

XRF-RESULTAT JÄMFÖRT MED LABORATORIEANALYSER

Rapport nr EKA 2003:1

Bengtsfors kommun

2003-10-15

Författad av

Åsa Granath, GF Konsult AB¹
Jimmy He, GF Konsult AB¹
Elisabet Pennman, GF Konsult AB¹

¹ Delprojekt miljökontroll

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1	BAKGRUND OCH SYFTE	3
2	REFERENSUNDERSÖKNING, JORD OCH BYGGNADSMATERIAL	3
2.1	MÄTNING MED XRF-INSTRUMENT.....	3
2.1.1	Jord.....	3
2.1.2	Byggnadsmaterial.....	4
2.2	LABORATORIERESULTAT.....	5
2.3	DATALAGRING.....	5
3.	GENOMFÖRANDE	5
3.1	UNDERLAGSDATA.....	5
3.1.1	Jord.....	5
3.1.2	Byggnadsmaterial.....	5
3.2	XRF-MÄTNING PÅ JORD FRÅN LABORATORIET	6
3.3	UTVÄRDERING OCH STATISTISK BEARBETNING	6
4	RESULTAT, JORD	6
4.1	ALLMÄNT.....	6
4.2	KVICKSILVER.....	7
4.2.1	XRF1 och XRF2 (XRF-fält).....	7
4.2.2	XRF1 och XRF2 (XRF-fält) jämfört med laboratorieresultat.....	8
4.2.3	XRF-lab.....	11
4.2.4	XRF-fält jämfört med XRF-lab.....	12
4.3	BLY.....	13
4.3.1	XRF1 och XRF2 (XRF-fält).....	13
4.3.2	XRF1 och XRF2 (XRF-fält) jämfört med laboratorieresultat.....	14
4.3.3	XRF-lab.....	15
4.3.4	XRF-lab jämfört med XRF-fält.....	15
4.4	KVICKSILVER OCH BLY.....	17
5	RESULTAT, BYGGNADSMATERIAL	17
5.1	ALLMÄNT.....	17
5.2	KVICKSILVER.....	18
5.3	BLY.....	21
6	KOMMENTARER OCH SLUTSATSER	23
6.1	ALLMÄNT.....	23
6.2	JORD.....	24
6.3	BYGGNADSMATERIAL.....	25
7	REKOMMENDATIONER	25

BILAGOR

Bilaga 1. Kvicksilver i jord, mätresultat

Bilaga 2. Bly i jord, mätresultat

Bilaga 3. Kvicksilver i byggnadsmaterial, mätresultat

Bilaga 4. Bly i byggnadsmaterial, mätresultat

1 BAKGRUND OCH SYFTE

Vid efterbehandling av EKA området kan det bli aktuellt att schakta i fyllnadsjord innehållande bl a höga halter av kvicksilver. De högsta halterna har visat sig förekomma i anslutning till den sk udden och i jord under den tidigare cellhallen. Mycket höga kvicksilverhalter har även analyserats i byggnadsmaterial i cellhallen.

Syftet med det nu utförda arbetet är att jämföra resultat från XRF-mätningar av kvicksilver och bly i jord som utfördes under hösten och vintern år 2002 och se hur dessa samstämmer med resultat från utförda laboratorieanalyser. En jämförande studie av resultat från undersökning av byggnadsmaterial i november 2002 och maj 2003 har även utförts.

Syftet är även att undersöka om det är möjligt och lämpligt att använda XRF-instrument för att avgränsa exempelvis höga kvicksilverhalter i efterbehandlingsskedet samt att klassificera jord och byggnadsmaterial. Resultaten kan ligga som underlag för att ta fram riktlinjer för hur XRF-instrumentet kan och skall användas inom projektet.

Naturvårdsverkets generella riktvärden för kvicksilver i jord för känslig markanvändning och mindre känslig markanvändning är 1 respektive 7 mg/kg TS. För bly är motsvarande värden 80 respektive 300 mg/kg TS. Vid riskbedömningen för projektet kommer plats specifika riktvärden och (eller) åtgärds mål att utarbetas för området.

Några liknande riktvärden för byggnadsmaterial finns ej.

I kretsloppspropositionens förslag till indelning av avfall med avseende på kvicksilver (Hg) föreslås att avfall som innehåller minst 1 % Hg (10 000 mg/kg TS) skall föras till permanent djupförvar. Vidare skall avfall som innehåller 0,1-1 % Hg (1000 mg/kg TS) föras till djupförvar om det är skäligt. Något sådant djupförvar finns ännu ej tillgängligt, vilket innebär att mellanlagring är aktuell. Vid SAKABs anläggning medges tillstånd att deponera Hg-avfall med upp till 3000 mg/kg TS. Direktdeponering kan ske om halten är under 100 mg/kg TS (EKA Rapport 2002:11).

2 REFERENSUNDERSÖKNING, JORD OCH BYGGNADSMATERIAL

2.1 MÄTNING MED XRF-INSTRUMENT

2.1.1 Jord

Provtagning av jord med skruvborrtrustad bandvagn inom ramen för referensundersökningarna inom EKA-projektet utfördes under november och december 2002. Jordprovtagning genomfördes i ett stort antal punkter inom bl a EKA-området. Samlingsprover omfattande ca 0,5 meter (0-0,5, 0,5-1,0 meter osv under markytan) uttogs. På i stort sett samtliga uttagna jordprov inom EKA-området utfördes XRF-mätning. På en stor del av dessa utfördes även laboratorieanalys av metaller. I första hand undersöktes fyllnadsmassor.

XRF-mätning utfördes med ett instrument av typen NITON XL-700. Instrumentet tillhandahölls av SGI. Mätningen görs med röntgenfluorescens med en kadmiumkälla, Cd-109. Med aktuell strålningskälla mäts 15 enskilda grundämnen. Mättiden var ca 60 nominella sekunder, i detta fall 2-3 minuter. Mätresultaten redovisas med mätosäkerhet. Mätosäkerheten beror av vilket ämne som undersöks samt materialets sammansättning (matris). Den nedre mätgränsen (LOD-limit of detection) är även beroende på vilket ämne som undersöks. För att korrelera resultaten rekommenderat att en komplettering med laboratorieanalyser utförs.

XRF-undersökningen omfattade ca 2 mätningar direkt på den diffusionstäta plastpåsen innehållande jordprovet (XRF1 och XRF2 i tabell i bilaga 1). Provpåsen vändes mellan mätningarna. Ingen siktning, torkning eller annan bearbetning av provmaterialet genomfördes innan mätningen pga de höga kvicksilverhalterna och de hälsomässiga risker som uppstår vid hanteringen. För varje provnivå uttogs ett prov i påse för XRF-mätning samt prov i burk för laboratorieanalys. På i stort sett samtliga påsar innehållande jord utfördes XRF-mätning inom EKA området. Ett urval av provburkarna skickades till laboratorium för analys.

Vid mätning med XRF eftersträvas att mätning sker på ett torrt och homogent prov. Leverantören (Scantec Lab) till instrumentet rekommenderar att provet torkas, mals och siktas (material >125 µm tas bort) innan mätning utförs en sk ex-situ-mätning. Undersökningar utförda av tillverkaren av instrumentet visar att mätnoggrannheten vid detta mätförfarande motsvarar den som erhålls vid en laboratorieanalys. Några störningar från andra ämnen skall enligt leverantören ej föreligga för kvicksilver och bly.

”Ex-situ” XRF-mätning har utförts på ett antal prover. Dessa finns redovisade under ”XRF-lab” i bilaga 1 och 2.

2.1.2 Byggnadsmaterial

XRF-mätningar av byggnadsmaterial inom EKA-området i första hand i den sk cellhallen, utfördes under november 2002 samt januari och april 2003. Vid mätningarna placerades XRF-instrumentet (NITON XL-700) direkt mot respektive byggnadsmaterial (sk in-situ mätning). I varje punkt utfördes varje mätning minst två gånger. Dessa redovisas som XRF1, XRF2 eller XRF3 i bilaga 3-4.

I november 2002 utfördes mätningar, vilka skulle utgöra underlag för fortsatt provtagning av byggnadsmaterial.

Under januari och april 2003 utfördes omfattande mätningar samt parallell uttagning av byggnadsmaterial. Uttaget byggnadsmaterial skickades till laboratoriet för metallanalys.

Byggnadsmaterialet har inför utvärderingen delats in i två grupper: oorganiskt material, tegel, puts och bruk samt organiskt material, trä. Den nominella mättiden för byggnadsmaterial har varierat mellan 20-80 sekunder.

2.2 LABORATORIERESULTAT

Laboratorieanalyserna har utförts av Analytica. Vid laboratorieanalys av jord inom projektet har endast finfraktionen för analys uttagits av laboratoriet, dvs grus och grövre material har tagits bort innan analys utförts. Ingen siktning, malning och torkning har utförts innan metallanalys utförts pga de höga kvicksilverhalterna. Analys har utförts på ca 1 gram jord och har utförts med metoderna ICP-AES och ICP-QMS.

För undersökning av byggnadsmaterial har hela provet krossats och malts ned och därefter siktats i sikt < 4 mm. Analys har därefter utförts som för jord, se ovan.

2.3 DATALAGRING

Resultaten från XRF-mätningarna och laboratorieresultaten lagrades efter kvalitetssäkring in på projektets miljödatabas som är tillgänglig via Internet. Databasen finns hos Bengtsfors kommun.

3. GENOMFÖRANDE

3.1 UNDERLAGSDATA

3.1.1 Jord

Vid den jämförande studien har data från projektets miljödatabas använts. Denna omfattar de XRF-mätningar som utfördes vid fältarbetena under hösten och vintern år 2002.

Data från de områden där de högsta kvicksilverhalterna i jord erhållits, dvs inom EKA området i anslutning till udden (område A och B) och i jord under den f d cellhallen har använts. Data omfattar prov där både laboratorieanalyser och XRF-mätning av kvicksilver och bly finns utförda. Mätvärden från ett 40-tal provnivåer från provpunkterna 7101, 7102, 7103, 7104, 7105, 7106, 7107, 7108, 7128, 7129, 7130, 7131, 7161, 7162, 7164 och 7166 omfattas. Huvuddelen av de undersökta proven är grusig sandigt fyllnadsmaterial. I några prov finns inblandning av växtdelar mm, se tabell i bilaga 1 och 2.

De undersökta provens torrsubstans (TS) halt är mellan 27 och 93 % men generellt mellan 80 och 90 %. Ett prov med TS-halt på 27 % innehåller en hög andel organiskt material (växtdelar).

XRF-mätningarna redovisas som XRF1 och XRF2 (XRF-fält).

3.1.2 Byggnadsmaterial

Vid den jämförande studien har data från mätningar i fält jämförts med analysresultat från projektets miljödatabas. Fältdata omfattar de XRF-mätningar som utfördes i byggnader inom EKA-området under hösten och vintern år 2002 samt våren 2003. Mätningarna utfördes direkt mot respektive byggnadsmaterial.

Byggnadsmaterialet har delats in i två huvudgrupper, 1) puts, bruk, tegel och 2) trä. Provpunkterna 7501, 7503, 7504, 7505, 7507, 7508 avser byggnadsmaterialen puts och bruk och provpunkterna 7507, 7508 och 7515 är uttagna i tegel. Provpunkterna 7502, 7506, 7513 och 7517 kommer från trä, se bilaga 3 och 4.

XRF-mätningarna på byggnadsmaterial redovisas som XRF 1, XRF 2 eller XRF 3.

3.2 XRF-MÄTNING PÅ JORD FRÅN LABORATORIET

XRF-mätning har utförts på material från provburkar som sänts i retur från laboratoriet, dvs på material från de provburkar som laboratorieanalys utförts. Mätning har utförts på material från provpunkterna 7101, 7102, 7104, 7105, 7106, 7107, 7108, 7128, 7129, 7130 och 7133 och på ett 20-tal prov ("XRF-lab" i bilaga 1 och 2). Målsättning var att utföra en jämförande mätning på samtliga prov som motsvaras av XRF-fält. Ett stort antal av provburkarna har dock ej erhållits från laboratoriet bland annat på grund av att materialet har förbrukats för analyser. Många av proverna har även preparerats av laboratoriet; torkats, malts och siktats. Preparering har utförts för TOC och pH bestämning. Det innebär att resultaten av XRF-mätningarna ej är helt jämförbara med XRF-fält. Mätning har gjorts direkt på material i provpåse samt i provkopp. Mätningen är att betrakta som en "ex-situ" mätning, se 2.1.1. Innan mätning utfördes på prov i kopp siktades material större än ca 2 mm bort. Mättiden var 120 nominella sekunder, vilket motsvarar ca 5 minuter. En till två mätningar utfördes per prov.

3.3 UTVÄRDERING OCH STATISTISK BEARBETNING

Mätvärden från XRF-mätningar och laboratorieanalyser av bly och kvicksilver har bearbetats statistiskt.

4 RESULTAT, JORD

4.1 ALLMÄNT

Mätresultat avseende kvicksilver och bly kan delas in i fyra grupper avseende mätmetod och mätutförande enligt följande:

1. Laboratorieundersökning utförd av Analytica. Mätmetod ICP. Analys utförd på naturfuktigt prov och omräkning av metallhalt i torrs substans.
2. XRF-fält, naturfuktigt prov. XRF1, XRF2. XRF-mätning utförd direkt på påse på ej torkat och opreparerat prov. Prover uttagna vid fältarbeten hösten och vintern 2002.
3. XRF-lab-påse. XRF-mätning på prov från Analytica (prov från punkt 1) på påse. Viss preparering av prov har utförts av laboratoriet, ca hälften av proverna är torkade och malda.
4. XRF-lab-kopp. XRF-mätning på prov från Analytica (prov från punkt 1) i provkopp. Viss preparering av prov har utförts av laboratoriet och ca hälften av proverna är torkade och malda. Preparering av proverna har även utförts av GF Konsult AB (siktning, malning).

