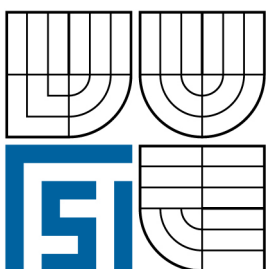


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

STUDIE VLIVU POVRCHOVÉ ENERGIE RŮZNÝCH DRUHŮ KAPALIN A POVRCHŮ - EXPERIMENT

SURFACE ENERGY FEEDBACK STUDY OF THE DIFFERENT KINDS OF LIQUIDS AND
MATERIALS - EXPERIMENT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JAKUB SVOBODA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ING. SIMONA FIALOVÁ, PH.D.

BRNO 2007

Anotace

Předložená bakalářská práce se zabývá měřením kontaktního úhlu a následným vyhodnocením povrchové energie. K měření je použito šesti druhů kapalin, které jsou nanášeny na různé materiály, u nichž nás zajímá jejich povrchová energie. Měření a vyhodnocení se provádí na přístroji SEE SYSTEM s vlastním softwarem za použití vybraných metod k určení povrchové energie. Pokus byl během práce rozšířen oproti zadání o vystavení vzorků materiálů UV záření a pozorování vlivu tohoto záření na povrchovou energii.

Klíčová slova

Povrchová energie, kontaktní úhel, UV záření

Annotation

This bachelor thesis deals with contact angle measurement and surface energy evaluation. For surface energy measurement of eight different solid surfaces six types of liquids were used. Computer-based instrument SEE SYSTEM and special software were used for measurement and evaluation. As the second task influence of UV radiation on surface energy of these solid surfaces was observed.

Key words

Surface energy, contact angle, UV radiation

Bibliografická citace:

SVOBODA, J. *Studie vlivu povrchové energie různých druhů kapalin a povrchů - experiment.*
Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 47 s. Vedoucí
bakalářské práce Ing. Simona Fialová, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně, na základě uvedené literatury a za pomoci vedoucí bakalářské práce Ing. Simony Fialové, Ph.D.

V Brně dne 16.5.2008

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ:

Na tomto místě bych rád poděkoval své vedoucí bakalářské práce Ing. Simoně Fialové, Ph.D. za rady a připomínky při tvorbě bakalářské práce. Dále bych rád poděkoval Dagmar Václavíkové za pomoc s gramatickou úpravou.

OBSAH:

OBSAH:	8
ÚVOD:	10
1 POVRCHOVÉ NAPĚTÍ A POVRCHOVÁ ENERGIE	11
1.2 Povrchové napětí	11
1.2.1 Mezimolekulové síly	11
1.2.2 Lifshitz – Van der Waalsovy interakce	11
1.2.3 Vznik povrchového napětí	11
1.2.4 Fyzikální veličina povrchové napětí	12
1.2.5 Stanovení povrchového napětí	12
1.3 Volná povrchová energie	13
1.3.1 Definice povrchové energie	13
1.3.2 Povrchová energie pevných látek	14
2 VYHODNOCENÍ POVRCHOVÉ ENERGIE	15
2.1 Smáčivost kapalin	15
2.1.1 Kontaktní úhel	15
2.1.2 Youngova rovnice	15
2.2 Stanovení povrchové energie	16
2.2.1 Zismanův diagram	16
2.2.2 Fowkesova teorie	16
2.2.3 OWRK (Owens, Wendt, Rabel and Kaelble) teorie	17
2.2.4 Wu teorie (Harmonický průměr)	18
2.2.5 Van Ossova (acido-bazická) teorie	18
3 UV ZÁŘENÍ	20
3.2 Rozdělení UV záření	20
3.3 Využití	20
3.4 TiO ₂ a Fotokatalýza	20
3.4.1 Superhydrofilnost	20
4 EXPERIMENT	22
4.1 SEE System	22
4.2 Testovací kapaliny	22
4.3 Provedení experimentu	23
4.4 Vlivy na přesnost měření	23
4.4.1 Vliv časové prodlevy mezi umístěním kapky a jejím změřením	24
4.4.2 Chybné nahrazení profilu	24
4.4.3 Objem kapky	24
4.4.4 Drsnost povrchu	24
5 VÝSLEDKY MĚŘENÍ	26
5.1 Letecký plech (bílý)	26
5.2 TC 1191 (černý)	28
5.3 TC 3072 (černá metalíza)	31
5.4 TiO ₂ (vzorek 1)	33
5.5 TiO ₂ (vzorek 2)	35
5.6 TiO ₂ (vzorek 3)	37

5.7 Sklo	39
5.8 TC 4111 (zelený)	41
5.9 Acid-Base regrese	43
5.10 Owens-Wendt regrese	44
6 ZÁVĚR	45
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	46
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	47

ÚVOD:

Začátkem 17. století se objevují první zmínky o povrchovém napětí, jež je spjata s povrchovou energií. Vážněji se však začali vědci studii povrchové energie zabývat až počátkem 19. st. Zásahu na tom mají především Thomas Young a Pierre Simon de Laplace.

Přestože ani dnes není problematika povrchové energie zcela objasněna, poznatky z této oblasti se již dají hojně aplikovat v rozličných odvětvích. Další studium a využití nových znalostí má do budoucna velký potenciál. Povrchová energie ovlivňuje například smáčivost či adhezi. Využitím znalostí o povrchové energii lze docílit zlepšení produktů a jejich použitelnost v praxi či snížení nákladů v provozu.

Příkladem takového využití může být automobilový průmysl. Snížením povrchové energie u čelních skel se docílí menší smáčivosti. Proto když prší, kapky vody se nerozprostírají po skle, ale vytvoří kapičky, které vzduch obtékající automobil snáze odstraní, čímž se zvýší i bezpečnost provozu. Nově se nyní začíná využívat i opačného efektu. Zpětná zrcátka se superhydrofilním povrchem, kdy voda nevytvoří vrstvu kapiček, jež znemožní použití zrcátek, ale vytvoří souvislou průhlednou vrstvu. Stejný efekt se může využít proti zamlžení na zrcadle v koupelně či u brýlí.

Povrchové napětí se například využívá i k odlévání broků ve zbrojním průmyslu. Roztavené olovo se nechá odkapávat z velké výšky do studené vody, díky povrchovému napětí se kapky olova během letu zformují do tvaru zcela pravidelných kuliček a ztuhnou. Voda pak zbrzdí pád a broky ochladí. Dále se tyto znalosti uplatní v textilním průmyslu, chemickém průmyslu, u ochranných nátěrů, mazacích přípravků, v medicíně atd.

V budoucnu by pak mohly poznatky přispět k celosvětové úspoře energie. Snad v každém odvětví, při každé práci je nedílnou součástí čerpání a přeprava kapalin, nejčastěji zřejmě vody. To s sebou nese samozřejmě značné energetické požadavky. Vhodnou povrchovou úpravou by se dalo snížit tření mezi kapalinou a okolím při čerpání a přepravě, čímž by se snížila energetická náročnost. To by vedlo k nemalým úsporám financí, ale především by to ve svých důsledcích ulehčilo již tak přetíženému životnímu prostředí a pomohlo k ochraně naší planety.

Z těchto a jistě i mnoha dalších důvodů má velký význam zabývat se otázkami povrchového napětí a povrchové energie.

Tato práce je zaměřena na měření povrchové energie a zároveň zkoumá vliv UV záření na povrchovou energii. Výsledky tohoto měření je možné následně použít k odhadu vlastností a chování zkoumaných materiálů a jako základ pro další výzkum.

1 POVRCHOVÉ NAPĚTÍ A POVRCHOVÁ ENERGIE

1.2 Povrchové napětí

Povrchové napětí je příčinou jevu, při kterém se povrch kapalin chová jako pružná fólie. Někdy je možné se setkat s termínem, že kapalina má „kůži“. Povrchové napětí má původ v působení mezimolekulových sil. Umožňuje vodoměrkám pohybovat se po vodní hladině. Způsobuje, že drobné předměty s větší průměrnou hustotou než má kapalina se nepotopí, pokud neprorazí tento pružný povrch. Je příčinou kapilárních a mnoha dalších jevů.

1.2.1 Mezimolekulové síly

Částice látky, atomy, ionty a molekuly, na sebe vzájemně působí interakčními silami, tzv. mezimolekulovými silami. Tyto síly závisí na vzdálenosti částic a na jejich druhu. Dají se rozdělit na dvě základní:

- a) přitažlivé síly – jsou výsledkem elektrické přitažlivosti dvou molekul plynoucí z určitého uspořádání elektronů v obou molekulách. Nazývají se také *kohezní síly* (soudržné). Zahrnujeme sem síly van der Waalsovy, polární, vodíkových můstků apod.
- b) odpudivé síly – jsou výsledkem vzájemného elektrostatického odpuzování molekul

Dosah těchto sil je poměrně malý. Velikosti odpudivých sil klesají se vzdáleností rychleji než velikosti přitažlivých, a tak v jisté vzdálenosti molekul budou přitažlivé a odpudivé síly v rovnováze. V této vzdálenosti se molekuly nacházejí za běžných podmínek. [2]

1.2.2 Lifshitz – Van der Waalsovy interakce

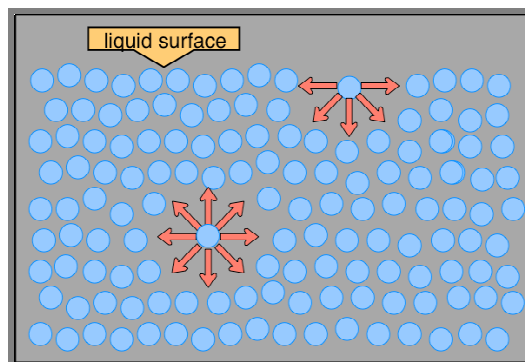
Nekovalentní a neelektrostatické molekulární síly jsou uváděny jako van der Waalsovy síly. Tyto mezimolekulové síly vycházejí z:

- a) interakce náhodně orientovaných dipólů (Keesom)
 - 2 molekuly s permanentním dipólem se orientují tak, aby se vzájemně přitahovaly
- b) interakce náhodně orientovaného dipólu – indukovaného dipólu (Debye)
 - molekula s permanentním dipólem indukuje dipól u sousední neutrální molekuly
- c) disperzní interakce popsané Londonem
 - náhodné kolísání u polarizovatelné molekuly vede k vytvoření dočasného dipólu, který indukuje odpovídající dipól v sousední molekule. Londonova interakce je univerzální a představuje vzájemné působení atom – atom. [1]

1.2.3 Vznik povrchového napětí

Molekuly kapaliny na sebe vzájemně působí silami, viz. výše. Na molekulu uvnitř kapaliny působí síly všemi směry stejně, jsou tedy v rovnováze a výslednice je nulová. Na rozhraní s jinou látkou je ovšem rovnováha narušena, jelikož molekuly kapaliny v tomto rozhraní jsou z jedné strany obklopeny částicemi pevné látky nebo plynu. Pro příklad uvažujme rozhraní kapalina – vzduch. Je zřejmé, že molekuly kapaliny v tzv. povrchové

vrstvě, která má tloušťku rovnou sféře molekulového působení (řádově 10^{-9} až 10^{-8} m), budou přitahovány intenzivněji molekulami zevnitř kapaliny než částicemi vzduchu (obr. 1).



Obr.1.1 Schéma přitažlivých sil v kapalině

Součtem přitažlivých a odpuzivých sil dostáváme tahové napětí směřující ke zmenšení plochy povrchu, tzv. povrchové napětí. [2]

Dle jiného přístupu lze vznik povrchového napětí vysvětlit i tak, že molekuly v kontaktu se sousedními molekulami mají nižší energetický potenciál oproti molekulám osamocným. V hraniční vrstvě mají molekuly menší počet sousedních částic než by měly uvnitř kapaliny, mají tedy vyšší energetický potenciál. Každá soustava se snaží přejít do stavu s minimální potenciální energií, proto se kapalina snaží minimalizovat počet hraničních molekul zmenšením svého povrchu.

Důsledkem je, že kapky kapaliny zaujímají tvar připomínající, podle svých vlastností, více či méně koule. Je to proto, že koule má při daném objemu nejmenší povrch. [4]

1.2.4 Fyzikální veličina povrchové napětí

Povrchové napětí je síla působící v povrchu kapalinu na jednotku délky. Pokud uvažujeme, že na element délky dl v povrchu kapaliny působí z obou stran kolmo element síly dF , můžeme vyjádřit povrchové napětí vztahem:

$$\gamma = \frac{dF}{dl} \quad (1.1.)$$

Jednotkou povrchového napětí je $[\gamma] = N \cdot m^{-1}$ [6]

Hodnota povrchového napětí kapalin klesá se zvyšující se teplotou, až při kritické teplotě je rovna nule. [2]

1.2.5 Stanovení povrchového napětí

Hodnota povrchového napětí se dá experimentálně stanovit mnoha způsoby. Můžeme je rozdělit na tři typy.

- a) Statické metody - jsou založeny na sledování ustáleného rovnovážného stavu. To umožňuje získat skutečné rovnovážné hodnoty povrchového napětí, což je zvláště důležité při studiu roztoků. Na rovnovážných rozhraních je odlišná koncentrace od koncentrace v objemové fázi, případně dochází i k orientaci molekul. Oba tyto děje vyžadují určitou dobu k ustavení, na což u rychle se obnovujících povrchů není

dostatek času. Je-li dosaženo rovnováhy, jsou hodnoty povrchového napětí na čase nezávislé a v ideálním případě jsou nezávislé i na způsobu měření. Mezi nejpoužívanější patří metoda kapilární elevace, metoda měření vzestupu kapaliny na svislé desce, metoda vyvažování Wilhelmyho destičky a další.

- b) Semistatické metody - jsou stejně jako metody statické založeny na dosažení rovnovážného stavu soustavy; v tomto případě je však rovnováha nestabilní. Při zkoumání každé soustavy je nutno zvolit optimální rychlost potřebnou k přiblížení se rovnovážnému stavu tak, aby měření nebyla nadměrně dlouhá, ale aby se současně zajistilo získání výsledků, které se blíží skutečným rovnovážným hodnotám. Často se používá metoda maximálního přetlaku v bublině, odtrhávací metoda a metody stalagmometrické.
- c) Dynamické metody - používají se hlavně pro studium výrazně nerovnovážných stavů povrchových vrstev kapalin a rychlosti ustavování rovnovážné struktury jejich povrchu. Je to metoda oscilujícího proudu, měření rozptylu světla, sledování kapilárního vlnění na fázovém rozhraní, či oscilující kapka. [7]

1.3 Volná povrchová energie

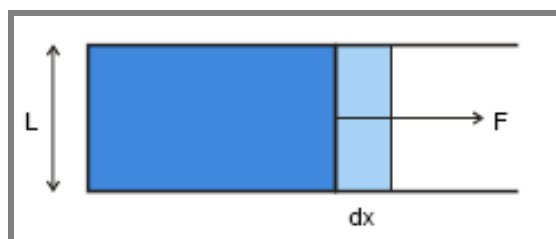
Povrchová energie je část potenciální energie, kterou mají molekuly v povrchové vrstvě kapaliny navíc ve srovnání s potenciální energií těchž molekul uvnitř kapaliny. [2]

1.3.1 Definice povrchové energie

Pro izotermické vratné zvětšení plochy povrchové vrstvy kapaliny je nutno vykonat práci a o tuto práci se potenciální energie povrchu změní. Toto můžeme vyjádřit vztahem:

$$W = \gamma \cdot l \cdot \Delta x = \gamma \cdot \Delta A \quad (1.2)$$

Kde ΔA je plocha nově vytvořeného povrchu. γ může být spojeno s jednotkou Nm^{-1} (povrchové napětí) nebo i Jm^{-2} (volná povrchová energie), obě jednotky jsou rozměrově ekvivalentní. [1],[2]



Obr. 1.2 Práce nutná ke zvětšení plochy povrchu

Energetické změny systému můžeme popsat Helmholtzovou volnou energií. Celková Helmholtzova volná energie F_{tot} systému se dá zapsat jako:

$$F_{tot} = N \cdot F_A + A \cdot F_{surf} \quad (1.3)$$

Kde F_A je Helmholtzova volná energie na 1 atom, N je počet atomů v objemu materiálu, A je plocha povrchu a F_{surf} je Helmholtzova volná energie na jednotku plochy povrchu:

$$dF_{tot} = -S.dT - p.dV + \mu.dN + F_{surf}.dA \quad (1.4)$$

$$dF_{tot} (T, V, N = konst.) = F_{surf}.dA \quad (1.5)$$

Kde S je entropie, p je tlak, μ je chemický potenciál.

