nečistotami, jelikož by mohly zavinit zkreslení výsledků, které by mohly zdánlivě zvyšovat drsnost povrchu. V poslední dekádě došlo k rapidnímu vývoji optických profilovacích zařízení, která umožňují měřit povrchovou drsnost rychle a přesně. Byla vybudována teorie, která spojuje drsnost povrchu s množstvím a distribucí rozptýleného světla. Motivací pro tento vývoj byl požadavek pro předpovězení kvality optických systémů mimo viditelnou oblast spektra na základě analýzy drsnosti. Zde bude prezentován pouze stručný přehled této teorie.

Je zde několik úrovní komplikovanosti, jakými je možné zadat povrchovou drsnost leštěných povrchů. Nejzákladnějším označením je dát písmeno „P“ jako symbol pro odraznou plochu nad značku „fajfky“. Kosmetická kvalita povrchu je pak řízena specifikací povrchových nedokonalostí (škrábance, vrypy) nalezených v části 7 normy ISO 10110, nebo MIL-O-13830A. Optický konstruktér většinou z minulé zkušenosti ví, jaký efekt na kvalitu optického systému bude mít určitá úroveň nedokonalosti povrchu. Nicméně zde neexistuje žádné jednoduché spojení mezi množstvím rozptýleného světla a specifikací kosmetických nedokonalostí povrchu.

### 2.4.1 Souvislost s celkovým rozptylem

Jelikož došlo v poslední dekádě k masivnímu vývoji profilovacích zařízení se subnanometrovým rozlišením, je možné nyní měřit topografii leštěných povrchů s vysokou přesností a správností. Je tedy možné stanovit statistické vlastnosti povrchu z naměřených dat, jako  $R_a$ , průměrnou aritmetickou drsnost, nebo  $R_q$ , RMS drsnost a tyto veličiny použít v rovnicích pro předpovězení množství světla rozptýleného od povrchu. Rovnice dávající do vztahu statistiku povrchové drsnosti s rozptýleným světlem byly odvozeny z různých skalárních a vektorových modelů rozptylu, které byly navrženy za posledních několik dekád.

Skalární rozptylová teorie dává jednoduchý výsledek, který může být použit při stanovování odhadů „přes palec“ k určení velikosti rozptylu od povrchu se známou RMS drsností, která je dána hodnotou  $R_q$ . Tento výsledek má tvar

$$TIS \equiv \frac{I_s}{I_0} \approx \left( \frac{4\pi R_q \cos \theta_i}{\lambda} \right)^2, \quad (15)$$

kde TIS (Total Integrated Scatter) je celkové množství rozptýleného světla,  $I_s$  a  $I_0$  jsou rozptýlené a dopadající světlo,  $\theta_i$  představuje dopadový úhel a  $\lambda$  vlnovou délku dopadajícího světla. Tento vztah mezi povrchovou drsností a rozptýleným světlem tvoří základ standardu ATSM pro stanovení povrchové drsnosti z měření rozptýleného světla. Vztah mezi povrchovou drsností a rozptýleným světlem je platný pouze pro hladké povrchy, kdy je splněna ostrá nerovnost  $\lambda \gg 4\pi R_q \cos \theta_i$ . Jako příklad uveďme povrch s drsností  $R_q = 10 \text{ nm}$ , který rozptýlí 0,04 normálové dopadajícího světla o vlnové délce  $\lambda = 632 \text{ nm}$ . Kdyby drsnost byla 1 nm, pak by TIS bylo 0,0004.

### 2.4.2 Spojitost s úhlově rozlišeným rozptylem

Jednoduchá TIS rovnice nicméně nedává přesný popis distribuce rozptýleného světla. Konkrétně tato rovnice nedovoluje spočítat distribuci rozptýleného světla z jediného parametru -  $R_q$ . Pro tuto informaci je nutné přejít k rozptylovým teoriím vyšších řádů, které dávají do vztahu magnitudu a směr rozptýleného světla ku spektrální hustotě prostorových frekvencí. Výsledek úhlově rozlišeného rozptylu s-polarizované vlny dopadající pod polárním úhlem  $\theta_i$  je dán vztahem

$$\frac{1}{I_0} \frac{dI_s}{d\Omega} = \frac{16\pi^2}{\lambda^4} \cos \theta_i \cos^2 \theta_s \cos^2 \phi_s r_{ss} S_2(\vec{f}), \quad (16)$$

