NATIONAL ENVIRONMENTAL MONITORING COMMISSIONED BY THE SWEDISH EPA

SWEDISH ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY

IVL SVENSKA MILJÖINSTITUTET

Flotationskemikalier

En sammanfattning av två rapporter inom Naturvårdsverkets screeningprogram 2022–2025

Rapportnummer: C11090
Författare: Sandra Fischer
ISBN nummer: 978-91-7883-787-8

Medel från: Naturvårdsverket

[Flotationskemikalier, gruvor, xantater, ytvatten]

Summary

This report provides a Swedish summary of two sub-studies on flotation chemicals used at Swedish mining sites conducted within the Swedish Environmental Protection Agency's screening program. Between 2022 and 2025, the project comprised both a literature review of commonly used flotation chemicals and their potential environmental impacts, as well as a field investigation of chemical concentrations downstream of four sulfide ore mines. The literature review shows that particularly xanthates are widely used and have documented toxic effects, while knowledge of other chemicals and products, such as Atrac, Danafloat, MagnaFloc, ether diamines, and phosphoric acid esters, remains limited. The main knowledge gaps concern potential long-term effects and risk of sublethal toxicity to higher organisms, temperature-dependent degradation, and dilution dynamics in natural stream systems.

The field study also included the development of analytical methods for xanthates and thiocarbamates, enabling detection of low concentrations. Field sampling conducted in 2024–2025 showed that xanthates and/or thiocarbamates occurred downstream of all investigated mines, in 34 of 85 samples, with concentrations ranging from 0.2 to 250 µg/L. More than 70% of detections were below 10 µg/L, which are lower than most reported toxicity thresholds for aquatic organisms. However, the ecotoxicological data show substantial variability, and the sampling captured only snapshots of conditions in surface waters. A robust environmental risk assessment therefore requires longer monitoring series, studies on potential chronic toxic effects, and analyses of synergistic interactions between flotation chemicals and metals.

Sammanfattning

Den här rapporten är en svensk sammanfattning av två delstudier om flotationskemikalier vid svenska gruvor som genomförts inom Naturvårdsverkets screeningprogram. Mellan 2022 och 2025 omfattade projektet dels en litteraturgenomgång av vanligt förekommande flotationskemikalier och deras potentiella miljöpåverkan, och dels en empirisk undersökning av kemikaliekoncentrationer nedströms fyra sulfidmalmsgruvor. Litteraturstudien visar att särskilt xantater används i stor omfattning och har dokumenterade toxiska effekter, medan kunskapen om andra kemikalier och produkter, såsom Atrac, Danafloat, MagnaFloc, eterdiaminer och fosforsyraestrar, är begränsad. De främsta kunskapsluckorna rör eventuella långtidseffekter och risk för subletal toxicitet gentemot högre organismer, temperaturberoende nedbrytning och utspädningsförhållanden i naturliga vattendrag.

Fältundersökningen inkluderade även en utveckling av analysmetoder för xantater och tiokarbamater, vilket möjliggjorde detektion av låga koncentrationer. Fältprovtagningen 2024–2025 visade att xantater och/eller tiokarbamater förekom nedströms samtliga studerade gruvor, i 34 av 85 prover, med halter mellan 0,2 och 250 µg/l. Mer än 70 % av analyssvaren låg under 10 µg/l, nivåer som understiger majoriteten av rapporterade toxicitetsdata för vattenlevande organismer. Det ekotoxikologiska underlaget är dock mycket varierande, och fältprovtagningen omfattade endast momentana mätningar i ytvatten. För en robust miljöriskbedömning krävs därför längre mätserier, studier av eventuella kroniskt toxiska effekter samt analyser av synergier mellan flotationskemikalier och metaller.

