
Lunds Tekniska högskola

Examensarbete

*PROCESSUTVECKLING FÖR RENING AV GIPS FRÅN SYSAVS
AVFALLSANLÄGGNING*

Av

Nursena Cicek



Institutionen för Kemiteknik

Lunds Universitet

April 2019



**LUNDS
UNIVERSITET**
Lunds Tekniska Högskola



LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA

Lunds universitet

Handledare: Universitetslektor, **Helena Svensson**

Handledare: Operativ chef/COO, **Håkan Lindsjö** och Verksamhetsledare, **Madeleine Brask**

Examinator: Professor, **Hans T. Karlsson**

Postadress	Besöksadress	Telefon	Webbsida
Kemicentrum Box 124 221 00 Lund	Naturvetarvägen 14	+46 46 222 82 85 +46 46 222 00 00	www.chemeng.lth.se

ABSTRACT

Sysav receives and burns combustible waste in a waste treatment plant. During combustion, flue gases are formed which, among other things, contains sulfur oxide. The flue gases need to go through a desulfurization process in order to reduce the high content of sulfur oxide, that is a major health hazard due to its toxicity.

The major part of purification process consists of two scrubs. In the first scrubber, the flue gases are washed with water and a small amount of lime slurry in order to precipitate heavy metals, dust and acidic substances. The desulfurization takes place in the second scrubber, where the flue gases are washed with water and a bigger amount of lime slurry. Gypsum is formed during desulfurization process and is usually called industrial gypsum or FGD gypsum that comes from "flue-gas desulfurization".

Sysav aims to recycle all residual products but cannot re-use the gypsum that is formed from flue-gas desulfurization since it is contaminated with among other things heavy metals and dioxins. Among the heavy metals, it is mainly lead, zinc and mercury that has higher levels and needs to be reduced. In addition to the impurities, the gypsum has too a high moisture content, which makes the material recycling more difficult.

The purpose of the master thesis was to, literary and experimentally, investigate methods that could be used to wash away sufficient amount of the contaminants from the gypsum so it could be used as a raw material for new gypsum products. In addition, possible drying processes for gypsum were investigated.

This master thesis especially focused on metal leaching with ammonia, sulfuric acid and sodium hydroxide. During leaching with sodium hydroxide, the properties for gypsum changed so leaching with sodium hydroxide was excluded after a few attempts. Different parameters such as concentration, temperature and liquid: solid ratio, were tested. For the reduction of dioxins, washing pelleted activated carbon was tested. Different retention times were tested as parameter here.

Sulfuric acid gave the best result on leaching. 29,4 % of zinc, 34,6% of lead and 23,6% of mercury was leached with sulfuric acid. Other metals such as lanthanum, copper and barium and cobalt were also leached. Ammonia did not work as well as sulfuric acid. 26,5% of zinc and 10,2% of mercury was leached with ammonia. Lead was not leached at all. Activated carbon for dioxin dissolution worked well and up to 40–50% of all dioxins were dissolved. Sulfuric acid could be preferred over ammonia, since more metals could be leached, and larger amounts of metals could be leached out.

Sulfuric acid leaching was scaled up to industrial scale and a small economic analysis was performed. According to the analysis, the construction cost will be approximately SEK 8.9 million with operating costs of SEK 12.4 million per year.

ABSTRAKT

Sysav tar emot och förbränner brännbart avfall i ett avfallskraftvärmeverk. Vid förbränningen bildas rökgaser som bland annat innehåller svaveloxid. Rökgaserna behöver gå igenom en avsvavlingsprocess eftersom svaveloxid utgör en stor hälsofara på grund av sin toxicitet.

Reningsprocessen för rökgaserna består av två skrubbar. I första skrubbern tvättas rökgaserna med vatten och liten mängd kalkslurry i avsikt att fälla ut tungmetaller, stoft samt sura ämnen. Avsvavlingen sker i den andra skrubbern. Här tvättas rökgaserna bland annat med vatten och kalkslurry och på detta sätt absorberas svaveldioxiden. Gipset som bildas vid avsvavlingsprocesser kallas oftast för industrigips eller FGD-gips som kommer från engelskans "Flue-gas Desuphurization".

Sysav har som mål att återvinna alla restprodukter men kan inte återanvända FGD-gipset som bildas då det är förorenat med bland annat bly, zink, kvicksilver och dioxiner. Utöver föroreningarna har gipset även för hög fukthalt, vilket försvårar materialåtervinningen.

Syftet med arbetet var att litterärt samt experimentellt undersöka vilka metoder som kan användas för att tvätta bort tillräcklig mycket av föroreningarna från gipset så att det kan användas som råvara till nya gipsprodukter. Dessutom undersöktes möjliga torkprocesser för gips.

I detta arbete fokuserades det speciellt på lakning med ammoniak, svavelsyra samt natriumhydroxid för reducering av metallhalter i gipset. Då gipset fick ändrade egenskaper efter lakning med natriumhydroxid, som klubbighet, uteslöts detta lakningsmedel. Olika parametrar såsom koncentration, temperatur och fast substans: vätska-förhållandet testades. För reducering av dioxinhalter testades tvättning med pelleterat aktivt kol. Här testades istället olika retentionstider.

Svavelsyra gav det bästa resultatet vid utlakning. 29,4% zink, 34,6% bly och 23,6% kvicksilver utlakades med svavelsyra. Andra metaller såsom lantan, koppar och barium och kobolt lakades också ut. Ammoniak fungerade inte lika bra som svavelsyra och många metaller kunde inte lakas ut. 26,5% zink och 10,2% kvicksilver lakades med ammoniak. Bly lakades inte alls. Aktivt kol för dioxinlösning fungerade bra och upp till 40-50% av alla dioxiner löstes.

Svavelsyra skulle kunna föredras framför ammoniak, vid utlakning av metaller då fler och större mängder av metaller kunde lakas ut.

Lakning med svavelsyra skalades upp till industriskala och en liten ekonomisk analys utfördes. Enligt analysen blir anläggningskostnaden ca 8,9 miljoner kr med driftkostnaden 12,4 miljoner kr per år.

POPULÄRVETENSKAPLIG ARTIKEL- KAN RÖKGASRENING VARA EN NY KÄLLA FÖR GIPSPRODUKTION?

Stora mängder av gips bildas som biprodukt vid rökgasavsvavling och läggs på deponi för närvarande på grund av höga halter av föroreningar. På grund av den kontinuerliga ackumuleringen ökar efterfrågan på återvinning på detta gips. Syftet med arbetet är att undersöka eventuella metoder som kan användas för att tvätta bort tillräckligt mycket av föroreningarna från gipset så att det kan användas som råvara till nya gipsprodukter.

Materialåtervinning är en viktig del av en hållbar miljö. Framförallt finns det stort intresse kring återvinning av gips som bildas vid rökgasrening. För närvarande går det tyvärr inte att återanvända gipset på grund av de höga halterna av föroreningarna som inte kan minskas tillräckligt och all gips läggs på deponi. Visste du att världens årliga produktion på gips, från rökgasrening, ligger på 50 miljoner ton? Att materialåtervinna gipset från rökgasrening skulle inte bara bidra med mer hållbar miljö utan marknaden för gips och gipsbaserade produkter skulle också genomgå en signifikant förändring!

Föroreningarna i gipset brukar oftast bestå av tungmetaller. Små mängder av dioxiner kan också förekomma. I detta projekt undersöktes bland annat lakning med olika lösningsmedel för minskning av metallhalter och för dioxinsanering studerades framförallt behandling med aktivt kol. Lakning är en extraktionsprocess där fasta partiklar kommer i kontakt med en vattenbaserad lösning och reagenten i lösningsmedlet samlas runt den fasta partikeln. I avsikt att minska halten av dioxiner blandades gips med vatten och pelleterat aktivt kol som har förmågan att fånga upp dioxiner. Gipset som användes i detta arbete hämtades från Sysav och innehöll ganska många tungmetaller och dioxiner. Fokus låg framförallt på minskning av zink, bly och kvicksilver hos tungmetallerna och på TCDD hos dioxinerna.

Två lösningsmedel användes för lakning; ammoniak och svavelsyra. 26,5% av zink och 10,2% av kvicksilver kunde lakas ut genom användning av ammoniak som lagningsmedel. Dock kunde ammoniak inte laka ut bly. Via användning av svavelsyra som lagningsmedel lakades 29,4% zink, 34,6% bly samt 29,1% kvicksilver ut. Dioxinuppfångning med pelleterat aktivt kol gav bra resultat. Alla dioxiner i gipset minskade med ungefär 40–50%. Dock hade TCDD bara en minskning på 22,3%.

För lakningen testades tre parametrar; koncentration, temperatur och vätska-fast substansförhållande. Det fanns inget tydligt mönster som visade att en ökning av samtliga parametrar resulterade i högre utlakningseffektivitet för metallerna. Utöver ovannämnda metallerna lakades också andra metaller ut. Till exempel utlakades lantan, upp till 70–80%, med både användning av ammoniak- och svavelsyralösning. Även andra metaller som koppar, krom, barium och nickel kunde också utlakas med svavelsyra men i väldigt små mängder.

Retentionstiden var parametern som testades för dioxinrening. Ökning av retentionstiden gav bättre uppfångning av de flesta dioxinerna. Dock var skillnaden väldigt liten. Minskningen av dioxinerna varierade bara med 1–3% med längre retentionstid.

Det finns företag som köper in gipset och använder det som råvara till nya gipsprodukter. Dock måste föroreningshalterna i gipset ligga under dessa företags krav. Genom att studera och utveckla olika metoder skulle säkert tillräckligt mängd av föroreningarna i gipset tvättas bort!

FÖRORD

Att utföra detta projekt har varit en av de största utmaningarna i mitt liv, men också kul, givande och lärorikt! Jag vill tacka alla som har hjälpt mig i detta examensarbete, personer på Sysav, Miljöbron och Lunds Universitet samt min familj och mina vänner.

Jag vill först och främst tacka min handledare på Lunds Universitet, Helena Svensson, för all vägledning och stöd. Tack för all energi och kunskap som du har bidragit med!

Stort tack till min handledare på Sysav, Håkan Lindsjö, som har bidragit med stor hjälp genom hela arbetet och lett arbetet i rätt riktning.

Madeleine Brask, min handledare på Miljöbron förtjänar också ett stort tack! Tack för förtroendet som du visade mig och för att du uppmuntrade mig för examensarbetet.

Därutöver vill jag också tacka min examinator Hans Karlsson. Tack för din kompetens och kunskap som hjälpte och vägledde mig i min ekonomiska analys.

Slutligen vill jag tacka alla på Sysav som har hjälpt mig med information och svarat på mina frågor. Jag vill framförallt tack Martin Heywood som har hjälpt mig med att få ordning över alla mina experiment.

FÖRKORTNINGAR OCH SYMBOLER

FÖRKORTNINGAR

Skrubber D- Sur skrubber för rening av tungmetaller

Skrubber E- Basisk skrubber för avsvavling av rökgaser

FGD- Rökgasavsvavling (från engelskans Flue-gas desulphurization)

CHS- Kalciumsulfathemihydrat

UESPA- US Environmental Protection Agency

TCDD- 2,3,7,8-tetrakloridbenso1,4dioxin

PCDD- Polyklorerade dibensodioxiner

PCDF- Polyklorerade dibensofuraner

PCB- Polyklorerade bifenyler

BCD-process- Case-catalyzed decomposition

MWh- Megawattimme

SYMBOLER

J- Lagningshastighet

A-Utlagningspartikel

$\frac{dx}{dc}$ – koncentration i det stillastående lagret

D- Diffusionskonstant

R- Återvinnings/Utlagningsgrad

c_M - Koncentration av metalljoner i lagningsmedlet

c_0 - Innehåll av metaller i malm

M- Molmassa

n- Antal mol

m- massa

K_{sp} - jämviktskonstant

$[C]^a$ - Koncentration av komponent C upphöjt till stökiometri c

$[A]^b$ - Koncentration av komponent A upphöjt till stökiometri b

Q- Strömningstiden

F- Faradays konstant

TS- Torr substans

L:S- fast substans: vätske-förhållande (från engelskans liquid: solid)

$m_{\text{före}}$ - metallhalt i icke-lakat gips

m_{efter} - metallhalt i lakat gips

a,b,c- kvantiteter

δ - osäkerhet i kvantiteterna

INNEHÅLL

1	Introduktion	1
1.1	Övergripande mål	1
1.2	Avgränsningar	1
2	Bakgrund	2
2.1	Användningsområden för gips.....	4
2.1.1	Gipsskivor	4
2.1.2	Recirkulation av avgas-avsvavlingsgips för avlägsnande av bly och kadmium	4
2.1.3	Behandling av förorenade jordåkrar	5
2.1.4	Direktomvandling av FGD-gips till kalciumsulfathemihydrat	5
2.2	Föroreningar i gipset.....	5
2.2.1	Bly.....	5
2.2.2	Zink	6
2.2.3	Kvicksilver	6
2.2.4	Dioxiner	6
3	Teori	7
3.1	Lakning	7
3.1.1	Lakning med ammoniak	7
3.1.2	Lakning med svavelsyra	8
3.1.3	Lakning med natriumhydroxid	9
3.2	Utfällning	9
3.2.1	Utfällning med hydroxid.....	10
3.2.2	Utfällning med sulfid	10
3.2.3	Koagulation och flockering.....	10
3.3	Vätske-vätskeextraktion	11
3.4	Utfällning med elektrolys	11
3.5	Avlägsnande av dioxiner	12
3.5.1	Termisk behandling	12
3.5.2	Icke-termisk plasma	12
3.5.3	Kemisk reaktion	12
3.5.4	Hydrotermisk behandling.....	13
3.5.5	Superkritisk vattenoxidation	13
3.5.6	Baskatalyserad upplösning.....	13

3.5.7	Uppfångning av dioxiner med aktivt kol	13
3.6	Torkning	13
3.6.1	Val av tork.....	14
3.6.2	Val av tork.....	15
3.7	Torkning av gips.....	15
3.7.1	Roterande tork.....	15
3.7.2	Flashtork	16
4	Material och metod.....	17
4.1	Lakning med ammoniak	17
4.2	Lakning med svavelsyra	18
4.3	Uppfångning av dioxiner	19
4.4	Sammanfattning av samtliga försök	20
4.5	Ekonomisk analys.....	21
4.5.1	Anläggningskostnaden	21
5	Beräkningar	22
5.1	Utlakningsgrad.....	22
5.2	Felfortplantning	22
6	Resultat.....	23
6.1	Lakning med ammoniak i olika koncentrationer	23
6.2	Lakning med svavelsyra i olika koncentrationer	25
6.3	Nytt gipsprov	27
6.4	Lakning med ammoniak i olika L:S-förhållanden och olika temperaturer	28
6.5	Lakning med svavelsyra i olika L:S-förhållanden och temperaturer	31
6.6	Dioxinuppfångning med aktivt kol.....	35
6.7	Ekonomisk analys.....	39
6.7.1	Råmaterial	39
6.7.2	Lakning och neutralisering -tank	40
6.7.3	Filtrering	41
6.7.4	Pumper	41
6.7.5	Torkning-rotertork	41
6.7.6	Transportband	42
6.8	övergripande ekonomisk analys	43
6.9	känslighetsanalys	44
7	Diskussion	46

8	Slutsatser	49
9	Framtida arbeten.....	50
10	Referenser.....	51
	Appendix A	54
	Utspädning av 25% ammoniaklösning	54
	Utspädning av 2,5 Molar svavelsyra.....	55
	Appendix B	57
	Appendix C	66
	Appendix D	79

1 INTRODUKTION

Sysav tar emot och förbränner brännbart avfall i ett avfallsvärmeverk. Vid förbränningen bildas rökgaser som bland annat innehåller svaveloxid. Rökgaserna behöver gå igenom en avsvavlingsprocess eftersom svaveloxid utgör en stor hälsofara på grund av sin toxicitet.

Rökgaserna renas först från tungmetaller i skrubber D. Därefter fortsätter gasen till skrubber E för avsvavling, där kalkslurry tillsätts som absorbent. Här absorberas svaveldioxiden i rökgasen i en cirkulerande tvättvätska med kalkslurry. Under avsvavlingen reagerar sulfid med kalciumjoner varvid vatten och kalciumsulfatdihydrat, dvs gips, bildas som biprodukt.

Gipset som bildas vid avsvavlingsprocesser kallas oftast för industrigips eller FGD-gips som kommer från engelskans "Flue-gas Desuphulrization". Rökgasavsvavling sker via användning av kalkbaserade reagenser har använts länge och används fortfarande idag. Över 90 % av koleldade kraftanläggningar runtom i världen använder fortfarande denna metod. Dock har miljöoron växt drastiskt eftersom stora mängder av FGD-gips läggs på deponi och kan inte användas för att producera nya gipsprodukter på grund av höga halter av föroreningar. Sedan 2009 produceras upp till 50 miljoner ton per år i hela världen [1].

Gipset som bildas på Sysavs anläggning är förorenat med bland annat bly, zink, kvicksilver och dioxiner. Det är speciellt önskvärt att materialåtervinna gipset i kraftvärmeverkets rökgasreningsprocess då detta innebär framförallt minskade kostnader och stor miljönytta. Utöver föroreningarna har gipset även för hög fukthalt, vilket försvårar materialåtervinningen.

1.1 ÖVERGRIPANDE MÅL

På grund av föroreningarna i gipset går det inte att använda det för att producera nya gipsprodukter såsom gipsskivor, cement etc., utan det läggs för närvarande på deponi. Syftet med arbetet är att litterärt samt experimentellt undersöka vilka metoder som kan användas för att tvätta bort tillräcklig mycket av föroreningarna från gipset så att det kan användas som råvara till nya gipsprodukter. Ett annat hinder för materialåtervinning av gips är den höga fukthalten. Detta i sin tur innebär att olika torkningsprocesser behöver undersökas för att minska fukthalten i gipset.

1.2 AVGRÄNSNINGAR

Föroreningarna i gipset utgörs huvudsakligen av tungmetaller och dioxiner. I detta projekt fokuseras det särskilt på reduktion av tungmetallerna i gipset. Dixonreningen studeras i huvudsak litterärt. Bara några få experiment utfördes för dioxinreduktionen. Detta beror på att gipset skickas till ett labb för mätning av föroreningshalten och varje analys har ett pris. För att de experimentella försöken skulle kunna hålla sig under den givna budgeten för analyserna utfördes experimenten på detta sätt. Torkprocesserna utförs bara litterärt. I en mer omfattande studie skulle pinchanalys, mass- och energibalanser samt andra uträkningar krävas för torkningsprocessen.

2 BAKGRUND

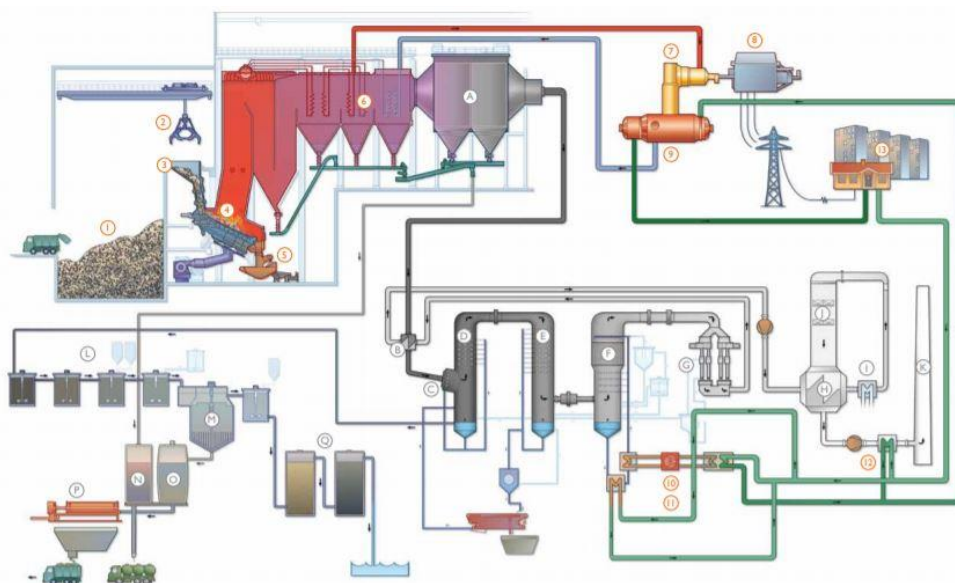
Sysav, som står för Sydskånes avfallsaktiebolag, tar emot och sorterar grov- och farligt avfall från hushåll samt småföretag på 16 återvinningscentraler. Bolaget äger två dotterbolag, Sysav Utveckling AB och Sysav Industri AB. Sysav Utveckling AB arbetar med forskning och utveckling medan Sysav Industri AB hanterar industri- och verksamhetsfall, samt hushållsavfall från andra än ägarkommunerna. Moderbolaget tar hand om hushållsavfall från ägarkommunerna [2].

Sysav är bland annat känd för hantering av matavfall används för produktion av biogas och biogödsel. Bolaget producerar även fjärrvärme och el av brännbart avfall i ett avfallsvärmeverk via förbränning av brännbart avfall. Företaget har som mål att alltid återvinna så mycket som möjligt av avfallet som de tar emot och idag återvinns 98,5 % av avfallet antingen i form av material eller energi [2].

I avsikt att nå maximal återvinning krävs en sortering på grovavfallet och det blandade avfallet som kommer till avfallsanläggningarna. Dessa är bland annat metall, trä, brännbart avfall samt avfall som måste deponeras. En del av avfallen som kommer till avfallsanläggningarna kan även användas som bränsle. Till exempel flisas utsorterat trä och används därefter som bränsle i biobränslepannorna på anläggningen [3].

Avfallsförbränning är ett viktigt område i dagens energiproduktion då det idag är möjligt att utvinna nästan lika mycket energi som ett ton olja genom förbränning av tre ton avfall. Därutöver bidrar avfallsförbränning även till minskade koldioxidutsläpp och kan betraktas som biobränsle, vilket förklaras av det 85 vikts-% av avfallet som består av förnybart material [4].

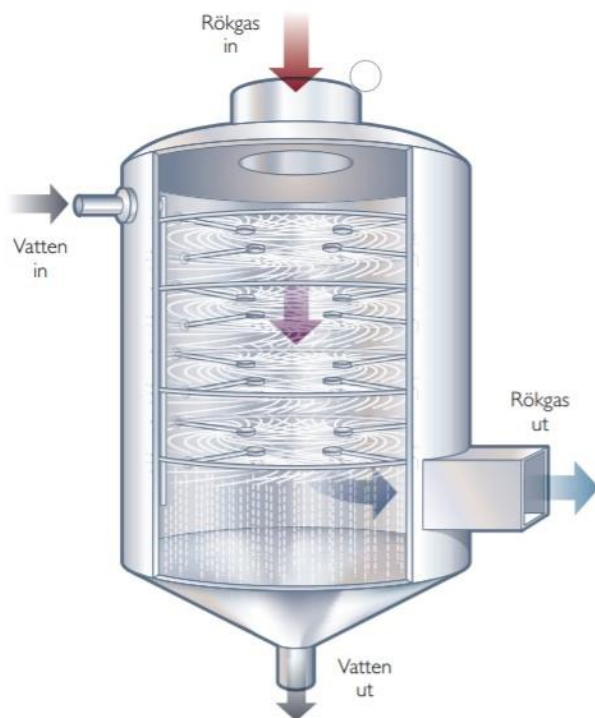
Sysav förbränner 630 000 ton avfall per år, vilket ger ca 1 400 000 MWh fjärrvärme och 250 000 MWh elkraft per år. En del av den producerade elkraften används inom anläggningen och ca 60% av Malmös och Burlövs fjärrvärmebehov utgör den årliga producerade fjärrvärmens. Figur 1 nedan illustrerar hur avfallsförbränningen fungerar på anläggningen [4].



Figur 1. Skiss över avfallsförbränning [4].

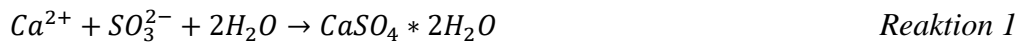
Enheterna 1 till 13 i figuren visar processen för energiutvinningen från avfallsförbränning. Enhet 1 i figuren visar bunkern, där allt avfall samlas. Med hjälp av en traverskran matas avfallet in i hetvattenpannorna (4) genom en påfyllnadstratt och förbränns. Avfallet som matas in i pannorna består huvudsakligen av hushållsavfall och brännbart avfall. Hetvattenpannorna producerar hetvatten till fjärrvärmesystemet. Enhet 5 i figuren visar slaggutmatningen. Här avskiljs slagg som har bildats under förbränningen. Slaggen som består av material som sten, skrot och glas, samlas i en bunker för sortering och återvinning. Enhet 6 illustrerar en överhettare. Via överhettaren övergår hetvattnet till het ånga och fortsätter därefter till en turbin (7), som driver generatoren (8). Efter generatoren fortsätter ångan vidare till en fjärrvärmekondensator (9). Här kondenseras ångan till vatten och genererar värme. Värmen som genereras används för uppvärmning av fjärrvärmevattnet, som i sin tur används för uppvärmning av bostäder och lokaler. Ångan som kondenseras (kondensatet) recirkuleras och pumpas tillbaka till pannan. [4].

Enheterna A till Q i figuren visar rökgas- och vattenreningsprocessen. Reningsprocessen börjar med ett elektrofilter (A) som används för avlägsning av stoftpartiklar i rökgaserna, producerat från förbränning av avfallet. Därefter passerar rökgaserna en värmeväxlare och fortsätter vidare till den våta delen av reningsprocessen. Den våta delen av reningsprocessen utgörs av totalt tre skrubbar; två tvättskrubbar (D och E) samt en kondenseringskrubb (F). I skrubbarna tvättas rökgaserna först med vatten, som sprayas genom keramiska munstycken och på detta sätt faller en del av föroreningarna ut. Därefter tillsätts olika reningskemikalier i skrubbarna i avsikt att fälla ut mer föroreningar [4]. Figur 2 nedan illustrerar hur rökgasen möter vattnet i en skrub.



Figur 2. Exempel på hur rökgasen möter vattnet i en skrub [4].

I den första tvättskrubbern (D) avlägsnas sura ämnen som saltsyra och fluorvätesyra. Även en del tungmetaller och stoftpartiklar faller ut i första skrubbern. Föroreningarna som faller ut från rökgasen medför att vattnet inne i skrubben blir mycket surt. I avsikt att neutralisera vattnet tillsätts lite kalkslurry i skrubbern. I den andra skrubbern (E), tillsätts mer kalkslurry för att avlägsna svaveloxid. Under avsvavlingen reagerar sulfid med kalciumjoner och vatten och kalciumsulfatdihydrat, dvs gips, bildas som biprodukt enligt reaktion 1 [4].



Till skillnad från tvättskrubbarna kondenserar kondenseringskrubbern även vattenånga i rökgaserna, som i sin tur utnyttjas i värmepumpar. De sista stegen i rökgasreningen består av ett vått elektrofilter (G) som avlägsnar rester av sot samt en katalysator (J). Katalysatorn fördelar ammoniakvattnet i rökgaserna. Därefter passerar rökgaserna keramiska katalysatorer. Här reagerar kväveoxiden med ammoniak och då bildas kväve och vattenånga. Slutligen släpps rökgaserna ut genom skorsten (K). Tvättvattnet som används i tvättskrubbarna neutraliseras i neutralisations-, fällnings- och flockningstankar (L) och fortsätter därefter vidare till sandfilter och kolfilter, i avsikt att avskiljas från utfällningarna innan det släpps ut i havet [4].

Gipset som bildas vid rökgasrening kallas ofta för industrigips eller FGD-gips, vilket kommer från engelskans flue-gas desuphurization, dvs rökgasavsvavling [5]. Sysavs avfallsvärmeverk producerar ungefär 100 kg FGD-gips per timme. För närvarande avvattnas gipset och läggs på deponi. Detta beror på att gipset som bildas är förorenat med höga halter av bland annat tungmetaller som kvicksilver, zink, bly och nickel. Utöver tungmetallerna är det också viktigt att tvätta bort dioxinerna i gipset på grund av hälsofaran som dessa medför. Sysav har som mål att återvinna alla sina restprodukter, varför utveckling av en lämplig reningsprocess för FGD-gips är särskilt viktigt för dem [4].

2.1 ANVÄNDNINGSSOMRÅDEN FÖR GIPS

Gips, även så kallad naturgips, är ett färglöst och mjukt mineral som förekommer naturligt i jorden i form av gipssten eller lagrad i bergarter. Gips är en viktig råvara inom industrin och används bland annat som byggmaterial och bindemedel. Utöver byggindustrin kan användning av gips även tillämpas på andra områden. Till exempel har gips användning inom sjukvården, jordbruket samt pappersindustrin [6].

2.1.1 Gipsskivor

Gipsskivor med sina goda egenskaper såsom gott brandskydd, god ljudisolering samt underlag för ytbehandling, är ett bra alternativ för användning som råvara till byggmaterial. Gipsskivorna används bland annat för invändig beklädnad av vägg- och takskivor. Oftast har gipskärnan en porös form, med en lufthalt på 70%, vilket gör skivan till en lätthanterlig produkt [5].

2.1.2 Recirkulation av avgas-avsvavlingsgips för avlägsnande av bly och kadmium

Metaller som bly och kadmium har hög toxicitet, vilket innebär att avlägsnande av dessa metaller är nödvändigt för en hållbar miljö. Idag forskas det mycket kring utvecklingen av att effektivt avlägsna dessa metaller från bland annat avloppsvatten. Studier har visat att adsorption med framförallt FGD-gips är en av de lämpligaste teknologierna. Detta eftersom FGD-gips effektivt kan binda till bly och kadmium i vattenaktigt medium [7].

2.1.3 Behandling av förorenade jordåkrar

Med tanke på hur effektivt FGD-gips kan binda till bly och kadmium i vattenhaltiga medium skulle denna egenskap kunna appliceras på förorenade jordåkrar. Experiment om huruvida FGD-gips kan tillämpas på förorenade jordar har genomförts och resultaten har visat att blyhalten i jord kan minskas vid direkt användning av FGD-gips [7].

2.1.4 Direktomvandling av FGD-gips till kalciumsulfathemihydrat

Som tidigare nämnt måste lämpliga användningsområden hittas för FGD-gips, på grund av ackumuleringen som inte kan hanteras. Ett alternativ för hantering av FGD-gips är att direktomvandla gipset till kalciumsulfathemihydrat (CHS). CHS som består av fiberformade enda kristaller har stora längd-till-diameter förhållanden och är känd för egenskaper som hög löslighet, bra termisk stabilitet och god kompabilitet. En stor fördel med CHS-strängar är att de kan användas som fyllnings- och förstärkningsmedel i bygg, medicin och pappersbruk. Under optimala förhållanden är det möjligt att direktomvandla FGD-gips till CHS. Dock finns det en del svårigheter med att använda FGD-gips för direktomvandling. Retentionstiden och morfologin påverkas nämligen beroende på halten av föroreningar på gipset. Dessutom erhålls ett större längd-till-diameter förhållande genom användning av rent gips jämfört med FGD-gips [1].

Önskvärt är att förbättra CHS-strängarnas prestationsförmåga och morfologi. Detta uppnås bäst via kontroll över kristalliseringen hos strängarna. Användning av etanol har stor påverkan på kontrollen över kristalliseringen och skulle kunna kontrollera morfologin hos CHS-strängar [8].

2.2 FÖRORENINGAR I GIPSET

Bland annat tungmetaller och dioxiner utgör den stora delen av föroreningarna i gipset som bildas på Sysavs avfallsvärmeverk. Zink, bly och kvicksilver är de tungmetaller som främst förekommer i gipset. Dessa behöver tvättas bort innan gipset kan användas som råmaterial till andra gipsprodukter.

Tungmetaller står för de metaller som klassas som "särskilt miljöfarliga metaller", då de flesta tungmetaller och deras kemiska föreningar är miljöfarliga och giftiga. Dock är många tungmetaller även livsnödvändiga. T.ex. behöver människor bland annat små mängder av både järn och zink i vardagslivet. Liksom människor är även växter och djur beroende av dessa tungmetaller. Det är i samband med höga halter som tungmetallerna anses vara ett stort hot för miljön [9].

Dioxiner utgör också en del av föroreningarna i gipset. Eftersom företaget har som mål att materialåtervinna gipset är det också önskvärt att minska halten på dioxinerna.

2.2.1 Bly

Bly, med det kemiska tecknet Pb, är en mjuk och blågrå metall som har en relativt hög kokpunkt samt låg smältpunkt och smältentalpi. Redan 5000 f.Kr var bly igenkänd och människorna använde metallen som tavla att skriva på. Industriell blyframställning började dock först under 1700-talet [10].

Bly, produceras vanligtvis från batteriproduktion, gruvdrift, garverier, oljeraffinaderier, keramik, sprängämnestillverkning och fotografi. Enligt UESPA (US Environmental Protection Agency) är bly listad som prioriterad förorening med tanke på den starka tendensen

till ackumulering i miljön som bly har samt att långsiktig utsättning för bly kan skada centrala nervsystemet, fortplantningssystemet, hematopoes, hjärt- och blodkärl samt njurar och lever hos människor [7].

2.2.2 Zink

Zink är en mjuk och blåvit metall som ofta används som ytbehandling av järn och stål. Legeringstillverkning är också ett område där zink har stor nytta. Zink är som tidigare nämnt en av de metaller som är livsnödvändig. Hos människan kan zinkbrist leda till exempelvis försämrad sårhäkning, håravfall och till och med försenad pubertet. Dock kan för höga halter av zink orsaka allvarliga effekter på vattenlevande organismer och människor [11], [12].

2.2.3 Kvicksilver

Kvicksilver, som är i flytande form vid rumstemperatur, är bland annat känd för sin användning inom framställning av termometrar, manometrar, barometrar, blodtrycksmätare, batterier etc. Dock förbjöds år 2009 användning och spridning av kvicksilver på grund av dess toxicitet. Till skillnad från andra tungmetaller är kvicksilver inte livsnödvändig, utan väldigt giftigt. Mindre halter av kvicksilver har inte någon större effekt på hälsan. Däremot kan utsättning för högre halter vara väldigt giftigt och leda till skador på nervsystemet samt orsaka negativa effekter på njurfunktioner [13].

2.2.4 Dioxiner

Dioxiner, bestående av totalt 210 föreningar, är organiska och aromatiska klorföreningar. En del av dessa föreningar är väldigt giftiga. Bland dessa anses TCDD (2,3,7,8-tetraklordibenso-1,4dioxin) vara den starkaste giften. Dioxiner framställs inte avsiktligt utan bildas i små mängder som biprodukt, oftast vid förbränningsreaktioner. På grund av dess höga kemiska stabilitet och goda fettlöslighet har dioxiner en tendens att lagras hos djurens fettceller i flera generationer, vilket medför att det speciellt efterfrågas att minska halten av dioxiner i alla möjliga produkter. Utsättning av dioxiner kan leda till bland annat hudskador, repressivt immunsystem samt störningar av reproduktion. I vissa fall kan de till och med orsaka tumörer. Långvarig utsättning av högre halter kan medföra kraftig avmagring som i sin tur kan leda till döden [14].

3 TEORI

Flera metoder kan användas för avlägsning av metaller. Extraktion är en av dessa metoder och används för att separera en eller flera specifika ämnen från en blandning. Bestämda ämnen separeras från en blandning genom att utnyttja det faktum att olika ämnen har olika löslighet i samband med ett tillsatt lösningsmedel. De komponenter vars löslighet är större löses alltså upp vid ett lämpligt tillsatt lösningsmedel [15]. Olika extraktionsmetoder kan användas för separation av metaller. Bland dessa ingår exempelvis utfällning, vätske-vätskeextraktion och electrowinning, eller med andra ord, utfällning med elektrolys [12]. Lakning är också en vanlig extraktionsmetod och har fått sitt namn från att lösningsmedlet som används i lakningsprocesser oftast är vattenbaserade [15].

3.1 LAKNING

Lakning är en extraktionsprocess och innebär att fasta ämnen blandas med en lösning. Reagensen i det tillsatta lösningsmedlet bildar ett skikt runt partikeln av det fasta ämnet, som ska lakas ut. Typiskt för lakning är att ett stillastående skikt, bestående av det fasta ämnet (i form av partiklar) bildas vid blandning. Därför är det nödvändigt att lakningen sker under omröring för att uppnå maximal effektivitet. Då det fasta ämnet och lösningsmedlet kommer i kontakt kan till och med en kemisk reaktion kan uppstå med en nybildad produkt som resultat [12]. För extraktion av metaller är lakning den process som prioriteras först [16].

Lakningshastigheten (J) beskrivs av utlakningspartikeln (A), koncentrationsgradienten i det stillastående lagret ($\frac{dc}{dx}$) samt diffusionskoefficienten (D) enligt Ficks lag, uttryckt i ekvation 1.

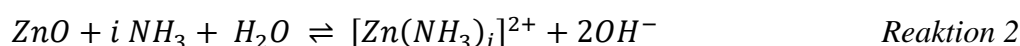
$$J = -A \cdot D \cdot \left(\frac{dc}{dx}\right) \quad \text{Ekvation 1}$$

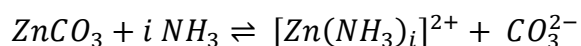
Vanligtvis används en vattenbaserad lösning som lakningsmedel. I vissa fall kan till och med bara vatten vara tillräckligt som lakningsmedel. Val av lakningsmedel beror främst på vilken metall som ska genomgå lakning samt vid vilket tillstånd metallen befinner sig i. Lakning brukar ofta delas in i flera områden. Dessa är lakning av metaller, oxider, sulfider, andra mineraler samt elektrokemisk lakning [12].

I industrin sker utlakning av metaller, såsom zink, kadmium, arsenik och koppar stora tankreaktorer, utrustade med omrörare [12].

3.1.1 Lakning med ammoniak

För lakning av zink har bland annat ammoniak föredragits som lakningsmedel i flera studier. Flera lakningsmedel som exempelvis natriumhydroxid (NaOH), saltsyra (HCl) och salpetersyra (HNO₃) har testats och jämförts med ammoniak. Det har framkommit att ammoniak ger den högsta selektiviteten för bland annat zink. Dessutom har det visats att ammoniak överlag ger ett bättre resultat på flera metaller jämfört med de tidigare nämnda reagenserna. I studien har ett slamprov, innehållande zinkoxid, lakats med 25% ammoniaklösning i under en timme med ett fast substans-lakvätska-förhållande på 100 ml lakvätska/g fast substans. Reaktion 2 och 3 nedan beskriver reaktionen mellan zinkoxid och ammoniak.





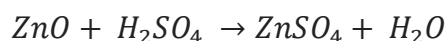
Reaktion 3

Andra studier visar att mindre partikelstorlekar resulterar i högre utlakningshastighet och därmed högre utlakningseffektivitet, vilket förklaras av en större reaktionsyta erhålls som många små partiklar tillsammans utgör. Dessutom har det framkommit att en ökning av ammoniakkoncentration från, 1,5 M till 7,5 M med L:S-förhållande på 10 ml/g, resulterar i högre utlakningseffektivitet hos metaller, bland annat hos zink. Temperaturen var också en av parametrarna som undersöktes i studien. Lakningen utfördes i 60 min och därefter filtrerades provet. Experimentet visade att en ökning på reaktionstemperatur från 40 °C till 80 °C också ökade utlakningseffektiviteten. Dock rekommenderas det att reaktionstemperaturen bör ligga så lågt som möjligt med tanke på minskning av reagensförlust via förångning av ammoniak [12].

I ett annat arbete lakades slam med ammoniak, med ett L:S förhållande på 6 ml lakvätska/g torr substans och det har framkommit att 80 vikts-% koppar och 61 vikts-% zink kan lakas ut via användning 4 M ammoniak vid 50 °C efter en timmes lakning. I studien testades också lakningstiden och slutsatsen drogs att lakningssystemet når jämvikt efter en timmes lakning. D.v.s. ytterligare lakning efter en timme påverkar inte metallhalterna i slammet [12].

3.1.2 Lakning med svavelsyra

Mineralsyror som svavelsyra (H_2SO_4), saltsyra (HCl), salpetersyra (HNO_3) eller svavelsyrlighet (H_2SO_3) är också alternativa lakningsmedel. Svavelsyra, som ger protoner, fungerar som ett oxidationsmedel vid höga koncentrationer och temperaturer. Detta medför att svavelsyran föredras framför andra mineralsyror för lakning av metaller. Lakning av exempelvis zink kan utföras utan tillsats av oxidationsmedel vid lakning med svavelsyra. Först omvandlas zinkoxider till zinksulfider genom rostning, vilket kan ses i reaktion 4. Därefter lakas zinkoxiderna med svavelsyra [12].



Reaktion 4

Metaller från en mässingsslagg lakades med svavelsyra och parametrar som svavelsyrekoncentration, retentionstid, L:S-förhållande, temperaturökning samt omröringshastighet undersöktes. Slutsatsen drogs att de flesta parametrarna hade en positiv effekt på utlakningseffektiviteten. L:S-förhållandet på 5 ml lakvätska/g fast substans var det förhållande som gav det bästa resultatet och den optimala temperaturen bestämdes till 35 °C [12].

Utöver ovannämnda studie utfördes även lakning på zinksilikatmalm med svavelsyralösning under tre timmar. Malmen bestod bland annat av zinksilikater, kvarts, gips och zinkkarbonat. Med ett L:S-förhållande på 20 ml svavelsyralösning/ g malm och en omröringshastighet på 550 rpm testades tre olika koncentrationer; 1, 5 och 10% svavelsyrakoncentration. Efter experimentet framkom det att en högre koncentration på syra ökar zinkutvinningen. Liksom koncentrationen resulterade en ökning av temperatur från 40 °C till 80 °C också i bättre zinkutvinning [12].

Slam lakades också med svavelsyra i olika koncentrationer i en undersökning. L:S förhållandet bestämdes till 6 ml svavelsyra/ g torr substans. Efter flera experiment har framkom det att det skulle kunna vara möjligt att laka ut 87, 97 samt 20 vikts-% av koppar, zink och järn efter 1 timmes lakning med 0,6 M svavelsyra under konstant omröring [12].

