

Západočeská univerzita v Plzni

Fakulta pedagogická

Katedra chemie

Bakalářská práce

**Nerostné suroviny vhodné pro výrobu
vybraných prvků a základních
anorganických sloučenin**

Dominik Milka

Studijní obor: Chemie se zaměřením na vzdělávání

Vedoucí bakalářské práce: PaedDr. Vladimír Sirotek, CSc.

Plzeň 2023

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím odborné literatury vztahující se k danému tématu a zdrojů informací.

V dne

.....

Dominik Milka

Poděkování

Rád bych poděkoval svému vedoucímu práce PaedDr. Vladimíru Sirotkovi, CSc. za trpělivost a vedení bakalářské práce, rady, tipy a připomínky při konzultacích. Velké díky patří také všem ostatním členům týmu katedry chemie a také všem zaměstnancům fakulty Pedagogické Západočeské univerzity v Plzni, díky kterým bylo možné získat všechny potřebné znalosti během celého studia. Poděkování patří také celé mojí rodině za neutichající podporu po celou dobu studia a také během vypracovávání bakalářské práce.

Obsah

Úvod	5
1 Nerostné suroviny	6
2 Krystalová struktura	7
2.1 Postupy získávání sloučenin z nerostných surovin.....	10
2.2 Elektrochemické procesy.....	12
2.3 Zahušťování louhu a výroba pevného hydroxidu sodného (NaOH)	15
2.4 Základní metody separace.....	15
2.4.1 Filtrace a sedimentace.....	15
2.4.2 Membránová separace.....	16
2.4.3 Metoda sušení.....	17
3 Uhličitany.....	18
3.1 Uhličitan draselný (K_2CO_3)	18
3.1.1 Výroba a využití	18
3.2 Uhličitan sodný (Na_2CO_3).....	20
3.2.1 Výroba a využití	20
3.3 Uhličitan vápenatý ($CaCO_3$)	22
3.3.1 Výroba a využití	22
4 Dusičnany	24
4.1 Dusičnan amonný (NH_4NO_3)	25
4.1.1 Výroba a využití	25
4.2 Dusičnan sodný ($NaNO_3$)	28
4.2.1 Výroba a využití	28
4.3 Dusičnan draselný (KNO_3).....	30
4.3.1 Výroba a využití	30
5 Oxidy a sulfidy	32
5.1 Oxid železitý (Fe_2O_3)	32
5.2 Disulfid železnatý (FeS_2)	33
5.2.1 Výroba železa.....	33
5.3 Sulfid měďnato-železnatý ($CuFeS_2$)	34
5.3.1 Výroba mědi	34
5.4 Oxid hlinitý (Al_2O_3).....	35
5.4.1 Výroba hliníku.....	35
6 Halogenidy.....	37
6.1 Chlorid sodný (NaCl).....	37

6.1.1 Výroba a využití	37
7 Laboratorní příprava vybraných látek	39
7.1 Příprava mědi cementací.....	39
7.3 Elektrolýza roztoku chloridu sodného	41
7.4 Solvayův způsob výroby sody	42
7.5 Jiný způsob výroby sody	44
7.5 Příprava dusičnanu amonného (NH_4NO_3)	44
7.6 Aluminotermie.....	45
8 Závěr	47
9 Seznam obrázků	48
11 Seznam použité literatury	49
12 Resumé	51

Úvod

Tématem bakalářské práce jsou nerostné suroviny vhodné pro výrobu vybraných prvků a sloučenin. Mezi nerostné suroviny řadíme nerosty a horniny, které se dají těžít a dále zpracovávat v chemickém průmyslu.

Nerostné suroviny se vyskytují po celém světě a jejich naleziště jsou variabilní, od mokrých jalovcových půd až po nejsušší místa naší planety. Mezi nejvýznamnější patří oxidy, sulfidy, dusičnany, uhličitany a halogenidy. Nejrozšířenější je chlorid sodný (NaCl), který se ve velké míře vyskytuje ve slané vodě a je možné ho také těžít jako nerost halit.

Bakalářská práce se v úvodní části zabývá krystalovou strukturou chemických látek a metodami zpracování nerostných surovin, které se v chemickém průmyslu užívají. Další část práce popisuje vlastnosti, výskyt a výroby vybraných chemických sloučenin. V práci jsou také zmíněné informace o základních mineralogických vlastnostech vybraných sloučenin. V závěrečné části je popsáno několik laboratorních příprav prvků nebo sloučenin. Přípravy byly vyzkoušeny za standardních podmínek v laboratorním prostředí a lze jimi demonstrovat výrobní procesy používané v chemickém průmyslu.

1 Nerostné suroviny

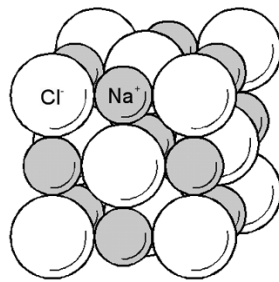
Nerostné suroviny hrají velkou roli při výrobách anorganických sloučenin v chemickém průmyslu už dlouhá léta. Ekonomika každého státu je z části založena na nerostných surovinách, které se na jeho území nachází a které je možné vytěžit a dále zpracovávat bez velkých zbytků.

Pod pojmem nerostná surovina si lze představit každou horninu nebo nerost, která je vhodná jako základní surovina pro anorganickou a také organickou výrobu. Dle možnosti využití lze suroviny rozdělit do dvou základních skupin. První je skupina hornin a nerostů, které se využívají pro jejich speciální složení, kde příkladem je oxid hlinitý neboli bauxit (Al_2O_3), který lze využít jako ruda hliníku, dále pyrit (FeS_2), který se využívá jako ruda železa nebo rutil (TiO_2), využívaný jako ruda titanu. Druhou taktéž rozsáhlou skupinou jsou horniny a nerosty, které nachází využití pro své fyzikální a technické vlastnosti. Příkladem je dusičnan amonný, který se ihned po vytěžení používá jako hnojivo.

Ekonomická využitelnost nerostných surovin závisí na možnostech koncentrace a zpracování. Jsou pro to stanoveny normy obsahu žádané složky i některých doprovodných látek, které ovlivňují celkové zpracování. ¹

2 Krystalová struktura

Základní stavební jednotkou nerostných surovin neboli nerostu je krystal. Krystal je těleso vznikající určitým typem parageneze a vznikající v krystalové mřížce. Krystal se skládá z atomů, iontů či molekul, které jsou pravidelně uspořádány v prostoru. Příkladem je chlorid sodný, jehož krystaly krystalizují plošně centrované kubické mřížce (obr. 1), a je to taktéž viditelně poznatelné na vzhledu jeho krystalu (obr. 2).



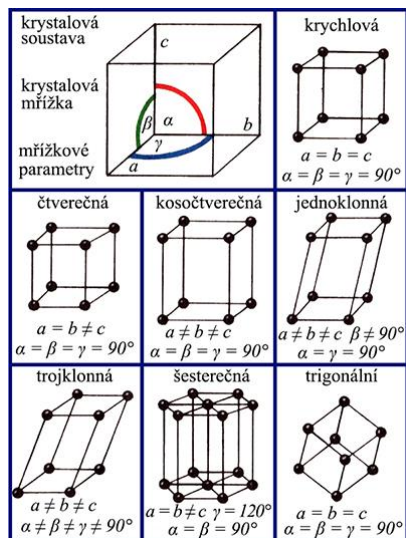
Obr. 1 Krystalová struktura NaCl²



Obr. 2 Krystal NaCl³

Každý krystal má stálý tvar a strukturu vzhledem k silám, které uvnitř něj panují. Jedná se o chemickou vazbu.

Velmi početnou skupinou jsou látky krystalické. Jak už bylo řečeno, atomy jsou v tomto typu látek uspořádány do krystalových mřížek (obr. 3).

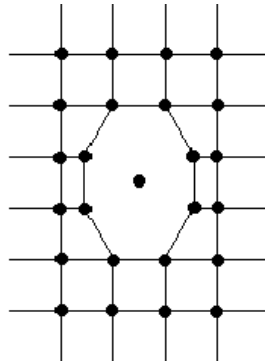


Obr. 3 Typy krystalových mřížek⁴

Věda zabývající se studiem krystalických látek se nazývá krystalografie. Pojem krystalová struktura vymezuje způsob uspořádání částic v krystalických látkách. Vyplnění prostoru krystalické mřížky zajišťují stavební částice kulovitého tvaru, které se snaží o maximální vyplnění prostoru. Existují tři neekvivalentní způsoby vyplnění prostoru.

Krystaly rozlišujeme jako ideální a reálné. V reálných krystalech mohou vznikat krystalové poruchy. Tyto jevy zásadním způsobem ovlivňují mechanické, elektrické a chemické vlastnosti krystalu.

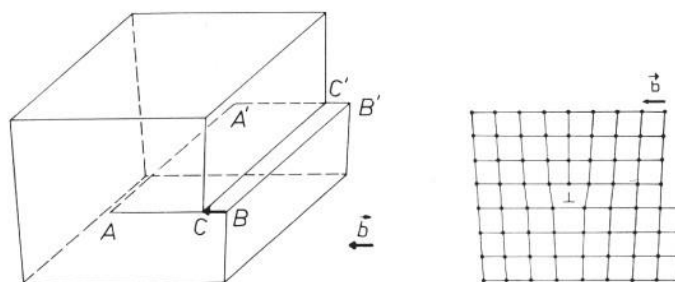
Poruchy lze dělit na bodové, kdy dochází za zvýšené teploty ke změně polohy v částici, nebo k vakanci, což je úplná absence částice, a v poslední řadě k takzvanému vmezeření částice. Vmezeřená částice následně v prostoru přebývá.



Obr. 4 Bodová porucha krystalové mřížky⁵

Dalším typem jsou poruchy lineární, které se na výsledné změně vlastností krystalů projevují mnohem více než poruchy bodové. Tento typ poruchy se netýká pouze jednotlivých atomů, ale celé mřížky. Tyto defekty se projevují v liniích, zpravidla podél osovy určitých atomů nebo stavebních jednotek.⁶

Mezi lineární poruchy krystalu patří hranová dislokace, která se projevuje především posunutím části krystalu o určitý vektor vzhledem ke zbytku krystalu.



Obr. 5 Hranová dislokace krystalu⁷

Typy krystalů lze rozdělit do čtyř základních skupin. Skupiny jsou vyčleněné podle toho, jaký typ vazby vzniká.

Iontové krystaly:

V iontových krystalech jsou částice vázány iontovou vazbou. Jedná se o vazbu, která zprostředkovává přenos elektronů mezi elektronegativním a elektropozitivním prvkem. V mřížce jsou poutány kationty a anionty elektrostatickou silou. Tento typ krystalů se vyznačuje vysokou tvrdostí a vysokou teplotou tání. Příkladem jsou krystaly alkalických halogenidů jako je chlorid sodný (NaCl).