Innehållsförteckning

Summary 3

Sammanfattning 4

1 Inledning 6

2 Flotationskemikalier 7

2.1 Xantater 8

2.2 Övriga flotationskemikalier 8

2.2.1 Atrac 8

2.2.2 Danafloat 9

2.2.3 MagnaFloc 9

2.2.4 Eterdiaminer 10

2.2.5 Fosforsyraestrar 10

3 Fältprovtagning 11

4 Sammanfattande diskussion 13

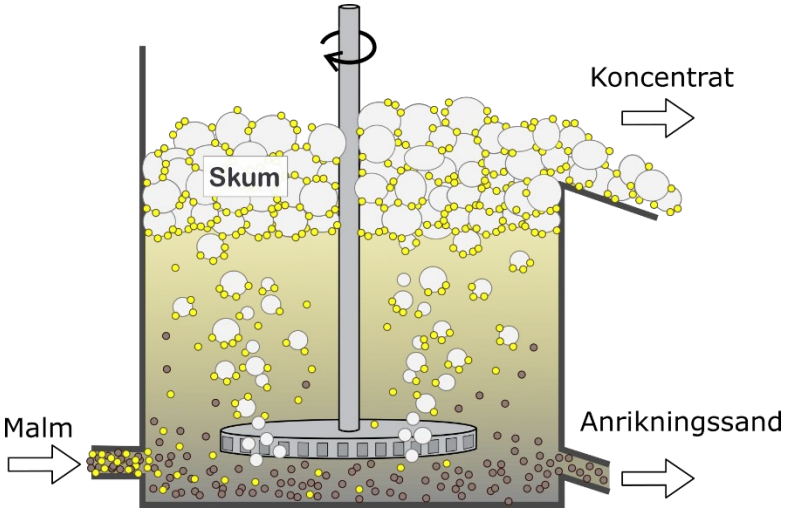
5 Slutsatser och rekommendationer 14

Referenser 16

1 Inledning

Under 2022 initierade Naturvårdsverket ett screeningprojekt för flotationskemikalier som används vid svensk gruvverksamhet. Projektet inleddes med en litteraturstudie för att identifiera vilka ämnen som för närvarande används vid svenska gruvor samt för att bedöma deras potentiella miljörisker. Litteraturstudien (Fischer och Jarsjö, 2023) utfördes av Stockholms universitet och sammanställde information om användningsvolymer, toxicitet, nedbrytning, bioackumulering och rådande analysmöjligheter. Nästa steg inom screeningprojektet fokuserade på metodutveckling av analysmetoder samt fältprovtagning för att undersöka förekomsten av prioriterade kemikalier nedströms gruvanläggningar. Arbetet utfördes av IVL Svenska Miljöinstitutet under 2024 och 2025 och resulterade i en rapport om fältprovtagningen (Fischer *m.fl.*, 2025). Den här rapporten är en svensk sammanfattning av både litteraturstudien och fältprovtagningen, för detaljer hänvisas till de två originalrapporterna.

Flotationskemikalier används i stor utsträckning inom gruvindustrin för att separera mineraler från gråberg. Flera olika kemikalier används för att tillsammans modifiera mineralytornas egenskaper och optimera separationsprocessen. Till exempel, så kallade samlarreagener har till syfte att göra mineralytorna antingen hydrofoba eller hydrofila. När luft pumpas in i flotationscellerna fäster de modifierade mineralerna vid luftbubblorna, stiger upp till ytan och kan där avskiljas (Figur 1). Det avskilda restmaterialet från flotationscellerna leds sedan till sandmagasin för sedimentation. För att upprätthålla säkra driftförhållanden i sandmagasinen släpps ibland överskottsvatten ut (så kallad bräddning) till den omgivande miljön. Det är i detta utgående vatten som eventuella rester av flotationskemikalier kan nå akvatiska miljöer nedströms.



Figur 1. Principskiss över skumflotation. Originalbild på engelska tagen från Fischer och Jarsjö (2023).

Trots att flotationskemikalier har använts under årtionden och med kända potentiellt negativa effekter för akvatiska organismer (Bertills *m.fl.*, 1986), har provtagning nedströms gruvverksamhet varit knapphändig på grund av otillräckliga analysmetoder. Nedbrytningstester för flotationskemikalier har dessutom främst utförts i kontrollerade laboratoriemiljöer vid eller över rumstemperatur (Chen *m.fl.*, 2011; Li *m.fl.*, 2021). Sådana studier är inte nödvändigtvis representativa för faktiska fältförhållanden, särskilt inte i kalla klimat. Det är därför viktigt att undersöka hur det faktiskt ser ut nedströms svenska gruvor och om miljörisker föreligger. Det finns därför betydande kunskapsluckor kring hur dessa ämnen beter sig och eventuellt påverkar miljön under verkliga driftsförhållanden. Att undersöka detta är centralt för att bedöma riskerna med dagens och framtidens gruvverksamhet samt för att säkerställa ett långsiktigt skydd av vattenmiljöer.

2 Flotationskemikalier

Litteraturstudien (Fischer och Jarsjö, 2023) identifierade de flotationskemikalier som används mest vid svenska gruvor och sammanfattade tillgänglig information om deras potentiella miljöpåverkan. De ämnen som främst studerades var xantater (en kemikaliegrupp som går under flera produktnamn) samt de enskilda produkterna Atrac, Danafloat och MagnaFloc. Även eterdiaminer och fosforsyraestrar lyftes fram som kemikalier som kan bli relevanta i framtiden och därför viktiga att följa. Nedan inom kapitel 2 sammanfattas kortfattat vad som är känt om dessa ämnen utifrån litteraturstudien som huvudsakligen genomfördes

under 2022. Eventuell nyare information som tillkommit efter detta har inte beaktats.

2.1 Xantater

Xantater är en av de vanligaste flotationsreagenserna för sulfidmineral, och utgör den huvudsakliga aktiva beståndsdelen i reagensprodukter som Flomin och Nascol. Xantater har den generella kemiska formeln $ROCS_2$-M^+, där R är en alkylgrupp och M^+ en metalljon (Kemppinen *m.fl.*, 2015). Vanligt förekommande xantatvarianter är etylxantat (EtX; exempelvis som *sodium ethyl xanthate* eller SEX), butylxantat (BuX; exempelvis som *sodium O-isobutyl xanthate* eller SIBX), amylxantat (AmX; exempelvis som *potassium isopentyl xanthate* eller PAX) och isopropylxantat (IpX; exempelvis som *sodium isopropyl xanthate* eller SIPX). Dessa eller liknande xantatvarianter har använts vid samtliga sulfidmalmsgruvor i Sverige (Fischer och Jarsjö, 2023).

