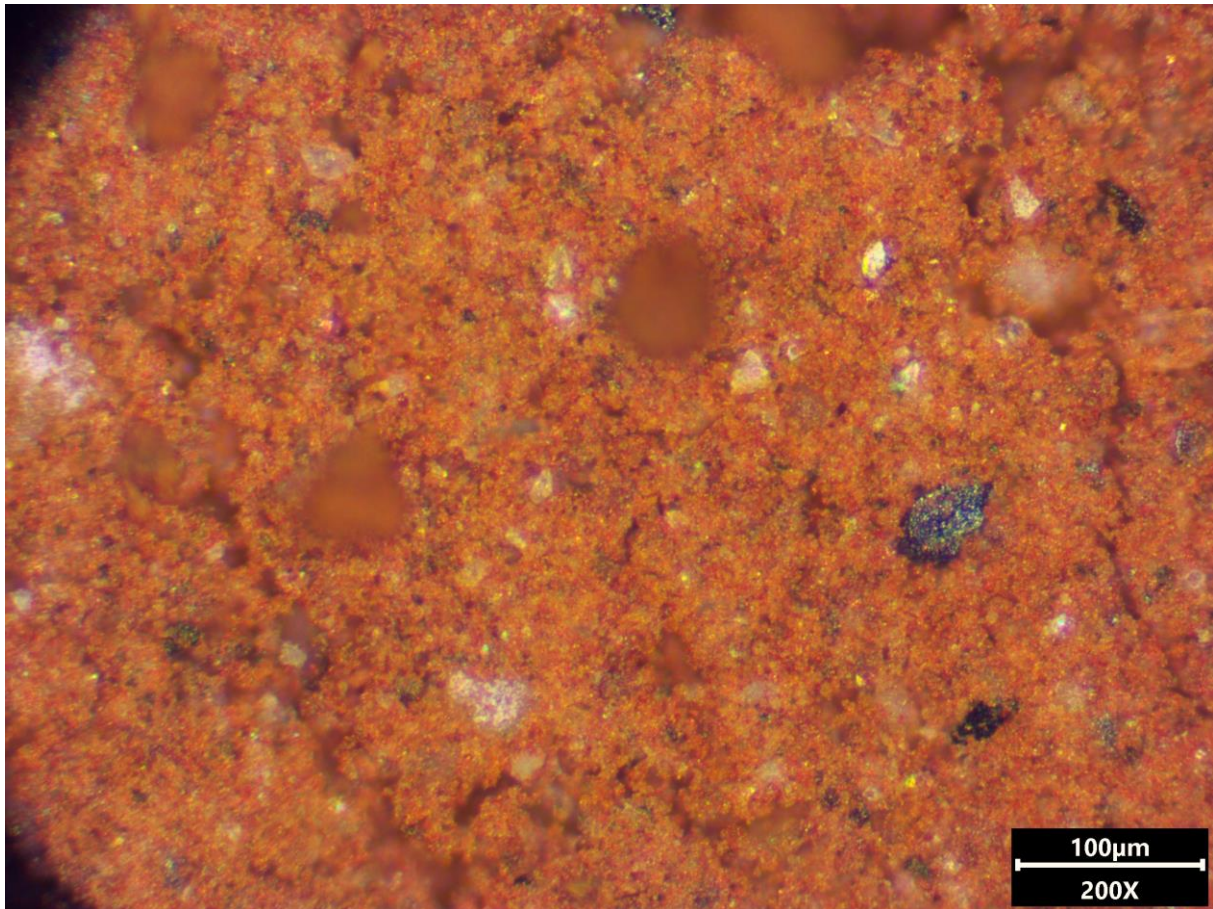




Slutrapport avseende "Forskningskompetens inom utvinning av tungmetaller ur askfraktioner från förbränning av avloppsslam"

Författare:

Nils Skoglund, Universitetslektor och docent i energiteknik

Marjan Bozaghian Bäckman, Tekn.Dr.

Christoffer Boman, Universitetslektor



**Medfinansieras av
Europeiska unionen**

Sammanfattning

Umeå kommun planerar en ny anläggning för att förbränna avloppsslam, och i det arbetet väcks också frågan om hur värdefulla ämnen i slamaskan kan tas tillvara. Rapporten undersöker framför allt möjligheterna att återvinna tungmetaller som koppar, zink och nickel – metaller som finns naturligt i slammet och som blir mer koncentrerade när slammet omvandlas till aska. Syftet är att förstå vilka askfraktioner som är mest intressanta för återvinning, och hur processens utformning påverkar möjligheterna.

