

Univerzita Pardubice
Fakulta chemicko-technologická

Hodnocení povrchové struktury tiskových papírů

Bc. Zuzana Novotná

Diplomová práce

2021

Univerzita Pardubice
Fakulta chemicko-technologická
Akademický rok: 2020/2021

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Zuzana Novotná**
Osobní číslo: **C19526**
Studijní program: **N0531A130013 Polygrafie**
Studijní obor: **Polygrafie**
Téma práce: **Hodnocení povrchové struktury tiskových papírů**
Zadávací katedra: **Katedra polygrafie a fotofyziky**

Zásady pro vypracování

1. Prostudujte odbornou literaturu zabývající se hodnocením povrchové struktury papíru. Získané poznatky zpracujte v teoretické části práce.
2. V rámci experimentální části práce proveďte hodnocení povrchové struktury základních typů tiskových papírů s využitím dostupných metod.
3. Porovnejte jednotlivé metody hodnocení povrchové struktury papíru a jejich výsledky.

Rozsah pracovní zprávy:
Rozsah grafických prací:
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Hana Holická, Ph.D.**
Katedra polygrafie a fotofyziky

Oponent diplomové práce: **Ing. Michaela Filipi, Ph.D.**
Ústav chemie a technologie makromolekulárních
látek

Datum zadání diplomové práce: **26. února 2021**
Termín odevzdání diplomové práce: **7. května 2021**

L.S.

prof. Ing. Petr Kalenda, CSc.
děkan

prof. Ing. Petr Němec, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 26. února 2021

Prohlášení

Prohlašuji:

Práci s názvem Hodnocení povrchové struktury tiskových papírů jsem vypracovala samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využila, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byla jsem seznámena s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 9. 7. 2021

Bc. Zuzana Novotná

Diplomová práce vznikla za podpory projektu Modernizace praktické výuky a zkvalitnění praktických dovedností v technicky zaměřených studijních programech, reg. číslo CZ.02.2.67/0.0/0.0/16_016/0002458 operačního programu Výzkum, vývoj a vzdělávání. Tento projekt je spolufinancován Evropskou unií.



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



Poděkování:

Ráda bych poděkovala své vedoucí diplomové práce Ing. H. Holické, Ph. D.
za cenné rady, čas a předané zkušenosti.

Anotace

Cílem této práce bylo porovnání dostupných metod pro hodnocení povrchové struktury papíru, především pak jeho drsnosti či hladkosti. Testovány byly základní typy tiskových papírů a to papír ofsetový, matně natíraný, leskle natíraný, voluminózní a novinový. Mezi použité metody byly zařazeny klasické nepřímé metody pracující na principu měření objemu vzduchu procházejícího volnými prostory v povrchu papíru přitlačeného na hladkou plochu, ty byly doplněny o jiný pohled pomocí přímé profilometrie, kde byla hodnocena jak 2D, tak i 3D struktura papírů. Dále byl testován vliv parametrů, které je možné nastavit u profilometrických měření a bylo hodnoceno, jak mohou ovlivňovat výsledky měření či způsobovat určitá omezení. Z nátiskových metod byly použity metody W28 IGT drsnost a W77 Tisková hladkost. Pro metodu W77 byla vytvořena brožura obsahující návod pro provedení testu a etalon se vzorky testovaných papírů, která bude dále využívána při provádění a hodnocení testů tiskové hladkosti.

Klíčová slova: papír, hladkost, drsnost, struktura povrchu, profilometrie

Annotation

This paper compares the available methods for evaluating the surface structure of the paper, especially its roughness or smoothness. Basic types of print papers were tested – offset paper, matte coated paper, glossy coated paper, voluminous paper and newsprint paper. Among the methods used were included classical indirect methods working on the principle of measuring the volume of air passing through the free space on the surface of the paper pressed against a smooth surface. These methods were accompanied by another view using 2D and 3D profilometry. Furthermore, the effect of parameters that can be set in profilometry measurements has been tested and examined on how they can affect the measurement results or cause certain limitations. Other methods were W28 IGT Roughness and W77 Printing Smoothness. For the W77 method, a brochure containing the test instructions and standards was created along with test paper samples, which will be later used in the implementation and evaluation of W77 Printing Smoothness tests.

Keywords: paper, smoothness, roughness, surface structure, profilometry

Obsah

Úvod	12
1 Struktura papíru	13
1.1 Složky papíru.....	13
1.1.1 Vláknité složky	13
1.1.2 Plnidla	14
1.1.3 Klíždla	14
1.1.4 Barviva.....	15
1.2 Úprava povrchové struktury papíru.....	15
1.2.1 Hlazení.....	16
1.2.2 Natírání	17
1.3 Tiskové papíry	18
1.3.1 Rozdělení podle povrchové struktury	19
2 Všeobecné vlastnosti papíru	21
2.1 Směr výroby	21
2.1.1 Metody stanovení směru výroby	21
2.2 Dvoustrannost papíru.....	22
2.2.1 Metody stanovení sítové a lícové strany.....	22
2.3 Plošná hmotnost papíru	23
2.4 Tloušťka papíru	23
2.5 Objemová hmotnost papíru	23
2.6 Měrný objem papíru	24
3 Vlastnosti charakterizující povrchovou strukturu papíru	25
3.1 Hladkost a drsnost	25
3.2 Metody měření vlastností povrchové struktury papíru.....	26
3.2.1 Profilometrické metody	26
3.2.2 Metody založené na propustnosti vzduchu.....	31
3.2.3 IGT testovací metody	34
3.2.4 Skenovací elektronová mikroskopie – SEM.....	38
3.2.5 Mikroskopie atomárních sil – AFM	39
4 Vliv povrchové struktury papíru na kvalitu tisku	41
4.1 Parametry ovlivňující kvalitu tisku	41

4.1.1	Přijímavost tiskových barev	41
4.1.2	Povrchová pevnost.....	42
4.1.3	Prášení.....	42
4.1.4	Nerovnoměrnost povrchu	42
4.1.5	Prorážení tiskové barvy	42
4.2	Požadavky s ohledem na tiskovou techniku.....	43
4.2.1	Papíry pro knihtisk.....	43
4.2.2	Papíry pro ofset.....	43
4.2.3	Papíry pro flexotisk.....	43
4.2.4	Papíry pro hlubotisk.....	43
4.2.5	Papíry pro digitální tisk	44
5	Experimentální část.....	45
5.1	Experimentální materiál	45
5.2	Experimentální přístroje	45
5.3	Experimentální metody	47
5.3.1	Metody založené na propustnosti vzduchu.....	47
5.3.2	Profilometrické metody	47
5.3.3	IGT metody.....	50
6	Hodnocení výsledků	52
6.1	Metody založené na propustnosti vzduchu.....	52
6.2	Profilometrické metody	53
6.2.1	2D skenování	53
6.2.2	3D skenování	60
6.2.3	IGT testovací metody	63
6.3	Porovnání metod.....	65
7	Závěr	67

Seznam obrázků

Obrázek 1: Stanovení směru výroby papíru na hladině (adaptováno z [8]).....	21
Obrázek 2: Stanovení směru výroby papíru pomocí proužků (adaptováno z [8])	21
Obrázek 3: Porovnání filtrované plochy povrchu etalonu a) profilu drsnosti a b) profilu vlnitosti [25]	27
Obrázek 4: Prostředí nastavení 2D parametrů v programu Profiler [55]	28
Obrázek 5: Vliv poloměru hrotu na skenování povrchu (adaptováno z [26]).....	30
Obrázek 6: Hodnocení povrchové struktury ofsetového (vlevo) a natíraného papíru (vpravo) pomocí profilometru KLA-Tencor P-7	30
Obrázek 7: Trojrozměrné zobrazení struktury povrchu ofsetového (vlevo) a natíraného papíru (vpravo) pomocí profilometru KLA-Tencor P-7.....	31
Obrázek 8: Princip měření hladkosti podle Bekka [28]	32
Obrázek 9: Princip měření drsnosti podle Bendtsena [28].....	32
Obrázek 10: Princip měření drsnosti podle Parkera [28]	33
Obrázek 11: Měření délky skvrny vyhodnocené zařízením Amsterdam 2	34
Obrázek 12: Porovnání světelného a elektronového mikroskopu [40]	38
Obrázek 13: Zobrazení struktury pomocí SEM pro a) komerční kancelářský papír, b) surový papír, c) a d) filtrační papíry, e) pergamenový papír a f) pauzovací papír [41]	39
Obrázek 14: Zobrazení struktury papíru pomocí AFM [44]	40
Obrázek 15: Výška prvků profilu (příklad profilu drsnosti) [24].....	53
Obrázek 16: Porovnání výsledků 2D skenování (profil drsnosti) pomocí profilometru pro a) ofsetový papír, b) matně natíraný papír a c) leskle natíraný papír	54
Obrázek 17: Porovnání výsledků 2D skenování (profil drsnosti) matně natíraného papíru pomocí profilometru pro rychlosti a) 10 $\mu\text{m/s}$, b) 100 $\mu\text{m/s}$ a c) 1 000 $\mu\text{m/s}$	55
Obrázek 18: Porovnání výsledků 2D skenování (profil drsnosti) matně natíraného papíru pomocí profilometru pro hodnoty aplikované síly a) 0,03 mg, b) 0,2 mg s a c) 2 mg....	58
Obrázek 19: Porovnání výsledků 2D skenování (profil drsnosti) matně natíraného papíru pomocí profilometru pro hodnoty vzorkovací frekvence a) 5 Hz, b) 100 Hz a c) 2 000 Hz	60
Obrázek 20: Porovnání výsledků 3D skenování pomocí profilometru pro a) ofsetový papír, b) matně natíraný papír a c) leskle natíraný papír	62

Seznam tabulek

Tabulka 1: Hodnoty hladkosti a drsnosti různých druhů tiskových papírů [1].....	25
Tabulka 2: Hodnoty drsnosti podle Parkera pro vybrané druhy tiskových papírů [8].....	33
Tabulka 3: Použitý materiál pro jednotlivé testovací metody.....	45
Tabulka 4: Popis parametrů vyhodnocovaných ve 2D skenování (adaptováno z [24]).....	46
Tabulka 5: Popis parametrů vyhodnocovaných ve 3D skenování (adaptováno z [52]).....	46
Tabulka 6: Nastavení výchozích parametrů 2D skenování.....	48
Tabulka 7: Nastavení parametrů 2D skenování s proměnnou rychlostí.....	48
Tabulka 8: Nastavení parametrů 2D skenování s proměnnou aplikovanou silou.....	49
Tabulka 9: Nastavení parametrů 2D skenování s proměnnou vzorkovací frekvencí.....	49
Tabulka 10: Nastavení parametrů 3D skenování.....	49
Tabulka 11: Vyhodnocení měření drsnosti podle Parkera.....	52
Tabulka 12: Vyhodnocení měření drsnosti podle Bendtsena.....	52
Tabulka 13: Porovnání hodnot parametru R_c pro ofsetový, matně natíraný a leskle natíraný papír.....	54
Tabulka 14: Hodnoty parametru R_c matně natíraného papíru pro různé rychlosti skenování.....	56
Tabulka 15: Hodnoty parametru R_c matně natíraného papíru pro různé hodnoty aplikované síly.....	57
Tabulka 16: Hodnoty parametru R_c matně natíraného papíru pro různé hodnoty vzorkovací frekvence.....	59
Tabulka 17: Hodnoty parametru S_a ofsetového papíru pro různé hodnoty skenovací rychlosti a počet řádků.....	61
Tabulka 18: Hodnoty parametru S_a matně natíraného papíru pro různé hodnoty skenovací rychlosti a počet řádků.....	61
Tabulka 19: Hodnoty parametru S_a leskle natíraného papíru pro různé hodnoty skenovací rychlosti a počet řádků.....	61
Tabulka 20: Výsledky měření pro metodu W28 IGT drsnost s využitím zabudované kamery.....	63
Tabulka 21: Výsledky měření pro metodu W28 IGT drsnost s využitím ručního měření.....	64
Tabulka 22: Shrnutí výsledků měření mediánu drsnosti jednotlivých metod pro lícovou stranu papíru.....	65

Seznam grafů

Graf 1: Porovnání optických hustot testovaných papírů pro metodu W77 Tisková hladkost s nastavením rozsahu tiskových tlaků 100–500 N	64
Graf 2: Porovnání optických hustot testovaných papírů pro metodu W77 Tisková hladkost s nastavením rozsahu tiskových tlaků 200–1 000 N	65

Seznam použitých zkratek

AFM	Mikroskopie atomárních sil
HWC	Silně natírané
LoWC	Lehce natírané bezdřevé
LWC	Lehce natírané
MWC	Středně natírané
PPS	Parker Print Surf
SC	Superkalandrované
SCO	Superkalandrované pro ofset
SCR	Superkalandrované pro hlubotisk
SEM	Skenovací elektronová mikroskopie
ULWC	Velmi lehce natírané
ULWCO	Velmi lehce natírané pro ofset
ULWCR	Velmi lehce natírané pro hlubotisk

Úvod

Tiskový proces je ovlivňován mnoha faktory a jedním z nich je povrch samotného substrátu, na který je aplikována tisková barva. Na povrch papíru může mít vliv jak samotné složení a výroba, tak následné zpracování nebo zušlechťování. Nežádoucí povrchové nerovnosti lze řešit různými způsoby, ať už aplikováním vrstvy nátěru nebo úpravou povrchové struktury bez přídavku další komponenty. Pokud je cílem produkovat kvalitní tiskový výstup, hraje povrchová struktura velkou roli. Ať už s ohledem na použitou tiskovou techniku či finální vzhled tiskoviny. Jiné požadavky budou kladeny na potisk kartonu flexotiskem, a naopak například pro hlubotisk je důležité k tiskovým materiálům přistupovat obezřetněji.

Lze se setkat s mnoha různými metodami pro hodnocení struktury povrchu papíru, ať už jde o povrchové nerovnosti či jeho složení. Ne všechny metody lze porovnávat mezi sebou. V případě metod, které fungují na principu propustnosti vzduchu, lze hodnoty přepočítávat, ale při porovnávání úplně odlišných metod, to možné není. Tyto metody se však mohou vzájemně doplňovat a poskytnout tak komplexní pohled na povrch hodnoceného papíru či jiného materiálu.

1 Struktura papíru

1.1 Složky papíru

Základní složku papíru tvoří vláknité suroviny neboli vlákny, které jsou získávány nejčastěji ze dřeva [1]. Mezi vláknité suroviny bývají zahrnovány také například recyklované vlákny ze sběrového papíru, hadry, bavlna, nedřevitá rostlinná vlákna, syntetická či minerální vlákna anebo vlákna živočišného původu [2]. Vlastnosti papíru pak lze upravovat přidávkou nevláknitých složek, jako jsou plnidla, klíždla, barviva a případně další látky [1].

1.1.1 Vláknité složky

Jak zmiňuje publikace [2], dřevité vlákny mohou být získávány z měkkého dřeva (jehličnanů) nebo tvrdého dřeva (listnatých stromů). V případě jehličnanů to bývají jedle, borovice nebo smrky, z listnatých např. osika, dub, ořech, javor či topol. Tyto dva druhy dřeva se liší délkou vláken – pro jehličnaté stromy to bývá 3–5 mm a pro listnaté 1–2 mm. Dle zdroje [3] se mimo dřeva mohou používat i vlákna z jednoletých rostlin jako je konopí, bavlna, len nebo bambus. Pro dosažení speciálních vlastností jsou mimo rostlinná vlákna používána i jiná. Živočišná vlákna lze rozdělit na keratinová (vlna) a fibroinová (hedvábí) [4]. V případě minerálních vláken to je azbest, sklo, čedič, keramika či kovy a dále to mohou být vlákna syntetická – viskóza, polyamid, polyester, polypropylen či polyvinylalkohol [3].

Hlavní složky dřeva tvoří celulóza, hemicelulóza a lignin, které jsou popsány v publikaci [3]. Celulóza ($C_6H_{10}O_5$)_n je glukózový polysacharid a její podíl tvoří až 50 % dřevní hmoty. Její makromolekula je tvořena molekulami celobiózy, jednotlivé makromolekuly tvoří mikrofibrily a ty poté fibrily, ze kterých je tvořena buněčná stěna. Dalších 20 % hmoty dřeva je zastoupeno hemicelulózou, což je heteropolysacharid – je tvořena z hexóz a pentóz. Vedle celulózy a hemicelulózy je zde důležitý i lignin, který slouží jako pojivo a má také vliv na nižší bělost dřevoviny, protože absorbuje UV záření a část viditelného v krátkovlnných oblastech [1].

1.1.2 Plnidla

Jak je uvedeno v publikaci [3], plnidla jsou používána k tomu, aby byly částecně zaplněny prostory mezi vlákny a tím přispívají k hladšímu a rovnoměrnějšímu povrchu. Dále také zvyšují bělost a opacitu papíru, snižují jeho hydroskopičnost, zlepšují potiskovatelnost a snižují také náklady na výrobu, neboť jsou většinou levnější než vláknité složky. S ohledem na možné snížení pevnostních vlastností papíru by měl být maximální obsah plnidel kolem 30–35 %. Tím, jak je prostor mezi jednotlivými vlákny vyplněn těmito složkami, dochází k oddalování vláken a k porušení vazeb mezi nimi. S ohledem na dvoustrannost papíru lze očekávat, že na sítové straně bude obsah plnidel nižší a mohou být ovlivněny optické vlastnosti jednotlivých stran. Dále také plnidla zvyšují prášivost papíru, což je velkým problémem při jejich potiskování a dalším zpracování.

Jako plnidla jsou nejčastěji používány anorganické pigmenty, které jsou popsány v publikaci [2] – kaolin, oxid titaničitý nebo uhličitán vápenatý. U těchto látek je důležitá velikost částic, která by měla být okolo 0,3–2,0 μm , index lomu v rozmezí 1,5–2,5, tvar částic, stupeň shlukování, absorpce, vysoká bělost a čistota, nízká abrazivita a inertnost v papírenském zpracování. Částice mohou mít různé tvary a tím poskytovat papíru rozdílné vlastnosti – kulovitý, elipsovité nebo být ve formě destiček či jehliček. Kde je např. pro lesklé papíry vhodnější použití kaolinu, protože jeho částice jsou ve formě destiček. Nejvyšší index lomu má oxid titaničitý, který s malou velikostí částic (0,3 μm) představuje jeden z nejvíce krycích pigmentů.

Dle článku [5] mohou být při výrobě přidávána tzv. retenční činidla, která zabraňují tomu, aby byly z povrchu papíru odplavovány jemné částice vláken a plnidel, což ovlivňuje výslednou opacitu papíru. Retenčním činidlem může být např. polyakrylamid. Procentuální vyjádření množství zadržených plnidel v papíru je označováno jako retence plnidel a souvisí s velikostí částic [3].

1.1.3 Klíždla

Pomocí klíždil lze ovlivňovat pronikání vody do struktury papíru a tím je zvyšována jeho odolnost vůči penetraci kapalin. Hydrofilní charakter vláken je změněn na hydrofobní. Klížící proces lze provádět dvojím způsobem – a to klížením ve hmotě při výrobě papíru nebo pouze povrchovým, kde je upraven povrch už vyrobeného papíru.

Vnikáním vody do pórovité struktury papíru, dochází ke změnám vlastností papíru, které nevhodně ovlivňují tiskový proces. Kvůli vyšší vlhkosti papíru dochází ke změnám v rozměrech především v příčném směru, tím k jeho kroucení či jiné deformaci a jsou ovlivněny jeho mechanické vlastnosti. Vyšší nasákavost ovlivňuje zapíjení tiskových barev a následnou ostrost tisku či soutisk. Stupněm zaklížení je označována intenzita zaklížení. Tu lze testovat pomocí metody vsákavosti podle Cobba či speciálního pera, kde je pozorována největší šířka čáry, která se ještě nerozpíjí. Tato oblast je blíže popsána publikací [3]. Mezi látkami používanými jako klíždla lze najít pryskyřice, vosky, kyselinu stearovou či škrob [2]. Dle použitého klíždla a postupu lze rozlišit proces na kyselý či neutrální [1].

1.1.4 Barviva

K barvení papíru lze přistupovat dvojím způsobem – barvení ve hmotě nebo povrchové barvení, a s ohledem na požadované vlastnosti lze barvit papír pomocí barviv nebo organických pigmentů [1]. Ty mohou být barevné a změnit barvu papíru na libovolný odstín, nebo bílé, které jsou přidávány pro optimalizaci optických vlastností bílých papírů [2]. Pro pestré odstíny je spíše používáno barvení povrchové, protože barvení ve hmotě má negativní vliv na odpadní vody [3]. Důležitou složkou bílých papírů jsou také opticky zjasňující prostředky, kde jsou používána fluorescenční barviva, která absorbují UV záření a vyzařují záření v modré oblasti viditelného spektra [2].

1.2 Úprava povrchové struktury papíru

Neupravený papír může mít nerovnoměrnou strukturu a velkou pórovitost, čímž je následně ovlivněna kvalita tiskového výstupu. Povrchovou úpravou potiskovaného materiálu lze dosáhnout zvýšení kvality samotného tisku nebo estetického dojmu – získání lesklého či matného povrchu papíru. Ať už je nahlíženo na tiskové techniky, kde může být problematické potisknout hrubé povrchy při snaze zachovat plné vybarvení ploch, nebo na přílišnou penetraci do pórovité struktury papíru, kde poté dochází k rozpíjení barev, a tedy k nárůstům tiskových bodů, neostrému tisku či špatnému soutisku. U drsných a pórovitých papírů je také potřebné větší množství barvy pro požadované hodnoty optické hustoty a nelze dosáhnout takového lesku jako v případě hladkého povrchu. Povrchové úpravy mohou zahrnovat zušlechťení samotného

materiálu bez přídavku dalších složek – hlazení, nebo pokrytím nerovnoměrného povrchu další vrstvou či vrstvami – natíráním.

1.2.1 Hlazení

Hlazení nebo také kalandrování papíru lze provádět v papírenském stroji nebo mimo něj a dochází tak ke zhutnění a uhlazení povrchu materiálu působením tlaku (také pomocí tepla či zvýšené vlhkosti) pomocí sestavy válců, mezi kterými materiál prochází [3]. Výsledný efekt je ovlivněn uspořádáním a typem válců:

Strojní kalandrování

Tento typ úpravy povrchu je prováděn přímo v papírenském stroji a vyhlazení struktury je dosaženo při průchodu mezi tvrdými ocelovými válci [2]. Dále lze rozlišit vlhkou a suchou hladicí stolicí s ohledem na množství sušiny (a tedy obsah vlhkosti) v papíru, kdy je materiál strojně hlazen – za zhruba jednou třetinou sušících válců (vlhká) nebo na konci papírenského stroje (suchá) [3]. Tento typ není však doporučován pro tiskové papíry s ohledem na možnou tzv. obláčkovitost či mračnatost papíru (nerovnoměrná objemová hustota v celé ploše), kde bývá problémem nestejná přijímatost tiskových barev, protože nedochází k rovnoměrnému rozložení tlaku [3].

