



SVERIGES GEOLOGISKA UNDERSÖKNING

**ORAL BIOTILLGÄNGLIGHET AV
METALLFÖRORENINGAR I JORD VID
GLASBRUKSOMRÅDEN**

FÖRSTUDIE DEL 2

**REKOMMENDATIONER FÖR ANVÄNDNING AV ORALA
BIOTILLGÄNGLIGHETSTESTER VID RISKBEDÖMNING**

2025-12-30

10375192





Rekommendationer för användning av orala biotillgänglighetstester vid riskbedömning av metaller i jord vid glasbruksområden

Uppdragsnamn	Biotillgänglighet i glasriket - Förstudie del 2
Uppdragsnummer	10375192
Författare	Vilhelm Bard
Datum	2025-12-30
Granskad av	Danielle Wiberg, Anna Augustsson, Per Sander
Godkänd av	Danielle Wiberg

Omslagsfoto: Flygsfors glasbruk Vilhelm Bard, WSP.

Kund

Sveriges Geologiska Undersökning (SGU)

KONSULT

WSP

WSP Sverige AB
Org nr: 556057-4880
wsp.com

KONTAKTPERSONER

SGU

Jerry Forsberg, Projektledare SGU
046-311 796, jerry.forsberg@squ.se

WSP Sverige AB

Danielle Wiberg, Uppdragsledare
010-722 76 56, danielle.wiberg@wsp.com

Vilhelm Bard, Handläggare
010-722 55 33, vilhelm.bard@wsp.com

SAMMANFATTNING

Syfte och bakgrund:

Denna rapport utgör del 2 av en förstudie utförd på uppdrag av SGU och samfinansierat av Länsstyrelserna i Kalmar och Kronobergs län. Förstudiens syfte är att undersöka hur orala biotillgänglighetstester kan användas vid riskbedömningar av förorenad jord i Glasriket – ett område i Småland med lång historia av glasproduktion och där marken vid de aktuella glasbruken ofta är förorenad av metaller som arsenik (As), bly (Pb), kadmium (Cd) och antimon (Sb). Målet är att ta fram vägledning och rekommendationer för hur resultaten från sådana tester kan tolkas och användas.

Metodik:

Studien bygger på laboratorieanalyser av jordprover från fyra olika glasbruksområden (Berghem, Hjertsjö, Flygsfors, Orrefors (del av)). Totalt har 50 jordprover analyserats med Unified BARGE Method (UBM), ett standardiserat in vitro-test som simulerar mag-tarmkanalens miljö för att uppskatta hur stor andel av metallerna som potentiellt kan tas upp av kroppen vid oralt intag av jord. Resultaten har jämförts med tidigare studier vid glasbruk, andra branschobjekt och med Naturvårdsverkets riktvärden för förorenad mark.

Resultat:

Halter av arsenik, bly, kadmium och antimon i jord överskrider regionala bakgrundshalter och i många fall även riktvärden för känslig och mindre känslig markanvändning.

Biolösligheten (vilken är en proxy för biotillgänglighet) av de aktuella metallerna varierar dels inom ett glasbruksområde, dels mellan glasbruksområden. För arsenik finns ett samband mellan hög halt och hög biolöslighet, medan det för bly, kadmium och antimon visat sig vara svårt att finna tydliga samband.

Slutsatser och rekommendationer:

Med orala biotillgänglighetstester, särskilt UBM, kan platsspecifika och mer realistiska underlag för riskbedömning än generella antaganden tas fram. För arsenik, kadmium och antimon är biotillgängligheten ofta lägre än de generella antaganden som används i Naturvårdsverkets modell, vilket kan nyansera riskerna och leda till justerade riktvärden samt minska behovet av sanering. För bly är resultaten i linje med nuvarande antaganden.

En rekommenderad omfattning av UBM-tester vid ett glasbruksobjekt bedöms vara mellan 5-15 tester, fördelat på olika materialtyper och föroreningsnivåer. Metod för uttag av prover och bedömning av biotillgänglighet bör ske i samförstånd med tillsynsmyndigheter och vara transparent.

