

02.6.9 PM Utredning av tätande anläggning och grundvattennivåer i Skvampen Malimporten Luleå



Samfinansierat av EU
Transeuropeiska transportnätet (TEN-T)

Dokumenttitel: PM Utredning av tätande anläggning och grundvattennivåer i Skvampen

Dokumentdatum: 2015-10-13

Version: 1.0

Datum för senaste version: 2015-10-13

Organisation: Ramböll Sverige AB

Upprättad av: Klas Strömberg, Hans Häggström

Uppdragsansvarig: Peter Lindkvist

Teknikansvarig: Peter Lindkvist

Luleå hamn AB

Projektledare: Linda Wikman

Besöksadress: Strömörvägen 9, 974 37 Luleå, Tel: 0920-45 68 00, Fax: 0920-45 68 27

PM Utredning av tätade anläggning och
grundvattennivåer i Skvampen

Luleå kommun

Malporten i Luleå

Version 1.0

Boden 2015-10-13

Malmporten i Luleå

PM Utredning av tätande anläggning och grundvattennivåer i Skvampen

Datum	2015-10-13
Uppdragsnummer	1320004956
Utgåva/Status	Version 1.0

Peter Lindkvist

Uppdragsledare

Klas Strömberg
Hans Häggström
Handläggare

Peter Lindkvist

Granskare

Ramboll Sverige AB
Kungsgatan 17
961 61 Boden

Telefon 010-615 60 00
Fax 0921- 34 28 20
www.ramboll.se

Unr 1320004956 Organisationsnummer 556133-0506

Sammanfattning

Ramböll har på uppdrag av Luleå Hamn utfört en utredning av möjliga alternativ för utfyllnad av sulfidhaltiga muddermassor inom området Skvampen och utformning av tätande anläggningar för att skapa en förhöjd grundvattenyta. Detta för att säkerställa att massorna både på kort och lång sikt ligger under grundvattenytan eller havsytan och därmed att oxidation av dem undviks. Utredningen har utvärderat tillgängliga volymer för utfyllnad, hydrogeologi, grundvattennivåer, framtida förändringar av land- och havsnivåer samt olika tekniska alternativ att bygga en tätande anläggning.

Utredningen har visat att en viktig förutsättning av vilka alternativ för utfyllnad inom Skvampen som är möjliga är framtida förändring av land- och havsnivåer. Medan landhöjningen sker successivt ungefär 0,83 m mellan perioden 2013 till 2100, beror förändring av havsnivån hur klimatet kommer att förändras. Eftersom detta även beror på klimatpolitiska beslut finns följaktligen en stor osäkerhet vilket av scenarierna som är det mest troliga. För denna utredning har de klimatscenarier med minst förändring, och därtill förändring i det nedre troliga intervallet, använts vilket ger en ökning ca 0,24 m mellan år 2013 till 2100. Detta leder i sin tur till den största nettoskillnaden mot landhöjningen med en ändring på ca 0,6 m jämfört med idag. Genom att utgå från detta tas det redan nu höjd för hur framtida förändringar vilka i värsta fall kan komma att påverka havs- och grundvattennivåer.

Utgående från framtida förändring av land- och havsnivåer har det konstateras att enbart två alternativ för utfyllnad Skvampen är möjlig, där en grundvattennivå över de utfyllda sulfidhaltiga massorna kan säkerställas. Båda alternativen kräver tätande anläggning runt hela området. I det ena alternativet där ingen muddring görs inom mellan och yttre Svampen behövs en 1 m högre tätande anläggning jämfört med det andra alternativet där muddring utförs i detta område.

Preliminär beräkning av utflödet från området genom en tätvall och tätskärm visar på mycket låga flöden. Ett lågt utflöde kommer att leda till stigande nivåer upp mot markytan såvida infiltration av avrinning begränsas eller vattnet har möjlighet att strömma ut över tätskärm/tätvall. Vattenbalanser över området vilka har beräknats för ett antal olika scenarier med genomsnittliga år och torrår avseende avrinning, visar att en tätskärm inte kommer att leda till någon avsänkning av grundvattennivån inom utfyllnaden. Nivån kommer antingen att stiga upp mot markytan eller ligga stabilt i det fall infiltrationen i området kraftigt begränsas, vilket även för torrår. För en tätvall med något högre genomsläpplighet blir andelen av ytan där infiltrationen begränsas viktigt för att inte leda till en successiv minskning och en grundvattennivå under lägsta på +1 (år 2100 med säkerhetsmarginal på minst 0,5 m över sulfidmassorna). I detta fall krävs att avrinningen från minst 50 % av ytan har möjlighet att infiltrera och bilda grundvatten för att grundvattennivån vid torrår inte ska sänkas av för mycket.

Frekvensen hos mycket låga vattenstånd lägre än ca -0,5 och 1 m under medelvattenståndet förekommer mycket sällan i genomsnitt mindre än 1 respektive 0,01 % av tiden under ett år. Eftersom varaktigheten samtidigt är mycket kort, mindre än ett dygn, innebär det att dessa låga nivåer enbart kommer att medföra försumbara förändringar av grundvattennivåerna inom planerad utfyllnad.

Utförande av en tätande konstruktion för att varaktigt åstadkomma en förhöjd grundvattenyta över de sulfidhaltiga massorna görs lämpligen som en tätvall eller en tätskärm. Medan det för en tätvall i princip bara finns en möjlig utformning i detta fall (stödfyllning av berg, filter, tätjordfyllning av ex. morän och erosionsskydd) finns det ett antal olika utformningar för en tätskärm där de mest frekvent använda och lämpliga är tätspont och slurryvägg. De platsspecifika förutsättningarna vid val av tätande konstruktion (tätvall kontra tätskärm) eller typ av tätskärm är flera. Eftersom den befintliga informationen i vissa fall är begränsad, exempelvis avseende de geotekniska förhållandena i delar av området, är valet av metod inte helt självskriven. Sammantaget görs ändå bedömningen att en tätskärm är det bästa alternativet. Det invägt hänsyn till faktisk anläggande, exempelvis att byggnation av en tätvall högst troligen måste ske i torrhet med stora djup i yttre Skvampen samt att en tätskärm utmed stora delar av sträckan kan installeras från befintlig markyta. En tätskräm kräver även mindre fyllning innanför bergvallar. En annan viktig faktor är att schaktning undviks i inre Svampen där det redan finns utfyllda och deponerade massor av olika slag.

Förutsättningarna för anläggande är goda i stora delar av området där marken utgörs av fylld sand. En osäkerhetsfaktor är västra delen av inre Skvampen där en ny bergvall anlagts och det förekommer fyllda massor på finsediment. För att undvika sättningar i den fyllning från vilken tätskärmen anläggs kan exempelvis förbelastning av fyllningen vara nödvändig. Vilken typ av tätskärm som är lämpligast kan avgöras först efter utförande av kompletterande geotekniska undersökningar och mer noggrann genomgång av förutsättningarna.

En stor fördel med en tätskärm är att markanvändningen på ytan (exempelvis byggnader, hårdgjorda ytor och liknande) inte behöver begränsas i lika stor utsträckning, eftersom det räcker med en mycket liten infiltration från avrinning för att grundvattennivån inte ska sjunka enligt utförd vattenbalans. Däremot måste det säkerställas att utflöde kan ske över tätskärmen, främst i södra delen vid yttre Skvampen, för att undvika att grundvattenytan stiger upp till markytan vilket kan påverka bärighet och stabilitet för anläggningar på markytan.

Innehållsförteckning

1.	Uppdrag	2
2.	Syfte	2
3.	Objekt	2
4.	Befintliga förhållanden och förutsättningar	3
4.1	Topografi och markbeskaffenhet	3
4.2	Tänkbara utbyggnadsmöjligheter av hamnområdet	4
4.3	Havs- och marknivåer	5
4.3.1	Havsnivåer samt frekvens och varaktighet hos mycket låga vattenstånd	5
4.3.2	Framtida förändringar	7
4.4	Grundvattennivåer	9
5.	Alternativ för utfyllnad av muddermassor	12
6.	Utvärdering av alternativ för utfyllnad	13
6.1	Omfattning	13
6.2	Konsekvenser med anledning av framtida förändring av havs- och landnivåer	13
6.2.1	Summering av resultat	16
6.3	Genomströmning och vattenbalans	16
6.3.1	Omfattning och förutsättningar	16
6.3.2	Beräknad genomströmning	17
6.3.3	Beräknat utflöde	18
6.3.4	Vattenbalans	20
6.3.5	Summering av resultat	22
6.4	Utformning av tätande anläggning och tillhörande delar	23
6.4.1	Förutsättningar	23
6.4.2	Utformning av tätande anläggning	24
6.4.3	Alternativ för tätvall/tätskärm utmed de olika delsträckorna	31
7.	Diskussion och slutsatser	34
8.	Rekommendationer	36
9.	Referenser	37

1. Uppdrag

På uppdrag av Luleå Hamn har Rambøll Sverige AB utfört en utredning av möjliga alternativ för utfyllnad av sulfidhaltiga muddermassor under grundvattenytan inom området Skvampen utgående från olika förutsättningar som tillgängliga utfyllnadsvolymer, framtida förändring av land- och havsnivåer samt alternativ för åstadkomma förhöjd grundvattenytan med tätande anläggning.

2. Syfte

Syftet med utredning har varit att göra en översiktlig utredning av tre tänkbara alternativ för utfyllnad av sulfidhaltiga muddermassor i Skvampen för att säkerställa att de både på kort och lång sikt ligger under grundvattenytan eller havsytan och därmed undviker oxidation av massorna. I utredningen utvärderas och sammanvägs både förutsättningar gällande tillgängliga volymer för utfyllnad, hydrogeologi, grundvattennivåer, framtida förändringar av land- och havsnivåer samt olika tekniska alternativ att bygga en tätande anläggning runt området för att åstadkomma en förhöjd grundvattennivå. Utredning ligger till grund för fortsatta undersökningar och studier av valt alternativ.

3. Objekt

I samband med den planerade muddringen av farleden in mot Luleå hamn beräknas ungefär 530 000 m³ bottensediment vilka innehåller förhöjda halter av framför allt svavel (som sulfidsvavel) men även av TBT, PCB och PAH. Sedimenten är av sandig siltig karaktär. Det primära vid hantering och utfyllnad av massorna är att läggs upp under grundvattenytan för att undvika oxidation av svavlet vilket annars kan leda till bildade av surt lakvatten.

En möjlig hantering av massorna är att använda dem för landbyggnation inom gällande arbetsområdet vid Skvampens djuphamn (Figur 1). Skvampen är indelad i tre delområden. Inre, mellan och yttre Skvampen. Inre Skvampen är avgränsad med en vägbank mot mellan/yttre Svampen. Yttre Skvampen ska begränsas av en vall vilken anläggs som en del av planerad kajkonstruktion. Ytan i inre Skvampen (öster om SSAB:s område) är ca 550x320 meter och totalt ca 170 000 m² varav det är möjligt att fylla inom ca 145 000 m². Ytan inom mellan Skvampen är ca 530x260 meter och totalt ca 140 000 m². Ytan i yttre Skvampen ut till planerad kajkonstruktion är ca 530x160 meter och totalt ca 80 000 m².

I inre Skvampen har redan olika typer av massor fyllts ut. SSAB använder den västra delen av områden. För närvarande pågår även byggnation av en bergbank/väg i västra delen av ytan för att avgränsa SSAB:s område.

Området runt Skvampen utgörs idag av industriområde där bland annat SSAB har sitt kollider. I övrigt finns flertalet industrianläggningar, vägar och järnvägar inom eller i omedelbar närhet till aktuellt område. I stort sett hela området utgörs av vattenområden som omges av land bestående av fyllningsmassor och naturliga landformationer som helt eller delvis fyllts över.

