

Kvantitativní analýza složení vodního skla

Ondřej Hudík

Bakalářská práce
2014



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav inženýrství ochrany životního prostředí

akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Ondřej Hudík
Osobní číslo: T13311
Studijní program: B2808 Chemie a technologie materiálů
Studijní obor: Inženýrství ochrany životního prostředí
Forma studia: prezenční
Téma práce: Kvantitativní analýza složení vodního skla

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte literární rešerši o analytických metodách pro silikátové materiály.
2. U dodaných vzorků vodního skla proveďte kvantitativní chemickou analýzu zvolenými metodami.
3. Dosažené výsledky kriticky zhodnoťte a přehledně zpracujte v souladu s požadavky FT UTB na kvalifikační práci.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. P. Antoš a kol.: Vodní sklo výroba, struktura, vlastnosti a použití, Silchem, s.r.o, Ústí nad Labem, 2002.

2. Iler: Chemistry of Silica, John Wiley & Sons, New York, 1979.

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Vratislav Bednařík, Ph.D.

Ústav inženýrství ochrany životního prostředí


Datum zadání bakalářské práce:

10. února 2014

Termín odevzdání bakalářské práce:

23. května 2014

Ve Zlíně dne 10. února 2014


doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan




doc. Mgr. Marek Koutný, Ph.D.
ředitel ústavu

Příjmení a jméno: HODÍK ONDŘEJ

Obor: ČM11/107P

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60³⁾ odst. 2 a 3 mohu užit své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 23.5.2014



¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevdělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlédnutí veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpirá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývala kvantitativní analýzou složení vodního skla. V teoretické části se nachází popis vodního skla, jeho některých typů, vlastností a použití. Dále je v teoretické části uveden přehled metod analýzy vodního skla. Praktická část práce se zabývá kvantitativní chemickou analýzou složení vodního skla. Analyzované vzorky vodního skla byly dodány společností KOMA a.s. Vzorky vodního skla byly podrobeny kvantitativní analýze složení pro zjištění jejich procentuálního obsahu Na_2O či K_2O a SiO_2 . Zkušební vzorek byl analyzován pomocí různých titračních metod. V rámci této práce byla již využívaná metoda analýzy prováděná společností KOMA a.s. modifikována přidavkem KHCO_3 či K_2HPO_4 . Bylo zjištěno, že použití KHCO_3 není vhodné. Naopak po použití inovované metody s K_2HPO_4 bylo zjištěno, že tato metoda svými parametry odpovídá požadavkům na rychlé a dostatečně přesné stanovení bez nutnosti náročného instrumentálního vybavení.

Klíčová slova: vodní sklo sodné, vodní sklo draselné, kvantitativní analýza, titrace

ABSTRACT

This thesis deals with the quantitative analysis of the composition of the water glass solution. The theoretical part is a description of a water glass solution, his types, properties and uses. The theoretical part provides an overview of methods for analyzing water glass solution. The practical part deals with the quantitative analysis of chemical composition of water glass solution. The analyzed samples of water glass solution were supplied by the company KOMA a.s. Samples of water glass solution were subjected to quantitative analysis to determine the composition of the percentage of Na_2O or K_2O and SiO_2 . Samples were analyzed using various titration methods. As part of this work has been used analysis method as implemented by KOMA a.s. modified by the addition of KHCO_3 or K_2HPO_4 . It has been found that the use of KHCO_3 is not appropriate. In contrast, the use of innovative methods of K_2HPO_4 was found that the parameters of this method, is consistent with the rapid and sufficiently accurate determination without demanding instrumental equipment.

Keywords: sodium water glass, potassium water glass, quantitative analysis, titration

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce doc. Ing. Vratislavu Bednaříkovi Ph.D. za vedení práce, cenné rady, čas a především pak za trpělivost, kterou mi věnoval. Mé poděkování patří také paní laborantce Věře Zbrankové za ochotu a pomoc a při provádění experimentů a rámci mé bakalářské práce. V neposlední řadě také děkuji rodině a přátelům za pomoc a podporu při studiu.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně

.....

Podpis studenta

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 VODNÍ SKLO	12
1.1 VÝROBA VODNÍHO SKLA	12
1.2 SUROVINY PRO VÝROBU VODNÍHO SKLA	12
1.2.1 Alkalické soli	12
1.2.2 Sklářský písek	14
1.3 VLASTNOSTI VODNÍHO SKLA	14
1.4 ZÁKLADNÍ DRUHY VODNÍHO SKLA	15
1.4.1 Vodní sklo sodné.....	15
1.4.2 Vodní sklo draselné.....	16
1.4.3 Vodní sklo lithné	17
2 METODY ANALÝZY VODNÍHO SKLA	18
2.1 POSTUP DLE KÖNIGA	18
2.2 POSTUP VYUŽÍVANÝ SPOLEČNOSTÍ KOMA A.S.	18
2.3 METODA STANOVENÍ DLE LECHA CZARNECKIHO A KOL	18
2.4 METODA STANOVENÍ DLE VINTERA	19
3 CÍLE PRÁCE	20
II PRAKTICKÁ ČÁST	21
4 POUŽITÉ CHEMIKÁLIE A PŘÍSTROJOVÉ VYBAVENÍ	22
4.1 POUŽITÉ CHEMIKÁLIE A ROZTOKY	22
4.2 PŘÍSTROJOVÉ VYBAVENÍ	23
5 POUŽITÉ PRACOVNÍ POSTUPY	25
5.1 PRACOVNÍ POSTUP ANALÝZA DLE KÖNIGA.....	25
5.1.1 Standardizace NaOH.....	25
5.1.2 Titrace kyseliny sírové (slepý pokus)	25
5.1.3 Stanovení procentuálního zastoupení Na ₂ O či K ₂ O a SiO ₂ ve vzorcích vodního skla	26
5.2 PRACOVNÍ POSTUP ANALÝZY VYUŽÍVANÝ SPOLEČNOSTÍ KOMA A.S.	27
5.2.1 Standardizace HCl.....	27
5.2.2 Stanovení procentuálního zastoupení Na ₂ O či K ₂ O ve vzorcích vodního skla	27
5.2.3 Stanovení procentuálního zastoupení SiO ₂ ve vzorcích vodního skla	28
5.3 METODA STANOVENÍ DLE VINTERA [12]	28
5.3.1 Standardizace HCl.....	28
5.3.2 Stanovení procentuálního zastoupení Na ₂ O či K ₂ O ve vzorcích vodního skla	28
5.3.3 Stanovení procentuálního zastoupení SiO ₂ ve vzorcích vodního skla	29
5.4 PRACOVNÍ POSTUP INOVOVANÉ ANALÝZY S POUŽITÍM K ₂ HPO ₄ NEBO KHCO ₃	30
5.4.1 Stanovení procentuálního zastoupení Na ₂ O či K ₂ O a SiO ₂ ve vzorku vodního skla	30

5.5	PRACOVNÍ POSTUP STANOVENÍ SUŠINY VZORKŮ VODNÍHO SKLA.....	31
6	VÝSLEDKY A DISKUZE	32
6.1	KVANTITATIVNÍ ANALÝZA ZKUŠEBNÍHO VZORKU VODNÍHO SKLA.....	32
6.1.1	Analýza dle Königa.....	32
6.1.2	Analýza využívaná společností KOMA a.s.	33
6.1.3	Metoda stanovení dle Vintera	34
6.1.4	Inovovaná analýza s použitím KHCO_3 nebo K_2HPO_4	35
6.2	KVANTITATIVNÍ ANALÝZA SLOŽENÍ VZORKŮ VODNÍCH SKEL S POUŽITÍM INOVOVANÉ METODY S K_2HPO_4	38
6.2.1	Kvantitativní analýza složení draselných vodních skel	38
6.2.2	Kvantitativní analýza složení sodných vodních skel	40
6.3	STANOVENÍ SUŠINY VZORKŮ VODNÍHO SKLA	42
	ZÁVĚR	44
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	45
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	46
	SEZNAM OBRÁZKŮ	47
	SEZNAM TABULEK.....	48
	SEZNAM PŘÍLOH.....	CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.

ÚVOD

Velká část zemské kůry je tvořena křemičitými minerály. V současné době jsou však bohužel stále široce využívány materiály, které jsou environmentálně závadné, snahou je proto využití materiálů přírodních, nebo environmentálně nezávadných syntetických látek. Mezi tyto materiály je možno zařadit i syntetické křemičité materiály. Základní surovinou pro výrobu materiálů na bázi silikátů je křemenný písek. Právě tavením křemenného písku s alkalickými solemi je možno získat vodní sklo, které status přírodního a environmentálně nezávadného materiálu splňuje.

Vodní sklo je důležitou surovinou pro mnoho průmyslových odvětví, široké uplatnění nachází především v průmyslu stavebním, či průmyslu nátěrových hmot. Na kvalitu jeho výroby se tak kladou velké nároky, a to především pro použití v oblasti slévárenství. Vstupní suroviny musí splňovat určité parametry v závislosti na typu vyráběného vodního skla. Technologický proces výroby je taktéž sledován. Jednou z důležitých součástí výrobního procesu je také kvantitativní analýza složení vodních skel. Tato analýza lze provádět pomocí různých metod, z nichž nejčastěji průmyslově využívanými jsou metody titrační.