Měkké kalandrování

Stejně jako v případě strojního kalandrování je tento postup také součástí papírenského stroje. Rozdíl je však v použití hladicích válců – materiál prochází mezi tvrdým ocelovým válcem a měkkým s pružným potahem. Při tomto uspořádání se lze vyhnout problémům jako v případě strojního kalandrování a je možné dosáhnout rovnoměrné objemové hustoty papíru v celé ploše a tím eliminovat problémy s tiskovými barvami a sníženou pevností. K efektivnějšímu hlazení přispívá také zvýšení teploty a vlhkosti papíru. Více informací je popsáno ve zdroji [3].

Matové hlazení

Pokud je požadován nízký lesk (matové papíry s leskem 1–20 %), jsou využívány pouze válce s měkkým elastickým potahem, kde je dosaženo zhutnění povrchu a vysoké hladkosti [3].

Superkalandrovaní

Narozdíl od předchozích typů hlazení je tato úprava povrchu prováděna mimo papírenský stroj a je vhodná také pro natírané papíry [2]. Zařízení pro superkalandrovaní obsahuje mnohem více válců (10–15) se střídáním ocelových, které mohou být vyhřívané či naopak chlazené, a měkkých pružných válců [3]. V tomto uspořádání je papír vystaven značnému tlaku a střídáním tvrdého a pružného povrchu je dosaženo vysokého leštícího účinku [2]. Takto upravené papíry jsou označovány jako superkalandrované (SC) a mohou být v porovnání s lehce natíranými papíry (LWC) levnější alternativou – problémem SC papírů však bývá nižší povrchová pevnost či vyšší prášivost [3].

1.2.2 Natírání

U hlazení papíru dochází pouze k úpravě povrchu materiálu a nejsou zde přidávány další složky. V případě natírání je povrch papíru upraven nanášením jedné či více vrstev nátěrové směsi. Tu lze aplikovat z jedné či obou stran. Dle hmotnosti nanášeného nátěru lze papíry dělit do skupin, které jsou blíže popsány v kapitole 1.3.1.

Jak je zmíněno v publikaci [3] – čím více je papír natíráný, tím je jeho povrch uzavřenější a hladší. Natírání má také vliv na vyšší opacitu a lepší přijímatost tiskových barev, jejich menší rozpíjení a tím přispívá k vyšší ostrosti tisku a k nižší spotřebě barev pro dosažení požadované optické hustoty v porovnání s papírem nenatíraným. Kvalita nátěru a jeho povrch je ovlivněn samotnou strukturou natíraného papíru. V případě, že je papír hrubý, je potřeba k vyrovnání jeho povrchu většího množství nátěrů. Výsledek natírání je také závislý na způsobu nanášení a složení nátěrové směsi.

Ve studii [6] byl zkoumán vliv dvou druhů nátěrů na vlastnosti povrchu tiskového substrátu. Natíráním povrchu lze ovlivnit absorpci inkoustu přijímaného substrátem a tím dosáhnout kvalitnější reprodukce malých detailů. Nános pigmentového nátěru může také ovlivňovat absorpci vlhčícího roztoku v ofsetovém tisku a tím docílit vyšší rozměrové stálosti papíru.

Jak zmiňuje studie [7] – povrchová struktura nátěru je závislá na struktuře samotného papíru, složení nátěrové směsi, technologii aplikace nátěru na tiskový substrát a její rovnoměrnosti. Nerovnoměrnost tisku byla nejvíce ovlivněna původní strukturou natíraného papíru.

Složky nátěrové směsi

Tato směs, která je popsána v publikaci [3], je tvořena anorganickými či organickými pigmenty, které tvoří 80–90 % hmotnostních procent nátěrové směsi a s ostatními složkami jsou rozmíchány ve vodné disperzi. S ohledem na požadovanou barevnost mohou být bílé nebo barevné. Nejčastěji používanými pigmenty jsou kaolin, uhličitan vápenatý (přírodní či srážený) a talek. Dále se používá např. oxid titaničitý nebo syntetické pigmenty, kterými jsou upravovány především optické a tiskové vlastnosti. Stejně jako v případě plnidel je zde výsledek ovlivněn velikostí a tvarem částic. Menší částice destičkovitého charakteru (kaolin, srážený uhličitan vápenatý) jsou používány pro lesklé nátěry, a naopak částice nepravidelné a hrubší (uhličitan vápenatý s krystalickou strukturou) pro nátěry matné.

Dále jsou zde obsažena pojidla popsána ve zdroji [3], která slouží ke spojení pigmentových částic jak s povrchem papíru, tak mezi sebou. Pojidla jsou dělena dle rozpustnosti ve vodě a mají odlišné vlastnosti. Ve směsi bývá použita kombinace obou druhů. Deriváty celulózy, škrob či polyvinylalkohol jsou pojidly rozpustnými ve vodě. Mezi pojidla, která ve vodě rozpustná nejsou, patří styren-butadienové nebo styren-akrylátové latexy.

Používány jsou také pomocné prostředky jako jsou změkčovadla, která zajišťují flexibilitu nátěru, zahušťovadla, dispergátory zlepšující dispergaci pigmentů, konzervační látky nebo odpěňovače [2].

1.3 Tiskové papíry

Papíry, které jsou používány v tisku, lze rozdělit dle tiskové techniky, pro kterou jsou použity (ofsetové, hlubotiskové, knihtiskové, pro inkjet...), vlákninového složení (dřevité a bezdřevé) či podle povrchové struktury (natírané a nenatírané) [1].

Rozdíl mezi dřevitým a bezdřevým papírem je v obsahu dřevoviny, která se vyskytuje u dřevitých papírů, avšak u bezdřevých je obsažena pouze buničina [1].

1.3.1 Rozdělení podle povrchové struktury

Nenatírané

Superkalandrované papíry (SC)

Tyto dřevité papíry s vysokou hladkostí a leskem mohou být levnější alternativou LWC a ULWC papírů. Papíry SCR (R – Rotogravure) jsou určeny pro kotoučový hlubotisk a obsahují více plnidel, díky tomu mají vyšší hladkost a bělost. Papíry určené pro kotoučový ofset (především heatset) mají označení SCO (O – Offset) a vyznačují se vyšší povrchovou pevností a stupněm zaklížení než papíry SCR. Tyto typy papírů jsou vyráběny v plošné hmotnosti 40–80 g/m² a jsou používány pro tisk časopisů, katalogů, prospektů a reklamních novin [1].

Novinové papíry

Tyto papíry, které jsou popsány zdrojem [1], obsahují minimální podíl buničiny – největší podíl je zde tvořen dřevovinou a recyklovanými vlákny. Jsou vyráběny v plošné hmotnosti 40–52 g/m² a je zde kladen důraz na dostatečnou opacitu a pevnost v tahu. Pro časopiseckou produkci, TV programy či katalogy je možné vyrábět i tzv. vylepšený novinový papír.

Ofsetové papíry

Bez dřevé papíry vyráběné v plošné hmotnosti 55–150 g/m² určené pro ofsetový tisk – jak archový, tak i kotoučový, jsou silně zaklížené a plněné [1].

Ceninové papíry

Publikace [1] zmiňuje, že u ceninových a bankovkových papírů lze najít i jiný typ vláken než u běžných tiskových papírů, která jsou snadno chemicky barvitelná a je důležitá jejich rozeznatelnost při analýze složení papíru. Mohou se zde vyskytovat vlákna bavlněná, lněná, hedvábná či konopná. Mimo samotná vlákna jsou zde zastoupeny i různé ochranné prvky, které slouží k ochraně proti padělení – ochranné proužky, fluorescenční vlákna, vodoznaky nebo látky, které reagují na změnu pH.

Xerografické papíry

Tyto papíry mohou být také použity pro inkjet a laserový tisk, jsou převážně bez dřevé, mohou obsahovat i určitý podíl recyklovaných vláken a jsou vyráběny v plošné hmotnosti 80–100 g/m² v různých třídách kvality [1].

Papíry pro inkjet

S ohledem na rozpíjení inkoustu může být povrch těchto papírů opatřen nánosem absorpční vrstvy a upraven klížením [1].

Papíry pro tisk nekonečných formulářů

Plošná hmotnost těchto papírů bývá v rozmezí 55–100 g/m² a jsou vyráběny v bezdřevé i dřevité variantě [1].

Natírané

Velmi lehce natírané papíry (ULWC – Ultra Light Weight Coated)

Použití těchto papírů zahrnuje převážně tisk časopisů a katalogů v plošné hmotnosti 32–48 g/m² s nánosem nátěru 5–7 g/m² a jsou určeny buď pro hlubotisk (ULWCR), nebo ofsetový tisk (ULWCO) [1].

Lehce natírané papíry (LWC – Light Weight Coated)

Tento typ papíru je také používán pro tisk časopisů a katalogů v plošné hmotnosti 51–70 g/m² s nánosem nátěru však vyšším než u ULWC papírů, a to 9–12 g/m². Nátěr může být jednostranný či oboustranný, který může být aplikován buď v papírenském stroji, nebo mimo něj, a bývá v jedné vrstvě [3].

Lehce natírané papíry (LoWC – Low Weight Coated)

Jsou používány pro tisk katalogů, časopisů nebo reklamních tiskovin a tyto papíry jsou bezdřevou alternativou k LWC papírům [1].

Středně natírané papíry (MWC – Medium Weight Coated)

Papíry určené pro archový i kotoučový tisk o plošné hmotnosti 80–150 g/m² a jsou opatřeny jednostranným nebo oboustranným nátěrem do 20 g/m² [1].

Silně natírané papíry (HWC – Heavy Weight Coated)

Silný nános nátěru do 30 g/m² umožňuje použití jemných hustot sítí a jsou používány pro tiskoviny, kde je kladen důraz na vysokou kvalitu tisku – reklamní materiály, katalogy, obálky časopisů nebo prospekty [1].

2 Všeobecné vlastnosti papíru

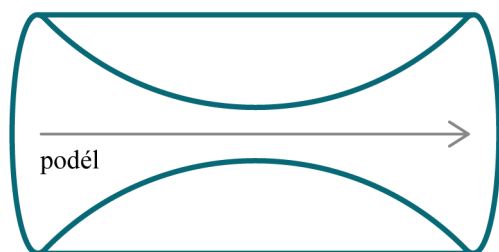
2.1 Směr výroby

Při testování papíru je potřeba zohlednit, jestli se jedná o příčný či podélný směr výroby. Mechanické a fyzikální vlastnosti jsou poté rozdílné a je proto nutné je rozlišit. Jak popisuje publikace [8], směr, který je rovnoběžný s pohybem papíru na sítu při výrobě v papírenském stroji, nazýváme podélný. V případě směru kolmého na směr výroby papíru – příčný.

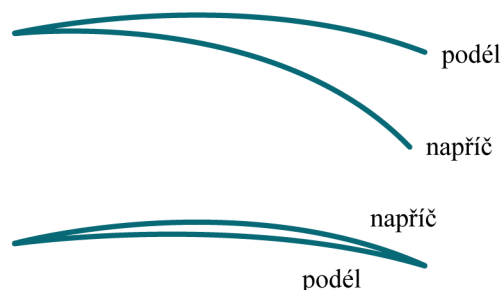
Dále je možné rozlišovat úzkou a širokou dráhu – kde v případě, že je arch papíru vyříznut z kotouče souběžně se směrem vláken s kratší stranou archu – široká dráha, a s delší stranou archu – úzká dráha [1].

2.1.1 Metody stanovení směru výroby

Pokud jsou vlákna viditelná okem či lupou, je možné stanovit směr výroby opticky – vlákna jsou orientována ve směru, kterým prochází papír papírenským strojem. Běžně je používána metoda, kde je položen vzorek papíru o velikosti 50–100 mm na vodní hladinu a je pozorováno zkroucení vzorku (Obrázek 1). Podélný směr výroby papíru je poté rovnoběžný s osou zkroucení. Dalším postupem je pak použití dvou proužků z testovaného archu v obou směrech o velikosti 15 × 150 mm. Tyto proužky jsou pak položeny na sebe a chyceny za okraj. V případě, že volné konce proužků leží těsně na sobě, je spodní proužek ve směru podélném (Obrázek 2). Tyto postupy jsou detailněji popsány v publikaci [8].



Obrázek 1: Stanovení směru výroby papíru na hladině (adaptováno z [8])



Obrázek 2: Stanovení směru výroby papíru pomocí proužků (adaptováno z [8])

2.2 Dvoustrannost papíru

Dle publikace [8] lze rozlišovat dvě strany papíru s ohledem na to, jaká strana byla při výrobě v kontaktu s papírenským sítem. Povrch sítové strany může být hrubší, protože je zde menší podíl jemných vláken a plnidel a také se zde projevuje otisk síta. Proto může docházet k rozdílné kvalitě tisku na jednotlivých stranách papíru. Druhá strana je pak označována jako lícová nebo také plstěncová. Rozdíly způsobené dvoustranností papíru se projevují v rozdílné hladkosti, lesku, bělosti, zaklížení nebo pevnosti povrchu. Dvoustrannost papíru je však možné potlačit použitím dvousítových papírenských strojů [1]. Pokud je ale povrch papírů upraven např. natíráním, nelze tyto strany od sebe rozlišit [8].

2.2.1 Metody stanovení sítové a lícové strany

Tyto metody jsou detailně popsány v publikaci [8]. Nejjednodušším postupem může být vizuální porovnání obou stran papíru při osvětlení, které dopadá na papír pod úhlem přibližně 45°, kde lze rozlišit hrubší síťovou stranu okem či lupou. Při dalším postupu je zkušební vzorek namočen do vody (lze také použít slabý roztok uhličitanu sodného), poté je přebytečná voda odsáta filtračním papírem a vzorek je položen volně na vzduchu po dobu 2–3 minut. Tím vynikne původní struktura papíru a lze ji lépe rozlišit stejně jako v prvním či druhém postupu. Lze také využít postupu, kdy jsou do vody umístěny dva proužky papíru se šířkou 2–3 cm a délkou 5–10 cm, které jsou vyříznuty z archu v příčném směru. Tyto proužky jsou poté upevněny např. mezi dvě skleněné tyčinky a ponořeny do nádoby s vodou. Následně se pozoruje zkroucení vzorků. Vydutá vnější strana proužku je poté stranou síťovou. Při dalším postupu je možné vložit čtvercový vzorek do sušárny a ten je pak zkroucen síťovou stranou dovnitř. U poslední metody je papír držen tak, aby byl směr výroby rovnoběžně se směrem pohledu osoby, která se vzorkem pracuje. Poté je vzorek natržen kolmo na rovinu archu a zároveň rovnoběžně se směrem výroby papíru. Následně je vzorek otočen a je aplikován stejný postup z opačné strany. Vizuálně lze posoudit rozdílnou nerovnost jednotlivých okrajů. V případě, že při trhání byla síťová strana nahoře, je možné si všimnout většího množství vyčnívajících vláken.

2.3 Plošná hmotnost papíru

Plošná hmotnost neboli také gramáž papíru je specifikována normou ČSN EN ISO 536 [9]. Udává se jako hmotnost v gramech na plochu 1 m². Hodnota gramáže materiálu má však určité odchylky a nelze při výrobě zaručit její přesnou hodnotu. Pro její měření jsou používány kvadrantové váhy, kde je možné rovnou na jejich stupnici odečíst hodnotu plošné hmotnosti v g/m². Tato stupnice je však vždy stanovena pro určitý rozměr testovaného materiálu, který je potřeba dodržet. Pro přesné vyříznutí požadovaného rozměru lze použít kovové šablony. Zkoušený materiál je potřeba testovat při standardizovaných podmínkách (23 °C, 50% relativní vlhkost) [10].

Dle plošné hmotnosti je materiál dělen do tří základních skupin [1]:

- papíry – do 150 g/m²
- kartony – 150–250 g/m²
- lepenky – nad 250 g/m²

2.4 Tloušťka papíru

Tímto parametrem je specifikována kolmá vzdálenost mezi protilehlými povrchy měřeného materiálu a je specifikována ČSN EN ISO 534 [11]. Hodnoty jsou udávány v mm nebo μm za stanoveného měřicího tlaku s ohledem na stlačitelnost vláknitých struktur a k jejich měření jsou používány tloušťkoměry. U silnějších papírů je každý vzorek měřen zvlášť a v případě tenkých je měřena skupina více archů na sobě a výsledné hodnoty jsou poté poděleny počtem měřených archů.

2.5 Objemová hmotnost papíru

Publikace [10] popisuje objemovou hmotnost papíru jako podíl hmotnosti měřeného materiálu a celkového objemu, který zaujímá, a je udáván v jednotkách g/cm³. Běžná hodnota papíru nabývá hodnot v rozmezí 0,5–0,8 g/cm³. Tato hodnota také udává relativní množství vzduchu v papíru. Tedy ukazuje, jaký podíl je tvořen vláknitými a nevláknitými složkami papíru. To má následně vliv na optické a mechanické vlastnosti papíru [10]. Tento parametr je definován ČSN EN ISO 534 [11].

2.6 Měrný objem papíru

Měrný objem papíru nebo také volumen je převrácenou hodnotou objemové hmotnosti a je udáván v jednotkách cm^3/g [10]. Pokud je potřeba použít papír s větší tloušťkou při stejné plošné hmotnosti, používají se tzv. voluminózní papíry a jejich hodnoty se nejčastěji pohybují v rozmezí 1–2,5 cm^3/g [1]. Tento parametr je definován ČSN EN ISO 534 [11].

3 Vlastnosti charakterizující povrchovou strukturu papíru

3.1 Hladkost a drsnost

Publikací [8] je hladkost popisována jako mechanický stav povrchu papíru (případně kartonu nebo lepenky) a je ovlivňována rozložením vláknitých a nevláknitých složek obsažených v papíru. Velký vliv na povrchovou strukturu papíru mají samotná výrobní zařízení a jejich technický stav – papírenské síto, plstěnce, povrchy válců. Základním předpokladem pro vysokou hladkost je jemné mletí vláknin, vyšší obsah plnidel a rovnoměrnost rozložení jednotlivých složek v papíru. Hladkost lze zvyšovat i dodatečnou úpravou nanášením nátěrové směsi na povrch papíru (viz kapitola 1.2.2) a tím vyplňovat póry mezi vlákny a jiné nerovnosti, ke kterým došlo při jeho výrobě. Pro kvalitní reprodukci výtisků je také důležitá rovnoměrná hladkost v celé ploše (co nejmenší variabilita jednotlivých hodnot). Hodnoty hladkosti mohou být udávány jako čas v sekundách, za který projde mezi papírem a hladkou skleněnou destičkou určitý objem vzduchu. Drsnost bývá uváděna v μm nebo ml/min. Hladkostí označujeme měřenou vlastnost, pokud se naměřená hodnota zvyšuje s hladkostí papíru – pokud se však tato měřená hodnota snižuje, označujeme ji jako drsnost. Dle studie [12] má hladkost papíru přímý vliv na ostrost tisku a také jeho lesk.

Jak lze vidět v tabulce 1, čím vyšší jsou naměřené hodnoty drsnosti – struktura papíru je tedy hrubší a pórovitější, tím méně je potřeba času k proniknutí vzduchu volnými místy v papíru, a naopak.

Tabulka 1: Hodnoty hladkosti a drsnosti různých druhů tiskových papírů [1]

Druh papíru	Hladkost podle Bekka [s]	Drsnost podle Parkera [μm]
bezdřevý ofsetový	30	6,35
SC (superkalandrovaný)	1000	1,91
LWC (lehce natíraný)	1100	1,65
matně natíraný s jedním nátěrem	110	3,33
matně natíraný se třemi nátěry	900	2,20
leskle natíraný se třemi nátěry	1360	1,53

3.2 Metody měření vlastností povrchové struktury papíru

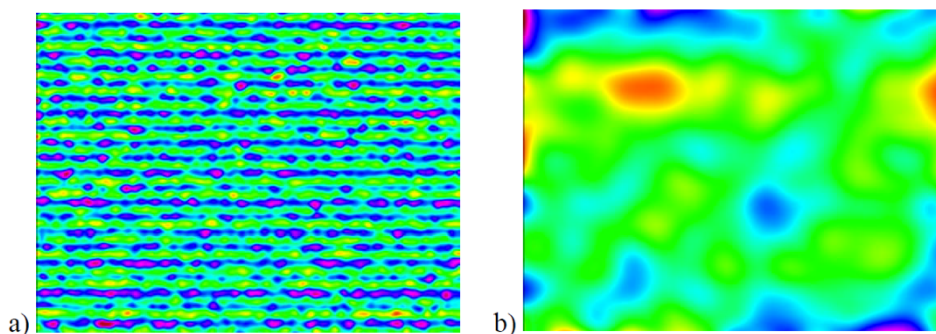
Povrchovou strukturu papíru lze popsat mnoha parametry a pomocí různých metod změřit odlišné výsledky a získat tak informace širšího spektra. Pokud je cílem rozlišení sítové strany papíru, bude pro to zřejmě použita jiná metoda než pro zobrazení 3D struktury či analýzy složení. Ačkoli některé metody mohou pracovat na stejném principu, přesto mohou být výsledky odlišné, měřit v jiné oblasti nebo být vhodnější pro jiné typy materiálů. Nejčastěji se lze setkat s metodami, které pracují na principu propustnosti vzduchu, se skenováním povrchu pomocí kontaktního hrotu nebo s optickými metodami využívajícími interakci povrchu papíru se světlem. Tyto metody nejsou však založeny na podmínkách skutečného tiskového procesu, se kterými pracují například IGT testovací metody, které jsou rozebrány v kapitole 3.2.3.

Porovnáním metod založených na jiných principech se zabývaly studie [13; 14; 15]. Dále studie [16], ve které bylo porovnáváno profilometrické měření (viz kapitola 3.2.1) a měření drsnosti podle Bendtsena (viz kapitola 3.2.2) zmiňuje, že pomocí nepřímých metod založených na propustnosti vzduchu nelze poskytnout informace o samotném povrchu a jeho struktuře. Byla zde zkoumána míra drsnosti povrchu a také jeho vlnitosti. Jiný pohled na moderní testovací metody za použití počítačové technologie uvádí bakalářská práce [17], ve které jsou podrobně rozebrány další analytické metody jako je ToF-SIMS (hmotnostní spektrometrie sekundárních iontů s měřením doby letu iontů) nebo Ramanova spektrometrie. Měření drsnosti za použití skvrnitého vzoru snímaného pomocí laseru a CCD kamery bylo popsáno ve studii [18]. Dále byla také ve studii [19] zkoumána problematika online měření povrchové drsnosti pomocí laserové triangulace, která by mohla být využívána nejen v papírenských provozech.

3.2.1 Profilometrické metody

Proměřením povrchových nerovností papíru může být hodnocena jeho struktura přímo za použití hrotu, kterým je snímán jeho povrch. Tuto problematiku blíže rozebírá publikace [20]. Tato metoda byla původně používána pro hodnocení kvality obrábění kovů. Tlak hrotu je pro papír zanedbatelný, není však vhodné profilometrické metody používat na hodnocení struktury pružných materiálů jako jsou pryžové potahy tiskových válců. Výhodou této metody je možnost hodnocení i malých rozdílů a grafické zobrazení struktury měřeného materiálu.