Implementering av biotillgänglighetstester kan leda till mer proportionerliga åtgärder, minskade avfallsmängder och bättre resursanvändning vid sanering av glasbruksområden.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1	Inledning	4
1.1	<i>Uppdrag och syfte.....</i>	4
1.2	<i>Läsanvisning</i>	4
2	Bakgrund	5
3	Slutsatser från underlagsrapporterna.....	6
3.1	<i>Generellt om marken på ett glasbruksområde</i>	6
3.2	<i>Tillämpning och tolkning av orala biotillgänglighetstester vid glasbruksområden</i>	6
3.3	<i>Representativa resultat av oral biotillgänglighet.....</i>	7
3.4	<i>Förväntad biotillgänglighet av metaller i Glasriket och hur den varierar</i>	7
3.5	<i>Generella slutsatser avseende oral biotillgänglighet av metaller i Glasriket.....</i>	7
4	Rekommendation för användning av orala biotillgänglighetstester	8
4.1	<i>Frågeställningar innan orala biotillgänglighetstester används.....</i>	8
4.2	<i>Planering för användning av orala biotillgänglighetstester</i>	9
5	Osäkerheter	11
6	Referenser.....	12

1 INLEDNING

1.1 UPPDRAG OCH SYFTE

Sveriges geologiska undersökning (SGU) har gett WSP Sverige AB (WSP) i uppdrag att utföra uppdraget Biotillgänglighet i glasriket – Förstudie del 2. Projektet är samfinansierat av Länsstyrelserna i Kalmar och Kronobergs län.

Förstudien är uppdelad i två delar där del 1 genomfördes under 2023 och 2024 (Kemakta konsult, 2024). Syftet med projektet är att besvara följande frågor:

- På vilket sätt kan orala biotillgänglighetstester tillämpas vid utredningar i Glasriket och hur ska resultaten tolkas?
- Vilken omfattning av orala biotillgänglighetstester krävs för att det ska vara representativt för ett förorenat område i Glasriket?
- Vilken oral biotillgänglighet av metaller (främst Pb, As, Cd) kan man förvänta sig i Glasriket och hur varierar den? Om det är en variation, vad beror den på?
- Kan några generella slutsatser dras avseende oral biotillgänglighet av metaller i Glasriket?
- Kan generella rekommendationer tas fram för användningen av orala biotillgänglighetstester vid riskbedömningar i Glasriket?

Målet med studien är ett vägledande dokument avseende biotillgänglighet i glasriket i allmänhet och användandet av UBM (Unified BioAccessibility Research Group of Europe Method) ISO EN 17924:2018 i synnerhet.

Oral biotillgänglighet av metaller är ett komplext ämnesområde och de faktorer som påverkar biolösligheten är inte helt kända i dagsläget. Då det saknas officiella vägledningar för hur det orala biotillgänglighetstestet UBM ska utvärderas eller appliceras i hälsoriskbedömningar behöver processen och de antaganden som gjorts redovisas på ett transparent sätt och i samförstånd med tillsynsmyndigheter och övriga aktörer för aktuella projekt.

I denna rapport ges en rekommendation på arbetssätt som först presenterats i (Billmann, o.a., 2025; Billmann, 2024) vilket är ett arbetssätt som är nära besläktat med USEPAs metod för in vitro biotillgänglighetstester (USEPA, 2007; USEPA, 2021A; USEPA, 2021B).

Föreliggande rapport ska kunna användas som stöd vid bedömningar och tolkningar vid framtida arbete i Glasriket avseende oral biotillgänglighet av metallföreningar.

1.2 LÄSANVISNING

Till rapporten ligger två underlagsrapporter:

- **Underlagsrapport 1:** Nuvarande kunskapsläge och biotillgänglighet i Naturvårdsverkets beräkningsmodell
- **Underlagsrapport 2:** Resultat och statistisk analys av oral biotillgänglighet i glasriket

Rekommendationerna i föreliggande rapport är avsedda att läsas tillsammans med underlagsrapporterna, då det är viktigt att förstå hur biotillgänglighet fungerar och appliceras idag för att kunna använda rekommendationerna på ett korrekt sätt.

