

Konsekvenser av förhöjd halt sexvärt krom i cement – Del 2: Vid rivning, återvinning och deponi

Elisabeth Helsing

RISE-Rapport 2025:117

# Konsekvenser av förhöjd halt sexvärt krom i cement – Del 2: Vid rivning, återvinning och deponi

Elisabeth Helsing

# Abstract

## **Consequences of increased content of hexavalent chromium in cement – Part 2: At demolition, recycling, and landfill.**

The evaluation shows that using cement with increased levels of soluble hexavalent chromium can cause compliance problems when concrete is demolished, recycled, or used as crushed material in infrastructure projects.

Since the initial leaching may be disregarded for crushed concrete from demolition of structures aimed for landfill, leaching tests (percolation tests) comparing concrete with 2 ppm and 9 ppm Cr(VI) demonstrate that for **landfill classification** the long-term leaching of a concrete with a cement with 9 ppm Cr(VI) clearly exceeds the allowed limit, while concrete with a 2 ppm cement does not.

According to the Swedish recommendations for using crushed concrete in areas where **the environmental risk must be less than modest** there is also a risk that the material fails to meet the limit for total chromium content, regardless of the Cr(VI) level. Leaching itself is acceptable at 2 ppm, but at 9 ppm the leaching limits will be exceeded.

The relevance of the Swedish low limit for total chromium when less than moderate risk apply can be questioned, since it disqualifies also certain Swedish rocks and gravels used alone, the water-soluble part of the chromium is less than 0,2 % and the limit is considerably lower than the limit at which the ground may be considered contaminated.

All results are based on tests performed on dry crushed concrete. Since Cr(VI) is highly soluble, using a **wet extraction process**, such as wet sieving, could potentially reduce the subsequent leaching. For infrastructure applications, the material could also be reused as part of **new concrete or asphalt**, where these limits do not apply.

Although 9 ppm Cr(VI) is high compared with today's cement standards, older Swedish concrete can contain cements with up to 15 ppm. One should also take into account that Cr(VI) levels in crushed concrete may be increased when natural aggregate in concrete is replaced with recycled crushed concrete, especially if the recycled fraction originates from older structures.

### **Overall conclusion**

Knowledge about leaching properties — and, when required, total chromium content — are necessary for any crushed concrete that will be used in infrastructure projects, placed on the ground for longer periods, or used as landfill cover. This applies to both new and old concrete, and to concrete made with natural as well as recycled aggregates.

Key words: Hexavalent chromium, cement, leaching, crushed concrete, landfill, recycling, storage

RISE Research Institutes of Sweden AB

RISE-Rapport 2025:117  
ISBN:978-91-90109-08-3

Omslagsfoto - Skanska

# Innehåll

<b>Abstract</b> .....	<b>2</b>
<b>Innehåll</b> .....	<b>4</b>
<b>Förord</b> .....	<b>6</b>
<b>Sammanfattning</b> .....	<b>7</b>
<b>1 Inledning</b> .....	<b>9</b>
1.1 Läsanvisning:.....	9
1.2 Bakgrund .....	9
1.3 Syfte .....	10
1.4 Upplägg.....	10
<b>2 Krom och utlakningsmetoder</b> .....	<b>10</b>
2.1 Allmänt .....	10
2.2 Vad indikerar utlakningsvärdena? .....	11
<b>3 Tillverkning och provning av betong med cement med normal och förhöjd halt sexvärt krom</b> .....	<b>11</b>
<b>4 Deponering av betong</b> .....	<b>14</b>
4.1 Krav.....	14
4.2 Utvärdering - utlakningsvärden .....	14
4.3 Bedömning av tillkommande risk vid avfallsdeponering.....	15
<b>5 End-of-waste</b> .....	<b>16</b>
<b>6 Återanvändning av krossad betong i anläggningsarbeten</b> .....	<b>16</b>
6.1 Naturvårdsverkets rekommendationer .....	16
6.2 Utvärdering - total kromhalt .....	18
6.2.1 Kommentarer till gränsvärdet .....	18
6.2.2 Total kromhalt i krossad betong.....	19
6.3 Utvärdering – utlakning.....	20
6.4 Samlad bedömning av tillkommande risk vid användning i anläggningsbyggande.....	21
6.4.1 Gentemot krav som gäller vid ”mindre än ringa risk” .....	21
6.4.2 Gentemot krav som gäller för ”deponitäckning ovan tätskikt” .....	22
6.5 Möjliga åtgärder för att uppfylla kraven för användning i anläggningar .....	22
<b>7 Användning av krossad betong som ballast i ny betong</b> .....	<b>22</b>
<b>8 Implikationer för deponi eller användning av krossad ”gammal” betong</b>	<b>24</b>
<b>9 Hantering och lagring av krossad betong</b> .....	<b>24</b>
<b>10 Beslut om krossad betong ska grundas på kända egenskaper</b> .....	<b>25</b>
<b>11 Referenser</b> .....	<b>25</b>

11.1	Litteraturförteckning.....	25
11.2	Standarder.....	26
	<b>Bilaga A: Tillverkning av betong med cement med normal och förhöjd Cr(VI)-halt .....</b>	<b>28</b>
	<b>Bilaga B: Provningsresultat total kromhalt (ALS).....</b>	<b>30</b>
	<b>Bilaga C: Provningsresultat utlakning (ALS) .....</b>	<b>34</b>

# Förord

Denna rapport belyser konsekvenserna av förhöjd halt sexvärt krom (Cr(VI)) i cement, med särskilt fokus på rivning, återvinning och deponi. Bakgrunden till arbetet är att cement med högre Cr(VI)-halt än vad som är tillåtet enligt arbetsmiljökrav har levererats till anläggningsbyggande, vilket väckt frågor om potentiella risker för både arbetsmiljö och miljö.

Sexvärt krom är känt för sina toxiska och allergiframkallande egenskaper, och dess närvaro i cement kan innebära risker vid hantering av färsk betong samt för utlakning till omgivande jord, grundvatten och ytvatten. Rapporten sammanfattar aktuella forskningsresultat, utlakningsförsök och riskbedömningar, och ger vägledning kring när särskilda åtgärder kan behövas för att skydda både människor och miljö.

Arbetet har genomförts inom ramen för RISE Research Institutes of Sweden, vars uppdrag är att genom forskning och innovation bidra till ett konkurrenskraftigt näringsliv och ett hållbart samhälle. Rapporten syftar till att ge beslutsfattare, projektörer och entreprenörer ett vetenskapligt underlag för att hantera frågor kring krom i cement och betong på ett ansvarsfullt sätt.

Vi hoppas att den ska vara till nytta för såväl praktiker som forskare inom samhällsbyggnadssektorn.

**Katarina Malaga**

Chef för strategisk forskning och affärsutveckling, Hållbart Byggande, RISE

# Sammanfattning

Som utgångspunkt för bedömning av risker och konsekvenser av förhöjd halt Cr(VI) i ett cement har betong gjutits med cement med C(VI)-halten 2 ppm respektive med ett cement med Cr(VI)-halten 9 ppm. På dessa har utlakning och total kromhalt bestämts. Utlakningen bestämdes med ett perkolationstest, SS-EN 14405, som ger utlakningen vid  $L/S=0,1$  och  $L/S=10$ . Gränser för dessa värden anges för klassning av avfall för deponi och användning av krossad betong i anläggningsbyggande på mark där ”mindre än ringa risk” krävs och som ”deponitäckning ovan tätskikt”. Dessutom används för de två senare ett gränsvärde för total kromhalt i det krossade materialet.

Risk och konsekvensbedömningen vid deponi och vid anläggningsbyggande där ”mindre än ringa risk” krävs sammanfattas i Tabell 1. I bedömningen har hänsyn tagits till att cementhalten i betong kan variera både uppåt och nedåt i förhållande till den som använts i försöken ( $400 \text{ kg/m}^3$ ). Fallet med ”deponitäckning ovan tätskikt” har inte tagits med i tabellen då denna användning i princip inte förekommer idag. Den behandlas dock i rapporten.

Av tabellen framgår att gränsvärdet för total kromhalt är avgörande för användning anläggningsbyggande i mark med ”mindre än ringa risk”. Man kan dock ifrågasätta om ett överskridande av det av naturvårdsverket satta låga gränsvärdet för total kromhalt verkligen innebär en miljörisk då

- krossat svenskt urbergsmaterial och naturgrus ensamt kan göra att detta värde överskrids,
- en mycket liten del av den totala kromhalten i betong och ballast är vattenlöslig och kan utlakas till underliggande mark och
- gränsvärdet för att känslig mark ska anses vara förorenad ligger på  $80 \text{ mg/kg}$  och för mindre känslig mark på  $150 \text{ mg/kg}$ .

Ett gränsvärde för ”mindre än ringa risk” närmare  $80 \text{ mg/kg}$  och som gäller för deponitäckning ovan tätskikt, vore mer rimligt.

Bedömningen i Tabell 1 gäller för material som bara krossats. Ett sätt att minska i synnerhet den tidiga utlakningen av Cr(VI) från materialet kan vara att skölja ut en del av ämnet innan det används i anläggningsbyggande. Det kan ske till exempel genom vätsiktning. Sköljvattnet måste då tas om hand på ett miljöriktigt sätt.

När det gäller användning i anläggningsbyggande så gäller gränsvärdena bara då det krossade materialet används obundet. Det innebär att det är möjligt att använda krossad betong i vilken gränsvärdena överskrids om materialet binds i asfalt eller betong.

För användning av krossad betong som ballast i ny betong finns det inga gränsvärden angivna. Man måste dock vara medveten om att ersättning av naturballast med betong innebär en viss anrikning av Cr(VI) i den nya betongen. Den primära frågeställningen gällde en förhöjd Cr(VI)-halt till 9 ppm i cementet. Detta är högt i förhållande till det idag gällande cementkravet på 2 ppm, men det är lågt i förhållande till vad som kan förekomma i gammal svensk betong, där halten i cement kunde vara upp till 15 ppm. Rivning och återvinning av sådan betong medför alltså stora risker att gränsvärdena överskrids för alla användningar.

Tabell 1: Sammanfattning av konsekvensbedömningen vid deponi och för användning i anläggningsbyggande enligt i mars 2026 gällande krav/rekommendationer.