Povrch papíru lze měřit ve dvou nebo třech rozměrech a získat tak celkový pohled na jeho strukturu. Článek [21] zmiňuje, že profilometry lze rozdělit dle použitého detektoru na mechanické (kontaktní) a optické (bezkontaktní). Mechanické profilometry využívají hrot, ten může mít různou tloušťku dle měřeného substrátu, který je posouván po povrchu materiálu (nebo může být posouván vzorek) a snímá jeho nerovnosti po jednotlivých řádcích. Tyto typy přístrojů jsou proti nekontaktním technikám pomalejší. Optické profilometry, které jsou popsány v článku [22], využívají světlo způsobem, který dokáže detekovat trojrozměrnou strukturu snímaného povrchu, a tyto metody mohou pracovat na rozdílných principech. Na rozdíl od kontaktního způsobu je optická metoda nedestruktivní. Podle studie [23] je celkový profil povrchu získaný profilometrem tvořen kombinací tří typů povrchových nepravidelností – vlnitosti, drsnosti a polohy a velikosti jednotlivých nerovností povrchu. Pomocí filtrů je pak možné získat profil primární, profil drsnosti a vlnitosti. Detailněji je tato problematika rozebrána v ČSN EN ISO 4287 [24].



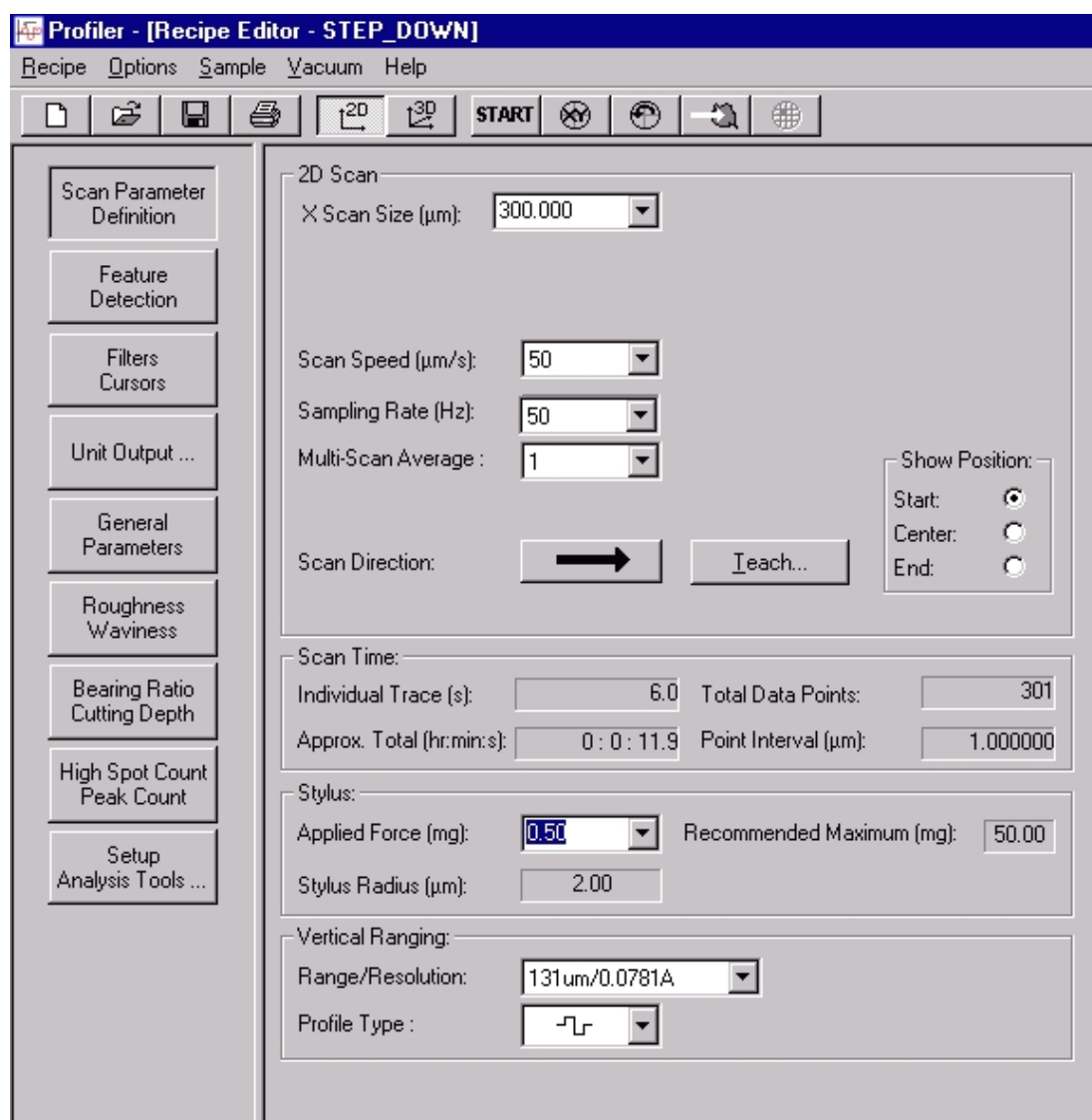
Obrázek 3: Porovnání filtrované plochy povrchu etalonu a) profilu drsnosti a b) profilu vlnitosti [25]

Porovnáním dotykové a bezdotykové metody se zabývala práce [25], ve které byly hodnoceny parametry povrchu hliníkové slitiny těmito metodami. Jsou zde vyzdvihnuty výhody bezdotykových metod, které redukuje možnost poškození snímaného povrchu materiálu a také je lze použít pro jeho plošné hodnocení. Mimo poškození může docházet i k vyhlazení míst, kde dochází ke kontaktu vzorku se skenovacím hrotem. Také u materiálů, které obsahují nějaké texturní anomálie, není pomocí dotykové metody možnost jejich zaznamenání a mohou být přehlédnuty. Na druhou stranu použití bezdotykové metody nemusí být vždy vhodné – je zde kladen velký důraz na čistotu povrchu a vhodné nastavení měřeného vzorku. Další nevýhodou může být také časová náročnost, neboť měření obsahují velké množství naměřených bodů.

Možnosti 2D a 3D skenování

Kontaktní profilometr KLA-Tencor P-7 umožňuje pořízení 2D i 3D skenu povrchu za různých podmínek skenování, které jsou popsány a vysvětleny v manuálu k přístroji [26].

Prvním krokem je přednastavení parametrů skenování. Z nabídky lze vybrat 2D či 3D skenování testovaného vzorku. Prostředí programu *Profiler* je možné vidět na obrázku 4.



Obrázek 4: Prostředí nastavení 2D parametrů v programu Profiler [55]

Rozsah skenované plochy (*X Scan Size*) je možné nastavit v rozmezí 20–5 000 μm . Skenovací rychlost (*Scan Speed*) v $\mu\text{m/s}$ udává rychlost pohybu hrotu po povrchu vzorku a je možné ji nastavit od 1 $\mu\text{m/s}$ do 25 000 $\mu\text{m/s}$. V případě vysokých rychlostí může docházet k nepřesnému a méně detailnímu měření.

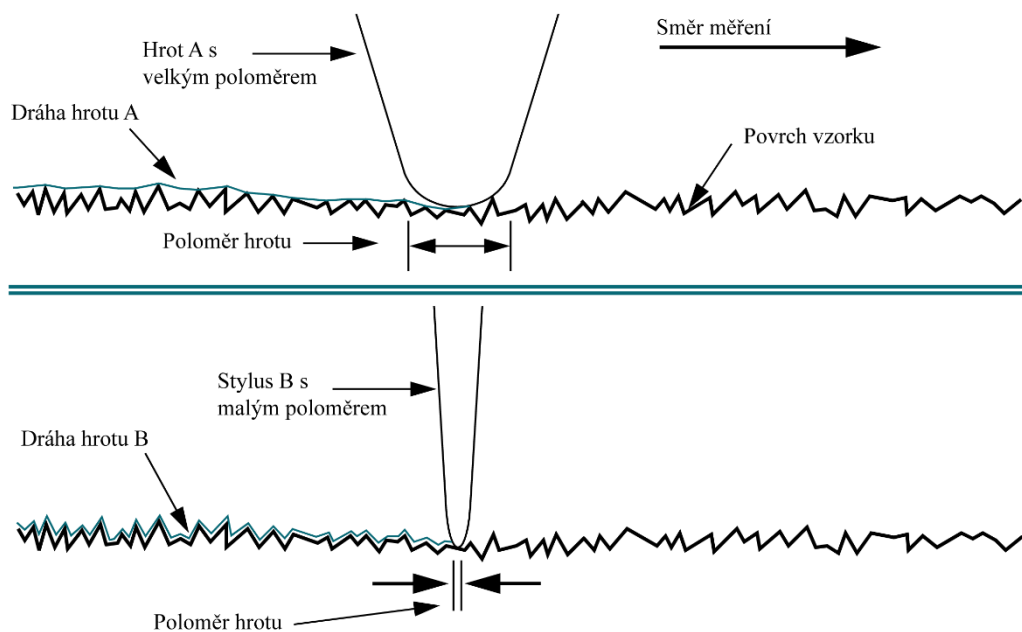
Detailnost dat je ovlivněna také vzorkovací frekvencí (*Sampling Rate*). Ta udává počet bodů, které jsou vytvořeny za jednu sekundu. Tedy čím nižší vzorkovací frekvence, tím více může měření ztratit na důležitých detailech (pokud je příliš nízká). Dle návodu k profilometru je doporučená frekvence 50–200 Hz.

Průměr vícenásobného skenu (*Multi-Scan Average*) udává počet opakování jednoho měření, které lze provést až 10krát a následně jsou naměřená data zprůměrována. Pomocí šipek je možné měnit směr skenování vzorku (*Scan Direction*), avšak dle manuálu profilometru je doporučován směr zleva doprava a opačného směru využít v nezbytných případech. Dále je zde možné zobrazit začátek, střed a konec pozice hrotu (*Show Position*), aby bylo možné vidět, zdali bude snímána požadovaná oblast.

Po nastavení výše zmíněných parametrů je možné vidět odhadovaný čas skenování (*Scan Time*), počet bodů měření (*Total Data Points*) a jejich interval v μm (*Point Interval*).

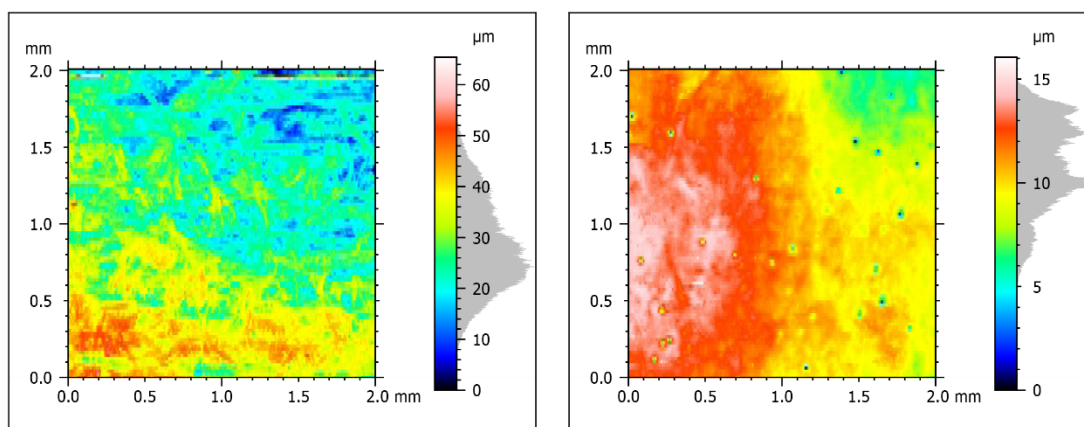
U nastavení parametrů skenovacího hrotu je možné měnit pouze velikost aplikované síly (*Applied Force*) v mg, která je vyvíjena hrotem na skenovaný materiál. Rozsah hodnot je možné volit od 0,03 do 50 mg.

Dále je zde uveden poloměr upevněného hrotu (*Stylus Radius*) v μm a maximální doporučení síla pro jeho poloměr. Posledními nastavitelnými parametry jsou pak rozsah a rozlišení ve vertikálním směru (*Range/Resolution*) a typ profilu (*Profil Type*). Rozsah je zde možné nastavit na hodnoty 131, 327 a 1 000 μm . Rozlišení pak odpovídá nastavenému rozsahu a typu hrotu a udává nejmenší možnou velikost, která může být změřena. Rozsah a rozlišení je primárně ovlivněno poloměrem použitého hrotu. V případě, že je použit hrot s velkým poloměrem, nebude schopen poskytnout informace o jemné struktuře povrchu, protože se nedostane do malých prohlubní. Tím může být měření ochuzeno o mnoho detailů a povrch se může jevit hladší, než ve skutečnosti je. Naopak při měření, kde je použit hrot s malým poloměrem, je možné získat detailnější pohled na strukturu povrchu. Tato problematika je znázorněna na obrázku 5.

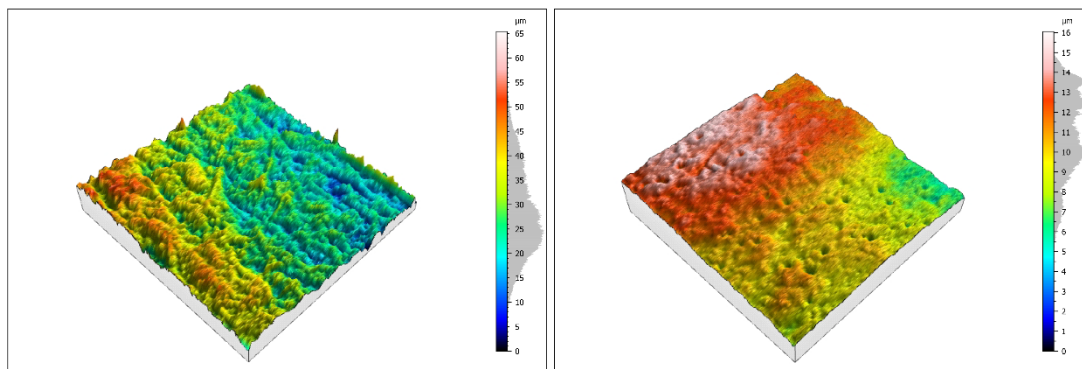


Obrázek 5: Vliv poloměru hrotu na skenování povrchu (adaptováno z [26])

Výše zmíněné parametry jsou nastavovány jak v případě 2D, tak i 3D skenování, výjimkou je pouze možnost vícenásobného skenu (*Multi-Scan Average*), což je možné pouze u 2D skenování. U 3D měření je dále nutné zvolit také rozsah skenované plochy v ose Y (*Y Scan Size*), počet řádků měření (*Traces*) ve směru osy Y a mezery mezi jednotlivými řádky měření (*Y Spacing*) v μm . Počet řádků a mezery mezi nimi tedy ovlivňují detailnost a rozlišení v této ose. Vyšším počtem řádků blízko u sebe lze přesněji popsat skenovaný povrch.



Obrázek 6: Hodnocení povrchové struktury ofsetového (vlevo) a natíraného papíru (vpravo) pomocí profilometru KLA-Tencor P-7



Obrázek 7: Trojrozměrné zobrazení struktury povrchu ofsetového (vlevo) a natíraného papíru (vpravo) pomocí profilometru KLA-Tencor P-7

3.2.2 Metody založené na propustnosti vzduchu

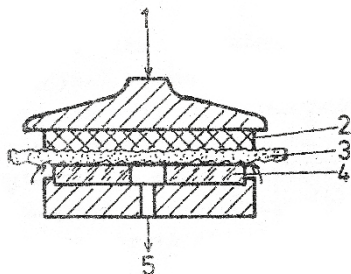
Mimo metody přímé je možné stanovit hladkost papíru nejčastěji pomocí nepřímé úměrnosti rychlosti pronikání vzduchu procházejícím nerovnostmi povrchové struktury papíru, který přiléhá na hladkou plochu [3].

Hladkost podle Bekka

Principem metody podle Bekka je určení času v sekundách, který je potřebný k proniknutí 10 cm^3 z okolní atmosféry do podtlakové komory zkušebního zařízení mezi povrchem skleněné destičky s plochou 10 cm^2 a povrchem testovaného materiálu. V tomto případě se potřebný čas se zvyšující se hladkostí zvyšuje, tudíž je zde měřenou hodnotou hladkost.

Schéma přístroje lze vidět na obrázku 8. Zkušební zařízení pro měření hladkosti podle Bekka je složeno z vývěvy, díky které lze dosáhnout požadovaného podtlaku v podtlakové komoře, se kterou je poté spojen rtuťový vakuometr. Zkušební vzorek je poté upnut do speciální měrné hlavice. Při měření je vzorek přitlačován ke skleněné destičce (ta je ve tvaru mezikruží se středním otvorem o ploše 1 cm^2) pomocí pákového zařízení a příložené kovové destičky s pryžovou podložkou. Průchod vzduchu o objemu 10 cm^3 odpovídá objemu vakuometru a podtlakové komory včetně potrubí. Testování je nejčastěji prováděno pro 5 zkušebních vzorků vždy z lícové a sítové strany. S ohledem na možnou dvoustrannost papíru je potřebné měřit každou stranu zvlášť a umět tyto strany rozeznat. Vzorek by neměl být použit opakovaně pro jedno měření ani v případě měření druhé strany – musí být měřeno vždy na jiném místě/vzorku. Z výsledných hodnot je poté vypočítán aritmetický průměr pro každou

stranu (nebo pro obě strany). Výsledky lze také zapisovat ve formě zlomku např. 137/95 (137 sekund pro lícovou stranu, 95 sekund pro síťovou stranu). Tato metoda byla popsána v normě ISO 5627:1995 [27].

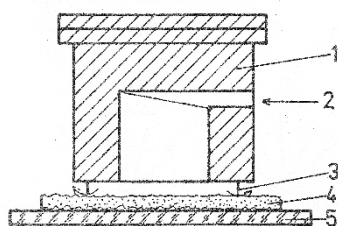


1. Přítlak
2. Gumový výsek
3. Vzorek papíru
4. Skleněná destička
5. Podtlak

Obrázek 8: Princip měření hladkosti podle Bekka [28]

Drsnost podle Bendtsena

Tato metoda je popsána ČSN ISO 8791-2 [29], kde je měřeno množství vzduchu v ml za jednu minutu, které za přetlaku projde mezi přiléhajícím povrchem měrné hlavice a povrchem testovaného materiálu za stanovených podmínek. Zde je měřenou hodnotou drsnost, protože naměřená hodnota se se zvyšující drsností povrchu papíru zvyšuje. V tomto zkušebním zařízení je potřeba kompresor, který dodává vzduch o určitém tlaku, tlak je poté upraven na požadované hodnoty pomocí manometru (tlakoměru) a přes rotametr (průtokoměr) je vzduch směřován do měrné hlavice. Součástí přístroje není pouze jeden rotametr, ale vyskytuje se jich zde několik s různými rozsahy. Schéma měřícího zřízení pro měření drsnosti podle Bendtsena je znázorněno na obrázku 9. Stinnou stránkou této metody je, že je zde uplatňována i propustnost měřeného materiálu pro vzduch v závislosti na jeho tloušťce. Výhodou je však rychlost měření [8].



1. Měřící hlavice
2. Přívod vzduchu
3. Ocelový prsteneč
4. Vzorek papíru
5. Skleněná deska

Obrázek 9: Princip měření drsnosti podle Bendtsena [28]

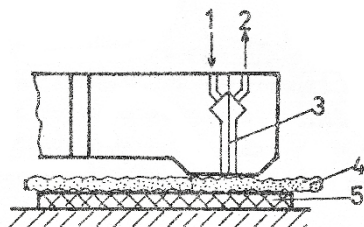
Drsnost podle Parkera

V tomto případě je opět měřena hodnota drsnosti zkoušeného povrchu a princip této metody je blízký měření podle Bendtsena. Tato metoda využívá přístroje zvaného Parker Print Surf – PPS. S ohledem na uspořádání měrné hlavice je tato metoda schopna vyhodnotit i nepatrné nerovnosti a je tedy vhodná i pro velmi hladké papíry, protože plocha prstence, který přiléhá na testovaný vzorek, je pouze 50 μm široká. To může být využíváno např. u testování tiskových substrátů pro hlubotisk, kde je potřebné dodržení určitého rozsahu drsnosti s ohledem na kvalitní reprodukci tisku – mohou se zde vyskytovat nedotištěné až úplně chybějící body. Je stanovována tloušťka vrstvy tiskové barvy tak, aby její množství zaplnilo všechny prohlubně papíru. Výsledky měření jsou udávány v μm . Detailněji je tento princip popsán normou ISO 8791-4:2021 [30].

V tabulce 2 jsou uvedeny hodnoty drsnosti podle Parkera pro vybrané druhy tiskových papírů. Obrázek 10 znázorňuje schéma měřícího zařízení pro tuto metodu.

Tabulka 2: Hodnoty drsnosti podle Parkera pro vybrané druhy tiskových papírů [8]

Druh papíru	Drsnost podle Parkera [μm]
Novinový papír	2,3–3,5
Magazínový papír	1,10–2,1
Křídový papír	0,7–1,5



1. Přívod tlakového vzduchu od manostatu
2. Odvod vzduchu k rotametrům
3. Ocelový prstenec
4. Vzorek papíru
5. Podložka

Obrázek 10: Princip měření drsnosti podle Parkera [28]

3.2.3 IGT testovací metody

W24 IGT Tisková penetrace

Metoda: W24 IGT Print Penetration [31]

Tisková barva nebo lak jsou při tiskovém procesu absorbovány do potiskovacího materiálu a jejich množství je ovlivněno jak povrchovou strukturou papíru (nerovnostmi, a tudíž jeho drsností), tak pórovitostí papíru. Pokud je absorpce barev do papíru příliš rychlá a velká, bude ovlivněna kvalita tisku – neostrý tisk, a bude mít dopad i na rychlost zasychání tiskové barvy či laku.

Principem této testovací metody je nanesení kapky testovacího oleje o objemu $5,8 \pm 0,3$ mg mezi testovaným vzorkem (proužek papíru o rozměrech 55×340 mm) a tiskovým válečkem. Délku skvrny lze stanovit přímo pomocí zabudované kamery v zařízení, či ručním označením a změřením. Pokud je testována způsobilost papíru pro lakování, je změřena pouze délka skvrny – čím větší je její délka, tím je papír vhodnější pro lakování. Zde je potřebné, aby se nanášený lak absorboval do povrchu papíru co nejméně. V případě hodnocení tiskové penetrace P je její míra hodnocena jako převrácená hodnota délky skvrny l v mm dle vzorce (1):

$$P = \frac{1\ 000}{l} \quad (1)$$

Čím je délka skvrny delší, tím méně olej penetruje do struktury papíru. Kratší skvrny budou pozorovány např. u nenatíraných papírů s hrubší strukturou, a naopak skvrny delší u papírů natíraných, které mají hladší a uzavřenější povrchovou strukturu. U tohoto měření je důležité rozlišit lícovou a síťovou stranu, protože naměřené hodnoty mohou být odlišné pro jednotlivé strany.