Ekotoxikologiska data för xantater varierar kraftigt; samma xantat och testorganism kan ge resultat som skiljer flera storleksordningar i toxicitet, se exempelvis Bararunyeretse *m.fl.* (2022) och Fischer och Jarsjö (2023) med appendix. Även mellan olika xantater och olika testorganismer är variationen stor. Till exempel rapporterar Webb *m.fl.* (1998) dödliga koncentrationer (LC_{50}), vid vilka 50% av testorganismerna dör, till mellan 10 000 och 100 000 µg/l för isobutylxantat hos fisk, medan Bertills *m.fl.* (1986) rapporterar effektkoncentrationer (EC_{50}) mellan 25 och 650 µg/l för alger och mikroorganismer. De flesta tidigare tester för xantater rör just akut toxicitet, så som LC_{50} och EC_{50} som ska återspegla en kortare puls av kemikalieexponering. Tester som rör kronisk toxicitet, dvs. långtid eller kontinuerlig kemikalieexponering så som NOEC (högsta koncentration utan observerbar effekt), finns det däremot få av (se appendix till Fischer och Jarsjö, 2023, för sammanställning av tester).

2.2 Övriga flotationskemikalier

2.2.1 Atrac

Atrac är en samlarreagens som används för omvänd flotation av apatit vid anrikning av magnetitmalm (Fe_3O_4) när berget innehåller höga fosforhalter. Det vill säga, här skummar man av apatiten (och inte malmen) med hjälp av Atrac medan

själva magnetitmalmen förs vidare till ytterligare bearbetning. Apatitflotation kan använda olika typer av reagenser (se översikt av Sis och Chander, 2003), men Atrac verkar främst vara kopplat till järnmalmsproduktion i Sverige.

Informationen i ECHA:s registreringsdossier (EC nr. 417-960-5) om ämnets miljöegenskaper är begränsad; ämnet anges som relativt lättnedbrytbar (86 % nedbrytning efter 28 dagar) men klassificeras som giftigt för vattenlevande organismer med långtidseffekter. Akut toxicitet (LC_{50}) för fisk och evertebrater ligger på 2–7 mg/l och kronisk toxicitet (NOEC) på 0,06–0,8 mg/l (ECHA, EC nr. 417-960-5).

Produkten Atrac 1563 är ett anjoniskt fettsyrebaserat reagens bestående av en blandning av samlarreagenser och skumregulatorer (AkzoNobel, 2006; Forsmo *m.fl.*, 2008) vilket troligtvis gör den svår att analysera. Huvudkomponenterna i Atrac är etoxilerad talloljeester av maleinsyra och maleinsyraanhydrid, vilken snabbt hydrolyserar till maleinsyra (CAS nr. 110-16-7) i kontakt med vatten.

2.2.2 Danafloat

Produkten Danafloat är ett flotationsreagens för sulfidmalmer som uppges ha bättre selektivitet än xantater (Marabini *m.fl.*, 1991; Buckley *m.fl.*, 2014). Danafloat består av tiokarbamat (även kallad *O-isopropyl ethylthiocarbamate*; IPETC) och ditiofosfat (även kallad *O,O-diisobutyl dithiophosphate*) och vetenskaplig information om deras miljöpåverkan är begränsad. Enligt ECHA (CAS nr. 141-98-9, registrerat som Danafloat 262) är beståndsdelarna svårnedbrytbara men förväntas inte bioackumuleras.

Olika varianter på Danafloat har använts vid några av de svenska gruvorna men inga mätningar från nedströms områden finns tillgängliga. Tiokarbamat kan analyseras med vätskekromatografi (HPLC) och UV-Vis-spektrofotometer.

2.2.3 MagnaFloc

Produkten MagnaFloc är ett vanligt flockningsmedel vid mineralanrikning men används även inom exempelvis avloppsvattenrening och markstabilisering. Det består bland annat av polyakrylamider (PAM) som är vattenlösliga polymerer framställda från akrylamid och akrylsyra (Caulfield, Qiao och Solomon, 2002). MagnaFloc som kemikalie är inte registrerad i ECHA och informationen om beståndsdelarna är begränsad. Polyakrylamid/akrylamid har dock flera CAS-

nummer (t.ex. 9003-05-8 och 79-06-1) och anjoniska PAM anses generellt vara harmlösa för vattenlevande organismer, med låg risk för bioackumulering och höga LC_{50}-värden (>600 mg/l för fisk) samt NOEC vid 300 mg/l (Beim och Beim, 1994; Liber *m.fl.*, 2005). Oro finns dock kring resthalter av akrylamid som kan kvarstå efter polymerisering (Caulfield *m.fl.*, 2002; Bach *m.fl.*, 2016) och därför är det viktigt att produktens renhetsgrad tydligt anges. Akrylamid klassas som sannolikt cancerframkallande för människor (US EPA, 2010), och dess nedbrytning verkar enligt Guezennec m. fl. (2015) vara temperaturberoende; ingen nedbrytning observerades efter 72 timmar vid 15 °C, medan fullständig nedbrytning skedde vid 25 °C.

