



Läckage av metaller vid användning av järnsand för byggande i hamnbassängen i Skelleftehamn

Mark Elert och Celia Jones

Augusti 2015

Kemakta Konsult AB

Box 12655, 112 93 Stockholm

Telefon: 08-617 67 00, Telefax: 08-652 16 07, Internet: www.kemakta.se

Sammanfattning

Stadsbyggnad i Skellefteå kommun har gett Kemakta Konsult i uppdrag att ta fram kriterier för användning av järnsand i hamnbassängen i Skellefteå hamn. Kommunen planerar att göra utbyggnader i hamnbassängen i Skelleftehamn där bland annat järnsand kommer att användas för utfyllnad ovanför och under vattenytan.

Denna rapport är en redovisning av arbetet med att ta fram dessa kriterier och syftar till att redovisa en utvärdering av vilka effekter användning av järnsand nära havet kan innebära. I rapporten diskuteras vilka spridningsvägar som kan vara aktuella och det görs en kvantitativ bedömning av vilket läckage som skulle kunna uppkomma från en utfyllnad där järnsand används samt vilka effekter ett sådant läckage skulle kunna ge upphov till i recipienten. Rapport är en utveckling av tidigare redovisad lägesrapport (Kemakta 2015) där resultat av de kompletterande lakttesterna som genomförts har beaktats.

Beräkningen visar att användning av 1 Mton järnsand vid byggnation i hamnbassängen ger ett måttligt läckage av metaller till Kallholmsfjärden och att det beräknade halttillskottet är litet i förhållande till de halter som mätts upp i fjärden.

Innehållsförteckning

1	Inledning	5
1.1.1	Beställare.....	5
1.1.2	Bakgrund.....	5
1.1.3	Syfte.....	5
2	Beskrivning av anläggningen	6
2.1	Utbyggnader.....	6
2.2	Invallning.....	6
2.3	Tätskikt.....	6
2.4	Bottenförhållanden.....	6
2.5	Uppfyllnadsnivåer.....	6
3	Konceptuell modell	7
4	Vattenflöden genom konstruktionen	8
5	Beräkning av spridning	10
5.1	Utlakning från järnsanden.....	10
5.1.1	Utvärdering av lakförsök på årsprover.....	10
5.1.2	Kompletterande lakförsök.....	11
5.2	Läckage från konstruktionen.....	15
5.3	Erosion.....	16
5.4	Halter och effekter i Kallholmsfjärden.....	16
6	Diskussion och slutsatser	18
7	Referenser	19

1 Inledning

1.1 Beställare

Denna rapport är en redovisning av arbetet med att ta fram kriterier för användning av järnsand i byggande i hamnbassängen i Skelleftehamn. Arbetet är utfört på uppdrag av Samhällsbyggnad i Skellefteå kommun.

1.2 Bakgrund

Skellefteå kommun planerar att göra utbyggnader i hamnbassängen i Skelleftehamn. I planerna ingår att använda järnsand för utfyllnad ovanför och under vattenytan.

1.3 Syfte

Syftet med denna rapport är att redovisa en utvärdering av vilka effekter användning av järnsand nära havet kan innebära. I rapporten diskuteras vilka spridningsvägar som kan vara aktuella och det görs en kvantitativ bedömning av vilket läckage som skulle kunna uppkomma från anläggningen samt vilka effekter ett sådant läckage skulle kunna ge upphov till.

2 Beskrivning av anläggningen

2.1 Utbyggnader

Utfyllnader för kajer och hamnanläggningar planeras i Kallholmsfjärden. I första hand är det två områden som är tänkta att fyllas ut med järnsand. Det ena området har en yta på nära 5 ha och är tänkt att fylla ut med ca 250 000 m³ järnsand under vattenlinjen och 125 000 m³ ovanför vattenlinjen. Det andra området är något mindre och är tänkt att fylla ut med ca 100 000 m³ under vattenlinjen och ungefär lika mycket ovan vattenlinjen. Totalt planeras ca 575 000 m³ eller ca 1 miljon ton järnsand (densitet ca 1,8 ton) användas.

2.2 Invallning

Järnsanden är tänkt att ligga innanför en invallning med bergmassor. Invallningen kommer att ligga på ett vattendjup på ca 10 m. Invallningens utsida kommer att på utsidan förses med ett erosionskydd och på insidan med någon form av tätskikt.

2.3 Tätskikt

Utformningen av tätskiktet är inte bestämd. I ritningar från WSP anges ett tätskikt av lera. Ett lerskikt kan dock vara svårt att anlägga på plats. Alternativ är förproducerade bentonitmattor eller cementfyllda madrasser som fylls på plats.

2.4 Bottenförhållanden

Vattendjupet i det område som ska fyllas ut ökar brant ut från strandlinjen. Närmast stranden är det ett par meter för att öka till mer än 10 meter vid den position där vallen ska byggas.

Provtagning av sedimenten visar att i de områden där det finns lösa sediment är halterna av arsenik, kadmium, koppar, kvicksilver, bly och zink mycket höga. I områden med sandbotten är halterna måttliga.

Enligt SGU:s maringeologikarta består botten närmast stranden av morän och längre ut av lera eller gyttjelera (SGU 2015a). Enligt SGU består berggrunden av granit med låg kapacitet för vattenutvinning (under 600 l/s). En deformationszon går i NV-SO riktning genom de centrala delarna av Kallholmsfjärden (SGU 2015b).