Kovalentní (atomové) krystaly:

U atomových krystalů jsou atomy vázány sdílením elektronů se sousedními atomy, přičemž dané elektrony náleží oběma atomům. Pro tento typ krystalů je význačná vysoká teplota tání a odolnost vůči běžným rozpouštědlům. Příkladem je struktura diamantu nebo krystalů křemíku.

Molekulové krystaly:

Molekulové krystaly se skládají z molekul, mezi kterými působí slabé vazebné interakce chemické povahy. Jedná se i Van der Waalovy síly nebo dipólové interakce. Příkladem je struktura ledu, ve kterém se za nízkých teplot na soudržnosti podílejí dipólové momenty. Příkladem za běžné teploty je jod nebo sacharóza.

Kovové krystaly:

Tento typ krystalů představuje krystaly kovových prvků, jejichž valenční elektrony jsou slabě vázány k jádru. Vazba v tomto typu krystalu je všesměrná a velmi silná. ⁸

Valenční elektrony jsou delokalizovány v celém krystalu, což poskytuje silnou soudržnou sílu, která drží atomy kovů pohromadě. Kovové krystaly se vyznačují velmi dobrou tepelnou a elektrickou vodivostí. Příkladem jsou všechny kovy jako měď, hliník, železo a další.

2.1 Postupy získávání sloučenin z nerostných surovin

Jednou z hlavních myšlenek, kterou se zabývá lidstvo už od dávných dob je, jak co možná nejefektivněji získávat potřebné sloučeniny z nerostných surovin. V moderním světě existuje řada postupů a technologií, které jsou v tomto procesu nápomocny. Významným

oborem, který se zabývá zpracováním kovů z jejich rud je metalurgie. Příkladem je sfalerit (sulfid zinečnatý, ZnS), ze kterého se metalurgicky získává zinek.

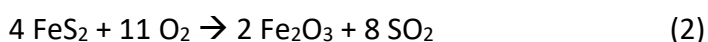
Jednou z nejvíce používaných metod metalurgie je pražení vytěžených rud. Pražení je přípravný proces, při kterém se užívá dlouhého působení vysoké teploty na rudní nerost. Pražení lze rozdělit na termický rozklad, oxidační tavení, sulfatační pražení, a redukční.

Termický rozklad neboli kalcinace se odlišuje tím, že není třeba používat při pražení plynnou fázi. Příkladem je termický rozklad vápence, který se používá při výrobě páleného vápna. (1)



Termický rozklad nebo také termolýza je reakce, kdy dodáním většího množství tepla dochází k rozštěpení původní vazby a vznikají vazby nové. Získávají se tak často ze solí oxidy, které je možné rozpustit v kyselinách případně sloučeniny, které lze rozpustit ve vodě.

Dalším typem je takzvané oxidační tavení. Pro úpravu látek je tento proces velmi významný, protože dochází k přeměně kovových rud (nejčastěji sulfidů) na oxidy. Za oxidačního tavení dochází k oxidaci kyslíkem na oxidy. Příkladem je rovnice pražení pyritu (disulfid železa, FeS₂), který se oxidačním tavením za přítupu vzduchu oxiduje na oxid železitý a oxid siřičitý. (2)



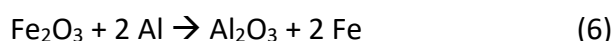
Oxid siřičitý lze dále využít pro výrobu kyseliny sírové a oxid železitý dále vystupuje jako hlavní složka pro výrobu surového železa.

Dalším typem je sulfatační pražení. Jedná se o úpravu, kdy se málo rozpustné sulfidy přeměňují na ve vodě výborné rozpustné sírany. Sulfatační pražení je složitý proces, při kterém dochází k upražení sulfidu, vzniku oxidu siřičitého a příslušného oxidu kovu. (3) Oxid siřičitý se dále katalyticky oxiduje na oxid sírový za přítomnosti katalyzátoru V₂O₅ (oxid vanadičný) (4), který následně reaguje s oxidem kovu na síran. (5)



Redukční tavení je forma typického zpracování rud metalurgickým procesem. Při redukčním tavení dochází k redukci oxidů neželezných kovů a vytěsňují železo v oxidické formě. K redukčnímu tavení se nejčastěji používá uhlík nebo plynná redukovačla, mezi které lze zařadit například oxid uhelnatý nebo vodík. Redukční tavení převádí oxidy nekovových kovů na nižší oxidy. Převedení na nižší oxid je účinnější pouze v případě, že nižší oxid je lépe rozpustný v loužicím roztoku.

I přes to, že je uhlík velmi silné a účinné redukční činidlo, může při procesu redukce za vysokých teplot docházet i ke vzniku nežádoucích sloučenin uhlíku, jako jsou například karbidy. Z tohoto důvodu se začalo užívat technologie, která se nazývá metalotermie. Jedná se o typ redukce, při které je užito kovů, které mají větší elektronovou afinitu ke kyslíku, než redukovaný kov. Nejčastěji se užívá hliník nebo křemík. Redukce se speciálně nazývají aluminotermie a silikotermie. Typickým příkladem aluminotermie je získávání železa z oxidu železitého. (6)



2.2 Elektrochemické procesy

Elektrochemickými procesy se získávají jednotlivé produkty výrob za pomoci elektrolýzy roztoků nebo tavenin různých surovin. Při elektrochemických procesech mají významné postavení použité elektrody, které musí být vyrobeny z materiálu odolávajícímu chemickému prostředí, mít dostatečnou trvanlivost a přijatelnou pořizovací cenu. ¹

Asi 96% světové produkce chloru a 80 % louhů (NaOH. KOH) se získává elektrolýzou vodných roztoků chloridu sodného a draselného. ⁹

V přírodě se vyskytuje chlorid sodný jako nerost halit, největší naleziště v Evropě se nachází v Polsku, Německu a v neznámějším Solivaru u Prešova. Těží se povrchově nebo kopáním. Dále se dá halit také získávat ze slané vody, která se zahustí a je dále přečerpána do usazovacích nádrží.

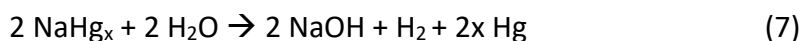
K elektrolýze se používá nasycený roztok chloridu sodného (solanka). Chlorid draselný, taktéž hojně využívaný k elektrolýze za účelem výroby louhu draselného, se vyskytuje

v přírodě jako nerost sylvín. Jeho naleziště se vyskytují primárně na území Spolkové republiky Německo.

Elektrolýza chloridů alkalických kovů udržuje v důležitosti první příčky v chemickém průmyslu. Chlor vyrobený elektrolýzou chloridů alkalických kovů se dále zpracovává na polyvinylchlorid, jinak také známý jako PVC a další kopolymery. Dále se využívá také k výrobě rozpouštědel, a hlavně k výrobě kyseliny chlorovodíkové. Elektrolýzu roztoků chloridů alkalických kovů lze rozlišit do tří základních skupin, amalgámová, membránová a diafragmová.

Amalgámová elektrolýza

Při tomto typu elektrolýzy se uplatňuje mechanismus, při kterém dochází k vylučování příslušného alkalického kovu na rtuťové elektrodě a dochází ke vzniku meziprojektu, kterým je slitina rtuti s kovy, tzv. amalgám (7). Slitina se pak dále ve speciálním zařízení hydrolyzuje na příslušný hydroxid a vodík. Vzniklá rtuť se vrací zpět do elektrolýzéro.



Při elektrolýze se alkalický kov vylučuje na povrchu rtuti, odkud přechází do celého objemu. Důležité je, aby výsledný amalgám byl tekutý, jinak dochází ke vzniku výbušné směsi plynu chloru a vodíku, a následné explozi elektrolýzéro. Solanka se proto před vstupem do elektrolýzéro okyselí malým množstvím HCl, která snižuje tvorbu vodíku.

Diafragmová elektrolýza

Diafragmová elektrolýza se odlišuje od amalgámové hlavně v materiálu, ze kterého je vyrobena elektroda, a dále taky oddělením katodového prostoru od anodového porézní diafragmou. Diafragma je porézní propustná přepážka, která má za úkol oddělovat produkty elektrolýzy a zároveň neovlivňovat tok proudu.

Vzniklé hydroxidové ionty v katodovém prostoru migrují vzhledem ke svému zápornému náboji z katodového prostoru přes diafragmu do anodového prostoru, kde reagují s rozpuštěným chlorem a neutralizují kyselé produkty hydrolyzy chloru. V případě, že by nebyly tyto děje ovlivňovány, vznikal by při tomto způsobu elektrolýzy výhradně chlornan, který by se dále oxidoval na chlorečnan. Solanka proudící proti směru průchodu OH^- iontů ve stejné rychlosti, zabraňuje vzniku chlornanů. Výsledný katodový louh bude méně

koncentrovaný z důvodu obsahu příměsí NaCl a NaClO₃ a také proto, že část iontů odchází při zpětném toku solanky.⁹

Proto je nutné tento louh zahušťovat ve víceúrovňových odparkách za současného vylučování krystalického NaCl, který je velmi čistý a po oddělení se používá k dosycování vyčerpané solanky. Zahušťování louhu je energeticky velmi náročné, neboť na získání jedné tuny NaOH ve formě 50% roztoku je nutno odpařit asi 5 tun vody.⁹

Membránová elektrolýza

Membránová elektrolýza patří k nejvyužívanějším technologiím, začala se využívat v Německu k výrobě louhů a chloru kolem roku 1970. Využívají systému polopropustné neboli semipermeabilní membrány, které jsou vyrobené z elastického materiálu. Materiál, ze kterého jsou membrány zhotovovány se nazývá ionex. Katexové membrány propouštějí jen kationty, anexové membrány propouštějí především anionty.⁹

Elektrodové děje odehrávající se v tomto typu elektrolýzy jsou téměř shodné s ději, které se odehrávají v elektrolýze diafragmové. Rozdíl skýtají transparentní pochody elektrolytu a fakt, že katexová membrána je propustná pouze pro kationty. Výtěžek je ovlivňován nežádoucí migrací OH⁻ iontů, které musí být později neutralizovány příslušným množstvím kyseliny chlorovodíkové.

Katody jsou obvykle zhotoveny z ocelového nebo niklového drátěného pletiva, anody zase z aktivovaného titanu a jsou uspořádány do elektrodových jednotek, a ty potom do souborů.¹³ Katexové membrány plně odolávají účinkům chloru a chlornanů i při teplotách kolem 100 °C, protože jsou vyráběny z materiálů na bázi perfluorovaných uhlovodíků.