3.1.3 Lakning med natriumhydroxid

Idag görs det många studier på utvecklingen av återvinningsgraden för metaller, bland annat zink och bly. Det är speciellt önskvärt att öka återvinningsgraden för metallerna. Huvudsakligen har oorganiska syror använts som lakningsmedel men användning av organiska syror har börjat bli allt vanligare. Bland dessa har alkalisk behandling fångat upp ganska mycket intresse. Lakning med alkaliska medel växer sig större och större då det är mer kostnadseffektivt, mer selektivt samt enkelt att genomföra [16].

Lakning på malm genomfördes med natriumhydroxid som lakningsmedel. Huvudsyftet var att återvinna bland annat zink och bly från malmen. Därefter beräknades lakningsgraden för metallerna enligt ekvation 2:

$$R = \frac{C_M \cdot V}{C_0 \cdot M} \cdot 100 \quad \text{Ekvation 2}$$

där R är återvinningen av metallerna i procenttal, C_M (g/L) är koncentrationen av metalljonerna i lakningsmedlet, V står för volymen av lakningsmedlet, C_0 är innehållet av metallerna i malmen som användes i studien samt M är massan av malmen [16].

Olika koncentrationer av natriumhydroxid blandades med malm. Koncentrationerna som testades var 0,5, 1, 2 och 4 M vid temperaturen 70 ° C. L:S förhållandet bestämdes till 20 ml/g. det observerades att en ökning av natriumhydroxidkoncentration resulterar i högre omsättning av både zink- och blyjoner, enligt experimentet. Ökning på natriumhydroxidkoncentrationen från 0,5 till 4 M ökade zinkåtervinningsgraden från 24,12 % till 80,92 % samt blyåtervinningsgraden från 23,55 % till 64,01 % [16].

Andra parametrar, liksom vätska/fast-fasförhållandet eller omröringshastigheten, har också signifikanta effekter på återvinningsgraden av metallerna. Samma studie visar att en viss ökning på vätska/fast-fasförhållandet samt ökning av omröringshastigheten ökar metallutvinningen [16].

Temperatureffekten, som är en av de viktigaste parametrarna, undersöktes också. Med varierande temperaturer, från 50 °C till 80 °C, utfördes lakning med NaOH-lösning på malm. Det observerades att ökning av temperaturen, från 50 °C till 80 °C, också ökar återvinningen av zink, från 49,28 % till 72,15 % [16].

3.2 UTFÄLLNING

Metaller har olika löslighet vid olika pH. Genom att tillsätta ett lämpligt lösningsmedel kan pH-värdet justeras, vilket medför att önskvärda metaller bildar olika metallkomplex och faller ut. Metoden som utnyttjar detta faktum kallas för selektiv utfällning [12].

Ekvationerna 3 och 4 nedan beskriver lösligheten hos metallsalter i vatten.



$$K_{sp} = [C]^a [A]^b \quad \text{Ekvation 4}$$

$C_a A_b$ är den fasta metallsalten som beskrivs av komponenterna C och A med stökiometrin a och b, lösta i lösningen. K_{sp} beskriver jämviktskonstanten och är beroende av koncentrationerna för komponenterna C och A vid jämvikt, upphöjd till a och b. Då

koncentrationerna av komponenterna är större än K_{sp} -värdet, fäller metallen ut. Vid en motsatt situation löses saltet istället upp tills koncentrationerna når jämvikt [12].

Dock brukar verklig löslighet inte alltid korrelera med teoretisk löslighet. Den verkliga lösligheten brukar vara större på grund av exempelvis ofullständiga reaktioner eller dålig separation av små partiklar [12].

3.2.1 Utfällning med hydroxid

Genom användning av ett alkalimedel som exempelvis natriumhydroxid (NaOH), hydratiserad kalk ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) eller magnesiumhydroxid ($\text{Mg}(\text{OH})_2$) kan utfällning av tungmetaller utföras. Vid tillsats bildas ett neutralt hydroxidkomplex med metalljoner som fäller ut från lösningen. En ökning av pH-värdet resulterar i minskad löslighet hos de flesta metall-hydroxidkomplexen till ett visst stadie. Lösligheten ökar därefter igen och denna egenskap kallas för amfotär egenskap. Bland de metalljoner som avlägsnas effektivt genom utfällning med ett alkalimedel finns bland annat koppar, zink, järn, mangan, nickel, trivalent krom och kadmium [12].

Hydroxidutfällning, som är enkel att utföra och relativt billig, är känd för att vara en bestående metod. Dock är en nackdel att vissa metall- och metallojdjoner behöver oxideras före utfällning. Arsenik (III) är ett exempel på sådana metalljoner och måste oxideras till arsenik (V) innan ett utfällt hydroxidkomplex kan bildas [12].

3.2.2 Utfällning med sulfid

Vid tillsats av en sulfidförening omvandlas relativt lösliga metalljoner till olösliga sulfidföreningar och fäller ut. Bland de vanligaste sulfidmedlen ingår främst natriumsulfid (Na_2S), natriumhydrosulfid (NaHS), järnsulfid (FeS) och kalciumsulfid (CaS). Via användning av en sulfidmedel kan metaller som koppar, bly, krom (VI), kadmium, silver, zink, nickel, kvicksilver, antimon, tallium och vanadin fällas ut. Utfällning med hjälp av en sulfidförening sker vanligtvis under pH-intervallet 7–9. Koncentration är, liksom för lakning, en viktig parameter för effektiviteten på utfällningen. T.ex. är det konstaterat att en ökning av sulfidkoncentration bidrar med ökad mängd av utfällda metalljoner [12].

Både sulfidfällning och hydroxidfällning är bestående och effektiva utfällningsmetoder. Dock föredras sulfidfällning då lägre löslighet på sulfidföreningar erhålls jämfört med hydroxider, vilket innebär att selektiviteten för avlägsning av metall- och metallojdjoner är högre. Med sulfidutfällning erhålls även snabba reaktionshastigheter samt bra sedimenteringsegenskaper. Å andra sidan är en stor nackdel att sulfidfällning kräver kontinuerlig pH-kontroll för risken av svavelväte (H_2S) som bildas som biprodukt med sjunkande pH. Dessutom måste optimal sulfidkoncentration bestämmas då ökande koncentration av sulfid resulterar i större mängd utfällda metaller, vilka kan komma ut i små partiklar som försämrar sedimenteringsegenskapen och filterbarheten [12].

3.2.3 Koagulation och flockering

Metallpartiklarna som bildas vid utfällning i en lösning kan avlägsnas via två metoder; koagulering och flockering. Med hjälp av koagulering neutraliseras laddningen i

metallpartiklarna, vilket medför att repellerande krafter mellan partiklarna reduceras. På detta sätt kan metallpartiklarna stabiliseras och separeras från lösningen. Floccering utnyttjar å andra sidan fysisk blandning eller tillsats av ett kemiskt koaguleringsmedel som för ihop metallpartiklarna [12].

Idag används många kemikaliska tillsatser och alla har både sina fördelar och nackdelar. Effektivitet, kostnad, leveranssäkerhet samt miljöeffekter är några av de viktiga parametrarna som bestämmer valet av den kemiska tillsatsen. Kemikaliska tillsatser delas in i två huvudgrupper; organiska- och oorganiska koaguleringsmedel. Aluminiumderivat, järnderivat och kalk är de främsta tillsatserna som ingår i oorganiska huvudgruppen. Järnderivat och aluminiumderivat är båda syror, alltså oorganiska koagulanter, och sänker därmed pH-värdet i lösningen vid tillsättning. Här används oftast kalk för att kontrollera pH-värdet och kan även användas som koaguleringsmedel [12].

3.3 VÄTSKE-VÄTSKEEXTRAKTION

En annan metod som används för avlägsning av metaller och andra ämnen är vätske-vätskeextraktion. Denna metod utnyttjar ett organiskt lösningsmedel för extrahering av metalljoner från en vattenlösning. Vid tillsats av ett organiskt lösningsmedel bildas två faser; organisk fas och vattenaktig fas. Det är den organiska fasen som reagerar med metalljoner och bildar komplex. Eftersom metallkomplexen i den organiska fasen är mer löslig flyttas de från den vattenaktiga fasen till den organiska fasen. Därefter plockas specifika metaller bort från den organiska fasen. Avlägsning av de önskvärda metallerna sker genom tillsats av en vattenhaltig lösning. Detta görs i avsikt att extrahera metallkomplexet från den organiska fasen. Det organiska lösningsmedlet kan återanvändas och recirkuleras i avsikt att extrahera mer metall [12].

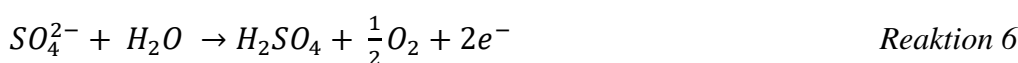
Vätske-vätskeextraktion är en vanlig metod för bland annat utvinning av metaller från lösningar med höga halter av andra föroreningar. Fördelarna med vätske-vätskeextraktion är att metoden är snabb och har låg miljöpåverkan [12].

3.4 UTFÄLLNING MED ELEKTROLYS

Genom användning av elektrolys är det möjligt att fälla ut metaller från en renad utlagningslösning. Denna metod brukar oftast kallas elektrowinning eller elektroextraktion. Processen utförs i ett kärl som innehåller en lösning och kallas för elektrolyten. Två elektrolyter, bestående av en katod och en anod, ansluts till en positiv respektive en negativ pol av en elektrisk ström. Då processen körs börjar katjoner att vandra mot katoden medan anjoner samlas vid anoden och på detta sätt reduceras metalljoner till metall vid katoden enligt reaktion 5 nedan [12].



Reaktion 6 presenterar en anodreaktion i ett svavelsyresystem.



Antalet elektroner som vandrar mellan anoden och katoden är proportionell mot mängden av utfälld metall. Korrelationen mellan kvantiteten av strömmen och mängden utfälld metall uttrycks av Faradays lag, presenterad i ekvation 5 nedan. Q beskriver strömningstiden, n är

antalet mol utfälld metall, z är valensnumret och F beskriver Faradays konstant [$C \text{ mol}^{-1}$] i ekvation 5 [12].

$$n = \frac{Q}{z \cdot F}$$

Ekvation 5

3.5 AVLÄGSNANDE AV DIOXINER

Huvudkällorna för utsläpp av dioxiner till naturen är avgaser som bildas vid förbränningsprocesser och kremeringsprocesser. En liten mängd av dioxiner bildas som biprodukt i rökgaserna som bildas under förbränningen. Bildningen av dioxiner i avgaserna inträffar mellan 300 och 500 °C. För minskning av dioxinutsläpp till naturen utvecklas flera processer [17].

3.5.1 Termisk behandling

En metod för minskning av dioxinhalter är termisk behandling, där ett ämne, innehållande dioxiner, utsätts för värme. Termisk behandling bidrar till en stabil och användbar produkt, då halten av dioxiner minskas. I ett försök har det observerats att dioxiner i flygaska kan upplösas med termisk behandling under lämpliga förhållanden. Flygaska har värmebehandlats i en inert atmosfär vid temperaturen 300 °C under två timmar och det har observerats att 90 % av dioxinerna upplöstes. Termisk behandling i en oxidativ atmosfär har också undersökts och undersökningen har visat att det är möjligt att uppnå 95% upplösning av dioxiner vid temperaturen 600 °C. Utrustningar som används vid termisk behandling är oftast elektriska ugnar, koksbadsmältningsugnar, rotationsugnar med elektrisk uppvärmning, sintring i gasolbrännugnar, plasma-smältugnar, etc. [17].

3.5.2 Icke-termisk plasma

En del studier på användning av icke-termiska plasmateknologier på skadliga substanser har genomförts under den senaste tiden och det har framkommit att denna process har flera fördelar jämfört med processer som används idag. Icke-termisk plasmateknologi har visat sig vara effektiv och kan utföras under omgivningstemperatur med låga koncentrationer. En stor fördel med denna metod är att det inte finns något behov av hjälpbränsle. Icke-termisk nanosekundplasma har använts för avlägsning av dioxiner i flygaska. Det upptäcktes att en positiv pulsavlossning fungerar mer effektivt jämfört med negativ pulsavlossning. Dessutom observerades det att toxiciteten hos olika isomerer visar olika grad av toxiska avlägsnanden. Föreningar och isomerer som har högre toxicitet resulterar i högre destruktionseffektivitet. 81 % destruktionseffekt erhöles, bland annat på TCDD som är den giftigaste föreningen bland dioxinerna [17].

3.5.3 Kemisk reaktion

Dioxiner kan sönderdelas via kemisk reagensmetod genom användning av en reagens och ett medium. Bland alla studier som handlade om destruktion av dioxiner var förbränning en av den främsta metoden som låg i fokus. Dock finns det en efterfrågan om att återvinna material, som exempelvis oljor som är kontaminerade med dioxiner, vilket har medfört att intresset för dekloreringsmetoder har växt under de senaste åren. Det har framförallt forskats på sönderdelning av dioxiner där användning av metallisk kalcium i etanol har legat i fokus. Metallisk kalcium kan nämligen hållas stabilt under atmosfäriska förhållanden under en längre period, vilket gör att det till exempel föredras framför metallisk natrium, som ofta får en beläggning på ytan vid kontakt med luft. Därutöver upptäcktes det att etanol också

påskyndar reaktionen. Denna metod anses vara en av de mest miljövänliga metoderna eftersom etanol är ett av de säkra lösningsmedlen att jobba med. Efter ett försök med hjälp av etanol erhöles en minskning på 98–100% på isomerer av PCDD, PCDF och PCB [17].

3.5.4 Hydrotermisk behandling

Hydrotermisk behandling är en behandling som bland annat baseras på temperatur - relativ luftfuktighet – tids - förhållanden. Flygaska, innehållande dioxiner, blandades med vatten och andra lösningsmedel vid hög temperatur och tryck och behandlades därefter med hydrotermisk behandling i ett försök. Efter undersökningar med olika lösningsmedel observerades det att den effektivaste upplösningen av dioxiner erhöles via användning av NaOH- metanolblandning. Behandlingen utfördes på flygaska som hade en dioxinhalt på 1100 ng/g. Efter 20 minuters behandling vid 300 °C blev resultatet 0,45 ng/g dioxiner i flygaska [17].

3.5.5 Superkritisk vattenoxidation

I en avfallshanteringsprocess har superkritiskt vatten, med temperaturen 647,3 K samt trycket 22,12 MPa, använts för dioxinrening och det har framkommit att denna metod är ganska effektiv. Flygaska med en viss dioxinhalt har utsatts för superkritiskt vatten tillsammans i samband med en oxidator. Oxidatorn i studien var väteperoxid. Processen kördes under temperaturen 673 K, trycket 30 MPa och tiden 30 min. Resultatet av denna studie blev 99,7% sönderdelning av dioxinerna i flygaskan. Samma studie genomfördes på transformatorolja och en framgångsrik upplösning av PCB-föreningar erhöles [17].

3.5.6 Baskatalyserad upplösning

Bas-katalyserad upplösning, även kallad BCD-process (från engelskans Base-Catalyzed Decomposition), står för kemisk dehalogenering. BCD-processen går i princip ut på att klorerade organiska föreningar avgiftas genom att klorjonen avlägsnas från den organiska föreningen och ersätts med en vätejon och detta uppnås via tillsats av en alkali- eller alkalisk jordartsmetallkarbonat till ett kontaminerat medium. Alkalitillsatsen, som adderas till mediet inom temperaturintervallet 315–426 °C, varierar mellan 1 och 20 vikts-%. I ett försök användes Na/NH₃ för dehalogenering av polyklorerade föreningar från jord och slam. Under försöket observerades det att även PCB- och dioxinkontaminerade oljor kunde saneras utöver jord och slam [17].

3.5.7 Uppfångning av dioxiner med aktivt kol

Aktivt kol har länge använts för rening av bland annat PCB och dioxiner. Aktivt kol används bland annat i industrier för att fånga upp dioxiner från rökgaserna som bildas vid förbränning. Användning av aktivt kol har applicerats på avloppsvatten. Under försöket blandades 400 liter avloppsvatten tillsammans med koncentrerat natriumhydroxidlösning för ett primärt reningssteg. Efter två timmars behandling med natriumhydroxidlösning separerades avloppsvattnet från utfällda ämnen och fördes över till en ny behållare med mekanisk omrörare, där det blandades med aktivt kol, NH₄Cl och KH₂PO₄. Behandlingen med aktivt kol utfördes i ca 10 minuter. Resultatet på försöket blev positivt. Upp till 90% av PCB och andra dioxiner kunde fångas upp av det aktiva kolet som användes under försöket [18].

3.6 TORKNING

Torkning står för processen där fukt, termisk avlägsnas från ett fuktigt material. Fukt i ett material förekommer i två tillstånd; bunden fukt och obunden fukt. Bunden fukt står för den

fukt som hålls i lös kemisk sammansättning liksom en flytande vätska inuti ett material. Fukt, utöver bunden fukt, kallas för obunden fukt. Då ett fuktigt material utsätts för en torkningsprocess sker två processer samtidigt [19]:

1. Överföring av energi, i form av värme från omgivande miljön, för förångning av fukt på ytan av torkgodset.
2. Överföring av fukt från kärnan till ytan på torkgodset.

Torkningshastigheten styrs av huruvida dessa två processer dominerar under torkningen. Energin som krävs för torkning av torkgodset genereras vanligtvis via användning av konvektion, konduktion eller strålning. Valet av industriella torkar baseras huvudsakligen vilken värmeöverföring som sker samt vilket material torkgodset består av [19].

I process 1 sker avlägsning av fukt i form av ånga från torkgodset. Det är externa förutsättningar som exempelvis temperaturen på varmluften och omgivning, luftfuktigheten eller arean på torkmaterialet som bestämmer hur fukten avlägsnas från materialet. [19].

I process 2 beskrivs överföringen av fukten i materialet som en funktion av torkgodsets egenskaper. I en torkningsprocess sker dessa två processer samtidigt och någon av dessa bli en begränsande faktor och därmed styra torkningshastigheten [19].

Torkning är en nödvändig process för nästan alla industrier. De flesta produkterna kräver torkning i något steg; antingen för försäljning av produkten eller för vidare bearbetning av produkten. Industrier som vanligtvis använder någon typ av torkningsprocess är bland annat kemisk-, jordbruks-, bioteknisk-, livsmedels-, polymer-, keramisk-, farmaceutisk- samt massa- och pappersindustrier. Idag finns fler än 400 typer av torkprocesser varav över 100 typer är bestående och tillgängliga [19].

Som tidigare nämnt sker torkning via förångning av vätskan i det våta materialet. Förångningen i sig sker antingen via direkt eller indirekt torkning. Direkt torkning är den typ som är vanligast idag. Över 85% av torkar utnyttjar direkt torkning [19].

3.6.1 Val av tork

I industrin är två torkningsmetoder vanliga; direkt- och indirekt torkning. Idag föredras de flesta industrierna som tidigare nämnt direkt torkning. Dock bör direkt torkning undvikas för värmekänsliga material då det är viktigt att det fuktiga materialet inte uppnår sin kokpunkt i samband med temperaturökning på varmluften. Indirekta torkar föredras istället för värmekänsliga material. Torktyper som utnyttjar direkt torkning är ofta konvektionstorkar medan torktyper som använder indirekt torkning oftast är konduktionstorkar. Strålning används också vid torkning men inte samma i utsträckning som konvektion och konduktion. Beroende på vilka egenskaper det fuktiga materialet har kan samtliga torkningsmetoder användas [19].

3.6.1.1 Konvektion

För partikelformade och arkformiga, plastiga ämnen föredras torktyper som utnyttjar konvektion. Konvektion som möjligtvis kan vara den mest föredragna torkningsmetoden, levererar värme genom att uppvärmd luft eller gas som kommer i kontakt med torkgodset. Luft i form av inert gas, kvävgas för torkning av fuktiga organiska lösningar, förbränningsgaser och överhettad ånga används ofta i konvektionstorkar. Exempel på konvektionstorkar är fluidiserade bäddtorkar, rotertorkar, spraytorkare, luftpräglade torkar för

mass- och pappersindustrin, packad bädd genom tork samt truck och tunnelvagnar som tork [19].

3.6.1.2 Konduktion

För tunna och värmekänsliga material är det lämpligare att välja en tork som utnyttjar konduktion, d.v.s. indirekt torkning. Här levereras värme från uppvärmda ytor i torken. Därefter brukar vakuumdriфт utnyttjas för transporten av den avdunstade fukten. Det går även att använda en gas som fungerar som bärare av fukt. Exempel på konduktionstorkar är paddeltorkare, rotertorkar med inbyggda ångrör och trumtorkar för torkning av tunn slam [19].

3.6.1.3 Strålning

Ibland utnyttjar vissa typer av torkar elektromagnetiska strålningar med våglängder från synligt ljus till mikrovågor. T.ex. används infraröd strålning för torkning och tunna skivor i torkbeläggningar. Investeringskostnaden såväl som driftkostnaden är väldigt hög för torkar som utnyttjar strålning och därför föredras strålningstorkar inte ofta. Dock är dessa torkmaskiner användbara för torkning av produkter med högt enhetsvärde. Därför kombineras strålning ibland med konvektion eller med konduktion vid behov i syfte att få en effektiv och kostnadseffektiv torkning [19].

3.6.2 Val av tork

Alla produkter kräver ett specifikt fuktinnehåll för att kunna vara lämplig för vidare bearbetning eller för försäljning. Halten av fuktinnehållet kan variera beroende på vilket som produkten består av. Till exempel måste pulvriserade produkter bli av med en viss mängd fukt innan de kan bearbetas vidare eller säljas. För stora laster av naturliga malmer, mineraler och tunga metaller används oftast rotertorkar. Det största behovet är idag lämpliga kontinuerliga torkar i pappersindustrin. För närvarande används cylinderformade torkar för pappersindustrin. Spray- och frystorkning används också i stor utsträckning. Rätt val av tork måste väljas för att åstadkomma så kostnadseffektiv, energisparande och effektiv torkning som möjligt [19].

3.7 TORKNING AV GIPS

Eftersom FGD-gipset i detta arbete hör till malm-och mineralklassen och dessutom är i pulverform, är det lämpligast att torka gipset med en konvektionstork, dvs genom användning av direkt torkning. Torkar som vanligtvis utnyttjar konvektion är rotertork, spraytork, flashtork fluidiserad bäddtork etc. Vanligast och lämpligast är att använda en rotertork för gipsmaterial. Flashtorkar kan också användas för torkning av gips men används inte i lika stor utsträckning som rotertork [19].

3.7.1 Roterande tork

Rotertorkar är en av de vanligaste torktyperna som används inom industrin. Rotertork är bland annat känd för sin processflexibilitet. Det är lämpligt att utnyttja både konvektion och konduktion i en rotertork. Utöver konvektions- och konduktionstypen finns även mer ovanlig typ av rotertork. Denna typ kallas Tedrows ångtork. Rotertorken, som är kapabel att hantera höga temperaturer, är även känd för sin robusta uppbyggnad. Dessutom ingår rotertorkar bland de mest effektiva torktyperna och har låg driftskostnad. Rotertorken används bland annat i gödsel-fabrik, cementindustrin och inom torvindustrin [20], [21].

Huvuddelen på en rotertork är den långa neråtlutande, roterande cylindern. En rotertork behöver vara utrustad med en brännare, för att generera värme för torkning. Oftast är det diesel som används som bränsle. I vissa fall kan det även gå bra med att använda råolja som drivmedel. Värmen som genereras av rotertorken behöver kombineras med inblåst luft för att fukthalten i torkgodset ska kunna minskas till en önskvärd halt. Framför ugnen, vid cylinderns övre del matas torkgodset in och i kombination med rotationen erhålls en god omblandning samtidigt som lutningen gör att torkgodset transporteras i längdriktningen. Därefter deponeras torkgodset antingen i ett lagringsområde eller lämnar cylindern med hjälp av ett transportband. En skiss på rotertorkens uppbyggnad kan ses i [21].

Rotertorkar brukar vanligtvis vara utrustade med någon typ av huv för avgaser. Denna huv är viktig för processen då den kontrollerar mängden vattenånga och rök som lämnar torken. Detta innebär att huven alltid måste vara öppen under torkningen i avsikt att kunna avlägsna så mycket vattenånga och rök från torken som möjligt. Annars ökar risken för klabbigt och fuktigt torkkoncentrat som slutprodukt eftersom all vattenånga inte kan lämna torken [21].

Rotertorkens uppehållstid bestäms av tre parametrar; rotationshastigheten, lutningsvinkeln på cylindern samt lufthastigheten. Genom att justera dessa parametrar kan den effektivaste uppehållstiden bestämmas. Rotertorken har både sina nackdelar och fördelar. Den största fördelen är att partikelstorleken på torkgodset inte har stor påverkan på rotertorkar, bortsett från extremt små partiklar. Rotertorkar klarar av att hantera rökgaser med höga temperaturer och underhållskostnaderna är låga. Å andra sidan är en nackdel att det alltid finns en stor risk för förlust av stora mängder av gasströmmen inuti rotertorken, speciellt om torkgodset består av extremt fina partiklar [22].

3.7.2 Flashtork

En flashtork utnyttjar lufttryckstransport av torkkoncentrat med hjälp av varm luft. Fuktigt torkmaterial matas genom en matare in i en höghastighetsluftström och inne i torken sker en snabb termisk omväxling mellan torkluften och det fuktiga materialet via högt turbulent luftflöde. Detta innebär att en snabb indunstning sker inom några sekunders uppehållstid. Med en flashtork torkas torkgodset utan att överhettas trots att torkningsgaser med höga temperaturer används. Flashtorkens utflöde brukar vara utrustad med cyklon, filter eller likande i avsikt att separera det fasta materialet från gasen [23].

Flashtork används mest för fina produkter i stora mängder som exempelvis jordbruksprodukter, kemikalier och mineraler. Utöver dessa föredras flashtorkar även för torkning av foderprodukter i form av pulver, kakor, kor, flingor, geler, slam etc. [24].

Fördelarna med att använda en flashtork är bland annat de låga underhållskostnaderna. Flashtorkena uppbyggnad ganska simpel och torken i sig är lätthanterlig. En annan fördel är att flashtorken har en hög termisk effektivitet. Kapabiliteten för arbete med olika avvattningssystem gör också att flashtorken föredras framför andra torkar eftersom det blir möjligt att torka spröda och icke-spröda material samtidigt [24].

4 MATERIAL OCH METOD

I detta arbete fokuserades det speciellt på lakning av FGD-gips med ammoniak, svavelsyra och natriumhydroxid. Detta eftersom lakning i detta arbete är lämpligast att utföra med tanke på begränsade utrustningar och begränsad tid. Dessutom är det den mest lätthanterliga metoden med tanke på att pulvriserat gips är inblandat. Till exempel skulle utfällning inte vara lika lämpligt som lakning då avancerade separationsmetoder skulle behövas för separering av gips från de utfällda metallkomplexen. Lakning med ammoniaklösning valdes då denna metod är en ganska vanlig och bestående metod. Dessutom är ammoniaklösning lätt att hantera och flera studier har visat stora mängder av framförallt metaller som zink och koppar går att lakas. Utöver ammoniaklösning valdes även svavelsyra som lakningsmedel. Liksom ammoniak är också svavelsyra ett lätthanterligt lösningsmedel. Enligt flera studier har svavelsyra mycket positiva effekter på utlakning av metaller som zink, koppar, kadmium och arsenik. En annan anledning för val av svavelsyra som lakningsmedel var sulfidföreningars effektivitet vid utfällning av metaller, bland annat koppar, bly, krom (VI), kadmium, silver, zink, nickel, kvicksilver, antimon, tallium och vanadin. Natriumhydroxid, NaOH, kan också användas som lakningsmedel för metaller; framförallt för bly och zink. Lakning med NaOH genomfördes några gånger på gips men det upptäcktes att gipset fick ändrade egenskaper som klubbighet och högt pH så lakning med NaOH uteslöts från experimenten.

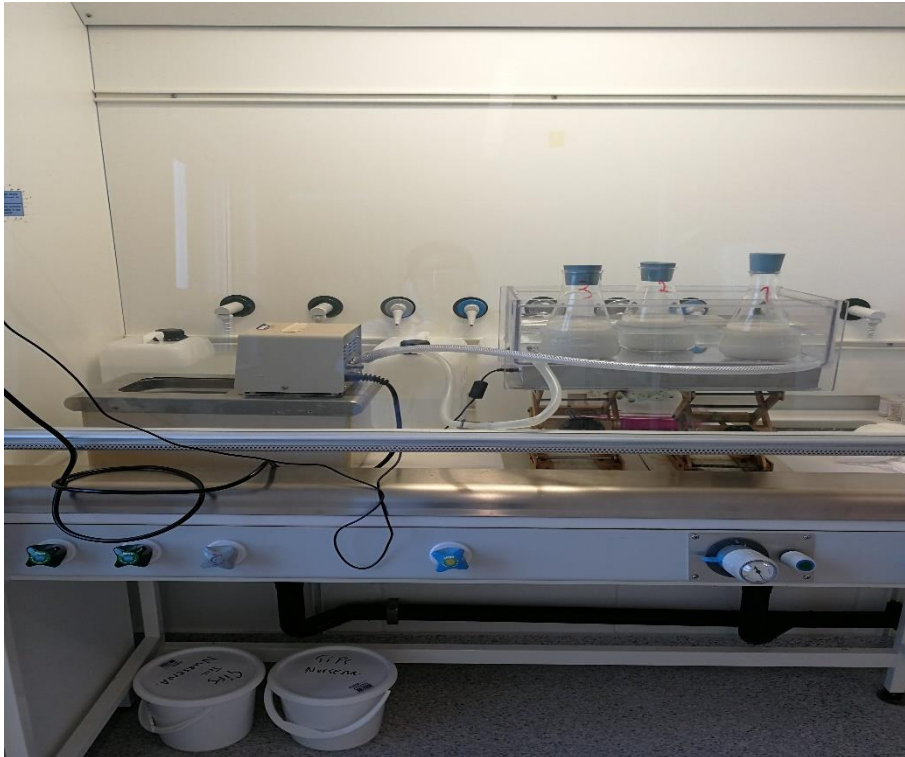
FGD-gips från Sysavs avfallskraftsvärmeverkets två förbränningslinjer 3 och 4 hämtades och förvarades i två stycken 5 liters hinkar. Gipset hämtades ut i små mängder två gånger om dagen i en vecka för att föroreningarna i gipset skulle vara så representativa som möjligt.

Fem parametrar har stor påverkan på utlakningseffektiviteten. Dessa parametrar är koncentration, temperatur, L:S-förhållandet, retentionstiden och omröringshastighet. Genom att justera dessa parametrar och hitta det optimala tillståndet kan det vara möjligt att uppnå väldigt bra resultat, dvs ganska stora mängder av metaller kan lakas ut och renare gips kan erhållas. Under experimentet fokuserades det på framförallt tre parametrar; koncentration, temperatur och L:S-förhållandet. Dubbla försök utfördes och medelvärdet beräknades. De lakade gipsproven skickades till Eurofins för metallanalys. För att kunna uppskatta hur metallhalterna i gipset varierar efter lakning skickades även otvättade gipsprov på analys. Resultaten mellan dessa jämfördes. Bland annat metallerna zink, kvicksilver och bly undersöktes. Även dioxinanalyserna utfördes av Eurofins. Metallhalterna angavs i mg/kg TS och dioxinhalterna angavs i ng/kg TS, där TS står för torr substans.

4.1 LAKNING MED AMMONIAK

Alla utrustningar diskades två gånger och sköljdes med avjoniserat vatten före varje försök. 25 g av gips togs ut från båda hinkarna och blandades med ammoniaklösning i 500 ml e-kolvar. Lakningen utfördes på magnetisk multiomrörarplatta med magnetloppor, kopplad till ett vattenbad. Vattenbadet ställdes, med tanke på värmemotståndet mellan badet och e-kolvens innehåll, 2-3 °C högre än den önskvärda temperaturen. Alla försök kördes på konstant retentionstid, 60 min, då retentionstiden inte har någon större påverkan på lakningseffektiviteten efter 60 min [12]. Parallella försök kördes på en multiomrörare och därför dröjde det ungefär 20- 30 min mellan filtrering av varje prov. För att minimera risken av ytterligare utlakning på de prover som fick vänta lite mer valdes en retentionstid på 60 min. Filtringen utfördes i en sugkolv med filtrertratt och pappersfilter, där en vakuumpump

användes som hjälpmedel. Ammoniaken tvättades bort från gipset genom sköljning med 0,5 till 1 liter avjoniserat vatten och gipset sugfilterades i fem minuter. I figur 3 nedan kan uppställningen av lakningsförsöken ses.



Figur 3. Uppställning på lakningen. Vattenbadet ses i vänstra delen av figuren, kopplad till baljan som sitter över multiomröraren.

Tre olika koncentrationer, 2, 4 och 6 Molar ammoniaklösning undersöktes i arbetet. 25 % ammoniaklösning späddes ut till samtliga koncentrationer. I Appendix A redovisas utspädning av 25% ammoniaklösning till samtliga koncentrationer. Vid dessa koncentrationer hölls temperaturen (30 °C), L:S-förhållandet (10 ml/g gips) och omröringshastigheten konstant.

Tre temperaturer testades, 30, 45 och 60°C. Här hölls koncentrationen (2M), L:S-förhållandet (10 ml/g gips) och omröringshastigheten konstant.

Slutligen testades tre L:S-förhållande; 10, 15 och 20 ml lakvätska / g gips. Här hölls koncentrationen (2 M), temperaturen (30 °C) och omröringshastigheten konstant.

Koncentrationerna testades först. Efter att ha utfört lakning med de olika koncentrationerna testades därefter de olika temperaturerna och L:S-förhållanden. 45 och 60°C samt 15 och 20 ml lakvätska/g gips testades efter att testat de olika koncentrationerna. Detta eftersom 30 °C samt 10 ml/g gips vid koncentrationen 2 M redan hade testats för koncentrationerna. Alltså inkluderar både temperatursparametern och L:S-förhållandeparametern gamla värden från koncentrationsparametern.

4.2 LAKNING MED SVAVELSYRA

Lakning med svavelsyra utfördes precis som lakning med ammoniak. Alla utrustningar diskades två gånger och sköljdes med avjoniserat vatten före varje försök. 25 g av gips togs ut från båda hinkarna och blandades med ammoniaklösning i 500 ml e-kolvar

Tre olika koncentrationer, 0,3, 0,7 och 1 M ammoniaklösning undersöktes i arbetet. 2,5 M svavelsyralösning späddes ut till samtliga koncentrationer. Vid dessa koncentrationer hölls temperaturen (30 °C), L:S-förhållandet (10 ml/g gips) och omröringshastigheten konstant.

Tre temperaturer testades, 30, 45 och 60°C. Här hölls koncentrationen (0,3M), L:S-förhållandet (10 ml/g gips) och omröringshastigheten konstant.

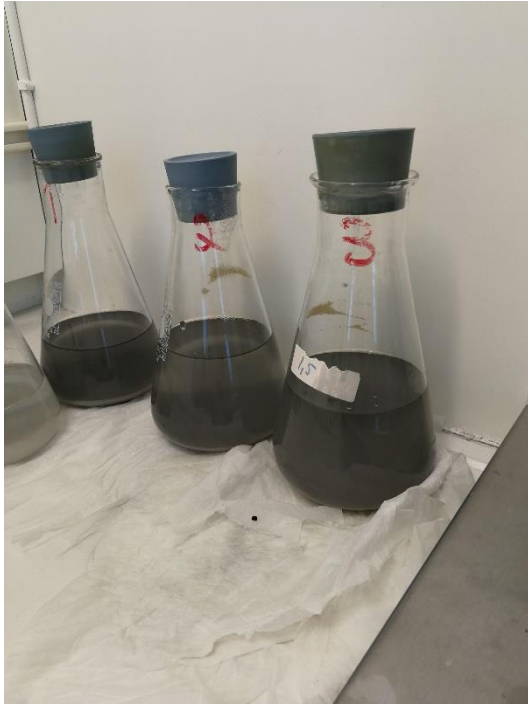
Slutligen testades tre L:S-förhållande; 10, 15 och 20 ml lakvätska / g gips. Här hölls koncentrationen (0,3 M), temperaturen (30 °C) och omröringshastigheten konstant.

Liksom för lakning med ammoniak testades de olika koncentrationerna först. Därefter testades de olika temperaturerna och L:S-förhållanden. Även för lakning med svavelsyra testades bara 45 och 60°C samt 15 och 20 ml lakvätska/g gips. Detta eftersom både temperatursparametern och L:S-förhållandeparametern inkluderar gamla värden från koncentrationsparametern.

4.3 UPPFÅNGNING AV DIOXINER

Eftersom dioxiner har så pass hög kemisk stabilitet kan de lagras hos djur och växter i flera generationer. För att undvika detta är det önskvärt att hålla dioxinnivån på minimal halt. Utifrån litteraturstudien är det enklast att använda aktiverat kol för avlägsning av dioxiner i labbskala. Detta eftersom experimentet kan utföras under atmosfärstryck och vid milda temperaturer.

Lämpligast var att använda pelleterat aktivt kol eftersom en blandning av pulvriserat kol och pulvriserat gips kräver avancerade separationsmetoder. Reaktionen kördes precis som lakningsförsöken. Först tvättades alla utrustningar två gånger med diskmedel och varmvatten och sköljdes med avjoniserat vatten. 25 gram gips blandades med 12,5 g pelleterat aktivt kol och vatten i en e-kolv. Blandningen rördes om i olika retentionstider med hjälp av magnetisk multiomrörare, kopplad till ett vattenbad. Efter omröringen separerades gips från blandningen i två steg. I första steget separerades gips-vattenlösningen från pelletsen med hjälp av en vanlig filtertratt. Därefter sugfilterades gipset, via användning av filtertratt och pappersfilter, i fem minuter med hjälp av en vakuumpump. Slutligen fördes gipset över till en plastburk med lock, märktes och skickades till Eurofins för mätning av dioxinhalterna. Totalt kördes tre försök med tre olika retentionstider. Retentionstiderna var 20 min, 40 och 60 min. Alla försök kördes vid 30 °C. Under experimenten löstes en del av pelletsen upp och pulvriserat aktivt kol blandades med pulvriserat gips i vattenlösningen. Gips-vattenlösningen fick sköljas med avjoniserat vatten för att avlägsna det pulvriserade kolet. Figur 4 och 5 presenterar gipslösningen före sköljning och efter sköljning.



Figur 4. Gipslösning innan sköljning med vatten.



Figur 5. Gipslösning efter sköljning med vatten

Här utnyttjades gipsets goda sedimenteringsegenskaper. Gips sedimenterar före än aktivt kol vilket innebär att en del av det aktiva kolet fortfarande flyter i vatten efter att gipset har sedimenterat helt vid eventuell tillsats av vatten. Vatten tillsattes till gipslösningen och rördes om ordentligt. Därefter väntades det tills gipset sedimenterade på e-kolvens botten innan vattnet och en del av det aktiva kolet hälldes försiktigt i en avfallsdunk. Efter att ha hållt ut vattnet tillsattes rent vatten igen och efter en ordentlig omröring väntades tills gipset sedimenterade innan det nya tillsatta vattnet och en del av det aktiva kolet hälldes ut. Detta upprepades upp till 10. Dock kunde gipset inte renas 100% från det aktiva kolet, utan en liten mängd följde med gipset på analys.

4.4 SAMMANFATTNING AV SAMTLIGA FÖRSÖK

Många försök utfördes på gipset i avsikt att minska både metall-och dioxinhalten. Många parametrar testades, framförallt på lakning med ammoniak och svavelsyra. Tabell 1 nedan representerar en sammanfattning av samtliga experimentella försök.

Tabell 1. Sammanfattning av de testade parametervärdena för respektive experiment.

<i>Parameter</i>	<i>Tvättning med aktivt kol</i>	<i>Lakning med ammoniak</i>	<i>Lakning med svavelsyra</i>
<i>Koncentration</i>	-	2 M, 4 M, 6 M	0,3 M, 0,7 M, 1 M
<i>Temperatur</i>	-	30 °C, 45 °C, 60 °C	30 °C, 45 °C, 60 °C
<i>L:S-förhållande</i>	-	10 ml/g, 15 ml/g, 20 ml/g	10 ml/g, 15 ml/g, 20 ml/g
<i>Retentionstid</i>	20 min, 40 min, 60 min	-	-

4.5 EKONOMISK ANALYS

Detta avsnitt omfattar den ekonomiska analysen av krävda utrustningar för lakningen samt torkningen. Analysen börjar med en anläggningskostnadsutvärdering följt av en driftkostnadsutvärdering, baserad på råmaterial som exempelvis lakvätska och utrustningar som tankar, omrörare, tork etc. Detta görs eftersom den totala kostnaden inkluderar både anläggningskostnaden och driftkostnaderna. Uppskattningen av driftkostnaden baseras på kapitalkostnaden. En övergripande ekonomisk analys och känslighetsanalys utfördes också och presenteras i slutet av avsnittet.

4.5.1 Anläggningskostnaden

Med tanke på att lakvätskorna i detta arbete är syror och baser, valdes byggmaterialet för utrustningarna enligt en korrosionsguide som används i kemiska processer (projektering).

För att processen ska vara så kostnadseffektiv som möjligt valdes alltid det billigaste byggmaterialet som angavs i guiden. Med hjälp av Ulrich-metoden räknades kostnaden för utrustningarna ut. Ekvation 6 nedan presenterar modulkostnad, som definierar den totala kostnaden för varje enhet. Kostnaderna är uttryckta i amerikanska dollar från år 2004.

$$C_{BM} = C_P \cdot F_{BM}^{\alpha} \quad \text{Ekvation 6}$$

C_P i ekvationen beskriver kostnaden för den inköpta utrustningen och F_{BM}^{α} beskriver modulfaktorn som inkluderar extra kostnader relaterad till processförhållandena som exempelvis trycket, temperaturen eller korrosion. Modulfaktorn tar även hänsyn till kostnader för hjälpmedel, installation, försäkring, fraktkostnader etc.