Mätresultat från de olika grupperna samt några intressanta parametrar redovisas i Bilaga 1 och 2 (avseende Hg, Pb). Eftersom mätresultat för grupp 4 ej är jämförbar med övriga grupper, har jämförelser och andra presentationer i första hand utförts för de första tre grupperna.

För laboratorieanalyserna anges föroreningshalterna i mg per kg torrsubstans (TS) medan XRF-mätningen anges för naturfuktigt prov (våtsubstans, VS). För att erhålla mer jämförbar data har mätresultat av XRF-fält räknats om till halt i torrsubstans i samtliga jämförelser nedan. Omräkningen har utförts enligt:

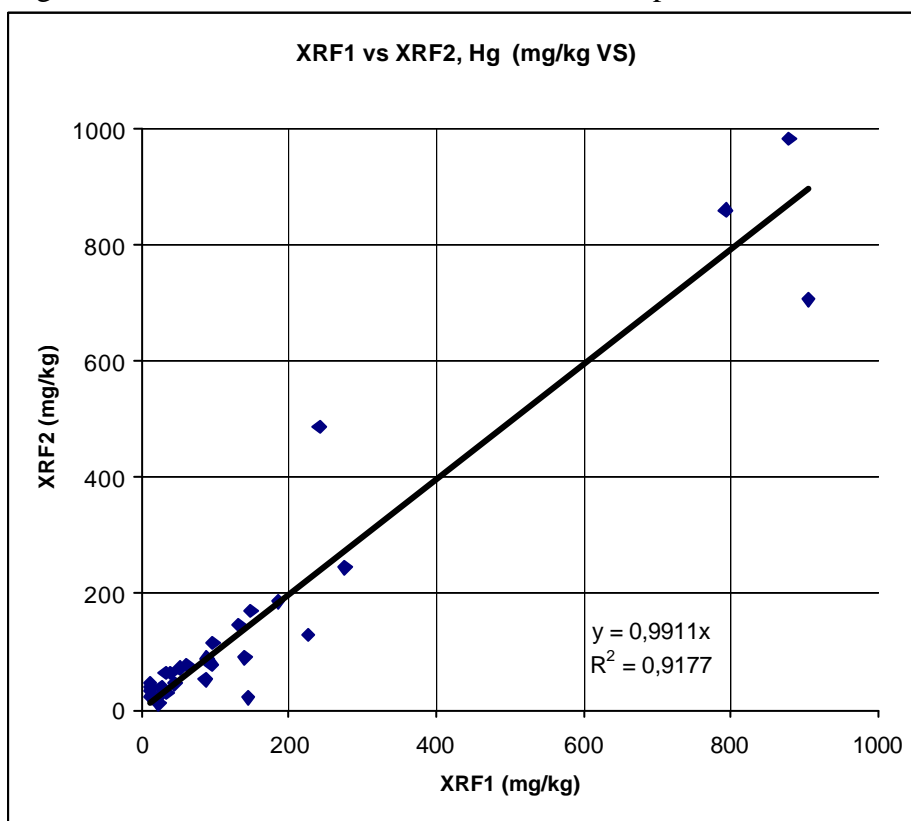
$$\text{Halt}_{\text{TS}} = \text{Halt}_{\text{VS}} * 100 / \text{TS}$$

4.2 KVICKSILVER

4.2.1 XRF1 och XRF2 (XRF-fält)

I 19 av proverna är resultat från fältmätningar, XRF1 och/eller XRF2 under LOD, limit of detection (< i tabellen). LOD är mellan ca 11 och 20 mg/kg i samtliga prover med undantag av ett som är 38,7 mg/kg. Mätosäkerheten varierar mellan 1 och 130 % och är högst vid ett mätvärde nära LOD. Överensstämmelsen mellan XRF1 och XRF2 (kvoten XRF1/XRF2) är god, dvs en återupprepad mätning ger ett jämförbart mätvärde med undantag för några mätvärden. Inga mätvärden över 1000 mg/kg har erhållits.

I figur 1 visas mätresultat av kvicksilver för XRF1 plottad mot XRF2, XRF1 vs XRF2.



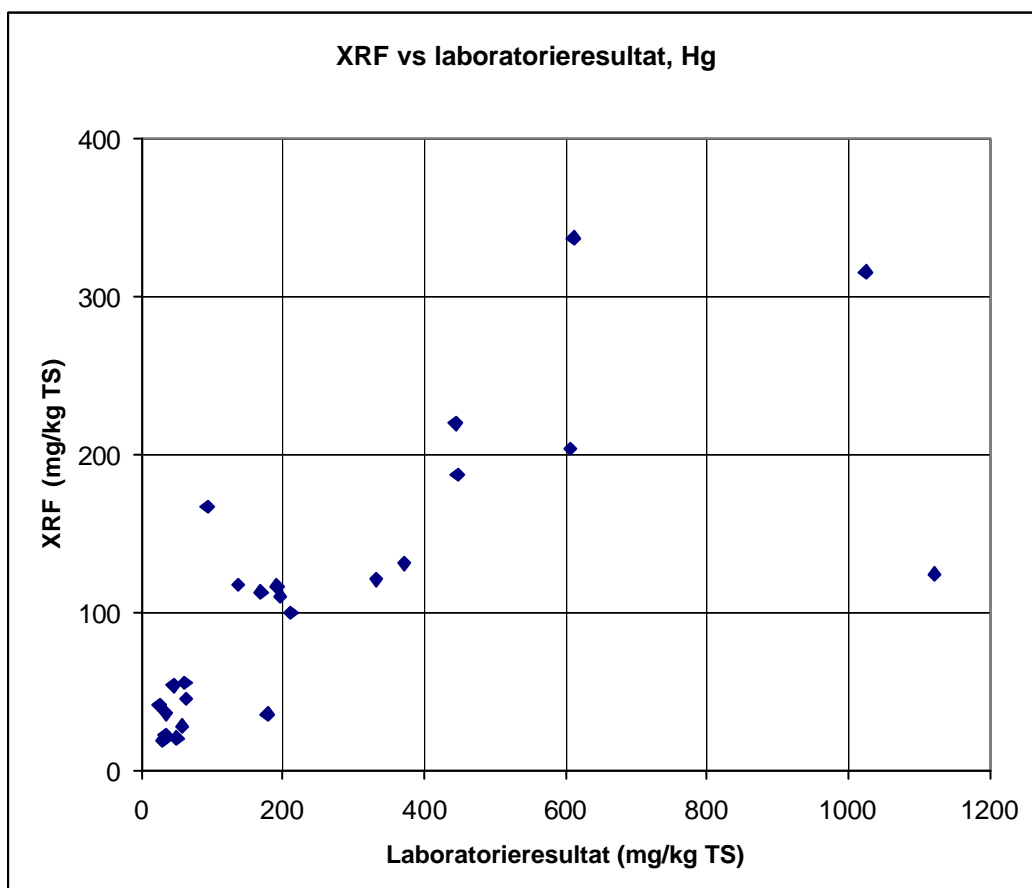
Figur 1. XRF1 plottat mot XRF2 samt regressionslinje. Ej torkade prov (VS, våtsubstans)

En regressionslinje samt regressionskoefficient presenteras även i figuren. Mätresultat från de två mätningarna har god överensstämmelse (regressionskoefficient nära 1, $R^2 = 0,918$), vilket innebär att mätningen har hög precision.

Några få mätvärden avviker med stor skillnad mellan XRF1 och XRF2. Detta beror sannolikt på att materialet är heterogent.

4.2.2 XRF1 och XRF2 (XRF-fält) jämfört med laboratorieresultat

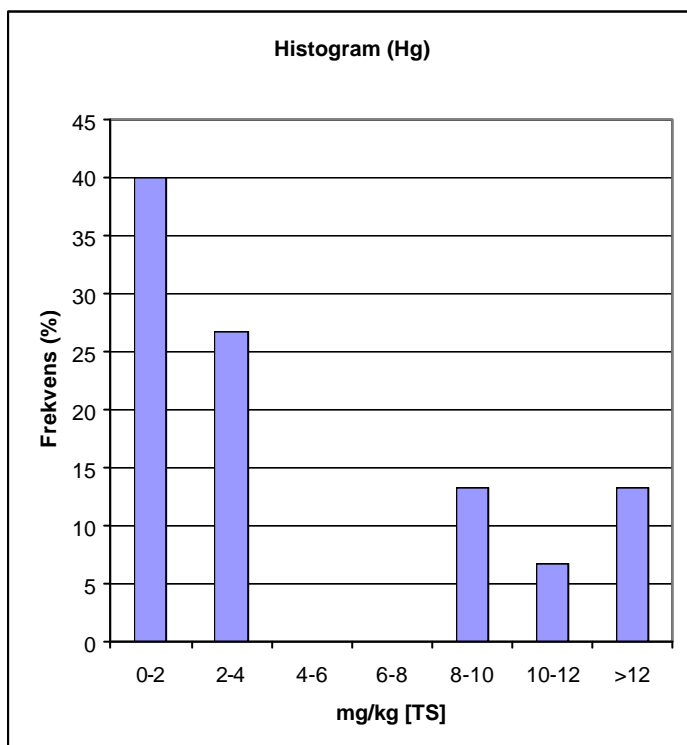
Figur 2 visar mätresultat av kvicksilver från de genomsnittliga XRF-fält (medelvärdet av XRF1 och XRF2) jämfört med laboratorieresultat. Det finns 15 mätvärden där både XRF1 och XRF2 är lägre än "Limit of detection" (LOD). Dessa redovisas ej i figuren. "Limit of detection" för kvicksilver är, enligt vår bedömning, ca 11,5 mg/kg för mätmetoden. För de punkter med ett mätresultat lägre än "Limit of detection" medan det andra är över har mätvärdet satts till 11,5 mg/kg.



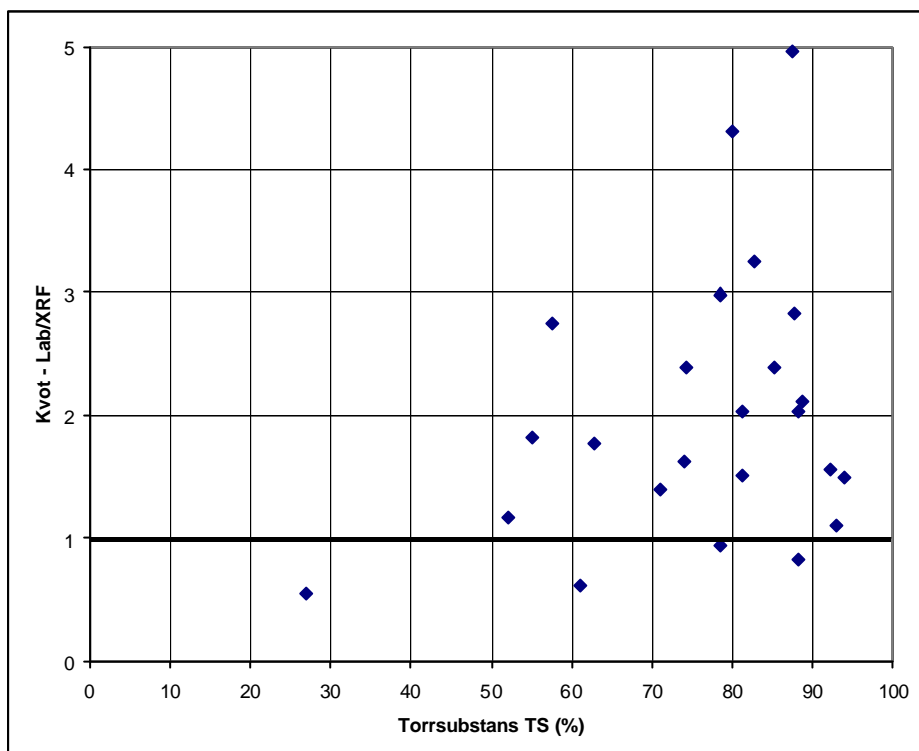
Figur 2. XRF (Mv av XRF1 och XRF2) jämfört med laboratorieresultat för kvicksilver. Notera att skalan ej är densamma för x- och y-axeln.

Laboratorieresultat ger betydligt högre kvicksilverhalt än XRF-mätningen. Lagg märke till att det är olika skalor för axlarna i figuren. Man kan konstatera att kvoten för mätvärde Lab/XRF är mindre (upp till ca 2) när kvicksilverhalten är relativt "låg" (lägre än 200 mg/kg) och blir större med ökande kvicksilverhalt.

Figur 3 visar ett histogram över laboratorieresultat för de 15 mätvärden där båda XRF-mätningarna är lägre än "limit of detection". Det är intressant att konstatera att endast ca 13% (2 mätvärden) av laboratorieresultaten visar högre kvicksilverhalt än 12 mg/kg (ungefärligt värde av LOD). Laboratorieresultatet för dessa punkter är 33 respektive 69 mg/kg. Om man utfört 2 XRF-mätningar på samma prov och båda är lägre än "Limit of detection" är det således stor sannolikhet att en laboratorieundersökning ger en lägre halt än 11,5 mg/kg.