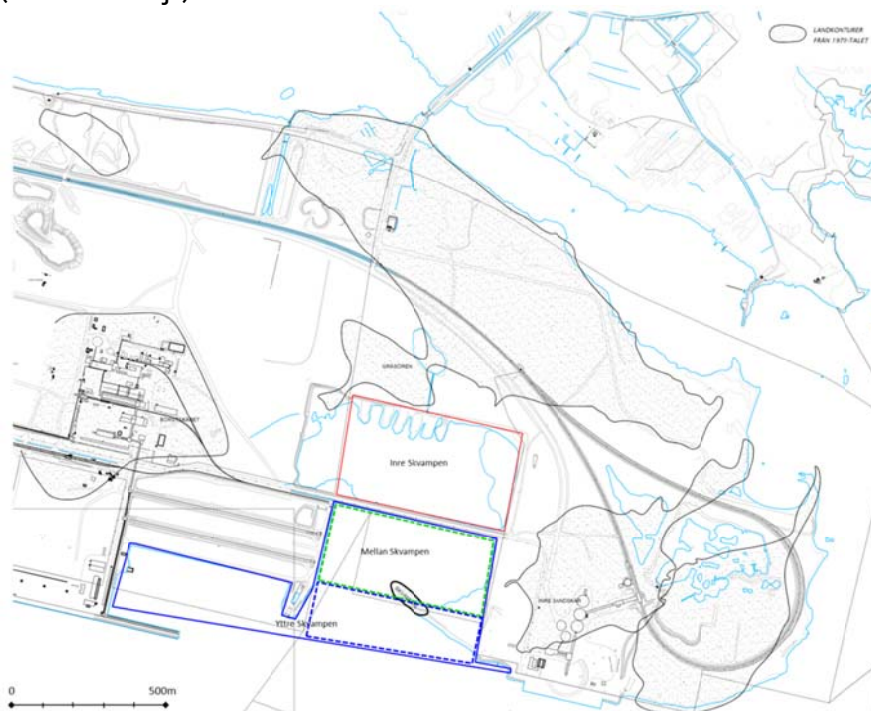
4. Befintliga förhållanden och förutsättningar

4.1 Topografi och markbeskaffenhet

Samtliga höjder i denna rapport anges i RH2000 där inget annat anges.

Området för den planerade utbyggnaden av Luleå hamn består till största del av vattenområden och till viss del av utfyllda landområden [ref 1]. Landområdena består av utfyllda områden där delar av områdena varit låga sand och moränor (svallade) i Luleå skärgård och andra delar varit vattenområden (Figur 1). Utfyllnad har främst skett med uppmuddrat material, huvudsakligen sand och siltig sand. Marken inom området ligger omkring nivån +3. Under moränen återfinns berg som ligger på mellan 10-20 meters djup under vattenytan.

Figur 1. Översiktskarta yttre Luleåhamn med planerat området för utfyllnad av sulfidhaltiga massor inom Skvampen. Inre Skvampen markerat med röd linje (öster om SSAB:s fastighet). Området runt hela mellan/ytte Skvampen markerat med blå linje, där utfyllnad med sulfidhaltiga massor avses ske inom mellan Skvampen (grön linje) och del av yttre Skvampen (streckad blå linje).



Ytlagren i landområdena består av grusade eller sandiga ytor. Som yttlig fyllning har ofta hyttsten (motsvarande grov bergkrossfraktion) från SSAB använts.

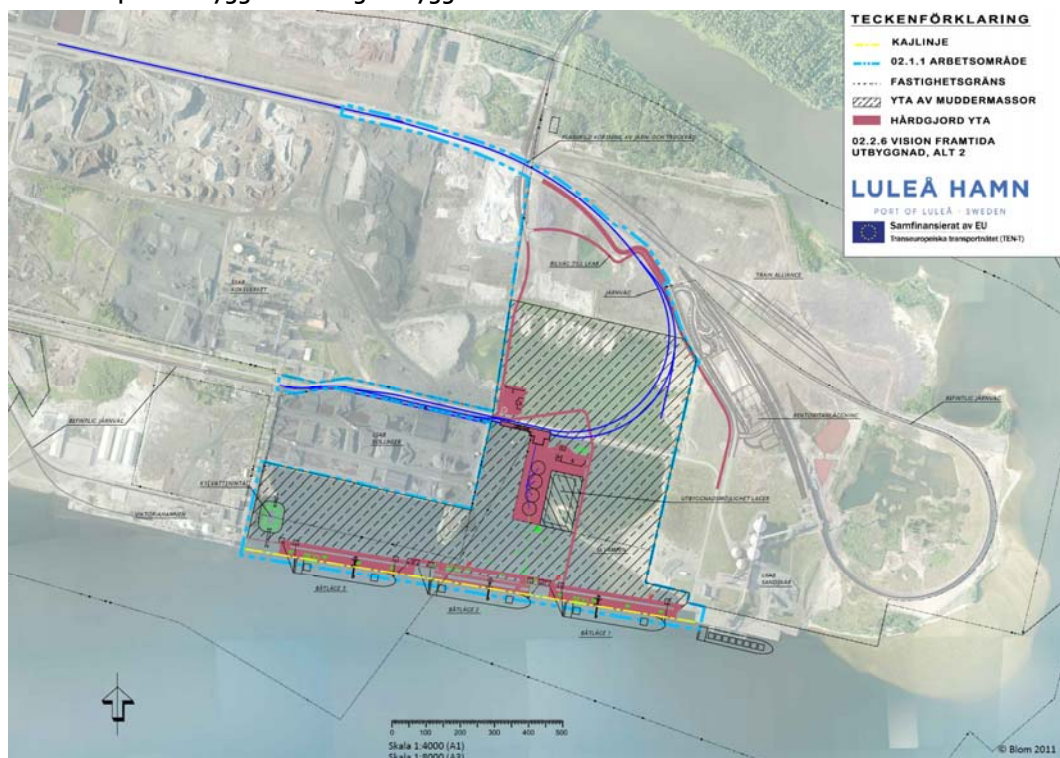
Vattendjupen i inre Skvampen är till största delen under 1 m. I mellan och yttre Skvampen ligger vattendjupen (omuddrat) på mellan 0 och 5 m (snitt 2-3 m), med störst djup innanför den planerade kajlinjen.

Generellt inom Skvampen varierar mäktighet av lösa sediment med mellan 0 till mer än 6 m. I Skvampen finns det behov av muddring av lösa sediment för att skapa stabil undergrund för bland annat kaj och vall. Muddring kan även vara nödvändigt för att rymma tillräckligt med sulfidhaltiga massor

4.2 Tänkbara utbyggnadsmöjligheter av hamnområdet

Förutom anläggande av en ny kajkonstruktion och yttre vall samt utfyllnad och landbyggnation inom Skvampen har olika layouter för framtida tänkbar utbyggnad i hamnområdet tagits fram. Tre olika layouter har tagits fram där järnvägsdragningen har varit den dimensionerande faktorn. Figur 2 visar tänkbart alternativ för anläggande av en ny djuphamn samt skapande av nya landytor med vägar och byggnader enligt utbyggnadsalternativ 2. Hur ytorna inom Skvampen används är viktig att beakta vid planering eftersom det lokalt kan minska infiltrationen av avrinning (nederbörd) och därmed grundvattenbildningen.

Figur 2. Tänkbar utbyggnad av hamnområdet med ny djuphamn och tillhörande anläggningar med stickspår och byggnader enligt utbyggnadsalternativ 2.



4.3 Havs- och marknivåer

4.3.1 Havsnivåer samt frekvens och varaktighet hos mycket låga vattenstånd

Medelvattenståndet (MW) i Luleå hamn (2013) ligger på ca +0,09 m (RH2000) enligt SMHI [ref 2]. Högsta högvatten (HHW) uppgår till +1,74 m och lägsta lågvatten (LLW) till -1,19 m enligt beräkningar utförda av SMHI [ref 2]. Summering av olika vattenstånd redovisas i tabell 1.

Tabell 1. Summering av medelvattenstånd samt höga och låga vattenstånd Luleå hamn beräknade för 2013, redovisade i cm relativt MW samt i RH2000.

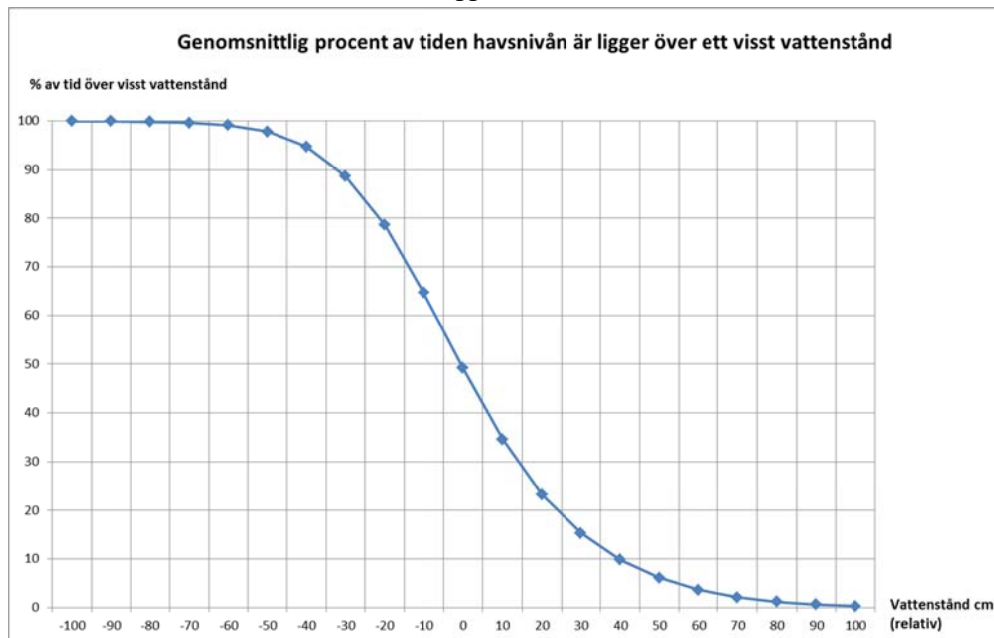
Nivå	Cm relativt MW	RH2000
HHW	165	1,74
MHW	104	1,13
LHW	37	0,46
MW	0	0,09
HLW	-24	-0,15
MLW	-76	-0,67
LLW	-128	-1,19

På uppdrag av Ramböll har SMHI utfört en utredning [ref 3] av frekvens och varaktighet hos mycket låga vattenstånd, här definierat som lägre vattenstånd än ca -0,5 m respektive ca -1,0 m (RH2000). Syftet med utredning var framför allt att få en uppfattning hur länge låga vattenstånd varar för att kunna göra en bedömning om de kan medföra en betydande avsänkning av grundvattennivån jämfört med vad medelhavsnivån gör över tiden.

Lågt havsvattenstånd förekommer främst vid högtrycksbetonat väder. Ju högre lufttryck desto lägre vattenstånd. Vattenståndet i Luleå påverkas även av vindar som pressar ut vattnet ur Östersjön. Därtill kan vattnet i Östersjön komma i svängning efter perioder med starka vindar. Vattnet kan då pendla i hela Östersjön från norr till söder med en period på ca 4 dygn. Svängningarna ger störst utslag längst i norr respektive söder ut i Östersjön.

I figur 3 redovisas den genomsnittliga procent av tiden per år som havsnivån ligger över ett visst vattenstånd (redovisat som relativt till MW). Exempelvis är andelen av tiden med över vattenstånd +/-0 ungefär 50 % och över vattenstånd över -20 cm ungefär 89 %. Andelen av tiden under vattenstånd -50 och -100 cm är ungefär 99 % respektive 99,99 %. Slutsatser är således att mycket låga vattenstånd förekommer mycket sällan, där vattenståndet huvudsakligen ligger över -20 till -30 cm.

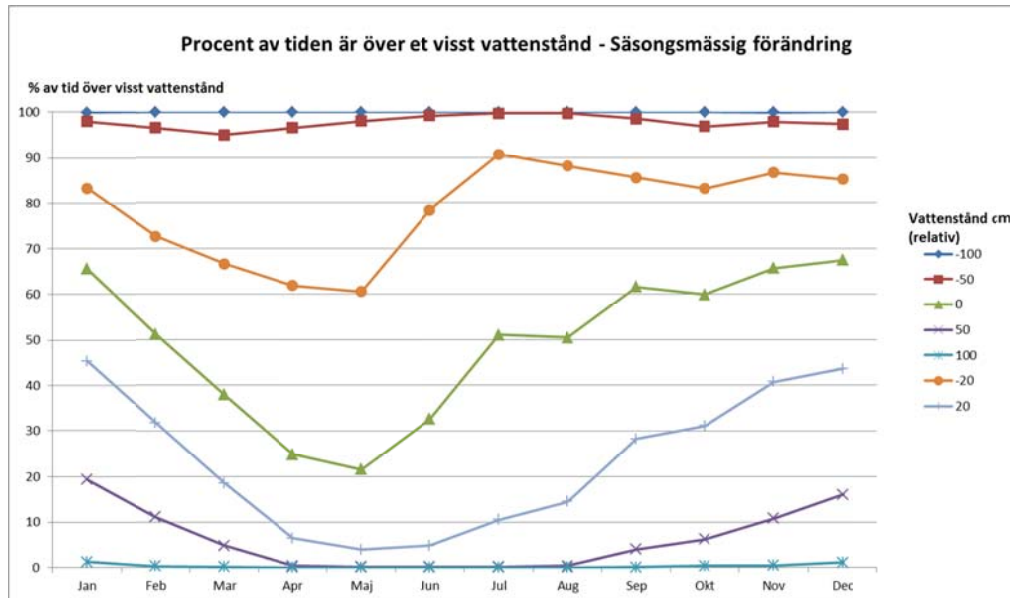
Figur 3. Diagram över genomsnittlig procent av tiden per år som havsnivån (redovisat som relativt till MW, dvs. 0 = 0,09 m i RH 2000) ligger över ett visst vattenstånd.