Användning av MagnaFloc har rapporterats från de flesta anrikningsverk i Sverige men inga mätningar i nedströms miljöer verkar finnas. Det beror antagligen på att MagnaFloc kan vara svår att analysera med tanke på att flockningsmedlet består av flera olika föreningar i varierande mängder.

2.2.4 Eterdiaminer

I järnmalmsfyndigheter med högre halter av kiseldioxid (SiO_2) kan omvänd kiselflotation vara nödvändig för effektiv anrikning av magnetit. De vanligaste samlarreagenserna för kiselflotation är katjoniska eteraminer, där både etermonoaminer och eterdiaminer används under olika handelsnamn, exempelvis Tomamine M-73, Flotigam 2835-2L/EDA 3, Lilaflot D817M och Duomeen T (Filippov *m.fl.*, 2010; LKAB, 2016; Dhar *m.fl.*, 2019). Vetenskapliga studier om eterdiaminers ekotoxikologiska effekter är få och motsägelsefulla. Vissa framhåller dem som ett miljövänligare alternativ till xantater (Dhar *m.fl.*, 2019), medan säkerhetsdatablad anger att de är mycket giftiga för vattenlevande organismer med långtidseffekter (AkzoNobel, 2017). Eterdiaminer är inte lättnedbrytbara men förväntas inte bioackumuleras (ECHA, 2022). Öppet tillgängliga fältstudier på eterdiaminer nedströms gruvor verkar saknas.

2.2.5 Fosforsyraestrar

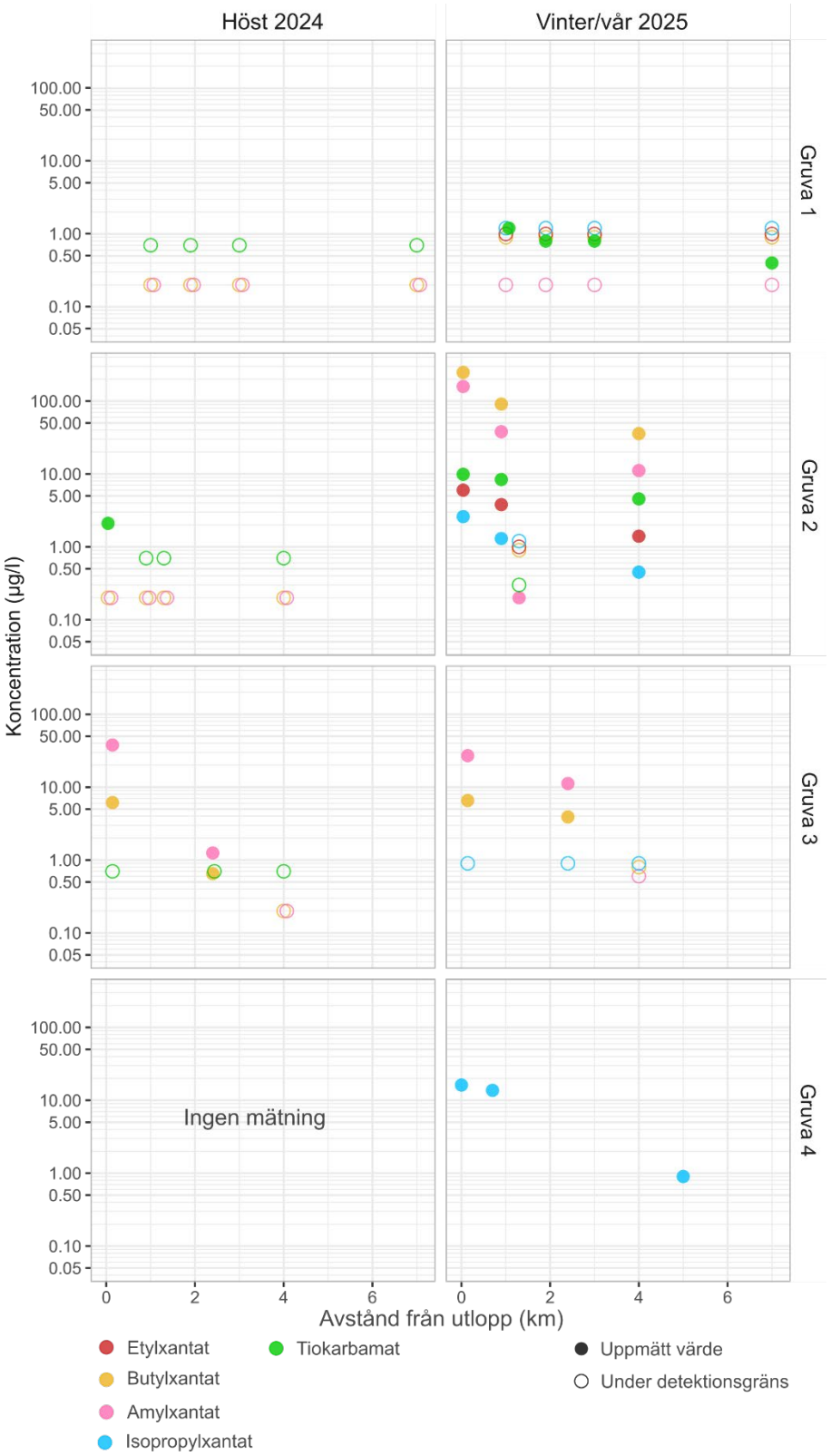
Anrikning av sällsynta jordartsmetaller (på engelska rare earth elements; REE) från mineralet eudialyt kan ske genom en kombination av magnetseparation och skumflotation med en etoxylerad ester av fosforsyra som samlarreagens (Silin *m.fl.*, 2022). Fosforsyraestern kan gå under produktnamnet Flotinor, men den exakta strukturen är okänd och varken CAS-nummer eller ECHA-registrering kunde hittas. Ett säkerhetsdatablad för Flotinor SM15 anger LC_{50} för fisk på 10–100 mg/l

