

Univerzita Pardubice

Fakulta chemicko-technologická

Povrchová energie a její vliv na flexotiskový proces

Bc. Martin Šíp

Diplomová práce

2020

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, 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. 9/2012, bude práce zveřejněna v Univerzitní knihovně a prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 30. 6. 2020

Martin Šíp

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



Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Jiřímu Hejdukovi, Ph.D., za odborné vedení, trpělivost, věnovaný čas a připomínky, Ing. Ognenu Pop-Georgievskému, Ph.D., za cenné rady, vstřícnost a umožnění měření na ÚMCH AVČR. Dále bych rád poděkoval personálu KPF za pomoc v průběhu celé práce v prostorách katedry. V neposlední řadě děkuji své snoubence a rodině za jejich morální i finanční podporu během celého studia.

ANOTACE

Tato práce zkoumá vliv povrchové energie a povrchového napětí na přenos tiskové barvy a výslednou kvalitu tisku. Pomocí deseti testovacích kapalin se zjišťovala povrchová energie deseti druhů pryžových flexotiskových návleků, a to metodou přisedlé kapky. Měřilo se na dvou různých přístrojích a data se poté porovnávala. Bylo zjištěno, že díky nehomogenitě pryží nelze zjistit přesnou povrchovou energii pryží, ani její disperzní a polární složku. Následně se měřila povrchová energie polymerních fólií a na základě výsledků byly vybrány tři fólie pro potisk tak, aby škála povrchové energie byla co nejširší. Materiály se pomocí flexotisku potiskly dvěma barvami s rozdílnou bází a povrchovým napětím. Následně se vyhodnocovala denzita tisků.

KLÍČOVÁ SLOVA

povrchová energie, povrchové napětí, pryž, flexotisk

ANNOTATION

This thesis examines the effect of surface energy and surface tension on ink transfer and the resulting print quality. Using ten test fluids, the surface energy of ten types of rubber flexographic sleeves was determined using the sessile drop method. It was measured on two different instruments and the data were then compared. It was found that due to the inhomogeneity of the rubbers, it is not possible to determine the exact surface energy of the rubbers, nor its dispersive and polar components. The surface energy of the polymer films was measured, and based on the results, three films were selected for printing so that the range of surface energy was as wide as possible. The materials were flexographed with two colors with different bases and surface tensions. Subsequently, the density of prints was evaluated.

KEY WORDS

surface energy, surface tension, rubber, flexography

Úvod	12
1 Flexotisk	13
1.1 Flexotiskové stroje	13
1.2 Konstrukce tiskových jednotek	14
1.3 Saueressig Flexo Proofer F.P.100/300	15
1.4 Flexotiskové barvy	16
1.5 Složení flexotiskových barev	17
1.6 Tiskové formy	18
2 Pryžové flexotiskové formy	18
2.1 Vulkanizace kaučuku	19
2.2 Přírodní kaučuk	20
2.3 SBR	21
2.4 NBR	21
2.5 EPDM	22
2.6 Silikonové kaučuky	22
2.7 Smíšené kaučuky	22
2.8 Příprava pryžových flexotiskových forem	23
2.8.1 Vypalování formy laserem	23
2.8.2 Tvarování tiskových kuželek	25
3 Potiskované materiály	25
3.1 PE	26
3.2 PP	26
3.3 PET (PETP)	26
4 Povrchové úpravy polymerních materiálů	27
4.1 Povrchová energie	27
4.2 Polarita	28
4.3 Měření povrchových vlastností	28
4.3.1 Zismanova extrapoláční metoda	29
4.3.2 Owens Wendt, Rabel metoda	30
4.3.3 Wuova teorie harmonického poměru	30
4.4 Chemické úpravy	31
4.5 Fyzikální úpravy	31
4.5.1 Úprava korónovým výbojem	32
4.5.2 Úprava plasmatem	32

5 Experimentální část	33
5.1 Příprava vzorků testovaných pryží.....	34
5.2 Měření povrchové energie pryžových vzorků	35
5.2.1 Standardní podmínky měření.....	36
5.2.2 CAM 100 – KSV Instrument.....	37
5.2.3 Dataphysics Contact Angle System OCA	39
5.3 Povrch pryžových vzorků	42
5.4 Potiskované materiály	43
5.5 Použité tiskové barvy	44
5.6 Potisk flexotiskem.....	45
5.7 Měření optické hustoty	47
6 Výsledky a diskuze.....	48
6.1 Výsledky měření povrchové energie pryžových vzorků	48
6.2 Výsledky měření optické hustoty	53
7 Závěr.....	58
8 Použitá literatura.....	59

Seznam ilustrací a tabulek

Obrázek 1: Možnosti tvarování tiskového bodu přímou gravurou	25
Obrázek 2: Měření kontaktního úhlu θ	28
Obrázek 3: Měřicí přístroj CAM 100 – KSV Instrument	37
Obrázek 4: Výpočet kontaktního úhlu v softwaru CAM 100.....	38
Obrázek 5: Různé chování kapalin na povrchu pryže	38
Obrázek 6: Přístroj Dataphysics Contact Angle System	39
Obrázek 7: Zaznamenání výsledků v SCA 20	41
Obrázek 8: Graf chování kapky v SCA 20	41
Obrázek 9: Histogram výsledků v SCA 20.....	41
Obrázek 10: Povrch pryže č. 10.....	42
Obrázek 11: Povrch pryže č.8.....	42
Obrázek 12: Úprava fólií korónovým výbojem na stroji Alhbrandt.....	43
Obrázek 13: Tenziometr Krüss K6	45
Obrázek 14: Spektrofotometr X-rite Exact	47
Obrázek 15: Graf chování kapalin na povrchu pryže č. 1	48
Obrázek 16: Graf chování kapalin na povrchu pryže č. 10	49
Obrázek 17: Graf chování kapalin na povrchu pryže č. 5	49
Obrázek 18: Získání směrnice přímky pro výpočet polární a disperzní složky povrchové energie pryže č. 1	50
Obrázek 19: Výpočet povrchové energie pryže č. 3 v SCA 20	51
Obrázek 20: Graf porovnání naměřené povrchové energie pryží z obou přístrojů	52
Obrázek 21: Graf porovnání disperzní a polární složky povrchové energie pryží z obou přístrojů.....	53
Obrázek 22: Přenos barvy prvního (nahore) a osmého (dole) pole aniloxového válce, líhová barva	57
Obrázek 23: Přenos barvy prvního (nahore) a pátého (dole) pole aniloxového válce, disperzní barva.....	57

Tabulka 1: Podíl vázaného akrylonitrilu v NBR	21
Tabulka 2: Parametry první sady návleků	34
Tabulka 3: Parametry druhé sady návleků.....	34
Tabulka 4: Parametry testovacích kapalin pro měření povrchové energie pryží.....	36
Tabulka 5: Parametry vybraných polymerních fólií	43
Tabulka 6: Parametry testovacích kapalin pro měření povrchové energie polymerních fólií ..	44
Tabulka 7: Zjištěná povrchová energie vybraných polymerních fólií	44
Tabulka 8: Ředění barev na požadovanou konzistenci.....	45
Tabulka 9: Naměřené povrchové napětí disperzní a lihové barvy.....	45
Tabulka 10: Parametry děleného rytého aniloxového válce	46
Tabulka 11: Měření optické hustoty v průběhu tisku lihovou barvou	46
Tabulka 12: Měření optické hustoty v průběhu tisku disperzní barvou.....	47
Tabulka 13: Povrchová energie pryží získaná na přístroji CAM 100 – KSV Instrument	52
Tabulka 14: Povrchová energie pryží získaná na přístroji Dataphysics Contact Angle System OCA	52
Tabulka 15: Optická hustota pro všechny substráty a pásy aniloxového válce, lihová barva, pryž č. 6.....	54
Tabulka 16: Optická hustota pro všechny substráty a pásy aniloxového válce, disperzní barva, pryž č. 6	55
Tabulka 17: Optické hustoty obou barev na všech substrátech, přiřazené k jednotlivým pryžím	56

Seznam zkratek

AVČR	Akademie věd České republiky
BOPP	bi-orientovaný polypropylen
CTP	computer to plate
EPDM	etylen-propylen-dienový kaučuk
LDPE	nízkohustotní polyethylen
LLDPE	lineární nízkohustotní polyethylen
MQ	dimethylpolysiloxan (silikonový kaučuk)
MVQ	metylvinylnopolysiloxan (silikonový kaučuk)
NBR	butadien-akrylonitrilový kaučuk
NR	přírodní kaučuk
OWRK	Owens, Wendt, Rabel & Kälble metoda
PP	polypropylen
PE	polyethylen
PET	polyethylenterftalát
PETP	polyethylenterftalát
PVB	polyvinylbutyral
RSS	tmavý (uzený) kaučuk
SBR	styren-butadienový kaučuk
ÚMCH	Ústav makromolekulární chemie
UV	ultrafialové záření

Úvod

Flexotisk je tisková technika, která poslední dekády zažívá rozmach nejen v obalářském odvětví. Moderní trendy a velký zájem ze strany zákazníků neustále posouvá vývoj materiálů, a to jak těch pro výrobu flexotiskových forem, tak i potiskovaných materiálů. Vznikají tedy další a další kombinace materiálů s různými vlastnostmi, které spolu vytváří vhodné i méně vhodné kombinace z hlediska výsledné kvality tisku.

Tato práce popisuje materiály používané ve flexotisku, průběh tisku a faktory, které pozitivně i negativně ovlivňují výslednou kvalitu tisku. V experimentální části se měří povrchová energie a povrchové napětí použitých materiálů a zkoumá se vliv povrchových vlastností využívaných materiálů na příjem a přenos barvy. Zároveň se hledají vhodné kombinace, které dosahují optimálních výsledků z hlediska kvality tisku.

Pryžové flexotiskové návleky byly dodány firmou Ligum s.r.o. sídlící v Jablonci nad Nisou, další potřebné materiály pro tisk firmou OTK Group a.s. se sídlem v Kolíně. Výzkum povrchových vlastností probíhal na Katedře polygrafie a fotofyziky Univerzity Pardubice a významná část také v Ústavu makromolekulární chemie Akademie věd České republiky.

1 Flexotisk

Flexotisk je tisková technika přímého tisku z výšky, která se vyvíjí od konce 19. století a je historicky spjata s potiskem obalů. Původně velmi nekvalitní technika na potisk papírových obalů prošla za posledních sto let dlouhým vývojem, přičemž největší rozvoj přišel v 70. letech minulého století s příchodem plastových materiálů a objevení fotopolymerní formy. Dříve známý jako anilinový tisk či gumotisk, později flexografický tisk byl v průběhu vývoje nahrazen dnešním názvem, který odkazuje na pružnost tiskové formy. Ta může být vyrobena buď z materiálů pryžového původu, nebo různých druhů fotopolymerů. [1], [21], [3]

Díky pružnosti tiskové formy je možné tisknout na široké spektrum savých i nesavých materiálů, včetně polymerních či kovových fólií a kombinovaných materiálů. Hlavní doménou flexotisku je potisk obalů, je však využíván i v kartonážní či novinové produkci. Technologický vývoj strojů a přípravy tiskových forem vedl k postupnému zvyšování rozlišovací schopnosti a zdokonalil na tolik, že současné flexotiskové stroje mohou svou kvalitou téměř konkurovat kvalitě tisku ofsetového. Postupný vývoj reagoval a přizpůsobil se nárokům společnosti v oblasti ekologie a vedl ke snížení dopadu na životní prostředí. Všechny zmiňované okolnosti odpovídají na otázku, proč je dnes flexotisk tak široce využívanou tiskovou technikou. [16], [2], [3]

1.1 Flexotiskové stroje

Základní dělení flexotiskových strojů se odvíjí od charakteristických vlastností potiskovaného materiálu a celkového konstrukčního řešení stroje. Z hlediska formy použitého substrátu rozdělujeme stroje stejně jako u ofsetu a hlubotisku, tedy na archové a kotoučové. Kotoučové stroje mají na trhu z hlediska využitelnosti dominantní postavení v produkci flexibilních obalů, zatímco archové flexotiskové stroje mají největší uplatnění v potisku vlnité lepenky. Hlavním parametrem, který nás při výběru vhodného stroje zajímá, je maximální možná šíře potiskovaného materiálu. Při potisku etiket se používají stroje s malou šíří materiálu do 500 mm, u flexibilních obalů může mít dráha pro materiál až 2 000 mm. Flexotiskové stroje s šíří okolo 2 000 mm nacházejí své uplatnění v menší míře také v novinové produkci. Díky kompaktnosti potiskovaných materiálů nám rotační flexotiskové stroje nabízí rozdílná konstrukční řešení z pohledu počtu a řazení tiskových jednotek. Vedle

klasického (agregátového) řazení za sebou je možné skládat tiskové jednotky do sloupců, nebo je rozmístit satelitně kolem centrálního tlakového válce. Tyto modulace mohou být při vhodném použití ekonomicky i kvalitativně velmi výhodné, neboť agregátové stroje jsou charakteristické svou délkou a náročností na prostor. Právě délka tiskové dráhy může být problém při potisku tenkých materiálů, ve kterých často dochází k rozměrovým změnám a z toho pramenícím problémům se soutiskem. K eliminaci tohoto nežádaného jevu je nezbytná instalace regulace soutisku za každou tiskovou jednotkou. Stroje s tiskovými jednotkami nad sebou a stroje se satelitním uspořádáním tiskových jednotek nemají takové požadavky na plochu, ale zároveň vyžadují specifické nároky na sušení barvy při vyšších rychlostech tisku. Tím, že jsou tiskové jednotky velmi blízko za sebou, nestíhá barva dostatečně zasychat a může se přenášet na následující tiskovou formu. Znehodnocení produkce se předchází přidáním sušících jednotek za každou tiskovou jednotku, čímž dojde alespoň k částečnému zaschnutí přenesené barvy. O konečné sušení se postará centrální sušící tunel, do kterého je potisknutý substrát tažen po průjezdu poslední tiskovou jednotkou. [16], [2], [3]

1.2 Konstrukce tiskových jednotek

Tiskové jednotky se konstrukčně liší podle účelu použití a typu uspořádání celého stroje. Kromě tlakového a formového válce obsahuje jednotka také barevník, v dnešní době převážně komorový stěrač a ve většině případů také aniloxový válec, zodpovědný za přenos barvy. Právě aniloxový válec má velký vliv na celkovou kvalitu tisku, jelikož zásadně ovlivňuje množství přenesené barvy. V barevníku zateče barva do jamek aniloxového válce, přebytečná barva se z povrchu válce setře stěračem, který ji následně přeneseme na tiskovou formu. Objem přenesené barvy je tedy definován objemem jamek a hustotou sítě, která by měla být alespoň 5krát (dostačující pro kartonáž), ideálně 6 - 7krát větší, než hustota sítě tiskové formy. Objem jamek a jejich schopnost přenést požadované množství barvy je zásadně ovlivněno tvarem jamek. Nejpoužívanější tvar je kosočtverečný a šestiboký, ale používají se i drážkové, či řečišťové, přičemž každá varianta je vhodná pro specifické použití. Povrch aniloxových válců musí být odolný vůči mechanickému a chemickému poškození (rozpuštědla obsažená v barvách), nejčastěji je chromovaný nebo keramický a zhotovení sítě probíhá obvykle mechanickým rytím, nebo vypalování laserem. O odstranění přebytečného množství barvy na povrchu aniloxového válce se stará stěrka. I když jsou dostupné i jiné, starší varianty, v dnešní době se nejčastěji používají stroje s komorovým stěračem. U tohoto konstrukčního řešení je

minimalizováno odpařování ředidel z barvy pozitivní a negativní stěrkou v kombinaci s těsněním. Barva tak zůstává pouze v komoře, do které je ze zásobníku dováděna čerpadly. Upřednostňují se čerpadla pneumatická, která v porovnání s elektrickými nejsou tak náchylná na poruchy. Tlak z čerpadel zároveň pozitivně ovlivňuje vytlačování vzduchu z jamek aniloxového válce. [2], [3]

Velký vliv na průběh i výsledek tisku má také pohon a nastavení tiskových jednotek. Místo staršího centrálního pohonu stroje se dnes využívá přímý pohon formových válců u každé tiskové jednotky. Problémem u delších strojů (tiskové jednotky za sebou) zůstává vypnutí materiálu. V případě polymerních fólií dochází díky dlouhé dráze k rozměrové nestálosti materiálu a je proto velmi důležitá regulace soutisku za každou tiskovou jednotkou. Podstatný vliv na kvalitu tisku má i nastavení tiskového tlaku, které přímo ovlivňuje pružnou flexotiskovou formu. Příliš velký tlak zvětšuje tiskové body, což se může negativně projevit hlavně u jemných motivů. Jak je již zmíněno výše, u strojů se satelitním uspořádáním tiskových jednotek a uspořádání s tiskovými jednotkami nad sebou musí být natisknutá barva alespoň částečně (povrch) usušena za každým formovým válcem. Ovšem díky rychlosti tisku, malé vzdálenosti a časovému rozestupu mezi jednotlivými tiskovými jednotkami nestihá substrát chladnout, což je velký problém především u polymerních fólií. Proto se za sušicím tunelem obvykle instalují chladicí válce, které udržují materiál rozměrově stabilní. Důležité je hlídání takové teploty, aby nedošlo k rosení a případnému znehodnocení zakázky vlivem kondenzované vody. [2], [3], [21]

1.3 Saueressig Flexo Proofer F.P.100/300

Tento nátiskový stroj německé výroby je využíván k testování v rámci praktické části této práce. Stroj má jednu tiskovou jednotku a maximální šíře role potiskovaného materiálu je 300 mm, maximální tisková dráha (šíře formového válce) je 260 mm a tiskový obvod 315 mm. Stroj má otevřený barevník s aniloxovým válcem a ocelovým pozitivním stěračem, aniloxový válec má po obvodu osm axiálních drážek pro nanášení barvy. Celý stroj je umístěn na dílenském vozíku, který zaručuje lepší manipulaci. [10]

1.4 Flexotiskové barvy

Nároky na tiskové barvy se zvyšují úměrně s technologickým vývojem ve flexotisku. Jedním z klíčových faktorů z hlediska nároků na vlastnosti barev je rychlost tisku. Barvové systémy tedy musí být schopné rychlého přenosu z aniloxového válce na tiskovou formu, dobré fixace na substrátu a rychlého zasychání. Musí se také brát v potaz širokou škálu potiskovaných materiálů a jejich rozdílné povrchové vlastnosti, které se u savých a nesavých substrátů výrazně liší a ovlivňují kvalitu tisku. Charakteristickým znakem flexotiskových barev je poměrně nízká viskozita pohybující se obvykle v rozmezí 50–500 mPas. [3] Aby se dosáhlo požadovaného krytí, musí se hlídat množství přenesené barvy z aniloxového válce a tlak při přenosu z tiskové formy na substrát. Další sledovanou veličinou je adheze barev k potiskovanému substrátu, kterou ovlivňuje poměr filmotvorných látek a ředidla v daném systému. Barvy se běžně skladují jako koncentrát a jejich konzistence se modifikuje výrobcem doporučenými ředidly před tiskovým procesem. Při přeředění tiskové barvy dochází ke změně fyzikálních vlastností. U savých materiálů probíhá nadměrné zapíjení pojidlové báze a na povrchu substrátu zůstává neuchycený pigment, u flexibilních polymerních materiálů dochází především ke snížení odolnosti vůči oděru.

Barvové systémy využívané ve flexotisku se dělí do dvou kategorií. Mezi konvenční tiskové barvy řadíme rozpouštědlové (lihové) a vodou ředitelné barvy. Naopak druhá skupina ředitelná není a do této kategorie spadají systémy vytvrditelné UV zářením. Zatímco v minulosti se k tisku na většinu substrátů využívaly rozpouštědlové barvy, díky technickému pokroku a směřování k větší péči o životní prostředí se postupem času začalo čím dál více využívat i šetrnějších vodou ředitelných barev. Na vzestupu jsou nekonvenční UV barvy, jejichž výhodou je univerzálnost z hlediska potiskovaných materiálů a potencionální vyšší rychlost tiskové produkce. Tento typ barev se osvědčil především v oblasti potisku samolepicích etiket, kde v podstatě nemají konkurenci. Rozpouštědlové barvy se ovšem stále hojně využívají pro potisk nesavých fólií. U substrátů ve formě fólií, jako jsou například PE, PP, či PET, nelze počítat s takovou penetrací, jako u savých substrátů, a proto se využívají lihové barvové systémy, ve kterých se za zvýšené teploty rozpouštědlo rychle odpaří a zahájí polymeraci barvy. Nevýhodou stále zůstávají náklady spojené s bezpečností práce a likvidací nebezpečných výparů. [3], [4], [5]

1.5 Složení flexotiskových barev

Flexotiskové barvy se svým složením nevyvíkají konvenčním tiskovým technikám. Na trhu najdeme široké spektrum dostupných barev, které se liší složením i charakteristickým uplatněním. Základními složkami těchto barvových systémů jsou koloranty, rozpouštědla, pojiva a aditiva. Jako koloranty se obvykle používají organické či anorganické pigmenty a rozpustná barviva, obvykle zabírají 10–18 % z celkové hmotnosti. Jsou dispergované v těkavých rozpouštědlech, typicky alkoholy (ethanol) a jejich estery (ethylacetát), nebo jsou ředěny vodou a přidávají se do barvového systému až před tiskem. Vmíchávají se do koncentráту barvy, ideálně podle výrobcem stanovených pravidel a požadovaná tekutost se měří na DIN pohárku o průměru 4 mm, lze se ovšem setkat i s pohárky značky Ford. Obsah rozpouštědel ve flexotiskových barvách obvykle zabírá 50–70 % celkové hmotnosti a typ rozpouštědel se vybírá tak, aby neleptal nebo jinak znehodnocoval tiskovou formu. Používají se nitrocelulókové barvy, které mají za pravé rozpouštědlo etylacetát, ten ale leptá fotopolymerní štočky. Proto se obsah etylacetátu pohybuje do 10 % z celkové hmotnosti a zbytek se nahrazuje nepravým rozpouštědlem, a to etanol – ten ale nerozpouští pojivo, upravuje jen viskozitu. Jsou i barvy na bázi polyvinylbutyralu (PVB), ve kterých se používá jako rozpouštědlo jen etanol, který je pro PVB pravé rozpouštědlo. Pojivy se rozumí látky, které mají zásadní vliv na stabilitu barvového systému před, během, i po tiskovém procesu. Základní složkou jsou filmtvorné látky schopné vytvořit souvislou vrstvu barvy požadovaných vlastností (tvrdost, kompaktnost, ohebnost atd.). Jako filmtvorné látky se u flexotiskových barev využívají přírodní a umělé pryskyřice kombinované s nitrocelulózou a obsah těchto činidel je zhruba 13–20 %. Ostatní složky barev označujeme jako přídatné látky, neboli aditiva, která tvoří přibližně 10 % hmotnostního obsahu. Mezi ně se řadí široká škála přísad zlepšujících fyzikální a optické vlastnosti barvy během tiskového procesu i po aplikaci. U flexotiskových barev se jedná například o změkčovadla (přírodní a syntetické vosky), tenzidy a u vodových barev jsou velmi důležité odpěňovače. U vodových a lihových barev se obsah jednotlivých složek téměř neliší, ale u UV barev jsou složení i poměry odlišné. Specifikem barev vytvrzovaných UV zářením je fakt, že neobsahují téměř žádná rozpouštědla a tím odpadají zvýšené nároky požární ochrany a likvidaci škodlivých výparů. Mezi další ekonomické a ekologické přednosti spadá menší spotřeba energie a fakt, že barvy nereagují se vzduchem a nezasychají v barevnících, ani na aniloxových válcích. V porovnání s ostatními barvami je potřeba přenést větší vrstvu barvy a fakt, že se dá přebytečná UV barva znovu použít, pomáhá významně ušetřit. Na složení UV barev se podílejí monomery (10–20 %)

a oligomery pryskyřic (40–60 %), pigmenty zabírají 15–25 % hmotnostního podílu. Fotoiniciátory spouštějící polymerační reakci tvoří jen 3–8 % a aditiva maximálně 3 % obsahu. [3] Vytvrzené UV barvy vykazují vynikající odolnost vůči chemickému a mechanickému poškození, nevýhodou však stále zůstává vyšší cena a problémy s narušením povrchu některých druhů pryžových válců způsobené přítomným ozónem. [3], [4], [5]

1.6 Tiskové formy

Flexotiskové formy lze klasifikovat podle několika parametrů. Základní rozdělení spočívá na materiálu, ze kterého jsou formy vyrobeny. Sem spadají dvě kategorie - pryžové formy a fotopolymerní flexotiskové formy. Fotopolymerní formy mohou mít různý tvar, jedná především o rovinné štočky (desky), které se upevňují na formový válec či návlek (někdy také známý jako sleeve). Pryžové formy jsou také velmi často používány ve formě návleků, díky řadě výhod. Alternativou jsou kompaktní pryžové válce. Přenos obrazu je u fotopolymerů možný dvěma způsoby. Starším je přenos obrazu analogově přes filmovou předlohu, novější způsob využívá pro výrobu tiskového reliéfu digitálních dat (CTP). Pryžové formy se dnes vyrábějí výhradně CTP technologií.