Vratná práce vykonaná při vytvoření jednotky plochy povrchu je Helmholtzova volná energie pro danou plochu za konstantního objemu V a teploty T .

$$\gamma = \left(\frac{\partial F_{tot}}{\partial A} \right)_{T,V,N} \quad (1.6)$$

Z rovnic (1.5) a (1.6) plyne:

$$\gamma = F_{surf}$$

Povrchové napětí se rovná Helmholtzově volné energii pro povrch, která je obecně označována jako volná povrchová energie. [1]

1.3.2 Povrchová energie pevných látek

U pevných látek jsou částice látky blíže u sebe a vzájemné působení je větší než u kapalin. Částice pevné látky se nemohou přeskupit, aby minimalizovaly svoji energii. Je zde jiný příspěvek k volné povrchové energii vyplývající z práce potřebné k deformaci povrchu.

Volná povrchová energie pevných látek může být popsána jako míra porušení chemických vazeb při vzniku nového povrchu. Když rozdělíme pevné těleso na polovinu, spotřebujeme energii nutnou na porušení vazeb. Je-li toto uděláno vratně, je energie spotřebovaná na řezání rovna energii dvou nově vzniklých povrchů $2\gamma_i$ [8]

$$\frac{W_c}{2} = \gamma_i$$

Toto ovšem platí jen při ideálních podmínkách. V praxi je rozdělení nevratným procesem díky disipační energii. Energie nutná k rozdělení je větší než energie nově vzniklých povrchů. Vysoce energetické povrchy se snaží snížit svoji energii pohlcováním kontaminantů z okolí. [1]

Povrchová energie u pevných látek ovlivňuje jejich smáčivost.

2 VYHODNOCENÍ POVRCHOVÉ ENERGIE

Přímé měření volné povrchové energie je obtížné. Proto se používají metody nepřímé. Nejčastěji používanou metodou je měření kontaktního úhlu, které je pravděpodobně nejsnadnější. Pro následný výpočet volné povrchové energie existuje mnoho metod, které jsou založeny na Youngově vztahu (odst. 2.1.2). [1]

2.1 Smáčivost kapalin

Smáčivost je schopnost kapaliny přilnout k povrchu některých pevných látek. Je projevem adhezních sil, což jsou přitažlivé síly mezi částicemi povrchových vrstev dvou různých stýkajících se látek. Závisí na druhu kapaliny a pevné látky. [2]

2.1.1 Kontaktní úhel

Máme-li rozhraní tří látek, tedy kapalinu na pevném povrchu v plynné atmosféře, úhel jež svírá rozhraní kapaliny a plynu s pevnou podložkou se nazývá kontaktní úhel (úhel smáčení, krajní úhel). Je ovlivněn hodnotami různých mezifázových napětí. Kapalina může daný povrch smáčet, kontaktní úhel je menší jak 90° a povrch je nazýván smáčivým, nebo kapalina daný povrch nesmáčí, potom je kontaktní úhel větší jak 90° . Můžeme tedy rozdělit povrchy podle daného hlediska s využitím nejběžnější kapaliny (vody) na:

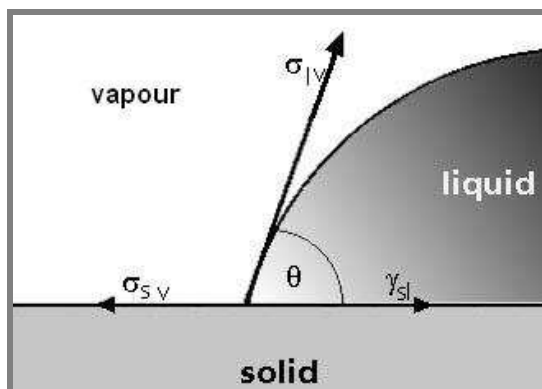
- a) hydrofilní – vodou smáčivé
- b) hydrofóbní – vodou nesmáčivé [2],[5]

2.1.2 Youngova rovnice

Umístíme-li kapku kapaliny l (*liquid*) na rovný vodorovný pevný povrch s (*solid*) v plynné atmosféře v (*vapor*), může se buď rozprostřít po povrchu, nebo zaujme více či méně kulový tvar. V roce 1805 přišel Thomas Young se svojí rovnicí popisující rovnováhu sil mezi povrchovým napětím na rozhraní tří zmíněných fází:

$$\gamma_{sv} - \gamma_{sl} = \gamma_{lv} \cos \theta \quad (2.1)$$

kde γ_{sv} je mezifázová volná energie pevná látka - plyn, γ_{sl} je mezifázová volná energie pevná látka – kapalina, γ_{lv} je mezifázové napětí kapalina – plyn. [1]



Obr. 2.1 Silová rovnováha na rozhraní tří fází

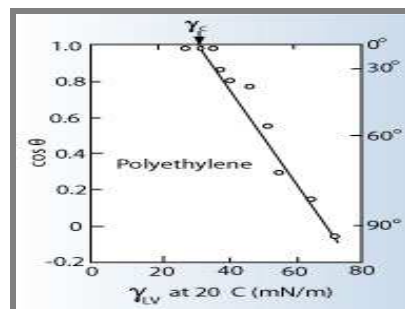
2.2 Stanovení povrchové energie

2.2.1 Zismanův diagram

Zisman si povšiml, že graf závislosti $\cos\theta$ na γ je často lineární. Zismanova metoda stanovení povrchové energie je založena na určení závislosti $\cos\theta$ na celkovém napětí kapaliny.

$$\cos\theta = f(\gamma) \quad (2.2)$$

Pomocí lineární extrapolace ($\cos\theta \rightarrow 1$) můžeme dostat kritickou povrchovou energii γ_c (kontaktní úhel je roven 0° = kompletní smáčení).



Obr. 2.2 Ukázka grafu pro nízko energetický Polyethylenový povrch

Závislost může být popsána rovnicí:

$$\cos\theta = 1 + b(\gamma_c - \gamma_l) \quad (2.3)$$

Kde b je konstanta charakteristická pro sadu užitých kapalin, hodnota γ_c je charakterizována molekulami na povrchu.

Relativní netečnost povrchu může být vyhodnocena porovnáním hodnoty γ_c povrchu. Ovšem tato lineární závislost vždy neplatí, teorie se stává složitější použitím nepolárních kapalin. K určení povrchové energie by tedy měly být použity jiné metody. [1],[9]

2.2.2 Fowkesova teorie

Fowkesova teorie je dnes základem pro výpočet všech složek volné povrchové energie. Disperzní složka celkové povrchové energie se stále počítá pomocí této metody. Fowkes bral volnou povrchovou energii jako míru přitažlivých sil mezi povrchovou vrstvou a kapalnou fází.

Mezimolekulová přitažlivost, která vyvolává povrchové napětí, pochází od různých dobře známých sil. Většina těchto sil, jako kovové vazby a vodíkové můstky, jsou funkcí specifické chemické povahy. Naproti tomu výše zmíněné Londonovy disperzní síly existují ve všech typech látek a vždy působí přitažlivě. Tyto disperzní síly přispívají k soudržnosti látek a jsou nezávislé na ostatních mezimolekulových silách. Jejich velikost závisí na typu materiálu a hustotě. Tudíž γ^d zahrnuje pouze Londonovy disperzní síly a příspěvek sil dle Keesoma a Debyeho je zahrnut v γ^p .

Pokud uvažujeme pouze disperzní síly:

$$\gamma_{sl} = \gamma_s + \gamma_l - 2\sqrt{\gamma_s^d \cdot \gamma_l^d} \quad (2.4)$$

použitím Duprého rovnice:

$$W_a = \gamma_{sv} + \gamma_{lv} - \gamma_{sl} \quad (2.5)$$

a dosazením z Youngovy rovnice můžeme dostat adhezní práci W_A :

$$W_A = \gamma_l(1 + \cos \theta) = 2\sqrt{\gamma_s^d \cdot \gamma_l^d} \quad (2.6)$$

Adhezní práce se skládá z nezávislých aditivních složek:

$$W_a = W_A^d + W_A^p + W_A^h + W_A^i + W_A^{ab} + \dots \quad (2.7)$$

A tedy i povrchová energie se skládá z nezávislých aditivních složek:

$$\gamma = \gamma^d + \gamma^p + \gamma^h + \gamma^i + \gamma^{ab} + \dots \quad (2.8)$$

kde indexy značí jednotlivé složky adhezní práce, respektive povrchové energie: d – disperzní, p – Keesomovy, i – indukční a ab – acido-bazické interakce, h – vodíkové vazby [1]

2.2.3 OWRK (Owens, Wendt, Rabel and Kaelble) teorie

Podle OWRK může být povrchová energie každé fáze rozdělena na disperzní část γ^d a polární část vodíkových můstků γ^p . Energie nedisperzních sil na rozhraní byla spočítána a zahrnuta jako geometrický průměr z nedisperzních složek kapaliny a pevné látky. Navržená rovnice byla rozšířením Fowkesovi rovnice:

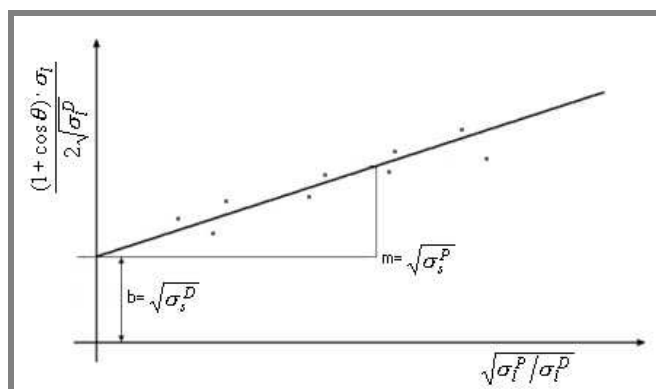
$$\gamma_{sl} = \gamma_s + \gamma_l - 2\left(\sqrt{\gamma_s^d \cdot \gamma_l^d} + \sqrt{\gamma_s^p \cdot \gamma_l^p}\right) \quad (2.9)$$

kombinací s Duprého rovnicí dostaneme:

$$(1 + \cos \theta)\gamma_l = 2\left(\sqrt{\gamma_s^d \cdot \gamma_l^d} + \sqrt{\gamma_s^p \cdot \gamma_l^p}\right) \quad (2.10)$$

Rabel umožnil vypočítat polární a disperzní část povrchové energie s pomocí prosté lineární regrese z dat kontaktních úhlů různých kapalin. Kombinací rovnic (2.1) a (2.9) a přizpůsobením pro rovnici přímky ($y = b+ax$) dostal: [1],[9]

$$\frac{1 + \cos \theta}{2} \cdot \frac{\gamma_l}{\sqrt{\gamma_l^d}} = \sqrt{\gamma_s^d} + \sqrt{\gamma_s^p} \cdot \sqrt{\frac{\gamma_l^p}{\gamma_l^d}} \quad (2.11)$$



Obr. 2.3 Určení disperzní a polární části povrchové energie pevné látky dle Rabela

2.2.4 Wu teorie (Harmonický průměr)

Stejně jako u předešlých metod je povrchová energie rozdělena na disperzní a polární část. Ve výpočtu povrchové energie ale používá místo geometrického průměru průměr harmonický. Tím je dosaženo přesnějších výsledků u systému s vysokou energií (skla, oxidy, grafity, kovy, atd.).

Spojení rovnice pro mezifázovou energii mezi kapalinou a pevnou látkou:

$$\gamma_{sl} = \gamma_s + \gamma_l - 4 \left(\frac{\gamma_s^d \cdot \gamma_l^d}{\gamma_s^d + \gamma_l^d} + \frac{\gamma_s^p \cdot \gamma_l^p}{\gamma_s^p + \gamma_l^p} \right) \quad (2.12)$$

s Young – Duprého rovnicí nám dá konečný vztah pro výpočet složek povrchové energie:

$$(1 + \cos \theta_i) \gamma_{li} = 4 \left(\frac{\gamma_s^d \cdot \gamma_l^d}{\gamma_s^d + \gamma_l^d} + \frac{\gamma_s^p \cdot \gamma_l^p}{\gamma_s^p + \gamma_l^p} \right) \quad (2.13)$$

Index li poukazuje na to, že pro měření se užívá několika druhů kapalin.

Kombinace dvou kapalin s podobnými hodnotami polárních a disperzních složek dává chybné hodnoty povrchové energie. Hodnota D pro dvě kapaliny i a j užitě pro výpočet, by měla být vyšší než 10 mJ.m^{-2} . [1],[9]

$$D = \sqrt{(\gamma_l^d)_i (\gamma_l^p)_j} - \sqrt{(\gamma_l^d)_j (\gamma_l^p)_i} \quad (2.14)$$

2.2.5 Van Ossova (acido-bazická) teorie

Acidobazická interakce nastane, když přijde do styku zásada (elektronový dárce nebo protonový příjemce) s kyselinou (elektronový příjemce nebo protonový dárce). Tato metoda umožňuje určit parametry elektron–příjemce a elektron–dárce povrchové energie. Celková povrchová energie je suma disperzní LW a acidobazické AB složky:

$$\gamma = \gamma^{LW} + \gamma^{AB} \quad (2.15)$$

Povrchová energie může být spočítána podle Young – Duprého rovnice vyjádřené pomocí kyselé složky γ^+ a zásadité složky γ^- :

$$(1 + \cos \theta_i) \gamma_i = 2 \left(\sqrt{\gamma_i^{LW} \cdot \gamma_j^{LW}} + \sqrt{\gamma_i^+ \cdot \gamma_j^-} + \sqrt{\gamma_i^- \cdot \gamma_j^+} \right) \quad (2.16)$$

kde i představuje kapalinu a j pevnou látku. Hodnoty mohou být určeny z měření kontaktního úhlu se třemi kapalinami, kdy dvě z nich musí mít polární složku. Ta je dána:

$$\gamma^{AB} = 2 \sqrt{\gamma^+ \cdot \gamma^-} \quad (2.17)$$

Rovnice (2.16) může být zapsána do matice tvaru $Ax = B$ s údaji kontaktního úhlu jednotlivých kapalin na pevné látce. Systém může být přeurčený použitím více jak tří kapalin, poté použijeme metodu nejmenších čtverců k určení koeficientů v rovnici (2.18):

$$\frac{1 + \cos \theta_i}{2} \cdot \frac{\gamma_i}{\sqrt{\gamma_i^{LW}}} = \sqrt{\gamma_s^{LW}} + \sqrt{\gamma_s^+} \cdot \sqrt{\frac{\gamma_i^-}{\gamma_i^{LW}}} + \sqrt{\gamma_s^-} \cdot \sqrt{\frac{\gamma_i^+}{\gamma_i^{LW}}} \quad (2.18)$$

Metoda se třemi kapalinami není příliš stabilní ve chvíli, kdy špatně zvolíme testovací kapaliny, na rozdíl od metody regresní. Výsledek regresní metody je obvykle blízký výstupu tříkapalinové metody s kombinací doporučených kapalin.[1]

3 UV ZÁŘENÍ

Ultrafialové světlo je elektromagnetické záření s kratší vlnovou délkou než člověkem viditelné světlo, ale delší než má rentgenové záření. UV světlo je běžnou součástí slunečního záření dopadajícího na Zemi. Podle moderních modelů evoluce je vznik a vývoj prvotních proteinů a enzymů schopných reprodukce připisován právě existenci ultrafialového záření. Nachází široké využití v různých oblastech lidského života, ale na druhou stranu má negativní dopad na lidské zdraví. [10]

3.2 Rozdělení UV záření

UV záření, jakožto oblast elektromagnetického spektra, se dělí na krátkovlnné záření o vlnové délce 400 – 200 nm) a daleké záření (200 – 10 nm), resp. energií fotonů mezi 3,1 a 124 eV.