och EC_{50} för bakterier över 1000 mg/l, men vetenskaplig litteratur om ämnets akvatiska toxicitet saknas (Escudero-Oñate och Bjarnar Løken, 2017). Forskning kring flotation av REE verkar främst inriktad på karbonatmalmer (där merparten av världens fyndigheter finns), medan kunskap saknas om flotation av alkaliska/peralkaliska magmatiska bergarter som finns i svenska fyndigheter av sällsynta jordartsmetaller i exempelvis Kiruna och Norra Kärr (Stark *m.fl.*, 2017; Marion *m.fl.*, 2020; Krolop *m.fl.*, 2022).

3 Fältprovtagning

Från litteraturstudien (Fischer och Jarsjö, 2023) identifierades xantater och tiokarbamater som lämpliga fokuskemikalier för fältprovtagning. Vattenprover togs nedströms fyra olika sulfidgruvor vid ett eller två tillfällen mellan hösten 2024 och våren 2025, beroende på lokala förhållanden. Utförlig metodbeskrivning för fältprovtagningen och analysmetoden finns i Fischer *m.fl.* (2025).

Resultaten från fältprovtagningen visade att xantater och/eller tiokarbamater påträffades nedströms samtliga provtagna gruvor, med generellt avtagande nivåer längre nedströms (Figur 2). Av totalt 85 analyser visade 34 detekterbara halter. Högst koncentrationer uppmättes för butylxantat (250 µg/l) och amylxantat (160 µg/l) närmast respektive utsläppspunkt, och halter över 10 µg/l kunde mätas upp till 4 km nedströms. Resultaten beaktar inte utspädningseffekter och avståndet bör därför endast tolkas som hur långt nedströms ämnena kunde påvisas. Det begränsade antalet prover per plats och tillfälle möjliggör inte någon säsongsvis jämförelse.



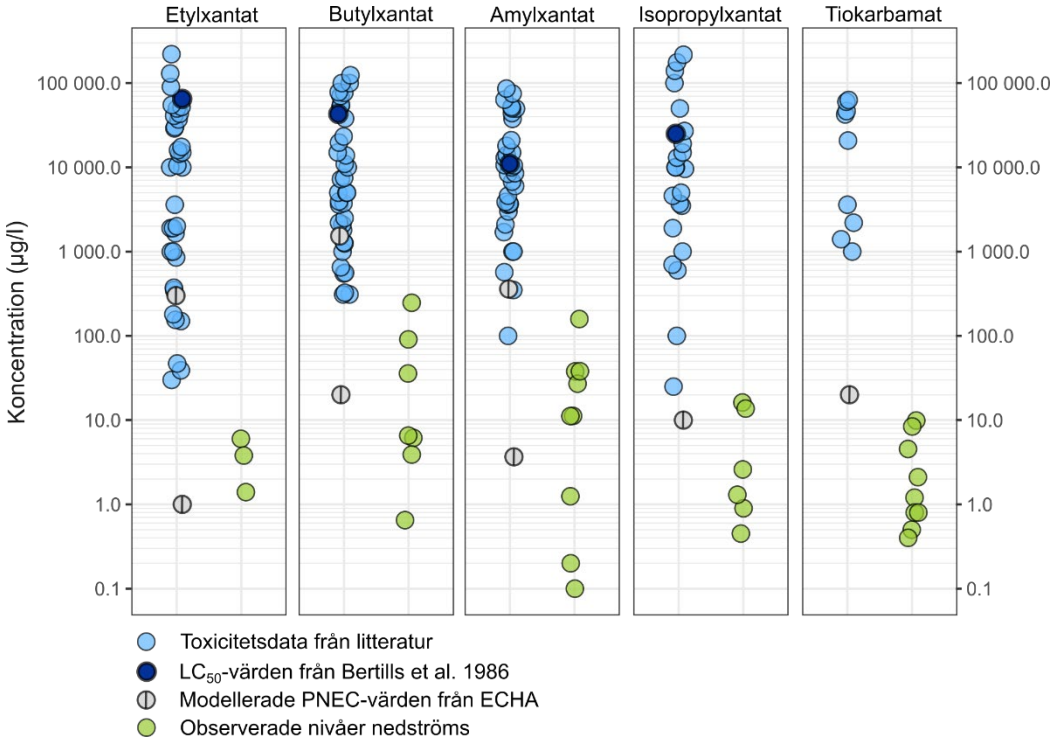
Figur 2. Koncentrationer av xantater och tiokarbamat i vattenprov i förhållande till avståndet från utsläppspunkten vid sedimentationsdamm. Tomma cirklar markerar prover under detektionsgränsen från respektive analys för de olika kemikalierna.