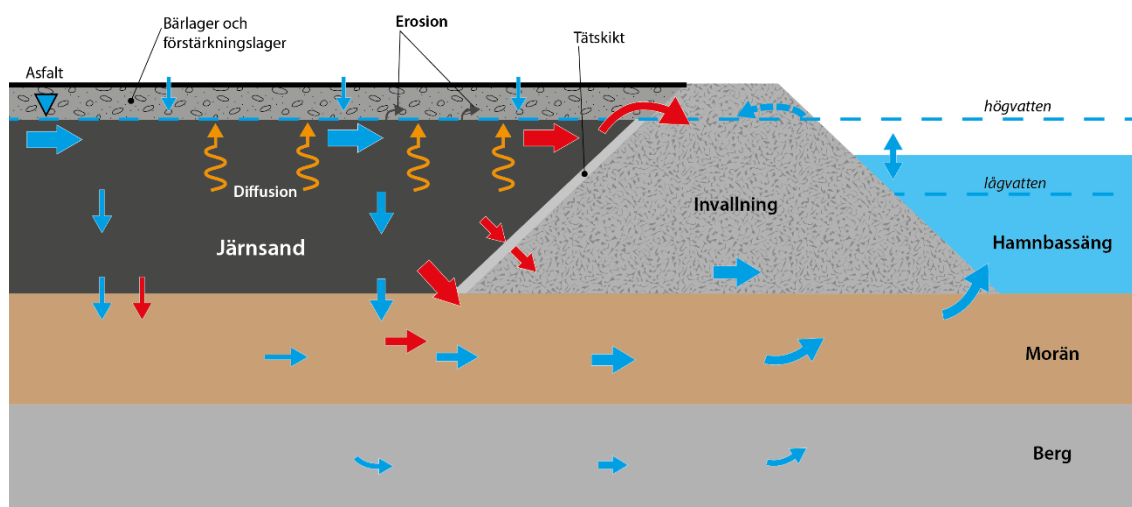
2.5 Uppfyllnadsnivåer

Planerna är att järnsand ska utnyttjas både över och under havsvattennivån. Ovanpå järnsanden läggs ett förstärkningslager, ett bärlager och högst upp tätas ytan med asfalt.

3 Konceptuell modell

En konceptuell modell har tagits fram över vattenflöden och spridningsvägar för ämnen från konstruktionen, se figur 3-1. I den konceptuella modellen ingår:

- Grundvatten från områden på land kan strömma in i konstruktionen
- Läckage genom tätande asfalt infiltrerar genom täckningen
- Variationer i havsnivån leder till att vatten kan ”pumpas” in och ut i anläggningen
- Vid extrema vattenstånd kan vatten strömma in över tätskiktet
- Grundvattennivå i utfyllnaden ligger i nivå med järnsanden, vilket:
 - Skapar gradient för vattenflöde genom järnsanden
 - Högst gradient uppkommer nära invallningen
 - Utflöde vid foten av invallningen i underliggande morän eller över tätskikt
- Den stora ytan med järnsand ger möjlighet till utsläpp via:
 - Diffusion som orsakar utläckage även från områden med liten vattengenomströmning
 - Erosion av finpartiklar från ytan
- Saltvatten kan påverka utlakningen av metaller från järnsanden



Figur 3-1 Konceptuell modell beskrivande vattenflöden och spridningsvägar från utfyllnaden med järnsand.

4 Vattenflöden genom konstruktionen

I detta kapitel ges en översiktlig beskrivning av flödesvägar för vatten in i konstruktionen samt en kvantitativ uppskattning av olika vattenflöden.

Infiltration på konstruktionen

Ytan av konstruktionen kommer att asfalteras. Med tanke på de stora ytorna som dessutom kommer att trafikeras av tunga fordon är det dock inte realistiskt att se asfalten som helt tät. I ett längre tidsperspektiv bedöms asfaltens tätande förmåga att kunna försämrats.

I de preliminära beräkningarna antas infiltrationen genom asfalten i det korta perspektivet vara 40 mm/år och i ett längre tidsperspektiv med sämre asfalt öka till 100 mm/år. Den maximala infiltrationen utan asfalt har beräknats till 300 mm/år, vilket motsvarar nettonederbörden i området. Med en vidd av konstruktionen på 100 m ger det en grundvattenbildning på 400, 1000 respektive 3000 m³/år per 100 meters bredd.

Grundvattenflöden från omgivande land

Landområdet norr om utfyllnaden (Näsudden) är relativt flackt och består av ett tunt moräntäcke på berg (Bewic 1997). På den centrala delarna av Näsudden finns våtmarker. En stor del av området används för oljedepåer med hårdgjorda ytor och invallningar som minskar infiltrationen.

Avrinningen i det aktuella området är ca 300 mm/år (SMHI 2015a). Sannolikt är grundvattenbildningen över Näsudden mindre. En grundvattenbildning på 100 mm/år över ett område som sträcker sig 500 m in från den ursprungliga strandkanten skulle ge ett grundvattenflöde på 5 000 m³/år per 100 meters bredd av konstruktionen. Sannolikt är detta en överskattning.

Havsnivåvariationer

Variationen av havsvattennivån kommer att leda till ett flöde av vatten ut och in ur konstruktionen. Omfattningen av detta flöde beror dels på materialets täthet samt eventuella tätskikt samt hur snabba variationerna är. Kortvariga variationer kommer att beröra området närmast strandlinjen, medan mer långvariga variationer kommer att tränga längre in i konstruktionen.

Data från SMHI:s station i Furögrund (SMHI 2015b) har använts för att beräkna den totala årliga ändringen i vattenstånd över olika tidsintervall. Dessa redovisas i tabell 4-1.

Tabell 4-1 Årlig ackumulerad förändring av vattenstånd för olika perioder.

Mätperiod	Årlig ackumulerad förändring (m)
Timme	38
Dag	16
Vecka	3
Månad	0,9

En beräkning av vilket vattenflöde som havsnivåvariationer skulle kunna orsaka inne i utfyllnaden har gjorts med ett beräkningsverktyg framtaget inom Naturvårdsverkets projekt Hållbar Sanering (Elert och Yesilova 2008). Järnsanden har en relativt grov struktur (d₁₀ = 0,4 mm; d₆₀ = 1 mm). Den hydrauliska konduktiviteten uppskattas till

ca 10^{-3} m/s. Utan någon tätning av invallningen beräknas variationer i vattennivå orsaka ett flöde på ca 6500 m³/år i järnsanden per 100 meters bredd. En tätning av insidan av invallningen minskar effekten av normala havsnivåvariationer. Ett tätskikt 1 m tjockt med en hydraulisk konduktivitet på 10^{-7} m/s skulle minska vattenflödet på grund av havsnivåvariationer till ca 500 m³ per år. Samma effekt skulle kunna uppnås med ett 0,1 m tätskikt med en hydraulisk konduktivitet på 10^{-9} m/s. Ett 0,5 m tjockt tätskikt med konduktiviteten 10^{-9} m/s skulle minska vattenflödet till ca 20 m³/år.