Vznik reliéfu tiskové formy je založený na odstranění hmoty z netisknoucích míst, které se obvykle provádí vypalováním lasery. Fotopolymerní tiskové formy se vymývají chemicky s pomocí kartáčů. Výsledná forma ovšem musí být odolná vůči rozpouštědlům v barvách a mycích chemikáliích, aby nedocházelo k rychlému znehodnocení nabobtnáním či zkřehnutím a následné ztrátě tiskové kvality. Způsob výroby i typ použitého materiálu mají velký vliv na výsledné vlastnosti flexotiskových forem. Mezi hlavní parametry patří tloušťka formy, hloubka reliéfu, tvrdost a odolnost mechanická i chemická. Tato práce se zaměřuje především na formy pryžové, a to ve formě návleků. [2], [3], [7]

2 Pryžové flexotiskové formy

K výrobě flexotiskových pryžových forem se využívají přírodní a syntetické kaučuky. Kaučuk je makromolekulární látka a v běžných podmínkách odolává deformaci malou silou, aniž by se poškodil. Mezi základní vlastnosti kaučuků řadíme viskozitu, která má zásadní vliv na jeho zpracování a je závislá na molekulové hmotnosti a zejména teplotě. Dalšími

základními rysy jsou vulkanizovatelnost a teplota skelného přechodu T_g . Samotný kaučuk neposkytuje klíčové vlastnosti a požadavky na tiskovou formu, jako je tvrdost, stálost, odolnost proti rozpouštědlům či elasticita, které získáme až převedením kaučuku ze stavu lineárního do zesíťovaného. V zesíťovaném stavu vykazuje pryž charakteristickou schopnost zachovat integritu materiálu i při vystavení velkým tlakům a jiným vnějším silám, což je jeden ze základních nároků na flexotiskové formy. Tento proces nazýváme vulkanizace. [6], [11]

2.1 Vulkanizace kaučuku

Vulkanizace je základní proces gumárenské výroby a je charakterizována jako chemická reakce kaučukové směsi s vulkanizačními činidly, která probíhá za vhodné teploty a zvýšeného tlaku. Hlavními složkami této chemické reakce jsou kaučuk a síra, ale dodávají se i další přísady, které ovlivňují rychlost a průběh reakce. Mezi další složky vulkanizační směsi můžeme zařadit plniva (saze, křída), antidegradanty, urychlovače, stabilizátory, či změkčovadla. Při recepturování vulkanizační směsi se vychází z požadovaných vlastností budoucího výrobku a jeho použití. Jednotlivé složky směsi mají různé účinky na průběh reakce a především na výsledné vlastnosti pryže. Z této skupiny nejvíce ovlivňují výsledné vlastnosti pryže plniva, která se dodávají ve formě prášků. Funkcí plniv je snížení ceny (drahý kaučuk) při zachování a zlepšení požadovaných vlastností pryže, jako je pevnost v tahu, tvrdost, adheze, odolnost vůči fyzikálním vlivům v tiskovém procesu a další. Plniva lze rozdělit podle velikosti částic na ztužující (0,01–0,1 μm), poloztužující (0,1–1 μm) a neztužující (1–10 μm). [15] Z nejčastěji používaných ztužujících plniv můžeme jmenovat jemné saze, za poloztužující se považují hrubé saze či tvrdý kaolin. U plniv se kromě koncentrace ve směsi sledují také povrchové vlastnosti, plniva by se měly vybírat tak, aby jejich polarita korespondovala s polaritou použitých elastomerů. Nedílnou součástí vulkanizačních směsí je i antidegradační systém. Jedná se o látky, které výrazně zpomalují stárnutí pryže a výrazně prodlužují jejich životnost. Do této skupiny spadají antioxidanty a antiozonanty. Ty se ve velké míře využívají u kaučuků s nižší odolností vůči kyslíku a ozonu (NR, SBR), které mají v hlavním retězci dvojnou vazbu a jsou tak náchylnější k oxidačním procesům. Vhodné je jmenovat také změkčovadla, které oproti plnivům působí opačně, s vyšší koncentrací změkčovadel klesá tvrdost pryže. Jedná se o látky nízkomolekulárního charakteru, které

pronikají do řetězce kaučuku. Nejčastěji používanými změkčovadly jsou minerální oleje a parafiny. [6], [15], [13]

Během vulkanizace vznikají v materiálu příčné vazby polysulfidického charakteru a konečným produktem vulkanizace je pryž. Charakteristickou schopností pryže je, že dokáže dlouhodobě odolávat vysokým tlakům a poté se bez způsobené deformace vrátit do původního stavu, na čemž se kromě příčných vazeb podílejí také mezimolekulové síly. Obecně platí, že čím déle vulkanizace probíhá, tím více můstků vzniká a pryž se stává odolnější. U pryžových flexotiskových forem také očekáváme opakování deformačního procesu v řádech milionů, což na vulkanizát klade velké nároky. Odolnost vulkanizátu je důležitá také z hlediska skladování, protože válce či návleky mohou na opakované použití čekat ve skladech měsíce, někdy i roky. Pro výrobu pryžových flexotiskových forem se nejčastěji používá přírodní kaučuk (NR), butadien-styrenový kaučuk (SBR), butadien-akrylonitrilový (NBR) a nemalé míře také odolný ethylen-propylen-dienový kaučuk (EPDM). Zajímavé vlastnosti nabízí také silikonový kaučuk. Typ použitého kaučuku, množství síry a obsah plniv v kaučukové směsi zásadně ovlivňuje finální charakter vulkanizátu, povrchové vlastnosti a tím i přenos barvy. Vulkanizační směsi se obvykle dodávají ve formě navinutých tenkých pásů. [3], [6], [12], [15]

2.2 Přírodní kaučuk

Původním typem je přírodní kaučuk (NR), který se získává z mízy stromu *Hevea brasiliensis*, u nás známý jako kaučukovník. Takto získaná základní surovina k výrobě kaučuku se nazývá kaučukové mléko, neboli latex. Při následném zpracování latexu praním a sušením se získává surový kaučuk, v podobě světlé krey a především tmavého (uzeného) kaučuku, známého pod zkratkou RSS (Ribbed Smoked Sheets). RSS se dále klasifikuje do jakostních skupin. Z původního způsobu těžby z divoce rostoucích stromů se na konci 19. století přešlo na umělé plantáže v tropických pásmech (Jižní Amerika, Malajsie, Borneo). Díky svým vlastnostem nachází přírodní kaučuk široké využití dodnes, má majoritní podíl na objemu výroby a stále se nachází nové možnosti jeho využití. [6], [12]

Rozvoj automobilového průmyslu na konci 19. století stál za zvýšením spotřeby kaučuku a vedl tak k prvním pokusům o přípravu syntetického kaučuku. Největší růst výroby syntetického kaučuku probíhal ve 30. letech 20. století v Německu a USA. Jednalo se

o butadien-styrenový kaučuk (SBR) a butadien-akrylonitrilový kaučuk (NBR) vyráběné emulzní polymerací. [6]

2.3 SBR

Objemem výroby patří butadien-styrenové kaučuky k nejvyráběnějším na světě, a to hlavně kvůli pneumatikářenskému průmyslu. Obsah vázaného styrenu v kopolymeru je obvykle 23–25 % a získává se emulzní či roztokovou polymerací při teplotě 5 °C. Jako emulgátory se používají pryskyřičná mýdla nebo mastné kyseliny, při roztokové polymeraci slouží jako katalyzátor hlavně butyllithium, ojediněle i alfinové katalyzátory. Pro dosažení požadovaného průběhu reakce se často přidávají ethery jako modifikační činidla a urychlovače reakce. Zlepšení pevnosti se upravuje obsahem plniv, která mají v SBR i ztužovací účinek. Výsledný vulkanizát je v mnoha ohledech odolnější než přírodní kaučuk a řadí se tak to středně odolných kaučuků. [6], [13], [20]

2.4 NBR

Při výrobě butadien-akrylonitrilových kaučuků (zkráceně nitrilkaučuků) se uplatňuje emulzní polymerace stejná, jako u výroby SBR. Místo emulgátorů na mýdlové bázi pryskyřice nebo mastných kyselin se však používají alkalické soli sulfonovaných alkylarenkarboxylových kyselin. Samotná polymerace probíhá při teplotách kolem 5 °C. Jejich členění je založeno na podílu vázaného akrylonitrilu v kopolymeru (tab. 1), díky kterému mají kaučuky tohoto typu velkou odolnost vůči bobtnání v minerálních olejích a rozpouštědlech, zároveň vykazují z používaných typů kaučuků nejdělsí životnost. Právě proto se využívají pro výrobu flexotiskových forem se speciálními požadavky (tisk barev s vysokým obsahem rozpouštědla). [6], [13], [20]

Tabulka č. 1: Podíl vázaného akrylonitrilu v NBR

Obsah akrylonitrilu v kopolymeru	
nízký	do 20%
středně nízký	25%
střední	30%
středně vysoký	35%
vysoký	40%
velmi vysoký	nad 45%

2.5 EPDM

Ethylen-propylen-dienové kaučuky se vyrábějí kopolymerací ethylenu a propylenu ve formě roztoků s nekonjugovaným dienem a přísádkem katalyzátoru Zieglerova typu. Hlavní předností tohoto kaučuku je jeho odolnost vůči teplu, ozonu a mechanickému poškození. Z velké části díky tomu, že hlavní řetězec makromolekul je plně nasycený a dvojně vazby jsou volné jen v postranních řetězcích, takže hlavní řetězec je velmi odolný vůči různým typům degradačních procesů. To je činí z hlediska času a skladování velmi trvanlivé. Plniva se používají podobně jako u SBR, převážně tedy saze a kaolin a tvrdost výsledného kaučuku se ještě upravuje změkčovadly. Svými dobrými vlastnostmi by EPDM kaučuky mohly předčít SBR, kdyby zde nezůstávalo hledisko ceny, ve kterém jsou SBR kaučuky bezkonkurenční. Flexotiskové formy typu EPDM dobře odolávají esterům a ketonům, ale problém nastává při styku s alifatickými uhlovodíky (benzínem). [6], [13], [20]

2.6 Silikonové kaučuky

Mezi nejzajímavější vlastnosti kaučuků na bázi silikonu patří možnost jejich použití při vysokých teplotách (až 315 °C), které nemají zásadní vliv na fyzikální vlastnosti, tak jako tomu je u jiných kaučuků. Vazba křemík – kyslík v hlavním řetězci mimo zmíněné poskytuje také vysokou odolnost vůči UV záření a ozonu, částečnou odolnost vůči olejům a alkoholům. Poněkud horší vlastnosti můžeme sledovat při styku s aromatickými rozpouštědly (toluen, xylen, benzen a další), kde dochází k signifikantnímu bobtnání. V rámci silikonových kaučuků se nejčastěji setkáme s dimethylpolysiloxanem (MQ) a metylvinylpolysiloxanem (MVQ). Za pružnost těchto kaučuků jsou zodpovědné metylové skupiny, vinyl zvyšuje odolnost vůči tlaku. Jednou z dalších výhod těchto směsí je fakt, že vulkanizace může kromě klasického způsobu (zvýšená teplota) probíhat i za běžné teploty, což pozitivně ovlivňuje náklady na výrobu tiskových forem. Další zvláštností těchto pryží je velmi nízká povrchová energie. [6], [20], [1]

2.7 Smíšené kaučuky

Za účelem získání specifických vlastností flexotiskových forem je možné smíchat více druhů kaučukových směsí dohromady. Výsledná pryž má vlastnosti obou použitých typů

kaučuků, jako je tomu například u směsi SBR s EPDM. Tato pryž je kompromisem mezi zmíněnými kaučuky, je velmi odolná vůči mechanickému poškození, teplu a jiným degradačním procesům a v porovnání s čistým EPDM kaučukem levnější. [20]

2.8 Příprava pryžových flexotiskových forem

Pryžové flexotiskové formy se dodávají buď ve formě kompaktních válců nebo návleků, tzv. sleeveů, s nanesenou vrstvou pryže v rozmezí 3–10 mm. [3] V rámci této práce jsou testovány flexotiskové návleky vyrobené firmou Ligum spol. s r. o., jejichž výroba probíhá v několika krocích. Jako nosná forma pro pryž se používají laminátové trubky s přídavkem kompozitních a skelných vláken, odolné vůči podmínkám vulkanizace. Sklolaminátová trubka se upevní na ocelové jádro a následně se navine požadovaná vrstva vulkanizační směsi. V dalším kroku se připravený návlek vloží do autoklávu, kde za vhodných podmínek (teplota, tlak, čas) probíhá síťovací reakce. V první fázi se po dobu 30–60 minut postupně zvyšuje teplota na 150–160 °C. Po dosažení teploty se za tlaku 4–5,5 atmosfér zahájí vulkanizační proces, který trvá 3–5 hodin. Následné ochlazování pryže zabere další 1–2 hodiny. Zvláštní podmínky vyžadují silikonové pryže, u kterých se kromě teploty (160–170 °C) musí zvýšit hlavně tlak v autoklávu na 6–7 atmosfér. [1], [20]

Cílem vulkanizačního procesu je vytvoření homogenního povrchu válce, jehož povrch se následně obrábí a vybrušuje do předepsané hladkosti a dokonalého tvaru válce. Vulkanizované návleky se klasifikují podle tloušťky pryže na slabostěnné (do 5 mm) a silnostěnné (5–15 mm). Důležitou vlastností pryžových válců je tvrdost, jejíž stanovení se řídí podle normy ČSN ISO 48. V polygrafickém prostředí se tvrdost válců obvykle klasifikuje podle Shoreho stupnice tvrdosti a zjišťuje se hloubka vtlačení kuličky do povrchu pryže. [3]

2.8.1 Vypalování formy laserem

Podle použitého materiálu následně volíme způsob přípravy formy. U pryžových forem se během 20. století rychle postoupilo od ručního vyřezávání k dnešnímu nejčastějšímu způsobu přípravy CTP technologií, obsahující přímé vypalování tiskových motivů laserem. Výhod takto vyrobených forem (sleeveů) je mnoho, mezi nejdůležitější patří vyšší produktivita a kvalita tisku, přesný soutisk, rychlost výroby, možnost nekonečného (bezešvého) tisku

a především možnost volit tvar tiskového bodu. [17] K laserovému vypalování forem je třeba gravírovací stroj, který pracuje na základě vložených dat (formát TIFF), předpokladem pro výrobu dokonalého motivu je tedy perfektní předtisková příprava. Tvar tiskového bodu a hloubka reliéfu (běžně v rozsahu 0,6–1,2 mm) se volí podle použitého typu pryže a její výšky a za nastavení je zodpovědná obsluha stroje. V gravírovacím stroji je upěvněný sleeve na ocelovém trnu a otáčí se podél své osy. Vypalovací hlavy s laserovými paprsky se pohybují souběžně s osou válce, odstraňují materiál z netisknoucích míst a motiv vzniká po spirále. [3], [17], [18]

V gravírovacích strojích se obvykle setkáme s dvěma typy laserů. Nejrozšířenějším je historicky starší plynový CO₂ laser produkující infračervené záření s vlnovou délkou záření 10,6 μm. Velkou výhodou CO₂ laserů je jejich poměrně nízká pořizovací cena a možnost vypalovat do všech materiálů používaných k výrobě flexotiskových forem. Gravírování může probíhat v mnoha režimech, obvykle se používá více vypalovacích hlav, které mohou pracovat jak v pulsním, tak kontinuálním režimu. Při procesu vzniká v rezonátoru teplo, které by mohlo zařízení a optiku poškodit, proto je pro výkon vyšší jak 100 W nutné chlazení vodou. Po průchodu optikou dosahují CO₂ lasery průměru paprsku 50–100 μm, v čemž tkví jejich velké omezení v potenciaálním rozlišení. Druhou, méně rozšířenou možností, je použití vláknového (fiber) laseru. Emitujícím zdrojem jsou diody nízkého výkonu napojené na optické vlákno dopované Erbiem či Ytterbiem, které slouží jako zesilovač. Jelikož je vlákno dostatečně dlouhé (až 30 m), dochází k dostatečnému odvodu tepla a laserové zařízení se nemusí chladit. Další výhodou je, že zařízení nevyžaduje žádnou údržbu. Největším benefitem je ovšem dosažitelná hustota síťování, jelikož paprsek lze zaměřit do velmi malého bodu (až 20 μm). Tato vlastnost je výhodná i při tvarování tiskových kuželek a celkově poskytuje mnohem větší možnosti. Všechny pozitiva vláknových laserů jsou ovšem vykoupené vyšší pořizovací cenou, limitací vypalovaných materiálů a řádově kratší životností (cca 150 000 hodin). Při gravírování lasery se odstraněný materiál uvolňuje do vzduchu, část přechází do plynné fáze a zbytek pevné fáze se zachytí ve vzduchových filtrech zařízení. I při následném vymývání zbytkového prachu teplou vodou se dají pevné částice jednoduše odfiltrovat a to činí laserové gravírování ekologicky šetrnou technologií. [3], [17], [18]

2.8.2 Tvarování tiskových kuželek

Jak bylo zmíněno výše, možnost volby tvaru tiskového elementu je největší výhodou přímého gravírování. Nastavení parametrů provádí obsluha přímo na vypalovacím zařízení a je základem kvalitní tiskové formy. Tisková ploška je obvykle kulatá, ale je možné nastavit i jiný tvar. Zatímco u fotopolymerních forem se vždy tisková kuželka od základny směrem k tiskové plošce postupně zúžuje, u gravírování pryže laserem můžeme profil tiskového elementu modulovat. (obr. 1) Základem je dostatečně široká základna bodu, která zvyšuje jeho stabilitu a odolnost vůči ulomení. Touto technologií je možné vyrobit i velmi malé tiskové body s dobrou stabilitou. Nejde však jen o boční profil elementu, ale také o jeho výšku. U jemnějších lineatur se dají tiskové kuželky snížit, během tisku na ně působí mnohem menší tlak a dosáhne se tak snížení nárůstu tiskového bodu (tzv. kiss print). [17], [3]



Obrázek č. 1: Možnosti tvarování tiskového bodu přímou gravurou

3 Potiskované materiály

Základní dělení potiskovaných materiálů je na savé a nesavé. Mezi savé se řadí vláknité substráty - papíry, kartony, lepenky a vlnité lepenky. Ty se dále klasifikují podle plošné hmotnosti a podle jejich formy na archové a kotoučové. Výhodou savých materiálů je fakt, že jejich povrch nevyžaduje před tiskem žádné povrchové úpravy. Speciální poddruh nesavých materiálů tvoří metalické fólie, především hliníkové. Dominantou flexotisku jsou syntetické polymerní fólie, které jsou testované v experimentální části práce a proto je jim zde vyhrazeno nejvíce prostoru. Dodávají se namotané na dutinkách a dělí se podle typu polymeru a tloušťky fólie. Obliba těchto materiálů pramení nejen z nízkých nákladů na výrobu (polyolefiny), ale hlavně ze široké využitelnosti. [19] Trendem dnešní doby je snaha o co nejmenší ekologickou

zátěž a omezení používání plastů, kterými je planeta znečištěna. I když se plasty dají dobře recyklovat, velká část populace zatím není schopná odpad třídit a vrátit zpět do výrobního koloběhu. Proto se na trhu objevují i rozložitelné materiály, které přírodu svou degradací minimálně zatěžují, tzv. biodegradabilní materiály. [19], [20]

3.1 PE

Polyethylen je nepolární polymer vyráběný různými způsoby, které definují jeho strukturu. Nejčastější dělení je na základě jeho hustoty na LDPE (Low Density PE) a HDPE (High Density PE). Nízkohustotní polyethylen má rozvětvené řetězce a vyrábí se z pravidla radikálovou polymerací, oproti tomu polyethylen s vysokou hustotou se vyrábí za vysokého i nízkého tlaku s pomocí katalyzátorů. [19] Jeho alternativou je lineární nízkohustotní polyethylen (LLDPE), který se liší svými vlastnostmi. Rozvětvenost řetězců způsobuje průhlednost PE v tenkých vrstvách, proto jsou fólie tohoto typu transparentní, zároveň ale odolají teplotám jen do 90 °C. Lineární PE přitom odolává teplotám i více jak 100 °C. Pro oba typy je společná velmi dobrá odolnost vůči nízkým teplotám do -120 °C a tím ho činí ideálním obalem pro mražené potraviny. Polyethylenové fólie se používají v tloušťkách 30–200 μm, mají nízkou pevnost v tahu, dobrou chemickou odolnost, ale také sklony k oxidaci. [19], [20], [3]

3.2 PP

Polypropylen je druhým nejrozšířenějším polyolefinem a má podobné vlastnosti jako polyethylen, včetně nepolární struktury a chemické odolnosti. Polypropylen bobtná v ketonech, uhlovodících a esterech [19], má menší odolnost vůči mrazu (nedoporučuje se použití pod 0 °C) a povětrnostním vlivům. Jeho výhodou je, že odolává vyšším teplotám (kolem 170 °C) a má větší pevnost, tvrdost a menší propustnost než PE. Nachází tedy široké využití v obalové technice, hlavně v rámci spotřebních potravin. [19], [20]