I figur 4 redovisas den procent av tiden per månad som utvalda vattenstånd ligger över en viss nivå. Det framgår främst utgående från vattenstånden +/-0 och -20 cm, att lägre nivåer är något vanligare under mars till maj och högre vattenstånd vanligare under juli till januari. För vattenstånd -50 cm är skillnaden mellan årets månader liten, med marginellt något högre andel av tiden som vattenståndet ligger över denna nivå under sommarmånaderna.

Varaktigheten för de mycket låga vattenstånden när de inträffar är förhållandevis kort, mindre än ett dygn. För vattenstånden -100 cm till -110 cm (motsvarande -90 respektive -100 cm i RH200) har enbart två tillfällen registrerats (Kalix mätstation 1974 - 2015), med en varaktighet på i genomsnitt ca 11 timmar. Varaktigheten för vattenstånd -50 cm till -60 cm (motsvarande -40 respektive -50 cm i RH200) ligger i genomsnitt på ca 20 timmar.

Figur 4. Diagram över procent av tiden per månad som havsnivån (relativ nivå, 0 = 0,09 m RH2000) ligger över ett visst vattenstånd.



4.3.2 Framtida förändringar

Förändring av landnivån och havsvattenståndet på lång sikt är viktig, eftersom det kan påverka grundvattennivån i den planerade utfyllnaden av de sulfidhaltiga massorna, den relativa skillnaden mellan havsnivå och grundvatten samt att havsbotten och massor som idag ligger under havsytan hamnar ovanför denna. I detta fall har förändringar till år 2100 studerats.

Den absoluta landhöjningen är ca 0,95 cm/år [SMHI ref 2] vilket innebär en landhöjning till år 2100 på ca 83 cm utgående från år 2013 eller 105 cm från år 1990.

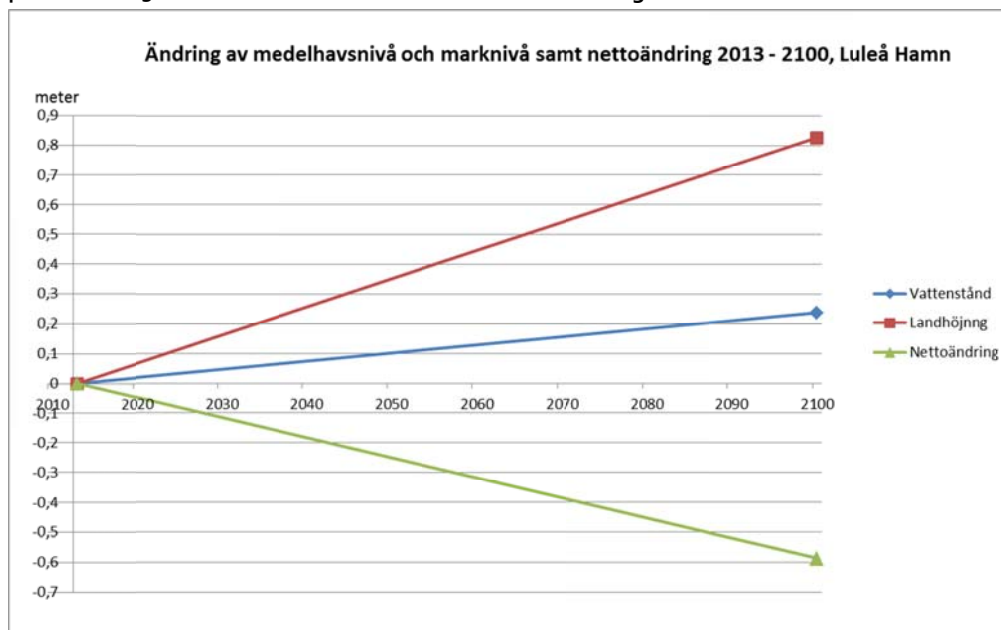
Framtida förändringar av havsnivån till år 2100 jämfört med år 1990 beskrivs i IPCC:s rapporter över förväntade klimatförändringar [ref 4]. I rapporten beskrivs olika möjliga utvecklingsvägar så kallade RCP-scenarier (Representative Concentration Pathways). RCP-scenarierna utgår från olika antaganden om växthusgasernas utveckling och förändringar av klimatet, baserat på olika nivåer av klimatpolitiska beslut för att minska utsläppen. Fyra olika scenarier finns beskrivna RCP 2.6, 4.5, 6.0 och 8.5. RCP2.6 är vad man kallar ett "peak and decline" där kraftfulla klimatpolitiska åtgärder vidtas så utsläppen av växthusgaser först stabiliseras och sedan minskar. Scenarierna RCP4.5 och RCP6.0 är så kallade stabiliseringsscenarier och RCP8.5 ett ökningsscenario. För varje scenario anges genomsnittlig förändring av havsnivån tillsammans med det troliga intervallet i tabell 2.

Tabell 2. Förändring av medelhavsnivå från år 1990 till 2100 för de olika RCP-scenarierna.

RCP-scenario	Höjning från 1990/2005 till 2100 (m)
2.6	0,44 (0,28 - 0,61)
4.5	0,53 (0,36 - 0,71)
6.0	0,55 (0,38 - 0,73)
8.5	0,74 (0,52 - 0,98)

Vilket scenario som är mest realistiskt går inte att uttala sig om, men scenarierna 2.6 och 4.5 är de som medför minst ökning av medelhavsnivån och därmed störst nettoförändring jämfört med landhöjningen under samma period. För denna utredning har en ökning av medelhavsnivån på ca 0,3 m satts utgående från de lägsta nivåerna i intervallen för dessa två scenarier (0,28 till 0,36 m). Denna utgör således en konservativ (lägst) förändring. Det antas att ökningen av havsnivån sker linjärt (har ingen betydelse för slutresultatet i sig) vilket innebär en ökning på 2,7 mm/år. År 2013 används som utgångspunkt vilket innebär att det kommer att ske en ökning med ca 0,24 m till år 2100. Landhöjningen under motsvarande period 2013 till 2100 är ca 0,83 m. Det innebär en nettoändring från 0 till minus 0,6 m vilket visas grafiskt i figur 5.

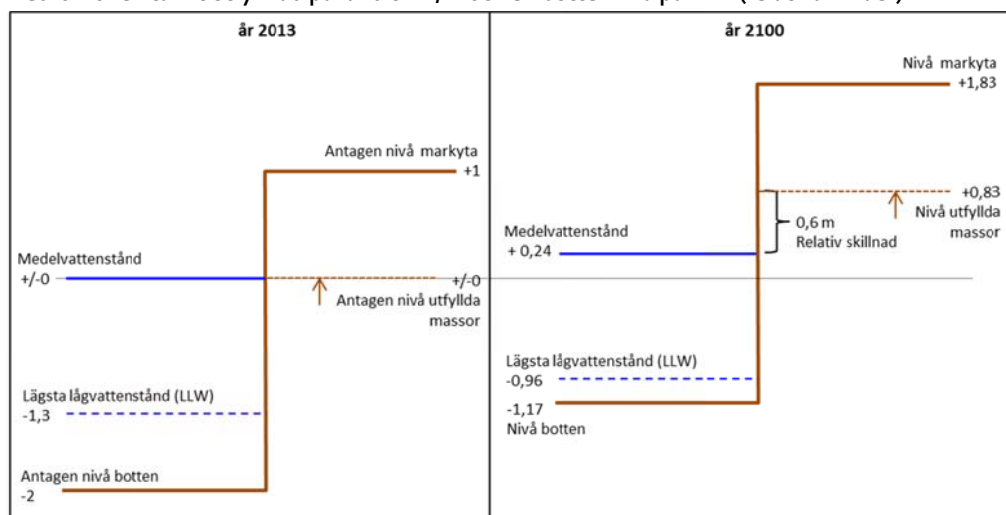
Figur 5. Förändring av medelhavsnivå, landhöjning och relativ nettoändring för Luleåhamn under perioden 2013 – 2100 för ett konservativt fall med liten ökning av medelhavsnivån.



I figur 6 visas vad förändringen av medelhavsnivån och landnivån kan medföra för ett exempel med en tänkt utfyllnad på land till +/- 0 (relativ nivå) och en bottennivå i havet på -2,0 (år 2013) under perioden 2013 till 2100. Även nivån för lägsta lågvatten (LLW) visas. Som framgår av figur 6 kommer utfyllnaden på land vilket ursprungligen låg vid medelhavsnivån år 2013 istället ligga 0,6 m över

denna för år 2100. Samtidigt har havsbotten kommit mycket närmare det lägsta lågvattenståndet (LLW) och därmed ökar risken att havsbotten under kortare perioder torkar ut och syresätts.

Figur 6. Illustrativt exempel på vad förändringen av vattenstånd och landnivå från år 2013 till 2100 medför för en tänkt utfyllnad på land till +/- och en bottennivå på -2 m (relativa nivåer).



Vad gäller frekvens och varaktighet hos mycket låga eller höga nivåer, så bedöms de i stort inte påverkas framför allt utgående från att stormfrekvensen inte kommer att förändras [ref 3].

4.4 Grundvattennivåer

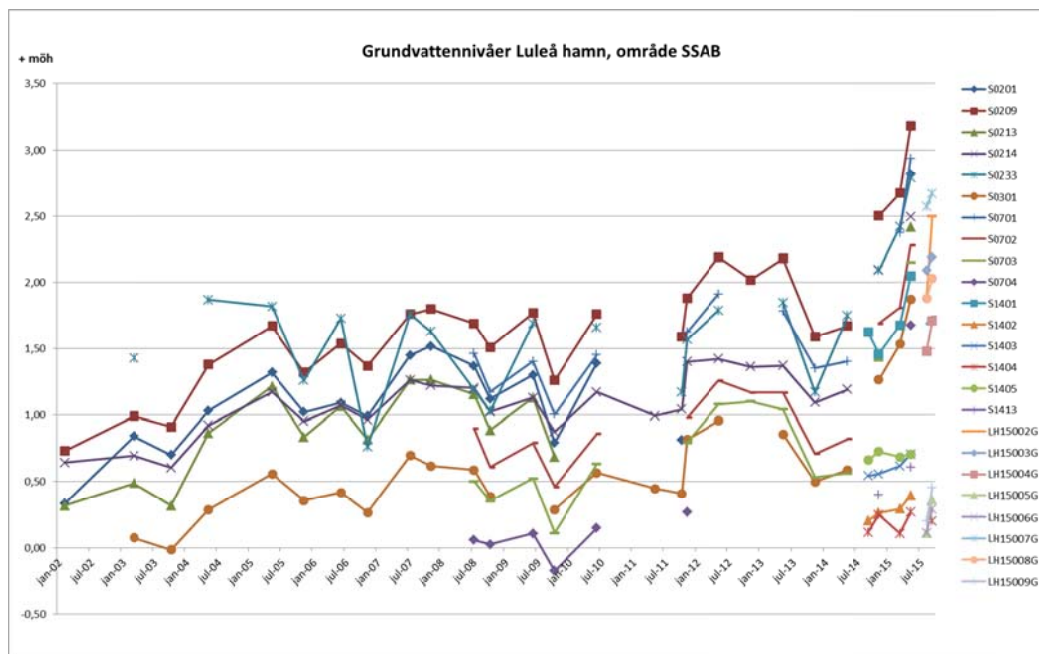
Inom de aktuella markområdena är grundvattennivåerna idag något förhöjda över havsytan. En förhöjd grundvattennivå uppkommer till följd av en relativt långsam utströmning av det vatten som infiltrerar genom ett jordlager med lite lägre genomsläpplighet. Ju längre från utströmningsområdet man därtill befinner sig desto högre kan grundvattenytan därtill teoretiskt stiga medan grundvattnets medelnivå sammanfaller med havsytans medelnivå i strandkanten. Om genomsläppligheten hos materialet är hög ökar utströmningen och möjligheten till en förhöjd grundvattenyta minskar och tvärt om. Mer genomsläppliga material medför vidare att grundvattennivåerna i högre utsträckning påverkas av förändringar av havsnivån. En tätare anläggning (vall eller skärm) som anläggs runt ett område kommer på motsvarande sätt minska utströmningen och därmed leda till en förhöjd grundvattenyta inom området.