Extrema vattenstånd

Av olika skäl kan inte tätskiktet vid invallningen göras för hög. Enligt de ritningar som finns går tätskiktet upp till ca +0,9 (RH2000). Under perioden 1961-2015 har denna nivå överskridits vid ca 2 % av mätillfällena och så höga vattenstånd inträffar periodvis i det närmaste årligen. Detta skulle medföra en relativt stora vattenflöden i den övre delen av järnsanden. Baserat på en medelnivå för havsnivån under perioder på extremt vattenstånd på +1,0 m beräknas inflödet över en 100 m sträcka vara ca 20 m³/dygn, vilket skulle ge ett inflöde under perioder med högvatten på ca 140 m³/år per 100 m bredd.

Framtida höjningar av havsvattennivån ger en relativt liten effekt i Skellefteåområdet på grund av landhöjningen. SMHI har beräknat havsnivåhöjningen till mindre än 0,1 m fram till år 2100 (SMHI 2012). En höjning av nivån för extrema vattenstånd med 0,1 m skulle öka inflödet till ca 70 m³ under ett dygn med extrema vattennivåer, vilket skulle motsvara ett inflöde på ca 500 m³/dygn.

Flöden genom konstruktionen

I tabell 4-2 summeras de beräkningar som gjorts av vattenflödena genom konstruktionen. Beräkningar har gjorts för tre fall:

1. Bra barriärer. En konstruktion med väl fungerande asfaltstäckning och tätskikt (X= 0,5 m, K= 10^{-9} m/s). Nuvarande havsnivå antas gälla.
2. Mindre bra barriärer. En konstruktion med sämre asfaltstäckning och tätskikt (X= 1 m, K= 10^{-7} m/s). En förhöjd havsvattennivå med 0,1 m.
3. Ingen effekt av asfaltstäckning eller tätskikt beaktas. En förhöjd havsvattennivå med 0,1 m.

Tabell 4-2 Sammanställning av beräknade inflöden i en utfyllnad med järnsand.

	Inflöde per 100 m (m ³ /år)		
	Fall 1	Fall 2	Fall 3
Infiltration	400	1000	3000
Grundvatten	5000	5000	5000
Nivåvariationer	20	500	6500
Extrema vattenstånd	140	500	500
Summa	5560	7000	15000

Det huvudsakliga bidragen för fall 1 och 2 är grundvattenflödet från landområdet, för fall 3 är även infiltration och inflöden på grund av nivåvariationer i havet väsentliga.

Hydrologiska beräkningar som gjorts av liknade anläggningar visar att kritiska punkter i denna typ av konstruktion är flöden under tätskiktet genom sjöbotten eller över tätskiktet om grundvattennivån i anläggningen blir hög (Elert 2013).

5 Beräkning av spridning

5.1 Utlakning från järnsanden

5.1.1 Utvärdering av lakförsök på årsprover

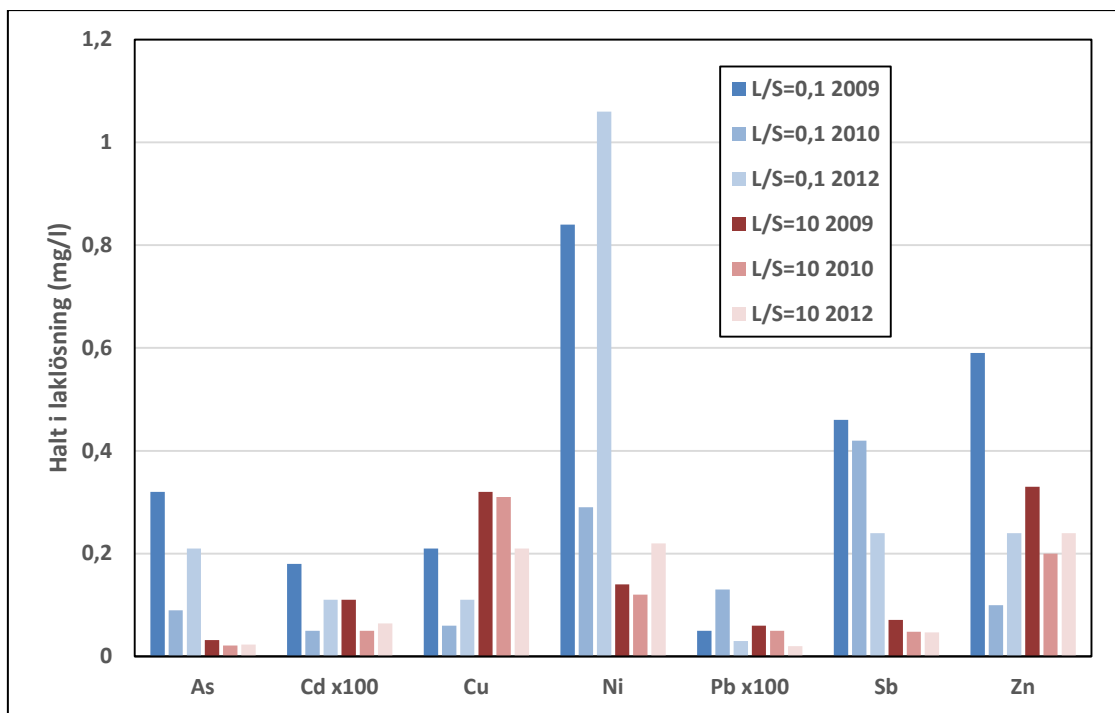
Ett stort antal lakförsök har genomförts på järnsand. I tabell 5-1 redovisas en sammanställning av utlakad mängd vid L/S=10 från ett större antal laktester (Kemakta 2015). Dessa visar att framförallt utlakningen av koppar, nickel, antimon och zink är hög i förhållande till de gränsvärden som gäller för mottagning av avfall vid deponier.

Tabell 5-1 Utlakad mängd av metaller (mg/kg TS) vid L/S 10 från järnsand. Alla försök som inte anges som kolonn är skaktester. Som en referens görs en jämförelse med gränsvärdena för mottagande vid deponi (NFS 2004:10). Gröna fält överskrider gränsvärdena för deponi för inert avfall, gult fält överskrider gränsvärde för deponi för icke-farligt avfall.