3.3 PET (PETP)

Polyethylentereftalát je nejpoužívanějším lineárním polyesterem, který se vyrábí

polykondenzací kyseliny tereftalové a ethylenglykolu. [20] Často se z PETP vyrábějí vlákna nacházející širokou škálu využití, nejvíce se však proslavil jako materiál na plastové lahve (odtud rozšířenější zkratka PET). PETP fólie se vyrábějí vytlačováním a od polyolefinových fólií se liší výrazně vyšší pevností a odolností. Ve formě fólie je PETP průhledný, tepelně odolný (-60–130 °C) a rozměrově stálý. [19], [20]

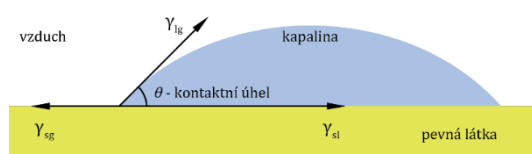
4 Povrchové úpravy polymerních materiálů

Různorodost chemického složení a fyzikálních vlastností vyjmenovaných druhů kaučuků a polymerních fólií je široká a přenos barvy by byl bez dalších úprav povrchu problematický. Cílem úprav povrchu kaučuku je vytvoření ideálních podmínek pro smáčení barvou a následný přenos během tiskového procesu. Hlavními sledovanými veličinami povrchových vlastností polymerů jsou povrchová energie a také jejich polarita, které zlepšují především smáčení, přilnavost (adhezi) a následný přenos barvy z povrchu pryžové formy na potiskovaný substrát. Ideální smáčení nastává, pokud je povrchové napětí kapaliny (barvy) nižší, než napětí pevné látky. Pokud má barva větší povrchové napětí, má tendence se na povrchu substrátu stahovat, při vyšším napětí substrátu se barva naopak rozpíjí. [3], [14]

4.1 Povrchová energie

Z hlediska potiskovatelnosti nás povrchová energie společně s polaritou velmi zajímají, protože mají zásadní vliv na úspěšnost celé řady tiskových procesů a celkového výsledku tisku. Volná povrchová energie je definována jako práce potřebná na zvětšení plochy, u kapalin se označuje jako povrchové napětí γ a udává se v jednotkách mN m⁻¹. Povrchové napětí vzniká na rozhraní dvou nemísitelných fází. Kohezní mezimolekulární síly mají v blízkosti tohoto rozhraní tendenci směřovat do středu prostředí s vyšší kohezní energií a zaujmout tak co nejmenší povrch. Typické je to pro rozhraní kapalina – vzduch, kdy se na povrchu kapaliny vytvoří tenká vrstva molekul, která se chová jako elastická fólie. Čím vyšší povrchové napětí působí, tím více se kapalina nabírá tvar ideální koule. K dosažení takového tvaru ovšem brání vnější síly (například gravitační). Pokud chceme zvětšit povrch, musíme překonat její povrchové napětí dodáním síly. Z hlediska tisku nás zajímá i mezifázové napětí kapalina – pevná látka. To sice nemůže měnit tvar tělesa, ale má signifikantní vliv mimo jiné

na smáčivost jeho povrchu. V průběhu tiskového procesu sledujeme třífázové rozhraní pevná látka – kapalina – vzduch, ve kterém měříme kontaktní úhel θ . Čím menší je úhel mezi pevnou látkou a kapalinou, tím lépe se kapalina na povrch pevné látky rozprostře. Pokud je kontaktní úhel větší než 90° , kapalina povrch nesmáčí. Nejpoužívanější metodou pro zjištění hodnoty kontaktního úhlu je metoda přisedlé kapky, která obsahuje úhly všech tří mezifázových rozhraní (obr. 2), kde γ_{sl} označuje přechod pevná látka – kapalina, γ_{sg} pevná látka – vzduch a γ_{lg} kapalina - vzduch. Jejich vztah popisuje Yungova rovnice (1). Polymerní materiály využívané v polygrafii mají obvykle nízkou povrchovou energii (velký kontaktní úhel) a proto se musí jejich povrch upravit, aby se zlepšily přenosové vlastnosti. [3], [22]



$$\gamma_{sg} = \gamma_{sl} + \gamma_{lg} \cos \theta \quad (1)$$

Obrázek č. 2: Měření kontaktního úhlu θ

4.2 Polarita

Volnou povrchovou energii rozdělujeme podle charakteru mezimolekulárních sil na polární a nepolární, které největší měrou ovlivňují adhezní vlastnosti. V polárních polymerech jsou přítomné polarizované vazby, což vede ke vzniku permanentních dipólů, které způsobují větší soudržnost materiálu. Látky takového charakteru vykazují lepší odolnost, mechanické vlastnosti, a díky elektrickému poli jsou schopny polarizovat i původně nepolární vazby. Je tedy zřejmé, že polarita materiálů hraje v průběhu tiskového procesu důležitou roli. Některé polymerní materiály ovšem vykazují nízkou polaritu (např. polyethylenové fólie) a pro lepší přenos a adhezi tiskové barvy je třeba povrchy těchto materiálů modifikovat. Existuje široké spektrum využívaných povrchových modifikací polymerů, které ovšem musíme pečlivě vybírat na základě specifických vlastností materiálu a požadovaných technologických parametrů. Dělíme je do dvou základních skupin, na chemické a fyzikální. [3], [14]

4.3 Měření povrchových vlastností

Volná povrchová energie pevných látek je potřeba zjistit jak u pryžových tiskových

forem, tak i u potiskovaných substrátů, v našem případě polymerních fólií. Pro potiskované materiály se v praxi nejčastěji používá měření pomocí sady fixů s testovacími kapalinami, které pokrývají rozsah povrchového napětí všech potiskovaných polymerních substrátů. [3] Výhodou je rychlost a jednoduchost měření. Ke stanovení hodnot povrchového napětí pevných látek (v našem případě pryžových válců) je třeba využít kapaliny se známým povrchovým napětím. Pak lze využít zmiňovaná Yungova rovnice, je ovšem třeba vypočítat neznámou hodnotu napětí mezi pevnou látkou a kapalinou, bez které nelze určit polární a disperzní složku povrchového napětí pevné látky. Stejně tak tomu je s povrchovým napětím kapalin, které nás zajímá z hlediska adheze a přenosu barvy. I zde se dá měřit různými metodami, které vycházejí z chování kapalin v kapiláře. [3], [14]

4.3.1 Zismanova extrapolační metoda

Zismanova extrapolační metoda se používá pro určení hodnoty smáčení pevných látek. Tato hodnota je determinována jako kritické povrchové (Zismanovo) napětí kapaliny γ_C , která by se na povrchu pevné látky dokonale rozprostřela ($\cos\theta = 1$). Vychází z měření kontaktních úhlů θ přisedlé kapky alespoň tří (čím více, tím lépe) podobných kapalin. Zismanova rovnice (2) popisuje experimentální závislost kosinu kontaktních úhlů na povrchovém napětí standardních kapalin γ_{lg} . Vztah je možné upravit na lineární tvar (3).

$$\cos\theta = 1 + b(\gamma_C - \gamma_{lg}) \quad (2) \quad \cos\theta = K + b(\gamma_{lg}) \quad \gamma_C = (K - 1)/b \quad (3)$$

Podmínkou je předpoklad, že všechny kapaliny, jejichž $\gamma_{lg} < \gamma_C$, povrch pevné látky dobře smáčí. Z naměřených kontaktních úhlů se vypočítá $\cos\theta$ a do grafu se vynese závislost $\cos\theta = f(\gamma_{lg})$. Nalezením regresní přímky ($y = ax + b$) se z konstant a a b vypočítá γ_C . Výpočtem podle Zismanovy teorie získáme kritické Zismanovo napětí, které je obvykle velmi blízké hodnotě disperzní složky povrchového napětí materiálu a tato metoda je vhodná pro nízkoenergetické materiály. [23]

4.3.2 Owens Wendt, Rabel metoda

Tato teorie (známá také jako OWRK) je metodou pro měření volné povrchové energie pevných látek (γ_{sl}). Její výpočet (4) vychází z Fowkesovy rovnice, rozdělení povrchového napětí na polární (p) a disperzní (d) složku a vzájemné interakce mezi fázemi (γ_{sg} , γ_{lg}). K výpočtu povrchového napětí pevné látky jsou potřeba alespoň dvě kapaliny se známým podílem polární a disperzní složky, Owens a Wendt při formulaci této metody použili vodu a diiodmetan. Metoda se zakládá na předpokladu, že polární složka kapaliny reaguje jen s polární složkou povrchového napětí pevné látky, stejně tak i pro nepolární složky obou fází. To ovšem nemusí vždy platit a proto má tato metoda své limity, nicméně se velmi často používá pro zkoumání vlivu polárních a disperzních intrakcí na adhezi a smáčivost. [24], [30]

$$\gamma_{sl}(1 + \cos \theta) = \gamma_{lg} + \gamma_{sg} - 2 \left[\sqrt{\gamma_{sg}^p \gamma_{lg}^p} + \sqrt{\gamma_{sg}^d \gamma_{lg}^d} \right] \quad (4)$$

4.3.3 Wuova teorie harmonického poměru

Jak již název napovídá, tato metoda výpočtu povrchového napětí pevné látky je založena na interpretaci mezifázových interakcí polární a disperzní složky povrchového napětí harmonickým poměrem (5). K výpočtu je stejně jako u Owens–Wendtovy metody potřeba dvou kapalin se známou hodnotou polární i disperzní složky, z nichž má alespoň jedna z kapalin nulovou polární složku (obvykle se používá diiodmetan). Wuova metoda se velmi často používá pro výpočet volné povrchové energie vysokoenergetických materiálů (sklo, kovy a další). [25], [29]

$$\gamma_{sl} = \gamma_{lg} + \gamma_{sg} - 4 \left[\sqrt{\frac{\gamma_{lg}^d \gamma_{sg}^d}{\gamma_{lg}^d + \gamma_{sg}^d}} + \sqrt{\frac{\gamma_{lg}^p \gamma_{sg}^p}{\gamma_{lg}^p + \gamma_{sg}^p}} \right] \quad (5)$$

4.4 Chemické úpravy

Chemické modifikace pryží upravují vlastnosti povrchu přímo během chemické reakce, v našem případě při vulkanizaci směsí. Požadovaným výsledkem je nejčastěji lepší pevnost pryží v tahu, vyšší odolnost proti bobtnání, vysokým teplotám a mechanickému poškození. Je tedy zřejmé, že požadavek na specifické vlastnosti se musí řešit přímo s výrobcem, který formuluje kaučukovou směs. Problémem při zadávání může být skutečnost, že dodavatelé zabývající se přípravou směsí udržují přesnou recepturu svých vulkanizačních mixů, o jejichž složení neposkytují žádné informace. Testování chemicky modifikovaných pryží je z toho důvodu problematické a pro polygrafické provozy značně nákladné. Využívá se také chemické působení látek na povrch pryží za účelem zlepšení adhezních a přenosových vlastností. Upřednostňují se ovšem úpravy, které lze provádět v polygrafickém provozu přímo před tiskem, jsou poměrně levné a jejich proces rychlý. Proto se častěji setkáme s fyzikálními úpravami. [14]

4.5 Fyzikální úpravy

Základním principem fyzikálních úprav povrchů je vystavení materiálu vysokoenergetickým částicím nebo záření, které je schopné měnit chemickou strukturu materiálu. Hlavní výhodou těchto procesů je, že se dají aplikovat na široké spektrum polygrafických materiálů včetně pryží a polymerních fólií a máme tak možnost měnit jejich povrchovou energii. Na rozdíl od chemických úprav podléhají fyzikální modifikace časové degradaci a u polymerních materiálů je z tohoto důvodu velmi důležité sledovat datum výroby či modifikace. Účinek povrchových úprav polymerních fólií je několik měsíců (podle materiálu, způsobu a délky úpravy) a poté je třeba proces opakovat. U větších polygrafických provozů, které mají sklady, případně mezisklady materiálu, je nákup zařízení na fyzikální úpravy povrchů z těchto důvodů výhodný. Nejběžnějšími způsoby, se kterými se lze v praxi setkat, je úprava povrchu plamenem a koronovým výbojem. Tyto úpravy mohou probíhat za běžného tlaku v provozních podmínkách podniku. Kromě potiskovaných materiálů je také možné modifikovat samotný povrch a mikrostrukturu pryží (změna drsnosti), kdy se mění morfologie povrchu a vzniká větší plocha pro příjem i přenos barvy. Tímto postupem se zvyšuje drsnost povrchu pryžových válců, ale zároveň se snižují tiskové vlastnosti formy, je proto vhodné najít přijatelný kompromis. [14], [26], [27], [28]

4.5.1 Úprava korónovým výbojem

Tato povrchová úprava se běžně je typická pro polymerní fólie a provádí se krátce před potiskem materiálu, čímž dochází ke zvýšení povrchové energie substrátu. Krátký korónový výboj (0,1 s) je ideální pro zvýšení povrchového napětí polymerních fólií na 40 nM/m a kromě toho i vyčistí povrch. Princip spočívá ve vytvoření elektrického pole mezi elektrodou a válcem, mezi kterými fólie probíhá. Urychlené ionty a elektrony dopadají na povrch substrátu, kde způsobí rozpad kovalentních vazeb v řetězci. Vzniká ozón, který vytváří na povrchu polymeru polární oxidovanou vrstvu. Je tedy potřeba i zařízení na likvidaci ozónu. [14], [26]

4.5.2 Úprava plasmatem

Plasma je obecně chápáno jako ionizovaný plyn či směs plynů, obsahující urychlené částice (ionty, volné radikály, elektrony a další). Tento plyn je držen v komoře a po úpravě tlaku se vystaví silnému elektrickému poli, které plyn ionizuje. Tato úprava se dá použít pro velkou škálu polygrafických materiálu a je typická pro úpravu povrchových vlastností pryží. Při vystavení plasmatu dochází k odstranění nečistot a také zvýšení drsnosti povrchu. Její trvanlivost je podobná, jako u koróny. [14], [26], [27]

5 Experimentální část

Experimentální část diplomové práce byla rozdělena do tří částí. V první části probíhala příprava vzorků a následné měření povrchových vlastností využitých materiálů – povrchové energie u pryží a tiskových substrátů, povrchového napětí u flexosikových barev. Druhá část experimentu se zaměřila na potisk vybraných polymerních fólií flexotiskem. Poslední částí experimentu bylo vyhodnocení výsledku tisku s ohledem na povrchové vlastnosti použitých materiálů a hledání vhodných kombinací pro dosažení co nejlepší tiskové reprodukce.

5.1 Příprava vzorků testovaných pryží

Firmou Ligum s.r.o. byly dodány dvě sady flexotiskových pryžových návleků o různých vlastnostech (tab. 1; 2). Každá sada obsahuje deset návleků, z první sady se připravily vzorky pro testování povrchové energie, druhá sada se ponechala netknutá. Obě sady byly později využity k tiskovým zkouškám. Tyto návleky se navzájem liší v určitých parametrech a žádný z nich není stejný. Společným parametrem je velikost návleku, který je rozměrově přizpůsoben flexotiskovému stroji, na kterém probíhaly tiskové zkoušky. Návleky jsou vyrobené z různých vulkanizačních směsí a mají různou tvrdost (udávána v Shoreho stupnici), pokud jsou některé z těchto návleků vyrobené ze stejné směsi a mají stejnou tvrdost (vzorky č. 3, 4, 7, 8), liší se v povrchových vlastnostech, jako je drsnost či povrchová energie povrchu, které mají na příjem a přenos barvy velký vliv. Rozměr všech návleků je stejný, a to výrobce udává ve formátu 86.06/U310/300/300 mm.

Tabulka č. 2: Parametry první sady návleků

Číslo návleku	Název	Směs	tvrdost [ShA]	Ra [μm]	Rz [μm]
1	17205	A2+	65°	0,29	2,81
2	D75202	A12	75°	0,51	2,21
3	D70001	A16	70°	0,44	1,97
4	SAA9644/29	A16	70°	0,45	2,2
5	D75203	A12/E	75°	0,48	2,17
6	H2664	A16/E	70°	0,41	2,11
7	SAA9644/31	A16	70°	0,45	1,97
8	SAA9644/34	A16	70°	0,48	2,36
9	B60003	B6/3	65°	0,54	2,22
10	B60053	B6/1	60°	0,22	1,05

Tabulka č. 3: Parametry druhé sady návleků

Číslo návleku	Název	Směs	tvrdost [ShA]	Ra [μm]	Rz [μm]
11	17205	A2+	65°	0,29	2,81
12	D75202	A12	75°	0,51	2,21
13	D70001	A16	70°	0,44	1,97
14	SAA9644/29	EPDM	70°	0,45	2,2
15	D75203	A12/E	75°	0,48	2,17
16	H2664	A16/E	70°	0,41	2,11
17	SAA9644/31	A16	70°	0,45	1,97
18	SAA9644/34	A16	70°	0,48	2,36
19	B60003	B6/3	65°	0,54	2,22
20	B60053	B6/1	60°	0,22	1,05

Pro samotné testování povrchových vlastností dodaných pryžových návleků bylo potřeba vyrobit vzorky o velikosti, které je možné využít pro měření. Za tímto účelem se z každého návleku uřízl pás o šířce cca 4 cm, ze kterého se následně pomocí řezačky vyrobily tenké proužky o rozměrech přibližně 40×7 mm. Tato úprava je důležitá z několika důvodů. Zaprvé je třeba, aby se testovaný materiál rozměrově přizpůsobil možnostem přístroje. Zároveň se přípravou tenkých proužků vyhneme přílišnému zakulacení povrchu, které by zcela jistě velmi negativně ovlivnilo výsledky měření. Z každého návleku bylo nařezáno přibližně dvacet kusů těchto proužků a náhodně testováno tak, aby se předešlo případnému zkreslení výsledků možnou lokální nejednotností povrchu.

Pro následné skladování a transport vzorků do Ústavu makromolekulární chemie Akademie věd České republiky v Praze bylo potřeba vyrobit lepenkové krabičky, které by vzorky ochránily před kontaminací. Technický výkres požadovaných rozměrů se připravil v katedrální počítačové učebně v programu Esko ArtiosCAD a krabičky se následně vyřizly z lepenky na stolním plotru Mimaki CFL-605RT v technickém zázemí katedry. Vyrobené lepenkové krabičky s pryžovými vzorky se poté zabalily do stahovací fólie, aby se zamezilo případnému přístupu nečistot.

5.2 Měření povrchové energie pryžových vzorků

Bylo vybráno deset různých testovacích kapalin o známých vlastnostech a povrchovém napětí, včetně polární a nepolární složky (tab. 4). Při výběru testovacích kapalin bylo důležité, aby rozsah jejich povrchového napětí byl pokud možno co nejširší. Pomocí těchto kapalin se dá vypočítat povrchová energie pryží, a to tak, že se měří kontaktní úhel každé kapaliny s povrchem pryže. Existuje více způsobů takového měření, pro účely tohoto experimentu byl vybrán způsob měření kontaktních úhlů pomocí přisedlé kapky (Sessile drop). Měření vzorků pryží probíhalo ve dvou fázích. První měření proběhlo na katedrálním přístroji KSV Instrument se softwarem CAM 100 a druhé ve spolupráci s Ústavem makromolekulární chemie Akademie věd České republiky v jeho areálu v Praze. Výzkum probíhal za pomoci Ing. Ognen Pop-Georgievského Ph. D. na přístroji Dataphysics Contact Angle System OCA za využití softwaru SCA 20.

Tabulka č. 4: Parametry testovacích kapalin pro měření povrchové energie pryží

Kapalina	γ_{lg} [mN/m]	γ_{lg}^d [mN/m]	γ_{lg}^p [mN/m]
destilovaná voda	72,80	21,80	51,00
formamid	59,00	39,40	19,60
dijodmetan	50,80	49,50	1,30
ethylenglykol	47,70	26,40	21,30
dimetyl sulfoxid	44,00	36,00	8,00
benzylalkohol	38,90	29,00	9,90
pyridin	38,00	37,20	0,80
1,4-dioxan	33,00	33,00	0,00
cyklohexan	24,95	24,95	0,00
ethanol	22,10	17,50	4,60

5.2.1 Standardní podmínky měření

Je potřeba dodržovat určitá pravidla, která zaručují dobrou reprodukovatelnost měření. Mezi základní podmínky patří co největší čistota použitých kapalin, které zároveň nesmějí reagovat s povrchem měřené pevné látky. Povrch vzorků je také třeba zbavit veškerých nečistot, které by mohly negativně ovlivnit výsledky. K těmto účelům byla využita buničina napuštěná etanolem, kterou se povrch každého vzorku jemně vyčistil. Toto očištění proběhlo více jak 24 hodin před měřením, aby byla jistota odpaření všech zbytků etanolu. Takto upravené vzorky se skladovaly (jak bylo zmíněno výše) v krabičkách. Jelikož pryže jsou nevodivé materiály, je třeba si dávat pozor na statitckou elektřinu, která by také mohla negativně ovlivnit experiment. Z toho důvodu byl každý vzorek těsně před měřením vystaven proudu ionizovaného vzduchu. Neméně důležité jsou konzistentní teplotní podmínky, proto byla celá místnost, ve které měření probíhalo, po celou dobu experimentu temperována klimatizací na 22°C.

5.2.2 CAM 100 – KSV Instrument

Z inventáře katedry byl k těmto účelům využit přístroj CAM 100 – KSV Instrument. Přístroj se skládá z plošiny, kam se umístí proměřovaný vzorek, v našem případě pryž. Nad vzorkem se do svěráku připevní mikrostříkačka Hamilton o objemu 100 μ l naplněná testovací kapalinou a hrot jehly se umístí nad vzorek tak, aby se jehla nedotýkala povrchu, ale zároveň bylo dost prostoru pro odtrhnutí kapky a kapka na povrch vzorku přisedla z co nejmenší výšky (obr. 3). Prostor dopadnutí kapky na povrch vzorku snímá kamera CAM 100, která je propojena s počítačem. Softwarové rozhraní umožňuje nastavit několik klíčových parametrů a zároveň sledovat chování kapky kapaliny po dopadu na povrch připraveného vzorku.