Obrázek 11: Měření délky skvrny vyhodnocené zařízením Amsterdam 2

W28 IGT Drsnost

Metoda: W28 IGT Roughness [32]

Tiskovou drsnost lze stanovit různými postupy – nepřímé metody využívající propustnost vzduchu byly zmíněny v kapitole 3.2.2. Metoda podle IGT je metodou dynamickou, kde jsou simulovány podmínky tiskového procesu.

Princip metody spočívá v rozvalování daného objemu testovací kapaliny mezi povrchy dvou papírů. Při vysoké rychlosti se nestačí kapalina absorbovat do pórů papíru. Aby nedošlo k penetraci před tím, než je kapka rozválena mezi povrchy, aplikuje se na místo aplikace lak nebo může být použita lepicí páska. Množství kapaliny je závislé na povrchové struktuře testovaného papíru. Pro drsnější povrchy bývá použité množství větší. Skvrna je poté hodnocena s ohledem na její délku a šířku, která je měřena v polovině její délky. V příloženém nomogramu v informačním letáku výrobce je poté odečtena hodnota x pro daný objem kapky V . Drsnost papíru R je vypočítána dle vzorce (2):

$$R = (V \times x) \div 100 \quad [\text{cm}^3/\text{m}^2] \quad (2)$$

W31 Povrchová pevnost, vytrhávání částic z povrchu papíru (picking)

Metoda: W31 IGT Picking, Aluminium, ISO 3783 [33]

Vytrhávání částic z papíru je definováno jako poškození povrchu papíru při tisku. Pokud je barva příliš lepivá a oddalování tiskové formy z potiskovaného substrátu je příliš rychlé, může docházet k oddělení vrchní vrstvy papíru (např. u natíraných papírů k oddělení vrstvy nátěru). Tuto metodu lze použít i pro stanovení delaminace lepenky. Pomocí testovacího zařízení je vyhodnocena rychlost, u které začíná vytrhávání částic z povrchu papíru. Na tiskový váleček je nanášeno a následně naváleno 0,28 cm³ testovacího inkoustu. Následně je proveden tisk za zvyšující se tiskové rychlosti. Vzorek je hodnocen změřením vzdálenosti, při které začíná docházet k porušení povrchu papíru. Pokud je tato vzdálenost menší než 20 mm, je nutné provést testování znovu při nižší tiskové rychlosti (případně použít olej o nižší viskozitě), nebo pokud je poškození papíru až na konci vzorku – zvýšit tiskovou rychlost (nebo použít olej o vyšší viskozitě). Pomocí příložené tabulky v informačním letáku od výrobce je stanovena rychlost tisku – ta vyjadřuje povrchovou pevnost materiálu v m/s.

W43 Prorážení tiskové barvy

Metoda: W43 Print Through [34]

Pokud je papír potištěn z obou stran a barva proniká hluboko do jeho struktury, může se dostat až na druhou stranu a negativně ovlivňovat její čitelnost a celkovou kvalitu tisku. U tenkých tiskových papírů je tento parametr velmi důležitý.

Při testování prorážení barvy jsou používány různé tvrdosti potahu tiskového válečku dle druhu papíru. Na váleček barevníkové jednotky je aplikována tisková barva o objemu $0,35 \text{ cm}^3$, kde je rozválena, naválena na tiskový váleček a následně natištěna na proužek vzorku papíru. Vzorek je poté po 5 hodinách změřen pomocí spektrofotometru a je vyhodnoceno pronikání tiskové barvy na druhou stranu papíru dle vzorce (3):

$$PT = (R_b \div R_w) \times 100 \% \quad (3)$$

kde R_b je reflektance zadní strany v místě, kde byl papír potištěn a R_w reflektance na nepotištěném místě. Čím vyšší je stanovená hodnota, tím více barva proráží na druhou stranu papíru.

W50 Přenos barvy

Metoda: W50 Ink Transfer [35]

Pro hodnocení barevnosti, nárůstu tiskových bodů a jiných parametrů analyzovaných v tiskové kvalitě je potřebné vědět, kolik množství barvy je potřebné na kvalitní tiskový výstup. U nenatíraných papírů s drsnější povrchovou strukturou je spotřebováno více barvy pro požadované vybarvení než v případě natíraných papírů s uzavřeným hladkým povrchem. Postup této metody spočívá v naválení tiskové barvy na tiskový váleček, který je zvážen, tisková barva je přenesena na testovaný vzorek a tiskový váleček je opět zvážen. Rozdíl těchto hmotností je zaznamenán s přesností na 0,1 mg a množství přenesené barvy je vypočítáno z rozdílu těchto hmotností a velikostí potištěné plochy v g/m^2 . Množství nanesené barvy pro naválení v barevníkové jednotce je závislé od druhu substrátu.

W60 Lícová a síťová strana

Metoda: W60 Felt and Wire Side Determination [36]

Vlastnosti povrchové struktury papíru se mohou na jednotlivých stranách lišit, proto je důležité tyto strany od sebe odlišit. Tato metoda využívá stejného principu jako v případě stanovení tiskové penetrace W24 – kde je měřena délka skvrny. Na síťové straně bývá olej více penetrován do struktury papíru.

W77 Tisková hladkost

Metoda: W77 Printing Smoothness [37]

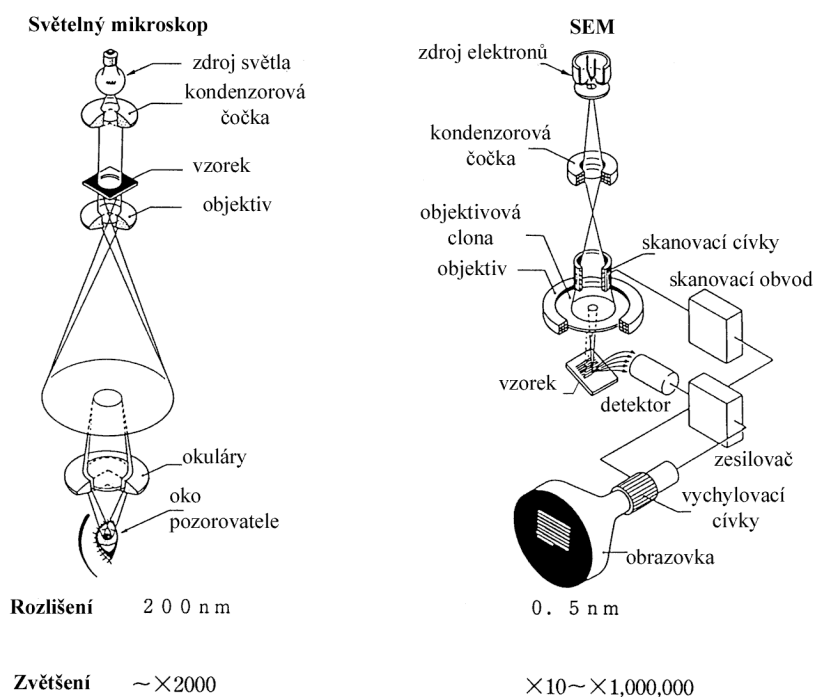
U této metody jsou simulovány tiskové podmínky při různých tlacích. Při nízkém tiskovém tlaku dochází k přenesení vrstvy tiskové barvy pouze na vyvýšená místa – u papírů s větší drsností nebude potištěna celá plocha, ale bude zde velký podíl bílých nepotištěných míst. Na váleček barevníkové jednotky je aplikována tisková barva o objemu $0,35 \text{ cm}^3$, kde je rozválena, naválena na tiskový váleček a následně je proveden tisk v 5 krocích, kde je pro každý krok použit jiný tiskový tlak. Vzorky jsou hodnoceny vizuálně – čím více je povrch papíru pokryt barvou, tím větší je hladkost papíru.

3.2.4 Skenovací elektronová mikroskopie – SEM

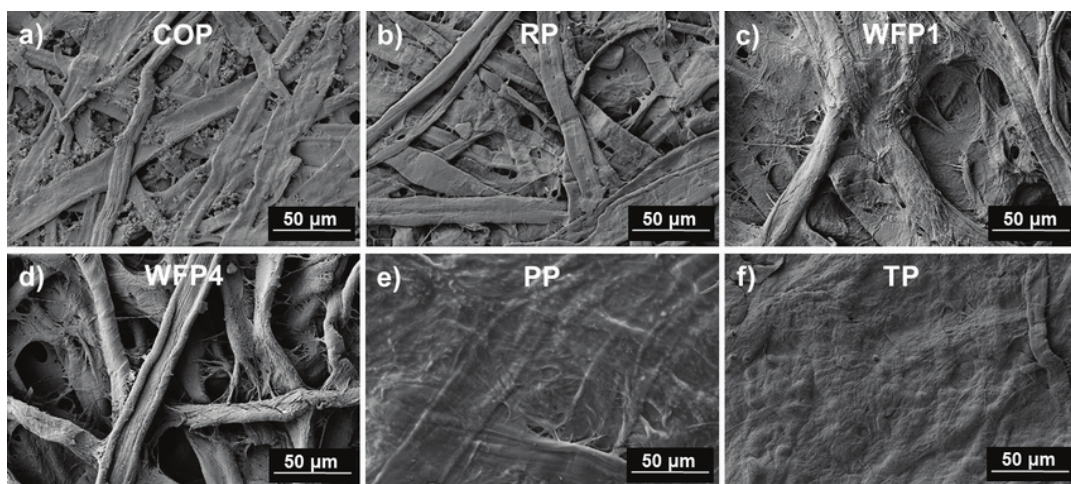
O této problematice pojednává zdroj [38]. Principem skenovací elektronové mikroskopie je snímání elektronového svazku ve vakuu, který je produkován zdrojem, a prochází soustavou čoček, kde je zaostřován, a následně dopadá na povrch vzorku. Poloha elektronového paprsku je řízena skenovacími cívkami, díky kterým je možné shromažďovat informace o měřené oblasti vzorku. V důsledku interakce elektronů se vzorkem je vytvářena řada signálů a vyhodnocením příslušným detektorem lze získat data jak o povrchové topologii materiálu, tak o jejím složení:

- sekundární elektrony – informace o topologii
- Augerovy elektrony – analýza složení vzorku
- odražené elektrony – informace o topologii a složení vzorku
- X-paprsky – analýza prvků ve vzorku

Využitím této metody v kombinaci s metodami analýzy obrazu, která je podrobně rozebrána v diplomové práci [39], je možné získat velké množství různých informací jak o struktuře papíru s ohledem na prostorovou distribuci částic a pórů, povrch nátěrů, tak stanovit jejich složení.



Obrázek 12: Porovnání světelného a elektronového mikroskopu [40]

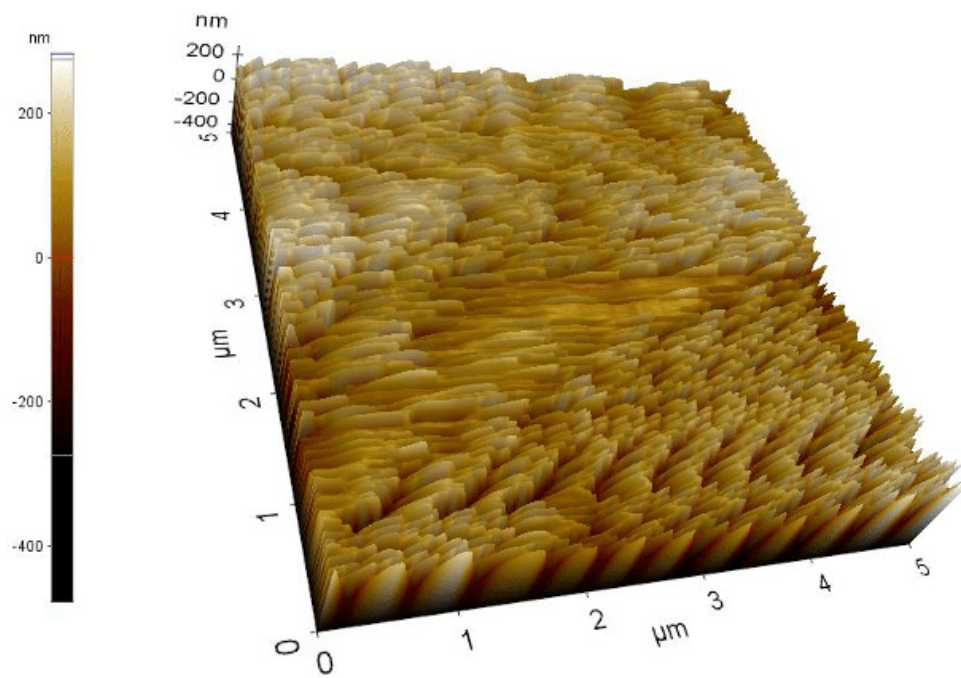


Obrázek 13: Zobrazení struktury pomocí SEM pro a) komerční kancelářský papír, b) surový papír, c) a d) filtrační papíry, e) pergamenový papír a f) pauszovací papír [41]

Ve studii [42] byl testován povrchu netisknoucích míst ofsetové tiskové formy (oxidu hlinitého) – konkrétně analýzou snímků z elektronového mikroskopu (SEM) a pomocí softwaru Gwyddion. V prvním případě byl nastaven nulový náklon a v druhém byl pak obraz získán sloučením dvou obrazů s úhlem opačným. Vzorky byly testovány před použitím a po určitém množství tiskových cyklů. Je zde zmíněno, že s narůstajícím počtem tisku dochází k zplošťování struktury povrchu. Výsledky získané pomocí elektronové mikroskopie byly dále porovnány s přímou metodou za použití skenovacího hrotu. Experiment vyhodnocuje porovnání výsledků měření za srovnatelné, avšak u některých parametrů se výsledky mohou lišit – u přímé metody dochází k omezení ze strany skenovacího hrotu, který se s poměrem 2 µm není schopný dostat do nejmenších prohlubní.

3.2.5 Mikroskopie atomárních sil – AFM

Dle zdroje [43] se tato metoda liší od skenovací tunelové mikroskopie tím, že ji lze použít i pro nevodivé vzorky. K měření je používána skenovací sonda, která se pohybuje po povrchu vzorku po řádcích a je schopna zobrazovat s rozlišením v řádu nanometrů na úrovni atomů. K detekci jsou využívány vzájemné síly – např. van der Waalsovy, elektrické, magnetické... Měřicí sonda je upevněna na ohebném rameni, které je ohýbáno na základě těchto působících sil. Vyhodnocení pohybu ramena je detekováno pomocí laseru, ze kterého se poté odráží paprsek do fotodetektoru. Na rozdíl od SEM není nutné vzorky pro AFM jakkoliv upravovat.



Obrázek 14: Zobrazení struktury papíru pomocí AFM [44]

4 Vliv povrchové struktury papíru na kvalitu tisku

Výsledná kvalita tisku závisí na mnoha parametrech. Od nevhodně navrhnutého designu, chybě při výrobě tiskových forem, nevyhovujícího materiálu pro daný produkt nebo tiskovou techniku, na to navazující omezení tiskovou technikou až po chyby při dokončovacím zpracování.

Všeobecně by tiskové papíry měly splňovat požadavky uvedené publikací [3] jako je rovnoměrná plošná hmotnost, tloušťka, vlhkost a objemová hustota v celé ploše (minimální obláčkovitost) s čímž je spojený také optimální a rovnoměrný příjem barev, dvoustrannost papíru by měla být co nejméně patrná. Dále je důležitá nízká prášivost a pro bezproblémový průchod tiskovým procesem a dalším zpracováním, dostatečná pevnost v tahu (hlavně u kotoučových materiálů), správné a rovnoběžné rozměry u archových materiálů a také absence nečistot, abrazivních pigmentů či jiného poškození potiskovaného substrátu. Problém při nakládání archů může způsobit příliš vysoká hladkost papíru nebo vysoký koeficient tření (zdvojené podávání archů) [3].

4.1 Parametry ovlivňující kvalitu tisku

4.1.1 Přijímavost tiskových barev

Množství barvy, které je absorbováno povrchem papíru závisí především na jeho pórovitosti – jak vláknitých struktur, tak pigmentových nátěrů, a hladkosti (či drsnosti) jeho povrchu. Zde jsou uplatňovány především kapilární síly a vnější tlak, který působí na materiál během tiskového procesu [8]. Čím je povrchová struktura papíru hladší, tím méně barvy se drží v povrchových nerovnostech. Proto nenátírané papíry s vyšší drsností přijímají barvy více, neboť je barva penetrována hlouběji do pórů. Pokud je na papír nanášeno velké množství barvy, která je následně absorbována hluboko do jeho struktury, dochází k rozlití tiskových bodů, nárůstu tónové hodnoty a snížení ostroty tisku. Což může být velkým problémem u písem malých velikostí nebo plnobarevných tmavých motivů, kde nastává problém se sléváním jednotlivých odstínů a ztrátou detailů v tmavých tónech.

4.1.2 Povrchová pevnost

Pro papíry určené pro ofset a knihtisk, kde jsou používány lepidivé barvy s vysokou viskozitou, je důležitá povrchová pevnost tiskového substrátu s ohledem na vytrhávání vláken z povrchu papíru [1]. Problematika vytrhávání je rozebírána v článku [45], který říká, že může být rozlišováno vytrhávání nátěru, vláknitého materiálu, nečistot, bodové vytrhávání či štěpení materiálu. Vytrhané částice poté přispívají k vadám tisku, protože se usazují na ofsetovém potahu. Vyšší sklon k vytrhávání vláken mají papíry recyklované. Použitím tiskové barvy s nižší tažností či snížením rychlosti tisku lze tento problém eliminovat.

4.1.3 Prášení

K prášení může docházet u papírů, které mají vysoký obsah plnidel a např. u papírů recyklovaných. Ve výrobě nemohou být vyžívány maximální rychlosti stroje, dochází k rychlému opotřebení tiskových desek a k zanášení celého tiskového stroje, což může mít při usazování na tiskových válcích vliv na kvalitu tištěné produkce [46].

4.1.4 Nerovnoměrnost povrchu

U povrchu, který nemá rovnoměrné vlastnosti v celé ploše, není možné zachovat vysokou kvalitu výtisků. Na rovnoměrnost má vliv už samotná výroba papíru (uspořádání a délka vláken, podíl jemných částic viz kapitola 1.1.2) tak jeho následná úprava např. hlazení a jiné metody kalandrování zmíněné v kapitole 1.2.1. V tisku poté dochází k nestejnému přijímání a penetraci tiskových barev a vybarvení se na různých místech může lišit.

4.1.5 Prorážení tiskové barvy

Hana Wilkeová ve své bakalářské práci [47] zkoumala prorážení tiskové barvy na tenkých papírech pro jednotlivé pigmenty klasického čtyřbarvotisku, kde je toto často řešeným problémem. Je zde zmíněno, že k největšímu prorážení dochází u papírů, které obsahují menší obsah plnidel a mají nízkou opacitu. S ohledem na tiskové barvy byl tento projev výrazný zejména u černé a poté u azurové a purpurové. Žlutá barva není tolik výrazná, proto rozdíl nebývá tolik patrný jako v případě zbylých pigmentů. Stejnou problematikou se zabývala i práce [48], která uvádí, že na prorážení barvy má vliv vzájemná kombinace vlastností papíru – drsnost, tloušťka, pórovitost a opacita, avšak vyšších výsledků bylo dosaženo na papírech, kde byly naměřeny vyšší hodnoty drsnosti, kvůli které bylo potřebné vyšší množství nanášené barvy.

4.2 Požadavky s ohledem na tiskovou techniku

4.2.1 Papíry pro knihtisk

Kvůli vysoké viskozitě a lepivosti knihtiskových barev je kladen důraz především na dostatečnou povrchovou pevnost materiálu, aby nedocházelo k vytrhávání částic z povrchové struktury [1]. Papír by měl být měkký a stlačitelný, protože během tiskového procesu je vyvíjen značný tlak, a je vyžadována rovnoměrná pórovitá struktura [3].

4.2.2 Papíry pro ofset

Stejně jako u výše zmíněného knihtisku je zde kladen důraz na vysokou povrchovou pevnost a odolnost materiálu s ohledem na vysokoviskózní lepidlo. U ofsetových papírů je důležité, aby snadno přijímaly barvu, ale kvůli vlhčicímu roz-toku musí být zaklížené a rozměrově stálé. Tato problematika je rozsáhleji popsána v publikaci [2]. Kyselostí a zásaditostí použitého papíru je také negativně ovlivňována řada procesů v ofsetovém tisku jako je špatné zasychání barev či tvorba usazenin na válcích [3].

Ve studii [49] byl testován vliv natíraných papírů s různými povrchovými charakteristikami na povrchovou pevnost v archovém ofsetovém tisku. Bylo dokázáno, že výběr pigmentu použitého v nátěrové směsi hraje zásadní roli.

4.2.3 Papíry pro flexotisk

Pomocí flexotisku je možné potisknout širší škálu materiálů od lepenek po polymerní fólie. Dle povrchové struktury potištěného substrátu je také volena tvrdost tiskové formy. Pro potisk hladkého substrátu budou použity štočky s vyšší tvrdostí než pro potisk vlnité lepenky, kde je potřeba dosáhnout lepší přilnavosti vyvýšených tiskových míst s nerovným povrchem.

4.2.4 Papíry pro hlubotisk

S ohledem na zahluobená místa hlubotiskových forem je vyžadována vysoká odolnost a hladkost papíru s dostatečnou pórovitostí, savostí a dobrým smáčením při vysokých tiskových rychlostech avšak příliš vysoká absorpce může snížit ostrost tisku [2]. Je upřednostňován vyšší obsah plnidel, nižší obsah klíždidel a s ohledem na tiskové barvy zde není kladen důraz na povrchovou pevnost jako u knihtisku a ofsetového tisku [3]. Pro hlubotisk jsou přímo určeny superkalandrované papíry, potiskovány mohou být materiály jak nenatírané, tak natírané [3]. Ve studii [50] bylo zjištěno, že větší

póry absorbují barvu více a docházelo ke zmenšování tiskových bodů a nižší optické hustotě tisku. A naopak u substrátu s menšími póry byly hodnoty optických hustot vyšší. U porovnání materiálů s podobnou velikostí pórů a různou hustotou na jednotku délky docházelo k poklesu optických hustot u materiálů s vyšším počtem pórů na jednotku délky. Jako rovnoměrnější byl vnímán tisk u materiálů s většími tiskovými body.

4.2.5 Papíry pro digitální tisk

V případě digitálního tisku není využíváno mechanického tlaku jako je tomu u klasických tiskových technologií, ale záleží na správné interakci mezi inkoustem (či tonerem) a potiskovaným substrátem.

Inkjetový tisk

Problematika materiálů pro inkjetové tiskárny je popsána zdrojem [5]. Kapky dopadající na papír musí být jeho povrchem rychle absorbovány, aby nedocházelo k jejich rozmazání. Je vhodné použít papíry s vysokou pórovitostí, ale zároveň musí být póry dostatečně malé, aby mohlo dojít pouze k penetraci rozpouštědla, a ne barvotvorných částic. Dále nesmí docházet k rozpíjení inkoustů podél vláken i při přetisku několika barev.