	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Sb	Zn
Årsprov 2005	0,035	0,004	0,003	1,7	0,86	0,028	0,36	5,6
Årsprov 2006	0,043	0,009	0,003	0,38	0,91	0,014	0,63	5,8
Årsprov 2007	0,060	0,002	0,003	0,41	0,89	0,013	0,51	3,5
Årsprov 2008	0,19	0,013	0,003	1,8	1,3	0,007	0,52	3,3
Årsprov 2009	0,23	0,015	0,002	3,2	2,2	0,010	0,35	3,4
Årsprov 2010	0,11	0,005	0,002	1,5	1,5	0,005	0,31	1,9
Årsprov 2011	0,23	0,011	0,002	5,4	2,8	0,31	0,32	2,9
Årsprov 2012	0,13	0,012	0,002	1,6	2,8	0,004	0,45	3,0
NGI 2009 kolonn	0,32	0,011	0,005	3,2	1,4	0,006	0,71	3,3
NGI 2010 kolonn	0,21	0,005	0,005	3,1	1,2	0,005	0,48	2,0
NGI 2012 kolonn	0,23	0,0064	0,005	2,1	2,2	0,002	0,47	2,4

Försök vid L/S=10 ger en bild av medelhalten i laklösningen under en längre tidsperiod. För att utvärdera effekten av detta har den initiala halten vid L/S=0,1 jämförts med medelhalten vid L/S=10, se figur 5-1. Denna jämförelse visar på en minskad halt med ökande L/S-tal för flera ämnen (arsenik, nickel och antimon), medan halten i laklösningen är relativt konstant (kadmium, bly, zink) eller till och med svagt ökande (koppar).

Med det uppskattade flödet för fall 1 på 5560 m³/år per 100 m bredd och en konstruktion som innehåller ca 100 000 ton per 100 m motsvarar teoretiskt L/S=0,1 den lakning som uppnås efter 2 år. Eftersom flödet kommer vara olika i skilda delar av konstruktionen och dessutom variera över tiden kommer effekten av högre initiala halter att i praktiken vara av mindre betydelse.



Figur 5-1 Initial halt av metaller (mg/l) vid kolonntester på järnsand vid L/S=0,1 (blå staplar), samt medelhalt vid L/S=10 (röda staplar).

5.1.2 Kompletterande lakförsök

Samhällsbyggnad i Skellefteå har låtit Statens Geotekniska Institut (SGI) utföra en rad olika lakförsök på järnsand i syfte att bättre karakterisera hur järnsand kan förväntas uppträda i en konstruktion i hamnbassängen. Analyser av lakvätskorna har utförts av Eurofins Environment Sweden AB.

I lakförsöken har studerats hur lakningen påverkas av salthalten, pH, kornstorlek och den totala halten av tillgängliga metaller har undersökts.

Påverkan av salthalt

Hög jonstyrka och höga kloridhalter kan påverka utlakningen av föroreningar. Inga lakförsök har tidigare utförts där järnsand lakats med havsvatten eller annat vatten med högre salthalt. Erfarenheter från lakning av andra material visar att lakning av kadmium, nickel och zink kan öka i närvaro av klorid, medan påverkan på arsenik, koppar och bly är relativt liten (Enell et al. 2008). För att utreda effekten av salthalten gjordes 2015 lakförsök med tre olika vatten, avjoniserat vatten, vatten från hamnbassängen samt vatten från Kågnäsudden 7 km norr om hamnbassängen. Testerna genomfördes som tvåstegsskaktester på tre olika järnsandsprover, A, B och C. I tabell 5-2 redovisas utlakad mängd vid L/S=10.

Tabell 5-2 Utlakad mängd av metaller (mg/kg TS) vid L/S 10 från järnsand med olika lakvätskor. Som en referens görs en jämförelse med gränsvärden för mottagande vid deponi (NFS 2004:10). Gröna fält överskrider gränsvärden för deponi för inert avfall, gult fält överskrider gränsvärde för deponi för icke-farligt avfall.

Lakvätska	Prov	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Sb	Zn
Avjoniserat vatten	A	0,03	0,02	<0,0005	4	0,9	0,02	0,2	6
	B	0,02	0,02	<0,0005	2	0,9	0,01	0,2	5
	C	0,02	0,02	<0,0005	2	0,9	0,01	0,2	5
Från hamnbassängen	A	0,1	0,02	<0,003	2	0,7	0,02	0,2	3
	B	0,1	0,02	<0,004	2	0,7	0,02	0,2	3
	C	0,1	0,02	<0,01	2	0,07	0,02	0,2	3
Från Kågnäsudden	A	0,1	0,01	<0,003	2	0,7	0,02	0,2	3
	B	0,1	<0,007	<0,01	3	0,6	0,02	0,2	3
	C	0,1	0,01	<0,004	3	0,7	0,01	0,2	3