Membránová elektrolýza je ze všech ostatních typů elektrolýzy nejnáročnější na čistotu použité solanky, protože vícemocné kationty se usazují na membráně a tím ji poškozují a zhoršují její vlastnosti. Čistota solanky je zajišťována před vstupem do elektrolýzéry za pomoci louhu a sody a v poslední fázi ještě srážením fosfáty alkalických kovů.

Jednou z velkých předností membránové elektrolýzy je čistota výsledného louhu, která je dána především tím, že se používá nejčistší solanka. Energeticky je stejně náročná jako elektrolýza diafragmová a méně náročná než elektrolýza amalgámová.

2.3 Zahušťování louhu a výroba pevného hydroxidu sodného (NaOH)

Výroby pevného NaOH je velmi energeticky náročná, protože je potřeba z vodného roztoku odpařit vodu za pomoci dodávané energie. Starší metoda zahušťování louhů se provádí diskontinuálně a kaskádovitě v šesti až osmi litinových tavicích kotlích.⁹

K vytápění a udržování teploty v kotlích se používá plyn nebo topný olej, při teplotách v rozmezí od 200 °C do 480 °C je možné použít i elektrickou energii. Tavenina se v posledním kotli kaskády nechá zchladnout a přelévá se do nádob, kde dochází k tuhnutí. Hydroxidy vyrobené v moderních zařízeních, kterými jsou několika stupňové vakuové nebo trubkové odparky, se zpracovávají ve formě peciček, bloků nebo šupinek.

2.4 Základní metody separace

Během výroby anorganických látek v chemické technologii dochází souběžně také k výrobě látek nežádoucích, které se můžou nacházet v homogenním nebo heterogenním systému. Pro tento případ jsou tu metody separace, které se využívají k oddělování nežádoucích látek ve směsi, abychom docílili čistoty požadované látky a metody rafinační, které čistí látku od nežádoucích příměsí.

Směsi můžeme dělit na heterogenní např. směs tuhá fáze – tuhá fáze, směs kapalina-kapalina, kdy se jedná o směs vzájemně nemísitelných kapalin jako je olej a voda.

2.4.1 Filtrace a sedimentace

Jednou ze základních a nejčastěji používaných metod oddělení pevné fáze od kapalné fáze je filtrace, tedy průchod kapalné fáze přes porézní přepážku, která oddělí kapalnou a tuhou fázi. Základními typy filtrace jsou filtrace za horka, která funguje na principu zvýšení rozpustnosti a snížení viskozity dané látky za vyšší teploty, filtrace za sníženého tlaku pomocí tlakové vývěvy nebo klasická koláčová filtrace.

Další metodou oddělení dvou složek je sedimentace neboli usazování. K sedimentaci dochází tehdy, když jsou hustoty tekuté a pevné fáze rozdílné a celá soustava je v otáčivém

pohybu v odstředivce. Za takových podmínek dochází k pohybu pevných částic buď k povrchu, nebo v opačném směru, tj. ke dnu odstředivací nádoby.

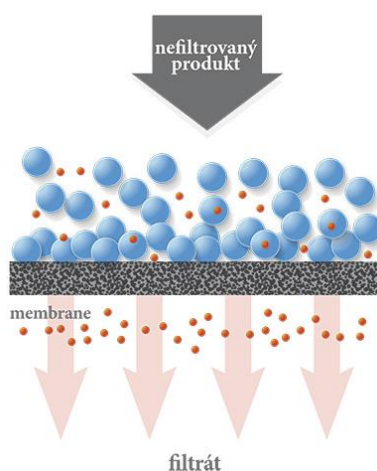
Mezi hojně užívané metody oddělení homogenních látek patří krystalizace. Tato metoda se zakládá na schopnosti mnohých pevných látek vylučovat se v roztoku v krystalech na základě jejich rozpustnosti.

2.4.2 Membránová separace

Membránová separace též zvaná jako membránové procesy je separační technika, která využívá, podobně jako klasická koláčová filtrace, techniky rozdílné velikosti látek, které jsou oddělovány. K oddělení se používají membrány z organických, anorganických i přírodních materiálů, které mají odlišnou strukturu (porézní, bez pórů, s aktivní vrstvou atd.).¹⁰

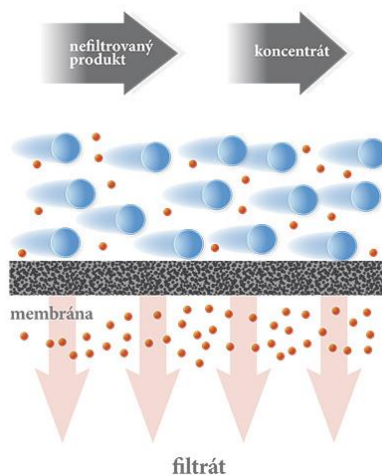
Dělicí vlastnosti membrán jsou dány jejich selektivitou a propustností. Selektivita ovlivňuje účinnost dělení a čistotu permeátu.¹⁰ Kapalina po průchodu membránou se nazývá permeát. Na celkové rychlosti neboli kinetice reakce se podílí také propustnost tzv. permeabilita membrány. Propustnost je přímo úměrná porezitě membrány tzn. hustotě pórů.

Membránová separace se dělí na dva základní typy. První je méně běžná „dead-end“ technika. Tento typ techniky využívá metody, kdy je přítok čerpán přímo na membránu, která zachytí větší částice, než jsou póry membrány a dojde k tvorbě koláče. Využívá se pouze jednoho přítoku a jednoho odtoku. (obr. 6)



Obr. 6 Schéma membránové separace "dead-end"¹¹

Druhým, častěji používaným, typem je tzv. „cross-flow“ metoda. Roztok je přiváděn na membránu ve směru příčném, tedy ze strany. Membránou je odváděn permeát a proud roztoky z membrány dále odplavuje takzvaný retenát, což je částečně odfiltrovaná zahuštěná suspenze. (obr. 7)



Obr. 7 Schéma membránové separace "cross-flow"¹²

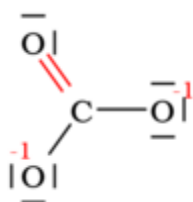
2.4.3 Metoda sušení

Procesem sušení nazýváme děj, při kterém dochází k odstranění cizí kapalně fáze z látek různého skupenství. V chemickém průmyslu je nejčastěji používaná kombinace, kdy sušíme pevnou látku, a tím z ní odvádíme látku kapalnou za využití fyzikálních vlastností dané látky jako je teplota odpařování.

Sušení je velice nákladnou položkou při chemických výrobcích, proto procesu samotného sušení předchází další jiné metody separace, jako je například filtrace, odstředování nebo lisování a pouze zbývající přebytečná vlhkost se odstraňuje přímo metodou sušení. Odvádění vlhkosti z tuhé fáze je možné i za teploty, která se rovná teplotě okolí, tento proces nazýváme samovolný výpar kapalně fáze, ke kterému není třeba žádný dodatečný zdroj tepla.

3 Uhličitaný

Uhličitaný jsou chemické sloučeniny odvozené od kyseliny uhličitý, jsou to tedy její soli. Jejich základem je uhličitanový anion CO_3^{2-} (obr. 8).

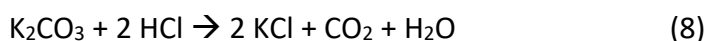


Obr. 8 Strukturní vzorec uhličitanu¹³

3.1 Uhličitan draselný (K_2CO_3)

Potaš (uhličitan draselný, K_2CO_3) je látka krystalické struktury, která patří mezi ve vodě dobře rozpustné soli a vytváří silně alkalické roztoky. Uhličitan draselný se vyskytuje a je na trhu dostupný v několika formách, nejčastější jsou bílé, silně hygroskopické granule nebo čistě bílý granulovaný prášek bez chuti a zápachu. Krystaly nejsou rozpustné v ethanolu ani acetonu.

Při reakcích s bezkyslíkatými kyselinami poskytuje oxid uhličitý a příslušnou sůl dané kyseliny, jako je tomu v případě reakce s kyselinou chlorovodíkovou. (8)



3.1.1 Výroba a využití

Využití uhličitanu draselného je velmi široké. V průmyslu se používá jako hnojivo nebo výchozí surovina pro výrobu skla. V historii se využíval také jako mýdlo. Ve sklářském průmyslu dochází k výrobě skla se speciálními optickými vlastnostmi, využívá se především k usnadnění tavby křemičitých písků. Pro vysokou hygroskopickou vlastnost je také používán k odstranění vody z organických látek. V potravinářství se používá jako regulátor kyselosti pro své alkalické vlastnosti.

K výrobě uhličitanu draselného se využívá popel suchozemských rostlin. Těla rostlin, jiným názvem biomasa, se spálí a vzniklý popel se vylouží vodou, vysušený filtrát je kalcinován, což je žíhání za vysoké teploty v draslářských pecích.¹⁴

K tomuto procesu se využívá speciálních draslářských kádí, které jsou na dně opatřeny vrstvou pilin nebo slámy, která slouží k rovnoměrnému rozložení vody, která protéká přes popel, voda je zachycována v kádi a poté přes ventil vypouštěna a připravena k procesu zahuštění.

Proces zahuštění filtrátu probíhá ve velkých odpařovacích kotlích, nebo mělkých pánvích. Filtrát podléhá vysokým teplotám, kdy se při dostatečném zahuštění začínají vylučovat první soli. Indikačním znakem vzniku uhličitanu draselného je hustě táhnoucí pěna, která se při varu vylučuje na hladině.

Poslední fází výroby je převedení této hnědé látky do kalcinační pece a zahřátí na vysokou teplotu. Při vysokých teplotách dochází k žíhání surového drasla, jinak lze proces najít také pod pojmem kalcinace drasla.

Potaš je nečistá forma uhličitanu draselného smíchaná s jinými draselnými solemi získanými louhováním dřevěného popela. Perlový popel je čistší formou uhličitanu draselného.¹⁴

Ve větších množstvích se uhličitan draselný vyrábí více populární karbonizací. Tento způsob výroby je založen na reakci hydroxidu a oxidu uhličitého. Proces začíná u elektrolýzy nasyceného roztoku chloridu draselného, kdy dojde ke vzniku alkalického draselného hydroxidu, který se dále sytil oxidem uhličitým. (9)



Uhličitan draselný se získával ve velkém množství spíše metodou spalování stromů, ovšem byla zde i možnost ho těžít. Těžba uhličitanu draselného není příliš výhodná, jeho těžbu komplikuje jeho absorpce ostatních příměsí a také to, že je lehčí než ostatní suroviny, a tím se uvnitř ložisek tvoří vzduchové kapsy, které jsou vyplněny plynem nebo ropou.