Analyser av slam från VAKIN, MIVA och mindre reningsverk visar att halterna av tungmetaller i aska ligger på allt från tiotals till tusentals milligram per kilo. Särskilt zink och koppar förekommer i relativt höga mängder, medan kobolt och arsenik finns i betydligt lägre halter. Även fosfor – som inte är huvudfokus här men är en kritisk råvara inom EU – finns i betydande mängder och kan komma att påverka val av återvinningsmetod. Totalt beräknas askmängden uppgå till runt 6 800 ton per år för hela Norrslamområdet, vilket ger en tydlig bild av resursbasens storlek.

Vid analyser av den producerade askan framträder en blandning av partiklar med olika ursprung, där järnoxider, fosfater, sulfater och silikater dominerar. Tungmetallerna förekommer inte som tydliga egna mineral utan verkar vara inbyggda i andra strukturer, vilket kan påverka hur lätt de går att separera. Samtidigt visar tidigare forskning att vissa metaller – som zink – tenderar att förgasas vid förbränningstemperaturer runt 850 °C och sedan fastna i finare flygaska, medan fosfor och mer svårflyktiga metaller stannar i den grövre bäddaskan. Därför blir askseparationen i själva anläggningen en central fråga för vidare återvinning.

Sammantaget visar rapporten att tungmetallåtervinning sannolikt inte blir lönsam om den fokuserar på enskilda metaller, men att den kan vara mycket intressant om den integreras med fosforåtervinning och med en smart design av askflödena. De finare fraktionerna – som fångas i elektrofilter och filtersteg – kan lämpa sig för riktad utvinning av lättare, mer flyktiga grundämnen, medan bäddaskan kan behandlas mer heltäckande. Om anläggningen designas med återvinning i åtanke redan från början kan detta bli en viktig pusselbit i en större cirkulär hub i Umeå, med möjligheter till framtida EU-finansierade satsningar och regional kompetensutveckling.

Bakgrund

Umeå kommun planerar att utveckla Umeå Eco-industrial Park på Dåvamyran norr om Umeå. En del av arbetet innefattar att etablera en monoförbränningsanläggning för slam genom bolaget Norrslam AB som kommer förbränna avloppsslam från Vatten- och Avfallskompetens i Norr AB (VAKIN) och Miljö och Vatten i Örnsköldsvik AB (MIVA) integrerat med Umeå Energi AB's anläggningar på Dåvamyran. För att integrera förbränningsanläggningen i en cirkulär hub önskar man utredas förutsättningar för värdekedjor kring den aska som produceras.

På EU-nivå har det beslutats eller förbereds flera relevanta ramverk. Det inkluderar EU Urban Wastewater Treatment Directive (EU) 2024/3019 som ger kommissionen befogenhet att besluta om en kombinerad lägsta återanvändnings- och återvinningsgrad för fosfor från slam och från avloppsvatten. Det kopplas även till EU Critical Raw Materials Act Regulation (EU) 2024/1252 som identifierar grundämnen och vissa renhetsgrader som ses som strategiska för den Europeiska Unionen.

Detta arbete utgår från slammängder och tungmetallhalter i torkat slam från VAKIN AB, vilket utgör huvuddelen av materialet för Norrslam och inkluderar slam från kommunerna Umeå, Vindeln, och Nordmaling. Arbetet bygger på erfarenheter från försök med fluidiserad bädd i bänkskala för att bedöma mängd avgående tungmetaller till flygaska.¹⁻⁴ Vidare kommer erfarenheter från fluidbäddsförbränning åsyftande avskiljande av aska från bäddsand under pågående process att ligga till underlag för rapporten.^{5, 6}

Den konsultrapport som tagits fram för Norrslam med titeln *Konceptstudie – Monoförbränning av avloppsslam*⁷ har använts som underlag för processen. Antaganden som påverkar extraktion av askbildande grundämnen kommenteras längre i denna rapport. Grundantaganden om fördelning av tungmetaller i askfraktioner baseras på litteratur. Ingen information kan tas från rapporten avseende förväntad materialtransport eller kring utspädning eller reaktion med eventuellt bäddmaterial.