	Vid deponi	Användning då "mindre än ringa risk" krävs
<b>Regelverk</b>	Naturvårdsverkets föreskrifter om deponering, kriterier och förfaranden om mottagning av avfall vid anläggning för deponering av avfall NFS 2004:10	Naturvårdsverkets handbok om återvinning av avfall i anläggningsarbeten (Naturvårdsverket, 2010)
<b>Kravvärden</b>	<i>Utlakning av Cr</i> Inert avfall (vid L/S=0,1: 0,1 mg/l LV)* vid L/S= 10: 0,5 mg/kg TS För icke-farligt avfall: (vid L/S=0,1: 2,5 mg/l LV)* vid L/S= 10: 10 mg/kg TS	<i>Total kromhalt</i> ≤ 40 mg/kg <i>Utlakning av Cr</i> vid L/S=0,1: ≤ 0,2 mg/l LV vid L/S= 10: ≤ 1 mg/kg TS
<b>Uppmätta värden</b>	<b>2 ppm</b> L/S=0,1: ≈ 0,1 mg/l LV L/S=10: ≈ 0,3 mg/kg TS Total kromhalt: ≈ 50 - 60 mg/kg	
	<b>9 ppm</b> L/S=0,1: ≈ 0,7 mg/l LV L/S=10: ≈ 0,55 mg/kg TS Total kromhalt: ≈ 50 - 60 mg/kg	
<b>Bedömning med hänsyn till utlakning</b>	Gränsvärdet för L/S=10 klaras utan problem vid en Cr(VI)-halt på 2 ppm	Med cement med en Cr(VI)-halt på 2 ppm klaras båda utlakningskraven.
	En Cr(VI)-halt på 9 ppm leder med säkerhet till att betongen inte kan klassas som inert avfall baserat L/S=10, oberoende av om bindemedelshalten är lägre.	En Cr(VI)-halt på 9 ppm leder med säkerhet till att betongen inte kan användas baserat på värdet vid L/S=0,1. Dock klaras gränsvärdet för L/S=10.
<b>Bedömning med hänsyn till total kromhalt</b>	Ej tillämpligt	Risk är kopplad till total kromhalt i både ballast och cement. Är oberoende av halten Cr(VI).
<b>Klassning /användbarhet</b>	<i>Vid 2 ppm:</i> <b>Ingen risk</b> för klassning som icke-farligt avfall.	<i>Vid 2 ppm:</i> <b>Risk</b> för oanvändbart på grund av total kromhalt. Användbart med hänsyn till utlakning.
	<i>Vid 9 ppm:</i> <b>Klassas som icke-farligt avfall</b> p.g.a. utlakning vid L/S=10.	<i>Vid 9 ppm:</i> <b>Risk</b> för oanvändbart på grund av total kromhalt. <b>Får ej användas</b> p.g.a. utlakning vid L/S=0,1. Klarar L/S=10.
* Kravet gäller ej för avfall som inte genereras regelbundet. Kravet beaktas ej för rivningsavfall		

Ett annat problem är långvarig lagring av krossad återvunnen betong inför användning eller deponi, i synnerhet då detta sker utomhus på mark. Även då måste man ha kontroll på Cr(VI)-halt i det vatten som rinner igenom materialet och omhänderta det på ett miljöriktigt sätt.

Då vissa mätvärden ligger väldigt nära gränsvärdena även då ett cement med 2 ppm Cr(VI) används, kan man dra slutsatsen:

**Det är nödvändigt att känna till utlakningsegenskaperna och där så krävs total kromhalt hos all krossad betong som ska deponeras eller återanvändas. Detta gäller oberoende av om det är fråga om ny betong eller gammal betong, såväl för betong med naturballast som för betong med återvunnen ballast.**

# 1 Inledning

## 1.1 Läsanvisning:

- *Litterära referenser som artiklar och rapporter anges med författare och år i texten och listas i avsnittet 11 "Litteraturförteckning".*
- *Standarder anges i texten med enbart standardbeteckning. Fullständig referens anges i avsnitt 11.2 "Standardförteckning".*
- *Fullständiga hänvisningar till myndighetsföreskrifter och EU-akter anges direkt i texten.*

## 1.2 Bakgrund

Det har konstaterats att Portland-flygaskcement avsett för anläggningsbyggande (CEM II/A-V 42,5 N MH/LA/NSR) med betydligt högre halt sexvärt krom Cr(VI) än vad som är tillåtet av arbetsmiljöskäl har levererats under en tidsperiod. RISE har därför fått i uppdrag att reda ut vilka konsekvenser detta kan medföra då Cr(VI) är lösligt och toxiskt.

Problem som kan uppstå då Cr(VI)-halten i cementet är förhöjd.

- 1) Risk för ökade allergiproblem vid betongtillverkning
- 2) Risk för ökad utlakning av Cr från betongkonstruktioner och förhöjda halter i
  - jord, grundvatten och fritt vatten
  - dricksvatten

Det kan vara fråga om tillfälligt förhöjda halter när betongkonstruktionen är nygjuten eller utlakning av Cr på lång sikt.

- 3) Risk för ökad utlakning av Cr vid framtida rivning av betongkonstruktioner
  - från krossad betong eller betongelement
  - vid deponi
  - vid lagring för återbruk eller återvinning

Även i detta fall kan det vara fråga om tillfälligt förhöjda utlakning när konstruktionen nyligen rivits och krossats eller utlakning av Cr ur krossmaterialet på lång sikt.

- 4) Risk för ökad utlakning av Cr(VI) vid användning som återvunnen ballast
  - i anläggningskonstruktioner som till exempel i vägbankar
  - som "deponitäckning ovan tätskikt"

## 1.3 Syfte

I denna rapport som är en andra del av två med den övergripande titeln *Konsekvenser av förhöjd halt Cr(VI) i cement* behandlas de konsekvenser som kan relateras till rivning, återvinning och deponi (punkt 3 och 4 i avsnitt 1.2).

I den första delen *Konsekvenser av förhöjd halt sexvärt krom i cement - Del 1: Vid nybyggande* (Helsing E. , 2025) behandlades konsekvenser vid nybyggande, det vill säga risken för arbetsmiljökonsekvenser och för kontaminering av bland annat jord, grundvatten, sjövattnen och dricksvattnen vid byggande av betongkonstruktioner tillverkade med cement med förhöjd halt sexvärt krom (punkt 1 och 2 i avsnitt 1.2).

## 1.4 Upplägg

Som underlag för bedömning av konsekvenser av förhöjd halt sexvärt krom genomfördes bestämning av total kromhalt och utlakningsprovning på betongprover tillverkade med normal (2 ppm) respektive förhöjd (9 ppm) halt Cr(VI).

Resultaten från denna fullskaleprovning används sedan för att bedöma risker och konsekvenser av den förhöjda halten Cr(VI) när det gäller:

- Deponering av betong
- Återanvändning av krossad betong i anläggningsarbeten
  - då krav på ”mindre än ringa risk” gäller
  - vid användning för ”täckning av deponi ovan tätskikt”
- Användning av krossad betong som ballast i ny betong
- Hantering och lagring av krossad betong

Dessutom behandlas vad dessa bedömningar implicerar när det gäller att deponera, återvinna och återanvända betong från äldre betongkonstruktioner som tillverkades innan kravet på högst 2 ppm sexvärt krom i cement infördes.

Rapporten innehåller tre bilagor :

Bilaga A – Tillverkning av betong med cement med normal och förhöjd Cr(VI)-halt

Bilaga B – Provningsresultat total kromhalt (ALS)

Bilaga C – Provningsresultat utlakning med SS-EN 14405 (ALS)

# 2 Krom och utlakningsmetoder

## 2.1 Allmänt

För allmän information om krom, sexvärt krom, krav på sexvärt krom i cement, utlakning av krom och utlakningsmetoder se *Konsekvenser av förhöjd halt sexvärt krom i cement - Del 1: Vid nybyggande* (Helsing E. , 2025).

## 2.2 Vad indikerar utlakningsvärdena?

I detta projekt har utlakning bestämts med perkolationstest (SS-EN 14405) där vatten får sippra genom krossmaterial och koncentrationen i lakvatten först mäts efter att materialet utsatts för så mycket vatten att kvoten L/S (liquid/solid i vikt) är 0,1 och därefter då L/S = 10. Detta är den enda metoden som ger utlakning vid både L/S=0,1 och L/S=10, vilka är de utlakningsvärden som Naturvårdsverket använder sig av i sina krav på avfall för deponi och rekommendationer för användning i anläggningsbyggande. För bestämning vid L/S=10 kan också enklare skaktest användas (SS-EN 12457-1, -2, -3 eller -4). Metoderna beskrivs i bilaga A i del 1 (Helsing E. , 2025). Perkolationstestet är dessutom referensmetod. Om Naturvårdsverket hade valt värdena vid L/S= 2 och 10 valts i stället för värdena vid L/S=0,1 och 10 hade all utlakningsprovning kunnat utföras med skaktest, vilket hade gett snabbare och billigare provning.

Det värde som uppnås vid L/S=0,1 brukar anges som koncentration i lakvattnet i µg/l och utgörs av lösliga ämnen som kan lakas ur materialet på kort sikt och kan ha en snabb initial miljöpåverkan.

Det värde som uppnås vid L/S=10 brukar anges som mängd utlakat ämne i µg/kg torrt material och representerar nästan total utlakningspotential, alltså hur mycket som kan lakas ut på medel eller lång sikt. Det används för en långsiktig miljöbedömning.

## 3 Tillverkning och provning av betong med cement med normal och förhöjd halt sexvärt krom

### ***Tillverkning av provkroppar***

SKANSKA har gjutit två blandningar med CEM II/A-V 42,5N LA/MH/SR, Anläggning FA tillverkat i Slite av Heidelberg Materials Cement. I den ena blandningen användes ett cement med en Cr(VI)-halt på 9 ppm (prov A). I den andra blandningen (prov B) uppfyllde cementet kravet på max 2 ppm Cr(VI) Betongsammansättning avses avspegla vad som används i infrastrukturkonstruktioner;  $v_{ct} = 0,45$  och cementhalten var 400 kg/m<sup>3</sup> betong. Se bilaga A. Av dess tillverkades 150 mm-kuber vilka sändes till laboratoriet.

### ***Bestämning av total kromhalt***

Den totala kromhalten bestämdes med två olika provningsmetoder som det anlidade laboratoriet (ALS) är ackrediterat för.

SS-EN 13656 i vilken saltsyra, salpetersyra, tetrafluorborsyra eller fluorvätesyra används för uppslutning av materialet.

SS 028150 i vilken 7M salpetersyra används för uppslutning av materialet.

Laboratoriets detaljerade analysresultat återfinns i bilaga B.

## Utlakningsprovning

Det anlitade laboratoriet (ALS) är ackrediterat för perkolationsmetoden SS-EN 14405.

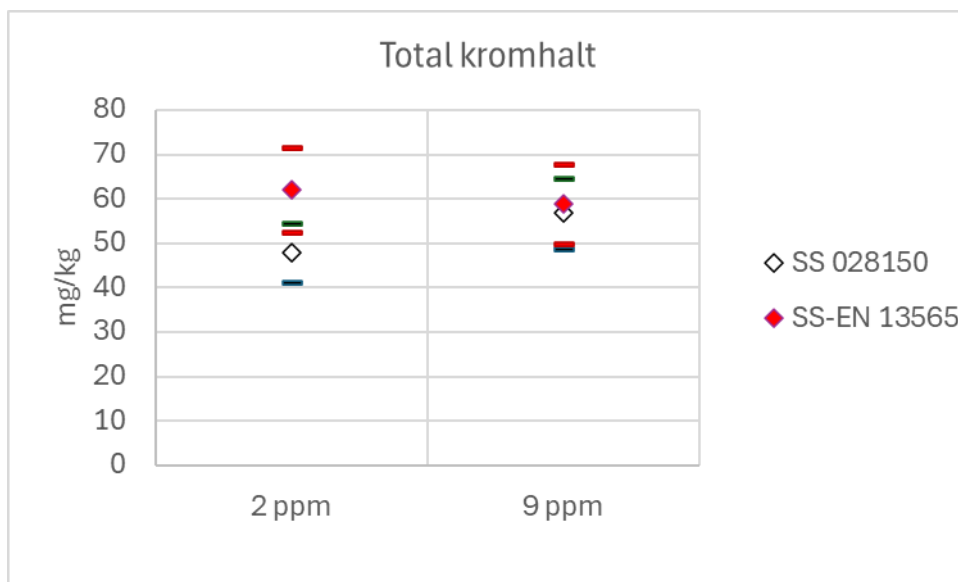
Krossning av kuberna utfördes av laboratoriet, varefter utlakning skedde med SS-EN 14405.

Lakvattnet analyserades vid L/S=0,1 och L/S=10 med avseende på bland annat Cr och Cr(VI). Laboratoriets detaljerade analysresultat återfinns i bilaga C.

## Provningsresultat- total kromhalt

Tabell 2: Uppmätta värden för total kromhalt med de två provningsmetoderna, inklusive mätosäkerhet.