Jedním z největších nalezišť takových ložisek byla poušť v americkém státě Utah, kde při těžbě došlo k proražení plynové kapsy a následné explozi. Poté se od přímé těžby upustilo a těžba pokračovala metodou loužení rozpustných solí z půdy. Do půdy se jedním ventilem

pumpuje voda, která vytéká druhým ventilem obohacená o soli, které se potom získávají ze solanky odpařováním.

3.2 Uhličitan sodný (Na_2CO_3)

Uhličitan sodný (Na_2CO_3) patří mezi nejznámější uhličitany z hlediska použití i výroby. Lze se s ním setkat i v běžném každodenním použití v domácnostech nebo průmyslu také v podobě sody.

Jedná se o sůl kyseliny uhličitě, v bezvodém stavu představující bílý prášek bez chuti a zápachu (kalcinovaná soda). Ve vodě je dobře rozpustný a tvoří silně zásadité roztoky

Dekahydrát uhličitanu sodného, sumárním vzorcem $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, vzniká při krystalizaci za laboratorní teploty a lze jej také nazvat jako krystalovou sodu.

3.2.1 Výroba a využití

Soda byla používána již ve starém Egyptě, kde byla získávána z přírodních usazenin obsahujících cca 5 % Na_2CO_3 a 25 % NaHCO_3 a byla používána např. při mumifikaci.¹⁰

V současnosti se používá k výrobě skla, anorganických sloučenin sodíku, k výrobě detergentů a čistících prostředků a v neposlední řadě k výrobě buničiny a papíru. V domácnosti lze také změkčovat vodu sodou, která ve vodě váže ionty a vytváří tak ve vodě nerozpustné uhličitany. Používá se také jako inertní složka ve více než 600 aktivních pesticidech v USA.¹⁵

Do 18. století byla výroba sody prováděna spalováním rostlinného materiálu. Rostliny vhodné pro výrobu uhličitany bylo nutné pěstovat na mokřem a slaném podloží. Rostlinná biomasa byla spálena a její popel byl následně vylouhován, podobně jako tomu bylo u výroby uhličitanu draselného.

Zvýšení průmyslové poptávky v době rozmachu sody bylo tak velké, že zdroje z biomasy přestaly postačovat. Proto bylo třeba začít sodu vyrábět laboratorní cestou. S touto možností jako první přišel Noel Leblanc v roce 1790. Výrobu uhličitanu prováděl ve třech stupních. V prvním stupni rozkládal chlorid sodný kyselinou sírovou (10) a vzniklý síran sodný

tavil v peci koksem a vápencem (11, 12). Vzniklý uhličitan sodný byl z této vzniklé směsi vyluhován vodou.¹⁵



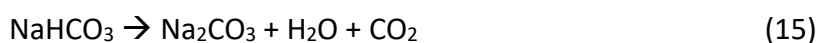
Koncem 19. století přichází známý chemik Ernest Solvay se způsobem výroby, který je méně náročný na množství výchozích surovin než Leblancův způsob. Solvayův způsob výroby sody se skládá ze tří kroků. Prvním krokem je reakce amoniaku s oxidem uhličitým a vodou, ze kterého vzniká hydrogenuhličitan amonný, který se dále uplatňuje ve druhém kroku. První proces je popsán rovnicí (13). Celý proces probíhá reakcí čisté solanky v karbonatačních kolonách, kde dochází k nasycení oxidem uhličitým ve dvou místech.

Karbonatační kolony v počtu 3 až 8 kolon jsou naplněny amoniakální solankou a oxid uhličitý se do nich vhání pod tlakem asi 0,3 MPa. Reakce je silně exotermní, a proto se kolony musí chladit, aby nedocházelo k tzv. zakrystalování. Získá se tak pohyblivá suspenze hydrogenuhličitanu sodného (14), která odtéká spodem kolony na rotační vakuové filtry nebo na kontinuální odstředivky, kde se hydrogenuhličitan sodný vyloučí a promyje kondenzátem z destilace amoniaku.⁹



Chlorid amonný zvaný také jako salmiak zůstává společně s chloridem sodným a chloridem vápenatým v matečném louhu, ze kterého se pak zpětně recyklují reaktanty potřebné v prvních krocích výroby a postup se tak stává ekonomičtějším.

V posledním kroku výroby dochází ke kalcinaci hydrogen uhličitanu sodného, tedy zahřátí produktu na vysokou teplotu a uvolnění oxidu uhličitého a vzniku uhličitanu sodného. Děj kalcinace je popsán rovnicí (16).



V roce 1937 byla objevena ložiska minerálu trona $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{NaHCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ a po 2. světové válce se začala soda vyrábět právě z tohoto minerálu.¹⁰ Výhoda této výroby byla v nákladech, které byly mnohonásobně menší, a také skýtala menší dopad na životní prostředí.

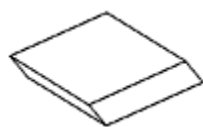
Minerál Trona se získává povrchovou těžbou a jeho výskyt je úzce spjat s nízkým úhrnem srážek. Největší světové zásoby se nachází v okolí jezera Magadi (Keňa, Afrika) nebo také v Egyptě. Velké množství lze nalézt také v USA.

3.3 Uhličitan vápenatý (CaCO_3)

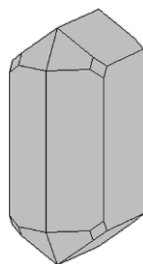
Uhličitan vápenatý (CaCO_3) je bílá krystalická látka bez chuti a zápachu. V přírodě se vyskytuje ve formě nerostů, které spolu dohromady dávají vzniku sedimentární horniny s názvem vápenec.

Uhličitan vápenatý se v přírodě vyskytuje jako vápenec, křída, mramor, aragonit, kalcit a lastury ústřic.¹⁶

Vápenec se vyskytuje ve formě několika krystalografických modifikací, které mají jinou strukturu mřížky, ve které krystalují, což ve finální podobě ovlivňuje podobu krystalu. Nejznámější podobou je kalcit, který krystalizuje v klencové soustavě. Další velmi hojně vyskytující se modifikací je aragonit, která krystalizuje v soustavě kosočtverečné.

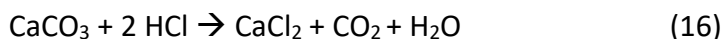


Obr. 9 Tvar krystalu kalcitu¹⁷



Obr. 10 Tvar krystalu aragonitu¹⁸

Uhličitan vápenatý patří mezi velmi málo rozpustné látky ve vodě. S kyselinou chlorovodíkovou reaguje za vzniku chloridu vápenatého, oxidu uhličitého a vody (16).



3.3.1 Výroba a využití

Hlavní využití uhličitanu vápenatého je při výrobě páleného vápna, které se pak používá k výrobě stavebních materiálů jako je malta. Dále se látka využívá také k výrobě celulózy, odsiřování, bělení skla nebo v potravinářství.

Uhličitan vápenatý se také využívá v procesu odsiřování v uhelných elektrárnách. V České republice se využívá mokrá vápencová metoda, která je založena na vypírání spalin suspenzí vápence. (17) Oxid siřičitý je vázán acidobazickou reakcí, jejímž primárním produktem je CaSO_3 , který se přiváděným vzduchem do absorbéru oxiduje na síran vápenatý (CaSO_4).¹⁹



Získaný sádrovec (energosađrovec) se separuje a může být využitý jako druhotná surovina.¹⁹

Výroba páleného a hašeného vápna spočívá v tepelném rozkladu uhličitanu vápenatého za vysoké teploty v žíhacích pecích. Rozkladem vzniká oxid uhličitý a oxid vápenatý, který je jinak také nazýván jako pálené vápno. Proces výroby páleného vápna lze popsat rovnicí (18).



Hydroxid vápenatý ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) tzv. hašené vápno je bezbarvá krystalická látka nebo prášek. Výroba spočívá v mísení páleného vápna, tedy oxidu vápenatého s vodou, a vzniká hydroxid vápenatý podle rovnice (19). Lze jej použít jako příměsí do stavebních materiálů.

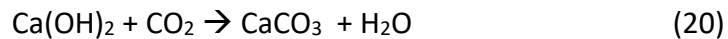


Výroba přírodního mletého uhličitanu vápenatého začíná těžbou ložiska křídý, vápence nebo mramoru.¹⁶

Ruda je po vytěžení převedena do primárního drtiče, aby došlo ke zmenšení velikosti krystalů a poté je exportována do závodu, který je přímo určen ke zpracování. Proces zpracování materiálu záleží na požadované čistotě produktu. Produkty vyžadující menší čistotu jsou sekundárně drceny a dále zpracovávány. Produkty, u kterých se klade důraz na čistotu produktu, je snaha o redukci výskytu rudy kovů a jiných minerálních nečistot.

Výroba uhličitanu vápenatého v průmyslovém odvětví se provádí cestou karbonizace. Proces zvaný karbonizace je založený na tvorbě páleného vápna z vápence, ten poskytuje oxid uhličitý a pálené vápno. (18)

Pálené vápno se smíchá s vodou a dává vzniku vápenného mléka (19), kterým probublává oxid uhličitý tak dlouho, dokud nedojde ke vzniku uhličitanu vápenatého (20). Reakční podmínky určuje typ krystalu a velikost částice.



Využití a těžba vápenců má v české historii kořeny velmi hluboko. První zmínky pramení už ve 12. století, kdy byly zaznamenány v architektuře vápence z Českého krasu na Berounsku. Velkou oblibou byl pak hlízovitý načervenalý vápenec těžný nedaleko Prahy v lomu Cikánka. Tyto červeně zbarvené vápence byly využívány zejména jako dlažba, výstavba sloupků nebo oltářů. Je možné spatřit v Chrámu svatého Víta, Národním divadle anebo ve stanicích metra.

Vápenec je nejrozšířenější sedimentární horninou vůbec. Jeho těžba probíhá téměř po celém světě a závisí na poptávce a také na místních geologických podmínkách.

4 Dusičnany

Dusičnany, tzv. (ledky) jsou soli kyseliny dusičné obsahující skupinu NO_3^- , které jsou zásluhou jejich struktury stálé. Dusičnany se přirozeně vyskytují jak v půdě, tak ve vodě a jejich nadměrná koncentrace ve vodě způsobuje eutrofizaci, která má následně špatný vliv na životní

prostřední vodních organismů. Eutrofizací se rozumí vysoká míra živin, které prospívají množení a růstu sinic, které se ve vodě následkem eutrofizace přemnoží a dochází k úbytku kyslíku ve vodě.