Årscykeln för grundvattennivån är att den stiger relativt mycket i samband med vårflo den (mars-maj) för att sedan sjunka under sommaren, öka något under hösten och sedan sjunka igen under vintern till följd av en begränsad grundvattenbildning (nederbörd faller som snö samt att tjäle kan begränsa infiltrationen av eventuellt tillgängligt vatten).

Ramböll [ref 5] har visat att de naturliga grundvattennivåerna på lite längre avstånd från havet och inre Skvampen (>500 m) i genomsnitt varierar mellan +1 till +1,5 meter över havet (figur 4) för ett genomsnittligt år. Nivåerna sjunker under torrperioden (sommarderiod och/eller vinter) av ca 0,3-0,4 meter från normal högsta nivå i maj. Vid längre torrperioder över flera år (exempelvis perioden 2002-2004) har nivåerna "i värsta fall" sjunkit mellan 0,75-1 meter från uppmätt normal högsta nivå, dvs. till ca +0,5 m.

Uppmätta grundvattennivåer direkt väster/sydväst om inre Skvampen (ex. S0301 i figur 5) uppvisar lägre grundvattennivåer än övriga områden på samma avstånd till havet vilket är en tydlig indikation att massorna i detta område är mer genomsläppliga.

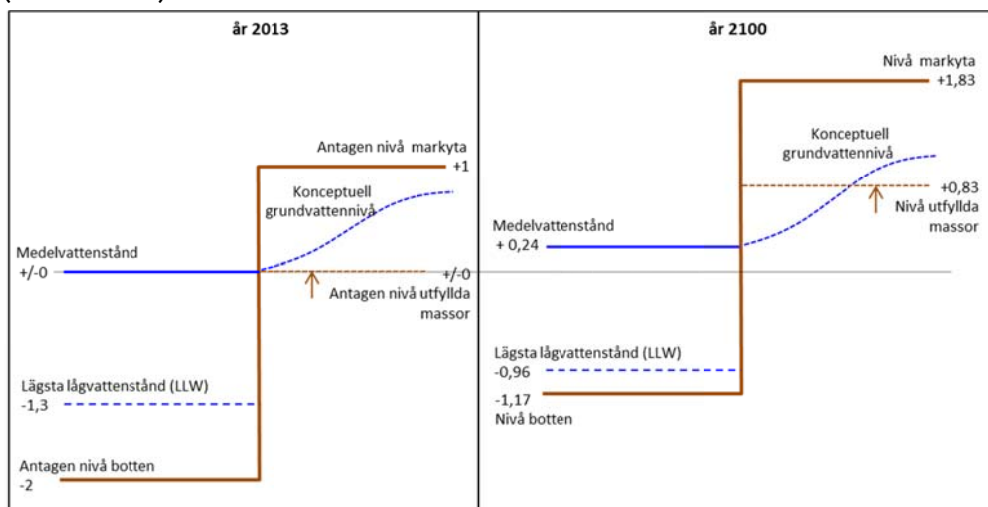
Figur 7. Uppmätta nivåer grundvattenrör Luleå hamn Skvampenområdet, på lite längre avstånd från havet.



Genomströmningsberäkningar och vattenbalans för en tänkt utfyllnad inom inre Skvampen, där en tätvall anläggs utmed befintlig väg/vall mot yttre Skvampen, har visat att grundvattennivån för ett genomsnittligt år skulle variera mellan +1,5 m (normal högsta nivå) till +1,25 m (torrperiod sommar/vinter) m över havet. I värsta kan nivån sjunka nästan 1 meter (från +1,5 m) vid flera efter varandra följande torrår. För att grundvattenytan ska inställa vid en högre lägstanivå (exempelvis +1 meter över havet) är det nödvändigt att en tätande anläggning (exempelvis moränvall) konstrueras runt hela området för utfyllnaden för att minska utströmningen.

Utförda genomströmningsberäkningar och bedömningar tog inte hänsyn till potentiella framtida förändringar av havs- och landnivåerna. Vid en jämförelse av förändringarna mellan år 2013 och 2100 (enligt beskrivit i avsnitt 4.3.2) kommer grundvattenytan fortfarande att ligga på ungefär samma höjd över medelhavsnivån, men den hamnar på ett större djup från markytan. Det innebär i sin tur att en utfyllnad som skett upp till en viss nivå (nivån ökar med landnivåen) helt eller delvis (eller kortare perioder) riskerar att hamna över grundvattenytan (figur 8).

Figur 8. Illustrativt exempel på vad förändringen av havs- och landnivåer år 2013 till 2100 medför för en tänkt konceptuell grundvattennivå vid utfyllnad på land till +/-0 och en bottennivå på -2 (relativa nivåer).



5. Alternativ för utfyllnad av muddermassor

Luleå hamn har tillsammans med Reinertsen och Ramböll tagit fram tre möjliga alternativ för att kunna inrymma hela mängden av de sulfidhaltiga muddermassorna inom inre, mellan och yttre Skvampen. Det innefattar olika fyllnivåer samt muddring i mellan och yttre Skvampen för att frigöra tillräckliga fyllvolymmer.

De tre alternativen är följande (nivåer angivna som relativa nivåer år 2013-2015).

- Alternativ 1: Fyll till nivå +/- 0 i inre, mellan och yttre Skvampen, med urgrävning av sediment i yttre och mellan Skvampen.
- Alternativ 2: Fyll till nivå +1 i inre och -1 mellan och yttre Skvampen, med urgrävning av sediment i yttre och mellan Skvampen.
- Alternativ 3: Fyll till nivå +1,0 i inre, mellan och yttre Skvampen (ingen urgrävning av sediment).

De ungefärliga fyllmängderna [ref 6] för de olika alternativen tillsammans i Skvampen redovisas i tabell 3.

Tabell 3. Fyllmängder i inre, mellan och yttre Skvampen för de tre alternativen.

	Inre	Mellan	Yttre	Totalt
	m^3	m^3	m^3	m^3
Alternativ 1:				
Fyll	78 000	346 000	219 000	643 000
Alternativ 2:				
Fyll	200 000	220 000	145 000	565 000
Alternativ 3:				
Fyll	200 000	295 000	210 000	705 000

6. Utvärdering av alternativ för utfyllnad

6.1 Omfattning

I följande avsnitt görs först en utvärdering av de olika alternativen avseende konsekvenser av framtida förändring av havs- och landnivåer och vad som krävs för att de sulfidhaltiga massorna varaktigt ska finnas under grundvatten- eller havsnivån. Utgående från resultaten väljs ett eller flera huvudalternativ för vilka olika tekniska alternativ utvärderas, exempelvis att bygga en tätande anläggning (tätvall eller tätskärm) runt utfyllnaden för att åstadkomma en förhöjd grundvattennivå. En preliminär vattenbalans redovisas också för att få en bättre förståelse för förutsättningarna och eventuella begränsningar att åstadkomma en förhöjd grundvattennivå.

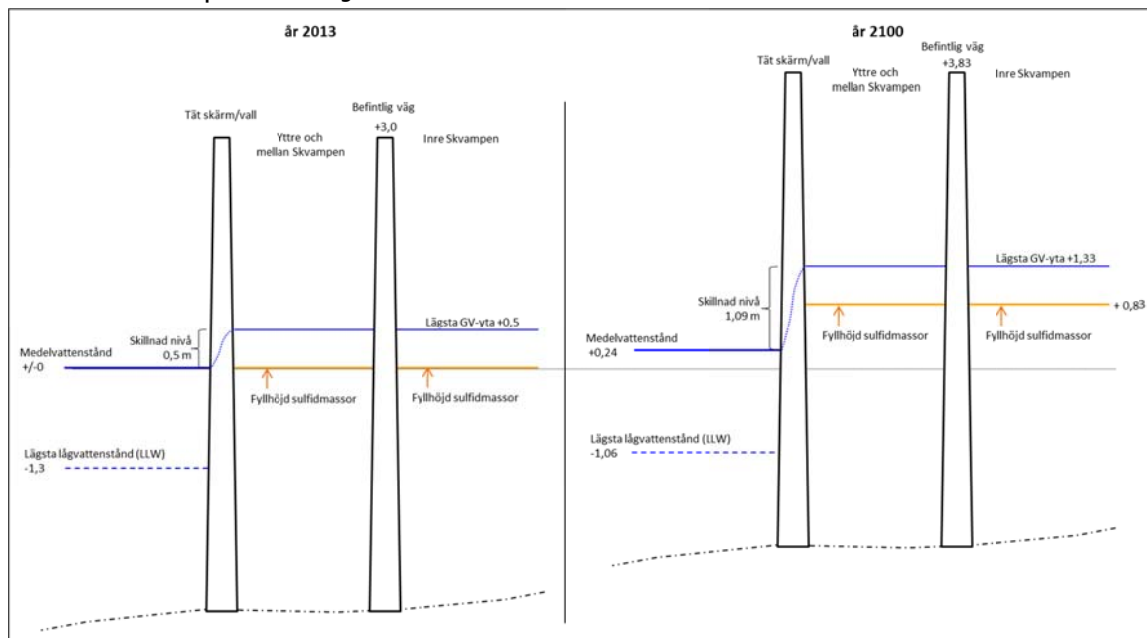
6.2 Konsekvenser med anledning av framtida förändring av havs- och landnivåer

För att utfyllnaden av sulfidmassor alltid ska vara belägen under havsnivån eller grundvattenytan har två olika krav satts upp. 1) Vid utfyllnad under havsytan ska massorna vara belägna under medelhavsnivån och om möjligt under nivån för lägsta vattenstånd (LLW). 2) Vid utfyllnad över medelhavsnivån ska massorna vara belägna minst 0,5 m under lägsta grundvattennivå (nivån efter flera efter varandra följande torrår).

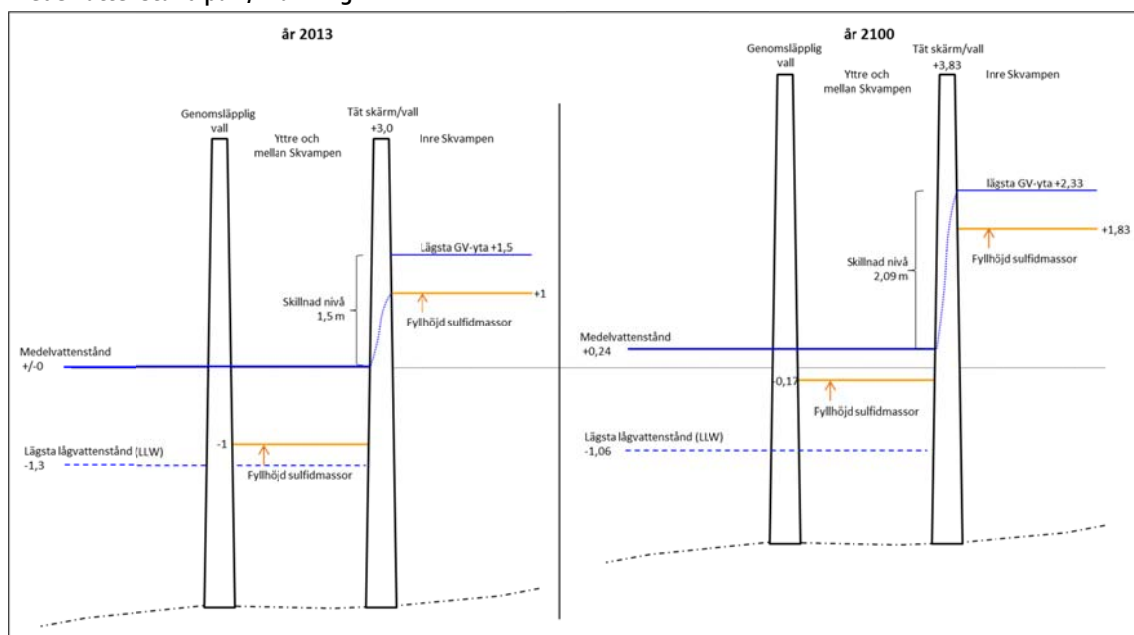
I figur 9 visas för alternativ 1 havsnivåer, utfyllnadsnivåer och grundvattennivåer år 2013 och förändring till år 2100. Alternativ 2 visas i figur 10 och alternativ 3 i figur 11. För att vattennivån inom utfyllnaden för alternativ 2 ska vara den samma som i havet anläggs i detta fall en enbart genomsläpplig vall (ex. sprängstensfyllning) mellan havet och utfyllnaden.

