

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

Přírodovědecká fakulta

Katedra anorganické chemie



**Průmyslová výroba sody a tvorba výukových
materiálů k tématu soda**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Autor:	Veronika Fišerová
Studijní obor:	Chemie pro vzdělávání / Biologie pro vzdělávání
Typ studia:	Prezenční
Vedoucí práce:	Mgr. Kamila Petrželová, Ph.D.

Olomouc 2022

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci sepsala samostatně pod dohledem vedoucího bakalářské práce, a že jsem uvedla všechnu použitou literaturu na konci práce. Prohlašuji, že jsem v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce neporušila autorská práva.

Souhlasím s tím, aby byla tato práce přístupná v knihovně katedry anorganické chemie Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci.

V Olomouci dne 2022

Veronika Fišerová

Velice ráda bych poděkovala vedoucí své bakalářské práce paní Mgr. Kamile Petrželové, Ph.D. za skvělé odborné vedení, čas, trpělivost a vhodné připomínky, které mi věnovala při vypracovávání této práce. Dále bych chtěla poděkovat paní Mgr. Šárce Kostkové, paní Ing. Markétě Markové, panu Mgr. Jakubu Janíčkoví, paní Mgr. Aleně Vláčilové a paní Mgr. Ivetě Bártové Ph.D. za zapůjčení knih s chemickými experimenty, paní Mgr. Zuzaně Michálkové a slečně Zuzaně Brabcové za poskytnutí prostoru a chemikálií ke zkoušení pokusů, paní Bc. Ivaně Pařenicové za její pečlivou a krásnou grafickou práci, panu Ondřeji Bohůnovi za pracovitost a trpělivost, kterou věnoval sestřihání experimentů, vypálení a potisku DVD, paní Janě Čermákové za ochotu pomoci, panu Tomáši Tatinci za pomoc s anglickým překladem a paní doc. RNDr. Martě Klečkové, CSc. za její ochotu, zapálení a čas, který mi věnovala. Nesmím opomenout poděkování panu Ing. Romanu Sívkovi, Ph.D. za poskytnutí informací týkajících se výroby sody v DEZA, a.s. Valašské Meziříčí, a panu Jiřímu Koníčkoví za sdílení informací ohledně výroby sody ve společnosti Lenzing Biocel Paskov, a.s. V neposlední řadě bych chtěla poděkovat panu Adriánu Bakošovi za velkou podporu, trpělivost a spolupráci na natáčení experimentů. Závěrem bych chtěla poděkovat své rodině a přátelům za jejich obrovskou podporu a motivaci.

Bibliografická identifikace:

Jméno a příjmení autora: Veronika Fišerová

Název práce: Průmyslová výroba sody a tvorba výukových materiálů k tématu soda

Typ práce: Bakalářská

Pracoviště: Katedra anorganické chemie, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Palackého v Olomouci

Vedoucí práce: Mgr. Kamila Petrželová, Ph.D.

Rok obhajoby práce: 2022

Abstrakt:

Tato bakalářská práce se zabývá průmyslovou výrobou sody a tvorbou výukových materiálů k tématu soda. V teoretické části je vypracována literární rešerše týkající se vlastností, použití sody a historických a současných výrobních postupů. Teoretická část se dále věnuje jedlé sodě a závodům, které se v historii výrobou sody zabývaly a v současnosti zabývají. Praktická část je zaměřena na tvorbu webových stránek CHEMIE ŽIJE!, vytváření videozáznamů experimentů se sodou a jedlou sodou, tvorbě pracovních listů a výukové prezentace. Součástí praktické části jsou technologická schémata výrobních postupů. K bakalářské práci náleží externí DVD, které obsahuje výukovou prezentaci, videozáznamy experimentů se sodou a jedlou sodou, a k nim příslušné teoretické podklady a pracovní listy.

Klíčová slova: soda, Leblancův postup, Solvayův postup, jedlá soda, experimenty se sodou a jedlou sodou, webové stránky „CHEMIE ŽIJE!“, technologická schémata

Počet stran: 83

Jazyk: Čeština

Bibliographical identification:

Author's first name and surname: Veronika Fišerová

Title: Industrial soda production and creation of teaching materials on the topic of soda

Type of thesis: Bachelor

Department: Department of Inorganic Chemistry, Faculty of Science, Palacký University Olomouc, Czech Republic

Supervisor: Mgr. Kamila Petrželová, Ph.D.

The year of presentation: 2022

Abstract:

This bachelor's thesis addresses the industrial production of soda and the creation of teaching materials on the theme of soda. In its theoretical part can be found the literature research on soda attributes, its uses, and historical and current production processes. The theoretical part then deals with baking soda and industrial plants, which handled soda production in the past and are doing so today. The practical part concentrates on creation of the „CHEMIE ŽIJE!“ („CHEMISTRY LIVES!“) website, on development of video recordings of experiments with soda and baking soda, and on conception of worksheets and teaching presentation materials. Technological production process schemes are included in the practical part as well. The thesis includes a DVD, which contains the teaching presentation materials, video recordings of experiments with soda and baking soda, as well as relevant theoretical materials and worksheets.

Keywords: soda, Leblanc process, Solvay process, baking soda, experiments with soda and baking soda, „CHEMIE ŽIJE!“ („CHEMISTRY LIVES!“) website, technological schemes

Number of pages: 83

Language: Czech

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ	8
SEZNAM SCHÉMÁT	10
1 ÚVOD	11
2 TEORETICKÁ ČÁST.....	13
2.1 UHLIČITAN SODNÝ	13
2.1.1 Chemické vlastnosti sody.....	13
2.1.2 Využití sody	14
2.2 HISTORICKÉ ZPŮSOBY PRŮMYSLOVÉ VÝROBY SODY.....	15
2.2.1 Počátky výroby sody	15
2.2.2 Leblancův postup výroby sody	15
2.2.3 Solvayův postup výroby sody	21
2.2.4 Modifikovaný Solvayův postup	31
2.2.5 Výroba sody z kryolitu.....	31
2.3 SOUČASNÉ ZPŮSOBY PRŮMYSLOVÉ VÝROBY SODY	32
2.3.1 Elektrolýza	33
2.3.2 Výroba sody z trony	38
2.4 VÝROBA SODY NA ÚZEMÍ ČESKÉ REPUBLIKY	40
2.4.1 Hrušovská továrna na sodu	40
2.4.2 Továrna na sodu v Petrovicích.....	41
2.4.3 Tonaso Neštěmice	42
2.4.4 DEZA, a.s. Valašské Meziříčí.....	44
2.4.5 Lenzing Biocel Paskov, a.s.	45
2.5 HYDROGENUHLIČITAN SODNÝ.....	46
2.5.1 Chemické vlastnosti jedlé sody	46
2.5.2 Využití jedlé sody.....	46

2.5.3	Výroba jedlé sody.....	47
3	PRAKTICKÁ ČÁST.....	49
3.1	NÁVRH ČÁSTI WEBU „CHEMIE ŽIJE!“	49
3.1.1	Sekce Video.....	49
3.1.2	Sekce Průmyslová chemie.....	53
3.2	NATÁČENÍ EXPERIMENTŮ	55
3.2.1	Mávající rukavice	58
3.3	PRACOVNÍ LISTY	60
3.3.1	Mávající rukavice – žakovská verze	61
3.3.2	Mávající rukavice – učitelská verze	63
3.4	VÝUKOVÁ PREZENTACE.....	67
3.4.1	Technologická schémata	68
4	VÝSLEDKY A DISKUZE	70
5	ZÁVĚR.....	77
6	POUŽITÁ LITERATURA.....	79

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Diagram rozpustnosti sody [3], [5], [6].....	13
Obrázek 2: Využití uhličitanu sodného [11], [12]	14
Obrázek 3: Nicolas Leblanc (1742 – 1806) [15]	15
Obrázek 4: Leblancova továrna na sodu [17]	16
Obrázek 5: Ruční plamencová pec na výrobu sody Leblancovým postupem [16].....	18
Obrázek 6: Ernest Solvay (1838 – 1922) [18]	21
Obrázek 7: Pec na pálení vápna [3]	24
Obrázek 8: Mokré hašení vápna [3].....	25
Obrázek 9: Amoniakalizační kolona [1].....	26
Obrázek 10: Karbonatační kolona [1], [3]	27
Obrázek 11: Detail chladiče karbonatační kolony [3]	28
Obrázek 12: Regenerátor amoniaku [3].....	30
Obrázek 13: Celosvětová produkce sody od roku 2010 do roku 2020 [19]	32
Obrázek 14: Celosvětová produkce přírodní sody v roce 2020 podle vybraných zemí [20]...	33
Obrázek 15: Amalgámový elektrolyzér s horizontálním rozkladačem [1], [9], [14].....	35
Obrázek 16: Membránový elektrolyzér [1], [9], [14]	36
Obrázek 17: Diafragmový elektrolyzér [1], [9], [14]	38
Obrázek 18: Historická pohlednice Hrušovské továrny na sodu [26]	41
Obrázek 19: Historická pohlednice továrny na sodu v Petrovicích [29]	42
Obrázek 20: Tonaso Neštětice [30].....	43
Obrázek 21: Tonaso Neštětice [30].....	44
Obrázek 22: Využití hydrogenuhličitanu sodného [34], [35]	47
Obrázek 23: Piktogramy o časové náročnosti a věkové kategorii	49
Obrázek 24: WordPress – šablona pro pokus Hasicí přístroj – 1. část	50
Obrázek 25: WordPress – šablona pro pokus Hasicí přístroj – 2. část	51
Obrázek 26: Webové stránky CHEMIE ŽIJE! – sekce Video.....	51
Obrázek 27: Experiment Hasicí přístroj na webu CHEMIE ŽIJE! – 1. část	52
Obrázek 28: Experiment Hasicí přístroj na webu CHEMIE ŽIJE! – 2. část	53
Obrázek 29: Webové stránky CHEMIE ŽIJE! – sekce Průmyslová chemie.....	54
Obrázek 30: Historie a současnost průmyslové výroby sody na webu CHEMIE ŽIJE!	54
Obrázek 31: Natáčení experimentů.....	55
Obrázek 32: YouTube kanál CHEMIE ŽIJE.....	57

Obrázek 33: Webové stránky CHEMIE ŽIJE! – sekce Presentace	67
Obrázek 34: Historie a současnost průmyslové výroby sody na webu CHEMIE ŽIJE!	71
Obrázek 35: Experimenty se sodou a jedlou sodou na webu CHEMIE ŽIJE! – 1. část.....	74
Obrázek 36: Experimenty se sodou a jedlou sodou na webu CHEMIE ŽIJE! – 2. část.....	75

SEZNAM SCHÉMÁT

Schéma 1: Blokové schéma výroby sody dle Leblanca [16]	20
Schéma 2: Blokové schéma výroby sody Solvayovým způsobem [1]	22
Schéma 3: Blokové schéma modifikovaného Solvayova postupu [1].....	31
Schéma 4: Blokové schéma výroby sody z trony monohydrátovým postupem [1]	39
Schéma 5: Zjednodušené schéma výroby sody Leblancovým postupem	68
Schéma 6: Blokové schéma výroby sody Leblancovým postupem.....	68
Schéma 7: Zjednodušené schéma výroby sody Solvayovým postupem.....	69
Schéma 8: Technologické schéma výroby sody Solvayovým postupem	69

1 ÚVOD

Soda byla v minulosti velmi významnou chemickou surovinou, která nacházela využití v celé řadě oborů. Její důležitá podstata tkví zejména v jejích historických výrobních procesech, které v minulosti velmi prospěly rozvoji chemického průmyslu. Z didaktického hlediska se jedná o základní anorganickou látku, která svými vlastnostmi reprezentuje základní poznatky anorganické chemie a ve výuce se s oblibou používá jako modelová chemikálie.

Cílem této bakalářské práce je vypracování literární rešerše, která se bude věnovat popisu historických a současných způsobů výroby sody. Dále vyhledat podniky, které na území České republiky sodu vyráběly, a které ji vyrábí v současné době. Získané informace by měly vytvořit souvislý obraz této problematiky. Dalším výstupem je podílet se na tvorbě webových stránek CHEMIE ŽIJE!, a vytvořit výukové materiály týkající se sody a jedlé sody.

V teoretické části se nejdříve zabývám uhličitanem sodným jako chemickou látkou. Popisuji jeho chemické vlastnosti a použití v praxi. Následující obsáhlá část se věnuje historickým způsobům výroby sody, zejména Leblancovu a Solvayovu postupu, ale také dalším méně známým výrobním procesům, které se v minulosti využívaly. V další části zpracovávám současné způsoby výroby sody, především elektrolýzu. Následně představuji české podniky, které se v minulosti výrobou sody zabývaly, a které se jí věnují dnes. V poslední pasáži teoretické části se věnuji hydrogenuhličitanu sodnému, který je důležitým meziproduktem výroby sody. Charakterizuji jeho chemické vlastnosti, praktické využití a postupy, kterými ho lze vyrobit.

Praktická část je věnována tvorbě prostředí webu CHEMIE ŽIJE!. V první části popisuji svůj návrh vzhledu webu, konkrétně sekce Videá, a jeho realizaci. Dále provázím čtenáře procesem tvorby obsahu této sekce, od zpracovávání a natáčení videozáznamů experimentů se sodou a jedlou sodou, až po tvorbu pracovních listů. Získané informace o sodě se také staly součástí webové stránky a jsou následně vloženy do sekce Průmyslová chemie, která je věnovaná právě výrobě sody. Celé téma jsem ještě zpracovala formou prezentace v PowerPointu, do které jsem vložila informace o výrobě sody, a vytvořila zjednodušená a technologická schémata významných způsobů výroby sody.

CÍLE PRÁCE

- provést literární rešerši týkající se historických a současných způsobů výroby sody
- vyhledat, které české závody v historii tuto látku vyráběly, a které ji vyrábí v současnosti
- navrhnout prostředí pro web "Chemie žije" – sekce videa chemických reakcí, vytvořit videozáznamy experimentů se sodou a jedlou sodou a vytvořit k experimentům vhodné pracovní listy
- vytvořit výukový materiál na téma výroby a vlastností sody a jedlé sody

2 TEORETICKÁ ČÁST

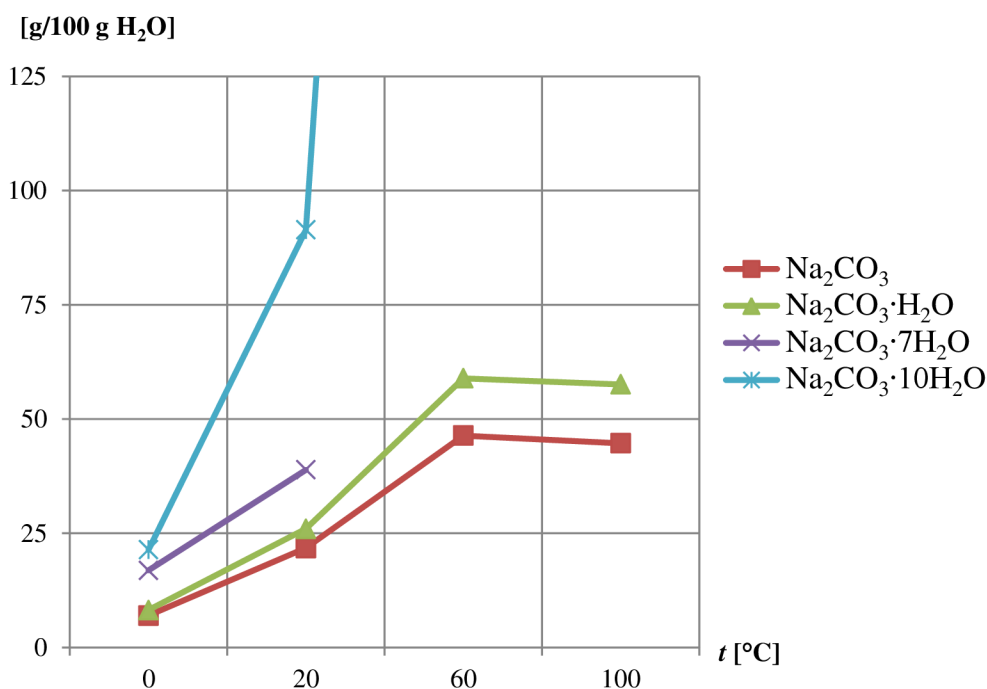
2.1 UHLIČITAN SODNÝ

2.1.1 Chemické vlastnosti sody

Bezvodý uhličitan sodný neboli soda, Na_2CO_3 , je bílý krystalický prášek dobře rozpustný ve vodě, na vzduchu stálý a mírně hygroskopický. Nad teplotu $300\text{ }^\circ\text{C}$ se termicky rozkládá za uvolňování CO_2 . Je to sůl slabé kyseliny a silné zásady, proto se projevuje ve vodném roztoku alkalicky v důsledku hydrolyzy anionu (2.1). [1], [2]



Na_2CO_3 je termicky stálý. Krystalizací vodného roztoku vzniká v teplotním rozmezí $0 - 32\text{ }^\circ\text{C}$ dekahydrát $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, v rozpětí $32 - 36\text{ }^\circ\text{C}$ heptahydrát $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, a do $100\text{ }^\circ\text{C}$ krystalizuje monohydrát $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Nad touto teplotou vzniká bezvodá soda Na_2CO_3 . [1], [3], [4]



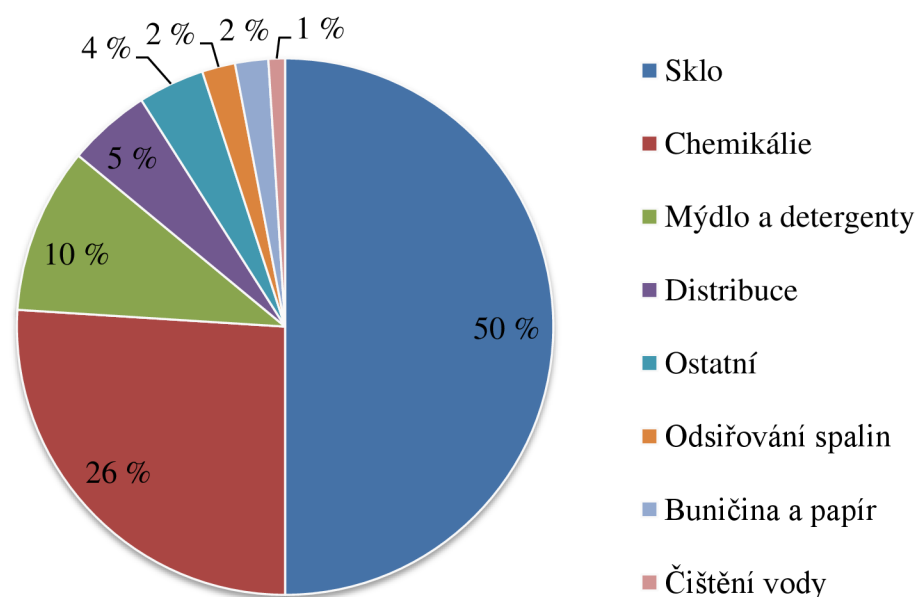
Obrázek 1: Diagram rozpustnosti sody [3], [5], [6]

Dekahydrát vytváří velké krystaly a snadno větrá, takže se za ztráty tepla rozpadá na prášek. Čistý dekahydrát má sice jen malý obsah Na_2CO_3 (asi 30 %), ale i tak je pro některá využití preferován, jelikož se lépe rozpouští než bezvodá soda. [1], [3], [4]

2.1.2 Využití sody

V minulosti patřil Na_2CO_3 mezi nejvšestranněji používané chemické výrobky a nacházel využití v řadě oborů. V současné době ho můžeme v mnoha případech nahradit NaOH , např. při výrobě papíru, mýdla, detergentů. Převládající část produkce Na_2CO_3 (kolem 50 %) nachází využití ve sklářském průmyslu jako tavivo pro rozpouštění křemene v tavenině. Přibližně 26 % se využívá k výrobě chemikálií, z toho kolem 10 % pro výrobu fosforečnanů sodných, zejména trifosforečnanu pentasodného, poté k výrobě silikátů (pentahydrátu metakřemičitanu sodného a orthokřemičitanu sodného), hydrogenuhličitanu sodného, chromanu, dusičnanu sodného atd. Kolem 10 % je používáno k výrobě mýdel a v pracích a čisticích prostředcích. [7], [8]

Na_2CO_3 se dále využívá při odstraňování siřných sloučenin z kouřových plynů elektráren, tepláren a vysokých pecí, v papírenském průmyslu a průmyslu celulózy, při úpravě rud, v metalurgii, v kožedělném průmyslu, v keramice, v textilním průmyslu při zpracování a barvení bavlny, při výrobě buničiny, při čištění vody, při výrobě smaltů atd. [7], [8], [9], [10]



Obrázek 2: Využití uhličitanu sodného [11], [12]

2.2 HISTORICKÉ ZPŮSOBY PRŮMYSLOVÉ VÝROBY SODY

2.2.1 Počátky výroby sody

Soda je známa již ze starého Egypta. Získávala se z přírodních usazenin s obsahem 5 % Na_2CO_3 a 25 % NaHCO_3 . Staří Egypťané sodu využívali např. při mumifikaci. Do 18. století vyráběli sodu spalováním rostlin žijících na mokré a slané zemině. Popel rostlin byl poté kalcinován a louhován. Získaný produkt, který obsahoval kolem 3 – 30 % Na_2CO_3 , byl cenný a dosažitelný pouze v omezeném množství. [1], [7]

V 18. století stoupla poptávka po skle, mýdle a textilu, ale dostupné zdroje sody nebyly dostatečné. Tento problém vedl k hledání způsobu průmyslové výroby sody z dosažitelných surovin. Proto roku 1775 vyhlásila Francouzská akademie věd soutěž o nejlepší postup výroby sody, ve které poté zvítězil francouzský lékař Nicolas Leblanc. [1], [7]

2.2.2 Leblancův postup výroby sody

Leblancův postup výroby sody prospěl zejména rozvoji sklářského průmyslu. Jeho význam tkvěl také v tom, že poskytoval využití všech vedlejších produktů. Použití odpadů bylo ze začátku velkým problémem, který byl později vyřešen. Nepochybně největší význam měl pro technologie výroby a zpracování chloru, které se ovšem teprve rozvíjely. V roce 1791 si Nicolas Leblanc (Obrázek 3) nechal patentovat postup pro výrobu sody, který byl používán následujících 100 let. [13], [14]



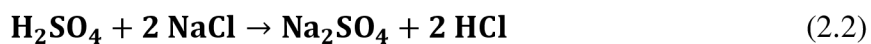
Obrázek 3: Nicolas Leblanc (1742 – 1806) [15]

První závod, který se držel jeho postupu, byl zřízen ve Francii v St. Denis nedaleko Paříže (Obrázek 4). K velkému rozšíření Leblancova postupu došlo v roce 1823 v Anglii, kde byl zaveden Jamesem Musprattem. U nás došlo k založení Leblancovy výroby v roce 1851 v Hrušově a v roce 1856 v Ústí nad Labem. [16]

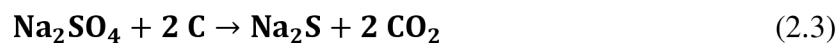


Obrázek 4: Leblancova továrna na sodu [17]

Hlavním činidlem pro Leblancův postup výroby sody se stala H_2SO_4 . Výrobní technologii spouštěl rozklad NaCl za zvýšené teploty (2.2).



Vznikl Na_2SO_4 , který se následně žíhal s uhlím, přičemž došlo k redukci síranu (2.3).



Vzniklý Na_2S reagoval s vápencem za vzniku sody a nerozpustného CaS (2.4).