Dusičnany mají většinou vzhled bílé krystalické látky bez chuti a zápachu. Jejich výskyt je globální a je možné některé těžit jako nerostné suroviny. Ovšem jejich spotřeba je vysoká, proto je nutná také jejich výroba. Dusičnany se používají jako hnojiva v zemědělství. Obsahují pomaleji působící ionty NH_4^+ nebo účinněji a rychleji působící ionty NO_3^- . Některé jsou také na bázi močoviny, která se na účinnou formu NH_4^+ převádí až postupnou hydrolyzou.

4.1 Dusičnan amonný (NH_4NO_3)

Dusičnan amonný (amonný ledek) je amonná sůl kyseliny dusičné, která má krystalický vzhled bílé barvy. Je vysoce rozpustný za laboratorní teploty ve vodě. Při spalování za středních teplot kolem 210°C dochází k uvolňování toxických plynů ve formě oxidů dusíku. (21) Samotný čistý dusičnan amonný není vznětlivý, ale přidáním vznětlivých směsí podporuje hoření a může být i třaskavý, i proto se používá k výrobě zábavní pyrotechniky.



4.1.1 Výroba a využití

Amonný ledek se nejčastěji používá jako hnojivo, které je užíváno v zemědělství z důvodu svého vysokého obsahu dusíku a také lehké difundaci přes membrány rostlin.

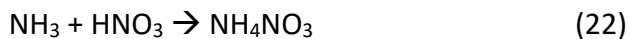
Obvykle se vyrábí s přísadou 20 % CaCO_3 pro snížení obsahu dusíku (snížení výbušnosti).⁹

Dále se využívá také k výrobě rajského plynu (21), který je také známý jako oxid dusný N_2O a je využíván jako anestetikum ve zdravotnictví. Častěji ho ve společnosti můžeme zaznamenat jako smějící se plyn, vzhledem k účinkům, které má na lidský organismus. Jeho nadměrné užívání může vést k otupení myšlení a k nerozhodnosti jedince. V extrémních případech může vést vdechování až ke smrti nebo zástavě dýchání.

Dusičnan amonný lze využít jako složka čistících prostředků na odstranění skvrn, k výrobě zábavní pyrotechniky, zápalek a trhavín. Výbušniny vytvořené na vodní bázi

dusičnanu amonného přineslo revoluci v průmyslu a vytěsňují výbušniny a trhaviny na bázi nitroglycerinu.

Výroba dusičnanu amonného se provádí neutralizací kyseliny dusičné amoniakem. (22)



Neutralizační teplo, které se uvolňuje neutralizací kyseliny dusičné amoniakem by stačilo na úplné zahuštění roztoku až na krystalický dusičnan amonný. Bohužel při zahušťování dochází ke vzrůstu bodu varu roztoku až na teploty, při kterých vaří kyselina dusičná. Začala by tedy automatická destilace kyseliny dusičné z roztoku. Výrobu proto nelze provádět tak jednoduše, jak na první pohled vypadá. Samotná výroba dusičnanu amonného lze rozdělit do tří kroků.

Prvním krokem je samotná neutralizace kyseliny dusičné amoniakem, poté přichází na řadu zahuštění roztoku až na taveninu. V poslední řadě dochází k finálním úpravám taveniny.

Jedním typem formy neutralizace je Hoblerův neutralizátor, který využívá technologie rozprašování kyseliny dusičné na stěny ocelového válce, který se sytí amoniakem. Produktem bývá 70-75% dusičnan amonný. Reaktor je spolehlivý, má malé ztráty na dusíku, avšak je příliš rozměrný a produkt je málo koncentrovaný.⁹

Druhým je belgický SBA systém. Cena je nižší než u předchozího neutralizátoru a velikost menší, nicméně je schopen připravit koncentrovanější dusičnan amonný. Pracuje na bázi cirkulace kapalné složky v reaktoru, která je zapříčiněna rozdílnou hustotou za rozdílných teplot. Páry odcházející z reakční komory se využívají k předehřívání kyseliny a amoniaku. Příklad pracuje jak v beztlakém režimu, tak i za režimu zvýšeného tlaku. Při teplotách 200 °C a tlaku 0,45 MPa dokáže vyrobit dusičnan amonný o koncentraci vyšší než 80 %.

Třetím je Stengelův způsob výroby. Stenglerův způsob výroby má vlastní reaktor tvaru trubky z nerezové oceli vyplněné Raschigovými kroužky, kam při tlaku 0,35 MPa přicházejí předehřátá 60% kyselina dusičná a amoniak.²⁹ Teplota v reakční komoře se pohybuje kolem 205-240°C. Vzhledem k vysoké teplotě dochází k okamžitému odparu vody a vzniku silně koncentrované taveniny dusičnanu amonného pohybující se kolem 98 %.

Při zpracování tavenin je důležité omezit manipulaci přímo s taveninou, proto je nejlepší taveninu vést přímo ke zpracování na tuhý produkt. Výsledný produkt se granuluje a výsledné granule jsou pudrovány jemně mletým mastkem nebo vápencem.

V České republice se dusičnan amonný vyrábí v chemickém závodě Lovochemie v Lovosicích.

Dusičnan amonný se vyskytuje v ložiscích hornin bohatých na dusičnany. Největším nalezištěm je poušť Atacama v Chile, kde jsou rozsáhlá naleziště ledkových hornin. Výskyt umožňuje nízký úhrn srážek, který dusičnany nevyplavuje, a je tedy umožněna jejich sedimentace. Další největší naleziště se nacházejí v Rusku, Peru a Kanadě. V České republice nejsou podle dostupných údajů žádná ložiska hornin bohatých na dusičnany, údaje se vztahují k roku 2019.

4.2 Dusičnan sodný (NaNO₃)

Dusičnan sodný (NaNO₃) známý jako chilský ledek, je sodná sůl kyseliny dusičné. Název chilský ledek nese z důvodu oblastí, ve kterých se jako minerál vyskytuje velmi hojně. Je to bílá krystalická látka, která se zpracovává ve formě krystalů nebo granulí. V přírodě se vyskytuje ve formě minerálu nitronatritu. Samotný je nevznětlivý, ovšem jako příměs urychluje hoření. Při požáru, kterého se účastní také dusičnan může dojít k silné explozi. Při jeho interakci s vysokou teplotou dochází k uvolňování toxických oxidů dusíku a kyslíku, který podporuje hoření.

Minerál nitronatrit, ze kterého se získává krystalický nebo granulovaný dusičnan sodný je minerál krystalizující v klencové soustavě. V přírodě se nachází jako celistvé zrnité útvary, které jsou často proloženy chloridem sodným. Barva je červená až nahnědlá.



Obr. 11 Minerál nitronatrit²⁰

4.2.1 Výroba a využití

Dusičnan sodný se používá jako součást bělicího média v barevných bělicích lázních. Dále lze dusičnan používat také jako stabilizátor v potravinářství, který stabilizuje barvu masa a zabraňuje šíření plísní a množení bakterií v potravinách.

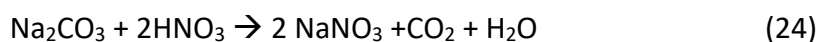
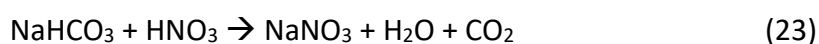
Dusičnan sodný se užívá také jako příměs v pesticidech. První zmínka o použití dusičnanu sodného jako příměs pesticidu pochází z roku 1984. Pesticidy fungují jako hubiče

živočichů na základě technologie uvolňování toxických plynů po zapálení. Hoření je podporováno přítomností dusičnanu sodného a zároveň dochází k uvolnění toxických plynů. Nejčastější je umístění k ústí nory nebo hnízda, kde organismus žije.²¹

Využívá se také při výrobě skla a keramiky. Dále se využívá také jako složka uhelných briket, získávání cínu ze šrotu, oxidační činidlo a v neposlední řadě taky jako významné hnojivo, které se vyznačuje vysokou rozpustností.

Dusičnan sodný se vyrábí z přírodní horniny, která se nazývá kalich. Jedná se o ztužený přírodní cement s příměsí dusičnanu sodného. Kalich se nechává louhovat ve vysokých kádích na jejichž dně se nachází kohout určený ke stáčení matečného louhu. Dolní odtok je před stáčením zahříván, aby došlo k lepšímu rozpuštění dusičnanových solí. Matečný louh se následně ochladí a dochází ke vzniku krystalů dusičnanu sodného.²¹

V novodobých postupech se užívá spíše syntetické laboratorní výroby. K výrobě dochází standardně neutralizací kyseliny dusičné se solemi, které obsahují sodík nebo s hydroxidem sodným. (23, 24, 25)



Chilský ledek nese svůj název podle geografické lokace, kde se vyskytují jeho největší ložiska. Výskyt ložisek umožňují velmi specifické podmínky místního podnebí, které je způsobeno vysokým pohořím, které obstará velmi nízký úhrn srážek za rok, vysoké teploty a podobně. Tímto místem je poušť Atacama rozlehající se v Jižní Americe na území státu Chile. Suché podnebí zde udržuje velká ložiska hornin obsahujících vysoké množství dusičnanu sodného. V dřívějších dobách byla ekonomika státu závislá na těžbě této suroviny. V dnešní době se ve větším měřítku vyrábí průmyslově.

4.3 Dusičnan draselný (KNO₃)

Dusičnan draselný (KNO₃) tzv. ledek draselný je sůl kyseliny dusičné. Někdy je možné ji zaznamenat také pod triviálním názvem sanytr či slanytr. Disponuje vysokou rozpustností ve vodě a při jeho rozpouštění se roztok velmi značně ochlazuje.

Dusičnan draselný se jeví jako bílá až špinavě šedá krystalická pevná látka.²² Sama o sobě není hořlavá, ale v blízkosti ohně podporuje hoření a urychluje ho. Pokud dojde ke vznícení velkého množství nebo jemně rozptýlených částic ve vzduchu, může dojít až k explozi. Při tepelném rozkladu vznikají toxické oxidy dusíku.

4.3.1 Výroba a využití

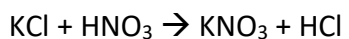
Dusičnan draselný se používá v mnoha odvětvích průmyslu. Nejznámější funguje jako hnojivo pro svou vysokou rozpustnost a zdroj dusíku a draslíku. Dále lze dusičnan draselný používat jako složku zubních past, která chrání chrup od zubního kazu a také k celkovému snížení bolestivé citlivosti zubů. Zubní pasty mohou obsahovat až 5 % dusičnanu draselného jako složky znečitlivující zuby.²² Pro vysokou podporu hoření se používá také jako součást zábavní pyrotechniky. Dříve dusičnan draselný také tvořil jednu z hlavních složek pro výrobu kyseliny dusičné.