4 Sammanfattande diskussion

Screening av flotationskemikalier nedströms gruvområden innebär flera utmaningar. Dels varierar de använda kemikalierna över tid beroende på malmsammansättning och processförändringar, vilket gör att äldre kemikalier kan finnas kvar i sedimentationsdammar och läcka ut långt efter att användningen upphört. Dels är kemikaliernas nedbrytning och reaktionsmekanismer bristfälligt beskriven i litteraturen. Detta försvårar prioriteringen av vilka kemikalier som bör studeras närmare med avseende på toxicitet och eventuella effekter i miljön.

De koncentrationer av flotationskemikalier som påträffades under den här fältprovtagningen (0,2–250 µg/l) är jämförbara med de som rapporterades på 1980-talet (2–3000 µg/l; Walterson, 1984) vid provtagningar nedströms svenska gruvor. Trots att dagens anrikningsprocesser sannolikt använder lägre kemikaliedosering än på 80-talet, kan detekterbara koncentrationer fortfarande hittas nedströms i vattensystemen. Förekomst i sig innebär dock inte nödvändigtvis biologiska effekter. I det provtagna datasetet låg 24 av 34 prover under 10 µg/l (Figur 2), vilket är lägre än majoriteten av rapporterade ekotoxicitetsnivåer.

Figur 3 visar uppmätta halter av xantater och tiokarbamater i relation till publicerad toxicitetsdata för vattenlevande organismer (främst baserad på översikten i Fischer och Jarsjö, 2023). Här framgår ett visst överlapp med PNEC-värden (predicted no effect concentration; grå punkter med vertikalt streck i Figur 3), vilka i flera fall ligger lägre än några av de uppmätta koncentrationerna. Den högsta uppmätta koncentrationen av amylxantat (160 µg/l) överstiger också EC_{50}-värdet på 100 µg/l för tillväxthämning för alger. Det är dock svårt att dra robusta slutsatser om risknivåer för akvatiska ekosystem utifrån ett begränsat antal mätningar som endast visar momentan förekomst och där metodosäkerheten i värsta fall kan uppgå till 44 %. Tillgängliga toxicitetsdata är dessutom mycket varierande vad gäller testorganismer och effektnivåer. För en mer välgrundad bedömning krävs både långtidsmätningar av halter i miljön och fler studier av kronisk toxicitet.



Figur 3. Jämförelse av rapporterade toxicitetsdata från litteraturen (blå punkter) med observerade koncentrationer i nedströms vatten (gröna punkter). Toxicitetsdatan inkluderar alla tillgängliga toxicitetsnivåer (LC_{50}, EC_{50}, NOEC etc.) för alla tillgängliga testorganismer. De LC_{50} värden som använts av Bertills et al. (1986) är markerade i mörkblått, och PNEC-värden från ECHA är markerade i grått med en vertikal linje.

Bertills *m.fl.* (1986) visade på potentiella synergieffekter mellan xantater och metaller vad gäller LC_{50}-värden för fisk. Dessa försök använde dock relativt höga xantatkoncentrationer (se mörkblå prickar i Figur 3) jämfört med nu uppmätta nivåer, och det är oklart om liknande effekter uppstår vid lägre halter. Framtida studier bör därför undersöka sådana synergieffekter vid subletala effektnivåer och för fler organismer än fisk. Nuvarande kontrollprogram för bräddvatten fokuserar främst på metallhalter.

5 Slutsatser och rekommendationer

Nedan är några av huvudslutsatserna från litteraturstudien av Fischer och Jarsjö (2023) och fältprovtagningen av Fischer *m.fl.* (2025). För fullständiga slutsatser hänvisas till originalrapporterna.

Litteraturstudien:

- Nuvarande användning av flotationskemikalier, särskilt xantater, vid svenska gruvor kan utgöra en risk för nedströms vattenlevande organismer. Det är därför viktigt att övervaka xantater i vatten vid och nedströms gruvområden. Även andra flotationskemikalier kan vara skadliga, men betydande kunskapsluckor om deras egenskaper försvårar bedömningen av deras miljöpåverkan.

- Kvarvarande kunskapsluckor rör främst: (1) långtidseffekter på subletal nivå från återkommande utsläpp av processvatten under årtionden jämfört med tillgängliga ekotoxikologiska studier som fokuserar på effekter från korttidsexponering, (2) studier om temperaturberoende nedbrytning relevanta för svenska förhållanden, (3) utspädningseffekter av bräddvatten nedströms gruvområden, särskilt under våren när tidigare fruset vatten mobiliseras.