En avgränsning med arbetet är att de tungmetaller som undersökts enbart inkluderar de som typiskt regleras vid analys av avloppsslam. Således inkluderas inte samtliga grundämnen som avses i EU 2024/1252 där exempelvis sällsynta jordartsmetaller ingår. Vidare är det inte möjligt att inom studien genomföra större förbränningsförsök för att följa separation av tungmetaller vid blandning av slam från VAKIN och MIVA.

Den här rapporten syftar till att identifiera potentiellt relevanta askfraktioner för återvinning av tungmetaller från den bubblande fluidiserade bädden som planeras av Norrslam för monoförbränning av avloppsslam. Rapporten är framåtsyftande rapport och identifierar potentiella utvecklingsområden som senare kan leda till kommersialisering.

Genomförda aktiviteter

Analys av slam

Totalhalter av tungmetaller

Grundämnesanalyser av slam har samlats in från VAKIN vilket täcker avloppsslam från Umeå, Vindeln, och Nordmaling. Analysparametrarna varierar i underlagen men innehåller flera relevanta tungmetaller. Denna data har beräknats om till tungmetall-halt per kg aska.

Inaskning och morfologi

Torkat slam från VAKIN med torrsubstans på cirka 90% inaskades vid 550 °C i två timmar under luft och normalt tryck. Detta processteg möjliggör vidare askanalys av vilka kristallina faser som bildats. Temperaturen som valts är standard för askanalyser och medför liten grad av volatilisering av relevanta grundämnen.

Optisk mikroskopi med polariserat ljus användes för att avbilda de producerade askorna. Syftet är att ge en grundförståelse för partikelstorlekar och eventuell utmaning i separationssteg för tungmetaller.

Kristallina föreningar

Pulverröntgendiffraktion (XRD) användes för att undersöka de dominerade kristallina föreningarna i den producerade askan. Vilka föreningar som bildas vid förbränning är avgörande för att kunna genomföra en effektiv separation av tungmetaller.

XRD-analyser genomfördes vid [MAXS, Umeå universitet](#), med en Bruker D8Advance röntgendiffraktometer utrustad med Lynxeye XE-T-detektor. Proverna förbereddes genom malning i mortel inför analys och tre replikat förbereddes för analys med olika provhållare. Diffraktogram samlades in mellan 2θ 10°-80° och analyserades sedan med hjälp av DIFFRAC.EVA 7.3⁸ och referensdatabasen Crystallographic Open Database⁹.

Omvärldsanalys

Utöver det analytiska arbetet har projektet deltagit i nätverkande aktiviteter för att undersöka hur utvinning av tungmetaller passar inom området. Det har inkluderat att representanter deltog vid "Årskonferens för Svenska Nätverket för Industriell och urban symbios" under 21–22 oktober 2025 i Umeå. Vidare deltog projektet i en så kallad peer review-process 22–24 oktober 2025 i Umeå med titeln "Developing a well-functioning circular hub – a centre of excellence" med deltagare från EU. Vidare deltog representanter vid "Circular Futures Conference 2025", organiserad av de nordiska ambassaderna i Wien under 20–21 oktober, 2025, där nordisk finansiering av cirkulära hubbar utforskats vilket är av relevans för integration av tungmetallextraktion från askfraktioner.

Resultat

Totalhalter av tungmetaller

De totala halterna av fosfor och tungmetaller presenteras i Tabell 1 nedan. Samtliga data baseras på analyser under perioden 2020 – 2025. Trots att fosfor ligger utanför ramen för den här studien spelar koncentrationen roll för potentiellt val av hur resulterande aska ska användas. De saknade värdena för Vindeln och Nordmaling avseende As, B, och Co hör samman med vilka krav som ställs på anläggningarna. Noterbart är att Zn har ett relativt lika medelvärde kring 1300 mg/kg aska från samtliga källor. Cu har en stor punktvariation från Vindeln.

Tabell 1 Halter av fosfor och tungmetaller i aska från olika vattenreningsverk under perioden 2020-2025, med 95%-igt konfidensintervall.