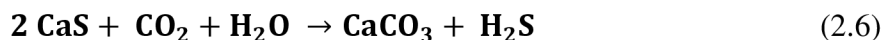
Z taveniny byla vodou vyluhována dobře rozpustná soda, která se mohla nechat vykristalizovat. [7], [14]

V pozdějších letech byl Leblancův postup ekonomizován kvůli rozvoji Solvayova postupu výroby:

a) napojením na vápenku, jehož produkty jsou oxid vápenatý a oxid uhličitý (2.5),



b) opětovným použitím síry a vápníku, což vyjadřuje reakce (2.6),



c) částečnou oxidací sulfanu pomocí horkého Fe_2O_3 (Clausův proces), která poskytovala síru a vodu (2.7),

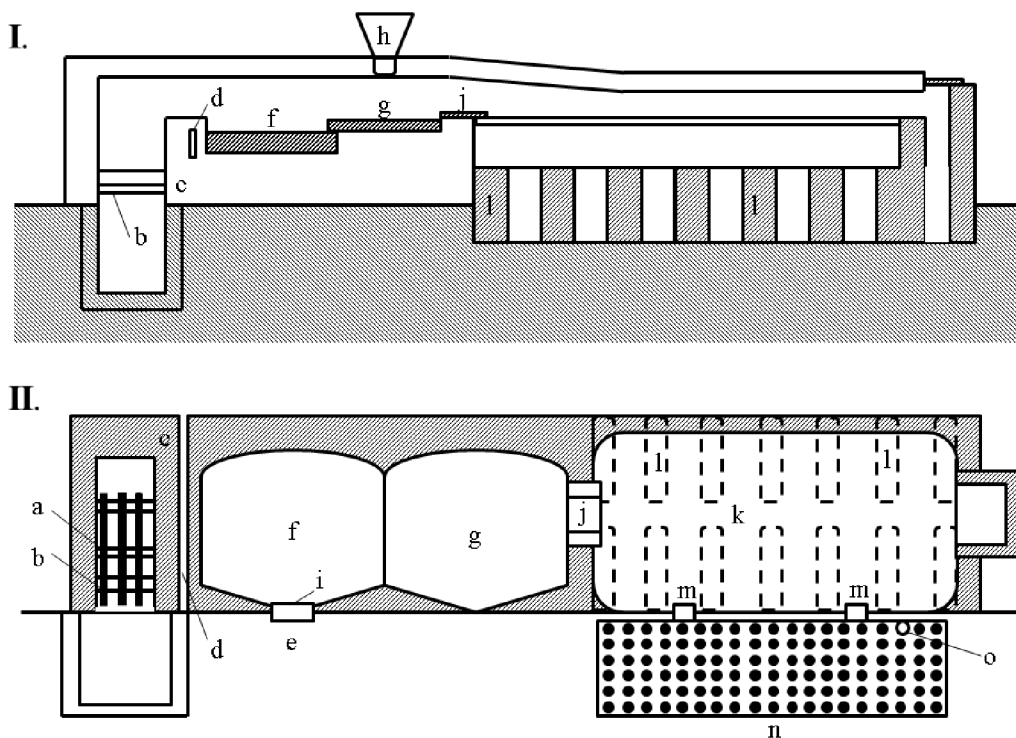


d) ze síry byla poté klasickým způsobem získána H_2SO_4 , která byla následně spotřebována v procesu výroby (2.2),

e) plynný chlorovodík byl absorbován do vody, díky čemuž byla vyrobena až 36% kyselina chlorovodíková, která byla poté prodávána pod označením kyselina solná.

[14]

Výroba sody probíhala v ručně promíchávaných pecích (Obrázek 5), které byly vytápěny uhlím z lokálního topeniště. Ruční pece byly asi 2,5 m dlouhé a 2 m široké a jejich vyzdívku tvořily žáruvzdorné cihly s vysokým obsahem Al_2O_3 , které vydržely 18 – 20 taveb. [16]



I. - řez pecí, pohled zepředu; II – řez pecí, pohled shora

*a – topeniště; b – rošt; c – žárový můstek; d – vzduchový kanál; e – pracovní otvor; f – přední nístěj;
g – zadní nístěj; h – plnicí násypka; i – litinová deska; j – šamotová deska; k – odpařovací pánev; l – zděné
pilíře; m – otvory vedoucí do odpařovací pánve; n – nuč pro oddělení matečného louhu od sodových krystalů;
o – nátrubek připojený k pumpě, odčerpávající matečný louh*

Obrázek 5: Ruční plamencová pec na výrobu sody Leblancovým postupem [16]

K reakcím docházelo v pásmu teplot tavení Na_2SO_4 a výtěžnost reakcí závisela na stupni promíchání složek. Konec výroby charakterizovaly žluté plaménky unikajícího CO nad hladinou taveniny, tzv. svíčky, které vznikaly po úplné redukci síranu, kdy teplota v reakční hmotě stoupala. Začal se tedy uplatňovat rozklad nadbytečného vápence se zbytkem uhlí (2.8). [13], [16]



Míra efektivity tohoto úseku výroby závisela na zkušenosti a zdatnosti obsluhy. Reakční směs ve formě taveniny byla vyhrabána do kovových vozíků. Únik plynu probíhal i při vyhrabování a ještě nějakou dobu po naplnění vozíků. Bublínkami se masa nakypřila a tvořily se porézní, snadno vyluhovatelné koláče. Po dvoudenním vychladnutí taveniny byla

roztlučena a loužena v teplé vodě. V průběhu loužení docházelo k oddělování nerozpustných částí zbytků koksu, CaS a vápence od roztoku Na_2CO_3 . [13], [16]

Rozdrcená tavenina byla vpravena do vyluhovací stanice. Obvyklý typ vyluhovací stanice dle Shankse využíval roztoky o nízké hustotě k loužení koncentrované taveniny a obráceně. Tento postup značně uspořil palivo na zahušťování sody ke krystalizaci. Vyloužené kaly byly vyváženy do odpadu. Roztok Na_2CO_3 byl zahušťován v otevřených pánvích, které byly vytápěny teplem kouřových plynů ze sodových pecí. Aby bylo zamezeno znečištění produktu, byly mezi pec a odpařovací stanici umístěny prašnickové komory, které zachytávaly hrubé nečistoty. [13], [16]

V průběhu odpařování roztok postupně přetékal z výše postavených pánví, ve kterých byla nižší teplota, do níže postavených pánví s vyšší teplotou, čímž docházelo k odpařování roztoku na hustou krystalickou kaši. Krystalizující soda byla ručně vybírána, a zahušťování probíhalo až do chvíle, kdy se krystaly zabarvovaly do červené barvy. Krystaly Na_2CO_3 byly roztaveny a pak kalcinovány. Opakováním procesu rozpouštění, krystalizace a kalcinace bylo dosaženo výsledného produktu žádané čistoty. Červeně zbarvené matečné louhy obsahovaly sulfid, síran a siřičitan sodný, hydroxid a korozivní mechanické příměsi. Profukováním vzduchem byly zahuštěny a ponechány k sedimentaci. Následně došlo k separaci kalů (oxidy železa, siřičitan sodný, grafit), poté byla tavenina hydroxidu sodného karbonizována vzduchem, přičemž vznikl uhličitan, který byl posléze zpracován s ostatními produkty sody. Pro hydroxid sodný nebylo nejprve využití. Došlo k úpravě kalů z tzv. červených matečných louhů na thiosíran sodný, pojmenovaný jako „Antichlor“, který se poté využíval k odstranění zbytků chloru v bělicích lázních v textilním průmyslu. [13], [16]

Tento způsob díky Schaffnerovi dosáhl vyšší výkonnosti hlavně díky zavedení přísné analytické mezioperační revize, a systematickému zorganizování každé fáze procesu. Důležitým bodem bylo vyřešení zpracování kalů, které zahrnovaly všechnu síru, která byla do procesu vpravena. Kaly vytvářely na odpadní haldě velké problémy uvolňováním sirovodíku a oxidací vzduchem vytvářely výkvěty solí. Roku 1861 zahájil Schaffner částečné obnovení kalů pomocí umělého zvětrávání v toku kouřových plynů. Síra byla vyrobena z polysulfidů, které byly vyizolovány loužením. Proces byl vylepšen v roce 1868 takovým způsobem, že byla možnost těžit a zpracovávat již dříve uchované kaly. Díky tomuto způsobu bylo dosaženo výtěžnosti až 14 kg síry na výrobu 100 kg sody. Proces se prosadil i v celosvětovém měřítku a kolem roku 1868 postačovala rafinace kalů k potřebnému požadavku síry pro výrobu. [13]

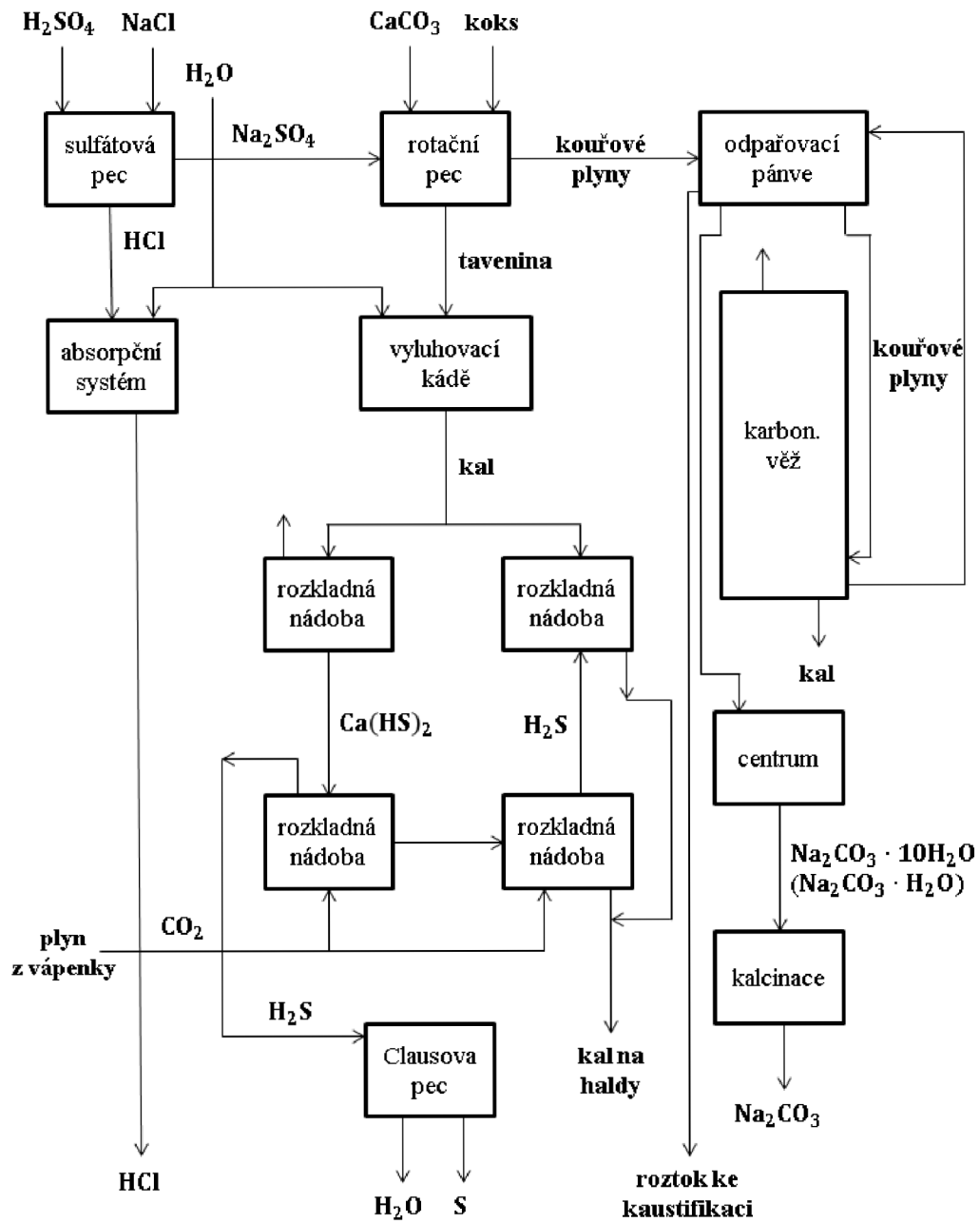
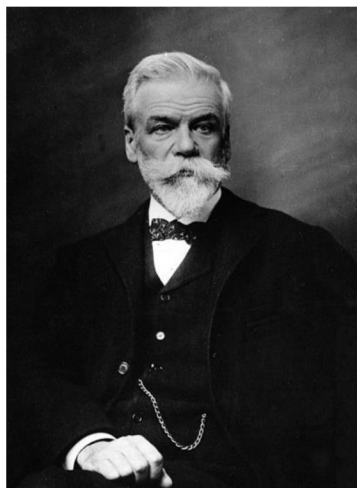


Schéma 1: Blokované schéma výroby sody dle Leblanca [16]

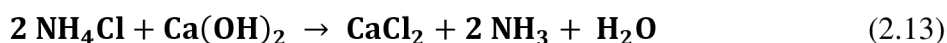
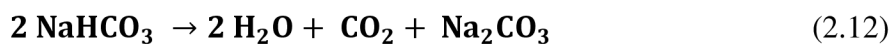
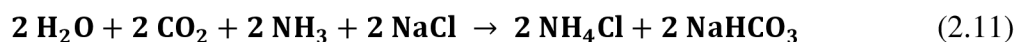
2.2.3 Solvayův postup výroby sody

Solvayův postup, objeven belgickým chemikem Ernestem Solvayem (Obrázek 6), se využívá k výrobě průmyslové sody, a je založen na srážení málo rozpustného NaHCO_3 z vodného roztoku NaCl . Mezi hlavní suroviny patří NaCl , NH_3 , vápenec a H_2O . [9]



Obrázek 6: Ernest Solvay (1838 – 1922) [18]

Solvayův postup výroby sody je vyjádřen rovnicemi (2.9), (2.10), (2.11), (2.12), (2.13):



Technologie výroby sody Solvayovým způsobem se dá rozdělit do několika hlavních a vedlejších kroků. Hlavními procesy jsou příprava a čištění solanky, sycení solanky amoniakem (amoniakalizace) a následně oxidem uhličitým (karbonatace) za vzniku hydrogenuhličitanu sodného, který je filtrací oddělen od roztoku chloridu amonného a kalcinací převeden na sodu. Mezi vedlejší reakce řadíme pálení vápence, kterým je získáno

vápno a oxid uhličitý (pro karbonataci solanky). Pálené vápno je hašením převedeno na hašené vápno, které se využívá pro vytěsnění amoniaku z roztoku chloridu amonného. Pro Solvayovu výrobu je charakteristické propojení a návaznost jednotlivých operací. [7]

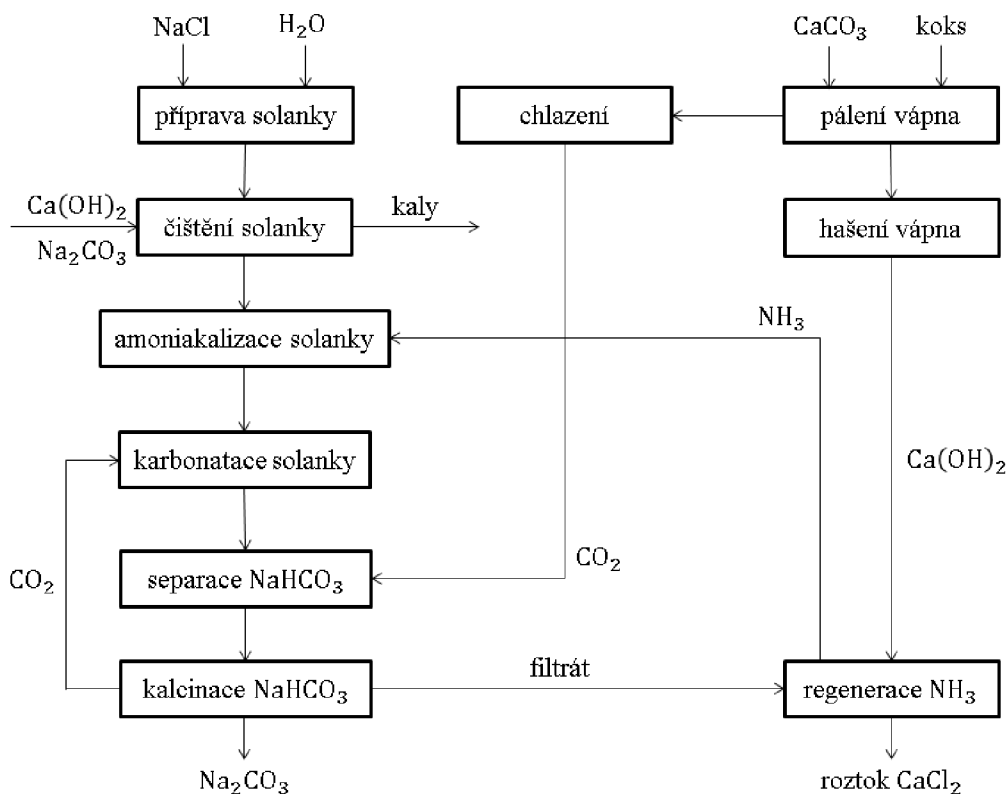
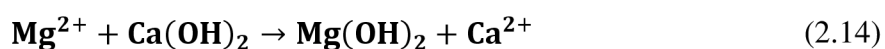


Schéma 2: Blokové schéma výroby sody Solvayovým způsobem [1]

Příprava solanky

Jako solanka se využívá buď nasycený roztok kamenné soli, nebo solanka připravená částečným odpařením mořské soli. V otevřených bazénech dochází ke zkrápnění tuhého NaCl vodou. Z nasycené solanky je nutné odstranit Mg^{2+} a Ca^{2+} ionty, které vždy způsobují ve výchozí surovině znečištění. Při amoniakalizaci by totiž hořčík odpadával jako $Mg(OH)_2$ a vápník při karbonataci v podobě $CaCO_3$, což by způsobovalo nerozpustné sraženiny na zařízení. K odstranění hořčíku proto dojde v reaktoru promícháním studené solanky s vápenným mlékem (2.14). [1], [3]



Poté se reakcí s roztokem sody ze solanky odstraní vápenaté kationty (2.15).

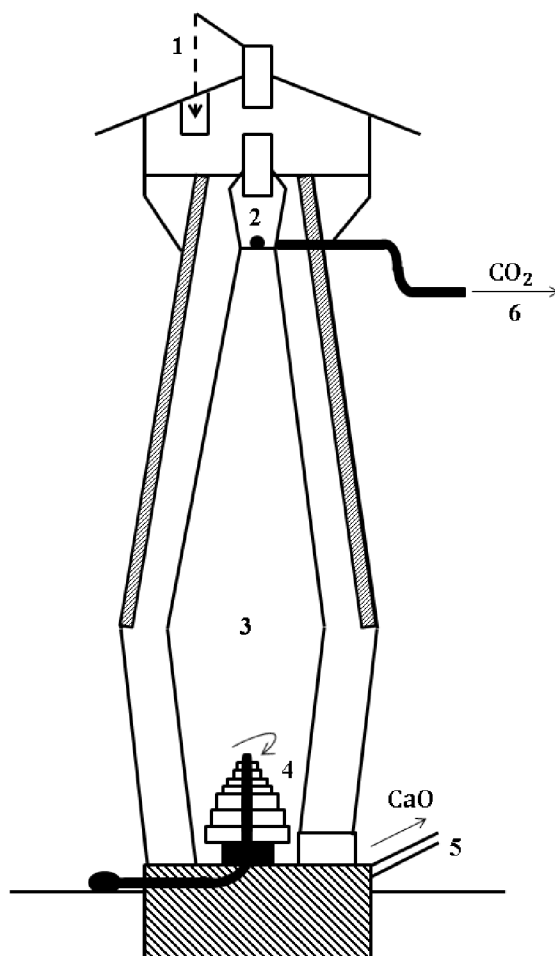


Vznikne tuhý CaCO_3 , který je ze solanky odstraněn v usazováku pomocí sedimentace. Solanka musí být takřka nasycená, jinak by se v ní nemohl rozpustit dostatek NH_3 při amoniakalizaci. [1], [3]

Pálení vápna a příprava vápenného mléka

Důležitým krokem Solvayova postupu je příprava vápenného mléka, následně využitelného při regeneraci amoniaku. Pálením čistého vápence se připravuje oxid vápenatý a oxid uhličitý. Směs tvořená kusovým vápencem a koksem v hmotnostním poměru 10 : 1 je navedena do šachtové pece (Obrázek 7), kde je zachovávána teplota kolem 1100 °C díky hoření koksu. Při této teplotě dochází k rychlému tepelnému rozkladu vápence na CaO . Po vypálení klesne váha vápence o 40 %, ale objem jednotlivých částí zůstává dodržen, takže vzniklé vápno je pórovitého tvaru, a díky tomu může dostatečně reagovat s vodou. Pokud by přesáhla teplota pálení 1200 °C, získali bychom tzv. tvrdě pálené vápno, které je na povrchu slinuté a s vodou by k reakci vůbec nedocházelo nebo pouze částečně a pomalu. Na výrobu 1 t sody je potřeba 1,1 – 1,2 t vápence. [1]

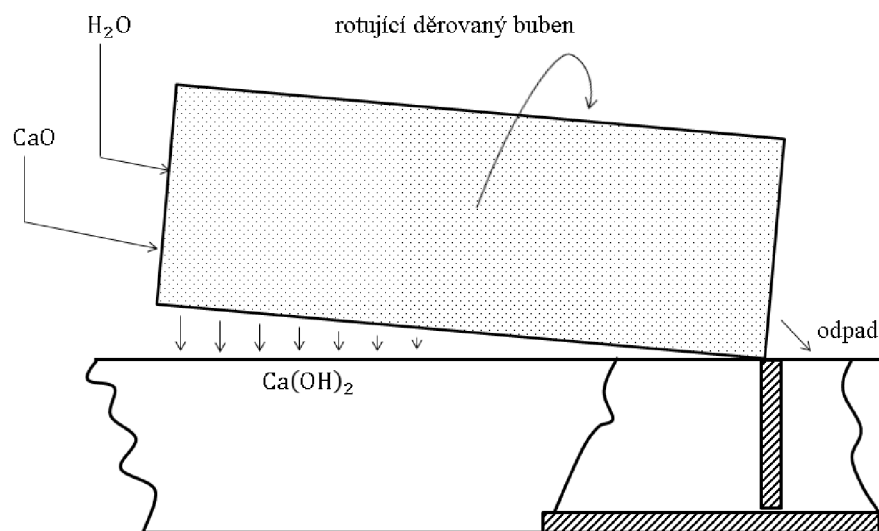
Z šachtové pece dochází k úniku horkého zaprášeného plynu, který obsahuje zhruba 40 % CO_2 . Nízká koncentrace CO_2 je zapříčiněna vedením vzduchu do spodní části pece, což zprostředkovává hoření koksu, ale zředí produkující CO_2 dusíkem. Promýváním vodou ve zkrápěné náplňové koloně dochází k ochlazení plynu a zbavení prachu. Před zavedením do karbonatační kolony je plyn stlačen. Pouze část vzniklého CO_2 pálením vápna je spotřebována pro výrobu sody, zbylá část je vypuštěna do atmosféry. [1]



1 – dávkování koksu a vápence; 2 – dvojitý závěr; 3 – zóna hoření; 4 – vynášecí šroub; 5 – odvod vypáleného vápna; 6 – odvod plynů

Obrázek 7: Pec na pálení vápna [3]

V jenně skloněném rotačním válci je pálené vápno míseno s teplou vodou o teplotě 50 °C, kde dochází k „hašení“ (Obrázek 8) za produkce $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Hustá suspenze $\text{Ca}(\text{OH})_2$ odtéká z rotačního válce přes síť, která zachycuje nevypálené části a nečistoty, do sběrné nádrže. [1]

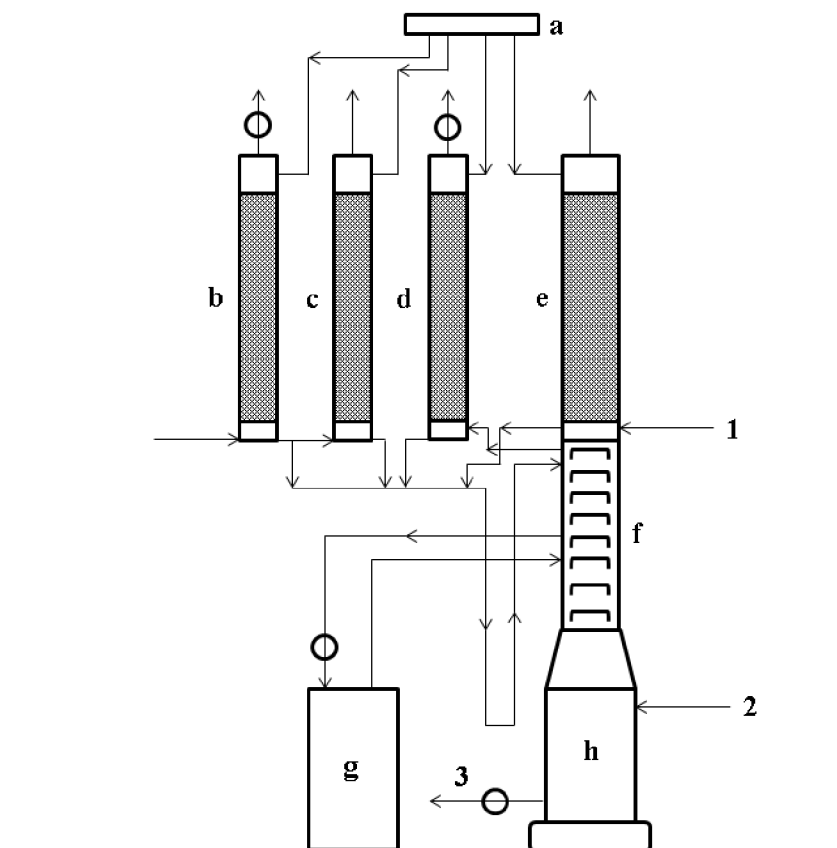


Obrázek 8: Mokrý hašení vápna [3]

Sycení solanky amoniakem (amoniakalizace solanky)

Před vstupem do absorpční kolony vtéká studená vyčištěná solanka na pračky koncových plynů přicházejících z kalcinace, filtrace a absorpce, aby došlo k odstranění zbytků amoniaku, než dojde k vypuštění plynů do atmosféry. Pračka slouží jako absorbér, který je patrový nebo sypaný Rashigovými kroužky. Následně je solanka přivedena na hlavu absorpční kolony, obvykle o výšce 30 m a 2 m v průměru, kde dochází k sycení solanky amoniakem (tzv. amoniakalizace solanky). [1]