Cílem práce Kvantitativní analýza složení vodního skla je zpracovat literární rešerši zaměřenou na analytické metody pro silikátové materiály. Dále se práce zabývá kvantitativní chemickou analýzou různých typů vodních skel dodaných společností KOMA a.s. zvolenými metodami.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 VODNÍ SKLO

Vodní sklo je definováno jako: „koloidní roztok křemičitanu alkalického kovu, komerční roztoky mají sušinu 35 – 45 % hmotn. pro sodná skla, 30 – 40 % hmotn. pro draselná skla a 20 – 30 % hmotn. pro lithná skla.“ [1]

1.1 Výroba vodního skla

Klasické křemenné sklo bývá vyráběno z roztaveného oxidu křemičitého. Značnou nevýhodou oxidu křemičitého je jeho velmi vysoká teplota tavení, která dosahuje 1 800 °C. Pro snížení této teploty se přidávají takzvaná taviva, k jejichž roztavení dochází při teplotách výrazně nižších, než je tomu u samotného oxidu křemičitého. Takto dochází k usnadnění tavení oxidu křemičitého, který se rozpouští v roztaveném tavivu. Jako taviva bývají nejčastěji používány alkalické soli, a to hlavně uhličitan sodný a uhličitan draselný neboli potaš. Výsledkem je materiál, který je rozpustný ve vodě a má horší mechanické vlastnosti než sklo křemenné. [2] V praxi se v průmyslu výroba vodního skla provádí v rotačních či stacionárních autoklávech, a to za zvýšeného tlaku a teploty. Do autoklávu se dávkuje potřebné množství výchozích surovin, jejichž navážka odpovídá příslušnému typu vyráběného vodního skla. Dále je autokláv natlakován vodní parou přibližně na tlak 0,6 MPa a suroviny jsou po dobu několika hodin rozvařovány. Po rozvaření skla je proces ukončen a vodní sklo je zbytkovým tlakem v autoklávu přetlačeno do zásobníku. Poté je v závislosti na konečném využití vodního skla možno jej dekantovat, filtrovat či odstředovat. [3]

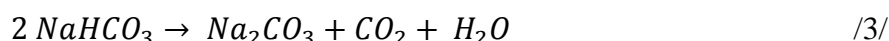
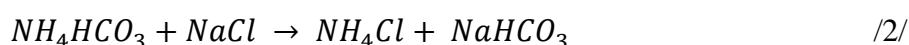
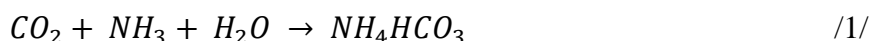
1.2 Suroviny pro výrobu vodního skla

1.2.1 Alkalické soli

Při výrobě vodního skla se z alkalických solí používají především uhličitany. Uhličitany jsou soli odvozené od kyseliny uhličitě. Vyjímaje uhličitanu sodného, draselného a amonného jsou ve vodě téměř nerozpustné. Mohou být rozkládány při zahřívání a v také v přítomnosti kyselin silnějších než je kyselina uhličitá. [4]

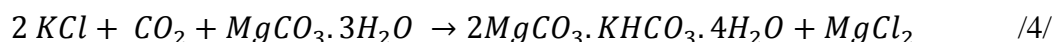
Uhličitan sodný

Kalcinovaná soda je triviální název pro uhličitan sodný Na_2CO_3 . Je to bílá krystalická látka, která při smíchání s vodou vykazuje zásaditou reakci. Je vyráběna tzv. Solvayovým postupem. Do chlazeného roztoku amoniaku s chloridem sodným je přidáván oxid uhličitý, vzniká hydrogenuhličitan sodný, ten se poté oddělí krystalizací a následným zahřátím na teplotu 200°C se převede na kalcinovanou sodu. [5] Tyto chemické reakce popsané v textu jsou znázorněny v rovnicích /1/, /2/ a /3/ [6].

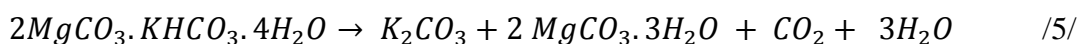


Uhličitan draselný

Uhličitan draselný bývá často označován také názvem potaš. Solvayův postup uvedený u výroby uhličitanu sodného bohužel není vhodný k výrobě uhličitanu draselného. Užívá se proto postupu elektrolytického, kde dochází k elektrolýze chloridu draselného, čímž je připraven roztok hydroxidu draselného. Ten se dále neutralizuje zavedením oxidu uhličitého za vzniku hydrogenuhličitanu draselného a následně uhličitanu draselného. Druhou možností získání uhličitanu draselného je postup zvaný Engelův, kde se do vodného roztoku chloridu draselného, v němž je suspendován trihydrát uhličitanu hořečnatého, zavádí opět oxid uhličitý. Probíhající reakce jsou znázorněny v následujících rovnicích: [6]



Zde konverzí sraženiny $\text{MgCO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ dochází ke vzniku velmi málo rozpustné soli $\text{MgCO}_3 \cdot \text{KHCO}_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$. Při zahřívání vodné suspenze dále proběhne reakce: [6]



Sraženina $\text{MgCO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ je poté vracena na začátek výroby a roztok s obsahem K_2CO_3 je zahuštěn a podroben krystalizaci v odparkách.

V současnosti však největší podíl na tvorbě uhličitanu draselného tvoří takzvaný „mravenčanový“ způsob, kdy se do roztoku síranu draselného a hydroxidu vápenatého ve vodě zavádí oxid uhelnatý. Dochází ke vzniku mravenčanu draselného, který zahříváním přechází na uhličitan draselný. [6]

Uhličitan lithný

Uhličitan lithný má velmi malou tepelnou stálost a snadno se rozkládá na oxid uhličitý a oxid lithný. Taktéž je tento uhličitan velmi málo rozpustný ve vodě. [6] Ke vzniku uhličitanu lithného dochází vysrážením roztoku lithné soli roztokem uhličitanu. V jeho vzniku dochází také reakcí hydroxidu lithného s oxidem uhličitým. [5]

1.2.2 Sklářský písek

Sklářské písky bývají nejčastěji světle zbarvené či bílé horniny (křemenné písky či pískovce). Používají se jako surovina při výrobě skla a požadavky na jejich kvalitu se mohou měnit podle druhu skla, který je třeba vyrobit. V požadované kvalitě se však většinou v přírodě nevyskytují a je nutno upravovat drcením, praním či tříděním. [7] Chemické složení sklářského písku je uvedeno v *Tab. I*.

Tab. I Chemické složení sklářského písku [1]

Složka	Obsah (hmotn. %)
Oxid křemičitý	min. 98,5
Oxid hlinitý	max. 0,4
Oxid titaničitý	max. 0,15
Oxid železitý	max. 0,040

1.3 Vlastnosti vodního skla

Složení vodního skla se nejčastěji charakterizuje pomocí křemičitého modulu, který se značí M . Jedná se o molární poměr $\text{Si}_2\text{O}/\text{Me}_2\text{O}$. Hodnota toho modulu se u běžně vyráběných druhů vodních skel pohybuje v rozmezí cca 2,0 – 3,7. K charakterizaci vodního skla se dále kromě křemičitého modulu používá často jeho hustota, která hovoří o koncentraci roztoku a složení výchozího skla. Mimo jiné se k charakterizaci vodního skla používá také jeho viskozita a hodnota pH. [8]

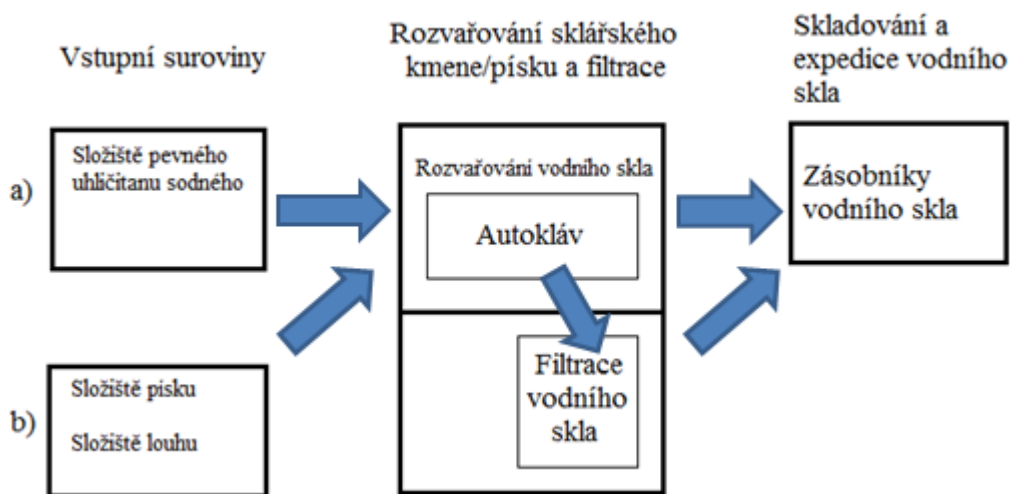
1.4 Základní druhy vodního skla

Vodní sklo je vyráběno nejčastěji ve třech obdobích, vodní sklo sodné, draselné a vodní sklo lithné. Liší se jak ve fyzikálních a chemických vlastnostech, použitím, ale i drobnými odchylkami v postupech při výrobě.

1.4.1 Vodní sklo sodné

Vodní sklo sodné se vyrábí tavením sklářského písku s uhličitanem sodným neboli sodou. Získaná tavenina se po ochlazení stává sklovitou hmotou zvanou sodno – křemičitá fritra. Jedná se tedy o základní metodu výroby vodního skla popsanou v kapitole 1.1. Fritra je zpracovávána v autoklávech při tlaku 0,6 MPa.

Alternativní metodou výroby sodného vodního skla je metoda hydrotermální, kde dochází k reakci křemičitého písku s roztokem hydroxidu sodného, která však dosud není tolik rozšířená. [1]



Obr. 1 Blokové schéma výroby vodního skla [9]

Vlastnosti sodného vodního skla

Vodní sklo sodné je buď čirá nebo slabě zakalená viskózní kapalina neomezeně mísitelná s vodou mající našedlou či narůžovělou barvu. Hodnota pH sodného vodního skla bývá v rozmezí od 11,0 do 12,0. Bod varu je 101 – 102 °C, bod tání -3 °C a jeho hustota při 20 °C je přibližně 1 328 – 1.610 kg. m⁻³. [9]

Použití sodného vodního skla

Vodní sklo sodné nachází své uplatnění v mnoha průmyslových odvětvích. Lze použít při výrobě alkalických křemičitanů, které jsou využívány v odmašťovacích, čistících či desinfekčních prostředcích. Tento typ vodního skla může být využit také jako slévárenská surovina pro výrobu forem. Své uplatnění nachází i v průmyslu nátěrových hmot, kde se používá jako složka protipožárních nátěrů. Dále je vodní sklo sodné součástí lepidel a tmelů, kde plní funkci pojiva. Ve stavebnictví lze použít jako urychlovač tuhnutí betonu. Mimo jiná zde zmíněná použití, jej lze využít pro povrchovou úpravu papíru, dřeva či textilu a při úpravě vod. [9]

1.4.2 Vodní sklo draselné

Draselné vodní sklo je vyráběno téměř totožným technologickým postupem jako vodné sklo sodné. Sklářský písek je taven spolu s uhličitanem draselným (potaší). Dochází ke vzniku draselné – křemičité frity. Její zpracování se provádí taktéž v autoklávech avšak při nižším tlaku, a to do 0,4 MPa. Lze také využít beztlakové vertikální autoklávy.