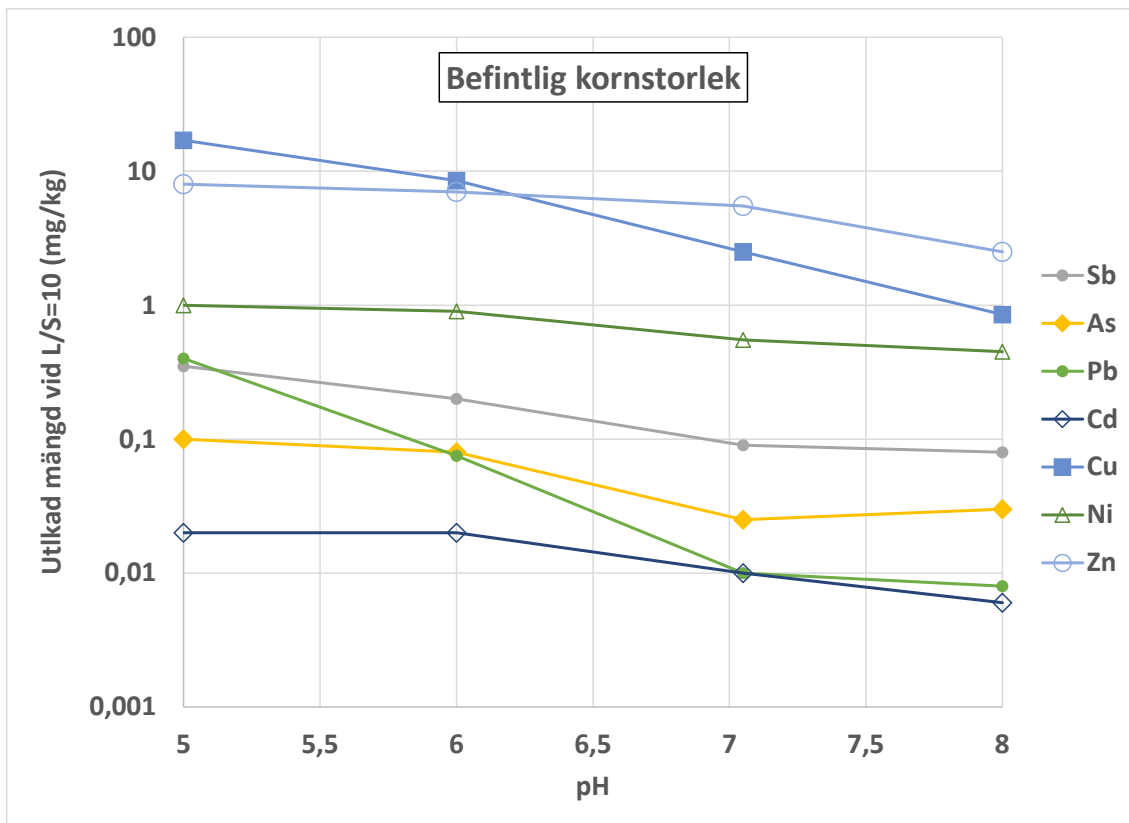
Resultaten visar inte på någon större skillnad i lakning mellan avjoniserat vatten och havsvatten. Den mest markanta skillnaden är att utlakningen av zink är lägre vid lakning i havsvatten, vilket motsäger mer generella erfarenheter hur metaller uppträder. Skillnaden beror framför allt på en lägre utlakning av zink i havsvattnet under det andra laksteget (L/S 2 – 10) och beror sannolikt på ett något högre pH-värde i havsvattnet än i det avjoniserade vattnet. Även utlakningen av arsenik är högre i havsvatten, vilket kan vara en effekt av det högre pH-värdet.

Andra skillnader är att halten av antimon, bly och koppar efter första laksteget (L/S=2) är lägre vid lakning med avjoniserat vatten än med havsvatten. De halter som mätts upp efter det andra laksteget är likvärdiga.

Påverkan av pH

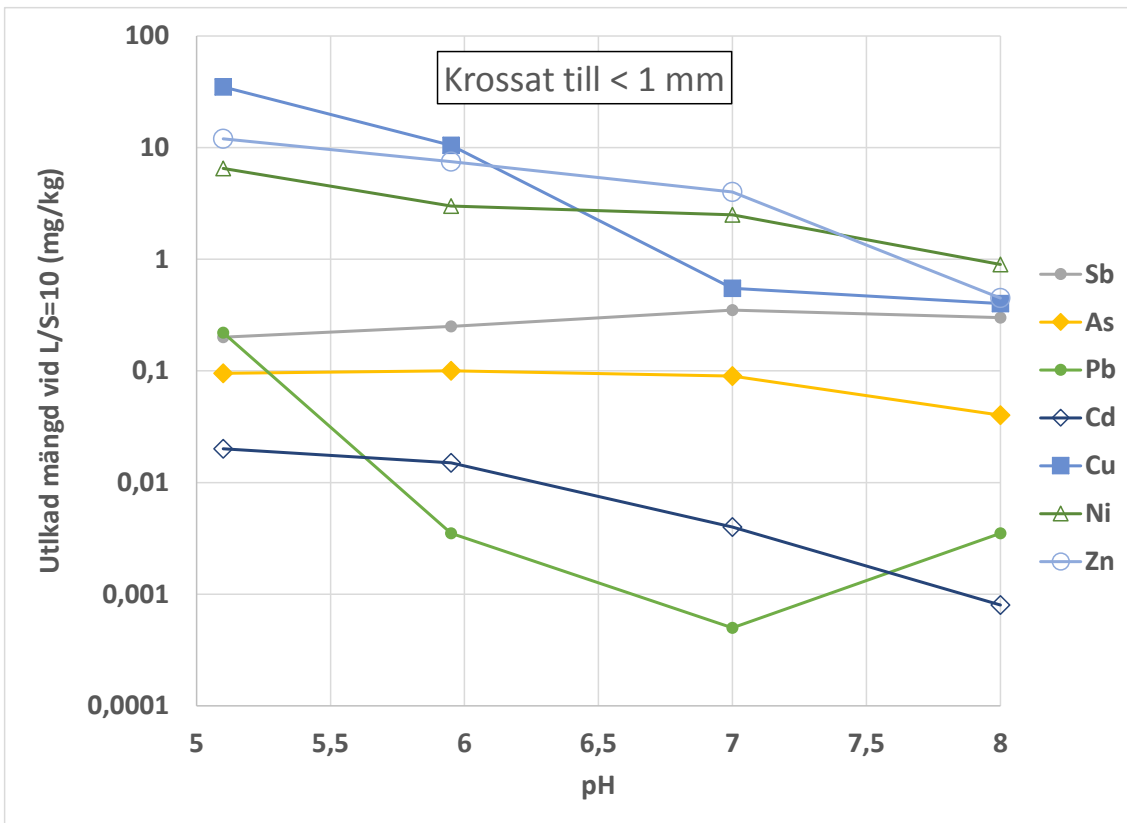
För att bedöma hur utlakningen påverkas av förändringar i pH har även pH-statter genomförts. Dessa är skakter vid L/S=10 som genomförs vid ett pH som hålls konstant genom tillförelse av syra eller bas. I detta fall har tester utförts vid pH 5, 6, 7 och 8 på material med befintlig kornstorlek samt på material krossat till en storlek mindre än 1 mm. Försöken genomfördes på tre olika prover på järnsand.

I figur 5-2 redovisas medelvärden för utlakad mängd för material med befintlig kornstorlek som funktion av pH. En minskning av pH från 7 (materiallets eget pH vid lakning i avjoniserat vatten) till 5 innebär en ökning av utlakad mängd bly med 40 gånger, för koppar är ökningen 7 gånger samt för arsenik och antimon ca 2 gånger.