Pro inkjetový tisk lze použít mimo natírané a nenatírané papíry i tzv. plain papíry, které jsou popsány v článku [5]. Tyto papíry mohou obsahovat 1–3 vrstvy a vrchní tenká hydrofilní vrstva, u které dochází k přímému kontaktu s inkoustem, má za úkol jeho rychlou absorpci a nejčastěji obsahuje bělenou sulfátovou buničinu, absorbenty inkoustů, vysoký podíl plniv a nejsou zde žádná klíždla. Nedochází tedy k rozpíjení inkoustu a je zaručena vysoká ostrost a kvalita tisku. Vysoký obsah plnidel však může mít vliv na barevnost výtisku. Střední silně klížená nosná vrstva zabraňuje absorpci inkoustů (je hydrofobní) a zaručuje vysokou opacitu papíru a bezproblémový tisk z obou stran s ohledem na prorážení inkoustu na druhou stranu. Ve střední a spodní vrstvě mohou být obsažena i vlákna syntetická. Natírané papíry poté ve vrchní vrstvě neobsahují vlákna, ale nános je tvořen nátěrovou směsí, která byla podrobněji rozebrána v kapitole 1.2.2.

5 Experimentální část

V experimentální části byly testovány metody, které lze použít pro hodnocení různých vlastností povrchu papíru. Pro porovnání mezi jednotlivými metodami měření byla vybrána hodnota drsnosti, kterou lze změřit profilometricky, pomocí IGT metod a metodami založenými na propustnosti vzduchu.

Jako součást výstupu diplomové práce byla také vytvořena brožura k IGT metodě W77 Tisková hladkost s vytvořeným etalonem pro hodnocení testovaných tiskových papírů.

5.1 Experimentální materiál

Měření bylo provedeno pro papír ofsetový, matně natíraný, leskle natíraný, voluminózní a novinový. V tabulce 3 lze vidět znázornění, jaké testovací vzorky byly použity pro jednotlivé metody.

Tabulka 3: Použitý materiál pro jednotlivé testovací metody

Metoda	Papír				
	ofsetový	matně natíraný	leskle natíraný	voluminózní	novinový
Drsnost podle Parkera	●	●	●	●	●
Drsnost podle Bendtsena	●	●	●	●	●
Profilometrie	●	●	●		
W28 IGT drsnost	●	●	●		
W77 Tisková hladkost	●	●	●	●	●

5.2 Experimentální přístroje

K základnímu měření drsnosti všech testovaných papírů bylo použito zařízení Parker Print Surf od firmy Messmer Büchel (metoda podle Parkera) a zařízení L&W Bendtsen Tester od firmy Lorentzen & Wettre (metoda podle Bendtsena).

Pro další měření byl použit mechanický profilometr KLA Tencor P-7 [51], pomocí kterého lze získat 2D i 3D sken testovaného povrchu a tím získat více informací

o zkoumaném povrchu. V případě 2D měření je možné získat parametry uvedené v tabulce 4. Parametry označené písmenem P vychází ze základního profilu (*Primary Profile*), tedy profilu drsnosti (*Roughness Profile*) a profilu vlnitosti (*Waviness Profile*), z těchto jednotlivých profilů pak R-parametry a W-parametry. Pro 3D měření jsou jednotlivé parametry popsány v tabulce 5.

Tabulka 4: Popis parametrů vyhodnocovaných ve 2D skenování (adaptováno z [24])

Parametr			
P_p	R_p	W_p	největší výška výstupku profilu v rozsahu základní délky
P_v	R_v	W_v	největší hloubka prohlubně profilu v rozsahu základní délky
P_z	R_z	W_z	největší výška profilu (součet výšky nejvyššího výstupku a hloubky nejnižší prohlubně profilu v rozsahu základní délky)
P_c	R_c	W_c	průměrná výška prvků profilu v rozsahu základní délky
P_t	R_t	W_t	celková výška profilu (součet výšky nejvyššího výstupku a hloubky nejnižší prohlubně profilu v rozsahu vyhodnocované délky)
P_a	R_a	W_a	průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu v rozsahu základní délky
P_q	R_q	W_q	průměrná kvadratická úchylka posuzovaného profilu v rozsahu základní délky
P_{sk}	R_{sk}	W_{sk}	šikmost posuzovaného profilu v rozsahu základní délky
P_{ku}	R_{ku}	W_{ku}	špičatost posuzovaného profilu v rozsahu základní délky

Tabulka 5: Popis parametrů vyhodnocovaných ve 3D skenování (adaptováno z [52])

Parametr	
S_q	průměrná aritmetická výška posuzované plochy
S_{sk}	šikmost posuzované plochy
S_{ku}	špičatost posuzované plochy
S_p	maximální výška vrcholu posuzované plochy
S_v	maximální hloubka dna posuzované plochy
S_z	maximální výška posuzované plochy
S_a	průměrná aritmetická výška posuzované plochy, průměrná drsnost povrchu [μm]

Měření IGT metodami byla provedena pomocí zařízení Amsterdam 2 od firmy IGT Testing Systems [53], které je možné využít k testování vlastností papíru popsaných v kapitole 3.2.3. Toto zařízení je také opatřeno snímací kamerou, kterou lze využít pro plné nebo částečné vyhodnocení u některých metod. Pro metodu W28 IGT drsnost bylo použito pouze toto zařízení. Při testování tiskové hladkosti metodou W77 byla navíc použita rozvalovací jednotka High Speed Inking Unit 4 [54] také od firmy IGT Testing Systems.

5.3 Experimentální metody

5.3.1 Metody založené na propustnosti vzduchu

Drsnost podle Parkera

Jednotlivé testované papíry byly nejprve proměřeny na zařízení Parker Print Surf M590 s upínacím tlakem 1 000 kPa. Měření bylo provedeno na 5 zkušebních vzorcích z lícové a síťové strany vždy na rovném nijak neporušeném povrchu. Z naměřených dat byl poté vypočítán aritmetický průměr pro jednotlivé papíry a každou stranu zvlášť. Dále byly označeny jednotlivé strany papíru (zdali se jedná o stranu lícovou či síťovou), pro lepší přehlednost a přípravu na další měření. Tato metoda vyhodnocuje drsnost jako délkový údaj v μm .

Drsnost podle Bendtsena

Touto metodou byly proměřeny jednotlivé papíry, avšak nebyla vhodná pro leskle natíraný papír a přístroj tento materiál vyhodnotil s nulovou drsností. Ostatní tiskové papíry byly testovány stejným způsobem jako v případě metody podle Parkera, tedy 5 vzorků pro lícovou a síťovou stranu každého papíru. Výsledkem této metody je hodnota drsnosti v ml/min.

5.3.2 Profilometrické metody

U přístroje KLA Tencor P-7 byl zkoumán vliv nastavení parametrů měření na jeho výstup. V tabulkách 6–10 jsou uvedena nastavení sad parametrů pro 2D i 3D měření. K měření byl použit hrot o poloměru 2 μm . Nejprve byly skenovány jednotlivé

papíry pro jejich porovnání – ofsetový, matně a leskle natíraný, a pro měření s proměnnými parametry byl použit pouze matně natíraný papír. Měření na profilometru bylo provedeno za použití programu *Profiler* a následné vyhodnocení probíhalo v programu *Apex 3D Basic*. Pro 2D měření byl každý vzorek proměřen 20krát a v případě 3D měření 3krát.

Parametry měření

Pro porovnání byly testovány tyto parametry:

- rychlost skenování (*Scan Speed*)
- aplikovaná síla (*Aplied Force*)
- vzorkovací frekvence (*Sampling Rate*)

Tabulka 6: Nastavení výchozích parametrů 2D skenování

2D skenování Výchozí nastavení parametrů		Jednotka	A1
Velikost skenu v ose X	<i>X Scan Size</i>	μm	5 000
Rychlost skenování	<i>Scan Speed</i>	μm/s	100
Vzorkovací frekvence	<i>Sampling Rate</i>	Hz	100
Vícenásobný sken	<i>Multi-scan Average</i>		1
Aplikovaná síla	<i>Aplied Force</i>	mg	0,5
Poloměr hrotu	<i>Stylus Radius</i>	μm	2
Rozsah/rozlišení	<i>Range/Resolution</i>	μm/Å	131/0,0781

Tabulka 7: Nastavení parametrů 2D skenování s proměnnou rychlostí

2D skenování	SS 10	SS 50	SS 100	SS 200	SS 400	SS 1 000	SS 5 000
Velikost skenu v ose X [μm]	5 000	5 000	5 000	5 000	5 000	5 000	5 000
Rychlost skenování [μm/s]	10	50	100	200	400	1 000	5 000
Vzorkovací frekvence [Hz]	100	100	100	100	100	100	100
Vícenásobný sken	1	1	1	1	1	1	1
Aplikovaná síla [mg]	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

Tabulka 8: Nastavení parametrů 2D skenování s proměnnou aplikovanou silou

2D skenování	AF 0,05	AF 0,2	AF 0,5	AF 5	AF 10	AF 50
Velikost skenu v ose X [μm]	5 000	5 000	5 000	5 000	5 000	5 000
Rychlost skenování [$\mu\text{m/s}$]	100	100	100	100	100	100
Vzorkovací frekvence [Hz]	100	100	100	100	100	100
Vícenásobný sken	1	1	1	1	1	1
Aplikovaná síla [mg]	0,05	0,2	0,5	5	10	50

Tabulka 9: Nastavení parametrů 2D skenování s proměnnou vzorkovací frekvencí

2D skenování	SR 5	SR 100	SR 2 000
Velikost skenu v ose X [μm]	5 000	5 000	5 000
Rychlost skenování [$\mu\text{m/s}$]	100	100	100
Vzorkovací frekvence [Hz]	5	100	2 000
Vícenásobný sken	1	1	1
Aplikovaná síla [mg]	0,5	0,5	0,5

Tabulka 10: Nastavení parametrů 3D skenování

3D skenování	SS 100 / T 100	SS 100 / T 50	SS 200 / T 100
Velikost skenu v ose X [μm]	2 000	2 000	2 000
Velikost skenu v ose Y [μm]	1 980	1 960	1 980
Počet řádků (<i>Traces</i>)	100	50	100
Mezera mezi řádky na ose Y	20	40	20
Rychlost skenování [$\mu\text{m/s}$]	100	100	200
Vzorkovací frekvence [Hz]	100	100	100
Vícenásobný sken	1	1	1
Aplikovaná síla [mg]	0,5	0,5	0,5

5.3.3 IGT metody

W28 IGT drsnost

Pro tuto metodu byl použit ofsetový, matně natíraný a leskle natíraný papír. Nejprve byly připraveny proužky vzorků o velikosti 55×360 mm a 55×205 mm. Na hliníkový váleček byl přilepen kratší proužek vzorku a delší na velký válec opatřený pryžovou podložkou. Na malý hliníkový váleček byla v místě, kde měla být nanesen stanovený objem testovací kapaliny pomocí stříkačky, nalepena plastová lepicí páska, aby nedošlo k zapití kapaliny do povrchu papíru. V případě ofsetového papíru bylo nanесeno 1–6 kapek testovací kapaliny (1 kapka odpovídá objemu 1mm^3). U leskle a matně natíraného papíru byly nanесeny 1–2 kapky. Byla zde také využita snímáčí kamera zabudovaná v zařízení, díky které bylo možné získat velikost plochy a délku skvrny. Šířka skvrny se následně vypočítá ze vztahu:

$$b = \frac{A}{0,85 \times l} \quad (4)$$

b = šířka skvrny v polovině její délky [mm]

A = plocha skvrny [mm^2]

l = délka skvrny [mm]

Drsnost papíru R byla poté vypočítána dle vzorce:

$$R = \frac{V \times 1000}{2 \times A} \quad (5)$$

V = objem kapky [mm^3] (stupnice v nomogramu je určena pro objem kapky 1mm^3)

Druhým způsobem bylo ruční změření skvrny (délka a šířka v polovině její délky) a následné porovnání. Získané rozměry skvrn byly dále využity ke stanovení drsnosti vzorku pomocí nomogramu, který je součástí návodu k metodě, kde byla odečtena protnutá hodnota na ose drsnosti a vypočítána drsnost papíru dle vzorce:

$$R = \frac{V \times 65}{100} \quad (6)$$

W77 Tisková hladkost

U této metody byly testovány všechny tiskové papíry, neboť z nich byl následně vytvořen materiál obsahující etalon tiskové hladkosti pro tuto metodu, který byl vytištěn jako samostatná brožura.

Stejně jako v předchozí metodě byly připraveny proužky vzorků o velikosti 55×360 mm. Následně bylo nanášeno $0,03 \text{ cm}^3$ přiložené tiskové barvy pomocí IGT pipety na gumový válec v barevníkové jednotce, kde se barva nechala rozválet a následně naválet na hliníkový tiskový váleček. Poté byl hliníkový váleček s naválenou barvou nasazen na hřídel potiskovacího zařízení Amsterdam 2 a dle návodu [37] byl proveden tisk při dvou různých nastaveních tiskových tlaků 500–100 N a 1 000–200 N.

6 Hodnocení výsledků

6.1 Metody založené na propustnosti vzduchu

Pomocí těchto metod lze získat pouze určitou hodnotu drsnosti měřeného povrchu. Je možné tedy zjistit jen číslo, ale není možné detailněji prozkoumat povrch jako tomu je v případě metod profilometrických. Výhodou těchto metod je naopak časová nenáročnost a jednoduchost měření bez složitého nastavování přístrojového vybavení, kde je možné během pár sekund získat požadované hodnoty a tím např. stanovit dvoustrannost papíru nebo porovnat povrchy jednotlivých tiskových papírů mezi sebou. Naměřené hodnoty drsnosti podle Parkera a Bendtsena jsou uvedeny v tabulkách 11 a 12. Metodou podle Bendtsena však nebylo možné změřit drsnost leskle natíraného papíru, neboť takto nízké hodnoty nebylo zařízení schopné analyzovat a povrch byl vyhodnocen s nulovou drsností.

Tabulka 11: Vyhodnocení měření drsnosti podle Parkera

	Hodnoty mediánu Drsnost podle Parkera [μm]				
strana papíru	ofsetový papír	matně natíraný papír	leskle natíraný papír	voluminózní papír	novinový papír
lícová	$5,27 \pm 0,08$	$1,53 \pm 0,02$	$1,21 \pm 0,02$	$6,45 \pm 0,12$	$4,37 \pm 0,14$
sítová	$5,53 \pm 0,22$	$1,61 \pm 0,04$	$1,23 \pm 0,01$	$6,48 \pm 0,10$	$4,9 \pm 0,08$

Tabulka 12: Vyhodnocení měření drsnosti podle Bendtsena

	Hodnoty mediánu Drsnost podle Bendtsena [ml/min]				
strana papíru	ofsetový papír	matně natíraný papír	leskle natíraný papír	voluminózní papír	novinový papír
lícová	144 ± 8	3 ± 1	0	682 ± 80	131 ± 15
sítová	176 ± 13	5 ± 1	0	711 ± 59	168 ± 11

6.2 Profilometrické metody

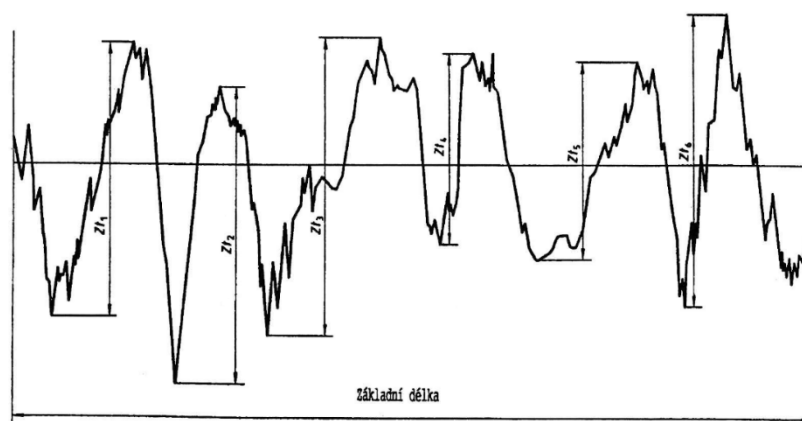
Výhodou kontaktního měření pomocí hrotu je možnost prozkoumání povrchu papíru či jiných materiálů a stanovení množství parametrů, které daný povrch specifikují. Záleží zde však na více faktorech, které mohou ať už pozitivně či naopak negativně ovlivňovat samotné měření, a tedy jeho kvalitu a přesnost výstupu. Tato metoda poskytuje informace jak o samotné drsnosti povrchu, tak i vlnitosti. Pomocí programu *Apex 3D Basic* je možné tyto jednotlivé profily navzájem odfiltrvat a získat tak množství parametrů jednotlivých profilů definujících jeho povrch.

6.2.1 2D skenování

Porovnání povrchů měřených tiskových papírů

V případě 2D profilometrického měření byl pro porovnání vybrán profil drsnosti a parametr R_c , který definuje průměrnou výšku prvků profilu dle vzorce [24]:

$$R_c = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Z_{ti} \quad (7)$$

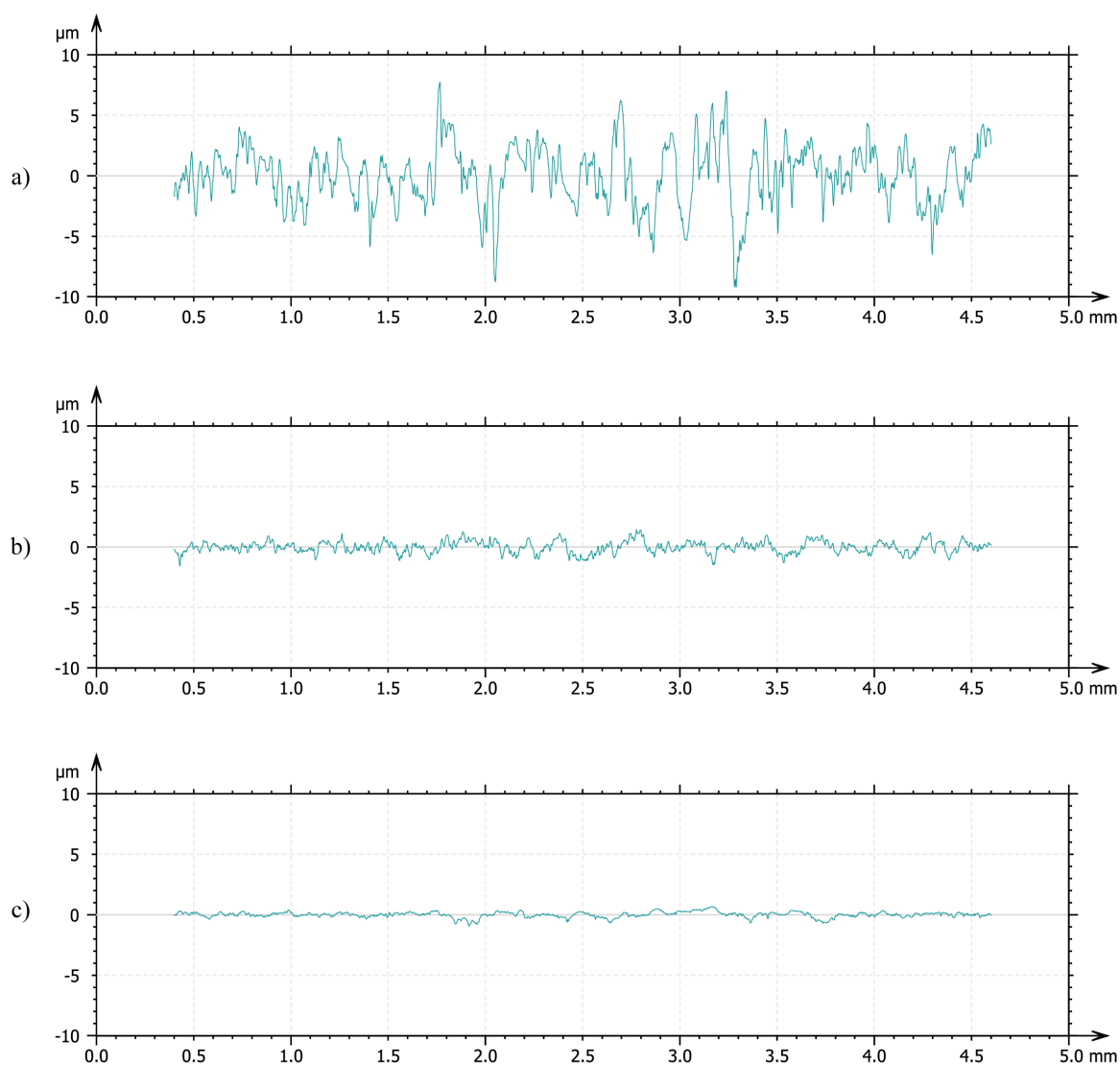


Obrázek 15: Výška prvků profilu (příklad profilu drsnosti) [24]

Pro lepší představu a porovnání struktur jednotlivých povrchů tiskových papírů jsou uvedeny hodnoty drsnosti parametru R_c ve výchozím nastavení 2D parametrů A1. Porovnání profilů drsnosti je znázorněno na Obrázek 16.