	VAKIN	Vindeln	Nordmaling
	vikt-% aska, torr basis		
Fosfor, P	9,59±2,14	3,44±4,36	5,48±2,17
	mg/kg aska, torr basis		
Arsenik, As	10,4±3,6	-	-
Bor, B	21,9±12,2	-	-
Kobolt, Co	21,8±8,0	-	-
Koppar, Cu	309±100	693±1523	316±378
Nickel, Ni	76,2±19,2	51,9±54,4	48,1±26,9
Zink, Zn	1269±2874	1267±1549	1302±877

Baserat på Tabell 1 är det tydligt att tungmetaller förekommer i koncentrationer om tiotals till något tusental milligram per kg. Baserat på de slammängder på torr basis som presenteras av Norrslam¹⁰ kan en återvinningspotential uppskattas. För vidare beräkningar antas att VAKIN hanterar cirka 12 500 slam på torr basis per år, MIVA cirka 5 000 ton, Vindeln cirka 700 ton, samt Nordmaling cirka 600 ton. I Tabell 2 visas den beräknade potentialen, där det antas att MIVA har liknande koncentrationer av relevanta grundämnen som VAKIN. Totala askmängder uppskattas till cirka 6 800 ton baserat på dessa värden.

Tabell 2 Beräknade askmängder från olika reningsverk. MIVA's värden är uppskattade baserade på VAKIN vilket indikeras med *.

	VAKIN	MIVA	Vindeln	Nordmaling
	Antal ton			
Slam, torr basis	12 500	5 000*	700	600
	vikt-%, torr basis			
Askhalt	36,4±5,3	36,4±5,3*	42,3±24,7	28,6±17,9
	Antal ton			
Aska	4 550±663	1820±265*	296±173	172±107

Baserat på ovanstående kan en maximal utvinningspotential uppskattas i antal ton av fosfor och antal kg av tungmetaller. Det ger en indikation på huruvida något enskilt grundämne kan motivera särskild rening eller om en bred uppslutning med lägre utvinningsgrader är mer relevant.

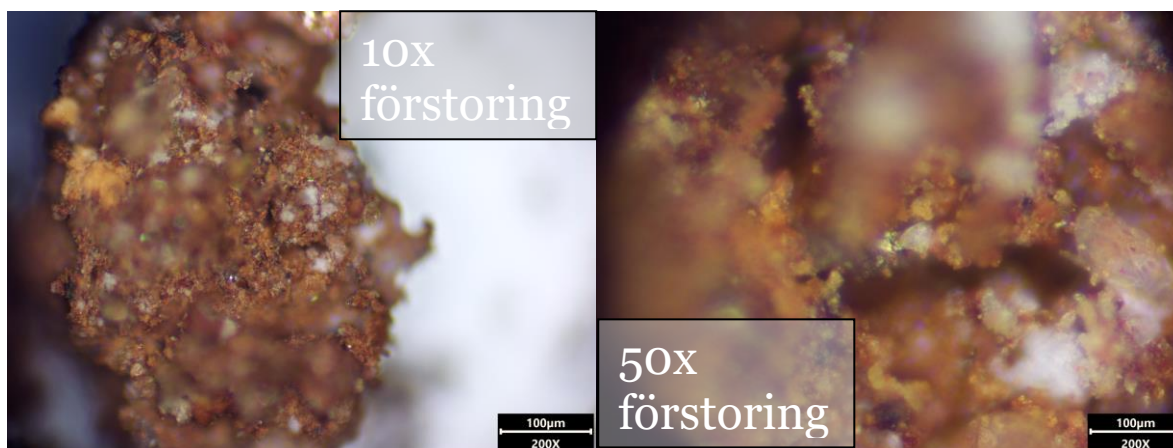
UMEÅ UNIVERSITET

Tabell 3 Sammanfattning av utvinningspotential fosfor och tungmetaller från slamaska inom Norrslam.