Summan av modulkostnaderna för alla enheter beskrivs av anläggningskapital och presenteras i ekvation 7.

$$K_{\$,2004} = (\sum_{i=1}^n (C_{MB})_i) \cdot f_{free/contingency} \cdot f_{auxiliary facilities} \quad \text{Ekvation 7}$$

Denna ekvation inkluderar också avgifter, hjälpmedel och all beredskap. Faktorerna $f_{free/contingency}$ och $f_{auxiliary facilities}$ är 18% respektive 30% enligt tumregel.

Kostnadsvärdet uppdateras till SEK vid år 2018. Ekvation 8 nedan används för att uppdatera växelkursen från 2004 till 2018.

$$K_{SEK,2018} = K_{\$,2004} \cdot \frac{(I_{CE})_{2018}}{(I_{CE})_{2004}} \cdot (V_{GPN})_{2018} \quad \text{Ekvation 8}$$

I_{CE} i ekvationen beskriver anläggningskostnadsindexet för Kemiteknik för år 2004 och 2018, vilka är 444 respektive 595. Växelkursen, $(V_{GPN})_{2018}$, uppskattas till 7,5.

Databasen EconExpert användes för uppskattning av total anläggningskostnad. EconExpert räknar ut ekvationerna ekvation 12, 13 och delvis 14. Det enda som görs separat är att multiplicera ekvation 14 med växelkursen $(V_{GPN})_{2018}$.

5 BERÄKNINGAR

Dubbla experiment kördes för varje parametersvärde och medelvärdet togs fram. Excel användes för illustrering av hur parametervärdena påverkar halten utlakningseffektiviteten av metallerna. Eftersom Eurofins anger alla metallhalter och dioxinhalter i mg/kg TS för metaller och ng/kg TS för dioxiner räcker det att bara ta fram utlakningsgraden av metallerna. Utöver utlakningsgraden räknades även felfortplantningen ut för samtliga experiment och kan ses i Appendix B och D. Felfortplantningen baserades på mätosäkerheten för respektive metall i gipset. Dioxinerna hade dock ingen angiven mätosäkerhet. För samtliga dioxiner antogs 15 % som en mätosäkerhet.

5.1 UTLAKNINGSGRAD

Utlakningsgraden av metallerna i gipset beskrivs i ekvation 9.

$$R_{\% i} = 100 \cdot \frac{m_{i \text{ före}} - m_{i \text{ efter}}}{m_{i \text{ före}}} \quad \text{Ekvation 9}$$

$R_{\% i}$ anger utlakningsgraden i procent. $m_{i \text{ före}}$ står för massan av metall i gips före lakning och $m_{i \text{ efter}}$ står för massan av metall i gips efter lakning.

5.2 FELFORTPLANTNING

Antag att kvantiteterna a , b , c har osäkerheterna δa , δb δc . För sådana kvantiteter uppskattas en annan kvantitet, Q , som beror på a , b , c och så vidare. Syftet här är att uppskatta den nya osäkerheten i Q , men svaret kan vara lite komplicerat. Det är inte sällan som osäkerheterna δa , δb propagerar till osäkerheten i Q . Alla osäkerheter i mätningen av utlakningsgraden för metallerna och dioxinerna fortplantas alltså till en större osäkerhet, $\delta R_{\% i}$.

Felfortplantningens uttryck varierar beroende på hur Q är uttryckt. Om Q är en kombination av summor differenser som i ekvation 10, gäller då ekvation 11 för fortplantningen.

$$Q = a + b + \dots + c - (x + y + \dots + z) \quad \text{Ekvation 10}$$

$$\delta Q = \sqrt{(\delta a)^2 + (\delta b)^2 + \dots + (\delta c)^2 + (\delta x)^2 + (\delta y)^2 + \dots + (\delta z)^2} \quad \text{Ekvation 11}$$

För Q uttryckt med multiplikation eller division gäller inte samma formel. Q uttryckt i ekvation 12 får då ett felfortplantningsuttryck enligt ekvation 13.

$$Q = \frac{a \cdot b}{x \cdot y} \quad \text{Ekvation 12}$$

$$\frac{\delta Q}{|Q|} = \sqrt{\left(\frac{\delta a}{a}\right)^2 + \left(\frac{\delta b}{b}\right)^2 + \left(\frac{\delta x}{x}\right)^2 + \left(\frac{\delta y}{y}\right)^2} \quad \text{Ekvation 13}$$

Då utlakningsgraden i ekvation 9 både innehåller differens och division blir felfortplantningen:

$$\delta R_{\% i} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_{i \text{ före}} - m_{i \text{ efter}})}{m_{i \text{ före}} - m_{i \text{ efter}}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_{i \text{ före}}}{m_{i \text{ före}}}\right)^2} \quad \text{Ekvation 14}$$

6 RESULTAT

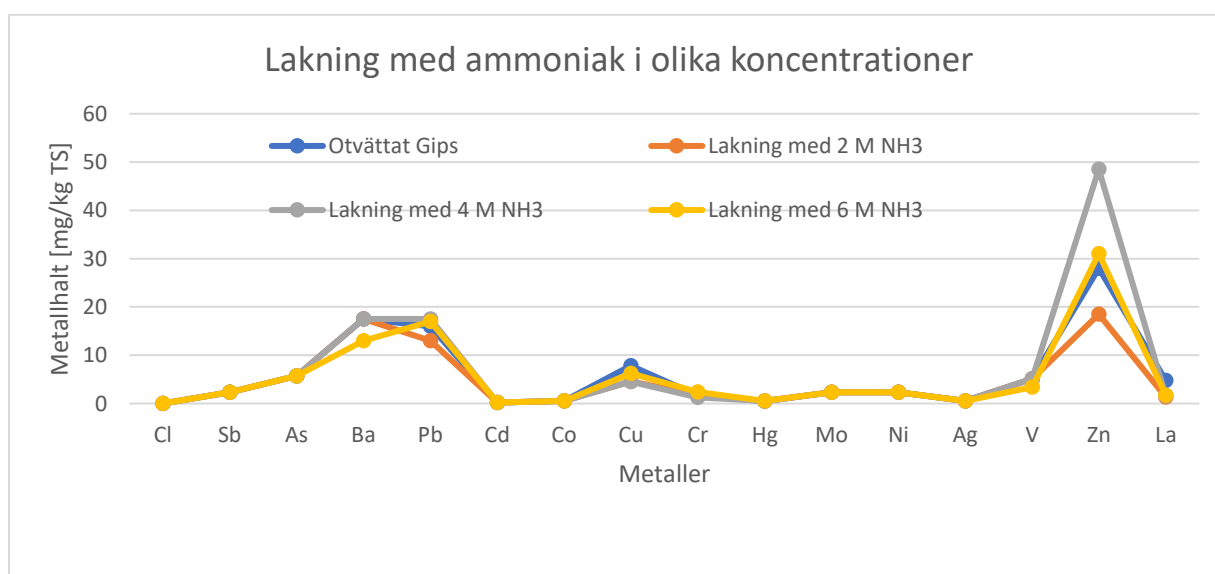
Ungefär 25 g gips togs ut från båda hinkarna för varje analys. Vid varje provtagning rördes det om ordentligt i båda hinkarna så att föroreningarna i gipset skulle vara så representativa som möjligt. Tabell 2 presenterar metallhalterna i icke-lakat gips.

Tabell 2. Metallhalterna i otvättat gips

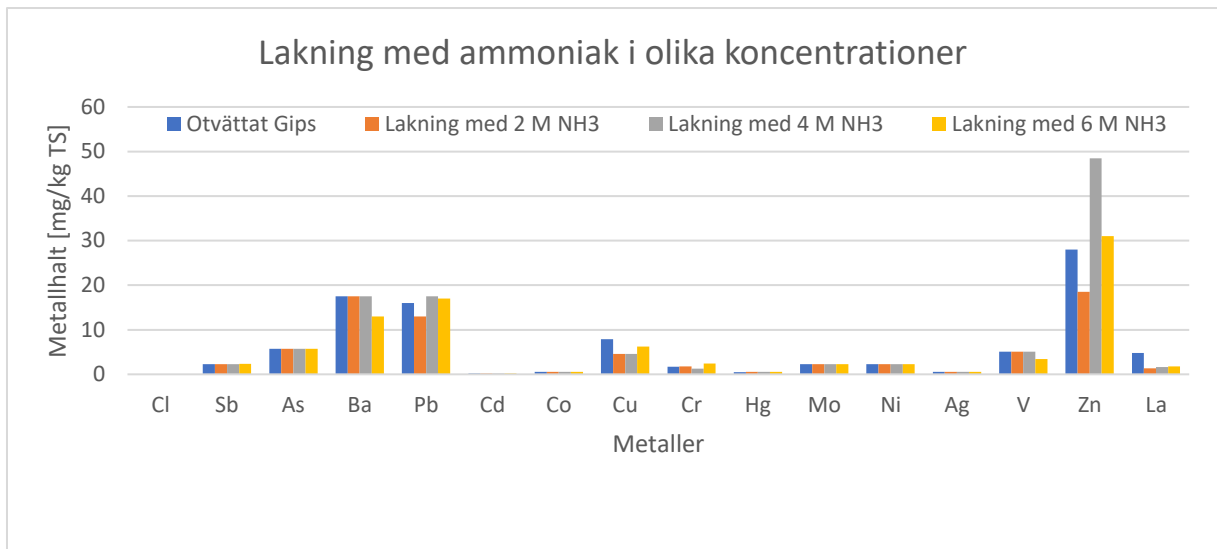
<i>Element</i>	<i>Halt [mg/kgTS]</i>	<i>Mätosäkerhet</i>
<i>Klor (Cl)</i>	0,015	25%
<i>Antimon (Sb)</i>	<2,3	15%
<i>Arsenik (As)</i>	<5,7	30%
<i>Barium (Ba)</i>	<17,5	40%
<i>Bly (Pb)</i>	16	15%
<i>Kadmium (Cd)</i>	<0,23	15%
<i>Kobolt (Co)</i>	<0,57	15%
<i>Koppar (Cu)</i>	7,85	15%
<i>Krom (Cr)</i>	1,7	25%
<i>Kvicksilver (Hg)</i>	0,49	30%
<i>Molybden (Mo)</i>	<2,3	15%
<i>Nickel (Ni)</i>	<2,3	30%
<i>Silver (Ag)</i>	<0,57	15%
<i>Vanadin (V)</i>	<5,1	15%
<i>Zink (Zn)</i>	28	15%
<i>Lantan (La)</i>	4,85	20%

6.1 LAKNING MED AMMONIAK I OLIKA KONCENTRATIONER

Först utfördes lakning med ammoniak i tre olika koncentrationer. Figur 6 beskriver hur metallhalterna varierar i gipset efter lakning med ammoniak. För att förtydliga variationen av metallhalterna gjordes även ett stapeldiagram, som kan ses i figur 7.



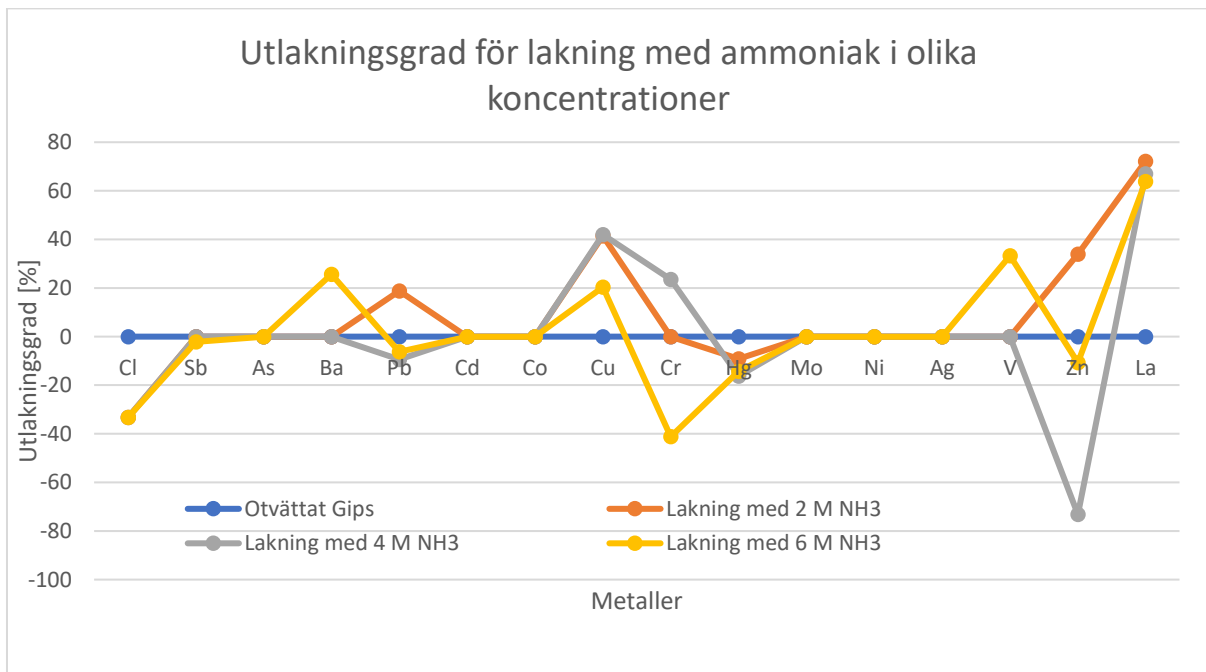
Figur 6. Linjediagram som beskriver hur metallhalterna varierar med koncentrationen. Samtliga försök kördes med konstant temperatur (30°C) och konstant L:S-förhållande (10 ml/g).



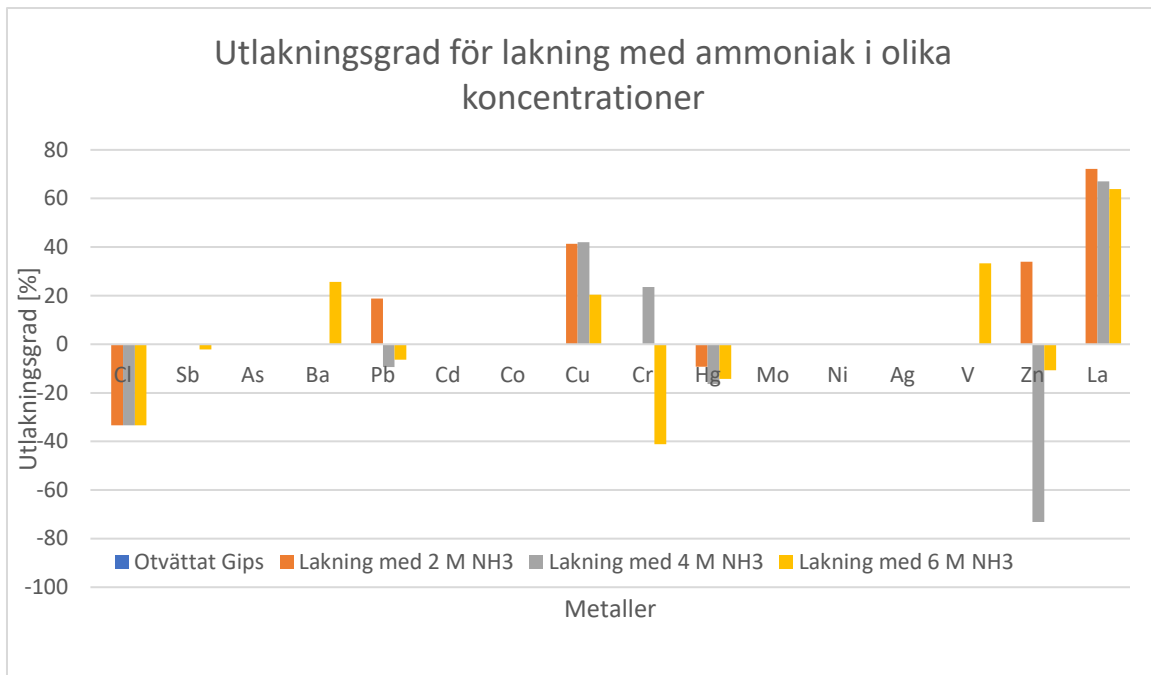
Figur 7. Stapeldiagram för uppskattning av hur metallhalter beter sig i gipset efter lakning med ammoniak i olika koncentrationer.

Den blåa färgen på båda graferna representerar otvättat, d.v.s. icke-lakat gips. Orangea, gråa och gula färgerna representerar metallhalter efter lakning med 2 molar, 4 molar respektive 6 molar ammoniaklösning.

Utlakningsgraden räknades också ut för respektive metall i gipset och redovisas i figur 8 och 9 i form av ett linjediagram och ett stapeldiagram.



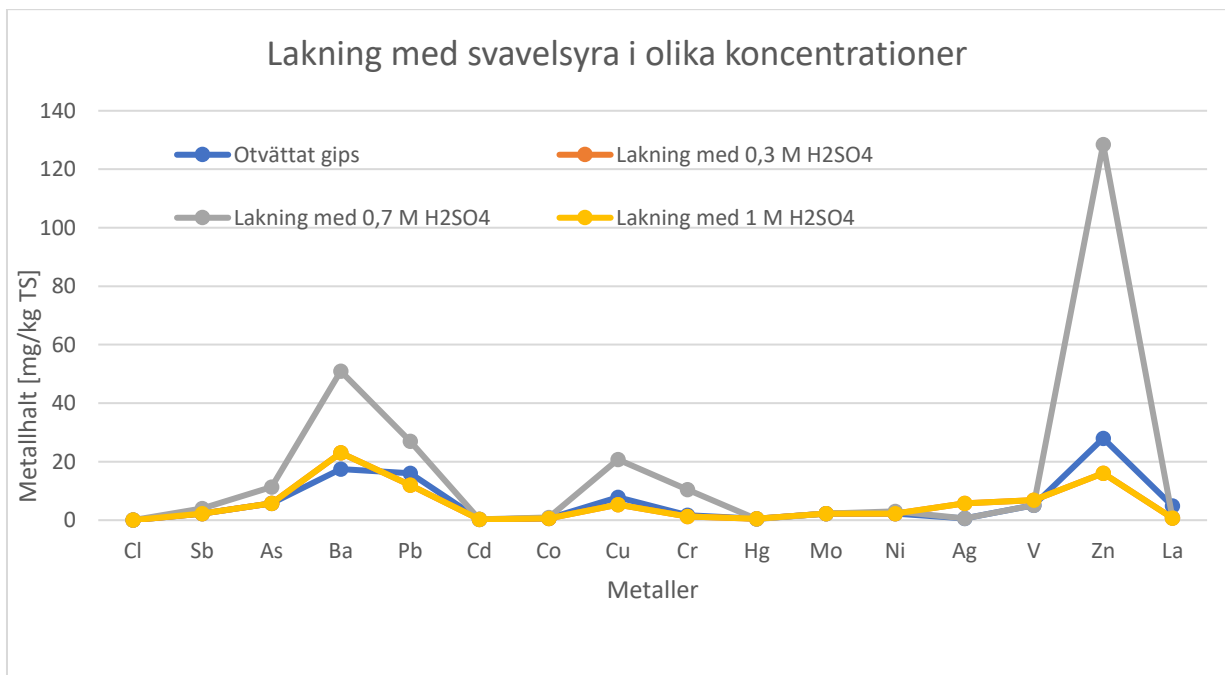
Figur 8. Beräknad utlakningsgrad för respektive metall i gipset efter lakning med ammoniak med koncentrationerna 2, 4 och 6 molar.



Figur 9. Stapeldiagram gjordes för illustration av hur utlakningsgraden varierar för metallerna efter lakning med ammoniak i olika koncentrationer.

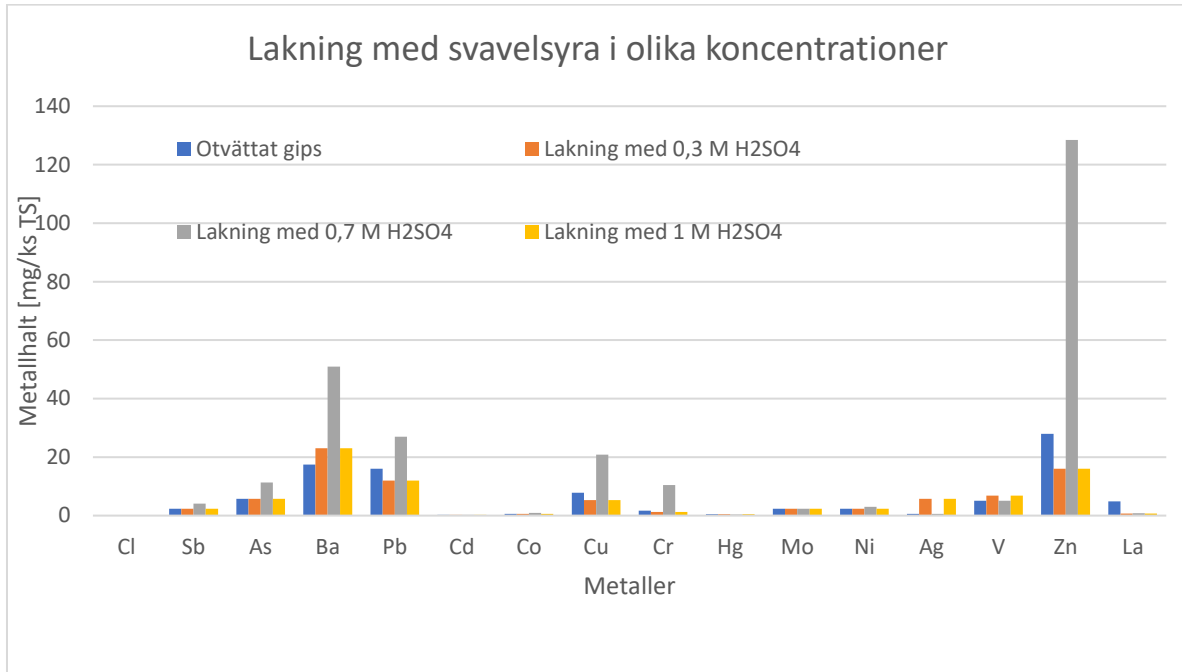
6.2 LAKNING MED SVAVELSYRA I OLIKA KONCENTRATIONER

Liksom graferna för lakning med ammoniak gjordes även linje- och stapeldiagram för försöken med svavelsyra. Metallhalterna i gips före och efter lakning med svavelsyra i koncentrationerna 0,3, 0,7 respektive 1 M samlades i samma diagram och kan ses i figur 10 och 11.



Figur 10. Här finns alla värden för alla metallhalter före och efter lakning med svavelsyra. Tre koncentrationer testades; dessa är 0,3, 0,7 samt 1 molar. Respektive försök kördes under konstant temperatur (30°C) och L:S-förhållande (10ml/g).

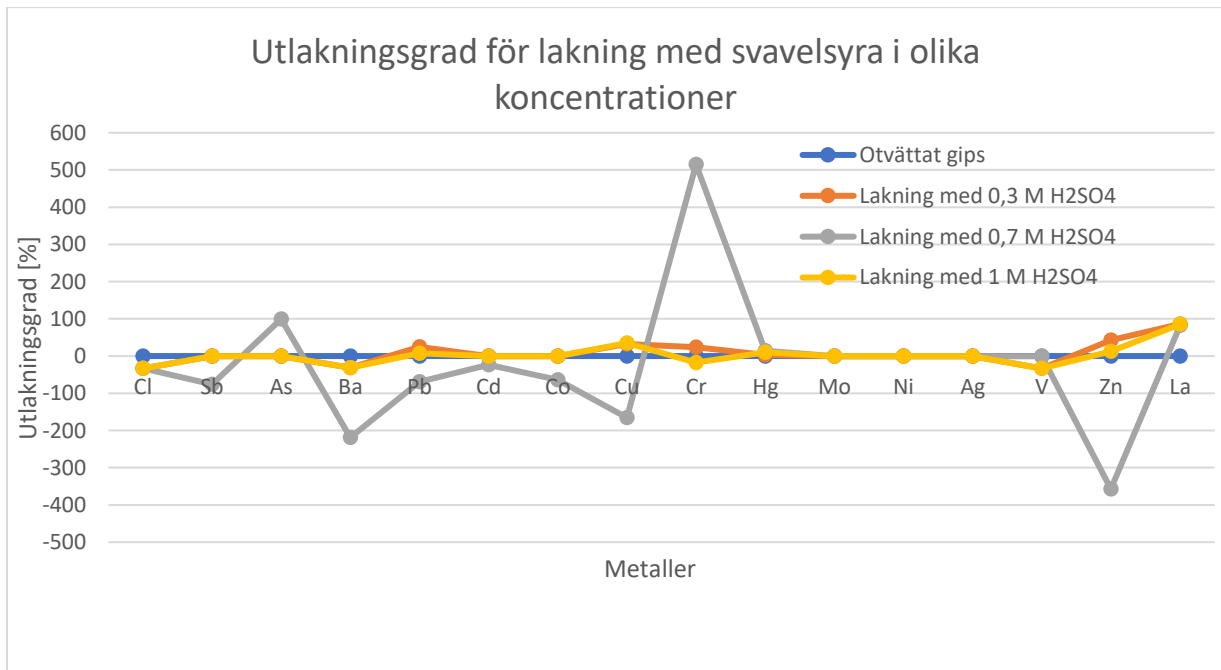
Den blåa färgen representerar metallhalterna i icke-lakat gips. Den orangea, gråa samt gula grafen beskriver metallhalterna i gipset efter lakning med 0,3 molar, 0,7 molar respektive 1 molar svavelsyralösning.



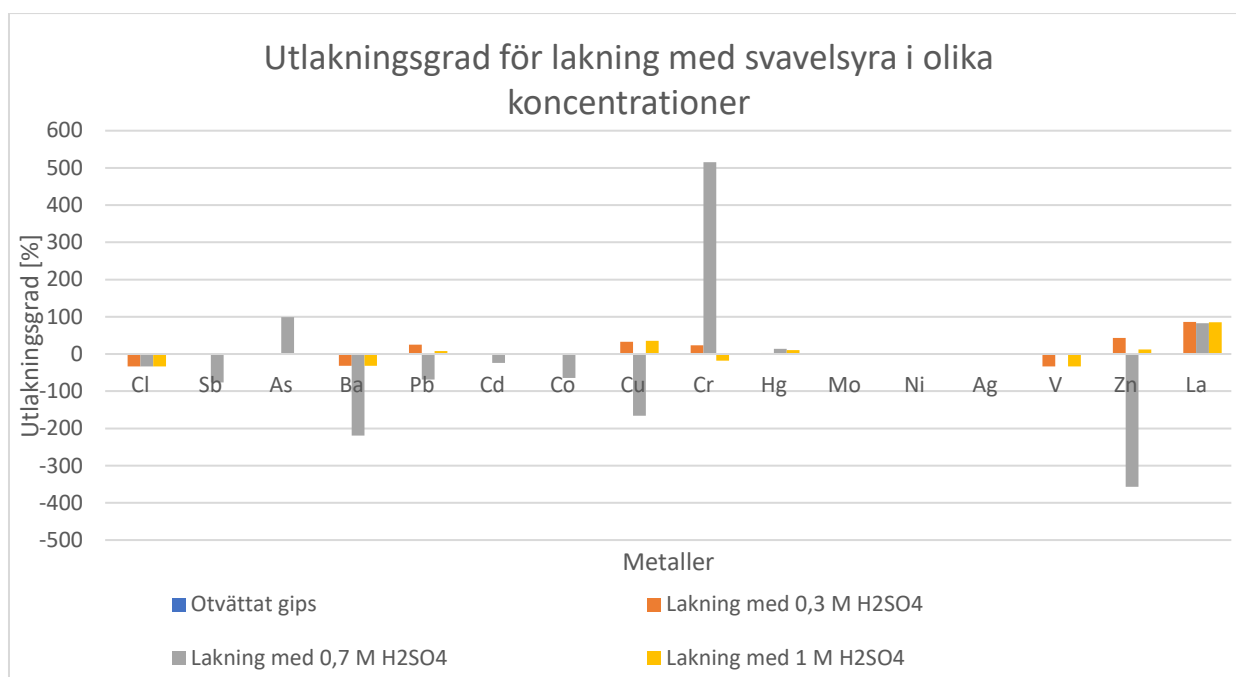
Figur 11. Stapeldiagrammet illustrerar metallhalterna i gipset före och efter lakning med olika svavelsyra-koncentrationer.

Samma färger som i figur 10 representerar gips i olika lägen.

Utlakningsgraden beräknades också och alla värden samlades ihop i figurerna 12 och 13.



Figur 12. Beräknad utlakningsgrad för respektive metall i gipset efter lakning med svavelsyra med koncentrationerna 0,3, 0,7 och 1 molar.



Figur 13. Stapeldiagram för illustrering av hur utlakningsgraden varierar för metallerna efter lakning med olika svavelsyra-koncentrationer.

6.3 NYTT GIPSPROV

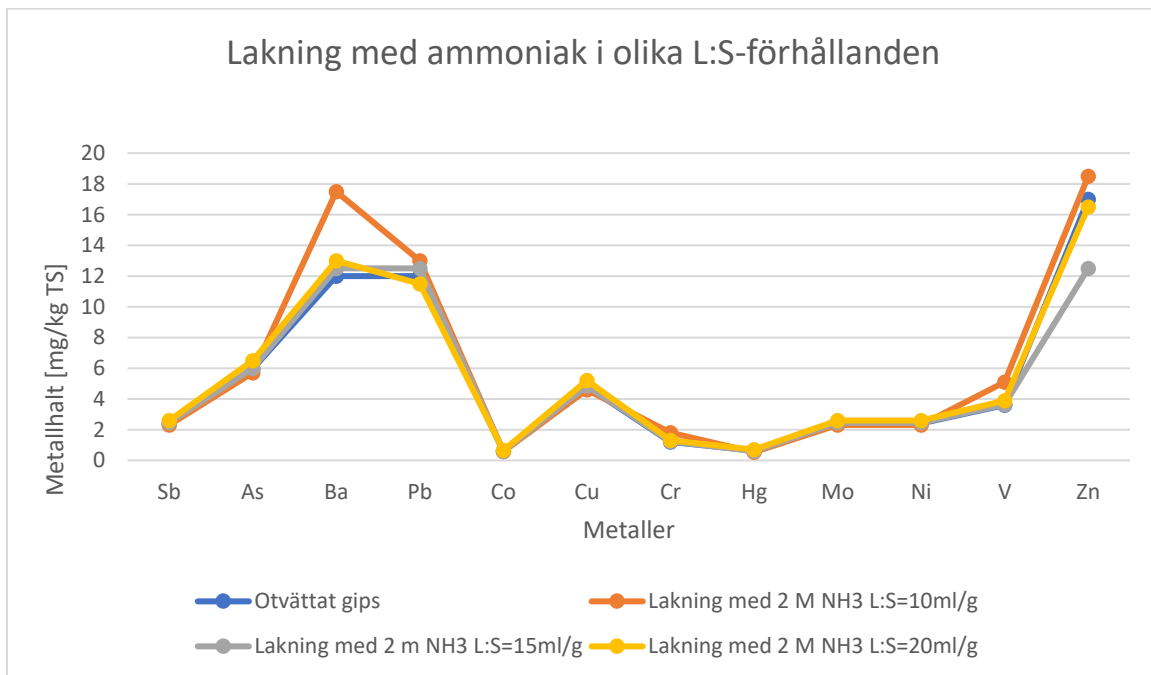
Efter att ha testat lakning med olika koncentrationer togs nya gipsprov. Denna gång fördes ungefär 900 g gips från båda hinkarna till en 1 liters låda och delades upp i 8 nya dubbelprover (alltså 16 nya prover) för lakning med olika temperaturer och L:S-förhållanden. Nytt icke-lakat gipsprov skickades på labb. Denna gång togs otvättade gipset inte direkt från lådan utan små mängder av gips togs från de 8 nya dubbelproverna innan lakning. Detta gjordes för att erhålla en så jämn fördelning av föroreningarna mellan proverna som möjligt. Tabell 3 representerar metallhalterna i det nya otvättade gipsprovet.

Tabell 3. Metallhalterna i nytt icke-lakat gipsprov.

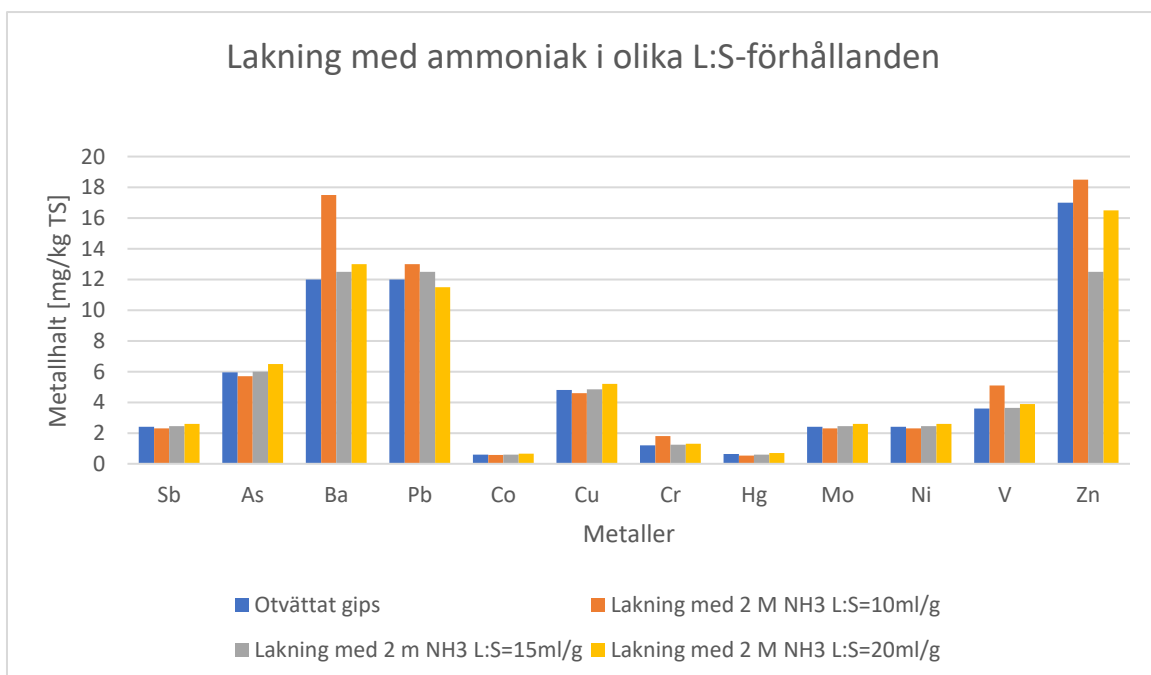
Element	Halt [mg/kgTS]	Mätosäkerhet
Antimon (Sb)	<2,4	15%
Arsenik (As)	<5,95	30%
Barium (Ba)	<12	40%
Bly (Pb)	12	15%
Kobolt (Co)	<0,595	15%
Koppar (Cu)	<4,8	15%
Krom (Cr)	<1,2	25%
Kvicksilver (Hg)	0,635	30%
Molybden (Mo)	<2,4	15%
Nickel (Ni)	<2,4	30%
Vanadin (V)	<3,6	15%
Zink (Zn)	17	15%

6.4 LAKNING MED AMMONIAK I OLIKA L:S-FÖRHÅLLANDEN OCH OLIKA TEMPERATURER

Lakning med ammoniak i olika L:S-förhållanden utfördes och metallhalterna analyserades i respektive gipsprov. Figur 14 och 15 nedan sammanställer metallhalterna före och efter lakning. Som tidigare nämns utfördes bara 15 och 20 ml/g eftersom 10 ml/g redan hade testats för koncentrationsparametern. Det är det nya icke-lakade gipset som referens för de nya parametrarna, även för gipsproven som är hämtad från koncentrationsparametern. Figur 16 och 17 nedan visar linje- och stapeldiagram för gips före och efter lakning med olika L:S-förhållanden.

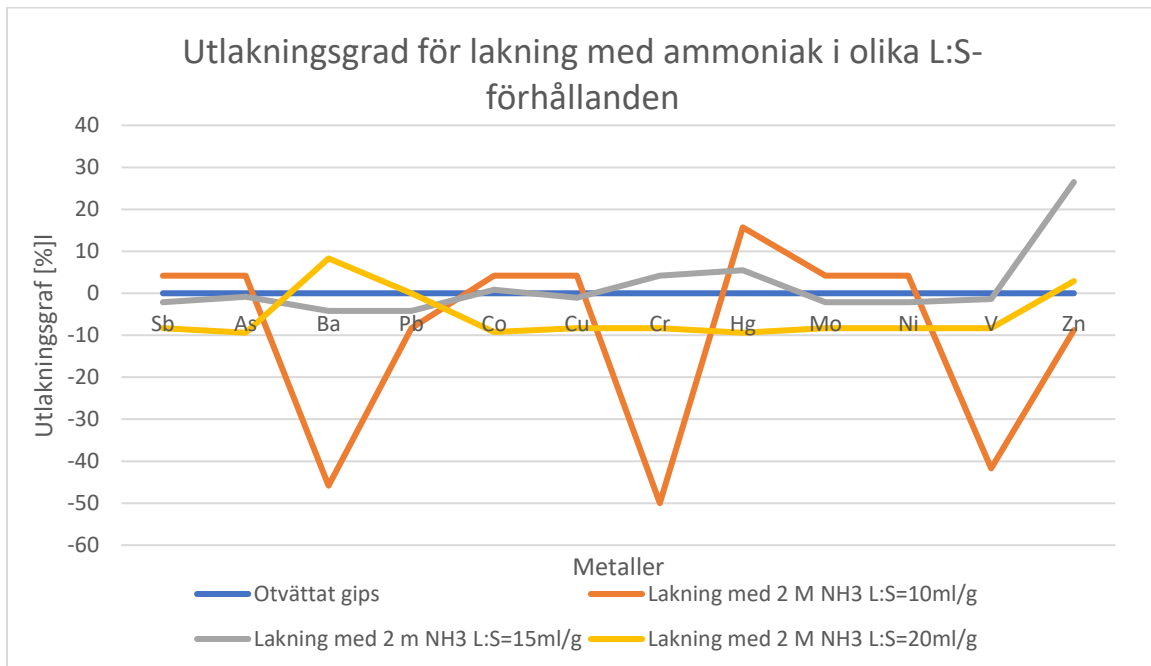


Figur 14. Linjediagram för metallhalterna i gips efter lakning med ammoniak i olika L:S-förhållanden.

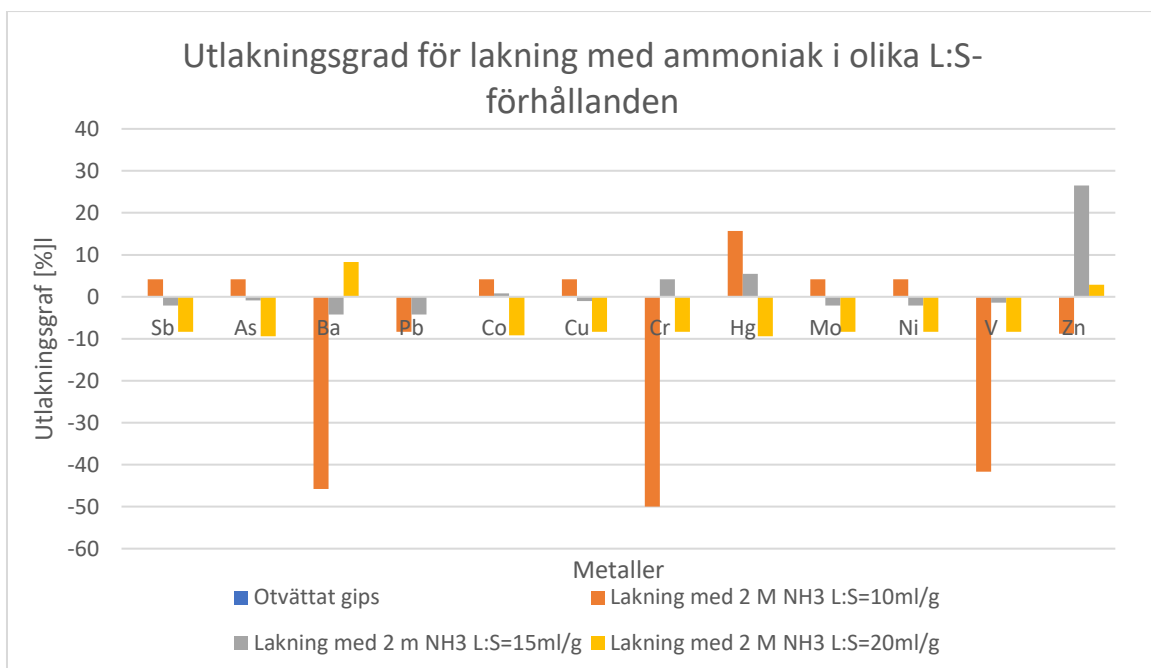


Figur 15. Stapeldiagram för metallhalterna i gips efter lakning med ammoniak i olika L:S-förhållanden

Den blåa färgen representerar nytt icke-lakat gips. Orange, grå och gul färg representerar gips efter lakning med 2 molar ammoniaklösning med L:S=10 ml/g, L:S=15ml/g respektive L:S=20 ml/g.