Dále je možné zaznamenat dusičnan draselný v potravinářském průmyslu jako konzervant E252. Výhradně se používá při výrobě tvrdých a polotvrdých sýrů, masných a rybích výrobků. O obsahu dusičnanů v potravinách se často mluví jako o nebezpečných, protože jejich metabolismem se redukuje v těle člověka na dusitany, které mohou být za specifických podmínek karcinogenní.

Při teplotách pohybujících se v rozmezí 550-790 °C dochází k tepelnému rozkladu dusičnanu draselného na dusitan draselný za vzniku kyslíku. (26)



Jedním z větších producentů dusičnanu draselného jsou Spojené státy americké, kde se komerčně vyrábí na základě reakce chloridu draselného a kyseliny dusičné za zvýšené teploty. (27)



(27)

Mezi 17. a 19. stoletím se používala bakteriální nitrifikace organických odpadů bohatých na dusík k získávání dusičnanů.²² Do jímky se nashromáždily různé zbytky bohaté na dusičnany a byly ponechány louhování, výsledný matečný louh se nechal odpařit a došlo ke vzniku surových dusičnanů.

Dusičnan draselný se v přírodě nevyskytuje jako minerál ani jako hornina. Může se vyskytovat jako součást nerostných surovin, které jsou bohaté na draselné soli nebo na dusičnany. Jeho přímá těžba není zaznamenána ani v České republice.

5 Oxidy a sulfidy

Kovy představují pro průmysl nejdůležitější konstrukční materiály. Kovy na bázi železa se obvykle shrnují do zvláštní skupiny, která zahrnuje všechny kovy, jejichž převládající složkou je železo, tedy mimo ocel a litinu i různé legované oceli, zvláště pak nerez oceli.⁹ Hliník, jeho slitiny a hořčík pak tvoří zvláštní skupinu označovanou jako lehké kovy.⁹

Výroba kovů probíhá v průmyslu pomocí metalurgických procesů, mezi které se řadí například pražení sulfidických rud, redukce koksem za vysokých teplot nebo pražení rud bohatých na kovy. Tyto sloučeniny se v přírodě vyskytují jako minerály a dají se těžit.

Mezi nejrozšířenější patří například zpracování železné oxidické rudy Fe_2O_3 (krevel). Dále mezi nejznámější zdroje pro metalurgickou výrobu představují sulfidické rudy. Běžně používanou sulfidickou rudou je pyrit, který se pražením převádí na oxid železitý nebo chalkopyrit (sulfid měďnato-železnatý, CuFeS_2), který je důležitý jako zdroj mědi.

5.1 Oxid železitý (Fe_2O_3)

Oxid železitý (Fe_2O_3) se vyskytuje v přírodě jako nerost hematit (krevel). Hydratovanou formu oxidu železitého představuje limonit. Hematit je rudní nerost železa, který se vyznačuje stříbřitě šedou až černou barvou a krystalizuje v klencové soustavě.

V přírodě se hematit vyskytuje v podobě nejrůznějších forem. Převažují zrnité a zemité agregáty nebo vláknitě paprscitá struktura s kulovitým povrchem na koncích svazků těchto vláken. Výskyt tohoto nerostu způsobuje zbarvení půdy do jasně červenohnědé barvy.

Oxid železitý představuje hlavní složku pro průmyslovou výrobu železa ve vysoké peci a také se využívá při aluminotermické výrobě železa. Dále lze oxid železitý zaznamenat jako složku při výrobě audiokazet a šperků.

Hematit je globálně rozšířený minerál, největší naleziště v České republice se nachází v Brdech a v Karlovarském kraji.

5.2 Disulfid železnatý (FeS₂)

Disulfid železnatý (FeS₂) je rudní nerost bohatý na železo. Vyznačuje se zlatavou barvou a často bývá zaměňován se zlatem. V přírodě s nevyskytuje také jako markazit, který se odlišuje jinou stavbou krystalové mřížky. Výskyt tohoto rudního nerostu je na území celého světa rozsáhlý a obsahuje příměsi dalších kovů, jakými je například měď, zinek nebo stříbro. Pyrit krystalizuje v krychlové soustavě.

Ložiska pyritu se nacházejí hluboko pod povrchem, protože na povrchu zvětrávají a dochází ke vzniku sádrovců a limonitu. Od zlata se dá rozeznat velmi rychle, vryp do jeho struktury se vyznačuje černou barvou a zapáchá jako síra.

Disulfid železnatý (FeS₂) je používán především jako ruda železa a zpracovává se pražením na oxidy železa, které se dále uplatňují při výrobě železa ve vysoké peci.

Těžba probíhala na mnoho místech na Plzeňsku anebo také v oblasti Jesenicka v důlních šachtách u Zlatých hor.

5.2.1 Výroba železa

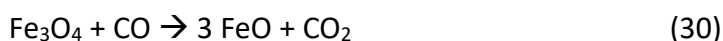
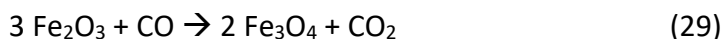
Pro výrobu železa se používají různé druhy rud s různým obsahem železa a průvodních kovů, jako je třeba mangan nebo chrom.¹

Výroba železa probíhá ve vysoké peci. Nejdůležitějším vysokopečním palivem je metalurgický koks, který se vyrábí karbonizací černého uhlí.¹ Cílem výroby je vyredukování železa a jeho odsíření. Ve vysoké peci dochází k velkému množství chemických procesů, které jsou charakterizovány pro jednotlivé úseky pece, na které je pec rozdělena podle toho, jaká teplota v daném úseku panuje.

Horní část pece se nazývá sazebná, kterou se do vysoké pece sváží rudy bohaté na železo. Nejprve se rudy redukuje oxidem uhelnatým a uhlíkem v oblasti nižších teplot. V dalším kroku přichází redukce koksem za vyšších teplot, kde dochází k roztavení strusky a surového železa. Struska chrání železo před oxidací vzduchem, který je do vysoké pece vháněn.

Redukční činidla produkuje spalování koksu. Struska je směs nečistit a netavitelných zbytků, které v tavenině vyplouvají na povrch a tvoří tak souvislou vrstvu.

Spodní část pece, jinak také nazývána nístěj, dochází k finální redukci oxidů železa uhlíkem (28). Nepřímou redukci oxidů železa ve vysoké peci oxidem uhelnatým lze vyjádřit rovnicemi: (29, 30, 31)



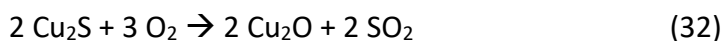
Skutečný mechanismus je však mnohem složitější. Produkty vysoké pece jsou surové železo, struska a vysokopecní plyn.¹

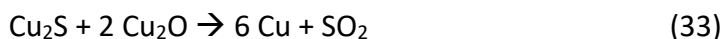
5.3 Sulfid měďnato-železnatý (CuFeS₂)

Rudní nerost s názvem chalkopyrit (Sulfid měďnato-železnatý, CuFeS₂) krystalizuje v krychlové soustavě a tvoří nejčastěji zrnité masivní agregáty, které se nachází hluboko pod povrchem, protože na vzduchu oxidují. Vyznačuje se mosazně žlutou barvou a leskem. Pro svůj vysoký obsah mědi se používá jako hlavní rudní nerost pro výrobu mědi.

5.3.1 Výroba mědi

V přírodě se vyskytuje nejčastěji v podobě sulfidických, méně často oxidických rud.¹ Příkladem je kuprit (oxid měďný, Cu₂S) U nás i v celosvětovém se pro výrobu mědi používají převážně pyrometalurgické metody.¹ Nejdříve dochází k pražení sulfidických rud bohatých na měď, ze kterých se vyrábí tzv. černá měď, která je následně zpracovávána rafinací žárovým postupem v nístějových pecích. V první etapě probíhá odstraňování železa a v druhé pak samotná redukce strusky a dochází ke vzniku mědi. Proces druhé etapy lze popsat rovnicemi: (32, 33)





Konvertovaná měď je málo čistá, nevhodná nejen pro výrobu slitin, ale i pro jiné použití, a proto se pro výrobu hutní mědi rafinuje žároveň a pro výrobu elektrotechnickou se rafinuje elektrolyticky.¹

Žárová rafinace se provádí v nístějových pecí za vysokého žáru. Tento způsob výroby je založený na principu afinity příměsí v mědi ke kyslíku. Rychlost reakce je přímo úměrná koncentraci prvku v lázni, tudíž se nejrychleji oxiduje měď.

Elektrolytická rafinace mědi se provádí ve vanových elektrolyzérech.¹ Elektrolytem je vodný roztok síranu měďnatého, který se udržuje v teplotním rozmezí 50 až 60 °C v 15 až 20% kyselině sírové. Do elektrolyzéro se vkládají měděné plechy z čisté mědi. Po 7 až 10 dnech se vyjmají katody s čistou mědí, která se následně balí na export do hutí, kde dochází k jejímu přetavení a následné výrobě čistých slitin mědi.

5.4 Oxid hlinitý (Al_2O_3)

Hydratovaný oxid hlinitý ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) představuje známý minerál bauxit. Tato nerostná surovina představuje pro chemický průmysl zdroj hliníku. Bezvodou modifikací je minerál korund (Al_2O_3) Kromě hliníku dále obsahuje také oxidy železa a různé další příměsi. Jeho výskyt je často spojený s teplým podnebím a vysokým výskytem srážek. Velký úhrn vody umožňuje vyluhování rozpustných příměsí z minerálů a na místech zůstávají pouze nerozpustné rudy hliníku. Největší ložiska hliníku se ve světě nacházejí v Austrálii a Číně.

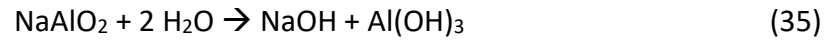
5.4.1 Výroba hliníku

Hliník je stříbrobílý, měkký, kujný a tažný kov, jeho vysoká elektrická vodivost představuje asi 64 % vodivosti mědi, ale jeho hustota je proti mědi asi třikrát nižší. Hliník se vyrábí převážně termickými nebo elektrochemickými metodami.¹

První metodou výroby je alkalické loužení rozemletého bauxitu za pomoci hydroxidu sodného v autoklávech. Hydratovaný oxid hlinitý tak přechází na rozpustný hlinitan. (34)



Roztok se odděluje od tzv. červených kalů, které obsahují hydratovaný oxid železitý a další nerozpustné látky, které jdou na odval. ¹ V dalším kroku probíhá hydrolytické štěpení a vznik $\text{Al}(\text{OH})_3$. (35)



Hydroxid hlinitý se odfiltruje, promývá, suší a následně se termicky rozkládá zpět na oxid hlinitý.