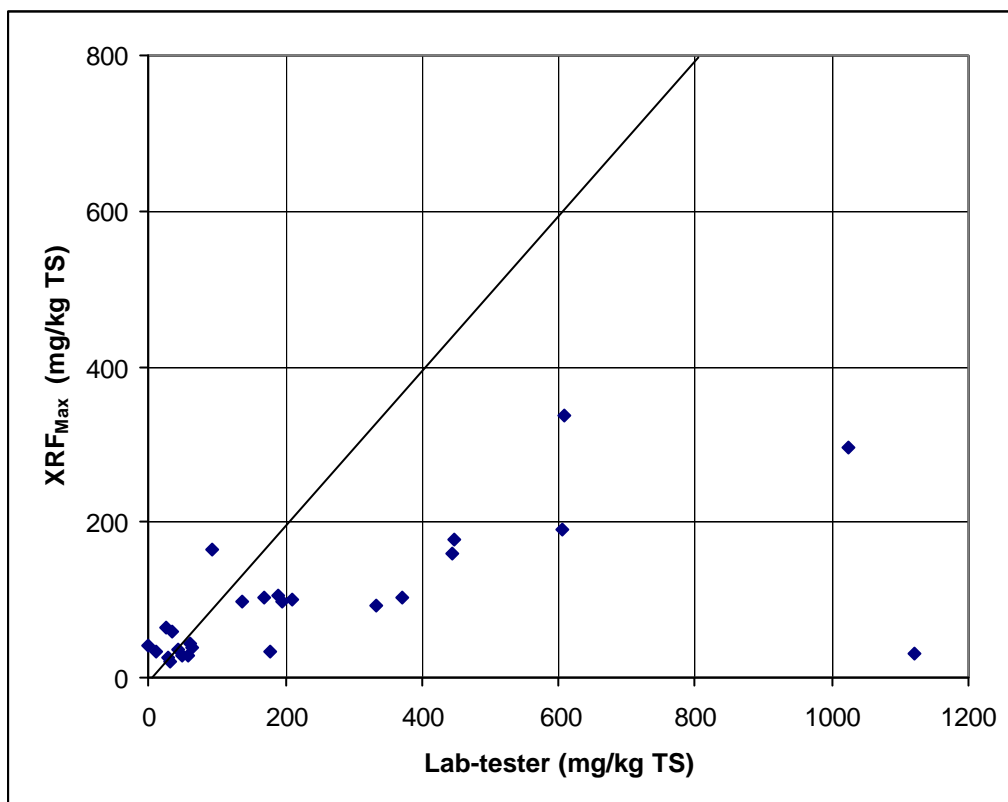
Figur 3. Histogram utvisande fördelningen av laboratorieresultat för de mätningar där både XRF1 och XRF2 är under detektionsgränsen, "Limit of detection" (LOD).



Figur 4. Kvoten laboratorieresultat/XRF för kvicksilver plottad mot torrsubstansen.

Figur 4 visar kvoten mellan laboratorieresultat och XRF (medelvärde av XRF1 och XRF2) mot torrsubstansen i provet. Avsikten är att undersöka om något samband finns mellan mätavvikelse, XRF-mätning mot laboratorieresultat, och provets fukthalt. Inget direkt samband kan konstateras från bearbetat material.

Det är få mätpunkter där kvoten laboratorieresultat/XRF är under ett (ca 10%). Det innebär att XRF generellt ger mycket lägre kvicksilverhalt än laboratorieresultat gör.



Figur 5. XRF_{max} (högsta värdet av XRF1 och XRF2) jämfört med laboratorieresultat. Linjen motsvarar ett mätvärde för XRF som är samma som laboratorieanalysens värde, OBS, ej regressionslinje.

En jämförelse mellan det högre mätvärdet av XRF-fält (XRF1, XRF2) i relation till erhållna laboratorieresultat har utförts, se Figur 5. Linjen i Figur 5 representerar lika mätvärde från både XRF-fält och laboratorieresultat. När mätvärde från XRF_{max} är lägre än 50 mg/mg TS stämmer XRF_{max} väl med laboratorieresultatet. Skillnaden ökar därefter med ökande halt och XRF-mätningen ger generellt en lägre kvicksilverhalt än laboratorieresultatet.

4.2.3 XRF-lab

XRF-mätning har utförts på material som erhållits av laboratoriet. En stor andel av proverna var preparerade av laboratoriet; torkade och malda. Material i provkopp har möjligtvis varit siktat innan de erhållits från Analytica och mätningar utförts.

LOD för XRF-lab i påse och provkopp är mellan 9,3 och 11,3 mg/kg respektive 9,9 till 11,4 mg/kg. Mätosäkerheten varierar mellan 4 och 54 % och ökar kraftigt vid ett mätvärde nära LOD. Mättiden var 120 nominella sekunder jämfört med 60 för XRF-fält, vilket delvis kan förklara att mätosäkerheten är mindre.

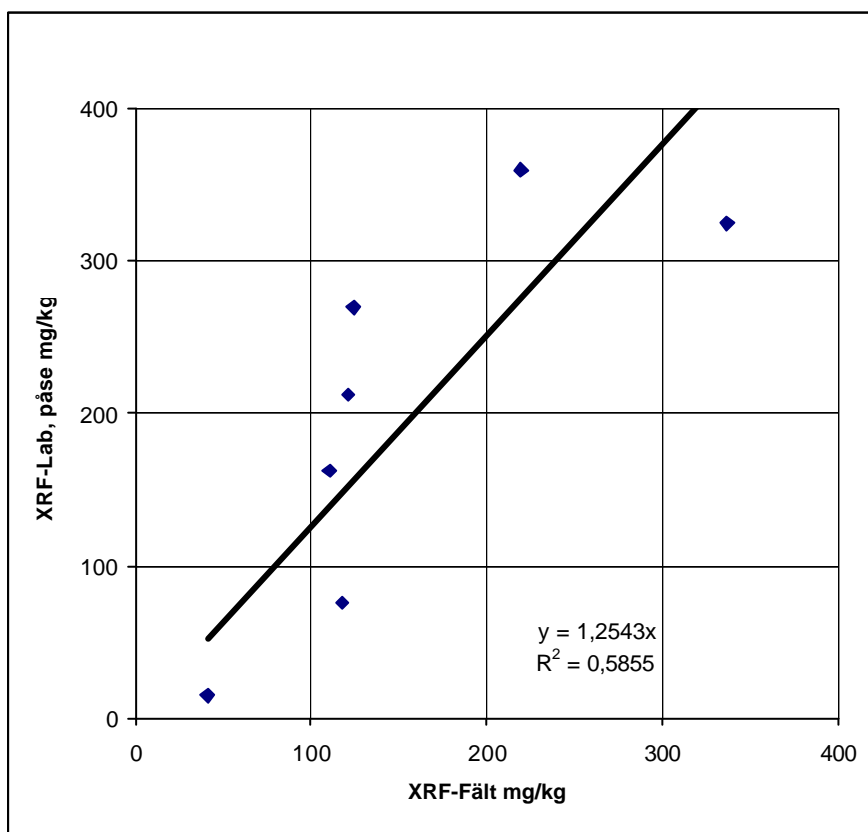
XRF-mätning i både påse och provkopp har gjorts på 10 prov (samma prov). Material i provkopp är preparerade, dvs siktade och malda. Hälften av proven är torkade (utförts av Analytica). För 5 av dessa visar mätning i påse och provkopp mätvärden under LOD. Mätning i provkopp ger något högre värden för mätvärden över LOD, vilket sannolikt kan förklaras av provberedningen (endast mätning på finkornigare material).

I ytterligare 9 prov har XRF-mätning utförts på material i provkopp. För en provpunkt finns XRF-mätning från både naturfuktigt och torkat prov. Det torkade provet har mer än 4 ggr så högt värde.

4.2.4 XRF-fält jämfört med XRF-lab

XRF-mätningar på påse (XRF-fält) och i provkopp (XRF-lab) under LOD motsvaras av laboratorieresultat under LOD med undantag av ett prov. Laboratorieresultatet för detta prov är dock i nivå med LOD för XRF-instrumentet.

XRF-mätning på påse för värden över LOD visar generellt lägre värden än laboratorieresultaten. XRF-mätning i provkopp är vid mätvärden lägre än 500 mg/kg i nivå med laboratorieresultat eller något lägre. Vid höga kvicksilverhalter (laboratorieresultat) ger XRF-mätningen avsevärt lägre halter.



Figur 6. XRF-fält jämfört med XRF-lab, påse för kvicksilver. Ej torkade prov.

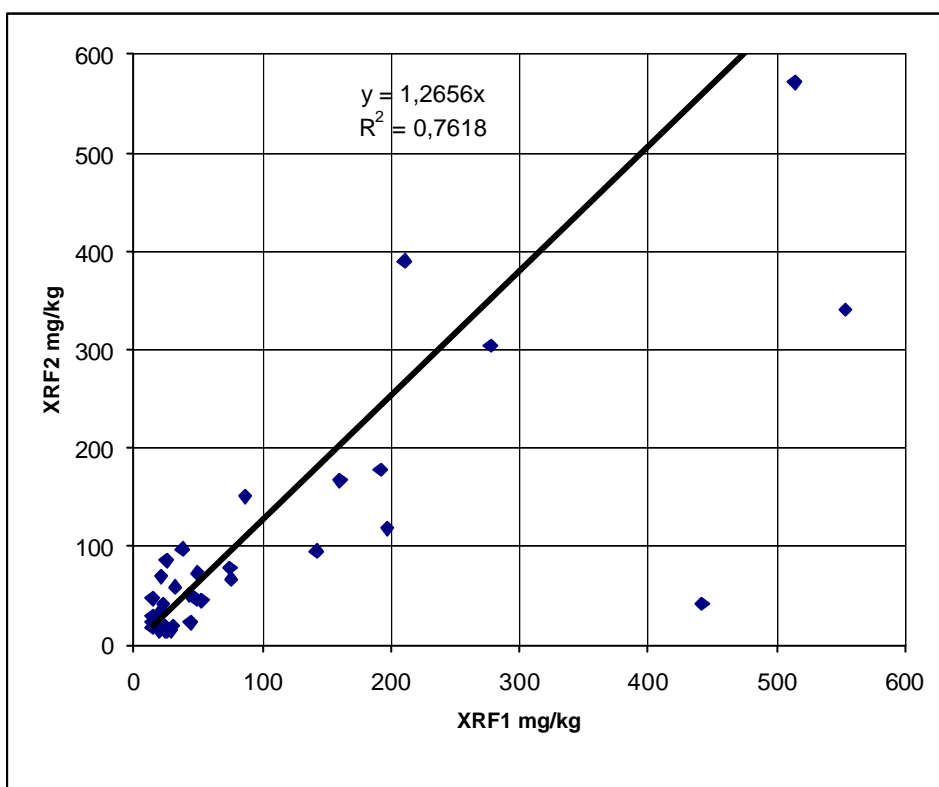
Figur 6 visar en jämförelse mellan XRF-fält (ej torkade prov) och XRF-lab på påse för ett begränsat antal punkter. En regressionslinje samt regressionskoefficient presenteras också i figuren. XRF-lab på påse ger något högre mätvärde. Hälften av XRF-lab proverna är torkade vilket kan förklara de något högre mätvärdena, torkat prov ger högre halt. Regressionskoefficienten är ca 0,59 vilket tyder på en korrelation mellan mätningarna.

4.3 BLY

4.3.1 XRF1 och XRF2 (XRF-fält)

Mätgränsen (LOD) för XRF-mätning av bly är mellan 12,3 och 50,1 mg/kg. Det högsta mätvärde som erhållits är 2260 mg/kg. Mätosäkerheten är mellan ca 5 och 70 % med den största mätosäkerheten vid mätvärde nära LOD. I 14 prov är XRF1 och/eller XRF2 under LOD.

Figur 7 visar mätresultat av bly för XRF1 jämfört med XRF2. En regressionslinje samt regressionskoefficient presenteras även i figuren. Mätresultat från de två mätningarna stämmer relativt bra och regressionskoefficienten är ca 0,76. Statistiskt borde mätvärden från båda XRF-mätningarna vara lika, dvs regressionslinje $y=x$. Att XRF1 och XRF2 för vissa prover ger stor skillnad visar att materialet kan vara heterogent med avseende på blyinnehållet.



Figur 7. XRF1 plottad mot XRF2 för bly samt regressionslinje. Ej torkade prov.

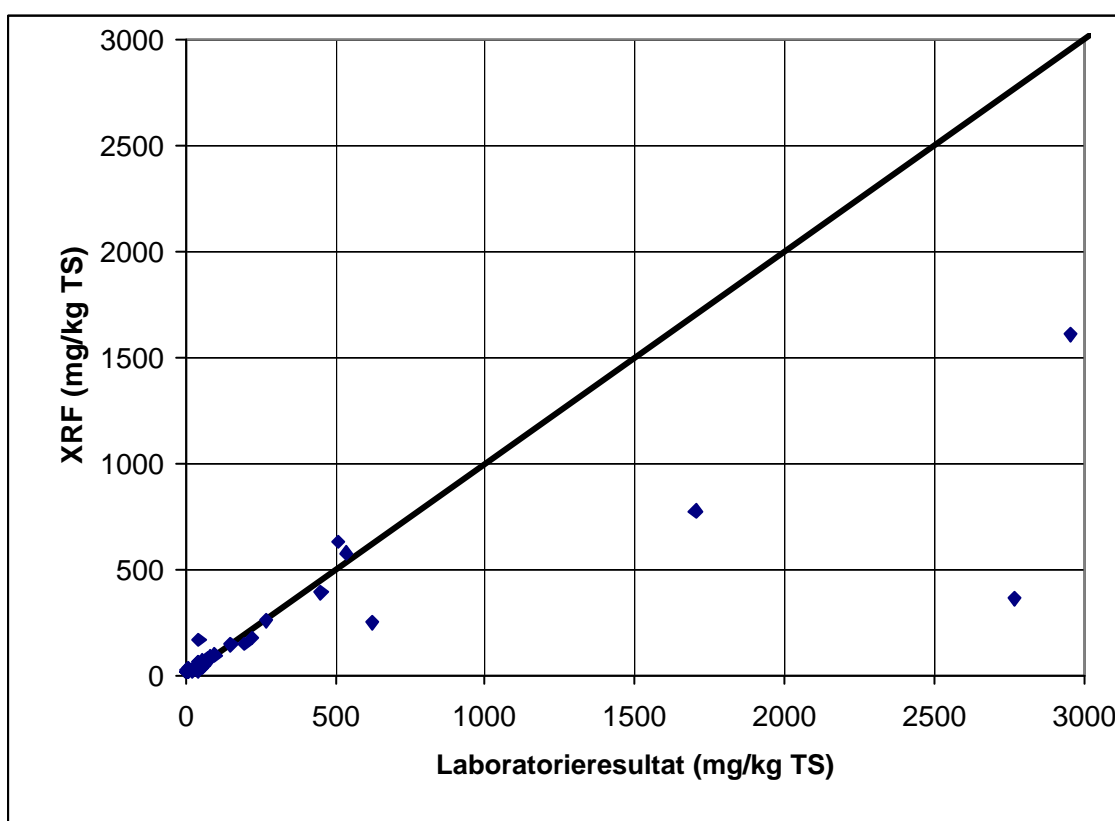
4.3.2 XRF1 och XRF2 (XRF-fält) jämfört med laboratorieresultat

Det högsta laboratorieresultat som uppmätts för bly är över 6000 mg/kg TS.