För alternativ 1 skulle det initialt år 2013 räcka med en tätvall runt yttre och mellan Svampen samt en kortare sträcka vid övergång till inre Skvampen. Det senare eftersom en grundvattennivå på minst +0,5 kan upprätthållas enligt redovisats i avsnitt 4.4. Som framgår av figur 9 krävs det dock år 2100 en lägsta grundvattennivå på +1,33 vilket är 1,09 m över medelhavsnivå istället för 0,5 m. För att kunna åstadkomma en sådan grundvattennivå inom inre Skvampen måste en tätvall även anläggas runt denna. Alternativ 1 är praktiskt möjligt att åstadkomma, men kräver således en tätvall runt hela yttre, mellan och inre Skvampen.

Figur 9. Alternativ 1. Förändring från år 2013-2015 till 2100 av vattenstånd, land-/utfyllnadsnivå och lägsta grundvattenyta (GV-yta) ovan utfyllnad. Även förändring av nivågradient mellan lägsta grundvattennivå och medelvattenstånd visas konceptuellt. Alla nivåer utgår från relativt medelvattenstånd på +/- år 2013.



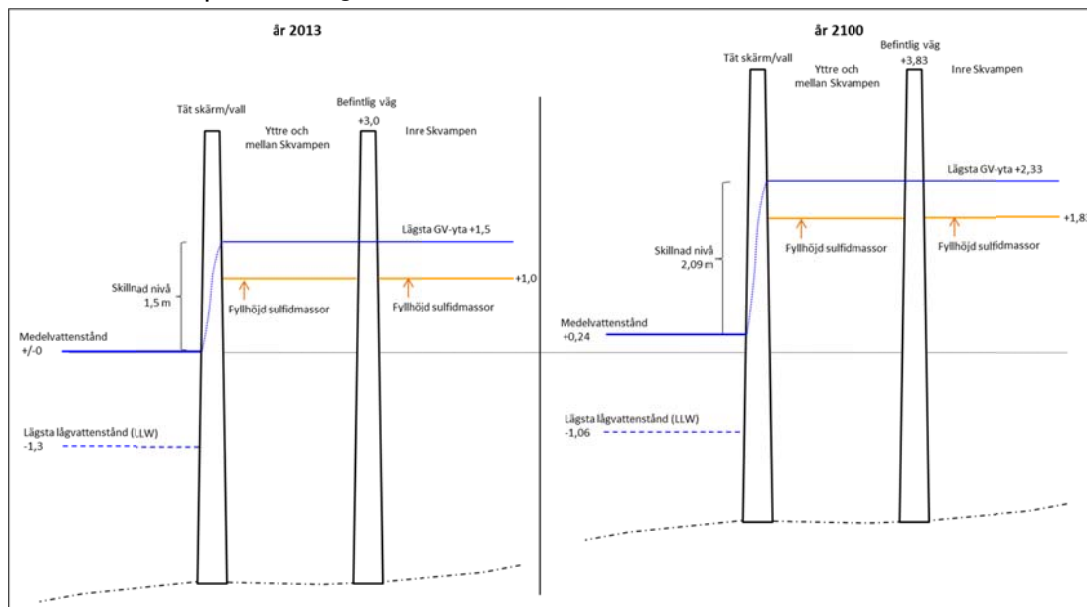
Figur 10. Alternativ 2. Förändring från år 2013-2015 till 2100 av vattenstånd, land-/utfyllnadsnivå och lägsta grundvattenyta (GV-yta) ovan utfyllnad. Även förändring av nivågradient mellan lägsta grundvattennivå och medelvattenstånd visas konceptuellt. Alla nivåer utgår från relativt medelvattenstånd på +/- år 2013.



Alternativ 2 kräver en tätvall runt inre Skvampen för att kunna upprätthålla en lägsta grundvattennivå som är minst 1,5 m över medelhavsnivå. Som framgår av figur 10 kommer utfyllnaden inom mellan och yttre Skvampen att hamna under lägsta vattenståndet redan  r 2013, men med hänsyn till att frekvensen är mycket liten och varaktigheten kortvarig har det förmodligen lite betydelse i sammanhanget avseende potentiell oxidation i överytan av massorna. Landhöjningen kommer dock medföra att avståndet mellan utfyllnaden och medelhavsnivån minskar till enbart ca 0,4 m  r 2100 och lägsta vattenståndet hamnar därmed betydligt under övre nivån för utfyllnaden. Det innebär därmed en potentiellt stor risk att massor regelbundet hamnar över havsytan och oxidation sker av dem. Alternativ 2 bedöms där av inte utgöra ett möjligt alternativ.

Alternativ 3 kräver en tätande anläggning runt hela yttre, mellan och inre Skvampen. Detta för att kunna åstadkomma och upprätthålla en grundvattennivå som minst  r 0,5 m över sulfidmassorna vilket innebär 1,5 m över medelhavsnivån  r 2013. Till  r 2100 kommer avståndet mellan den lägsta grundvattennivån och medelhavsnivån att  ka till ca 2,1 (figur 11) vilket innebär en större gradient. Sådana nivåer  r möjliga åstadkomma med tätande anläggning runt utfyllnaderna enligt beskrivit ovan, men ställer något högre krav på dessa  n alternativ 1. En så pass "hög" lägstanivå hos grundvattenytan medför i sin tur att de normala h gstaniv erna hos grundvattnet som inträffar vid vårfloden eller kraftig nederbörd kommer att ligga mycket nära markytan. Det kan påverka stabiliteten inom området i det fall anläggningar finns på markytan och åtgärder inte vidtas.

Figur 11. Alternativ 3. Förändring från  r 2013-2015 till 2100 av vattenstånd, land-/utfyllnadsnivå och lägsta grundvattenyta (GV-yta) ovan utfyllnad. Även förändring av nivågradient mellan lägsta grundvattennivå och medelvattenstånd visas konceptuellt. Alla nivåer utg r från relativt medelvattenstånd på +/-  r 2013.



6.2.1 Summering av resultat

Slutsatsen utgående från framtida potentiella förändringar av havs-, land- och grundvattennivåer är att alternativ 1 och 3 är möjliga att använda för att varaktigt säkerställa att de sulidhaltiga massorna befinner sig under lägsta grundvattennivå. Förutsättningen är att en tätande anläggning konstrueras runt hela området i båda alternativen.

6.3 Genomströmning och vattenbalans

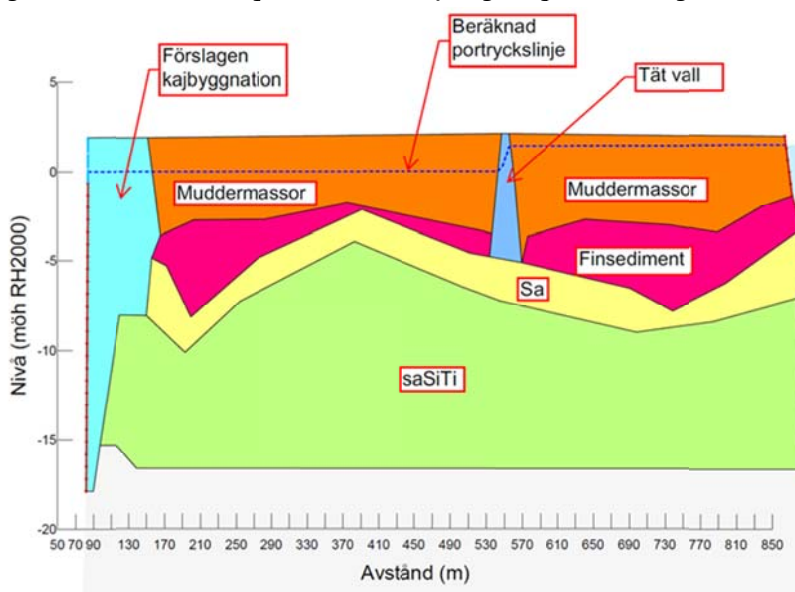
6.3.1 Omfattning och förutsättningar

En preliminär beräkning av utströmning från området i Skvampen och en vattenbalans har utförts främst för att få en uppfattning av känsligheten för variation av parametrar i genomströmning samt hur vattenbalansen kan påverkas av olika scenarier och begränsningar i infiltration.

Beräkningarna har utförts på samma sätt som i tidigare hydrogeologisk utredning [ref 5]. För detaljerad redogörelse av underlagsdata och metodik hänvisas till denna.

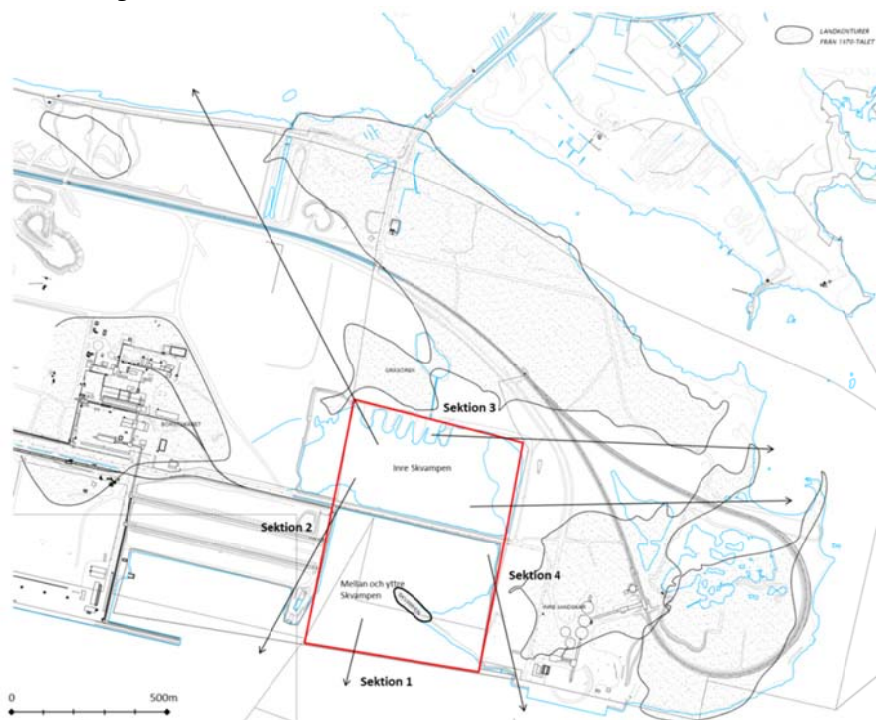
Någon specifik beräkning av genomströmning för olika sektioner runt utfyllnadsområdet, utgående från hur en tätvall eller tätskärm troligen skulle behöva se ut enligt redovisat i avsnitt 6.4, har av tidsskäl inte utförts. Som underlag har utförda beräkningar för sektion 1 (figur 13) i ovanstående rapport används. Denna utgörs av en tätvall mellan inre och yttre Skvampen och har en funktionsnivå för genomströmningen som troligen minst behöver uppfyllas för en tätvall/tätskärm enligt avsnitt 6.4.

Figur 12. Genomströmningssektion 1 från hydrogeologisk utredning [ref 5].



Vissa mindre skillnader mellan den tidigare sektion 1 och de nu aktuella utströmningssektionerna runt Svampen (figur 13) föreligger avseende karaktären hos de utanför liggande markområdena. "Ny" sektion 1 gränsar direkt mot havet, men eftersom de utanför liggande muddermassorna i tidigare sektion 1 har en betydligt högre genomsläpplighet än tätvallen i sig kommer genomströmningen att bli i samma storleksordning för den nya sektionen. För sektion 2, 3 och 4 är genomströmningsförhållandena i stort desamma som tidigare sektion 1, dvs. med utanför liggande massor mellan utfyllnad och hav. Förmodligen är genomströmning något lägre pga. en längre läckageväg och mindre genomsläppliga massor utanför än vad tidigare sektion 1 hade. Det gäller åtminstone norra delen av sektion 2 och 4 samt sektion 3. Totalt sett bedöms där av den beräknade genomströmningen för den tidigare sektion 1 kunna användas.

Figur 13. Sektioner för tätvall/tätskärm runt Skvampen med konceptuella pilar för riktning på utströmning.