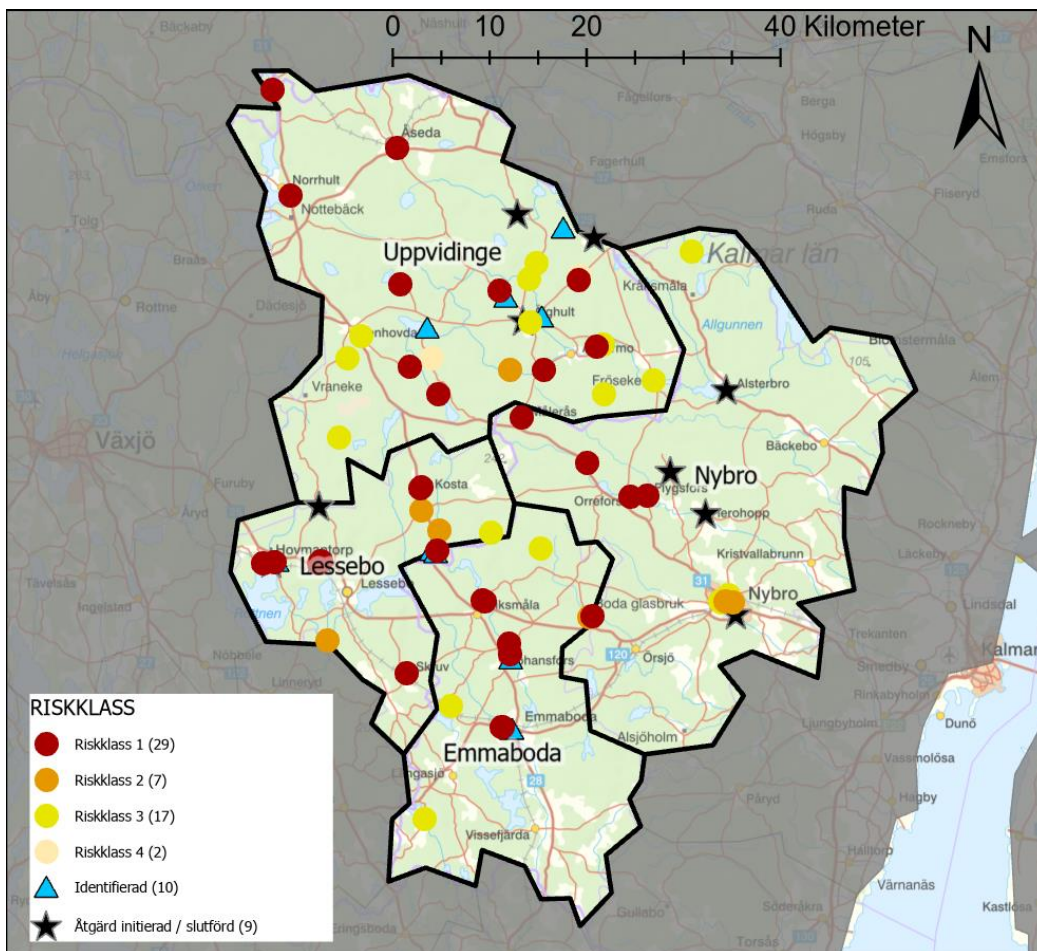
2 BAKGRUND

Glasriket i Småland består av fyra kommuner; Uppvidinge och Lessebo i Kronobergs län samt Nybro och Emmaboda i Kalmar län. Under de senaste 250 åren har området varit Sveriges centrum för glasblåsning och glastillverkning. Sammanlagt har ca 60-70 glasbruk funnits inom glasriket (studiohyttor ej inräknade).

I Sverige har det totalt funnits ca 200-250 glasbruk (studiohyttor exkluderade) (Brukshistoria, 2023). Det betyder att ungefär ca 25-30% av Sveriges glasbruk finns, eller har funnits, i glasriket i Småland. Den kemiska miljön vid ett glasbruk har varit mycket komplex, där exempelvis arbetare vid de historiska glasbruken har exponerats av en blandning av kemiska produkter och föreningar, av vilka kan innebära negativa hälsoeffekter. Exempel på sådana hälsoeffekter hos tidigare glasbruksarbetare är ökad risk för mag-, lung- och koloncancer samt olika hjärtsjukdomar (Wingren & Axelson, 1987). På många tidigare glasbruksområden finns det fortfarande lämningar och rester från tillverkningen kvar.

Föreningar i jord och grundvatten vid äldre glasbruksområden är framför allt olika metaller och metalloider. I denna rapport benämns metaller och metalloider fortsättningsvis något förenklat för "metaller".

Vid glasproduktion har tillgång till rinnande vatten varit viktig, vilket gjort att många glasbruk ofta är lokaliserade vid vattendrag. Föreningar påvisas därför även i sediment och ytvatten i glasrikets stora vattendrag - Ljungbyån, Lyckebyån, Alsterån och Ronnebyån. I EBH-stödet (Länsstyrelsernas nationella databas för förorenade områden) listas omkring 70 glasbruksrelaterade objekt som potentiellt förorenade i glasriket. Av dessa är cirka 40 tilldelade riskklass 1 eller 2 (hög prioritet) (Länsstyrelsen i Kronobergs län, 2001). Av cirka 70 glasbruksrelaterade objekten är nio åtgärdade eller där åtgärder har påbörjats, se Figur 1.



Figur 1 Kartbild över glasrikets gränser och upptagna glasbruksobjekt i Länsstyrelsernas EBH-stöd. Antalet objekt i respektive riskklass och skede anges inom parentes. ©Lantmäteriet.