I samtliga prover med undantag för ett, där XRF-mätningen är under LOD, motsvaras dessa av laboratorieresultat under LOD. 29 mätvärden är över LOD. För 10 av dessa är både XRF1 och XRF2 lägre än laboratorieresultatet. Vid höga blyhalter (laboratorieresultatet) ger XRF-mätningen betydligt lägre halter.

Figur 8 visar mätresultat av bly från XRF-fält (medelvärde av XRF1 och XRF2) jämfört med laboratorieresultat. Det finns endast 6 provpunkter där båda XRF1 och XRF2 är lägre än "Limit of detection" (LOD). Dessa är ej redovisade i figuren. "Limit of detection" för bly ligger på, enligt vår bedömning på ca 15 mg/kg. För de punkter med ett mätresultat lägre än LOD och det andra över LOD har mätvärdet vid utvärderingen satts till 15 mg/kg.

Ur de 6 prover med båda XRF-värden lägre än LOD är det enbart i ett prov som blyhalten (laboratorieresultat) överstiger 15 mg/kg TS. Det innebär att om man vid 2 mätningar erhållit halter under LOD är det stor sannolikhet att blyhalten är lägre än 15 mg/kg.



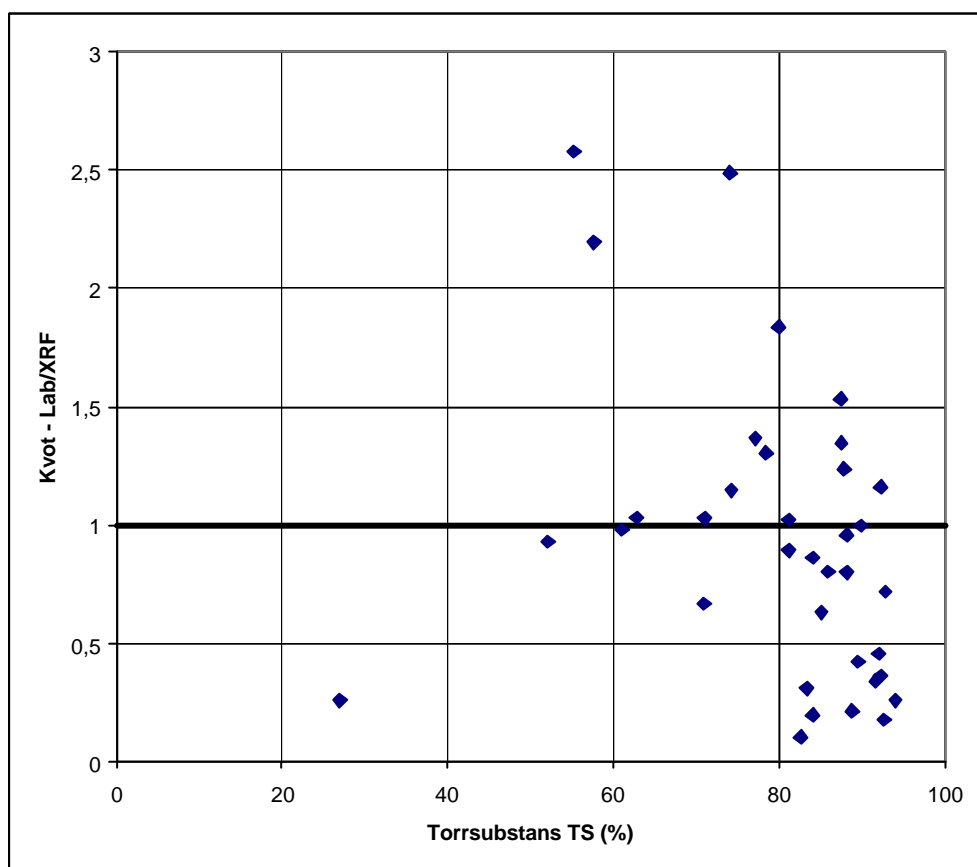
Figur 8. XRF (medelvärde av XRF1 och XRF2) för bly plottad mot laboratorieresultat. Linjen motsvarar ett mätvärde som är det samma för XRF och laboratorieanalysen.

Laboratorieresultat ger endast högre blyhalt än XRF-mätningen i ett fåtal punkter med mycket hög halt. I övrigt är överensstämmelsen mellan de båda mätmetoderna mycket bra, särskilt vid en bly-

halt lägre än 500 mg/kg TS. Vid höga blyhalter finns få mätvärden och inga direkta slutsatser kan dras från materialet.

Figur 9 visar kvoten mellan laboratorieresultat och XRF (medelvärde av XRF1 och XRF2) plottad mot jordens torrsubstans. Avsikten är att undersöka om något samband finns mellan kvot av XRF mot laboratorieresultat och jordens torrsubstans. Inget sådant samband kan konstateras.

Trots att kvoten varierar stort, mellan 0 och 2,5, är punkterna spridda ungefärligt kring ett. Spridningen kan bero på att bly förekommer heterogent i provet.



Figur 9. Kvoten laboratorieresultat och XRF för bly plottad mot torrsubstans.

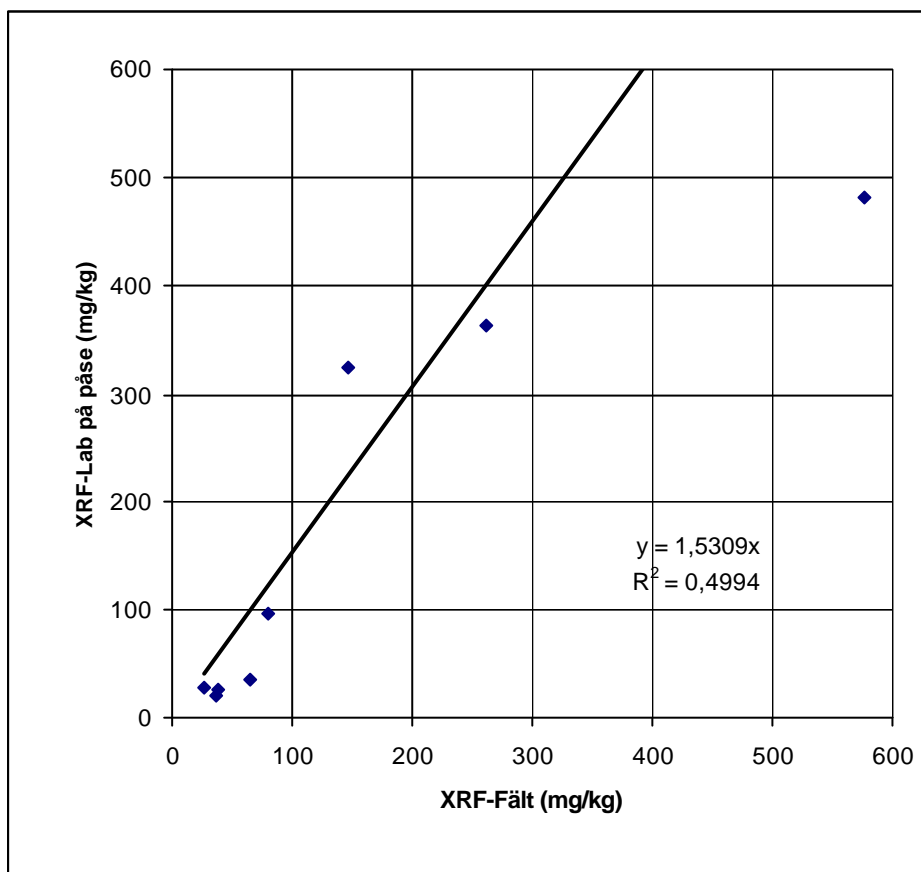
4.3.3 XRF-lab

Inga mätvärden under LOD har erhållits för XRF-mätning utförd på prov erhållna från laboratoriet. Mätosäkerheten varierar mellan ca 5 och 50 % för utförda mätningar. Mätning i provkopp ger generellt något högre mätvärden än mätning på påse, vilket bör kunna förklaras av provprepareringen. Vid mätning i provkopp har provet siktats och/eller malts.

4.3.4 XRF-lab jämfört med XRF-fält

XRF-lab för påse och provkopp ger i flertalet provpunkter något högre halter än laboratorieresultaten.

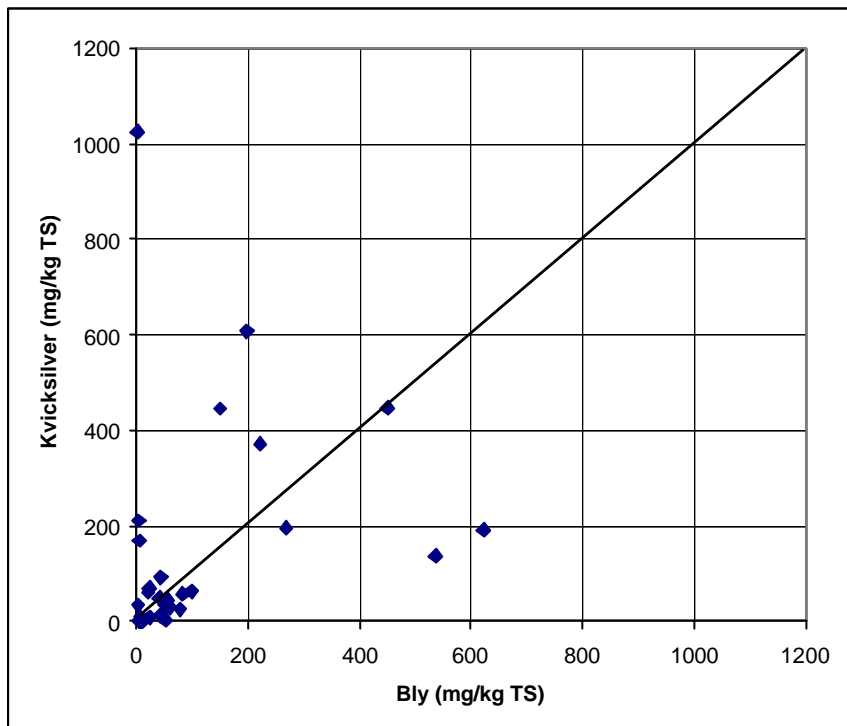
Figur 10 visar jämförelser mellan XRF-fält och XRF-lab utförd på påse för ett begränsat antal av punkter. En regressionslinje samt regressionskoefficient presenteras också i figuren. XRF-lab på påse ger högre mätvärde. Hälften av XRF-lab proverna är torkade, vilket kanske förklarar att halterna är högre i dessa prov. Regressionskoefficienten är ca 0,5.



Figur 10. XRF-fält (TS) jämfört med XRF-lab (TS), påse för bly.

4.4 KVICKSILVER OCH BLY

Figur 11 visar kvicksilverhalt plottad mot blyhalt, båda från laboratorieundersökningar. En viss korrelation kan eventuellt konstateras mellan de två ämnena.



Figur 11. Kvicksilverhalten plottad mot blyhalten.