kde  $\phi_s$  je azimutální úhel rozptylu ven z dopadové roviny,  $\Omega$  je úhlová jednotka ve směru rozptylu,  $r_{ss}$  je faktor popisující reflektivitu povrchu na tomto rozptylovém úhlu a  $S_2(\vec{f})$  je dvoudimenzionální spektrální hustota prostorových frekvencí povrchu. Pro obecný případ světla dopadajícího pod úhlem  $\theta_i$  a rozptýleného do nějakého směru (ne nutně v rovině dopadu) definovaného pomocí polárního úhlu  $\theta_s$  a azimutálního úhlu  $\phi_s$  je vztah mezi složkami povrchových prostorových frekvencí ve směrech  $\hat{x}$  a  $\hat{y}$  ( $\hat{x}$  v rovině dopadu a  $\hat{y}$  ortogonálně na

$\hat{x}$ ) na povrchu a směrem rozptýleného světla dán zobecněnou mřížkovou rovnicí

$$\lambda \left( \vec{f} \right) = (\sin \theta_s \cos \phi_s - \sin \theta_i) \hat{x} + (\sin \theta_s \sin \phi_s) \hat{y}. \quad (17)$$

Rovnice (16) a (17) dávají do vztahu absolutní intenzitu, úhlovou distribuci rozptýleného světla a spektrum hustoty prostorových frekvencí, což dává kompletní popis rozptylu s ohledem na skutečné vlastnosti povrchu.

Pro výpočet rozptylu ve dvou dimenzích je nutné vypočítat dvoudimenzionální funkci PSD z měření povrchové topografie na konečné části povrchu. Pokud je povrchová drsnost izotropická, tedy parametry drsnosti se nemění v závislosti na směru, můžeme problém redukovat na jednodimenzionální měření a výpočet. Pokud je povrch náhodný a izotropický, pak je dvoudimenzionální spektrum vztažení k jednodimenzionálnímu skrze integrální transformaci

$$S_2 \left( \vec{f} \right) = -\frac{1}{2\pi} \int_f^\infty \frac{df_x}{\sqrt{f_x^2 - f^2}} \frac{d}{df_x} S_1(f_x), \quad (18)$$

kde  $f = |f|$ . Například pro izotropicky drsný fraktálový povrch s jednodimenzionálním mocninným spektrem ve standardní formě  $S_1(f_x) = A/f^B$  je dvoudimenzionální spektrum dáno vztahem

$$S_2 \left( \vec{f} \right) = \frac{\Gamma[(B+1)/2]}{2\Gamma(1/2)\Gamma(B/2)} \cdot \frac{A}{f^{B+1}}. \quad (19)$$

Jako numerický příklad uveďme případ povrchu s jednodimenzionální inverzní mocninnou funkcí, kde  $B=2$ , hodnota gama funkce je  $1/4$  a dvoudimenzionální PSD funkce je čtyřikrát menší, než jednodimenzionální funkce s exponentem prostorové frekvence rovnému třem namísto dvěma.

V mnoha praktických aplikacích je jednodušší změřit jednodimenzionální profil na několika povrchových přímkách, vypočítat průměrné jednodimenzionální spektrum a pak použít integrální transformaci pro převod do dvoudimenzionálního spektra, než přímo počítat dvoudimenzionální spektrum rovnou z naměřených dat. Praktický proces pro stanovení 2-D spektra spočívá v měření povrchové topografie v jedné dimenzi, výpočtu 1-D spektra, fitování 1-D spektra do tvaru mocninné funkce, stanovení koeficientů  $A$  a  $B$ , vypočtení koeficientu  $\Gamma$ -funkce a exponentu prostorové frekvence v rovnici (19), který je závislý na hodnotě  $B$ . Pokud není možné 1-D spektrum fitovat pomocí jednoduché mocninné funkce, pak musí být 2-D PSD vypočtena numericky z rovnice (18).