Tabulka 13: Porovnání hodnot parametru R_c pro ofsetový, matně natíraný a leskle natíraný papír

Roughness profile parametr R_c	Výchozí nastavení A1		
	ofsetový papír	matně natíraný papír	leskle natíraný papír
Průměrná hodnota [μm]	5,58	1,08	0,88
Medián [μm]	5,53	1,12	0,84
Směrodatná odchylka [μm]	0,49	0,10	0,16

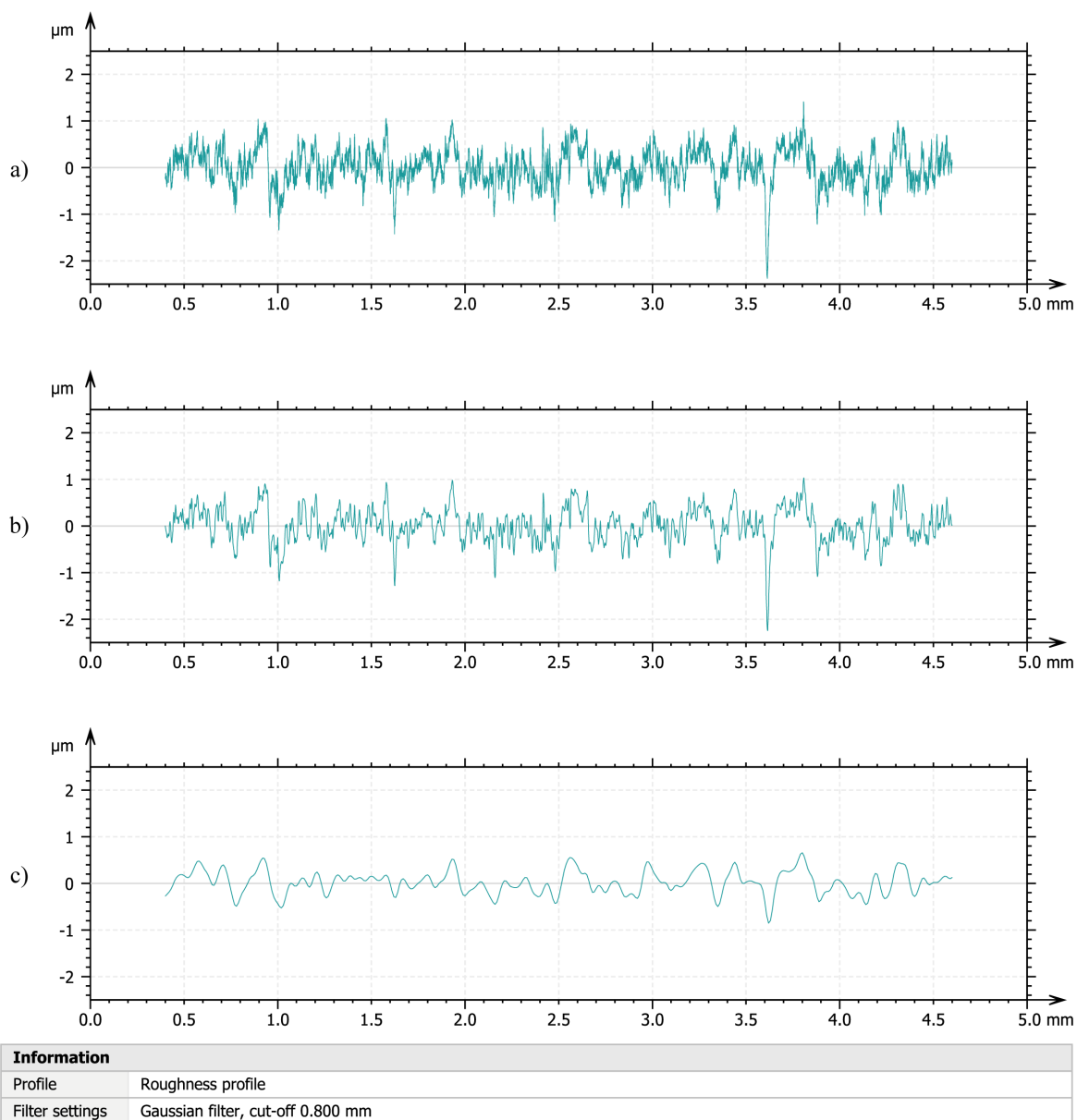


Information	
Profile	Roughness profile
Filter settings	Gaussian filter, cut-off 0.800 mm

Obrázek 16: Porovnání výsledků 2D skenování (profil drsnosti) pomocí profilometru pro a) ofsetový papír, b) matně natíraný papír a c) leskle natíraný papír

Rychlost skenování

Rychlost skenování může také ovlivňovat detailnost výstupu. Tato problematika je znázorněna na obrázku 17, kde jsou porovnány různé rychlosti měření. Pokud se tedy hrot pohybuje po měřeném povrchu velkou rychlostí, není schopen vyhodnotit tolik detailů a měření je značně zkresleno.



Obrázek 17: Porovnání výsledků 2D skenování (profil drsnosti) matně natíraného papíru pomocí profilometru pro rychlosti a) 10 $\mu\text{m/s}$, b) 100 $\mu\text{m/s}$ a c) 1 000 $\mu\text{m/s}$

Tabulka 14: Hodnoty parametru R_c matně natíraného papíru pro různé rychlosti skenování

Roughness profile parametr R_c	Rychlost skenování [$\mu\text{m/s}$]						
	10	50	100	200	400	1 000	5 000
Průměrná hodnota [μm]	0,95	0,84	1,08	0,85	0,83	0,80	0,64
Medián [μm]	0,98	0,86	1,12	0,84	0,81	0,81	0,60
Směrodatná odchylka [μm]	0,09	0,09	0,10	0,09	0,08	0,08	0,15

Dle výše zmíněného obrázku a porovnání rychlosti skenování se může na první pohled zdát, že hodnota drsnosti bude se zvyšující se rychlostí klesat. V případě nižších hodnot rychlosti skenování toto nelze z naměřených dat říct. Povrch papíru není ve všech místech stejný, proto může docházet k odchýlkám v různých místech.

Nízká rychlost s vhodně nastavenou aplikovanou silou by neměla nijak negativně ovlivnit výsledky měření. Při použití nižších rychlostí skenování má tak pohybující se hrot dostatek času zaznamenat nerovnosti povrchu, a tak zajistit kvalitnější a přesnější výstup. Není však nutné zůstat u příliš nízkých rychlostí, protože je tak prodlužována doba měření.

V oblasti vysokých rychlostí lze jasně pozorovat postupné snižování hodnoty drsnosti až na polovinu, neboť se hrot pohybuje příliš rychle a v např. při rychlosti skenování 5 000 $\mu\text{m/s}$ skenuje vzorek o velikosti 5 mm pouze 1 sekundu – není tak schopen zaznamenat všechny nerovnosti a plnohodnotně kopírovat povrch vzorku. Záleží však také na použitém materiálu. Pokud budou proměřovány tiskové papíry, nebude problém použít hodnoty kolem 50–200 $\mu\text{m/s}$, ale např. u jiných materiálů by tyto rychlosti mohly být vysoké.

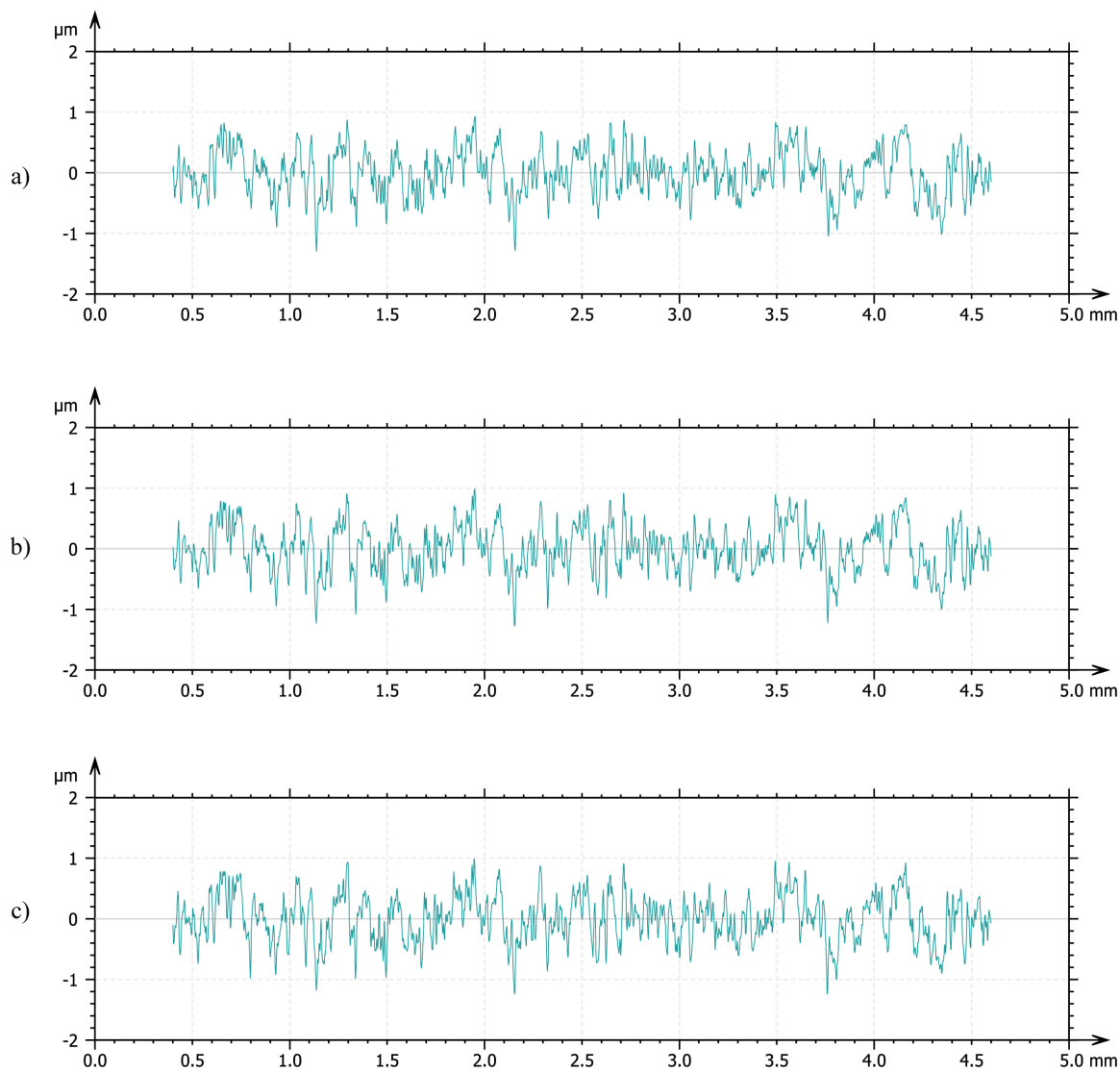
Aplikovaná síla

Maximální doporučená hodnota pro hrot o poloměru 2 μm jsou 2 mg. Z naměřených dat tedy nelze s jistotou vyhodnotit, že by takto nízké hodnoty ovlivňovaly kvalitu skenování povrchu papíru. Zajímavou úvahou by bylo to, jak velká síla negativně ovlivňuje měření, což však není možné s ohledem na případné poškození snímacího hrotu při nastavení vyšších hodnot (lze nastavit hodnotu aplikované síly až na 50 mg). Pokud by byl měřen měkký substrát či vzorek, který bude snadno poškrábán, pak bude důležité snížit aplikovanou sílu, aby nedošlo k poškození vzorku a zároveň k nepřesnému změření jeho povrchové struktury.

Také je důležité, aby každé další měření probíhalo v místě, kde ještě nedošlo ke kontaktu vzorku se skenovacím hrotem, neboť by mohlo dojít např. k mírnému vyhlazení a tím ke snížení hodnot drsnosti, i přes to, že je aplikovaná síla nízká. Pokud je měřen materiál, jehož povrch není hladký, s nízkými hodnotami aplikované síly by mohlo být ovlivněno přesné snímání prohlubní.

Tabulka 15: Hodnoty parametru R_c matně natíraného papíru pro různé hodnoty aplikované síly

Roughness profile parametr R_c	Aplikovaná síla [mg]			
	0,05	0,20	0,50	2,00
Průměrná hodnota [μm]	1,12	0,94	1,08	0,98
Medián [μm]	1,12	0,93	1,12	0,97
Směrodatná odchylka [μm]	0,11	0,09	0,10	0,10



Information	
Profile	Roughness profile
Filter settings	Gaussian filter, cut-off 0.800 mm

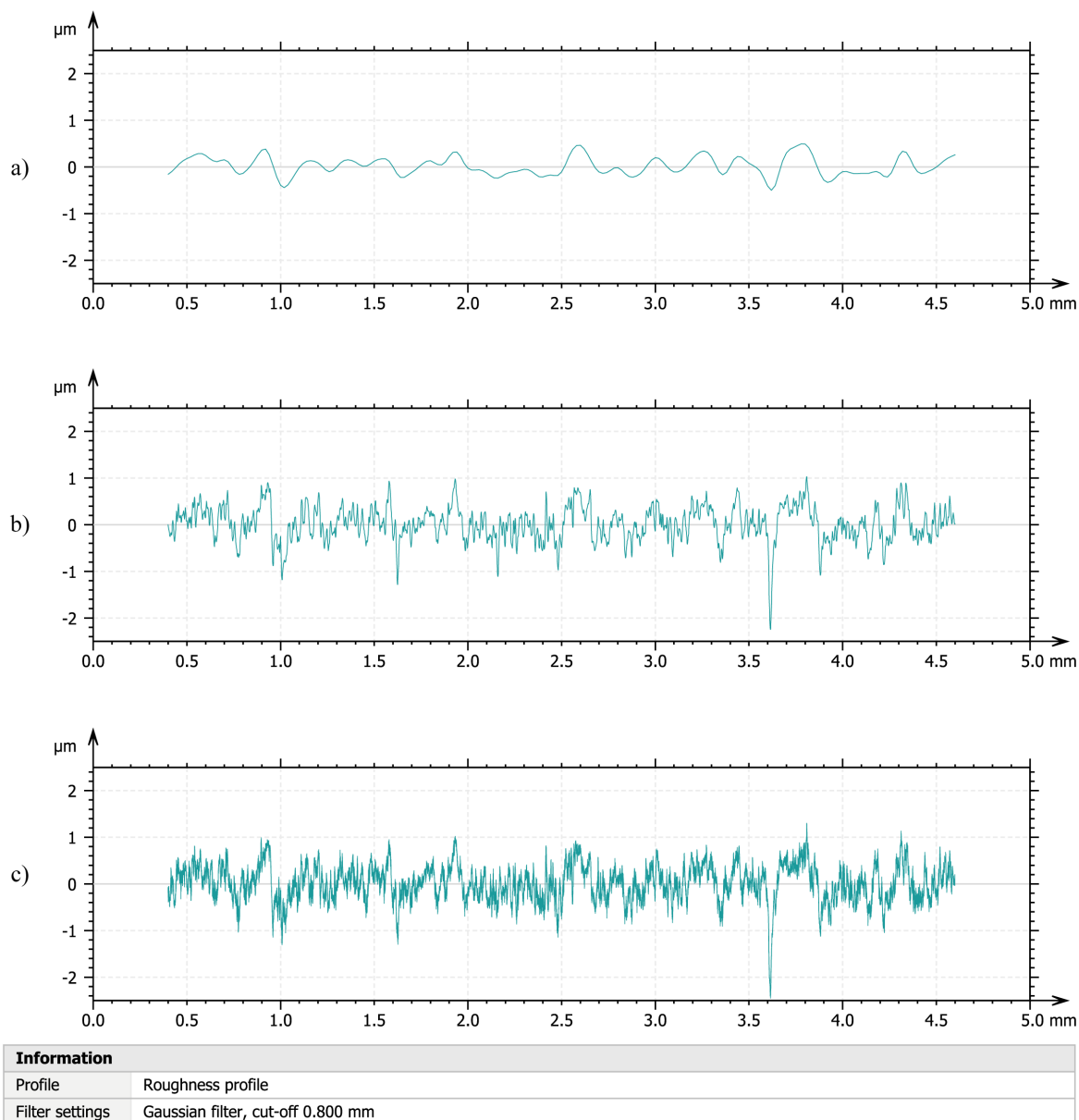
Obrázek 18: Porovnání výsledků 2D skenování (profil drsnosti) matně natíraného papíru pomocí profilometru pro hodnoty aplikované síly a) 0,03 mg, b) 0,2 mg s a c) 2 mg

Vzorkovací frekvence

Počet bodů, které jsou vyhodnoceny měřením, je při nízkých frekvencích značně omezen a dochází tak ke ztrátě cenných detailů. Pokud je interval mezi body příliš velký, neodpovídají jednotlivé hloubky prohlubní a vyvýšených míst reálnému povrchu měřeného substrátu a získané informace jsou zkreslené. Jak lze vidět v tabulce 16 – v případě velmi vysoké hodnoty vzorkovací frekvence nedosahuje průměrná hodnota drsnosti vyšších hodnot než při výchozím nastavení 100 Hz. Což může být opět způsobeno měřením rozdílného místa na vzorku.

Tabulka 16: Hodnoty parametru R_c matně natíraného papíru pro různé hodnoty vzorkovací frekvence

Roughness profile parametr R_c	Vzorkovací frekvence [Hz]		
	5	100	2000
Průměrná hodnota [μm]	0,86	1,08	0,82
Medián [μm]	0,86	1,12	0,79
Směrodatná odchylka [μm]	0,13	0,10	0,13



Obrázek 19: Porovnání výsledků 2D skenování (profil drsnosti) matně natíraného papíru pomocí profilometru pro hodnoty vzorkovací frekvence a) 5 Hz, b) 100 Hz a c) 2 000 Hz

6.2.2 3D skenování

Při měření 3D povrchu testovaných papírů bylo primárně využito toho, co oproti jiným tato metoda nabízí – trojrozměrný pohled na snímaný povrch. Pokud jsou použity metody, které fungují na principu průchodu vzduchu, jen těžko si lze představit reálný detailní povrch daného substrátu. Nevýhodou pak může být malá oblast měření, kterou lze nastavit v ose X na maximálně 2 mm. Na obrázku 20 lze vidět porovnání ofsetového, matně a leskle natíraného papíru i s histogramy, díky kterým zhodnotit, v jakém rozmezí se pohybují hodnoty drsnosti.

V tabulkách 15–17 jsou uvedeny hodnoty výškového parametru S_a , který udává průměrnou aritmetickou výšku posuzované plochy a lze ji tedy srovnávat s průměrnou hodnotou drsnosti povrchu. Dle naměřených dat nelze konstatovat, že by počet řádků měl stejný vliv u všech testovaných substrátů, ale čím méně řádků by bylo použito pro danou skenovanou plochu, o to více by naměřená data ztrácela na detailech. Stejně jako u 2D měření, v případě vysokých skenovacích rychlostí bude docházet ke snižování drsnosti a zkrácení vyhodnocení povrchové struktury.

Tabulka 17: Hodnoty parametru S_a ofsetového papíru pro různé hodnoty skenovací rychlosti a počet řádků

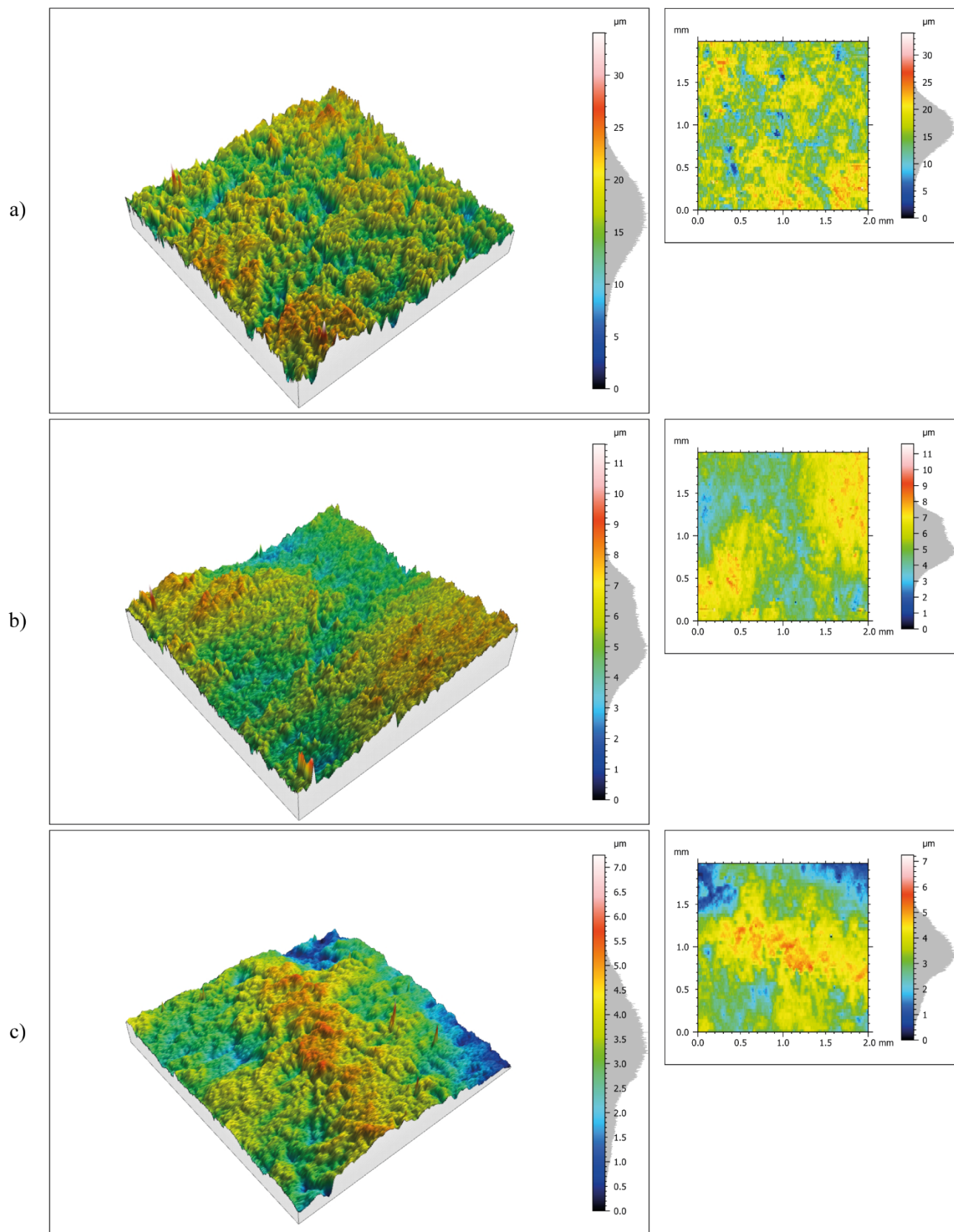
Výškový parametr S_a	SS 100 / T 100	SS 100 / T 50	SS 200 / T 100
Průměrná hodnota [μm]	2,95	3,81	3,39
Medián [μm]	2,88	3,74	3,52
Směrodatná odchylka [μm]	0,19	0,26	0,41

Tabulka 18: Hodnoty parametru S_a matně natíraného papíru pro různé hodnoty skenovací rychlosti a počet řádků

Výškový parametr S_a	SS 100 / T 100	SS 100 / T 50	SS 200 / T 100
Průměrná hodnota [μm]	1,54	1,43	1,11
Medián [μm]	1,17	1,04	1,14
Směrodatná odchylka [μm]	0,82	0,74	0,10

Tabulka 19: Hodnoty parametru S_a leskle natíraného papíru pro různé hodnoty skenovací rychlosti a počet řádků

Výškový parametr S_a	SS 100 / T 100	SS 100 / T 50	SS 200 / T 100
Průměrná hodnota [μm]	1,23	1,02	1,28
Medián [μm]	1,12	0,99	1,50
Směrodatná odchylka [μm]	0,55	0,47	0,44



Obrázek 20: Porovnání výsledků 3D skenování pomocí profilometru pro
 a) ofsetový papír, b) matně natíraný papír a c) leskle natíraný papír

6.2.3 IGT testovací metody

W28 IGT drsnost

Pro většinu vyhodnocovaných vzorků byla IGT drsnost stanovena výpočtem, protože stupnice nomogramu začíná na hodnotě šířky skvrny 8 mm, které na většině vzorků nebylo dosaženo.

Pro ofsetový papír byl vyhodnocen jako vhodný objem kapek hodnota 5 mm^3 – tedy 5 kapek. Pro matně natíraný papír nejvyšších hodnot drsnosti dosahoval vzorek s použitím 1 mm^3 , který byl hodnotou blíže k výsledkům měření drsnosti podle Parkera. V porovnání vyhodnocování podle snímací kamery, která je součástí přístroje Amsterdam 2, a ručního měření si lze všimnout vyšších hodnot u ofsetového papíru při měření ručním. U matně natíraného papíru se objevuje vyšší hodnota jen pro objem kapaliny 1 mm^3 a s přidáním další kapky tato hodnota naopak klesá. Pokud by byla porovnávána odchylka mezi vyhodnocením dle výpočtu a pomocí nomogramu, tak by byla velice malá. K největšímu rozdílu docházelo u vyhodnocení leskle natíraného papíru v případě ručního měření.