5 RESULTAT, BYGGNADSMATERIAL

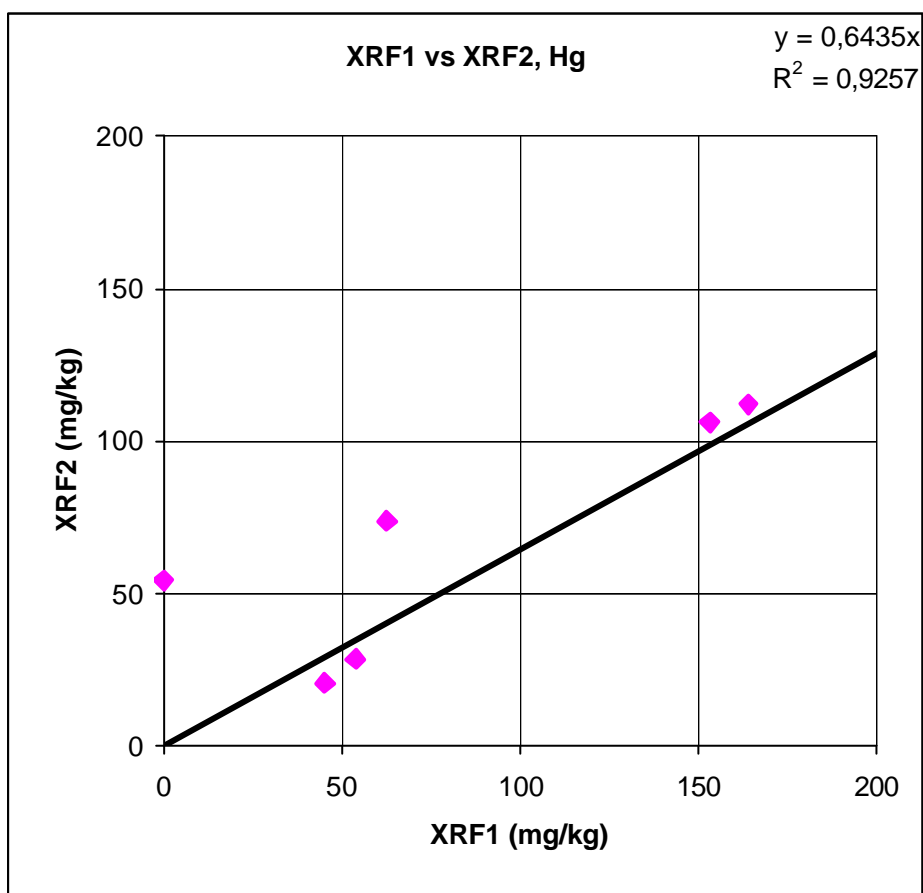
5.1 ALLMÄNT

Mätresultat avseende kvicksilver och bly utförda med både XFR-instrument och analyserat på laboratorie behandlas i detta avsnitt. Mätningarna har utförts på byggnadsmaterial från i första hand cellhallen. Mätresultat har indelats i två grupper, oorganiskt material – tegel, puts och bruk samt organiskt material – bl a trä. Eftersom torrsubstansen för alla provmaterial är mycket hög är omräkning av XFR-resultat till torrsubstans av endast marginell betydelse.

Mätresultat för Hg och Pb med några intressanta parametrar redovisas i bilaga 3 och 4.

5.2 KVICKSILVER

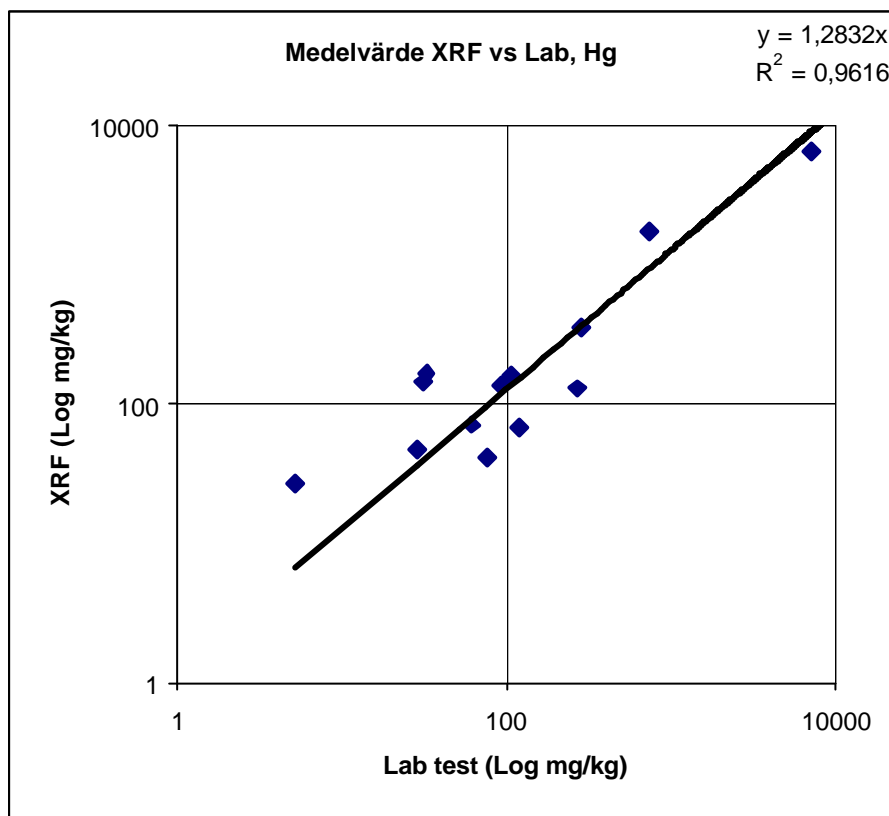
I figur 12 visas mätresultat av kvicksilver för XRF1 plottad mot XRF2 för oorganiskt material. En regressionslinje samt regressionskoefficient presenteras även i figuren. Överensstämmelsen mellan XRF1 och XRF2 är god, dvs en återupprepad mätning ger, trots få mätvärden, ett jämförbart mätvärde. Detta gäller med undantag för några få mätvärden. Eftersom mätning XRF1 och XRF2 kan betraktas som slumpvis, har vissa resultatpar ombytts för att sträva efter att XRF1 blir lika med XRF2. Endast lutningen på linjen som påverkas och ej regressionskoefficienten.



Figur 12. XRF1 plottad mot XRF2 samt regressionslinje (oorganiskt material).

I figur 13 redovisas mätresultat av kvicksilver från de genomsnittliga XRF-fält (medelvärdet av XRF1 och XRF2) jämfört med laboratorieresultat. För vissa punkter finns det endast ett mätvärde (se bilaga 3). För att tydliggöra mätvärden används Log-Log skala i diagrammet.

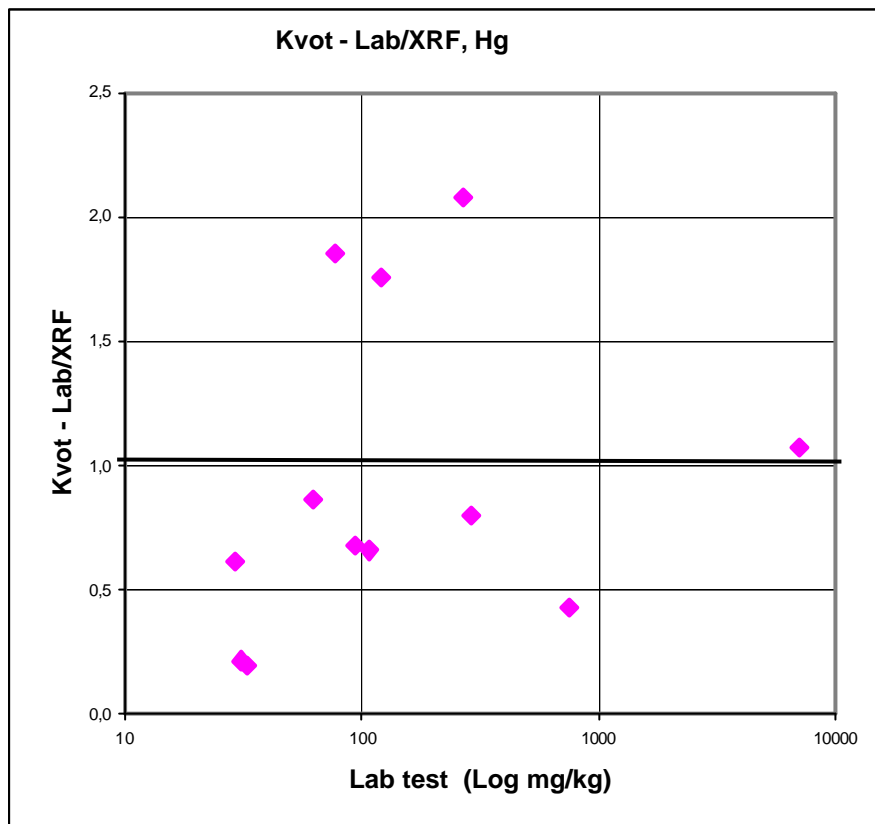
XRF-mätningen ger något högre kvicksilverhalt än laboratorieresultaten, ca 1,3 gånger. En regressionslinje samt regressionskoefficient presenteras även i figuren. Denna tyder på god överensstämmelse (regressionskoefficient nära 1, $R^2 = 0,962$), vilket innebär att mätningen har en god precision.



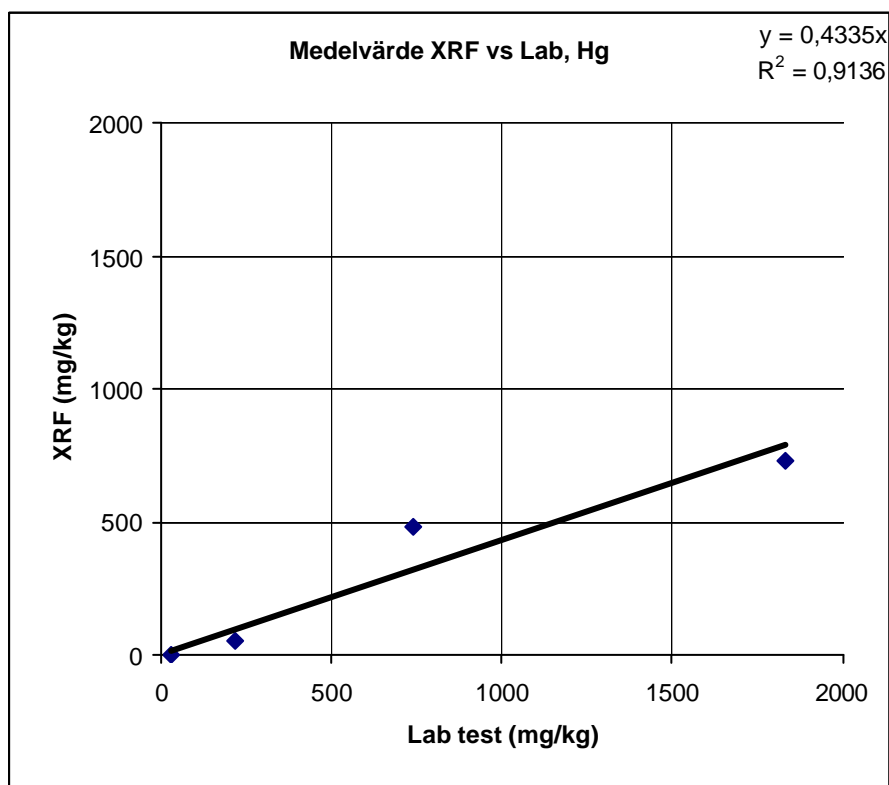
Figur 13. XRF (Mv av XRF1 och XRF2) jämfört med laboratorieresultat för kvicksilver (oorganiskt material). Notera att Log-skala används för x- och y-axeln.

Figur 14 visar kvoten för kvicksilverhalt bestämd med XRF (medelvärde av XRF1 och XRF2) och laboratorieresultat jämfört med halten i provet. Avsikten är att undersöka om något samband finns mellan kvoten och halten i provet. Inget tydligt samband kan urskiljas. Notera att x-axeln är i Log-skala.

Från erhållna resultat, se bilaga 3, kan man konstatera att kvicksilverhalten i oorganiska material (puts, tegel) tydligt minskar från väggytan och inåt



Figur 14. Kvoten laboratorieresultat/XRF för kvicksilverhalt (oorganiskt material).

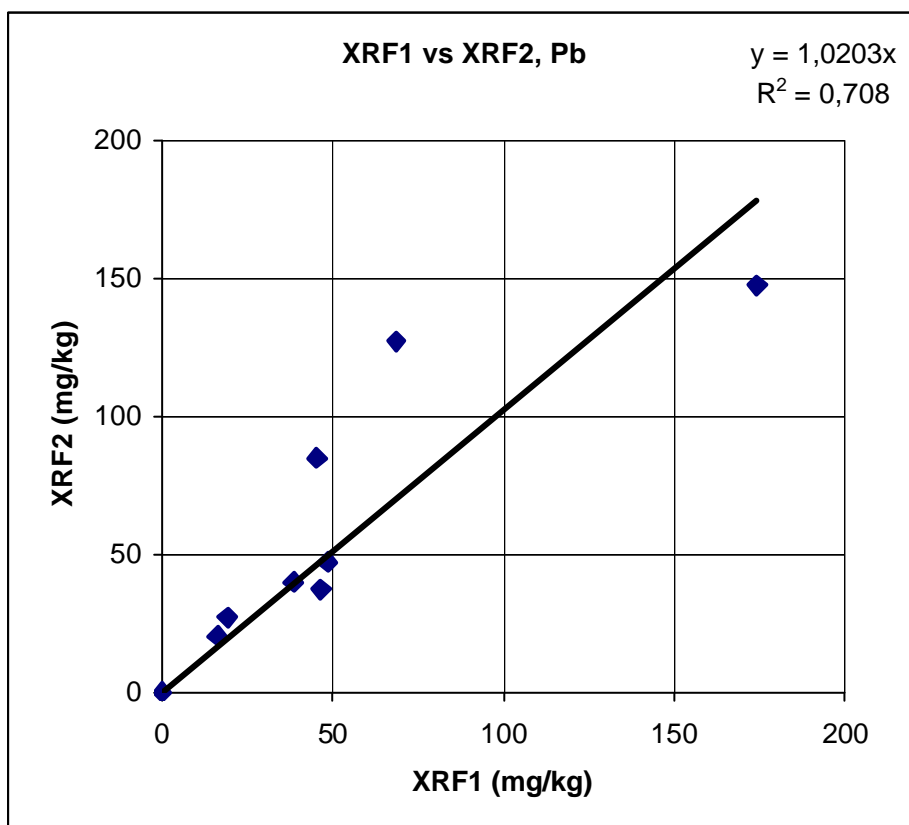


Figur 15. XRF (Mv av XRF1 och XRF2) jämfört med laboratorieresultat för kvicksilver (trä).