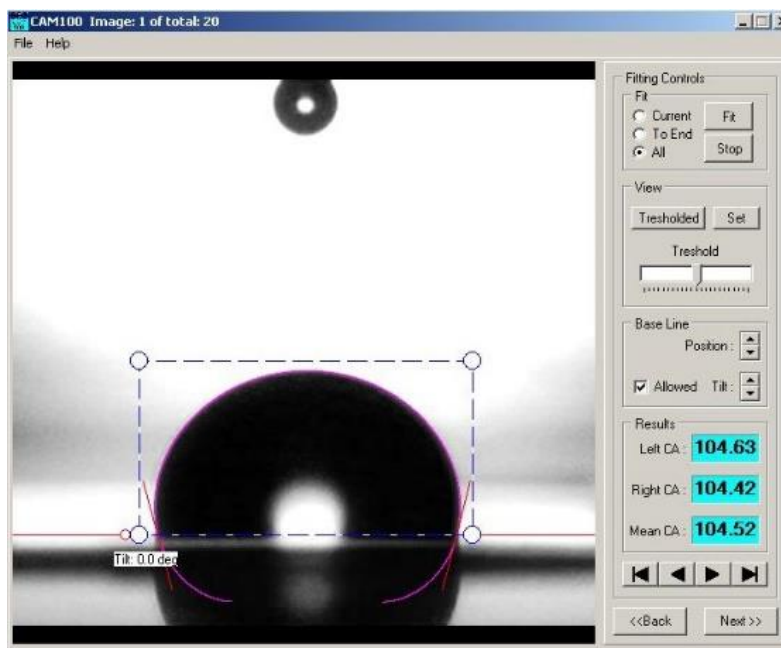


Obrázek č. 3: Měřicí přístroj CAM 100 – KSV Instrument

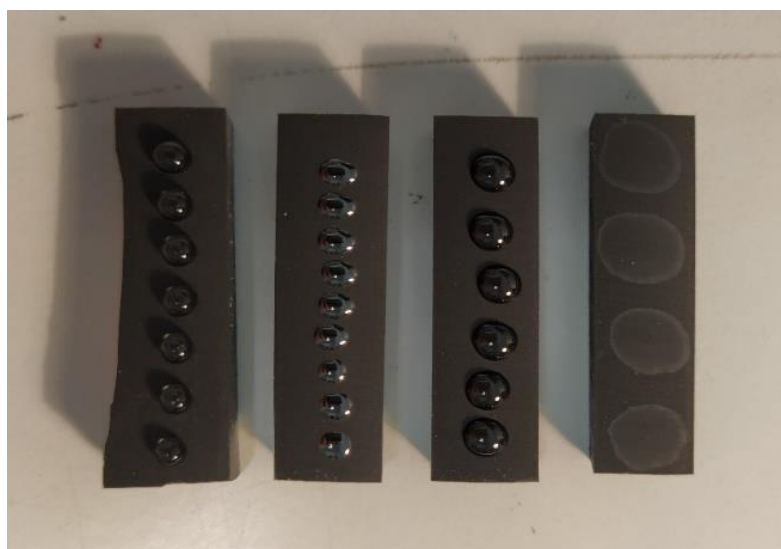
V první fázi je třeba připravit vzorek pryže na správné místo tak, aby byl pokud možno kolmo k upevněné mikrostříkačce nad ním. Zde je třeba zmínit, že je velmi důležité přistupovat s precizností už k přípravě pryžových vzorků tak, aby jejich spodní strana byla pokud možno co nejrovnější. V opačném případě může dojít ke znehodnocení výsledků měření kvůli přílišnému naklonění povrchu vzorku. Software kamery sice umožňuje upravit úhel přímky, od které se měří kontaktní úhel, ale v rámci zachování přesnosti měření je lepší mít povrch vzorku co nejrovnější.

V momentě dopadu kapky na povrch vzorku obsluha přístroje spustí snímání. Doba snímání kamery byla nastavena na dvacet vteřin se zaznamenáním změny po vteřině.

U každého vzorku vznikla sada dvaceti snímků. V dalším kroku software vypočítá levý a pravý kontaktní úhel kapaliny vůči povrchu vzorku. Jako třetí hodnota je vypočítán průměr z pravého a levého kontaktního úhlu (obr. 4). Právě průměrná hodnota je velmi důležitá, protože se později vkládá do vzorce pro výpočet povrchové energie proměřovaného vzorku. Výsledná data jsou exportována do sešitu Excel. Rozdílné chování kapalin na povrchu ilustruje obr. 5, na kterém je mimojiné viditelná reakce cyklohexanu s povrchem pryže.



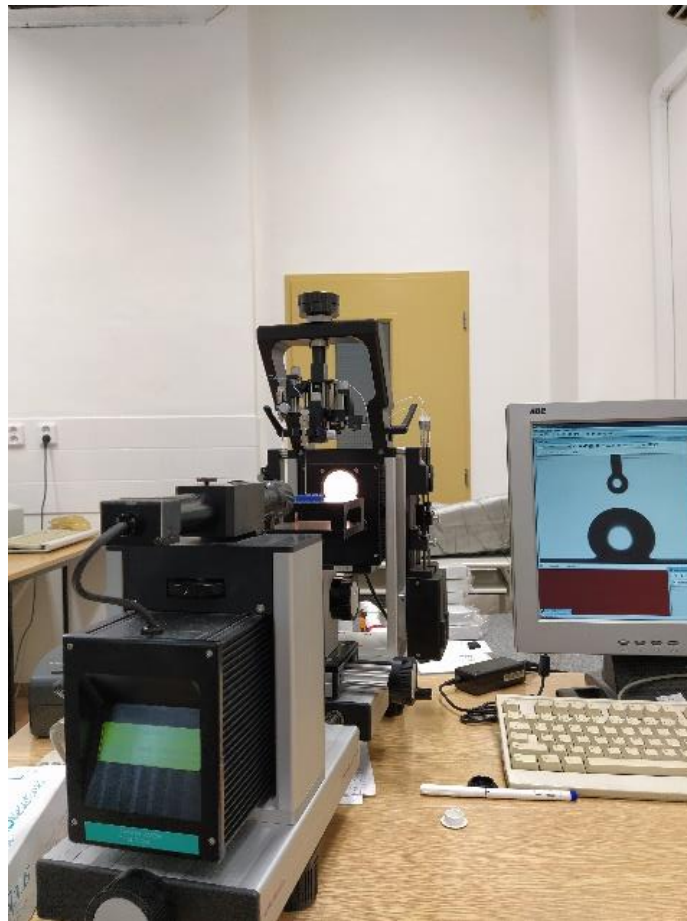
Obrázek č. 4: Výpočet kontaktního úhlu v softwaru CAM 100



Obrázek č. 5: Různé chování kapalin na povrchu pryže

5.2.3 Dataphysics Contact Angle System OCA

Konstrukční řešení tohoto přístroje (obr. 6) je podobné, jako u KSV Instrument. Vzorek se umístí na plochu, jejíž pozice lze snadno měnit pomocí posuvných koleček tak, aby se se vzorkem co nejméně ručně manipulovalo. Tento prostor snímá kamera s vysokým rozlišením napojená do počítače. Velkým rozdílem je dávkovací jednotka (dispense unit). Obsahuje tři mikrostříkačky Hamilton o objemu 50 μl , které jsou pomocí hadiček vyvedeny nad prostor vzorku, kde ústí jehly upevněné na polohovatelné hlavici. Je tedy možné jednoduše střídat testovací kapaliny.



Obrázek č. 6: Přístroj Dataphysics Contact Angle System

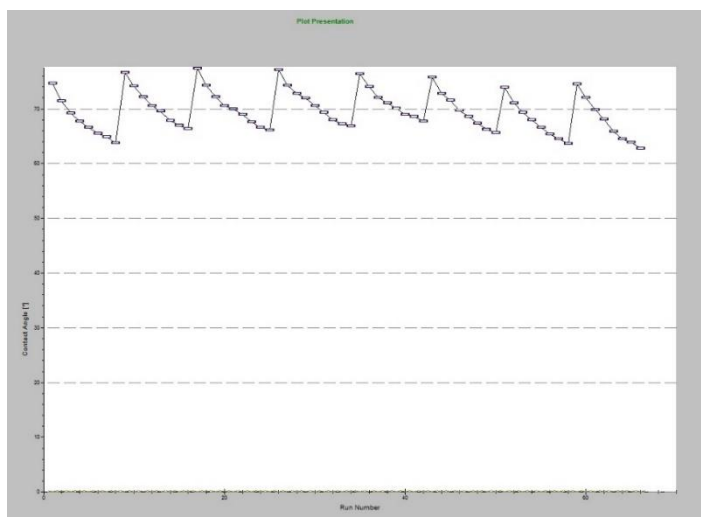
Každá injekce má svůj prostor, ve kterém je uchycena pomocí polohovacích šroubů vývodem směrem vzhůru. O přesné dávkování testovací kapaliny se stará elektrický pohon, který podle nastavených parametrů posunuje plošinu pod injekcí po závitové tyči směrem vzhůru. V nastavení dávkovací jednotky se nastaví objem dávkování (dosing rate) na co nejnižší hodnotu, tedy 0,1 μl . Tímto způsobem je zajištěno, že na konci jehly bude postupně vznikat co nejmenší kapička. Samotné dávkování může fungovat buď v automatickém, nebo v tomto případě využitém ručním režimu. Obsluha přístroje mačká tlačítko dávkování (jedno zmáčknutí – 0,1 μl) dokud se kapka z hrotu jehly neutrhne. Zároveň s dopadem kapky je třeba spustit snímání kamery v okně snímání (live video) s nastavenou volbou měření pomocí přisedlé kapky.

Přístroj nabízí spolu se softwarem SCA 20 řadu zajímavých možností pro práci s měřeními vzorky. V základním okně nastavení je možné volit z možností výpočtu kontaktního úhlu (cesta Settings – Preference – Calculation). Kromě v tomto případě zvolené možnosti Laplace – Youngovi rovnice (6) se nabízí alternativy jako výpočet podle funkce tangens, kalkulace elipsy či polynomu.

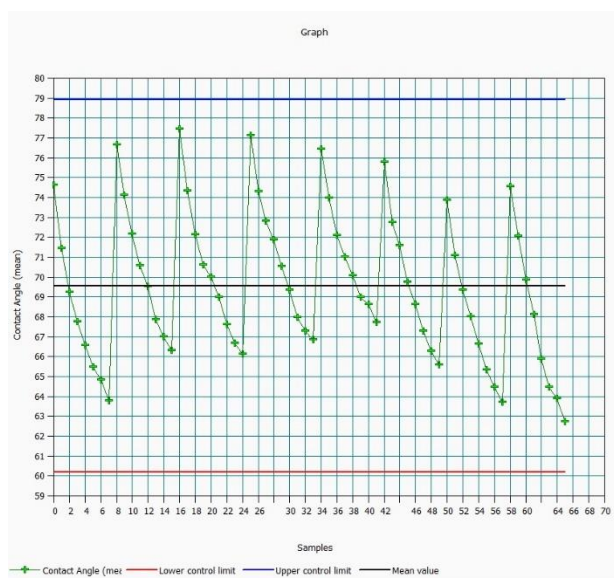
$$\Delta p = \frac{2\gamma}{r} \quad (6)$$

V okně preferencí měření je potřeba nastavit fázové rozhraní. Plynná fáze je přednastavena na kyslík, fáze kapky nabízí širokou škálu kapalin (včetně všech v tomto experimentu použitých) a po výměně každé testovací kapaliny je třeba ze seznamu vybrat další, aktuálně použitou. Jako poslední z podoken preferencí je nastavení snímání kamery. Doba snímání byla nastavena stejně jako při předešlém měření, tedy dvacet sekund, ale zároveň je potřeba zmínit, že proces snímání se liší. Výstupem tohoto měření je video, nikoliv sekvence snímků. Je tedy potřeba nastavit počet snímků za vteřinu (frame rate) na hodnotu 25 a automatické ukončení nahrávání po dvaceti sekundách. Po ukončení nahrávání se v okně videa nastaví potřebné parametry pro výpočet kontaktních úhlů v následujícím pořadí – umístění základní linie, extrakce profilu a výběr kalkulace

kontaktního úhlu. Před spuštěním výpočtu je nutné otevřít okno pro sběr výsledků (obr. 7), do kterého se po spuštění výpočtů výsledky zaznamenávají. Zde je prostor pro výběr potřebných dat. Pro práci s výsledky se otevře nové okno výsledků (statistics window), kde se naměřená data dále statisticky zpracují do podoby grafů (obr. 8) a histogramů (obr. 9).

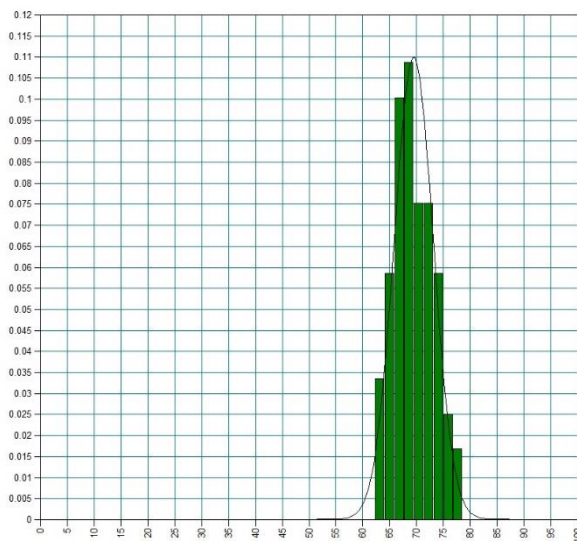


Obrázek č. 7: Zaznamenání výsledků v SCA 20



Mean: 69.54 – Deviation: 3.63 – Min: 62.72 – Max: 77.42
Total: 66 – LCL: 60.18, Below: 0 – UCL: 78.90, Above: 0

Obrázek č. 8: Graf chování kapky v SCA 20

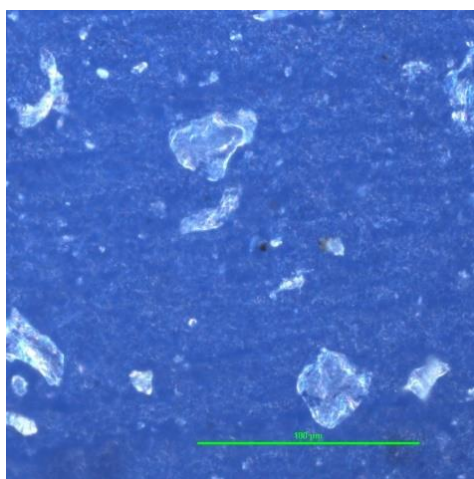


Mean: 69.54, Deviation: 3.63, BarWidth = 1.81

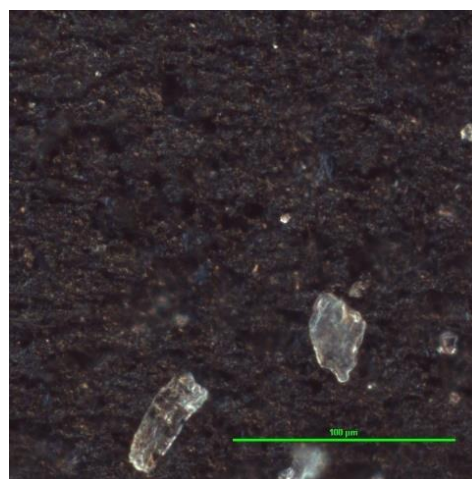
Obrázek č. 9: Histogram výsledků v SCA 20

5.3 Povrch pryžových vzorků

Pryže jsou velmi nehomogenní materiály, jelikož vulkanizační směsi pro jejich výrobu mohou obsahovat desítky různých komponentů. Ty mohou mít vliv jak na vlastnosti, tak i strukturu povrchu. Flexotiskové návleky se po vulkanizaci běžně brousí, polírují, aby byl povrch pokud možno co nejrovnější a vrstva pryže v rámci celého návleku stejně vysoká. Při porovnání měření povrchové energie na dvou různých přístrojích za standardizovaných podmínek se potvrdilo, že výsledky se mohou lišit v rámci jednotek. Navíc se při analýze výsledků zjistilo, že na přístroji Dataphysics Contact Angle System OCA bylo u některých pryží možné naměřit kontaktní úhel kapalin, které se v rámci prvního měření získat nepodařilo, což může být buď vlivem lepšího snímacího zařízení, nebo nehomogenity povrchu vzorku. V rámci experimentu se tedy na mikroskopu Nikon Eclipse Lvidia-N zkoumal i povrch dodaných návleků a jeho možný vliv na povrchové vlastnosti, příjem a přenos barvy. Propojení tohoto přístroje s počítačem zajišťuje software NIS – Elements BR Analysis, díky kterému byly získány snímky povrchu všech pryží. Povrch pryží není ani navzdory povrchovým úpravám dokonale hladký, což se při pořizování mikroskopických snímků potvrdilo. U většiny pryží jsou pozorovatelné známky polírování, kdy v povrchu zůstávají mikrodrážky. Vyjímkou byla pryž č. 10, jejíž povrch je hladší. Nicméně je třeba zmínit, že u všech pryží narušují homogenitu povrchu částice vulkanizační směsi, které mohou mít velikost i cca 25 μm a jejich rozložení je absolutně náhodné. Hrubost povrchu brání v doostření smínku, jak dokládá smínků z mikroskopu (obr. 10; 11).



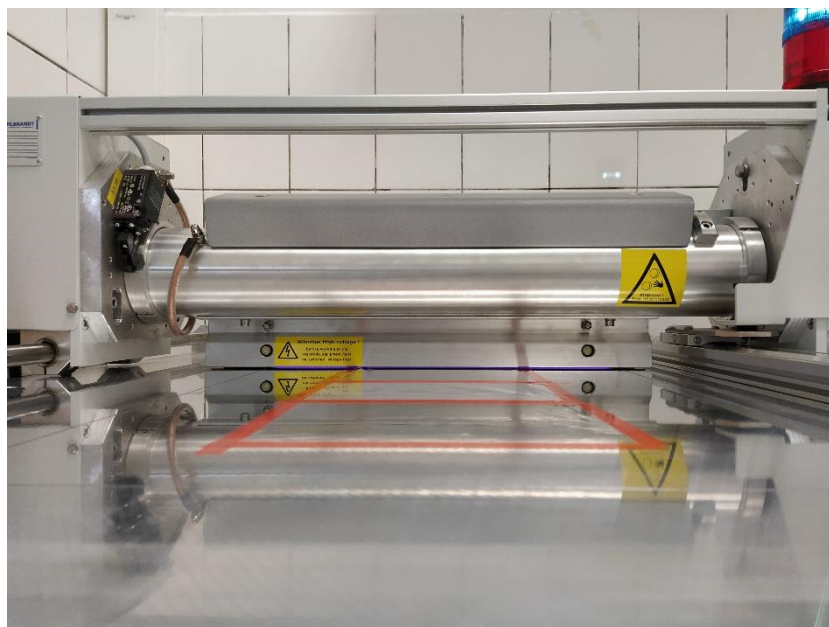
Obrázek č. 10: Povrch pryže č. 10



Obrázek č. 11: Povrch pryže č. 8

5.4 Potiskované materiály

Při výběru vhodných polymerních substrátů pro potisk bylo důležité, aby měly co největší rozsah povrchové energie. Vybralo se několik druhů fólií, u kterých se měřila povrchová energie a to jak bez povrchové úpravy, tak s úpravou koronovým výbojem. Úprava povrchu koronovým výbojem probíhala s prostorách KPF na přístroji Alhbrandt (obr. 12), nastavená na jeden průjezd a působícím elektrickým výkonu 800 W. Následným orientačním měřením povrchové energie pomocí testovacích fixů byly získány orientační hodnoty povrchové energie, které se následně potvrdily měřením přisedlé kapky testovacích kapalin. Jako tiskové substráty byly zvoleny fólie ze tří druhů polymerních materiálů s různými parametry. Vybrány byly materiály (tab. 5), se kterými se lze běžně setkat v polygrafickém a obalovém průmyslu.



Obrázek č. 12: Zařízení pro povrchovou úpravu polymerních fólií Alhbrandt

Tabulka č. 5: Parametry vybraných polymerních fólií

Výrobce	Druh polymeru	Tloušťka [μm]	Plošná hmotnost [g/m^2]
Alupol Films	PP	30	27,3
RadiciFilm	PP	30	28,5
FlexFilm	PET	12	16,8

Pro výpočet povrchové energie použitých substrátů je potřeba postupovat stejně, jako

u pryžových vzorků. Bylo vybráno šest kapalin se známou hodnotou povrchového napětí a podílu polární a nepolární složky (tab. 6).

Tabulka č. 6: Parametry testovacích kapalin pro měření povrchové energie polymerních fólií

Kapalina	γ_{lg} [mN/m]	γ_{lg}^d [mN/m]	γ_{lg}^P [mN/m]
destilovaná voda	72,8	21,8	51,0
glycerol	64,0	34,0	30,0
formamid	58,2	38,5	18,7
dijodmetan	50,8	49,5	1,30
ethylenglykol	48,3	29,3	19,0
benzylalkohol	38,9	29,0	9,9

Na přístroji CAM 100 – KSV Instrument se naměřily kontaktní úhly vybraných kapalin pro zjištění povrchové energie použitých substrátů. Správnost výsledků se potvrdila pomocí fixů pro testování povrchové energie (tab. 7).

Tabulka č. 7: Zjištěná povrchová energie vybraných polymerních fólií

Druh polymeru	Tloušťka [μm]	Povrchová energie [mJ/m ²]	Disperzní složka [mJ/m ²]	Polární složka [mJ/m ²]
PP	30	50,3	26,9	23,4
PET	12	44,2	39,9	4,3
PP	30	24,0	21,1	2,9

Z fólií se připravily vzorky požadované šíře tisku a následně se pomocí pásky připevnily na roli papíru a plošné hmotnosti 78,3 g/m².

5.5 Použité tiskové barvy

Záměrem experimentu bylo použít dvě flexotiskové barvy s rozdílnou bází, jejichž povrchové napětí se bude lišit alespoň o 10 mN/m. Použita byla lihová barva NitroBase WZ64-_G a vodová barva Hydrokett 2000, obě od výrobce FlintGroup. Koncentráty barev byly dodány firmou OTK Group a.s, od každé barvy se odlilo 750 ml a jejich konzistence se před tiskem upravila na požadovnou hodnotu vhodným ředidlem (tab. 8). Konzistence se kontrolovala pomocí DIN výtokového pohárku s průměrem výpusti 4 mm. Poté, co byla upravena konzistence barev, bylo možné změřit jejich povrchovou energii pomocí tenziometru Krüss K6 (obr. 13).

Tabulka č. 8: Ředění barev na požadovanou konzistenci

	ředidlo	původní konzistence [s]	přidáno ředidla [ml]	konečná konzistence [s]
vodová barva	voda	32	28	18
lihová barva	etanol	36	95	18



Obrázek č. 13: Tenziometr Krüss K6

Do kádinky se nalila připravená barva a umístila se na podstavec přístroje. Kroužek z platinového drátku ponořený do barvy se uchytil na rameno vah a postupně se zvyšovala působící síla, dokud se kroužek neodtrhl. Za ustálených teplotních podmínek (25°C) bylo provedeno pět měření pro každou barvu a bylo zjištěno povrchové napětí tiskových barev (tab. 9).

Tabulka č. 9: Naměřené povrchové napětí disperzní a lihové barvy

	měření					povrchové napětí [mN/m]
disperzní barva	37,0	37,5	37,25	37,5	37,0	37
lihová barva	24,0	24,5	24,5	24,25	24,0	24

5.6 Potisk flexotiskem

Tiskové zkoušky probíhaly na stroji Saueressig Flexo Proofer F.P.100/300. Fólie připevněné na roli papíru se postupně natiskly lihovou a vodovou barvou, přičemž pro každý testovaný návlek se připravila sada tří vzorků od každé fólie. Rytý aniloxový válec stroje je rozdělen na osm polí s různou lineaturou (tab. 10), každé pole tedy zajišťuje přenos jiného

množství barvy na formový návlek. První sada návleků se použila pro lihovou barvu a jejich šíře postačila na všech osm polí aniloxového válce. Z druhé sady návleků se dříve připravily vzorky pro měření povrchové energie, proto se musela zúžit část určená pro tisk na pět polí aniloxového válce. Před spuštěním tisku byla potřeba nastavit tlak působící mezi návlekiem a tlakovým válcem. U všech vzorků byla tato hodnota nastavena na 0,1 mm. Také se vždy vyčistil povrch návleku příslušnou bází, pro vodové barvy vodou, po lihové etanolem. Připravené sady fólií byly v roli papíru umístěny v dostatečné vzdálenosti tak, aby se po výměně návleku ustálil tiskový proces. Ustálenost tiskového procesu dokládá tab. 11 a tab. 12, kdy se měřila optická hustota tiskových polí na papírové roli, na které byly upevněny polymerní substráty. Optická hustota polí se měřila po rozjetí tisku, přibližně uprostřed tisku a následně na konci, před potištěním posledních vzorků. Takto se postupovalo u obou barev.