Prov B - 2 ppm Cr(IV)		Prov A - 9 ppm Cr(IV)	
SS-EN 13656	SS 028150	SS-EN 13656	SS 028150
62,1 ± 9,5 mg/kg	47,9 ± 6,7 mg/kg	58,9 ± 9,0 mg/kg	56,8 ± 7,9 mg/kg



Figur 1: Resultat av provning av total kromhalt inklusive mätosäkerhet med de två provningsmetoderna i diagramform.

För betongen med ett cement med 9 ppm överensstämmer resultaten från de båda metoderna väl.

När det gäller betongen med 2 ppm fås större avvikelse mellan mätresultaten med de båda metoderna, men inte större än att de överlappar varandra när man tar hänsyn till mätosäkerheten.

Man kan dock konstatera att den totala kromhalten ligger på ungefär samma nivå i de båda proverna.

### Provningsresultat - utlakning

I Tabell 3 sammanfattas provningsresultaten.

Tabell 3: Mätvärden och mätosäkerhet för uppmätta vid lakning enligt SS-EN 14405.

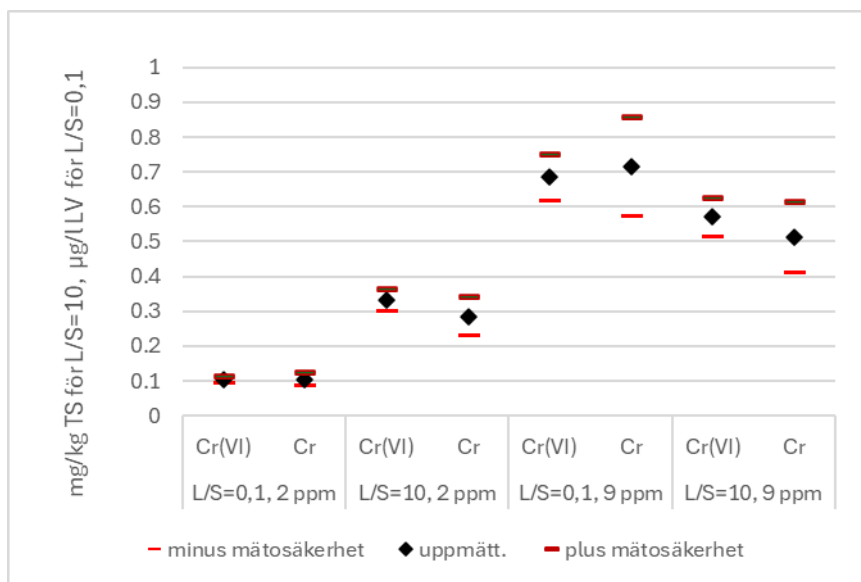
	Enhet	Uppmätt värde			
		Prov B: Cement med 2 ppm		Prov A: Cement med 9 ppm	
		Cr(VI) *	Cr*	Cr(VI)*	Cr*
L/S=0,1	mg/l LV	0,104 ± 10%	0,105 ± 20%	0,685 ± 10%	0,716 ± 20%
L/S=10	mg/kg TS	0,332 ± 10%	0,286 ± 20%	0,571 ± 10%	0,514 ± 20%

LV=lakvatten, TS=torrsubstans  
 \* Cr och Cr(VI) mäts med olika metoder (se nedan och bilaga B)

För bestämning av Cr(VI)-halt används jonkromatografi med spektrometrisk detektion och Cr(III) bestäms genom beräkning baserat på bestämda värden.

Bestämning av Cr-halt sker med ICP-SFMS enligt SS-EN ISO 17294-2 och US EPA Method 200.8:1994. Analys utan föregående uppslutning. Provet är surgjort med 1 ml HNO<sub>3</sub> (suprapur) per 100 ml före analys

Det kan tyckas ologiskt att mätvärdet för total kromhalt vid L/S=10 är lägre än motsvarande mätvärde för Cr(VI), eftersom det lösliga Cr(VI) är en delmängd av den totala kromhalten. I Figur 2 har mätvärdena lagts in med mätosäkerhet, vilket visar att så ändå kan vara fallet.



Figur 2: Mätvärden för Cr(VI)-halt och total kromhalt vid utlakning med markerad mätosäkerhet.

## 4 Deponering av betong

### 4.1 Krav

Krav på material som ska deponeras anges i *Naturvårdsverkets föreskrifter om deponering, kriterier och förfaranden om mottagning av avfall vid anläggning för deponering av avfall NFS 2004:10 med ändringar*. (Senaste ändring NFS 2013:1). Dessa bygger på ett rådsbeslut 2003/33/EC från EU. I rådsbeslutet anges tre parametrar för att klassificera avfall som inert, icke-farligt eller farligt. De är utlakning vid L/S=0,1, vid L/S=2 och vid L/S=10. Medlemsstater ska välja minst två av dessa. Naturvårdsverket har valt L/S=0,1 och L/S=10.

Enligt § 15 och § 16 i NFS 2004:10 behöver dock provning av avfall vid L/S=0,1 enbart göras om avfallet genereras regelbundet. För avfall som inte genereras regelbundet skall avfallsets utlaknings egenskaper bedömas mot gränsvärden för den ackumulerade utlakade mängden vid L/S=10. Praxis är att avfall från rivning av betongkonstruktioner inte anses genereras regelbundet.

På grund av kostnaden för deponi undviks dessutom i möjligaste mån deponi av krossad betong. Man strävar efter att den kommer till användning, t.ex. i anläggningsbyggande.

Bestämning av utlakning vid L/S=0,1 kräver provning med perkolationsmetoden SS-EN 14405 och erhålls inte vid skaktest (SS-EN 12457-1, -2, -3 eller -4), se del 1: bilaga A (Helsing E. , 2025). Värdet för L/S=10 kan bestämmas endera med perkolationstestet eller med skaktest. Perkolationstestet är referensmetod.

Vilka gränsvärden som gäller enligt rådsbeslutet och enligt NFS 2004:10 anges i tabell 2.

Tabell 4. Gränsvärden, med avseende på utlakning av krom (Cr, total) ur avfall

Avfallsklass	Enhet	L/S	Rådsbeslut 2003/33/EC	NFS 2004:10	
				Regelbundet genererat	Ej regelbundet genererat
Inert avfall	mg/l LV	0,1	0,1	0,1	--
	mg/kg TS	2	0,2	--	--
	mg/kg TS	10	0,5	0,5	0,5
Icke-farligt avfall	mg/l LV	0,1	2,5	2,5	--
	mg/kg TS	2	4	--	--
	mg/kg TS	10	10	10	10
Farligt avfall	mg/l LV	0,1	15	15	--
	mg/kg TS	2	25	--	--
	mg/kg TS	10	70	70	70

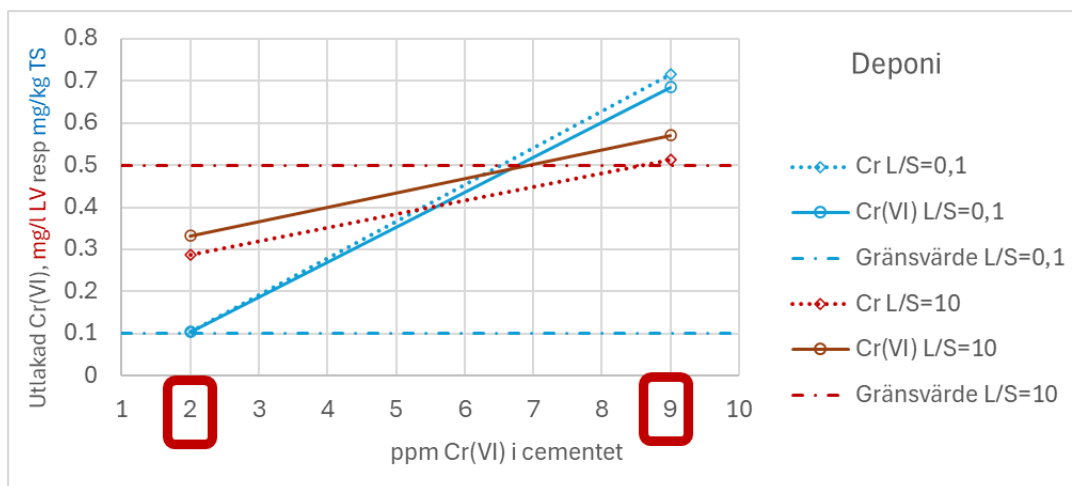
LV=lakvatten, TS=torrsubstans

### 4.2 Utvärdering - utlakningsvärden

Provningens resultaten redovisade i Tabell 3 ger vid handen att en betong med 400 kg cement med en Cr(VI)-halt på 9 ppm inte klarar kriterierna för inert avfall utan måste klassas som icke-farligt avfall. Det är i första hand den utlakning som sker tidigt i utlakningsprocessen som är för hög. En minskning av cementhalten inom rimliga

gränser kommer inte att avhjälpa detta då värdet vid  $L/S=0,1$  för cement med normal Cr(VI) halt ligger i nivå med gränsvärdet. Gränsvärdena vid  $L/S=0,1$  och  $L/S=10$  för icke-farligt avfall klaras även med en Cr(VI)-halt på 9 ppm och en högre cementhalt, till exempel  $550 \text{ kg/m}^3$ .

I Figur 3 har de uppmätta mätvärdena vid  $L/S=0,1$  och  $L/S=10$  för blandningarna med 2 respektive 9 ppm Cr(VI)-halt i cementet lagts in, tillsammans med gränsvärden för inert avfall för båda dessa parametrar.



Figur 3: Uppmätta värden för urlakad Cr och Cr(VI) vid  $L/S=0,1$  och  $L/S=10$  i relation till Cr(VI)-halt i cementet samt gränsvärden för inert avfall.

Av figuren framgår att om utlakningen varierar rätlinjigt med cementets halt Cr(VI) mellan 2 och 9 ppm så klaras knappast gränsvärdet för  $L/S=0,1$  om ppm-halten i cementet är över 2 ppm. Däremot kan ppm-halten i cementet vara upp till runt 7 utan att gränsvärdet för  $L/S=10$  överskrids. Huruvida variationen mellan mätvärdena är linjär kan dock ifrågasättas, vilket gör värdet att 7 ppm inte ska ges för stor betydelse. Det enda man med säkerhet kan konstatera är att en viss begränsad höjning av ppm-värdet över 2 ppm kommer inte att leda till att gränsvärdet vid  $L/S=10$  för inert avfall överskridas.

Ett problem vid denna typ av provning är att resultaten kan variera ganska mycket från ett laboratorium till ett annat. Detta kan bland annat bero på att exponering för koldioxid och den karbonatisering av materialet som då sker kan påverka utlakningen av Cr i hög grad. I synnerhet då provning sker på krossat material med stor specifik yta som lätt karbonatiserar. Exponeringen för koldioxid kan också variera under hanteringen av krossmaterialet innan provning. Provningsmetoden, som gäller alla typer av avfall, tar inte hänsyn till detta speciella fenomen hos betongavfall.

### 4.3 Bedömning av tillkommande risk vid avfallsdeponering

Om man förutsätter att avfall i form av krossad betong inte genereras regelbundet och bara kravet vid  $L/S=10$  gäller, kan man baserat på provningen dra slutsatsen att utlakningen inte blir ett problem förrän vid betydligt högre Cr(VI)-halter än 2 ppm (se Figur 3). Vid en så hög halt Cr(VI) som 9 ppm i cementet överskrids dock detta gränsvärde för klassning som inert avfall.

Måste man även beakta utlakningen vid  $L/S = 0,1$  är det mycket troligt att betongavfall från betong med cement med en Cr(VI)-halt som bara överstiger 2 ppm lite grann eller om bindemedelshalten är högre inte kan klassas som inert avfall.