I takt med att undersökningsarbeten vid glasbruksobjekt inom glasriket har fortskridit har också analysmetoderna utvecklats. Ett exempel på detta är att det sedan 2018-2019 blivit allt vanligare att undersöka föroreningars orala biotillgänglighet med hjälp av så kallades UBM-analyser (Unified BARGE Method). UBM används i syfte att kunna göra platsspecifika bedömningar avseende metallers orala biotillgänglighet då generella antaganden ansetts vara allt för konservativa. För konservativa bedömningar riskerar att leda till omotiverat höga ställda saneringsmål, mer jordmassor som läggs på deponi tillsammans med höga kostnader. Det finns således flera relevanta skäl till att undersöka den platsspecifika orala biotillgängligheten vid ett förorenat område.

Genom att ta hänsyn till oral biotillgänglighet, dvs hur stor den interna exponeringen är (dos), till skillnad från extern exponering (halt i prov), kan rimligare hälsoriskbedömningar göras.

3 SLUTSATSER FRÅN UNDERLAGSRAPPORTERNA

3.1 GENERELLT OM MARKEN PÅ ETT GLASBRUKSOMRÅDE

- Marken vid undersökta glasbruksområden består främst av heterogena fyllnadsmassor. Skillnaderna i fyllnadsmassornas karaktär kan vara stora dels inom ett bruksområde, dels mellan områden. Exempel på typområden vid många glasbruk är generell bruksmark, utfyllnadsområden och våtmarks-, torvmarksområden.
- Marken vid undersökta glasbruksområden är förorenad av bla. arsenik, barium, kadmium, koppar, bly, zink, antimon samt av kalcium, mangan, natrium, strontium och svavel. Detta är förväntat baserat på de råvaror och handelsprodukter som ingått i glasproduktion.
- Marken vid glasbruksområden är övermättad av kalciumföreningar. Övermättningen "konkurrerar" ut andra näringsämnen vilket kan ha negativ påverkan på markekosystemet.
- Metaller som aluminium, järn, kalium och magnesium påvisas i låga halter i relation till regionala bakgrundshalter i morän.

3.2 TILLÄMPNING OCH TOLKNING AV ORALA BIOTILLGÄNGLIGHETSTESTER VID GLASBRUKSOMRÅDEN

- Orala biotillgänglighetstester, särskilt UBM (Unified BARGE Method), kan användas för att bedöma hur stor andel av metallerna arsenik, bly, kadmium och antimon i jord som har potential att tas upp av kroppen via oralt intag.
 - För bedömning av långsiktiga hälsorisker (via oralt intag av jord) genom att beräkna platsspecifika riktvärden.
 - För bedömning av akuttoxicitet och korttidsexponering genom att beräkna platsspecifika riktvärden.
- Resultaten av UBM bör tolkas som en proxy för den maximala mängd metall som kan lösas ut i mag-tarmkanalen, där värden från UBMgastric-fasen generellt är mest konservativa.
- Användningen av orala biotillgänglighetstester ger en platsspecifik bedömning av det potentiella upptaget av metaller vilken bedöms vara mer realistisk än de generella antagandena för bioor.
- Funktionerna som styr biotillgängligheten är mycket komplex och är beroende på förorening, exponeringsmatris, individ och exponeringstillfälle. Förenklingar och olika antaganden måste göras.
- Den föreslagna metoden i denna studie använder regressionen mellan biotillgänglighet in vitro och biotillgängligheten in vivo för att på bästa sätt approximera oral biotillgänglighet.

3.3 REPRESENTATIVA RESULTAT AV ORAL BIOTILLGÄNGLIGHET

- För att uppnå representativitet rekommenderas att mellan 5-15 UBM-tester utförs per glasbruksområde, fördelat på olika materialtyper och föroreningsnivåer. Det är viktigt att inkludera både fyllnadsmassor och naturliga jordar.
- Analys av samlingsprover kan ge en god bild av långtidsexponering. För att fånga variation och risk för akuttoxicitet bör även enskilda prover/material analyseras.
- Beroende på dataunderlag förespråkar WSP att någon form av medelvärde som aritmetiskt medelvärde eller UCLM₉₅ av biolösligheten används för bedömning av långsiktiga exponeringsrisker.
- För bedömning av akuta hälsorisker bör provens pseudototalhalt beaktas i valet av representativ biolöslighet. Prover med en allt för hög halt ska dock användas med försiktighet då variationen i sådana prov riskerar att orsaka osäkerheter i analyskedet.
- Prover för UBM-analys ska inte föregås av krossning eller malning. Proven ska siktas ned till aktuell kornstorlek.