Tabulka 20: Výsledky měření pro metodu W28 IGT drsnost s využitím zabudované kamery

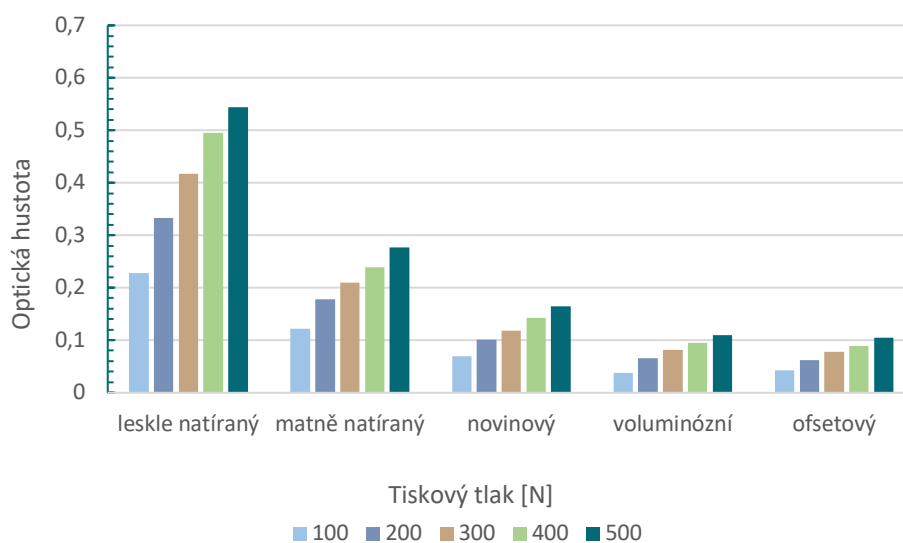
Objem kapaliny [mm^3]	Drsnost [cm^3/m^2]					
	ofsetový papír		matně natíraný papír		leskle natíraný papír	
	výpočet	nomogram	výpočet	nomogram	výpočet	nomogram
1	$5,45 \pm 0,31$	–	$1,33 \pm 0,24$	–	$0,71 \pm 0,05$	–
2	$5,79 \pm 0,36$	–	$1,15 \pm 0,09$	$1,15 \pm 0,13$	–	–
3	$5,97 \pm 0,52$	–	–	–	–	–
4	$5,86 \pm 0,26$	–	–	–	–	–
5	$6,18 \pm 0,21$	–	–	–	–	–
6	$5,98 \pm 0,11$	–	–	–	–	–

Tabulka 21: Výsledky měření pro metodu W28 IGT drsnost s využitím ručního měření

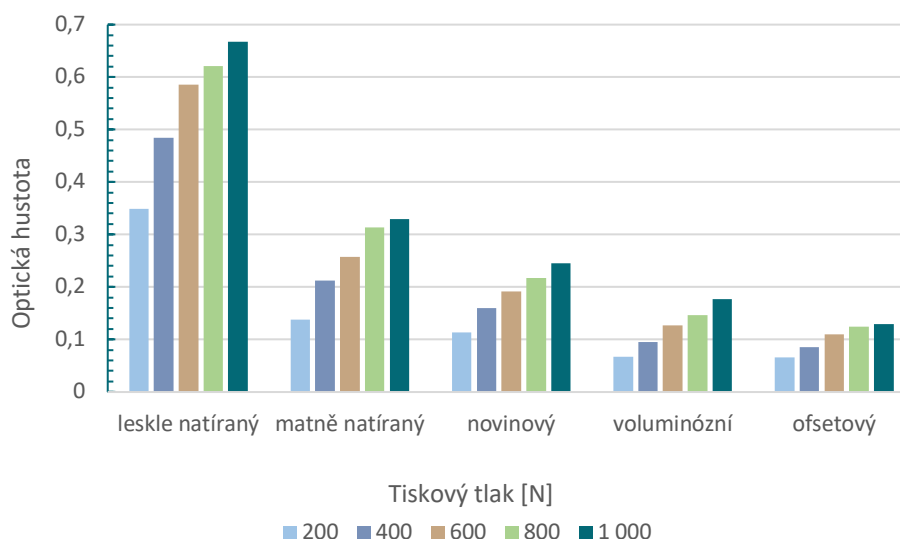
Objem kapaliny [mm ³]	Drsnost [cm ³ /m ²]					
	ofsetový papír		matně natíraný papír		leskle natíraný papír	
	výpočet	nomogram	výpočet	nomogram	výpočet	nomogram
1	5,61 ± 0,74	–	1,45 ± 0,23	–	0,61 ± 0,07	0,56 ± 0,03
2	6,11 ± 0,52	–	1,10 ± 0,02	1,08 ± 0,04	–	–
3	6,54 ± 0,79	–	–	–	–	–
4	6,94 ± 0,66	–	–	–	–	–
5	7,14 ± 1,01	–	–	–	–	–
6	7,26 ± 0,48	–	–	–	–	–

W77 Tisková hladkost

Jelikož tato metoda nemá měřitelné vyhodnocení, bylo součástí diplomové práce i vytvoření brožury k této IGT metodě, která obsahuje etalon tiskové hladkosti pro tiskové papíry k porovnání při použití pro další testování. Pro porovnání byly pomocí spektrofotometru změřeny optické hustoty azurové barvy a následně znázorněny v grafech 1 a 2 pro dvě rozmezí tiskových tlaků. Nejvyšších optických hustot dosahoval leskle natíraný papír s nejnižšími naměřenými hodnotami drsnosti. V porovnání novinového, voluminózního a ofsetového papíru nedocházelo k příliš velkým odchylkám. Na vyšší optické hustotě se také odráží vyšší tiskový tlak.



Graf 1: Porovnání optických hustot testovaných papírů pro metodu W77 Tisková hladkost s nastavením rozsahu tiskových tlaků 100–500 N



Graf 2: Porovnání optických hustot testovaných papírů pro metodu W77 Tisková hladkost s nastavením rozsahu tiskových tlaků 200–1 000 N

6.3 Porovnání metod

Tabulka 22: Shrnutí výsledků měření mediánu drsnosti jednotlivých metod pro lícovou stranu papíru

papír	Drsnost podle Bendtsena [ml/min]	Drsnost podle Parkera [μm]	Drsnost 2D profilometrie [μm]	Drsnost 3D profilometrie [μm]	W28 IGT drsnost ručně [μm]	W28 IGT drsnost kamera [μm]
ofsetový	144 ± 8	5,27 ± 0,08	5,53 ± 0,49	2,88 ± 0,19	7,26 ± 0,48	5,98 ± 0,11
matně natíraný	3 ± 1	1,53 ± 0,02	1,12 ± 0,10	1,12 ± 0,10	1,10 ± 0,02	1,15 ± 0,09
leskle natíraný	–	1,21 ± 0,02	0,84 ± 0,16	1,12 ± 0,55	0,61 ± 0,07	0,71 ± 0,05
voluminózní	682 ± 80	6,45 ± 0,12	–	–	–	–
novinový	131 ± 15	4,37 ± 0,14	–	–	–	–

Tabulka 22 shrnuje výsledky jednotlivých metod a hodnoty drsnosti testovaných tiskových papírů. V případě ofsetového papíru jsou výsledky metody podle Parkera, 2D profilometrie (v základním nastavení A1, parametr R_c) a metody W28 IGT drsnost vyhodnocené pomocí snímací kamery téměř shodné. U ručního měření metody W28 je tato hodnota vyšší. To může být zapříčiněno např. nepřesným naměřením

délky a šířky skvrny nebo mohla být skvrna nějakým způsobem deformovaná. Hodnoty 3D profilometrie (parametr S_a) byly naopak nižší, což mohlo být způsobeno kombinací velikosti snímacího hrotu a tvarem prohlubní, které pak profilometr nebyl schopen přesně změřit.

Nejvyšší hodnoty drsnosti u matně natíraného papíru vykazovala metoda podle Parkera, ostatními metodami byly získány hodnoty menší, které byly mezi sebou téměř shodné. Pomocí 3D profilometrie pak byly naměřeny výsledky shodné s leskle natíraným papírem, kde byl však ostatními metodami matně natíraný papír hodnocen jako drsnější.

U leskle natíraného papíru byla nejvyšší hodnota drsnosti změřena metodou drsnosti podle Parkera, velmi podobné výsledky byly poskytnuty i 3D profilometrií. Naopak nižší hodnoty byly zaznamenány 2D profilometrií a metodou W28 s použitím snímací kamery. Nejnižší hodnoty byly získány metodou W28 a ručním měřením.

V případě leskle a matně natíraných papírů byly všeobecně nejvyšší hodnoty naměřeny metodou podle Parkera. Výsledky metody W28 jak pomocí kamery, tak ručním měřením, byly velice podobné.

Nelze všeobecně říct, jakou metodou je možné získat nejsprávnější výsledky, ale u metod profilometrických může docházet k tomu, že jsou získané hodnoty nižší, kvůli omezení velikostí skenovacího hrotu. Pokud je porovnáván postup vyhodnocení rozměrů skvrny při použití metody W28 pomocí snímací kamery, která je zabudovaná v přístroji, nebo ručním měřením, záleží pak na více faktorech. Pokud má skvrna pravidelný tvar, bude jistě lépe a přesněji vyhodnocena. U ručního měření pak záleží také na pečlivosti a přesnosti. S ohledem na výsledky u leskle a matně natíraných papírů lze ale říct, že hodnoty těchto dvou postupů se od sebe příliš neliší. Nicméně každá metoda má své využití a pomocí jejich kombinace je možné získat mnoho informací a parametrů povrchu papíru.

7 Závěr

Cílem této práce bylo porovnání dostupných metod měření hladkosti či drsnosti povrchové struktury tiskových papírů. Každá metoda má své výhody či nevýhody, nicméně jejich kombinací je možné získat rozdílné pohledy na testovaný povrch. U tiskových papírů je primárně kladen důraz na dobrou potiskovatelnost určitou tiskovou technologií.

Klasické metody, které jsou schopné poskytnout jen hodnoty drsnosti či hladkosti, jsou využívány pro jejich jednoduchost a časovou nenáročnost. Pro tyto metody není potřebná speciální úprava či příprava testovaných substrátů. Jediným omezením byla nedostatečná schopnost měřit nízké hodnoty drsností u leskle natíraného papíru metodou podle Bendtsena. Nejsou však schopny poskytnout detailnější pohled na strukturu vzorku.

Proto je výhodné tyto postupy rozšířit o metody pracující na jiném principu jako je např. přímá profilometrie, díky které lze vyhodnotit strukturu povrchu v řádech mikrometrů jak ve dvou rozměrech, tak i trojrozměrně. Výhodou je také posuzování nejen samotné drsnosti, ale celkového povrchu a jednotlivých parametrů, které mohou být použity ke specifickému testování např. ve strojírenství pro hodnocení kovových povrchů. U profilometrie může docházet k řadě omezení, kvůli kterým nemusí být možné přesně interpretovat reálnou strukturu. První omezení může představovat už samotný poloměr skenujícího hrotu. Pokud je hrot příliš velký, není schopen vyhodnotit nejmenší prohlubně a měření je tak zkreslené a ochuzené o cenná data. S ohledem na časovou náročnost je také potřeba přemýšlet nad vhodně zvolenými parametry měření, zbytečně nízká rychlost prodlužuje dobu měření, a naopak příliš vysoká má negativní dopad na kvalitu snímání a detailnost dat. Vhodně zvolená vzorkovací frekvence pak nemá vliv na délku snímání, není však potřeba ji nastavovat na nejvyšší hodnotu, dostačující bývají hodnoty nastavené okolo 100–200 Hz. V případě skenování papíru nehraje aplikovaná síla velkou roli, protože i samotný hrot má své limity a mohl by být poškozen, kdyby byla použita síla příliš velká. Je převážně nutné zamezit opakovanému skenování stejného místa, protože může docházet k jeho vyhlazení, a to i v případě nízkých hodnot aplikované síly. Snižování hodnoty má však význam u měkčích vzorků, které se mohou snadno poškrábat, a tak může dojít k jejich nevratnému poško-

zení, či získat neodpovídající naměřená data. U profilometrických měření jsou výsledky ovlivňovány mnoha proměnnými ať už ze strany vzorku, samotného přístroje nebo nastavení parametrů skenování. Proto by jednotlivé parametry profilů povrchu stály za detailnější rozebrání a proměření do větší hloubky v rámci samostatné práce. V této práci však bylo primárním cílem otestovat dostupné metody a porovnat, jak mohou být využity a za jakých podmínek.

Při využití IGT tiskových metod je výhodou možnost vícero postupů vyhodnocení, otázkou je, jak přesně je kamera schopna vyhodnotit nedokonalou skvrnu či jak přesně a pečlivě jsou změřeny její rozměry v případě ručního měření. Tyto metody jsou vhodné nejen pro testování povrchové struktury, ale převážně pak pro testování tiskových vlastností.

Součástí výstupu této diplomové práce bylo také zhotovení brožury pro metodu W77 Tisková hladkost, která má za úkol shrnout postup metody a rozšířit samotný návod od výrobce o etalon tiskové hladkosti pro základní tiskové papíry a sloužit ke srovnání výsledků v dalších měřeních. Jednotlivé výtisky byly také proměřeny spektrofotometrem pro porovnání vybarvení ploch jednotlivých tiskových papírů při různých tlacích. Celkově lze říct, že u papírů s nižšími hodnotami drsnosti (tedy s hladší povrchovou strukturou), se jevily potištěné plochy jako tmavší. Stejně tak se vzrůstajícím tiskovým tlakem docházelo k vyššímu pokrytí povrchu papíru. U drsnějších povrchů byly plochy světlejší, neboť se barva nebyla schopna dostat do zahloubených míst.

Použitá literatura

- [1] M. KAPLANOVÁ. *Moderní polygrafie*. 1. vyd. Praha: Svaz polygrafických podnikatelů, 2009. ISBN 978-80-254-4230-2.
- [2] W. E. SCOTT, J. C. ABBOTT a S. TROSSET. *Properties of paper: an introduction*. 2nd ed., rev. Atlanta, GA: TAPPI Press, 1995. ISBN 0898520622.
- [3] J. GEBRTOVÁ. *Tiskové papíry a jejich vlastnosti*. 1. vyd. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2006. ISBN 80-7194-900-0.
- [4] *Živočišná vlákna: Zbožiznaleské charakteristiky živočišných vláken*. Technická univerzita v Liberci [online]. [cit. 2021-01-23]. Dostupné z: <https://elearning.tul.cz/mod/book/view.php?id=81748>
- [5] J. FLEIŠMANNOVÁ. *Papíry pro inkoustový tisk*. Vseotisku.cz [online]. [cit. 2021-01-26]. Dostupné z: <https://www.vseotisku.cz/papiry-pro-inkoustovy-tisk/>
- [6] J. E. KASMANI, S. MAHDAVI, A. ALIZADEH, M. NEMATİ a Ahmad SAMARIHA. *Physical Properties and Printability Characteristics of Mechanical Printing Paper with LWC*. BioResources [online]. 2013, 8(3), 3646-3656 [cit. 2021-01-23]. ISSN 1930-2126. doi:10.15376/biores.8.3.3646-3656
- [7] Y. V. SOOD, S. TYAGI, R. TYAGI a R. TANDON. *Effect of base paper characteristics on coated paper quality*. Indian Journal of Chemical Technology: Vo. 17. 17(4). 2010, s. 309–316.
- [8] M. SOUČEK. *Zkoušení papíru*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1977. Řada papírenské literatury.
- [9] ČSN EN ISO 536. *Papír a lepenka – Stanovení plošné hmotnosti*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2020. Třídící znak 50 0304.
- [10] *Handbook of Pulping and Papermaking* [online]. Elsevier, 1996 [cit. 2021-01-02]. ISBN 9780120973620. doi:10.1016/B978-0-12-097362-0.X5000-6
- [11] ČSN EN ISO 534. *Papír a lepenka – Stanovení tloušťky, hustoty a měrného objemu*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012, 16 s. Třídící znak 50 0311.
- [12] I. JURIČ, I. KARLOVIĆ a I. TOMIĆ. *Influence of surface properties of ink jet papers on print sharpness*. Symposium on Graphic Arts. University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences Department of Graphic Engineering and Design, Novi Sad, Serbia, 2013, s. 121–126.
- [13] S. P. SINGH. *A comparison of different methods of paper surface smoothness evaluation*. BioResources. 3(2). 2008, s. 503-516.

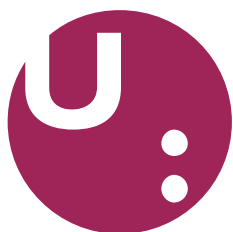
- [14] M. METTÄNEN a U. HIRN. *A comparison of five optical surface topography measurement methods*. TAPPI Journal [online]. 2015, 14(1), 27-38 [cit. 2021-01-23]. ISSN 0734-1415. doi:10.32964/10.32964/TJ14.1.27
- [15] G. CHINGA-CARRASCO. *Exploring the multi-scale structure of printing paper – a review of modern technology*. Journal of Microscopy [online]. 2009, 234(3), 211-242 [cit. 2020-12-25]. ISSN 00222720. doi:10.1111/j.1365-2818.2009.03164.x
- [16] M. S. REIS a P. M. SARAIVA. *Analysis and Classification of the Paper Surface*. Industrial & Engineering Chemistry Research [online]. 2010, 49(5), 2493-2502 [cit. 2021-01-23]. ISSN 0888-5885. doi:10.1021/ie901688w
- [17] K. VAČKÁŘOVÁ. *Metody hodnocení struktury papíru*. 2007. Bakalářská práce. Univerzita Pardubice, Katedra polygrafie a fotofyziky. Vedoucí práce Ing. Hana Holická, Ph.D.
- [18] A. PINO, P. S. HUANG, T. YOSHIZAWA, J. PLADELLORENS a K. G. HARDING. *Measure of roughness of paper using speckle* [online]. [cit. 2021-01-23]. doi:10.1117/12.825072
- [19] A. ALAM, A. MANUILSKIY, J. THIM, M. O'NILS, J. LINDGREN a J. LIDÉN. *Online surface roughness characterization of paper and paperboard using a line of light triangulation technique*. Nordic Pulp & Paper Research Journal [online]. 2012, 27(3), 662-670 [cit. 2021-01-23]. ISSN 2000-0669. doi:10.3183/npprj-2012-27-03-p662-670
- [20] Č. SKALICKÝ a M. VONDRÁKOVÁ. *Speciální vláknité struktury*. 1. vyd. Pardubice: Vysoká škola chemicko-technologická, 1990.
- [21] *Optical Profilometry*. Nanoscience Instruments [online]. [cit. 2021-01-26] Dostupné z: <https://www.nanoscience.com/techniques/optical-profilometry/>.
- [22] *Optical profilometer*. ST Instruments B. V. [online]. [cit. 2021-01-26]. Dostupné z: <https://www.stinstruments.com/optical-profilometer/>
- [23] D. ANGÉLICO, M. REIS, R. COSTA, P. SARAIVA a J. ATAÍDE. *Profilometry: A Technique to Characterize Paper Surface*. Tecnicelipa – XIX Encontro Nacional. Tomar, Portugal, 2005. Dostupné také z: <https://www.tecnicelipa.com/files/Profilometry.pdf>
- [24] ČSN EN ISO 4287 ZMĚNA A1. *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Termíny, definice a parametry struktury povrchu*. 2010. Třídící znak: 01 4450
- [25] J. METELKOVÁ. *Pokročilé metody vyhodnocování topografie povrchu*. Brno, 2014. Bakalářská práce. Fakulta strojního inženýrství. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Prof. Ing. Miroslav Piška, CSc.
- [26] *KLA-Tencor P-17 / P-7 User's Guide: 9021917-000AA*. 07/2016. KLA-TENCOR CONFIDENTIAL, 2016.

- [27] ISO 5627:1995. *Paper and board – Determination of smoothness (Bekk method)*. 2. 1995, 7 s. ICS: 85.060.
- [28] F. LÉBR, G. ADÁMKOVÁ a S. KOLDA. *Zkušebnictví*. Vysoká škola chemicko-technologická v Pardubicích, 1984.
- [29] ČSN ISO 8791-2. *Papír a lepenka – Stanovení drsnosti/hladkosti (metody úniku vzduchu) – Část 2: Metoda podle Bendtsena*. Česká agentura pro standardizaci, 2020, 24 s. Třídící znak 50 0419.
- [30] ISO 8791-4:2021. *Paper and board – Determination of roughness/smoothness (air leak methods) – Part 4: Print-surf method*. 3rd ed. 2021, 17 s. ICS: 85.060.
- [31] IGT TESTING SYSTEMS. *W24 IGT print penetration*. Dostupné také z: <https://www.igt.nl/wp-content/uploads/W24.pdf>
- [32] IGT TESTING SYSTEMS. *W28 IGT roughness*. Dostupné také z: <https://www.igt.nl/wp-content/uploads/W28.pdf>
- [33] IGT TESTING SYSTEMS. *W31 IGT picking, aluminium, ISO 3783*. Dostupné také z: <https://www.igt.nl/wp-content/uploads/W31.pdf>
- [34] IGT TESTING SYSTEMS. *W43 Striking through*. Dostupné také z: <https://www.igt.nl/wp-content/uploads/W43.pdf>
- [35] IGT TESTING SYSTEMS. *W50 Ink transfer*. Dostupné také z: <https://www.igt.nl/wp-content/uploads/W50.pdf>
- [36] IGT TESTING SYSTEMS. *W60 Felt and wire side determination*. Dostupné také z: <https://www.igt.nl/wp-content/uploads/W70.pdf>
- [37] IGT TESTING SYSTEMS. *W77 Printing smoothness*. Dostupné také z: <https://www.igt.nl/wp-content/uploads/W77.pdf>
- [38] *Scanning Electron Microscopy*. Nanoscience Instruments [online]. [cit. 2021-01-26]. Dostupné z: <https://www.nanoscience.com/techniques/scanning-electron-microscopy/>
- [39] G. CHINGA. *Structural studies of LWC paper coating layers using SEM and image analysis techniques*. 2002. Norwegian University of Science and Technology, Department of Chemical Engineering. Vedoucí práce Professor Torbjørn Helle.
- [40] *Elektronová mikroskopie transmisní a rastrovací* [online]. Společná laboratoř optiky UP a FZÚ AV ČR [cit. 2021-01-26]. Dostupné z: http://jointlab.upol.cz/soubusta/OSYS/EI_mikr/EI_mikr.html
- [41] A. T. VICENTE, A. ARAÚJO, D. GASPAR et al. *Optoelectronics and Bio Devices on Paper Powered by Solar Cells*. DAS, Narottam, ed. Nanostructured Solar Cells [online]. InTech, 2017 [cit. 2021-01-26]. ISBN 978-953-51-2935-6. doi:10.5772/66695

- [42] Ž. PAVLOVIĆ, D. RISOVIĆ a D. NOVAKOVIĆ. *Comparative study of direct and indirect image-based profilometry in characterization of surface roughness*. Surface and Interface Analysis [online]. 2012, 44(7), 825-830 [cit. 2021-06-26]. ISSN 01422421. doi:10.1002/sia.4889
- [43] *Atomic Force Microscopy*. Nanoscience Instruments [online]. [cit. 2021-01-24]. Dostupné z: <https://www.nanoscience.com/techniques/atomic-force-microscopy/>
- [44] R. KARTHIK, T. SREE RENGARAJA a T. SUDHAKAR. *Deterioration of solid insulation for thermal degradation of transformer oil*. Open Engineering [online]. 2013, 3(2) [cit. 2021-01-28]. ISSN 2391-5439. doi:10.2478/s13531-012-0051-z
- [45] I. DOLEŽAL. *Přehled chyb v ofsetovém tisku (IX)*. Vseotisku.cz [online]. [cit. 2021-01-25]. Dostupné z: <https://www.vseotisku.cz/prehled-chyb-v-ofsetovem-tisku-ix/>
- [46] G. KONEČNÝ. *Tisk na recyklovaný papír*. Vseotisku.cz [online]. [cit. 2021-01-26]. Dostupné z: <https://www.vseotisku.cz/tisk-na-recyklovany-papir/>
- [47] H. WILKEOVÁ. *Prorážení tiskové barvy na tenkých tiskových papírech*. 2017. Bakalářská práce. Univerzita Pardubice, Katedra polygrafie a fotofyziky. Vedoucí práce Ing. Hana Holická, Ph.D.
- [48] Ž. KRČMÁŘOVÁ. *Vliv vlastností papíru na prorážení tiskové barvy*. 2019. Bakalářská práce. Univerzita Pardubice, Katedra polygrafie a fotofyziky. Vedoucí práce Ing. Hana Holická, Ph.D.
- [49] P. DAHLVIK, G. BLUVOL, K. KAGERER a M. ARNOLD. *Factors Influencing Surface Strength of Coated Papers*. JAPAN TAPPI JOURNAL [online]. 2011, 65(5), 465-468 [cit. 2021-01-23]. ISSN 0022-815X. doi:10.2524/jtappij.65.465
- [50] J. PRESTON, C. NUTBEEM, P. HEARD a R. WYGANT. *Coating structure requirements for improved rotogravure printability and reduced ink demand*. TAPPI Coating & Graphic Arts Conference. Miami, USA, 2007, s. 18-23.
- [51] *Tencor™ P-7* [online]. KLA Corporation [cit. 2021-06-16]. Dostupné z: <https://www.kla-tencor.com/products/instruments/stylus-profilers/p-7>
- [52] C. LEISING. *Paper Surface Roughness Using 3D Profilometry*. Nanovea, 2010.
- [53] *Amsterdam 2* [online]. IGT Testing Systems [cit. 2021-07-10]. Dostupné z: <https://www.igt.nl/product/amsterdam-2/>
- [54] *High Speed Inking Unit 4* [online]. IGT Testing Systems [cit. 2021-07-10]. Dostupné z: <https://www.igt.nl/product/high-speed-inking-unit-4/>
- [55] *Short manual for KLA Tencor Profiler* [online]. [cit. 2021-06-16]. Dostupné z: <https://www.nanophys.kth.se/nanolab/profiler/webman/profiler.html>

Přílohy

W77 | Tisková hladkost





Tento materiál byl zpracován jako součást diplomové práce

Hodnocení povrchové struktury tiskových papírů

Bc. Zuzana Novotná | 2021

Katedra polygrafie a fotofyziky, Univerzita Pardubice

Popis metody

Poznámka:

Uvedenou délku testovacího proužku je vhodné navýšit o cca 2 cm z důvodu lepší manipulace při jeho lepení.