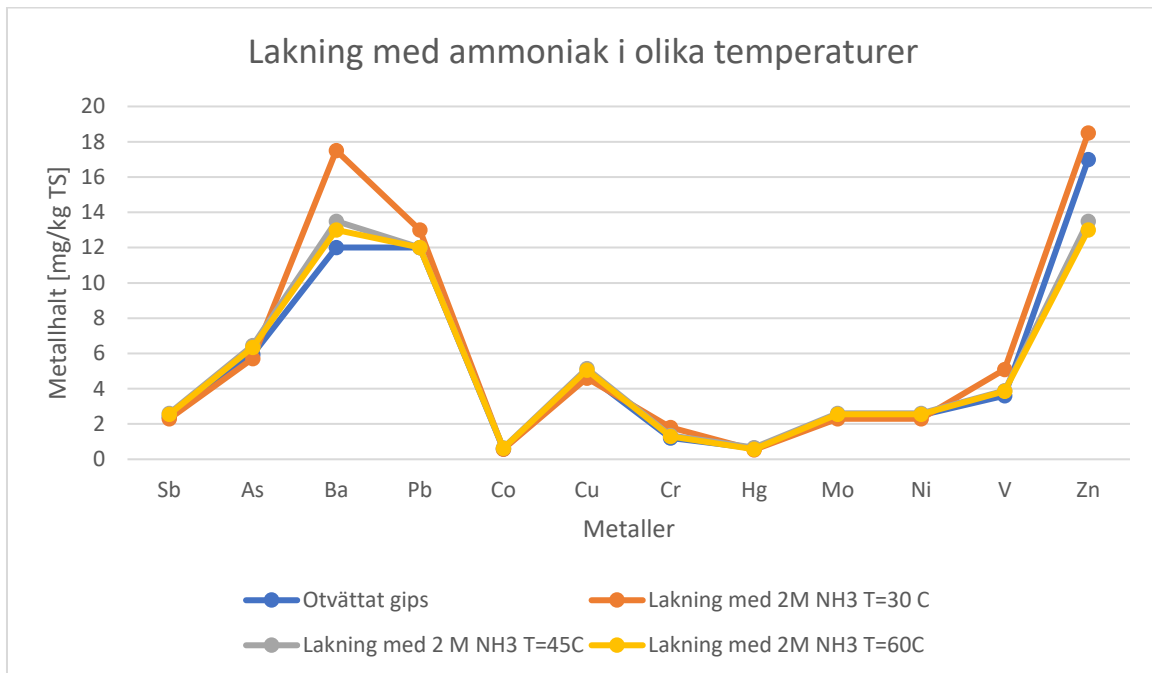


Figur 16. Linjediagram för illustration av hur utlakningsgraden varierar för metallerna efter lakning med olika L:S-förhållanden.

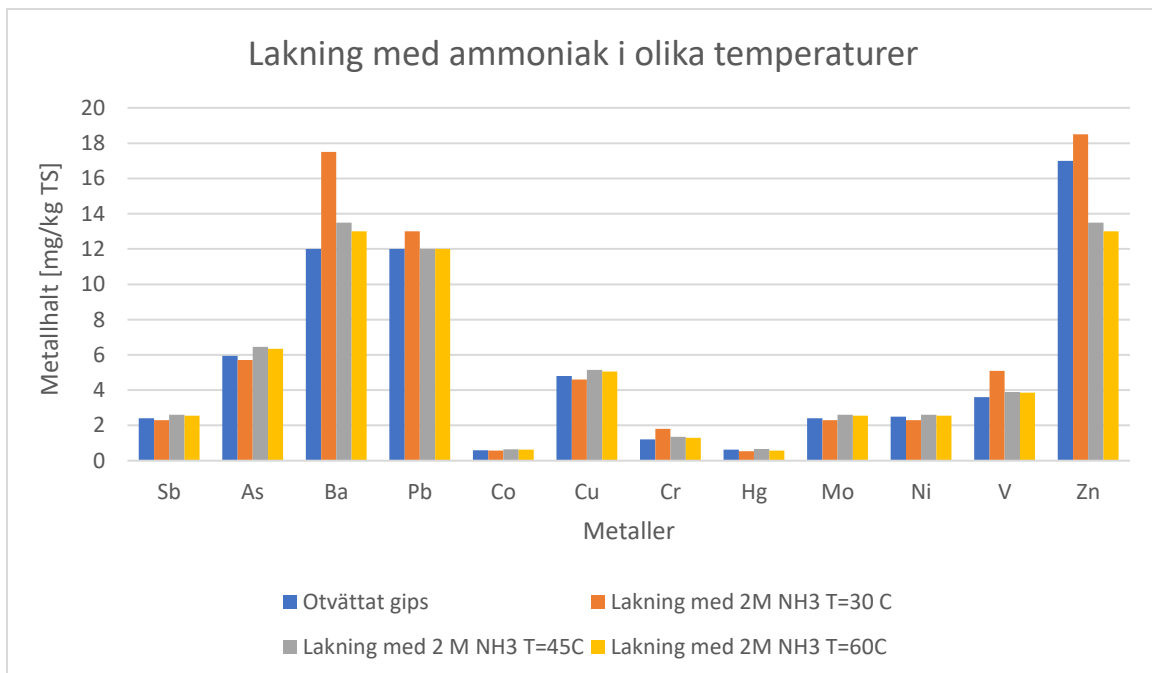


Figur 17. Stapeldiagram för illustration av hur utlakningsgraden varierar för metallerna efter lakning med olika L:S-förhållanden.

Efter att ha utfört försöken med olika L:S-förhållanden, testades även olika temperaturer. Figur 18 och 19 presenterar metallhalterna i gips efter lakning med 2 Molar ammoniak vid temperaturerna 30, 45 och 60 °C.



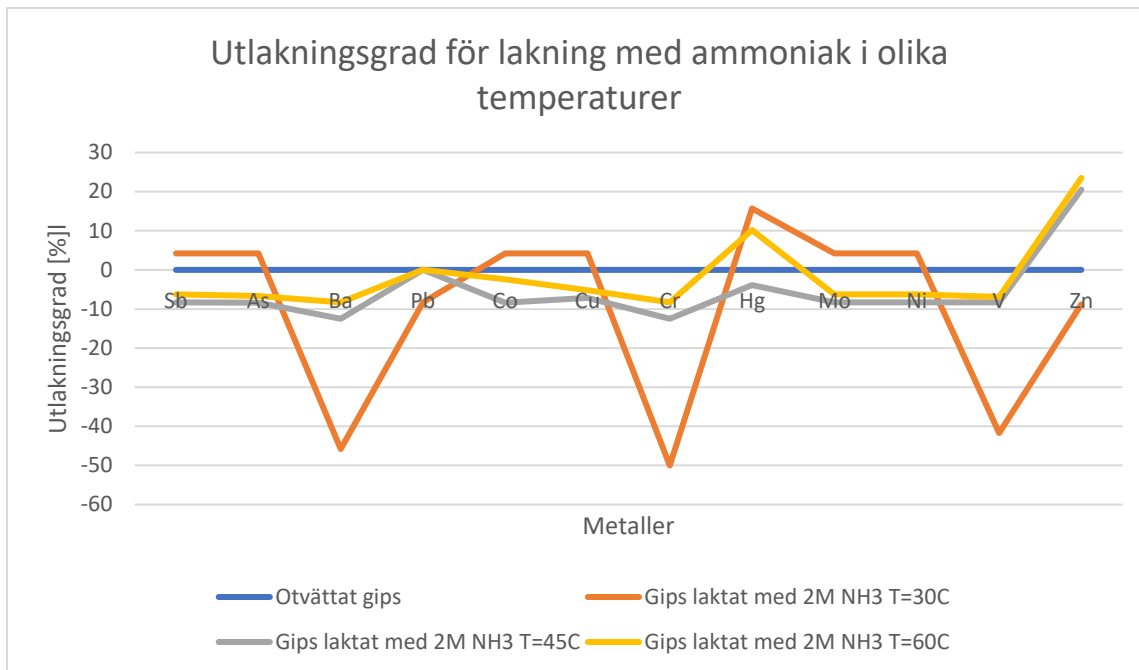
Figur 18. Linjediagram för illustration av hur metallhalterna varierar efter lakning med ammoniak i olika temperaturer.



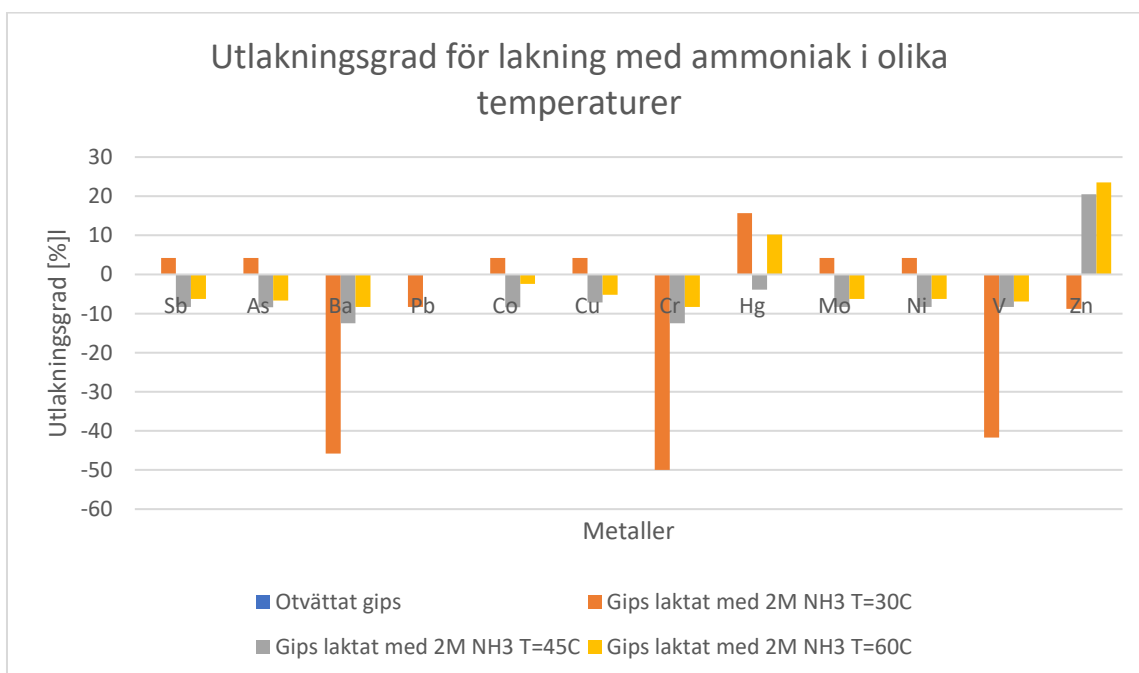
Figur 19. Stapeldiagram för illustration av hur metallhalterna varierar efter lakning med olika temperaturer.

Samma färger som i figurerna ovan representerar gipset i de olika tillstånden. Blå för icke-lakat gips, orange, grå och gul står för metallhalterna i gips lakat i temperaturerna 30, 45 samt 60 °C.

Utlakningsgraden räknades också ut och presenteras i figur 20 respektive 21.



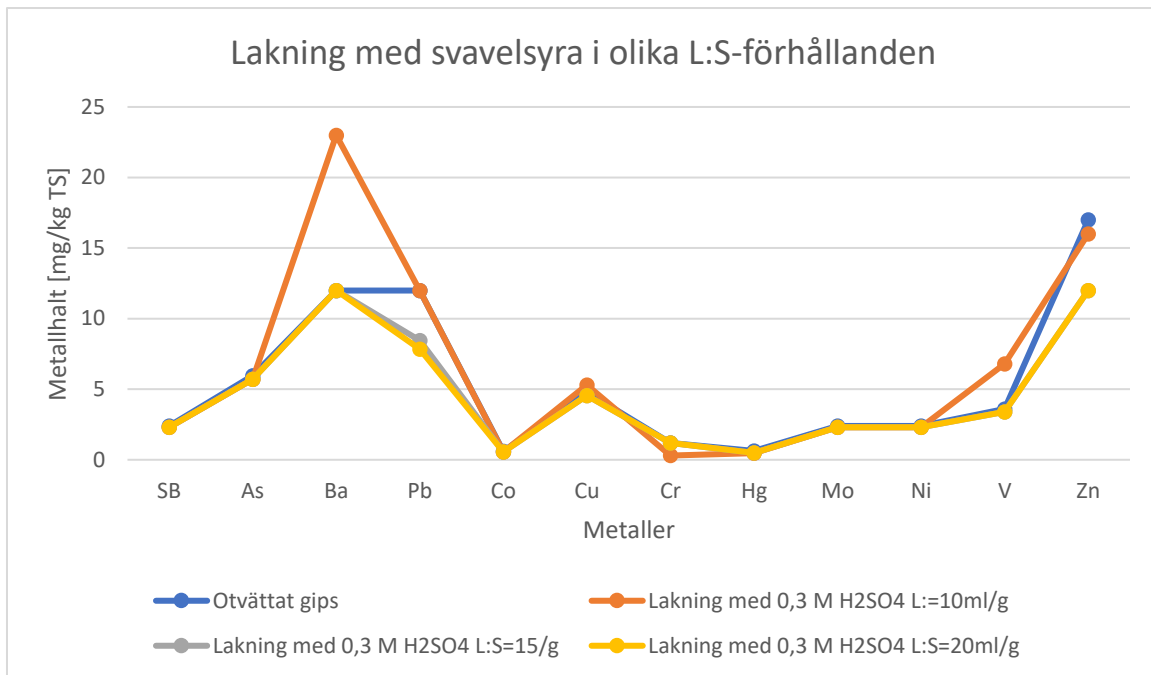
Figur 20. Linjediagram för illustration av hur utlakningsgraden varierar för metallerna efter lakning med olika temperaturer.



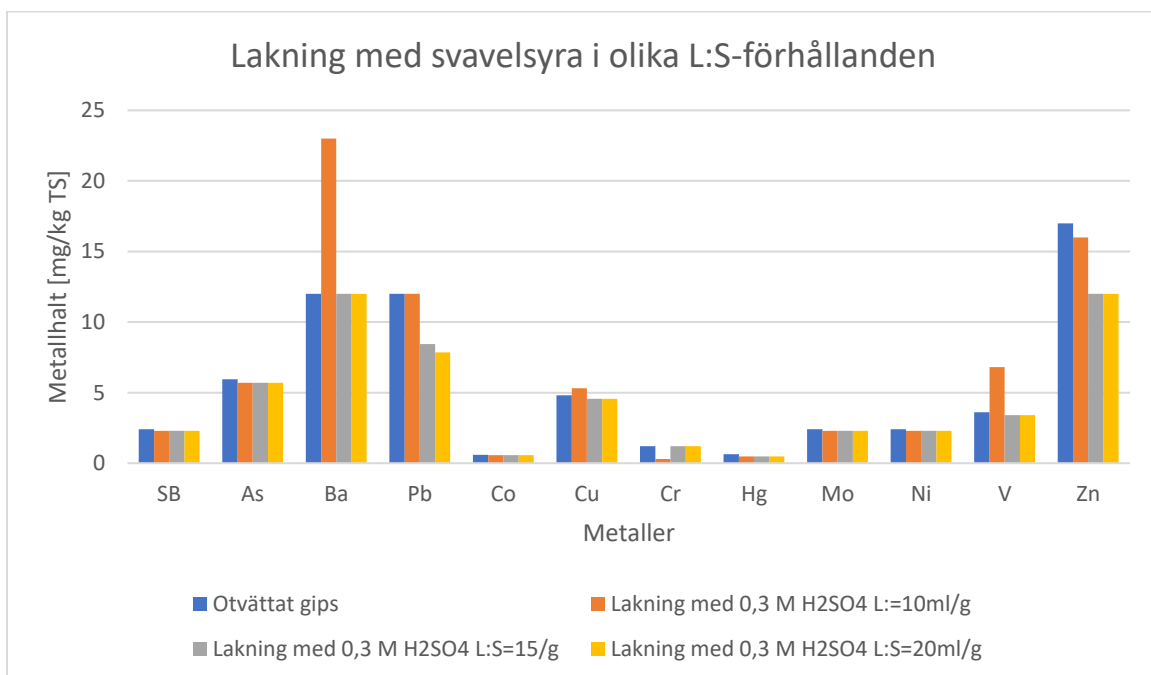
Figur 21. Stapeldiagram för illustration av hur utlakningsgraden varierar för metallerna efter lakning med olika temperaturer.

6.5 LAKNING MED SVAVELSYRA I OLIKA L:S-FÖRHÅLLANDEN OCH TEMPERATURER

Liksom för ammoniak utfördes lakning för samma parametrar med svavelsyra. Både L:S-förhållanden och temperaturerna som testades är samma som för lakning med ammoniak. Figur 22 och 23 representerar metallhalter efter lakning olika L:S-förhållanden.

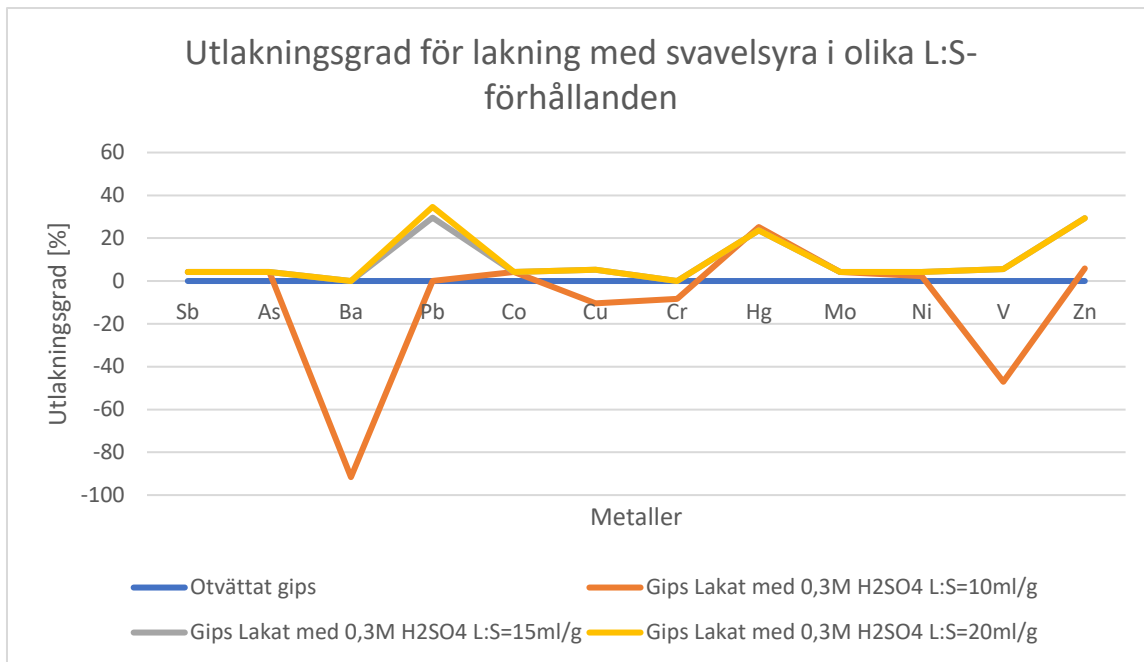


Figur 22. Linjediagram för illustration av hur metallhalterna varierar efter lakning med olika L:S-förhållanden.

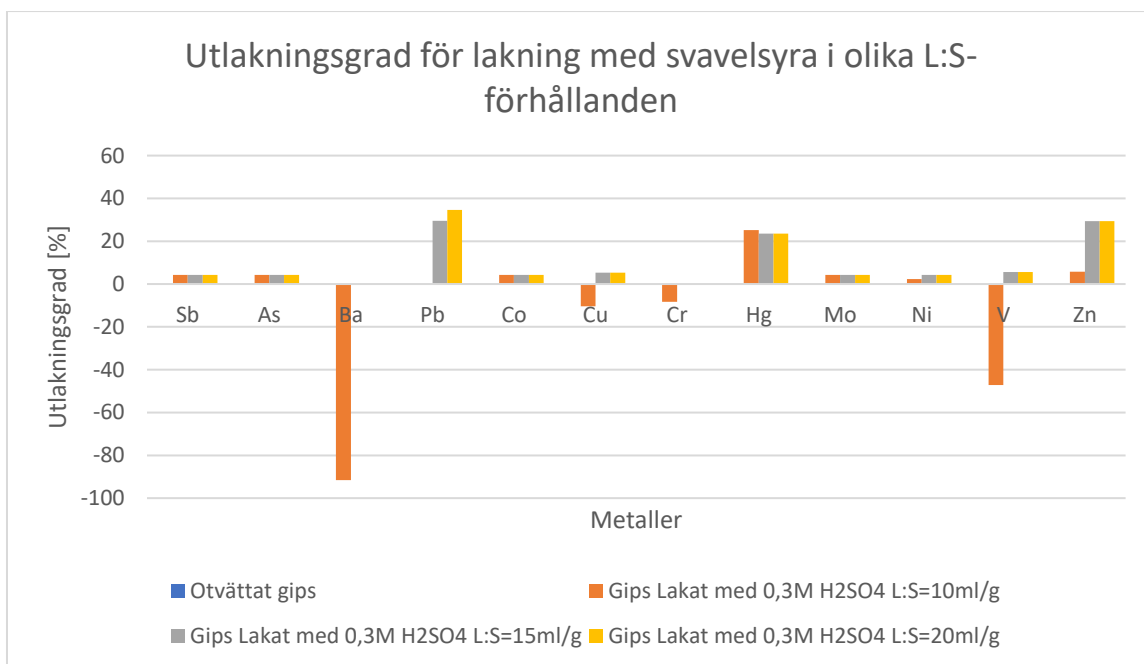


Figur 23. Stapeldiagram för illustration av hur metallhalterna varierar efter lakning med olika L:S-förhållanden.

Samtliga försök kördes med konstant koncentration (0,3 molar) och konstant temperatur (30°C). Utlakningsgraden räknades också ut och samlades ihop i ett linjediagram respektive stapeldiagram. Figurerna 24 och 25 redovisar respektive figurer.

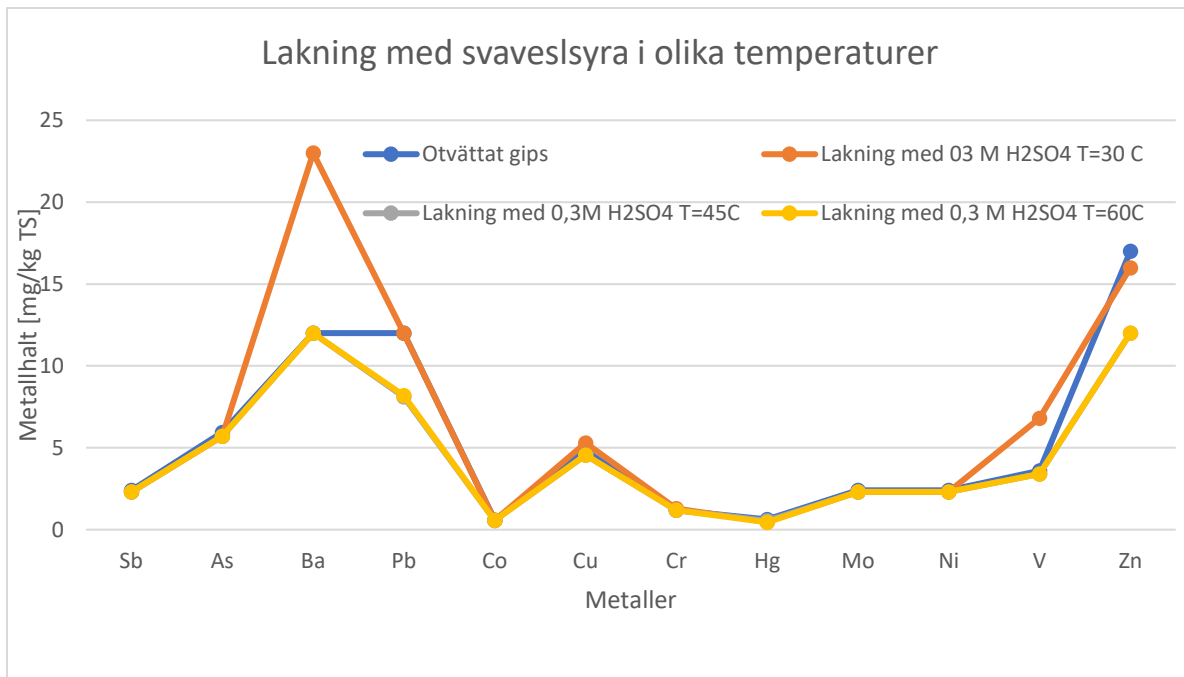


Figur 24. Linjediagram för illustration av hur utlakningsgraden varierar för metallerna efter lakning med olika L:S-förhållanden.

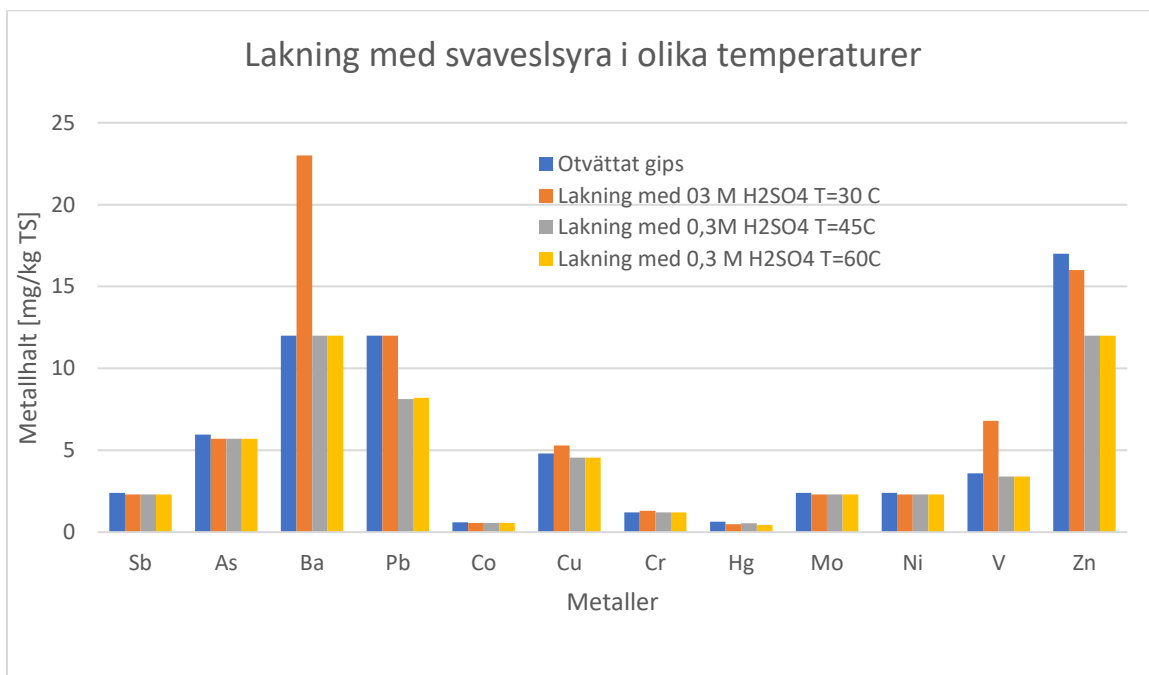


Figur 25. Stapeldiagram för illustration av hur utlakningsgraden varierar för metallerna efter lakning med olika L:S-förhållanden.

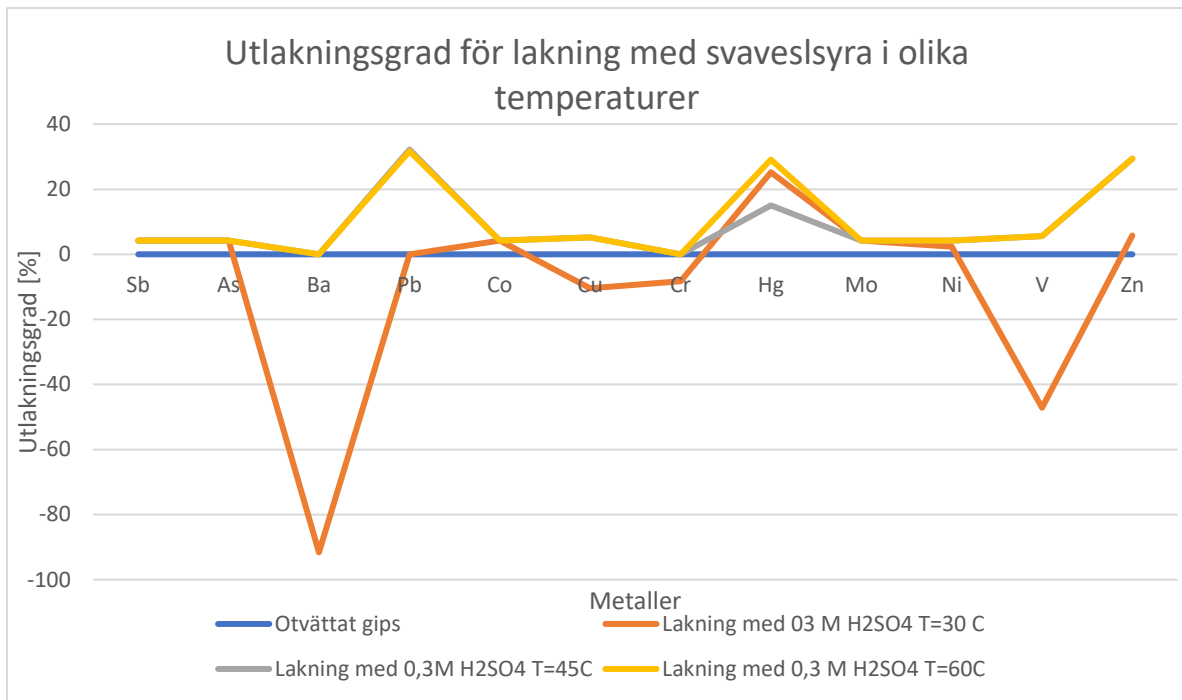
Slutligen utfördes lakning i olika temperaturer. Försöken kördes för temperaturerna 45 samt 60 °C med konstant temperatur (0,3 molar) och konstant L:S-förhållande (10 ml/ g TS). 30 °C hade redan utförts för koncentrationsparametern och togs därifrån. Figurerna 26 och 27 presenterar metallhalterna i gips efter lakning med svavelsyra i samtliga temperaturer medan figur 28 och 29 redovisar utlakningsgraden.



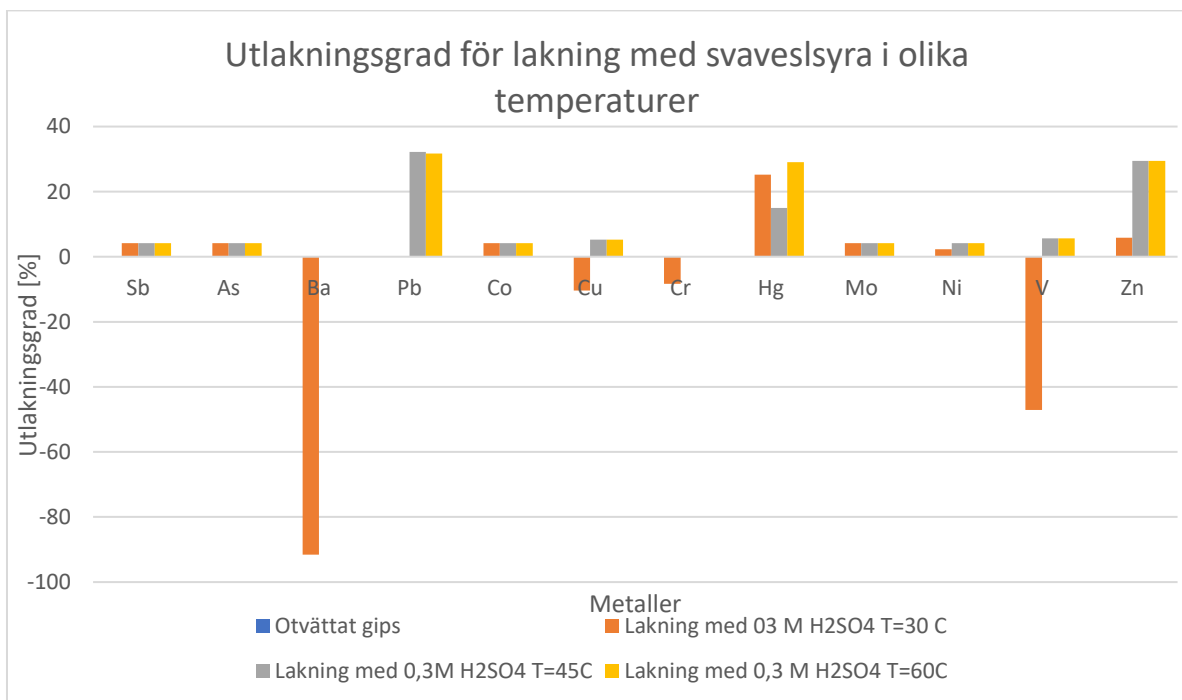
Figur 26. Linjediagram för illustration av hur metallhalterna varierar efter lakning med olika temperaturer.



Figur 27. Stapeldiagram för illustration av hur metallhalterna varierar efter lakning med olika temperaturer.



Figur 28. Linjediagram för illustration av hur utlakningsgraden varierar för metallerna efter lakning med olika temperaturer



Figur 29. Stapeldiagram för illustration av hur utlakningsgraden varierar för metallerna efter lakning med olika temperaturer.

6.6 DIOXINUPPFÅNGNING MED AKTIVT KOL

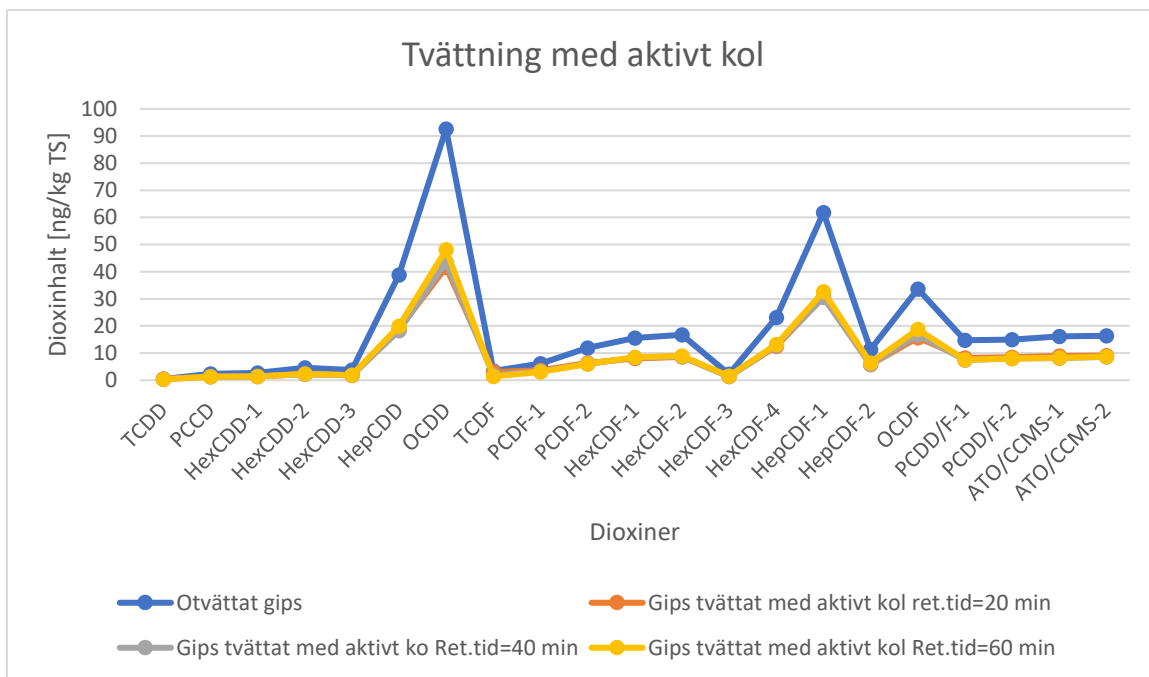
Utöver lakning med ammoniak och svavelsyra, genomfördes även några experiment med pelleterat aktivt kol. Uppställningen för tvättning med aktivt kol var ganska lik uppställningen för lakningsförsöken. Retentionstiden användes som parameter här. L:S förhållandet bestämdes till 10 ml/ g TS och vid temperaturen 30 °C. Ett otvättat gipsprov och tre tvättade

gipsprov med aktivt kol i olika retentionstider skickades på dioxinanalys. Det otvättade gipset bestod av små mängder av de tre resterande gipsproven innan tvättning. Detta gjordes för att erhålla bättre fördelning av dioxinerna i gipset. Tabell 4 nedan sammanställer dioxinhalterna för otvättat gips.

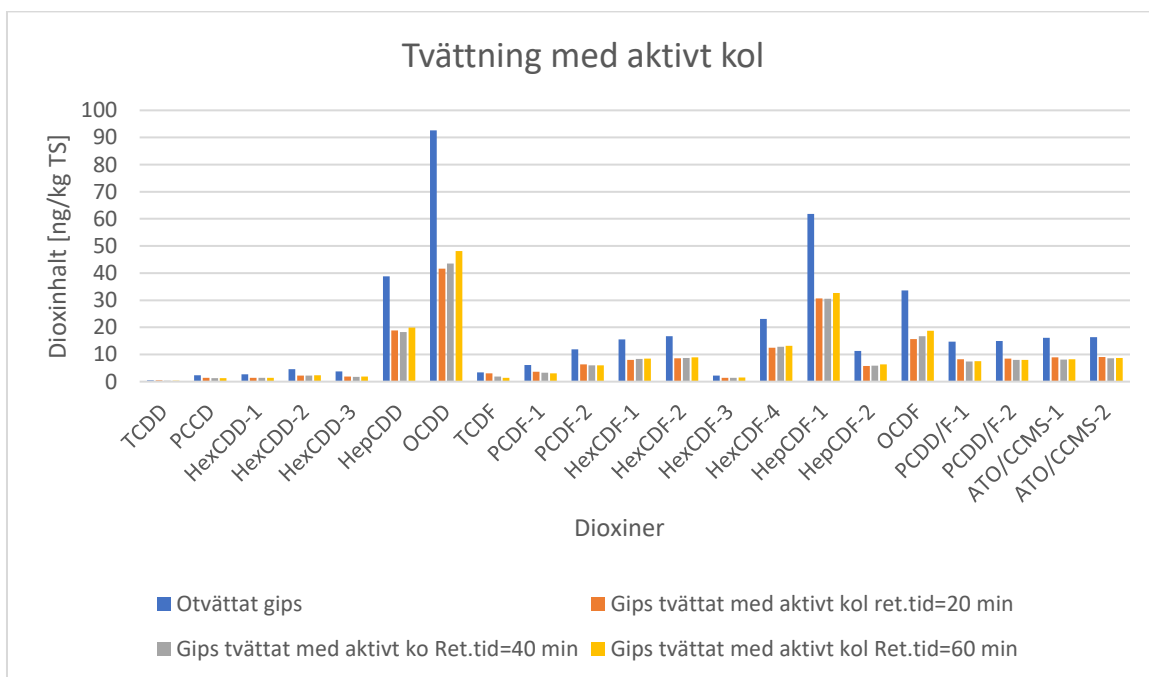
Tabell 4. Dioxinhalter i icke-lakat gipsprov.

<i>Analys</i>	<i>Halt [ng/kg TS]</i>
<i>2,3,7,8TetraCDD</i>	0,439
<i>1,2,3,7,8-PentaCDD</i>	2,39
<i>1,2,3,4,7,8-HexaCDD</i>	2,71
<i>1,2,3,6,7,8-HexaCDD</i>	4,61
<i>1,2,3,7,8,9-HexaCDD</i>	3,75
<i>1,2,3,4,6,7,8-HeptaCDD</i>	38,8
<i>OktaCDD</i>	92,6
<i>2,3,7,8TetraCDF</i>	3,38
<i>1,2,3,7,8-PentaCDF</i>	6,09
<i>2,3,4,7,8-PentaCDF</i>	11,9
<i>1,2,3,4,7,8-HexaCDF</i>	15,6
<i>1,2,3,6,7,8-HexaCDF</i>	16,8
<i>1,2,3,7,8,9-HexaCDF</i>	<2,22
<i>2,3,4,6,7,8-HexaCDF</i>	23,1
<i>1,2,3,4,6,7,8-HeptaCDF</i>	61,8
<i>1,2,3,4,7,8,9-HeptaCDF</i>	11,3
<i>OktaCDF</i>	33,6
<i>WHO(2005)-PCDD/F TEQ exkl. LOQ</i>	14,7
<i>WHO(2005)-PCDD/F TEQ inkl. LOQ</i>	15,0
<i>I-TEQ (N ATO/CCMS) exkl LOQ</i>	16,1
<i>I-TEQ (N ATO/CCMS) inkl LOQ</i>	16,4

Halten av dioxinerna sammanställdes i ett linje- och stapeldiagram med hjälp av Excel. Figur 30 och 31 nedan illustrerar dioxinhalterna i form av linje- och stapeldiagram.



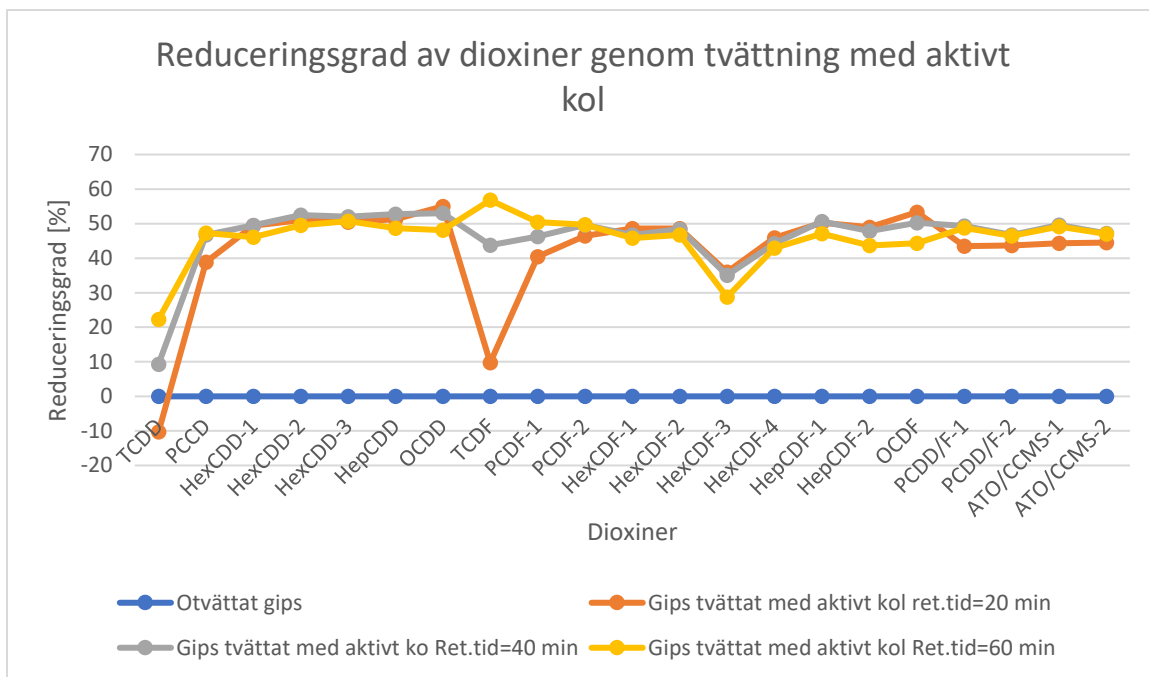
Figur 30. Linjediagram för illustration av dioxinerna varierar efter tvättning med aktivt kol i olika retentionstider.