	VAKIN	MIVA	Vindeln	Nordmaling
	Antal ton per år			
Fosfor, P	436±14	175±6	10±8	9±2
	Antal kg per år			
Arsenik, As	47±2,4	19±1*	-	-
Bor, B	100±8	40±2*	-	-
Kobolt, Co	99±5	40±1*	-	-
Koppar, Cu	1406±66	562±18*	205±263	54±41
Nickel, Ni	347±13	139±4*	15±9	8±3
Zink, Zn	5775±182	2310±48*	375±268	223±94
	Utvinningspotential per år			
Fosfor, P	630	ton		
Arsenik, As	66	kg		
Bor, B	140	kg		
Kobolt, Co	139	kg		
Koppar, Cu	2227	kg		
Nickel, Ni	509	kg		
Zink, Zn	8684	kg		

Inaskning och morfologi

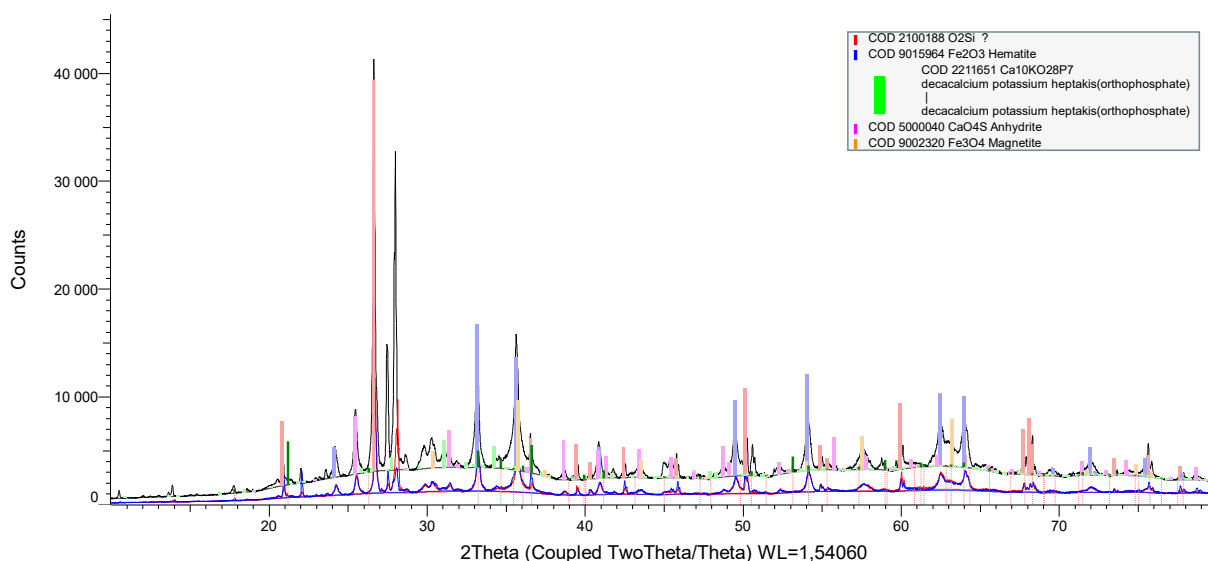
De inaskade proverna innehåller diskreta partiklar av blandat ursprung. De rödbruna partiklar som syns i Figur 1 innehåller är sannolikt från den aska som bildats. Mellan de mycket små partiklarna syns mineralinklusioner som ljusa punkter, vilket är typiskt för sandkorn som följer med in i vattenreningen. Här syns en aggregation mellan de olika partikeltyperna men inga tendenser till smälta. Vid den högre förstoringen (till höger i Figur 1) syns också en porositet mellan partiklar. Det påverkar integriteten hos den aska som kommer att bildas vid förbränning, något som är särskilt viktigt i en fluidiserad bädd. Malning genomfördes som provberedning för XRD-analyser och den bildade askan var lätt att mala ner, vilket kan påverkas av hur mycket partiklarna sintrar ihop förbränning.



Figur 1 Avbildade askpartiklar som tydligt visar på de olika typerna av ingående komponenter. De ljusare områdena bryter ljus som tyder på kristallinitet. Det är typiskt för exempelvis sandkorn. Skallstrecken visar att de flesta partiklar är mindre än normalt bäddmaterial.

Kristallina föreningar

Den bildade askan innehåller främst järnoxid, fosfat, sulfat, samt silikater. Dessa föreningar är typiska för aska från slam som är fällt med järnsalter. Den låga temperaturen vid inaskning gjorde att en del sulfat bildats i form av anhydrit. Ingen ren järnfosfat kunde identifieras i provet vilket ofta är fallet även om slam fällts ut med järninnehållande kemikalier. Ingen förening som innehåller de analyserade tungmetallerna kunde direkt påvisas i provet. Det indikerar att de föreligger som fast lösning och ersätter joner med samma laddning och storlek i andra strukturer, något som kan påverka möjligheten till återvinning.