## 2.5 Kontrola a testování

Schopnost přesně specifikovat povrchovou texturu pomocí značek na nákresech je důležitá, pokud povrchová textura hraje důležitou roli v procesu, který musí být pod kontrolou. Pro optické povrchy je tímto procesem většinou rozptýlené světlo. Vzhledem k blízkému vztahu povrchové drsnosti a rozptýleného světla, jsou zde dva typy fundamentálně odlišných metod, které byly vyvinuty pro její



charakterizaci První typ metod je přímým měřením povrchového profilu profilometrem a druhý typ metod, které jsou nepřímé, pracují na principu optického rozptylu. Buď na základě celkového, nebo úhlově rozlišeného rozptylu. Důležité je, aby měření danou testovací metodou dávala smysl jak dodavateli jednotlivých částí, tak i konečnému uživateli. Značky na výkresech nespecifikují, kterou metodou byly veličiny jako RMS drsnost, nebo PSD měřeny, je na výrobcí a uživateli, aby se ujistili, že jejich zařízení měří ty správné veličiny napříč specifikovanou šířkou pásma.

### 2.5.1 Profilometry - kontaktní zařízení

Existují dva základní typy profilovacích zařízení - kontaktní a nekontaktní. Mezi nejznámější nástroje patří hrotové profilometry vyráběné společnostmi Tencor, Veeco/Sloan a Taylor Hobson. Tyto přístroje jsou vybaveny tvarovaným diamantovým hrotem, který sleduje konturu povrchu posouvaného pod ním, nebo naopak. Velmi citlivý lineární převodník, většinou LVDT, pak měří vertikální posuv hrotu. Nástroje jsou nabízeny v různých stupních přesnosti. Pro optické povrchy je nutná velmi vysoká citlivost ve vertikálním směru, až na úroveň Ångstromů. Taktéž je požadována nízká úroveň šumu a opakovatelnost. Při vysokém šumu je z dat nemožné získat povrchovou drsnost a při nízké opakovatelnosti je platnost výsledků pochybná. Software dodávaný výrobcí počítá většinu statistických povrchových parametrů, které jsou nutné pro většinu inženýrských aplikací. Jako například  $R_q$  a  $R_a$ , nicméně zatím žádný z nich nenabízí software pro výpočet PSD z naměřených dat. Komise ASTM v současnosti pracuje na standardizaci výpočtu PSD z naměřených dat profilu povrchu.

Dalším typem kontaktního profilovacího zařízení je skenovací mikroskop, jehož různé varianty (tunelovací mikroskopie, mikroskopie atomárních sil, apod.) vyrábí řada výrobců. Tyto profilovací přístroje umožňují uživateli dosáhnout na atomární rozměr jak ve vertikálním, tak podélném směru. Nástroje s diamantovým hrotem většinou podávají informace o prostorových periodách větších než 100 nm, zatímco skenovací mikroskopy jsou až o dva řády lepší, tedy jsou schopny dosáhnout až nanometrové úrovně. Je důležité si uvědomit, že pro dosažení kvalitních výsledků je důležité používat přístroje, které pracují na prostorových spektrálních rozsazích, na kterých bude docházet k největšímu rozptylu světla specifické vlnové délky. Například při normálovém dopadu a viditelných vlnových délkách je nejkratší prostorovou periodou přispívající k rozptylu světla délka odpovídající zhruba vlnové délce světla, tedy kolem 0,5  $\mu\text{m}$ . Pro účely předpovězení chování rozptýleného světla je nezbytné proměřit i prostorové periody, které jsou podstatně menší. Profilometry s diamantovým hrotem jsou použitelné v šířce pásma požadovaném pro normálový dopad viditelného světla a měření jeho rozptylu. Na druhé straně skenovací mikroskopy se pohybují silně pod ořezávací frekvencí pro pozorování rozptylu viditelného světla. Nicméně toho lze s výhodou využít pokud je nutné sledovat například odraz rentgenovského záření od multivrstev.