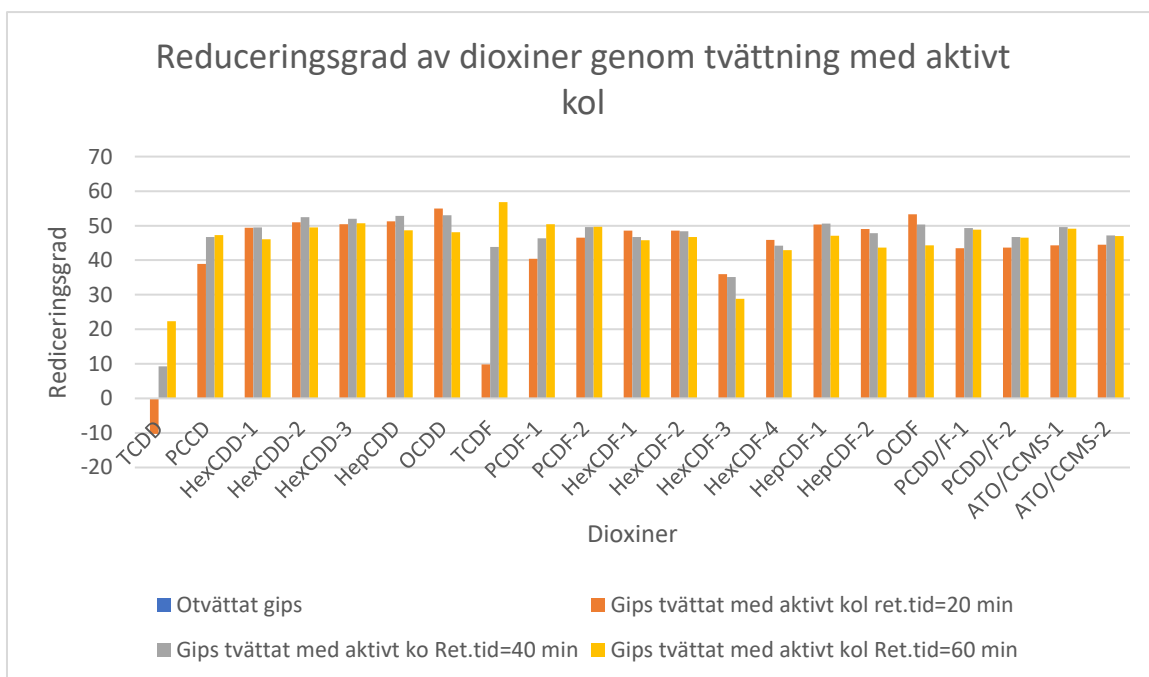
Figur 31. Stapeldiagram för illustration av dioxinerna varierar efter tvättning med aktivt kol i olika retentionstider.

Den blåa färgen står för otvättat gips i båda figurerna. Orange, grå och gul representerar dioxinerna i gips efter tvättning med aktivt kol med retentionstiderna 20, 40 respektive 60 min.

Reduceringshalten av dioxinerna räknades också ut och presenteras i figur 32 samt 33. Detaljerad uträkning av reduceringsgraden för dioxinerna kan hittas i Appendix C.



Figur 32. Linjediagram för illustration av hur reduceringsgraden varierar för dioxinerna efter tvättning med olika retentionstider.

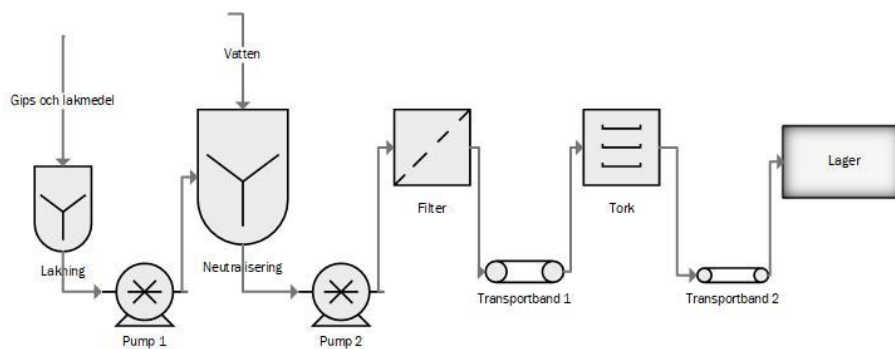


Figur 33. Stapeldiagram för illustration av hur reduceringsgraden varierar för dioxinerna efter tvättning med olika retentionstider.

Det otvättade gipset presenteras av den blå färgen i figurerna med gipset efter tvättning med retentionstiderna 20, 40 samt 60 min presenteras av den orangea, gråa respektive gula färgen.

6.7 Ekonomisk analys

Den ekonomiska analysen utfördes bara på lakning med svavelsyra. Eftersom bara svavelsyra hade positiva utlakningsgrad på metallerna, både för olika temperaturer och L:S-förhållanden, uteslöts lakning med ammoniak. Uppfångning av dioxiner via användning av pelleterat aktivt kol gav bra resultat med eftersom en liten del av pelletsen löstes upp i vattnet så uteslöts ekonomisk analys för denna metod. Det är lämpligare att utveckla metoden innan den skalas upp till industriskala, vilket innebär att det i detta fall inte är nödvändigt att utföra en ekonomisk analys för uppfångning av dioxiner med aktivt kol. Processen behöver utvecklas ytterligare innan den kan skalas upp till industrinivå. Figur 34 nedan illustrerar en tänkbar anläggning för lakning med svavelsyra.



Figur 34. skiss över hur en lakningsanläggning skulle kunna se ut.

Enligt figuren lakas gipset först i en stor tank med svavelsyra. Därefter pumpas gipslösningen vidare till en annan större tank för att blandas med mer vatten. Detta görs i avsikt att neutralisera gipset. Efteråt pumpas gipslösningen till ett vakuumfilter i avsikt att avvattnas. Med hjälp av ett transportband förs gipset till en rotortork och får torka tills det har nått en viss fukthalt. Slutligen lagras gipset i ett lager med hjälp av användning av ett annat transportband. Lagret behöver inte vara någon dyr enhet utan ett vanligt skjul skulle kunna användas här. Beräkningarna baseras på en kontinuerlig produktion på 1000 kg gips /timme eftersom 100 kg/timme är för liten produktion för uppskalning till industrinivå.

Uppställningen på processen har designats med färre antal enheter än vad som skulle ha krävts vid en riktig uppskalning. Det är själva experimentella försöket som har skalats upp till industriskala. En riktig uppskalning skulle bli mycket mer omfattande. T.ex. skulle det krävas lagringstankar för kemikalierna, avluftningssystem med fläkt och slangfilter för uppfångning av partiklar, vattenreningssystem för lakvattnet, vägnings och doseringssystem för gipsmatningen etc.

6.7.1 Råmaterial

Råmaterialen i arbetet är lakvätskorna och aktivt kol som används för att avlägsna metaller respektive dioxiner från gipset. Bara svavelsyran togs med i beräkningarna eftersom ammoniak inte fungerade lika bra som svavelsyra. Aktivt kol togs heller inte med i beräkningarna. Eftersom det aktiva kolet löstes upp i vattnet skulle det inte bli smidigt att använda denna metod i industriskala. En årlig förbrukning på 98% svavelsyra räknades ut, baserad på ett L:S-förhållande på 10ml/g gips och en koncentration på 0,3 M. Den 98% svavelsyran som köptes in har priset 250 dollar/ton [25].

Massan omvandlades först till volym enligt ekvation 15:

$$V_{\text{Svavelsyra}} = \frac{m_{\text{svavelsyra}}}{\rho_{\text{svavelsyra}}} = \frac{1000 \text{ kg}}{1840 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0,544 \text{ m}^3 = 544 \text{ liter} \quad \text{Ekvation 15}$$

Priset per liter svavelsyra räknades därefter ut och kan ses i ekvation 16.

$$\text{Pris per liter} = \frac{250 \text{ dollar}}{544 \text{ liter}} = 0,46 \text{ dollar/liter} = 4,27 \text{ SEK/liter} \quad \text{Ekvation 16}$$

Svavelsyran behövde sedan spädas ut till 0,3 M, vilket görs med formeln i ekvation 17 [26]:

$$C_1 \cdot V_1 = C_2 \cdot V_2 \Rightarrow V_1 = \frac{C_2 \cdot V_2}{C_1} = \frac{0,3 \frac{\text{mol}}{\text{liter}} \cdot 1 \text{ liter}}{18,2 \frac{\text{mol}}{\text{liter}}} = 0,01648 \text{ liter} \quad \text{Ekvation 17}$$

Alltså behövs 16,48 ml 98% svavelsyra för 1 liters 0,3 Molar svavelsyra.

Eftersom beräkningarna baseras på 1000 kg gips/timme så krävs det 10 000 liter/ timme 0,3 M svavelsyra, baserad på L:S= 10ml/g TS. Detta innebär i sin tur att 0,016 liter svavelsyra multipliceras med 10 000 liter. Därefter multipliceras siffran med 24 timmar och 365 dagar. Tabell 5 presenterar mängden och kostnaden av svavelsyra som krävs för lakning av 1000 kg gips/timme.

Tabell 5. Mängd och kostnad av svavelsyra som krävs för 1000 kg gips/h.

Råmaterial	Pris/liter	Liter/år	Pris [SEK]/år
Svavelsyra 98 %	4,27 SEK	1 443 956	6 151 252

6.7.2 Lakning och neutralisering -tank

Även dimensionerna på utrustningarna behöver baseras på 1000 kg gips /timme och på ett L:S-förhållande på 10 ml/ g TS. 1000 kg gips per timme kräver i sin tur 10 000 liter/timme, alltså 10 m³ lakvätska. Tankens volym inkluderar både lakvätskans och gipsets volym, vilket innebär att 1000 kg gips behöver omvandlas till volym. Med en bulkdensitet på 865 kg/m³ fås volymen [27]:

$$V_{\text{gips}} = \frac{m_{\text{gips}}}{\rho_{\text{gips}}} = \frac{1000 \text{ kg}}{865 \text{ kg/m}^3} = 1,156 \approx 1,2 \text{ m}^3 \text{ gips} \quad \text{Ekvation 18}$$

Enligt ekvation 19 fås då en total volym på:

$$V_{\text{tot}} = V_{\text{lakvätska}} + V_{\text{gips}} = 10 + 1,2 = 11,2 \text{ m}^3 \quad \text{Ekvation 19}$$

Lämpligast är att investera på en lite större tank med tanke omröringen. Eftersom gipslösningens volym är 11,2 m³, välj en tankvolym på 13 m³. Med hjälp av EconExpert väljs en mantlad tank. Tanken är glasinfodrad utifrån guiden för frätande material och har volymen 13 m³. Tanken för neutralisering har också samma funktioner som tanken för lakning men är ungefär dubbelt så stor med tanke på vattnet som tillsätts för neutralisering. Tabell 5 nedan presenterar volymen och modulkostnaden för respektive tank.

Tabell 5. Dimensionerna och modulkostnaden för tank1 respektive tank 2.

Urustning	Volym [m ³]	Bare module cost [SEK]
Tank 1-lakning	13	1 246 695
Tank 2-neutralisering	25	1 790 873

6.7.3 Filtrering

I litteraturstudien har separationsprocesser inte studerats, eftersom sugfiltrering med hjälp av filterpapper kunde användas på labbarna. Filtrering med filterpapper är dock inte möjlig att skala upp till industriskala, vilket innebär att filtreringsprocesser också behöver undersökas vid uppskalning. Ett lämpligt filter valdes med EconExpert. Filtret som valdes är ett vätskefilter med enkelriktat vakuumsystem. EconExpert krävde dock en filterarea och en lämplig filterarea bestämdes enligt tumregel [28]. Tabell 6 nedan sammanställer modulkostnaden och filterarea för filtret.

Tabell 6. Filterytan och modulkostnaden för filtret.

<i>Utrustning</i>	<i>Filteryta [m²]</i>	<i>Bare module cost [SEK]</i>
<i>Filter</i>	0,3	547 125

6.7.4 Pumper

Två pumper användes; första pumpen användes för transport av gipslösningen från första tanken till andra tanken och andra pumpen användes för transport av gipslösningen från andra tanken till filtret. För ett flöde på 2 m³/h krävs eldrift på 1,1–2,2 kW [29].

Detta innebär att gipsflödet som har volymen 1,2 m³/h skulle kräva ungefär 0,9 kW. Pumper med rotation i positiv förskjutning valdes. I tabell 7 presenteras modul kostnaden för respektive pump.

Tabell 7. Modulkostnaden för pump 1 samt pump 2.

<i>Utrustning</i>	<i>Bare module cost [SEK]</i>
<i>Pump 1</i>	234 908
<i>Pump 2</i>	199 935

6.7.5 Torkning-rotertork

En rotertork med direkt torkning väljs som tork. EconExpert kräver en inre volym för att kunna uppskatta kostnaden. Enligt tumregel är uppehållstiderna väldigt låga för trumtorkar [30]. Då rotertorkar också tillhör klassen trumtorkar är det möjligt att bestämma uppehållstiden för rotertorken utifrån tumregeln. Här antas en uppehållstid på 2 min.

Med en uppehållstid på 2 min fås en massa på gips enligt ekvation 20 och 21:

$$1000 \frac{\text{kg}}{\text{timme}} = 0,28 \text{ kg/s} \quad \text{Ekvation 20}$$

$$m_{\text{gips}} = \text{gipsproduktion} \cdot \text{uppehållstid} = 0,28 \frac{\text{kg}}{\text{s}} * 2 * 60 \text{ s} = 33,3 \text{ kg gips på 2 min} \quad \text{Ekvation 21}$$

Alltså rymmer torken 33,3 kg gips åt taget. 33,3 kg gips omvandlas därefter till volym enligt ekvation 22.

$$V_{\text{gips}} = \frac{m_{\text{gips}}}{\rho_{\text{gips}}} = \frac{33,3 \text{ kg}}{865 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0,039 \text{ m}^3 \quad \text{Ekvation 22}$$

En rotertork kan inte fyllas upp med hur mycket torrsbstans som helst. Rortertorken brukar vara fylld med ungefär 20% av torkmaterial [31]. Detta ger en faktisk volym på:

$$V_{rotertork} = \frac{V_{gips}}{0,2} = \frac{0,039}{0,2} \approx 0,20 \text{ m}^3 \quad \text{Ekvation 23}$$

Tabell 8 nedan presenterar modulkostnaden för torken.

Tabell 8. Modulkostnaden för rotertorken.

<i>Utrustning</i>	<i>Inre volym [m³]</i>	<i>Bare module cost [SEK]</i>
<i>Rotertork</i>	0,2	1 137 893

6.7.6 Transportband

Två transportband användes i den ekonomiska analysen. Första användes för transport av det avvattnade gipset in till rotertorken. Andra transportbandet användes för transport av det torkade gipset. EconExpert kräver en basyta för transportbandet, d.v.s. en längd och en bredd på transportbandet. Här antas en hastighet på 0,01 m/s och 1000 kg gips/timme omvandlas till kg/s enligt ekvation 24.

$$M_{gips} = 1000 \frac{kg}{h} \rightarrow \text{omvandling: } M_{gips} = \frac{1000 \text{ kg}}{3600 \text{ s}} \approx 0,28 \text{ kg gips/s} \quad \text{Ekvation 24}$$

Därefter omvandlas massan till volym genom användning av bulkdensiteten enligt ekvation 25.

$$V_{gips} = \frac{m_{gips}}{\rho_{gips}} = \frac{0,28 \text{ kg/s}}{865 \frac{kg}{m^3}} = 2,3 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \text{ gips/s} \quad \text{Ekvation 25}$$

För uppskattning av basytan, d.v.s. längden och bredden på transportbandet, används följande samband:

$$V = v \cdot l \cdot b \rightarrow l \cdot b = \frac{V}{v} = \frac{2,3 \cdot 10^{-4} \frac{m^3}{s}}{0,01 \frac{m}{s}} = 0,032 \text{ m}^2 \quad \text{Ekvation 26}$$

där V är volymen av gips per sekund, v är den antagna hastigheten och l och b längden respektive bredden på transportbandet. Antag att bredden är 10 cm på transportbandet. Då erhålls bredden enligt ekvation 27.

$$b = \frac{0,032}{0,10} = 0,32 \text{ m} \quad \text{Ekvation 27}$$

Båda transportbanden har samma storlek, vilket innebär att längden för båda transportbanden är samma. Tabell 9 presenterar modulkostnaden för båda transportbanden.

Tabell 9. Modulkostnaden för transportband 1 och transportband 2.

<i>Utrustning</i>	<i>Modulkostnad [SEK]</i>
<i>Transportband 1</i>	326 948
<i>Transportband 2</i>	326 948

6.8 ÖVERGRIPANDE EKONOMISK ANALYS

För en övergripande ekonomisk analys krävs uppskattning av en investeringskostnad samt en årlig driftkostnad. EconExpert räknar ut den totala investeringskostnaden genom att addera alla utrustningar. I tabell 10 nedan presenteras alla detaljer för anläggningskostnaden.

Tabell 10. Den totala anläggningskostnaden, uppskattad med EconExpert.

<i>Uppskattning av anläggningskostnad</i>	<i>Kostnad [SEK]</i>
<i>Total modulkostnad</i>	5 808 315 SEK
<i>Beredskap och avgift</i>	1 046 040 SEK
<i>Totala modulkostnaden</i>	6 857 355 SEK
<i>Extra kostnad</i>	2 057 205 SEK
<i>Anläggningskostnad</i>	8 914 560 SEK

Utifrån anläggningskostnaden räknades direkta kostnader ut och presenteras i tabell 11.

Tabell 11. Beräkning av Direkt kostnad.

<i>Direkt kostnad</i>	<i>Metod</i>	<i>Kostnad per år [SEK/år]</i>
<i>Underhållskostnader</i>	<i>5% av anläggningskostnad</i>	445 728
<i>Reservdelar</i>	<i>15% av</i>	66 859
	<i>Underhållskostnader</i>	
<i>Operatörskostnad</i>	<i>Två arbetare, 5 skift, året runt med 27 tkr som lön: 27 000*12*2*5</i>	3 240 000
<i>Råmaterial</i>	<i>Kostnad för svavelsyraförbrukning under 1 år</i>	6 151 252
<i>Total direkt kostnad</i>	<i>Summera</i>	9 903 839

Därefter beräknades indirekta kostnaderna som baseras på direkta kostnaderna och redovisas i tabell 12.

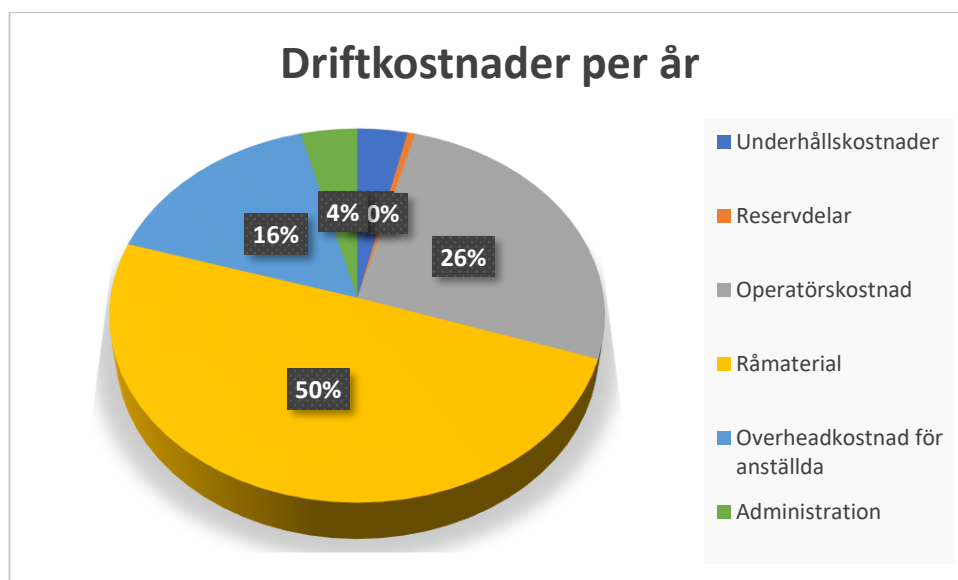
Tabell 12. Beräkning av indirekt kostnad.

<i>Indirekt kostnad</i>	<i>Metod</i>	<i>Kostnad per år [SEK/år]</i>
<i>Overheadkostnad för anställda</i>	<i>70 % på dagsarbetare</i>	2 008 800
	<i>50 % på skiftarbetare</i>	
<i>Administration</i>	<i>25 % av overheadkostnad</i>	502 200
<i>Total Indirekt kostnad</i>	<i>Summera</i>	2 511 000

Den totala driftkostnaden för anläggningen är summan av direkta- och indirekta kostnader, alltså 12 414 839 SEK/år.

6.9 KÄNSLIGHETSANALYS

De direkta och indirekta kostnaderna utgör tillsammans den årliga driftkostnaden. Figur 35 nedan illustrerar fördelningen över de årliga driftkostnaderna.



Figur 35. Diagram för illustrering av fördelningen i driftkostnaden.

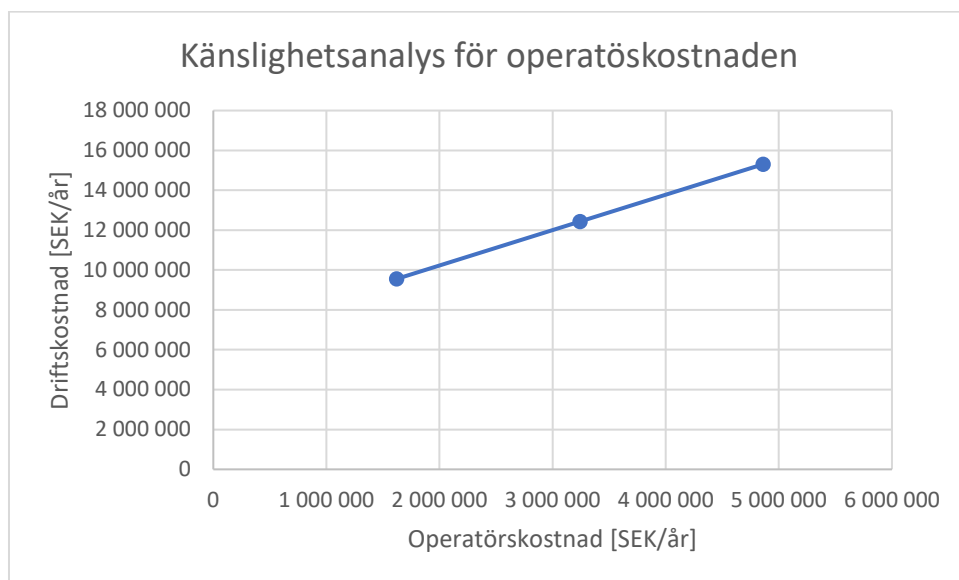
Enligt figuren är det den årliga förbrukningen av svavelsyra samt operatörskostnaderna som utgör större delen av driftkostnaderna. Årlig förbrukning av svavelsyra utgör 50% av den totala årliga driftkostnaden medan operatörskostnaderna utgör 26% av den årliga driftkostnaden.

Känslighetsanalyserna gjordes på årlig förbrukning av svavelsyra samt operatörskostnader eftersom dessa två parametrar är de enda parametrarna som är oberoende. Båda parametrarna sänktes och höjdes med 50% och nya driftkostnader räknades ut utifrån de nya siffrorna. Operatörskostnaderna är baserade på två operatörer. Antalet operatörer sänktes och höjdes med 50% och nya driftkostnader räknades ut. Svavelsyrakostnaden är baserad på en koncentration på 0,3 mol/liter. Koncentrationen sänktes och höjdes med 50% och nya driftkostnader räknades ut. Tabell 13 nedan visar hur driftkostnaderna varierar för 50% sänkning och höjning för respektive parameter.

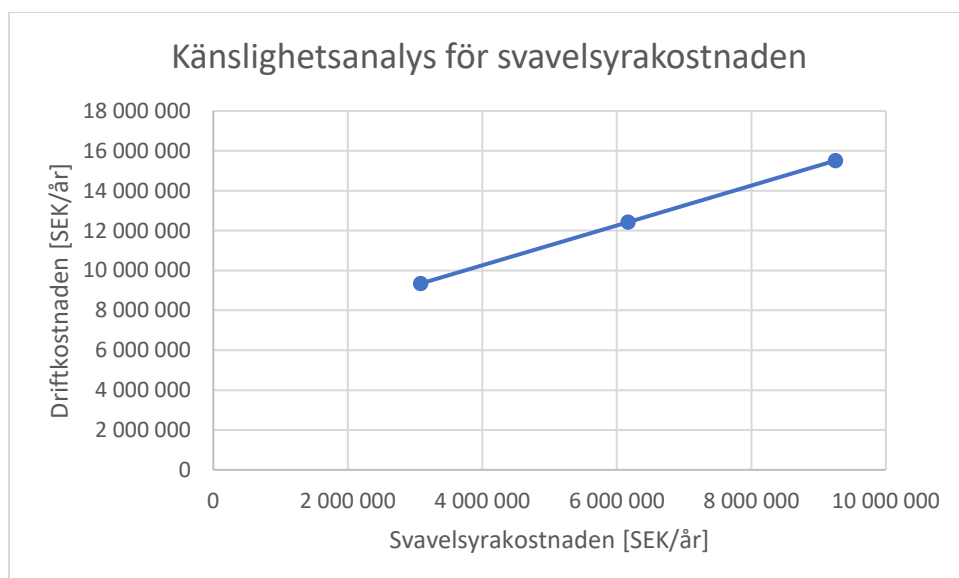
Tabell 13. Känslighetsanalys med 50 % minskning respektive ökning av operatörskostnaderna och svavelsyrakostnaden.

	Operatörskostnaden [SEK]	Svavelsyrakostnaden[SEK]
Nuvarande kostnad [SEK/år]	3 240 000	6 164 377
Nuvarande driftkostnad [SEK/år]	12 427 964	12 427 964
50% minskning [SEK/år]	1 620 000	3 082 846
Driftkostnad med 50 % minskning [SEK/år]	9 552 464	9 346 433
50% ökning [SEK/år]	4 860 000	9 248 538
Driftkostnad med 50 % ökning [SEK/år]	15 303 464	15 512 125

Med hjälp av Excel ritades linjegrav som visar hur driftkostnaden varierar minskning samt ökning av respektive parameter. Figur 36 illustrerar känslighetsanalysen för operatörskostnaden och figur 37 presenterar känslighetsanalysen för svavelsyrakostnaden.



Figur 36. Graf för illustration av känslighetsanalys för operatörskostnad.



Figur 37. Graf för illustration av känslighetsanalys för svavelsyrakostnad.

7 DISKUSSION

Föroreningarna i gipset som bildas vid rökgasrening har en tendens att variera. Detta beror på det brännbara avfallet som kommer till förbränningslinjerna 3 och 4. Beroende på sammansättningen av det brännbara avfallet kan halten av föroreningar i rökgaserna påverkas, vilket i sin tur påverkar halten av föroreningarna i gipset som bildas vid rökgasrening. Exempelvis kan metallhalterna och dioxinhalterna i FGD-gipset vara extremt höga vid ett tillfälle medan vid ett annat tillfälle kan de vara mycket lägre. Vad som skulle kunna göras är att studera hur sammansättningen i det brännbara avfallet bidrar till variationer i halten av föroreningarna i både rökgaserna som bildas vid förbränning och i FGD-gipset.

Bara ett dragskåp kunde användas och därför kördes parallella försök med hjälp av en multiomrörare. Detta innebär att proverna fick vänta vid avmontering av vattenbadet och omröraren och för montering av sugfiltreringssystemet. Dessutom dröjde det ungefär 20–30 min mellan varje filtrering. Dubbelprover kördes och medelvärdet för varje metallhalt beräknades. Prov 1 filtrerades alltid först, vilket innebär att prov 2 fick vänta ytterligare 20–30 min. Dock rörde provet inte om och gipset sedimenterade i e-kolven. För att väntetiden inte skulle påverka utlakningseffektiviteten utfördes lakningen i 60 min. Detta förklaras av att lakningssystemet når jämvikt efter 60 min [12]. Vissa metaller skiljde sig i halten med bara några milligram. Det fanns inte något tydligt mönster på vilket prov som hade avvikande halt. Med tanke på att avvikelserna inte har något mönster kan det påstås att 60 minuters lakning är tillräcklig.

Målet var att först utföra lakning med olika koncentrationer, vänta på resultat och testa parametrarna L:S-förhållande samt temperatur med den koncentration som gav bäst resultat. Utlakningen av metallerna med olika koncentrationer gick inte som väntat, varken för ammoniak eller svavelsyra. Utlakningsgraden är negativ för många metaller både för ammoniak och svavelsyra, men framförallt för 0,7 molar svavelsyra. Detta kan delvis förklaras av att gipsproven togs ut från 5 liters hinkar direkt. Trots att gipset i hinkarna rörde om vid varje provtagning så har omröringen inte varit tillräckligt och föroreningarna i gipset har inte kunnat fördelas jämnt. Dessutom togs inte alla gipsprov på samma dag, utan varje dag togs det nya gipsprov för varje experiment och varje dag rörde det i hinkarna om och omigen, vilket kan ha bidragit med större variation av föroreningarna i de olika gipsproven. Eftersom föroreningarna inte blev jämnt fördelade, går det inte att tolka resultaten för lakning med olika koncentrationer, både för ammoniak och svavelsyra. Utlakning av metaller kan ha skett, men i vilken uträkning går det inte att säga något om.

Efter att ha fått de första resultaten och upptäckt att provtagning direkt från hinkarna inte var det bästa alternativet, togs ungefär 900 g nytt gips från hinkarna och lades i en 1 liters låda. Detta gjordes främst för lättare och fullständig omröring. Dessutom togs nytt icke-lakat gipsprov. Det nya gipsprovet bestod av små mängder av gips som hade tagits från gipsprover för lakning med nya parametrar, d.v.s. för L:S-förhållandet och temperaturen. Syftet med att ta nytt gipsprov på det nya sättet var att erhålla jämnare fördelning av föroreningarna mellan gipsproven. Vid koncentrationsförsöket hölls det lägsta L:S-förhållandet (10 ml/g) och den lägsta temperaturen (30 °C) konstant. För undersökning av L:S-förhållande och temperatur gjordes också samma sak, d.v.s. resterande parametrar hölls vid sitt lägsta värde. Detta gjordes med tanke på att företaget vill ha en så lönsam och sparsam reningsprocess som möjligt.

Efter att ha delat upp gipset på det nya sättet blev resultatet för de resterande två parametrarna bättre. Ammoniak har dock fortfarande negativa utlakningsgrad, men dock väldigt låga. Varje metallanalys har en mätosäkerhet som varierar mellan 15 och 40%. Mätosäkerheterna överlappar de negativa utlakningsgraden för lakning med ammoniak. Detta innebär att det inte kan påstås att metallhalten efter lakning med ammoniak har ökat. Men det kan heller inte sägas att någon utlakning sker. Lantan var den metall som minskade utlakades mest. Upp till 72 % lantan lakades ut. De metaller som låg i fokus var zink, bly och kvicksilver. Zink minskade med 26,5% och kvicksilver minskade med 10,2% efter lakning ammoniak. Dock lyckades ammoniak inte laka ut något bly överhuvudtaget. Tre parametrar testades för lakning med ammoniak. Det fanns inget tydligt mönster som visade att en ökning av koncentration, L:S-förhållande och temperatur resulterade i högre utlakningseffektivitet. En temperaturökning gav lite bättre resultat på utlakningsgraden. Dock var utlakningsgraden fortfarande negativa. Dock är det rekommenderat att vara försiktigt med temperaturökning för ammoniak, med tanke på att risken för förångning

Svavelsyra fungerade allmänt bättre än ammoniak för utlakning av metaller. Ingen negativ utlakningsgrad erhöles och alla metaller lakades ut mer eller mindre efter lakning med svavelsyra. De flesta metallerna lakades ut med 4-5 % och mätosäkerheterna överlappar utlakningsgraden för metallerna. Därför kan det fortfarande inte påstås att utlakning på vissa metaller har skett. Minskningen av lantan var, liksom för ammoniak, högst och upp till 86,1 % metallen lakades ut. Bland annat bly, kvicksilver och zink var de metaller som minskade mest efter lakning. Högsta utlakningsgraden för zink var 29,4%, vid temperaturen 45°C. Upp till 35 % av bly kunde minskas efter lakning med svavelsyra med L:S-förhållandet 20ml/g TS. Även en minskning på kvicksilverhalten kunde ses. 23,6 % av kvicksilvret lakades ut efter lakning med svavelsyra under 60°C. Liksom för lakning med ammoniak fanns det inget tydligt mönster som visade att en ökning koncentration, L:S-förhållande och temperatur resulterade i högre utlakningseffektivitet.

Användning av pelleterat aktivt kol fungerade mycket bra på reducering av dioxinhalten i gipset. De flesta dioxinerna minskade med ungefär 40–50%. Ökning av retentionstiden till 40 minuter ökade reduceringsgraden av alla dioxiner. Dock minskades reduceringsgraden med fortsatt ökad retentionstid för vissa dioxiner men bara med 1–2 %. TCDD, som är den giftigaste av alla dioxiner, minskade bara med 23 %, men hade från början den lägsta halten jämfört med alla andra dioxiner.

Enligt litteraturstudien skulle det kunna vara möjligt att lösa upp ungefär 80-90 % metaller och dioxiner. Dock har inga studier gjorts på gips förut, utan många studier har gjorts på bland annat slam och avloppsvatten som har mycket högre halter av tungmetaller jämfört med FGD-gipset som hämtades från Sysav. Gips har dessutom en stor tendens till sedimentering, vilket kan ha påverkat utlakningseffektiviteten. Mycket gips sedimenterade på e-kolvens botten, även under omröring, vilket kan ha försvårat utlakning av metallerna. Detta kan även ha påverkat de olika parametrarnas effekter på utlakningen. Det finns fem parametrar som påverkar utlakningseffektiviteten. Genom justering och kombination av dessa parametrar skulle det säkert gå att laka ut större mängder av metaller och lösa upp större mängder av dioxiner.

Syftet med arbetet var inte att minska halten av föroreningar med 90% utan det var att tvätta bort tillräckligt mängd föroreningar så att gipset kan användas som råvara till nya

gipsprodukter. Det intressanta är undersöka vilka krav andra företag har på FGD-gips. Om kraven för föroreningshalten ligger nära de värden som FGD-gipset från Sysav har så skulle till och med en föroreningsminskning på 30–40 % räcka för återvinning eller försäljning av gipset.

En ekonomisk analys utfördes på lakningsprocessen svavelsyra. Svavelsyra valdes som lakningsmedel för den ekonomiska analysen eftersom större mängder av framförallt zink, bly och kvicksilver kunde utlakas. Pelleterat aktivt kol utslöts också eftersom en del av kolet löser upp sig i vattnet. Processen måste utvecklas och fler försök behöver göras innan tvättning med aktivt kol kan skalas upp till industriskala. Den ekonomiska analysen är väldigt förenklad och dimensionerna på vissa utrustningar är väldigt små. Detta beror att gipsproduktionen är väldigt liten. Trots att gipsproduktionen är 100 kg/timme baserades den ekonomiska analysen på 1000 kg gips/timme i avsikt att erhålla timligare dimensioner på utvalda enheter. Vid en verklig uppskalning skulle även en produktion på 1000 kg/timme vara för liten. Ett alternativ hade varit att köra processen under en viss period, som exempelvis under vinter- eller sommarhalvåret. Detta skulle bidra med mindre driftkostnader med tanke på färre skift och färre arbetstider. Då skulle även rimligare dimensioner erhållas för valda utrustningar. Ett annat alternativ skulle kunna vara att köpa in mer FGD-gips och köra en kontinuerlig process.

Känslighetsanalys gjordes på operatörskostnaden och svavelsyrakostnaden eftersom dessa är oberoende parametrar. En minskning respektive höjning på dessa parametrar resulterar i lika stora driftkostnader, trots att svavelsyrakostnaden är mycket större. Eftersom overheadkostnaden och administrationskostnaden är baserade på operatörskostnaden, påverkas dessa parametrar också vilket leder till större förändring i driftkostnaden. En annan oberoende parameter skulle kunna vara den elektriska energin som delvis driver processen. Då EconExpert inte baserar sina prisuppskattningar på elenergin togs denna parameter inte med i beräkningarna. En verklig ekonomisk analys skulle kräva uppskattning på elförbrukning också.

Ekonomi är som tidigare nämnt inte fullständig. Vid en verklig uppskalning av lakningsprocessen skulle en mer omfattande ekonomisk analys med fler enheter och fler parametrar på driftkostnader krävas.

8 SLUTSATSER

Svavelsyra fungerade bäst som lakningsmedel. Alla metaller lyckades lakas ut, vissa i mindre utsträckning andra i större. En ökning av både L:S-förhållandet och temperaturen påverkade utlakningseffektiviteten positivt, men inte särskilt mycket. Lantan, bly, kvicksilver, koppar och zink var de metaller som löstes upp mest. Lantan lakades ut upp till 86,1 %. Högsta utlakningsgraden för zink var 29,4%, vid temperaturen 45°C. Upp till 34,6 % bly lakas ut vid användning av svavelsyra med L:S-förhållandet 20ml/g TS. Störst utlakning av kvicksilver erhöles vid lakning under 60°C där 23,6 % lakades ut. Ammoniak fungerade inte lika bra som svavelsyra och många metaller minskades inte på halten. Metaller som lakades ut var främst lantan och zink. Upp till 72 % lantan lakades ut. Ungefär 26,5 % zink kunde lakas. 10,2 % av kvicksilver lakades också ut. Ammoniaklakning fungerade inte alls för bly. Aktivt kol för dioxinupplösning fungerade väldigt bra och upp till 40–50 % av alla dioxiner fångades upp av det aktiva kolet. Retentionstiden 40 minuter gav det effektivaste resultatet på dioxinupplösningen.

Det är lämpligare att välja svavelsyra vid utlakning av metaller då fler och större mängder av metaller kunde lakas ut.

9 FRAMTIDA ARBETEN

Lakning med svavelsyra behöver undersökas mer. Det finns fem parametrar som påverkar utlakningseffektiviteten. Dessa är koncentration på lakningsmedlet, temperatur, L:S-förhållandet, omröringshastigheten samt lakningstiden. Genom att testa olika värden på dessa parametrar och kombinera dessa skulle det vara möjligt att laka ut större mängder av metaller från gipset. T.ex. skulle koncentration kombineras med temperatur och L:S-förhållandet. Olika omröringshastigheter skulle kunna testas och kombineras med olika lakningstider. Tvättning med aktivt kol resulterade i ganska bra reduceringsgrad av dioxiner. Ungefär 40–50 % av dioxinerna fångades upp. Dock löstes lite av det aktiva kolet upp. Därför behöver denna process utvecklas och flera försök behöver göras innan processen kan skalas upp.

Det skulle även vara intressant att skicka det lakade gipset på dioxinanalys för undersökning om huruvida lakning med ammoniak och svavelsyra kan minska halten av dioxinerna i gipset. Motsvarande skulle kunna göras på gipset som behandlades med vatten och aktivt kol. Det skulle vara intressant att undersöka om användning av aktivt kol påverkar metallhalterna i gipset. Eurofins använder två olika analysmetoder för mätning av metaller respektive dioxiner i gipset och dessa analysmetoder har olika priser. För att ligga kring angivna budgeten kunde därför denna undersökning inte göras.

Ett nästa steg är att skala upp lakningen till pilotskala och köra flera försök innan det skalas upp till industriskala. Detta är nödvändigt då labbskala ofta ger bättre resultat än pilotskala och industriskala.