Figur 2 Diffraktogram från analyserna av inaskat material. Samtliga replikat visar god överensstämmelse, huvudfaserna är indikerade.

Diskussion

De totala halterna visar på att det endast föreligger låga halter av tungmetaller i askor som kan vara kandidater för återvinning. Cu och Zn är de grundämnen som har högst halter av de analyserade, men det krävs en prisbild, exempelvis den publicerad av Sveriges geologiska undersökning¹¹, för att avgöra om det är rimligt att etablera ett återvinningsspår specifikt för de metallerna. Med en potentiell årlig utvinning på motsvarande ~2 ton Cu vid cirka 12 000 USD/ton och ~8 ton Zn vid cirka 3 100 USD/ton indikerar det att en process där flera grundämnen kan utvinnas sannolikt är mer motiverad. Ni har ett värde på ~15 000 USD/ton idag vilket sannolikt ökar på grund av dess relevans för batterisektorn. De relativt små mängderna Co (~0,14 ton) har ett högre värde vid ~53 000 USD/ton. As och B kan eventuellt vara relevanta som sidoströmmar men låga koncentrationer och relativt låga priser gör det mindre attraktivt. Det här blir också avhängigt om det går att separera askfraktioner för metallutvinning från förbränningsprocessen.

Konceptstudien om Norrslam⁷ förespråkar en bubblande fluidiserad bädd som teknikval för förbränningsprocessen. Här finns en viss begreppsförvirring då fokus på fosforåtervinningen

UMEÅ UNIVERSITET

läggs på de fina partiklar som filtreras ut med elektrostatisk utfällning, ESP. Det har i upprepade studier¹²⁻¹⁴ visat sig motsvara mindre än 5% av det fosfor som introduceras med bränslet vid förbränning i en bubblande fluidbädd avgår i gasfas, och ofta ännu mindre. En del av det fosfor som lämnar bäddaskan återfinns i grova askpartiklar som normalt sett avskiljs med cyklon. Konceptstudien föreslår två metoder oftast avsedda för avskiljning av fina partiklar i rad (ESP samt filter), det är oklart vilken om de följt en specifik processdesign och hur grova partiklar ska avskiljas. Vilka askfraktioner – och delar av bäddmaterial – som hamnar var är avgörande för alla återvinningsprocesser. Här brister konceptstudien i att identifiera var återvinning kan ske.

I diskussionen som följer här antas en bäddtemperatur om 850 °C. Eftersom avloppsslam är avfallsklassat finns ett krav om att processen håller minst 850 °C i två sekunder, vilket kan uppnås i bädden eller vid inmatning av sekundär och tertiär luft. Tidigare arbete på hållfasthet hos slamaska i en fluidiserad bädd⁵ visar att grundämnen som Zn och Cr kan separeras från den P-rika bottenaskan i det här steget. Cu och Ni är i huvudsak refraktära vid den här temperaturen. Det finns få studier gjorda specifikt på B, men däremot kan betydligt högre temperaturer i bädden – upp emot 950 C – göra att As volatiliserar.

Separation av vissa grundämnen genom volatilisering är avgörande för vilka återvinningsmetoder som kan vara lämplig senare. De grundämnen som i stort följer de grova partiklarna som stannar i bäddaskan kommer att återfinnas i den typ av rödbruna partiklar som visas i Figur 1. Där återfinns också huvuddelen av fosfor, vilket innebär att en utvinning av exempelvis Cu eller Ni bör integreras med en utvinning av fosfor om man väljer att genomföra en kemisk behandling av bäddaskan för fosforåtervinning.

Här finns en viss utmaning med teknikvalet bubblande fluidiserad bädd – värmeöverföringen sker med hjälp av ett bäddmaterial där konceptstudien utgår från att kvarts ska användas. Det kommer spåda ut den bäddaska som bildas vilket gör att större volymer behöver behandlas för en kemisk separation av fosfor, där sandkorn liknande de som ses i Figur 1 men större kommer att utgöra en stor del av materialet. Ett potentiellt alternativ kan vara att använda slamaska som bäddmaterial men det kan komma att ställa vissa krav på hur snabbt bäddmaterialet behöver roteras ut. Bäddaskan kommer med största sannolikhet att utgöra den största massan av slamaska som genereras med den valda tekniken. För att extrahera grundämnen från den här matrisen kommer det krävas extraktion med hjälp av syror vilket påverkar miljöavtrycket.