Absorpční kolona (Obrázek 9) je zpravidla vybavena vnitřní vestavbou (patry), která zaručuje intenzivní kontakt mezi fázemi. Plyn z regenerace amoniaku, který obsahuje amoniak, vodní páru a CO_2 , je přiváděn do spodní části kolony. Kondenzačním teplem par vody a absorpčním teplem dochází k ohřívání procházející solanky kolonou. Teplotu solanky je ovšem nezbytné zachovat okolo $50\text{ }^\circ\text{C}$. V případě vyšší teploty by došlo ke snížení absorpční schopnosti solanky a nebylo by možné získat potřebné koncentrace rozpuštěného amoniaku. Při nízké teplotě by bylo absorbováno více CO_2 , z roztoku by vznikl krystalický NH_4HCO_3 , který způsobuje zablokování pater kolony a následně zhoršení jejího fungování. Z těchto důvodů se asi v půlce výšky kolony solanka odvádí do trubkového chladiče, který je situován mimo kolonu, a po ochlazení vodou na $25 - 30\text{ }^\circ\text{C}$ je navracena na nadcházející níže položené patro. [1], [3]



a – rozdělovač solanky; b, c, d – pračky odplynů z kalcinace, filtrace odplynů z karbonatace; f – absorpční kolona; g – amoniakalizace; g – chladič; h – reservoár; 1 – plyn z karbonatace; 2 – plyn z regenerace; 3 – amoniakalizovaná solanka

Obrázek 9: Amoniakalizační kolona [1]

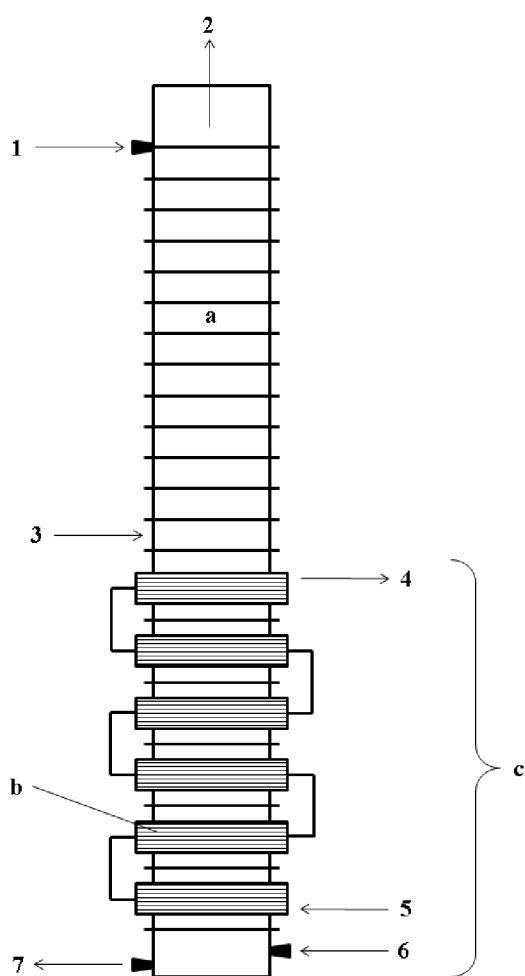
Karbonatace solanky a separace NaHCO_3

Klíčovým pochodem celé výroby je zavádění CO_2 do amoniakalizované solanky za vzniku hydrogenuhličitanu sodného, tzv. karbonatace. Provádí se v koloně (Obrázek 10) až 25 m vysoké a s průměrem 2 m, která se skládá ze dvou částí. Výplň kolony je v horní a spodní části odlišná. Vnitřní část kolony tvoří kloboučková patra (fasety). Horní část je vybavena děrovanými dny, které překrývají široký středový otvor konusu. Tato struktura nutí plyny probublávat skrz vrstvu kapaliny. V této horní části kolony probíhá značná část absorpce. Dolní část je vybavena vodními chladiči (Obrázek 11), které ochlazují reakčním teplem ohřátou kapalinu. [1], [3]

Kolona je opatřena vestavbou, která rozbíjí proud plynu na malé bublinky. Solanka o teplotě $30\text{ }^\circ\text{C}$ je přiváděna na kolonovou hlavu. Zředěný plyn z vápenky je přiváděn do prostřední části kolony a koncentrovaný plyn z kalcinace do spodní části kolony. Ve vrchní

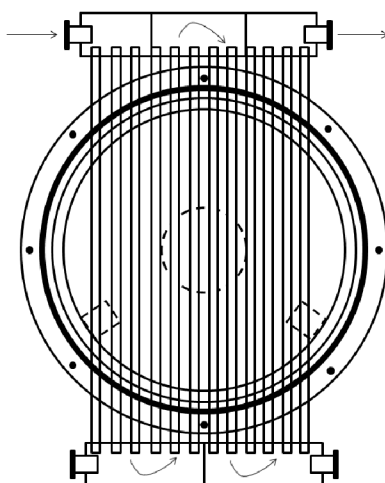
části kolony dochází k produkci drobných krystalků NaHCO_3 , které se v dolní části zvětšují, ale větší množství krystalků už nevzniká. Tento systém zaručuje produkci dostatečně velkých (okolo 0,1 mm), tedy snadno filtrovatelných krystalů. [1], [9]

Z karbonatační kolony je odvedena suspenze NaHCO_3 o teplotě 30 °C. Předtím než je kolonový odplyn vypuštěn do atmosféry, jsou z něj v absorbéru odstraněny zbytky amoniaku. Kolona je téměř celá vyplněna kapalinou, kterou probublává plyn. Proto je vnitřní část kolony postupně zanášena usazeninami NaHCO_3 , které je potřeba přibližně každé 4 dny odstraňovat. Z tohoto důvodu vlastní každý podnik několik karbonatačních kolon (zpravidla 5), ze kterých v jedné dochází k čištění a ostatní jsou ve výrobním chodu. [1]



a – patra kolony; b – chladiče; c – vlastní reakční zóna; 1 – přívod amoniakalizované solanky; 2 – odvod plynů; 3 – přívod zředěného CO_2 (z vápenky); 4 – odvod chladicí vody; 5 – přívod chladicí vody; 6 – přívod koncentrovaného CO_2 (z kalcinace); 7 – odvod reakčního produktu (suspenze NaHCO_3)

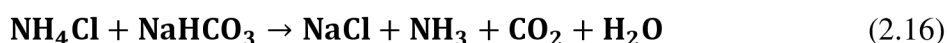
Obrázek 10: Karbonatační kolona [1], [3]



Obrázek 11: Detail chladiče karbonatační kolony [3]

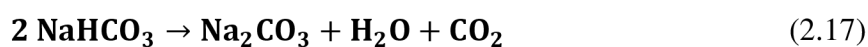
Filtrace a kalcinace

Ze suspenze, která je vypouštěna z paty kolony, je na odstředivkách nebo rotačních filtrech odseparován krystalický NaHCO_3 . Zbylý matečný roztok zachycený na krystalech je odstraněn promýváním vodou. Pro promývání se nepoužívá tvrdá voda obsahující hořečnaté nebo vápenaté ionty, které by v alkalickém prostředí vytvořily nerozpustné sraženiny, které by následně ucpávaly filtr. Díky promytí dochází ve filtračním koláči ke snížení množství chloridů (NaCl , NH_4Cl) až na 0,5 hm. %. NaHCO_3 zůstává obsažen v produktu a NH_4Cl reaguje při následující kalcinaci za produkce NaCl , který zůstane v produktu jako znečištění (2.16). [1], [3]



Filtrační koláč produkovaný rotačními filtry obsahuje přibližně 15 % vody, kdežto filtrační koláč z odstředivky pouze okolo 8 % vody.

Ke kalcinaci hydrogenuhličitanu dochází v rotační peci s průměrem 2,5 m, která je nepřímě vytápěná (skrz plášť) na 200 °C. Termický rozklad NaHCO_3 produkuje polovinu CO_2 , který je v hydrogenuhličitanu zadržen (2.17). [1]

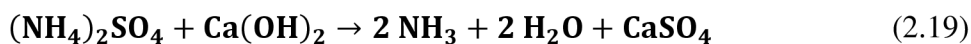
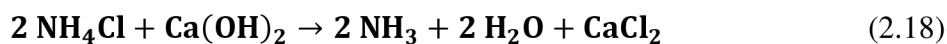


CO_2 je vrácen do procesu a druhá polovina je dodávána z pálení vápence. Z kalcinační pece odchází horký, zaprášený plyn obsahující CO_2 , malé množství NH_3 a velký obsah

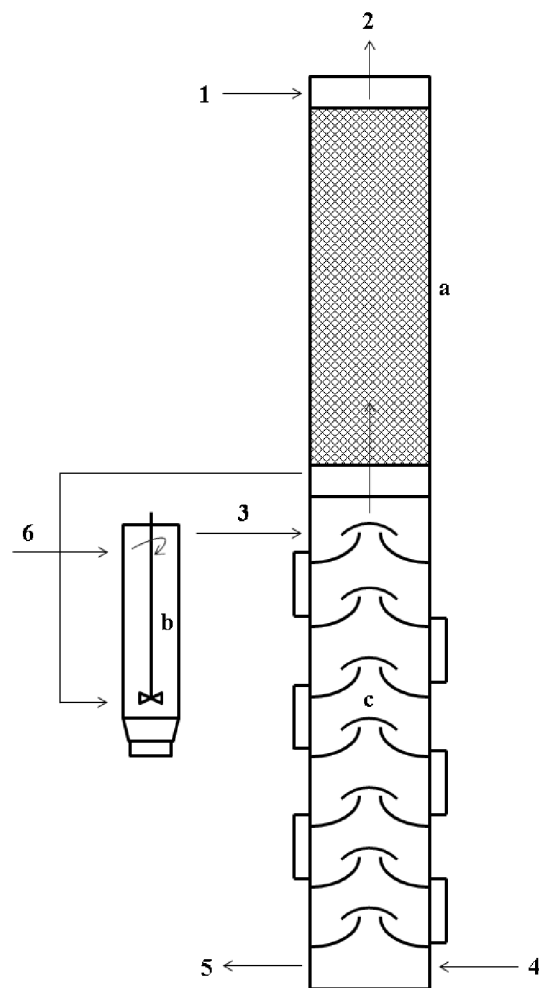
vodních par, které pocházejí jednak z reakce, ale také ze sušení mokrého NaHCO₃, který vstupuje do pece. Předtím než bude moci být plyn využit v karbonataci, musí dojít k odstranění prachu v cyklonech a k ochlazení pomocí sprchování vodou. [1]

Regenerace amoniaku

Po odstranění NaHCO₃ na rotačních filtrech obsahuje filtrát amoniak, který je vázán v podobě sloučenin (NH₄)₂CO₃, NH₄HCO₃, NH₄Cl a (NH₄)₂SO₄. Nejdříve je potřeba odstranění uhličitánů, které by mohly tvořit při vápnění nerozpustný uhličitán vápenatý. Odstranění uhličitánů se uskutečňuje ohříváním filtrátu na teplotu přibližně 90 °C, kde dochází k rozložení uhličitánů na NH₃, jehož část z roztoku vytěká, a CO₂, který z roztoku vytěká všechen. Přidávkem vápenného mléka dochází k rozkladu chloridu a síranu amonného (2.18), (2.19). [1]



Vzniklý NH₃ je poté z roztoku vydestilován. Plyn z regenerace se po ochlazení na teplotu 60 °C převádí do amoniakalizační kolony. [1]



a – vyvařovací kolona; b – vápnič; c – dna kolony; 1 – přívod louhů; 2 – amoniakové plyny; 3 – přívod suspenze; 4 – přívod páry; 5 – odpad vyvařených louhů; 6 – přívod vápenného mléka

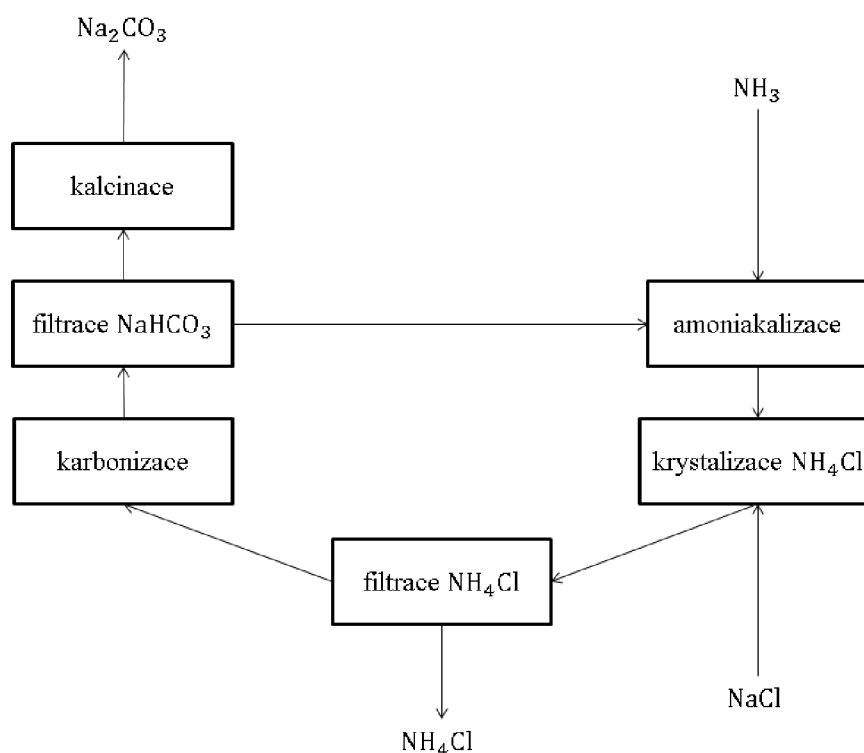
Obrázek 12: Regenerátor amoniaku [3]

Solvayovým postupem výroby sody je vytvářeno velké množství odpadních látek. Na 1 mol vyprodukované sody vznikne 1 mol CaCl_2 . Vstupující NaCl nachází využití jen ze 75 %, tudíž zbylých 25 % tvoří část odpadu. Všechny látky, které tvoří odpad výroby sody, jsou obsaženy v matečném roztoku po destilaci amoniaku. 1 l tohoto roztoku je tvořen 120 – 180 g CaCl_2 , 50 – 75 g NaCl , 1 – 2 g $\text{Ca}(\text{OH})_2$, 1 g CaSO_4 a 20 – 30 g suspendované pevné fáze. [1]

Odpařováním matečného roztoku lze oddělit CaCl_2 , který dále nachází využití jako posypová sůl k odstranění námrazy na pozemních komunikacích. Převážně je však matečný roztok značně naředěn vodou a vypuštěn z podniku, nebo je nejprve v sedimentačních lagunách zbaven pevných částí a poté je vyčeřený roztok vypuštěn. [1]

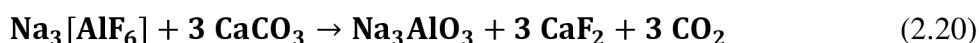
2.2.4 Modifikovaný Solvayův postup

Můžeme se setkat s mnoha obměnami Solvayova výrobního postupu, které jsou většinou založeny na současné výrobě sody a NH_4Cl . V Japonsku postrádají zdroj NaCl a zároveň se NH_4Cl využívá jako hnojivo na rýži. Proto je zde používán modifikovaný Solvayův proces. V tomto procesu není potřebná regenerace amoniaku, ani rozpouštění a čištění solanky. Pokud je k dispozici jiný zdroj CO_2 nevyžaduje ani vápenku. Množství vody, které je do procesu přiváděno při promývání pevných fází, nesmí přesahovat množství, které z procesu odchází odparem ve formě vlhkosti filtračních koláčů. [1]



2.2.5 Výroba sody z kryolitu

Komplexní sloučenina hexafluorohlinitan sodný neboli kryolit, chemickým vzorcem $\text{Na}_3[\text{AlF}_6]$, je minerál pocházející z Grónska, který patří mezi jednu z mála nerozpustných sloučenin v přírodě, která obsahuje značný obsah sodíku. Z kryolitu je možné žíháním s vápencem připravit hlinitan sodný, který je solí slabé kyseliny (2.20). [14]



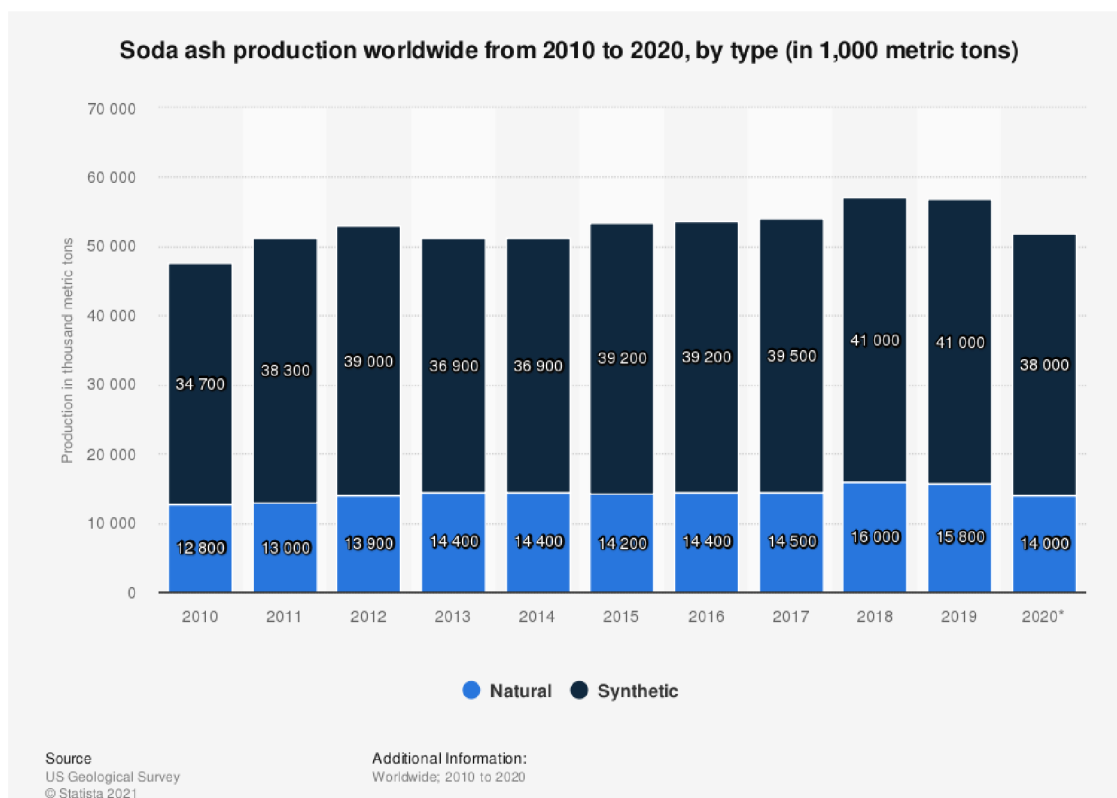
Vzniklá sůl se dá rozložit pomocí oxidu uhličitého ve vodě podle rovnice (2.21).



V tomto případě figuruje uhličitán sodný spíš jako vedlejší produkt výroby čistého hydroxidu hlinitého. Tento výrobní proces je ovšem závislý na dostupnosti kryolitu, což je jeden z důvodů, proč u nás nikdy nedošlo k prosazení této výroby. [14]

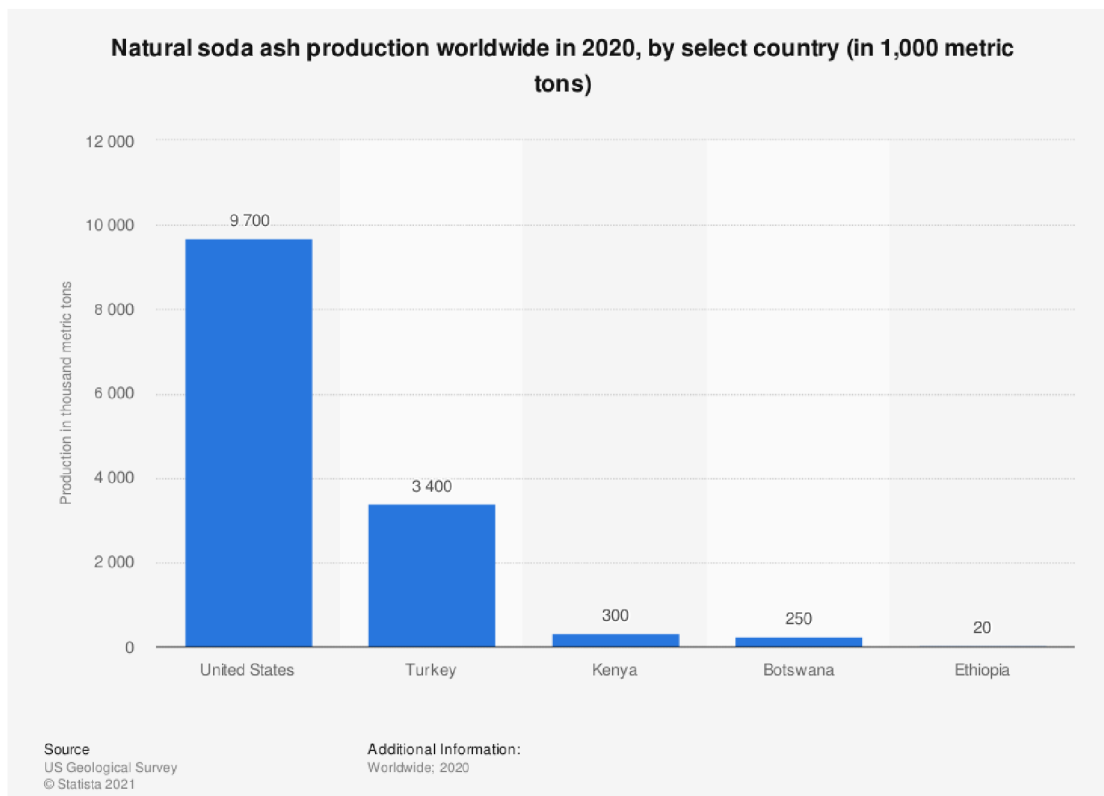
2.3 SOUČASNÉ ZPŮSOBY PRŮMYSLOVÉ VÝROBY SODY

Na obrázku (Obrázek 13) máme vyobrazenou celosvětovou produkci sody od roku 2010 do roku 2020. Produkce sody je v grafu rozdělena na přírodní a synteticky vyrobenou. V roce 2020 dosáhlo celkové celosvětové množství synteticky vyrobené sody odhadem 38 milionů metrických tun. [19]



Obrázek 13: Celosvětová produkce sody od roku 2010 do roku 2020 [19]

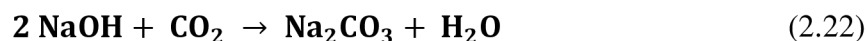
(Obrázek 14) zobrazuje celosvětovou produkci přírodní sody v roce 2020 podle vybraných zemí. V roce 2020 byly Spojené státy americké předním světovým producentem přírodní sody, kdy vyrobily kolem 9,7 milionů metrických tun. [20]



Obrázek 14: Celosvětová produkce přírodní sody v roce 2020 podle vybraných zemí [20]

2.3.1 Elektrolýza

V současné době soda již nepatří mezi významné suroviny pro výrobu NaOH. Potřebná soda se získává neutralizací vysoce čistého NaOH, který se dá velmi snadno vyrobit elektrolytickými ději, pomocí CO₂ (2.22). [21]



Principem elektrolýzy je pohyb iontů v kapalinách (roztocích nebo taveninách), při kterém dochází k předání elektrické energie tím, že kladné kationty putují ke katodě (záporně nabitá elektroda), kde přijímají elektrony a redukují se. Záporné anionty se pohybují ke kladně nabitě anodě, odevzdávají elektrony a oxidují se. [1], [14]

Elektrolýza solanky

Elektrolytický rozklad solanky, tj. obecně vodných roztoků chloridů alkalických kovů, vystihuje souhrnně rovnice (2.23). [9]



Elektrolýzu solanky lze provádět ve třech typech elektrolyzérů – amalgámový s pohyblivou rtuťovou elektrodou, diafragmový se železnou katodou, a membránový. Úroveň vyčištění použité solanky je závislá na použitém elektrolyzérovi. [9]

Amalgámová elektrolýza

Amalgámový elektrolyzér je složen ze slabě nakloněného ocelového žlabu, na jehož dně se nachází přibližně 0,5 cm silný film rtuti. Boční stěny žlabu jsou izolovány gumovou vrstvou. Žlab vystupuje jako katoda a nesmí přijít do přímého styku s elektrolytem. Na víko elektrolyzérovi jsou vestavěny svisle posunovatelné anody s celkovou plochou 10 – 30 m², na kterých se vyvíjí chlor. Anody se vyrábějí z elektrografitu nebo z titanu, který je pokrytý sloučeninami drahých kovů. Titanové anody jsou v současné době preferovány. Grafitové anody jsou znevýhodněny tím, že dochází k jejich rychlému opotřebování, při kterém vzniká CO₂ a grafitová zrna. [9]

Do amalgámového elektrolyzérovi je přiváděna přečištěná solanka při teplotě 75 °C, v kyselém prostředí (pH je přibližně 4), a probíhá elektrolýza, kterou definují následující rovnice (2.24), (2.25). [1], [9]

Reakce na rtuťové katodě:



Reakce na titanové anodě:



Vystupující solanka je nasycena chlorem a před zakoncentrováním musí dojít k dechloraci. Dechlorace je provedena ve vakuových věžích po okyselení HCl na pH 2 a následným provzdušněním tlakovým vzduchem. Než je solanka převedena do rozpouštěcích nádrží, alkalizuje se přidávkem louhu na pH 10. [9]

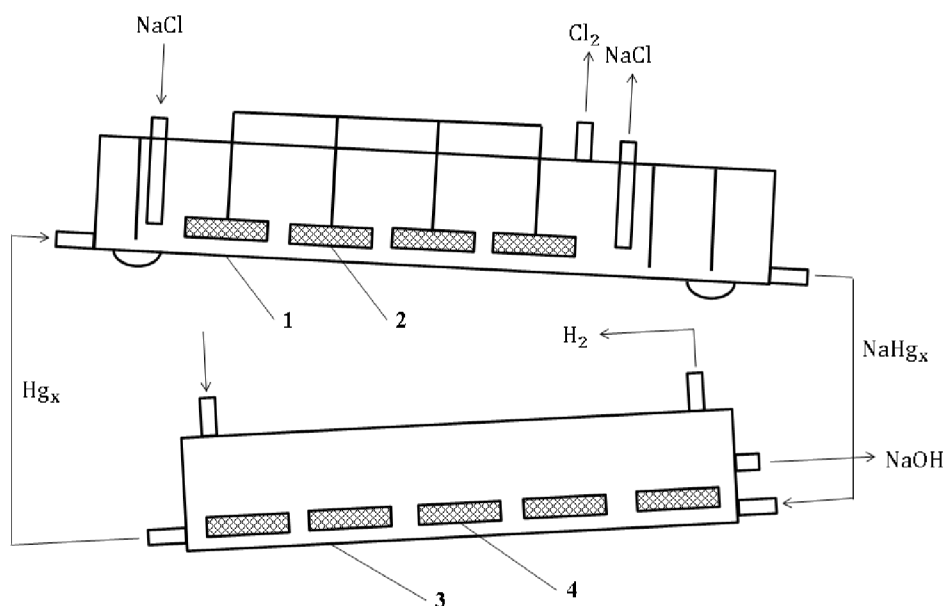
Nad hladinou solanky se hromadí vznikající chlor, který je odváděn na další zpracování. Chlor má teplotu kolem 80 °C, je nasycen vodní párou a obsahuje kapičky solanky. Proto musí dojít před jeho dalším použitím k ochlazení pomocí studené vody v protiproudé koloně a k vysušení ve výplňových kolonách, kde je zvlhčován koncentrovanou H₂SO₄. Dále je chlor zfiltrován na keramických filtrech, zkapalněn a poté předán k další distribuci. [9]

Na katodě vznikající sodík se rozpouští v rtuti a vzniká amalgam. Amalgam o obsahu sodíku 0,2 – 0,4 % vystupující z elektrolyzáru je po odseparování solanky převeden do rozkladače. Zde dochází k rozkladu amalgamu protiproudě přiváděnou demineralizovanou vodou (2.26) za pomoci grafitu, který je aktivován oxidem Fe, Co nebo Ni. V praxi se využívají horizontálně (rozkladné žlaby) (Obrázek 15) nebo vertikálně konstruované (rozkladné věže) rozkladače. [1], [9]



Uvolněná rtuť je přiváděna zpět do elektrolyzáru, vodík je odváděn a vzniklý velmi čistý vodný roztok NaOH s velmi nízkým obsahem chloridů se zahušťuje na roztok o požadované koncentraci, příp. na pevný NaOH. [1], [9]

Výhodou amalgámové elektrolyzy je přímá výroba 50% čistého vodného roztoku NaOH a produkce chloru. Nevýhody tkví ve větších investicích do čištění solanky a v nákladech na snížení rtuťových emisí. [9]



1 – vana elektrolyzáru; 2 – anoda; 3 – horizontální rozkladač; 4 – grafitový rošt

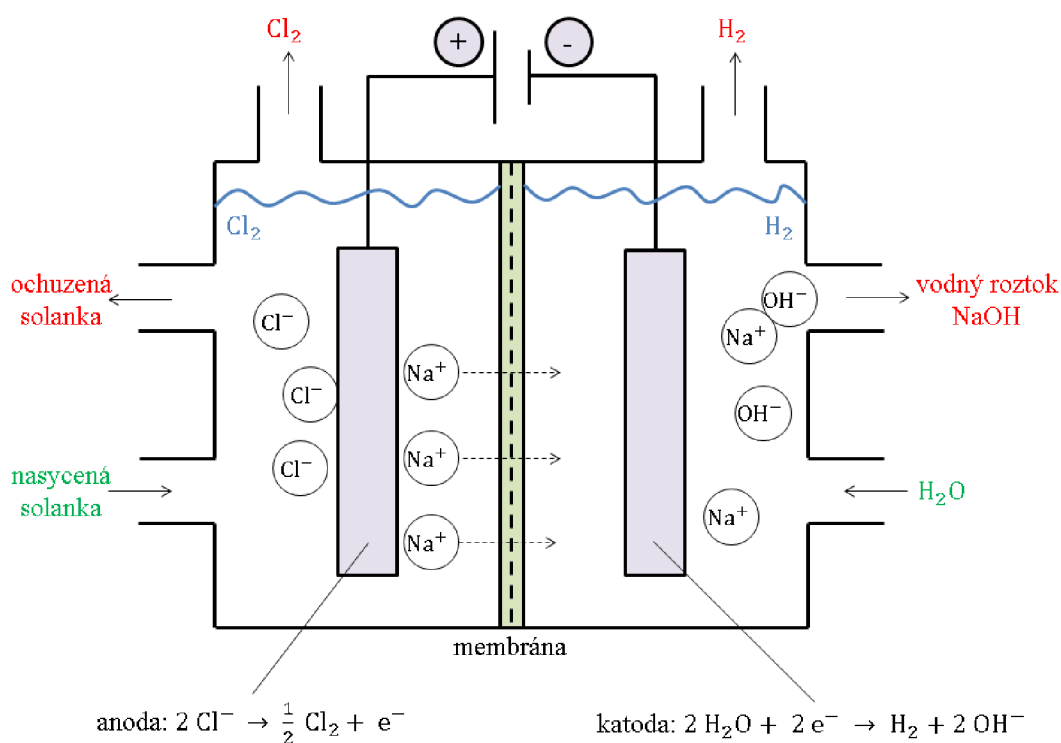
Obrázek 15: Amalgámový elektrolyzáru s horizontálním rozkladačem [1], [9], [14]

Membránová elektrolýza

Při membránové elektrolýze je katodový a anodový prostor oddělen iontoměničovou membránou, která je hydraulicky nepropustná, ale iontově propustná. V současné době jsou membrány tvořeny vrstvami, které obsahují kyseliny perfluorokarboxylové a perfluorosulfonové. Děje probíhající na elektrodách jsou stejné jako při diafragmové elektrolýze. Rozdíl od diafragmové elektrolýzy je v transportních dějích a propouštění pouze hydratovaných sodných iontů skrz membránu, které jsou přenášeny z anodového do katodového prostoru. [1], [9]

Katody jsou vyrobeny zpravidla z ocelového nebo niklového drátěného pletiva, anody jsou zhotoveny z aktivovaného titanu. Elektrody jsou vzdáleny 2 – 5 mm a elektrolyzátor je svou stavbou podobný tlakovému filtru. Koncentrace NaOH je v katodovém prostoru od 20 do 35 %. Jeho koncentrace ovšem závisí na typu membrány, která je použita. Membránová elektrolýza vyžaduje vysokou čistotu použité solanky. [9]

Výhodou membránové elektrolýzy je produkce čistého vodného roztoku NaOH s menší spotřebou elektrické energie než u amalgámové elektrolýzy. Nevýhodou jsou vysoké požadavky na čistotu solanky a nízká koncentrace NaOH. Výtěžek proudu ve srovnání s amalgámovou a diafragmovou elektrolýzou je přibližně o 5 % nižší. [9]



Obrázek 16: Membránový elektrolyzátor [1], [9], [14]

Diafragmová elektrolýza

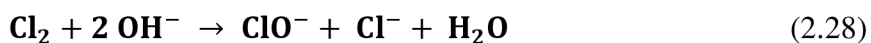
Diafragmový elektrolýzér se od amalgámového liší ve složení katody. Dalším rozdílem je oddělení anodového a katodového prostoru pomocí mikroporézní přepážky (diafragmy), jejíž funkcí je oddělení produktů elektrolýzy. [1], [9]

Solanka je přiváděna do anodového prostoru. Hlavní reakcí na anodě (grafitová nebo titanová) je vylučování chloru. Na železné (ocelové) katodě probíhá elektrolýza vody a vylučuje se vodík (2.27). [1], [9]



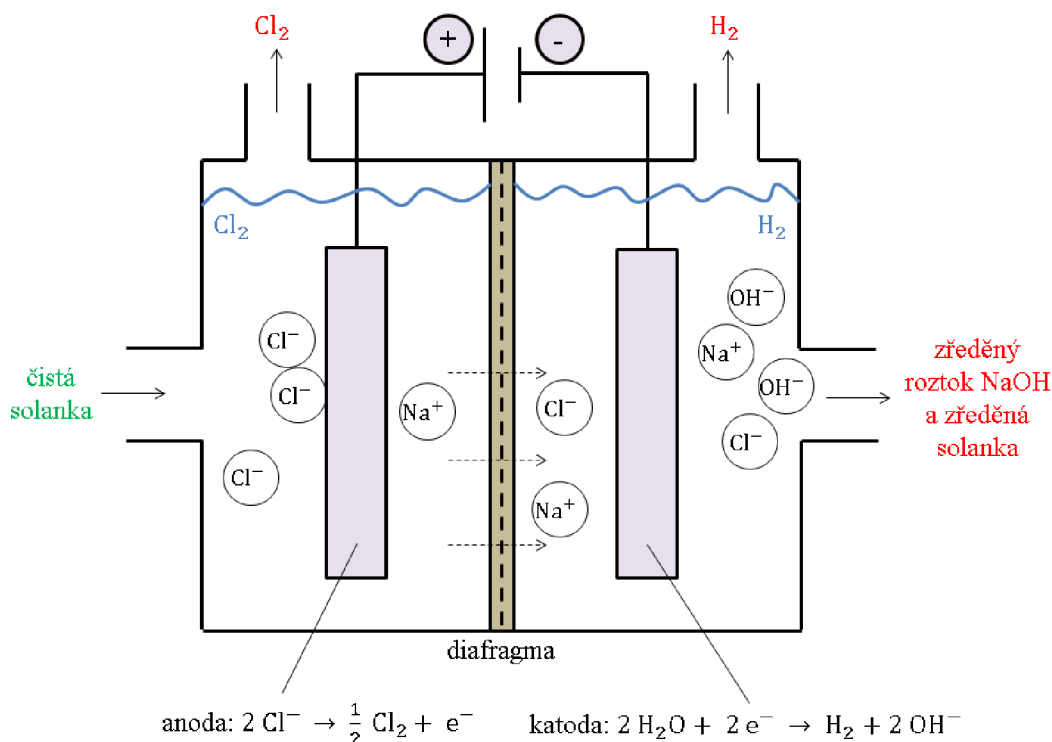
V prostoru okolo katody vzniká v elektrolytu katodový louh, který je znečištěn zbylou solí. Louh se zkoncentrovává odpařením vody ve vícečlenných vakuových odparkách, které jsou poháněny nuceným oběhem. [9]

Zároveň dochází k nežádoucí reakci, při které dochází k transportu OH^- iontů z katodového prostoru skrz diafragmu do anodového prostoru, kde reagují s rozpuštěným chlorem (2.28). Této negativní reakci je zabráněno průnikem solanky do katodového prostoru stejnou rychlostí, jakou se přesunují OH^- ionty. [1], [9]



Diafragmy byly v minulosti vyráběny z dlouhovláknitého azbestu, který byl navrstven na kovovou mřížku nebo z azbestové tkaniny zpevněné kovovými vlákny. Kvůli zdravotní závadnosti azbestu jsou membrány v současnosti tvořeny směsí 25% fluoropolymeru a 75% azbestu. [1]

Výhodou diafragmové elektrolýzy je možnost použití slabšího napětí svorky než u elektrolýzy amalgámové. Nevýhodou je výroba zředěného vodného roztoku NaOH, který je znečištěn solemi. [9]



Obrázek 17: Diafragmový elektrolyzér [1], [9], [14]

2.3.2 Výroba sody z trony

V roce 1937 byla nalezena ložiska minerálu s názvem trona, který má chemické složení $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{NaHCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Po druhé světové válce došlo k zavedení výroby sody z tohoto minerálu. Tento způsob výroby je velmi ohleduplný k životnímu prostředí, finančně málo náročný a poskytuje levný produkt. Výroba sody z trony je většinou využívána především v USA díky tomu, že zde mají velká naleziště, např. ve státu Wyoming. V Evropě a v Asii není dostatek ložisek trony, proto se tento způsob výroby nepoužívá. V celosvětové spotřebě sody zastupuje její výroba z trony přibližně 30 %. [1], [7]

Minerál trona se z 90 % skládá z $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{NaHCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, a zbytek je tvořen organickými látkami, chloridem sodným a minerály, které nejsou rozpustné ve vodě. Pomocí přímé kalcinace je možné dosáhnout pouze surové sody s čistotou 95 – 96 %, která se dále musí přecistit. Pro čištění se využívají 2 postupy – seskvikarbonátový a monohydrátový. [1], [7]

Seskvikarbonátový postup

Seskvikarbonátový postup je postaven na čištění trony pomocí krystalizace, která se poté kalcinuje na sodu. Během krystalizace dochází ke vzniku jehličkovitých krystalků podvojně soli uhličitanu sodného a hydrogenuhličitanu sodného, tzv. seskviuhličitanu sodného. Odtud vznikl název pro seskvikarbonátový postup čištění sody. [1], [7]

Monohdrátový postup

Běžněji je používán monohdrátový postup, ve kterém je trona nejprve převedena kalcinací na surovou sodu, ze které jsou poté odstraněny nečistoty. Nejprve dojde k rozdrčení vytěžené trony v drtičích, poté je rozdrčená trona tříděna na sítích. Podsítný podíl je přesouván do rotační pece, kde je při teplotě 300 °C kalcinován na surovou sodu. Poté dochází k rozpouštění kalcinátu ve vodě v řadě míchaných nádrží, a ze vzniklého roztoku jsou odděleny drsné částice a nerozpustné podíly v usazovacích. Ke zničení organických nečistot dochází na filtru, který je naplněn aktivním uhlím. Vyčištěný roztok je ponechán k odpařování v krystalizační odparce při teplotách nad 100 °C na suspenzi, která obsahuje 30 % tuhé fáze. Získaná suspenze je zahuštěna v hydrocyklonu, pevná fáze $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ je oddělena na odstředivce a matečný roztok je navrácen do odparky. Nakonec dojde k sušení mokrého filtračního koláče monohdrátu na bezvodý Na_2CO_3 . [1], [7]

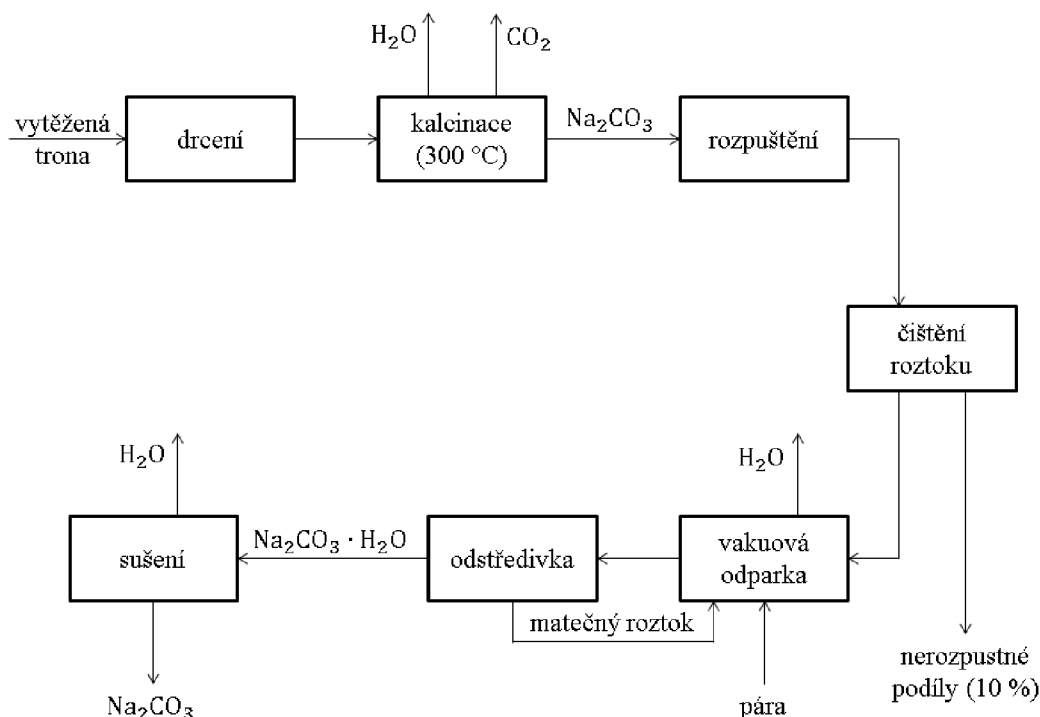


Schéma 4: Blokové schéma výroby sody z trony monohdrátovým postupem [1]

Monohydrátový postup produkuje tzv. těžkou sodu o sypané hmotnosti $1,1 \text{ kg}\cdot\text{dm}^{-3}$. Pro srovnání – Solvayovým postupem získáme tzv. lehkou sodu se sypanou hmotností asi $0,6 \text{ kg}\cdot\text{dm}^{-3}$. Vzhledem k nižším dopravním nákladům je těžká soda výhodnější než lehká soda, jelikož stejná hmotnost těžké sody obsadí jen poloviční objem v porovnání s lehkou sodou. Těžká soda také nepráší a snáze se mísí s jinými složkami, např. při přípravě sklářského kmene. [1], [7]

2.4 VÝROBA SODY NA ÚZEMÍ ČESKÉ REPUBLIKY

V polovině 19. století vznikly závody, které se podílely na rozvoji průmyslové výroby v Rakousku-Uhersku hlavně díky schopnostem využití možností Leblancova postupu. Mezi tyto podniky patřily Hrušovská továrna na sodu, Továrna na sodu v Petrovicích a Spolek pro chemickou a hutní výrobu v Ústí nad Labem. Ve všech těchto podnicích bylo dosaženo významných výsledků, a zejména ústecký závod byl za 50 let používání Leblancova postupu velkým přínosem pro českou chemii, ale také pro další průmyslové výroby. [13]

V současnosti je soda v České republice vyráběna pouze jako vedlejší produkt při výrobě fenolů ve společnosti DEZA, a.s. Valašské Meziříčí, a jako vedlejší produkt při výrobě buničiny v Lenzing Biocel Paskov, a.s. [22], [23]

2.4.1 Hrušovská továrna na sodu

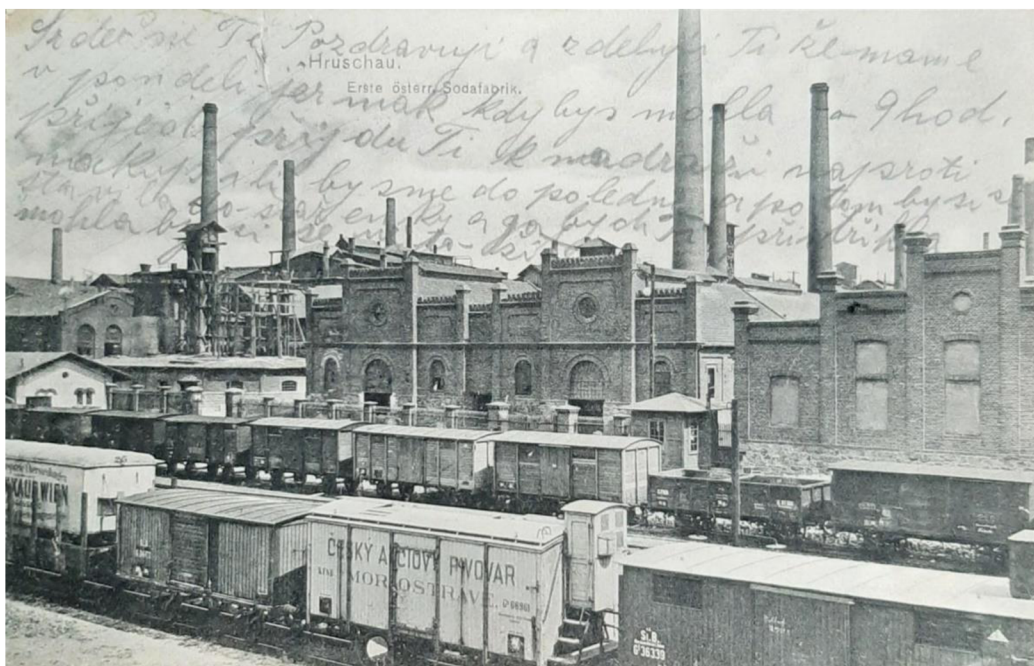
První továrna na sodu v Rakousku-Uhersku byla založena v roce 1850 Josefem M. Millerem z Aichholzu a Carlem Ch. Hochstatterem v ostravské části Hrušov, a provoz byl zahájen v roce 1851. Vedle továrny došlo k vybudování podniku na kameninové zboží. Hrušovský podnik byl prvním a nejvýznamnějším dodavatelem sody ze tří závodů v celé monarchii. [24], [25]

Ostravská lokalita byla vybrána kvůli blízkým dolům, protože na 1 t vyprodukované sody bylo potřeba zhruba 4 t uhlí. Dalším faktorem určujícím lokalitu, byla železniční stanice, která spojovala ostravský okrsek s Vídní. V blízkosti továrny se vyskytoval vodní tok, který sloužil jednak jako zdroj vody, ale také jako místo k odvodu odpadních vod. [24], [25]

V roce 1911 začala továrna spadat pod Spolek pro chemickou a hutní výrobu, který se chtěl věnovat výrobě anorganických kyselin a solí. S touto změnou bylo spojeno mnoho úprav a přestaveb továrny. Od této doby probíhal výrobní program bez větších změn. [24]

V roce 1997 přišla na továrnu ničivá povodeň, která způsobila nebezpečné znečištění půdy areálu, a došlo k velkému narušení statiky objektů. Poté následoval požár laboratoří, což

vedlo k úplnému zastavení výroby. Nevyužívaný areál hrušovské továrny byl odkoupen nejmenovanou společností, která demoličními pracemi zničila část historie města. [24], [25]



Obrázek 18: Historická pohlednice Hrušovské továrny na sodu [26]

2.4.2 Továrna na sodu v Petrovicích

Založení továrny na sodu hraběte Jana Larische-Mönnicha v Petrovicích u Karviné je datováno na rok 1852. Během několika měsíců bylo vybudováno několik budov a k nim patřičný komín, a fabrika hned poté začala prodávat chemikálie jako kalcinovanou sodu, kyselinu sírovou, kyselinu chlorovodíkovou a Glauberovu sůl. [27]

Po určité době se zvětšila poptávka po chemikáliích a bylo potřeba držet krok s moderními postupy tehdejší doby, proto se začaly vyrábět nové výrobky jako hydroxid sodný, chlorované vápno, krystalová voda, síran hořečnatý a superfosfát. Poté byla zavedena bezodpadová technologie výroby síry z odpadů sody. [27]

Po 47 letech se tovární výroba přesunula zejména na umělá hnojiva, a provoz podniku takhle pokračoval až do roku 1958. [28]



Obrázek 19: Historická pohlednice továrny na sodu v Petrovicích [29]

2.4.3 Tonaso Neštětice

Roku 1905 vybrala firma belgického vynálezce postupu výroby sody SOLVAY Neštětice u Ústí nad Labem jako místo pro založení fabriky na výrobu sody. Tuto oblast zvolili hlavně kvůli výhodnému umístění mezi vodním tokem Labe a železniční tratí, která spojovala Prahu a Drážďany. Tato levná vodní doprava byla využívána k dovážení surovin, zejména soli kamenné. [30], [31]

V roce 1907 byly vyvezeny první vyrobené tuny sody z továrny a na celých následujících 86 let se „SOLVAYKA“, později TOvárna NA SOdu stala monopolním producentem kalcinované sody do českých zemí i pozdějšího Československa. Soda nacházela největší využití ve sklářském průmyslu. [31]