## 5 End-of-waste

Avfall som har genomgått ett återvinningsförfarande upphör att vara avfall om

1. ämnet eller föremålet ska användas för ett visst ändamål,
2. det finns en marknad för eller efterfrågan på sådana ämnen eller föremål,
3. ämnet eller föremålet uppfyller tillämpliga krav i lag och annan författning, och
4. användningen av ämnet eller föremålet inte leder till allmänt negativa följder för människors hälsa eller miljön.

Detta regleras i *EUROPAPARLAMENTETS OCH RÅDETS DIREKTIV 2008/98/EG av den 19 november 2008 om avfall och om upphävande av vissa direktiv och i Miljöbalken 1998:808*.

För vissa avfall finns det särskilda förordningar som ger ytterligare specifikationer och kriterier, dock ej för byggavfall. För närvarande (mars 2026) diskuteras inom EU vilka krav på ämnen och provning som ska gälla för bygg- och rivningsmassor som ska återvinnas eller återanvändas. För utlakning av krom anges i det senast förslaget ett övre gränsvärde på 2 mg/kg TS efter en utlakning till  $L/S = 10$ .

## 6 Återanvändning av krossad betong i anläggningsarbeten

### 6.1 Naturvårdsverkets rekommendationer

Naturvårdsverkets har gett ut en handbok om återvinning av avfall i anläggningsarbeten, (Naturvårdsverket, 2010). Denna handbok är tillämplig då rivningsavfall ska användas

- i områden med ”mindre än ringa risk”, som i vägkonstruktioner, bullervallar, parkeringsytor samt för
- ”deponitäckning ovan tätskikt”

Handboken gäller inte när materialet binds i asfalt eller betong.

I handboken beaktas flera typer av risker, hälsorisker, skydd för ytvatten, skydd för grundvatten och skydd för markmiljön. Handboken anger gränsvärden för tillämpning i två fall; när riskerna för påverkan är mindre än ringa och för ”deponitäckning ovan tätskikt”. För särskilt känsliga områden, till exempel Natura 2000 och grundvattentäkter, kan särskilda strängare krav ställas.

Kravvärden för ”mindre än ringa risk” kan tillämpas under bland andra följande förutsättningar:

- Människor ska kunna besöka, bo eller att arbeta inom området, nu och i framtiden.
- Eventuellt tätskikt får inte beaktas
- Människor ska i princip förutsättas vara exponerade "heltid" för materialet. Intag kan ske via dricksvatten, växter, hud, inandning, damm

Kravvärden för "deponitäckning ovan tätskikt" kan tillämpas under följande förutsättningar:

- Deponiområden bedöms som områden som långsiktigt behöver ha ett skydd mot exploatering och ändrad användning.
- Människor förutsätts vara exponerade "deltid" för materialet, d.v.s. intag kan ske via vilda växter (ingen odling av grönsaker), hud, inandning, damm. Inget intag av grundvatten, och ytvatten enbart genom olyckshändelse.
- Materialet fungerar delvis som dräneringsskikt

För kromvärden anges följande faktorer som styrande

- Total krom – Skydd för markmiljön och hälsorisker (max 1 % förutsätts vara Cr(VI))
- Utlakning - Skydd för ytvatten och grundvatten
- Dricksvattenkriterier gäller för grundvatten där max 30 % utgörs av lakvatten,

De gränsvärden som tillämpas anges i tabell 3. För jämförelse har även värdena för inert avfall vid deponi lagts in i denna tabell (se avsnitt .8.1).

Tabell 3: Gränsvärden med avseende på krom vid återvinning av avfall i anläggningskonstruktioner samt för inert avfall för deponi

	Total krom mg/kg TS	Utlakning L/S=0,1, mg/l LV	Utlakning L/S=2, mg/kg TS	Utlakning L/S=10, mg/kg TS
"mindre än ringa risk"	40	0,2	---	1
"deponitäckning ovan tätskikt"	80	0,06*	---	0,3*
<i>Inert avfall (enligt rådsbeslut)</i>	----	0,1	0,2	0,5
LV = lakvatten, TS = torrsubstans * Om tillsatser som binder kromet (till exempel cement) sätts till tillåts högre värden.				

Man kan konstatera att gränsvärdena för utlakning vid "mindre än ringa risk" är 2 ggr motsvarande värde för inert avfall, och gränsvärdena för utlakning vid "deponitäckning ovan tätskikt" är 0,6 ggr motsvarande värde för inert avfall.

Deponitäckning med krossad betong ovan är inte en vanlig applikation idag.

## 6.2 Utvärdering - total kromhalt

### 6.2.1 Kommentarer till gränsvärdet

När det gäller bestämning av total halt krom så finns det flera standardiserade metoder som kan användas, vilka inte ger samma slutresultat. Endera kan halterna bestämmas efter att materialet smälts, vilket kan antas ge total halt krom. Vanligtvis används dock metoder där materialet löses upp med olika syror, kungsvatten, salpetersyra, saltsyra och fluorvätesyra, i kombination eller ensamma. Salpetersyra ensamt ger lägst upplösningsgrad, kungsvatten något högre (som i SS-EN 13657) och högst upplösning fås då salpetersyra och saltsyra kombineras med fluorvätesyra (som i SS-EN 13656) (Benz & Enell, 2009). Ofta är de metaller som är inneslutna i silikatmineral mycket hårt bundna och kan inte göras tillgängliga utan att hela mineralet inklusive silikaterna löses upp. För att åstadkomma detta krävs fluorvätesyra som i SS-EN 13656. Graden av upplösning beror förutom på reagens (syra), även på energitillförseln (uppvärmningen), reaktionstiden, partikelstorleken och matrisen.

För de flesta mark- och jordprover samt liknande material används salpetersyra eller kungsvatten. Dessa metoder anses laka ut den miljömässigt relevanta halten, dvs det mesta utom silikaterna och de spårelement som är bundna i dessa. Om hela provet skall lösas upp måste starkare lösningar/metoder användas.

Men att jämföra en totalhalt i ett ballastmaterial, upplöst så att även silikaterna löses upp, med en totalhalt i till exempel ett prov upplöst med en metod som inte löser upp silikaterna är inte att rekommendera. Det finns risk för att resultaten inte kommer att vara jämförbara. Vilken metod som ger en högre Cr-halt beror på om kromet främst är bundet i silikatfasen eller inte. En metod som löser upp även silikatfasen kommer att ge ett högre kromvärde om det mesta av kromet är bundet i silikatfasen. Om så inte är fallet kommer däremot en metod som inte löser upp silikatfasen att ge ett högre värde på kromhalten.

Gränsvärdet för total krom i (Naturvårdsverket, 2010) är satt som 90-percentilen av bakgrundshalten för Cr i Sverige. Bakgrundshalten har tagits fram av SGU och avser finfraktion av morän på en nivå som anses i stort sett opåverkad av jordmånsprocesser. Enligt SGU är morän ett bra kompositprov som ger en god bild av bergarternas generella, kemiska sammansättning. Det vanligaste är att dessa värden bestämts med en metod som enbart använder salpetersyra för att lösa upp materialet, vilket anses återspegla den del som kan utlakas. Dessa värden kan därför avvika från vad som erhålls med till exempel SS-EN 13656. En jämförelse mellan bestämning på smältupplöst prov, provning enligt SS-EN 13656 och enligt den svenska standarden som används vid jordkartering (SS 028150) på ett certifierat referensprov (en aska) gav värdet 212 ppm vid smältupplösning, 189 ppm med SS-EN 13656 samt 33,7 ppm med den svenska metoden utan silikatupplösning (Benz & Enell, 2009). Detta indikerar att en stor del av kromet i det fallet fanns i silikatfasen. I (RVF, 2006) har total kromhalt i svenska bergmaterial undersökts med SS-EN 13656. Cr-halten varierar mellan 6,6 och 170 mg/kg med ett medelvärde på 43 mg/kg och ett medianvärde på 20 mg/kg. Det är några få metamorfa bergarter som ger det höga medelvärdet, medan huvuddelen av proverna har värden under medelvärdet. Gränsvärdet är så lågt att det finns ett antal bergmaterial i Sverige som inte ens ensamma skulle kunna användas som fyllnadsmaterial i områden med

ringa risk. Man kan alltså ifrågasätta om det ansatta gränsvärdet är relevant för den mätmetod som anvisas för provning av avfallsmaterial. Total kromhalt har därför bestämts på krossmaterial från de två betongblandningarna som tillverkades (avsnitt 3), dels med SS-EN 13656, dels med SS 028150.

## 6.2.2 Total kromhalt i krossad betong

Bestämningen av total kromhalt i de två provblandningarna (avsnitt 3) visar att den totala kromhalten i betongen är över gränsvärdet för ”mindre än ringa risk” (40 mg/kg) men lägre än gränsvärdet för ”deponitäckning ovan tätskikt” (80 mg/kg), oberoende av vilken provningsmetod som används.

Enligt uppgift från Heidelberg Materials Cement (HMC) ligger Cr-halten i deras cement mellan 50 och 100 mg/kg (Helsing, Malaga, Suchorzewski, & Gabrielsson, 2022). Dessa värden är bestämda med en metod som motsvarar SS-EN 13656. Antar man att cementet och ballasten i betongen har en total kromhalt som är medelvärdet av vad som anges för HMC:s cement (75 mg/kg) respektive i (RVF, 2006) för svensk ballast, 43 mg/kg, så erhålls för betong med en bindemedelshalt 400 kg cement per m<sup>3</sup> betong en total kromhalt på 46 mg/kg. Används i stället medianvärdet på kromhalt för svensk ballast, 20 mg/kg, klaras gränsvärdet.

Är den totala kromhalten i cementet hög (100 mg/kg) så kan inte ballast med högre total Cr-halt än runt 30 mg/kg användas vid ”mindre än ringa risk”.

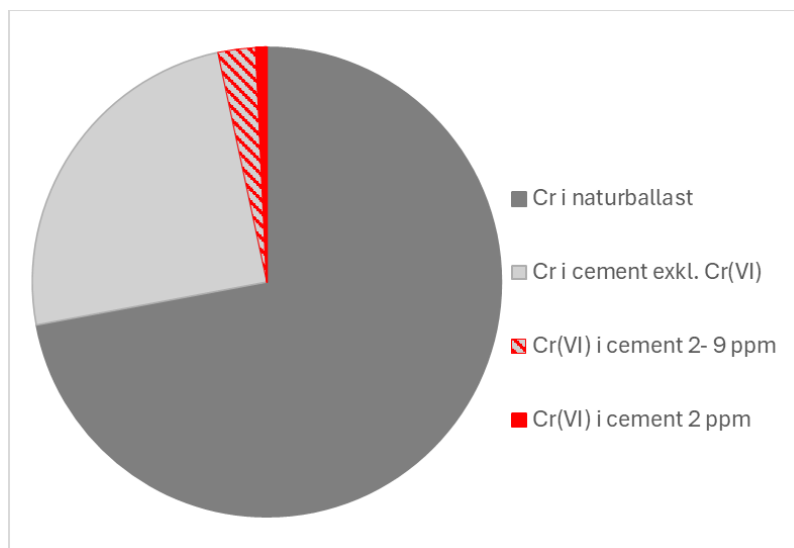
För att krossad betong ska överskrida gränsvärdet som gäller vid ”deponitäckning ovan tätskikt” (80 mg/kg) behöver både cement och ballast ha högre totala Cr-halter än medelvärdena.

Då den förhöjda Cr(VI)-halten inte beror på större mängd Cr i materialet utan på att kromreduceringen inte fungerat tillfredsställande antas Cr-halten vara densamma även vid förhöjd Cr(VI)-halt. Detta stämmer med provningsresultaten för de båda blandningarna (med cement med 2 ppm respektive 9 ppm Cr(VI)), vilka ligger på samma nivå.