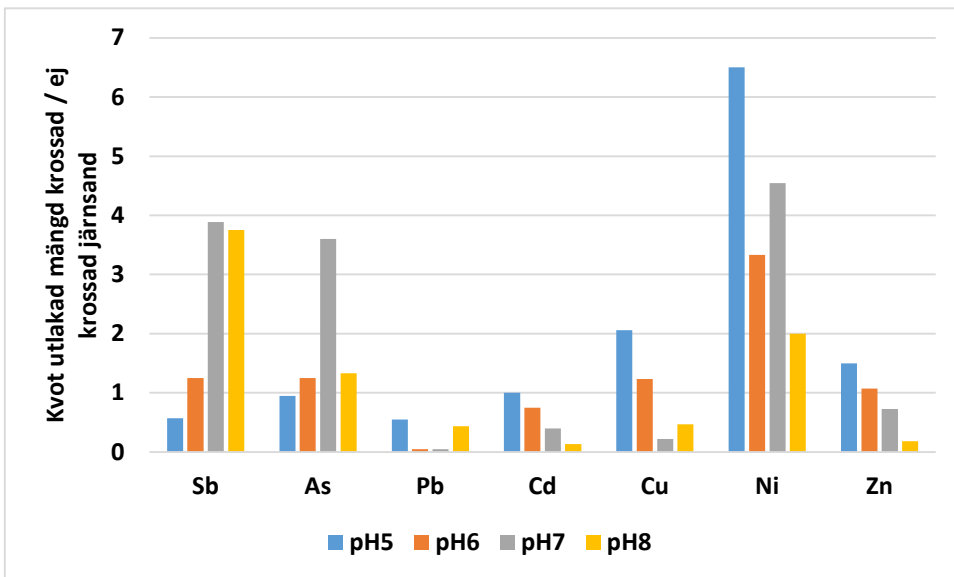


Figur 5-2 Utlakad mängd vid L/S=10 som funktion av pH för material med befintlig kornstorlek. Medelvärden av 3 prover. OBS! logaritmisk skala.

De pH-stattester som genomförts på krossad järnsand visar en 2 till 6 gånger högre utlakning av nickel än de som genomförts på material med befintlig kornstorlek vid låga pH, se figur 5-3. För koppar och zink är utlakningen från det krossade materialet högre än från det med ursprunglig kornstorlek vid låga pH, men lägre vid högre pH, se figur 5-4. Det motsatta gäller för antimon och arsenik som uppvisar en lägre lakbarhet från det krossade materialet vid låga pH, men en högre lakbarhet vid höga pH. För bly är utlakningen lägre från det krossade materialet vid samtliga pH. För kobolt (inte med i figuren) är skillnaden mycket stor, där utlakningen från det krossade materialet är 70 – 150 gånger högre än utlakningen från järnsand med befintlig kornstorlek. Under försöket vid pH 7 slets magneten i omröraren ned så att metallen kom fram vilket kan ha påverkat resultatet. Magneterna är ofta tillverkad av en legering av aluminium, järn, nickel och kobolt. Skillnaden uppträder vid samtliga pH-värden och är därför inte säkert orsakad av problemen med den skadade magnetomröraren. Problemet med magnetomröraren är troligen orsaken till den höga beräknade utlakade mängden av nickel vid pH 7.



Figur 5-3 Utlakad mängd vid L/S=10 som funktion av pH för material krossat till en kornstorlek mindre än 1 mm. Medelvärden av 3 prover. OBS! logaritmisk skala.



Figur 5-4 Kvot utlakad mängd från krossad järnsand och utlakad mängd från järnsand med ursprunglig kornstorlek.

En sänkning till pH 5 och dessutom en krossning av allt material är en mycket drastisk förändring som inte är representativ för de förhållanden som kan förväntas i järnsanden i den aktuella konstruktionen ens efter mycket lång tid.

Tillgänglighetstester

I de försök som gjorts ingår också ett tillgänglighetstest (NT ENVIR 003) samt ett oxiderande tillgänglighetstest (NT ENVIR 006). Dessa tester syftar till att bestämma det totala innehållet som kan frigöras genom lakning efter mycket lång tid efter förlust av syrabuffringskapacitet, sönderdelning av materialet och diffusion från avfallsmatrisen. Testerna är speciellt tänkta för aska och slagg. Inför dessa tester mals först materialet ned och krossas till en storlek <0,125 mm. Materialet lakas sedan i två steg. I det första steget blandas provet till ett L/S-tal på 100 och hålls i 3 timmar vid pH 7 genom tillsättning av salpetersyra (om lösningens pH är under 7 tillsätts ingen syra). I det efterföljande steget, även det vid L/S=100, tillsätts ny laklösning som hålls i 18 timmar vid pH 4. Efter avslutad lakning filtreras lakvätskorna från de två stegen, slås samman och analyseras. I den oxiderande tillgänglighetstesten säkerställs att oxiderande förhållanden upprätthålls genom tillsats av väteperoxid. Båda typerna av tester simulerar extrema förhållanden som inte förväntas uppkomma i konstruktionen inom rimliga tidsintervall. Ett L/S på 200 som används i tillgänglighetstesterna motsvarar teoretiskt en tid på 1500 till 4000 år för den aktuella konstruktionen i hamnbassängen.

I tabell 5-3 redovisas resultat av tillgänglighetstesterna i form av andelen av totalhalten som lakat ut. Av de studerade metallerna uppmättes en tillgänglig andel på mer än 3 % för arsenik, koppar, nickel och antimon. Det oxiderande testet ger större utlakad andel för koppar, men ger minst utlakad andel för arsenik, antimon och zink. Skillnaden mellan de två proven är relativt stor när det gäller utlakad andel av arsenik, krom, nickel och antimon, medan skillnaden i utlakad mängd är mindre.

Tabell 5-3 Andel av metall utlakad i tillgänglighetstest och oxiderande tillgänglighetstest.

	Tillgänglighetstest		Oxiderande tillgänglighetstest	
	PROV A	PROV B	PROV A	PROV B
As	8,2%	2,4%	0,06%	0,02%
Cd	*	*	*	*
Cr	0,06%	0,07%	0,03%	0,29%
Cu	4,5%	3,5%	10,6%	7,9%
Ni	7,7%	3,6%	7,7%	3,6%
Pb	0,4%	0,5%	0,7%	0,5%
Sb	6,3%	2,3%	1,9%	0,5%
Zn	0,8%	0,8%	0,2%	0,2%

* Totalhalter under rapporteringsgräns, tillgänglig andel kan ej beräknas.