Fältprovtagning:

- Ytvattenprover samlades in under hösten 2024 och våren 2025 från fyra svenska sulfidmalmsgruvor under pågående bräddning. Totalt analyserades 85 ytvattenprover, varav xantat- och tiokarbamat påträffades i 34 av proverna i koncentrationer mellan 0,2 och 250 µg/l. Dessa nivåer är lägre men jämförbara med de som rapporterades under 1980-talet (2–3000 µg/l; Walterson, 1984).

- Mer än 70 % av analyssvaren låg under 10 µg/l, vilket är lägre än de flesta rapporterade toxicitetsnivåer. Tillgängliga toxicitetsdata för vattenlevande organismer är dock mycket spridda, med PNEC-värden som varierar mellan 1 och 1500 µg/l. Med tanke på att det här screeningprojektet bygger på ett begränsat antal mätningar för momentan förekomst går det därför inte att dra robusta slutsatser om ekologiska risker.

- Rekommendationer för fortsatt arbete inkluderar: (1) ekotoxikologiska studier med andra trofinivåer och subletala effektvariabler för att öka förståelsen för potentiella biologiska effekter, (2) vidare tester av synergistiska effekter mellan flotationskemikalier och metaller vid miljörelevanta koncentrationer, och (3) övervakning av bland annat xantaters nedbrytningsprodukter, exempelvis via headspace-analys av CS_2 eller suspect screening för tiokarbamatintermediärer i recipientvatten.

Referenser

AkzoNobel (2006) *Safety Data Sheet: Atrac 1563*. Akzo Nobel Surface Chemistry AB.

AkzoNobel (2017) ”Safety Data Sheet: Duomeen T 360 LB OH DR”. Tillgänglig vid: https://www.univarsolutions.com/documents/file/view/code/sds_file/id/88578/.

Bach, L. *m.fl.* (2016) *Review on environmental risk assessment of mining chemicals used for mineral separation in the mineral resources industry and recommendations for Greenland*. 203. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy.

Bararunyeretse, P. *m.fl.* (2022) ”Essentiality, Fate, Ecotoxicity, and Health Effects of Xanthates and Xanthates Based-Compounds—A Review”, *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 10(12), s. 161–203. Tillgänglig vid: https://doi.org/10.4236/gep.2022.1012011.

Beim, A.A. och Beim, A.M. (1994) ”Comparative ecological – toxicological data on determination of maximum permissible concentrations (MPC) for several flocculants”, *Environmental Technology*, 15(2), s. 195–198. Tillgänglig vid: https://doi.org/10.1080/09593339409385420.

Bertills, U. *m.fl.* (1986) *Biological effects of xanthates (Swedish title: Biologiska effekter av xantater) [In Swedish]*. Naturvårdsverket.

Buckley, A.N. *m.fl.* (2014) ”Adsorption of O-isopropyl-N-ethyl thionocarbamate on Cu sulfide ore minerals”, *Minerals Engineering*, 69, s. 120–132. Tillgänglig vid: https://doi.org/10.1016/j.mineng.2014.08.002.

Caulfield, M.J., Qiao, G.G. och Solomon, D.H. (2002) ”Some Aspects of the Properties and Degradation of Polyacrylamides”, *Chemical Reviews*, 102(9), s. 3067–3084. Tillgänglig vid: https://doi.org/10.1021/cr010439p.

Chen, S. *m.fl.* (2011) ”Primary biodegradation of sulfide mineral flotation collectors”, *Minerals Engineering*, 24(8), s. 953–955. Tillgänglig vid: https://doi.org/10.1016/j.mineng.2011.01.003.

Dhar, P., Thornhill, M. och Kota, H.R. (2019) ”Purification of High-grade Calcite Ore by Flotation with Alkyl Diamines”, *Mining, Metallurgy & Exploration*, 36(2), s. 463–474. Tillgänglig vid: https://doi.org/10.1007/s42461-018-0002-1.

ECHA (2022) *REACH - Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals Regulation. Registrered Subsstances Factsheets. [Database]*. European Chemicals Agency (ECHA). https://echa.europa.eu/information-on-chemicals/registered-substances. Tillgänglig vid: https://echa.europa.eu/information-on-chemicals/registered-substances.

Escudero-Oñate, C. och Bjarnar Løken, K. (2017) *Process chemicals from mineral extraction and possible uptake in fish (Norwegian title: Prossesskjemikalier fra mineralutvinning og eventuelt opptak i fisk) [In Norwegian]*. 7183–2017. Norwegian Institue for Water Research (NIVA).

Filippov, L.O., Filippova, I.V. och Severov, V.V. (2010) ”The use of collectors mixture in the reverse cationic flotation of magnetite ore: The role of Fe-bearing silicates”, *Minerals Engineering*, 23(2), s. 91–98. Tillgänglig vid: https://doi.org/10.1016/j.mineng.2009.10.007.

Fischer, S. *m.fl.* (2025) *Screening of flotation chemicals: Water sampling downstream Swedish mines*. C11072. Stockholm: IVL Svenska Miljöinstitutet, Naturvårdsverket.

Fischer, S. och Jarsjö, J. (2023) *Flotation chemicals at Swedish mines: Review of their potential environmental impact*. Naturvårdsverket. Tillgänglig vid: https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:naturvardsverket:diva-10504 (Åtkomstdatum: 15 april 2025).