Opět podobně jako u sodného vodního skla existují i jiné technologické postupy výroby. Draselné vodní sklo lze získat přímou syntézou z křemičité suroviny a hydroxidu draselného. [1]

Vlastnosti draselného vodního skla

Vodní sklo draselné je podobně jako vodní sklo sodné buď čirá či slabě zakalená viskózní kapalina neomezeně mísitelná s vodou mající našedlou či narůžovělou barvu. Hodnota pH draselného vodního skla je v rozmezí od 11,0 do 12,0. Bod varu je lehce nad 100 °C, bod tání -3 °C a jeho hustota při 20 °C je přibližně 1 180 – 1 610 kg. m⁻³. [10]

Použití draselného vodního skla

Draselné vodní sklo taktéž nachází široké uplatnění v různých průmyslových odvětvích. Lze využívat k výrobě desinfekčních a odmašťovacích prostředků. Používá se jako náplň do alkalických akumulátorů. Ve stavebním průmyslu bývá součástí pojiv do speciálních

žáruvzdorných vyzdívek či součástí fasádních nátěrových hmot na silikátové bázi. Své uplatnění také mimo jiné nachází při výrobě svařovacích elektrod. [10]

1.4.3 Vodní sklo lithné

Na rozdíl od vodních skel sodných a draselných u vodního skla lithného neexistuje technologický postup výroby vodního skla přes taveninu. K výrobě křemičitanů lithných dochází reakcí amorfního oxidu křemičitého s hydroxidem lithným. Základní suroviny pro výrobu lithného vodního skla je sodné vodní sklo. Sodné vodní sklo je naředěno destilovanou vodou na koncentraci 2,0 – 6,0 hmotn. % oxidu křemičitého a je dealkalizováno pomocí iontoměniče. Takto je připraven kyselý sol oxidu křemičitého o pH v rozmezí 2 – 5, k němuž je dále přidávána stabilizační přísada ve formě sodného vodního skla tak, aby došlo k úpravě pH až na hodnoty 9 – 12. Následně dochází k zahušťování roztoku, který se po zahuštění nechá reagovat s roztokem hydroxidu lithného. Tato reakce probíhá za zvýšené teploty, která však nesmí překročit teplotu 60 °C (nad tyto teploty dochází ke vzniku gelu). [1]

Vlastnosti lithného vodného skla

Vodní skla lithná jsou čiré nebo slabě zakalené nízko – viskózní kapaliny neomezeně mísitelné s vodou. Hodnota pH těchto vodních skel se pohybuje v rozmezí od 10 do 11 a jejich hustota je přibližně 1 150 – 1 200 kg.m⁻³. [11]

Použití lithného vodního skla

Lithná vodní skla jsou využívána jako pojiva při výrobě speciálních nátěrových hmot sloužících k ochraně dřeva před hnilobou, ohněm, vodou či dřevokazným hmyzem. Tyto nátěrové hmoty mohou sloužit taktéž k impregnaci přírodních či syntetických materiálů.

Lithná vodní skla samotná či ve spojení s dalšími přísadami slouží jako tmelící činidlo pro voděodolné spojení různých materiálů jako je dřevo, papír, lepenka, tkaniny, plastické hmoty, kovy či betony.

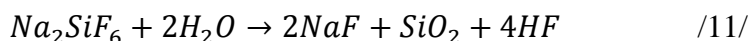
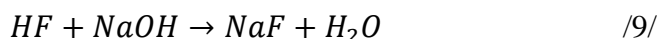
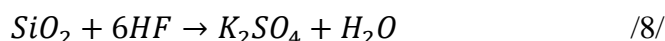
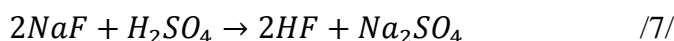
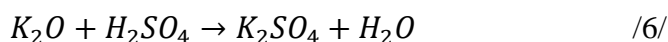
Dále je možno lithná vodní skla podobně jako draselná vodní skla využít k výrobě svařovacích elektrod. [11]

2 METODY ANALÝZY VODNÍHO SKLA

Z široké škály metod stanovení byly vybrány ty nejjednodušší, aby mohly být případně využity v praxi.

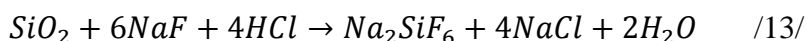
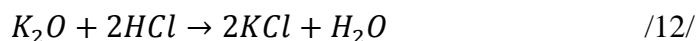
2.1 Postup dle Königa

Tato metoda je založena na přidání známého množství kyseliny sírové a fluoridu sodného /6/, /7/, /8/ ke vzorku a následné titraci odměrným roztokem hydroxidu sodného /9/, /10/. Poté se roztok zahřeje a znovu se titruje vzniklá HF /11/ odměrným roztokem NaOH. Indikátorem je u obou titrací směs bromthymolové modři a fenolftaleinu v poměru 2:1.



2.2 Postup využívaný společností KOMA a.s.

Metoda založená na titraci vzorku vodního skla kyselinou chlorovodíkovou na indikátor methylčerveň /12/. Tímto postupem se stanoví obsah K_2O či Na_2O . Tato část stanovení dává dobré výsledky, ovšem pro zjištění obsahu SiO_2 je třeba přídavek roztoku NaF a opětovná titrace HCl /13/. Druhá část stanovení není příliš přesná, protože reakce probíhá pozvolna a barevná změna v bodu ekvivalence je slabě viditelné.



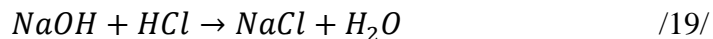
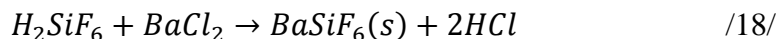
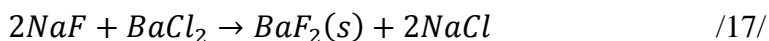
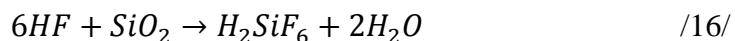
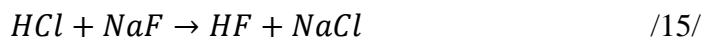
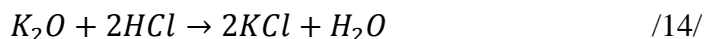
2.3 Metoda stanovení dle Lecha Czarneckiho a kol

Tato metoda je založena na přímé titraci roztoku vodního skla odměrným roztokem kyseliny chlorovodíkové /12/ s použitím indikátoru kresolová červeň. Získá se obsah oxidu

draselného nebo oxidu sodného. Obsah oxidu křemičitého se získá odečtením obsahu Na_2O nebo K_2O od procentuálního obsahu sušiny ve vzorku.

2.4 Metoda stanovení dle Vintera

Stanovení je rozděleno na dvě části. První krok je shodný jako stanovení, které využívá společnost KOMA./14/ Ve druhém kroku se přidá známé množství HCl a fluorid v nadbytku/15/, /16/, poté se vzniklá kyselina fluorokřemičitá a nadbytek fluoridu vysráží chloridem barnatým /17/, /18/, sraženina se odfiltruje a dál se buďto přidá nadbytek hydroxidu a titruje se kyselinou chlorovodíkovou nebo se titruje rovnou odměrným roztokem hydroxidu draselného /19/. Indikátorem je bromthymolovou modř.



3 CÍLE PRÁCE

Cílem této bakalářské práce bylo provedení kvantitativní chemické analýzy vzorků vodních skel. Vzorky vodních skel byly dodány společností KOMA a.s. Téma této bakalářské práce bylo zpracováváno právě na popud této společnosti. Původní postup kvantitativní analýzy vodního skla, používaný společností KOMA a.s., byl samotnou společností považován za nevhodný z důvodu špatně identifikovatelného bodu ekvivalence (špatně zřetelná barevná změna). Cílem této bakalářské práce bylo tedy postup buďto inovovat či změnit tak, aby mohl být bez problémů použit v praxi.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 POUŽITÉ CHEMIKÁLIE A PŘÍSTROJOVÉ VYBAVENÍ

V následujících dvou podkapitolách jsou popsány chemikálie a roztoky, které byly v rámci práce používány, a také je zde popsáno použité přístrojové vybavení.

4.1 Použité chemikálie a roztoky

Kyselina chlorovodíková HCl (1M)

Bylo odměřeno 88 ml 35% kyseliny chlorovodíkové. Do 1000 ml odměrné baňky bylo nalito cca 900 ml destilované vody, byla přidána HCl a následně byl obsah baňky doplněn destilovanou vodou po rysku.

Hydrogenuhlíčan draselný KHCO₃ (2M)

Hydrogenuhlíčan draselný byl používán buďto ve formě roztoku nebo jako pevná látka. V případě použití KHCO₃ jako roztoku bylo naváženo 100 g KHCO₃ a rozpuštěno v 500 ml destilované vody.

Hydrogenfosforečnan didraselný K₂HPO₄ (2M)

Bylo naváženo 174,2 g K₂HPO₄ a rozpuštěno v 500 ml destilované vody.