Z hlediska biologických účinků se UV záření dělí na spektrální typy:

- a) UVA - má vlnovou délku od 315 do 400 nm. Považuje se za méně škodlivé. Nebylo prokázáno, že je pro živé organismy zhoubné. Asi 99 % UV záření, které dopadne na zemský povrch, je ze spektrální oblasti UVA.
- b) UVB - záření UVB má vlnovou délku v rozsahu od 280 do 315 nm. Je z převážné většiny absorbováno ozónem ve stratosféře. Je zhoubné pro živé organismy. Jeho energie je schopná rozkládat nebo narušovat bílkoviny nebo jiné životně důležité organické sloučeniny s vážnými následky.
- c) UVC - nejtvrdější UV záření - jeho vlnová délka je nižší než 280 nm. Je prokazatelně zhoubné (karcinogenní) pro živé organismy a oproti UVB proniká hlouběji do tkání. Významným inhibitorem dopadu UVC záření na zemský povrch je plynný kyslík – tvorba ozónu.[10]

3.3 Využití

Využití UV světla je značně rozsáhlé. Na ukázkou bude uvedeno pouze pár příkladů:

- ochranné prvky na pasech či kreditních kartách
- spektrofotometrie – technika k určení chemické struktury
- sterilizace v biologických laboratořích a zdravotnických zařízeních
- příprava polymerů s nízkou povrchovou energií [10]

3.4 TiO₂ a fotokatalýza

Výzkumy fotokatalýzy započaly zhruba před třiceti lety. Technologie využívající sluneční energie má zajímavé a užitečné možnosti aplikace. Je to kupříkladu využití fotokatalýzy při čištění životního prostředí. Tato technologie by mohla zabránit zašpinění krytů lamp v tunelech, špína z budov by mohla být snadno omyta deštěm. Jiné použití zabraňuje zamlžení čelních skel automobilů, zrcadel a brýlí vodní parou. Fotokatalyzátory také vykazují baktericidní a dezodorizační účinky. [3]

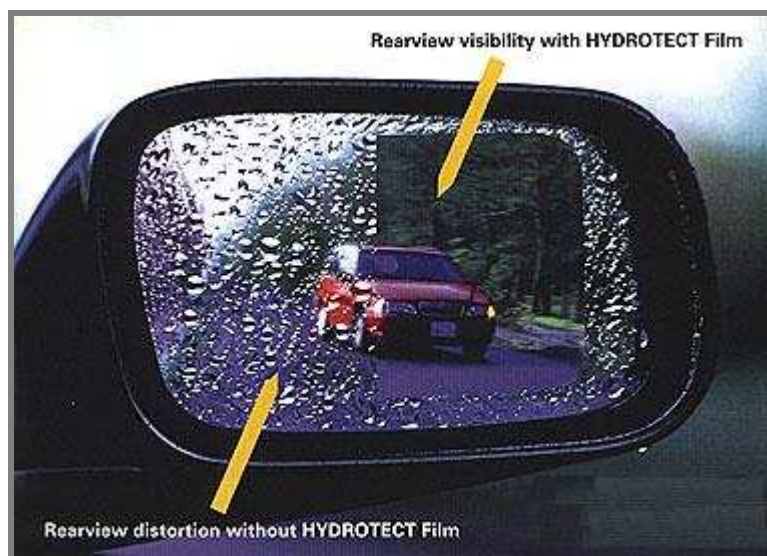
3.4.1 Superhydrofilnost

Normální povrch materiálů do jisté míry odpuzuje vodu. Nejsou známy takové, jež by měly úhel smáčení s vodou menší jak 10°, s výjimkou některých látek absorbujících vodu a povrchů, jež byly aktivovány čidly, např. mýdlem. Tyto povrchy však nově aktivovanou vlastnost neudrží dlouhodobě.

Tenký film vytvořený oxidem titaničitým a vhodnými aditivami vykazuje počáteční úhel smáčení pro vodu několik desítek stupňů. Vystavíme-li ho UV světlu, úhel se zmenšuje až dosáhne téměř nula stupňů, schopnost povrchu odpuzovat vodu je tedy nulová a voda se rozprostře do plochy – jedná se o tzv. superhydrofilnost.

Povrch si udrží tuto vlastnost jeden nebo dva dny, i když není vystaven UV světlu. Potom se pomalu stane znovu hydrofóbním. Superhydrofilní vlastnosti docílíme dalším osvětlením. Tento jev je v současné době přisuzován tvorbě „kyslíkových defektů“ na povrchu oxidu titaničitého.

Po zastavení osvětlování mizí superhydrofilnost u samotného titaničitého fotokatalyzátoru. Aby účinek přetrval je nutné zkombinovat fotokatalyzátor s látkou schopnou zadržet vodu ve své struktuře (např. oxid křemičitý ve formě silikagelu).[3]



Obr. 3.1 Ukázka užití superhydrofilního povrchu v praxi. Pravá polovina zrcátka je opatřena fólií „Hydrotekt“, která ji činí superhydrofilní, a tak zůstává průzračná.

4 EXPERIMENT

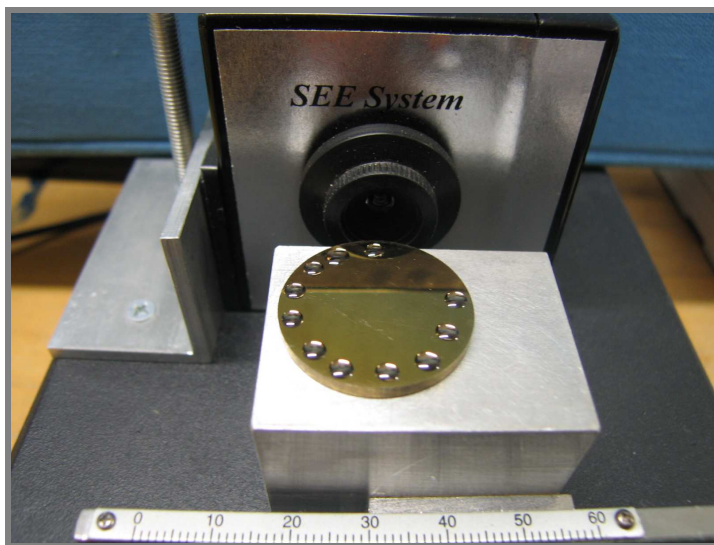
Cílem experimentu bylo určení povrchové energie osmi různých materiálů. Jednalo se o ocelové vzorky s povrchovými nátěry – TC 1191 (černý), TC 3072 (černá metalíza), TC 4111 (zelený), tři vzorky s vrstvou vytvořenou oxidem titaničitým (TiO_2), letecký plech (bílý) a sklo. Měřil se kontaktní úhel kapaliny (viz. kap. 4.2) s povrchem na přístroji SEE System pomocí počítačové analýzy tvaru kapky v programu SEE Software. Ve stejném programu pak byla naměřená data vyhodnocena různými metodami, představenými v kap. 2.

4.1 SEE System

SEE system představuje pokročilou metodu měření kontaktního úhlu a výpočtu volné povrchové energie. Eliminuje subjektivní vliv pozorovatele na stanovení kontaktního úhlu.[11]

Tvar kapky je zaznamenán CCD kamerou a snímky se zobrazí ve speciálním podpůrném programu (See Software), který umožňuje převést profil kapky na kružnici dvěma způsoby – pomocí tří bodů nebo pomocí více bodů a aproximací metodou nejmenších čtverců, kdy obrys kapky tvoří část této kružnice. Software už potom automaticky stanoví a zobrazí kontaktní úhel.

Program umožňuje výpočet povrchové energie na základě nejčastěji používaných modelů (Neumann, Wu, OWRK, Lifshitz – van der Waals/acid – base,...) včetně stanovení chyby měření. Obsahuje databázi povrchových energií a jednotlivých komponent povrchové energie kapalin, kterou lze doplnit novými údaji. [11]



Obr. 4.1 Detail přístroje SEE System a zkušební vzorek TiO_2 s kapkami bromnaftalenu

4.2 Testovací kapaliny

Kapaliny vhodné k měření kontaktního úhlu by měly splňovat základní podmínky:

- nereagovat s daným povrchem
- mít definovanou a stabilní povrchovou energii a její parametry
- mít větší povrchovou energii než testované povrchy
- mít vysokou čistotu
- neměly by být toxické[1]

V následující tabulce budou uvedeny kapaliny použité při experimentu včetně hodnot povrchové energie.

kapalina	pracovní zkratka	$\gamma^{\text{TOT}}/[\text{mJ}/\text{m}^2]$	$\gamma^{\text{LW}}/[\text{mJ}/\text{m}^2]$	$\gamma^{\text{AB}}/[\text{mJ}/\text{m}^2]$	$\gamma^+/[\text{mJ}/\text{m}^2]$	$\gamma^-/[\text{mJ}/\text{m}^2]$	$\eta/[\text{g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}]$
voda	w	72,8	21,8	51	25,5	25,5	0,01
glycerol	g	64	34	30	3,92	57,4	14,9
formamid	f	58	39	19	2,28	39,6	0,0455
ethylenglykol	e	48	29	19	1,92	47	0,199
dijodmethan	d	50,8	50,8	0	0	0	0,028
bromnaftalen	b	44,4	43,4	0	0	0	0,0489

Tab. 4.1 Povrchová energie, její složky a viskozita testovacích kapalin

4.3 Provedení experimentu

Měření probíhalo v laboratoři odboru fluidního inženýrství Viktora Kaplana za normálních podmínek (atmosférický tlak, $t = 18^\circ\text{C}$).

Postup byl následující:

- 1) Vzorek byl vždy před novým měřením řádně očištěn – opláchnut vodou a osušen. Jakákoliv následná manipulace se vzorkem probíhala pomocí pinzety, aby se předešlo opětovnému znečištění. Poté byl vzorek opláchnut v perchloru (tetrachlorethylen), kvůli odmaštění, a osušen tlakovým vzduchem. Takto připravený byl umístěn na měřicí přístroj.
- 2) Mikropipetou byla nabrána kapalina o objemu $1,5 \mu\text{l}$ a opatrně nanesena na zkoumaný povrch. Po zaostření kamery, snímající kapku, byl pořízen snímek.
- 3) S jednou kapalinou bylo uděláno 10 kapek, jež byly vyfoceny, a poté byl povrch znovu očištěn dle bodu 1). Postup byl opakován s další kapalinou. Po získání snímků od všech šesti kapalin započalo vyhodnocování.
- 4) Profil kapky byl převeden na kružnici metodou tří bodů. Dva se umístily na rozhraní kapaliny s povrchem a jeden na obrys, většinou v horní části. Software vyhodnotil stykový úhel a data se uložila.
- 5) Ze získaných dat program vypočítal povrchovou energii podle vybraných metod (Acid-base, Owens-Wendt, Acid-Base Regression, Owens-Wendt Regression, Kwok-Neumann, Li-Neumann, Wu-Equation of State) pro různé kombinace kapalin u vícekapalinových metod.
- 6) Získané hodnoty byly zpracovány, zaneseny do tabulek a znázorněny graficky, viz. kap. 5

Součástí dalšího měření bylo vystavení vzorků působení UV záření. K ozáření byla použita fokusovaná lampa ML-3500S s ultra-vysokou intenzitou ($50\,000 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ v 38cm). Vzorky byly ozařovány po dobu dvou hodin, načež bylo bez prodlevy provedeno měření dle bodu 1-6, viz výše.

4.4 Vlivy na přesnost měření

Je množství podstatných testovacích parametrů ovlivňujících měření – teplota, velikost kapky, hustota kapaliny, kvalita povrchu, příprava povrchu, doba ustavení rovnováhy, vypařování kapaliny a další. Je tedy důležité definovat standardní podmínky měření a snažit se vyvarovat chyb z nedbalosti.

Chyby při měření kontaktního úhlu mohou být rozděleny do dvou skupin:

- a) náhodné chyby – projevují se výkyvem měřených hodnot při opakovaném měření. Rozsah těchto náhodných chyb je mírou přesnosti měření. Jsou způsobeny obvykle:
 - špatným umístěním kapky na povrch
 - chybným nahrazením profilu kružnicí
 - nehomogenitami na povrchu vzorku
- b) soustavné chyby – projevují se soustavným nárůstem nebo poklesem měřených hodnot. Hůře se detekují a mohou značně ovlivnit měření. Jsou způsobeny například:
 - změřením kapky před nebo po ustavení termodynamické rovnováhy
 - velikostí kapky
 - nehomogenitami materiálu
 - kontaminací kapalin [1]

4.4.1 Vliv časové prodlevy mezi umístěním kapky a jejím změřením

Čas ustanovení rovnováhy kontaktního úhlu závisí na vlastnostech kapaliny, zejména na viskozitě. Pokud se úhel měří příliš brzy, jeho hodnota bude vyšší než v rovnovážném stavu. Po delší době může být jeho hodnota ovlivněna vypařováním. [1]

4.4.2 Chybné nahrazení profilu

V závislosti na vlastnostech materiálů je nutno správně nasvítit snímanou kapku tak, aby byla kontrastní vůči okolí, a poté obraz zaostřit. U špatně pořízeného obrázku může být problém dobře nahradit profil kapky kružnicí. Zvláště pokud není zřetelně vidět rozhraní mezi kapkou a podložkou. Problém s umístěním bodů na rozhraní bývá i u materiálů s velkou povrchovou energií, kdy se kapalina rozprostře a nevytvoří jasný přechod s podložkou. Zaostření a vhodné nasvícení může někdy trvat delší čas než by mělo, viz. výše.