Figur 15 redovisar mätresultat av kvicksilverhalt i trä för laboratorieresultat och XRF (medelvärde av XRF1 och XRF2). En regressionslinje samt regressionskoefficient presenteras även i figuren. Regressionskoefficient ($R^2 = 0,914$) visar ett bra samband mellan mätmetoderna. Laboratorieresultaten ger dock betydligt högre halter än XRF-mätningarna (ca 2,3 gånger). Notera de få mätvärdena.

5.3 BLY

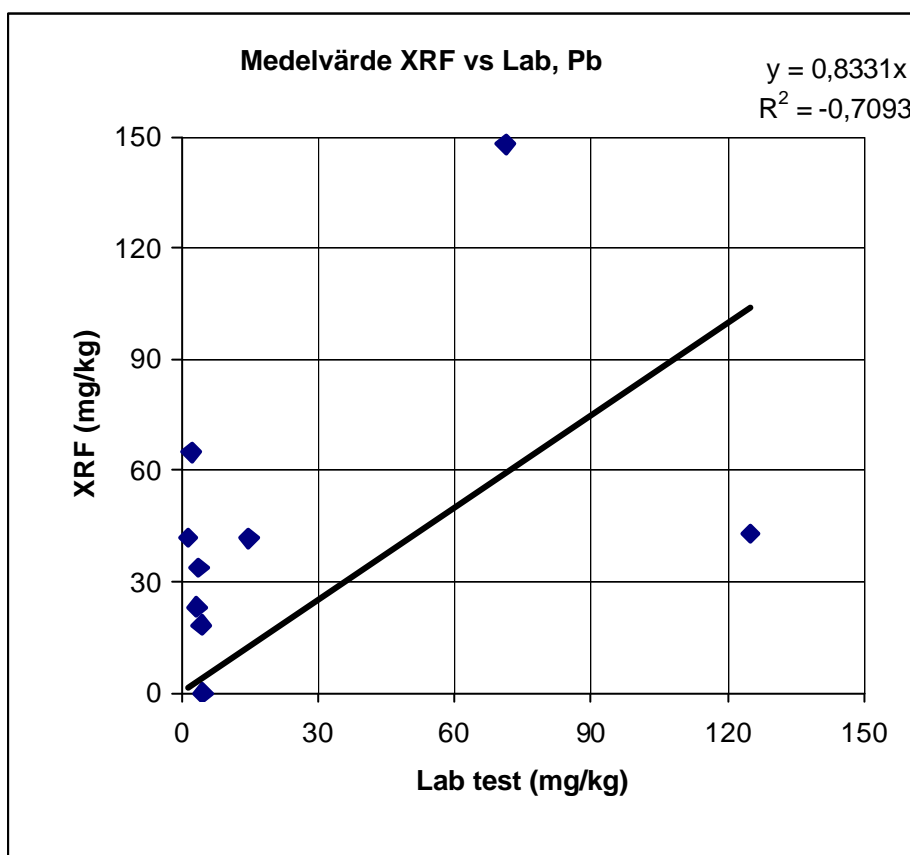
Figur 16 visar en återupprepad mätning av bly i oorganiskt byggnadsmaterial. En regressionslinje samt regressionskoefficient presenteras i figuren. Mätresultat från de två mätningarna stämmer relativt bra och regressionskoefficienten är ca 0,71. Eftersom mätning XRF1 och XRF2 kan betraktas som slumpvis, har vissa resultatpar, XRF1 och XRF2, ombytts för att erhålla ett så homogent datamaterial som möjligt.



Figur 16. XRF1 plottat mot XRF2 samt regressionslinje (oorganiskt material).

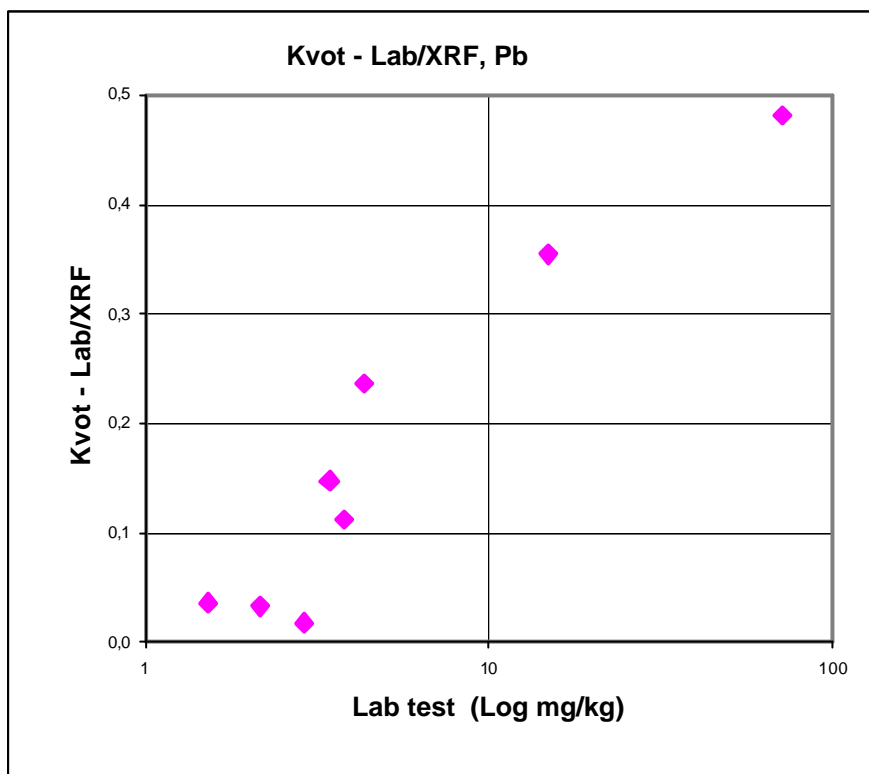
Figur 17 visar XRF-mätning (medelvärde av XRF1 och XRF2) av bly jämfört med laboratorieresultat för oorganiskt byggnadsmaterial. En regressionslinje samt regressionskoefficient presenteras även i figuren. Blyhalten i byggnadsmaterialet är generellt låg och lägre än 150 mg/kg.

Trots varierande blyhalt (mellan 0 och 150 mg/kg) bestämd med XRF, är alla förutom två laboratorieresultat lägre än 15 mg/kg. Det finns ingen korrelation mellan blyhalten bestämd med XRF och laboratorieresultaten. Den högsta blyhalten (125 mg/kg) utförd med laboratorianalys har erhållits i en punkt med målad puts (se bilaga 4). Vid mätning av målade ytor skall annan teknik användas vilket bör beaktas.



Figur 17. XRF (Mv av XRF1 och XRF2) jämfört med laboratorieresultat för bly (oorganiskt material).

Blyhalten i organiskt byggnadsmaterial redovisas som kvoten mellan laboratorieresultat och XRF (medelvärde av XRF1 och XRF2) i figur 18. Notera att x-axel är i Log-skala för att erhålla ett tydligt resultat. Nästan alla punkter ligger under 0,5, vilket innebär att XRF-mätning ger högre halter oberoende av uppmätt blyhalt.



Figur 18. Kvoten laboratorieresultat/XRF för bly (oorganiskt material).

Det finns inga laboratorieanalyser av bly för trä.

6 KOMMENTARER OCH SLUTSATSER

6.1 ALLMÄNT

De utförda mätningarna visar att XRF-instrumentet är ett värdefullt verktyg för bestämning av metallhalter i jord och byggnadsmaterial. XRF-mätning ger en hög precision och acceptabel noggrannhet.

XRF-mätning och laboratorieanalyser av jord har ej utförts på exakt samma provmängd vilket ger en viss osäkerhet vid tolkning av erhållna resultat.

I undersökningen har huvuddelen av XRF-mätningarna utförts på natur fuktigt prov.

Omräkning till torrsubstans (TS) skall göras för att erhålla ett med laboratorieresultat jämförbart värde. Aktuella TS-halter i utförda prover redovisas i bilaga 1-2. Materialets vattenhalt är beroende av jordart och om provet exempelvis är uttagit ovan eller under grundvattenytan. För byggnadsmaterial krävs ej korrigering av mätvärdet med avseende på torrsubstans.

6.2 JORD

Nedre mätgränsen ("Limit of detection", LOD) för XRF-mätning av kvicksilver är mellan 10-20 mg/kg för fyllnadsjord inom EKA-området. Typiskt LOD-värde för ej torkat prov i påse bedömer vi till 11,5 mg/kg (vid mättid 60 nominella sekunder). Vid mätning i provkopp med preparerat prov är LOD något lägre, ca 10 mg/kg (vid mättid 120 nominella sekunder). Den relativt höga mätgränsen för kvicksilver innebär att mätning med XRF-instrument ej enbart går att använda för att avgränsa och klassificera jord med kvicksilverhalter under Naturvårdsverkets generella riktvärden för känslig markanvändning (0,3 mg/kg TS) och mindre känslig markanvändning (7 mg/kg TS). Rekommendationer för XRF-mätning redovisas i avsnitt 7.

En XRF-mätning av kvicksilver under LOD ger med hög sannolikhet ett laboratorieresultat under 11,5 mg/kg, vilket motsvarar ca 15 mg/kg TS för exempelvis en normalfuktig grusig sand (TS ca 80 %). Att notera är dock att det finns en viss osäkerhet beroende på hur homogent kvicksilver förekommer i ett prov. En upprepad XRF-mätning under LOD motsvaras ej alltid av en laboratoriehalt under LOD.

En återupprepad mätning av kvicksilver ger generellt ett jämförbart mätvärde, vilket innebär att XRF-mätning har hög precision och att kvicksilverhalten i de undersökta proverna är relativt homogent fördelad.

Laboratorieresultat ger generellt betydligt högre kvicksilverhalt jämfört med XRF-mätning på opreparerat prov i påse. Kvoten av mätvärde Lab/XRF (medelvärde av XRF1 och XRF2) är mindre (upp till ca 2) när kvicksilverhalten är relativt "låg" (vid laboratorieresultat lägre än 200 mg/kg) och blir större med ökande kvicksilverhalt. En hög kvicksilverhalt uppmätt med XRF är således en garanterat hög halt. En överskattning av halterna kan innebära högre kostnader för efterbehandling av förorenad jord, vilket bör beaktas vid klassificering av jord utifrån XRF-mätningar.

Avvikelsen vid ökande halt kan sannolikt delvis förklaras av provberedningen. Vid mätning med XRF på påse med opreparerat prov har mätning utförts på hela provmängden, även större partiklar såsom sand (> 2 mm) och grus (> 20 mm) ingår i provmängden. Eventuella föroreningar förekommer huvudsakligen i den finare fraktionen. Vid laboratoriebestämning utförs analys på finkornigare material. Hur provet uttagits har alltså betydelse.

Vid mätning på preparerat prov (torkat, malt och siktat) i kopp (XRF-lab-kopp) är XRF-mätningen i nivå med laboratorieresultaten. Detta gäller sannolikt åtminstone vid kvicksilverhalter lägre än ca 500 mg/kg.

En XRF-mätning av bly under LOD motsvaras generellt av ett laboratorieresultat under 15 mg/kg TS.

Nedre mätgränsen ("Limit of detection", LOD) för bly med XRF är mellan ca 10 och 50 mg/kg, med ett typiskt värde på 15 mg/kg, vilket motsvarar ca 18 mg/kg TS för en normalfuktig sand (TS ca 80 %). Det innebär att XRF med god marginal går att använda för att klassificera jord med blyhalter under Naturvårdsverkets generella riktvärden för känslig markanvändning (80 mg/kg TS) och mindre känslig markanvändning (300 mg/kg TS).

En återupprepad mätning av bly ger ett relativt jämförbart mätvärde men ej med så bra överensstämmelse som mätning av kvicksilver. Det beror sannolikt på att bly förekommer betydligt mer heterogent i jordproverna än vad kvicksilver gör.

Överensstämmelsen mellan blyhalt i jord bestämd med XRF-instrument och laboratorieanalys är god, åtminstone upp till ca 500 mg/kg TS.

Fukthalten verkar ha mindre betydelse för överensstämmelsen mellan XRF-mätning och laboratorieresultat.

6.3 BYGGNADSMATERIAL

Jämförelse mellan XRF-mätning och laboratorieresultat för bly och kvicksilver i byggnadsmaterial visar på några intressanta resultat.

Det är mycket god överensstämmelse mellan kvicksilverhalt i oorganiskt material bestämd med XRF och laboratorieresultat (se Figur 13). Detta är delvis annorlunda från de resultat som erhållits från XRF-mätning på jordprover, där XRF-mätning gav betydligt lägre värden än laboratorieanalyserna (se Figur 2 och 4 i avsnitt 4).

XRF-mätning av kvicksilver i organiska byggnadsmaterial ger klart lägre värden än laboratorieresultaten. Detta stämmer i viss mån med XRF-mätning för jordprover med mycket hög organisk halt, vilket kan tyda på att XRF-utrustningen (mätmetoden) ej är anpassad för organiska jordar. En korrektionsfaktor i storleksordningen på 2,5 måste användas för XRF-mätning för bestämning av kvicksilverhalt i organiska jordprover. Detta gäller dock endast för kvicksilver och ej för bly.

Den utförda provtagningen av byggnadsmaterial visar att kvicksilverhalterna i oorganiska material minskar från väggytan och inåt. Det beror sannolikt på att kvicksilver i gasfas har trängt in i byggmaterial såsom puts, tegel och betong till ett visst djup. Detta är sannolikt förklaringen till att XRF-mätning på ytan kan ge något högre värden än det som bestämts med laboratorieanalys. Vid provtagning för laboratorieanalys har sannolikt ett prov som både representerar väggytan och material längre in i väggen uttagits.