Tabulka č. 10: Parametry děleného rytého aniloxového válce

Hustota jamek [jamky/cm]	Úhel zabroušení diamantu [°]	Hloubka jamky [μm]	Příčná šířka jamky [μm]	Šířka opěrného můstku [μm]	Obsah jamek [cm ³ /m ²]
48	140	44	249	11	11,4
54	140	41	232	10	10,6
60	140	33	190	10	8,0
70	140	28	158	10	6,6
80	140	24	135	6	5,3
100	140	18	105	7	4,0
120	140	17	95	7	3,7
140	140	14	78	5	3,1

Tabulka č. 11: Měření optické hustoty v průběhu tisku lihovou barvou na papírové podložce

Pole válce	Start			Střed			Konec			Odchyłka	Průměr
1	1,60	1,59	1,61	1,66	1,66	1,65	1,60	1,59	1,58	0,03	1,61
2	1,66	1,71	1,66	1,66	1,66	1,67	1,68	1,67	1,69	0,01	1,67
3	1,70	1,70	1,70	1,69	1,69	1,71	1,69	1,69	1,69	0,01	1,70
4	1,70	1,70	1,71	1,71	1,68	1,70	1,70	1,70	1,71	0,01	1,70
5	1,72	1,70	1,70	1,70	1,70	1,71	1,70	1,70	1,70	0,01	1,71
6	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,70	1,71	1,71	1,71	0,00	1,71
7	1,74	1,73	1,73	1,72	1,72	1,73	1,74	1,75	1,74	0,01	1,73
8	1,75	1,76	1,76	1,74	1,77	1,78	1,76	1,79	1,78	0,02	1,77

Tabulka č. 12: Měření optické hustoty v průběhu tisku vodovou barvou na papírové podložce

Pole válce	Start			Střed			Konec			Odchylka	Průměr
1	1,49	1,49	1,50	1,48	1,48	1,47	1,49	1,49	1,50	0,01	1,49
2	1,57	1,60	1,57	1,55	1,57	1,58	1,57	1,59	1,56	0,01	1,57
3	1,58	1,58	1,59	1,57	1,60	1,60	1,63	1,57	1,58	0,02	1,59
4	1,65	1,63	1,62	1,67	1,66	1,64	1,67	1,65	1,62	0,02	1,65
5	1,71	1,70	1,70	1,75	1,69	1,72	1,72	1,71	1,72	0,02	1,71

5.7 Měření optické hustoty

Po tisku se z každé sady vybral jeden vzorek od každého substrátu, u kterého se následně měřila optická hustota pomocí přístroje X-rite Exact (obr. 14). Přístroj se připojil do počítače a v softwaru X-rite Data Catcher se nastavily podmínky měření. Jako zdroj záření byl zvolen standardizovaný typ D50/2° v módu M0, geometrie měření 0°/45° a status optické hustoty podle normy ISO E. Jelikož se jedná o transparentní substráty, byla zvolena bílá podložka. Následovala kalibrace spektrofotometru na referenční bílý standard (PET dotovaný BaSO₄), aby měření poskytovalo korektní hodnoty reflektance.

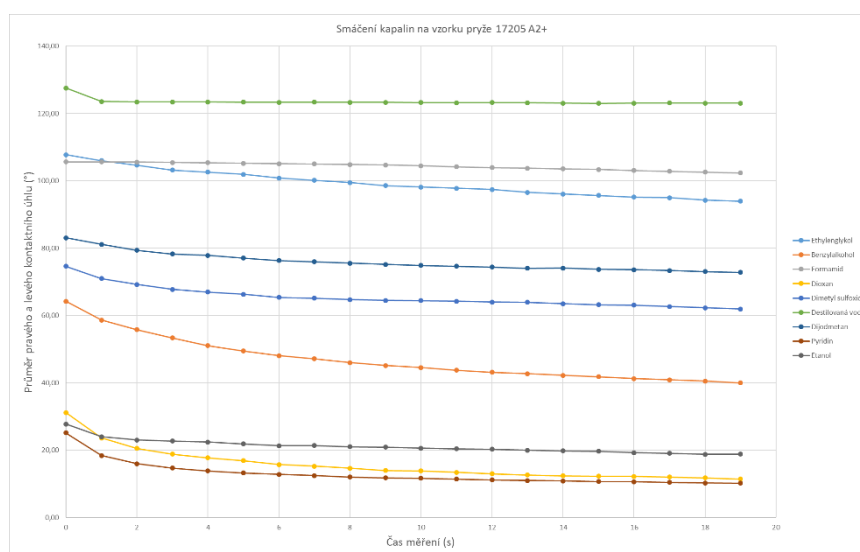


Obrázek č. 14: Spektrofotometr X-rite Exact

6 Výsledky a diskuze

6.1 Výsledky měření povrchové energie pryžových vzorků

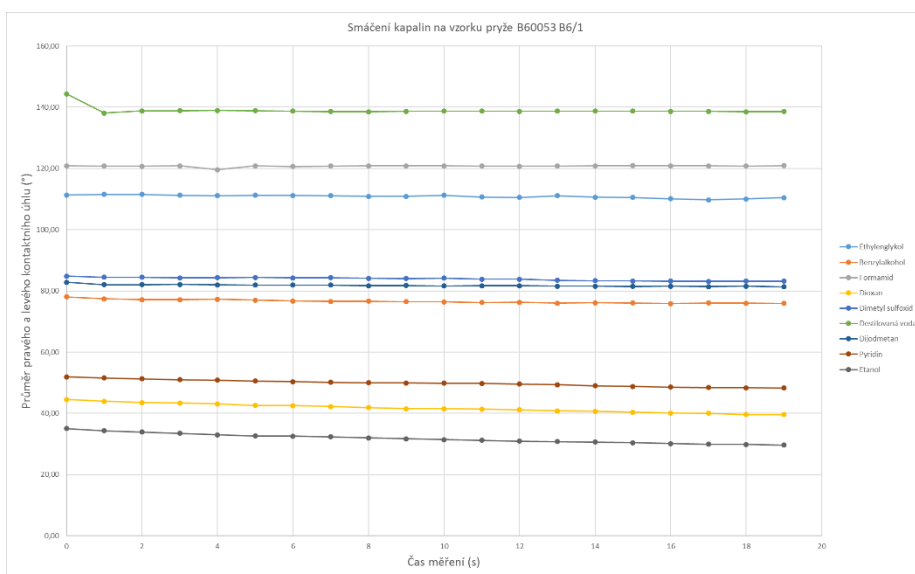
Naměřená data z přístroje CAM 100 – KSV Instrument se zpracovávala v Excelu. Jelikož povrch pryží není na všech místech stejný, může se stát, že některá měření se výrazně liší. Z tohoto důvodu bylo u každého vzorku a každé kapaliny uděláno tolik měření, aby zůstala vypovídající data i po vyfiltrování výsledků. Vybrala se pouze měření, u kterých se kapalina po dopadu na povrch pryže chovala podobně, což se dá odvodit od změny kontaktního úhlu. Snahou bylo, aby takových měření bylo alespoň pět. Těchto pět (či více) měření se zprůměrovalo tak, aby vzniklo jedno průměrné měření vypovídající o chování kapaliny na povrchu pryže. Data se vyhodnotila pomocí aritmetického průměru a směrodatné odchylky. Obecně se dá říci, že kapalina se po dopadu na povrch pryže může chovat třemi způsoby – pokud je kontaktní úhel větší než 90° , kapalina povrch nesmáčí a kontaktní úhel se mění pouze minimálně. Pokud je úhel menší než 90° , kapalina povrch smáčí a kontaktní úhel postupně klesá. Tyto dva způsoby smáčení jsou zřetelné po vynesení hodnot do grafů (obr. 15) u všech testovaných pryží.



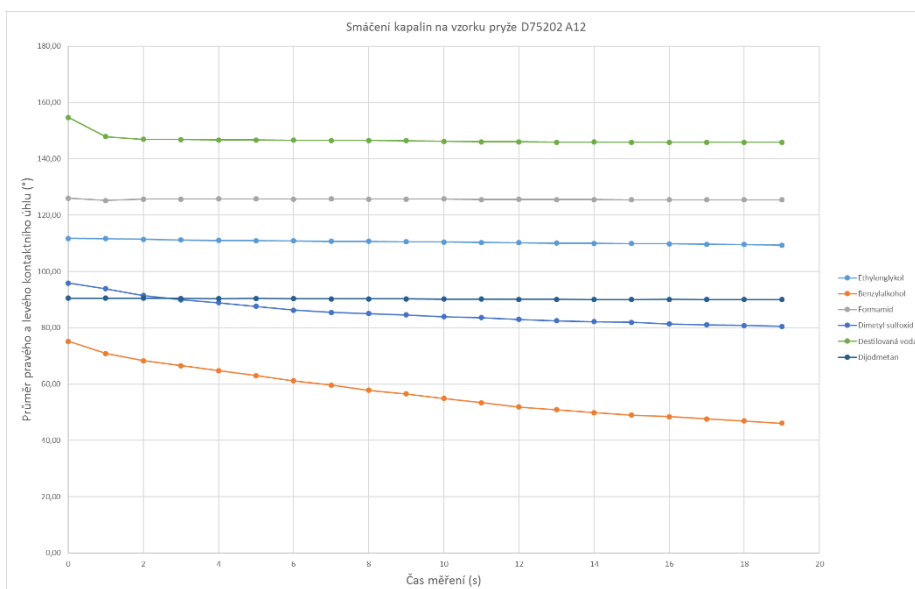
Obrázek č. 15: Graf chování kapalin na povrchu pryže č. 1

Porovnáním grafů jednotlivých pryží (obr. 16; 17) a sledováním chování kapalin na povrchu materiálu se dá rámcově predikovat, které pryže mají podobné povrchové vlastnosti. Bylo zjištěno, že kromě cyklohexanu je možné na většině pryží naměřit kontaktní úhly všech

testovacích kapalin. Kontaktní úhel etanolu byl naměřen jen u vzorků č. 1; 2; 3 a 10. Vyjímkou byly pryže č. 5 a č. 9, u kterých nebyly shodně naměřeny data pro žádné nízkoenergetické kapaliny (etanol, 1,4-dioxan, pyridin). U těchto materiálů tedy lze předpokládat nižší povrchovou energii. Grafy pro všechny pryže jsou k nahlédnutí v příloze A.



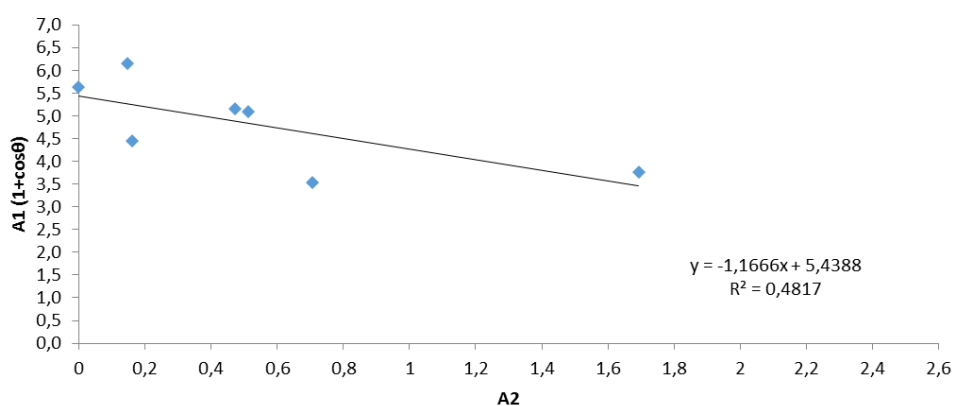
Obrázek č. 16: Graf chování kapalin na povrchu pryže č. 10



Obrázek č. 17: Graf chování kapalin na povrchu pryže č. 5

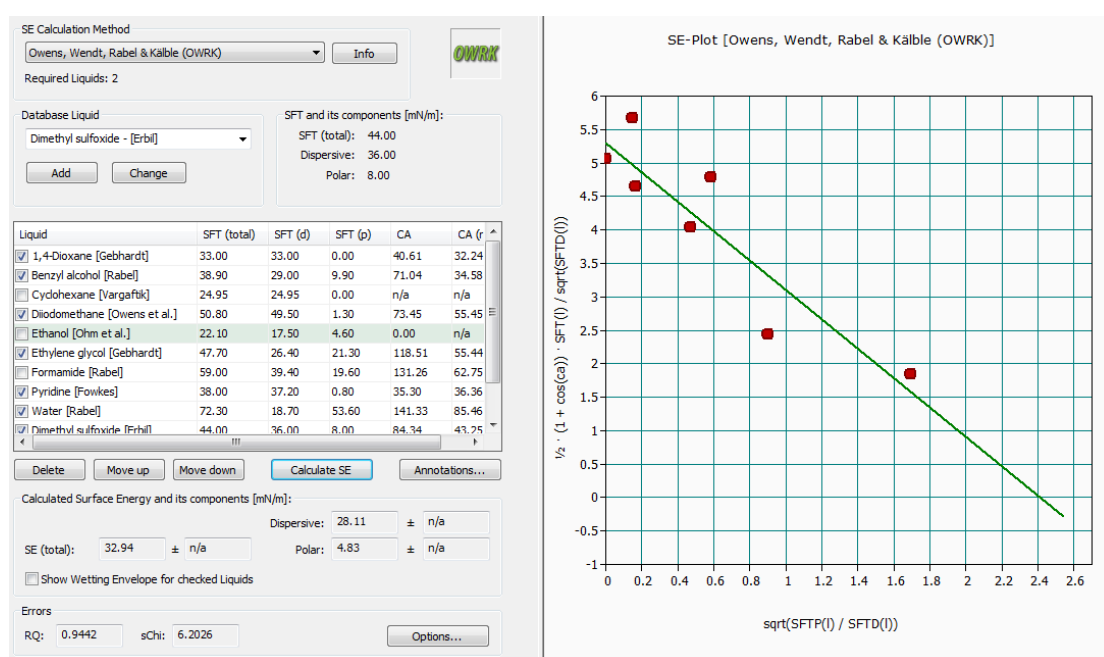
Třetí způsob chování je dokonalé smáčení, kdy se kapalina na povrchu velmi rychle rozprostře a vytvoří tenký film na povrchu tuhé fáze. V takových případech je měření kontaktního úhlu problematické a nejčastěji nastává u kapalin s nízkým povrchovým napětím a u těkavých látek, v tomto experimentu typicky cyklohexan, který navíc s povrchem pryží reagoval. Během experimentu bylo zjištěno, že u kapalin smáčejících povrch pryží roste směrodatná odchylka úměrně s rychlostí smáčení, typicky například u etanolu. Navíc u těkavých látek může odpařování výrazně zkreslovat naměřené hodnoty. Z těchto důvodů bylo potřeba u vybraných kapalin selektovat data tak, že se zkrátil interval měření použitý pro výpočet aritmetického průměru a směrodatné odchylky. Cílem bylo, aby směrodatná odchylka nabývala nejvýše hodnoty 2,00. Z dvacetisekundového intervalu se tedy vyřadily první dvě sekundy, po kterých je kapalina na povrchu více ustálená, a posledních deset až dvanáct sekund, aby se snížil vliv odpařování u těkavých kapalin. U kapalin smáčejících povrch se tedy průměr a směrodatná odchylka vypočítávaly z intervalu šesti, respektive devíti vteřin. Průměrné hodnoty z těchto intervalů všech kapalin se následně dosadily do vzorce pro výpočet povrchové energie podle teorie OWRK (Owens, Wendt, Rabel & Kälble).

Po vynesení hodnot do grafu se body proložily přímkou a ze směrnice přímky se vypočítala polární a disperzní složka, jejichž součet je rovný povrchové energii materiálu (obr. 18).



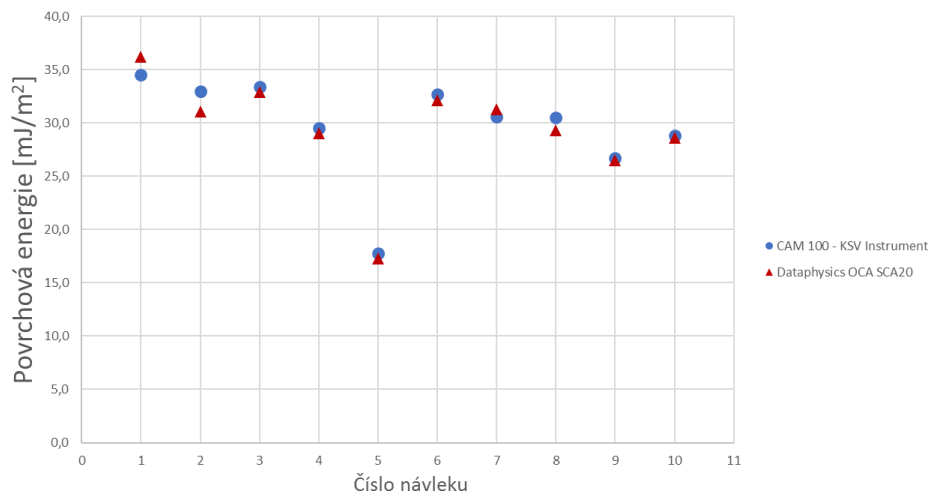
Obrázek č. 18: Získání směrnice přímky pro výpočet polární a disperzní složky povrchové energie pryže č. 1

Jak již bylo zmíněno výše, data z přístroje Dataphysics Contact Angle System OCA se vyhodnocovaly v příslušném softwaru přímo na půdě ÚMCH AVČR. Naměřená data se selektovala stejným způsobem, jako tomu bylo u prvního měření. Získané grafy a histogramy obsahují jak směrodatnou odchylku, tak i průměrnou hodnotu, která je potřebná pro další postup. V novém kalkulačním okně (SE calculation window) se zvolí metoda měření (OWRK) a kapaliny použité v experimentu. Jednou z výhod tohoto softwaru je implementovaná databáze kapalin s informací o disperzní i polární složce povrchového napětí. Ke každé kapalině se vloží hodnota kontaktního úhlu a systém vypočítá povrchovou energii materiálu. (obr. 19). Grafy pro všechny pryže jsou k nahlédnutí v příloze B.



Obrázek č. 19: Výpočet povrchové energie pryže č. 3 v SCA 20

Výsledná data je třeba přepsat do Excelu, aby bylo možné porovnat výsledky z obou přístrojů. Při porovnání obou měření pomocí grafů (obr. 20) bylo zjištěno, že výsledky se u některých pryží mohou lišit v rámci jednotek a stanovit přesnou hodnotu povrchové energie je problematické. Navíc se liší i poměr mezi polární a disperzní složkou jednotlivých pryží (tab. 13 a 14), které jsou znázorněny v příloženém grafu (obr. 21).



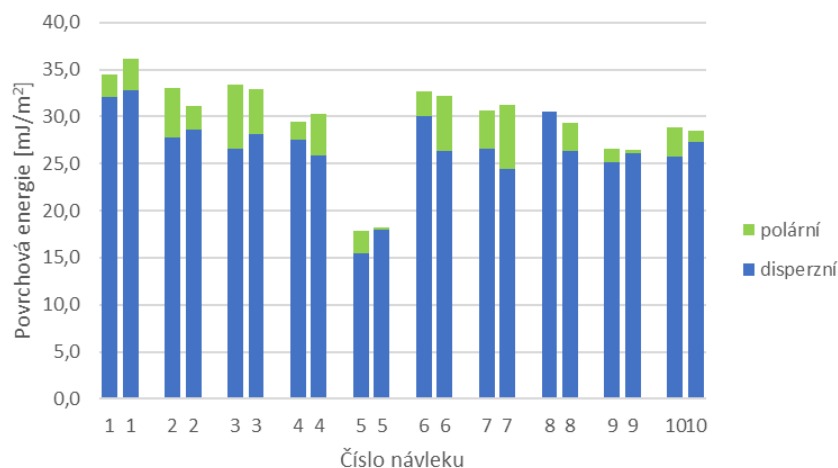
Obrázek č. 20: Graf porovnání naměřené povrchové energie pryží z obou přístrojů

Tabulka č. 13: Povrchová energie pryží získaná na přístroji CAM 100 – KSV Instrument

Číslo pryže	Disperzní složka [mJ/m ²]	Polární složka [mJ/m ²]	Povrchová energie [mJ/m ²]
1	32,1	2,4	34,5
2	27,8	5,3	33,0
3	26,6	6,8	33,4
4	27,6	1,9	29,5
5	15,5	2,3	17,8
6	30,0	2,7	32,7
7	26,6	4,1	30,6
8	30,5	0,0	30,5
9	25,1	1,5	26,7
10	25,8	3,0	28,8

Tabulka č. 14: Povrchová energie pryží získaná na přístroji Dataphysics Contact Angle System OCA

Číslo pryže	Disperzní složka [mJ/m ²]	Polární složka [mJ/m ²]	Povrchová energie [mJ/m ²]
1	32,8	3,4	36,2
2	28,6	2,5	31,1
3	28,1	4,8	32,9
4	25,9	4,4	30,3
5	18,0	0,2	18,2
6	26,3	5,9	32,2
7	24,4	6,9	31,3
8	26,4	2,9	29,3
9	26,1	0,4	26,5
10	27,3	1,2	28,5



Obrázek č. 21: Graf porovnání disperzní a polární složky povrchové energie pryží z obou přístrojů

6.2 Výsledky měření optické hustoty

Při měření optické hustoty se z každého tiskového pole se u vodové barvy náhodně vybralo pět míst, na kterých se změřila optická hustota pomocí spektrofotometru. U lihové barvy se předpokládalo lepší rozlití barvy a menší rozdíl mezi jednotlivými výsledky, proto se měřilo pouze třikrát. Tento úsudek později potvrdila směrodatná odchylka.

Díky propojení s počítačem byla naměřená data exportována do Excelu, kde se data zpracovaná do tabulek byla následně vypočítána směrodatná odchylka a aritmetický průměr měření pro jednotlivé pásy aniloxového válce (tab. 15). Poté se pro každý substrát vybralo pole aniloxového válce, u kterého byla zjištěna nejvyšší optická hustota. Toto pole je zároveň pole s největším objemem přenesené barvy, lze tedy předpokládat, že hodnota reprezentuje maximální možný objem přenosu pryžového návleku. U většiny pryží hodnota optické hustoty roste úměrně s větším objemem jamek aniloxového válce a po dosažení maximální hodnoty mírně klesá. Vyjimkou jsou pryže č. 7 a 8, u kterých hodnoty optické hustoty postupně narůstaly a maximum bylo u všech substrátů naměřeno až v posledním poli.