4.4.3 Objem kapky

Youngova rovnice nebere v potaz přítomnost vnějších silových polí jako například gravitační. Gravitace samozřejmě působí na kapalinu při běžném měření. Aby byl vliv gravitačních sil co nejvíce eliminován, měla by být kapka co možná nejmenší. Malá kapka se více blíží kulovému tvaru. [1]

4.4.4 Drsnost povrchu

Youngova rovnice je aplikována na ideální, dokonale hladký povrch. Drsnost povrchu však významně ovlivňuje smáčení pevných povrchů. Zvětšuje nesmáčivost u hydrofóbních povrchů, stejně jako smáčivost u hydrofilních materiálů.

Obvykle jsou pro popis vlivu drsnosti užity dvě hypotézy:

- Wenzelova hypotéza – kapalina zcela vyplní prohlubně, čili drsnost zvětší plochu povrchu.

- Cassiho hypotéza – v prohlubních může zůstat pod kapalinou vzduch a kapka tedy sedí na složeném povrchu: částečně na vzduchu a částečně na pevném podkladu.

V obou případech je kontaktní úhel oproti ideálnímu upraven podle daných parametrů. [1]

5 VÝSLEDKY MĚŘENÍ

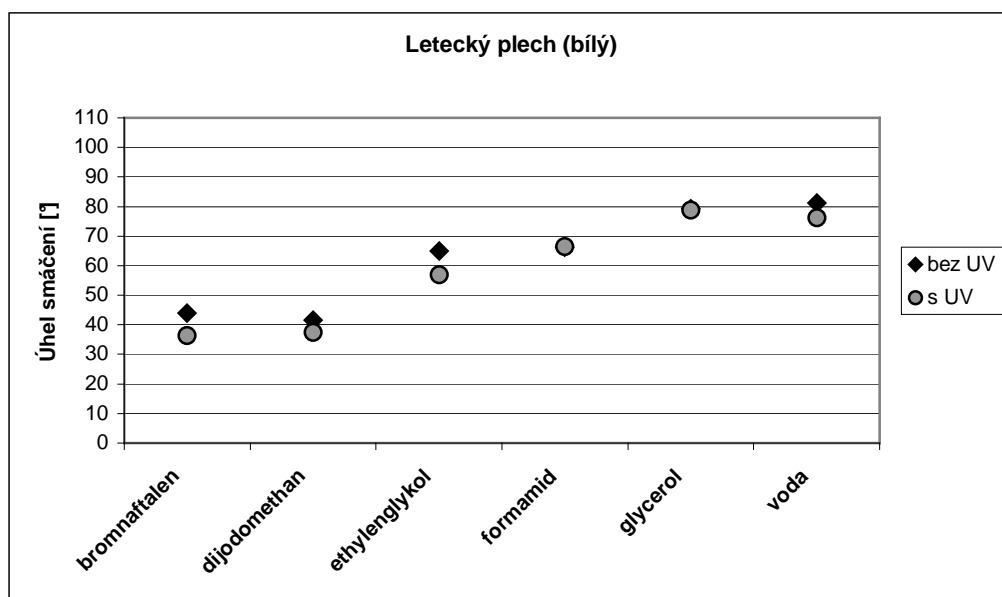
Získaná data kontaktních úhlů a energií byla zapsána do tabulek a graficky zpracována zvlášť pro jednotlivé materiály. Pro přehlednost a snadnější porovnání jsou výsledky měření s UV a bez UV prezentovány vedle sebe. Z jednofázových metod jsou uvedeny pouze výsledky získané metodou Kwok–Neumann, které jsou velmi podobné výsledkům metody Li-Neumann a pro shodu jsou vybrány jako přesnější než výsledky modelu Wuovy rovnice, kdy hodnoty vycházely vyšší. Graficky jsou hodnoty znázorněny jen pro kontaktní úhly, dvoufázovou metodu Owens – Wendt a pro regresi. Je to z důvodů značných rozměrových požadavků. Ostatní použité metody a výsledky jsou brány v potaz při slovním zhodnocení v závěru.

5.1 Letecký plech (bílý)

Kontaktní úhly:

kapalina	Letecký plech (bílý)			
	Bez UV [°]		S UV [°]	
bromnaftalen	44	±2,18	36,31	±5,18
dijodmethan	41,66	±4,43	37,4	±5,3
ethylenglykol	65,02	±2,24	57,03	±2,9
formamid	66,24	±3,97	66,48	±2,72
glycerol	79,15	±3,4	78,76	±3,1
voda	81,17	±4,98	76,27	±2,82

Tab. 5.1: Kontaktní úhly kapalin na leteckém plechu



Graf 5.1: Kontaktní úhly kapalin na leteckém plechu

Povrchová energie:

Acid-Base model (3 kapaliny)

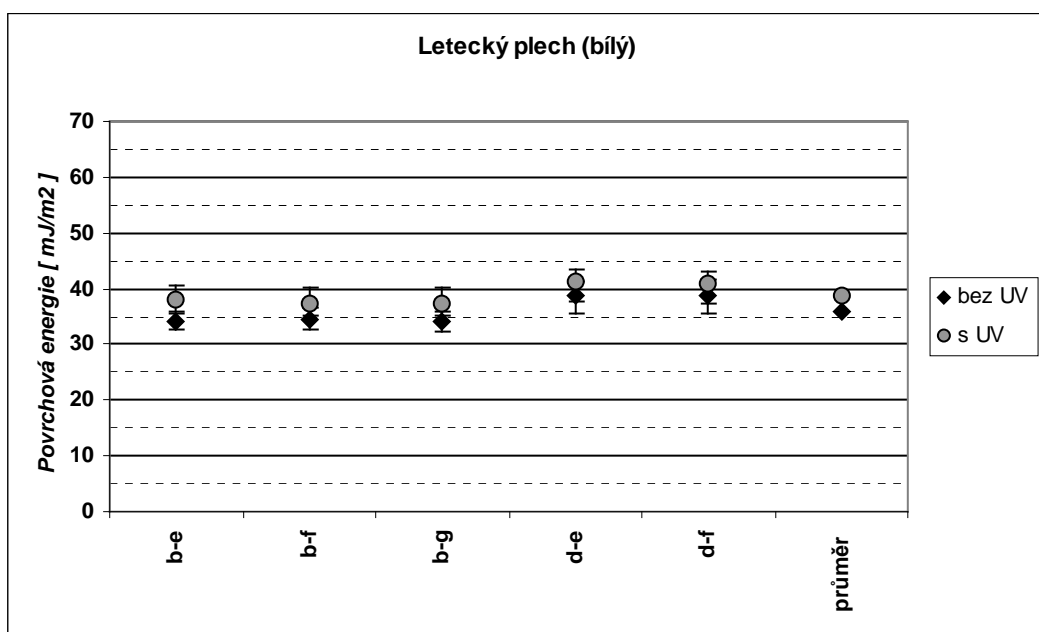
Letecký plech (bílý)	Bez UV			S UV		
	g	Sg-	Sg+	g	Sg-	Sg+
b-e-w	37,57	4,78	9,93	39,66	4,49	10,7
b-f-w	33,58	0,62	9,53	40,7	5,52	9,28
b-g-w	35,34	3,1	9,11	42,25	6,82	10,78
d-e-w	46,04	10,1	13,26	45,98	8,14	9,9
d-f-w	41,34	5,83	13,19	47,13	9,25	8,37
d-g-w	42,53	7,08	11,55	47,87	10,22	9,86
průměr	39,4			43,93167		
zaokrouhлено	39,4			43,9		

Tab. 5.2: Povrchová energie leteckého plechu získaná pomocí Acid-base modelu

Owens-Wendt model (2 kapaliny)

Letecký plech (bílý)	Bez UV			S UV		
	g	Sg-	Sg+	g	Sg-	Sg+
b-e	33,96	1,37	1,6	37,93	2,12	2,69
b-f	34,58	2,03	2,08	37,31	1,97	2,75
b-g	34,1	1,64	1,88	37,21	2,08	3,08
d-e	38,78	3,3	2,58	41,26	3,47	2,01
d-f	38,94	3,49	2,7	40,92	3,47	2,03
průměr	36,072			38,926		
zaokrouhлено	36,1			38,9		

Tab. 5.3: Povrchová energie leteckého plechu získaná pomocí Owens-Wendt modelu



Graf 5.2: Povrchová energie leteckého plechu získaná pomocí Owens-Wendt modelu

Kwok-Neumann model

Letecký plech (bílý)	Bez UV			S UV		
	g	Sg-	Sg+	g	Sg-	Sg+
bromnaftalen	33,61	1,13	1,17	36,65	1,67	2,46
ethylenglykol	26,76	1,06	1,76	30,54	1,81	1,54
formamid	32,78	3,06	2,51	32,65	1,49	1,79
glycerol	29,55	2,2	2,41	29,77	2,29	2,94
dijodmethan	39,79	2,87	2,16	41,61	3,01	1,7
voda	34,13	2,68	3,98	37,19	2,07	2,09
průměr	32,77	0,94	1,02	34,74	0,86	0,87

Tab. 5.4: Povrchová energie leteckého plechu získaná pomocí Kwok-Neumann modelu

Z tabulky a grafu vidíme, že povrch je lehce hydrofilní. Nejlépe ho smáčí diiodomethan a po ozáření bromnaftalen, rozdíl je ale malý a v rámci odchylek. Vliv záření můžeme pozorovat u bromnaftalenu a především pak u ethylenglykolu, kdy se kontaktní úhel výrazně zmenšil a hodnoty se liší i v případě extrémních hodnot úhlů daných odchylkami.

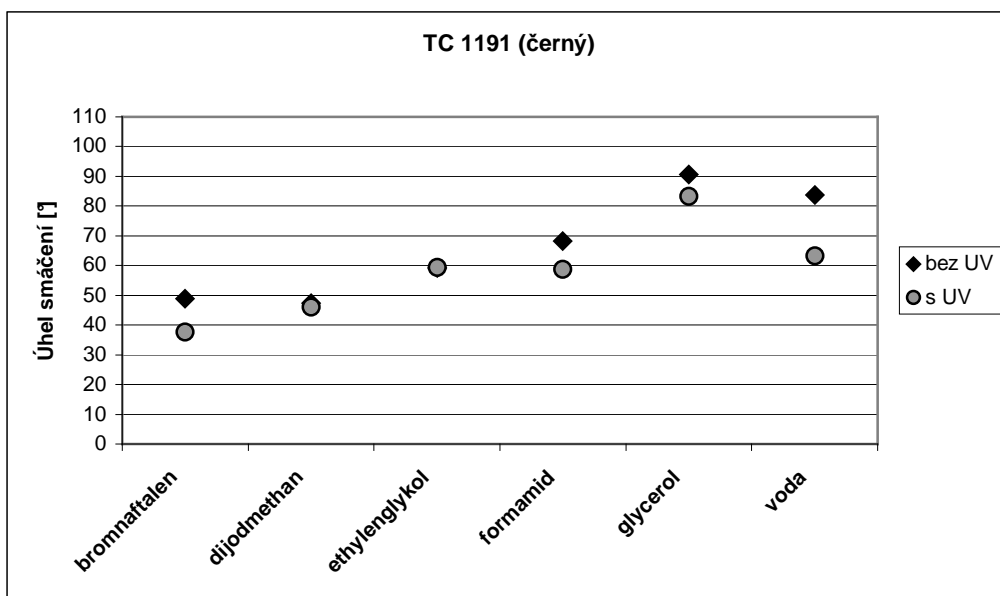
Povrchová energie je v rozmezí 26 až 46 mJ/m^2 podle použité metody a kapaliny. Za směrodatné můžeme vzít výsledky metody Owens-Wendt, s přihlédnutím k odchylkám (což platí i u ostatních materiálů a budou tedy tyto výsledky hodnoceny v komentářích), a tedy hodnotu povrchové energie asi 36 mJ/m^2 . Vliv UV záření je neprůkazný. Povrchová energie má malý nárůst, ovšem hodnoty jsou v rozmezí odchylek.

5.2 TC 1191 (černý)

Kontaktní úhly:

kapalina	TC 1191 (černý)			
	Bez UV [°]		S UV [°]	
bromnaftalen	48,83	±4,71	37,66	±4,65
dijodmethan	47,32	±4,81	46,14	±4,44
ethylenglykol	59,3	±4,15	59,52	±5,6
formamid	68,3	±7,48	58,8	±9,34
glycerol	90,64	±4,94	83,34	±3,13
voda	83,67	±6,66	63,2	±5,11

Tab. 5.5: Kontaktní úhly kapalin na vzorku s nátěrem TC 1191



Graf 5.3: Kontaktní úhly kapalin na vzorku s nátěrem TC 1191

Povrchová energie:

Acid-Base model (3 kapaliny)

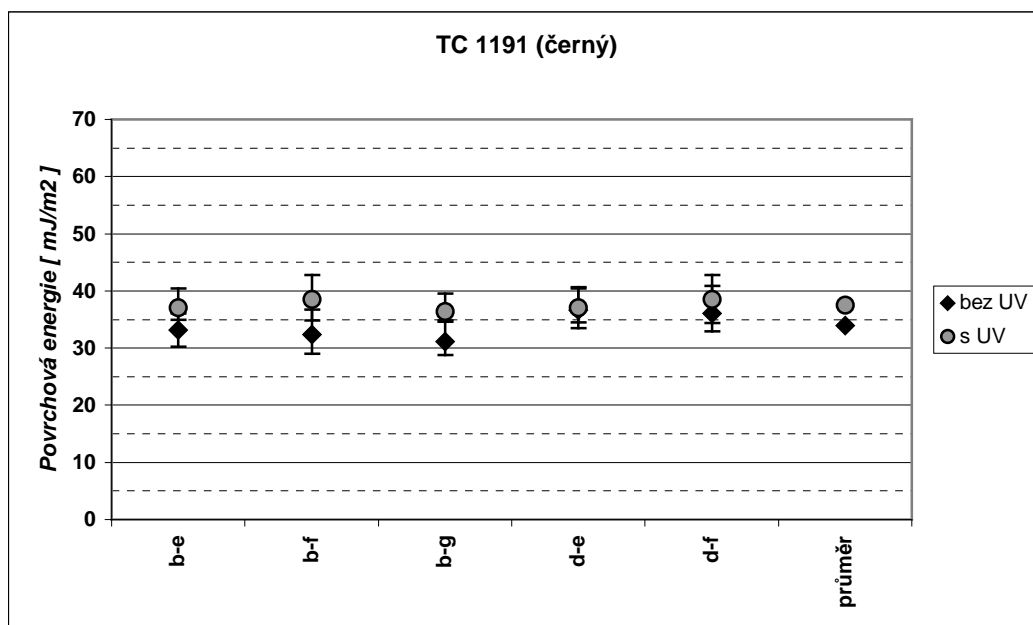
TC 1191 (černý)	Bez UV			S UV		
	g	Sg-	Sg+	g	Sg-	Sg+
b-e-w	32,85	3,95	8,36	51,96	16,12	25,41
b-f-w	31,81	2,53	13,19	38,53	3,01	27,3
b-g-w	40,52	11,51	16,38	57,6	12,82	20,57
d-e-w	36,07	2,96	15,55	52,02	17,15	25,31
d-f-w	37,32	4,22	18,5	38,58	4,1	27,21
d-g-w	47,15	12,84	19,16	57,65	13,75	20,49
průměr	37,62			49,39		
zaokrouhleno	37,6			49,4		

Tab. 5.6: Povrchová energie vzorku s nátěrem TC 1191 získaná pomocí Acid-base modelu

Owens-Wendt model (2 kapaliny)

TC 1191 (černý)	Bez UV			S UV		
	g	Sg-	Sg+	g	Sg-	Sg+
b-e	33,18	2,92	2,86	37,09	2,11	3,35
b-f	32,4	3,34	4,31	38,5	3,62	4,33
b-g	31,18	2,44	3,48	36,38	1,57	3,2
d-e	36,62	3,12	4,02	37,11	2,63	3,32
d-f	36,05	3,15	4,79	38,52	4,14	4,3
průměr	33,886			37,52		
zaokrouhleno	33,9			37,5		

Tab. 5.7: Povrchová energie vzorku s nátěrem TC 1191 získaná pomocí Owens-Wendt



Graf 5.4: Povrchová energie vzorku s nátěrem TC 1191 získaná pomocí Owens-Wendt modelu

Kwok-Neumann model

TC 1191 (černý)	Bez UV			S UV		
	g	Sg-	Sg+	g	Sg-	Sg+
bromnaftalen	31,61	2,09	2,38	36,14	1,42	2,57
ethylenglykol	29,47	2,57	1,96	29,37	3,03	3,23
formamid	31,66	4,2	4,71	36,84	6,75	4,3
glycerol	23,1	2,29	3,53	27,17	2,53	1,6
dijodmethan	37,21	2,42	3,55	37,76	1,86	2,36
voda	32,6	4,27	4,34	45,29	4,33	3,86
průměr	30,94	1,27	1,45	35,43	1,54	1,28

Tab. 5.8: Povrchová energie vzorku s nátěrem TC 1191 získaná pomocí Kwok-Neumann modelu

Povrch je opět lehce hydrofilní, všechny kapaliny kromě glycerolu, který má smáčecí úhel přibližně 90°, povrch smáčí. Ozáření nemělo vliv na smáčení diiodomethanu a ethylenglykolu. U ostatních kapalin se úhel zmenšil, nejvíce u vody.