Eftersom gränsvärdet för ”mindre än ringa risk” är så lågt satt måste den totala kromhalten bestämmas i varje enskilt fall där kravet är tillämpligt för att säkerställa att det uppfylls, oberoende av om cementet har en förhöjd Cr(VI)-halt eller inte. Förhöjd Cr(VI)-halt medför ingen ytterligare risk. Det spelar heller ingen större roll om den totala kromhalten i betong bestäms med SS-EN 13656 med SS 028150.

Man kan dock ifrågasätta om ett överskridande av det låga gränsvärdet för ”mindre än ringa risk” verkligen innebär en miljörisk som är större än ringa då krossat svenskt urbergsmaterial och naturgrus ensamt kan göra att detta värde överskrids. I synnerhet då man beaktar att en mycket liten del av den totala kromhalten i ballast är vattenlöslig och kan utlakas till underliggande mark (mindre än 0,2 % enligt (RVF, 2006)). I (Naturvårdsverket, 2026) råd om förorenad mark anges 80 mg/kg TS som gräns för om känslig mark (KM) ska anses vara förorenad och 150 mg/kg TS som gräns för om mindre känslig mark (MKM) ska anses vara förorenad. Ett gränsvärde för ”mindre än ringa risk” i nivå med vad som gäller för ”deponitäckning ovan tätskikt” vore därför mer rimligt, alltså 80 mg/kg. Hur mycket av den totala kromhalten i betong som kommer från ballast

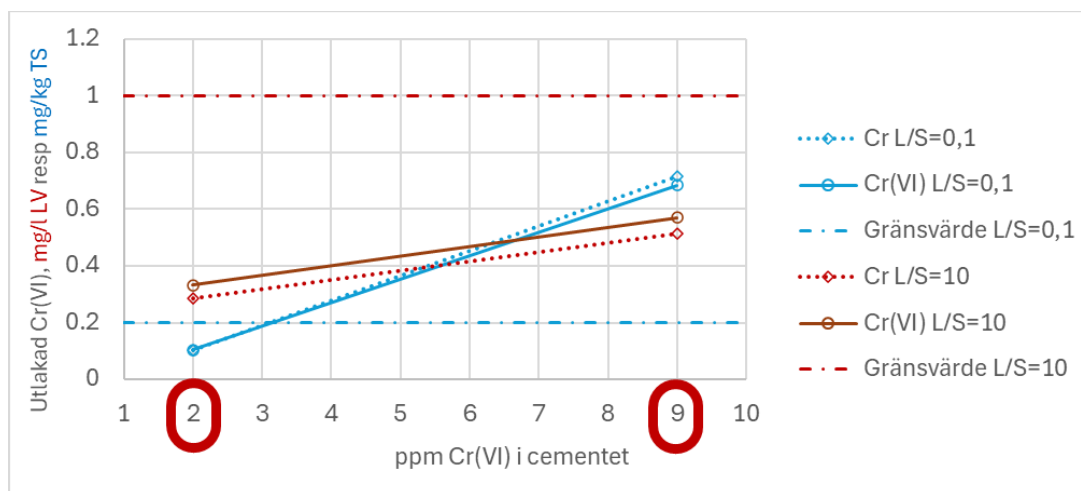
respektive cement, och hur stor del av denna som är löslig illustreras i Figur 4. Värdena i figuren baseras på medelvärden av svensk naturballast och HMC:s cement.



Figur 4: Förhållandet mellan Cr och Cr(VI)-halter i en betong med ca 400 kg/cement baserat på medelvärden för halter i svensk ballast (RVF, 2006) och svenska cement.

### 6.3 Utvärdering – utlakning

Gränsvärdena som gäller vid ”mindre än ringa risk” och vid ”deponitäckning ovan tätskikt” relateras direkt till de provningar som redovisas i Tabell 3. Mätvärdena relaterade till de gränsvärden som gäller för ”mindre än ringa risk” visas i Figur 5.

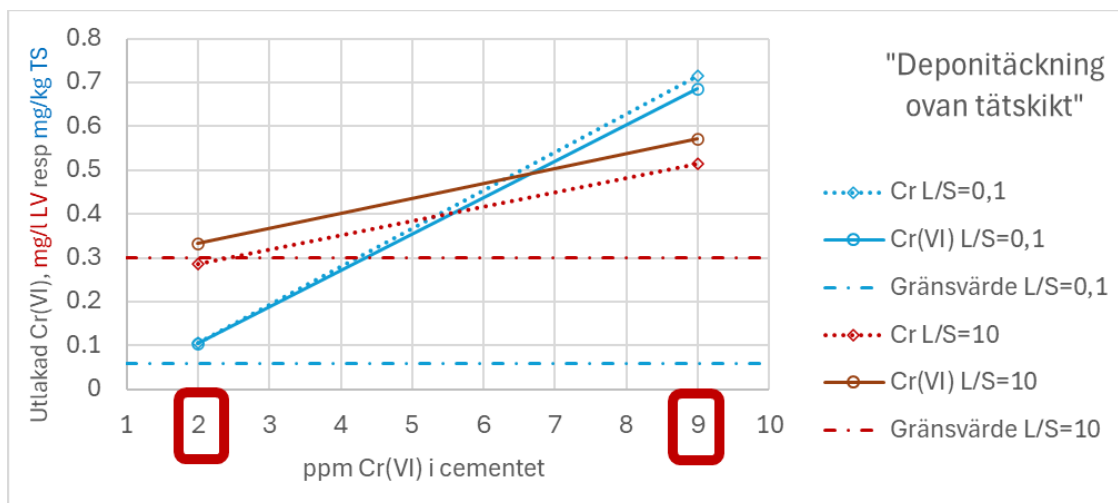


Figur 5: Uppmätta värden för urlakad Cr och Cr(VI) vid L/S=0,1 och L/S=10 i relation till Cr(VI)-halt i cementet och gränsvärden för ”mindre än ringa risk”.

När det gäller gränsvärdet för L/S=10 ligger uppmätta värden så långt under gränsvärdet att antagande av en högre men rimlig cementshalt (ca 550 kg/m<sup>3</sup>) inte kommer att medföra att gränsvärdet överskrids även om halten Cr(VI) i cementet är 9 ppm.

Gränsvärdet för L/S=0,1 överskrids dock även vid en blygsam ökning av Cr(VI)-halten i cementet över 2 ppm. Vill man dessutom ha marginal för högre bindemedelshalt i betongen blir möjlig förhöjning av Cr(VI)-halten ännu mindre.

Mätvärdena relaterade till de gränsvärden som gäller för "deponitäckning ovan tätskikt" visas i Figur 6



Figur 6: Uppmätta värden för urlakad Cr och Cr(VI) vid L/S=0,1 och L/S=10 i relation till Cr(VI)-halt i cementet och gränsvärden för "deponitäckning ovan tätskikt".

Då gränsvärdena i detta fall är 60 % av de som gäller för inert avfall kan man konstatera att gränsvärdet för L/S=0,1 inte klaras ens med ett cement som klarar kravet på högst 2 ppm Cr(VI) såvida cementhalten inte är högre än  $0,6 \cdot 400 = 240 \text{ kg/m}^3$ . För att klara gränsvärdet för L/S=10 får inte cementhalten överstiga ca 350 kg per  $\text{m}^3$  betong även om Cr(VI)-halten i cementet är 2 ppm. Vid 9 ppm ligger utlakningsvärdena långt över tillåtna värden för den enda betong som provats inom detta projekt.

## 6.4 Samlad bedömning av tillkommande risk vid användning i anläggningsbyggande

### 6.4.1 Gentemot krav som gäller vid "mindre än ringa risk"

När det gäller denna användning är det i synnerhet utlakningskravet vid L/S=0,1 och kravet på total kromhalt som är svårast att uppfylla.

Kravet på total kromhalt i krossad betong kan orsaka problem, oberoende av om halten Cr(VI) i cementet är förhöjd eller inte. Total kromhalt påverkas starkt av ballastens kromhalt. När det gäller kravet på total kromhalt kan det ifrågasättas om kravvärdet är väl avvägt. Även ballast innehåller en hel del krom och det valda värdet innebär att vissa svenska krossade urbergsmaterial eller naturgrus inte ens kan användas ensamt där krav på "mindre än ringa risk" gäller. Om både ballast och cement har en Cr-halt som är lika med medelvärden av vad som anges för dessa material, överskrids gränsvärdet. Vid den mätning av total kromhalt som genomfördes på betong överskreds gränsvärdet både då cementet hade en Cr(IV)-halt på 9 ppm och på 2 ppm.

För att klara kravet på utlakning vid L/S=0,1 får inte Cr(VI)-halten i cementet överskrida 2 ppm mer än marginellt.

Kravet på utlakning vid L/S=10 är dock inget problem, ens om Cr(VI)-halten i cementet är 9 ppm.

## 6.4.2 Gentemot krav som gäller för ”deponitäckning ovan tätskikt”

När det gäller denna användning är det utlakningskraven som innebär en utmaning. Gränsen för total kromhalt i materialet är så pass hög att det med svenska cement och svensk ballast inte borde innebära problem eller risker. Då en förhöjd Cr(VI)-halt inte innebär en förhöjd total Cr-halt, spelar en eventuell höjning av Cr(VI)-halten hos cementet ingen roll.

Utlakningskraven för denna användning är så hårda att inte ens en betong med ett cement som har högst 2 ppm Cr(VI)-halt klarar kravet på utlakning vid  $L/S=0,1$  eller vid  $L/S=10$  såvida inte cementhalten i betongen är mycket låg. Vid högre halter Cr(VI) än 2 ppm överskrids gränsvärdena alltid.

## 6.5 Möjliga åtgärder för att uppfylla kraven för användning i anläggningar

Ett sätt att klara utlakningskraven för användning i anläggningar skulle kunna vara att utsätta materialet för vatten innan materialets utlakning bestäms och det används. Man måste då också omhänderta det kontaminerade ”sköljvattnet” så att det inte går ut i miljön. Detta kan till exempel ske genom våtsiktning. Om den krossade betongen dessutom får karbonatisera skyndas utlakningen vid sköljningen på ytterligare, se avsnitt 3 i del 1 (Helsing E. , 2025).

I (Prieto-Espinoza, Susset, & Grathwohl, 2022) undersöktes lakningen hos våtsiktat återvunnet byggmaterial och koncentrationen av ämnen i sköljvattnet. Där konstateras att de grövre fraktionerna allmänt klarade de gränsvärden för utlakning efter våtsiktning som gäller för användning i Tyskland, inte bara när det gäller krom. I Tyskland används utlakningsvärdet vid  $L/S=2$ , inte vid  $L/S=0,1$  för den tidiga utlakningen. De finare fraktionerna uppnådde däremot fortfarande värden som begränsade användbarheten i Tyskland. När det gäller koncentration av ämnen i sköljvattnet erhöles särskilt höga värden för krom, vilket kan ses som ett tecken på att den andel av lösbart krom som sköljs ut vid våtsiktning är relativt hög.

Våtsiktning hjälper dock inte om kravet på total krom i materialet inte uppfylls, eftersom en mycket liten del av den totala kromhalten i en betong är vattenlöslig.

En annan möjlighet att öka användningen av krossad betong i anläggningar är att binda det krossade betongmaterialet i betong eller i asfalt. Om så sker gäller inte de i (Naturvårdsverket, 2010) angivna gränsvärdena.