3.4 FÖRVÄNTAD BIOTILLGÄNGLIGHET AV METALLER I GLASRIKET OCH HUR DEN VARIERAR

- **Arsenik.** Biolösligheten ligger ofta mellan 50–60 % i UBM_{gastric} och 40–50 % i UBM_{intestinal}. Den maximala biolösligheten av arsenikföreningar vid glasbruk är spannet 80-90% i UBM_{gastric} och 50-90% i UBM_{intestinal}. Variationerna påverkas bla. av halten arsenik, mark-pH, alkalinitet, kornstorlek och förekomstform. En relativ biotillgänglighetsfaktor (f_{bio_or}) för arsenik på mellan 0,45-0,65 är sannolik.
- **Bly:** Biolösligheten är ofta 60–75 % i UBM_{gastric} och 5–10 % i UBM_{intestinal}. Den maximala biolösligheten av blyföreningar vid glasbruk är ofta i spannet 90-100%. Variationerna beror bla. på kemisk form, kornstorlek och materialtyp. En relativ biotillgänglighetsfaktor (f_{bio_or}) för bly på mellan 0,55-0,7 är sannolik, vilket är i linje med det generella antagandet.
- **Kadmium:** Biolösligheten är ofta 65–85 % i UBM_{gastric} och 25–30 % i UBM_{intestinal}. Den maximala biolösligheten av blyföreningar vid glasbruk är ofta i spannet 90-100%. Variationerna beror bla. på kemisk form, kornstorlek och materialtyp. En relativ biotillgänglighetsfaktor (f_{bio_or}) för bly på mellan 0,7-0,9 är sannolik.
- **Antimon:** Biolösligheten är ofta i spannet 15-20% i UBM_{gastric} och UBM_{intestinal}. Variationen beror bla. på kemisk form, kornstorlek, materialtyp och halt antimon. En relativ biotillgänglighetsfaktor (f_{bio_or}) på mellan 0,15-0,20 är sannolik.

3.5 GENERELLA SLUTSATSER AVSEENDE ORAL BIOTILLGÄNGLIGHET AV METALLER I GLASRIKET

- Biolösligheten av arsenik, bly och kadmium är generellt högre i UBM_{gastric} än i UBM_{intestinal}. För antimon är biolösligheten högre i UBM_{intestinal}.
- Biolösligheten varierar mellan objekt och inom objekt och behöver således undersökas vid respektive objekt och för olika typområden.
- Föroreningsnivån i jorden tycks spela en liten roll för vilken biotillgänglighet som kan förväntas för bly, kadmium och antimon. För arsenik finns en koppling mellan hög halt och hög biolöslighet.
- Biolösligheten av arsenik ökar med koncentrationen av alkalinitet och mark-pH. Biolösligheten är generellt högre när mark-pH är >6 än när mark-pH är <6.

- Orala biotillgänglighetstester har en liten inverkan på det samlade riktvärdet vid KM-scenarion men kan vara av betydelse för delriktvärdet avseende oralt intag av jord vid KM-scenario utan intag av dricksvatten och vid de flesta MKM-scenarier.
- Biolösligheten av bly som observeras vid glasbruk är i linje med vad som observeras vid andra branscher och Naturvårdsverkets generella antagande. När biolösligheten av bly är högre än 65% i UBM_{gastric} kommer den relativa biotillgängligheten för bly vara högre än den relativa biotillgänglighet som antagits av Naturvårdsverket (60% (0,6)).

4 REKOMMENDATION FÖR ANVÄNDNING AV ORALA BIOTILLGÄNGLIGHETSTESTER

4.1 FRÅGESTÄLLNINGAR INNAN ORALA BIOTILLGÄNGLIGHETSTESTER ANVÄNDS

Innan orala biotillgänglighetstester används i en undersökning bör nedan frågor ställas (SIS, 2021):

- Föreligger det förhöjd risk för människors hälsa vid bedömning med riktvärden och / eller generella antaganden i en riskbedömning?
 - Om ja, Finns det någon faktor som gör att man kan misstänka att metallerna är mindre biotillgängliga i jord än vad som generellt antas?
- Är exponeringsvägen oralt intag av jord en trolig, styrande faktor i riskbedömningen och av riktvärdet?
- Finns det validerade metoder för aktuella föroreningar för att testa biotillgängligheten?
- Är det möjligt att utföra tillräckligt antal tester för att tillräckligt känsliga och representativa värden för biotillgängligheten ska kunna erhållas? Dvs går det att hantera variationen av biotillgängligheten på ett tillräckligt statistiskt säkert sätt?
- Bedöms det finnas en positiv ekonomisk faktor i att använda tester? Dvs kan man förvänta sig att analyskostnaden kan berättigas via resultaten i form av minskade avfallsmängder och eller höjda riktvärden.