Tabulka č. 15: Optická hustota pro všechny substráty a pásy aniloxového válce, lihová barva, pryž č. 6

Měření PET					
Pole válce	1	2	3	Odchylka	Průměr
1	1,76	1,78	1,78	0,01	1,78
2	1,85	1,89	1,88	0,02	1,87
3	1,90	1,89	1,89	0,01	1,89
4	1,91	1,91	1,89	0,01	1,90
5	1,92	1,92	1,92	0,00	1,92
6	1,93	1,94	1,91	0,01	1,93
7	1,90	1,90	1,92	0,01	1,91
8	1,85	1,91	1,84	0,03	1,86
Měření PP					
Pole válce	1	2	3	Odchylka	Průměr
1	1,86	1,85	1,84	0,00	1,85
2	1,89	1,89	1,89	0,00	1,89
3	1,89	1,91	1,90	0,01	1,90
4	1,94	1,94	1,95	0,00	1,94
5	1,93	1,96	1,93	0,01	1,94
6	1,96	1,97	1,96	0,01	1,97
7	1,92	1,90	1,91	0,01	1,91
8	1,92	1,91	1,92	0,00	1,91
Měření PP2					
Pole válce	1	2	3	Odchylka	Průměr
1	1,79	1,82	1,82	0,01	1,81
2	1,89	1,88	1,90	0,01	1,89
3	1,89	1,92	1,89	0,01	1,90
4	1,95	1,95	1,95	0,00	1,95
5	1,97	1,94	1,95	0,01	1,95
6	1,94	1,93	1,93	0,01	1,93
7	1,93	1,93	1,94	0,01	1,93
8	1,90	1,90	1,90	0,00	1,90

U vodové barvy byla největší optická hustota až na výjimky (PET fólie, pryž č. 1 a č. 4) naměřena u všech pryží a substrátů v posledním (pátém) poli aniloxového válce (tab. 16), ovšem zde nelze s jistotou konstatovat, že se jedná o maximální možný objem přenosu, protože návleky byly zúženy a nebylo možné natisknout všech osm polí aniloxového válce.

Tabulka č. 16: Optická hustota pro všechny substráty a pásy aniloxového válce, disperzní barva, pryž č. 6

Měření PET							
Pole válce	1	2	3	4	5	Odchylka	Průměr
1	1,62	1,59	1,57	1,61	1,59	0,02	1,60
2	1,76	1,75	1,73	1,72	1,75	0,01	1,74
3	1,80	1,78	1,80	1,78	1,78	0,01	1,79
4	1,85	1,85	1,84	1,81	1,84	0,01	1,84
5	1,85	1,87	1,86	1,90	1,86	0,02	<u>1,87</u>
Měření PP							
Pole válce	1	2	3	4	5	Odchylka	Průměr
1	1,66	1,65	1,60	1,66	1,62	0,02	1,64
2	1,69	1,68	1,63	1,68	1,66	0,02	1,67
3	1,78	1,75	1,77	1,77	1,77	0,01	1,77
4	1,83	1,83	1,77	1,78	1,78	0,03	1,80
5	1,90	1,85	1,94	1,83	1,94	0,04	<u>1,89</u>
Měření PP2							
Pole válce	1	2	3	4	5	Odchylka	Průměr
1	1,67	1,63	1,64	1,66	1,62	0,02	1,64
2	1,66	1,65	1,64	1,66	1,63	0,01	1,65
3	1,70	1,68	1,64	1,67	1,67	0,02	1,67
4	1,79	1,73	1,75	1,76	1,76	0,02	1,76
5	1,81	1,88	1,81	1,81	1,86	0,03	<u>1,83</u>

V příložené tabulce (tab. 17) jsou uvedeny hodnoty optické hustoty pro všechny substráty po tisku lihovou i disperzní barvou. U lihové barvy je vidět, že nejvyšší denzita byla nejčastěji naměřena u PP bez povrchové úpravy, který má nejnižší povrchovou energii (24 mJ/m²) a byl schopen přijmout nejvíce barvy. Jako druhý skončil bi-orientovaný polypropylen s povrchovou úpravou korónovým výbojem, který u třech pryží vykazuje stejné hodnoty optické hustoty, jako polypropylen bez úpravy. Naopak nejnižší hodnota byla vždy naměřena u PET fólie, která má ovšem střední hodnotu povrchové energie. Z toho lze usuzovat, že lihová barva se lépe přenáší na substrát s vyšší polární složkou povrchové energie a nejvyšší hodnoty optické hustoty lze zaznamenat u pryží s povrchovou energií v rozmezí 30-33 mJ/m².

Tabulka č. 17: Optické hustoty obou barev na všech substrátech, přiřazené k jednotlivým pryžím

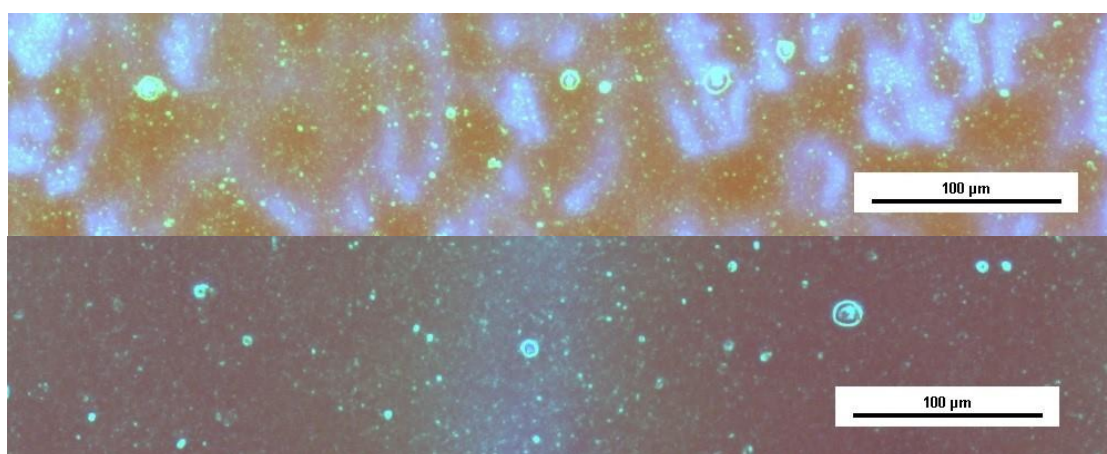
Číslo pryže	Povrchová energie pryže [mJ/m ²]	Lihová barva			Disperzní barva		
		PP	PET	PP2	PP	PET	PP2
1	34-35	1,95	1,92	1,96	1,77	1,84	1,86
2	31-33	1,99	1,85	1,94	1,73	1,83	1,64
3	33	<u>2,00</u>	1,95	<u>2,00</u>	<u>1,85</u>	<u>1,85</u>	1,79
4	29-30	<u>1,97</u>	1,96	<u>1,97</u>	1,88	1,84	1,84
5	17-18	1,97	1,93	1,95	1,89	1,87	1,83
6	32-33	2,01	2,00	2,00	<u>1,81</u>	<u>1,81</u>	1,79
7	30-31	1,96	1,90	1,95	1,87	1,89	1,85
8	29-30	2,01	1,95	1,98	1,86	1,89	1,79
9	27	1,95	1,88	1,93	<u>1,92</u>	<u>1,92</u>	1,84
10	29	1,91	1,86	2,15	1,81	1,84	1,69

U disperzní barvy byly nejvyšší hodnoty optické hustoty naměřeny u PET a PP fólie, u třech pryží byla zjištěna u obou substrátů stejná hodnota. Je zřejmé, že disperzní barva se lépe přenáší spíše na substráty s nižší a střední hodnotou povrchové energie (do 45 mJ/m²), polární a disperzní složka povrchové energie substrátu zde nehraje tak výraznou roli, jako u lihové barvy. U bi-orientovaného polypropylenu s úpravou korónou byla nejvyšší optická hustota zjištěna pouze pro vzorek pryže č. 1, která má nejvyšší povrchovou energii ze všech návlků.

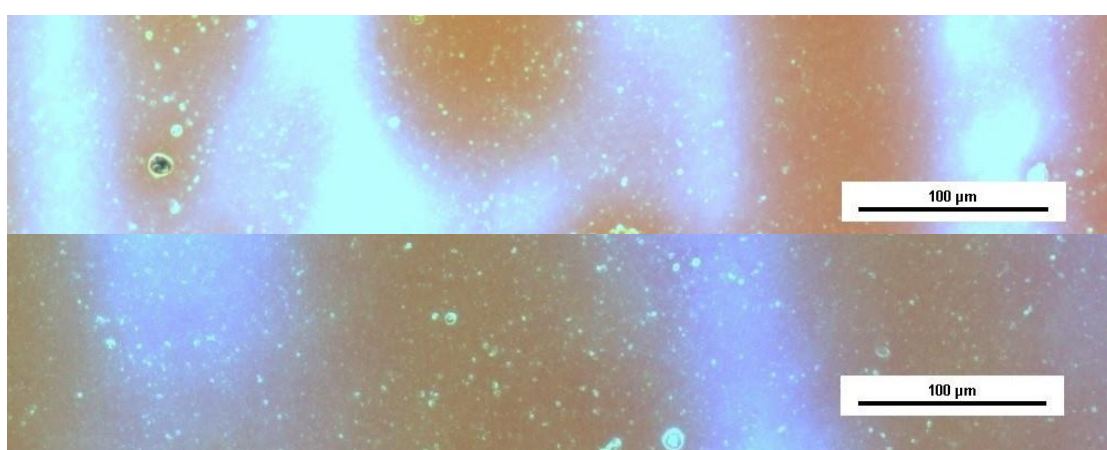
Pokud porovnáme výsledky dvou pryží s absolutně nejnižší (č. 5) a nejvyšší (č.1) povrchovou energií, zjistíme, že se dá předpokládat závislost objemu přenesené barvy na minimálním rozdílu povrchové energie pryže a substrátu – pryž s vysokou energií nejlépe přenáší barvu na substrát s vysokou energií a naopak. Vzhledem k poměrně malému vzorku a velmi podobným hodnotám povrchové energie u ostatních pryží to ovšem nelze s jistotou potvrdit. Vliv povrchového napětí barev do tohoto předpokladu nelze započítat, protože hodnota optické hustoty neroste úměrně s vyšší povrchovou energií substrátů.

6.3 Mikrostruktura tisku

V rámci kontroly kvality tisku se povrch potištěných substrátů zkoumal také mikroskopem Nikon Eclipse Lvidia-N. Od každého substrátu se náhodně vybral jeden tisk, u kterého se udělaly snímky pro všechna pole aniloxového válce, takto se postupovalo v rámci obou barev. Na snímcích (obr. 22 a 23) z mikroskopu je patrné, jaký vliv na přenos barvy má různá lineatura aniloxového válce tiskového stroje. Při porovnání těchto dvou sad je také zároveň dobře vidět rozdíl mezi tím, jak se na povrchu fólií chová disperzní a lihová barva. Zatímco lihová barva se náhodně rozpíjí do menších útvarů, barva s vodovou bází má tendence shlukovat se do větších ploch (řečišť) díky vysokému povrchovému napětí.



Obrázek č. 22: Přenos barvy prvního (nahore) a osmého (dole) pole aniloxového válce, lihová barva



Obrázek č. 23: Přenos barvy prvního (nahore) a pátého (dole) pole aniloxového válce, disperzní barva

7 Závěr

V experimentální části bylo testováno deset druhů pryžových flexotiskových návleků, dva druhy barev a tři různé materiály. Cílem bylo získat informace o povrchových vlastnostech pryží a flexibilních polymerních fólií, jejich vlivu na přenos tiskové barvy a vzájemné interakci.

Povrchová energie pryží se měřila na dvou přístrojích za standardních podmínek a byly získány údaje o chování kapalin na povrchu těchto pryží ve formě číselných dat a grafů, kterých vzniklo na třista. Z těchto dat se předpokládá pravděpodobná povrchová energie pryží, avšak její přesné stanovení je kvůli nehomogenitě velmi obtížné. Stejně tak není možné s jistotou říci, jaké jsou přesné hodnoty polární a disperzní složky povrchové energie.

Měření optických hustot pomohlo zjistit, že větších hodnot se dosahuje při tisku barvou na lihové bázi, která si i lépe rozprostírá na povrchu polypropylenových fólií a má konzistentnější strukturu. Lihová barva se hůře přenáší na PET fólii s velmi nízkou polární složkou povrchového napětí. Disperzní barva naopak vykazuje velmi dobré výsledky u tisku na PET a obecně substráty s nižší povrchovou energií. Vliv polární a disperzní složky povrchového napětí substrátů se zde nepodařilo prokázat.

Z výše uvedeného je zřejmé, že vliv povrchové energie pevných látek a povrchového napětí u kapalin v rámci potiskovatelnosti je signifikantní a pokud chceme usilovat o co nejlepší kvalitu tisku, je třeba se tomuto fenoménu dále věnovat. I když u jednotlivých pryží nebyla zjištěna přesná hodnota povrchové energie, byla získána důležitá data, která dobře reprezentují pravděpodobné povrchové vlastnosti těchto materiálů. Pokud by se zjištěné předpokládané závislosti měly ověřit, je nutné měření rozšířit o větší množství pryží.

8 Použitá literatura

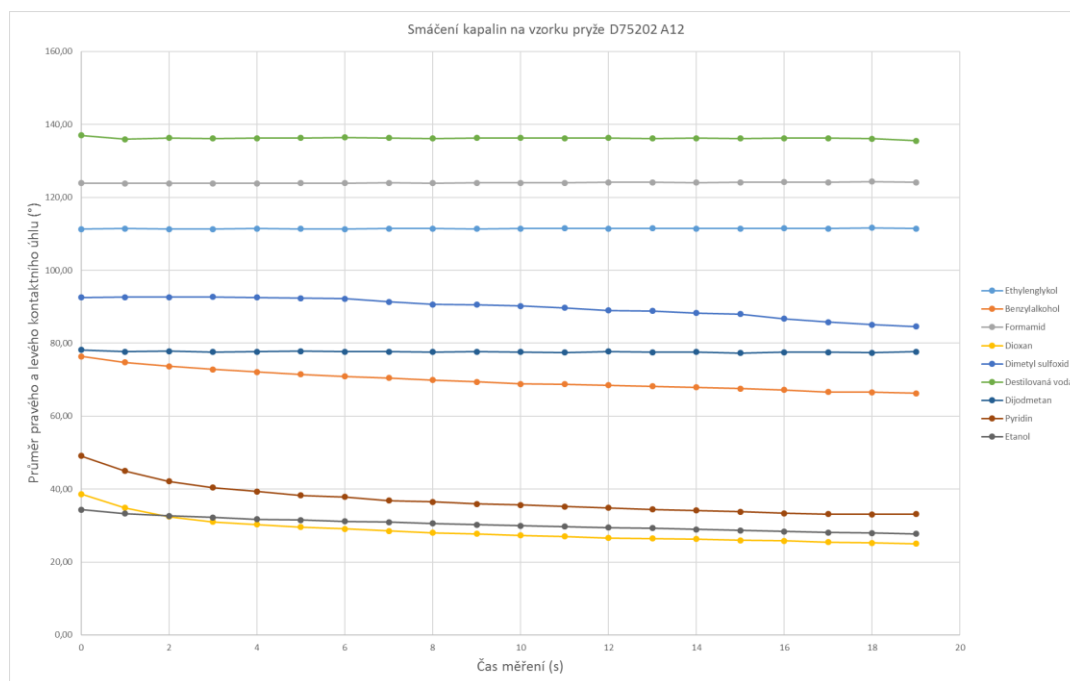
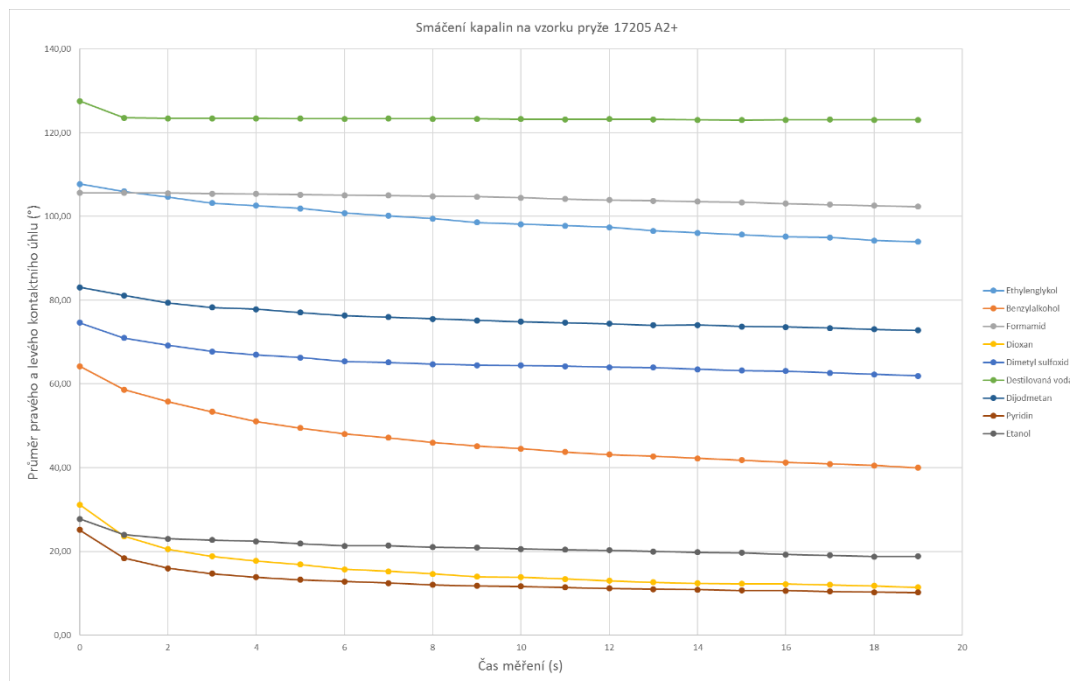
- [1]HEJDUK, Jiří. Vliv fyzikálních vlastností povrchů pryžových válců na efektivnost přenosu barvy, Disertační práce, Univerzita Pardubice, Pardubice 2010
- [2]THOMA, Patrik. Flexotisk – technologie současnosti. Vše o tisku [online]. 4/06.
<https://www.vseotisku.cz/flexotisk-technologie-soucasnosti/>
- [3]KAPLANOVÁ, Marie. Moderní polygrafie. Praha: Svaz polygrafických podnikatelů, 2009, ISBN 978-80-254-4230-2.
- [4]DOLEŽAL, Ivan. Flexotiskové barvy pro potisk různých materiálů. Vše o tisku, [online]. 9/10 <https://www.vseotisku.cz/flexotiskove-barvy-pro-potisk-ruznych-materialu/>
- [5]THOMA, Patrik. Barvy pro flexotisk. Vše o tisku [online]. 8/07
<https://www.vseotisku.cz/barvy-pro-flexotisk/>
- [6]DUCHÁČEK, Vratislav, Hrdlička, Zdeněk. Gumárenské suroviny a jejich zpracovávání. Vyd. 4., přeprac. Praha, 2009, ISBN 978-80-7080-713-2.
- [7]PLUHAŘ, Jaroslav, FLOKSTRA, Marthin. Přímá laserová gravura – cesta k vyšší kvalitě flexotisku. Vše o tisku [online]. 5/04. <https://www.vseotisku.cz/prima-laserova-gravura-cesta-k-vyssi-kvalite-flexotisku/>
- [8]KONEČNÝ, Gustav. O flexotiskových strojích. Vše o tisku [online]. 9/10
<https://www.vseotisku.cz/o-flexotiskovych-strojich/>
- [9]PLUHAŘ, Jaroslav. Trendy ve vývoji flexotiskových forem. Vše o tisku [online]. 5/10
<https://www.vseotisku.cz/trendy-ve-vyvoji-flexotiskovych-forem/>
- [10]Návod k obsluze a údržbě flexotiskového nátiskového stroje F.P. 100/300, SAUERESSIG GmbH + Co
- [11]MARK, James E., ERMAN, Burak. Science and technology of rubber. 3rd ed. Boston: Elsevier Academic Press, 2005, ISBN 0-12-464786-3.

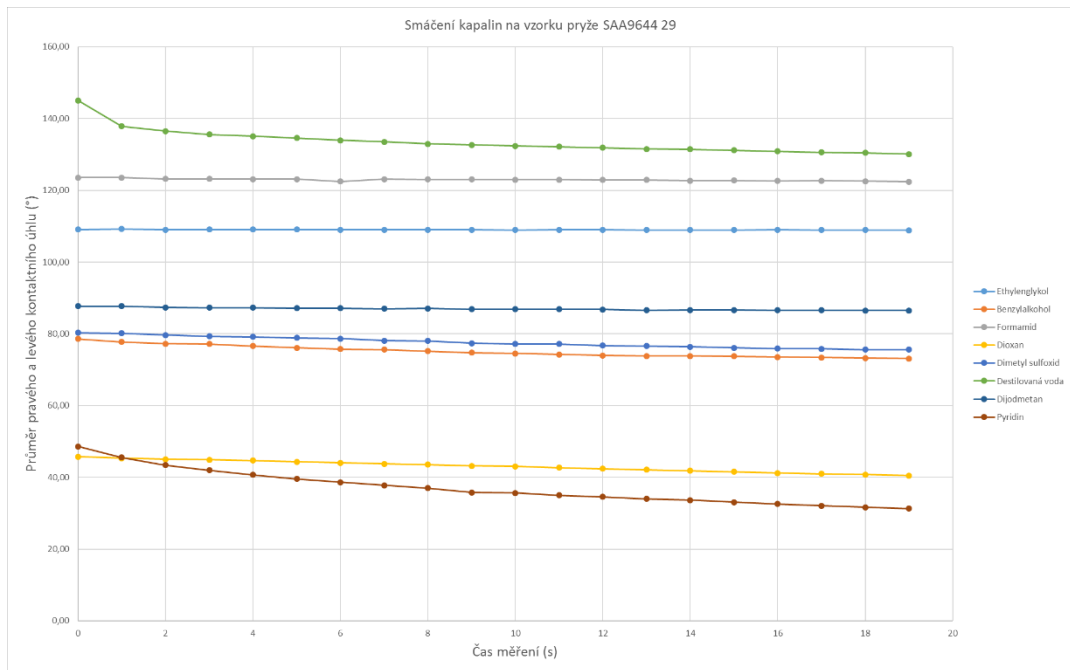
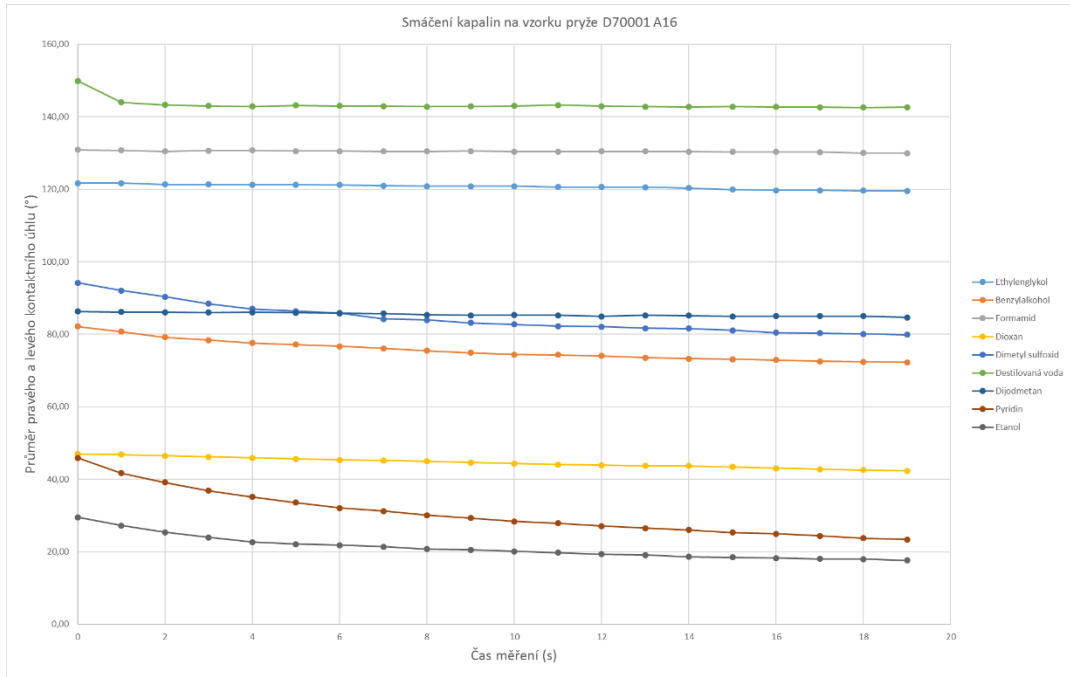
- [12]KLIMÁNEK, Leo, SÁHOVÁ, Věra. Technologie pro 1. a 2. ročník učebního oboru gumař - plastikař, Praha 1983, STNL - Nakladatelství technické literatury
- [13]FRANTA, Ivan. Gumárenské suroviny. 3., přeprac. a dopl. vyd. Praha, 1979, SNTL - Nakladatelství technické literatury
- [14]ČECH, Vladimír, PŘIKRYL, Radek. Vakuové a plazmochemické techniky povrchových úprav. MM Průmyslové spektrum. Ústav chemie materiálů, VUT Brno, 2005, (4), <https://www.mmspektrum.com/clanek/vakuove-a-plazmochemicke-techniky-povrchovych-uprav.html>
- [15]HEINISCH, Kurt F. Dictionary of rubber. London: Applied Science Publishers, 1974, ISBN 978-0853345688
- [16]THOMA, Patrik. Flexotisk. Vše o tisku [online]. 3/05. <https://www.vseotisku.cz/flexotisk/>
- [17]DOLEŽAL, Ivan. Přímé gravírování flexotiskových forem. Vše o tisku [online]. 7/07 <https://www.vseotisku.cz/prime-gravirovani-flexotiskovych-forem/>
- [18]KONEČNÝ, Gustav. Laserové gravírování flexosleevů. Vše o tisku [online]. 4/05. <https://www.vseotisku.cz/laserove-gravirovani-flexosleevu/>
- [19]MLEZIVA, Josef. Polymery - výroba, struktura, vlastnosti a použití. Praha: Sobotáles, 1993. ISBN 80-901570-4-1(váz.).
- [20]DUCHÁČEK, Vratislav. Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2006. ISBN 80-7080-617-6.
- [21]KIPPHAN, Helmut. Handbook of print media: technologies and production methods. New York: Springer, 2001. ISBN 3540673261.
- [22]BARTOVSKÁ, Lidmila, ŠIŠKOVÁ, Marie. Fyzikální chemie povrchů a koloidních soustav. Vyd. 5., přeprac. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2005. ISBN 80-7080-579-x.
- [23]FOWKES, Frederick. Contact Angle, Wettability, and Adhesion. 1. American Chemical Society, 1964. ISBN 9780841200449.