# 7 Användning av krossad betong som ballast i ny betong

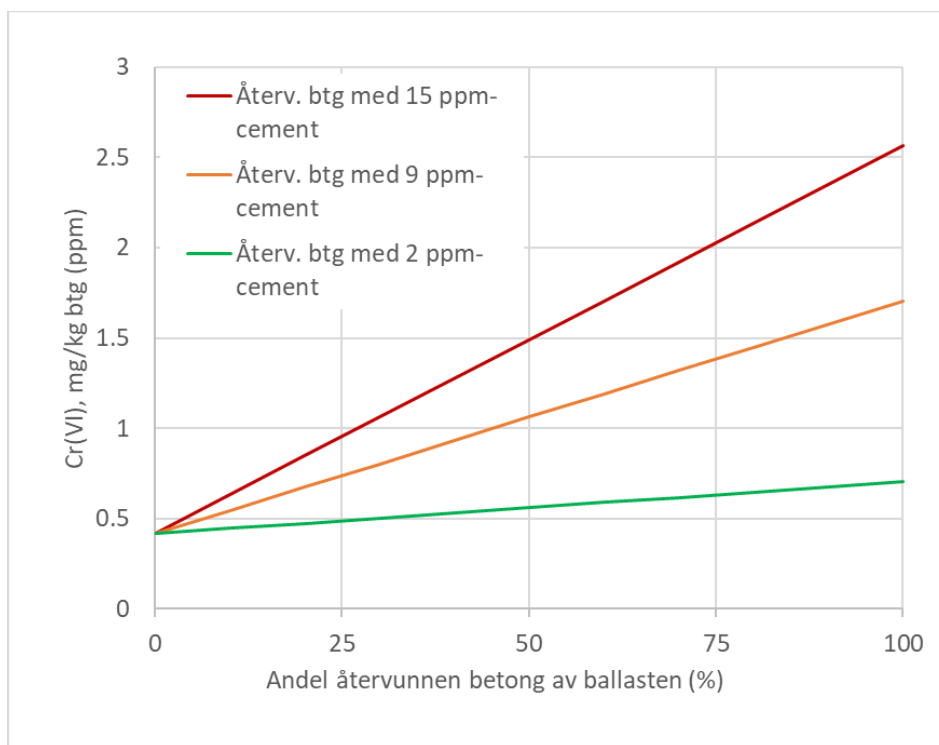
För fallet då krossad återvunnet rivningsmaterial återanvänds som ballast i ny betong finns inga formella krav på kromvärden. För denna användning gäller den svenska tillämpningsstandarden till den europeiska betongstandarden SS-EN 206; SS 137003. I

denna ställs både krav på sammansättning hos den återvunna ballasten och hur mycket som får användas i betong för olika exponeringsklasser. Tillåtna maxandelar av ballast av återvunna rivningsmaterial enligt SS137003 är 20 – 50 % av den grova ballasten vilket motsvarar ungefär 10 – 25 % av den totala ballastmängden. Det finns dock inga gränsvärden när det gäller eventuella farliga ämnen.

Används krossad återvunnen betong som ballast i stället för naturballast kommer en viss anrikning av krom att ske i betongen. I Figur 7 redovisas en beräkning av hur mycket kromhalten höjs i ny betong om man ersätter naturballasten med återvunnen krossad betong för tre fall.

- Fall 1: Ett cement med 2 ppm har använts i den återvunna betongkonstruktionen
- Fall 2: Ett cement med 9 ppm har använts i den återvunna betongkonstruktionen
- Fall 3: Ett cement med 15 ppm har använts i den återvunna betongkonstruktionen (högsta halt för gammalt svenskt cement enligt (ATILH, 2003)).

En cementhalt på 500 kg/m<sup>3</sup> betong har antagits vilket är en hög cementhalt. Halten Cr(VI) i naturballasten har satts till 0.



Figur 7: Anrikning av vattenlösligt Cr(VI) i ny betong där naturballast ersätts med ballast av återvunnen betong, som funktion av andel återvunnen ballast av den totala ballastmängden.

Denna anrikning av Cr(VI) i betongen måste sedan beaktas både när det gäller konsekvenser vid nybyggnad vilket behandlades i del 1 (Helsing E. , 2025), och inte minst när det gäller deponering, och användning i anläggningsbyggande enligt denna rapport.

Märk väl att enligt idag gällande regler för betong begränsas halten återvunnen grov ballast till 50 % av den grova ballasten, vilket motsvarar ca 25 % av den totala ballastmängden. Baserat på nya forskningsrön, till exempel inom EU-projektet RE<sup>4</sup> ([www.RE4.eu](http://www.RE4.eu)), är det dock troligt att tillåten andel återvunnen ballast kommer att ökas i framtiden. Det finns ingen formell begränsning av användning av fin återvunnen

ballast, men det förhindras av att fin ballast ofta har svårigheter att uppfylla andra kemiska krav.

## 8 Implikationer för deponi eller användning av krossad ”gammal” betong

Kravet på att cement inte ska ha en högre Cr(VI)-halt än 2 ppm infördes i Sverige på 1980-talet och inom Europa 2003. I äldre svenska betongkonstruktioner kan Cr(VI)-halten ha varit mycket högre. I (ATILH, 2003) anges att Cr(VI)-halten i cement historiskt i Sverige kunde vara så hög som 15 ppm. Konsekvenserna av förhöjd Cr(VI)-halt gäller i minst lika hög grad då betong tillverkad innan gränsvärdet infördes ska deponeras eller återanvändas i anläggningsbyggande.

Det är därför alltid nödvändigt att genomföra de provningar som krävs för respektive användning, utlakningen för alla dessa användningar och total kromhalten vid användning i anläggningsbyggande.

Även vid återvinning av gammal betong kan till exempel våtsiktning utföras för att få ner Cr(VI)-halterna i lakvattnet inför deponi eller återanvändning.

Vid återanvändning i anläggningsbyggande finns det även möjlighet att binda den krossade betongen i cement eller asfalt, eftersom gränsvärdena i (Naturvårdsverket, 2010) då inte gäller.

## 9 Hantering och lagring av krossad betong

Vid användning av återvunnen krossad betong i anläggningskonstruktioner eller som ballast vid nyproduktion av betong eller innan deponi måste man även tänka på vad som händer vid lagring och hantering av den återvunna ballasten inom ett fabriks- eller lagringsområde. Om den krossade betongen lagras utomhus på mark och utsätts för regn kan urlakning ske till undergrunden under lagringen, vilket gör att miljöpåverkan på omgivningen måste beaktas. Ligger det på ett tätt underlag måste detta lakvatten samlas upp och hanteras på ett miljöriktigt sätt.

Ett sätt att minska mängden lösligt sexvärt krom i krossad betong är att använda en våt process (våtsiktning) vid framställning av den krossade betongen. Vid en våt process urlakas en hel del av det lösliga kromet redan vid framställningen. Vattnet från den processen måste då hanteras på ett miljöriktigt sätt. Detta underlättar lagerhanteringen av det krossade materialet.

Det behöver dock säkerställas att den våta processen leder till en sådan sänkning av utlakningsbart krom att de gällande gränsvärdena inte överskrids. Detta bör då säkerställas både för betong med cement med en Cr(VI)-halt som uppfyller kravet på

högst 2 ppm och för de fall då Cr(VI)-halten kan vara högre, som vid tillfälliga höjningar i cementet eller när gamla betongkonstruktioner återvinns.

## 10 Beslut om krossad betong ska grundas på kända egenskaper

En slutsats är att utlakningsegenskaperna alltid är viktiga att känna till för krossad betong som ska deponeras, återanvändas eller lagras längre tid på mark. Detta gäller oavsett om betongen är ny eller gammal och oavsett vilken ballast som har använts.

Inte ens ny betong i vilken ett cement med högsta Cr(VI)-halten är 2 ppm klarar alltid de gränsvärden som anges för alla användningar. Är Cr(VI)-halten i cementet förhöjd eller om betongen innehåller återvunnen betong som ballast är risken för övertramp ännu större.

I det fall materialet våtsiktas vid framtagningsprocessen, kan provningen utföras på det våtsiktade materialet, vilket med stor sannolikhet sänker den uppmätta utlakningen, då Cr(VI) är lättlösligt. Då är det dock nödvändigt att kontrollera Cr(VI)-halten i lakvattnet, så att det hanteras på rätt sätt.

Om materialet ska användas vid anläggningsbyggande måste även totalhalten krom vara känd. Visar det sig att den totala kromhalten är högre än gränsvärdena för användning i anläggningskonstruktioner hjälper inte våtsiktning för att få ner värdena.

## 11 Referenser

### 11.1 Litteraturförteckning

- ATILH. (2003). *Chromium in cement, origin and possible treatments (på franska)*. ATILH Center for Information and Documentation.
- Benz, D., & Enell, A. (2009). *Metoder för haltbestämning av huvud- och spårelement och PAH i jord och avfall*. SGI Statens Geotekniska Institut/Naturvårdsverket.
- Helsing, E. (2025). *Konsekvenser av förhöjd halt sexvärt krom i cement - Del 1: Vid nybyggnad, RISE-rapport 2025:116*. Borås: RISE.
- Helsing, E., Malaga, K., Suchorzewski, J., & Gabrielsson, I. (2022). *Klimatförbättrad betong för dricksvattenanläggningar, SVU-rapport 2022:5*. Svenskt Vatten Utveckling.
- Naturvårdsverket. (2010). *Återvinning av avfall i anläggningsarbeten, Handbok 2010:1*.
- Naturvårdsverket. (2026). *Stöd och information, Riktvärden för förorenad mark*. Hämtat från <https://www.naturvardsverket.se/vagledning-och-stod/foreorenade-omraden/riktvarden-for-foreorenad-mark/>
- Prieto-Espinoza, M., Susset, B., & Grathwohl, P. (2022). Long-term behaviour of organic and inorganic pollutants after wet processing of solid waste materials. *Materials*, 15.

RVF. (2006). Lakegenskaper för naturballast - Bergmaterial och moräner, RVF-rapport 2006:06.

## 11.2 Standarder

<b>Beteckning i text</b>	<b>Fullständig referens</b>
SS-EN 206	SS-EN 206:2013+A2:2021 Betong – Fordringar, egenskaper, tillverkning och överensstämmelse
SS-EN 12457-1	SS-EN 12457-1:2003, Karaktärisering av avfall – Laktest-Kontrolltest för utlakning från granulära material och slam Del1: Enstegs skaktest vid L/S 2 l/kg för materialmed hög fastfashalt med partikelstorlek mindre än 4 mm (utan eller med nedkrossning)
SS-EN 12457-2	SS-EN 12457-2:2003, Karaktärisering av avfall – Laktest-Kontrolltest för utlakning från granulära material och slam Del 2: Enstegs skaktest vid L/S 10 l/kg med partikelstorlek mindre än 4 mm (utan eller med nedkrossning)
SS-EN 12457-3	SS-EN 12457-3:2003, Karaktärisering av avfall – Laktest-Kontrolltest för utlakning från granulära material och slam Del 3: Tvåstegs skaktest vid L/S 2 l/kg och L/S 8 l/kg med partikelstorlek mindre än 4 mm (utan eller med nedkrossning)
SS-EN 12457-4	KSS-EN 12457-4:2003, Karaktärisering av avfall – Laktest-Kontrolltest för utlakning från granulära material och slam Del 4: Enstegs skaktest vid L/S 10 l/kg med partikelstorlek mindre än 10 mm (utan eller med nedkrossning)
SS-EN 13656	SS-EN 13656:2020 Mark, slam, avfall och behandlat bioavfall - Uppslutning med saltsyra (HCl), salpetersyra (HNO <sub>3</sub> ) och tetrafluorborsyra (HBF <sub>4</sub> ) eller fluorvätesyra (HF) för elementaranalys (totaluppslutning av fast avfall för elementaranalys)
SS-EN 13657	SS-EN 13657:2003 Karaktärisering av avfall – Uppslutning för bestämning av element lösliga i kungsvatten
SS-EN 14405	SS-EN 14405:2017, Karaktärisering av avfall – Bestämning av lakegenskaper – Uppströms perkolationsstest (under bestämda förhållanden)
SS-EN ISO 17294-2	SS-EN ISO 17294-2:2023, Vattenundersökningar – Bestämning med induktivt kopplad plasma och masspektrometri (ICP-MS) – Del 2: Bestämning av ett antal utvalda grundelement och isotoper av uran (ISO 17294-2:2023)
SS 137003	SS 137003:2021+T2:2025 Betong – Användning av SS-EN 206:2013+A2:2021 i Sverige

Through our international collaboration programmes with academia, industry, and the public sector, we ensure the competitiveness of the Swedish business community on an international level and contribute to a sustainable society. Our 2,800 employees support and promote all manner of innovative processes, and our roughly 100 testbeds and demonstration facilities are instrumental in developing the future-proofing of products, technologies, and services. RISE Research Institutes of Sweden is fully owned by the Swedish state.