Fluorid sodný NaF

Fluorid sodný byl používán buďto ve formě roztoku nebo jako pevná látka. V případě použití NaF jako 5% roztoku bylo naváženo 75 g NaF a rozpuštěno ve 1425 ml destilované vody.

Hydroxid sodný NaOH (3M)

Byl použit nasycený roztok NaOH, který byl pro dosažení koncentrace cca 3 mol.l⁻¹ NaOH ředěn destilovanou vodou v poměru 1 : 2.

Chlorid barnatý $BaCl_2$

Bylo naváženo 8 g $BaCl_2 \cdot 2H_2O$ a rozpuštěno v 50 ml destilované vody.

Kyselina sírová H_2SO_4 (1M)

Bylo odměřeno 14 ml 96% H_2SO_4 . Do 250 ml odměrné baňky bylo odměřeno přibližně 230 ml destilované vody, byla přidána H_2SO_4 a následně byl obsah baňky doplněn destilovanou vodou po rysku.

Hydrogenftalan draselný $C_8H_5KO_4$ ***Methylčerveně***

0,1% roztok v ethanolu

Bromkresolová zeleň

0,1% roztok v 20% ethanolu

Brothymolová modř

0,1% roztok v 20% ethanolu

Fenolftalein

0,1% roztok v ethanolu

4.2 Přístrojové vybavení

Titrač (TITRONIC UNIVERSAL – SCHOTT)

Muflová pec (Kladno 2005)

Elektromagnetické míchadlo (IKA Color Squid)

Vařič (ETA)

pH metr (CPH 52)

Analytické váhy (Scaltec)

Technické váhy (KERN)

Dále byly v rámci experimentálních prací používány kromě přístrojového vybavení běžné laboratorní pomůcky, jako jsou pipety, lžička, navažovací lodičky, exsikátor a další běžné laboratorní sklo.

5 POUŽITÉ PRACOVNÍ POSTUPY

5.1 Pracovní postup analýza dle Königa

5.1.1 Standardizace NaOH

Bylo naváženo cca 3g hydrogenftalanu draselného a přesná navážka byla zapsána. Hydrogenftalan draselný byl dále rozpuštěn v 50 ml destilované vody a byly přidány tři kapky indikátoru fenolftalein. Připravený roztok byl dále titrován odměrným roztokem NaOH do bodu ekvivalence indikovaného trvalým slabě růžovým zabarvením. Celý postup byl opakován 3x. Hodnoty spotřeby odměrného roztoku byly zaznamenány a byla spočítána koncentrace NaOH dle vzorce (1):

$$c_{NaOH} = \frac{m}{V_1 \cdot M_{hydrogenftalan\ draselný}} \quad (1)$$

Kde: c_{NaOH} – koncentrace odměrného roztoku NaOH [mol.l^{-1}], m – navážka hydrogenftalanu draselného [g], V_1 – objem spotřebovaného odměrného roztoku NaOH [ml], $M_{hydrogenftalan\ draselný}$ – molární hmotnost hydrogenftalanu draselného [g.mol^{-1}]

5.1.2 Titrace kyseliny sírové (slepý pokus)

Bylo odpipetováno přesně 20 ml roztoku H_2SO_4 , do kterého byly přidány 3 kapky indikátoru fenolftalein. H_2SO_4 byla titrována odměrným roztokem NaOH do bodu ekvivalence indikovaného trvalým slabě růžovým zabarvením. Celý postup byl opakován 3x. Hodnoty spotřeby odměrného roztoku NaOH byly zaznamenány a byla spočítána koncentrace H_2SO_4 dle vzorce (2):

$$\frac{c_{NaOH} \cdot V_{NaOH}}{2} = c_{H_2SO_4} \cdot V_{H_2SO_4} \quad (2)$$

Kde: c_{NaOH} – koncentrace odměrného roztoku NaOH [mol.l^{-1}], V_{NaOH} – spotřebovaný objem odměrného roztoku NaOH [ml], $c_{H_2SO_4}$ – koncentrace H_2SO_4 [mol.l^{-1}], $V_{H_2SO_4}$ – pipetovaný objem H_2SO_4 [ml]

5.1.3 Stanovení procentuálního zastoupení Na₂O či K₂O a SiO₂ ve vzorcích vodního skla

Do plastové kádinky bylo naváženo cca 1g vzorku vodního skla a přesná navážka byla zapsána. Dále bylo přidáno 5 g NaF a 20 ml 1M roztoku H₂SO₄. Roztok byl ponechán po dobu 5 minut na míchadle a následně byl přidán 1 ml směsného indikátoru (bromthymolová modř a fenolftalein v poměru 2 : 1). Roztok byl titrován odměrným roztokem NaOH do bodu ekvivalence, tj. trvalé změny barvy ze žluté do zelenomodré. Spotřeba odměrného roztoku NaOH byla zaznamenána a byreta byla doplněna na nulu. Do ztitrovaného roztoku bylo dále přidáno 200 ml vroucí převařené destilované vody a roztok byl dále titrován odměrným roztokem NaOH do bodu ekvivalence, zde do trvalé sytě modré barvy. Spotřeba odměrného roztoku NaOH byla zaznamenána a celý postup byl opakován 3x. Z hodnot spotřeby odměrného roztoku bylo spočítáno procentuální zastoupení SiO₂ dle vzorce (3) a procentuální zastoupení Na₂O či K₂O dle vzorce (4).

$$w_{SiO_2} = \frac{c_{NaOH} \cdot V_2 \cdot M_{SiO_2}}{40 \cdot m_{vz}} \quad (3)$$

Kde: w_{SiO_2} – procentuální zastoupení SiO₂ ve vzorku vodního skla [hm. %], c_{NaOH} – koncentrace odměrného roztoku NaOH [mol.l⁻¹], V_2 – spotřebovaný objem odměrného roztoku NaOH po druhé titraci [ml], M_{SiO_2} – molární hmotnost SiO₂ [g.mol⁻¹], m_{vz} – hmotnost vzorku vodního skla [g]

$$w_{K_2O(Na_2O)} = \frac{2 c_{H_2SO_4} \cdot V_{H_2SO_4} - c_{NaOH} \cdot (V_1 + V_2)}{20 \cdot m_{vz}} \cdot M_{K_2O(Na_2O)} \quad (4)$$

Kde: $w_{K_2O(Na_2O)}$ – procentuální zastoupení K₂O (Na₂O) ve vzorku vodního skla [hm. %], $c_{H_2SO_4}$ - koncentrace H₂SO₄ [mol.l⁻¹], $V_{H_2SO_4}$ – pipetovaný objem H₂SO₄ [ml], c_{NaOH} – koncentrace odměrného roztoku NaOH [mol.l⁻¹], V_1 – spotřebovaný objem odměrného roztoku NaOH po první titraci [ml], V_2 – spotřebovaný objem odměrného roztoku NaOH po druhé titraci [ml], $M_{K_2O(Na_2O)}$ – molární hmotnost K₂O (Na₂O) [g.mol⁻¹], m_{vz} – hmotnost vzorku vodního skla [g]

5.2 Pracovní postup analýzy využívaný společností KOMA a.s.

5.2.1 Standardizace HCl

Bylo naváženo cca 1 g KHCO_3 a rozpuštěno v 50 ml destilované vody. Dále byly přidány 4 kapky indikátoru methylčerveň. Vzniklý roztok byl žlutého zabarvení a byl titrován roztokem HCl do bodu ekvivalence indikované vznikem červenofialové barvy. Poté byl roztok zahříván na vařiči, aby došlo k vypuzení CO_2 . Po tom co zahřívání roztok dosáhl varu, jeho barva se vrátila zpět k barvě základní, což byla žlutá. Dále byl roztok opět přenesen na míchadlo, kde došlo k jeho dotitrování opět do bodu ekvivalence tj. do červenofialové barvy. Celý postup byl opakován 3x. Hodnoty spotřeby odměrného roztoku byly zaznamenány a byla spočítána koncentrace HCl dle vzorce (5):

$$c_{\text{HCl}} = \frac{m}{V \cdot M_{\text{KHCO}_3}} \quad (5)$$

Kde: c_{HCl} – koncentrace odměrného roztoku HCl [mol.l^{-1}], m – navážka KHCO_3 [g], V – objem spotřebovaného odměrného roztoku HCl [ml], M_{KHCO_3} – molární hmotnost hydrogenuhličitanu draselného [g.mol^{-1}]

5.2.2 Stanovení procentuálního zastoupení Na_2O či K_2O ve vzorcích vodního skla

Do 400 ml skleněné kádinky bylo naváženo cca 2 g vzorku vodního skla, dále bylo přidáno 50 ml převařené destilované vody a 4 kapky indikátoru methylčerveň. Vzniklý roztok byl titrován odměrným roztokem HCl do bodu ekvivalence, tj. do červenofialového zbarvení. Celý postup byl opakován 3x. Z hodnot spotřeby odměrného roztoku bylo spočítáno procentuální zastoupení Na_2O či K_2O dle vzorce (6).

$$w_{\text{K}_2\text{O}(\text{Na}_2\text{O})} = \frac{M_{\text{K}_2\text{O}(\text{Na}_2\text{O})} \cdot c_{\text{HCl}} \cdot V_1}{20 \cdot m_{\text{vz}}} \quad (6)$$

Kde: $w_{\text{K}_2\text{O}(\text{Na}_2\text{O})}$ – procentuální zastoupení K_2O (Na_2O) ve vzorku vodního skla [hm. %], c_{HCl} – koncentrace HCl [mol.l^{-1}], V_1 – pipetovaný objem HCl [ml], $M_{\text{K}_2\text{O}(\text{Na}_2\text{O})}$ – molární hmotnost K_2O (Na_2O) [g.mol^{-1}], m_{vz} – hmotnost vzorku vodního skla [g]

5.2.3 Stanovení procentuálního zastoupení SiO₂ ve vzorcích vodního skla

Do roztoku použitého pro stanovení Na₂O případně K₂O bylo dále přidáno 100 ml 5% roztoku NaF a roztok byl titrován odměrným roztokem HCl do bodu ekvivalence indikovaného růžovým zbarvením. Celý postup byl opakován 3x. Z hodnot spotřeby odměrného roztoku bylo spočítáno procentuální zastoupení SiO₂ dle vzorce (7).