Skillnaden i utlakad mängd vid L/S=10 från skaktesterna och utlakad mängd i tillgänglighetstesten (L/S=200) är störst för krom (>250 gånger), koppar (drygt 100 gånger), arsenik, bly, nickel och antimon (40 – 60 gånger). Skillnaden mellan skaktesterna och det oxiderande tillgänglighetstestet är störst för krom (>500 gånger), koppar (ca 250 gånger), bly (90 gånger), nickel (40 gånger). Skillnaden beror främst av det lägre pH-värdet samt krossningen, men även till viss del på det större L/S-talet i tillgänglighetstesterna. Anmärkningsvärt är att skillnaden är mycket liten vad gäller kadmium (< 2 gånger), en metall som vanligen är lättlakad vid låga pH.

5.2 Läckage från konstruktionen

En beräkning har gjorts av det genomsnittliga årliga utläckaget under perioder som motsvarar L/S=2 och L/S=10. Beräkning har gjorts för en utbyggnad med 1 miljon ton järnsand med en långd längs strandlinjen på 1000 m. För en sådan konstruktion och de

vattenflöden som ges i tabell 4-2 kommer ett L/S-tal på 2 uppnås efter ca 40 år för fall 1, ca 30 år för fall 2 och efter drygt 10 år för fall 3. Ett L/S-tal på 10 uppnås efter ca 180 år för fall 1, ca 140 år för fall 2 och ca 70 år för fall 3. För utsläppsberäkningarna används maxhalten från de skakförsök som utförts på avjoniserat vatten och havsvatten. Resultatet redovisas i tabell 5-4.

Tabell 5-4 Beräkningar av medelläckage från järnsanden beräknat för en utfyllnad med 1 Mton järnsand. Beräkningar redovisas för fall 1 (bra barriärer), fall 2 (mindre bra barriärer) och fall 3 (utan barriärer).

	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Sb	Zn
L/S=2 (tid mellan 10 till 40 år)								
Max skak L/S=2 (mg/kg TS)	0,02	0,01	0,002	0,40	0,50	0,004	0,09	1,00
Medelhalt L/S=2 (mg/l)	0,010	0,004	0,001	0,200	0,250	0,002	0,045	0,500
Medelläckage Fall 1 (kg/år)	0,6	0,2	0,1	11,1	13,9	0,1	2,5	27,8
Medelläckage Fall 2 (kg/år)	0,7	0,3	0,1	14,0	17,5	0,1	3,2	35,0
Medelläckage Fall 3 (kg/år)	1,5	0,6	0,2	30,0	37,5	0,3	6,8	75,0
L/S=10 (tid mellan 70 till 180 år)								
Max skak L/S=10 (mg/kg TS)	0,10	0,02	0,01	4,00	0,90	0,020	0,20	6,00
Medelhalt L/S=10 (mg/l)	0,010	0,002	0,001	0,400	0,090	0,002	0,020	0,600
Medelläckage Fall 1 (kg/år)	0,6	0,1	0,1	22,2	5,0	0,1	1,1	33,4
Medelläckage Fall 2 (kg/år)	0,7	0,1	0,1	28,0	6,3	0,1	1,4	42,0
Medelläckage Fall 3 (kg/år)	1,5	0,3	0,2	60,0	13,5	0,3	3,0	90,0

5.3 Erosion

En annan spridningsväg är erosion av finmaterial från översidan av den utfyllda järnsanden där vattenflödet kan förväntas vara högst. Omfattningen av erosionen är beroende på hur konstruktionen görs. En långsam erosion av järnsanden kan ge en frigörelse av partiklar som transporteras ut med det dräneringsvatten som avbördas i utfyllnaden. Ingen kvantitativ uppskattning har gjorts av detta, men eftersom erosion sker av fast materialet med höga föroreningshalter kan även en mycket liten erosion vara av betydelse för utsläppet. En erosion på ca 4000 kg järnsand per ger ett läckage av koppar som motsvarar spridningen från utfyllnaderna med infiltrerande vatten (fall 2, L/S=2). Vi bedömer att en så omfattande erosion är osannolik.

5.4 Halter och effekter i Kallholmsfjärden

Kallholmsfjärden (Skelleftehamnsfjärden) har en area på 1,86 km², ett maxdjup på 17 m och en volym på 14,4 miljoner m³ (SMHI 2015c). Tillrinningen från omgivande landområden är måttlig, 1,7 miljoner m³ per år. Salthalten varierar mellan 2,0 och 3,2 PSU.

Vattenomsättning

Vattenomsättningen beror huvudsakligen på vattenutbyte med Skelleftebukten. Den totala vattentransporten ut från Kallholmsfjärden har under perioden 1999 till 2013 beräknats variera mellan 38 och 51 m³/s, med ett medelvärde på 44 m³/s (SMHI 2015c). Detta ger en omsättningstid för hela Kallholmsfjärden på ca 4 dygn.

Halttillskott i Kallholmsfjärden

En vattenomsättning på 4 dygn har använts för att beräkna vilket halttillskott läckaget från en fyllning med 1 Mton järnsand kan medföra i Kallholmsfjärden, se tabell 5-5.

Den relativa haltökningen är störst för nickel, men är mindre än 3 % av halten i Kallholmsfjärden i dagsläget.

Tabell 5-5 Beräknat halttillskott i Kallholmsfjärden ($\mu\text{g/l}$) på grund av utfyllnader med 1 Mton järnsand för fall 1 (Bra barriärer), fall 2 (mindre bra barriärer) och fall 3 (inga barriärer). Som jämförelse redovisas också uppmätta halter i Kallholmsfjärden i dagsläget (Boliden 2015).