I internationell samverkan med akademi, näringsliv och offentlig sektor bidrar vi till ett konkurrenskraftigt näringsliv och ett hållbart samhälle. RISE 2 800 medarbetare driver och stöder alla typer av innovationsprocesser. Vi erbjuder ett 100-tal test- och demonstrationsmiljöer för framtidssäkra produkter, tekniker och tjänster. RISE Research Institutes of Sweden ägs av svenska staten.



RISE Research Institutes of Sweden AB  
Box 857, 501 15 BORÅS  
Telefon: 010-516 50 00  
E-post: [info@ri.se](mailto:info@ri.se), Internet: [www.ri.se](http://www.ri.se)

RISE-Rapport 2025:117  
ISBN:

# Bilaga A: Tillverkning av betong med cement med normal och förhöjd Cr(VI)-halt

## A1. Bakgrund

På grund av att Heidelberg Materials Cement under vissa perioder under 2025 rapporterat förhöjda halter av sexvärt krom (krom-6) i cement, genomfördes ett jämförande försök för att utreda eventuella skillnader i kromutlakning. Två betongkuber tillverkades från två separata cementleveranser: en med förhöjd krom-6 halt och en med cement med godkänd nivå. De färdigställda kuberna skickades därefter till ALS för vidare analys, där de krossades, maldes och analyserades avseende innehåll av krom.

## A2. Syfte/mål

**Syftet** med undersökningen är att bedöma kromutlakning under förhållanden motsvarande rivning av betong och efterföljande deponering av massorna.

**Målet är** att komma till insikten hur förhöjda halter av krom-6 i cementet påverkar urlakningen av krom vid rivning av en betongkonstruktion.

## A3. Arbetsgång

Två partier cement med olika krom-6-halter togs emot och användes för att blanda två separata betongsatser med en sammansättning enligt Tabell A1. Av varje sats gjöts en betongkub med dimensionerna 150 × 150 × 150 mm och en vikt på cirka 8 kg, se bild A1. Kuberna härdades under kontrollerade förhållanden innan vidare hantering. De färdighärdade kuberna förpackades och skickades till ALS för analys av urlakning av krom. Laboratoriet genomförde urlakningstesterna.

Tabell A1. Betongsammansättningar

Delmaterial betongblandning	Kg/m <sup>3</sup>	Kommentar
ANL FA Cement Slite	400	
Vatten	180	Vct 0,45
Ballast 0-6	936	
Ballast 8-16	864	
Flytmedel Mapei SX23	2,47	



Bild A1. Betongprovkropparna.

# Bilaga B: Provningsresultat total kromhalt (ALS)

## B.1 Provning med SS-EN 13656



### Analyscertifikat

Ordernummer	: LE2603408	Sida	: 1 av 2
Kund	: Skanska Industrial Solutions AB	Projekt	: Krom6 betongprovning 2025
Kontaktperson	: Johan Hedman	Beställningsnummer	: 43511-45422-65900
Adress	: C8193 190 87 Rosersberg Sverige	Provtagare	: Martin Hedlund
E-post	: johan.hedman@skanska.se	Provtagningspunkt	: ---
Telefon	: ---	Ankomstdatum, prover	: 2026-02-25 16:03
C-O-C-nummer	: ---	Analys påbörjad	: 2026-02-26
(eller Orderblankett-num mer)		Utfärdad	: 2026-02-26 16:54
Offertnummer	: ST2021SE-SKA-IND0001 (OF210216)	Antal ankomna prover	: 2
		Antal analyserade prover	: 2

#### Generell kommentar

Denna rapport får endast återges i sin helhet, om inte utfärdande laboratorium i förväg skriftligen godkänt annat. Resultatet gäller endast materialet såsom det har mottagits, identifierats och testats. Laboratoriet tar inget ansvar för information i denna rapport som har lämnats av kunden, eller resultat som kan ha påverkats av sådan information. Beträffande laboratoriets ansvar i samband med uppdrag, se vår webbplats [www.alsglobal.se](http://www.alsglobal.se)

Signatur	Position
Emma Engstrom	Laboratoriechef





Sida : 2 av 2  
 Ordernummer : LE2603408  
 Kund : Skanska Industrial Solutions AB

## Analysresultat

Provbeteckning : Prov A  
 Laboratoriets provnummer : LE2603408-001  
 Provtagningsdatum / tid : 2025-11-27  
 Matris : BYGGNADSMATERIAL

Parameter	Resultat	MU	Enhet	LOR	Metod	Utf.
<b>Metaller och grundämnen</b>						
<b>Bygg-TC-1</b>						
Cr, krom	58.3	± 9.0	mg/kg	1.00	S-SFMS-16	LE

Provbeteckning : Prov B  
 Laboratoriets provnummer : LE2603408-002  
 Provtagningsdatum / tid : 2025-11-27  
 Matris : BYGGNADSMATERIAL

Parameter	Resultat	MU	Enhet	LOR	Metod	Utf.
<b>Metaller och grundämnen</b>						
<b>Bygg-TC-1</b>						
Cr, krom	62.1	± 9.5	mg/kg	1.00	S-SFMS-16	LE

## Metodsammanfattningar

Analysmetoder	Metod
S-SFMS-16	Analys av metaller i fasta matriser med ICP-SFMS enligt SS-EN ISO 17294-2:2023 och US EPA Method 200.8:1994 efter uppslutning av prov enligt S-PA16-HB.

Beredningsmetoder	Metod
S-PA16-HB	Totaluppslutning i salpetersyra/saltsyra/fluorvätesyra i hotblock enligt SE-SOP-0039 (SS-EN 13656:2003).

**Nyckel:** LOR = Den rapporteringsgräns (LOR) som anges är standard för respektive parameter i metoden. Rapporteringsgränsen kan påverkas vid t.ex. spädning p.g.a. matrislösligheter, begränsad provmängd eller låg torsubstanshalt.  
 MU = Mätosäkerhet  
 \* - Asterisk efter resultatet visar på ej ackrediterat test, gäller både egna lab och underleverantör

### Mätosäkerhet:

Mätosäkerheten anges som en utvidgad osäkerhet (enligt definitionen i "Evaluation of measurement data- Guide to the expression of uncertainty in measurement", JCGM 100:2008 Corrected version 2010) beräknad med täckningsfaktor lika med 2 vilket ger en konfidensnivå på ungefär 95%.  
 Mätosäkerhet anges endast för deklarerade ämnen med halter över rapporteringsgränsen.  
 Mätosäkerhet från underleverantör anges oftast som en utvidgad osäkerhet beräknad med täckningsfaktor 2. För ytterligare information kontakta laboratoriet.

Utförande laboratorium (teknisk enhet inom ALS Scandinavia eller anlitat laboratorium (underleverantör)).

	Utf.
LE	Analys utförd av ALS Scandinavia AB, Aurorum 10 Luleå Sverige 977 75 Ackrediterad av: SWEDAC Ackrediteringsnummer: 2030, ISO/IEC 17025

## B.2 Provning med SS 02185



### Analyscertifikat

Ordernummer	: LE2603849	Sida	: 1 av 3
Kund	: Skanska Industrial Solutions AB	Projekt	: Krom6 betongprovning 2025
Kontaktperson	: Johan Hedman	Beställningsnummer	: 43511-45422-65900
Adress	: C8193 190 87 Rosersberg Sverige	Provtagare	: Martin Hedlund
E-post	: johan.hedman@skanska.se	Provtagningspunkt	: ---
Telefon	: ---	Ankomstdatum, prover	: 2026-03-04 09:07
C-O-C-nummer (eller Orderblankett-num mer)	: ---	Analys påbörjad	: 2026-03-09
Offertnummer	: ST2021SE-SKA-IND0001 (OF210216)	Utfärdad	: 2026-03-10 14:22
		Antal ankomna prover	: 2
		Antal analyserade prover	: 2

#### Generell kommentar

Denna rapport får endast återges i sin helhet, om inte utfärdande laboratorium i förväg skriftligen godkänt annat. Resultatet gäller endast materialet såsom det har mottagits, identifierats och testats. Laboratoriet tar inget ansvar för information i denna rapport som har lämnats av kunden, eller resultat som kan ha påverkats av sådan information. Beträffande laboratoriets ansvar i samband med uppdrag, se vår webbplats [www.alsglobal.se](http://www.alsglobal.se)

Signatur	Position
Emma Engstrom	Laboratoriechef



Laboratorium	: ALS Scandinavia AB	hemsida	: <a href="http://www.alsglobal.se">www.alsglobal.se</a>
Adress	: Auronum 10 977 75 Luleå Sverige	E-post	: <a href="mailto:info.lu@alsglobal.com">info.lu@alsglobal.com</a>
		Telefon	: +46 920 28 99 00

Matris BYGGNADSMATERIAL						
Parameter	Resultat	MU	Enhet	LOR	Metod	Utf.
<b>Provbereidning</b>						
Bygg-IS-1						
Uppslutning	Ja	—	-	-	S-PM59-HB	LE
<b>Metaller och grundämnen</b>						
Bygg-IS-1						
Cr, krom	56.8	± 7.9	mg/kg	0.200	S-SFMS-59	LE

Provbeteckning: Prov B  
 Laboratoriets provnummer: LE2603849-002  
 Provtagningsdatum / tid: 2025-11-27

Matris BYGGNADSMATERIAL						
Parameter	Resultat	MU	Enhet	LOR	Metod	Utf.
<b>Provbereidning</b>						
Bygg-IS-1						
Uppslutning	Ja	—	-	-	S-PM59-HB	LE
<b>Metaller och grundämnen</b>						
Bygg-IS-1						
Cr, krom	47.9	± 6.7	mg/kg	0.200	S-SFMS-59	LE

### Metodsammanfattningar

Analysmetoder	Metod
S-SFMS-59	Analys av metaller i jord, slam, sediment och byggnadsmaterial med ICP-SFMS enligt SS-EN ISO 17294-2:2023 och US EPA Method 200.8:1994 efter uppslutning av prov enligt S-PM59-HB.

Beredningsmetoder	Metod
S-PM59-HB	Upplösnig i 7M salpetersyra i hotblock enligt SE-SOP-0021.

**Nyckel:** LOR = Den rapporteringsgräns (LOR) som anges är standard för respektive parameter i metoden. Rapporteringsgränsen kan påverkas vid t.ex. spädning p.g.a. matrisstörningar, begränsad provmängd eller låg torrsubstanshalt.

**MU =** Mätosäkerhet

\* = Asterisk efter resultatet visar på ej akkrediterat test, gäller både egna lab och underleverantör

#### Mätosäkerhet:

Mätosäkerheten anges som en utvidgad osäkerhet (enligt definitionen i "Evaluation of measurement data- Guide to the expression of uncertainty in measurement", JCGM 100:2008 Corrected version 2010) beräknad med täckningsfaktor lika med 2 vilket ger en konfidensnivå på ungefär 95%.

Mätosäkerhet anges endast för detekterade ämnen med halter över rapporteringsgränsen.