Slepé stanovení bylo provedeno stejně jako popsany pokus avšak bez použití vzorku vodního skla. Byla zaznamenána spotřeba HCl (V_0).

$$w_{SiO_2} = \frac{c_{HCl} \cdot (V_2 - V_0) \cdot M_{SiO_2}}{40 \cdot m_{vz}} \quad (7)$$

Kde: w_{SiO_2} – procentuální zastoupení SiO₂ ve vzorku vodního skla [hm. %], c_{HCl} – koncentrace odměrného roztoku HCl [mol.l⁻¹], V_2 – spotřebovaný objem odměrného roztoku HCl [ml], V_0 – spotřebovaný objem odměrného roztoku HCl při slepém pokusu [ml], M_{SiO_2} – molární hmotnost SiO₂ [g.mol⁻¹], m_{vz} – hmotnost vzorku vodního skla [g]

5.3 Metoda stanovení dle Vintera [12]

5.3.1 Standardizace HCl

Postup standardizace HCl je totožný s postupem uvedeným v kapitole 5.2.1.

5.3.2 Stanovení procentuálního zastoupení Na₂O či K₂O ve vzorcích vodního skla

Do 400 ml polyethylenové kádinky bylo odváženo cca 1 g vzorku vodního skla, dále bylo přidáno 50 ml převařené destilované vody a 4 kapky indikátoru methylčerveně. Vzniklý roztok byl titrován odměrným roztokem HCl do bodu ekvivalence, tj. do červenofialového zbarvení. Byla zaznamenána spotřeba HCl (V_1). Celý postup byl opakován 2x. Z hodnot spotřeby odměrného roztoku bylo spočítáno procentuální zastoupení Na₂O či K₂O dle vzorce (6).

5.3.3 Stanovení procentuálního zastoupení SiO₂ ve vzorcích vodního skla

Po stanovení Na₂O či K₂O bylo ke ztitrovanému roztoku přidáno 50 ml roztoku HCl a cca 2,5 g NaF. Roztok byl důkladně promíchán a po rozpuštění NaF byl ještě 5 minut ponechán na míchadle. Poté byl k roztoku přidán roztok BaCl₂·2H₂O, který byl připraven rozpuštěním 8 g BaCl₂·2H₂O v 50 ml převařené destilované vody. Po smíchání obou roztoků byl roztok ještě 5 minut ponechán na míchadle. Došlo ke vzniku bílé sraženiny, která byla následně vakuově odfiltrována a důkladně na filtru promyta převařenou destilovanou vodou. K filtrátu bylo přidáno 15 ml bezuhlíčitanového NaOH, vše bylo promícháno a opět ponecháno 5 minut na míchadle, tímto došlo k vytvoření se další bílé sraženiny. Následně bylo přidáno 12 kapek indikátoru bromthymolové modři a roztok byl titrován odměrným roztokem HCl do bodu ekvivalence indikované barevnou změnou z modré do žluté. Byla zaznamenána spotřeba HCl (V₂). Tento postup byl inovován, bylo vynecháno NaF a rovnou do roztoku po prvním stanovení bylo přidáváno NaOH a BaCl₂, a vzniklá sraženina byla v jednom případě v roztoku ponechána, ve druhém odfiltrována. Takto získané výsledky však byly nepřesné, proto tato metoda nebyla dále zkoumána. Slepé stanovení bylo prováděno tak, že 15 ml roztoku bezuhlíčitanového NaOH bylo ztitrováno odměrným roztokem HCl na indikátor bromthymolová modř. Byla zaznamenána spotřeba HCl (V₀). Celý postup byl opakován 2x. Z hodnot spotřeby odměrného roztoku bylo spočítáno procentuální zastoupení SiO₂ dle vzorce (8).

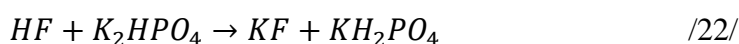
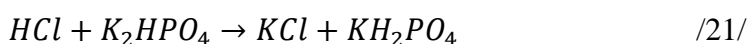
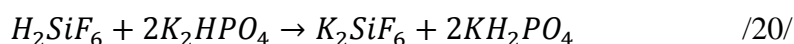
$$w_{SiO_2} = \frac{c_{HCl} \cdot (50 + V_2 - V_0) \cdot M_{SiO_2}}{40 \cdot m_{vz}} \quad (8)$$

Kde: w_{SiO_2} – procentuální zastoupení SiO₂ ve vzorku vodního skla [hm. %], c_{HCl} – koncentrace odměrného roztoku HCl [mol.l⁻¹], V_2 – spotřebovaný objem odměrného roztoku HCl po druhé titraci [ml], V_0 – spotřebovaný objem odměrného roztoku HCl při slepém pokusu [ml], M_{SiO_2} – molární hmotnost SiO₂ [g.mol⁻¹], m_{vz} – hmotnost vzorku vodního skla [g]

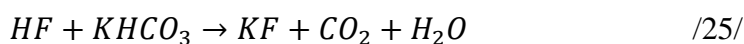
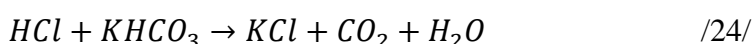
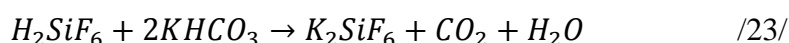
5.4 Pracovní postup inovované analýzy s použitím K_2HPO_4 nebo $KHCO_3$

5.4.1 Stanovení procentuálního zastoupení Na_2O či K_2O a SiO_2 ve vzorku vodního skla

Do plastové kádinky bylo naváženo cca 1g vzorku vodního skla a rozpuštěno v 50 ml destilované vody. Poté byly přidány 4 kapky indikátoru methylčerveň a vzniklý roztok byl titrován odměrným roztokem HCl do bodu ekvivalence indikovaného červeným zbarvením. K takto ztitrovanému roztoku bylo přidáno 30 ml odměrného roztoku HCl, a cca 2 g NaF. Nechá se chvíli reagovat a přidá se 20 ml 2M roztoku K_2HPO_4 /20/, /21/, /22/. Dále bylo přidáno 12 kapek bromkresolové zeleně. Vzniklý roztok byl dále titrován odměrným roztokem HCl do bodu ekvivalence indikovaným barevnou změnou ze zelené barvy do růžové.



Alternativně byl používán stejný postup, kde však byl místo roztoku K_2HPO_4 přidáván roztok $KHCO_3$ /23/, /24/, /25/.



Celý postup byl opakován 2x. Byl proveden také slepý pokus, a to stejným postupem jako pokus avšak bez přidání vzorku vodního skla. Z hodnot spotřeby odměrného roztoku bylo spočítáno procentuální zastoupení SiO_2 dle vzorce (7) a procentuální zastoupení Na_2O či K_2O dle vzorce (6).

5.5 Pracovní postup stanovení sušiny vzorků vodního skla

Do vyžíhaného prázdného porcelánového kelímku bylo naváženo cca 0,5 g vzorku vodního skla, hmotnost kelímku se vzorkem vodního byl zapsán a poté byl vložen do žíhací pece, kde byl žíhán po dobu Na 1000°C Po zkončení žíhání byly kelímky opět zvážen a hmotnosti zaznamenány.

Program pece: max. teplota 1050 °C

80 °C/60 min,

90 °C/60 min,

90 °C/300 min,

100 °C/300 min,

105 °C/300 min,

150 °C/300 min,

150 °C/300 min,

200 °C/300 min,

200 °C/360 min,

300 °C/360 min,

500 °C/360 min,

900 °C/300 min,

1000 °C/300 min,

1000 °C/360 min,

konec

6 VÝSLEDKY A DISKUZE

6.1 Kvantitativní analýza zkušební vzorku vodního skla

Společností KOMA a.s. byl nejprve dodán zkušební vzorek vodního skla, na kterém byly vyzkoušeny různé metody kvantitativní analýzy vodního skla, pro určení, které z metod je nejvhodnější pro použití v praxi. Hodnoty procentuálního složení daného vodního skla dodané společností KOMA a.s. jsou 14,7 % K_2O a 27,1 % SiO_2 .

6.1.1 Analýza dle Königa

Analýzou dle Königa byly analyzovány tři zkušební vzorky draselného vodního skla paralelně vedle sebe. Výsledky procentuálního zastoupení K_2O a SiO_2 jsou uvedeny v *Tab. II*.

Tab. II Výsledky aplikace metody dle Königa na zkušební vzorek

Vzorek vodního skla	zkušební vzorek			
c (H_2SO_4) [$mol.l^{-1}$]	0,8845			
c (NaOH) [$mol.l^{-1}$]	3,3379			
č. vzorku	1	2	3	Průměr
navážka [g]	1,0307	0,9833	1,0473	
V_1 [ml]	4,30	4,40	4,30	
V_2 [ml]	5,30	5,30	5,10	
w (K_2O) [%]	15,24	14,38	18,00	15,8±1,6
w (SiO_2) [%]	25,78	27,02	24,41	25,7±1,1

Dle hodnot procentuálního složení vodního skla dodaných společností KOMA a.s. lze posoudit, že hodnoty procentuálního složení daného zkušební vzorku vodního skla při použití metody dle Königa jsou špatně reprodukovatelné. Problémem je pravděpodobně rozklad fluorokřemičitanu sodného v silně zásaditém prostředí, který pak způsobuje nestálost barevné změny indikátoru a tím snadné přetitrování vzorku.

Po provedení testů touto metodou, lze konstatovat, že metoda dle Königa má jak své výhody, tak nevýhody. Mezi výhody této metody patří usnadnění pracovního postupu vynecháním filtrace, která je například u metody stanovení dle Vintera nutná. Nevýhodou této metody je špatně viditelný barevný přechod v bodu ekvivalence při titraci roztoků.