10 REFERENSER

- [1] X. Feng, G. Wang, S. Cao, W. Shi, L. Shi, M. Miao, "Direct Transformation of FGD gypsum to calcium sulfate hemihydrate whiskers: Preparation, simulations, and process analysis," *Science Direct*, vol. 19, pp. 53-59, 7 Mars 2014.
- [2] Sysav, "Fakta om Sysav-tar hand om och återvinner avfall," [Online]. Available: <https://www.sysav.se/Om-oss/Fakta-om-sysav/>. [Använd 11 September 2018].
- [3] Sysav, "Sortering- Tar hand om och återvinner avfall," [Online]. Available: <https://www.sysav.se/Om-oss/Om-avfall/Sortering-atervinning-deponering/Sortering/>. [Använd 12 September 2018].
- [4] Sysav, "Värme och el ur avfall från Sysavs avfallsvärmeverk," [Online]. Available: <https://www.sysav.se/globalassets/media/filer-och-dokument/informationsmaterial-broschyrer-arsredovisningar-faktablad-rapporter-etc/broschyrer-och-faktablad/varme-och-el-ur-avfall.pdf>. [Använd 20 Mars 2019].
- [5] S. S. Albin Forsberg, "Vilka alternativa återvinningsområden finns för gips?," Kungliga Tekniska Högskolan, Stockholm, 2017.
- [6] Nationalencyklopedin, "Gips," [Online]. Available: <https://www-nes.se.ludwig.lub.lu.se/uppslagsverk/encyklopedi/lang/gips> . [Använd 19 Oktober 2018].
- [7] Q. Li, X. Sun, Z. Ren, F. He, Y. Wang, L. Wang, Y. Yan, "Recycling flue gas desulphurization (FGD) gypsum for removal of Pb and Cd from Wastewater," *Science Direct*, vol. 457, pp. 86-95, 2018.
- [8] Y. Lou, G. Yang, X. Ni, M. Chen, H. Xu, X. Miao, J. Liu, C. Hu, Q. Huang, Z. Pan, "Preparation of calcium sulfate dihydrate and calcium sulfate hemihydrate with controllable crystal morphology by using ethanol additive," *Science Direct*, vol. 39, pp. 5495-5502, 2013.
- [9] Nationalencyklopedin, "Tungmetall," [Online]. Available: <https://www-nes.se.ludwig.lub.lu.se/uppslagsverk/encyklopedi/enkel/tungmetall>. [Använd 19 Oktober 2018].
- [10] Nationalencyklopedin, "Bly," [Online]. Available: <https://www-nes.se.ludwig.lub.lu.se/uppslagsverk/encyklopedi/enkel/bly>. [Använd 9 Oktober 2018].
- [11] Nationalencyklopedin, "Zink," [Online]. Available: <https://www-nes.se.ludwig.lub.lu.se/uppslagsverk/encyklopedi/enkel/zink>. [Använd 9 Oktober 2018].
- [12] H. Kivijärvi, "Mine wastewater sludge-leaching with ammonia and sulfuric acid," Lunds Tekniska Högskola, Lund, 2018.

- [13] Nationalencyklopedin, "Kvicksilver," [Online]. Available: <https://www-ne-se.ludwig.lub.lu.se/uppslagsverk/encyklopedi/enkel/kvicksilver>. [Använd 9 Oktober 2018].
- [14] Nationalencyklopedin, "Dioxiner," [Online]. Available: <https://www-ne-se.ludwig.lub.lu.se/uppslagsverk/encyklopedi/1%C3%A5ng/dioxiner>. [Använd 9 Oktober 2018].
- [15] Nationalencyklopedin, "Extraktion," [Online]. Available: <https://www-ne-se.ludwig.lub.lu.se/uppslagsverk/encyklopedi/1%C3%A5ng/extraktion>. [Använd 9 Oktober 2018].
- [16] A. A. Seyed Mahyar Seyed Ghasemi, "Alkaline leaching of lead and zinc by sodium hydroxide: kinetics modelling," *Science Direct*, vol. 7, pp. 118-125, 2018.
- [17] P. S. Kulkarni, J. G. Crespo, C. A. M. Afonso, "Dioxin sources and current remediation technologies- A review," *Science Direct*, vol. 34, pp. 139-153, 2008.
- [18] W. Ying, G. Island, S. A. Sojka, Bufalo, "Removal of Dioxins, PCB's and other halogenated organic compounds from wastewater," United States Patent, New York, 1986.
- [19] A. S. Majumdar, Handbook of industrial dryer, Boca Raton: Taylor and Francis Group, 2015.
- [20] GEA, "Rotary Dryers," [Online]. Available: https://www.gea.com/en/products/rotary_dryer.jsp. [Använd 20 Januari 2019].
- [21] Metallurgist, "Rotary dryer design & working principle," [Online]. Available: <https://www.911metallurgist.com/blog/rotary-dryer-design-working-principle>. [Använd 20 Januari 2019].
- [22] Pharmapproach, "Rotary Dryer," [Online]. Available: <https://www.pharmapproach.com/rotary-dryer/>. [Använd 20 Januari 2019].
- [23] Comessa, "Flash Dryers," [Online]. Available: <https://comessa.fr/pdf/FlashDryers-BD.pdf>. [Använd 20 Januari 2019].
- [24] GEA, "Flash Dryer," [Online]. Available: <https://www.gea.com/en/products/flash-dryer.jsp>. [Använd 20 Januari 2019].
- [25] Alibaba, "Sulfuric acid 98," [Online]. Available: https://www.alibaba.com/product-detail/Concentrated-Sulfuric-Acid-98_60760475732.html?spm=a2700.7724857.normalList.6.5fbae5555i7X0Z&s=p. [Använd 30 Mars 2019].
- [26] Umeå Universitet, "Koncentrerade syror och baser," [Online]. Available: <http://chem-www4.ad.umu.se:8081/Skolkemi/koncsyra&bas.html>. [Använd 30 Mars 2009].

- [27] Powerhandling, "Bulk Density Chart," [Online]. Available: <https://www.powderhandling.com.au/bulk-density-chart/>. [Använd 30 Mars 2019].
- [28] P. T. V. Gael D. Ulrich, Chemical Engineering Process Design and Economics: A Practical Guide, Durham: Process Publishing, 2004.
- [29] Alibaba, "Industrial positive displacement rotary lobe pump," [Online]. Available: https://www.alibaba.com/product-detail/Industrial-positive-displacement-rotary-lobe-pump_62049415324.html?spm=a2700.7724838.2017115.13.3fd27415Z0uztJ&s=p. . [Använd 27 April 2019].
- [30] D. R. Woods, Rules of Thumb in Engineering Prctice, Hamilton: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2007.
- [31] H. T. Karlsson, Interviewee, *Torkningsprocess*. [Intervju]. 28 Mars 2019.

APPENDIX A

UTSPÄDNING AV 25% AMMONIAKLÖSNING

1 liter 25% ammoniaklösning har massan 0,91 kg. Detta ger $m_{\text{ammoniak}} = 0,25 \cdot 0,91 = 0,2275 \text{ kg} = 227,5 \text{ g}$ ammoniak. Antalet mol räknas med hjälp av formeln:

$$n = \frac{m}{M} = \frac{227,5}{17,031} = 13,36 \text{ mol. D.v.s. 1 liter 25\% ammoniaklösning har koncentrationen } c = 13,36 \text{ mol/liter}$$

- **Utspädning av 13,36 Molar ammoniak till 2 Molar ammoniak med L:S = 10 ml ammoniak/g gips på 25 g gips:**

L:S=10 ml/g ger ammoniaklösning på $25 \cdot 10 = 250 \text{ ml}$ ammoniaklösning.

$$C_1 V_1 \cdot C_2 V_2 \rightarrow V_1 = \frac{C_2 V_2}{C_1} = \frac{2 \frac{\text{mol}}{\text{liter}} \cdot 0,25 \text{ liter}}{13,36 \frac{\text{mol}}{\text{liter}}} = 0,0374 \text{ liter 25\% ammoniak}$$

D.v.s. 37,4 ml 25% ammoniaklösning blandas med 121,6 ml avjoniserat vatten.

- **Utspädning av 13,36 Molar ammoniak till 4 Molar ammoniak med L:S = 10 ml ammoniak/g gips:**

L:S=10 ml/g ger ammoniaklösning på $25 \cdot 10 = 250 \text{ ml}$ ammoniaklösning.

$$C_1 V_1 \cdot C_2 V_2 \rightarrow V_1 = \frac{C_2 V_2}{C_1} = \frac{4 \frac{\text{mol}}{\text{liter}} \cdot 0,25 \text{ liter}}{13,36 \frac{\text{mol}}{\text{liter}}} = 0,0749 \text{ liter 25\% ammoniak}$$

D.v.s. 74,9 ml 25% ammoniaklösning blandas med 175,1 ml avjoniserat vatten.

- **Utspädning av 13,36 Molar ammoniak till 6 Molar ammoniak med L:S = 10 ml ammoniak/g gips:**

L:S=10 ml/g ger ammoniaklösning på $25 \cdot 10 = 250 \text{ ml}$ ammoniaklösning.

$$C_1 V_1 \cdot C_2 V_2 \rightarrow V_1 = \frac{C_2 V_2}{C_1} = \frac{6 \frac{\text{mol}}{\text{liter}} \cdot 0,25 \text{ liter}}{13,36 \frac{\text{mol}}{\text{liter}}} = 0,1123 \text{ liter 25\% ammoniak}$$

D.v.s. 112,2 ml 25% ammoniaklösning blandas med 137,7 ml avjoniserat vatten.

- **Utspädning av 13,36 Molar ammoniak till 2 Molar ammoniak med L:S = 15 ml ammoniak/g gips på 25 g gips:**

L:S=10 ml/g ger ammoniaklösning på $25 \cdot 10 = 375 \text{ ml}$ ammoniaklösning.

$$C_1 V_1 \cdot C_2 V_2 \rightarrow V_1 = \frac{C_2 V_2}{C_1} = \frac{2 \frac{\text{mol}}{\text{liter}} \cdot 0,375 \text{ liter}}{13,36 \frac{\text{mol}}{\text{liter}}} = 0,0561 \text{ liter 25\% ammoniak}$$

D.v.s. 56,1 ml 25% ammoniaklösning blandas med 318,9 ml avjoniserat vatten.

- **Utspädning av 13,36 Molar ammoniak till 2 Molar ammoniak med L:S = 20 ml ammoniak/g gips på 25 g gips:**

L:S=10 ml/g ger ammoniaklösning på $25 \cdot 20 = 500 \text{ ml}$ ammoniaklösning.

$$C_1V_1 \cdot C_2V_2 \rightarrow V_1 = \frac{C_2V_2}{C_1} = \frac{2 \frac{\text{mol}}{\text{liter}} \cdot 0,5 \text{ liter}}{13,36 \frac{\text{mol}}{\text{liter}}} = 0,0749 \text{ liter } 25 \% \text{ ammoniak}$$

D.v.s. 74,9 ml 25% ammoniaklösning blandas med 425,1 ml avjoniserat vatten.

UTSPÄDNING AV 2,5 MOLAR SVAVELSYRA

- **Utspädning av 2,5 Molar svavelsyra till 0,3 Molar svavelsyra med L:S = 10 ml svavelsyra/g gips på 25 g gips:**

L:S=10 ml/g ger svavelsyralösning på $25 \cdot 10 = 250 \text{ ml}$ svavelsyralösning.

$$C_1V_1 \cdot C_2V_2 \rightarrow V_1 = \frac{C_2V_2}{C_1} = \frac{0,3 \frac{\text{mol}}{\text{liter}} \cdot 0,25 \text{ liter}}{2,5 \frac{\text{mol}}{\text{liter}}} = 0,03 \text{ liter } 2,5 \text{ M svavelsyra}$$

D.v.s. 30 ml 25% ammoniaklösning blandas med 220 ml avjoniserat vatten.

- **Utspädning av 2,5 Molar svavelsyra till 0,7 Molar svavelsyra med L:S = 10 ml svavelsyra/g gips på 25 g gips:**

L:S=10 ml/g ger svavelsyralösning på $25 \cdot 10 = 250 \text{ ml}$ svavelsyralösning.

$$C_1V_1 \cdot C_2V_2 \rightarrow V_1 = \frac{C_2V_2}{C_1} = \frac{0,7 \frac{\text{mol}}{\text{liter}} \cdot 0,25 \text{ liter}}{2,5 \frac{\text{mol}}{\text{liter}}} = 0,07 \text{ liter } 2,5 \text{ M svavelsyra}$$

D.v.s. 70 ml 25% ammoniaklösning blandas med 180 ml avjoniserat vatten.

- **Utspädning av 2,5 Molar svavelsyra till 1 Molar svavelsyra med L:S = 10 ml svavelsyra/g gips på 25 g gips:**

L:S=10 ml/g ger svavelsyralösning på $25 \cdot 10 = 250 \text{ ml}$ svavelsyralösning.

$$C_1V_1 \cdot C_2V_2 \rightarrow V_1 = \frac{C_2V_2}{C_1} = \frac{1 \frac{\text{mol}}{\text{liter}} \cdot 0,25 \text{ liter}}{2,5 \frac{\text{mol}}{\text{liter}}} = 0,1 \text{ liter } 2,5 \text{ M svavelsyra}$$

D.v.s. 100 ml 25% ammoniaklösning blandas med 150 ml avjoniserat vatten.

- **Utspädning av 2,5 Molar svavelsyra till 0,3 Molar svavelsyra med L:S = 15 ml svavelsyra/g gips på 25 g gips:**

L:S=10 ml/g ger svavelsyralösning på $25 \cdot 10 = 250 \text{ ml}$ svavelsyralösning.

$$C_1V_1 \cdot C_2V_2 \rightarrow V_1 = \frac{C_2V_2}{C_1} = \frac{0,3 \frac{\text{mol}}{\text{liter}} \cdot 0,375 \text{ liter}}{2,5 \frac{\text{mol}}{\text{liter}}} = 0,045 \text{ liter } 2,5 \text{ M svavelsyra}$$

D.v.s. 45 ml 25% ammoniaklösning blandas med 330 ml avjoniserat vatten.

- **Utspädning av 2,5 Molar svavelsyra till 0,3 Molar svavelsyra med L:S = 20 ml svavelsyra/g gips på 25 g gips:**

L:S=10 ml/g ger svavelsyralösning på $25 \cdot 10 = 250 \text{ ml}$ svavelsyralösning.

$$C_1V_1 \cdot C_2V_2 \rightarrow V_1 = \frac{C_2V_2}{C_1} = \frac{0,3 \frac{\text{mol}}{\text{liter}} \cdot 0,5 \text{ liter}}{2,5 \frac{\text{mol}}{\text{liter}}} = 0,06 \text{ liter } 2,5 \text{ M svavelsyra}$$

D.v.s. 60 ml 25% ammoniaklösning blandas med 440 ml avjoniserat vatten.

APPENDIX B

Metallhalter, utlakningsgrad samt Felfortplantning för alla gipsprov efter lakning sammanställs i följande tabeller nedan. Beräkning av metallhalterna, dioxinhalterna samt felfortplantningen kan hittas i appendix C, D och E.

Tabell 1. Metallhalterna i gips, lakat med 2 M ammoniak, L:S= 10 ml/g och T=30°C

<i>Element</i>	<i>Halt</i> [mg/kgTS]	<i>Mätosäkerhet</i>	<i>Utlakningsgrad</i>	<i>Felfortplantning</i>
<i>Klor (Cl)</i>	<0,02	25%	-33,3%	0,35 %
<i>Antimon (Sb)</i>	<2,3	15%	-	0,15%
<i>Arsenik (As)</i>	<5,7	30%	-	0,30%
<i>Barium (Ba)</i>	<17,5	40%	-	0,40%
<i>Bly (Pb)</i>	13	15%	18,8%	0,21%
<i>Kadmium (Cd)</i>	<0,23	15%	-	0,15%
<i>Kobolt (Co)</i>	<0,57	15%	-	0,15%
<i>Koppar (Cu)</i>	<4,6	15%	>41,4%	0,21%
<i>Krom (Cr)</i>	<1,8	25%	>0%	0,25%
<i>Kvicksilver (Hg)</i>	0,535	30%	-9,2%	0,42%
<i>Molybden (Mo)</i>	<2,3	15%	-	0,15%
<i>Nickel (Ni)</i>	<2,3	30%	-	0,30%
<i>Silver (Ag)</i>	<0,57	15%	-	0,15%
<i>Vanadin (V)</i>	<5,1	15%	-	0,15%
<i>Zink (Zn)</i>	18,5	15%	33,9%	0,42%
<i>Lantan (La)</i>	1,35	20%	72,2%	0,28%

Tabell 2. Metallhalterna i gips, lakat med 4 M ammoniak, L:S= 10 ml/g och T=30°C

<i>Element</i>	<i>Halt</i> [mg/kgTS]	<i>Mätosäkerhet</i>	<i>Utlakningsgrad</i>	<i>Felfortplantning</i>
<i>Klor (Cl)</i>	<0,02	25%	-33,3%	0,35%
<i>Antimon (Sb)</i>	<2,3	15%	-	0,15%
<i>Arsenik (As)</i>	<5,7	30%	-	0,30%
<i>Barium (Ba)</i>	<17,5	40%	-	0,40%
<i>Bly (Pb)</i>	17,5	15%	-9,4%	0,21%
<i>Kadmium (Cd)</i>	<0,23	15%	-	0,15%
<i>Kobolt (Co)</i>	<0,57	15%	-	0,15%
<i>Koppar (Cu)</i>	<4,55	15%	>42%	0,21%
<i>Krom (Cr)</i>	<1,3	25%	>23,5%	0,35%
<i>Kvicksilver (Hg)</i>	0,57	30%	-16,3%	0,42%
<i>Molybden (Mo)</i>	<2,3	15%	-	0,15%
<i>Nickel (Ni)</i>	<2,3	30%	-	0,30%
<i>Silver (Ag)</i>	<0,57	15%	-	0,15%
<i>Vanadin (V)</i>	5,1	15%	<0%	0,15%
<i>Zink (Zn)</i>	48,5	15%	-73,2%	0,21%
<i>Lantan (La)</i>	1,6	20%	67%	0,28%

Tabell 3. Metallhalterna i gips, lakat med 6 M ammoniak, L:S= 10 ml/g och T=30°C

<i>Element</i>	<i>Halt</i> [mg/kgTS]	<i>Mätosäkerhet</i>	<i>Utlakningsgrad</i>	<i>Felfortplantning</i>
<i>Klor (Cl)</i>	<0,02	25%	-33,3%	0,35%
<i>Antimon (Sb)</i>	<2,35	15%	-2,2%	0,21%
<i>Arsenik (As)</i>	<5,7	30%	-	0,30%
<i>Barium (Ba)</i>	<13	40%	25,7%	0,57%
<i>Bly (Pb)</i>	17	15%	-6,3%	0,21%
<i>Kadmium (Cd)</i>	<0,23	15%	-	0,15%
<i>Kobolt (Co)</i>	<0,57	15%	-	0,15%
<i>Koppar (Cu)</i>	6,25	15%	20,4%	0,21%
<i>Krom (Cr)</i>	2,4	25%	-41,2%	0,35%
<i>Kvicksilver (Hg)</i>	0,56	30%	-14,3%	0,42%
<i>Molybden (Mo)</i>	<2,3	15%	-	0,15%
<i>Nickel (Ni)</i>	<2,3	30%	-	0,30%
<i>Silver (Ag)</i>	<0,57	15%	-	0,15%
<i>Vanadin (V)</i>	<3,4	15%	33,3%	0,21%
<i>Zink (Zn)</i>	31	15%	-10,7%	0,21%
<i>Lantan (La)</i>	1,75	20%	63,9%	0,28%

Tabell 4. Metallhalterna i gips, lakat med 0,3 M svavelsyra, L:S= 10 ml/g och T=30°C

<i>Element</i>	<i>Halt</i> [mg/kgTS]	<i>Mätosäkerhet</i>	<i>Utlakningsgrad</i>	<i>Felfortplantning</i>
<i>Klor (Cl)</i>	<0,02	25%	-33,3%	0,35%
<i>Antimon (Sb)</i>	<2,3	15%	-	0,15%
<i>Arsenik (As)</i>	<5,7	30%	-	0,30%
<i>Barium (Ba)</i>	<23	40%	-31,4%	0,57%
<i>Bly (Pb)</i>	12	15%	25%	0,21%
<i>Kadmium (Cd)</i>	<0,23	15%	-	0,15%
<i>Kobolt (Co)</i>	<0,57	15%	-	0,15%
<i>Koppar (Cu)</i>	<5,3	15%	>32,5%	0,21%
<i>Krom (Cr)</i>	1,3	25%	23,5%	0,35%
<i>Kvicksilver (Hg)</i>	0,475	30%	3,1%	0,42%
<i>Molybden (Mo)</i>	<2,3	15%	-	0,15%
<i>Nickel (Ni)</i>	<2,3	30%	-	0,30%
<i>Silver (Ag)</i>	<5,7	15%	-	0,15%
<i>Vanadin (V)</i>	<6,8	15%	-33,3%	0,21%
<i>Zink (Zn)</i>	16	15%	42,9%	0,21%
<i>Lantan (La)</i>	0,675	20%	86,1%	0,28%

Tabell 5. Metallhalterna i gips, lakat med 0,7 M svavelsyra, L:S= 10 ml/g och T=30°C

<i>Element</i>	<i>Halt</i> [mg/kgTS]	<i>Mätosäkerhet</i>	<i>Utlakningsgrad</i>	<i>Felfortplantning</i>
----------------	--------------------------	---------------------	-----------------------	-------------------------

<i>Klor (Cl)</i>	<0,02	25%	-33,3%	0,35%
<i>Antimon (Sb)</i>	<4,1	15%	-76,1%	0,21%
<i>Arsenik (As)</i>	<11,4	30%	-99,1%	0,42%
<i>Barium (Ba)</i>	<51	40%	<-218,8%	0,57%
<i>Bly (Pb)</i>	27	15%	-68,8%	0,21%
<i>Kadmium (Cd)</i>	<0,285	15%	-23,9%	0,21%
<i>Kobolt (Co)</i>	<0,935	15%	-64%	0,21%
<i>Koppar (Cu)</i>	<20,8	15%	<-165,9%	0,21%
<i>Krom (Cr)</i>	10,45	25%	-515%	0,35%
<i>Kvicksilver (Hg)</i>	0,425	30%	14,3%	0,42%
<i>Molybden (Mo)</i>	<2,3	15%	-	0,15%
<i>Nickel (Ni)</i>	<3	30%	-30,4%	0,42%
<i>Silver (Ag)</i>	<0,57	15%	-	0,15%
<i>Vanadin (V)</i>	<5,1	15%	-	0,15%
<i>Zink (Zn)</i>	128,5	15%	-357%	0,21%
<i>Lantan (La)</i>	0,855	20%	82,4%	0,28%

Tabell 6. Metallhalterna i gips, lakat med 1 M svavelsyra, L:S= 10 ml/g och T=30°C

<i>Element</i>	<i>Halt</i> [mg/kgTS]	<i>Mätosäkerhet</i>	<i>Utlakningsgrad</i>	<i>Felfortplantning</i>
<i>Klor (Cl)</i>	<0,02	25%	-33,3%	0,35%
<i>Antimon (Sb)</i>	<2,3	15%	-	0,15%
<i>Arsenik (As)</i>	<5,7	30%	-	0,30%
<i>Barium (Ba)</i>	<23	40%	-31,4%	0,57%
<i>Bly (Pb)</i>	12	15%	7,7%	0,15%
<i>Kadmium (Cd)</i>	<0,23	15%	-	0,15%
<i>Kobolt (Co)</i>	<0,57	15%	-	0,15%
<i>Koppar (Cu)</i>	<5,1	15%	>35%	0,21%
<i>Krom (Cr)</i>	2	25%	-17,6%	0,35%
<i>Kvicksilver (Hg)</i>	0,44	30%	10,2%	0,42%
<i>Molybden (Mo)</i>	<2,3	15%	-	0,15%
<i>Nickel (Ni)</i>	<2,3	30%	-	0,15%
<i>Silver (Ag)</i>	<0,57	15%	-	0,15%
<i>Vanadin (V)</i>	<6,8	15%	-33,3%	0,21%
<i>Zink (Zn)</i>	24,5	15%	12,5%	0,21%
<i>Lantan (La)</i>	0,71	20%	85,4%	0,28%

Tabell 7. Metallhalterna i gips, lakat med 2 M ammoniak, L:S= 15 ml/g och T=30°C

<i>Element</i>	<i>Halt</i> [mg/kgTS]	<i>Mätosäkerhet</i>	<i>Utlakningsgrad</i>	<i>Felfortplantning</i>
<i>Antimon (Sb)</i>	<2,45	15%	-2,1%	0,21%
<i>Arsenik (As)</i>	<6	30%	-0,84%	0,42%
<i>Barium (Ba)</i>	<12,5	40%	-4,2%	0,57%
<i>Bly (Pb)</i>	12,5	15%	-4,2%	0,21%

<i>Kobolt (Co)</i>	<0,6	15%	-0,84%	0,21%
<i>Koppar (Cu)</i>	<4,85	15%	-1,04%	0,21%
<i>Krom (Cr)</i>	<1,25	25%	-4,2%	0,35%
<i>Kvicksilver (Hg)</i>	0,6	30%	5,5%	0,42%
<i>Molybden (Mo)</i>	<2,45	15%	-2,1%	0,21%
<i>Nickel (Ni)</i>	<2,45	30%	-2,1%	0,42%
<i>Vanadin (V)</i>	<3,65	15%	-1,4%	0,21%
<i>Zink (Zn)</i>	<12,5	15%	>26,5%	0,21%

Tabell 8. Metallhalterna i gips, lakat med 2 M ammoniak, L:S= 20 ml/g och T=30°C

<i>Element</i>	<i>Halt [mg/kgTS]</i>	<i>Mätosäkerhet</i>	<i>Utlakningsgrad</i>	<i>Felfortplantning</i>
<i>Antimon (Sb)</i>	<2,6	15%	-8,3%	0,21%
<i>Arsenik (As)</i>	<6,5	30%	-9,4%	0,42%
<i>Barium (Ba)</i>	<13	40%	-8,3%	0,57%
<i>Bly (Pb)</i>	11,5	15%	0%	0,15%
<i>Kobolt (Co)</i>	<0,65	15%	-9,2%	0,21%
<i>Koppar (Cu)</i>	<5,2	15%	-8,3%	0,21%
<i>Krom (Cr)</i>	<1,3	25%	-8,3%	0,35%
<i>Kvicksilver (Hg)</i>	0,695	30%	-9,4%	0,42%
<i>Molybden (Mo)</i>	<2,6	15%	-8,3%	0,21%
<i>Nickel (Ni)</i>	<2,6	30%	-8,3%	0,42%
<i>Vanadin (V)</i>	<3,9	15%	-8,3%	0,21%
<i>Zink (Zn)</i>	<16,5	15%	>2,9%	0,21%

Tabell 9. Metallhalterna i gips, lakat med 2 M ammoniak, L:S= 10 ml/g och T=45°C

<i>Element</i>	<i>Halt [mg/kgTS]</i>	<i>Mätosäkerhet</i>	<i>Utlakningsgrad</i>	<i>Felfortplantning</i>
<i>Antimon (Sb)</i>	<2,6	15%	-8,3%	0,21%
<i>Arsenik (As)</i>	<6,45	30%	-8,4%	0,42%
<i>Barium (Ba)</i>	<13,5	40%	-12,5%	0,57%
<i>Bly (Pb)</i>	12	15%	0%	0,15%
<i>Kobolt (Co)</i>	<0,645	15%	-8,4%	0,21%
<i>Koppar (Cu)</i>	<5,15	15%	-7,2%	0,21%
<i>Krom (Cr)</i>	<1,35	25%	-12,5%	0,35%
<i>Kvicksilver (Hg)</i>	0,66	30%	-3,9%	0,42%
<i>Molybden (Mo)</i>	<2,6	15%	-8,3%	0,21%
<i>Nickel (Ni)</i>	<2,6	30%	-8,3%	0,42%
<i>Vanadin (V)</i>	<3,9	15%	-8,3%	0,21%
<i>Zink (Zn)</i>	<13,5	15%	>20,5%	0,21%

Tabell 10. Metallhalterna i gips, lakat med 2 M ammoniak, L:S= 10 ml/g och T=60°C

<i>Element</i>	<i>Halt</i> [mg/kgTS]	<i>Mätosäkerhet</i>	<i>Utlakningsgrad</i>	<i>Felfortplantning</i>
<i>Antimon (Sb)</i>	<2,55	15%	-6,3%	0,21%
<i>Arsenik (As)</i>	<6,35	30%	-6,7%	0,42%
<i>Barium (Ba)</i>	<13	40%	-8,3%	0,57%
<i>Bly (Pb)</i>	12	15%	0%	0,15%
<i>Kobolt (Co)</i>	<0,635	15%	-2,4%	0,21%
<i>Koppar (Cu)</i>	<5,05	15%	-5,2%	0,21%
<i>Krom (Cr)</i>	<1,3	25%	-8,3%	0,35%
<i>Kvicksilver (Hg)</i>	0,57	30%	10,2%	0,42%
<i>Molybden (Mo)</i>	<2,55	15%	-6,3%	0,21%
<i>Nickel (Ni)</i>	<2,55	30%	-6,3%	0,42%
<i>Vanadin (V)</i>	<3,85	15%	-6,9%	0,21%
<i>Zink (Zn)</i>	<13	15%	>23,5%	0,21%

Tabell 11. Metallhalterna i gips, lakat med 0,3 M svavelsyra, L:S= 15 ml/g och T=30°C

<i>Element</i>	<i>Halt</i> [mg/kgTS]	<i>Mätosäkerhet</i>	<i>Utlakningsgrad</i>	<i>Felfortplantning</i>
<i>Antimon (Sb)</i>	<2,3	15%	4,2%	0,21%
<i>Arsenik (As)</i>	<5,7	30%	4,2%	0,42%
<i>Barium (Ba)</i>	<12	40%	-	0,40%
<i>Bly (Pb)</i>	8,45	15%	29,6%	0,21%
<i>Kobolt (Co)</i>	<0,57	15%	4,2%	0,21%
<i>Koppar (Cu)</i>	<4,55	15%	5,3%	0,21%
<i>Krom (Cr)</i>	1,2	25%	<0%	0,25%
<i>Kvicksilver (Hg)</i>	0,485	30%	23,6%	0,42%
<i>Molybden (Mo)</i>	<2,3	15%	4,2%	0,21%
<i>Nickel (Ni)</i>	<2,3	30%	4,2%	0,42%
<i>Vanadin (V)</i>	<3,4	15%	5,6%	0,21%
<i>Zink (Zn)</i>	<12	15%	>29,4%	0,21%

Tabell 12. Metallhalterna i gips, lakat med 0,3 M svavelsyra, L:S= 20 ml/g och T=30°C

<i>Element</i>	<i>Halt</i> [mg/kgTS]	<i>Mätosäkerhet</i>	<i>Utlakningsgrad</i>	<i>Felfortplantning</i>
<i>Antimon (Sb)</i>	<2,3	15%	4,2%	0,21%
<i>Arsenik (As)</i>	<5,7	30%	4,2%	0,42%
<i>Barium (Ba)</i>	<12	40%	-	0,40%
<i>Bly (Pb)</i>	7,85	15%	34,6%	0,21%
<i>Kobolt (Co)</i>	<0,57	15%	4,2%	0,21%
<i>Koppar (Cu)</i>	<4,55	15%	5,3%	0,21%
<i>Krom (Cr)</i>	<1,2	25%	-	0,25%
<i>Kvicksilver (Hg)</i>	0,485	30%	23,6%	0,42%
<i>Molybden (Mo)</i>	<2,3	15%	4,2%	0,21%
<i>Nickel (Ni)</i>	<2,3	30%	4,2%	0,42%

Vanadin (V)	<3,4	15%	5,6%	0,21%
Zink (Zn)	<12	15%	>29,4%	0,21%

Tabell 13. Metallhalterna i gips, lakat med 0,3 M svavelsyra, L:S= 10 ml/g och T=45°C

<i>Element</i>	<i>Halt</i> <i>[mg/kgTS]</i>	<i>Mätosäkerhet</i>	<i>Utlakningsgrad</i>	<i>Felfortplantning</i>
<i>Antimon (Sb)</i>	<2,3	15%	4,2%	0,21%
<i>Arsenik (As)</i>	<5,7	30%	4,2%	0,42%
<i>Barium (Ba)</i>	<12	40%	-	0,40%
<i>Bly (Pb)</i>	8,12	15%	32,2%	0,21%
<i>Kobolt (Co)</i>	<0,57	15%	4,2%	0,21%
<i>Koppar (Cu)</i>	<4,55	15%	5,2%	0,21%
<i>Krom (Cr)</i>	<1,2	25%	-	0,25%
<i>Kvicksilver</i> <i>(Hg)</i>	0,54	30%	15%	0,21%
<i>Molybden (Mo)</i>	<2,3	15%	4,2%	0,21%
<i>Nickel (Ni)</i>	<2,3	30%	4,2%	0,42%
<i>Vanadin (V)</i>	<3,4	15%	5,6%	0,21%
<i>Zink (Zn)</i>	<12	15%	>29,4%	0,21%

Tabell 14. Metallhalterna i gips, lakat med 0,6 M svavelsyra, L:S= 10 ml/g och T=60°C

<i>Element</i>	<i>Halt</i> <i>[mg/kgTS]</i>	<i>Mätosäkerhet</i>	<i>Utlakningsgrad</i>	<i>Felfortplantning</i>
<i>Antimon (Sb)</i>	<2,3	15%	4,2%	0,21%
<i>Arsenik (As)</i>	<5,7	30%	4,2%	0,42%
<i>Barium (Ba)</i>	<12	40%	-	0,40%
<i>Bly (Pb)</i>	8,2	15%	31,7%	0,21%
<i>Kobolt (Co)</i>	<0,57	15%	4,2%	0,21%
<i>Koppar (Cu)</i>	<4,55	15%	5,2%	0,21%
<i>Krom (Cr)</i>	<1,2	25%	-	0,25%
<i>Kvicksilver</i> <i>(Hg)</i>	0,45	30%	29,1%	0,42%
<i>Molybden (Mo)</i>	<2,3	15%	4,2%	0,21%
<i>Nickel (Ni)</i>	<2,3	30%	4,2%	0,42%
<i>Vanadin (V)</i>	<3,4	15%	5,6%	0,21%
<i>Zink (Zn)</i>	<12	15%	>29,4%	0,21%

Tabell 15. Dioxinhalter i gips efter tvättning med aktivt kol med retentionstiden 20 min och temperaturen 30°C.

<i>Analys</i>	<i>Halt [ng/kg</i> <i>TS]</i>	<i>Mätosäkerhet</i>	<i>Utvinningsgrad</i>	<i>Felfortplantning</i>
2,3,7,8TetraCDD	0,484	0,15%	-10,3%	0,21%

<i>1,2,3,7,8-PentaCDD</i>	1,46	0,15%	38,9%	0,21%
<i>1,2,3,4,7,8-HexaCDD</i>	1,37	0,15%	49,4%	0,21%
<i>1,2,3,6,7,8-HexaCDD</i>	2,26	0,15%	51,0%	0,21%
<i>1,2,3,7,8,9-HexaCDD</i>	1,86	0,15%	50,4%	0,21%
<i>1,2,3,4,6,7,8-HeptaCDD</i>	18,9	0,15%	51,3%	0,21%
<i>OktaCDD</i>	41,7	0,15%	55,0%	0,21%
<i>2,3,7,8TetraCDF</i>	3,05	0,15%	9,8%	0,21%
<i>1,2,3,7,8-PentaCDF</i>	3,63	0,15%	40,4%	0,21%
<i>2,3,4,7,8-PentaCDF</i>	6,37	0,15%	46,5%	0,21%
<i>1,2,3,4,7,8-HexaCDF</i>	8,02	0,15%	48,6%	0,21%
<i>1,2,3,6,7,8-HexaCDF</i>	8,64	0,15%	48,6%	0,21%
<i>1,2,3,7,8,9-HexaCDF</i>	<1,42	0,15%	36,0%	0,21%
<i>2,3,4,6,7,8-HexaCDF</i>	12,5	0,15%	45,9%	0,21%
<i>1,2,3,4,6,7,8-HeptaCDF</i>	30,7	0,15%	50,3%	0,21%
<i>1,2,3,4,7,8,9-HeptaCDF</i>	5,76	0,15%	49,0%	0,21%
<i>OktaCDF</i>	15,7	0,15%	53,3%	0,21%
<i>WHO(2005)-PCDD/F TEQ exkl. LOQ</i>	8,31	0,15%	43,5%	0,21%
<i>WHO(2005)-PCDD/F TEQ inkl. LOQ</i>	8,45	0,15%	43,7%	0,21%
<i>I-TEQ (N ATO/CCMS) exkl. LOQ</i>	8,97	0,15%	44,3%	0,21%
<i>I-TEQ (N ATO/CCMS) inkl. LOQ</i>	9,11	0,15%	44,5%	0,21%

Tabell 16. Dioxinhalter i gips efter tvättning med aktivt kol med retentionstiden 40 min och temperaturen 30°C.

<i>Analys</i>	<i>Halt [ng/kg TS]</i>	<i>Mätosäkerhet</i>	<i>Utvinningsgrad</i>	<i>Felfortplantning</i>
<i>2,3,7,8TetraCDD</i>	<0,398	0,15%	>9,3%	0,21%
<i>1,2,3,7,8-PentaCDD</i>	1,27	0,15%	46,7%	0,21%
<i>1,2,3,4,7,8-HexaCDD</i>	1,37	0,15%	49,5%	0,21%

<i>1,2,3,6,7,8-HexaCDD</i>	2,19	0,15%	52,5%	0,21%
<i>1,2,3,7,8,9-HexaCDD</i>	1,80	0,15%	52,0%	0,21%
<i>1,2,3,4,6,7,8-HeptaCDD</i>	18,3	0,15%	52,8%	0,21%
<i>OktaCDD</i>	43,5	0,15%	53,0%	0,21%
<i>2,3,7,8TetraCDF</i>	1,90	0,15%	43,8%	0,21%
<i>1,2,3,7,8-PentaCDF</i>	3,27	0,15%	46,3%	0,21%
<i>2,3,4,7,8-PentaCDF</i>	6,00	0,15%	49,6%	0,21%
<i>1,2,3,4,7,8-HexaCDF</i>	8,32	0,15%	46,7%	0,21%
<i>1,2,3,6,7,8-HexaCDF</i>	8,67	0,15%	48,4%	0,21%
<i>1,2,3,7,8,9-HexaCDF</i>	<1,44	0,15%	35,1%	0,21%
<i>2,3,4,6,7,8-HexaCDF</i>	12,9	0,15%	44,2%	0,21%
<i>1,2,3,4,6,7,8-HeptaCDF</i>	30,5	0,15%	50,6%	0,21%
<i>1,2,3,4,7,8,9-HeptaCDF</i>	5,90	0,15%	47,8%	0,21%
<i>OktaCDF</i>	16,7	0,15%	50,3%	0,21%
<i>WHO(2005)-PCDD/F TEQ exkl. LOQ</i>	7,45	0,15%	49,3%	0,21%
<i>WHO(2005)-PCDD/F TEQ inkl. LOQ</i>	7,99	0,15%	46,7%	0,21%
<i>I-TEQ (N ATO/CCMS) exkl. LOQ</i>	8,12	0,15%	49,6%	0,21%
<i>I-TEQ (N ATO/CCMS) inkl. LOQ</i>	8,66	0,15%	47,2%	0,21%

Tabell 17. Dioxinhalter i gips efter tvättning med aktivt kol med retentionstiden 60 min och temperaturen 30°C.