XRF-mätning av blyhalt i oorganiskt material stämmer dåligt med laboratorieresultaten (se Figur 17). Detta beror sannolikt ej på mätfel, från Figur 16 visas att två XRF-mätningar har god precision, utan på provtagningsmetodiken. XRF-instrumentet mäter direkt på ytan medan prov som uttagits för laboratorieanalys sannolikt även innehåller provmaterial längre in i väggen. Sannolikt ligger bly som ett tunt skikt på väggytan och har ej trängt in i byggmaterialet.

7 REKOMMENDATIONER

Eftersom XRF mätning kan utföras mycket snabbt och direkt i fält, är metoden speciellt lämplig för kontrollmätningar i efterbehandlingskedet där klassning av förorenat material skall ske snabbt och på plats.

För klassning av material rekommenderas att ett större antal XRF mätningar och laboratorieanalyser utförs för att erhålla resultat av hög kvalitet.

XRF mätning utförs med störst noggrannhet på preparerat prov, dvs provet mals och siktas, (material > åtminstone 2 mm tas bort) innan mätning utförs. Med tanke på arbetsmiljön är det dock ej lämpligt att torka proverna, då kvicksilver avgår i luft vid högre temperatur. XRF-mätning på material i provpåse rekommenderas pga ovanstående. Grovt material (material > 20 mm grus) tas om möjligt ej med vid provtagningen. Om detta ej är möjligt utförs mätningen på påsen där andelen grovt material (>4 mm) är låg.

Mättiden bör vara så lång som möjligt (120 nominella sekunder). Mätningen bör upprepas minst 2 gånger per prov. Maxvärdet för mätningarna används. Om skillnaden mellan mätvärdena är stor upprepas mätningen.

XRF-mätning bör alltid åtföljas av laboratorieanalys av materialet. För att erhålla en kvalitetssäkrad data bör exempelvis 5-10 % av insamlad XRF-data kontrolleras mot laboratorieresultat.

Laboratorieanalysen utförs om möjligt på samma provmängd som XRF-mätningen.

Att beakta vid mätning med XRF-instrument inom projektet:

- Undvik att rikta mätfönstret mot sten och grövre material.
- Mätfönstret skall flyttas något mellan mätningarna för att fånga upp hur föroreningshalterna varierar i provet.
- Jordens naturliga vattenkvot kan uppskattas från erfarenhet från projektet (se bilaga 1,2) eller från mätvärde från liknande jordprover. Omräkning av metallhalt görs från VS till TS.
- Mätning på organiskt material ger stor osäkerhet. En korregeringsfaktor på ca 2,5 bör tillämpas.
- Korrelation av XRF-mätning mot laboratorieresultat kan och bör göras i enlighet med de resultat som erhållits. Hur korrelationen utformas är beroende på syftet med mätningen.

GF Konsult AB
Geoteknik



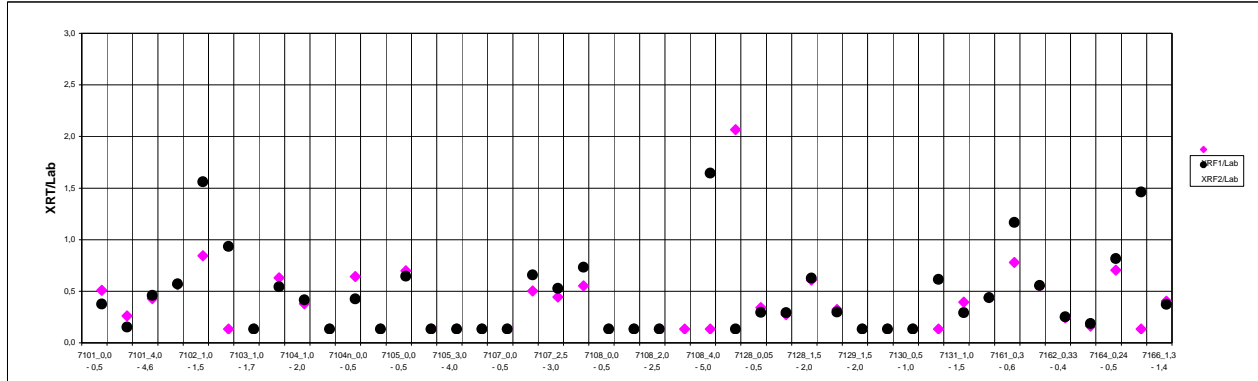
Åsa Granath

Kvikksilver, XRF mätningar och laboratorieresultat av jord

Prov-punkt	Djup [m u my]	XRF1 [mg/kg]	Hg error 1		XRF 2		Hg error 2		XRF1 Lab resultat	XRF1 Lab resultat	XRF2 Lab resultat	XRF2 Lab resultat	XRF-lab påse		XRF-lab_kopp		Lab result XRF-lab_p	Lab result XRF-lab_kopp	Jordart	TS %		
			[mg/kg]	(%)	[mg/kg]	(%)	[mg/kg]	(%)					[mg/kg]	(%)	[mg/kg]	(%)						
7101	0,0 - 0,5	140,1	25,3	18,06	90,2	16,7	18,51	1,55	372	0,38	0,24							F/Mu, gr Sa	87,8			
	1,0 - 1,5	144,4	30,9	21,40	20,9	5,9	28,23	6,91	1122	0,13	0,02	269,8	25,7	9,53				F/Le	66,5			
	4,0 - 4,6	132	24,4	18,48	146	30,8	21,10	0,90	447	0,30	0,33							(gr) si Sa	74,2			
7102	0,0 - 0,5	24,7	12,3	49,80	25,3	11,7	46,25	0,98	57,7	0,43	0,44							F/gr Sa	88,1			
	1,0 - 1,5	31,8	11,7	36,79	63,9	12,9	20,19	0,50	44,8	0,71	1,43				47,6	7,4	15,55	0,94	F/gr Sa	88,1		
7103	0,0 - 0,5	<14,85			24,2	11	45,45		30,2		0,80								F/gr Sa	92,2		
	1,0 - 1,7	<13,95			<13,65				0,43										(gr) Sa	92,2		
7104	0,0 - 0,5	94,9	15,5	16,33	78,3	13,4	17,11	1,21	191	0,50	0,41								F/mu gr Sa	74		
	1,0 - 2,0	148,5	16,8	11,31	170,5	16,2	9,50	0,87	607	0,24	0,28								F/gr Sa	78,4		
	3,0 - 3,5	<11,4			<10,95				69,7										F/gr Sa, Vx	70		
7104n	0,0 - 0,5	226,4	20,8	9,19	129,6	17,5	13,50	1,75	445	0,51	0,29	359,8	21,3	5,92	511,2	24,3	4,75	1,24	0,87	F/gr Sa, Mu	81,1	
7104n	3-3,5	>14,1			<13,35				32,6											gr Sa	77,1	
7105	0,0 - 0,5	18,9	9,8	51,85	17,1	9,4	54,97	1,11	33,4	0,57	0,51									F/gr Sa, Mu	81,1	
	1,0 - 1,5	<15,45			<14,7				0,125						<10,5					F/gr Sa	95	
	3,0 - 4,0	<13,8			<12,3				2,86											F/gr Sa	83,1	
7106	1,0 - 1,5	<14,1							3,1		0,00	<9,3			<10,65					gr Sa	92	
7107	0,0 - 0,5	<13,95			<14,55				8,37											F/gr Sa	89,8	
	1,5 - 2,0	50,7	12,9	25,44	71,9	17,1	23,78	0,71	137	0,37	0,52	75,9	12,6	16,60	141	17,7	12,55	1,81	0,97	F/gr Sa	52,1	
	2,5 - 3,0	61	13,1	21,48	77,5	12,2	15,74	0,79	196	0,31	0,40	162,5	14,7	9,05	212,2	16,9	7,96	1,21	0,92	F/gr Sa	62,8	
	3,5 - 4,0	26,6	10,6	39,85	38	11,3	29,74	0,70	63,5	0,42	0,60									F/gr Sa	71	
7108	0,0 - 0,5	<14,7			<14,1				0,11											F/gr Sa	91,6	
	1,0 - 1,5	<14,85			<15,15				0,071											F/gr Sa	89,5	
	2,0 - 2,5	<16,35			<16,35				0,068			<10,35			<10,35					F/gr Sa	88	
	3,0 - 3,5	<16,35			33,7	17,5	51,93		0,064		526,56	<10,65			<9,9					F/gr Sa	84	
	4,0 - 5,0	<16,65			38,8	9,5	24,48		25,7		1,51	14,8	7,9	53,38	21,7	9,7	44,70	1,74		F/gr Sa	61	
	5,5 - 5,85	23	14,4	62,61	<20,55				11,9	1,93		<10,95			<9,75					gr Sa	70,9	
7128	0,05 - 0,5	905,6	51,6	5,70	706,8	48,3	6,83	1,28	4343	0,21	0,16				820	30,6	3,73		5,30	Si, Vx, Mu	79,9	
	1,0 - 1,5	879,2	10,3	1,17	983,2	9,2	0,94	0,89	6240	0,14	0,16				1029,6	36,9	3,58		6,06	F/si Sa, Mu	85,9	
	1,5 - 2,0	44,2	47,1	106,56	46	60,3	131,09	0,96	93	0,48	0,49									F/Vx	27	
7129	0,05-0,5	33,7	13,9	41,25	29,1	12,3	42,27	1,16	178	0,19	0,16				225,2	16,6	7,37		0,79	Si Sa, Mu, Af	87,5	
	1,5 - 2,0	<15,9							2,46		0,00				<11,1					F/si Sa, tegel	83,3	
7130	0,05 - 0,5	<38,7			<16,2				8,93			<11,25			<10,95						Mn, gr si Sa	93,1
	0,5 - 1,0	<15			<15				3,42			<11,4			<11,4						Mn, gr si Sa	92,6
7131	0,0 - 0,5	<18,9			23,9	12,7	53,14		49,7		0,48				25,3	8,4	33,20		1,96	F/gr Sa	85,1	
	1,0 - 1,5	86,4	23,4	27,08	53	17,6	33,21	1,63	332	0,26	0,16				122,3	25,6	20,93		2,71	F/le sa Si	57,6	
	3,5 - 4,0	185,5	22	11,86	186,3	22,1	11,86	1,00	611	0,30	0,30				805,2/179,5	48,8/16,9				F/Gr, Vx, Sa, Si	55,2	
7161	0,3 - 0,6	39,7	12,9	32,5	63,5	14,7	23,1	0,63	61,4	0,65	1,03									gr sa Mu si	92,8	
	0,9 - 1,05	88,2	16,6	18,8	89,2	18	20,2	0,99	211	0,42	0,42									si Mu	88,8	
7162	0,33 - 0,4	793,2	39,5	5,0	860,8	38,1	4,4	0,92	7369	0,11	0,12									gr Sa	84	
	0,4 - 0,9	241,4	26,1	10,8	487,2	29,4	6,0	0,50	9039	0,03	0,05									gr Mu	87,4	
7164	0,24 - 0,5	96,5	16,2	16,8	115,6	25,6	22,1	0,83	169	0,57	0,68									gr sa Si (st)	94	
	1,1 - 1,1	<13,5			45,5	17,6	38,7		34,3		1,33										st sa Si	78,5
7166	1,3 - 1,4	275,6	22,5	8,2	245	22,2	9,1	1,12	1025	0,27	0,24										si Mu	82,6

< 18,9 Mätvärde under LOD, limit of detection

- 225,2 torkade, malda+siktade 250 µm
- <10,65 malda+siktade 2 mm
- 122,3 våta, ej torkade prover
- 14,8 huvudsakligen torkade prover

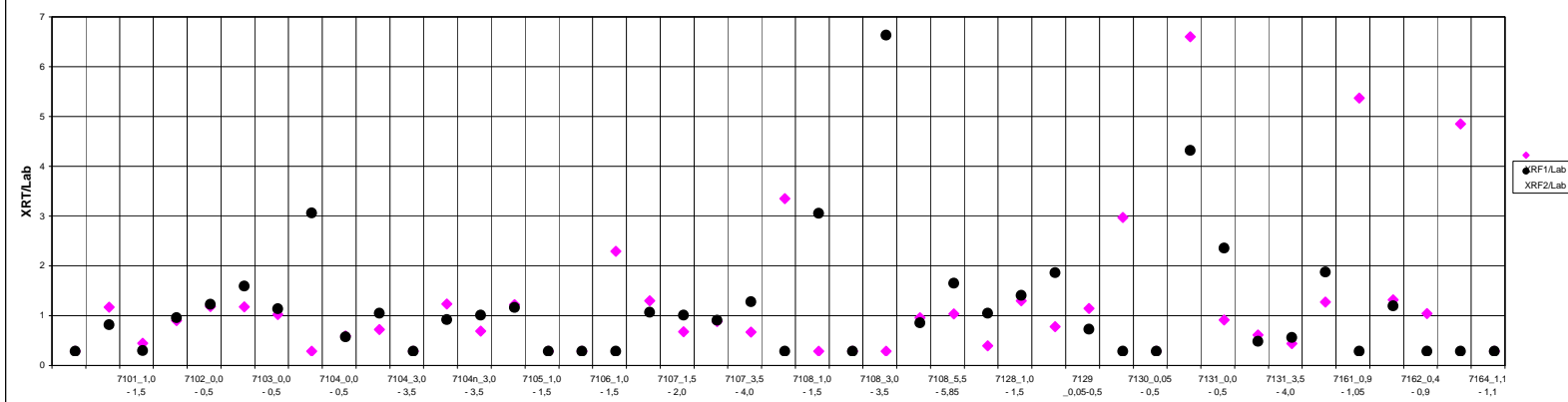


Bly, XRF-mätningar och laboratorieresultat av jord.