Z tohoto důvodu není možno získané výsledky považovat za reprezentativní. Ačkoliv je tato metoda relativně časově nenáročná, její využití v praxi je problematické.

6.1.2 Analýza využívaná společností KOMA a.s.

Analýzou využívanou společností KOMA a.s. byly analyzovány tři zkušební vzorky draselného vodního skla paralelně vedle sebe. Výsledky procentuálního zastoupení K_2O a SiO_2 jsou uvedeny v *Tab. III*.

Tab. III Výsledky aplikace metody využívané společností KOMA a.s. na zkušební vzorek

Vzorek vodního skla	zkušební vzorek			
c (HCl) [mol.l ⁻¹]	1,2738			
č. vzorku	1	2	3	Průměr
navážka [g]	2,0777	2,0695	1,9962	
V ₁ [ml]	5,24	5,06	4,91	
V ₂ [ml]	29,01	29,14	28,32	
V ₀ [ml]	0,86	0,86	0,86	
w (K ₂ O) [%]	15,13	14,66	14,75	14,8±0,2
w (SiO ₂) [%]	25,92	26,14	26,32	26,1±0,16

Dle hodnot procentuálního složení vodního skla dodaných společností KOMA a.s. lze posoudit, že hodnoty procentuálního složení daného zkušební vzorku vodního skla při použití metody využívané samotnou společností KOMA a.s. jsou, jak už bylo v úvodu uvedeno, náročné na zkušenost pracovníka co se týče sledování barevné změny indikátoru při titraci SiO_2 a správné ukončení této titrace. Tento barevný přechod je velmi pozvolný a neostrý, což je způsobeno pravděpodobně malou reakční rychlostí vzniku hexafluorokřemičitanu ve slabě kyselém prostředí. Při titraci do vždy stejného odstínu zbarvení indikátoru tato metoda dává poměrně dobře se reprodukcující výsledky, ovšem nezkušenému pracovníkovi nemusí být jasné, který barevný odstín odpovídá co nejlépe skutečnému bodu ekvivalence.

Metoda využívaná společností KOMA a.s. se již léta používá v praxi, její velkou nevýhodou je však podobně jako u metody dle Königa hůře zřetelný barevný přechod

indikující bod ekvivalence při titraci. Právě proto je snahou této společnosti zajistit vývoj metody nové, která by byla jednodušší a přesnější.

6.1.3 Metoda stanovení dle Vintera

Analýzou Metoda stanovení dle Vintera byly analyzovány dva zkušební vzorky draselného vodního skla paralelně vedle sebe. Výsledky procentuálního zastoupení K_2O a SiO_2 jsou uvedeny v *Tab. IV*.

Tab. IV Výsledky aplikace metody stanovení dle Vintera na zkušební vzorek

Vzorek vodního skla	zkušební vzorek		
c (HCl) [mol.l ⁻¹]	1,2738		
č. vzorku	1	2	Průměr
navážka [g]	1,0613	1,0044	
V ₁ [ml]	2,62	2,50	
V ₂ [ml]	12,11	11,74	
V ₀ [ml]	47,98	47,98	
w (K ₂ O) [%]	14,81	14,93	
w (SiO ₂) [%]	25,47	26,21	25,8±0,4

Dle hodnot procentuálního složení vodního skla dodaných společností KOMA a.s. lze posoudit, že hodnoty procentuálního složení daného zkušebního vzorku vodního skla při použití metody stanovení SiO_2 a K_2O či Na_2O ve vodním skle (postup dle Vintera) jsou z hlediska zřetelnosti barevné změny indikátoru sice lepší a oproti Königově metodě zde nedochází při přetitrování k rozkladu fluorokřemičitanu, protože ten je z větší části vysrážen a odfiltrován, ale metoda je z hlediska pracovního postupu náročná a časově velmi zdoluhavá, tudíž se nehodí pro rutinní analýzy ve výrobě vodního skla.

Po provedení testů touto metodou, lze říci, že u tohoto postupu nad výhodami převažují nevýhody. Jako velkou nevýhodu lze vidět časovou náročnost tohoto postupu, kde je zapotřebí počkat na vznik sraženiny mezi některými kroky postupu. Stanovení také komplikuje nutnost filtrace vzniklé sraženiny, naopak sraženina vzniklá v dalším kroku postupu již dle metodiky pokusu odstraňována není.

Ačkoliv barevná změna v bodu ekvivalence je lépe viditelná než u předchozích popsaných metod, zkresluje ji právě ona sraženina, která již není filtrována. Naopak po odfiltrování této sraženiny, již výsledné hodnoty nejsou reprezentativní. Z těchto důvodů se tato metoda nehodí pro průmyslové využití.

6.1.4 Inovovaná analýza s použitím KHCO_3 nebo K_2HPO_4

Tyto metody jsou ve své podstatě inovací postupu již využívaného společností KOMA a.s. Tato modifikace měla za cíl zabránit rozkladu fluorokřemičitanu v silně zásaditém prostředí, ke kterému dochází při Kōnigově metodě. Proto se na místo NaOH použila k neutralizaci kyselin slabá zásada. Rozdíl spočívá i v dávkování NaF v pevné podobě, na rozdíl od postupu používaného společností KOMA a.s. kdy se NaF dává ve formě roztoku. Dalším rozdílem je přidavek slabé zásady tj. KHCO_3 či K_2HPO_4 , který má za následek posun pH bodu ekvivalence do slabě kyselé oblasti, díky čemuž lze využít indikátor se zřetelnějším barevným přechodem. Analýzou inovovanou metodou s použitím KHCO_3 byly analyzovány dva zkušební vzorky draselného vodního skla paralelně vedle sebe.

Výsledky procentuálního zastoupení K_2O a SiO_2 jsou uvedeny v Tab. V.

Tab. V Výsledky aplikace metody inovované analýzy s použitím KHCO_3 na zkušební vzorek

Vzorek vodního skla	zkušební vzorek		
c (HCl) [mol.l^{-1}]	1,1117		
č. vzorku	1	2	Průměr
navážka [g]	1,0284	1,0018	
V_1 [ml]	2,96	2,90	
V_2 [ml]	22,90	23,31	
V_0 [ml]	5,91	6,31	
w (K_2O) [%]	15,07	15,15	15,11±0,04
w (SiO_2) [%]	27,59	28,34	27,9±0,4

Dle hodnot procentuálního složení vodního skla dodaných společností KOMA a.s. lze posoudit, že hodnoty procentuálního složení daného zkušební vzorku vodního skla při

použití inovované metody s použitím KHCO_3 se poměrně dobře shodují s hodnotami o složení vodního skla udávaného výrobcem.

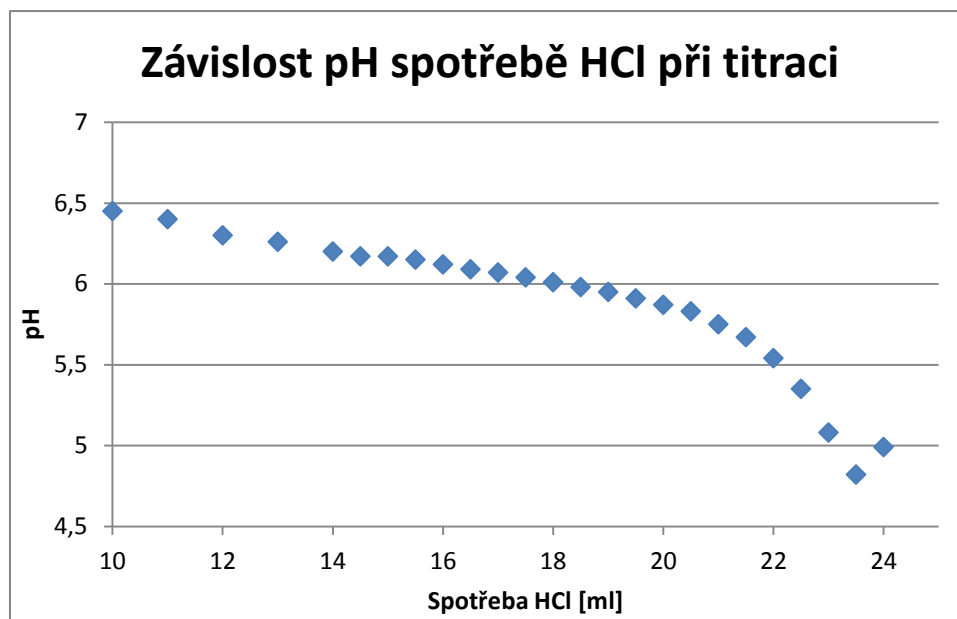
Při aplikaci inovované metody s použitím KHCO_3 bylo zjištěn zásadní problém, kdy docházelo v průběhu titrace jen k velmi pomalému uvolňování CO_2 , což mělo za následek prodloužení doby titrace a tím i zkreslení bodu ekvivalence. Proto byl postup dále modifikován použitím K_2HPO_4 .

Analýzou inovovanou metodou s použitím K_2HPO_4 byly analyzovány dva zkušební vzorky draselného vodního skla paralelně vedle sebe. Výsledky procentuálního zastoupení K_2O a SiO_2 jsou uvedeny v *Tab. VI*.