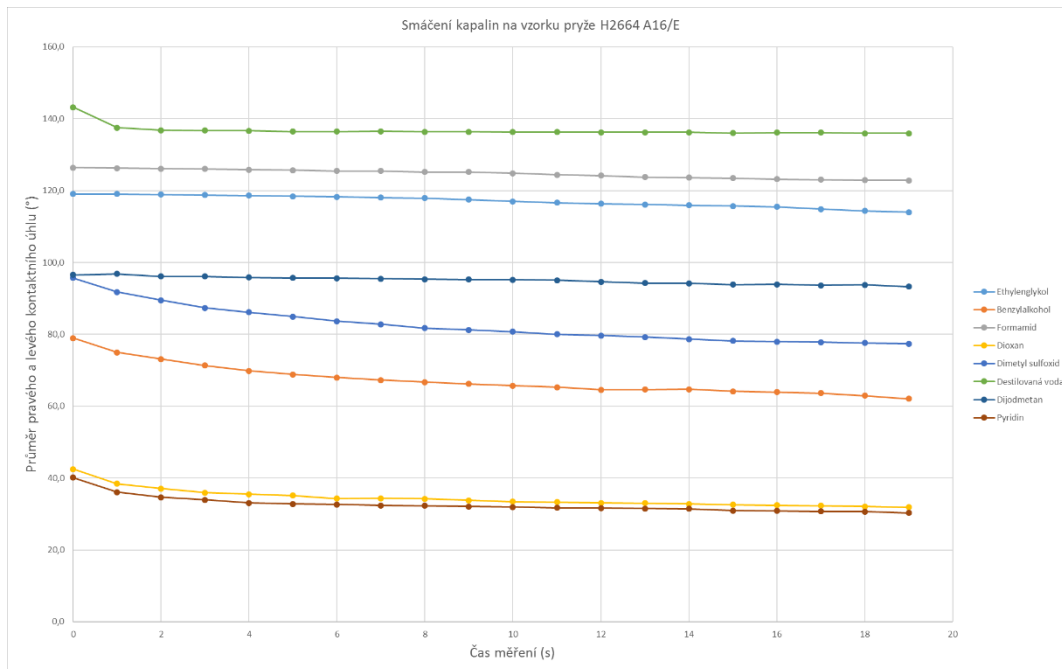
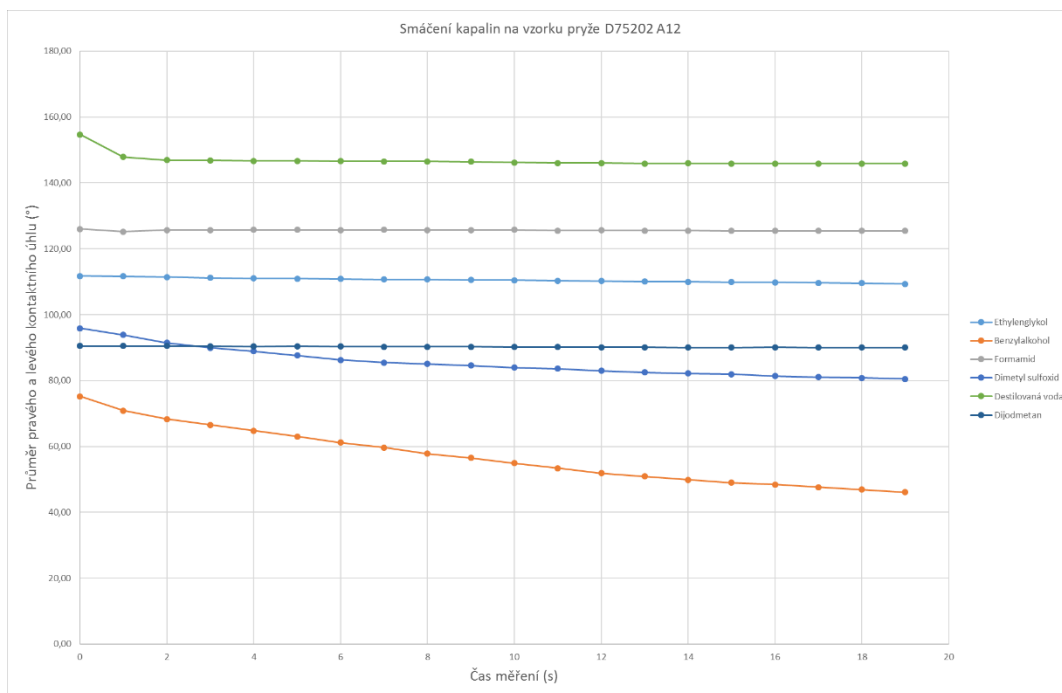
- [24]OWENS, D, WENDT, R. Estimation of the surface free energy of polymers. *Journal of Applied Polymer Science*. 1969(4), 1741-1747.
- [25]WU, S. Calculation of Interfacial Tensions in Polymer Systems. *Journal of Applied Polymer Science* 43.(1971), 19-30.
- [26]MAZZOLA, L., E. BEMPORAD a F. CARASSITI. Flame treatment on plastic: A new surface free energy statistical prediction model and characterization of treated surfaces. *Applied Surface Science* [online]. 2011, 2011, **6**(257), 2148-2158 [cit. 2020-04-14].
Dostupné z: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2011ApSS..257.2148M>
- [27]UV surface cleaning and UV surface activation, materiály firmy Heraeus, [cit. 2020-04-14], dostupné z:
https://www.heraeus.com/en/hng/the_incredible_power_of_light/pre_treatment_and_activation_of_surfaces.aspx
- [28]MOYANO, María, MARTÍN-MARTÍNEZ, José. Surface treatment with UV-ozone to improve adhesion of vulcanized rubber formulated with an excess of processing oil. *International Journal of Adhesion and Adhesives* [online]. 2014(55), 106-113 [cit. 2020-04-14]. Dostupné z:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0143749614001675>
- [29]WU, S. Polar and Nonpolar Interaction in Adhesion. *J. Adhesion* 5 (1973), 39-55.
- [30]KAELBLE, D. H. Dispersion-Polar Surface Tension Properties of Organic Solids. *J. Adhesion* 2 (1970), 66-81.

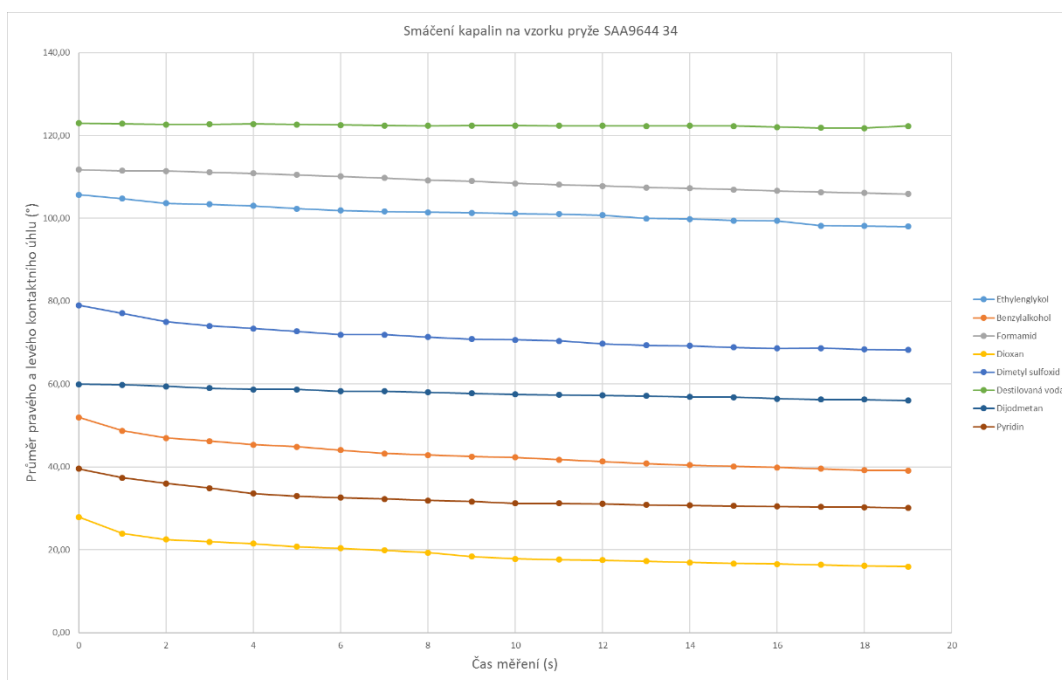
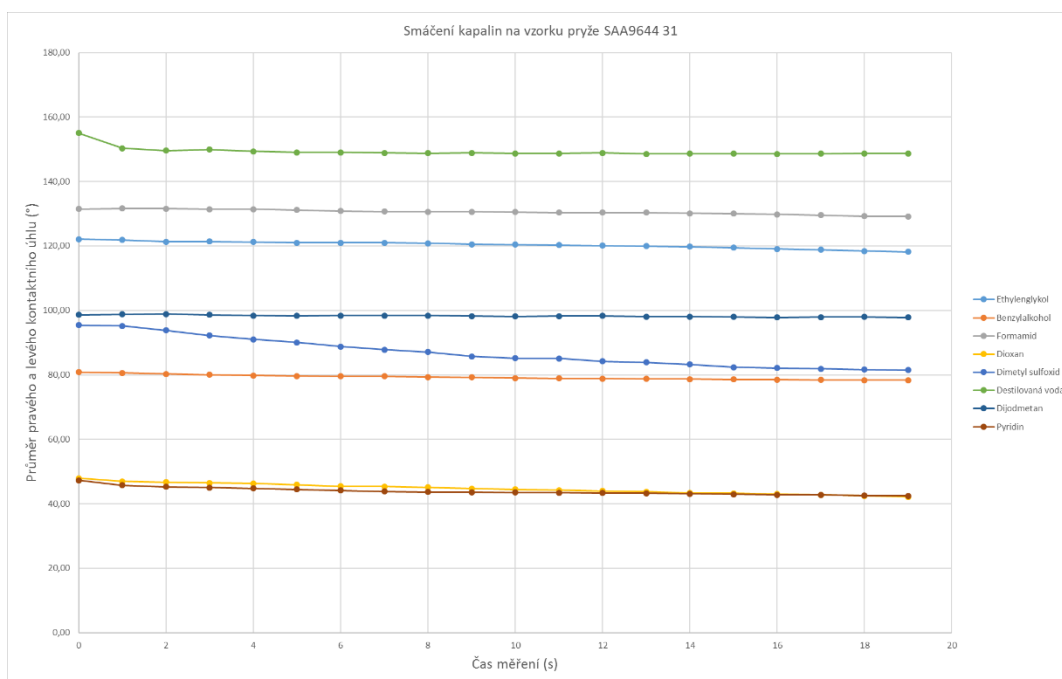
Přílohy

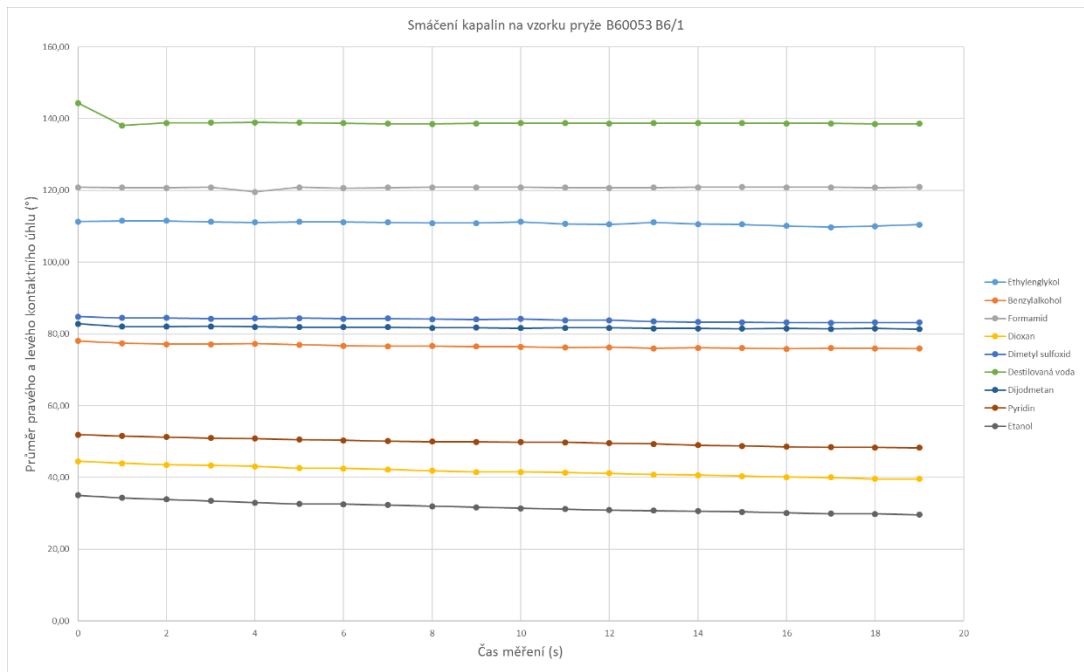
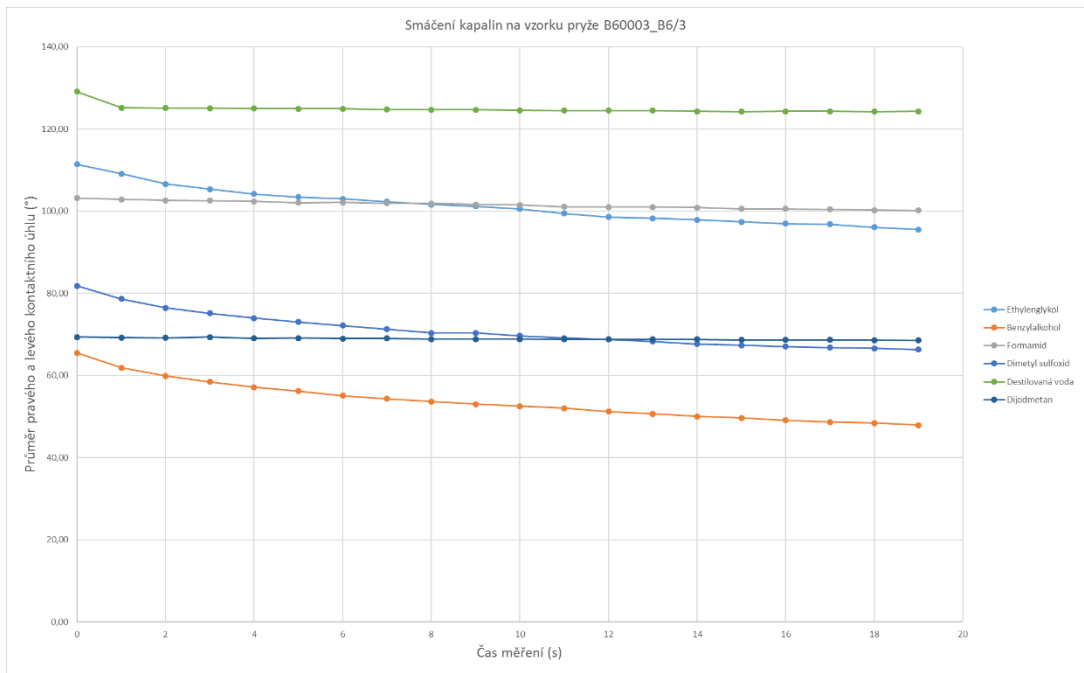
Příloha A: Grafy chování testovacích kapalin na povrchu pryží











Příloha B: Vypočtené povrchové energie pryží v SCA 20

SE Calculation Method
Owens, Wendt, Rabel & Käble (OWRK) Info

Required Liquids: 2

Database Liquid
Dimethyl sulfoxide - [Erbil] Add Change

SFT and its components [mN/m]:
SFT (total): 44.00
Dispersive: 36.00
Polar: 8.00

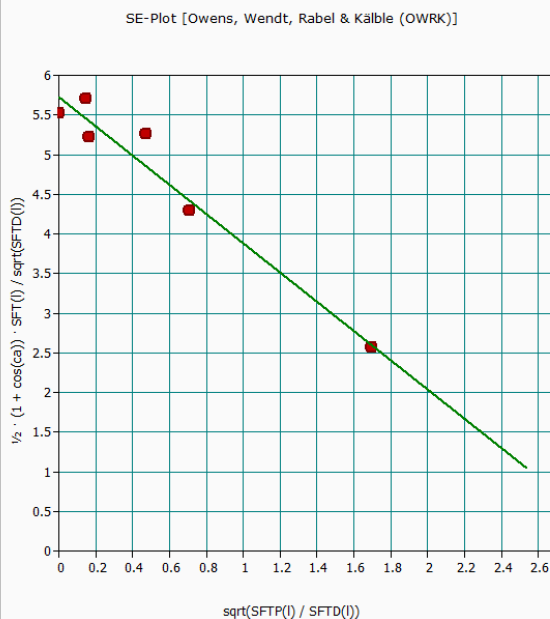
Liquid	SFT (total)	SFT (d)	SFT (p)	CA	CA (r)
<input checked="" type="checkbox"/> 1,4-Dioxane [Gebhardt]	33.00	33.00	0.00	23.19	5.68
<input type="checkbox"/> Benzyl alcohol [Rabel]	38.90	29.00	9.90	48.02	27.79
<input type="checkbox"/> Cyclohexane [Vargafik]	24.95	24.95	0.00	n/a	n/a
<input checked="" type="checkbox"/> Diiodomethane [Owens et al.]	50.80	49.50	1.30	63.61	47.93
<input type="checkbox"/> Ethanol [Ohm et al.]	22.10	17.50	4.60	n/a	n/a
<input type="checkbox"/> Ethylene glycol [Gebhardt]	47.70	26.40	21.30	109.81	53.77
<input checked="" type="checkbox"/> Formamide [Rabel]	59.00	39.40	19.60	95.02	60.28
<input checked="" type="checkbox"/> Pyridine [Fowkes]	38.00	37.20	0.80	33.96	22.14
<input checked="" type="checkbox"/> Water [Rabel]	72.30	18.70	53.60	133.90	86.64
<input checked="" type="checkbox"/> Dimethyl sulfoxide [Erhil]	44.00	36.00	8.00	64.43	36.90

Delete Move up Move down Calculate SE Annotations...

Calculated Surface Energy and its components [mN/m]:
SE (total): 36.23 ± n/a
Dispersive: 32.84 ± n/a
Polar: 3.39 ± n/a

Show Wetting Envelope for checked Liquids

Errors
RQ: 0.9857 sChi: 3.0615 Options...



SE Calculation Method
Owens, Wendt, Rabel & Käble (OWRK) Info

Required Liquids: 2

Database Liquid
Dimethyl sulfoxide - [Erbil] Add Change

SFT and its components [mN/m]:
SFT (total): 44.00
Dispersive: 36.00
Polar: 8.00

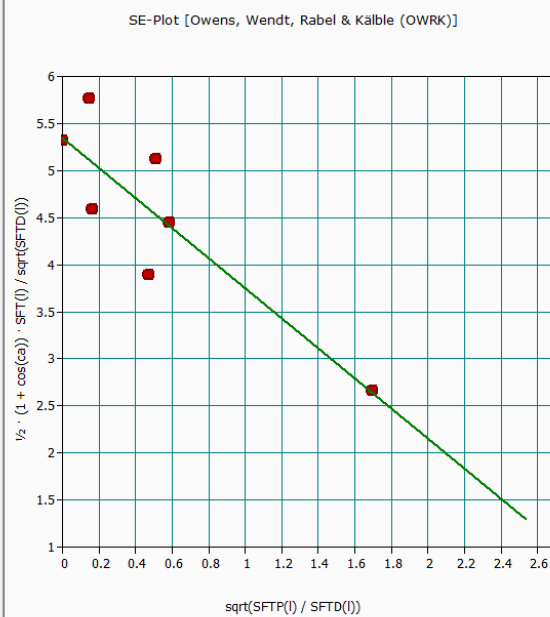
Liquid	SFT (total)	SFT (d)	SFT (p)	CA	CA (r)
<input checked="" type="checkbox"/> 1,4-Dioxane [Gebhardt]	33.00	33.00	0.00	31.82	30.37
<input checked="" type="checkbox"/> Benzyl alcohol [Rabel]	38.90	29.00	9.90	76.70	42.32
<input type="checkbox"/> Cyclohexane [Vargafik]	24.95	24.95	0.00	n/a	n/a
<input checked="" type="checkbox"/> Diiodomethane [Owens et al.]	50.80	49.50	1.30	74.39	56.39
<input checked="" type="checkbox"/> Ethanol [Ohm et al.]	22.10	17.50	4.60	20.59	n/a
<input type="checkbox"/> Ethylene glycol [Gebhardt]	47.70	26.40	21.30	118.27	62.53
<input type="checkbox"/> Formamide [Rabel]	59.00	39.40	19.60	124.58	67.80
<input checked="" type="checkbox"/> Pyridine [Fowkes]	38.00	37.20	0.80	31.92	37.57
<input checked="" type="checkbox"/> Water [Rabel]	72.30	18.70	53.60	133.03	92.12
<input checked="" type="checkbox"/> Dimethyl sulfoxide [Erhil]	44.00	36.00	8.00	86.48	48.38

Delete Move up Move down Calculate SE Annotations...