Prov-punkt	Djup [m u my]	XRF 1 [mg/kg]	Pb error 1 [mg/kg]	(%)	XRF 2 [mg/kg]	Pb error 2 [mg/kg]	(%)	XRF1/ XRF2	Lab resultat [mg/kg TS]	XRF1/ Lab resultat	XRF2/ Lab resultat	XRF-lab påse [mg/kg]	XRF-lab error påse [mg/kg]	(%)	XRF-lab k [mg/kg]	XRF-lab error kopp [mg/kg]	(%)	Labresultat/ XRF-lab påse	Labresultat/ XRF-lab kopp	Jordart	TS %	
7101	0,0 - 0,5	197	31,7	16,09	118	20,3	17,20	1,67	222	0,89	0,53									F/Mu, gr Sa	87,8	
	1,0 - 1,5	442	50,5	11,43	42,1	7,3	17,34	10,50	2767	0,16	0,02	799,2	43,4	5,43				3,46		F/Le	66,5	
	4,0 - 4,6	277,4	35,4	12,76	303,8	44,1	14,52	0,91	450	0,62	0,68									(gr) si Sa	74,2	
7102	0,0 - 0,5	74,8	15,8	21,12	78,2	15,4	19,69	0,96	83,2	0,90	0,94									F/gr Sa	88,1	
	1,0 - 1,5	49,7	14,4	28,97	72,7	15,1	20,77	0,68	55,6	0,89	1,31				88,1	9,7	11,01			F/gr Sa	88,1	
7103	0,0 - 0,5	44	13,6	30,91	51,2	14	27,34	0,86	59,9	0,73	0,85									F/gr Sa	92,2	
	1,0 - 1,7	<16,35			18,2	11,1	60,99		6,55		2,78									(gr) Sa	92,2	
7104	0,0 - 0,5	192,2	21,8	11,34	178	19,7	11,07	1,08	622	0,31	0,29									F/mu gr Sa	74	
	1,0 - 2,0	86,7	16	18,45	151	17,6	11,66	0,57	198	0,44	0,76									F/gr Sa	78,4	
	3,0 - 3,5	<12,3			<12,45				23											F/gr Sa, Vx	70	
7104n	0,0 - 0,5	142	20,2	14,23	95,3	18	18,89	1,49	150	0,95	0,64	325,8	23,1	7,09	531,2	27,9	5,25	0,46	0,28	F/gr Sa, Mu	81,1	
	3,0 - 3,5	23,2	11,4	49,14	41,3	12,8	30,99	0,56	57,2	0,41	0,72									gr Sa	77,1	
7105	0,0 - 0,5	48,7	12,9	26,49	45,5	12,4	27,25	1,07	51,9	0,94	0,88									F/gr Sa, Mu	81,1	
	1,0 - 1,5	<18,15			<16,05				5,55						16,6	8,7	52,41		0,33	F/gr Sa	95	
	3,0 - 4,0	<15,15			<13,95				6,37											F/gr Sa	83,1	
7106	1,0 - 1,5	24,9	12,6	50,60					12,4	2,01	0,00	28,6	8,6	30,07	21,1	9	42,65	0,43	0,59	gr Sa	92	
7107	0,0 - 0,5	24	12,1	50,42	18,6	12,4	66,67	1,29	23,7	1,01	0,78									F/gr Sa	89,8	
	1,5 - 2,0	210,8	21,9	10,39	390	32,8	8,41	0,54	537	0,39	0,73	482	25,3	5,25	884,8	37,4	4,23	1,11	0,61	F/gr Sa	52,1	
	2,5 - 3,0	160,5	19,6	12,21	167	17,6	10,54	0,96	269	0,60	0,62	363,2	22,1	6,08	478	25,9	5,42	0,74	0,56	F/gr Sa	62,8	
	3,5 - 4,0	37,9	12,6	33,25	97,4	16,1	16,53	0,39	98,2	0,39	0,99									F/gr Sa	71	
7108	0,0 - 0,5	20	12,4	62,00	<17,25				6,53	3,06										F/gr Sa	91,6	
	1,0 - 1,5	<17,55			28,8	12,8	44,44		10,4		2,77									F/gr Sa	89,5	
	2,0 - 2,5	<18,75			<18,75				5,31			26,6	9,2	34,59	23	8,7	37,83	0,20	0,23	F/gr Sa	88	
	3,0 - 3,5	<18,6			46,7	20,9	44,75		7,36		6,35	19,6	9	45,92	22,4	8,6	38,39	0,38	0,33	F/gr Sa	84	
	4,0 - 5,0	53	15,4	29,06	45	10,9	24,22	1,18	78,7	0,67	0,57	96,7	12,5	12,93	163,1	16,9	10,36	0,81	0,48	F/gr Sa	61	
	5,5 - 5,85	32,2	14,6	45,34	58,7	18,8	32,03	0,55	42,9	0,75	1,37	35,5	10,3	29,01	53,5	9,5	17,76	1,21	0,80	gr Sa	70,9	
7128	0,05 - 0,5	313	39	12,46	2259,2	91,7	4,06	0,14	2954	0,11	0,76				379	24,3	6,41		7,79	Si, Vx, Mu	79,9	
	1,0 - 1,5	514,4	42,8	8,32	571,6	54,4	9,52	0,90	509	1,01	1,12				405	28,8	7,11		1,26	F/si Sa	85,9	
	1,5 - 2,0	21,7	9,6	44,24	69,3	11,2	16,16	0,31	44	0,49	1,58									F/Vx	27	
7129	0,05 - 0,5	44,5	16,4	36,85	22,8	13,2	57,89	1,95	51,8	0,86	0,44	25,2	9,6	38,10				2,06		F/siSa, Mu, Af	87,5	
	1,5 - 2,0	21,2	14	66,04					7,89	2,69	0,00				31,3	10,2	32,59	0,25	0,25	si Sa, tegel	83,3	
7130	0,05 - 0,5	<50,1	50,1		<19,2				9,14			29,5	10	33,90	26,8	9,2	34,33	0,31	0,34	ln, gr si Sa	93,1	
	0,5 - 1,0	30,7	13,5	43,97	19,6	12,4	63,27	1,57	4,86	6,32	4,03									ln, gr si Sa	92,6	
7131	0,0 - 0,5	25,9	15,8	61,00	85,6	18,4	21,50	0,30	41,4	0,63	2,07				21,2	8,5	40,09		0,23	F/gr Sa	85,1	
	1,0 - 1,5	553,6	47,9	8,65	340,6	34,1	10,01	1,63	1703	0,33	0,20				1429,6	66	4,62		1,19	F/le sa Si	57,6	
	3,5 - 4,0	960,8	47	4,89	1748,8	62	3,55	0,55	6322	0,15	0,28				6835,2/126	160/40,9				F/Gr, Vx, Sa, Si	55,2	
7161	0,3 - 0,6	20,2	13,2	65,35	32,6	14,6	44,79	0,62	20,5	0,99	1,59									gr sa Mu si	92,8	
	0,9 - 1,05	24,4	14,5	59,43	<23				4,8	5,08										si Mu	88,8	
7162	0,33 - 0,4	76	22,2	29,21	67,1	20,6	30,70	1,13	73,7	1,03	0,91									gr Sa	84	
	0,4 - 0,9	29,3	17,8	60,75	<24,5				38,9	0,75											gr Mu	87,4
7164	0,24 - 0,5	26	13,9	53,46	<33,9				5,7	4,56											gr sa Si (st)	94
	1,1 - 1,1	<15,2	15,2		<26,4				2,8												st sa Si	78,5
7166	1,3 - 1,4	<21,3	21,3		22,4	14,6	65,18		2,4		9,33										si Mu	82,6

< 15,2 Mätvärde under LOD, limit of detection

Proppreparering
 225,2 torkade, malda+siaktade 250 µm
 <10,65 malda+siaktade 2 mm
 122,3 våta, ej torkade prover
 14,8 huvudsakligen torkade prover



Kvicksilver, XRF-mätning och laboratorieanalyser av byggnadsmaterial

Bilaga 3

Serie nr	Provpunkt	Djup [m]	Ssec	XRF 1 [mg/kg]	Hg error 1 [mg/kg]/[%]	XRF 2 [mg/kg]	Hg error 2 [mg/kg]	XRF 3 [mg/kg]	Hg error 3 [mg/kg]	Analytica [mg/kg TS]	TS (%)	Material	Benämning
145	E7501	0-0,002	72,7	162,7	23,1					107	97,2	Puts	
160	E7503	0-0,002	67,7	15488	310					10852	98,6	Puts	
164	E7504	0-0,002	54	6579,2	180					7057	98,2	Puts	
166	E7505	0-0,002	53,9	47,2	17					29	98,9	Puts	
290, 291	E7507	0-0,015	73,4/63,9	62,6	13	73,80	14,50			120	99,6	Puts	Puts 1/2
380, 381	E7508	0-0,03	62,7/57,9	2080	74,9	1369,60	57,10			744	98,8	Puts	Puts 1, 2
364, 365	E7516	0-0,01	29,6/28,7	-14	26,9	54,50	120,00			5,17	99,6	Puts	Målad puts
294, 295, 296	E7507	0,015-0,06	27,6/37,9/48,6	45,1	49,6	20,70	19,00	148,70	24,30	61,7	96,9	Bruk	Bruk 1, 2, 3
382, 383	E7508	0,03-0,08	59,2/62,1	153,1	19,9	106,20	18,10			269	99,5	Bruk	Bruk 1, 2
292, 293	E7507	0,015-0,07	60,2/60,1	164	23,7	112,20	20,20			93,5	99,6	Tegel	Tegel yttre 1/2
297, 298	E7507	0,07-0,26	60,1/56,2	53,7	17,8	28,60	15,30			76,3	99,7	Tegel	Tegel inre 1, 2
384, 385, 386	E7508	0,03-0,045	58,4/32,6/48,4	677,2	68,9	15,90	19,00	382,80	35,30	287	99,4	Tegel	Tegel yttre 1, 2, 3
387, 388	E7508	0,045-0,15	50,9/33,1	305,8	32,1	26,80	18,20			32,5	99,8	Tegel	Tegel inre 1, 2
409, 410	E7515	0-0,01	29,5/35,9	267	39	20,50	19,80			31	99,5	Tegel	Tegelyta längst in
154	E7502	0-0,002	60,8	483,6	24,5					740	84,7	Trä	
170	E7506	0-0,002	65,4	733,2	32,1					1832	95	Trä	
392, 402	E7513	0-0,01	22/34,2	53,8	15,5	22,70	9,00			218	—	Trä	Väggbräda yttervägg
397, 404	E7513	0-0,01	29,6/28,5	14,8	8,2	130,10	17,50			218	—	Trä	Takstolsbjälke
367	E7517	0-0,01	30	0,3	7,1					30,9	88,6	Trä	Matsal träpanel vägg

Bly, XRF-mätningar och laboratorieresultat av byggnadsmaterial.

Bilaga 4

Serie nr	Provpunkt	Djup [m]	Ssec	XRF 1 [mg/kg]	Pb error 1 [mg/kg]/[%]	XRF 2 [mg/kg]	Pb error 2 [mg/kg]	XRF 3 [mg/kg]	Pb error 3 [mg/kg]	Analytica [mg/kg TS]	TS (%)	Material	Benämning
145	E7501	0-0,002	72,7	148	24,5					71,3	97,2	Puts	
160	E7503	0-0,002	67,7	<LOD	110,85					15,3	98,6	Puts	
164	E7504	0-0,002	54	<LOD	81,45					46,9	98,2	Puts	
166	E7505	0-0,002	53,9	43	19,4					125	98,9	Puts	
290, 291	E7507	0-0,015	73,4/63,9	19,2	12,3	27,2	13,6			3,43	99,6	Puts	Puts 1/2
380, 381	E7508	0-0,03	62,7/57,9	-7,9	29,1	-13,7	23,4			4,73	98,8	Puts	Puts 1/2
364, 365	E7516	0-0,01	29,6/28,7	13,8	22,9	520	93,5			—	99,6	Puts	Yttervägg målad puts
294, 295, 296	E7507	0,015-0,06	27,6/37,9/48,6	48,60	57,6	29,50	22,9	47,2	21,4	14,8	96,9	Bruk	Bruk 1, 2, 3
382, 383	E7508	0,03-0,08	59,2/62,1	16,3	14,7	20,4	14,9			4,33	99,5	Bruk	Bruk 1, 2
292, 293	E7507	0,015-0,07	60,2/60,1	45,3	19,6	84,6	21,2			2,15	99,6	Tegel	Tegel yttre 1/2
297, 298	E7507	0,07-0,26	60,1/56,2	174,2	27,4	147,3	25			2,91	99,7	Tegel	Tegel inre 1, 2
384, 385, 386	E7508	0,03-0,045	58,4/32,6/48,4	38,5	41,3	40	24,7	23,1	21,1	3,8	99,4	Tegel	Tegel yttre 1, 2, 3
387, 388	E7508	0,045-0,15	50,9/33,1	46,6	22,2	37,2	21,5			1,52	99,8	Tegel	Tegel inre 1, 2
409, 410	E7515	0-0,01	29,5/35,9	127,2	35	68,6	27,5			—	99,5	Tegel	Tegelyta längst in
154	E7502	0-0,002	60,8	314,8	24,8					—	84,7	Trä	
392, 402	E7506	0-0,002	22/34,2	14,5	13	2,2	8			—	—	Trä	Väggbräda yttervägg
397, 404	E7513	0-0,01	29,6/28,5	-2	7,3	-0,2	10,4			—	—	Trä	Takstolsbjälke
367	E7513	0-0,01	30	0,8	7,5					—	88,6	Trä	Matsal träpanel vägg
170	E7517	0-0,01	65,4	41,5	16,3					—	95	Trä	