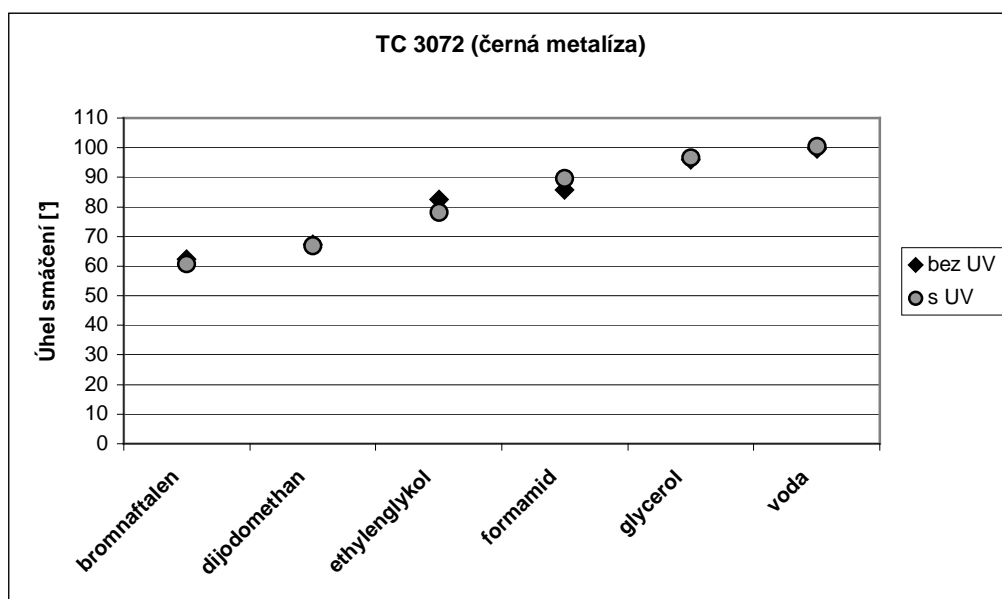
Povrchová energie se mírně zvětšila, což se projevilo zmenšením úhlu, viz. výše. Nárůst je ovšem malý a rozmezí dané odchylkami se více či méně překrývají.

5.3 TC 3072 (černá metalíza)

Kontaktní úhly:

kapalina	TC 3072 (černá metalíza)	
	Bez UV [°]	S UV [°]
bromnaftalen	62,39 ±6,33	60,71 ± 6,71
dijodomethan	67,44 ±3,42	66,9 ± 5,68
ethylenglykol	82,5 ±8,53	78,12 ± 5,62
formamid	85,64 ±7,22	89,55 ± 5,75
glycerol	95,98 ±5,71	96,61 ± 8,99
voda	99,56 ±7,18	100,57 ± 8,08

Tab. 5.9: Kontaktní úhly kapalin na vzorku s nátěrem TC 3072



Graf 5.5: Kontaktní úhly kapalin na vzorku s nátěrem TC 3072

Povrchová energie:

Acid-Base model (3 kapaliny)

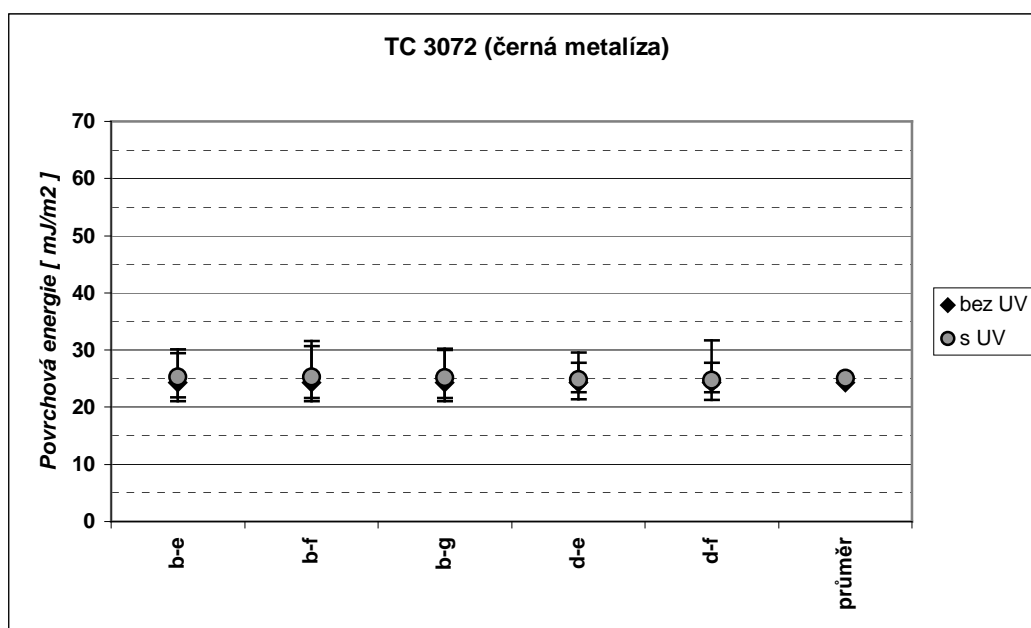
TC 3072 (č. met.)	Bez UV			S UV		
	g	Sg-	Sg+	g	Sg-	Sg+
b-e-w	26,27	4,97	24,1	25,28	3,6	16,16
b-f-w	25,6	4,52	19,7	28,58	3,01	27,3
b-g-w	26,34	5,28	17,6	27,37	5,68	17,7
d-e-w	26,34	3,78	19,8	24,64	3,3	17,02
d-f-w	25,67	3,08	15,56	27,85	6,55	20,75
d-g-w	26,4	3,55	14,24	26,74	5,44	18,51
průměr	26,10333			26,74333		
zaokrouhleno	26,1			26,7		

Tab. 5.10: Povrchová energie vzorku s nátěrem TC 3072 získaná pomocí Acid-base modelu

Owens-Wendt model (2 kapaliny)

TC 3072 (černá metalíza)	Bez UV			S UV		
	g	Sg-	Sg+	g	Sg-	Sg+
b-e	24,28	3,26	5,81	25,32	3,6	4,13
b-f	24,27	3,22	6,41	25,35	3,73	6,21
b-g	24,26	3,21	5,71	25,15	3,49	5,07
d-e	24,33	1,66	3,43	24,88	3,47	4,68
d-f	24,32	1,64	3,43	24,78	3,51	6,96
průměr	24,292			25,096		
zaokrouhлено	24,3			25,1		

Tab. 5.11: Povrchová energie vzorku s nátěrem TC 3072 získaná pomocí Owens-Wendt modelu



Graf 5.6: Povrchová energie vzorku s nátěrem TC 3072 získaná pomocí Owens-Wendt modelu

Kwok-Neumann model

TC 3072 (černá metalíza)	Bez UV			S UV		
	g	Sg-	Sg+	g	Sg-	Sg+
bromnaftalen	25,66	2,89	3,98	26,41	3,1	3,14
ethylenglykol	18,56	3,18	6,01	20,58	2,7	4,18
formamid	22,39	3,56	4,43	20,38	3,01	4,77
glycerol	20,21	2,93	3,24	19,88	3,48	9,22
dijodmethan	27,4	1,54	2,02	27,67	2,96	3,66
voda	23,16	3,36	5,82	22,58	3,87	5,98
průměr	22,9	1,22	1,83	22,91	1,31	2,26

Tab. 5.12: Povrchová energie vzorku s nátěrem TC 3072 získaná pomocí Kwok-Neumann modelu

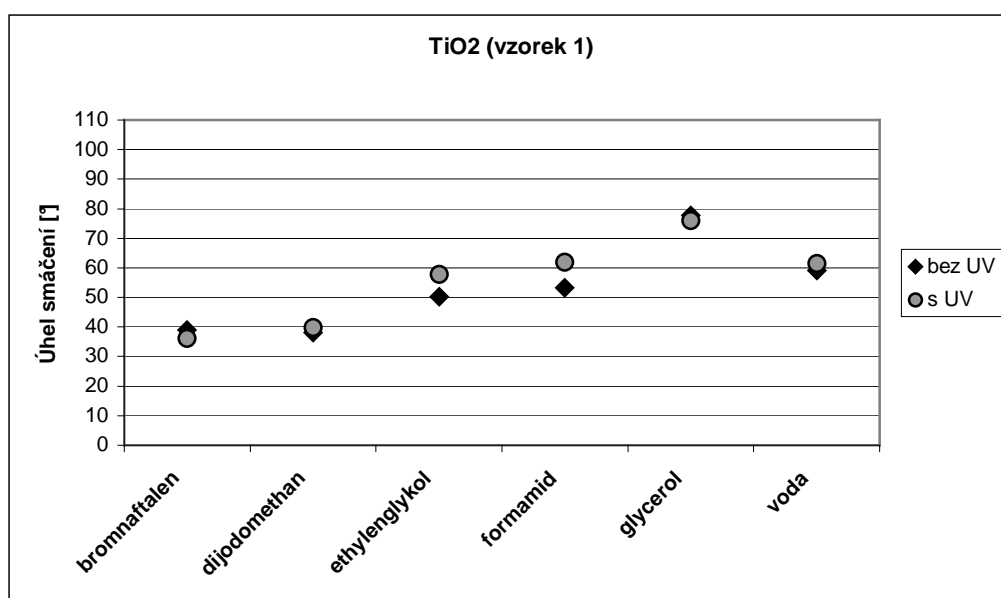
Povrch je hydrofóbní, úhel smáčení vody je zhruba 100°. Povrchová energie je přibližně 25 mJ/m². Ozáření nemělo žádný vliv na povrchovou energii, potažmo kontaktní úhel. Malé odchylky jsou způsobeny zřejmě nepřesností měření.

5.4 TiO₂ (vzorek 1)

Kontaktní úhly:

kapalina	TiO ₂ (vzorek 1)			
	Bez UV [°]		S UV [°]	
bromnaftalen	38,95	±2,7	36,15	±2,17
dijodmethan	38,08	±2,3	39,95	±3,42
ethylenglykol	50,22	±2,55	57,88	±2,89
formamid	53,16	±3,22	61,93	±3,36
glycerol	77,66	±2,97	76,07	±1,92
voda	59,04	±7,46	61,58	±2,3

Tab. 5.13: Kontaktní úhly kapalin na vzorku TiO₂ – 1



Graf 5.7: Kontaktní úhly kapalin na vzorku TiO₂ - 1

Povrchová energie:

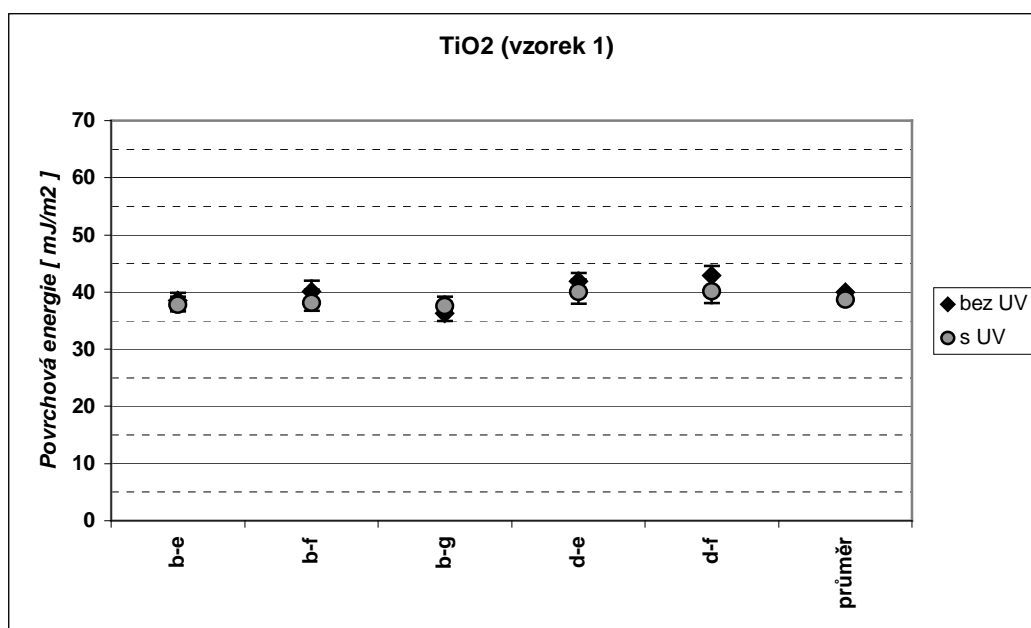
Acid-Base model (3 kapaliny)

TiO ₂ (vzorek 1)	Bez UV			S UV		
	g	Sg-	Sg+	g	Sg-	Sg+
b-e-w	42,77	7,59	15,98	52,65	8,58	12,12
b-f-w	37,74	2,73	7,68	43,88	7,51	9,26
b-g-w	51,58	12,92	16,09	49,3	7,92	6,2
d-e-w	52,23	12,77	17,01	58	11,01	14,59
d-f-w	42,7	3,52	12,57	48,95	11,08	11,59
d-g-w	59,73	15,01	16,58	53,64	9,83	7,97
průměr	47,79167			51,07		
zaokrouhлено	47,8			51		

Tab. 5.14: Povrchová energie vzorku TiO₂ - 1 získaná pomocí Acid-base modelu

Owens-Wendt model (2 kapaliny)