6.3.2 Beräknad genomströmning

Beräkning av genomströmning genom den tidigare sektion 1 har för tätvall utförts med ett antal olika höjdskillnader/gradienter utgående från normal högsta grundvattennivå i utfyllnaden och havsytan. Dessa varierar mellan 1,5 till 3 meters skillnad (tabell 4). Som framgår är skillnaden mellan de olika nivåerna mycket lite pga. av att förändringen av gradienten är liten. Genomströmningsberäkning har tidigare utförts för en tätskärm (redovisades inte rapport [ref 5]), med ännu lägre genomsläpplighet (tabell 4) vilka nu även nyttjas.

Tabell 4. Beräknad genomströmning genom tidigare sektion 1 för tätvall respektive för tätskärm vid olika nivåskillnader mellan grundvatten och havsnivå.

Typ av vall/skärm	Skillnad normal högsta nivå grundvatten i utfyllnad och havsyta	Flöde
	<i>m</i>	<i>m³/s, m</i>
Tätvall	1,5	2×10^{-7}
Tätvall	2	2×10^{-7}
Tätvall	3	4×10^{-7}
Tätskärm	2	5×10^{-8}
Tätskärm	3	8×10^{-8}

Som utgångspunkt för beräkningarna används vidare alternativ 1 enligt avsnitt 6.2. År 2100 är avståndet mellan normal högsta grundvattennivån i slutet av vårfloden och medelhavsnivån i havet ca 2 meter. Av denna anledning har värdena för 2 m i tabell 4 använts som utgångspunkt i beräkningarna och en påbörjad avsänkning.

6.3.3 Beräknat utflöde

Beräkning av utflöde har skett för ett antal olika fall. Ett grundfall med genomströmning enligt avsnitt 6.3.2 och ett antal känslighetsfall där genomströmningen ökas och reducerats, inklusive ett fall där enbart sektion 1 har högre genomströmning (mycket konservativt fall), se tabell 5.

Tabell 5. Ansatta hydraulisk konduktivitet för de olika typerna av förekommande material.

Fall	Genomströmning (<i>m³/s, m</i>)
Grundfall tätvall	2×10^{-7}
Tätvall, <i>k</i> *2	4×10^{-7}
Tätvall, <i>k</i> *10 i sektion 1	2×10^{-6} sektion 1 övriga 2×10^{-7}
Tätvall, <i>k</i> *0,5	2×10^{-7}
Tätskärm	5×10^{-8}

Den totala längden runt området är ca 2 660 m där sträckorna för de olika sektionerna är enligt följande.

- Sektion 1: 560 m
- Sektion 2: 770 m
- Sektion 3: 570 m
- Sektion 4: 760 m

Den totala ytan inom tätvall/skärm uppgår till ca 430 000 m².

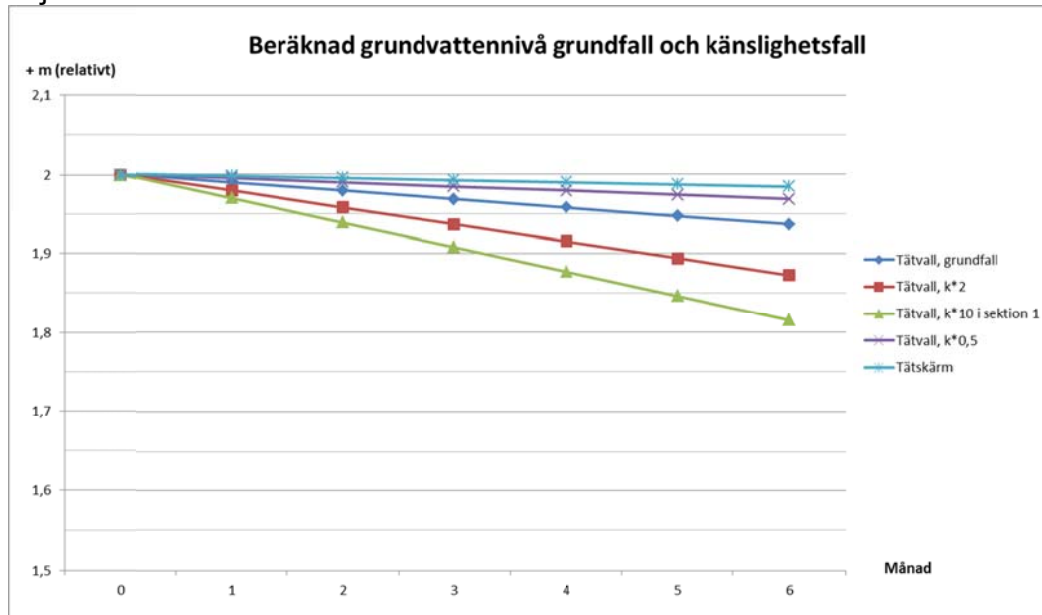
Med en grundvattenbildningsfaktor på 0,9 och en årlig genomsnittlig avrinning på 250 mm innebär det en grundvattenbildning på 97 000 m³, förutsatt att inga anläggningar finns på markytan vilka begränsas infiltrationen.

Resultatet av utflödesberäkningarna och avsänkning av grundvattennivåer redovisas i tabell 6 och grafiskt som avsänkning under 6 månader i figur 14.

Tabell 6. Beräknat utflöde och avsänkning per månad för grundfall och känslighetsfall.

Fall/sektion	Utflöde	Fördelning	Utflöde		Avsänkning	
	l/s	%	m3/mån	m3/år	mvp/mån	m/mån
Grundfall tätvall						
1	0,112	21				
2	0,154	29				
3	0,114	21				
4	0,152	29				
Totalt	0,53		1 380	16 550	0,003	0,011
Tätvall, k*2						
1	0,224	21				
2	0,308	29				
3	0,228	21				
4	0,304	29				
Totalt	1,06		2 760	33 100	0,006	0,021
Tätvall, k*10 i sek 1						
1	1,12	73				
2	0,154	10				
3	0,114	7				
4	0,152	10				
Totalt	1,54		3 990	47 900	0,009	0,031
Tätvall, k*0,5						
1	0,056	21				
2	0,077	29				
3	0,057	21				
4	0,076	29				
Totalt	0,27		690	8 270	0,002	0,005
Tätskärm						
1	0,028	21				
2	0,039	29				
3	0,029	21				
4	0,038	29				
Totalt	0,13		350	4 140	0,001	0,003

Figur 14. Beräknad förändring av grundvattennivå för grundfall och känslighetsfall under 6 månaders tid (konstant avsänkning), utan grundvattenbildning. Månad noll motsvarar slutet av maj.



Beräkningarna visar att utflödet är mycket litet (ca 20 % av potentiell grundvattenbildning) för grundfallet vilket därmed innebär att även avsänkningen är mycket liten ca 6 cm under 6 månader. För en tätskärm är utflödet och avsänkning obetydlig.

För de två fallen med ökad genomströmning ökar utflödet och avsänkningen något, där avsänkningen efter 6 månader ligger mellan 13 – 19 cm.

Det troliga intervallet för utflöde och avsänkning för en tätvall ligger på 15 000 till 35 000 m³/år och 6 – 15 cm under 6 månader.

Det troliga intervallet för utflöde och avsänkning för en tätskärm ligger på <10 000 m³/år och <5 cm under 6 månader.

6.3.4

Vattenbalans

En vattenbalans har på motsvarande sätt som redovisat i den hydrogeologiska utredningen [ref 5] utförts för flera efter varandra genomsnittliga år och två fall för återkommande torrår (faktisk data för perioden 2001 – 2007 samt för 3 extrema torrår efter varandra på vilka det sedan följer genomsnittliga år).

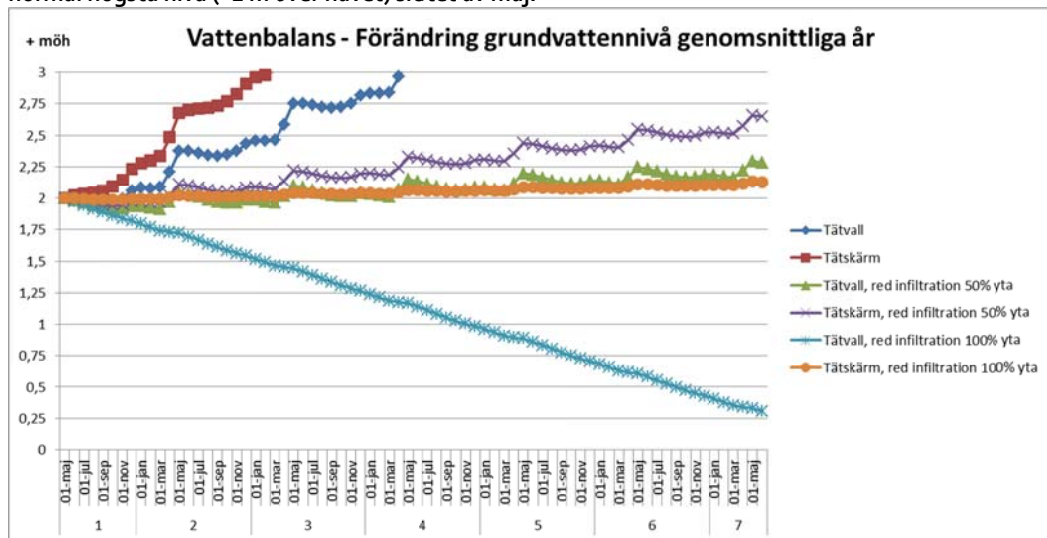
Ett antal olika scenarier har använts enligt följande.

- Tätvall grundfall
- Tätskärm
- Tätvall och tätskärm med 50 % av ytan hårdgjord eller med byggnader där avrinningen satts till 0,9 dvs. en grundvattenbildning reducerats till 0,1, där ytlig avrinning antas avledas till utanför området för utfyllnaden.

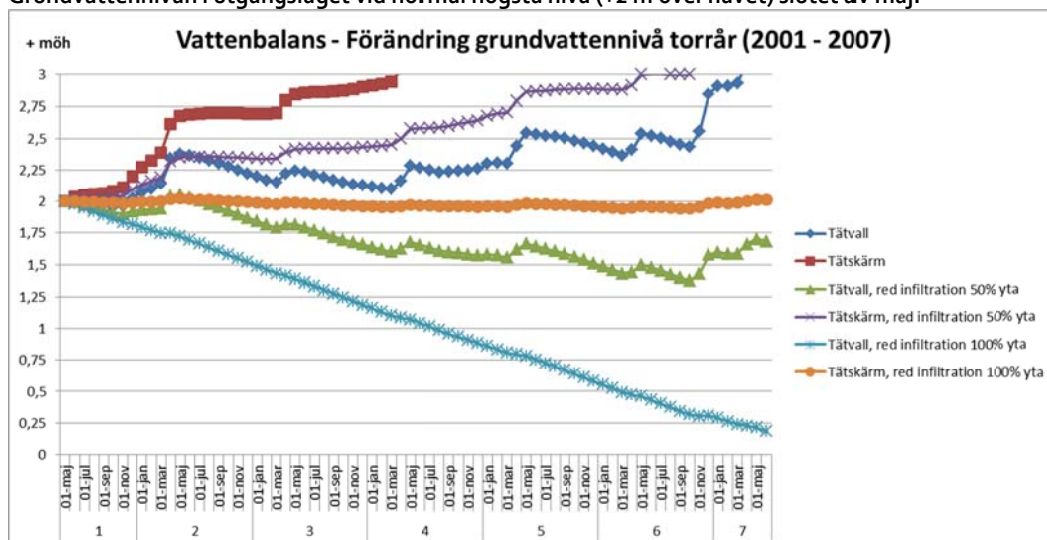
- Tätvall och tätskärm med 100 % av ytan hårdgjord eller med byggnader där avrinningen satts till 0,9 dvs. en grundvattenbildning reducerats till 0,1, där ytlig avrinning antas avledas till utanför området för utfyllnaden.

Resultaten för genomsnittligt år redovisas i figur 15, torrår perioden 2001 – 2007 i figur 15 och 3 torrår följt av genomsnittliga år i figur 17.