## 2.5.2 Profilometry - nekontaktní zařízení

Další skupinou profilovacích zařízení jsou nekontaktní nástroje, které jsou většinou založeny na různých typech optických sond. Nejčastější variantou jsou sondy s interferometrickým měřením fáze (PMI - Phase Measuring Interferometry), které se skládají z mikroskopu s interferometrickým objektivem, zařízení pro modulování vzdálenosti mezi testovaným povrchem a objektivem a lineárního, nebo plošného detektoru. Přístroje na bázi PMI nabízejí společnosti jako WYKO, Zygo, Micromap a Phase Shift Technology. PMI profilometry jsou dostupné v řadě různých zvětšení objektivu, nicméně horní limitní prostorová frekvence je dána vlnovou délkou použitého záření a jedna numerickou aperturou objektivu. Dolní limitní frekvence je dána celkovou délkou dráhy, která je pro objektiv s 1,5 násobným zvětšením asi 8 mm. Kromě PMI existuje i řada jiných zařízení se subnanometrovým rozlišením. Ty většinou vyžadují skenování fokusovaným spotem a měření fázového posuvu mezi sondou a referenčním svazkem, například technikou Nomarského, nebo jinými heterodynními technikami. Profilometry užívající spotu jsou dostupné od společností Chapman Instruments, Bauer Associates, Optru, Cranfield Precision Engineering a dalších. Přístroj společnosti Bauer Instruments je unikátní tím, že měří přímo zakřivení, nikoliv výšku, nebo sklon jako ostatní. Další kategorií nekontaktních skenovacích optických přístrojů jsou profilometry s tužkovým svazkem. Nejznámějším je Long Trace Profiler (LTP II) společnosti Continental Optical Corporation. Užitečnou charakteristikou skenovacích profilometrů je, že mohou měřit napříč velkými vzdálenostmi. Chapman má typickou skenovací délku 100 mm, zatímco LTP II je schopen měřit na délkách 1, nebo 2 metry.

## 2.5.3 Měření pomocí rozptýleného světla

Další metodou užívanou pro charakterizaci povrchové textury je měření rozptýleného světla. Existují dvě základní metodologie. Celkový rozptyl (TIS - Total Integrated Scatter) a úhlově rozlišený rozptyl (ARS - Angle-resolved Scatter). TIS měří poměr mezi celkovým světlem rozptýleným v poloprostoru a intenzitou dopadajícího svazku. Veličina, která nás zajímá se pomocí TIS vypočte přes rovnici (15) pro vyjádření RMS drsnosti  $R_q$ . Je nutné si uvědomit, že další faktory mohou ovlivnit měření drsnosti pomocí TIS. Jako například znečištění, přítomnost rozpouštědel, diferenciální fázová retardance způsobená polohově závislými optickými konstantami, apod.  $R_q$  odvozené z rovnice (15) může být tedy větší, než je skutečné. Tato nedokonalost platí taktéž pro ARS měření, kde je odvozená veličina zdánlivou funkcí PSD, spočtenou přes rovnici (16).

Přístrojové vybavení pro měření metodou TIS je dostupné pouze od několika společností a pouze na speciální objednávku. Několik institucí disponuje schopností provádět měření TIS v souladu s ASTM F1048-87 na nástrojích, které byly pro tento účel speciálně vytvořeny. Jádrem nástroje pro měření metodou TIS je vysoce reflektivní konkávní hemisféra, která se také občas nazývá Coblenzovou sférou. Nástroje pro měření ARS jsou nabízeny hned několika firmami, jako např. TMA, Inc. a Breault Research. Výstupem zařízení pracujícího s vy-

užitím ARS je tzv. BRDF - Bidirectional Reflectance Distribution Function, tedy funkce popisující distribuci úhlové reflektance, která může být následovně transformována do PSD užitím softwarové analýzy.

### 3 Povrchová úprava a povlakování

Po vytvoření optického povrchu je časté tento povrch povlakovat dalšími materiály pro jeho ochranu, nebo pro změnu jeho optických vlastností. Vrstva tvořená například barvou může sloužit pro utěsnění povrchu před chemickým napadením, nebo pro zabránění vniku rozptylového světla do optického systému. Mnohonásobné tenké vrstvy různých materiálů mohou být sekvenčně nadeponovány na povrch pro dosažení interferenčního povlaku (tenkých vrstev), který mění množství energie odražené, propuštěné a absorbované na povrchu. Tyto vrstvy mohou také vylepšovat schopnost povrchu odolávat náročným fyzikálním, nebo radiačním podmínkám.

#### 3.1 Úvod

Existující standardy pro optické vrstvy jsou aplikovány na optických výkresech, nicméně tyto standardy řeší spektrální, ekologické a odolnostní požadavky, přičemž explicitně nestanovují, jakým způsobem značit vrstvy na výkresech. Norma ISO 10110-9 popisuje jakým způsobem vytvářet specifikace ochranných a optických vrstev. Norma ISO/CD 9211 Optické vrstvy, definuje optické vlastnosti, ekologické a odolnostní požadavky a také jakým způsobem definovat spektrální požadavky na výkresech. Jelikož jsou standardy ISO obecně přijaty přejímají nadřazenou roli nad ostatními standardy (např. MIL), tyto standardy pak specifikují jen spektrální a materiálové vlastnosti.