Calculated Surface Energy and its components [mN/m]:
SE (total): 31.17 ± n/a
Dispersive: 28.63 ± n/a
Polar: 2.54 ± n/a

Show Wetting Envelope for checked Liquids

Errors
RQ: 0.9295 sChi: 5.2295 Options...



SE Calculation Method
Owens, Wendt, Rabel & Käble (OWRK) Info

Required Liquids: 2

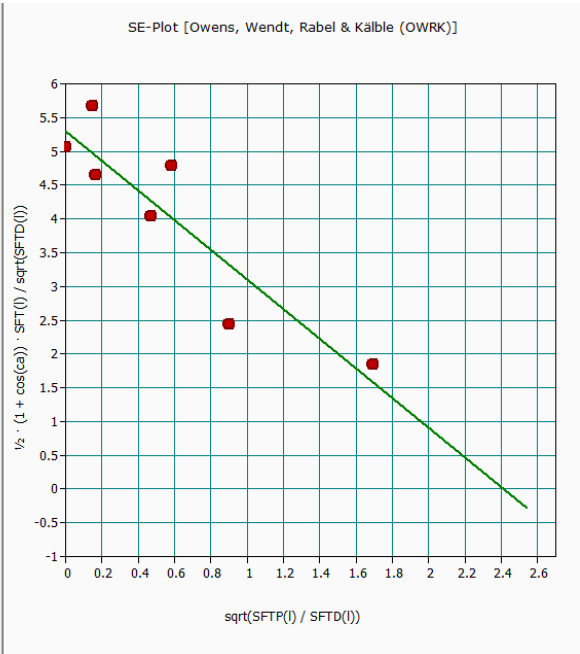
Database Liquid: Dimethyl sulfoxide - [Erbil]

SFT and its components [mN/m]:
SFT (total): 44.00
Dispersive: 36.00
Polar: 8.00

Liquid	SFT (total)	SFT (d)	SFT (p)	CA	CA (r)
<input checked="" type="checkbox"/> 1,4-Dioxane [Gebhardt]	33.00	33.00	0.00	40.61	32.24
<input checked="" type="checkbox"/> Benzyl alcohol [Rabel]	38.90	29.00	9.90	71.04	34.58
<input type="checkbox"/> Cyclohexane [Vargaftik]	24.95	24.95	0.00	n/a	n/a
<input checked="" type="checkbox"/> Diiodomethane [Owens et al.]	50.80	49.50	1.30	73.45	55.45
<input type="checkbox"/> Ethanol [Ohm et al.]	22.10	17.50	4.60	0.00	n/a
<input checked="" type="checkbox"/> Ethylene glycol [Gebhardt]	47.70	26.40	21.30	118.51	55.44
<input type="checkbox"/> Formamide [Rabel]	59.00	39.40	19.60	131.26	62.75
<input checked="" type="checkbox"/> Pyridine [Fowkes]	38.00	37.20	0.80	35.30	36.36
<input checked="" type="checkbox"/> Water [Rabel]	72.30	18.70	53.60	141.33	85.46
<input checked="" type="checkbox"/> Dimethyl sulfoxide [Erbil]	44.00	36.00	8.00	84.34	43.75

Calculated Surface Energy and its components [mN/m]:
SE (total): 32.94 ± n/a
Dispersive: 28.11 ± n/a
Polar: 4.83 ± n/a

Errors
RQ: 0.9442 sChi: 6.2026



SE Calculation Method
Owens, Wendt, Rabel & Käble (OWRK) Info

Required Liquids: 2

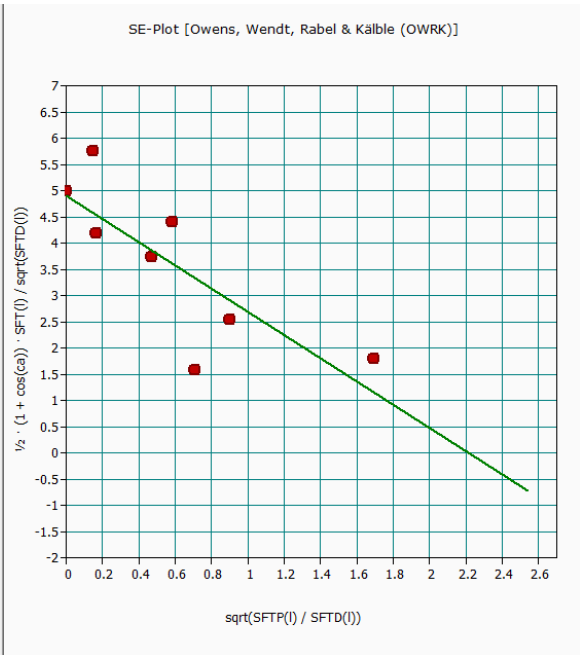
Database Liquid: Dimethyl sulfoxide - [Erbil]

SFT and its components [mN/m]:
SFT (total): 44.00
Dispersive: 36.00
Polar: 8.00

Liquid	SFT (total)	SFT (d)	SFT (p)	CA	CA (r)
<input checked="" type="checkbox"/> 1,4-Dioxane [Gebhardt]	33.00	33.00	0.00	42.92	44.96
<input checked="" type="checkbox"/> Benzyl alcohol [Rabel]	38.90	29.00	9.90	77.64	44.17
<input type="checkbox"/> Cyclohexane [Vargaftik]	24.95	24.95	0.00	n/a	15.45
<input checked="" type="checkbox"/> Diiodomethane [Owens et al.]	50.80	49.50	1.30	81.08	62.72
<input type="checkbox"/> Ethanol [Ohm et al.]	22.10	17.50	4.60	0.00	n/a
<input checked="" type="checkbox"/> Ethylene glycol [Gebhardt]	47.70	26.40	21.30	117.20	60.90
<input checked="" type="checkbox"/> Formamide [Rabel]	59.00	39.40	19.60	131.73	67.86
<input checked="" type="checkbox"/> Pyridine [Fowkes]	38.00	37.20	0.80	32.27	47.23
<input checked="" type="checkbox"/> Water [Rabel]	72.30	18.70	53.60	141.79	87.91
<input checked="" type="checkbox"/> Dimethyl sulfoxide [Erbil]	44.00	36.00	8.00	89.09	51.45

Calculated Surface Energy and its components [mN/m]:
SE (total): 28.99 ± n/a
Dispersive: 24.06 ± n/a
Polar: 4.93 ± n/a

Errors
RQ: 0.8352 sChi: 9.3572



SE Calculation Method
Owens, Wendt, Rabel & Kälble (OWRK) Info

Required Liquids: 2

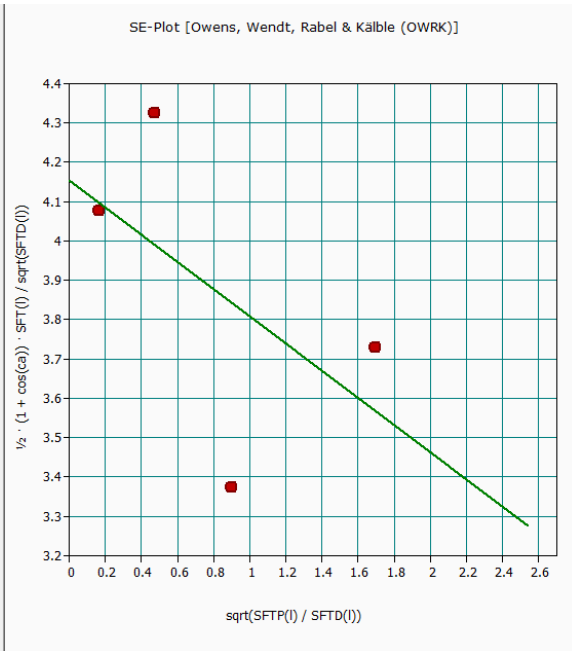
Database Liquid: Dimethyl sulfoxide - [Erbil]

SFT and its components [mN/m]:
SFT (total): 44.00
Dispersive: 36.00
Polar: 8.00

Liquid	SFT (total)	SFT (d)	SFT (p)	CA	CA (r)
<input type="checkbox"/> Benzyl alcohol [Rabel]	38.90	29.00	9.90	58.80	78.09
<input type="checkbox"/> Cyclohexane [Vargafik]	24.95	24.95	0.00	n/a	48.43
<input checked="" type="checkbox"/> Diiodomethane [Owens et al.]	50.80	49.50	1.30	82.57	80.42
<input type="checkbox"/> Ethanol [Ohm et al.]	22.10	17.50	4.60	0.00	50.20
<input checked="" type="checkbox"/> Ethylene glycol [Gebhardt]	47.70	26.40	21.30	105.86	92.17
<input type="checkbox"/> Formamide [Rabel]	59.00	39.40	19.60	120.14	93.67
<input type="checkbox"/> Pyridine [Fowkes]	38.00	37.20	0.80	0.00	69.51
<input checked="" type="checkbox"/> Water [Rabel]	72.30	18.70	53.60	123.65	115.6
<input checked="" type="checkbox"/> Dimethyl sulfoxide [Erbil]	44.00	36.00	8.00	79.66	79.77

Calculated Surface Energy and its components [mN/m]:
Dispersive: 17.26 ± n/a
SE (total): 17.38 ± n/a
Polar: 0.12 ± n/a

Errors
RQ: 0.9547 sChi: 3.4745



SE Calculation Method
Owens, Wendt, Rabel & Kälble (OWRK) Info

Required Liquids: 2

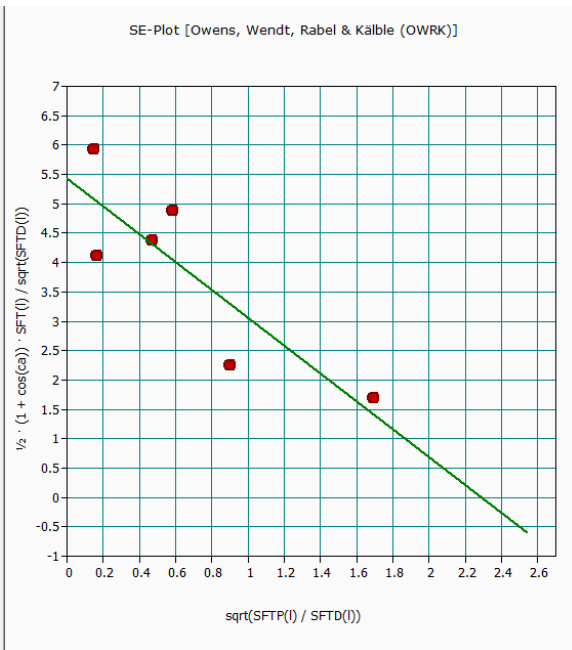
Database Liquid: Dimethyl sulfoxide - [Erbil]

SFT and its components [mN/m]:
SFT (total): 44.00
Dispersive: 36.00
Polar: 8.00

Liquid	SFT (total)	SFT (d)	SFT (p)	CA	CA (r)
<input checked="" type="checkbox"/> Benzyl alcohol [Rabel]	38.90	29.00	9.90	69.54	27.37
<input type="checkbox"/> Cyclohexane [Vargafik]	24.95	24.95	0.00	n/a	n/a
<input checked="" type="checkbox"/> Diiodomethane [Owens et al.]	50.80	49.50	1.30	82.03	52.33
<input type="checkbox"/> Ethanol [Ohm et al.]	22.10	17.50	4.60	0.00	n/a
<input checked="" type="checkbox"/> Ethylene glycol [Gebhardt]	47.70	26.40	21.30	121.07	50.97
<input type="checkbox"/> Formamide [Rabel]	59.00	39.40	19.60	135.43	59.19
<input checked="" type="checkbox"/> Pyridine [Fowkes]	38.00	37.20	0.80	26.14	31.19
<input checked="" type="checkbox"/> Water [Rabel]	72.30	18.70	53.60	142.97	82.49
<input checked="" type="checkbox"/> Dimethyl sulfoxide [Erbil]	44.00	36.00	8.00	78.95	38.12

Calculated Surface Energy and its components [mN/m]:
Dispersive: 29.51 ± n/a
SE (total): 35.14 ± n/a
Polar: 5.64 ± n/a

Errors
RQ: 0.8955 sChi: 9.0029



SE Calculation Method
Owens, Wendt, Rabel & Kälble (OWRK) Info

Required Liquids: 2

Database Liquid
Dimethyl sulfoxide - [Erbil] Add Change

SFT and its components [mN/m]:
SFT (total): 44.00
Dispersive: 36.00
Polar: 8.00

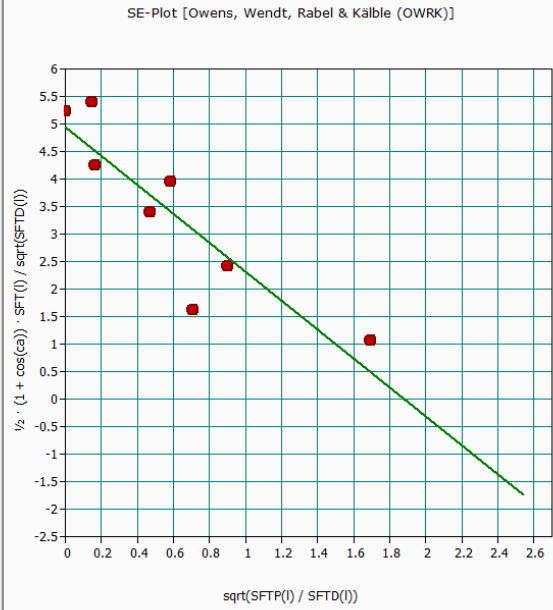
Liquid	SFT (total)	SFT (d)	SFT (p)	CA	CA (r)
<input checked="" type="checkbox"/> 1,4-Dioxane [Gebhardt]	33.00	33.00	0.00	34.94	44.08
<input checked="" type="checkbox"/> Benzyl alcohol [Rabel]	38.90	29.00	9.90	84.82	37.68
<input type="checkbox"/> Cyclohexane [Vargaftik]	24.95	24.95	0.00	n/a	12.50
<input checked="" type="checkbox"/> Diodomethane [Owens et al.]	50.80	49.50	1.30	80.04	60.98
<input type="checkbox"/> Ethanol [Ohm et al.]	22.10	17.50	4.60	0.00	n/a
<input checked="" type="checkbox"/> Ethylene glycol [Gebhardt]	47.70	26.40	21.30	118.86	55.14
<input checked="" type="checkbox"/> Formamide [Rabel]	59.00	39.40	19.60	131.17	63.62
<input checked="" type="checkbox"/> Pyridine [Fowkes]	38.00	37.20	0.80	42.95	44.92
<input checked="" type="checkbox"/> Water [Rabel]	72.30	18.70	53.60	150.95	82.98
<input checked="" type="checkbox"/> Dimethyl sulfoxide [Erbil]	44.00	36.00	8.00	94.28	46.86

Delete Move up Move down Calculate SE Annotations...

Calculated Surface Energy and its components [mN/m]:
Dispersive: 24.36 ± n/a
SE (total): 31.26 ± n/a Polar: 6.90 ± n/a

Show Wetting Envelope for checked Liquids

Errors
RQ: 0.9050 sChi: 7.4692 Options...



SE Calculation Method
Owens, Wendt, Rabel & Kälble (OWRK) Info

Required Liquids: 2

Database Liquid
Dimethyl sulfoxide - [Erbil] Add Change

SFT and its components [mN/m]:
SFT (total): 44.00
Dispersive: 36.00
Polar: 8.00

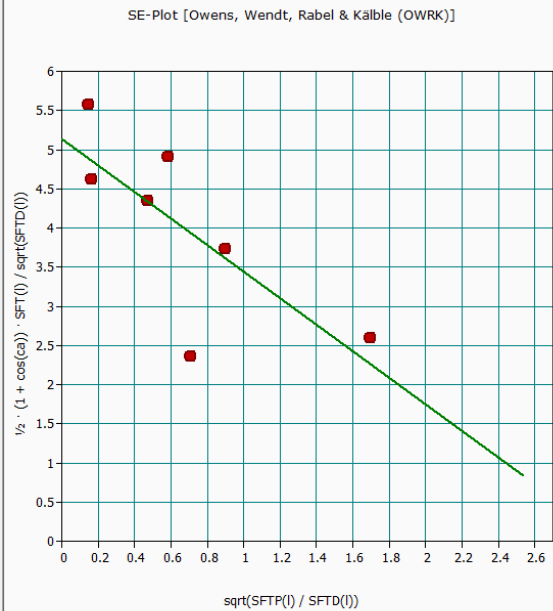
Liquid	SFT (total)	SFT (d)	SFT (p)	CA	CA (r)
<input type="checkbox"/> 1,4-Dioxane [Gebhardt]	33.00	33.00	0.00	0.00	37.89
<input checked="" type="checkbox"/> Benzyl alcohol [Rabel]	38.90	29.00	9.90	69.07	45.82
<input type="checkbox"/> Cyclohexane [Vargaftik]	24.95	24.95	0.00	n/a	n/a
<input checked="" type="checkbox"/> Diodomethane [Owens et al.]	50.80	49.50	1.30	73.92	60.03
<input type="checkbox"/> Ethanol [Ohm et al.]	22.10	17.50	4.60	0.00	n/a
<input checked="" type="checkbox"/> Ethylene glycol [Gebhardt]	47.70	26.40	21.30	101.35	64.22
<input checked="" type="checkbox"/> Formamide [Rabel]	59.00	39.40	19.60	120.00	69.65
<input checked="" type="checkbox"/> Pyridine [Fowkes]	38.00	37.20	0.80	38.11	43.16
<input checked="" type="checkbox"/> Water [Rabel]	72.30	18.70	53.60	133.71	92.42
<input checked="" type="checkbox"/> Dimethyl sulfoxide [Erbil]	44.00	36.00	8.00	79.46	51.73

Delete Move up Move down Calculate SE Annotations...

Calculated Surface Energy and its components [mN/m]:
Dispersive: 26.41 ± n/a
SE (total): 29.28 ± n/a Polar: 2.87 ± n/a

Show Wetting Envelope for checked Liquids

Errors
RQ: 0.8319 sChi: 8.0551 Options...



SE Calculation Method
Owens, Wendt, Rabel & Kälble (OWRK) Info

Required Liquids: 2

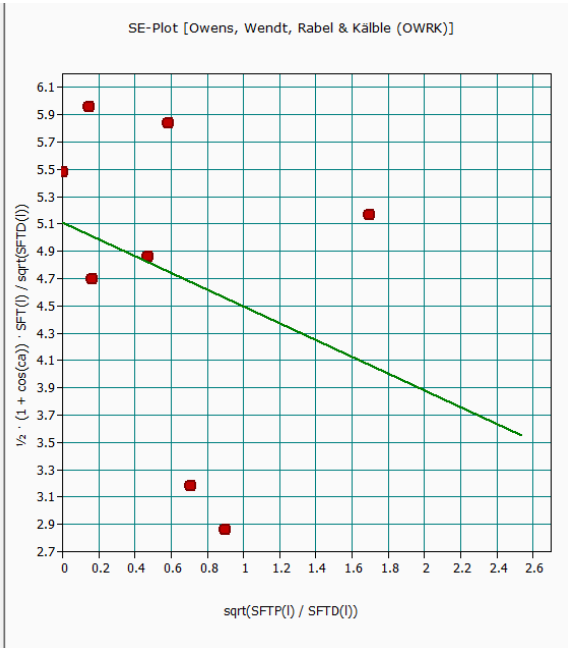
Database Liquid: Dimethyl sulfoxide - [Erbil]

SFT and its components [mN/m]:
SFT (total): 44.00
Dispersive: 36.00
Polar: 8.00

Liquid	SFT (total)	SFT (d)	SFT (p)	CA	CA (r)
1,4-Dioxane [Gebhardt]	33.00	33.00	0.00	25.04	38.87
Benzyl alcohol [Rabel]	38.90	29.00	9.90	51.97	59.10
Cyclohexane [Vargafik]	24.95	24.95	0.00	n/a	n/a
Diiodomethane [Owens et al.]	50.80	49.50	1.30	72.50	63.74
Ethanol [Ohm et al.]	22.10	17.50	4.60	n/a	n/a
Ethylene glycol [Gebhardt]	47.70	26.40	21.30	112.62	77.34
Formamide [Rabel]	59.00	39.40	19.60	108.91	79.69
Pyridine [Fowkes]	38.00	37.20	0.80	24.29	48.03
Water [Rabel]	72.30	18.70	53.60	112.48	105.3
Dimethyl sulfoxide [Erbil]	44.00	36.00	8.00	71.11	61.84

Calculated Surface Energy and its components [mN/m]:
SE (total): 26.47 ± n/a
Dispersive: 26.10 ± n/a
Polar: 0.38 ± n/a

Errors
RQ: 0.5697 sChi: 10.4289



SE Calculation Method
Owens, Wendt, Rabel & Kälble (OWRK) Info

Required Liquids: 2

Database Liquid: Dimethyl sulfoxide - [Erbil]

SFT and its components [mN/m]:
SFT (total): 44.00
Dispersive: 36.00
Polar: 8.00

Liquid	SFT (total)	SFT (d)	SFT (p)	CA	CA (r)
1,4-Dioxane [Gebhardt]	33.00	33.00	0.00	40.12	34.76
Benzyl alcohol [Rabel]	38.90	29.00	9.90	72.37	51.33
Cyclohexane [Vargafik]	24.95	24.95	0.00	n/a	n/a
Diiodomethane [Owens et al.]	50.80	49.50	1.30	66.08	60.12
Ethanol [Ohm et al.]	22.10	17.50	4.60	25.99	n/a
Ethylene glycol [Gebhardt]	47.70	26.40	21.30	104.69	70.25
Formamide [Rabel]	59.00	39.40	19.60	101.23	73.94
Pyridine [Fowkes]	38.00	37.20	0.80	49.05	43.05
Water [Rabel]	72.30	18.70	53.60	123.58	98.83
Dimethyl sulfoxide [Erbil]	44.00	36.00	8.00	60.97	55.46

Calculated Surface Energy and its components [mN/m]:
SE (total): 28.56 ± n/a
Dispersive: 27.37 ± n/a
Polar: 1.19 ± n/a

Errors
RQ: 0.9167 sChi: 4.2640