TiO ₂ (vzorek 1)	Bez UV			S UV		
	g	Sg-	Sg+	g	Sg-	Sg+
b-e	38,48	1,7	1,42	37,86	1,26	1,39
b-f	40,09	2,38	1,87	38,15	1,42	2,3
b-g	36,32	1,39	1,68	37,61	0,95	1,59
d-e	41,91	2,18	1,39	40,07	2,12	2,21
d-f	42,87	2,61	1,74	40,22	2,19	2,8
průměr	39,934			38,782		
zaokrouhлено	39,9			38,8		

Tab. 5.15: Povrchová energie vzorku TiO₂ - 1 získaná pomocí Owens-Wendt modeluGraf 5.8: Povrchová energie vzorku TiO₂ - 1 získaná pomocí Owens-Wendt modelu

Kwok-Neumann model

TiO ₂ - 1	Bez UV			S UV		
	g	Sg-	Sg+	g	Sg-	Sg+
bromnaftalen	35,64	0,96	1,23	36,71	0,74	1,06
ethylenglykol	33,72	1,87	0,93	30,14	2,04	1,34
formamid	39,8	2,56	1,6	35,16	2,24	3,08
glycerol	30,41	1,97	1,74	31,32	0,89	1,89
dijodmethan	41,32	1,63	1,18	40,51	1,63	1,94
voda	47,86	6,48	4,77	46,25	2,2	1,49
průměr	38,13	1,29	0,94	36,68	0,71	0,78

Tab. 5.16: Povrchová energie vzorku TiO₂ - 1 získaná pomocí Kwok-Neumann modelu

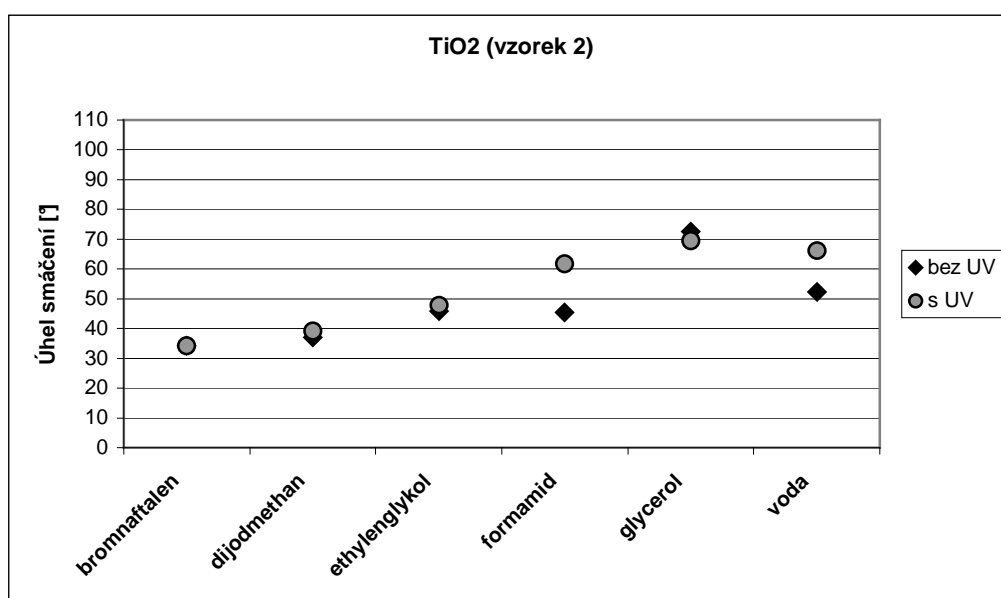
Povrch je hydrofilní. Po ozáření se zvětšil úhel smáčení u formamidu a ethylenglykolu. U ostatních kapalin je vliv nepatrný. Povrchová energie je zhruba 40 mJ/m². UV záření nemělo na povrchovou energii vliv, drobné odchylky může mít na svědomí opět nepřesnost měření.

5.5 TiO₂ (vzorek 2)

Kontaktní úhly:

kapalina	TiO ₂ (vzorek 2)			
	Bez UV [°]		S UV [°]	
bromnaftalen	34,22	±3,62	34,28	± 3,24
dijodmethan	37,08	±1,43	39,2	± 3,17
ethylenglykol	45,8	±1,8	47,7	± 2,93
formamid	45,48	±6,25	61,87	± 2,79
glycerol	72,6	±1,87	69,48	± 2,99
voda	52,3	±6,61	66,01	± 8,44

Tab. 5.17: Kontaktní úhly kapalin na vzorku TiO₂ -2



Graf 5.9: Kontaktní úhly kapalin na vzorku TiO₂ - 2

Povrchová energie:

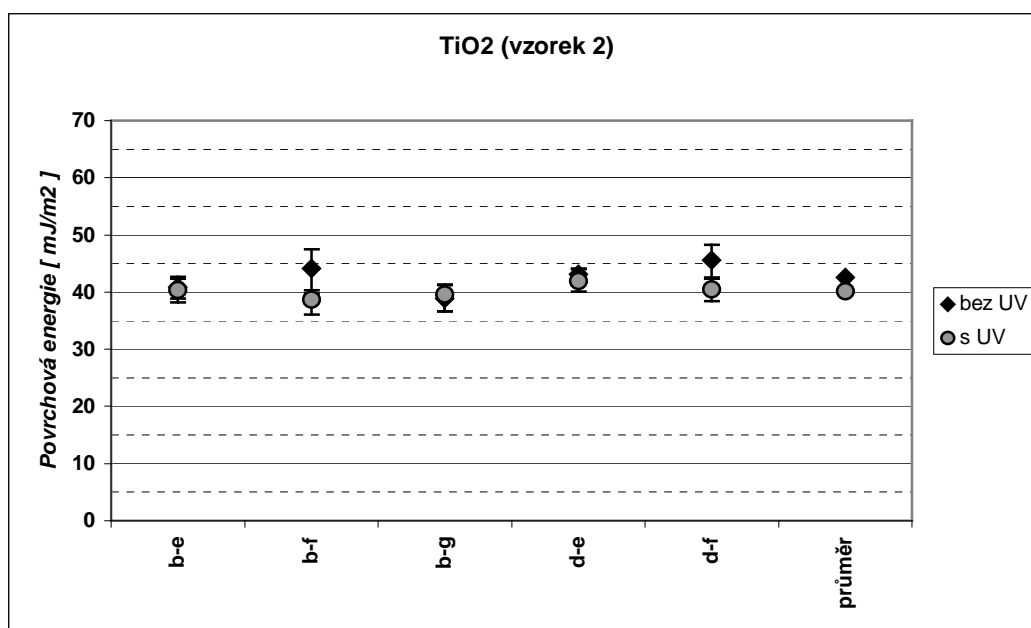
Acid-Base model (3 kapaliny)

TiO ₂ (vzorek 2)	Bez UV			S UV		
	g	Sg-	Sg+	g	Sg-	Sg+
b-e-w	47,21	10,8	15,74	39,44	3,87	13,41
b-f-w	42,37	6,51	7,45	42,86	7,52	14,57
b-g-w	52,92	11,43	14,23	40,23	3,87	14,6
d-e-w	53,93	8,19	13,19	43,33	4,95	14,81
d-f-w	42,73	1,84	11,04	46,9	8,57	15,98
d-g-w	58,6	8,99	11,95	43,62	5,51	15,61
průměr	49,62667			42,73		
zaokrouhлено	49,6			42,7		

Tab. 5.18: Povrchová energie vzorku TiO₂ - 2 získaná pomocí Acid-base modelu

Owens-Wendt model (2 kapaliny)

TiO ₂ (vzorek 2)	Bez UV			S UV		
	g	Sg-	Sg+	g	Sg-	Sg+
b-e	40,87	2,02	1,85	40,4	2,23	1,97
b-f	44,1	4,36	3,39	38,75	2,63	1,58
b-g	38,9	2,27	2,27	39,6	2,99	1,78
d-e	43,09	0,95	0,91	41,96	1,89	2,14
d-f	45,62	3,05	2,62	40,54	2,12	1,79
průměr	42,516			40,25		
zaokrouhлено	42,5			40,3		

Tab. 5.19: Povrchová energie vzorku TiO₂ - 2 získaná pomocí Owens-Wendt modeluGraf 5.10: Povrchová energie vzorku TiO₂ - 2 získaná pomocí Owens-Wendt modelu

Kwok-Neumann model

TiO ₂ - 2	Bez UV			S UV		
	g	Sg-	Sg+	g	Sg-	Sg+
bromnaftalen	37,43	2,12	2,02	37,4	2,21	1,18
ethylenglykol	35,7	0,91	0,71	34,86	1,1	2,08
formamid	43,8	4,16	3,03	35,19	1,96	1,54
glycerol	33,28	0,92	1,26	35,09	2,52	1,75
dijodmethan	41,75	0,67	0,72	40,83	1,63	1,44
voda	51,97	3,73	5,15	43,56	5,18	6,71
průměr	40,65	1,02	1,09	37,82	1,13	1,27

Tab. 5.20: Povrchová energie vzorku TiO₂ - 2 získaná pomocí Kwok-Neumann modelu

Povrch je hydrofilní. Ozáření se projevilo zvětšením kontaktního úhlu vody, kde ovšem jsou velké odchylky, a velkým zvětšením kontaktního úhlu formamidu.

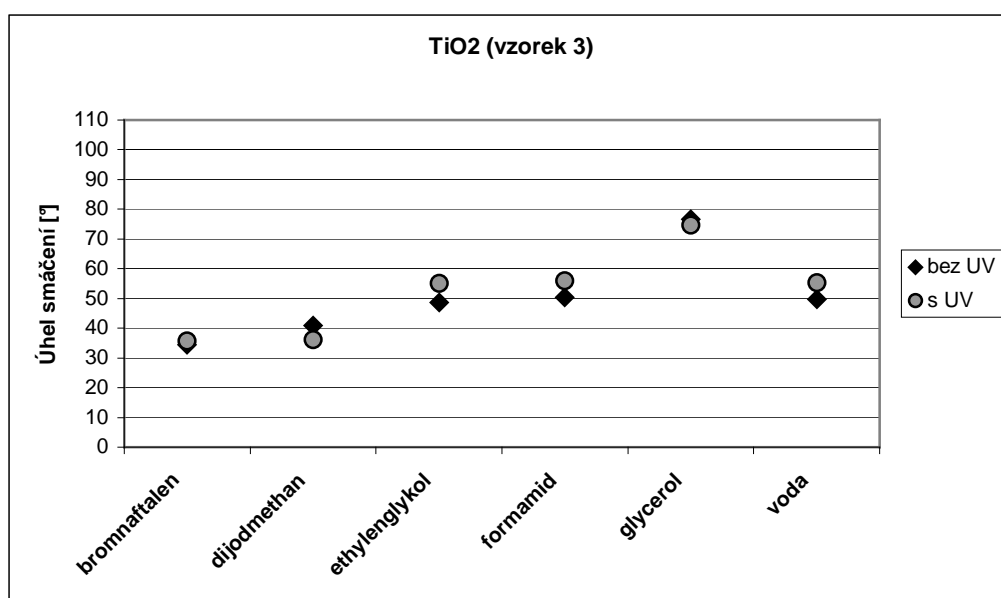
Povrchová energie je zhruba 42 mJ/m², což je podobné jako u 1. vzorku. UV záření nemá prokazatelný vliv, v závislosti na kombinaci kapalin a na metodě se energie buď lehce snížila, nebo zvýšila v daném rozmezí odchylek, což bude zapříčiněno spíše chybou v měření.

5.6 TiO₂ (vzorek 3)

Kontaktní úhly:

kapalina	TiO ₂ (vzorek 3)			
	Bez UV [°]		S UV [°]	
bromnaftalen	34,42	±1,45	35,73	±1,66
dijodmethan	40,87	±3,17	36,2	±2,27
ethylenglykol	48,65	±5,22	55,04	±4,45
formamid	50,35	±4,46	55,87	±4,45
glycerol	76,71	±3,46	74,66	±2,14
voda	49,71	±7,06	55,43	±3,82

Tab. 5.21: Kontaktní úhly kapalin na vzorku TiO₂ - 3



Graf 5.11: Kontaktní úhly kapalin na vzorku TiO₂ - 3

Povrchová energie:

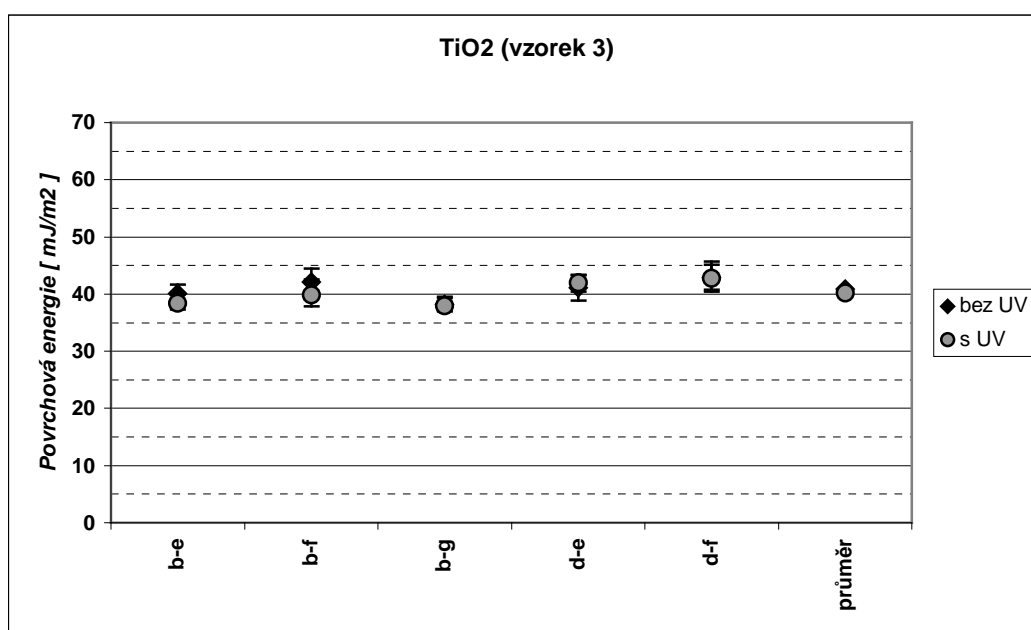
Acid-Base model (3 kapaliny)

TiO ₂ (vzorek 3)	Bez UV			S UV		
	g	Sg-	Sg+	g	Sg-	Sg+
b-e-w	52,95	14,34	17,29	55,34	10,72	15,34
b-f-w	38,26	1,04	9,97	40,56	3,54	12,41
b-g-w	61,32	14,21	17,32	52,46	8,72	11,34
d-e-w	56,11	16,9	19,99	64,49	12,72	16,14
d-f-w	41,17	3,46	12,25	48,99	8,41	13,25
d-g-w	63,97	16,32	19,41	59,85	10,14	11,73
průměr	52,29667			53,615		
zaokrouhлено	52,3			53,6		

Tab. 5.22: Povrchová energie vzorku TiO₂ - 3 získaná pomocí Acid-base modelu

Owens-Wendt model (2 kapaliny)

TiO ₂ (vzorek 3)	Bez UV			S UV		
	g	Sg-	Sg+	g	Sg-	Sg+
b-e	40,15	1,55	1,57	38,46	1,2	1,5
b-f	42,13	1,88	2,38	39,91	2	2,69
b-g	38,19	0,98	1,07	37,99	1,03	1,5
d-e	41,16	2,32	2,18	41,96	1,53	1,44
d-f	42,9	2,46	2,75	42,81	2,06	2,35
průměr	40,906			40,226		
zaokrouhлено	40,9			40,2		