* 3 proužky pro každou stranu – tedy 6 proužků celkem pro jeden vzorek.



1.	IGT AMSTERDAM 2	
2.	IGT barevníková jednotka	466.000.710
3.	Horní válec se 4 segmenty pro konvenční barvy	466.003.003
4.	IGT pipeta	408.000.200
5.	Hliníkový váleček, 50 mm	402.331.720
6.	Papírová podložka, 55 mm	404.001.005
7.	Tisková barva	404.003.001
Proužky testovaného papíru o velikosti 55 × 340 mm, 6 proužků od každého vzorku*		
Hadr a benzín na čištění		
Podmínky testu		
Tisková síla	1) 500; 400; 300; 200; 100 N 2) 1000; 800; 600; 400; 200 N	
Tisková rychlost	konstantní, 0,2 m/s	
Tloušťka filmu barvy (objem)	0,8 μm (0,03 cm ³)	
Zaškrtačovací políčko Scan (kamera)	dle potřeby aktivní	

Originální verze je k dispozici na www.igt.nl/wp-content/uploads/W77.pdf

Princip metody

Existuje spousta metod pro stanovení drsnosti (hladkosti) papíru. Řada z nich je založena na měření proudění vzduchu mezi povrchem papíru a měrnou hlavou přístroje. Objem vzduchu, který prochází volnými prostory v povrchu papíru přitlačeného na hladkou plochu měrné hlavy je nepřímo úměrný hladkosti papíru. Metody stanovení drsnosti (hladkosti) s využitím potiskovacího přístroje simulují podmínky, kterým je papír vystaven během tiskového procesu. V návodu W28 je popsána metoda, která je založena na zaplnění nerovností povrchu papíru barevnou kapalinou. Níže popsaná metoda W77 je založena na potištění povrchu papíru při použití hladké tiskové formy s tenkým filmem tiskové barvy za nízkého tiskového tlaku, takže dojde k potištění pouze nejvyšších míst povrchové struktury papíru. V závislosti na drsnosti papíru bude na potištěné ploše více nebo méně bílých nepotištěných míst, čím drsnější papír, tím více nepotištěných míst.

Test je možno provádět při 2 různých nastaveních:

W77-1: Tisková síla je nastavena na 500; 400; 300; 200; 100 N

W77-2: Tisková síla je nastavena na 1000; 800; 600; 400; 200 N

Proužek testovaného papíru je potiskován standardní tiskovou barvou na potiskovacím přístroji s použitím hliníkové tiskové formy. Tisk proběhne v pěti krocích, v každém následujícím kroku probíhá tisk s nižší tiskovou silou. Čím drsnější je papír, tím více je na potištěné ploše bílých nepotištěných míst. Výsledky se porovnávají s výsledky jiných (standardních) papírů, nebo se škálou k tomuto účelu připravenou.

Pracovní postup:

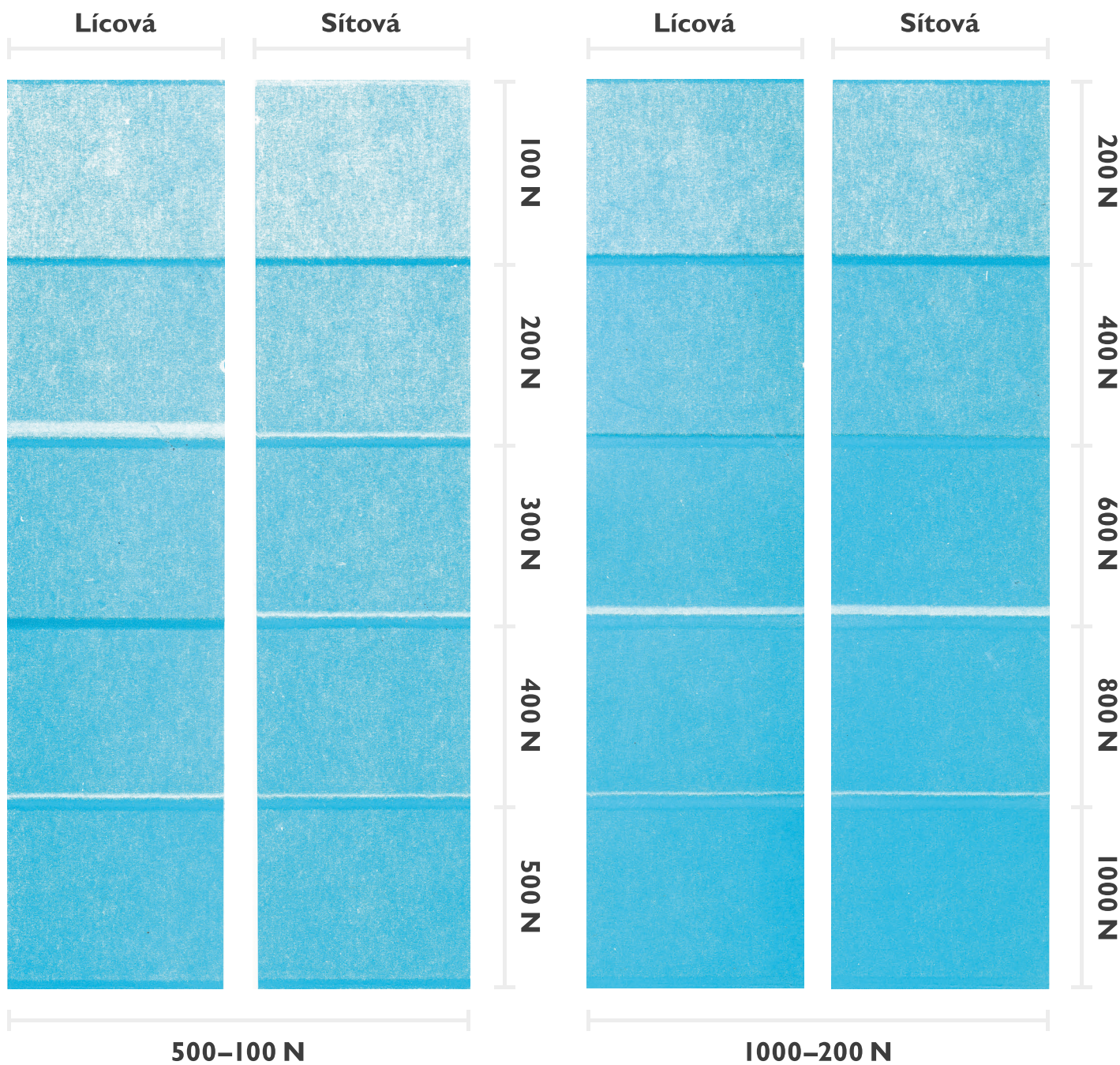
1. Připravte 6 proužků papíru o rozměru 55 × 340 mm, označte strany papíru (1, 2).
2. Vyberte testovací metodu: Print Smoothness 500–100 N nebo I 000–200 N.
3. Dle potřeby označte zaškrťovací políčko **Scan**.
4. Naplňte pipetu tiskovou barvou.
5. Zapněte barevníkovou jednotku, pro rozvalování a navalování barvy zvolte mód 2.
6. Zmáčkněte **Print** k nastavení hřídele I do výchozí polohy.
7. Upevněte proužek testovaného papíru na tlakový válec.
8. Naneste 0,03 cm³ tiskové barvy na segment válce barevníku a nechte barvu rozválet a potom naválet na tiskový váleček.
9. Sundejte tiskový váleček z hřídele barevníkové jednotky a nasadte jej na hřídel I potiskovacího přístroje.
10. Zmáčkněte obě boční tlačítka, proběhne tisk v 5 krocích při různé tiskové síle. Potom kamera, pokud je aktivována, nasnímá tištěný obraz. Uvolněte boční tlačítka.
11. Pokud je aktivována kamera, uložte výsledek testu (viz návod k potiskovacímu přístroji AMSTERDAM).
12. Sundejte proužek testovaného papíru z tlakového válce.
13. Sundejte tiskový váleček a vyčistěte ho benzínem.
14. Vyčistěte válce barevníkové jednotky.
15. Test opakujte (od kroku 7) třikrát pro každou stranu papíru.
16. Po ukončení celého testu zmáčkněte **Back**, uložte data na USB (viz návod k potiskovacímu přístroji AMSTERDAM), vyčistěte a uložte veškeré používané příslušenství.

Vyhodnocení:

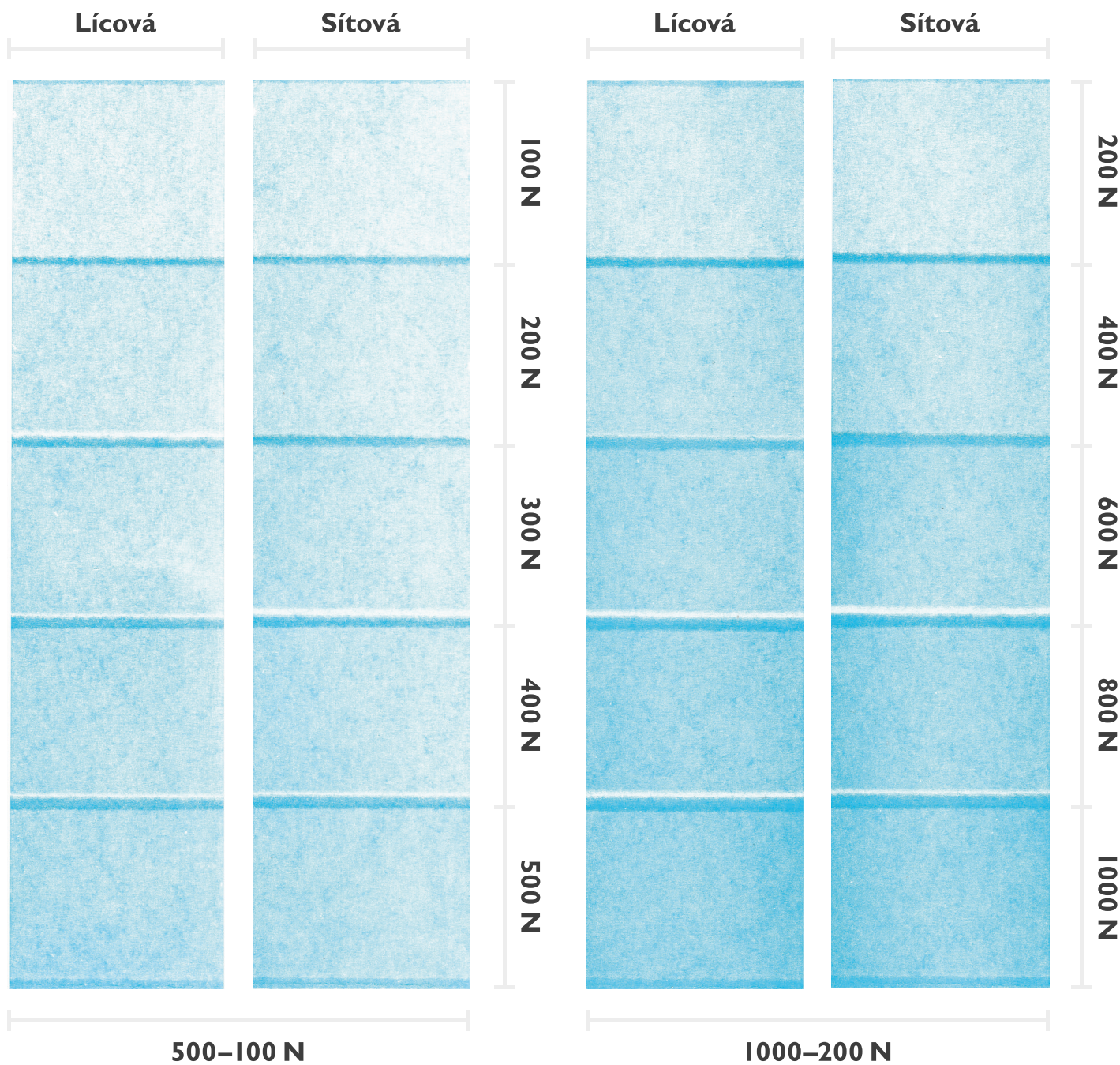
Porovnejte výsledky testu pro jednotlivé papíry s přiloženým etalonem.

Etalon tiskové hladkosti

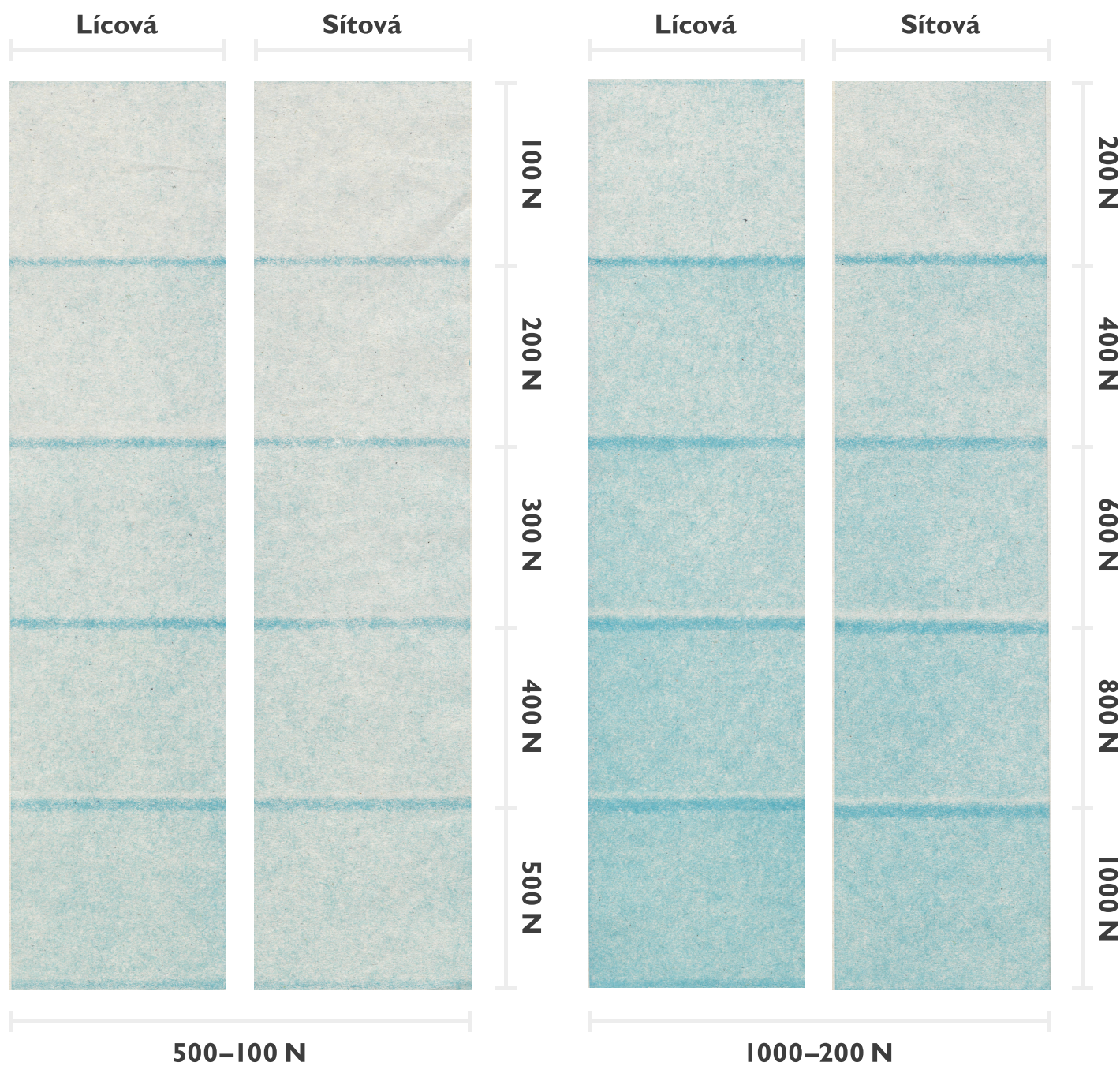
Leskle natíraný papír



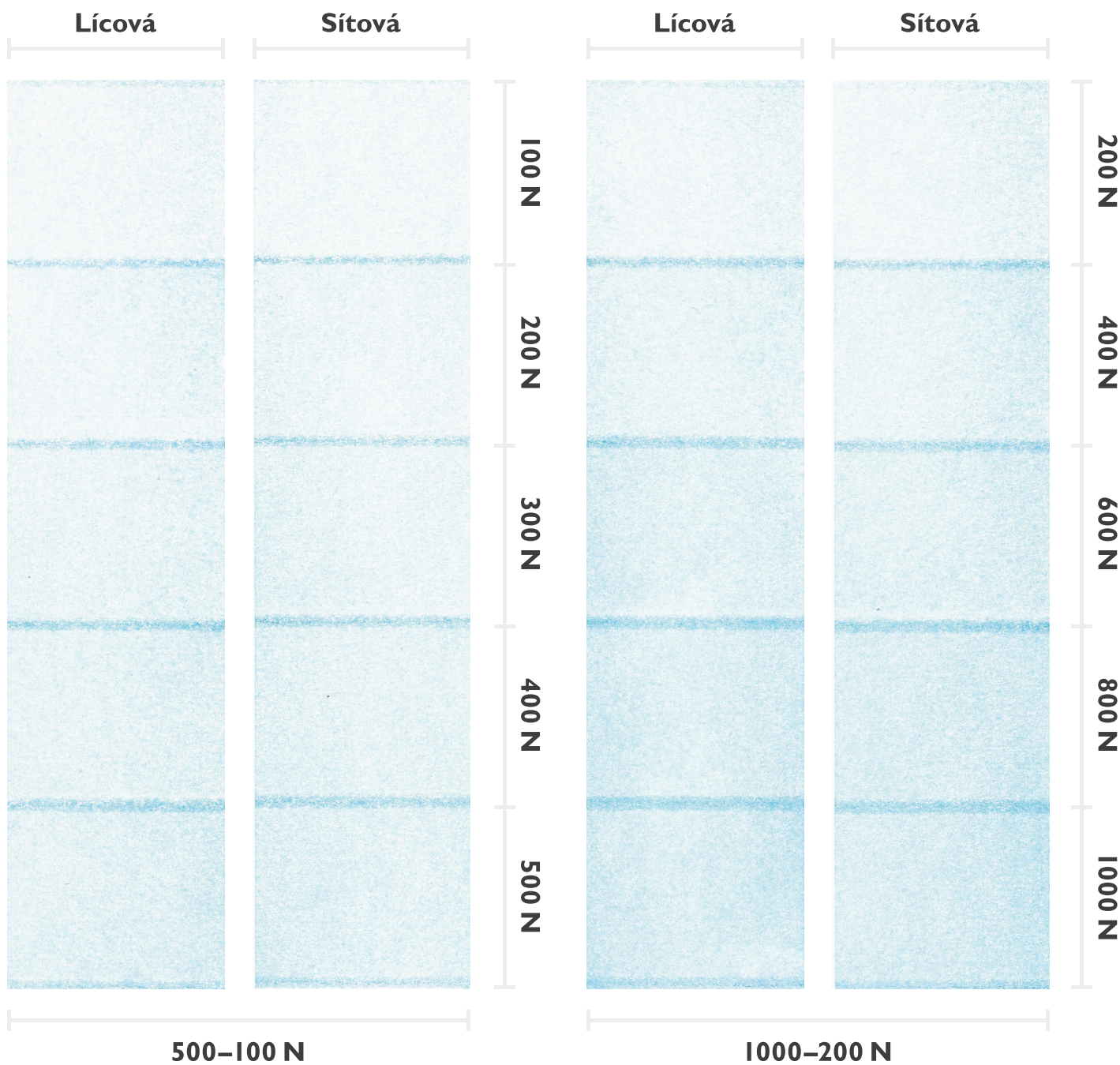
Matně natíraný papír



Novinový papír



Ofsetový papír



Voluminózní papír