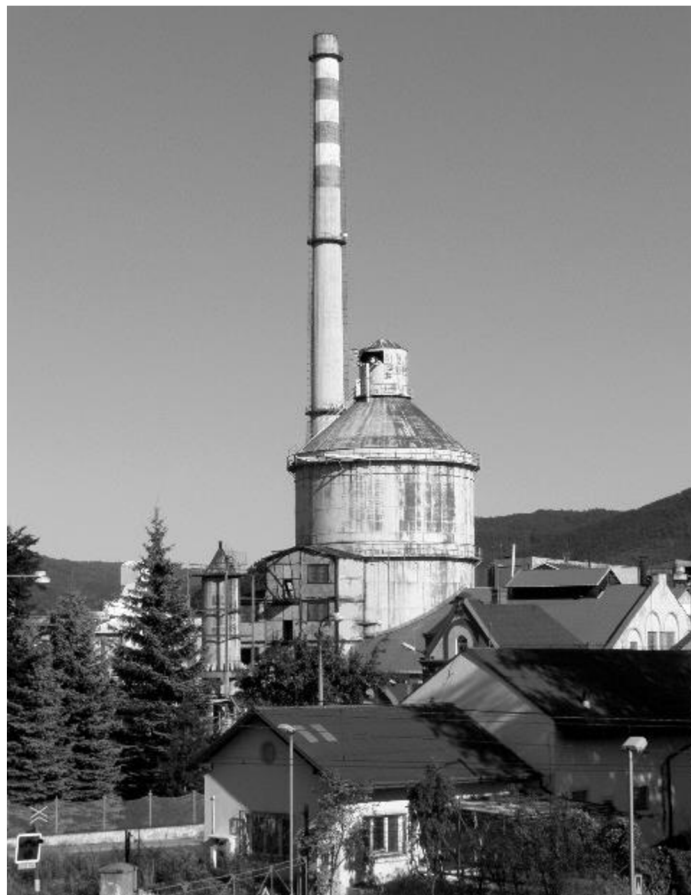
V roce 1921 došlo k vybudování továrny na srážený uhličitán vápenatý, který se začal vyrábět o rok později. Po překonání hospodářské krize, roku 1937, začal podnik vyrábět 30 vagónů sody denně. V průběhu 2. světové války byla výroba kontrolována Němci a zaměřovala se zejména na produkci uhličitánu sodného, hydroxidu sodného a sráženého uhličitánu vápenatého. [30], [31]

Po skončení války v roce 1945 byla továrna znárodněna a pojmenována jako Továrna na sodu, zkráceně Tonaso. Do konce 80. let se fabrika věnovala zejména výrobě sody (před válkou byla roční produkce 70 tisíc tun, kolem roku 1983 120 tisíc tun). Dále se věnovali

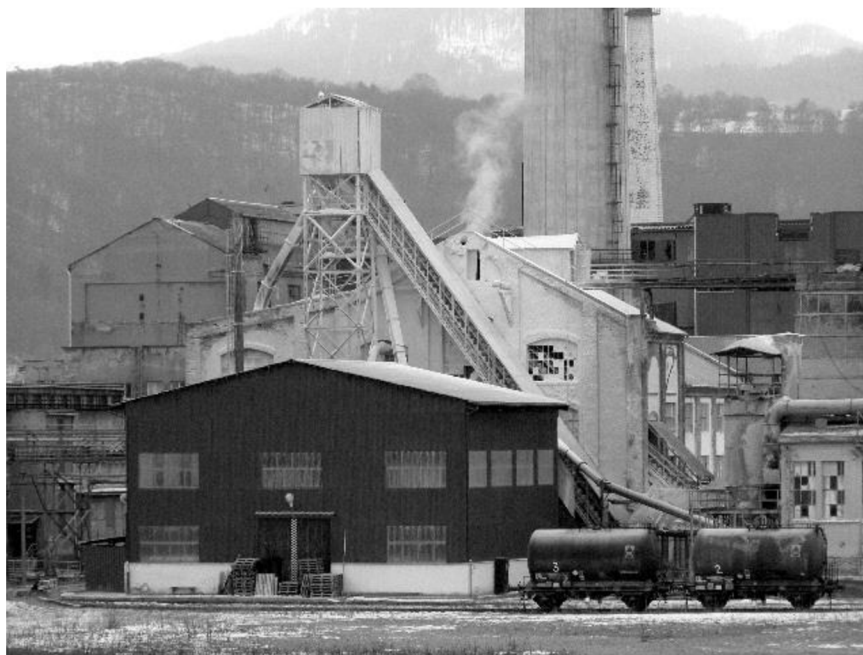
výrobě chloridu vápenatého, chromových solí, chloridu amonného, posypové soli a mořidel na dřevo. [30], [31]

Výroba sody byla ukončena v roce 1991 z důvodu nepříznivého vlivu na životní prostředí, špatného stavu výrobních objektů a technologických zařízení. V oblasti továrny vznikla Průmyslová zóna TONASO, ve které jsou využívány nynější plochy a objekty k podnikatelské činnosti. [30], [31]

V roce 2007 byla založena akciová společnost Vodní sklo, která se zabývá výrobou vodních skel, slévárenských poživ, ztekuovadel, sráženého uhličitanu vápenatého a chloridu vápenatého. Roku 2018 došlo k založení nové společnosti Tonaso Coatings, s. r. o., která se zaměřuje na produkci silikátových a antikoročních nátěrových hmot. [30], [31]



Obrázek 20: Tonaso Neštětice [30]



Obrázek 21: Tonaso Neštémice [30]

2.4.4 DEZA, a.s. Valašské Meziříčí

DEZA, a.s. Valašské Meziříčí, se věnuje zpracování černouhelného dehtu a surového benzolu, což jsou vedlejší produkty z koksování uhlí, ze kterých poté vyrábí velkou škálu produktů se širokým uplatněním. [22]

Ve společnosti DEZA vzniká uhličitán sodný jako vedlejší produkt při výrobě fenolů, konkrétně při reakci fenolátu sodného s vysokoprocentním oxidem uhličitým při tlaku 0,45 MPa v tzv. karbonatačních kolonách. Pro maximální využití CO_2 se k saturaci fenolátu sodného využívá systém 3 karbonatačních kolon v režimu protiproudého toku. Díky zvýšenému tlaku lze dosáhnout snadnějšího přesycení roztoku oxidem uhličitým, a následně i lepšího oddělení fenolů od vodní fáze sody.

V roztoku sody, vznikajícího v saturaci fenolátu sodného, je v následujícím kroku snižován obsah fenolů pomocí extrakce toluenem. Extrakce probíhá ve vibračním extraktoru, jehož součástí je soustava perforovaných pater s nastavitelnou amplitudou a frekvencí kmitů. V posledním výrobním kroku je roztok sody zahříván na teplotu 104 – 110 °C, přičemž dochází k rozkladu hydrogenuhličitanu sodného, odpaření zbytků fenolů a toluenu, a současnému zahuštění roztoku sody. Následně je roztok sody převeden do skladovacího zásobníku k dalšímu využití. Koncentrace uhličitánu sodného ve vyrobené sodě je v rozmezí 13 – 17 % a obsah hydrogenuhličitanu 2 – 6 %.

Měsíční produkce sody je velmi proměnlivá a je závislá na dostupnosti suroviny. V roce 2021 činila měsíční výroba v rozmezí 500 – 2200 t. Za celý rok 2021 vyrobila společnost DEZA 12724 t sody.

Vyrobenou sodu prodává společnost DEZA, a.s., do papírny, kde dochází k dalšímu chemickému využití. Její další komerční použití je ovšem relativně omezené, jelikož soda může obsahovat zbytky fenolů. Zbylý neprodaný podíl sody přepracuje DEZA reakcí s hydroxidem vápenatým na hydroxid sodný a uhličitan vápenatý. Hydroxid sodný je interně využíván pro výrobu fenolátu, a uhličitan vápenatý odchází v tomto případě jako odpad, který se externě likviduje. Aby bylo sníženo množství uhličitanu vápenatého k likvidaci, snaží se DEZA, co nejvíce sody prodat.

2.4.5 Lenzing Biocel Paskov, a.s.

Společnost Lenzing Biocel Paskov, a.s., se zabývá výrobou buničiny z přírodního materiálu dřeva. V moderní biorafinérii se vyrábí více než jedna čtvrtina buničiny, která je dále zpracována na vlákna v rámci skupiny Lenzing. Vedlejším produktem při výrobě buničiny jsou výluhy a soda. [23]

V průběhu kyslíkového delignikačního procesu je buničina v reaktoru vystavena působení kyslíku. Reakce se provádí za alkalických podmínek při zvýšeném tlaku a teplotách 90 – 105 °C. Konzistence látky se pohybuje v rozmezí 10 – 12 %. Pod tlakem dochází k přimíchávání kyslíku a středotlaké páry do látky a vytváří se stabilní suspenze látky a plynu v kapalinu. Lignin je odbourán oxidací a přechází ve výluhu do roztoku.

Sodný kotel je parní generátor, opatřen tavicí komorou, který přeměňuje sodík v sodném výluhu na sodu, která vzniká v kotli v podobě sodné taveniny a popílku. Protože hustý sodný výluh nehoří sám, musí být spalován s podpurným palivem např. zemním plynem nebo bioplynem. Pro dokonalé spálení je potřeba dodržovat teplotu plamene vyšší než 1000 °C. Díky tomu lze splnit emisní hodnoty, protože se organický podíl spálí na oxidační produkty CO₂ a H₂O. Je také nutné dbát na mezní teplotu tání sodné taveniny 851 °C.

Vyprodukovaná soda nedosahuje laboratorních kvalit z důvodu znečišťujících látek, které se do sodného výluhu dostávají z procesu praní a zušlechťování buničiny. Nežádoucí látky tvoří zejména sloučeniny síry v podobě síranů a siřičitanů.

Spálením sodného výluhu vznikají spaliny obsahující sodný popílek, které jsou dále vedeny kotelní jednotkou do sila popílku, které se nachází v prostorech budovy kotle. Sodný popílek je zpracován v granulační lince na těžkou sodu nebo může sloužit jako náplň do tzv.

„big-bagů“ o hmotnosti 750 nebo 900 kg. Tato soda slouží k prodeji a využívá se zejména v chemickém a sklářském průmyslu.

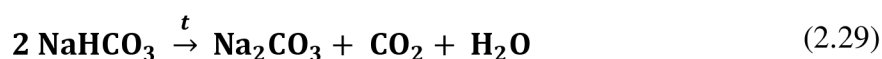
V důsledku vysokých teplot je část vzniklé sody ve spalovací komoře v kapalném skupenství. Dochází ke vzniku sodné taveniny, která stéká na dno komory, poté vytéká do rozpouštěcí nádrže, kde dochází k jejímu rozpouštění pomocí kondenzátu na sodný roztok. Část taveniny vytváří na stěnách komory usazeniny a strusky. Sodný roztok se využívá k neutralizaci v čistírně odpadních vod a k neutralizaci anaerobní čistírny při výrobě bioplynu.

Roční produkce sody ve společnosti Lenzing Biocel Paskov, a.s., se pohybuje okolo 11000 tun o průměrné kvalitě 88 %. Z tohoto množství asi 70 % je produkováno ve formě granulované sody.

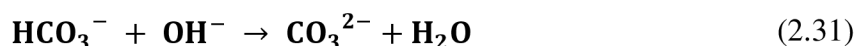
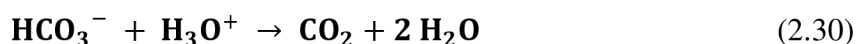
2.5 HYDROGENUHLIČITAN SODNÝ

2.5.1 Chemické vlastnosti jedlé sody

Hydrogenuhlíčitan sodný neboli jedlá soda tvoří shluky bezbarvých krystalků. Za normální teploty je na vzduchu stálý, ale v teplotním rozmezí 50 – 100 °C se rozkládá na uhličitán sodný za uvolnění H₂O a CO₂ (2.29). [4], [8]



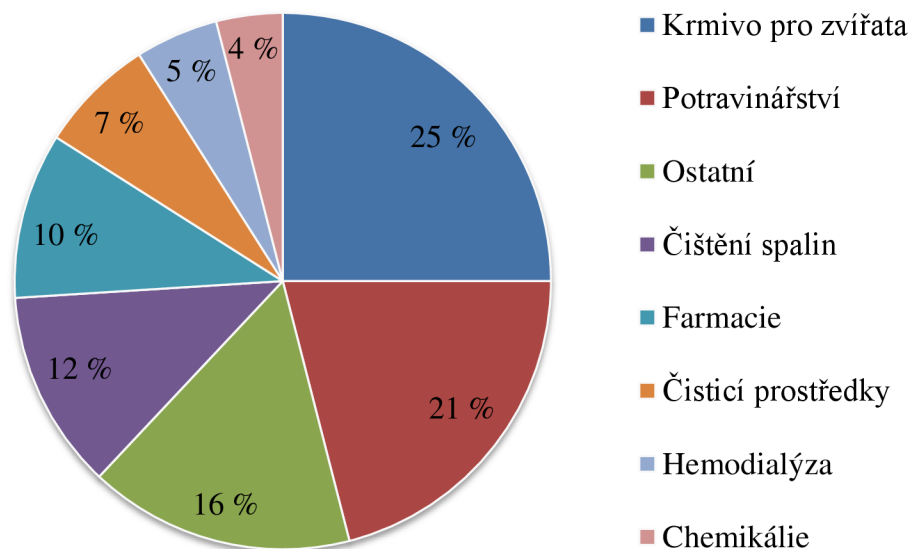
Hydrogenuhlíčitany reagují s kyselinami za tvorby CO₂ a H₂O (2.30), a s bázemi dávají uhličitánový anion (2.31). [2]



2.5.2 Využití jedlé sody

Hydrogenuhlíčitan sodný nachází v celosvětovém měřítku největší využití, přibližně 25 %, jako krmivo pro dobytek. 20 % se používá jako „jedlá soda“ v potravinářském průmyslu, např. při výrobě kypřících prášků do pečiva. Zde se musí s jedlou sodou zacházet v souladu se všemi potravinářskými normami. 10 % je využito pro čištění spalin a 7 % zahrnuje výrobu čistících prostředků a detergentů. Dále je používán v gumárenství a při

výrobě chemikálií. Uplatnění také nachází jako šumivá složka ve výrobě léčiv, hasicích přístrojů, dále také v papírenství, textilním a kožedělném průmyslu. [10], [32], [33]



Obrázek 22: Využití hydrogenuhličitanu sodného [34], [35]

2.5.3 Výroba jedlé sody

NaHCO_3 se v přírodě vyskytuje např. jako minerál nahkolit v rozšířených nalezištích v USA. Průmyslově se dá vyrobit (kromě Solvayova postupu) zaváděním CO_2 do roztoku Na_2CO_3 nebo rozpouštěním trony ve vodě, která je nasycená oxidem uhličitým. [10], [32]

Hydrogenuhličitan sodný, v technické praxi označovaný jako bikarbonát, je sice meziproduktem průmyslové výroby sody, ale v této podobě je velmi znečištěný. Za znečištění je zodpovědný zbývající hydrogenuhličitan amonný, který sice při následném zpracování na sodu nepřekáží, ale je příčinou amoniakálního zápachu technického bikarbonátu. K výrobě čistého produktu se využívá hotová soda a to ze dvou důvodů:

- Sušení surového bikarbonátu je náročné kvůli jeho tendenci se seskupovat. Navíc při sušení dochází rozkladem uhličitanu amonného ke vzniku amoniaku ve velmi zředěné formě, než aby bylo výhodné ho zadržovat.
- V případě přímého zpracování surového bikarbonátu by došlo k přechodu všech netěkavých nečistot do koncového produktu. [3]

Nejvýhodnějším způsobem je využití vzniku krystalického produktu při karbonataci roztoku sody plynným oxidem uhličitým. Nejprve musí být soda rozpuštěna a poté zbavena nečistot filtrací nebo sedimentací. Roztok, který je zbaven znečištění, je přenesen do karbonatační kolony, která je sice menší než kolona na výrobu sody, ale strukturou obdobná. Ke karbonataci je využíván oxid uhličitý z vápenky o koncentraci asi 40 %. Reakce nemusí být chlazena, protože je méně exotermická než při karbonataci amoniakální solanky. [3]

Z produktu je odstraněna voda pomocí filtrace a následné centrifugace. Sušení je nutné provádět při nízké teplotě v tenké vrstvě nebo kratší čas při relativně vysoké teplotě, aby bylo zamezeno rozkladu bikarbonátu při sušení. První způsob je realizován dávkováním bikarbonátu na nekonečný pás v tenké vrstvě. Pás je uspořádán do několika vrstev nad sebou a prochází sušárnou, která je přímo vytápěna horkým vzduchem. Druhý způsob se jeví jako šetrnější, protože práškový materiál je prouděním horkého vzduchu vypouštěn do svislé trubky a poté přenášen do cyklonu, kde se od něho separuje. Vyrobený bikarbonát má neobvykle vysokou čistotu až 99,9 %. Z tohoto důvodu je v analytice doporučován jako standard alkalinity. [3]

3 PRAKTICKÁ ČÁST

3.1 NÁVRH ČÁSTI WEBU „CHEMIE ŽIJE!“

Pro návrh vzhledu webových stránek CHEMIE ŽIJE! jsem se inspirovala zejména v internetových databankách chemických pokusů – Pokusnice, Internetová video-databáze chemických pokusů, Studium chemie (Chemické pokusy). Následně jsem v programu Microsoft Word navrhla vzhled webových stránek, který poté dle mého požadavku zpracoval tvůrce webových stránek pan Jakub Žák. [36], [37], [38]

3.1.1 Sekce Video

Nejprve jsem se věnovala sekci Video, kterou jsem chtěla udělat co nejvíce přehlednou. První myšlenkou bylo rozdělení podle aktuálních Rámcových vzdělávacích programů, ale to by obnášelo velké množství podkategorií. Nakonec jsem se rozhodla pro rozčlenění do 5 chemických podkategorií: Efektní pokusy, Laboratorní technika, Anorganická chemie, Organická chemie, Ostatní. Následně jsem navrhla rozložení pokusů, tak aby byly uvedeny základní informace o experimentu, konkrétně název, stručný úvod, náhledová fotografie, časová náročnost a věková kategorie.

Potom jsem přemýšlela, jak by mohla vypadat stránka jednotlivých experimentů. V centru stránky je vloženo video a po jeho bocích jsou rozloženy piktogramy o časové náročnosti a věkové kategorii (Obrázek 23), a bezpečnostní symboly. Piktogramy jsem navrhla a nechala nakreslit ve vektorové grafice.



Obrázek 23: Piktogramy o časové náročnosti a věkové kategorii

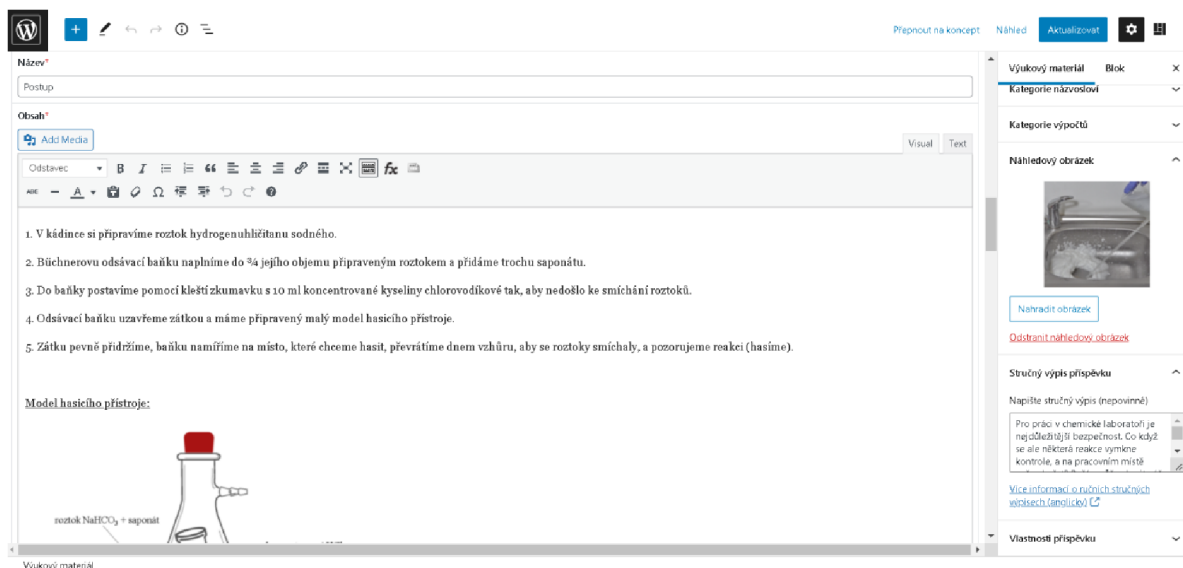
Další informace o pokusu jsou rozloženy v co nejpřehlednějším formátu. Pod videem je popsán princip experimentu, případně rovnice reakce. Dále stránka obsahuje 4 záložky: Postup, Pomůcky a chemikálie, Procvičování, Bezpečnost.

Záložka **Postup** obsahuje pracovní postup v bodech, případně poznámku týkající se doporučení nebo upozornění na nějaké nebezpečí. Záložka **Pomůcky a chemikálie** zahrnuje seznam pomůcek a chemikálií, které jsou k provedení experimentu potřeba. **Procvičování** obsahuje 3 otázky, které mají zopakovat, co se experimentem žák naučil. U každé otázky se nachází možnost zobrazení a skrytí řešení. Záložka **Bezpečnost** uvádí způsoby první pomoci, pokud dojde ke styku s danou chemikálií. Bezpečnostní pokyny jsou vypracovány podle bezpečnostních listů, které jsem vyhledala na webových stránkách. [39], [40], [41]

Tvůrce webových stránek pan Jakub Žák vytvořil podle mého návrhu šablonu pro zadávání pokusů ve WordPressu. Po vytvoření šablony jsem obdržela přihlašovací údaje k webovým stránkám, musela jsem se s WordPressem naučit pracovat a následně do něj vložit všech 10 experimentů, které jsem natočila a zpracovala.

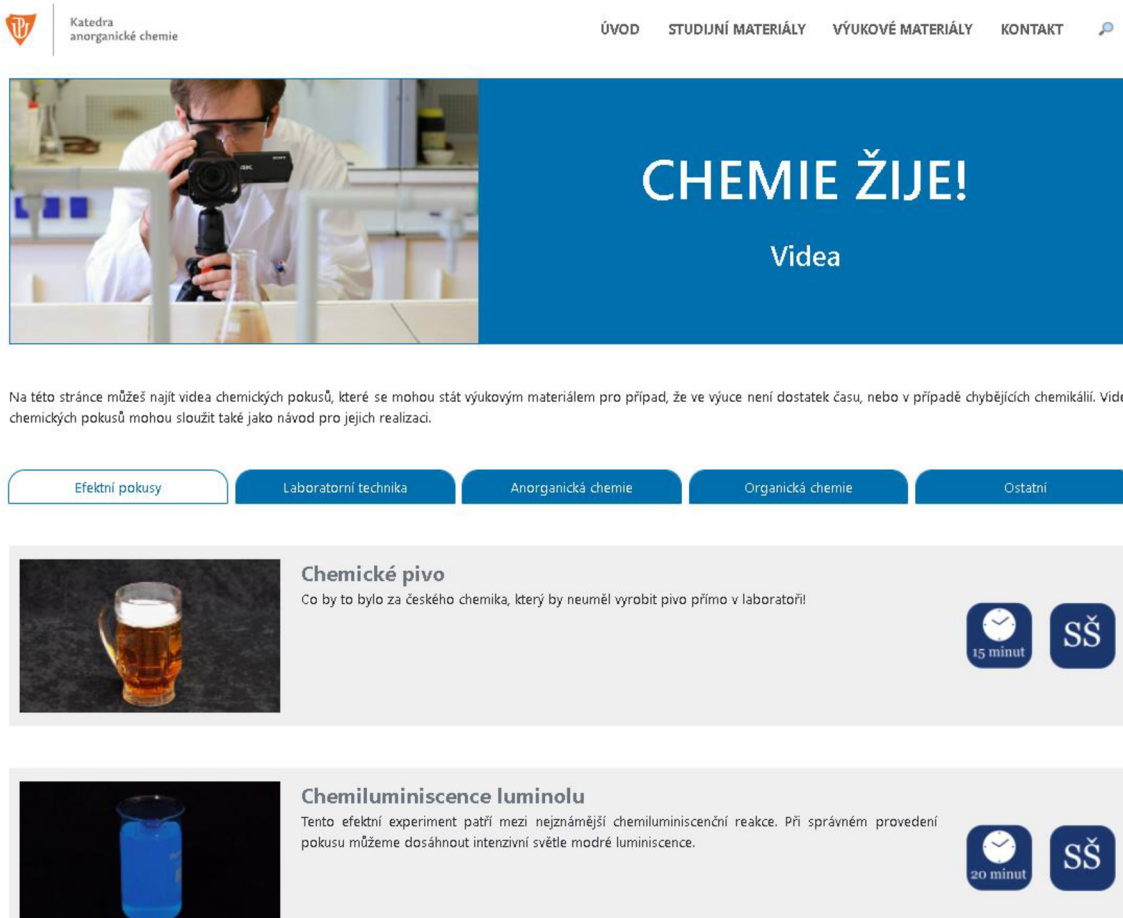
The screenshot shows the WordPress editor interface. The main content area displays the title "Hasicí přístroj" and a paragraph describing the experiment. Below the text is a chemical equation:
$$\text{NaHCO}_3(\text{aq}) + \text{HCl}(\text{aq}) \rightarrow \text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) + \text{NaCl}(\text{aq})$$
. There is also a section for a YouTube video link with the identifier "cLwS8LHQ84". The right sidebar is open to the "Výukový materiál" block settings, showing options for "Publikování" (Public), "Viditelnost" (Public), "Publikovat" (21. 2. 2022 18:38), "Autor" (Veronika Fiserová), and "5 verzí".