Tab. VI Výsledky aplikace metody inovované analýzy s použitím K_2HPO_4 na zkušební vzorek

Vzorek vodního skla	zkušební vzorek		
c (HCl) [mol.l ⁻¹]	1,1117		
č. vzorku	1	2	Průměr
navážka [g]	0,9562	1,2055	
V ₁ [ml]	2,79	3,47	
V ₂ [ml]	17,90	21,64	
V ₀ [ml]	3,33	3,13	
w (K ₂ O) [%]	15,27	15,07	15,17±0,10
w (SiO ₂) [%]	25,44	25,64	25,54±0,10

Dle hodnot procentuálního složení vodního skla dodaných společností KOMA a.s. lze posoudit, že hodnoty procentuálního složení daného zkušební vzorku vodního skla při použití inovované metody s použitím K_2HPO_4 se poměrně dobře reprodukuje a nedochází k rušivému uvolňování plynu, jako v případě uhličitanu. Obsah SiO_2 však vycházel nižší, než odpovídalo údajům od výrobce. Proto byla provedena jedna titrace tímto postupem s potenciometrickou indikací, která ukázala, že je nutno použít indikátor s barevnou změnou okolo hodnoty pH 5,0 jak je vidět z *Obr. 2*



Obr. 2 Graf závislosti pH na spotřebě HCl při titraci vzorku vodního skla (inovovaná metoda s použitím K_2HPO_4)

Proto byla v dalších analýzách používána směs indikátorů uvedená v kapitole 5.4.1

Po aplikaci inovované metody s použitím K_2HPO_4 na zkušební vzorek vodního skla bylo zjištěno, že tato metoda svými parametry nejvíce odpovídá požadavkům společnosti KOMA a.s. Barevný přechod v bodě ekvivalence při titraci byl u této metody viditelný lépe než u metod předchozích. Tato metoda byla následně použita pro kvantitativní analýzu dalších vzorků vodních skel s různým složením dodaných společností.

6.2 Kvantitativní analýza složení vzorků vodních skel s použitím inovované metody s K_2HPO_4

6.2.1 Kvantitativní analýza složení draselných vodních skel

Tab. VII Výsledky kvantitativní analýzy vzorku draselného vodního skla DVS 3,8 – 4,1

Vzorek vodního skla	DVS 3,8 - 4,1			
c (HCl) [mol.l ⁻¹]	1,0920			
č. vzorku	1	2	3	Průměr
navážka [g]	1,0130	1,0302	1,1245	
V ₁ [ml]	1,66	1,68	1,82	
V ₂ [ml]	15,96	16,20	17,33	
V ₀ [ml]	2,47	2,47	2,47	
w (K ₂ O) [%]	8,42	8,38	8,32	8,37±0,04
w (SiO ₂) [%]	21,84	21,85	21,67	21,79±0,08

Složení vodního skla DVS 3,8 – 4,1 udává společnost KOMA a.s. Procentuální zastoupení K₂O je 8,24 % a procentuálního zastoupení SiO₂ je 21,14 %.

Tab. VIII Výsledky kvantitativní analýzy vzorku draselného vodního skla DVS 1,6F

Vzorek vodního skla	DVS 1,6 F			
c (HCl) [mol.l ⁻¹]	1,0499			
č. vzorku	1	2	3	Průměr
navážka [g]	1,0123	1,0170	1,0706	
V ₁ [ml]	5,41	5,44	5,75	
V ₂ [ml]	20,93	20,98	21,70	
V ₀ [ml]	2,85	2,85	2,85	
w (K ₂ O) [%]	26,42	26,44	26,55	26,47±0,05
w (SiO ₂) [%]	28,16	28,11	27,76	28,01±0,17

Složení vodního skla DVS 1,6 F udává společnost KOMA a.s. Procentuální zastoupení K₂O je 26,33 % a procentuálního zastoupení SiO₂ je 27,92 %.

Tab. IX Výsledky kvantitativní analýzy vzorku draselného vodního skla DVS 3,1 Skamol

Vzorek vodního skla	DVS 3,1 Skamol			
c (HCl) [mol.l ⁻¹]	1,0499			
č. vzorku	1	2	3	Průměr
navážka [g]	1,0130	0,9598	1,0789	
V ₁ [ml]	2,57	2,45	2,76	
V ₂ [ml]	19,68	19,00	20,82	
V ₀ [ml]	2,85	2,85	2,85	
w (K ₂ O) [%]	12,54	12,61	12,64	12,60±0,04
w (SiO ₂) [%]	26,20	26,53	26,26	26,33±0,14

Složení vodního skla DVS 3,1 Skamol udává společnost KOMA a.s. Procentuální zastoupení K₂O je 12,51 % a procentuálního zastoupení SiO₂ je 25,85 %.

Tab. X Výsledky kvantitativní analýzy vzorku draselného vodního skla DVS >2,6 xHO 9501

Vzorek vodního skla	DVS >2,6 xHO 9501			
c (HCl) [mol.l ⁻¹]	1,0442			
č. vzorku	1	2	3	Průměr
navážka [g]	0,9636	0,9797	1,0498	
V ₁ [ml]	2,49	2,54	2,72	
V ₂ [ml]	17,03	17,16	18,40	
V ₀ [ml]	1,00	1,00	1,00	
w (K ₂ O) [%]	12,70	12,74	12,73	12,72±0,01
w (SiO ₂) [%]	26,08	25,86	25,99	25,98±0,09

Složení vodního skla DVS >2,6 xHO 9501 udává společnost KOMA a.s. Procentuální zastoupení K₂O je 12,37 % a procentuálního zastoupení SiO₂ je 26,06 %.

6.2.2 Kvantitativní analýza složení sodných vodních skel

Tab. XI Výsledky kvantitativní analýzy vzorku sodného vodního skla NaVs 2,0 Silztek 6

Vzorek vodního skla	NaVS 2,0 Silztek 6			
c (HCl) [mol.l ⁻¹]	1,0499			
č. vzorku	1	2	3	Průměr
navážka [g]	0,9722	1,0445	1,1514	
V ₁ [ml]	4,54	4,88	5,38	
V ₂ [ml]	19,51	20,48	22,49	
V ₀ [ml]	2,85	2,85	2,85	
w (Na ₂ O) [%]	15,19	15,20	15,20	15,20±0,004
w (SiO ₂) [%]	27,02	26,62	26,90	26,85±0,16

Složení vodního skla NaVS 2,0 Silztek 6 udává společnost KOMA a.s. Procentuální zastoupení Na₂O je 15,09 % a procentuálního zastoupení SiO₂ je 27,07 %.

Tab. XII Výsledky kvantitativní analýzy vzorku sodného vodního skla NaVs 2,0

Vzorek vodního skla	NaVS 2,0			
c (HCl) [mol.l ⁻¹]	1,0499			
č. vzorku	1	2	3	Průměr
navážka [g]	0,9676	1,0599	1,0711	
V ₁ [ml]	4,51	4,97	4,99	
V ₂ [ml]	18,07	19,65	19,90	
V ₀ [ml]	2,85	2,85	2,85	
w (Na ₂ O) [%]	15,16	15,25	15,15	15,19±0,04
w (SiO ₂) [%]	24,80	25,00	25,10	24,97±0,12

Složení vodního skla NaVS 2,0 udává společnost KOMA a.s. Procentuální zastoupení Na₂O je 15,05 % a procentuálního zastoupení SiO₂ je 28,46 %.

Tab. XIII Výsledky kvantitativní analýzy vzorku sodného vodního skla NaVs 1,75

Vzorek vodního skla	NaVS 1,75			
c (HCl) [mol.l ⁻¹]	1,0499			
č. vzorku	1	2	3	Průměr
navážka [g]	0,9286	0,9731	1,0601	
V ₁ [ml]	4,75	5,00	5,43	
V ₂ [ml]	17,99	18,64	19,89	
V ₀ [ml]	2,85	2,85	2,85	
w (Na ₂ O) [%]	16,64	16,71	16,66	
w (SiO ₂) [%]	25,71	25,59	25,35	25,55±0,15

Složení vodního skla NaVS 1,75 udává společnost KOMA a.s. Procentuální zastoupení Na₂O je 16,59 % a procentuálního zastoupení SiO₂ je 28,02 %.

Tab. XIV Výsledky kvantitativní analýzy vzorku sodného vodního skla NaVs 3,3

Vzorek vodního skla	NaVS 3,3			
c (HCl) [mol.l ⁻¹]	1,0442			
č. vzorku	1	2	3	Průměr
navážka [g]	0,9535	1,0632	1,0990	
V ₁ [ml]	2,50	2,81	2,90	
V ₂ [ml]	17,85	19,82	20,69	
V ₀ [ml]	1,00	1,00	1,00	
w (Na ₂ O) [%]	8,48	8,55	8,53	
w (SiO ₂) [%]	27,72	27,76	28,10	27,86±0,17

Složení vodního skla NaVS 3,3 udává společnost KOMA a.s. Procentuální zastoupení Na₂O je 8,50 % a procentuálního zastoupení SiO₂ je 28,83 %.

6.3 Stanovení sušiny vzorků vodního skla

Tab. XV Výsledky stanovení sušiny u vzorků vodních skel

č.	vzorek	Prázdný kelímek [g]	Kelímek + vzorek VS [g]	Vyžíhaný vzorek + kelímek [g]	Navážka VS [g]	Zbytek po žihání [g]	Sušina [%]	Průměrná sušina [%]
1	DVS 3,8 - 4,1	10,4564	10,9463	10,6007	0,4899	0,1443	29,45	29,51
2		9,1076	9,5778	9,2466	0,4702	0,1390	29,56	
3	DVS 1,6 F	9,2710	9,8928	9,6110	0,6218	0,3400	54,68	54,70
4		8,9472	9,5768	9,2917	0,6296	0,3445	54,72	
5	DVS 3,1 Skamol	8,8163	9,3815	9,0346	0,5652	0,2183	38,62	38,64
6		9,1703	9,6165	9,3428	0,4462	0,1725	38,66	
7	DVS >2,6 xHO 9501	9,5450	9,9712	9,7103	0,4262	0,1653	38,78	38,76
8		9,8363	10,3570	10,0380	0,5207	0,2017	38,74	
9	NaVS 3,3	10,1240	10,5852	10,2923	0,4612	0,1683	36,49	36,56
10		10,0307	10,6106	10,2431	0,5799	0,2124	36,63	
11	NaVS 2,0 Silztek 6	9,6310	10,0919	9,8271	0,4609	0,1961	42,55	42,37
12		9,5482	10,0763	9,7710	0,5281	0,2228	42,19	
13	NaVS 1,75	9,1756	9,8008	9,4576	0,6252	0,2820	45,11	44,99
14		9,6086	10,2045	9,8759	0,5959	0,2673	44,86	
15	NaVS 2,0	9,3275	9,9011	9,5804	0,5736	0,2529	44,09	44,10
16		9,3537	9,9632	9,6225	0,6095	0,2688	44,10	