<i>Analys</i>	<i>Halt [ng/kg TS]</i>	<i>Mätosäkerhet</i>	<i>Utvinningsgrad</i>	<i>Felfortplantning</i>
<i>2,3,7,8TetraCDD</i>	<0,341	0,15%	>22,3%	0,21%
<i>1,2,3,7,8-PentaCDD</i>	1,26	0,15%	47,3%	0,21%
<i>1,2,3,4,7,8-HexaCDD</i>	1,46	0,15%	46,1%	0,21%
<i>1,2,3,6,7,8-HexaCDD</i>	2,33	0,15%	49,5%	0,21%
<i>1,2,3,7,8,9-HexaCDD</i>	1,85	0,15%	50,7%	0,21%

<i>1,2,3,4,6,7,8-HeptaCDD</i>	19,9	0,15%	48,7%	0,21%
<i>OktaCDD</i>	48,1	0,15%	48,1%	0,21%
<i>2,3,7,8TetraCDF</i>	1,46	0,15%	56,8%	0,21%
<i>1,2,3,7,8-PentaCDF</i>	3,02	0,15%	50,4%	0,21%
<i>2,3,4,7,8-PentaCDF</i>	5,98	0,15%	49,7%	0,21%
<i>1,2,3,4,7,8-HexaCDF</i>	8,46	0,15%	45,8%	0,21%
<i>1,2,3,6,7,8-HexaCDF</i>	8,96	0,15%	46,7%	0,21%
<i>1,2,3,7,8,9-HexaCDF</i>	<1,58	0,15%	28,8%	0,21%
<i>2,3,4,6,7,8-HexaCDF</i>	13,2	0,15%	42,9%	0,21%
<i>1,2,3,4,6,7,8-HeptaCDF</i>	32,7	0,15%	47,1%	0,21%
<i>1,2,3,4,7,8,9-HeptaCDF</i>	6,36	0,15%	43,7%	0,21%
<i>OktaCDF</i>	18,7	0,15%	44,3%	0,21%
<i>WHO(2005)-PCDD/F TEQ exkl. LOQ</i>	7,52	0,15%	48,8%	0,21%
<i>WHO(2005)-PCDD/F TEQ inkl. LOQ</i>	8,02	0,15%	46,5%	0,21%
<i>I-TEQ (N ATO/CCMS) exkl. LOQ</i>	8,20	0,15%	49,1%	0,21%
<i>I-TEQ (N ATO/CCMS) inkl. LOQ</i>	8,70	0,15%	47,0%	0,21%

APPENDIX C

Utlakningsgraden av metallerna vid lakning med 2 Molar ammoniak:

- Klor: $R_{\% \text{ klor}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{0,015 - 0,02}{0,015} = -33,3\%$
- Antimon: $R_{\% \text{ antimon}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{2,3 - 2,3}{2,3} = 0\%$
- Arsenik: $R_{\% \text{ arsenik}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{5,7 - 5,7}{5,7} = 0\%$
- Barium: $R_{\% \text{ barium}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{17,5 - 17,5}{1,75} = 0\%$
- Bly: $R_{\% \text{ bly}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{16 - 13}{16} = 18,8\%$
- Kadmium: $R_{\% \text{ kadmium}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{0,23 - 0,23}{0,23} = 0\%$
- Kobolt: $R_{\% \text{ kobolt}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{0,57 - 0,57}{0,57} = 0\%$
- Koppar: $R_{\% \text{ koppar}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{7,85 - 4,6}{7,85} = 41,4\%$
- Krom: $R_{\% \text{ krom}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{1,7 - 1,8}{1,7} = -5,95\%$
- Kvicksilver: $R_{\% \text{ kvicksilver}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{0,49 - 0,535}{0,49} = -9,2\%$
- Molybden: $R_{\% \text{ molybden}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{2,3 - 2,3}{2,3} = 0\%$
- Nickel (Ni): $R_{\% \text{ nickel}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{2,3 - 2,3}{2,3} = 0\%$
- Silver (Ag): $R_{\% \text{ silver}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{0,57 - 0,57}{0,57} = 0\%$
- Vanadin (V): $R_{\% \text{ vanadin}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{5,1 - 5,1}{5,1} = 0\%$
- Zink (Zn): $R_{\% \text{ zink}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{28 - 185}{28} = 33,9\%$
- Lantan (La): $R_{\% \text{ lantan}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{4,85 - 1,35}{4,85} = 72,2\%$

Utlakningsgraden av metallerna vid lakning med 4 Molar ammoniak:

- Klor: $R_{\% \text{ klor}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{0,015 - 0,02}{0,015} = -33,3\%$
- Antimon: $R_{\% \text{ antimon}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{2,3 - 2,3}{2,3} = 0\%$
- Arsenik: $R_{\% \text{ arsenik}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{5,7 - 5,7}{5,7} = 0\%$
- Barium: $R_{\% \text{ barium}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{17,5 - 17,5}{1,75} = 0\%$
- Bly: $R_{\% \text{ bly}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{16 - 17,5}{16} = -9,4\%$
- Kadmium: $R_{\% \text{ kadmium}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{0,23 - 0,23}{0,23} = 0\%$
- Kobolt: $R_{\% \text{ kobolt}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{0,57 - 0,57}{0,57} = 0\%$

- Koppar: $R_{\% \text{ koppar}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{7,85 - 4,55}{7,85} = 42 \%$
- Krom: $R_{\% \text{ krom}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{1,7 - 1,3}{1,7} = 23,5\%$
- Kvicksilver: $R_{\% \text{ kvicksilver}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{0,49 - 0,57}{0,49} = -16,3\%$
- Molybden: $R_{\% \text{ molybden}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{2,3 - 2,3}{2,3} = 0\%$
- Nickel (Ni): $R_{\% \text{ nickel}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{2,3 - 2,3}{2,3} = 0\%$
- Silver (Ag): $R_{\% \text{ silver}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{0,57 - 0,57}{0,57} = 0\%$
- Vanadin (V): $R_{\% \text{ vanadin}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{5,1 - 5,1}{5,1} = 0\%$
- Zink (Zn): $R_{\% \text{ zink}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{28 - 48,5}{28} = -72,2\%$
- Lantan (La): $R_{\% \text{ lantan}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{4,85 - 1,6}{4,85} = 67\%$

Utlakningsgraden av metallerna vid lakning med 6 Molar ammoniak:

- Klor: $R_{\% \text{ klor}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{0,015 - 0,02}{0,015} = -33,3\%$
- Antimon: $R_{\% \text{ antimon}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{2,3 - 2,35}{2,3} = -2,2\%$
- Arsenik: $R_{\% \text{ arsenik}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{5,7 - 5,7}{5,7} = 0\%$
- Barium: $R_{\% \text{ barium}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{17,5 - 13}{1,75} = 25,7\%$
- Bly: $R_{\% \text{ bly}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{16 - 17}{16} = -6,3\%$
- Kadmium: $R_{\% \text{ kadmium}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{0,23 - 0,23}{0,23} = 0\%$
- Kobolt: $R_{\% \text{ kobolt}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{0,57 - 0,57}{0,57} = 0\%$
- Koppar: $R_{\% \text{ koppar}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{7,85 - 6,25}{7,85} = 20,4\%$
- Krom: $R_{\% \text{ krom}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{1,7 - 2,4}{1,7} = -41,2\%$
- Kvicksilver: $R_{\% \text{ kvicksilver}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{0,49 - 56}{0,49} = -14,3\%$
- Molybden: $R_{\% \text{ molybden}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{2,3 - 2,3}{2,3} = 0\%$
- Nickel (Ni): $R_{\% \text{ nickel}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{2,3 - 2,3}{2,3} = 0\%$
- Silver (Ag): $R_{\% \text{ silver}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{0,57 - 0,57}{0,57} = 0\%$
- Vanadin (V): $R_{\% \text{ vanadin}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{5,1 - 3,4}{5,1} = 33,3\%$
- Zink (Zn): $R_{\% \text{ zink}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{28 - 31}{28} = -10,7\%$
- Lantan (La): $R_{\% \text{ lantan}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{4,85 - 1,75}{4,85} = 63,9\%$

Utlakningsgraden av metallerna vid lakning med 0,3 Molar svavelsyra:

- Klor: $R_{\% \text{ klor}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{0,015 - 0,02}{0,015} = -33,3\%$
- Antimon: $R_{\% \text{ antimon}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{2,3 - 2,3}{2,3} = 0\%$
- Arsenik: $R_{\% \text{ arsenik}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{5,7 - 5,7}{5,7} = 0\%$
- Barium: $R_{\% \text{ barium}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{17,5 - 23}{1,75} = -31,4\%$
- Bly: $R_{\% \text{ bly}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{16 - 12}{16} = 25\%$
- Kadmium: $R_{\% \text{ kadmium}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{0,23 - 0,23}{0,23} = 0\%$
- Kobolt: $R_{\% \text{ kobolt}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{0,57 - 0,57}{0,57} = 0\%$
- Koppar: $R_{\% \text{ koppar}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{7,85 - 5,3}{7,85} = 32,5\%$
- Krom: $R_{\% \text{ krom}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{1,7 - 1,3}{1,7} = 3,1\%$
- Kvicksilver: $R_{\% \text{ kvicksilver}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{0,49 - 475}{0,49} = 3,1\%$
- Molybden: $R_{\% \text{ molybden}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{2,3 - 2,3}{2,3} = 0\%$
- Nickel (Ni): $R_{\% \text{ nickel}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{2,3 - 2,3}{2,3} = 0\%$
- Silver (Ag): $R_{\% \text{ silver}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{0,57 - 0,57}{0,57} = 0\%$
- Vanadin (V): $R_{\% \text{ vanadin}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{5,1 - 6,8}{5,1} = -33,3\%$
- Zink (Zn): $R_{\% \text{ zink}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{28 - 16}{28} = 42,9\%$
- Lantan (La): $R_{\% \text{ lantan}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{4,85 - 0,675}{4,85} = 86,1\%$

Utlakningsgraden av metallerna vid lakning med 0,7 Molar svavelsyra:

- Klor: $R_{\% \text{ klor}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{0,015 - 0,02}{0,015} = -33,3\%$
- Antimon: $R_{\% \text{ antimon}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{2,3 - 4,05}{2,3} = -76,1\%$
- Arsenik: $R_{\% \text{ arsenik}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{5,7 - 11,35}{5,7} = -99,1\%$
- Barium: $R_{\% \text{ barium}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{17,5 - 51}{1,75} = -218,8\%$
- Bly: $R_{\% \text{ bly}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{16 - 27}{16} = -68,8\%$
- Kadmium: $R_{\% \text{ kadmium}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{0,23 - 285}{0,23} = -23,9\%$
- Kobolt: $R_{\% \text{ kobolt}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{0,57 - 0,935}{0,57} = -64\%$
- Koppar: $R_{\% \text{ koppar}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{7,85 - 20,8}{7,85} = -165,9\%$
- Krom: $R_{\% \text{ krom}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{1,7 - 10,45}{1,7} = -515\%$

- Kvicksilver: $R_{\% \text{ kvicksilver}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{0,49 - 0,425}{0,49} = 14,3\%$
- Molybden: $R_{\% \text{ molybden}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{2,3 - 2,3}{2,23} = 0\%$
- Nickel (Ni): $R_{\% \text{ nickel}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{2,3 - 3}{2,3} = -30,4\%$
- Silver (Ag): $R_{\% \text{ silver}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{0,57 - 0,57}{0,57} = 0\%$
- Vanadin (V): $R_{\% \text{ vanadin}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{5,1 - 5,1}{5,1} = 0\%$
- Zink (Zn): $R_{\% \text{ zink}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{28 - 128,5}{28} = -357\%$
- Lantan (La): $R_{\% \text{ lantan}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{4,85 - 0,855}{4,85} = 82,4\%$

Utlakningsgraden av metallerna vid lakning med 1 Molar svavelsyra:

- Klor: $R_{\% \text{ klor}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{0,015 - 0,02}{0,015} = -33,3\%$
- Antimon: $R_{\% \text{ antimon}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{2,3 - 2,3}{2,3} = 0\%$
- Arsenik: $R_{\% \text{ arsenik}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{5,7 - 5,7}{5,7} = 0\%$
- Barium: $R_{\% \text{ barium}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{17,5 - 23}{1,75} = -31,4\%$
- Bly: $R_{\% \text{ bly}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{16 - 12}{16} = 7,7\%$
- Kadmium: $R_{\% \text{ kadmium}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{0,23 - 0,23}{0,23} = 0\%$
- Kobolt: $R_{\% \text{ kobolt}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{0,57 - 0,57}{0,57} = 0\%$
- Koppar: $R_{\% \text{ koppar}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{7,85 - 5,1}{7,85} = 35\%$
- Krom: $R_{\% \text{ krom}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{1,7 - 2}{1,7} = -17,6\%$
- Kvicksilver: $R_{\% \text{ kvicksilver}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{0,49 - 0,44}{0,49} = 10,2\%$
- Molybden: $R_{\% \text{ molybden}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{2,3 - 2,3}{2,23} = 0\%$
- Nickel (Ni): $R_{\% \text{ nickel}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{2,3 - 2,3}{2,3} = 0\%$
- Silver (Ag): $R_{\% \text{ silver}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{0,57 - 0,57}{0,57} = 0\%$
- Vanadin (V): $R_{\% \text{ vanadin}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{5,1 - 6,8}{5,1} = -33,3\%$
- Zink (Zn): $R_{\% \text{ zink}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{28 - 24,5}{28} = 12,5\%$
- Lantan (La): $R_{\% \text{ lantan}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{4,85 - 0,71}{4,85} = 85,4\%$

Utlakningsgraden av metallerna vid lakning med 2 Molar ammoniak, L:S=15 ml lakvätska/g TS:

- Antimon: $R_{\% \text{ antimon}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{2,4 - 2,45}{2,4} = -2,1\%$
- Arsenik: $R_{\% \text{ arsenik}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{5,95 - 6}{5,95} = -0,84\%$
- Barium: $R_{\% \text{ barium}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{12 - 12,5}{12} = -0,84\%$
- Bly: $R_{\% \text{ bly}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{12 - 12,5}{12} = -4,2\%$
- Kobolt: $R_{\% \text{ kobolt}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{0,595 - 0,6}{0,595} = -0,84\%$
- Koppar: $R_{\% \text{ koppar}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{4,8 - 4,85}{4,8} = -1,04\%$
- Krom: $R_{\% \text{ krom}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{1,2 - 1,25}{1,2} = -4,2\%$
- Kvicksilver: $R_{\% \text{ kvicksilver}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{0,635 - 6}{0,635} = 5,5\%$
- Molybden: $R_{\% \text{ molybden}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{2,4 - 2,45}{2,4} = -2,1\%$
- Nickel (Ni): $R_{\% \text{ nickel}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{2,4 - 2,45}{2,4} = -2,1\%$
- Vanadin (V): $R_{\% \text{ vanadin}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{3,6 - 3,65}{3,6} = -1,4\%$
- Zink (Zn): $R_{\% \text{ zink}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{17 - 12,5}{17} = 26,5\%$

Utlakningsgraden av metallerna vid lakning med 2 Molar ammoniak, L:S=20 ml lakvätska/g TS:

- Antimon: $R_{\% \text{ antimon}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{2,4 - 2,6}{2,4} = -8,3\%$
- Arsenik: $R_{\% \text{ arsenik}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{5,95 - 6,5}{5,95} = -9,4\%$
- Barium: $R_{\% \text{ barium}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{12 - 13}{12} = -8,3\%$
- Bly: $R_{\% \text{ bly}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{12 - 11,5}{12} = 4,2\%$
- Kobolt: $R_{\% \text{ kobolt}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{0,595 - 0,65}{0,595} = -9,2\%$
- Koppar: $R_{\% \text{ koppar}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{4,8 - 5,2}{4,8} = -8,3\%$
- Krom: $R_{\% \text{ krom}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{1,2 - 1,3}{1,2} = -8,3\%$
- Kvicksilver: $R_{\% \text{ kvicksilver}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{0,635 - 0,695}{0,635} = -9,4\%$
- Molybden: $R_{\% \text{ molybden}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{2,4 - 2,6}{2,4} = -8,3\%$
- Nickel (Ni): $R_{\% \text{ nickel}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{2,4 - 2,6}{2,4} = -8,3\%$
- Vanadin (V): $R_{\% \text{ vanadin}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{3,6 - 3,9}{3,6} = -8,3\%$
- Zink (Zn): $R_{\% \text{ zink}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{17 - 16,5}{17} = 2,9\%$

Utlakningsgraden av metallerna vid lakning med 2 Molar ammoniak, $T=45^{\circ}\text{C}$:

- Antimon: $R_{\% \text{ antimon}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{2,4 - 2,6}{2,4} = -8,3\%$
- Arsenik: $R_{\% \text{ arsenik}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{5,95 - 6,45}{5,95} = -8,4\%$
- Barium: $R_{\% \text{ barium}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{12 - 13,5}{12} = -12,5\%$
- Bly: $R_{\% \text{ bly}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{12 - 12}{12} = 0\%$
- Kobolt: $R_{\% \text{ kobolt}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{0,595 - 0,645}{0,595} = -8,4\%$
- Koppar: $R_{\% \text{ koppar}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{4,8 - 5,15}{4,8} = -7,2\%$
- Krom: $R_{\% \text{ krom}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{1,2 - 1,35}{1,2} = -12,5\%$
- Kvicksilver: $R_{\% \text{ kvicksilver}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{0,635 - 0,66}{0,635} = -3,9\%$
- Molybden: $R_{\% \text{ molybden}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{2,4 - 2,6}{2,4} = -8,3\%$
- Nickel (Ni): $R_{\% \text{ nickel}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{2,4 - 2,6}{2,4} = -8,3\%$
- Vanadin (V): $R_{\% \text{ vanadin}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{3,6 - 3,9}{3,6} = -8,3\%$
- Zink (Zn): $R_{\% \text{ zink}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{17 - 13,5}{17} = 20,5\%$

Utlakningsgraden av metallerna vid lakning med 2 Molar ammoniak, $T=60^{\circ}\text{C}$:

- Antimon: $R_{\% \text{ antimon}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{2,4 - 2,55}{2,4} = -6,3\%$
- Arsenik: $R_{\% \text{ arsenik}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{5,95 - 6,35}{5,95} = -6,7\%$
- Barium: $R_{\% \text{ barium}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{12 - 13}{12} = -8,3\%$
- Bly: $R_{\% \text{ bly}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{12 - 12}{12} = 0\%$
- Kobolt: $R_{\% \text{ kobolt}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{0,595 - 0,635}{0,595} = -2,45\%$
- Koppar: $R_{\% \text{ koppar}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{4,8 - 5,05}{4,8} = -5,2\%$
- Krom: $R_{\% \text{ krom}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{1,2 - 1,3}{1,2} = -8,3\%$
- Kvicksilver: $R_{\% \text{ kvicksilver}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{0,635 - 0,57}{0,635} = 10,2\%$
- Molybden: $R_{\% \text{ molybden}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{2,4 - 2,55}{2,4} = -6,3\%$
- Nickel (Ni): $R_{\% \text{ nickel}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{2,4 - 2,55}{2,4} = -6,3\%$
- Vanadin (V): $R_{\% \text{ vanadin}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{3,6 - 3,85}{3,6} = -6,9\%$
- Zink (Zn): $R_{\% \text{ zink}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{17 - 13}{17} = 23,5\%$

Utlakningsgraden av metallerna vid lakning med 0,3 Molar svavelsyra, L:S=15 ml lakvätska/g TS:

- Antimon: $R_{\% \text{ antimon}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{2,4 - 2,3}{2,4} = 4,2\%$
- Arsenik: $R_{\% \text{ arsenik}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{5,95 - 5,7}{5,95} = 4,2\%$
- Barium: $R_{\% \text{ barium}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{12 - 12}{12} = 0\%$
- Bly: $R_{\% \text{ bly}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{12 - 8,45}{12} = 29,6\%$
- Kobolt: $R_{\% \text{ kobolt}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{0,595 - 0,57}{0,595} = 4,2\%$
- Koppar: $R_{\% \text{ koppar}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{4,8 - 4,55}{4,8} = 5,3\%$
- Krom: $R_{\% \text{ krom}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{1,2 - 1,2}{1,2} = 0\%$
- Kvicksilver: $R_{\% \text{ kvicksilver}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{0,635 - 0,485}{0,635} = 23,6\%$
- Molybden: $R_{\% \text{ molybden}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{2,4 - 2,3}{2,4} = 4,2\%$
- Nickel (Ni): $R_{\% \text{ nickel}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{2,4 - 2,3}{2,4} = 4,2\%$
- Vanadin (V): $R_{\% \text{ vanadin}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{3,6 - 3,4}{3,6} = 5,6\%$
- Zink (Zn): $R_{\% \text{ zink}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{17 - 12}{17} = 29,4\%$

Utlakningsgraden av metallerna vid lakning med 0,3 Molar svavelsyra, L:S=20 ml lakvätska/g TS:

- Antimon: $R_{\% \text{ antimon}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{2,4 - 2,3}{2,4} = 2,4\%$
- Arsenik: $R_{\% \text{ arsenik}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{5,95 - 5,7}{5,95} = 4,2\%$
- Barium: $R_{\% \text{ barium}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{12 - 12}{12} = 0\%$
- Bly: $R_{\% \text{ bly}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{12 - 7,85}{12} = 34,6\%$
- Kobolt: $R_{\% \text{ kobolt}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{0,595 - 0,57}{0,595} = 4,2\%$
- Koppar: $R_{\% \text{ koppar}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{4,8 - 4,55}{4,8} = 5,3\%$
- Krom: $R_{\% \text{ krom}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{1,2 - 1,2}{1,2} = 0\%$
- Kvicksilver: $R_{\% \text{ kvicksilver}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{0,635 - 0,485}{0,635} = 23,6\%$
- Molybden: $R_{\% \text{ molybden}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{2,4 - 2,3}{2,4} = 4,2\%$
- Nickel (Ni): $R_{\% \text{ nickel}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{2,4 - 2,3}{2,4} = 4,2\%$

- Vanadin (V): $R_{\% \text{ vanadin}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{3,6 - 3,4}{3,6} = 5,6\%$
- Zink (Zn): $R_{\% \text{ zink}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{17 - 12}{17} = 29,4\%$

Utlakningsgraden av metallerna vid lakning med 0,3 Molar svavelsyra, $T=45^\circ\text{C}$:

- Antimon: $R_{\% \text{ antimon}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{2,4 - 2,3}{2,4} = 4,2\%$
- Arsenik: $R_{\% \text{ arsenik}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{5,95 - 5,7}{5,95} = 4,2\%$
- Barium: $R_{\% \text{ barium}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{12 - 12}{12} = 0\%$
- Bly: $R_{\% \text{ bly}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{12 - 8,12}{12} = 32,2\%$
- Kobolt: $R_{\% \text{ kobolt}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{0,595 - 0,57}{0,595} = 4,2\%$
- Koppar: $R_{\% \text{ koppar}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{4,8 - 4,55}{4,8} = 5,2\%$
- Krom: $R_{\% \text{ krom}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{1,2 - 1,2}{1,2} = 0\%$
- Kvicksilver: $R_{\% \text{ kvicksilver}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{0,635 - 0,54}{0,635} = 15\%$
- Molybden: $R_{\% \text{ molybden}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{2,4 - 2,3}{2,4} = 4,2\%$
- Nickel (Ni): $R_{\% \text{ nickel}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{2,4 - 2,3}{2,4} = 4,2\%$
- Vanadin (V): $R_{\% \text{ vanadin}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{3,6 - 3,4}{3,6} = 5,6\%$
- Zink (Zn): $R_{\% \text{ zink}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{17 - 12}{17} = 29,4\%$

Utlakningsgraden av metallerna vid lakning med 0,3 Molar svavelsyra, $T=60^\circ\text{C}$:

- Antimon: $R_{\% \text{ antimon}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{2,4 - 2,3}{2,4} = 4,2\%$
- Arsenik: $R_{\% \text{ arsenik}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{5,95 - 5,7}{5,95} = 4,2\%$
- Barium: $R_{\% \text{ barium}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{12 - 12}{12} = 0\%$
- Bly: $R_{\% \text{ bly}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{12 - 8,2}{12} = 31,7\%$
- Kobolt: $R_{\% \text{ kobolt}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{0,595 - 0,57}{0,595} = 4,2\%$
- Koppar: $R_{\% \text{ koppar}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{4,8 - 4,55}{4,8} = 5,2\%$
- Krom: $R_{\% \text{ krom}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{1,2 - 1,2}{1,2} = 0\%$
- Kvicksilver: $R_{\% \text{ kvicksilver}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{0,635 - 0,45}{0,635} = 29,1\%$

- Molybden: $R_{\% \text{ molybden}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{2,4 - 2,3}{2,4} = 4,2\%$
- Nickel (Ni): $R_{\% \text{ nickel}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{2,4 - 2,3}{2,4} = 4,2\%$
- Vanadin (V): $R_{\% \text{ vanadin}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{3,6 - 3,4}{3,6} = 5,6\%$
- Zink (Zn): $R_{\% \text{ zink}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{17 - 12}{17} = 29,4\%$

Utvinningsgrad av dioxinerna tvättning av gips med aktivt kol. Retentionstid=20 min:

- 2,3,7,8-TetraCDD: $R_{\% 2,3,7,8\text{TetraCDD}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{0,439 - 484}{0,439} = -10,3\%$
- 1,2,3,7,8-PentaCDD: $R_{\% 1,2,3,7,8\text{-PentaCDD}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{2,39 - 1,46}{2,39} = 38,9\%$
- 1,2,3,4,7,8-HexaCDD: $R_{\% 1,2,3,4,7,8\text{-HexaCDD}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{2,71 - 1,37}{2,71} = 49,4\%$
- 1,2,3,6,7,8-HexaCDD: $R_{\% 1,2,3,6,7,8\text{-HexaCDD}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{4,61 - 2,26}{4,61} = 51,0\%$
- 1,2,3,7,8,9-HexaCDD: $R_{\% 1,2,3,7,8,9\text{-HexaCDD}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{3,75 - 1,86}{3,75} = 50,4\%$
- 1,2,3,4,6,7,8-HeptaCDD: $R_{\% 1,2,3,4,6,7,8\text{-HeptaCDD}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{38,8 - 18,9}{38,8} = 51,3\%$
- OktaCDD: $R_{\% \text{ OktaCDD}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{92,6 - 41,7}{92,6} = 55,0\%$
- 2,3,7,8-TetraCDF: $R_{\% 2,3,7,8\text{TetraCDF}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{3,38 - 3,05}{3,38} = 9,8\%$
- 1,2,3,7,8-PentaCDF: $R_{\% 1,2,3,7,8\text{-PentaCDF}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{6,09 - 3,63}{6,09} = 40,4\%$
- 2,3,4,7,8-PentaCDF: $R_{\% 2,3,4,7,8\text{-PentaCDF}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{11,9 - 6,37}{11,9} = 46,5\%$
- 1,2,3,4,7,8-HexaCDF: $R_{\% 1,2,3,4,7,8\text{-HexaCDF}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{15,6 - 8,02}{15,6} = 48,6\%$
- 1,2,3,6,7,8-HexaCDF: $R_{\% 1,2,3,6,7,8\text{-HexaCDF}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{16,8 - 8,64}{16,8} = 48,6\%$
- 1,2,3,7,8,9-HexaCDF: $R_{\% 1,2,3,7,8,9\text{-HexaCDF}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{2,22 - 1,42}{2,22} = 36,0\%$

- 2,3,4,6,7,8-HexaCDF: $R_{\% \text{ 2,3,4,6,7,8-HexaCDF}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{23,1 - 12,5}{23,1} = 45,9\%$
- 1,2,3,4,6,7,8-HeptaCDF: $R_{\% \text{ 1,2,3,4,6,7,8-HeptaCDF}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{61,8 - 30,7}{61,8} = 50,3\%$
- 1,2,3,4,7,8,9-HeptaCDF: $R_{\% \text{ 1,2,3,4,7,8,9-HeptaCDF}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{11,3 - 5,76}{11,3} = 49,0\%$
- OktaCDF: $R_{\% \text{ OktaCDF}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{33,6 - 15,7}{33,6} = 53,3\%$
- WHO(2005)-PCDD/F TEQ exkl. LOQ: $R_{\% \text{ WHO(2005)-PCDD/F TEQ exkl. LOQ}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{14,7 - 8,31}{14,7} = 43,5\%$
- WHO(2005)-PCDD/F TEQ inkl. LOQ: $R_{\% \text{ WHO(2005)-PCDD/F TEQ inkl. LOQ}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{15,0 - 8,45}{15,0} = 43,7\%$
- I-TEQ (N ATO/CCMS) exkl LOQ: $R_{\% \text{ I-TEQ (N ATO/CCMS) exkl LOQ}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{16,1 - 8,97}{16,1} = 44,3\%$
- I-TEQ (N ATO/CCMS) inkl LOQ: $R_{\% \text{ I-TEQ (N ATO/CCMS) inkl LOQ}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{16,4 - 9,11}{16,4} = 44,5\%$

Utvinningsgrad av dioxinerna tvättning av gips med aktivt kol. Retentionstid=40 min:

- 2,3,7,8TetraCDD: $R_{\% \text{ 2,3,7,8TetraCDD}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{0,439 - 0,398}{0,439} = 9,3\%$
- 1,2,3,7,8-PentaCDD: $R_{\% \text{ 1,2,3,7,8-PentaCDD}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{2,39 - 1,27}{2,39} = 46,7\%$
- 1,2,3,4,7,8-HexaCDD: $R_{\% \text{ 1,2,3,4,7,8-HexaCDD}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{2,71 - 1,37}{2,71} = 49,5\%$
- 1,2,3,6,7,8-HexaCDD: $R_{\% \text{ 1,2,3,6,7,8-HexaCDD}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{4,61 - 2,19}{4,61} = 52,5\%$
- 1,2,3,7,8,9-HexaCDD: $R_{\% \text{ 1,2,3,7,8,9-HexaCDD}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{3,75 - 1,8}{3,75} = 52,0\%$
- 1,2,3,4,6,7,8-HeptaCDD: $R_{\% \text{ 1,2,3,4,6,7,8-HeptaCDD}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{38,8 - 18,3}{38,8} = 52,8\%$
- OktaCDD: $R_{\% \text{ OktaCDD}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{92,6 - 43,5}{92,6} = 53,0\%$

- 2,3,7,8TetraCDF: $R_{\%2,3,7,8\text{TetraCDF}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{3,38 - 1,90}{3,38} = 43,8\%$
- 1,2,3,7,8-PentaCDF: $R_{\%1,2,3,7,8\text{-PentaCDF}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{6,09 - 3,27}{6,09} = 46,3\%$
- 2,3,4,7,8-PentaCDF: $R_{\%2,3,4,7,8\text{-PentaCDF}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{11,9 - 6,0}{11,9} = 49,6\%$
- 1,2,3,4,7,8-HexaCDF: $R_{\%1,2,3,4,7,8\text{-HexaCDF}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{15,6 - 8,67}{15,6} = 48,4\%$
- 1,2,3,6,7,8-HexaCDF : $R_{\%1,2,3,6,7,8\text{-HexaCDF}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{16,8 - 16,8}{16,8} = 0\%$
- 1,2,3,7,8,9-HexaCDF: $R_{\%1,2,3,7,8,9\text{-HexaCDF}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{2,22 - 1,44}{2,22} = 35,1\%$
- 2,3,4,6,7,8-HexaCDF: $R_{\%2,3,4,6,7,8\text{-HexaCDF}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{23,1 - 12,9}{23,1} = 44,2\%$
- 1,2,3,4,6,7,8-HeptaCDF: $R_{\%1,2,3,4,6,7,8\text{-HeptaCDF}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{61,8 - 30,5}{61,8} = 47,8\%$
- 1,2,3,4,7,8,9-HeptaCDF: $R_{\%1,2,3,4,7,8,9\text{-HeptaCDF}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{11,3 - 5,90}{11,3} = 47,8\%$
- OktaCDF: $R_{\% \text{OktaCDF}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{33,6 - 16,7}{33,6} = 50,3\%$
- WHO(2005)-PCDD/F TEQ exkl. LOQ: $R_{\% \text{WHO(2005)-PCDD/F TEQ exkl. LOQ}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{14,7 - 7,45}{14,7} = 49,3\%$
- WHO(2005)-PCDD/F TEQ inkl. LOQ: $R_{\% \text{WHO(2005)-PCDD/F TEQ inkl. LOQ}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{15,0 - 7,99}{15,0} = 46,7\%$
- I-TEQ (N ATO/CCMS) exkl LOQ: $R_{\% \text{I-TEQ (N ATO/CCMS) exkl LOQ}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{16,1 - 8,12}{16,1} = 49,6\%$
- I-TEQ (N ATO/CCMS) inkl LOQ: $R_{\% \text{I-TEQ (N ATO/CCMS) inkl LOQ}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{16,4 - 8,66}{16,4} = 47,2\%$

Utvinningsgrad av dioxinerna tvättning av gips med aktivt kol. Retentionstid=60 min:

- 2,3,7,8TetraCDD: $R_{\%2,3,7,8\text{TetraCDD}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{0,439 - 0,341}{0,439} = 22,3\%$
- 1,2,3,7,8-PentaCDD: $R_{\%1,2,3,7,8\text{-PentaCDD}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{2,39 - 1,26}{2,39} = 47,3\%$

- 1,2,3,4,7,8-HexaCDD: $R_{\%1,2,3,4,7,8\text{-HexaCDD}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{2,71 - 1,46}{2,71} = 46,1\%$
- 1,2,3,6,7,8-HexaCDD: $R_{\%1,2,3,6,7,8\text{-HexaCDD}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{4,61 - 2,33}{4,61} = 49,5\%$
- 1,2,3,7,8,9-HexaCDD: $R_{\%1,2,3,7,8,9\text{-HexaCDD}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{3,75 - 1,85}{3,75} = 50,7\%$
- 1,2,3,4,6,7,8-HeptaCDD: $R_{\%1,2,3,4,6,7,8\text{-HeptaCDD}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{38,8 - 19,9}{38,8} = 48,7\%$
- OktaCDD: $R_{\% \text{OktaCDD}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{92,6 - 48,1}{92,6} = 48,1\%$
- 2,3,7,8TetraCDF: $R_{\%2,3,7,8\text{TetraCDF}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{3,38 - 1,46}{3,38} = 56,8\%$
- 1,2,3,7,8-PentaCDF: $R_{\%1,2,3,7,8\text{-PentaCDF}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{6,09 - 3,02}{6,09} = 50,4\%$
- 2,3,4,7,8-PentaCDF: $R_{\%2,3,4,7,8\text{-PentaCDF}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{11,9 - 8,46}{11,9} = 45,8\%$
- 1,2,3,4,7,8-HexaCDF: $R_{\%1,2,3,4,7,8\text{-HexaCDF}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{15,6 - 8,96}{15,6} = 46,7\%$
- 1,2,3,6,7,8-HexaCDF: $R_{\%1,2,3,6,7,8\text{-HexaCDF}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{16,8 - 8,96}{16,8} = 45,8\%$
- 1,2,3,7,8,9-HexaCDF: $R_{\%1,2,3,7,8,9\text{-HexaCDF}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{2,22 - 1,58}{2,22} = 28,8\%$
- 2,3,4,6,7,8-HexaCDF: $R_{\%2,3,4,6,7,8\text{-HexaCDF}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{23,1 - 13,2}{23,1} = 42,9\%$
- 1,2,3,4,6,7,8-HeptaCDF: $R_{\%1,2,3,4,6,7,8\text{-HeptaCDF}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{61,8 - 32,7}{61,8} = 47,7\%$
- 1,2,3,4,7,8,9-HeptaCDF: $R_{\%1,2,3,4,7,8,9\text{-HeptaCDF}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{11,3 - 6,36}{11,3} = 43,7\%$
- OktaCDF: $R_{\% \text{OktaCDF}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{33,6 - 18,7}{33,6} = 44,3\%$
- WHO(2005)-PCDD/F TEQ exkl. LOQ: $R_{\% \text{WHO(2005)-PCDD/F TEQ exkl. LOQ}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{14,7 - 7,52}{14,7} = 48,8\%$
- WHO(2005)-PCDD/F TEQ inkl. LOQ: $R_{\% \text{WHO(2005)-PCDD/F TEQ inkl. LOQ}} = 100 \cdot \frac{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}{m_i \text{ före}} = 100 \cdot \frac{15,0 - 8,02}{15,0} = 46,5\%$

- I-TEQ (N ATO/CCMS) exkl LOQ: $R_{\% \text{ I-TEQ (N ATO/CCMS) exkl LOQ}} = 100 \cdot \frac{m_{i \text{ före}} - m_{i \text{ efter}}}{m_{i \text{ före}}} = 100 \cdot \frac{16,1 - 8,20}{16,1} = 49,1\%$
- I-TEQ (N ATO/CCMS) inkl LOQ: $R_{\% \text{ I-TEQ (N ATO/CCMS) inkl LOQ}} = 100 \cdot \frac{m_{i \text{ före}} - m_{i \text{ efter}}}{m_{i \text{ före}}} = 100 \cdot \frac{16,4 - 8,70}{16,4} = 47,0\%$

APPENDIX D

Felfortplantning för gips efter lakning med 2 M ammoniak, L:S= 10ml/g, T= 30°C:

$$\text{Klor: } \delta R_{\% \text{ klor}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,25 \cdot (0,015 - 0,02)}{0,015 - 0,02}\right)^2 + \left(\frac{0,25 \cdot 0,015}{0,015}\right)^2} = 0,35\%$$

$$\text{Antimon: } \delta R_{\% \text{ antimon}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (2,3 - 2,3)}{2,3 - 2,3}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 2,3}{2,3}\right)^2} = 0,15\%$$

$$\text{Arsenik: } \delta R_{\% \text{ arsenik}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,3 \cdot (5,7 - 5,7)}{5,7 - 5,7}\right)^2 + \left(\frac{0,3 \cdot 5,7}{5,7}\right)^2} = 0,3\%$$

$$\text{Barium: } \delta R_{\% \text{ barium}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,4 \cdot (17,5 - 17,5)}{17,5 - 17,5}\right)^2 + \left(\frac{0,4 \cdot 17,5}{17,5}\right)^2} = 0,4\%$$

$$\text{Bly: } \delta R_{\% \text{ bly}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (16 - 13)}{16 - 13}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 16}{16}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\text{Kadmium: } \delta R_{\% \text{ kadmium}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (0,23 - 0,23)}{0,23 - 0,23}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 0,23}{0,23}\right)^2} = 0,15\%$$

$$\text{Kobolt: } \delta R_{\% \text{ kobolt}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (0,57 - 0,57)}{0,57 - 0,57}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 0,57}{0,57}\right)^2} = 0,15\%$$

$$\text{Koppar: } \delta R_{\% \text{ koppar}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (7,85 - 4,6)}{7,85 - 4,6}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 7,85}{7,85}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\text{Krom: } \delta R_{\% \text{ i}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,25 \cdot (1,7 - 1,8)}{1,7 - 1,8}\right)^2 + \left(\frac{0,25 \cdot 1,7}{1,7}\right)^2} = 0,35\%$$

$$\text{Kvicksilver: } \delta R_{\% \text{ kvicksilver}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,3 \cdot (0,49 - 0,535)}{0,49 - 0,535}\right)^2 + \left(\frac{0,3 \cdot 0,49}{0,49}\right)^2} = 0,42\%$$

$$\text{Molybden: } \delta R_{\% \text{ molybden}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (2,3 - 2,3)}{2,3 - 2,3}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 2,3}{2,3}\right)^2} = 0,15\%$$

$$\text{Nickel: } \delta R_{\% \text{ nickel}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,3 \cdot (2,3 - 2,3)}{2,3 - 2,3}\right)^2 + \left(\frac{0,3 \cdot 2,3}{2,3}\right)^2} = 0,3\%$$

$$\text{Silver: } \delta R_{\% \text{ silver}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (0,57 - 0,57)}{0,57 - 0,57}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 0,57}{0,57}\right)^2} = 0,15\%$$

$$\text{Vanadin: } \delta R_{\% \text{ vanadin}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (5,1 - 5,1)}{5,1 - 5,1}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 5,1}{5,1}\right)^2} = 0,15\%$$

$$\text{Zink: } \delta R_{\% \text{ zink}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (28 - 18,5)}{28 - 18,5}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 28}{28}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\text{Lantan: } \delta R_{\% \text{ lantan}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,2 \cdot (4,85 - 1,35)}{4,85 - 1,35}\right)^2 + \left(\frac{0,2 \cdot 4,85}{4,85}\right)^2} = 0,28\%$$

Felfortplantning för gips efter lakning med 4 M ammoniak, L:S= 10ml/g, T= 30°C:

$$\text{Klor: } \delta R_{\% \text{ klor}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,25 \cdot (0,015 - 0,02)}{0,015 - 0,02}\right)^2 + \left(\frac{0,25 \cdot 0,015}{0,015}\right)^2} = 0,35\%$$

$$\text{Antimon: } \delta R_{\% \text{ antimon}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (2,3 - 2,3)}{2,3 - 2,3}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 2,3}{2,3}\right)^2} = 0,15\%$$

$$\text{Arsenik: } \delta R_{\% \text{ arsenik}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,3 \cdot (5,7 - 5,7)}{5,7 - 5,7}\right)^2 + \left(\frac{0,3 \cdot 5,7}{5,7}\right)^2} = 0,3\%$$

$$\text{Barium: } \delta R_{\% \text{ barium}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,4 \cdot (17,5 - 17,5)}{17,5 - 17,5}\right)^2 + \left(\frac{0,4 \cdot 17,5}{17,5}\right)^2} = 0,4\%$$

$$\text{Bly: } \delta R_{\% \text{ bly}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (16 - 17,5)}{16 - 17,5}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 16}{16}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\text{Kadmium: } \delta R_{\% \text{ kadmium}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (0,23 - 0,23)}{0,23 - 0,23}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 0,23}{0,23}\right)^2} = 0,15\%$$

$$\text{Kobolt: } \delta R_{\% \text{ kobolt}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (0,57 - 0,57)}{0,57 - 0,57}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 0,57}{0,57}\right)^2} = 0,15\%$$

$$\text{Koppar: } \delta R_{\% \text{ koppar}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (7,85 - 4,55)}{7,85 - 4,55}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 7,85}{7,85}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\text{Krom: } \delta R_{\% \text{ i}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,25 \cdot (1,7 - 1,3)}{1,7 - 1,3}\right)^2 + \left(\frac{0,25 \cdot 1,7}{1,7}\right)^2} = 0,35\%$$

$$\text{Kvicksilver: } \delta R_{\% \text{ kvicksilver}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,3 \cdot (0,49 - 0,57)}{0,49 - 0,57}\right)^2 + \left(\frac{0,3 \cdot 0,49}{0,49}\right)^2} = 0,42\%$$

$$\text{Molybden: } \delta R_{\% \text{ molybden}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (2,3 - 2,3)}{2,3 - 2,3}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 2,3}{2,3}\right)^2} = 0,15\%$$

$$\text{Nickel: } \delta R_{\% \text{ nickel}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,3*(2,3-2,3)}{2,3-2,3}\right)^2 + \left(\frac{0,3*2,3}{2,3}\right)^2} = 0,3\%$$

$$\text{Silver: } \delta R_{\% \text{ silver}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15*(0,57-0,57)}{0,57-0,57}\right)^2 + \left(\frac{0,15*0,57}{0,57}\right)^2} = 0,15\%$$

$$\text{Vanadin: } \delta R_{\% \text{ vanadin}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15*(5,1-5,1)}{5,1-5,1}\right)^2 + \left(\frac{0,15*5,1}{5,1}\right)^2} = 0,15\%$$

$$\text{Zink: } \delta R_{\% \text{ zink}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15*(28-48,5)}{28-48,5}\right)^2 + \left(\frac{0,15*28}{28}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\text{Lantan: } \delta R_{\% \text{ lantan}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,2*(4,85-1,6)}{4,85-1,6}\right)^2 + \left(\frac{0,2*4,85}{4,85}\right)^2} = 0,28\%$$