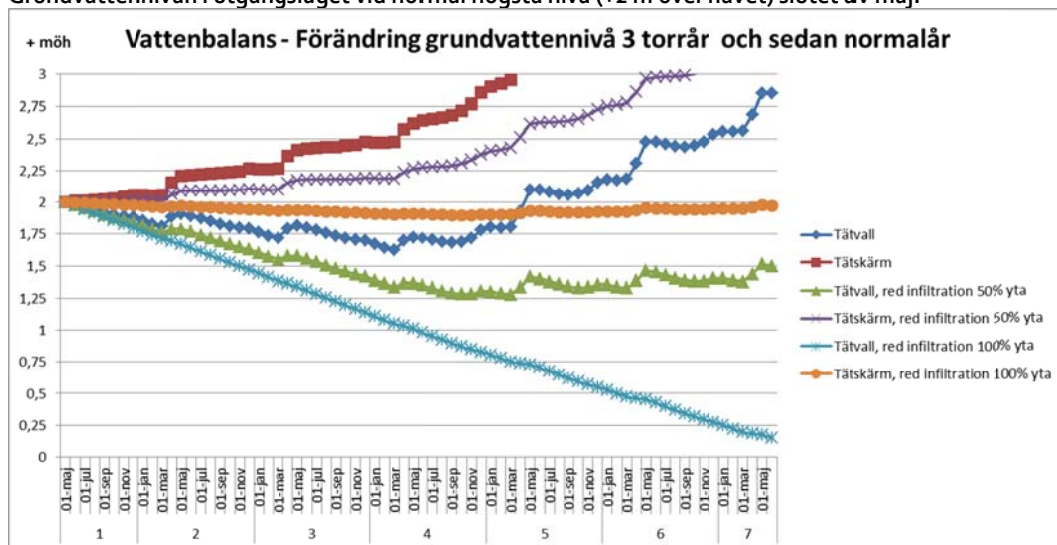
Figur 15. Vattenbalans för genomsnittliga år (maj - maj). Grundvattennivån i utgångsläget vid normal högsta nivå (+2 m över havet) slutet av maj.



Figur 16. Vattenbalans för torrår baserat på faktisk data åren 2001 -2007 (maj - maj). Grundvattennivån i utgångsläget vid normal högsta nivå (+2 m över havet) slutet av maj.



Figur 17. Vattenbalans för 3 extrema torrår följda av genomsnittliga år (maj - maj). Grundvattennivån i utgångsläget vid normal högsta nivå (+2 m över havet) slutet av maj.



För de genomsnittliga åren (figur 15) kommer vattennivån i utfyllnaden inom ett par år stiga till marknivå för både tätvall och tätskärm när infiltration tillåts inom 100 % av ytan. När infiltrationen minskas inom 50 % av ytan kommer nivån sakta att stiga för båda alternativen. När infiltrationen minskas inom 100 % av ytan stiger nivån fortfarande sakta för en tätskärm medan den minskar successivt för en tätvall.

Resultatet för de två scenarierna med torrår är ungefär desamma. När i stort sett all avrinning bildar grundvatten stiger nivån sakta upp mot marknivån och når denna efter 2 – 6 år. I de fall infiltrationen minskas inom 50 % av ytan ökar nivån sakta för tätskärmen medan den sänkts av med som mest ca 0,75 m för tätvall och sedan sakta stiger mot ursprunglig nivå (+2). I de fall infiltrationen minskas med 100 % förändras nivån för tätskärm i stort sett obetydligt (marginell minskning och sedan liten ökning) medan den sjunker successivt för alternativet med tätvall.

6.3.5 Summering av resultat

Slutsatsen av utförda vattenbalanser är att en tätskärm inte kommer att leda till någon betydande avsänkning av grundvattennivån inom utfyllnaden utan att nivån mer troligen kommer att stiga upp mot markytan eller ligga stabilt i det fall infiltrationen inom området kraftigt begränsas. Som en konsekvens av att nivåerna kommer att stiga upp mot markytan inom området måste ett utflöde kunna ske över tätskärmen för att undvika oönskat höga grundvattennivåer.

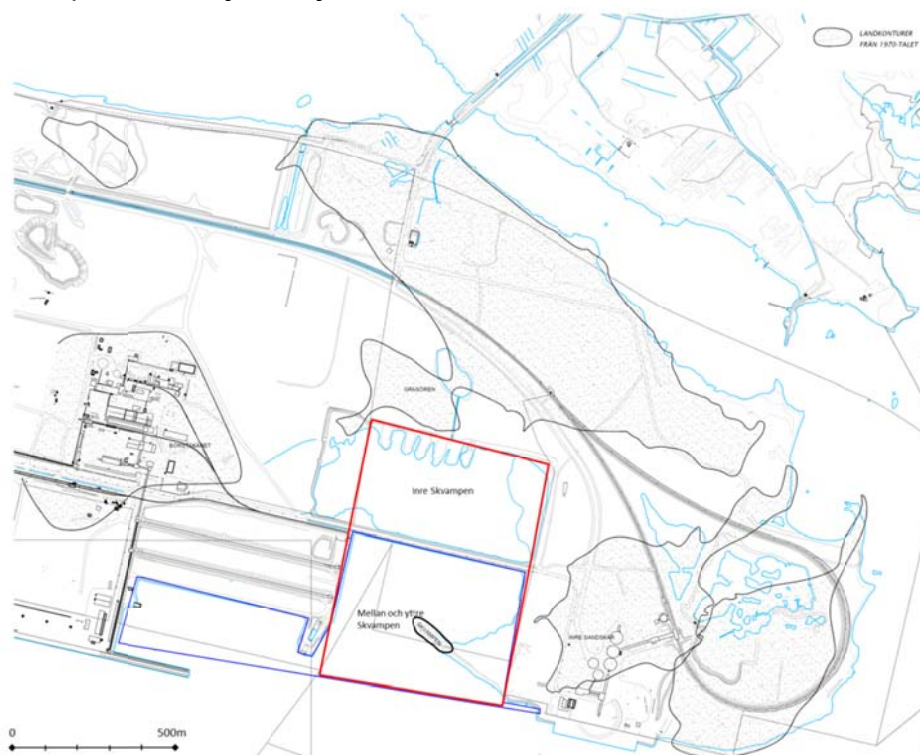
Slutsatsen av utförda vattenbalanser för en tätvall är att andelen av ytan där infiltrationen begränsas blir mycket viktigt för att inte leda till en successiv minskning och en grundvattennivå under lägsta grundvattennivå på +1, dvs. en lägsta nivå hos grundvattnet som fortfarande är 0,5 m över sulfidutfyllnaden.

6.4 Utformning av tätande anläggning och tillhörande delar

6.4.1 Förutsättningar

I detta avsnitt redovisas allmänna geotekniska förutsättningar och olika utformningar för att konstruera en tätande anläggning (tätvall/skärm) runt utfyllnaden av de sulfidhaltiga massorna i Skvampen (figur 18) för att varaktigt åstadkomma en förhöjd grundvattenyta över massorna. Det utvärderas även hur de olika konstruktionerna kan anläggas i olika delar av området samt påverkan på andra faktorer som exempelvis tillgänglig fyllvolym för muddermassorna.

Figur 18. Lokalisering av tätvall/skärm runt Skvampen. På senare tid utfyllda massor inre Skvampen visas med ljusblå linje.



6.4.1.1 Geotekniska förhållanden

Inre Skvampen

De geotekniska förutsättningarna runt inre Skvampen kan delas upp i två delsträckor. En delsträcka i södra delen mot mellan/yttra Svampen och en i västra delen mot SSAB:s område består av vägbank (sprängsten). Den andra delsträckan, i norr och östra delen, består av tidigare utfyllda muddermassor.

Botten i inre Skvampen utgörs under sedan tidigare deponerade massor av olika slag av lösa samt under det mycket lösa sediment av varierande mäktighet. De lösa sedimenten övergår i fastare lagrad jord (sand) vilka i sin tur är lagrade ovanpå vad som sannolikt är fast morän. Sedimenttjocklekarna varierar från 0,5 m i utkanterna av området till som mest ca 7 m mitt i området.

I norra och östra delen av området förekommer en del på senare tid utfyllda jordmassor och andra typer av massor (se figur 18). Massor i östra delen innehåller även inslag av block.

Någon muddring eller urgrävning ska inte ske i inre Skvampen för att frigöra mer volym, men däremot kan urgrävning behöva ske i det fall en tätvall ska anläggas utmed delar av sträckan.

Mellan och yttre Skvampen

De geotekniska förutsättningarna runt om mellan och yttre Skvampen kan delas upp i två delsträckor. En delsträcka i södra delen och del av västra består av den planerade yttre kajkonstruktionen (vall av sprängsten). Den andra delsträckan i västra och östra sidan består av tidigare utfyllda muddermassor.

Tidigare utförda undersökningar i visar på varierande djup till sjöbotten samt varierande mäktigheter av lösa sediment. Mäktigheten hos de lösa sedimenten varierar från någon meter till lokalt upp till 10 m.

Genomsläpplighet hos befintliga material

Den naturligt lagrade moränen (saSiTi) kan anses i rådande geoteknisk lokal vara väldigt tät och ha en låg hydraulisk konduktivitet (antaget runt 1×10^{-9} m/s).

Den naturligt lagrade sanden/siltiga sanden (Sa) kan anses ha en relativ fast lagringstäthet i jämförelse med de utfyllda muddermassorna av sand/siltig sand. Det medför att den naturligt lagrade sanden/siltiga sanden är tätare och därmed har en lägre hydraulisk konduktivitet (antaget runt 5×10^{-7} m/s) än den utfyllda sanden/siltiga sanden som har en betydligt högre (hydraulisk konduktivitet antaget runt 5×10^{-4} m/s).

6.4.2 Utformning av tätande anläggning

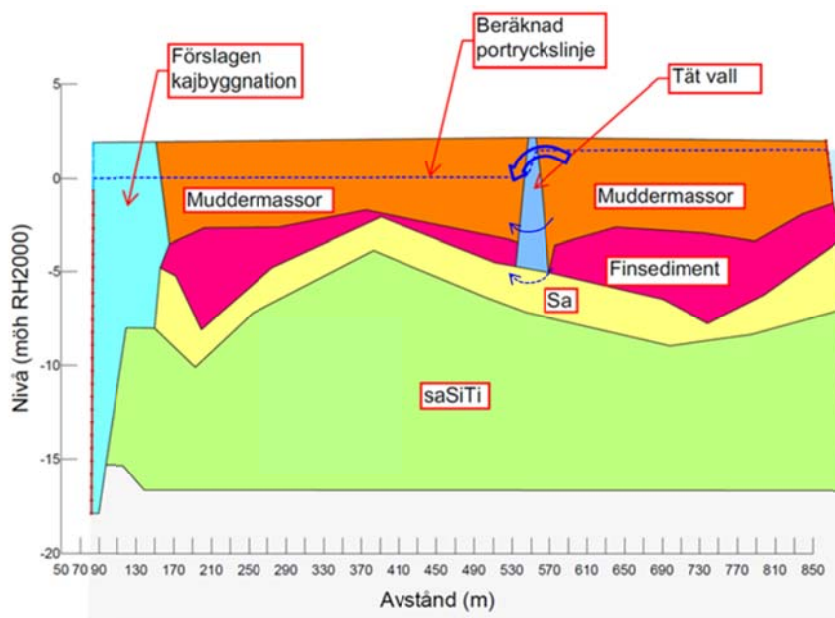
En tätande anläggning, för att minska genomströmningen och "dämma" upp en förhöjd grundvattenyta inom området där utfyllnad av sulfidhaltiga massor planeras inom Skvampen, kan utgöras av en konventionell tätvall av jord eller en tätskärm. I nedanstående avsnitt redogörs översiktligt vad dessa alternativ skulle kunna omfatta, förutsättningar samt för- och nackdelar. Andra alternativ finns också, exempelvis syntetiska tätdukar (gummi, bitumen, PE) men dessa har inte inkluderats i denna studie, bland annat med hänsyn till att de är svårare att åtgärda i det fall läckage skulle uppkomma i framtiden.

Vilket funktionskrav på täthet och genomströmning som en tätvall/skärm skulle behöva är inte bestämt, eftersom det beror på slutligt val av typ av tätvall/skärm samt hur stor del av området som antas komma att bebyggas/beläggas och hur yttlig avrinning då hanteras. Förmodligen behöver genomströmningen genom en tätande anläggning som högst uppgå till i storleksordning ca 2×10^{-7} m/s, enligt utförd genomströmningsberäkning och vattenbalans.

Anläggningsnivåerna hos en tätvall/skärm utgår från slutsatserna i avsnitt 6.2 alternativ 1 och 3 och de geotekniska förhållandena. Båda alternativen kräver en tätvall/skärm runt hela yttre, mellan och inre Skvampen (Figur 18) från en fast (tät) botten upp till ca 1,5 m över sulfidmassornas fyllnivå. Detta för att säkerställa en lägsta grundvattennivå på minst 0,5 m över massorna i värsta fallet med flera torrår, dvs. inräknat en säkerhetsmarginal på 0,5 m. Denna nivå motsvarar för alternativ 1 en tätvall/skärm upp till en nivå ca +1,5 möh (år 2013) och för alternativ 3 upp till en nivå ca +2,5 möh (år 2013).