Vid miljötekniska markundersökningar vid glasbruksobjekt inom glasriket är det sannolikt att arsenik, bly, kadmium och antimon påvisas i halter i jord som kan innebära förhöjd risk för människors hälsa och miljö i ett långsiktigt liksom i ett korttids- och akuttoxiskt perspektiv.

Det är rimligt att utgå från att biotillgängligheten av metallerna är lägre än den biotillgänglighet som är utgångspunkten för Naturvårdsverkets generella scenarion.

- **Arsenik.** En trolig f_{bio_or} är i spannet 0,40-0,60 vilket är ca hälften av utgångspunkten på 1.
- **Bly.** En trolig f_{bio_or} är i spannet 0,55-0,70 vilket är i nivå med utgångspunkten på 0,6.
- **Kadmium.** En trolig f_{bio_or} är i spannet 0,65-0,90 vilket är lägre än utgångspunkten på 1.
- **Antimon.** En trolig f_{bio_or} är i spannet 0,15-0,20 vilket är betydligt lägre än utgångspunkten på 1.

Beroende på markanvändning och exponeringsscenario står exponeringsvägen oralt intag av jord för mellan ca 10-50% (KM) och 75-90% av hälsoriktvärdet. Effekten av ett oralt biotillgänglighetstest är således i ett MKM-scenario och mindre vid ett KM-scenario. Detta är särskilt sant där exponeringsvägarna intag av dricksvatten och intag av grönsaker är aktuella.

I ett KM-scenario tas effekten av ett oralt biotillgänglighetstest ut av uppjustering av riktvärden baserat på bakgrundshalter.

UBM-testet är en validerad och standardiserad metod för att approximera biolösligheten av arsenik, bly och kadmium och i mindre grad för antimon.

Att fastställa antalet UBM-analyser som behöver utföras vid ett glasbruksområde för att datamängden ska kunna anses vara representativ för hela bruksområdet samt för olika marktyper kan vara en utmaning. WSP bedömer att en generell rekommendation på mellan 5–15 tester kan vara rimligt. Analyskostnaden för UBM är i ett sådant fall mellan 50 000 – 150 000 SEK (ungefärligt prisläge år 2025) i de fall analysen görs vid ett kommersiellt laboratorium.

I scenarier där ett tidigare glasbruksobjekt är beläget på en nuvarande bostadsmark med enskilt dricksvattenuttag i jordmagasin och har en potential för egen odling av växter för konsumtion är det inte troligt att det finns någon positiv ekonomisk verkan med att undersöka den orala biotillgängligheten i jord.

I övriga scenarier bedömer WSP att det är större sannolikhet att fördjupade undersökningar avseende oral biotillgänglighet kan resultera i en positiv ekonomisk verkan avseende åtgärdsområde. En viktig faktor för att detta ska vara möjligt är hur övriga kriterier avseende bakgrundshalter och riktvärden avseende markmiljö och spridning beaktas och undersöks.

4.2 PLANERING FÖR ANVÄNDNING AV ORALA BIOTILLGÄNGLIGHETSTESTER

Vid planeringen av användandet av orala biotillgänglighetstester bör följande beaktas:

- Finns det delområden eller egenskapsområden?

Då biotillgängligheten kommer att variera är det viktigt att tillräckligt med underlag samlas in för respektive delområde / exponeringsområde. Exempelvis kan en indelning enligt nedan ge bra förutsättningar för vidare bedömning:

- Att testerna prioriteras för yttlig jord där sannolikheten för oral exponering är som störst.
- Särskilda utfyllnadsområden med avfallsmaterial.
- Specifika områden utan glasbrukstypiska utfyllnadsmassor men som av olika anledningar visats vara påverkade av glasbruksföreningar.
- Våtmarksområden med torv alternativt områden vid bäckar och åar.
- En majoritet av biotillgänglighetsanalyserna genomförs på förorenade massor med måttlig föroreningsnivå i förhållande till riktvärden för långsiktiga hälsorisker vid oralt intag av jord.
- Att ett mindre antal biotillgänglighetsanalyser utförs på jordprover som är troliga att överskrida riktvärdet avseende korttidsexponering och akuttoxicitet.

4.2.1 Uttag av prover

Jordmassorna vid ett glasbruksområde är relativt grovkorniga vilket innebär att majoriteten av jorden i ett uttaget jordprov kommer att siktas bort och exkluderas vid analys, ca 60-80%. Det kan således vara bra att ta höjd för detta så att en större provmängd tas ut i samband med provuttag.