Obrázek 24: WordPress – šablona pro pokus Hasicí přístroj – 1. část



Obrázek 25: WordPress – šablona pro pokus Hasičský přístroj – 2. část

Kompletní realizace mého návrhu je vidět na webových stránkách: <https://www.chemiezije.upol.cz/kategorie-vyukovych-materialu/video/>.



Obrázek 26: Webové stránky CHEMIE ŽIJE! – sekce Videa

Po rozkliknutí stránky konkrétního experimentu je v centru vloženo video, které má po stranách piktogramy o časové náročnosti a věkové kategorii, a bezpečnostní symboly. Dále stránka obsahuje 4 záložky: Postup, Pomůcky a chemikálie, Procvičování, Bezpečnost. Tímto způsobem jsem do stránek vložila celkem 10 experimentů.



15 minut

ZŠ

Pokus je založen na reálném principu funkce pěnového hasičského přístroje. Při smíchání roztoku hydrogenuhličitanu sodného s kyselinou chlorovodíkovou dojde k rozkladu hydrogenuhličitanu sodného za silného vývoje oxidu uhličitého, který vytlačuje z baňky vodu promísenou se saponátem. Saponát spolu s vodou vystřikuje z odsávací baňky ve formě bohaté pěny.

Obrázek 27: Experiment Hasicí přístroj na webu CHEMIE ŽIJE! – 1. část



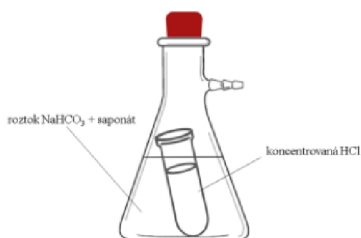
Pracovní listy

- Pracovní list (.docx) - žákovská verze
- Pracovní list (.docx) - učitelská verze
- Pracovní list (.pdf) - žákovská verze
- Pracovní list (.pdf) - učitelská verze



1. V kádince si připravíme roztok hydrogenuhličitanu sodného.
2. Büchnerovu odsávací baňku naplníme do ¾ jejího objemu připraveným roztokem a přidáme trochu saponátu.
3. Do baňky postavíme pomocí kleští zkumavku s 10 ml koncentrované kyseliny chlorovodíkové tak, aby nedošlo ke smíchání roztoků.
4. Odsávací baňku uzavřeme zátkou a máme připravený malý model hasičiho přístroje.
5. Zátku pevně přidržíme, baňku namíříme na místo, které chceme hasit, převrátíme dnem vzhůru, aby se roztoky smíchaly, a pozorujeme reakci (hasíme).

Model hasičiho přístroje:



Obrázek 28: Experiment Hasičí přístroj na webu CHEMIE ŽIJE! – 2. část

3.1.2 Sekce Průmyslová chemie

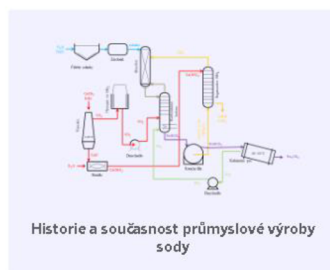
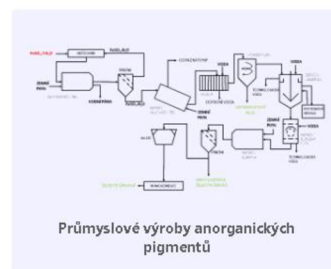
V sekci Průmyslová chemie (Obrázek 29), na webových stránkách CHEMIE ŽIJE!, jsem pro své téma vytvořila pole Historie a současnost průmyslové výroby sody (Obrázek 30), kde jsem vložila informace, které jsem zpracovala v rámci své teoretické rešerše. Sekci jsem rozdělila do 6 záložek: Úvod, Leblancův postup, Solvayův postup, Současné metody, Podniky na území ČR, Jedlá soda. Text jsem kopírovala z teoretické části své bakalářské práce. Bylo však zapotřebí provést několik změn. Musela jsem znovu vložit obrázky, vytvořit rovnice a správně je přečíslovat. Také jsem zde vložila technologická schémata, která jsem sama vytvořila. Poté bylo nutné vložit použitou literaturu a následně ji také přečíslovat. V posledním kroku jsem upravila text a všechny nadpisy tak, aby odpovídaly jednotnému stylu.

Realizace sekce Průmyslová chemie, oddíl Historie a současnost průmyslové výroby sody, je viditelná na webových stránkách: https://www.chemiezije.upol.cz/industry_field/slouceniny-chloru-sodiku-a-elektrochemicke-procesy/.



CHEMIE ŽIJE!

Průmyslová chemie



Obrázek 29: Webové stránky CHEMIE ŽIJE! – sekce Průmyslová chemie



CHEMIE ŽIJE!

Historie a současnost průmyslové výroby sody

Soda byla v minulosti velmi významnou chemickou surovinou, která nacházela využití v celé řadě oborů. Její důležitá podstata tkví zejména v jejích historických výrobních procesech, které v minulosti velmi prospěly rozvoji chemického průmyslu. V tomto textu se seznámíte s chemickými vlastnostmi a využitím sody, s historickým Leblancovým a Solvayovým postupem výroby a se současnými výrobními metodami. Následně Vás seznámíme s podniky, které v České republice sodu vyrábějí a dozvíte se také základní informace o jedlé sodě, jejím použitím a výrobě.

- Úvod
- Leblancův postup
- Solvayův postup
- Současné metody
- Podniky na území ČR
- Jedlá soda

Chemické vlastnosti sody

Bezvodý uhlíčitán sodný neboli soda, Na_2CO_3 , je bílý krystalický prášek dobře rozpustný ve vodě, na vzduchu stálý a mírně hygroskopický. Nad teplotu $300\text{ }^\circ\text{C}$ se termicky rozkládá za uvolňování CO_2 . Je to sůl slabé kyseliny a silné zásady, proto se projevuje ve vodném roztoku alkalicky v důsledku hydrolyzy anionu (1).^{1,2}



Na_2CO_3 je termicky stálý. Krystalizací vodného roztoku vzniká v teplotním rozmezí $0 - 32\text{ }^\circ\text{C}$ dekahydrát $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, v rozpětí $32 - 36\text{ }^\circ\text{C}$ heptahydrát $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, a do $100\text{ }^\circ\text{C}$ krystalizuje monohydrát $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Nad touto teplotou vzniká bezvodá soda Na_2CO_3 .^{1,3,4}

Obrázek 30: Historie a současnost průmyslové výroby sody na webu CHEMIE ŽIJE!

3.2 NATÁČENÍ EXPERIMENTŮ

V zadání bakalářské práce bylo vytvořit videozáznamy experimentů se sodou a jedlou sodou a zpracovat k experimentům vhodné pracovní listy, které jsem chtěla zaměřit tak, aby pokud možno vystihovaly problematiku pokusu v co největším rozsahu.

Při vyhledávání experimentů se sodou a jedlou sodou jsem vycházela zejména z literárních a internetových zdrojů. Největší oporou mi byly knihy a skripta s chemickými pokusy, které jsem si vypůjčovala od svých známých a bývalých vyučujících chemie, v Knihovně Univerzity Palackého v Olomouci, v Knihovně Přírodovědecké fakulty UP a ve Vědecké knihovně v Olomouci. Experimenty jsem vybírala tak, aby v nich soda nebo jedlá soda figurovaly jako důležité reaktanty, případně aby pokusy popisovaly jejich chemické vlastnosti. [42] – [59]

Natáčení chemických experimentů (Obrázek 31) se sodou a jedlou sodou probíhalo v kanceláři paní Mgr. Kamily Petrželové, Ph.D. za pomoci osvětlovací techniky Terronic Basic Hobby LED a digitální videokamery 4K FDR-AX700. K natáčení experimentů byly použity pomůcky a chemikálie, jejichž seznam je uveden na webových stránkách, a také v příloženém DVD.



Obrázek 31: Natáčení experimentů

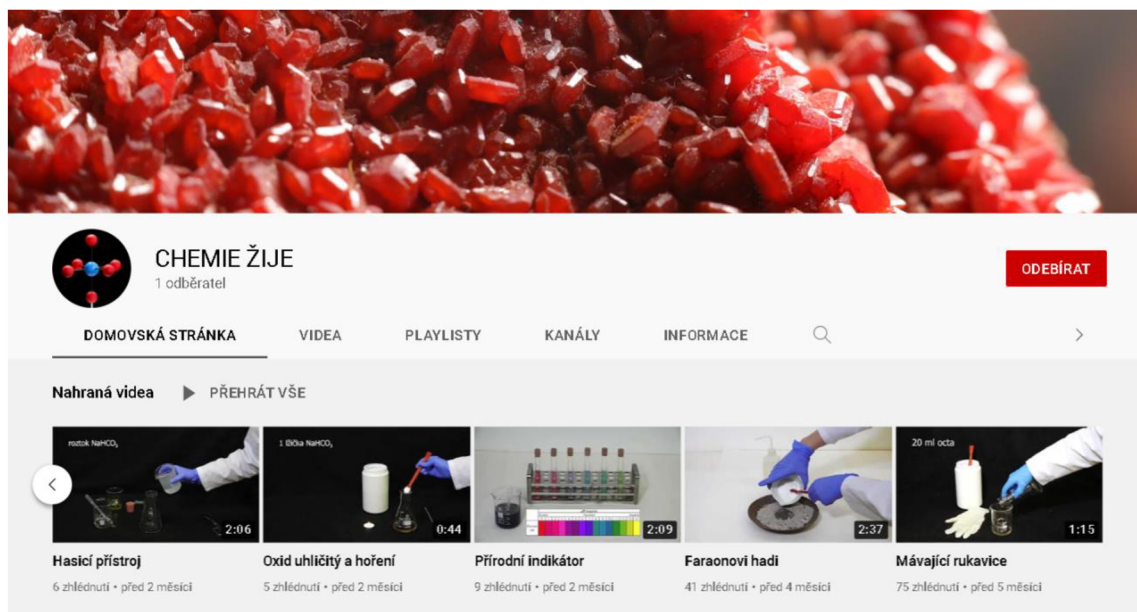
K natočeným videím jsem připravila návody k sestřihání, které obsahovaly doprovodné komentáře, popisky přidávaných chemikálií, některých úkonů, rovnice, případně obrázky. Tyto návody jsem následně společně s natočenými videi poslala panu Ondřeji Bohůnovi, který videa sestříhal do požadované podoby.

Pro webové stránky CHEMIE ŽIJE! jsem natočila celkem 10 krátkých experimentů, které jsou k nalezení na webových stránkách: <https://www.chemiezije.upol.cz/kategorie-vyukovych-materialu/videa/>, a jsou také součástí přiloženého DVD.

Seznam natočených experimentů

1. Faraónovi hadí
2. Hasicí přístroj
3. Chemické pivo
4. Chemiluminiscence luminolu
5. Lávová lampa
6. Mávající rukavice
7. Oxid uhličitý a hoření
8. Přírodní indikátor
9. Srážení mýdel
10. Tajné písmo

Pro ukládání natočených videí jsem se po konzultaci s vedoucí práce rozhodla založit YouTube kanál CHEMIE ŽIJE (Obrázek 32), ve kterém jsou videa zveřejněna pro širokou veřejnost. Odkaz ke každému videu je vložen k příslušnému pokusu na webové stránce.



Obrázek 32: YouTube kanál CHEMIE ŽIJE

Kompletní ukázkové zpracování jednoho experimentu Mávající rukavice je uvedeno v kapitole 3.2.1. Všechny ostatní podklady pro experimenty a také videozáznamy jsou součástí přílohy uložené na DVD, jež je nedílnou částí bakalářské práce. Videozáznamy jsou k nalezení na webových stránkách a také na YouTube kanálu CHEMIE ŽIJE.

3.2.1 Mávající rukavice

10 min; ZŠ; laboratoř, doma



(Úvod): Efektivní pokus Mávající rukavice je vhodný k odlehčení výuky. Pokus je založen na reakci látek dostupných v domácnosti, při které dochází k vývoji plynu a jeho přetlaku uvnitř rukavice.

(Princip): Ocet je zástupce kyselin a hydrogenuhličitan sodný (jedlá soda) je sůl slabé kyseliny a silné zásady, proto se projevuje alkalicky. Po smíchání octa s hydrogenuhličitanem sodným dojde k reakci, při které vzniká octan sodný, voda a plyn oxid uhličitý, který vzhledem k okolnímu tlaku zapříčiní uvnitř rukavice přetlak, a proto se rukavice nafoukne.

Rovnice:



A) Postup

1. V odměrném válci odměříme 20 ml octa.
2. Ocet nalejeme do kádinky.
3. Do rukavice nasypeme 4 lžičky hydrogenuhličitanu sodného.
4. Rukavici natáhneme přes okraj kádinky.
5. Narovnáme rukavici do svislé polohy a vysypeme její obsah do kádinky.
6. Po chvíli dojde k nafouknutí rukavice. Kádinkou můžeme případně zakroužit, aby došlo k řádnému promíchání octa a hydrogenuhličitanu sodného.

Poznámka: Pokus lze také realizovat s lahví a nafukovacím balónkem.

B) Pomůcky a chemikálie

Pomůcky:

- Odměrný válec
- Kádinka
- Lžička
- Chirurgická rukavice

Chemikálie:

- Ocet (8% roztok kyseliny octové CH_3COOH)
- Hydrogenuhličitan sodný NaHCO_3

C) Procvičování

1. Jaký je chemický název jedlé sody? Hydrogenuhličitan sodný
2. Jaký plyn vzniká při pokusu Mávající rukavice? Zkus napsat všechno, co o něm víš.
Oxid uhličitý – bezbarvý plyn, který vydechujeme, bez zápachu, rostliny ho přijímají v procesu fotosyntéza, při kterém vytvářejí kyslík atd.
3. Napiš rovnici reakce a pojmenuj reaktanty a produkty této chemické reakce.
 $\text{NaHCO}_3 + \text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow \text{CH}_3\text{COONa} + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$; hydrogenuhličitan sodný + kyselina octová → octan sodný + voda + oxid uhličitý

D) Bezpečnost

Hydrogenuhličitan sodný:

Při nadýchání dopravte postiženou osobu na čerstvý vzduch.

Při styku s kůží opláchněte postižené místo velkým množstvím vlažné vody.

Při zasažení očí je, několik minut, vyplachujte tekoucí vodou směrem od vnitřního koutku k vnějšímu. Pokud má postižená osoba kontaktní čočky, okamžitě je vyjměte.

Při požití nevyvolávejte zvracení, vypláchněte ústa vodou.

Kyselina octová:

Ocet je vodný roztok kyseliny octové v nejčastější koncentraci 8 %.

Kyselina octová 25%:



Při nadýchání dopravte postiženou osobu na čerstvý vzduch.

Při styku s kůží opláchněte postižené místo velkým množstvím vody. Je nezbytně nutná okamžitá lékařská pomoc, jelikož neošetřené poleptání kůže způsobuje poranění, které se těžce hojí.

Při zasažení očí je vymývejte tekoucí vodou po dobu 10 – 15 minut a vyhledejte očního lékaře.

Při požití okamžitě vypláchněte ústa vodou a vypijte hodně vody. Ihned volejte lékaře. Po požití hrozí nebezpečí perforace jícnu a žaludku.

V případech pochybností nebo přetrvávajících příznaků vyhledejte lékařskou pomoc.

3.3 PRACOVNÍ LISTY

Ke každému, z 10 natočených experimentů, jsem vypracovala pracovní list, který je vytvořen tak, aby pokud možno vystihl problematiku pokusu v největším rozsahu. Pracovní listy jsou vytvořeny ve 2 formách. Jednu formu tvoří žákovská verze, a druhou zahrnuje verze pro učitele, která je doplněna o správné odpovědi a návrh bodového ohodnocení jednotlivých cvičení. V učitelské verzi jsou také navrženy 2 způsoby vyhodnocení pracovního listu.

Kompletní ukázkové zpracování jednoho pracovního listu (žákovské a učitelské verze) experimentu Mávající rukavice je uvedeno v kapitole 3.3.1 a 3.3.2. Všechny ostatní pracovní listy jsou součástí přílohy uložené na DVD, jež je nedílnou částí bakalářské práce, a také jsou k nalezení na webových stránkách CHEMIE ŽIJE!, kde jsou pro zájemce ke stažení.

3.3.1 Mávající rukavice – žákovská verze

JMÉNO:

HODNOCENÍ:

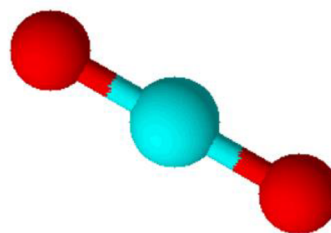
PRACOVNÍ LIST – MÁVAJÍCÍ RUKAVICE

Úkol č. 1 Bud', anebo

4 body

Označ správné tvrzení:

Oxid uhličitý je *bezbarvý/namodralý* plyn *zapáchající po zkažených vejcích/bez zápachu*, který *vydechujeme/nadechujeme*. Používá se jako náplň do sněhových hasicích přístrojů a jako *suchý/vlhký* led, který má využití jako chladivo.



Úkol č. 2 Vzorečky

2 body

Kyselina octová má systematické označení kyselina ethanová. Napiš její strukturní a funkční vzorec:

Úkol č. 3 Ze života

2 body

V pokusu jsme použili ocet a jedlou sodu, což jsou látky běžně používané v domácnosti. Ke každé látce napiš alespoň jedno její využití v domácnosti:

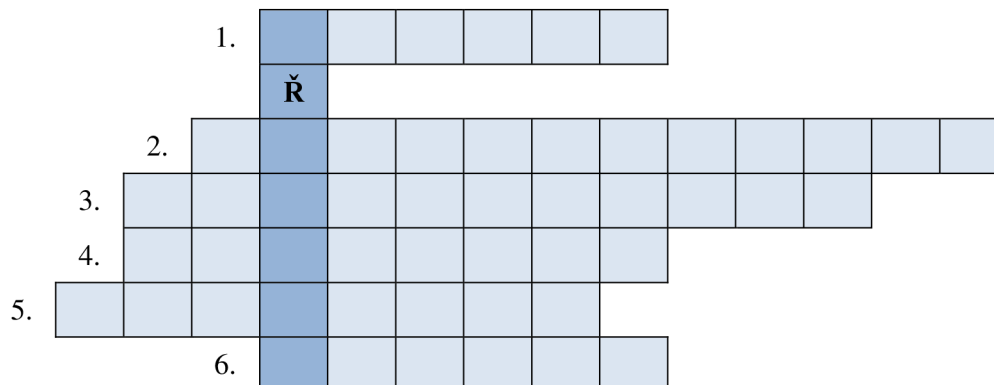
Úkol č. 4 Zákeřný výpočet

9 bodů

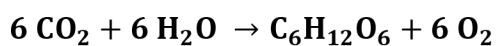
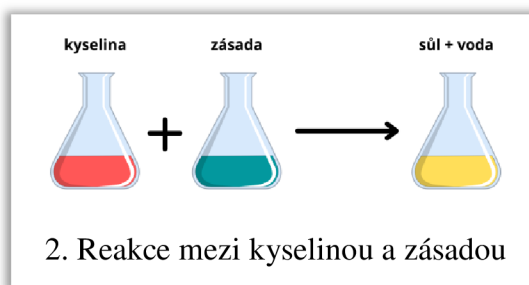
Vypočítej objem oxidu uhličitého, který vznikne reakcí 5 g hydrogenuhličitanu sodného (jedlé sody) s ekvimolárním množstvím kyseliny octové. $M(\text{NaHCO}_3) = 84,01 \text{ g/mol}$

Vylušti křížovku a vysvětli pojem v tajence:

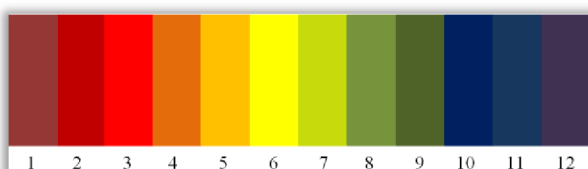
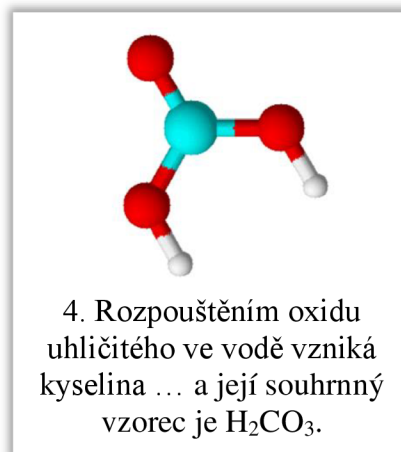
TAJENKA:



1. Skupenství oxidu uhličitého vzniklé při pokusu Mávající rukavice



3. Proces, při kterém rostliny spotřebovávají oxid uhličitý, a produkují kyslík.



5. Chemické látky dělíme podle hodnoty pH na kyselé, neutrální a ...

6. Atmosféru planety Země tvoří ze 78 % dusík, z 21 % ..., a zbylé 1 % je tvořeno argonem, oxidem uhličitým, vzácnými plyny, methanem a vodní parou.

3.3.2 Mávající rukavice – učitelská verze

JMÉNO:

HODNOCENÍ:

PRACOVNÍ LIST – MÁVAJÍCÍ RUKAVICE

Úkol č. 1 Bud', anebo

4 body

Označ správné tvrzení:

Oxid uhličitý je *bezbarvý/namodralý* plyn *zapáchající po zkažených vejcích/bez zápachu*, který *vydechujeme/nadechujeme*. Používá se jako náplň do sněhových hasicích přístrojů a jako *suchý/vlhký* led, který má využití jako chladivo.

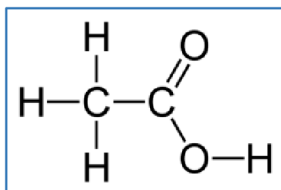
- Za každou správnou odpověď → **1 bod**
- Celkem: **4 body**

Úkol č. 2 Vzorečky

2 body

Kyselina octová má systematické označení kyselina ethanová. Napiš její strukturní a funkční vzorec:

CH₃COOH



- Za každý správně sestavený vzorec → **1 bod**
- Celkem: **2 body**

Úkol č. 3 Ze života

2 body

V pokusu jsme použili ocet a jedlou sodu, což jsou látky běžně používané v domácnosti. Ke každé látce napiš alespoň jedno její využití v domácnosti:

- ocet: dochucování pokrmů, konzervant, odstraňování usazenin, odstraňování zápachu
 - jedlá soda: pečení, odstraňování mastnoty, na překyselení žaludku
 - ocet + jedlá soda: čištění odpadů
- Za využití octa → **1 bod**
 - Za využití jedlé sody → **1 bod**
 - Celkem: **2 body**

Úkol č. 4 Zákeřný výpočet**9 bodů**

Vypočítej objem oxidu uhličitého, který vznikne reakcí 5 g hydrogenuhličitanu sodného (jedlé sody) s ekvimolárním množstvím kyseliny octové. $M(\text{NaHCO}_3) = 84,01 \text{ g/mol}$

$$m(\text{NaHCO}_3) = 5 \text{ g}$$

$$M(\text{NaHCO}_3) = 84,01 \text{ g/mol}$$

$$V(\text{CO}_2) = ?$$



- Za správné sestavení rovnice → **1 bod**

$$n_{\text{NaHCO}_3} = \frac{m_{\text{NaHCO}_3}}{M_{\text{NaHCO}_3}} = \frac{5}{84,01} = \mathbf{0,0595 \text{ mol}}$$

- Za vzorec látkového množství, za správné dosazení čísel do vzorce, za správný výsledek látkového množství → **3 body**

$$n_{\text{NaHCO}_3} = n_{\text{CO}_2}$$

- Za správné porovnání látkových množství → **1 bod**

$$n = \frac{V_{\text{CO}_2}}{V_m} \rightarrow V_{\text{CO}_2} = n \cdot V_m = 0,0595 \cdot 22,414 = \mathbf{1,3340 \text{ dm}^3}$$

- Za vzorec látkového množství, za správné vyjádření objemu, za správné dosazení do vzorce, za správný konečný výsledek → **4 body**
- Celkem: **9 bodů**

Úkol č. 5 Křížovka chemických vědomostí**8 bodů**

Vylušti křížovku a vysvětli pojem v tajence:

1. Skupenství oxidu uhličitého vzniklé při pokusu Mávající rukavice
2. Reakce mezi kyselinou a zásadou
3. Proces, při kterém rostliny spotřebovávají oxid uhličitý, a produkují kyslík.
4. Rozpuštěním oxidu uhličitého ve vodě vzniká kyselina ... a její souhrnný vzorec je H_2CO_3 .
5. Chemické látky dělíme podle hodnoty pH na kyselé, neutrální a ...
6. Atmosféru planety Země tvoří ze 78 % dusík, z 21 % ..., a zbylé 1 % je tvořeno argonem, oxidem uhličitým, vzácnými plyny, methanem a vodní parou.