Tab. XVI. Srovnání výsledků experimentu a výsledků dodaných výrobcem u sušiny a % obsahu K_2O SiO_2 u vzorků draselných vodních skel.

vzorek	$\Sigma (K_2O, SiO_2)$ dle experimentu [%]	Sušina dle údajů fy KOMA a.s. [%]	Sušina dle výsledku žihání [%]		K_2O či SiO_2 dle údajů fy KOMA a.s. [%]	K_2O či SiO_2 dle výsledků experimentu. [%]
DVS 3,8 - 4,1	30,153	29,38	29,51	K_2O	8,24	8,37
				SiO_2	21,14	21,79
DVS 1,6 F	54,48	54,25	54,7	K_2O	26,33	26,47
				SiO_2	27,92	28,01
DVS 3,1 Skamol	38,92	38,36	38,64	K_2O	12,51	12,60
				SiO_2	25,85	26,33
DVS >2,6 xHO 9501	38,69	38,43	38,43	K_2O	12,37	12,72
				SiO_2	26,06	25,98

Tab. XVII. Srovnání výsledků experimentu a výsledků dodaných výrobcem u sušiny a % obsahu Na_2O SiO_2 u vzorků sodných vodních skel.

vzorek	$\Sigma (Na_2O, SiO_2)$ dle experimentu [%]	Sušina dle údajů fy KOMA a.s. [%]	Sušina dle výsledku žihání [%]		Na_2O či SiO_2 dle údajů fy KOMA a.s. [%]	Na_2O či SiO_2 dle výsledků experimentu. [%]
NaVS 3,3	36,36	36,33	36,33	Na_2O	8,50	8,52
				SiO_2	27,83	27,86
NaVS 2,0 Silztek 6	42,04	42,16	42,37	Na_2O	15,09	15,20
				SiO_2	27,07	26,85
NaVS 1,75	42,22	44,61	44,98	Na_2O	16,59	16,67
				SiO_2	28,02	25,55
NaVS 2,0	40,15	43,51	44,1	Na_2O	15,05	15,19
				SiO_2	28,46	24,97

Po srovnání výsledků je patrné, že metoda dává vcelku přesné hodnoty, pouze u dvou vzorků sodného skla došlo v případě stanovení SiO_2 k odchylce, která může být způsobena, nepřesností při pracovním postupu.

ZÁVĚR

Tato bakalářská práce se zabývala kvantitativní analýzou složení vodního skla. Analyzované vzorky vodního skla byly dodány společností KOMA a.s.

Vzorky vodního skla byly podrobeny kvantitativní analýze složení pro zjištění jejich procentuálního obsahu Na_2O či K_2O a SiO_2 . Zkušební vzorky byly analyzovány pomocí různých titračních metod, jako je postup dle Königa, postup analýzy společnosti KOMA a.s., dále pak metodou stanovení SiO_2 a K_2O či Na_2O ve vodním skle (postup dle Vintera) a metodou inovovanou na základě metody společnosti KOMA a.s. a použitím KHCO_3 nebo K_2HPO_4 .

Nejdříve byl analyzován zkušební vzorek draselného vodního skla, na který byly aplikovány již zmíněné metody analýzy. Metoda analýzy dle Königa byla zhodnocena jako relativně časově nenáročná metoda, avšak nevýhodou této metody je špatně viditelný barevný přechod v bodu ekvivalence při titraci roztoků. Postup analýzy prováděný společností KOMA a.s. je v praxi využíván již řadu let, jeho problémem je ovšem taktéž špatně viditelný barevný přechod v bodu ekvivalence při titraci roztoků. Dále pak byla zkoumána metoda stanovení SiO_2 a K_2O či Na_2O ve vodním skle (postup dle Vintera). Ačkoliv barevná změna v bodu ekvivalence byla u této metody lépe viditelná, nevýhoda této metody spočívá ve větší časové náročnosti.

V rámci této práce byla již využívaná metoda analýzy prováděná společností KOMA a.s. modifikována přidavkem KHCO_3 či K_2HPO_4 , z důvodu zlepšení viditelnosti barevné změny nastávající v bodu ekvivalence. Bylo zjištěno, že použití KHCO_3 není vhodné. Naopak po použití inovované metody s K_2HPO_4 bylo zjištěno, že tato metoda svými parametry nejvíce odpovídá požadavkům společnosti KOMA a.s. Barevný přechod v bodě ekvivalence při titraci byl u této metody viditelný lépe než u metod předchozích. Tato metoda byla následně použita pro kvantitativní analýzu dalších vzorků vodních skel s různým složením dodaných společností.

Výsledky dosažené novou metodou vykazovaly reprezentativní hodnoty a jsou použitelné i v praxi. Dále je nutné, zjistit příčinu odchylky u dvou z testovaných vzorků vodních skel, zda např. nesouvisí z nějakou atypickou příměsí ve vodním skle, což bude vyžadovat další výzkum.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ANTOŠ, Petr a Alois BURIAN. *Vodní sklo: výroba, struktura, vlastnosti a použití*. 1. vyd. Ústí nad Labem: Sand team, 2002, 135 s. ISBN 80-238-9515-X.
- [2] SLOBODIAN, Petr. *Nakládání s odpady*. Vyd. 1. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2013, 192 s. ISBN 978-80-7454-252-7.
- [3] *Metakaolin 2008: sborník příspěvků semináře, Brno 20. března 2008*. 1. vyd. Editor Pavla Rovnaníková, Zbyněk Keršner. V Brně: Vysoké učení technické v Brně, 2008, 108 s. ISBN 978-80-214-3582-7.
- [4] *Přehled středoškolské chemie*. 1. vyd. Praha: SPN, 1995, 365 s. ISBN 80-859-3708-5.
- [5] ŠRÁMKOVÁ, Eva. *Příprava historických geopolimerů*. Brno, 2008. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [6] KLIKORKA, Jiří, Bohumil HÁJEK a Jiří VOTINSKÝ. *Obecná a anorganická chemie*. 2. vyd. Praha: SNTL, 1989, 591 s.
- [7] Písky sklářské. In: *Česká geologická služba - Geofond* [online]. Copyright © 2002-2005. [cit. 2014-05-21]. Dostupné z: http://www.geofond.cz/dokumenty/nersur_rocenky/rocenkanerudy99/html/skl_pisky.html
- [8] KOTLÍK, Petr. *Stavební materiály historických objektů: Materiály, koroze, sanace*. 1. vyd. Praha: VŠCHT, 1999, 112 s. ISBN 80-708-0347-9.
- [9] Vodní sklo sodné. VODNÍ SKLO A.S. *Vodní sklo* [online]. 2008 © [cit. 2014-04-15]. Dostupné z: <http://www.vodnisklo.cz/files/20110505093543.pdf>
- [10] Vodní sklo draselné. VODNÍ SKLO A.S. *Vodní sklo* [online]. 2008 © [cit. 2014-04-15]. Dostupné z: <http://www.vodnisklo.cz/files/20110505093522.pdf>
- [11] Lithná vodní skla. VODNÍ SKLO A.S. *Vodní sklo* [online]. 2008 © [cit. 2014-04-15]. Dostupné z: <http://www.vodnisklo.cz/files/20100615190427.pdf>
- [12] Štěpán Vinter: Závěrečná zpráva letní studijní stáže, FT UTB Zlín, 2013, (Ústní sdělení vedoucího BP)

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

DVS Draselné vodní sklo

NaVS Sodné vodní sklo

VS Vodní sklo

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Blokové schéma výroby vodního skla [9]</i>	<i>15</i>
<i>Obr. 2 Graf závislosti pH na spotřebě HCl při titraci vzorku vodního skla (inovovaná metoda s použitím K_2HPO_4.....)</i>	<i>35</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. I Chemické složení sklářského písku [1]</i>	14
<i>Tab. II Výsledky aplikace metody dle Königa na zkušební vzorek</i>	32
<i>Tab. III Výsledky aplikace metody využívané společností KOMA a.s. na zkušební vzorek</i>	33
<i>Tab. IV Výsledky aplikace metody stanovení dle Vintera na zkušební vzorek</i>	34
<i>Tab. V Výsledky aplikace metody inovované analýzy s použitím KHCO_3 na zkušební vzorek</i>	35
<i>Tab. VI Výsledky aplikace metody inovované analýzy s použitím K_2HPO_4 na zkušební vzorek</i>	36
<i>Tab. VII Výsledky kvantitativní analýzy vzorku draselného vodního skla DVS 3,8 – 4,1</i>	38
<i>Tab. VIII Výsledky kvantitativní analýzy vzorku draselného vodního skla DVS 1,6F</i>	38
<i>Tab. IX Výsledky kvantitativní analýzy vzorku draselného vodního skla DVS 3,1 Skamol</i>	39
<i>Tab. X Výsledky kvantitativní analýzy vzorku draselného vodního skla DVS >2,6 xHO 9501</i>	39
<i>Tab. XI Výsledky kvantitativní analýzy vzorku sodného vodního skla NaVs 2,0 Silztek 6</i>	40
<i>Tab. XII Výsledky kvantitativní analýzy vzorku sodného vodního skla NaVs 2,0</i>	40
<i>Tab. XIII Výsledky kvantitativní analýzy vzorku sodného vodního skla NaVs 1,75</i>	41
<i>Tab. XIV Výsledky kvantitativní analýzy vzorku sodného vodního skla NaVs 3,3</i>	41
<i>Tab. XV Výsledky stanovení sušiny u vzorků vodních skel</i>	42
<i>Tab. XVI. Srovnání výsledků experimentu a výsledků dodaných výrobcem u sušiny a % obsahu K_2O SiO_2 u vzorků draselných vodních skel</i>	43
<i>Tab. XVII. Srovnání výsledků experimentu a výsledků dodaných výrobcem u sušiny a % obsahu Na_2O SiO_2 u vzorků sodných vodních skel</i>	43