Det finns i dagsläget inget som talar emot analys av samlingsprover för ett större egenskapsområde eller för samlingsprover av olika material. En fördjupad undersökning av oral biotillgänglighet ska dock inte enbart göras på sådana samlingsprover utan ska då ske i kombination med analys av specifika materialtyper.

Provurval av jordprover för biotillgänglighetsanalyser bör således föregås av en inledande haltbestämning och utvärdering av fältprotokoll.

4.2.2 Utvärdering av analys

Resultat som ges av UBM_{gastric} är menade att pröva den maximala biolösligheten av en metall under konservativa förhållanden (fastande mage) hos ett litet barn. Det är rimligt att anta att exponering av markföroreningar inte enbart sker under sådana förhållanden. Resultaten som ges av UBM_{intestinal} är menade att uppskatta den biolösliga andelen av en förorening som är tillgänglig för absorption (upptag) i tarmen.

För katjoniska metaller (bly, kadmium) är den biolösliga andelen betydligt lägre i denna fas pga. ett högre pH-värde i tunntarmen. För bly och kadmium ges rekommendationen att värden från UBM_{intestinal} inte används. I stället ska värden från testfasen UBM_{gastric} prioriteras. För arsenik och antimon (anjoner) kan värden från UBM_{gastric} eller UBM_{intestinal} användas. Detta då biolösligheten inte skiljer sig signifikant mellan testfaserna. För arsenik och antimon ges rekommendationen att använda resultaten från den testfas som levererar högst biolöslig andel i respektive fall (ADEME, 2025).

För denna rapport är rekommendationen att den justerade, relativa biotillgänglighetsfaktorn ($f_{\text{bio_or}}$) i Naturvårdsverkets beräkningsmodell ges av följande kalibreringsekvationer (Billmann, 2024; Billmann, o.a., 2025).

Arsenik, As

$$f_{\text{bio_or As UBM}_{\text{gastric}}} = 1,00 \times \frac{\text{UBM Gastric \%}}{0,95} + 0,01$$

$$f_{\text{bio_or As UBM}_{\text{intestinal}}} = 0,99 \times \frac{\text{UBM Intestinal \%}}{0,92} - 0,04$$

Bly, Pb

$$f_{\text{bio_or Pb UBM}_{\text{gastric}}} = 0,91 \times \frac{\text{UBM Gastric \%}}{0,99} - 1,69$$

$$f_{\text{bio_or Pb UBM}_{\text{intestinal}}} = 0,92 \times \frac{\text{UBM Intestinal \%}}{0,65} - 1$$

Kadmium, Cd

$$f_{\text{bio_or Cd UBM}_{\text{gastric}}} = 1,04 \times \frac{\text{UBM Gastric \%}}{0,98} - 2,77$$

$$f_{\text{bio_or Cd UBM}_{\text{intestinal}}} = 1,06 \times \frac{\text{UBM Intestinal \%}}{0,68} - 1,52$$

Antimon, Sb

$$f_{\text{bio_or Sb}} = \text{UBM}_{\text{gastric}} (\%) / 93$$

$$f_{\text{bio_or Sb}} = \text{UBM}_{\text{intestinal}} (\%) / 92$$

Det ska nämnas att värdet på den ojusterade biolösligheten och den kalibrerade biotillgängligheten (efter applicering av kalibreringsekvationerna) ovan skiljer sig <10%.

Observera att det för antimon saknas möjligheten att ta fram regressioner mellan in vivo / in vitro-försök då upptaget av antimon varit för lågt i in vivo-studien (Denys, o.a., 2012A). Rekommendationen för antimon är i stället att resultaten från UBM_{gastric} eller UBM_{intestinal} sätts i relation till den maximala biolösligheten för Kaliumantimonat i UBM. Även om resultaten för antimon inte gått att validera fullt ut så talar resultaten för att biolösligheten av antimon åtminstone inte underskattas i UBM, varför användningen kan motiveras.

5 OSÄKERHETER

Vid användning av orala biotillgänglighetstester vid glasbruksområden finns flera olika osäkerheter som behöver beaktas.