Flygaska separeras normalt sett i flera steg, något som är lite förvirrat i konceptstudien. Det anges att en cyklon ingår som en del av bubblande fluidbäddar i en bild, sedan sägs det att ESP ska separera grova partiklar. Normalt sett krävs att stora partiklar avskiljs för att elektrostatisk utfällning sedan ska separera bort finare partiklar. Grova partiklar som avskiljs med cyklon kommer dels att vara liknande sammansättning som den grova bottenaskan där partiklar nöts sönder i processen till mindre partiklar som lämnar bädden genom medryckning. Till det kommer grundämnen som volatiliserat i gasfas och sedan kondenserat, där Zn är ett bra exempel. För den grova flygaskan som separeras med cyklon kan det eventuellt vara mest lämpligt att sammanföra den med bäddaska, eftersom den till största delen brukar utgöras av grövre partiklar. Det här kommer sannolikt bidra till en mer fullständig fosforåtervinning.

UMEÅ UNIVERSITET

De fina partiklar som bildas och fällt ut med ESP samt filter innehåller submikrona partiklar, mindre än en μm , där Zn ofta återfinns. Det kan även finnas förhöjda halter av exempelvis K och Na i de här partiklarna. Aska från ESP och filter kommer att vara en mycket mindre mängd i antal ton men kan å andra sidan lämpa sig för en specifik process som fokuserar på mer vattenlösliga komponenter. Det är med största sannolikhet lämpligt att separera den här fraktionen från bäddaska och grova partiklar oavsett, för att undvika att återkontaminera fosforrik bäddaska med tungmetaller som avskiljts genom förbränningsprocessen.

Det inaskade materialet visar på att vi har en järnoxid-baserad aska för återvinning i grunden, vilket kan förenkla lakning. Om det inkommer aluminium-fällt slam som basbränsle kommer det förändra kemikalieåtgång för utvinning av vissa grundämnen då de ofta är mer lakbeständiga ner till lägre pH. Vidare kan det ske en stark inbindning i vissa aluminumsilikater som kan försvåra återvinning. Underlaget för slamförbränning påverkar därför genom fler parametrar än enbart totalhalter, då fällningskemikalier ofta finns i väldigt stora mängder i de bildade askorna.

Vid de nätverkande aktiviteterna har möjligheterna till en integrerad utvinning av grundämnen inklusive tungmetaller lyfts fram som en intressant möjlighet. På EU-nivå finns dedikerade utlysningar mot integrerade lösningar som arbetar för hållbarhet, exempelvis relaterat till [Hubs4Circularity](#) samt [Processes4Planet](#). Det kan således finnas goda möjligheter att använda Norrslam som en katalysator för att etablera en cirkulär hub där man redan på planeringsstadiet möjliggör olika lösningar för separation av den bildade askan.

Slutsatser

Baserat på de ingående materialmängder inom Norrslam kan en utvinning av tungmetaller ses som en komplementär verksamhet med möjlighet att bidra till ökad cirkularitet. Sannolikt är värdet av extraherade ämnen enskilt för lågt för att motivera en investering, men vissa kanske kan återvinnas tillsammans med en utvinning av fosfor. En avgörande aspekt för potentialen är teknikvalet och designen av förbränningsanläggningen där hantering av de bildade askfraktionerna, och rester från rökgasresning, bör riktas så att återvinning förenklas.

Det är idag svårt att bedöma potentialen för att återvinna andra grundämnen utöver tungmetaller, såsom sällsynta jordartsmetaller då de sällan ingår i normala analyser. Indikationer från tidigare projekt föreslår att de ofta finns i halter som liknar As från VAKIN, alltså några tiotal ppm. Det kan här finnas anledning att utreda halter och kemisk bindning i askorna mer på djupet.