Forsmo, S.P.E. *m.fl.* (2008) ”Studies on the influence of a flotation collector reagent on iron ore green pellet properties”, *Powder Technology*, 182(3), s. 444–452. Tillgänglig vid: https://doi.org/10.1016/j.powtec.2007.07.015.

Guezennec, A.G. *m.fl.* (2015) ”Transfer and degradation of polyacrylamide-based flocculants in hydrosystems: a review”, *Environmental Science and Pollution Research*, 22(9), s. 6390–6406. Tillgänglig vid: https://doi.org/10.1007/s11356-014-3556-6.

Kemppinen, J. *m.fl.* (2015) ”Xanthate degradation occurring in flotation process waters of a gold concentrator plant”, *Minerals Engineering*, 80, s. 1–7. Tillgänglig vid: https://doi.org/10.1016/j.mineng.2015.05.014.

Krolop, P. *m.fl.* (2022) ”Process Mineralogical Assessment of the Grinding Products of the Per Geijer Iron Oxide-Apatite Deposits”, *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, 43(8), s. 1014–1020. Tillgänglig vid: https://doi.org/10.1080/08827508.2021.2023519.

Li, H. *m.fl.* (2021) ”Toxic response of the freshwater green algae Chlorella pyrenoidosa to combined effect of flotation reagent butyl xanthate and nickel”, *Environmental Pollution*, 286, s. 117285. Tillgänglig vid: https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117285.

Liber, K., Weber, L. och Lévesque, C. (2005) ”Sublethal toxicity of two wastewater treatment polymers to lake trout fry (Salvelinus namaycush)”, *Chemosphere*, 61(8), s. 1123–1133. Tillgänglig vid: https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2005.03.004.

LKAB (2016) *Letter from LKAB to the County Administrative Board of Norrbotten [Swedish title: Information gällande överskridande av PNEC i processvatten i recipientmagasin och Metträsk vid körning med Lilaflot vid LKAB:s anrikningsverk i*

Svappavaara under november 2016] (in Swedish). Luossavaara-Kiirunavaara AB (LKAB).

Marabini, A.M., Barbaro, M. och Alesse, V. (1991) ”New reagents in sulphide mineral flotation”, *International Journal of Mineral Processing*, 33(1), s. 291–306. Tillgänglig vid: https://doi.org/10.1016/0301-7516(91)90059-R.

Marion, C., Li, R. och Waters, K.E. (2020) ”A review of reagents applied to rare-earth mineral flotation”, *Advances in Colloid and Interface Science*, 279, s. 102142. Tillgänglig vid: https://doi.org/10.1016/j.cis.2020.102142.

Silin, I. *m.fl.* (2022) ”Recovery of Catapleiite and Eudialyte from Non-Magnetic Fraction of Eudialyte ore Processing of Norra Kärr Deposit”, *Minerals*, 12(1), s. 19. Tillgänglig vid: https://doi.org/10.3390/min12010019.

Sis, H. och Chander, S. (2003) ”Reagents used in the flotation of phosphate ores: a critical review”, *Minerals Engineering*, 16(7), s. 577–585. Tillgänglig vid: https://doi.org/10.1016/S0892-6875(03)00131-6.

Stark, T., Silin, I. och Wotruba, H. (2017) ”Mineral Processing of Eudialyte Ore from Norra Kärr”, *Journal of Sustainable Metallurgy*, 3(1), s. 32–38. Tillgänglig vid: https://doi.org/10.1007/s40831-016-0073-5.

US EPA (2010) *Toxicological review of acrylamide: In support of summary information on the integrated risk information systems (IRIS)*. United States Environmental Protection Agency (US EPA). Tillgänglig vid: https://cfpub.epa.gov/ncea/iris/iris_documents/documents/toxreviews/0286tr.pdf.

Walterson, E. (1984) *Effects from xanthates at Swedish mineral enrichment plants (Swedish title: Effekter av anrikningsreagenser - Fördelning och spridning av xantater och xantatderivat vid anrikningsverk) [In Swedish]*. B 748. Institutet för vatten- och luftvårdsforskning (IVL).

Webb, McGinness, och Lappin-Scott (1998) ”Metal removal by sulphate-reducing bacteria from natural and constructed wetlands”, *J. Appl. Microbiol.*, 84(2), s. 240–248. Tillgänglig vid: https://doi.org/10.1046/j.1365-2672.1998.00337.x.

STOCKHOLM
Box 21060, 100 31 Stockholm

GÖTEBORG
Box 53021, 400 14 Göteborg

MALMÖ
Nordenskiöldsgatan 24
211 19 Malmö

KRISTINEBERG
(Center för marin forskning och innovation)
Kristineberg 566
451 78 Fiskebäckskil

SKELLEFTEÅ
Kanalgatan 59
931 32 Skellefteå

BEJING, CHINA
Room 612A
InterChina Commercial Building No.33
Dengshikou Dajie
Dongcheng District
Beijing 100006
China

© IVL SVENSKA MILJÖINSTITUTET AB | Tel: 010-788 65 00 | www.ivl.se

Rapporten har granskats och godkänts i enlighet med IVL:s ledningssystem