Mätosäkerhet från underleverantör anges oohast som en utvidgad osäkerhet beräknad med täckningsfaktor 2. För ytterligare information kontakta laboratoriet.

Sida : 3 av 3  
 Ordernummer : LE2603849  
 Kund : Skanska Industrial Solutions AB



#### Utförande laboratorium (teknisk enhet inom ALS Scandinavia eller anlitat laboratorium (underleverantör)).

	Utf.
LE	Analys utförd av ALS Scandinavia AB, Aurorum 10 Luleå Sverige 977 75 Akkrediterad av: SWEDAC Akkrediteringsnummer: 2030, ISO/IEC 17025

# Bilaga C: Provningsresultat utlakning (ALS)

## C.1 Prov A – 9 ppm



Attachment no. 1 to the certificate of analysis of the work order PR25G0817

Analytical Results – Leaching test according to the standard CSN EN 14405  
 “Characterization of waste – Leaching behavior tests –  
 Up-flow percolation test (under specified conditions)”

Laboratory ID of the analysed samples: PR25G0817001 - PR25G0817002  
 Client's ID of the analysed samples: U11891475 - U11891476

### Sample preparation:

The tested material was crushed below 4 mm and after homogenization the aliquot part was used to fill the column according to the standard CSN EN 14405.

### General information about the experiment

The column has been used with the inner diameter:	5.0	cm
Dry matter content:	93.5	%
Amount of wet sample in the column:	964.7	g
Amount of dry sample in the column:	902	g
Height of the tested sample in the column:	31.0	cm
The experiment has been carried out at room temperature:	20.3	°C
Average flow (permitted range = 10.6 – 13.9 mL/h)	13.0	mL/h

### Measurements in the eluates

Laboratory ID	L/S ratio	L/S ratio removed	L/S acceptable range	Volume of eluate[mL]	pH	T [°C]	EC [µS/cm]
PR25G0817001	0.100	0.120	0.08 – 0.12	108	12.60	20.3	3110
PR25G0817002	10.000	9.984	9.90 – 10.10	8900	12.10	21.6	4330

Removal of the eluates (L/S ratio removed in the permitted range)

**Comments** pH of the first 15 mL 12.70  
 pH of the rest eluate L/S = 0.10: 12.50  
 Equilibrium achieved (the difference of pH values above is less than 0.5)

### Concentration of pollutants in the eluates

Analyte	Fraction 0.00 - 0.10 [µg/L]	Fraction 0.10 - 0.20 [µg/L]	Fraction 0.20 - 0.50 [µg/L]	Fraction 0.50 - 1.00 [µg/L]	Fraction 1.00 - 2.00 [µg/L]	Fraction 2.00 - 5.00 [µg/L]	Fraction 5.00 - 10.0 [µg/L]
Dissolved Organic Carbon	300000	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	10900
Chloride	7460	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	2600
Sulphate as SO4 2-	66500	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	<5000
Fluoride	<1000	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	<200
Hexavalent Chromium - Soluble	685	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	49.6
As	2.38	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	<0.500
Ba	935	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1400
Cd	<0.0500	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	<0.0500
Cr	716	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	43.4
Cu	86.9	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	3.21
Hg	0.0962	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.0227
Mo	81.6	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	4.98
Ni	24.5	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.754
Pb	161	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1.46
Sb	1.77	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1.89
Se	<3.00	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	<3.00
Zn	282	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	54.1



## Attachment no. 1 to the certificate of analysis of the work order PR25G0817

Analytical Results – Leaching test according to the standard CSN EN 14405  
 “Characterization of waste – Leaching behavior tests –  
 Up-flow percolation test (under specified conditions)”

## Amount leached out of the sample for L/S ratio 0.100 and 10

L/S =	0.10	0.20	0.50	1.00	2.00	5.00	10.00
Analyte	mg/kg DW	mg/kg DW	mg/kg DW	mg/kg DW	mg/kg DW	mg/kg DW	mg/kg DW
Dissolved Organic Carbon	35.9	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	143
Chloride	0.593	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	26.5
Sulphate as SO <sub>4</sub> 2-	7.96	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	7.96-57.3
Fluoride	0-0.120	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0-2.09
Hexavalent Chromium - Soluble	0.0820	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.571
As	0.000285	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.000285-0.00522
Ba	0.112	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	13.9
Cd	0-0.0000599	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0-0.000499
Cr	0.0857	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.514
Cu	0.0104	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.0421
Hg	0.0000115	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.000235
Mo	0.00977	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.0589
Ni	0.00293	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.0104
Pb	0.0193	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.0337
Sb	0.000212	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.0189
Se	0-0.000359	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0-0.0300
Zn	0.0338	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.568

L/S =	0.10	0.20	0.50	1.00	2.00	5.00	10.00
Analyte	µg/kg DW	µg/kg DW	µg/kg DW	µg/kg DW	µg/kg DW	µg/kg DW	µg/kg DW
Dissolved Organic Carbon	35900	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	143000
Chloride	893	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	26500
Sulphate as SO <sub>4</sub> 2-	7960	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	7960-57300
Fluoride	0-120	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0-2090
Hexavalent Chromium - Soluble	82.0	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	571
As	0.285	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.285-5.22
Ba	112	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	13900
Cd	0-0.00599	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0-0.499
Cr	85.7	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	514
Cu	10.4	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	42.1
Hg	0.0115	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.235
Mo	9.77	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	58.9
Ni	2.93	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	10.4
Pb	19.3	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	33.7
Sb	0.212	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	18.9
Se	0-0.359	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0-30.0
Zn	33.8	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	568

## Remarks:

All the leaching experiments as well as the chemical analyses were performed in ALS Czech Republic, s.r.o.

When only 1 value is given in the "cumulative amount table" above it means that the analysis of this parameter in the given fraction and in all the previous fractions were greater than LoD.

If there the interval of concentrations is reported it means that at least one concentration of the involved parameter was less than LOR value. The lower value of the interval was evaluated using "zero concentration 0.000 µg/L" for the involved parameter and the upper value of the interval was evaluated using the value of reported limit (LOR) for the involved parameter.

If upper level in the "cumulative amount table" above is given it corresponds to the evaluation when the "greater than results" of analyses of individual parameters are taken into the evaluation as the values of the reported limit of detection

*The end of result part of the attachment the certificate of analysis*

## C.2 Prov B – 2 ppm



Attachment no. 2 to the certificate of analysis of the work order PR25G0817

## Analytical Results – Leaching test according to the standard CSN EN 14405

"Characterization of waste – Leaching behavior tests –  
Up-flow percolation test (under specified conditions)"Laboratory ID of the analysed samples: PR25G0817003 - PR25G0817004  
Client's ID of the analysed samples: U11891477 - U11891478**Sample preparation:**

The tested material was crushed below 4 mm and after homogenization the aliquot part was used to fill the column according to the standard CSN EN 14405.

**General information about the experiment**

The column has been used with the inner diameter:	5.0	cm
Dry matter content:	93.4	%
Amount of wet sample in the column:	950.7	g
Amount of dry sample in the column:	888	g
Height of the tested sample in the column:	31.0	cm
The experiment has been carried out at room temperature:	19.8	°C
Average flow (permitted range = 10.6 – 13.9 mL/h)	13.0	mL/h

**Measurements in the eluates**

Laboratory ID	L/S ratio	L/S ratio removed	L/S acceptable range	Volume of eluate [mL]	pH	T [°C]	EC [µS/cm]
PR25G0817003	0.100	0.119	0.08 – 0.12	106	12.80	19.8	18800
PR25G0817004	10.000	9.921	9.90 – 10.10	8700	12.40	21.3	6260

Removal of the eluates (L/S ratio removed in the permitted range)

**Comments** pH of the first 15 mL 12.90  
pH of the rest eluate L/S = 0.10: 12.70  
Equilibrium achieved (the difference of pH values above is less than 0.5)

**Concentration of pollutants in the eluates**

Analyte	Fraction 0.00 - 0.10 [µg/L]	Fraction 0.10 - 0.20 [µg/L]	Fraction 0.20 - 0.50 [µg/L]	Fraction 0.50 - 1.00 [µg/L]	Fraction 1.00 - 2.00 [µg/L]	Fraction 2.00 - 5.00 [µg/L]	Fraction 5.00 - 10.0 [µg/L]
Dissolved Organic Carbon	93900	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	10800
Chloride	8150	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1160
Sulphate as SO4 2-	109000	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	<5000
Fluoride	<400	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	<200
Hexavalent Chromium - Soluble	104	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	32.6
As	0.664	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	<0.500
Ba	1200	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1660
Cd	<0.0500	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	<0.0500
Cr	105	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	27.9
Cu	20.5	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	2.83
Hg	0.0914	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	<0.0200
Mo	16.0	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	2.91
Ni	7.15	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1.06
Pb	7.39	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1.39
Sb	0.964	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	3.07
Se	<3.00	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	<3.00
Zn	67.8	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	35.2



## Attachment no. 2 to the certificate of analysis of the work order PR25G0817

Analytical Results - Leaching test according to the standard CSN EN 14405  
 "Characterization of waste - Leaching behavior tests -  
 Up-flow percolation test (under specified conditions)"

## Amount leached out of the sample for L/S ratio 0.100 and 10

L/S =	0.10	0.20	0.50	1.00	2.00	5.00	10.00
Analyte	mg/kg DW	mg/kg DW	mg/kg DW	mg/kg DW	mg/kg DW	mg/kg DW	mg/kg DW
Dissolved Organic Carbon	11.2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	117
Chloride	0.973	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	12.3
Sulphate as SO <sub>4</sub> 2-	13.0	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	13.0-62.0
Fluoride	0-0.0477	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0-2.01
Hexavalent Chromium - Soluble	0.0124	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.332
As	0.0000793	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.0000793-0.00498
Ba	0.143	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	16.4
Cd	0-0.0000597	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0-0.000496
Cr	0.0125	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.286
Cu	0.00245	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.0302
Hg	0.0000109	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.0000109-0.000207
Mo	0.00191	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.0304
Ni	0.000853	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.0112
Pb	0.000882	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.0145
Sb	0.000115	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.0302
Se	0-0.000358	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0-0.0298
Zn	0.00809	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.353

L/S =	0.10	0.20	0.50	1.00	2.00	5.00	10.00
Analyte	µg/kg DW	µg/kg DW	µg/kg DW	µg/kg DW	µg/kg DW	µg/kg DW	µg/kg DW
Dissolved Organic Carbon	11200	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	117000
Chloride	973	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	12300
Sulphate as SO <sub>4</sub> 2-	13000	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	13000-62000
Fluoride	0-47.7	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0-2010
Hexavalent Chromium - Soluble	124	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	332
As	0.0793	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.0793-4.98
Ba	143	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	16400
Cd	0-0.00597	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0-0.496
Cr	12.5	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	286
Cu	2.45	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	30.2
Hg	0.0109	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.0109-0.207
Mo	1.91	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	30.4
Ni	0.853	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	11.2
Pb	0.882	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	14.5
Sb	0.115	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	30.2
Se	0-0.358	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0-29.8
Zn	8.09	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	353

## Remarks:

All the leaching experiments as well as the chemical analyses were performed in ALS Czech Republic, s.r.o.

When only 1 value is given in the "cumulative amount table" above it means that the analysis of this parameter in the given fraction and in all the previous fractions were greater than LoD.

If there the interval of concentrations is reported it means that at least one concentration of the involved parameter was less than LOR value. The lower value of the interval was evaluated using "zero concentration 0.000 µg/L" for the involved parameter and the upper value of the interval was evaluated using the value of reported limit (LOR) for the involved parameter.

If upper level in the "cumulative amount table" above is given it corresponds to the evaluation when the "greater than results" of analyses of individual parameters are taken into the evaluation as the values of the reported limit of detection

The end of result part of the attachment the certificate of analysis