Felfortplantning för gips efter lakning med 6 M ammoniak, L:S= 10ml/g, T= 30°C:

$$\text{Klor: } \delta R_{\% \text{ klor}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,25*(0,015-0,02)}{0,015-0,02}\right)^2 + \left(\frac{0,25*0,015}{0,015}\right)^2} = 0,35\%$$

$$\text{Antimon: } \delta R_{\% \text{ antimon}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15*(2,3-2,35)}{2,3-2,35}\right)^2 + \left(\frac{0,15*2,3}{2,3}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\text{Arsenik: } \delta R_{\% \text{ arsenik}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,3*(5,7-5,7)}{5,7-5,7}\right)^2 + \left(\frac{0,3*5,7}{5,7}\right)^2} = 0,3\%$$

$$\text{Barium: } \delta R_{\% \text{ barium}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,4*(17,5-13)}{17,5-13}\right)^2 + \left(\frac{0,4*17,5}{17,5}\right)^2} = 0,57\%$$

$$\text{Bly: } \delta R_{\% \text{ bly}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15*(16-17)}{16-17}\right)^2 + \left(\frac{0,15*16}{16}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\text{Kadmium: } \delta R_{\% \text{ kadmium}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15*(0,23-0,23)}{0,23-0,23}\right)^2 + \left(\frac{0,15*0,23}{0,23}\right)^2} = 0,15\%$$

$$\text{Kobolt: } \delta R_{\% \text{ kobolt}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15*(0,57-0,57)}{0,57-0,57}\right)^2 + \left(\frac{0,15*0,57}{0,57}\right)^2} = 0,15\%$$

$$\text{Koppar: } \delta R_{\% \text{ koppar}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15*(7,85-6,25)}{7,85-6,25}\right)^2 + \left(\frac{0,15*7,85}{7,85}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\text{Krom: } \delta R_{\% \text{ i}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,25*(1,7-2,4)}{1,7-2,4}\right)^2 + \left(\frac{0,25*1,7}{1,7}\right)^2} = 0,35\%$$

$$\text{Kvicksilver: } \delta R_{\% \text{ kvicksilver}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,3 \cdot (0,49 - 0,56)}{0,49 - 0,56}\right)^2 + \left(\frac{0,3 \cdot 0,49}{0,49}\right)^2} = 0,42\%$$

$$\text{Molybden: } \delta R_{\% \text{ molybden}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (2,3 - 2,3)}{2,3 - 2,3}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 2,3}{2,3}\right)^2} = 0,15\%$$

$$\text{Nickel: } \delta R_{\% \text{ nickel}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,3 \cdot (2,3 - 2,3)}{2,3 - 2,3}\right)^2 + \left(\frac{0,3 \cdot 2,3}{2,3}\right)^2} = 0,3\%$$

$$\text{Silver: } \delta R_{\% \text{ silver}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (0,57 - 0,57)}{0,57 - 0,57}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 0,57}{0,57}\right)^2} = 0,15\%$$

$$\text{Vanadin: } \delta R_{\% \text{ vanadin}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (5,1 - 3,4)}{5,1 - 3,4}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 5,1}{5,1}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\text{Zink: } \delta R_{\% \text{ zink}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (28 - 31)}{28 - 31}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 28}{28}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\text{Lantan: } \delta R_{\% \text{ lantan}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,2 \cdot (4,85 - 1,75)}{4,85 - 1,75}\right)^2 + \left(\frac{0,2 \cdot 4,85}{4,85}\right)^2} = 0,28\%$$

Felfortplantning för gips efter lakning med 0,3 M svavelsyra, L:S= 10ml/g, T= 30°C:

$$\text{Klor: } \delta R_{\% \text{ klor}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,25 \cdot (0,015 - 0,02)}{0,015 - 0,02}\right)^2 + \left(\frac{0,25 \cdot 0,015}{0,015}\right)^2} = 0,35\%$$

$$\text{Antimon: } \delta R_{\% \text{ antimon}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (2,3 - 2,3)}{2,3 - 2,3}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 2,3}{2,3}\right)^2} = 0,15\%$$

$$\text{Arsenik: } \delta R_{\% \text{ arsenik}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,3 \cdot (5,7 - 5,7)}{5,7 - 5,7}\right)^2 + \left(\frac{0,3 \cdot 5,7}{5,7}\right)^2} = 0,3\%$$

$$\text{Barium: } \delta R_{\% \text{ barium}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,4 \cdot (17,5 - 23)}{17,5 - 23}\right)^2 + \left(\frac{0,4 \cdot 17,5}{17,5}\right)^2} = 0,57\%$$

$$\text{Bly: } \delta R_{\% \text{ bly}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (16 - 12)}{16 - 12}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 16}{16}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\text{Kadmium: } \delta R_{\% \text{ kadmium}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (0,23 - 0,23)}{0,23 - 0,23}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 0,23}{0,23}\right)^2} = 0,15\%$$

$$\text{Kobolt: } \delta R_{\% \text{ kobolt}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (0,57 - 0,57)}{0,57 - 0,57}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 0,57}{0,57}\right)^2} = 0,15\%$$

$$\text{Koppar: } \delta R_{\% \text{ koppar}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (7,85 - 5,3)}{7,85 - 5,3}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 7,85}{7,85}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\text{Krom: } \delta R_{\% i} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,25 \cdot (1,7 - 1,3)}{1,7 - 1,3}\right)^2 + \left(\frac{0,25 \cdot 1,7}{1,7}\right)^2} = 0,35\%$$

$$\text{Kvicksilver: } \delta R_{\% \text{ kvicksilver}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,3 \cdot (0,49 - 0,475)}{0,49 - 0,475}\right)^2 + \left(\frac{0,3 \cdot 0,49}{0,49}\right)^2} = 0,42\%$$

$$\text{Molybden: } \delta R_{\% \text{ molybden}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (2,3 - 2,3)}{2,3 - 2,3}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 2,3}{2,3}\right)^2} = 0,15\%$$

$$\text{Nickel: } \delta R_{\% \text{ nickel}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,3 \cdot (2,3 - 2,3)}{2,3 - 2,3}\right)^2 + \left(\frac{0,3 \cdot 2,3}{2,3}\right)^2} = 0,3\%$$

$$\text{Silver: } \delta R_{\% \text{ silver}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (0,57 - 0,57)}{0,57 - 0,57}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 0,57}{0,57}\right)^2} = 0,15\%$$

$$\text{Vanadin: } \delta R_{\% \text{ vanadin}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (5,1 - 6,8)}{5,1 - 6,8}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 5,1}{5,1}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\text{Zink: } \delta R_{\% \text{ zink}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (28 - 16)}{28 - 16}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 28}{28}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\text{Lantan: } \delta R_{\% \text{ lantan}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,2 \cdot (4,85 - 0,675)}{4,85 - 0,675}\right)^2 + \left(\frac{0,2 \cdot 4,85}{4,85}\right)^2} = 0,28\%$$

Felfortplantning för gips efter lakning med 0,7 M svavelsyra, L:S= 10ml/g, T= 30°C:

$$\text{Klor: } \delta R_{\% \text{ klor}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,25 \cdot (0,015 - 0,02)}{0,015 - 0,02}\right)^2 + \left(\frac{0,25 \cdot 0,015}{0,015}\right)^2} = 0,35\%$$

$$\text{Antimon: } \delta R_{\% \text{ antimon}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (2,3 - 4,1)}{2,3 - 4,1}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 2,3}{2,3}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\text{Arsenik: } \delta R_{\% \text{ arsenik}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,3 \cdot (5,7 - 11,4)}{5,7 - 11,4}\right)^2 + \left(\frac{0,3 \cdot 5,7}{5,7}\right)^2} = 0,42\%$$

$$\text{Barium: } \delta R_{\% \text{ barium}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,4 \cdot (17,5 - 51)}{17,5 - 51}\right)^2 + \left(\frac{0,4 \cdot 17,5}{17,5}\right)^2} = 0,57\%$$

$$\text{Bly: } \delta R_{\% \text{ bly}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (16 - 27)}{16 - 27}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 16}{16}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\text{Kadmium: } \delta R_{\% \text{ kadmium}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (0,23 - 0,285)}{0,23 - 0,285}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 0,23}{0,23}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\text{Kobolt: } \delta R_{\% \text{ kobolt}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (0,57 - 0,935)}{0,57 - 0,935}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 0,57}{0,57}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\text{Koppar: } \delta R_{\% \text{ koppar}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (7,85 - 20,8)}{7,85 - 20,8}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 7,85}{7,85}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\text{Krom: } \delta R_{\% \text{ i}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,25 \cdot (1,7 - 10,45)}{1,7 - 10,45}\right)^2 + \left(\frac{0,25 \cdot 1,7}{1,7}\right)^2} = 0,35\%$$

$$\text{Kvicksilver: } \delta R_{\% \text{ kvicksilver}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,3 \cdot (0,49 - 0,425)}{0,49 - 0,425}\right)^2 + \left(\frac{0,3 \cdot 0,49}{0,49}\right)^2} = 0,42\%$$

$$\text{Molybden: } \delta R_{\% \text{ molybden}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (2,3 - 2,3)}{2,3 - 2,3}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 2,3}{2,3}\right)^2} = 0,15\%$$

$$\text{Nickel: } \delta R_{\% \text{ nickel}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,3 \cdot (2,3 - 3)}{2,3 - 3}\right)^2 + \left(\frac{0,3 \cdot 2,3}{2,3}\right)^2} = 0,42\%$$

$$\text{Silver: } \delta R_{\% \text{ silver}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (0,57 - 0,57)}{0,57 - 0,57}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 0,57}{0,57}\right)^2} = 0,15\%$$

$$\text{Vanadin: } \delta R_{\% \text{ vanadin}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (5,1 - 5,1)}{5,1 - 5,1}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 5,1}{5,1}\right)^2} = 0,15\%$$

$$\text{Zink: } \delta R_{\% \text{ zink}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (28 - 128,5)}{28 - 128,5}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 28}{28}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\text{Lantan: } \delta R_{\% \text{ lantan}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,2 \cdot (4,85 - 0,855)}{4,85 - 0,855}\right)^2 + \left(\frac{0,2 \cdot 4,85}{4,85}\right)^2} = 0,28\%$$

Felfortplantning för gips efter med lakning med 1 M svavelsyra, L:S= 10ml/g, T= 30°C:

$$\text{Klor: } \delta R_{\% \text{ klor}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,25 \cdot (0,015 - 0,02)}{0,015 - 0,02}\right)^2 + \left(\frac{0,25 \cdot 0,015}{0,015}\right)^2} = 0,35\%$$

$$\text{Antimon: } \delta R_{\% \text{ antimon}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (2,3 - 2,3)}{2,3 - 2,3}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 2,3}{2,3}\right)^2} = 0,15\%$$

$$\text{Arsenik: } \delta R_{\% \text{ arsenik}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,3 \cdot (5,7 - 5,7)}{5,7 - 5,7}\right)^2 + \left(\frac{0,3 \cdot 5,7}{5,7}\right)^2} = 0,3\%$$

$$\text{Barium: } \delta R_{\% \text{ barium}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,4 \cdot (17,5 - 23)}{17,5 - 23}\right)^2 + \left(\frac{0,4 \cdot 17,5}{17,5}\right)^2} = 0,57\%$$

$$\text{Bly: } \delta R_{\% \text{ bly}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (16 - 12)}{16 - 12}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 16}{16}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\text{Kadmium: } \delta R_{\% \text{ kadmium}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (0,23 - 0,23)}{0,23 - 0,23}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 0,23}{0,23}\right)^2} = 0,15\%$$

$$\text{Kobolt: } \delta R_{\% \text{ kobolt}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (0,57 - 0,57)}{0,57 - 0,57}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 0,57}{0,57}\right)^2} = 0,15\%$$

$$\text{Koppar: } \delta R_{\% \text{ koppar}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (7,85 - 5,1)}{7,85 - 5,1}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 7,85}{7,85}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\text{Krom: } \delta R_{\% \text{ i}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,25 \cdot (1,7 - 2)}{1,7 - 2}\right)^2 + \left(\frac{0,25 \cdot 1,7}{1,7}\right)^2} = 0,35\%$$

$$\text{Kvicksilver: } \delta R_{\% \text{ kvicksilver}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,3 \cdot (0,49 - 0,44)}{0,49 - 0,44}\right)^2 + \left(\frac{0,3 \cdot 0,49}{0,49}\right)^2} = 0,42\%$$

$$\text{Molybden: } \delta R_{\% \text{ molybden}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (2,3 - 2,3)}{2,3 - 2,3}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 2,3}{2,3}\right)^2} = 0,15\%$$

$$\text{Nickel: } \delta R_{\% \text{ nickel}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,3 \cdot (2,3 - 2,3)}{2,3 - 2,3}\right)^2 + \left(\frac{0,3 \cdot 2,3}{2,3}\right)^2} = 0,3\%$$

$$\text{Silver: } \delta R_{\% \text{ silver}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (0,57 - 0,57)}{0,57 - 0,57}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 0,57}{0,57}\right)^2} = 0,15\%$$

$$\text{Vanadin: } \delta R_{\% \text{ vanadin}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (5,1 - 6,8)}{5,1 - 6,8}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 5,1}{5,1}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\text{Zink: } \delta R_{\% \text{ zink}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (28 - 24,5)}{28 - 24,5}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 28}{28}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\text{Lantan: } \delta R_{\% \text{ lantan}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,2 \cdot (4,85 - 0,71)}{4,85 - 0,71}\right)^2 + \left(\frac{0,2 \cdot 4,85}{4,85}\right)^2} = 0,28\%$$

Felfortplantning för gips efter lakning med 2 M ammoniak, L:S=15ml/g gips, T=30°C:

$$\text{Antimon: } \delta R_{\% \text{ antimon}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (2,4 - 2,45)}{2,4 - 2,45}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 2,4}{2,4}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\text{Arsenik: } \delta R_{\% \text{ arsenik}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,3 \cdot (5,95 - 6)}{5,95 - 6}\right)^2 + \left(\frac{0,3 \cdot 5,95}{5,95}\right)^2} = 0,42\%$$

$$\text{Barium: } \delta R_{\% \text{ barium}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,4 \cdot (12 - 12,5)}{12 - 12,5}\right)^2 + \left(\frac{0,4 \cdot 12}{12}\right)^2} = 0,57\%$$

$$\text{Bly: } \delta R_{\% \text{ bly}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (12 - 12,5)}{12 - 12,5}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 12}{12}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\text{Kobolt: } \delta R_{\% \text{ kobolt}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (0,595 - 0,6)}{0,595 - 0,6}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 0,595}{0,595}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\text{Koppar: } \delta R_{\% \text{ koppar}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (4,8 - 4,85)}{4,8 - 4,85}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 4,8}{4,8}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\text{Krom: } \delta R_{\% \text{ i}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,25 \cdot (1,2 - 1,25)}{1,2 - 1,25}\right)^2 + \left(\frac{0,25 \cdot 1,2}{1,2}\right)^2} = 0,35\%$$

$$\text{Kvicksilver: } \delta R_{\% \text{ kvicksilver}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,3 \cdot (0,635 - 0,6)}{0,635 - 0,6}\right)^2 + \left(\frac{0,3 \cdot 0,635}{0,635}\right)^2} = 0,42\%$$

$$\text{Molybden: } \delta R_{\% \text{ molybden}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (2,4 - 2,45)}{2,4 - 2,45}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 2,4}{2,4}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\text{Nickel: } \delta R_{\% \text{ nickel}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,3 \cdot (2,4 - 2,45)}{2,4 - 2,45}\right)^2 + \left(\frac{0,3 \cdot 2,4}{2,4}\right)^2} = 0,42\%$$

$$\text{Vanadin: } \delta R_{\% \text{ vanadin}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (3,6 - 3,65)}{3,6 - 3,65}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 3,6}{3,6}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\text{Zink: } \delta R_{\% \text{ zink}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (17 - 12,5)}{17 - 12,5}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 17}{17}\right)^2} = 0,21\%$$

Felfortplantning för gips efter lakning med 2 M ammoniak, L:S=20ml/g gips, T= 30°C:

$$\text{Antimon: } \delta R_{\% \text{ antimon}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (2,4 - 2,6)}{2,4 - 2,6}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 2,4}{2,4}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\text{Arsenik: } \delta R_{\% \text{ arsenik}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,3 \cdot (5,95 - 6,5)}{5,95 - 6,5}\right)^2 + \left(\frac{0,3 \cdot 5,95}{5,95}\right)^2} = 0,42\%$$

$$\text{Barium: } \delta R_{\% \text{ barium}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,4 \cdot (12 - 13)}{12 - 13}\right)^2 + \left(\frac{0,4 \cdot 12}{12}\right)^2} = 0,57\%$$

$$\text{Bly: } \delta R_{\% \text{ bly}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (12 - 11,5)}{12 - 11,5}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 12}{12}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\text{Kobolt: } \delta R_{\% \text{ kobolt}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (0,595 - 0,65)}{0,595 - 0,65}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 0,595}{0,595}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\text{Koppar: } \delta R_{\% \text{ koppar}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (4,8 - 5,2)}{4,8 - 5,2}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 4,8}{4,8}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\text{Krom: } \delta R_{\% \text{ i}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,25 \cdot (1,2 - 1,3)}{1,2 - 1,3}\right)^2 + \left(\frac{0,25 \cdot 1,2}{1,2}\right)^2} = 0,35\%$$

$$\text{Kvicksilver: } \delta R_{\% \text{ kvicksilver}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,3 \cdot (0,635 - 0,695)}{0,635 - 0,695}\right)^2 + \left(\frac{0,3 \cdot 0,635}{0,635}\right)^2} = 0,42\%$$

$$\text{Molybden: } \delta R_{\% \text{ molybden}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (2,4 - 2,6)}{2,4 - 2,6}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 2,4}{2,4}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\text{Nickel: } \delta R_{\% \text{ nickel}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,3 \cdot (2,4 - 2,6)}{2,4 - 2,6}\right)^2 + \left(\frac{0,3 \cdot 2,4}{2,4}\right)^2} = 0,42\%$$

$$\text{Vanadin: } \delta R_{\% \text{ vanadin}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (3,6 - 3,9)}{3,6 - 3,9}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 3,6}{3,6}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\text{Zink: } \delta R_{\% \text{ zink}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (17 - 16,5)}{17 - 16,5}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 17}{17}\right)^2} = 0,21\%$$

Felfortplantning för gips efter lakning med 2 M ammoniak, L:S=10ml/g gips, T= 45°C:

$$\text{Antimon: } \delta R_{\% \text{ antimon}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (2,4 - 2,6)}{2,4 - 2,6}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 2,4}{2,4}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\text{Arsenik: } \delta R_{\% \text{ arsenik}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,3 \cdot (5,95 - 6,45)}{5,95 - 6,45}\right)^2 + \left(\frac{0,3 \cdot 5,95}{5,95}\right)^2} = 0,42\%$$

$$\text{Barium: } \delta R_{\% \text{ barium}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,4 \cdot (12 - 13,5)}{12 - 13,5}\right)^2 + \left(\frac{0,4 \cdot 12}{12}\right)^2} = 0,57\%$$

$$\text{Bly: } \delta R_{\% \text{ bly}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (12 - 12)}{12 - 12}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 12}{12}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\text{Kobolt: } \delta R_{\% \text{ kobolt}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (0,595 - 0,645)}{0,595 - 0,645}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 0,595}{0,595}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\text{Koppar: } \delta R_{\% \text{ koppar}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (4,8 - 5,15)}{4,8 - 5,15}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 4,8}{4,8}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\text{Krom: } \delta R_{\% i} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,25 \cdot (1,2 - 1,35)}{1,2 - 1,35}\right)^2 + \left(\frac{0,25 \cdot 1,2}{1,2}\right)^2} = 0,35\%$$

$$\text{Kvicksilver: } \delta R_{\% \text{ kvicksilver}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,3 \cdot (0,635 - 0,66)}{0,635 - 0,66}\right)^2 + \left(\frac{0,3 \cdot 0,635}{0,635}\right)^2} = 0,42\%$$

$$\text{Molybden: } \delta R_{\% \text{ molybden}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (2,4 - 2,6)}{2,4 - 2,6}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 2,4}{2,4}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\text{Nickel: } \delta R_{\% \text{ nickel}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,3 \cdot (2,4 - 2,6)}{2,4 - 2,6}\right)^2 + \left(\frac{0,3 \cdot 2,4}{2,4}\right)^2} = 0,42\%$$

$$\text{Vanadin: } \delta R_{\% \text{ vanadin}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (3,6 - 3,9)}{3,6 - 3,9}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 3,6}{3,6}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\text{Zink: } \delta R_{\% \text{ zink}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (17 - 13,5)}{17 - 13,5}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 17}{17}\right)^2} = 0,21\%$$

Felfortplantning för gips efter lakning med 2 M ammoniak, L:S=10 ml/g gips, T= 60°C:

$$\text{Antimon: } \delta R_{\% \text{ antimon}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (2,4 - 2,55)}{2,4 - 2,55}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 2,4}{2,4}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\text{Arsenik: } \delta R_{\% \text{ arsenik}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,3 \cdot (5,95 - 6,35)}{5,95 - 6,35}\right)^2 + \left(\frac{0,3 \cdot 5,95}{5,95}\right)^2} = 0,42\%$$

$$\text{Barium: } \delta R_{\% \text{ barium}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,4 \cdot (12 - 13)}{12 - 13}\right)^2 + \left(\frac{0,4 \cdot 12}{12}\right)^2} = 0,57\%$$

$$\text{Bly: } \delta R_{\% \text{ bly}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (12 - 12)}{12 - 12}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 12}{12}\right)^2} = 0,15\%$$

$$\text{Kobolt: } \delta R_{\% \text{ kobolt}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (0,595 - 0,635)}{0,595 - 0,635}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 0,595}{0,595}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\text{Koppar: } \delta R_{\% \text{ koppar}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (4,8 - 5,05)}{4,8 - 5,05}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 4,8}{4,8}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\text{Krom: } \delta R_{\% i} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,25 \cdot (1,2 - 1,3)}{1,2 - 1,3}\right)^2 + \left(\frac{0,25 \cdot 1,2}{1,2}\right)^2} = 0,35\%$$

$$\text{Kvicksilver: } \delta R_{\% \text{ kvicksilver}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,3*(0,635-0,57)}{0,635-0,57}\right)^2 + \left(\frac{0,3*0,635}{0,635}\right)^2} = 0,42\%$$

$$\text{Molybden: } \delta R_{\% \text{ molybden}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15*(2,4-2,55)}{2,4-2,55}\right)^2 + \left(\frac{0,15*2,4}{2,4}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\text{Nickel: } \delta R_{\% \text{ nickel}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,3*(2,4-2,55)}{2,4-2,55}\right)^2 + \left(\frac{0,3*2,4}{2,4}\right)^2} = 0,42\%$$

$$\text{Vanadin: } \delta R_{\% \text{ vanadin}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15*(3,6-3,85)}{3,6-3,85}\right)^2 + \left(\frac{0,15*3,6}{3,6}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\text{Zink: } \delta R_{\% \text{ zink}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15*(17-13)}{17-13}\right)^2 + \left(\frac{0,15*17}{17}\right)^2} = 0,21\%$$

Felfortplantning för gips efter lakning med 0,3 M ammoniak, L:S= 15ml/g gips, T= 30°C:

$$\text{Antimon: } \delta R_{\% \text{ antimon}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15*(2,4-2,3)}{2,4-2,3}\right)^2 + \left(\frac{0,15*2,4}{2,4}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\text{Arsenik: } \delta R_{\% \text{ arsenik}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,3*(5,95-5,7)}{5,95-5,7}\right)^2 + \left(\frac{0,3*5,95}{5,95}\right)^2} = 0,42\%$$

$$\text{Barium: } \delta R_{\% \text{ barium}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,4*(12-12)}{12-12}\right)^2 + \left(\frac{0,4*12}{12}\right)^2} = 0,4\%$$

$$\text{Bly: } \delta R_{\% \text{ bly}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15*(12-8,45)}{12-8,45}\right)^2 + \left(\frac{0,15*12}{12}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\text{Kobolt: } \delta R_{\% \text{ kobolt}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15*(0,595-0,57)}{0,595-0,57}\right)^2 + \left(\frac{0,15*0,595}{0,595}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\text{Koppar: } \delta R_{\% \text{ koppar}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15*(4,8-4,55)}{4,8-4,55}\right)^2 + \left(\frac{0,15*4,8}{4,8}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\text{Krom: } \delta R_{\% \text{ i}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,25*(1,2-1,2)}{1,2-1,2}\right)^2 + \left(\frac{0,25*1,2}{1,2}\right)^2} = 0,25\%$$

$$\text{Kvicksilver: } \delta R_{\% \text{ kvicksilver}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,3*(0,635-0,485)}{0,635-0,485}\right)^2 + \left(\frac{0,3*0,635}{0,635}\right)^2} = 0,42\%$$

$$\text{Molybden: } \delta R_{\% \text{ molybden}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15*(2,4-2,3)}{2,4-2,3}\right)^2 + \left(\frac{0,15*2,4}{2,4}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\text{Nickel: } \delta R_{\% \text{ nickel}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,3*(2,4-2,3)}{2,4-2,3}\right)^2 + \left(\frac{0,3*2,4}{2,4}\right)^2} = 0,42\%$$

$$\text{Vanadin: } \delta R_{\% \text{ vanadin}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15*(3,6-3,4)}{3,6-3,4}\right)^2 + \left(\frac{0,15*3,6}{3,6}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\text{Zink: } \delta R_{\% \text{ zink}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15*(17-12)}{17-12}\right)^2 + \left(\frac{0,15*17}{17}\right)^2} = 0,21\%$$

Felfortplantning för gips efter lakning med 0,3 M ammoniak, L:S= 20ml/g gips, T= 30°C:

$$\text{Antimon: } \delta R_{\% \text{ antimon}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15*(2,4-2,3)}{2,4-2,3}\right)^2 + \left(\frac{0,15*2,4}{2,4}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\text{Arsenik: } \delta R_{\% \text{ arsenik}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,3*(5,95-5,7)}{5,95-5,7}\right)^2 + \left(\frac{0,3*5,95}{5,95}\right)^2} = 0,42\%$$

$$\text{Barium: } \delta R_{\% \text{ barium}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,4*(12-12)}{12-12}\right)^2 + \left(\frac{0,4*12}{12}\right)^2} = 0,4\%$$

$$\text{Bly: } \delta R_{\% \text{ bly}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15*(12-7,85)}{12-7,85}\right)^2 + \left(\frac{0,15*12}{12}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\text{Kobolt: } \delta R_{\% \text{ kobolt}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15*(0,595-0,57)}{0,595-0,57}\right)^2 + \left(\frac{0,15*0,595}{0,595}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\text{Koppar: } \delta R_{\% \text{ koppar}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15*(4,8-4,55)}{4,8-4,55}\right)^2 + \left(\frac{0,15*4,8}{4,8}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\text{Krom: } \delta R_{\% \text{ i}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,25*(1,2-1,2)}{1,2-1,2}\right)^2 + \left(\frac{0,25*1,2}{1,2}\right)^2} = 0,25\%$$

$$\text{Kvicksilver: } \delta R_{\% \text{ kvicksilver}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,3*(0,635-0,485)}{0,635-0,485}\right)^2 + \left(\frac{0,3*0,635}{0,635}\right)^2} = 0,42\%$$

$$\text{Molybden: } \delta R_{\% \text{ molybden}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15*(2,4-2,3)}{2,4-2,3}\right)^2 + \left(\frac{0,15*2,4}{2,4}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\text{Nickel: } \delta R_{\% \text{ nickel}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,3*(2,4-2,3)}{2,4-2,3}\right)^2 + \left(\frac{0,3*2,4}{2,4}\right)^2} = 0,42\%$$

$$\text{Vanadin: } \delta R_{\% \text{ vanadin}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15*(3,6-3,4)}{3,6-3,4}\right)^2 + \left(\frac{0,15*3,6}{3,6}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\text{Zink: } \delta R_{\% \text{ zink}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (17-12)}{17-12}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 17}{17}\right)^2} = 0,21\%$$

Beräkning av Felfortplantning för gips efter lakning med 0,3 M ammoniak, L:S= 10ml/g gips, T=45°C:

$$\text{Antimon: } \delta R_{\% \text{ antimon}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (2,4-2,3)}{2,4-2,3}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 2,4}{2,4}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\text{Arsenik: } \delta R_{\% \text{ arsenik}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,3 \cdot (5,95-5,7)}{5,95-5,7}\right)^2 + \left(\frac{0,3 \cdot 5,95}{5,95}\right)^2} = 0,42\%$$

$$\text{Barium: } \delta R_{\% \text{ barium}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,4 \cdot (12-12)}{12-12}\right)^2 + \left(\frac{0,4 \cdot 12}{12}\right)^2} = 0,4\%$$

$$\text{Bly: } \delta R_{\% \text{ bly}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (12-8,12)}{12-8,12}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 12}{12}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\text{Kobolt: } \delta R_{\% \text{ kobolt}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (0,595-0,57)}{0,595-0,57}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 0,595}{0,595}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\text{Koppar: } \delta R_{\% \text{ koppar}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (4,8-4,55)}{4,8-4,55}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 4,8}{4,8}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\text{Krom: } \delta R_{\% \text{ i}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,25 \cdot (1,2-1,2)}{1,2-1,2}\right)^2 + \left(\frac{0,25 \cdot 1,2}{1,2}\right)^2} = 0,25\%$$

$$\text{Kvicksilver: } \delta R_{\% \text{ kvicksilver}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,3 \cdot (0,635-0,54)}{0,635-0,54}\right)^2 + \left(\frac{0,3 \cdot 0,635}{0,635}\right)^2} = 0,42\%$$

$$\text{Molybden: } \delta R_{\% \text{ molybden}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (2,4-2,3)}{2,4-2,3}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 2,4}{2,4}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\text{Nickel: } \delta R_{\% \text{ nickel}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,3 \cdot (2,4-2,3)}{2,4-2,3}\right)^2 + \left(\frac{0,3 \cdot 2,4}{2,4}\right)^2} = 0,42\%$$

$$\text{Vanadin: } \delta R_{\% \text{ vanadin}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (3,6-3,4)}{3,6-3,4}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 3,6}{3,6}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\text{Zink: } \delta R_{\% \text{ zink}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (17-12)}{17-12}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 17}{17}\right)^2} = 0,21\%$$

Felfortplantning för gips efter lakning med 0,3 M ammoniak, L:S=10ml/g gips, T=60°C:

$$\text{Antimon: } \delta R_{\% \text{ antimon}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (2,4 - 2,3)}{2,4 - 2,3}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 2,4}{2,4}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\text{Arsenik: } \delta R_{\% \text{ arsenik}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,3 \cdot (5,95 - 5,7)}{5,95 - 5,7}\right)^2 + \left(\frac{0,3 \cdot 5,95}{5,95}\right)^2} = 0,42\%$$

$$\text{Barium: } \delta R_{\% \text{ barium}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,4 \cdot (12 - 12)}{12 - 12}\right)^2 + \left(\frac{0,4 \cdot 12}{12}\right)^2} = 0,4\%$$

$$\text{Bly: } \delta R_{\% \text{ bly}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (12 - 8,2)}{12 - 8,2}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 12}{12}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\text{Kobolt: } \delta R_{\% \text{ kobolt}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (0,595 - 0,57)}{0,595 - 0,57}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 0,595}{0,595}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\text{Koppar: } \delta R_{\% \text{ koppar}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (4,8 - 4,55)}{4,8 - 4,55}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 4,8}{4,8}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\text{Krom: } \delta R_{\% \text{ i}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,25 \cdot (1,2 - 1,2)}{1,2 - 1,2}\right)^2 + \left(\frac{0,25 \cdot 1,2}{1,2}\right)^2} = 0,25\%$$

$$\text{Kvicksilver: } \delta R_{\% \text{ kvicksilver}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,3 \cdot (0,635 - 0,45)}{0,635 - 0,45}\right)^2 + \left(\frac{0,3 \cdot 0,635}{0,635}\right)^2} = 0,42\%$$

$$\text{Molybden: } \delta R_{\% \text{ molybden}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (2,4 - 2,3)}{2,4 - 2,3}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 2,4}{2,4}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\text{Nickel: } \delta R_{\% \text{ nickel}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,3 \cdot (2,4 - 2,3)}{2,4 - 2,3}\right)^2 + \left(\frac{0,3 \cdot 2,4}{2,4}\right)^2} = 0,42\%$$

$$\text{Vanadin: } \delta R_{\% \text{ vanadin}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (3,6 - 3,4)}{3,6 - 3,4}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 3,6}{3,6}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\text{Zink: } \delta R_{\% \text{ zink}} = \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (17 - 12)}{17 - 12}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 17}{17}\right)^2} = 0,21\%$$

Felfortplantning för gips efter tvättning med aktivt kol, retentionstid: 20 min

$$\text{2,3,7,8-TetraCDD: } \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (0,439 - 0,484)}{0,439 - 0,484}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 0,439}{0,439}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\text{1,2,3,7,8-PentaCDD: } \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (2,39 - 1,46)}{2,39 - 1,46}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 2,39}{2,39}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\mathbf{1,2,3,4,7,8-HexaCDD:} \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (2,71 - 1,37)}{2,71 - 1,37}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 2,71}{2,71}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\mathbf{1,2,3,6,7,8-HexaCDD:} \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (4,61 - 2,6)}{4,61 - 2,26}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 4,61}{4,61}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\mathbf{1,2,3,7,8,9-HexaCDD:} \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (3,75 - 1,86)}{3,75 - 1,86}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 3,75}{3,75}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\mathbf{1,2,3,4,6,7,8-HeptaCDD:} \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (38,8 - 18,9)}{38,8 - 18,9}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 38,8}{38,8}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\mathbf{OktaCDD:} \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (92,6 - 41,7)}{92,6 - 41,7}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 92,6}{92,6}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\mathbf{2,3,7,8TetraCDF:} \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (3,38 - 3,05)}{3,38 - 3,05}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 3,38}{3,38}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\mathbf{1,2,3,7,8-PentaCDF:} \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (6,09 - 3,63)}{6,09 - 3,63}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 6,09}{6,09}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\mathbf{2,3,4,7,8-PentaCDF:} \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (11,9 - 6,37)}{11,9 - 6,37}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 11,9}{11,9}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\mathbf{1,2,3,4,7,8-HexaCDF:} \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (15,6 - 8,02)}{15,6 - 8,02}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 15,6}{15,6}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\mathbf{1,2,3,6,7,8-HexaCDF:} \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (16,8 - 8,64)}{16,8 - 8,64}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 16,8}{16,8}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\mathbf{1,2,3,7,8,9-HexaCDF:} \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (2,22 - 1,42)}{2,22 - 1,42}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 2,22}{2,22}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\mathbf{2,3,4,6,7,8-HexaCDF:} \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (23,1 - 12,5)}{23,1 - 12,5}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 23,1}{23,1}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\mathbf{1,2,3,4,6,7,8-HeptaCDF:} \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (61,8 - 30,7)}{61,8 - 30,7}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 61,8}{61,8}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\mathbf{1,2,3,4,7,8,9-HeptaCDF:} \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (11,3 - 5,76)}{11,3 - 5,76}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 11,3}{11,3}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\mathbf{OktaCDF:} \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (33,6 - 15,7)}{33,6 - 15,7}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 33,6}{33,6}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\text{WHO(2005)-PCDD/F TEQ exkl. LOQ: } \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} =$$

$$\sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (14,7 - 8,31)}{14,7 - 8,31}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 14,7}{14,7}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\text{WHO(2005)-PCDD/F TEQ inkl. LOQ: } \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} =$$

$$\sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (15 - 8,45)}{15 - 8,45}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 15}{15}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\text{I-TEQ (N ATO/CCMS) exkl LOQ: } \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} =$$

$$\sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (16,1 - 8,97)}{16,1 - 8,97}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 16,1}{16,1}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\text{I-TEQ (N ATO/CCMS) inkl LOQ: } \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} =$$

$$\sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (16,4 - 9,11)}{16,4 - 9,11}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 16,4}{16,4}\right)^2} = 0,21\%$$

Felfortplantning för gips efter tvättning med aktivt kol, retentionstid: 40 min

$$\text{2,3,7,8TetraCDD: } \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (0,439 - 0,398)}{0,439 - 0,398}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 0,439}{0,439}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\text{1,2,3,7,8-PentaCDD: } \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (2,39 - 1,27)}{2,39 - 1,27}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 2,39}{2,39}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\text{1,2,3,4,7,8-HexaCDD: } \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (2,71 - 1,37)}{2,71 - 1,37}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 2,71}{2,71}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\text{1,2,3,6,7,8-HexaCDD: } \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (4,61 - 2,19)}{4,61 - 2,19}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 4,61}{4,61}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\text{1,2,3,7,8,9-HexaCDD: } \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (3,75 - 1,80)}{3,75 - 1,80}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 3,75}{3,75}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\text{1,2,3,4,6,7,8-HeptaCDD: } \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (38,8 - 18,3)}{38,8 - 18,3}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 38,8}{38,8}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\text{OktaCDD: } \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (92,6 - 43,5)}{92,6 - 43,5}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 92,6}{92,6}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\text{2,3,7,8TetraCDF: } \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (3,38 - 1,9)}{3,38 - 1,9}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 3,38}{3,38}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\mathbf{1,2,3,7,8-PentaCDF:} \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (6,09 - 3,27)}{6,09 - 3,27}\right)^2 + \left(\frac{0,15 - 6,09}{6,09}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\mathbf{2,3,4,7,8-PentaCDF:} \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (11,9 - 6)}{11,9 - 6}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 11,9}{11,9}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\mathbf{1,2,3,4,7,8-HexaCDF:} \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (15,6 - 8,32)}{15,6 - 8,32}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 15,6}{15,6}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\mathbf{1,2,3,6,7,8-HexaCDF:} \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (16,8 - 8,67)}{16,8 - 8,67}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 16,8}{16,8}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\mathbf{1,2,3,7,8,9-HexaCDF:} \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (2,22 - 1,44)}{2,22 - 1,44}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 2,22}{2,22}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\mathbf{2,3,4,6,7,8-HexaCDF:} \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (23,1 - 12,9)}{23,1 - 12,9}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 23,1}{23,1}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\mathbf{1,2,3,4,6,7,8-HeptaCDF:} \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (61,8 - 30,5)}{61,8 - 30,5}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 61,8}{61,8}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\mathbf{1,2,3,4,7,8,9-HeptaCDF:} \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (11,3 - 5,90)}{11,3 - 5,90}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 11,3}{11,3}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\mathbf{OktaCDF:} \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (33,6 - 16,7)}{33,6 - 16,7}\right)^2 + \left(\frac{0,15 - 33,6}{33,6}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\mathbf{WHO(2005)-PCDD/F TEQ exkl. LOQ:} \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (14,7 - 7,45)}{14,7 - 7,45}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 14,7}{14,7}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\mathbf{WHO(2005)-PCDD/F TEQ inkl. LOQ:} \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (15 - 7,99)}{15 - 7,99}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 15}{15}\right)^2} =$$

$$\mathbf{I-TEQ (N ATO/CCMS) exkl LOQ:} \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (16,1 - 8,12)}{16,1 - 8,12}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 16,1}{16,1}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\mathbf{I-TEQ (N ATO/CCMS) inkl LOQ:} \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (16,4 - 8,66)}{16,4 - 8,66}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 16,4}{16,4}\right)^2} = 0,21\%$$

Felfortplantning för gips efter tvättning med aktivt kol, retentionstid: 60 min

$$\mathbf{2,3,7,8TetraCDD:} \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (0,439 - 0,341)}{0,439 - 0,341}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 0,439}{0,439}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\mathbf{1,2,3,7,8-PentaCDD:} \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (2,39 - 1,26)}{2,39 - 1,26}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 2,39}{2,39}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\mathbf{1,2,3,4,7,8-HexaCDD:} \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (2,71 - 1,46)}{2,71 - 1,46}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 2,71}{2,71}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\mathbf{1,2,3,6,7,8-HexaCDD:} \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (4,61 - 2,33)}{4,61 - 2,33}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 4,61}{4,61}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\mathbf{1,2,3,7,8,9-HexaCDD:} \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (3,75 - 1,85)}{3,75 - 1,85}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 3,75}{3,75}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\mathbf{1,2,3,4,6,7,8-HeptaCDD:} \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (38,8 - 19,9)}{38,8 - 19,9}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 38,8}{38,8}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\mathbf{OktaCDD:} \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (92,6 - 48,1)}{92,6 - 48,1}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 92,6}{92,6}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\mathbf{2,3,7,8TetraCDF:} \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (3,38 - 1,46)}{3,38 - 1,46}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 3,38}{3,38}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\mathbf{1,2,3,7,8-PentaCDF:} \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (6,09 - 3,02)}{6,09 - 3,02}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 6,09}{6,09}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\mathbf{2,3,4,7,8-PentaCDF:} \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (11,9 - 5,98)}{11,9 - 5,98}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 11,9}{11,9}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\mathbf{1,2,3,4,7,8-HexaCDF:} \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (15,6 - 8,46)}{15,6 - 8,46}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 15,6}{15,6}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\mathbf{1,2,3,6,7,8-HexaCDF:} \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (16,8 - 8,96)}{16,8 - 8,96}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 16,8}{16,8}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\mathbf{1,2,3,7,8,9-HexaCDF:} \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (2,22 - 1,58)}{2,22 - 1,58}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 2,22}{2,22}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\mathbf{2,3,4,6,7,8-HexaCDF:} \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (23,1 - 13,2)}{23,1 - 13,2}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 23,1}{23,1}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\mathbf{1,2,3,4,6,7,8-HeptaCDF:} \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (61,8 - 32,7)}{61,8 - 32,7}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 61,8}{61,8}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\mathbf{1,2,3,4,7,8,9-HeptaCDF:} \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (11,3 - 6,36)}{11,3 - 6,36}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 11,3}{11,3}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\mathbf{OktaCDF:} \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (33,6 - 18,7)}{33,6 - 18,7}\right)^2 + \left(\frac{0,15 - 33,6}{33,6}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\mathbf{WHO(2005)-PCDD/F TEQ exkl. LOQ:} \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (14,7 - 7,52)}{14,7 - 7,52}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 14,7}{14,7}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\mathbf{WHO(2005)-PCDD/F TEQ inkl. LOQ:} \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (15 - 8,02)}{15 - 8,02}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 15}{15}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\mathbf{I-TEQ (N ATO/CCMS) exkl LOQ:} \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (16,1 - 8,20)}{16,1 - 8,20}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 16,1}{16,1}\right)^2} = 0,21\%$$

$$\mathbf{I-TEQ (N ATO/CCMS) inkl LOQ:} \sqrt{\left(\frac{\delta(m_i \text{ före} - m_i \text{ efter})}{m_i \text{ före} - m_i \text{ efter}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_i \text{ före}}{m_i \text{ före}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot (16,4 - 8,70)}{16,4 - 8,70}\right)^2 + \left(\frac{0,15 \cdot 16,4}{16,4}\right)^2} = 0,21\%$$