#### 3.2 Značení na výkresech

Norma ISO 10110-9 ukazuje, jak na výkresech značit povrchovou úpravu a jaké typy úpravy (aplikace ochranných, nebo tenkých vrstev) se mají provést. Chystaný dokument ISO 9211 bude řešit vlastnosti tenkých vrstev a to jak mají být specifikovány.

### 3.2.1 Symbols

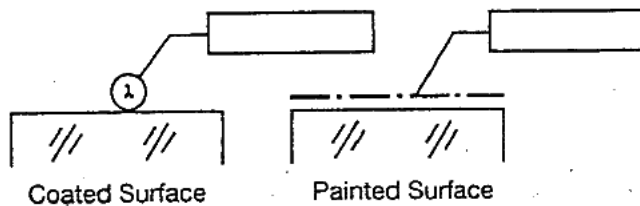


FIG. 9.1. Indication that surface is to be coated.

Symbol pro tenké vrstvy je řecké písmeno lambda uzavřené v kruhu, který je tečně umístěn k povrchu, který má být upraven. Symbol ochranné vrstvy je čerchovaná čára (ISO 128, čára J) těsně nad povrchem, který má být upraven. Symbol je plnou čarou spojen s rámečkem obsahujícím specifikaci dané úpravy. Symboly jsou ukázány na Obr. 9.1

### 3.2.2 Oblast povrstvení

Část optického povrchu, která tvoří opticky efektivní povrch se nazývá vstupní apertura. Je to oblast, která musí splňovat optické a fyzikální specifikace. Pokud není na výkrese uvedeno jinak jen tato opticky efektivní oblast musí být povrstvena. Většinou je zde přechodová zóna od nepovrstvené oblasti k oblasti s plnou tloušťkou, mezi efektivní částí a okrajem elementu.

Pro specifické aplikace je možné taktéž označit, že povrch nemá být vůbec povrstven. Na druhou stranu je také možné ve speciálních případech označit, že celý povrch má být povrstven. Oboje musí být zaznačeno na výkresu s poznámkou uvnitř, nebo vedle rámečku.

### 3.2.3 Specifikace vrstev v rámečku

Rámeček může označovat veškeré požadavky na vrstvy, nebo je může označovat obchodními názvy, či pomocí vojenských specifikací, popřípadě se může odkazovat na jinou část výkresu, kde mohou být ilustrovány, nebo popsány.

## ANOTACE

Autor:	Mgr. Ondřej Žůrek
Katedra:	Katedra anglistiky a amerikanistiky FF UPOL
Název česky:	Analýza vybraných kapitol amatérského překladu Uživatelské příručky k normě ISO 10110
Název anglicky:	The analysis of selected chapters from the ISO 10110 User's Guide Amateurish Translation
Vedoucí práce:	Mgr. Michal Kubánek
Počet stran s přílohami:	107
Počet stran bez příloh:	48
Počet znaků bez příloh:	83 435
Počet příloh:	2
Počet titulů použité literatury:	36
Klíčová slova v ČJ:	Překlad, překladatelská analýza, analýza výchozího a cílového textu, komparativní analýza, vnětextové a vnitrotextové faktory, textová rovina, morfologicko- syntaktická rovina, lexikální rovina, optika, fotonika, ISO
Klíčová slova v AJ:	Translation, translation analysis, source and target text analysis, comparative analysis, extratextual and intratextual factors, textual level, morpho-syntactic level, lexical level, optics, photonics, ISO

Anotace v ČJ:

Cílem bakalářské práce je vytvoření analýzy amatérského překladu odborného textu z oblasti optiky a fotoniky. V teoretické části je provedena předpřekladová analýza výchozího textu, v praktické části komparativní analýza výchozího a cílového textu. Text je analyzován na všech jazykových rovinách, zvláštní důraz je kladen na rovinu lexikální a rovinu převodu symbolů, vzorců a grafických prvků. Jednotlivé jevy jsou doplněny o příklady z výchozího a cílového textu a o vlastní překlad a návrhy změn.

Anotace v AJ:

The aim of this bachelor thesis is to produce a translation analysis of a optics and photonics oriented text. The theoretical part includes a translation brief, practical part consists of the analysis of both the source and the target texts. The text is analysed on every language level, lexical level and the level of symbols, formulae and graphical elements' transfer are emphasised. Examples and own solutions and changes are included as well.