1.	P	L	Y	N	N	É							
		Ř											
2.	N	E	U	T	R	A	L	I	Z	A	C	E	
3.	F	O	T	O	S	Y	N	T	É	Z	A		
4.	U	H	L	I	Č	I	T	Á					
5.	Z	Á	S	A	D	I	T	É					
6.			K	Y	S	L	Í	K					

TAJENKA: PŘETLAK = tlak v uzavřené nádobě, který je větší než okolní atmosférický tlak (např. lehátko, tlakový hrnec)

- Za každý správně vyplněný pojem v křížovce → **1 bod**
- Vyřešení tajenky → **1 bod**
- Vysvětlení pojmu v tajence → **1 bod**
- Celkem: **8 bodů**

Vyhodnocení

Bodový rozsah	Úroveň	Komentář
25 – 21 bodů	${}^1\text{H}$ Vodík	Stejně jako vodík, i ty si zasloužíš první místo, protože sis vedl opravdu výborně! Skvěle se orientuješ v pojmech, chápeš souvislosti a tvé vědomosti by ti mohl závidět ne jeden chemik!
20 – 16 bodů	${}^2\text{He}$ Helium	Druhé místo pro tebe a pro helium. Dopustil ses sice menších chyb, ze kterých se jistě poučíš, ale umíš svědomitě používat své vědomosti a dovednosti při řešení úkolů. Jen tak dál!
15 – 11 bodů	${}^3\text{Li}$ Lithium	Tvým novým kamarádem je lithium. Je vidět, že tě chemie zajímá a baví, ale s některými úkoly potřebuješ pomoc. Věřím, že s větší samostatností se posuneš minimálně k heliu!
10 – 6 bodů	${}^4\text{Be}$ Beryllium	Číslo čtyři pro tebe a beryllium. Pomalu objevuješ krásy chemie, ale jen to nestačí, je potřeba ji i chápat. V základních pojmech se orientuješ, ale aby ses posunul výš k první periodě, bude potřeba většího zájmu. Tak hlavu vzhůru!
5 – 0 bodů	${}^5\text{B}$ Bor	Určitě nevěš hlavu, bor taky nevěší elektrony! Každý nějak začínal... Věřím, že s trochou péle a zájmem o učení máš na to posunout se na lepší pozice!

Bodový rozsah	Úroveň	Komentář
25 – 21 bodů	Chemik expert	Gratuluji, chemiku experte, vedl sis opravdu výborně. Skvěle se orientuješ v pojmech, dobře chápeš souvislosti a tvé vědomosti by ti mohl závidět ne jeden chemik!
20 – 16 bodů	Chemický profík	Chemický profík, dopustil ses sice menších chyb, ze kterých se jistě poučíš, ale umíš svědomitě používat své vědomosti a dovednosti při řešení úkolů. Jen tak dál!
15 – 11 bodů	Šikovný chemik	Je vidět, že tě chemie zajímá a baví, ale s některými úkoly potřebuješ pomoci. Já ale věřím, že s větší samostatností se posuneš minimálně na profíka!
10 – 6 bodů	Chemik objevitel	Pomalu objevuješ krásy chemie, ale jen to nestačí, je potřeba ji i chápat. V základních pojmech se orientuješ, ale aby ses posunul výš, bude potřeba většího zájmu. Tak hlavu vzhůru!
5 – 0 bodů	Začátečník v chemii	Chemiku začátečníku, určitě nevěš hlavu. Každý nějak začínal... Věřím, že s trochou péle a zájmem o učení máš na to posunout se na lepší pozici!

3.4 VÝUKOVÁ PREZENTACE

Součástí zadání bakalářské práce bylo získané informace o sodě zpracovat formou prezentace v PowerPointu, která by se dala využít ve výuce. Prezentace zahrnuje stěžejní body učiva o sodě a jedlé sodě. Obsahem prezentace je obecný úvod k sodě, historie průmyslové výroby sody, Leblancův a Solvayův postup, současnost průmyslové výroby sody, elektrolýza, výroba soda na území České republiky a jedlá soda. Pro tyto účely jsem se rozhodla vytvořit 2 druhy výrobních schémat, která budou sloužit pro lepší pochopení výrobních procesů. Schémata zjednodušená, jsou doplněna o stručné komentáře k jednotlivým výrobním krokům a příslušné rovnice reakcí, a technologická schémata jsou vytvořena s využitím technologických značek. Schéma s technologickými značkami jsem vytvořila pouze pro Solvayův proces, jelikož k Leblancovu postupu jsem měla k dispozici málo literárních zdrojů a téměř žádná výrobní schémata. Proto jsem Leblancův proces vyjádřila blokovým schématem.

Výukovou prezentaci jsem vložila na webové stránky CHEMIE ŽIJE! do sekce Prezentace (Obrázek 33), podkategorie Průmyslová výroba ve formátu PPTX a ve formátu PDF. Prezentace k průmyslové výrobě sody je k nalezení na webové stránce: <https://www.chemiezije.upol.cz/vyukovy-material/prumyslova-vyroba-sody/>.



CHEMIE ŽIJE!
Prezentace

Průmyslová výroba Historie Teorie Ostatní

Průmyslová výroba sody
Tato výuková prezentace zahrnuje stěžejní body učiva o sodě a jedlé sodě. Obsahem prezentace je obecný úvod k sodě, historie průmyslové výroby sody, Leblancův a Solvayův postup, současnost průmyslové výroby sody, elektrolýza, výroba soda na území České republiky a jedlá soda. K dispozici jsou 2 druhy výrobních schémat, která budou sloužit pro lepší pochopení výrobních procesů. Schémata zjednodušená, jsou doplněna o stručné komentáře k jednotlivým výrobním krokům a příslušné rovnice reakcí, a technologická schémata jsou vytvořena s využitím technologických značek.
[více informací]

Prezentace ve formátu PPTX
Prezentace ve formátu PDF

Obrázek 33: Webové stránky CHEMIE ŽIJE! – sekce Prezentace

3.4.1 Technologická schémata

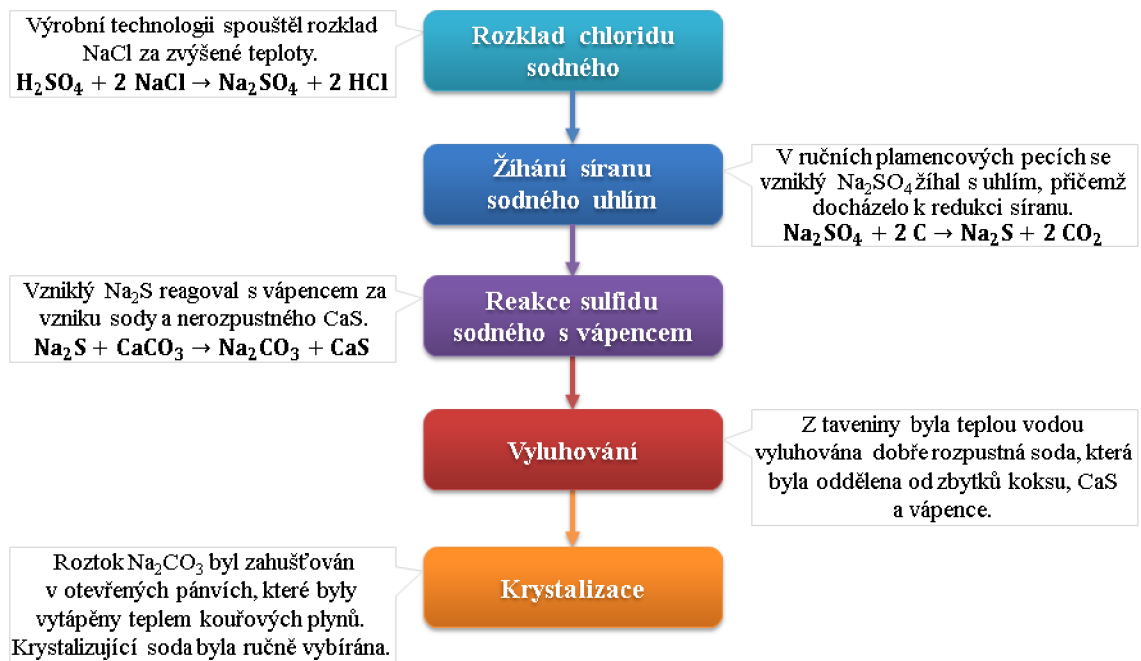


Schéma 5: Zjednodušené schéma výroby sody Leblancovým postupem

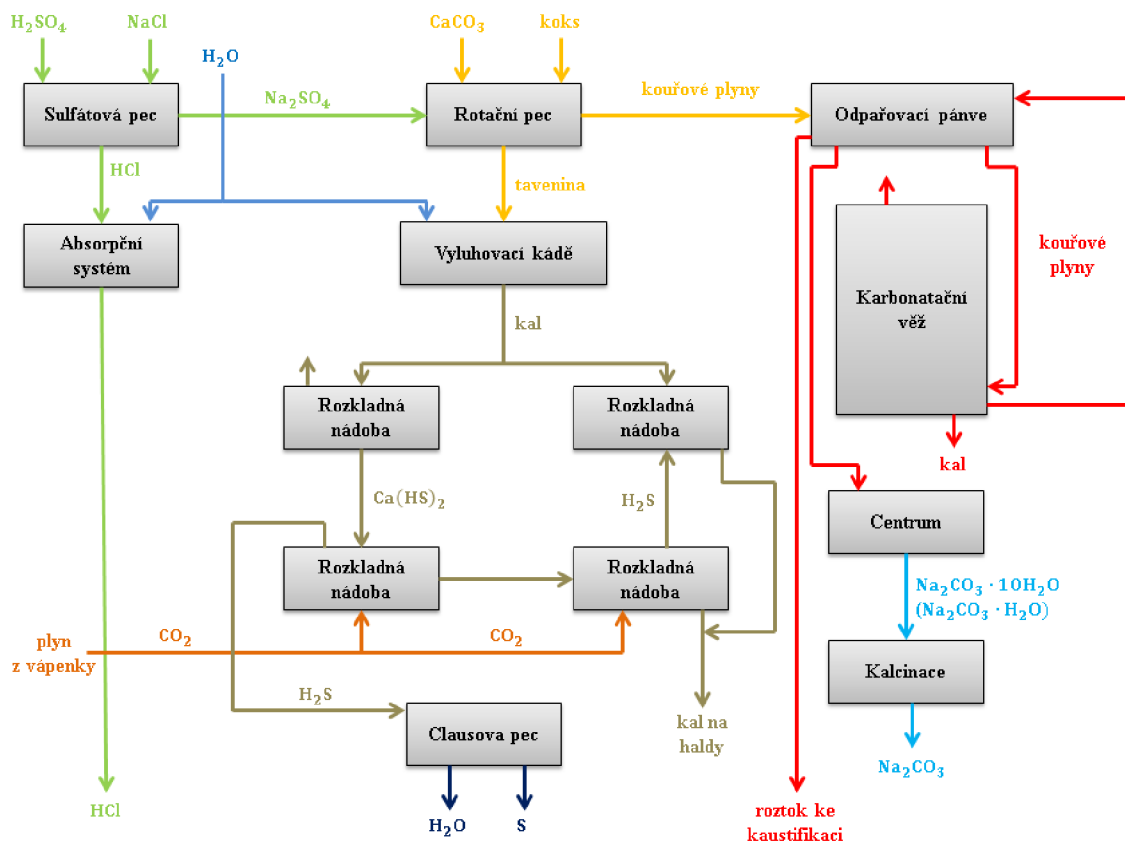


Schéma 6: Blokové schéma výroby sody Leblancovým postupem

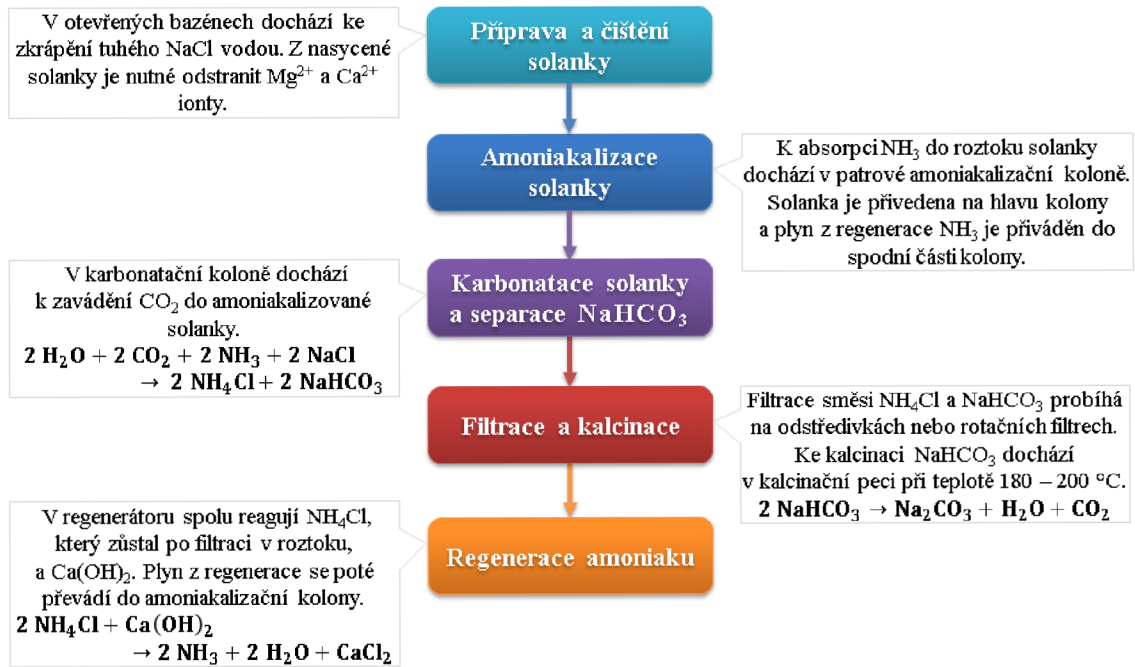


Schéma 7: Zjednodušené schéma výroby sody Solvayovým postupem

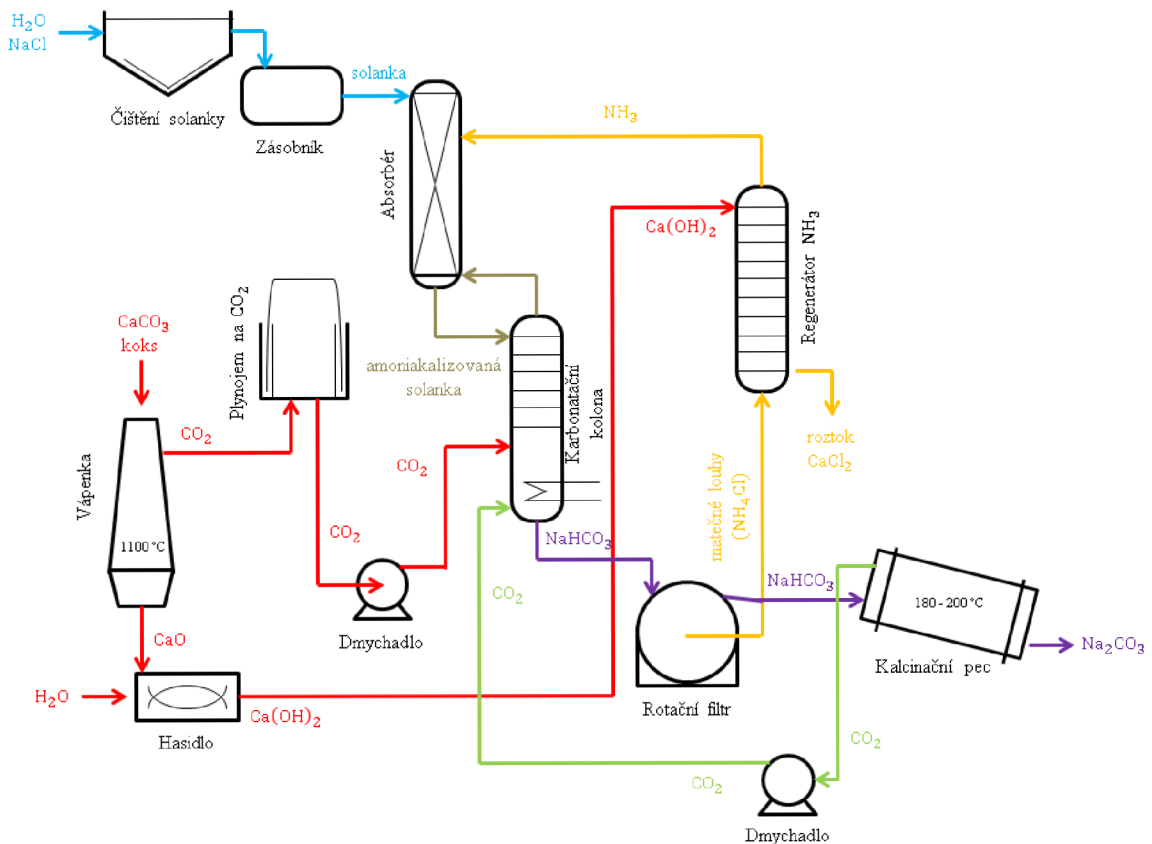


Schéma 8: Technologické schéma výroby sody Solvayovým postupem

4 VÝSLEDKY A DISKUZE

Mezi současné vzdělávací trendy neodmyslitelně patří využívání moderních technologií ve vyučování. K přechodu k online vzdělávání nás přinutila také pandemická doba, na kterou nebylo naše školství vhodně připravené. K dalším trendům patří využívání materiálů vytvořených ve whiteboardových prostředí místo tabule, nebo výuka prostřednictvím videa. [60]

V současné době sice existují didaktické webové stránky, např. Univerzity Karlovy, mnohdy ovšem postrádají kapitoly věnované průmyslu, průmyslovým výrobám a surovinám, které k chemii nepochybně patří. Mimo jiné může být výuka průmyslové chemie přínosná i v tom, že se žáci mohou učit formou exkurze do některé z chemických firem, kterých je v České republice nemalé množství. Tato exkurze pomůže žákům propojit teorii s praxí, přinese jim představu o výrobních technologiích, zařízeních a reakcích v nich probíhajících. Ukáže jim realitu toho, že chemikálie, které třeba v domácnosti běžně využívají, procházejí mnohdy dlouhými výrobními procesy. [61]

Dle rámcových vzdělávacích programů je průmyslová chemie jako samostatné téma vyučována pouze na některých středních odborných školách. Na gymnáziích se může vyučovat v rámci volitelných předmětů nebo bývá stručnou součástí výuky anorganické chemie. [62]

Z tohoto důvodu také vznikla sekce Průmyslová chemie, která je součástí webových stránek CHEMIE ŽIJE!, a snaží se do souhrnné teorie zasadit aktuální informace. Zahrnuje podniky, které danou látku v minulosti vyráběly, popisuje jakou technologií, ale především podniky, které se výrobou zabývají v současnosti. Aktuální informace o výrobě surovin ve firmách nelze vyhledat v žádné publikaci, dají se pouze zjistit přímou komunikací s daným podnikem, na což mnohdy vyučující nemají čas. Pro studenty to může být podnět k zamyšlení nad vývojem chemického průmyslu v České republice. Pro vyučující to může být inspirace učit chemii, která je živá, nebo návrh školní exkurze.

V rámci své bakalářské práce jsem zjistila, že výroba sody na území České republiky byla významným odvětvím chemického průmyslu, ale i soda sama byla důležitou chemickou surovinou, která byla široce využívána. V dnešní době je český průmysl sody oproti minulosti utlumen, přesto stále existují podniky, které sodu vyrábějí a dále prodávají. Na základě konzultace s odborníky z chemických firem jsem zjistila, že jedním z nich je společnost DEZA, a.s. Valašské Meziříčí, která zpracovává zejména černouhelný dehet a surový benzol, ale také vyrábí fenoly, jejichž vedlejším produktem je soda. Další společností, která sodu

stále vyrábí, je Lenzing Biocel Paskov, a.s., která se věnuje výrobě buničiny ze dřeva, kdy je vedlejším produktem soda.

Také tyto informace jsem zpracovala do webových stránek, konkrétně do sekce Průmyslová chemie oddíl Historie a současnost průmyslové výroby sody (Obrázek 34). Ke kapitole průmyslové výroby sody jsem vypracovala obecný úvod k uhličitanu sodnému, popsala jsem Leblancův a Solvayův postup, a vložila jsem k nim příslušné obrázky a technologická schémata. Další záložky se zabývají současnými metodami výroby sody a podnikům, které se produkci sody v České republice věnují. Poslední část je zaměřena na hydrogenuhličitán sodný, jeho využití a výrobu.



Soda byla v minulosti velmi významnou chemickou surovinou, která nacházela využití v celé řadě oborů. Její důležitá podstata tvoří zejména v jejích historických výrobních procesech, které v minulosti velmi prospěly rozvoji chemického průmyslu. V tomto textu se seznámíte s chemickými vlastnostmi a využitím sody, s historickým Leblancovým a Solvayovým postupem výroby a se současnými výrobními metodami. Následně Vás seznámíme s podniky, které v České republice sodu vyrábějí a dozvíte se také základní informace o jedlé sodě, jejím použití a výrobě.

DEZA, a.s. Valašské Meziříčí

DEZA, a.s. Valašské Meziříčí, se věnuje zpracování černouhelného dehtu a surového benzolu, což jsou vedlejší produkty z koksování uhlí, ze kterých poté vyrábí velkou škálu produktů se širokým uplatněním.¹

Ve společnosti DEZA vzniká uhličitán sodný jako vedlejší produkt při výrobě fenolů, konkrétně při reakci fenolátu sodného s vysokoprocenním oxidem uhličitým při tlaku 0,45 MPa v tzv. karbonatačních kolonách. Pro maximální využití CO_2 se k saturaci fenolátu sodného využívá systém 3 karbonatačních kolon v režimu protiproudého toku. Díky zvýšenému tlaku lze dosáhnout snadnějšího přesycení roztoku oxidem uhličitým, a následně i lepšího oddělení fenolů od vodní fáze sody.

V roztoku sody, vznikajícího v saturaci fenolátu sodného, je v následujícím kroku snižován obsah fenolů pomocí extrakce toluenem. Extrakce probíhá ve vibračním extraktoru, jehož součástí je soustava perforovaných pater s nastavitelnou amplitudou a frekvencí kmitů. V posledním výrobním kroku je roztok sody zahříván na teplotu 104 – 110 °C, přičemž dochází k rozkladu hydrogenuhličitánu sodného, odpaření zbytků fenolů a toluenu, a současněmu zahuštění roztoku sody. Následně je roztok sody převeden do skladovacího zásobníku k dalšímu využití. Koncentrace uhličitánu sodného ve vyrobené sodě je v rozmezí 13 – 17 % a obsah hydrogenuhličitánu 2 – 6 %.

Měsíční produkce sody je velmi proměnlivá a je závislá na dostupnosti suroviny. V roce 2021 činila měsíční výroba v rozmezí 500 – 2200 t. Za celý rok 2021 vyrobila společnost DEZA 12724 t sody.

Obrázek 34: Historie a současnost průmyslové výroby sody na webu CHEMIE ŽIJE!

V rámci praktické části jsem navrhla, a s pomocí technické podpory vytvořila, rozhraní pro webové stránky CHEMIE ŽIJE! sekci Videá. Tato část webových stránek může vyučujícím na základní škole usnadnit práci v případě, že nemají čas nebo potřebné pomůcky pro realizaci experimentu, nebo může být inspirací pro provedení pokusu. Vytvořené rozhraní může dále sloužit pro ukládání experimentů, které mohou být na katedře anorganické chemie natočeny a uloženy do dalších vytvořených záložek (laboratorní technika, anorganická

chemie, organická chemie, ostatní). Součástí těchto záložek by mohly v budoucnu být natočené pokusy, které budou vhodné i pro střední a vysoké školy, a to takové, které nelze zrealizovat v běžné středoškolské laboratoři, ať už z důvodu chybějících chemikálií nebo pomůcek. Videá se poté mohou používat během výuky třeba proto, aby si studenti pod konkrétní rovnici dokázali reálněji představit průběh reakce a možné produkty. Záložka Laboratorní technika je určena pro videá, která by mohla být obecně instruktážní. Mohla by obsahovat video návody příslušné pro jednotlivé laboratorní techniky, např. vážení, měření objemů, pH a další.

Osobně jsem natočila 10 experimentů do záložky Efektivní pokusy, ve kterých jako důležitá komponenta figurovala soda a jedlá soda. Každý experiment byl podrobně zpracován a je součástí příloženého DVD a také webových stránek. Videá jsou točena tak, aby detailně zabírala experiment, a slouží jako rychlý video návod pro vyučující, pokud si neví rady, jak experiment provést, nebo si není jistý, jak má vypadat výsledek. Videá jsou podle potřeby zrychlena a sestříhaná tak, aby poskytla jen žádoucí informace a nebyla příliš časově náročná. Např. u pokusu Faraónovi hadi a Lávová lampa je část videa zrychlena, protože reakce je zdlouhavá, a tudíž by video mohlo mít třeba i 10 minut, což by mohlo být pro některé sledující nudné a video by nemuseli zhlédnout do konce. U experimentu Chemiluminiscence luminolu je video prostříhané, jelikož se chemikálie špatně rozpouštěly a bylo nutné delší míchání roztoku.

Videá jsou doplněna o popisky přidávaných chemikálií, některých úkonů a rovnice, takže i bez zdlouhavého pročitání návodu jsme schopni po zhlédnutí videa experiment zopakovat. Samozřejmě ke každému videu přísluší teoretický podklad, který obsahuje seznam pomůcek a chemikálií, pracovní postup a další informace. Pokud by tedy video nebylo pochopitelné, všechny nejasnosti by měly být objasněny přečtením teoretického podkladu.