- Marken vid glasbruksområden har en komplex sammansättning och stora variationer av marktyper förekommer inom ett bruksområde.
- Biotillgängligheten varierar mellan och inom individer, arter, förorening och matris som undersöks. De faktorer som styr metallernas biotillgänglighet i jord är inte helt kända.
- In vitro biotillgänglighetstester är principiellt endast validerade för de jordar och material som ingått i valideringsstudien. Det går inte att utesluta att andra jordar, liksom de vid glasbruksområden, skulle leverera andra resultat än de prover som ingått i valideringsstudien.
- För att de platsspecifika utredningarna av oral biotillgänglighet ska ha en betydelse behöver den platsspecifika datan kunna accepteras av tillsynsmyndigheter, beställare och experter. Därför är det av största vikt att redovisningen av arbetsgången är så tydlig, transparent och omfattande som möjligt.
- Effekterna av den platsspecifika biotillgängligheten behöver redogöras för i relation till de generella antagandena. Detta kan exempelvis göras genom att beräkna olika doser eller redovisa erhållna halter i relation till olika toxikologiska riskvärdet.
- Användandet av redovisade kalibreringsekvationer för As, Pb och Cd kan resultera i en falsk trygghet av resultaten. Skillnaden mellan att använda dessa och att använda resultat från UBM direkt skiljer sig < 10 %.

Att använda platsspecifika orala biotillgänglighetsfaktorer är sammanfattningsvis kopplat till en rad olika osäkerheter. Osäkerheterna kan anses vara ännu större när Naturvårdsverkets generella biotillgänglighetsfaktorer används, med risk för att besluten som tas är allt för konservativa. Användningen av orala biotillgänglighetstester, exempelvis UBM, kan dock minska osäkerheterna.

6 REFERENSER

- ADEME. (2025). *LA BIOACCESSIBILITE ORALE : UN OUTIL EN SANTE ENVIRONNEMENT. Caractérisation des expositions de l'Homme pour améliorer les ERS – Projet Bioac'ERS. Rapport Final. 2025-09-19.*
- Billmann, M. (2024). *Amélioration des évaluations de risques sanitaires par l'utilisation de la bioaccessibilité orale comme outil de caractérisation des expositions de l'Homme aux éléments métalliques.*
- Billmann, M., Pelfrène, A., Papin, A., Pauget, B., Badreddine, R., & Hulot, C. (den 8 03 2025). Human health risk assessment of lead exposure from soil ingestion in a French pilot study: insights from the application of a new bioaccessibility approach. *Environ Geochem Health* 2025 (47:109). doi:<https://doi.org/10.1007/s10653-025-02418-8>
- Brukshistoria. (den 12 06 2023). Lista över glasbruk och glashyttor i Sverige. Hämtat från https://www.brukshistoria.se/media1.brukshistoria.se/pdf_o_thumb/Glasbruk_och_hyttor.pdf
- Denys, S., Caboche, J., Tack, K., Rychen, G., Wragg, J., Cave, M., . . . Feidt, C. (den 24 01 2012A). In vivo Validation of the Unified BARGE Method to assess the Bioaccessibility of Arsenic, Antimony, Cadmium and Lead in soils. *Environmental Science Technology* 46:6252-6260.
- Kemakta konsult. (2024). *Biotillgänglighet av metaller i marken på glasbruksområden.*
- Länsstyrelsen i Kronobergs län. (2001). *Inventering av förorenade områden vid glasbruk i kalmar och kronobergs län.*
- SIS. (2021). *Markundersökningar - Bedömning av humanexponering för jord och jordmaterial genom intag - Metod för uppskattning av human biotillgänglighet av metaller i jord. ISO 17924:2018 IDT.*
- USEPA. (2007). *Guidance for Evaluating the Oral Bioavailability of Metals in Soils for Use in Human Health Risk Assessment.*
- USEPA. (2021A). *Fact Sheet: Arsenic RBA and IVBA. Relative Bioavailability and In Vitro Bioaccessibility of Arsenic in Soil.* Hämtat från <https://semspub.epa.gov/work/HQ/100002716.pdf>
- USEPA. (2021B). *Fact sheet: Lead RBA and IVBA. Relative bioavailability and in vitro bioaccessibility of lead in soil.*
- Wingren, G., & Axelson, O. (1987). Mortality in the swedish glassworks industry. *Scand J Work Environ Health* 13, 412-416.



VI ÄR WSP

WSP är en av världens ledande rådgivare och konsultbolag inom samhällsutveckling. Med cirka 73 000 medarbetare i över 40 länder samlar vi experter inom analys och teknik, för att framtidssäkra världen.

Tillsammans med våra kunder tar vi fram innovativa lösningar för en mänsklig, trygg och välfungerande morgondag. Vi planerar, projekterar, designar och projektleder olika uppdrag inom transport och infrastruktur, fastigheter och byggnader, hållbarhet och miljö, energi och industri samt urban utveckling. Så tar vi ansvar för framtiden.

wsp.com

WSP

WSP Sverige AB

Org. nr:556057-4880

wsp.com