En systemintegrerad lösning utvinning av vissa metaller från fina partiklar kan eventuellt etableras i samverkan med Umeå energi AB, som har den typen av askfraktioner från avfallsförbränning och förbränning av biomassa. Det kan öka mängderna av exempelvis Zn-rik flygaska som behandlas, något som sannolikt är avgörande för att det ska bli en ekonomiskt framgångsrik modell. Det finns goda möjligheter att genom aktiva val i designen av anläggningen förbättra möjligheter till återvinning av tungmetaller såväl som fosfor. Det kan bidra till att Umeå blir ett centrum för nationell kompetens och möjliggöra deltagande i projekt på EU-nivå vilket kan minska den ekonomiska risken vid investering.

Referenser

- (1) Skoglund, N.; Bäfver, L.; Fahlström, J.; Holmén, E.; Renström, C. Full-scale Co-combustion of Municipal Sewage Sludge and Demolition Wood Chips in a Combined Heat and Power Plant. In *Impacts of Fuel Quality on Power Production*, Snowbird, Utah, USA, 26–31 October, 2014, 2014.
- (2) Han, J.; Kanchanapiya, P.; Sakano, T.; Mikuni, T.; Furuuchi, M.; Wang, G. The behaviour of phosphorus and heavy metals in sewage sludge ashes. *International Journal of Environment and Pollution* **2009**, 37 (4), 357–368.
- (3) Pettersson, A.; Andersson, B. A.; Steenari, B. M.; Åmand, L. E.; Leckner, B. Leaching of phosphorus from ashes of co-combustion of sewage sludge and wood. In *Proceedings of the 18th International Conference on Fluidized Bed Combustion*, 2005.
- (4) Åmand, L. E.; Leckner, B. Metal emissions from co-combustion of sewage sludge and coal/wood in fluidized bed. *Fuel* **2004**, 83 (13), 1803–1821. DOI: 10.1016/j.fuel.2004.01.014.
- (5) Häggström, G.; Hannl, T. K.; Skoglund, N.; Öhman, M. *Recovery of phosphorus from sewage sludge by co-combustion - Durability and composition of produced ash granule/-residue*; 2021-1; 2021.
- (6) Skoglund, N.; Boström, D.; Grimm, A.; Öhman, M. *Thermal treatment of sewage sludge in fluidized beds for phosphorus and energy recovery – Evaluation and performance optimization for the final product*; Svenskt Vatten Utveckling, 2012.
http://vav.griffel.net/filer/SVU-rapport_2012-10.
- (7) AFRY. *Konceptstudie – Monoförbränning av avloppsslam*; 2025.
- (8) *DIFFRAC.EVA 7.3*; Bruker AXS GmbH, Karlsruhe, Germany: 2025.
- (9) Grazulis, S.; Chateigner, D.; Downs, R. T.; Yokochi, A. F. T.; Quirós, M.; Lutterotti, L.; Manakova, E.; Butkus, J.; Moeck, P.; Le Bail, A. Crystallography Open Database - an open-access collection of crystal structures. *Journal of Applied Crystallography* **2009**, 42, 726–729, Article. DOI: 10.1107/S0021889809016690.
- (10) *Slammängder i de nordliga länen*. 2026. <https://www.norrslam.se/vi-ar-norrslam/snabba-slamfakta/>
- (11) *Metallpriser 2025*; Sveriges Geologiska Undersökning, <https://www.sgu.se/globalassets/mineralnaring/mineralstatistik/metallprisbilagor/arskronika-2025.pdf>.
- (12) Falk, J.; Skoglund, N.; Grimm, A.; Boström, D.; Öhman, M. Difference in phosphate speciation between sewage sludge and biomass ash from fluidized bed combustion. In *Impacts of Fuel Quality on Power Production and the Environment*, the 27th international conference, Lake Louise, Canada, 23–28 September, 2018, 2018.
- (13) Skoglund, N.; Grimm, A.; Öhman, M.; Boström, D. Combustion of Biosolids in a Bubbling Fluidized Bed, Part 1: Main Ash-Forming Elements and Ash Distribution with a Focus on Phosphorus. *Energy & Fuels* **2014**, 28 (2), 1183–1190. DOI: <https://doi.org/10.1021/ef402320q>.
- (14) Skoglund, N.; Grimm, A.; Öhman, M.; Boström, D. Effects on Ash Chemistry when Co-firing Municipal Sewage Sludge and Wheat Straw in a Fluidized Bed: Influence on the Ash Chemistry by Fuel Mixing. *Energy & Fuels* **2013**, 27 (10), 5725–5732, Article. DOI: <https://doi.org/10.1021/ef401197q>.