Tab. 5.23: Povrchová energie vzorku TiO₂ - 3 získaná pomocí Owens-Wendt modeluGraf 5.12: Povrchová energie vzorku TiO₂ - 3 získaná pomocí Owens-Wendt modelu

Kwok-Neumann model

TiO ₂ - 3	Bez UV			S UV		
	g	Sg-	Sg+	g	Sg-	Sg+
bromnaftalen	37,35	0,52	0,6	36,87	0,57	1,07
ethylenglykol	34,43	2,49	2,12	31,5	2,05	1,48
formamid	41,28	2,27	2,71	38,41	3,03	3,05
glycerol	31,12	2,71	1,75	32,13	1,79	1,51
dijodmethan	40,1	1,43	1,47	42,11	1,12	1,1
voda	53,5	6,12	3,81	50,02	3,34	2,73
průměr	39,63	1,28	0,94	38,51	0,9	0,81

Tab. 5.24: Povrchová energie vzorku TiO₂ - 3 získaná pomocí Kwok-Neumann modelu

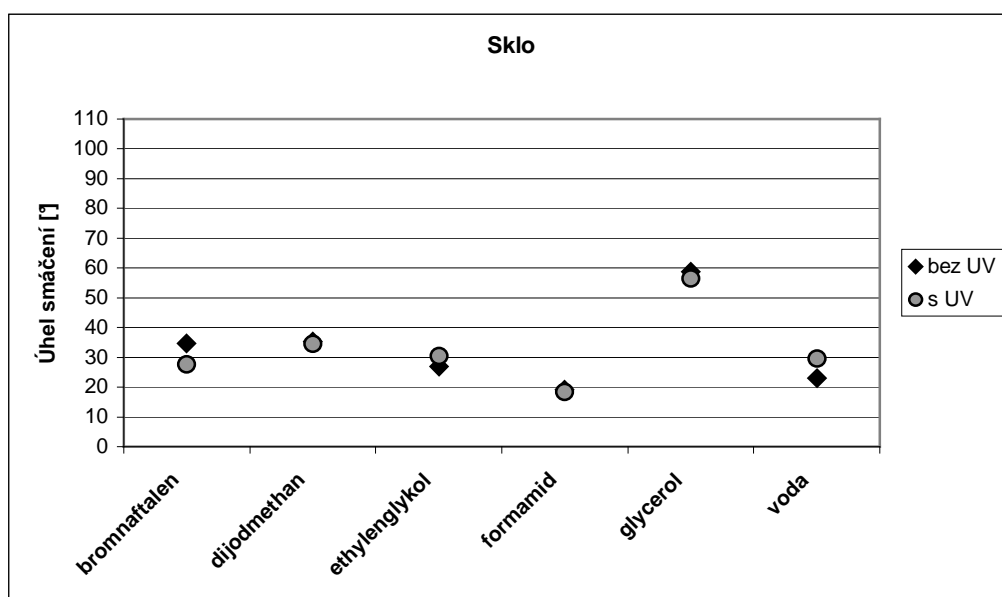
Povrch je opět, jako u prvních dvou vzorků, hydrofilní. Záření nemělo větší vliv, pokud vezmeme v potaz odchylky naměřených dat kontaktních úhlů. Povrchová energie má také podobnou hodnotu, a to zhruba 40 mJ/m².

5.7 Sklo

Kontaktní úhly:

kapalina	Sklo			
	Bez UV [°]		S UV [°]	
bromnaftalen	34,71	±2,55	27,63	± 2,67
dijodmethan	35,2	±2,79	34,4	± 1,78
ethylenglykol	26,98	±3,59	30,28	± 4,44
formamid	19,26	±3,25	18,33	± 3,16
glycerol	58,76	±11,6	56,37	± 4,77
voda	22,95	±3,77	29,45	± 6,17

Tab. 5.25: Kontaktní úhly kapalin na skle



Graf 5.13: Kontaktní úhly kapalin na skle

Povrchová energie:

Acid-Base model (3 kapaliny)

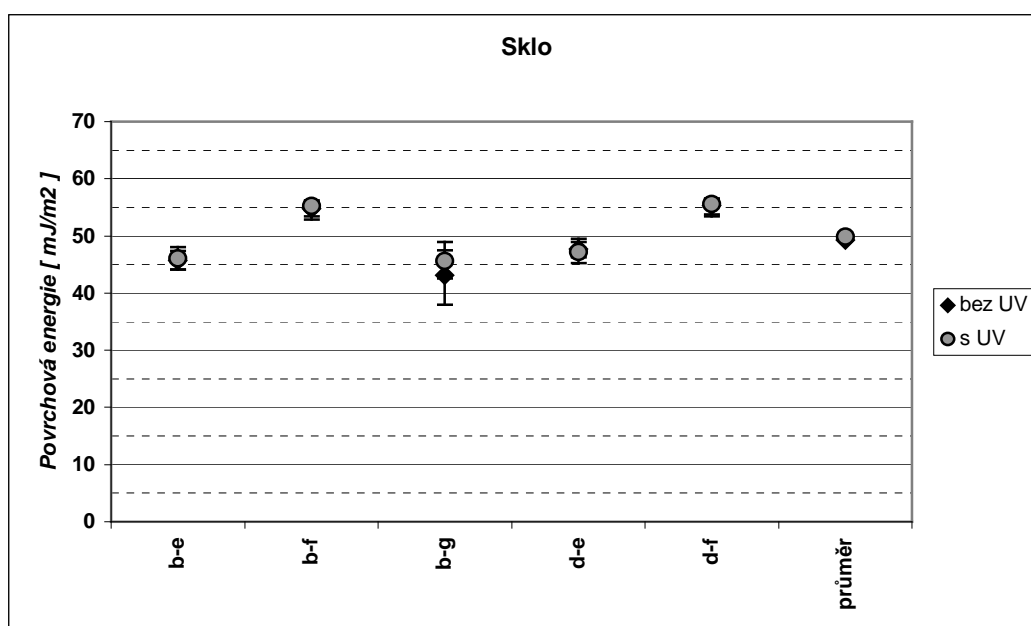
Sklo	Bez UV			S UV		
	g	Sg-	Sg+	g	Sg-	Sg+
b-e-w	45,91	9,3	8,59	52,05	12,67	12,08
b-f-w	54,34	3,21	1,55	54,91	2,89	1,32
b-g-w	48,12	6,47	29,24	47,11	6,23	14,58
d-e-w	56,27	9,49	9,22	56,69	13,72	11,62
d-f-w	53,86	3,51	1,79	54,89	3,03	1,6
d-g-w	56,62	14,72	29,97	50,87	9,43	14,17
průměr	52,52			52,75333		
zaokrouhleno	52,5			52,8		

Tab. 5.26: Povrchová energie skla získaná pomocí Acid-base modelu

Owens-Wendt model (2 kapaliny)

Sklo	Bez UV			S UV		
	g	Sg-	Sg+	g	Sg-	Sg+
b-e	45,65	1,47	1,73	46,15	1,99	1,91
b-f	54,81	1,95	1,1	55,3	1,83	0,93
b-g	43,1	5,18	5,84	45,68	3,08	1,86
d-e	47,75	1,44	1,77	47,26	2,05	1,7
d-f	55,3	1,93	1,2	55,63	1,85	0,9
průměr	49,322			50,004		
zaokrouhleno	49,3			50		

Tab. 5.27: Povrchová energie skla získaná pomocí Owens-Wendt modelu



Graf 5.14: Povrchová energie skla získaná pomocí Owens-Wendt modelu

Kwok-Neumann model

Sklo	Bez UV			S UV		
	g	Sg-	Sg+	g	Sg-	Sg+
bromnaftalen	37,25	1,18	1,14	39,68	0,91	0,84
ethylenglykol	43,15	1,18	1,6	42,03	2,27	2,14
formamid	54,92	1,77	0,95	55,19	1,71	0,8
glycerol	41,26	7,34	6,51	42,62	3,77	1,88
dijodmethan	42,53	1,12	1,24	42,86	1,09	0,58
voda	67,54	1,94	1,75	64,56	4,78	2,17
průměr	47,77	1,34	1,2	47,83	1,14	0,64

Tab. 5.28: Povrchová energie skla získaná pomocí Kwok-Neumann modelu

Sklo je velmi hydrofilní povrch, kde kontaktní úhel vody je blízký 20°. O něco menší už má jen formamid. Po ozáření se zvětšil kontaktní úhel vody téměř na 30°, oproti tomu u bromnaftalenu poklesl.

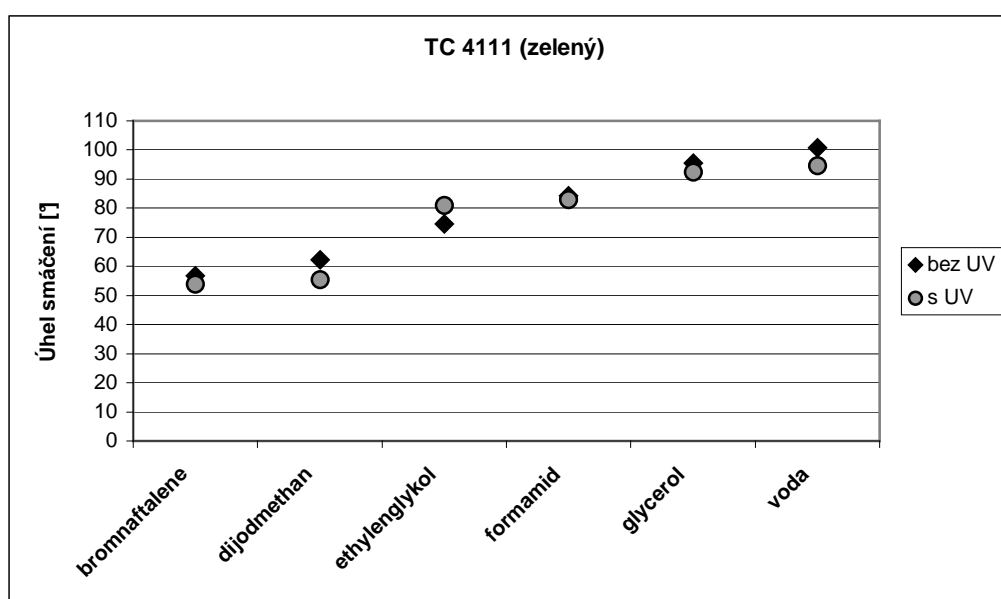
Dobrému smáčení odpovídá vysoká hodnota povrchové energie, která má hodnotu přibližně 50 mJ/m². UV záření nemá na hodnotu povrchové energie vliv.

5.8 TC 4111 (zelený)

Kontaktní úhly:

kapalina	TC 4111 (zelený)	
	Bez UV [°]	S UV [°]
bromnaftalen	56,77 ±3,75	53,82 ± 4,48
dijodmethan	62,16 ±3,07	55,46 ± 4,54
ethylenglykol	74,6 ±2,91	80,86 ± 2,41
formamid	84,17 ±4,11	82,91 ± 3,97
glycerol	95,55 ±3,16	92,49 ± 7,3
voda	100,84 ±5,07	94,56 ± 3,56

Tab. 5.29: Kontaktní úhly kapalin na vzorku s nátěrem TC 4111



Graf 5.15: Kontaktní úhly kapalin na vzorku s nátěrem TC 4111

Povrchová energie:

Acid-Base model (3 kapaliny)

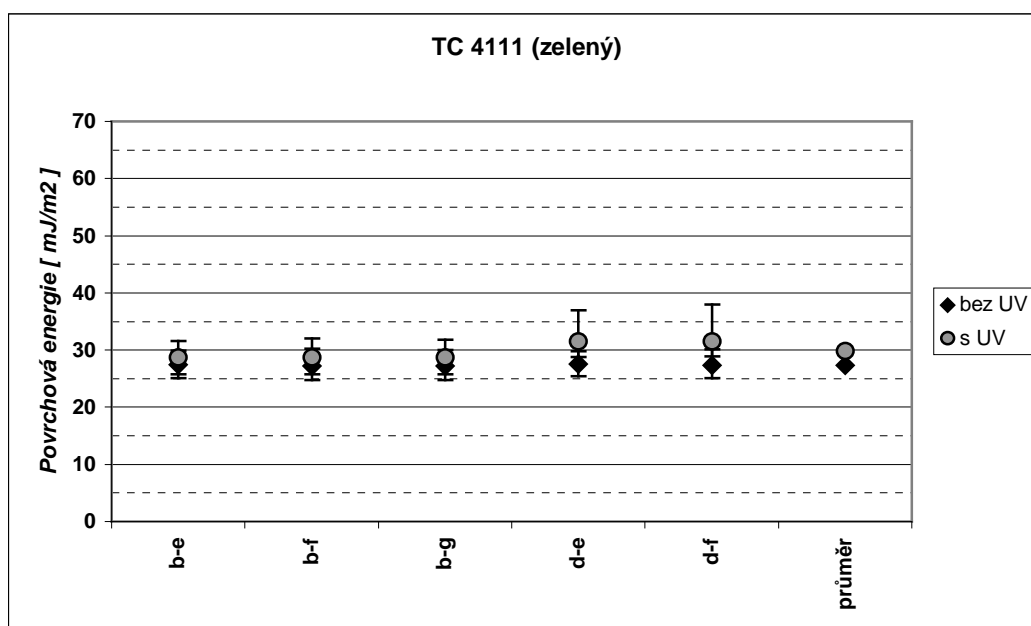
TC 4111 (zelený)	Bez UV			S UV		
	g	Sg-	Sg+	g	Sg-	Sg+
b-e-w	27,4	2,58	5,25	34,38	7,56	10,99
b-f-w	28,48	3,77	10,3	32,05	6,29	10,54
b-g-w	29,25	4,52	9,91	32,01	5,42	10,46
d-e-w	27,55	2,33	4,98	38,23	7,25	14,72
d-f-w	28,72	3,57	9,93	35,74	6,61	14,25
d-g-w	29,47	4,27	9,58	35,25	5,84	13,35
průměr	28,47833			34,61		
zaokrouhleno	28,5			34,6		

Tab. 5.30: Povrchová energie vzorku s nátěrem TC 4111 získaná pomocí Acid-base modelu

Owens-Wendt model (2 kapaliny)

TC 4111 (zelený)	Bez UV			S UV		
	g	Sg-	Sg+	g	Sg-	Sg+
b-e	27,43	2,31	2,47	28,71	2,97	2,83
b-f	27,17	2,41	3,1	28,69	2,92	3,34
b-g	27,22	2,51	2,85	28,66	2,9	3,14
d-e	27,59	2,13	2,25	31,45	2,61	5,49
d-f	27,36	2,22	2,81	31,46	2,58	6,46
průměr	27,354			29,794		
zaokrouhлено	27,4			29,8		

Tab. 5.31: Povrchová energie vzorku s nátěrem TC 4111 získaná pomocí Owens-Wendt modelu