Fall	L/S och motsvarande tid	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Sb	Zn
Fall 1	L/S=2 (40 år)	0,0004	0,0002	0,00004	0,008	0,010	0,0001	0,002	0,020
	L/S=10 (180 år)	0,0004	0,0001	0,00004	0,016	0,004	0,0001	0,001	0,024
Fall 2	L/S=2 (30 år)	0,0005	0,0002	0,0001	0,010	0,013	0,0001	0,002	0,025
	L/S=10 (140 år)	0,0011	0,0004	0,0001	0,022	0,027	0,0002	0,005	0,054
Fall 3	L/S=2 (10 år)	0,0011	0,0004	0,0001	0,022	0,027	0,0002	0,005	0,054
	L/S=10 (70 år)	0,0011	0,0002	0,0001	0,043	0,010	0,0002	0,002	0,065
Halt i Kallholmsfjärden ($\mu\text{g/l}$)		2,27	1,33	0,14	2,03	1,01	0,31	<1	33,4
Max relativt tillskott (%)		0,05%	0,03%	0,08%	2,1%	2,7%	0,07%	<0,5%	0,2%

6 Diskussion och slutsatser

Den utredning som gjorts visar att vatten kan komma i kontakt med den upplagda järnsanden på olika sätt. Genom en tätning av ytan och en tätning av invallningen kan mängden vatten som kommer i kontakt med järnsanden minskas, men det är svårt att helt förhindra kontakt med vatten.

Beräkningar av vattenflöden genom järnsanden har gjorts för två fall, ett med bra barriärer och ett med mindre bra barriärer. Beräkningarna är gjorda för generella förhållanden anpassad till de planerade konstruktionerna i Skelleftehamn, men är inte specifikt anpassade till detaljer i konstruktion eller placering. Beräkningarna visar på att i storleksordningen 5000 – 15 000 m³ vatten årligen skulle komma i kontakt med järnsanden för en anläggning med en längd i vattenlinjen på 100 m. En bra tätning av invallningen är viktig för att förhindra effekten av havsnivåvariationer. Även tätningen av överytan är viktig, men vi bedömer det som svårt att garantera tätheten av en yta på flera hektar i ett långtidsperspektiv, speciellt om ytan används för hamnverksamhet.

En osäkerhet i beräkningen är vilket tillskott som utströmmande grundvatten kan ge. Storleken på detta flöde är starkt beroende av lokala förhållanden. Vi bedömer att det värde som används i rapporten kan vara en överskattning.

Utläcket av metaller från järnsanden har beräknats med hjälp av lakförsök som genomförts på järnsand. Ett stort antal standardiserade lakförsök har utförts och dessa ger en god bild av materialets lakegenskaper. Dessa lakförsök är utförda med både avjoniserat vatten och havsvatten. Dessa visar att skillnaden mellan lakbarhet i avjoniserat vatten och havsvatten är liten och att typen av lakvatten har motsatt effekt för olika ämnen. Resultaten är inte helt i överensstämmelse med den gängse bilden av hur en ökad salthalt påverkar utlakning av metaller, exempelvis är effekten av en ökad salthalt relativt liten för kadmium och zink, metaller som normalt anses som påverkas av en ökad kloridhalt.

De lakförsök som utförts vid olika konstanta pH, så kallade pH-statter visar som väntat att lakbarheten av flertalet metaller ökar med sjunkande pH. Ökning är dock måttlig och en kraftig pH-sänkning krävs för att ge en betydande ökning av utlakningen. Effekten är något större i de tester där järnsanden krossat innan lakningen.

Utläcket är beräknat utifrån medelhalten vid lakning upp till ett vätske-fastfasförhållande (L/S) på 2 respektive 10 l/kg. De kolonnförsök som genomförts visar att den initiala halten vid lakningen (L/S=0,1 l/kg) är hög för vissa ämnen. I praktiken kommer inte utlakningen att initieras från alla delar av utfyllnaden samtidigt, vilket medför att den initiala halten i lakförsöket är en överskattning av vilka halter som kan uppkomma i utläcket från utfyllnaderna under den första tiden. En jämförelse av utlakningen vid L/S=2 och L/S=10 visar på en relativt konstant utlakning av flertalet metaller. Vi bedömer därför att det är relevant att använda medelhalter vid utlakningen under en längre tidsperiod.

Erosion av finmaterial från utfyllnaderna skulle potentiell kunna leda till läckage av tungmetaller. Ingen kvantifiering av läckaget har gjorts i detta skede, men sannolikt måste erosionen vara omfattande för att denna spridningsväg ska vara betydelsefull. Skydd mot erosion bör beaktas i design av konstruktionerna.

Beräkningen visar att användning av 1 Mton järnsand vid byggnation i hamnbassängen ger ett måttligt läckage av metaller till Kallholmsfjärden och att det beräknade halttillskottet är litet i förhållande till de halter som mätts upp i fjärden.

7 Referenser

- Bewic, 1997. Grundvattenkontroll. Oljedepåer i Skelleftehamn. Bewic 1997-08-26.
- Boliden 2015. Provtagning av metaller i havsvatten. Medelvärden 2007-2014 i station 5. Hamnen.
- Elert M, 2013. Riskbedömning av de konstruktioner där muddermassor används för anläggningsändamål i Oskarshamns hamn, Kemakta AR 2013-02, Kemakta Konsult AB.
- Elert M, Yesilova H, 2008. Bedömning av riskreduktion vid efterbehandling. Fas 2. Hållbar Sanering, NV rapport 5867, Naturvårdsverket.
- Enell A, Wadstein E och Bendz D, 2008. Förorenings spridning – tillämpning och utvärdering av metoder. Delrapport 2. Lakning av förorenad jord – resultat och utvärdering av metoder. Hållbar Sanering, NV 5863, Naturvårdsverket.
- Kemakta, 2015. Klassning av avfall. Uppgrävd jord med järnsand. Kemakta AR 2015-08.
- SGU, 2015a. Maringeologikarta skala 1:100 000. Framställd från SGU:s databas 2015-04-21, Sveriges geologiska undersökning.
- SGU, 2015b. Bergrundskarta skala 1:50 000. Framställd från SGU:s databas 2015-04-21, Sveriges geologiska undersökning.
- SMHI, 2012. Framtidens havsnivåer i ett hundraårsperspektiv - kunskapssammanställning 2012. Klimatologi Nr 5.
- SMHI, 2015a. SMHI Vattenwebb, Data för delavrinningsområdet 28178. <http://vattenwebb.smhi.se/>
- SMHI, 2015b. SMHI Öppna data. Oceanografiska observationer. Station Furögrund 2055. opendata-download-ocobs.smhi.se.
- SMHI, 2015c. SMHI Vattenwebb, Data för vattenförekomst SE644070-211650. <http://vattenwebb.smhi.se/>