Experimenty jsem vybírala tak, aby v nich byly charakterizovány vlastnosti a reakce sody a jedlé sody. Např. u pokusů Hasicí přístroj a Chemické pivo ukazujeme reakci jedlé sody s kyselinami, při které dochází k vývoji oxidu uhličitého a vody, což je typická vlastnost hydrogenuhličitanů. V pokusu Tajné písmo dokazujeme zásaditou vlastnost sody a experiment Přírodní indikátor porovnává hodnoty pH různých látek. Experiment Srážení mýdel ukazuje zkušenost z praxe, kdy se soda používá na změkčování vody. V některých pokusech se dá soda nebo jedlá soda nahradit jinou látkou a některé laboratorní pomůcky mohou být přizpůsobeny domácím podmínkám.

Videozáznamy experimentů se sodou a jedlou sodou byly uloženy na YouTube kanál CHEMIE ŽIJE, který byl pro tyto účely založen. Byla zde myšlenka vkládat videá přímo na

webové stránky, což bylo následně zamítnuto tvůrcem webu panem Jakubem Žákem z důvodu snížení kvality videa. YouTube je v současnosti velice využívaný internetový server pro sdílení videodokumentů, který by mohl být prospěšný i pro webové stránky CHEMIE ŽIJE!. Na YouTube kanál CHEMIE ŽIJE je možné se přesměrovat z webových stránek, ale také naopak. Pokud tedy vyučující nebo žák hledá videa na YouTube, natrefí na YouTube kanál CHEMIE ŽIJE, tak se může přesměrovat k webovým stránkám, na kterých se dočte další zajímavé informace, ať už týkající se konkrétního videa, nebo dalších záložek webu CHEMIE ŽIJE!. Toto propojení YouTube kanálu a webových stránek může být oboustranně prospěšné.

K experimentům se sodou jsem zpracovala teoretické podklady, které obsahují graficky zpracované piktogramy týkající se časové náročnosti a věkové kategorie. Také jsem zde doplnila bezpečnostní symboly a bezpečnostní pokyny pro podání první pomoci. Bezpečnostní pokyny jsou vypracovány podle bezpečnostních listů, které jsem vyhledala na webových stránkách, a jsou rozděleny do 4 odrážek – pokyny při nadýchání, při styku s kůží, při zasažení očí, při požití. Teoretický podklad může sloužit jako kompletní návod, který může učitel chemie bez úpravy použít v laboratorním cvičení. [39], [40], [41]





Pokud si návštěvník webu experiment spustí na videu nebo si ho provede sám, může také využít záložku, kde jsou doplňující otázky, které mají skryté řešení. Může si tak ověřit své nové poznatky, které při provedení nebo zhlédnutí pokusu získal. Otázky jsem nevymýšlela nikterak záludně, spíš jsem chtěla, aby se týkaly reakcí a vlastností látek, které jsou v pokusu jasně zřejmé. Některé otázky mohou sloužit k propojování mezipředmětových vztahů (např. s fyzikou, biologií) nebo každodenním životem. Např. u pokusu Faraónovi hadi je otázka týkající se oxidu uhličitého. Návštěvník webu může popřemýšlet o jeho vlastnostech, roli ve fotosyntéze, využitích atd. Pro odpovědi na některé otázky je potřeba přečtení teoretického podkladu, kde je vysvětlen princip reakce. Např. u pokusu Lávová lampa není ve videu zřejmé složení šumivých tablet, proto je nutné nastudování teoretického návodu.

K jednotlivým experimentům jsem vložila pracovní listy, které jsou volně ke stažení na webových stránkách a jsou vypracovány ve 2 verzích, jedna je pro žáky a druhá pro vyučující. Pracovní listy mohou vyučujícím usnadnit přípravu na laboratorní cvičení nebo běžnou hodinu. Mohou být vhodné ke shrnutí nabitých informací výuky, zopakování učiva nebo jako domácí úkol. Také jim mohou sloužit jako inspirace, můžou si pracovní list libovolně upravovat, např. některá cvičení smazat a nahradit jinými. [63]














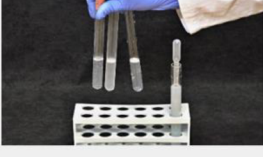






Usilovala jsem o to, aby pracovní listy obsahovaly různé typy úloh – doplňovací, dichotomické, přiřazovací, rozdělovací a další. Zároveň jsem se snažila do pracovních listů

zapracovat výpočty, vzorce a didaktické hry jako jsou křížovky nebo osmisměrky. Pracovní listy jsem chtěla oživit obrázky molekul nebo výsledku reakce, a mnohdy byly obrázky součástí některého ze cvičení. I v pracovních listech jsem usilovala o propojení mezipředmětových vztahů a začlenění učiva chemie do každodenního života. Některá cvičení vyžadují vyhledat pomoc vyučujícího, v literatuře nebo na internetu, čímž si žák procvičuje proces vyhledávání informací. [63]

Učitelské verze obsahují správné řešení na jednotlivá cvičení a také 2 návrhy vyhodnocení pracovního listu. Vyhodnocení jsem chtěla navrhnout tak, aby nebylo směřováno na ohodnocení žáka známkou. Vypracovala jsem 2 verze, kdy jedna je formulována podle periodické soustavy prvků, kdy prvním prvkem je vodík. Druhá verze hodnotí to, jak moc žák chemii rozumí. K oběma verzím je doplněn komentář. Chtěla jsem, aby pracovní listy žáky bavily, a ne aby je děsily ze získání špatné známky. Samozřejmě bude záležet na každém vyučujícím, jaký způsob ohodnocení žáka si zvolí.

	Chemické pivo Co by to bylo za českého chemika, který by neuměl vyrobit pivo přímo v laborořii!	15 minut	SŠ
	Chemiluminiscence luminolu Tento efektní experiment patří mezi neznámější chemiluminiscenční reakce. Při správném provedení pokusu můžeme dosáhnout intenzivní světla modré lumiscence.	20 minut	SŠ
	Faraónovi hadi V tomto efektním pokusu předvedeme žákům, že i z malého množství látky může vzniknout dlouhý válcovitý útvar připomínající hada, který je ovšem velmi lehký a křehký.	20 minut	ZŠ
	Hasicí přístroj Pro práci v chemické laborořii je nejdůležitější bezpečnost. Co když se ale některá reakce vymkne kontrole, a na pracovním místě začne hořet? Požár může uhasit náš malý laborořní „hasičák“, který funguje na stejném principu jako skutečný hasicí přístroj.	15 minut	ZŠ

Obrázek 35: Experimenty se sodou a jehlou sodou na webu CHEMIE ŽIJE! – 1. část

	<p>Lávová lampa Improvizovanou lávovou lampu můžeme vytvořit pomocí dvou nemísitelných kapalin, potravinářského barviva a šumivé tablety. Tento experiment je vhodný pro skupinovou práci v úvodních hodinách chemie.</p>	  
	<p>Mávající rukavice Efektivní pokus Mávající rukavice je vhodný k odlehčení výuky. Pokus je založen na reakci látek dostupných v domácnosti, při které dochází k vývoji plynu a jeho přetlaku uvnitř rukavice.</p>	 
	<p>Oxid uhličitý a hoření Velmi jednoduchý pokus, který demonstruje vliv oxidu uhličitého na hoření.</p>	 
	<p>Přírodní indikátor Barevný pokus do školy i na doma, při kterém můžeme pomocí přírodního indikátoru orientačně stanovit pH připravených roztoků.</p>	 
	<p>Srážení mýdel Co se stane, když do tvrdé vody přidáme mýdlo? V tomto chemickém pokusu porovnáme vlastnosti tvrdé, změkčené a destilované vody, a ukážeme si, že není voda jako voda ...</p>	 
	<p>Tajné písmo Tajné zprávy byly součástí mnoha historických událostí. Zpráva přitom musí být ukryta tak, aby si nezasvěcený pozorovatel vůbec neuvědomil, že nějaká komunikace probíhá. Aby nedošlo k prozrazení obsahu tajné zprávy, musejí být využity nejrůznější metody šifrování.</p>	  

Obrázek 36: Experimenty se sodou a jedlou sodou na webu CHEMIE ŽIJE! – 2. část

Mým posledním výstupem je výuková prezentace, která se věnuje průmyslové výrobě sody. V prezentaci jsou popsány chemické vlastnosti sody, její využití, historické způsoby výroby sody, ale zejména Leblancův a Solvayův postup. Pro tyto procesy jsem vytvořila 2 typy technologických schémat. Zjednodušená schémata obsahují komentáře k jednotlivým výrobním krokům, případně rovnice reakce. Dále jsou v prezentaci zpracovány současné způsoby výroby sody, zejména elektrolýza, a další kapitola zahrnuje firmy, které se v historii

zabývaly a v současnosti věnují výrobě sody na českém území. V poslední části je popsána jedlá soda, její využití a výroba.

Prezentace doplňuje oddíl výroby sody na webových stránkách CHEMIE ŽIJE!, a je určena zejména pro střední technické a chemické školy a vysoké školy, kde je průmyslová chemie vyučována. Samozřejmě některé části této prezentace mohou být použity vyučujícími na středních školách. Hlavním smyslem prezentace je seznámení se sodou a jedlou sodou, ale zejména se dvěma významnými procesy, které byly v českých zemích využívány, a prospěly rozvoji chemického průmyslu. Prezentace je uložena na webových stránkách, kde je volně ke stažení ve formátu PDF, ale také ve formátu PPTX, zejména proto, aby si vyučující mohli prezentaci stáhnout a nevyhovující části vyjmout, případně prezentaci poupravit podle svých představ.

5 ZÁVĚR

Tématem bakalářské práce byla průmyslová výroba sody a tvorba výukových materiálů k tématu soda. V teoretické části jsem se věnovala literární rešerši týkající se historických a současných způsobů výroby sody. V úvodu teoretické části jsem se zabývala uhličitánem sodným, kde jsem popsala jeho chemické vlastnosti a praktické využití. Dále jsem se věnovala historickým způsobům průmyslové výroby sody. Nejdříve jsem popsala počátky výroby sody a poté Leblancův výrobní proces. Další částí bylo popsání Solvayova výrobního postupu, který jsem rozdělila do několika podkategorií podle výrobních kroků. Poté jsem se stručně věnovala modifikovanému Solvayovu postupu a výrobě sody z kryolitu.

V další pasáži jsem se zabývala současnými způsoby průmyslové výroby sody. Pomocí webové stránky Statista jsem získala nejaktuálnější informace o produkci sody v celosvětovém měřítku. Vložila jsem zde 2 grafy, které zobrazují celosvětové množství vyprodukované sody a produkci přírodní sody podle vybraných zemí. Poté jsem se věnovala současnému způsobu výroby sody, zejména elektrolyze, kterou jsem rozdělila na 3 části: amalgámovou, membránovou a diafragmovou. Ke každému typu elektrolyzy jsem vytvořila obrázek daného elektrolyzéro. Následně jsem stručně popsala výrobu sody z trony a její 2 postupy čištění.

V další podkapitole jsem se zaměřila na výrobu sody na území České republiky. Vyhledala jsem 3 podniky, které se v minulosti výrobě sody věnovaly – Hrušovská továrna na sodu, Továrna na sodu v Petrovicích a Tonaso Neštěmice. Ke každému podniku jsem našla informace a historické fotografie. Následně jsem se pokusila kontaktovat české firmy, které se výrobě sody momentálně věnují – společnost DEZA, a.s. Valašské Meziříčí, a Lenzing Biocel Paskov, a.s. Z obou společností jsem získala informace o výrobní technologii, jejímž vedlejším produktem je soda.

V závěru teoretické části jsem se věnovala hydrogenuhličitanu sodnému, který je nedílnou součástí průmyslové výroby sody jako její meziprodukt. U hydrogenuhličitanu sodného jsem popsala jeho chemické vlastnosti, využití v praxi a výrobní postupy, jimiž se může vyrábět.

Praktická část popisuje návrh vzhledu webových stránek CHEMIE ŽIJE!, konkrétně sekci Vídea a Průmyslová chemie. Rozvádím své myšlenkové pochody, které tvorbě webu předcházely, následně přibližuji, jak jsem se naučila pracovat v šabloně WordPress a vkládala informace do této šablony. Dále popisuji tvorbu experimentů od jejich teoretických podkladů, přes natáčení až ke konečným výsledkům a zhotovení pracovních listů. Představuji výsledky praktické části své bakalářské práce, konkrétně vzhled webových stránek CHEMIE ŽIJE!

sekce Video, podobu stránek jednotlivých pokusů, vzhled sekce Průmyslová chemie a podkapitoly Historie a současnost průmyslové výroby sody. Dále zde uvádím seznam 10 natočených experimentů se sodou a jedlou sodou, vzhled YouTube kanálu CHEMIE ŽIJE a kompletní zpracování ukázkového experimentu Mávající rukavice. Dále se v kapitole nachází ukázka pracovního listu k experimentu Mávající rukavice v žákovské a učitelské verzi. V poslední části popisují vypracování technologických schémat, která jsem vytvořila jako součást výukové prezentace. Schémata jsem vytvořila ve zjednodušené a technologické formě.

K bakalářské práci jsem vytvořila prezentaci v PowerPointu, která se skládá z 33 snímků. Prezentace obsahuje základní informace o sodě a jedlé sodě a jejich výrobcích. V prezentaci se nejvíce věnuji Leblancovu a Solvayovu postupu, pro které jsem vytvořila zjednodušená a technologická schémata, která jsou v prezentaci zpracována pomocí animací.

Součástí bakalářské práce je přiložené DVD, které obsahuje 10 sestříhaných videozáznamů experimentů se sodou a jedlou sodou, teoretické podklady a pracovní listy ve 2 verzích ke všem zpracovaným pokusům. Na DVD je také vložena výuková prezentace, která přísluší k tématu bakalářské práce.

6 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Söhnel, Otakar a Richter, Miroslav. *Průmyslové technologie III*. Ústí nad Labem: Univerzita Jana Evangelisty Purkyně, 1999. ISBN 80-7044-278-6.
- [2] Segľa, Peter, a další, a další. *Anorganická chémia*. Bratislava: Slovenská chemická knižnica v Bratislave, 2017. ISBN 978-80-89597-63-5.
- [3] Mýl, Jiří a Trojan, Miroslav. *Anorganická technologie 2: Výroba sody, technických plynů a pigmentů, konstrukční materiály a koroze*. Pardubice: Vysoká škola chemicko-technologická v Pardubicích, 1986.
- [4] Kameníček, Jiří, a další, a další. *Anorganická chemie*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2006.
- [5] Fogl, Jaroslav a Volka, Karel. *Analytické tabulky*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2000. ISBN 80-7080-371-1.
- [6] Březina, František, a další, a další. *Chemické tabulky anorganických sloučenin*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1986.
- [7] Lhotka, Miloslav. *Úvod do anorganické technologie*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2012. ISBN 978-80-7080-841-2.
- [8] Greenwood, Norman Neill a Earnshaw, Alan. *Chemie prvků*. [překl.] František Jursík. Praha: Informatorium, 1993. Sv. I. ISBN 8085427389.
- [9] Hovorka, František. *Technologie chemických látek*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2005. ISBN 80-7080-588-9.
- [10] Büchner, Werner, a další, a další. *Průmyslová anorganická chemie*. [překl.] Lubomír Jäger. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1991. ISBN 8003006384.
- [11] What is Soda Ash? *ESGTradeBlog*. [Online] [Citace: 22. březen 2022.] <https://esgtrade.com/blog/soda-ash.e5512>.
- [12] About Soda Ash. *Yi Bing Chemical*. [Online] [Citace: 22. březen 2022.] <http://www.yibingchemical.com/e-newshow.asp?sId=67&Id=36&ph=01>.
- [13] Nicolas Leblanc. *St Adobe Stock*. [Online] [Citace: 16. březen 2022.] <https://stock.adobe.com/images/nicolas-leblanc/66987119>.
- [14] Holub, Luděk. *Vývoj chemického průmyslu v Československu 1918 - 1990: historické studie*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2000. ISBN 80-7080-388-6.
- [15] Wichterle, Kamil. *Chemické technologie*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2012. ISBN 978-80-248-2579-3.

- [16] Šlemr, Bohumil a Sedláček, Jiří. *Industrie sody*. Praha: Vysoká škola chemická v Praze, 1954.
- [17] Taddia, Marco. *La soda e le rose*.
- [18] Ernest Solvay. *Wikipedie*. [Online] [Citace: 4. duben 2022.] https://cs.wikipedia.org/wiki/Ernest_Solvay.
- [19] Garside, M. Sodium carbonate production worldwide by type 2010-2020. *statista*. [Online] 26. únor 2021. [Citace: 15. březen 2022.] <https://www.statista.com/statistics/1013480/sodium-carbonate-production-worldwide-by-type/>.
- [20] —. Leading natural sodium carbonate producing countries worldwide 2020. *statista*. [Online] 26. únor 2021. [Citace: 15. březen 2022.] <https://www.statista.com/statistics/1012606/natural-soda-ash-production-worldwide-by-leading-country/>.
- [21] Prášilová, Jana a Kameníček, Jiří. *Výroba uhličitamu sodného Text pro učitele*. Olomouc: autor neznámý, 2013.
- [22] Co děláme. *DEZA*. [Online] DEZA, a.s. [Citace: 7. duben 2022.] <http://www.deza.cz/co-delame>.
- [23] Lenzing Biocel Paskov. *Lenzing*. [Online] Lenzing AG. [Citace: 12. duben 2022.] <https://www.lenzing.com/cs/lenzing-group/locations/lenzing-biocel-paskov>.
- [24] Renner, Boris. *Ostravaci.cz*. [Online] <http://www.ostravaci.cz/2017/04/chemicke-zavody-dukla/>.
- [25] Podzimek, František. *Zaniklé obce a objekty*. [Online] [Citace: 24. únor 2022.] <http://www.zanikleobce.cz/index.php?detail=1465911>.
- [26] Ostrava Hrušov Továrna Chemička Sodafabrik. *aukro*. [Online] AUKRO s.r.o. [Citace: 6. duben 2022.] <https://aukro.cz/ostrava-hrusov-tovarna-chemicka-sodafabrik-6973937518>.
- [27] Bayer, Julius. Pamětihodnosti města Fryštátu. [Online] 1879. [Citace: 24. únor 2022.] <https://www.archives.cz/web/soka/karvina/projekt/resources/karvina/hruby/bayer/bayer6am.htm>.
- [28] Szczygielová, Eliška. Regionálně geografická studie obce Petrovice u Karviné. *Diplomová práce*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta, Katedra geografie, 2013.
- [29] Petrovice - Továrna na sodu. *aukro*. [Online] AUKRO s.r.o. [Citace: 6. duben 2022.] <https://aukro.cz/petrovice-tovarna-na-sodu-1-hg61-6965625352>.

- [30] Spolek pro chemickou a hutní výrobu / Solvay & Cie. *Technické památky*. [Online] [Citace: 24. únor 2022.]
<http://podzemi.solvayovylomy.cz/techpam/solvay/solvay.htm>.
- [31] *Tonaso Coatings*. [Online] Tonaso Coatings, s.r.o. [Citace: 24. únor 2022.]
<https://www.tonasocoatings.cz/o-nas/>.
- [32] Housecroft, Catherine E. a Sharpe, Alan G. *Anorganická chemie*. [překl.] Ondřej Beneš. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2014. ISBN 978-80-7080-872-6.
- [33] Kent, James Albert, Bommaraju, Tilak V. a Barnicki, Scott D. *Handbook of industrial chemistry and biotechnology*. Cham: Springer, 2017. Sv. Volume 2. ISBN 978-3-319-84866-2.
- [34] Sodium Bicarbonate. *IHS Markit*. [Online] S&P Global. [Citace: 22. březen 2022.]
<https://ihsmarkit.com/products/sodium-bicarbonate-chemical-economics-handbook.html>.
- [35] North America Sodium Bicarbonate Market Size, Share & Trends Analysis Report By Application, And Segment Forecasts, 2018 - 2025. *Grand View Research*. [Online] Grand View Research. [Citace: 22. březen 2022.]
<https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/north-america-sodium-bicarbonate-market>.
- [36] Bazgier, Václav, Berka, Karel a Jurečka, Jakub. *Pokusnice*. [Online] Univerzita Palackého v Olomouci. <http://pokusnice.cz/login>.
- [37] Polanská, Jana. *Internetová video-databáze chemických pokusů*. [Online] Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Pedagogická fakulta, Katedra aplikované chemie a učitelství chemie.
http://test.sciencezoom.cz/apps/zf_08/?target=efektni_3&pokus=pokus_6.
- [38] Chemické pokusy. *Studium chemie*. [Online] Katedra učitelství a didaktiky chemie Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy. <https://studiumchemie.cz/experiment/>.
- [39] *Carl Roth*. [Online] [Citace: 4. duben 2022.] <https://www.carlroth.com/com/en/>.
- [40] Výstražné symboly nebezpečnosti podle předpisu CLP. *MSDS Europe*. [Online] MSDS-Europe. [Citace: 4. duben 2022.] <https://www.msds-europe.com/cs/vystrazne-symbol-nebezpecnosti/>.
- [41] Bezpečnostní listy. *PENTA chemicals*. [Online] PENTA s.r.o. [Citace: 4. duben 2022.] <https://www.pentachemicals.eu/bezpecnostni-listy>.

- [42] Bartáková, Lenka, a další, a další. *Chemie: náměty k mimoškolní činnosti*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2015. ISBN 978-80-244-4745-2.
- [43] Beneš, Pavel a Macháčková, Jitka. *200 chemických pokusů*. Praha: Mladá fronta, 1977.
- [44] Bílek, Jan. *Efektivní pokusy anorganické chemie*. Strážnice: Purkyňovo gymnázium Strážnice, 2010.
- [45] Chemické pivo. *Zábavná chemie*. [Online] 15. červen 2017. [Citace: 4. duben 2022.] <https://zabavna-chemie.estranky.cz/clanky/efektivni-pokusy/chemicke-pivo.html>.
- [46] Durčáková, Zdenka. *Chemické pokusy pro studenty středních škol*. Olomouc: Alga Press, 2001. ISBN 80-86238-18-0.
- [47] —. *Chemické pokusy pro žáky základních škol*. Olomouc: Alga Press, 2001. ISBN 80-86238-17-2.
- [48] Janíček, Jakub. Diplomová práce. *Chemický experiment - součást vzdělávacího standardu na ZŠ a SŠ*. Olomouc: Univerzita Palackého Olomouc, Přírodovědecká fakulta, Katedra anorganické a fyzikální chemie, 2003.
- [49] Klečková, Marta, Mašláňová, Helena a Smékal, Zdeněk. *Školní pokusy z chemie*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta, katedra anorganické chemie, 2021. ISBN 978-80-244-5981-3.
- [50] Lesová, Pavlína. Bakalářská práce. *Databanka domácích pokusů*. Brno: Masarykova univerzita, Pedagogická fakulta, Katedra chemie, 2009.
- [51] Lávová lampa. *Sbírka fyzikálních pokusů*. [Online] [Citace: 4. duben 2022.] <https://fyzikalnipokusy.cz/2187/lavova-lampa>.
- [52] Novotná, Petra. Diplomová práce. *Chemické experimenty s podporou moderních výukových prostředků*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta, Katedra anorganické chemie, 2015.
- [53] Pertlová, Jana. *Demonstrační a žákovské pokusy v hodinách chemie*. Plzeň: Krajské centrum vzdělávání a Jazyková škola Plzeň, 2009. ISBN 978-80-7020-173-2.
- [54] Pokorný, Jan. Diplomová práce. *Luminiscence ve středoškolské laboratoři*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta, Katedra experimentální fyziky, 2015.
- [55] Prokša, Miroslav. *Efektivní chemické pokusy*. Banská Bystrica: Metodické centrum, 1992. ISBN 80-85415-35-6.
- [56] Rakušan, Zdeněk, Votrubcová, Šárka a Havlíček, Jan. *Experimentář*. Liberec: iQlandia, 2017. ISBN 978-80-270-3156-6.

- [57] Zajoncová, Ludmila. *Vybrané kapitoly z chemie (nejen pro střední školy)*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2012. ISBN 978-80-244-3013-3.
- [58] Šimůnek, Ondřej. *Chemiluminiscence*. Praha: autor neznámý, 2007.
- [59] Šimová, Jana, a další, a další. *Chemické pokusy pro školy a zájmovou činnost*. Praha: Prospektrum, 2000. ISBN 80-7175-071-9.
- [60] Mašek, Jaroslav. 10 vzdělávacích trendů pro rok 2021. *Metodický portál RVP.CZ*. [Online] Národní pedagogický institut České republiky, 27. leden 2021. [Citace: 12. duben 2022.] <https://clanky.rvp.cz/clanek/c/Z/22792/10-vzdelavacich-trendu-pro-rok-2021.html>.
- [61] Výukové materiály. *Studium chemie*. [Online] Katedra učitelství a didaktiky chemie Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy. [Citace: 14. duben 2022.] <https://studiumchemie.cz/material/>.
- [62] Rámcové vzdělávací programy. *Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy*. [Online] MŠMT. [Citace: 12. duben 2022.] <https://www.msmt.cz/vzdelavani/stredni-vzdelavani/ramcove-vzdelavaci-programy>.
- [63] Oulehlová, Martina. *Prezentace. Pracovní list*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta, Katedra botaniky, 2021.