Graf 5.16: Povrchová energie vzorku s TC 4111 získaná pomocí Owens-Wendt modelu

Kwok-Neumann model

TC 4111 (zelený)	Bez UV			S UV		
	g	Sg-	Sg+	g	Sg-	Sg+
bromnaftalen	28,16	2,11	1,81	29,46	2,52	1,95
ethylenglykol	22,21	0,92	2,72	19,31	1,42	0,82
formamid	23,17	2,64	3,22	23,83	2,53	2,21
glycerol	20,44	2,25	2,46	22,09	2,95	7
dijodmethan	29,99	1,93	1,58	33,29	2,01	3,57
voda	22,4	3,04	4,27	26,08	2,55	2,59
průměr	24,4	0,92	1,15	25,68	0,97	1,4

Tab. 5.32: Povrchová energie vzorku s TC 4111 získaná pomocí Kwok-Neumann modelu

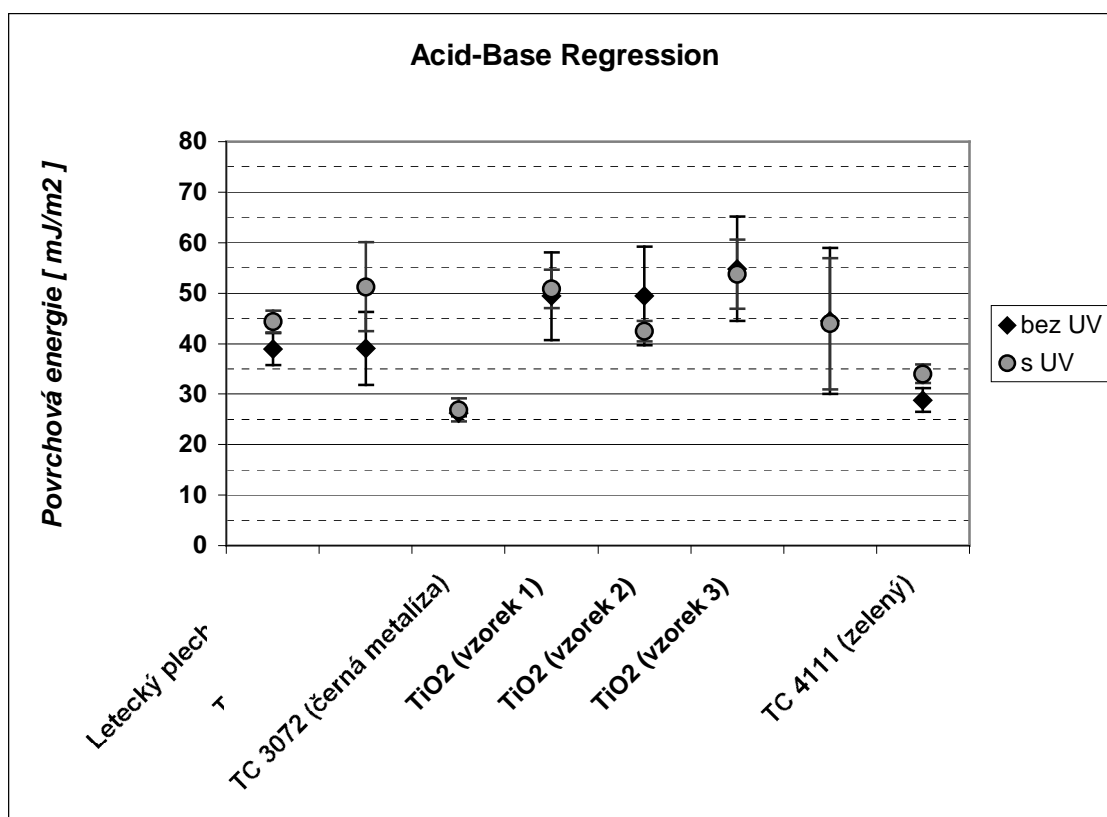
Povrch je hydrofóbní a podobně jako u vzorku s povrchovým nátěrem TC 3072 má voda kontaktní úhel přibližně 100°. Po ozáření se úhel výrazněji zvětšil u ethylenglykolu, a naopak zmenšil u diiodomethanu a vody.

Povrchová energie má hodnotu zhruba 27 mJ/m². Po ozáření se energie nepatrně zvětšila, hodnoty jsou ale v rozmezí daném odchylkami, takže vliv UV záření je neprůkazný.

5.9 Acid-Base regrese

Acid-Base Regression	Bez UV			S UV		
	g	Sg-	Sg+	g	Sg-	Sg+
Letecký plech (bílý)	38,93	3,19	3,19	44,41	2,17	2,17
TC 1191 (černý)	39,03	7,19	7,19	51,26	8,84	8,84
TC 3072 (černá metalíza)	26,21	0,54	0,54	26,91	2,27	2,27
TiO ₂ (vzorek 1)	49,41	8,65	8,65	50,81	3,78	3,78
TiO ₂ (vzorek 2)	49,45	9,71	9,71	42,46	2,07	2,07
TiO ₂ (vzorek 3)	54,79	10,32	10,32	53,72	6,87	6,87
Sklo	44,53	14,46	14,46	43,94	12,96	12,96
TC 4111 (zelený)	28,83	2,39	2,39	34,04	1,78	1,78

Tab. 5.33: Povrchová energie vzorků získaná pomocí Acid-Base regrese

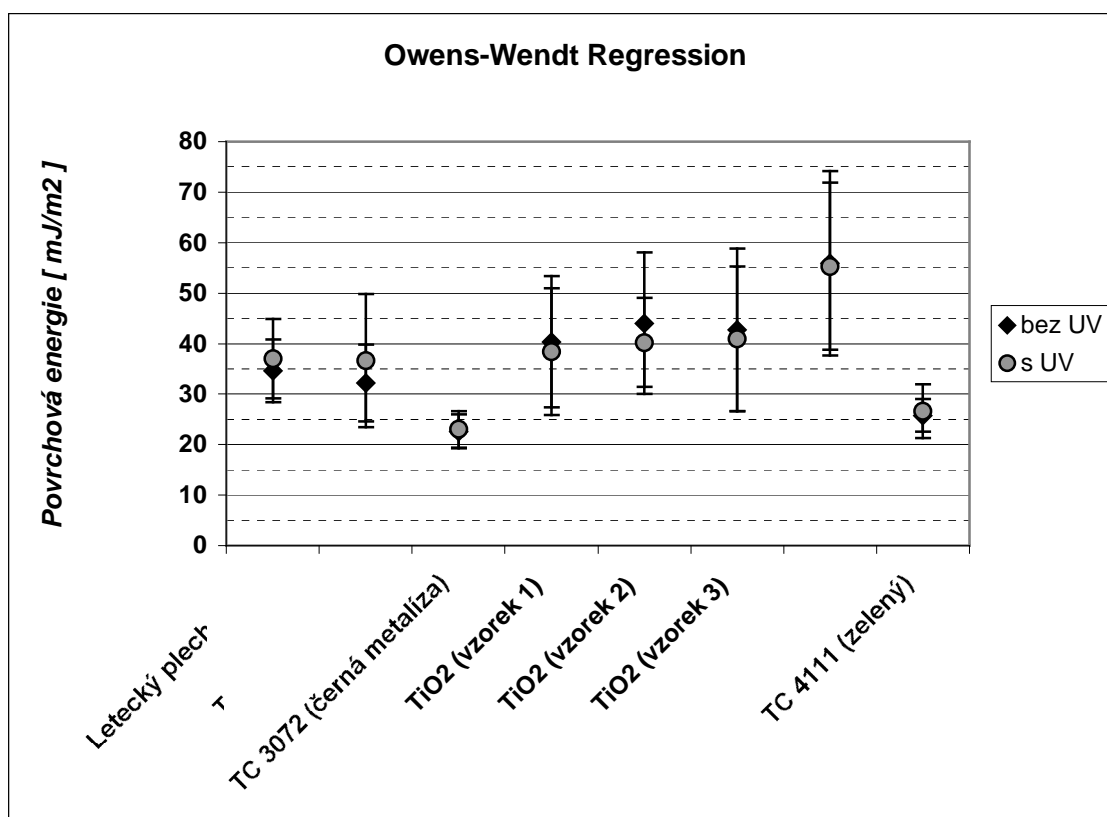


Graf 5.17: Povrchová energie vzorků získaná pomocí Acid-Base regrese

5.10 Owens-Wendt regrese

Owens-Wendt Reg.	Bez UV			S UV		
	g	Sg-	Sg+	g	Sg-	Sg+
Letecký plech (bílý)	34,63	6,22	6,22	36,99	7,87	7,87
TC 1191 (černý)	32,18	7,62	7,62	36,61	13,21	13,21
TC 3072 (černá met.)	22,63	3,34	3,34	23,02	3,62	3,62
TiO ₂ (vzorek 1)	40,38	13	13	38,44	12,58	12,58
TiO ₂ (vzorek 2)	44,02	14,03	14,03	40,22	8,82	8,82
TiO ₂ (vzorek 3)	42,68	16,09	16,09	40,95	14,37	14,37
Sklo	55,93	18,27	18,27	55,31	16,55	16,55
TC 4111 (zelený)	25,8	3,25	3,25	26,64	5,32	5,32

Tab. 5.34: Povrchová energie vzorků získaná pomocí Owens-Wendt regrese



Graf 5.18: Povrchová energie vzorků získaná pomocí Owens-Wendt regrese

6 ZÁVĚR

Ze zkoumaných materiálů má největší povrchovou energii sklo. Nejmenší povrchovou energii má vzorek s nátěrem TC 3072 (černá metalíza). U třech vzorků oxidu titaničitého vyšla logicky přibližně stejná hodnota povrchové energie.

Těmto výsledkům odpovídají také kontaktní úhly, kdy s rostoucí povrchovou energií pevných materiálů se úhel zmenšuje. Tedy nejmenší kontaktní úhel mají takřka všechny kapaliny na skle, a naopak největší na vzorku s nátěrem TC 3072.

Z použitých metod se jako nejvhodnější jeví dvoukapalinová metoda Owens-Wendt. Na rozdíl od tříkapalinové Acid-Base metody, u které vycházely hodnoty s velkou chybou, tedy v podstatě nepoužitelné, má malé odchylky. To do značné míry závisí i na zvolení vhodné kombinace kapalin. Při vyhodnocování byly použity kombinace doporučené vedoucím práce.

Zároveň díky kombinaci kapalin jsou výsledky stabilnější než u jednodokapalinových metod, kdy například u skleněného vzorku byla povrchová energie spočtená při použití vody zhruba o 40% vyšší než při použití jiných testovacích kapalin.

Hodnoty získané regresí, kdy se eliminuje chyba vzniklá špatnou kombinací kapalin, měly také velké odchylky

Pro další měření a vyhodnocování povrchové energie bych tedy doporučil dvoukapalinovou metodu jako nejpřesnější a pro ušetření času ostatní metody nepoužíval.

Porovnání výsledků normálních a ozářených vzorků ukazuje, že užití UV světla dané intenzity, viz. kap. 4.3, po dobu dvou hodin nemá na povrchovou energii vzorků žádný vliv. Hodnoty jsou buď totožné, případně vycházejí střídavě trochu nižší či vyšší.

Největší stabilní nárůst byl u vzorku s povrchovým nátěrem TC 1191, ale hodnoty jsou v rozmezí určeném odchylkami. Vliv záření je tedy neprůkazný a dané rozdíly mohou být způsobeny například i mírně odlišnou teplotou v laboratoři, či chybou měření (zejména způsobenou časovou prodlevou mezi umístěním kapky na povrch a jejím zachycením).

U vzorků oxidu titaničitého, kde podle předpokladů mělo dojít k tzv. superhydrofilnosti, viz. kap. 3.4.1, se také žádný vliv neprojevil. Je to zřejmě absencí vhodných aditiv v povrchové vrstvě, které by udržely nové vlastnosti, nebo také špatným typem UV světla.

Pro potvrzení výsledků by bylo vhodné provést ozařování po delší dobu a případně užít jiný zdroj UV světla.

Výsledky této práce poslouží zejména jako podklad pro další studium problematiky povrchové energie a zkoumání vlastností daných materiálů.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

Tištěná literatura:

- [1] V. Buršíková, P. Sťahel, Z. Navrátil, J. Buršík, J. Janča *Surface Energy Evaluation of Plasma Treated Materials by Contact Angle Measurement*. Brno: Vydavatelství MU, Kraví Hora, 2004. ISBN 80-210-3563-3
- [2] Erika Mechlová *Molekulová fyzika 1*. Ostrava: Ediční středisko CIT OU, 2004. ISBN 80-7042-989-5
- [3] Akira Fujishima, Kazuhito Hashimoto, Toshiya Watanabe *TiO₂ FOTOKATALÝZA, základy a aplikace*. Praha: T.R.S., 2002. ISBN 80-903113-3-4

Elektronické zdroje:

- [4] http://en.wikipedia.org/wiki/Surface_tension [cit. 2008-02-03]
- [5] http://en.wikipedia.org/wiki/Contact_angle [cit. 2008-02-03]
- [6] <http://members.tripod.com/canadianclub/p1.htm> [cit. 2008-02-08]
- [7] http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_es-001/hesla/mereni_povrchoveho_a_mezifazoveho_napeti.html [cit. 2008-02-08]
- [8] http://www.mpip-mainz.mpg.de/~jonas/Master_Surf_Chem/lecture_IntroSurfChem_1c.pdf [cit. 2008-02-13]
- [9] <http://www.kruss.info/> [cit. 2008-03-03]
- [10] http://cs.wikipedia.org/wiki/Ultrafialov%C3%A9_z%C3%A1l%C5%99en%C3%AD [cit. 2008-03-12]
- [11] <http://www.advex-instruments.cz/czech.php> [cit. 2008-03-14]

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Seznam zkratek:

CCD	Charge Coupled Device (zařízení s vázanými náboji)
SEE	Surface Energy Evaluation (vyhodnocení povrchové energie)
UV	Ultra Violet (ultra fialové)

Seznam symbolů a veličin:

γ	[N/m; J/m ²]	povrchové napětí; povrchová energie
γ_c	[J/m ²]	kritická povrchová energie
γ_l	[J/m ²]	povrchová energie kapaliny
γ_s	[J/m ²]	povrchová energie pevné látky
γ_v	[J/m ²]	povrchová energie plynu
γ^d	[J/m ²]	disperzní část povrchové energie
γ^p	[J/m ²]	polární část povrchové energie
γ^{AB}	[J/m ²]	acidobazická část povrchové energie
γ^{LW}	[J/m ²]	disperzní část povrchové energie
γ^+	[J/m ²]	kyselá část acidobazické povrchové energie
γ^-	[J/m ²]	zásaditá část acidobazické povrchové energie
θ	[°]	kontaktní úhel
μ	[J/mol]	chemický potenciál
A	[m ²]	plocha povrchu
F	[N]	síla
F_{surf}	[J/m ²]	Helmholtzova volná energie na jednotku plochy povrchu
F_{tot}	[J/m ²]	celková Helmholtzova volná energie
F_A	[J/m ²]	Helmholtzova volná energie na 1 atom
g	[J/m ²]	hodnota povrchové energie
Sg^+	[J/m ²]	kladná odchylka povrchové energie
Sg^-	[J/m ²]	záporná odchylka povrchové energie
l	[m]	délka úsečky
N	[-]	počet molekul
p	[Pa]	tlak
S	[J/K]	entropie
T	[K]	absolutní teplota
V	[m ³]	objem
W	[J]	práce
W_a	[J]	adhezní práce
W_c	[J]	práce vykonaná při řezání
x	[m]	posunutí