Elektrolýza oxidu hlinitého se provádí v praxi při teplotě mezi 950-1000°C. Hliník se vylučuje jako tavenina na katodě, kterou tvoří uhlíkové dno vany elektrolyzéro a občas se vypouští nebo odčerpává. ¹

6 Halogenidy

Halogenidy jsou dvouprvkové sloučeniny halogenu s elektropozitivnějšími prvky. Jsou to též soli halogenvodíkových kyselin. Mezi nejvýznamnější halogenidy s iontovou strukturou z pohledu surovinové základny patří chlorid sodný (NaCl).

6.1 Chlorid sodný (NaCl)

Chlorid sodný (halit, NaCl) se běžně označuje jako sůl. Chlorid sodný představuje velký význam jako složka významných životních funkcí většiny organismů. Chlorid sodný je bílá krystalická látka se slanou chutí bez zápachu. Vyznačuje se velkou rozpustností ve vodě a jeho největší výskyt je v mořské vodě. Obsah soli v mořské vodě se vyjadřuje v procentech a nazývá se salinita vody. Salinita se může v různých oceánech a mořích lišit.

6.1.1 Výroba a využití

Jeho typické využití je jako dochucovadlo pokrmů tzv. kuchyňská sůl s přídavkem jodu a fluoru. V živých organismech se využívá jako nejběžnější regulátor osmotického napětí. Dále se dá využívat také jako konzervant.

Sůl se také využívá při odmrazování, kdy se využívá principu změny tepelné kapacity vody, která po nasolení taje i při nižších teplotách, než je 0°C.

V chemickém průmyslu se chlorid sodný používá k výrobě hydroxidu sodného (louh sodný, NaOH), který se elektrolyzuje ze solanky. (viz kapitola 2.2).

Těžba čisté přírodní solanky se provádí vrtem do halitových žil, odkud se získává chlorid sodný v pevném skupenství ve formě krystalů anebo jako roztok. Solanka se těží mokrou metodou, která se provádí vstřikováním vody do halitových pouzder, kde se nechá dostatečnou dobu nasytit chloridem sodným. Po dostatečném nasycení je jiným odvodem odčerpána a následně zpracována na krystalickou sůl odpařováním.²³

Získávání krystalů chloridu sodného probíhá v odpařovacích nádržích, kam je načerpán roztok koncentrované solanky a působením slunečního záření se odpařuje voda.

V průběhu odpařování se solanka pohybuje mezi jednotlivými nádržemi celého odpařovacího systému. Krystaly chloridu sodného se vysráží v 10–25 cm vrstvě.²³

7 Laboratorní příprava vybraných látek

Praktická část práce se věnuje vybraným přípravám prvků a látek v laboratorním prostředí. Pracovní postupy jsou modifikovány, protože v laboratorních podmínkách nelze dosáhnout stejných podmínek jako při průmyslové výrobě. V metalurgii se hojně využívají redukce koksem za teplot, které přesahují hranici 1000 °C. Uvedené příklady jsou vybrány záměrně, protože se v nich uplatňují podobné pracovní postupy jako při výrobě prvků a sloučenin.

V chemii je důležité odlišovat termín chemická výroba a příprava. Termín chemická výroba označuje chemické procesy přeměny látek za využití odpovídajících technologií nebo metalurgických procesů. Většinou se ve spojitosti s výrobou hovoří o větším průmyslovém měřítku, které je ovlivňováno i ekonomickými aspekty. Příprava souvisí s laboratorním prostředím a váže se k menším množstvím než průmyslová chemická výroba.

7.1 Příprava mědi cementací

V laboratorních podmínkách lze měď připravit cementací. Cementace je jedna z metod metalurgického průmyslu, která se zakládá na principu vytěsnění ušlechtilého kovu z roztoku kovem neušlechtilým. Děje se tak i v roztoku síranu měďnatého, který reaguje s práškovým zinkem (36).



Pomůcky: Kádinka (500 ml), filtrační nálevka, stojan, tyčinka, odměrný válec

Chemikálie: pentahydrát síranu měďnatého ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), zinek (Zn), kyselina chlorovodíková (HCl)

Pracovní postup:

Nejdříve připravíme 10% roztok pentahydrátu síranu měďnatého (modrá skalice) rozpuštěním 10 g $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ v 90 ml vody. Roztok mícháme tyčinkou, dokud není veškerý síran rozpuštěný. Poté k roztoku přidáme pipetou 5 ml kyseliny chlorovodíkové a necháme

reagovat. Roztok necháme reagovat přes noc a druhý den je roztok přefiltrován přes filtrační aparaturu. (viz schéma obr. 12)



Obr. 12 Schéma filtrační aparatury

Přefiltrovanou měď na filtračním papíru několikrát dekantujeme vodou a sušíme v exsikátoru za nepřístupu vzduchu. Výsledný produkt zvážíme a lze vypočítat výtěžek.

Poznámky:

U provádění pokusu je důležité nezapomenout přidat kyselinu chlorovodíkovou, která nám odstraní zbytkový zinek a dojde ke vzniku $ZnCl_2$. Dále je nutné nechat vyschnout měď za nepřístupu vzduchu, protože měď je velmi reaktivní a vzdušný kyslík ji oxiduje.

Pokus je časově náročnější, protože je třeba počkat až dojde ke zreagování veškerého zinku. Zabere přibližně 45 minut první den a druhý den přibližně 30 minut. Tento pokus je na přípravu velice jednoduchý a lze ním demonstrovat postavení jednotlivých kovů v Beketovově řadě.

7.3 Elektrolýza roztoku chloridu sodného

Elektrolýza roztoku chloridu sodného (solanky) se používá v chemickém průmyslu nejčastěji k výrobě hydroxidu sodného. K její realizaci se používá nasycený roztok chloridu sodného, který se dá také získávat z přírodních zdrojů.

V laboratorních podmínkách se pracuje na stejném principu ovšem s menším množstvím. Principem reakce je rozklad elektrolytu, v našem případě solanky, pomocí procházejícího stejnosměrného proudu. Proud je do roztoku zaváděn dvojicí elektrod, katodou (kladná) a anodou (záporná). Procházející proud vede k redoxním reakcím na elektrodách a tím vzniká na katodě vodík, na anodě chlor a v roztoku hydroxid sodný.

Pomůcky: U trubice, kádinka (200 ml), tyčinka, lžička, uhlíkové elektrody, zdroj, kabely

Chemikálie: chlorid sodný (NaCl), fenolftalein

Pracovní postup:

Nejdříve připravíme v kádince nasycený roztok chloridu sodného. Do 150 ml vody se za stálého míchání přidává chlorid sodný do doby, dokud se rozpouští. V momentě, kdy na dně zůstává malé množství krystalů ukončíme přidávání. Výslednou solankou se naplní U trubice a na každý vývod trubice se připevní jedna elektroda. Elektrody se pomocí kabelů připojí na zdroj, na kterém se nastaví proud o velikosti 12 V. Při zapojování zdroje a manipulaci s kabely je nutné dbát na to, aby se jednotlivé kabely nedotkly, mohlo by dojít ke zkratování zdroje.

Po zapnutí zdroje začne probíhat elektrolýza a na obou elektrodách je patrná tvorba bublinek, které značí unikající plyn z roztoku. Na anodě vzniká vodík a na katodě chlor, proto je přísně zakázáno u elektrolýzy manipulovat s otevřeným ohněm a je nutné pracovat v digestoři. Po několika minutách přikápneme několik kapek fenolftaleinu, který indikuje zásadité prostředí, jedná se tedy o důkaz vzniku hydroxidu. Důkaz vzniku chloru je možné provést velmi opatrně čichovou zkouškou.

Poznámky:

Časová náročnost pokusu je přibližně jedna vyučovací hodina a je vhodný jako demonstrační. Ploché baterie by v našem případě nevyvinuly dostatečné napětí a reakce by neprobíhala!



Obr. 13 Aparatura elektrolýzy

7.4 Solvayův způsob výroby sody

Solvayův způsob výroby sody je postup sestávající se z několika kroků, které je možné demonstrovat v laboratoři. Princip spočívá v sycení amonného roztoku chloridu sodného (NaCl) oxidem uhličitým (CO_2), který vzniká reakcí uhličitanu vápenatého (CaCO_3) s kyselinou chlorovodíkovou (HCl).

Laboratorní proces výroby sody pomocí Solvayova způsobu nahrazuje technické postupy ve výrobě laboratorními technikami, které simulují přesný postup výroby ve čtyřech krocích.

Pomůcky: promývačka, Erlenmeyerova baňka (500 ml), gumová hadička, kahan, síťka, trojnožka, frakční baňka, dělicí nálevka, filtrační aparatura, lodička, lžička, váhy, žíhací kelímek, triangl, odměrný válec

Chemikálie: kyselina chlorovodíková (HCl, $w=0,1$), uhličitan vápenatý (CaCO_3), chlorid sodný (NaCl), roztok amoniaku (NH_3 , $w=0,25$)

Pracovní postup:

1. Příprava amoniakálního roztoku chloridu sodného

Na váhách odvážíme 30 g chloridu sodného a vsypeme do Erlenmeyerovy baňky, přidáme 120 ml amoniaku a uzavřeme zátkou. Baňku třepeme, dokud se nerozpustí co nejvíce chloridu sodného. Zbylé krystaly odfiltrujeme.

2. Sycení roztoku oxidem uhličitým

Do frakční baňky nasypeme 5 lžiček uhličitanu vápenatého a na frakční baňku připojíme dělicí nálevku, která je naplněna kyselinou chlorovodíkovou. Vše je potřeba utěsnit zátkou, aby vznikající oxid uhličitý neunikal do prostoru. (viz obr. 14) Na vývod frakční baňky je připojena gumovou hadičkou promývačka s již připraveným roztokem amoniaku a chloridu sodného. Pomalým přikapáváním vyvíjíme oxid uhličitý, který probublává roztokem. (37)

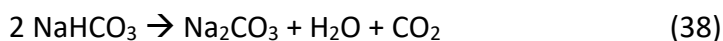


3. Příprava hydrogenuhličitanu sodného

Po ukončení reakce roztok zahustíme ke krystalizaci postupným odpařováním vody varem. V momentě zakalení roztoku zchladíme roztok pod studenou tekoucí vodou krouživými pohyby kádinkou. Vzniklé krystaly odfiltrujeme a vysušíme mezi dvěma listy filtračního papíru. Oddělení chloridu amonného od hydrogenuhličitanu sodného

4. Kalcinace hydrogenuhličitanu sodného

Vysušené krystaly nasypeme do porcelánového kelímku a zahájíme proces kalcinace. Rozklad hydrogenuhličitanu za vysoké teploty na uhličitan sodný (Na_2CO_3) za vzniku vody a oxidu uhličitého (38).



Přítomnost unikajícího oxidu uhličitého lze ověřit zapálenou špejlí, jejíž konec přiblížíme bezprostředně nad porcelánový kelímek, plamen na špejli zhasne.



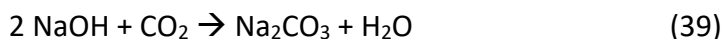
Obr. 14 Aparatura na sycení roztoku amoniaku a chloridu sodného oxidem uhličitým

Poznámky:

S amoniakem vždy pracujeme v digestoři, jeho páry jsou dráždivé pro oči a dýchací cesty! Hydrogenuhličitan sodný vykristalizuje na základně menší rozpustnosti. Je třeba dbát na to, aby zůstal chlorid amonný v roztoku a neznečistil krystaly hydrogenuhličitanu sodného. Pokus zabere přibližně dvě vyučovací hodiny. Je vhodný jako laboratorní cvičení na středních školách. Je ovšem třeba dbát na bezpečnost práce, pokud pracujeme s amoniakem nebo kyselinou chlorovodíkovou. Při realizaci pokusu je třeba dodržet přesně kroky návodu a dostatečně nasytit amoniakální roztok oxidem uhličitým.

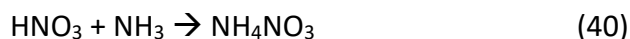
7.5 Jiný způsob výroby sody

V laboratoři lze také provést demonstraci postupu výroby sody z hydroxidu sodného zaváděním oxidu uhličitého do roztoku hydroxidu sodného (39) tzv Gossageovým proces. ²⁴



7.5 Příprava dusičnanu amonného (NH₄NO₃)

Laboratorně lze dusičnany připravují neutralizací kyseliny dusičné s příslušným hydroxidem za vzniku soli a vody. Konkrétně dusičnan amonný připravíme reakcí kyseliny dusičné (HNO₃) roztoku amoniaku (NH₃). (40)



Pomůcky: Kádinky (200 ml), odměrný válec, kahan, síťka, trojnožka, filtrační aparatura

Chemikálie: kyselina dusičná (HNO_3 , $w=0,1$), amoniak v roztoku (NH_3 , $w=0,1$)

Pracovní postup:

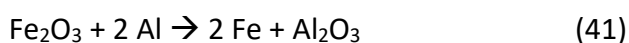
Do jedné kádinky připravíme 10% roztok kyseliny dusičné a do druhé 10% roztok amoniaku. Po přípravě obou roztoků je opatrně smísíme v jedné kádince a zahustíme ke krystalizaci. Veškerou vodu ze směsi necháme odpařit a krystaly opatrně vysušíme.

Poznámky:

S amoniakem vždy pracovat v digestoři, protože se jedná o dráždivou látku. Při práci s kyselinou dusičnou dbejte na nejvyšší možný stupeň bezpečnosti práce! Jedná se o velmi silnou kyselinu, jejíž oxidy mají narkotické účinky. Při přípravě roztoku vždy přiléváme kyselinu velmi pomalu do vody, Při rychlém smíchání může dojít k bouřlivé reakci a kyselina může vystříknout z kádinky.

7.6 Aluminotermie

Aluminotermie je metalurgický proces výroby kovů, při kterém zinek vyredukuje kovy z jejich oxidů. I přes to, že je nutné reakci aktivovat dodáním energie, v tomto případě zapálením reakční směsi, je reakce silně exotermická, tj. uvolňuje se velké množství tepla. Podstatou aluminotermické přípravy železa je redukce oxidu železitého hliníkem. (41)



Pomůcky: miska s pískem, porcelánový kelímek, kleště, filtrační papír, lžička, váhy, kahan, špejle

Chemikálie: hliník (Al), oxid železitý (Fe_2O_3), peroxid barnatý (BaO_2), hořčík (Mg), dusičnan draselný (KNO_3)

Pracovní postup:

Připravíme si směs 5 g hliníkového prášku a 15 g oxidu železitého tzv. termit. Dále smísíme 5 g peroxidu barnatého a 7 g práškového hořčíku tzv zápalnou směs, kterou společně

s termitem naplníme porcelánový kelímek. Důležité je při přípravě směsi v kelímku dbát na to, aby směs byla správně připravena. Pro její správnou přípravu naplníme kelímek nejprve termitem, do kterého pomocí zkumavky uděláme důlek. Termit kolem zkumavky důkladně udusáme tužkou. Do vzniklého důlku srolujeme proužek zápalného knotu tak, aby jeho konec přechýlil z kelímku. Pro přípravu zápalného knotu použijeme roztok dusičnanu draselného, do kterého ponoříme proužek filtračního papíru a vysušíme. Prostor mezi knotem a termitem vyplníme zápalnou směsí a následně přesypeme zápalnou směs i přes termit. Takto připravený kelímek vložíme do misky s pískem a špejlí zapálíme knot. Po ukončení reakce zůstane v kelímku vyredukované železo.

Poznámky:

Tento pokus je časově nenáročný a zabere přibližně 60 minut. Do přípravy pokusu je vhodné zapojit studenty. Průběh samostatné reakce je vhodné provádět s velkým rozstupem. Důležité je při provádění pokusu dbát na bezpečnost a pracovat v digestoři. Při reakci se uvolňuje tolik reakčního tepla, že může dojít k explozi.

8 Závěr

Cílem bakalářské práce bylo seznámit se s procesem výroby vybraných látek z nerostných surovin a popsat jejich průmyslovou výrobu a laboratorní přípravu. Práci je rozdělena na tři části. První část se věnuje metodám, která se využívají při výrobě vybraných prvků a sloučenin. Druhá část obsahuje jednotlivé vybrané chemické sloučeniny a informace, o jejich výrobě a použití. Třetí část práce je zaměřena na demonstraci vybraných výrobních postupů v podmínkách školní laboratoře.

Nerostnými surovinami mohou být například dusičnany, uhličitany, oxidy, sulfidy a halogenidy. Výskyt jednotlivých nerostných surovin je dán podmínkami, za kterých vznikají.

Tato bakalářská práce může být použita jako studijní materiál k problematice výroby sloučenin a prvků z nerostných surovin nebo jako laboratorní návod k simulaci průmyslových podmínek v laboratorním prostředí.

9 Seznam obrázků

Obr. 1 Krystalová struktura NaCl ²	7
Obr. 2 Krystal NaCl ³	7
Obr. 3 Typy krystalových mřížek ⁴	8
Obr. 4 Bodová porucha krystalové mřížky ⁵	9
Obr. 5 Hranová dislokace krystalu ⁷	9
Obr. 6 Schéma membránové separace "dead-end" ¹¹	16
Obr. 7 Schéma membránové separace "cross-flow" ¹²	17
Obr. 8 Strukturální vzorec uhličitanu ¹³	18
Obr. 9 Tvar krystalu kalcitu ¹⁷	22
Obr. 10 Tvar krystalu aragonitu ¹⁸	22
Obr. 11 Minerál nitronatrit ²⁰	28
Obr. 12 Schéma filtrační aparatury	40
Obr. 13 Aparatura elektrolýzy	42
Obr. 14 Aparatura na syčení roztoku amoniaku a chloridu sodného oxidem uhličitým.....	44

11 Seznam použité literatury

- 1 Neiser, DrSc, P. I. J.; et al. *Základy chemických výrob*, 1.st ed.; Státní pedagogické nakladatelství: Praha, 1988.
- 2 <https://web.natur.cuni.cz/ugmnz/mineral/tvary.html> (cit:25-5-2023)
- 3 <http://geologie.vsb.cz/loziska/loziska/nerudy/halit.html> (cit:25-5-2023)
- 4 <https://images.google.com/> (cit: 25-5-2023)
- 5 <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/626-bodove-poruchy> (cit: 20-6-2023)
- 6 <http://fyzika.jreichl.com/index.php/main.article/view/626-bodove-poruchy>
- 7 https://mineralogie.sci.muni.cz/kap_1_9_defekty/obrazek19_3.htm (cit: 20-6-2023)
- 8 https://is.muni.cz/do/sci/UChem/um/zas/pages/03_struktura.html
- 9 Kizlink, J.; et al. *Technologie chemických látek a jejich použití*, 4.th ed.; VUTIUM: Brno, 2011.
- 10 Lhotka, M.; et al. *Úvod do anorganické technologie*, 1.st ed.; VŠCHT Praha: Praha, 2012.
- 11 <https://filtrace.com/cross-flow-filtr/#tabs-C11> (cit: 8-3-2023)
- 12 <https://filtrace.com/cross-flow-filtr/#tabs-C11> (cit: 8-3-2023)
- 13 https://e-learning.vscht.cz/echo/anorganika/elektronoveVzorce/examples/ev_C103_2.html (cit: 9-3-2023)
- 14 National Center for Biotechnology Information (2023). PubChem Compound Summary for CID 11430, Potassium Carbonate. Retrieved 15-3-2023 from <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Potassium-Carbonate>
- 15 National Center for Biotechnology Information. PubChem Compound Summary for CID 10340, Sodium Carbonate. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Sodium-Carbonate>. (cit:15-3-2023)
- 16 National Center for Biotechnology Information. PubChem Compound Summary for CID 10112, Calcium Carbonate. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Calcium-Carbonate>. (cit:16-3-2023)
- 17 <https://web.natur.cuni.cz/ugmnz/mineral/mineral/aragonit.html>
- 18 <https://web.natur.cuni.cz/ugmnz/mineral/mineral/aragonit.html>
- 19 *Chemie XX, sborník katedry chemie*; Západočeská univerzita: Plzeň, 2004.
- 20 <https://cs.wikipedia.org/wiki/Nitronatrit> (cit:20-3-2023)
- 21 National Center for Biotechnology Information. PubChem Compound Summary for CID 24268, Sodium Nitrate. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Sodium-Nitrate> (cit_21-3-2023)
- 22 National Center for Biotechnology Information. PubChem Compound Summary for CID 24434, Potassium Nitrate. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Potassium-Nitrate> (cit:20-4-2023)

- 23 National Center for Biotechnology Information. PubChem Compound Summary for CID 5234, Sodium Chloride. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Sodium-Chloride> (cit:27-6-2023)
- 24 Brown, G. I. *Úvod do anorganické chemie*, 1.st ed.; SNTL: Praha, 1982.

12 Resumé

The main topic of this bachelor work are „Mineral resource for the production of elements and basic inorganic compounds“. This work is dividet into three parts.

In the first part is described theoretical charakterize about Mineral resources and their structure. The second part contains information about selected inorganic compounds and the third part is about, how to prepare selected inorganic compounds in laboratory.