En tätvall/skärm måste vidare anläggas till ett tillräckligt stor djup och mot en fast undergrund som har ungefär samma eller lägre genomsläpplighet än tätvallen/skärmen i sig. Detta för att en ökad genomströmning inte ska ske under denna genom undergrunden (figur 19). Vilket djup och mot vilket befintligt material som en tätande vall/skärm behöver anläggas till i olika delar av utfyllnaden måste närmare utvärderas och undersökas med genomströmningsberäkningar. Det som ska undersökas är om den måste anläggas mot den naturligt lagrade moränen eller om det räcker med den naturliga eller fyllda sanden (som har högre genomsläpplighet). Eftersom en tätande vall/skärm i Skvampen i genomsnitt kommer att sträcka sig 4-5 meter under havsytan eller grundvattentytan, där vattnet på utsidan utgör ett mottryck och begränsar genomströmningen i de djupare liggande delarna, innebär det att tätvallen/skärmen eventuellt kan anläggas på de sandiga sedimenten.

Figur 19. Konceptuell figur av tätvall med havs- eller grundvattentyta utanför denna på minst +/- 0 utanför denna, där merparten av det vatten som strömmar ut sker i den övre delen av vallen där gradienten är högre och en marginell del i den nedre delen och i undergrund.

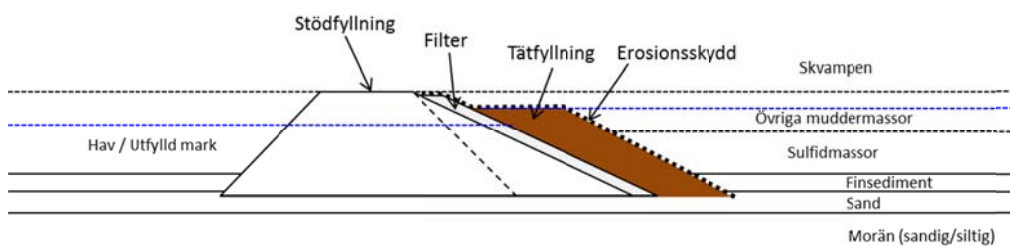


Eftersom en tätvall/skärm med mycket låg genomsläpplighet och genomströmning kommer att anläggas ökar risken att grundvattennivåerna vid högflödesperioder snabbt kan stiga till höga nivåer upp mot markytan. För att undvika sådana nivåer vilka exempelvis skulle kunna inverka på bärighet och stabilitet hos eventuella anläggningar ovanför utfyllnaden, bör tätvall/skärm förses med ett överfall. Det kan exempelvis göras genom att vall/skärm avslutas någon meter under markytan (se figur 20) runt hela området alternativt enbart utmed någon sektion.

6.4.2.1 Tätvall

En tätvall kan utgöras av en homogen tätjordsfyllning eller en smalare tätjordsfyllning mot en stödfyllning (ex. sprängstensfyllning) på uppströmssidan. Vid behov används ett filterlager (ex. krossprodukt) mellan stödfyllning och moränen för att undvika inre erosion (figur 20). Erosionsskydd kan även behövas på delar av anläggningen (ex. mot tätkärna). Mer specifik utformning av en tätvall kräver en fördjupad utredning av förutsättningarna på plats, tillgängliga massor för konstruktion och krav på genomsläpplighet.

Figur 20. Konceptuell figur av tätvall med stödfyllning, filter, tätande fyllning och eventuellt erosionsskydd. Flackare lutning krävs där filter och tätkärna anläggs. Streckad linje visar ungefärlig skillnad på insidan mellan trolig lutning för vallar/vägar och mark. Tätfyllning avslutas någon meter under markytan för att vatten vid högflödesperioder ska kunna strömma ut ovanför.



Normalt sett används en sandig siltig morän för tätjordsfyllning. Moränen får då även gärna vara ganska grov med stenar upp till flera decimeters storlek vilket gör att den får en viss motståndskraft mot erosion samtidigt som tillräcklig täthet uppnås. Det kan vara möjligt att använda de naturliga sandiga massor och avlagringar vilka redan finns i delar av området, men det måste bekräftas genom undersökningar i laboratorium. Lägre genomsläpplighet ($1 \cdot 10^{-8}$ m/s eller lägre) hos massorna innebär att en något tunnare tätfyllning kan användas (troligen inte tunnare än 2 meter), medan något högre genomsläpplighet (ca $1 \cdot 10^{-7}$ m/s) kräver en bredare tätfyllning för att ge samma genomströmning. I de genomströmningsberäkningar som hittills utförts har en genomsläpplighet på $1 \cdot 10^{-7}$ m/s använts med en bredd hos vällen på ca 5-7 meter (förenklat utformad som befintlig väg). En sådan bred tätjordsfyllning innebär relativt stora mängder massor varför det är mer lämpligt att använda en tunnare tätfyllning med lägre genomsläpplighet för att ta upp en mindre volym. Det ställer å andra sidan högre krav både på tillgängligt material själva anläggandet av tätfyllning. Vid utfyllning

av moränen i en tättyllning används oftast ändtippning och någon typ av efterföljande packning.

En stödfyllning kan förmodligen anläggas utmed de flesta sträckorna runt Skvampen som utgörs antingen av befintliga eller planerade vägar/vallar eller av befintliga mark (tidigare utfyllda sediment). För att filter och tätkärna ska kunna anläggas krävs en lutning på ca 1:2,5 vilket innebär en relativt lång flack slänt ca 20 m, utgående från ett vertikalt medeldjup på ca 7 m. Det innebär att både befintliga och planerade vägar/vallar och mark måste flackas ut då sidorna troligen har en betydligt brantare lutning (troligen rasvinkel ca 1:1,4), se figur 20.

För befintlig mark, vall mellan inre och yttre Skvampen samt den yttre kajvallen (om den inte flyttas ut) innebär det att ytterligare massor utöver den för tätkärna måste fyllas ut innanför de befintliga vilket minskar den tillgängliga volymen för sulfidutfyllnad. Särskilt i mellan och yttre Skvampen där fylldjupet är större. Att schakta bort massor i befintlig markyta för att anlägga en flack stödfyllning kan vara ett alternativ längs delar av sträckorna, om det kan accepteras att den minskar något. I inre Skvampen är avsläntning av befintlig markyta och utfyllnad av stödbank för att anlägga en flackare slänt troligen inget alternativ, eftersom det i båda fallen medför bortschaktning av redan deponerade massor för att anbringa stödfyllning och tätkärna mot en fastare botten.

Utfyllnad och packning av morän under vatten kan vara möjligt, men det måste undersökas om det ger en packning som uppfyller uppställt täthetskrav. Utfyllnad i djupare vatten kan även vara problematiskt på grund av att materialet flyter ut i vattnet vilket innebär att det åt går mer material. Packning av morän som görs i torrhet kan exempelvis ske genom ytpackning med vält eller resonanspackning.

Fördelar

Fördelen med en tätvall är att den enbart använder naturliga material vilka har en bra långtidsbeständighet. Vilken typ av material som är mest lämplig att använda för en tätkärna beror både på vilket täthetskrav den ska ha samt tillgång inom området och lokalt i Luleå.

En tätvall av morän är användbar på så väl lös som fast grund.

Tätkärnan kan kontrolleras direkt under och efter fyllning och packning vilket minskar risken för zoner med lokalt högre genomsläpplighet uppkommer.

Normalt sett är kostnaden i jämförelse med tätskärm lägre, men i detta fall kan den för vissa sträckor vara högre beroende på schakt/fyll för stödfyllning och kostnad för filter och material för tätkärna beroende på typ och källa.

Nackdelar

Enligt beskrivit ovan kan en tätvall medföra att den tillgängliga fyllvolymen minskar särskilt i mellan och yttre Skvampen. Den skulle även kräva

bortschaktning av redan deponerade massor i inre Skvampen vilket bör undvikas då de i sig måste hanteras och placeras på annan plats.

Fyll och packning av morän kan behöva ske i torrhet för att kunna uppnå en tillräckligt hög genomsläpplighet särskilt om material med lägre genomsläpplighet och tunnare tätkärna ska användas. Det medför att vattnet inom yttre/mellan och/eller inre Skvampen måste pumpas bort innan fyllningsarbeten av filter och tätkärna kan utföras.

I det fall alternativ 3 väljs som huvudalternativ, med fyllning till nivå +1 (år 2013-2015) och där ingen muddring av finsediment görs i hela mellan och yttre Skvampen, innebär det ändå att dessa sediment måste tas bort där en tätvall ska anläggas eftersom den kräver en stabil undergrund.

6.4.2.2 Tätskärm

Med tätskärm avses i detta fall en vertikal skärm med mycket låg genomsläpplighet som installeras från markyta och ned till visst djup genom de massor där man vill minska genomsläppligheten (figur 21). Flera olika alternativ för en tätskärm finns där de mest vanliga omfattar.

- Spont.
- Slitsvägg/slurryvägg.
- Jetinjektering och sekantpålar.

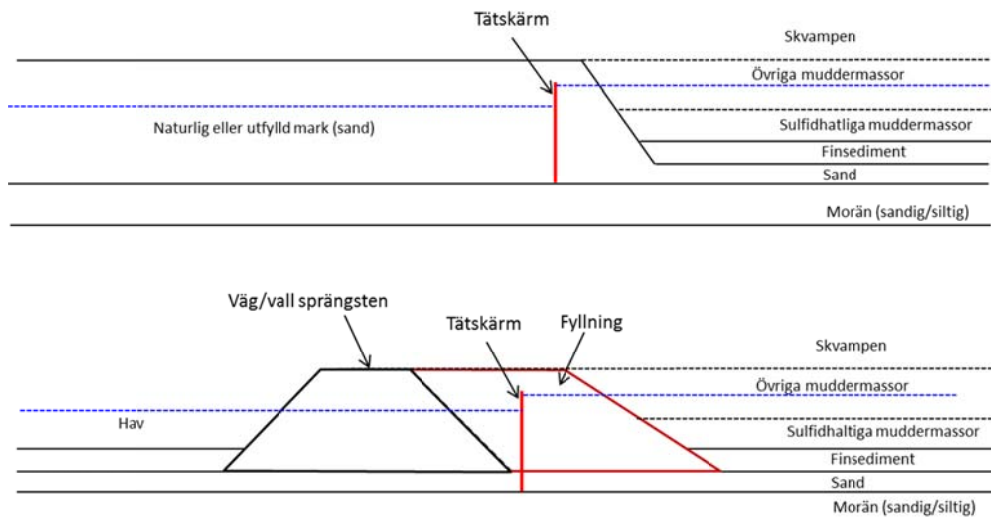
Nedan redogörs kort vad de innebär mer i detalj.

Gemensamt för alla alternativen är att de kräver en fyllning där de ska installeras som har rätt egenskaper (ex. inte för blockig), så att de kan installeras med rätt kvalitetskrav.

Vid befintlig mark runt Skvampenområdet sker installation lämpligen genom dessa (figur 21, övre bilden). Eftersom merparten av massorna i området utgörs av fyllda sandiga muddermassor är förutsättningarna generellt sett goda.

I det fall en tätskärm ska installeras utmed befintlig eller planerade vägar/kaj av sprängsten kommer det förmodligen att krävas att en utfyllnad av exempelvis sandiga muddermassor eller morän görs innanför denna (Figur 21, under bilden). Tätskärmen installeras sedan genom denna.

Figur 21. Anläggande av tätskärm beroende på förhållande. Övre figuren visar anläggande från befintlig markyta och undre från en utfyllnad innanför sprängstensvall.



Spont

Tätspont kan utföras med konventionell spont av stål (LX, PU, Larssen) eller med plastspont. Utförande av tätspont är en i Sverige vanlig och ofta förekommande metod vilket är en klar fördel. Installation sker antingen med kran med en frihängande vibro eller med en larvgående maskin med gejderstyrd vibro.

För att sponten ska kunna fästas i varandra och drivas ned behövs ett visst glapp i låsen samtidigt som skarvarna måste bli täta. Exempelvis kan mjuktättningsmassa användas i låsen. Om glapp inte stängs vid drivningen, så kan man behöva tätta låsen i efterhand.

Oavsett installationsalternativ krävs att markförhållandena är goda. Block och grövre fyllning av ex sprängsten med större fraktion än 200 mm kan göra att spontprofilerna vid drivningen stannar, stukas eller vrids. Glapp i sponten är svårt att i efterhand lokalisera och åtgärda. En vanlig metod för tätning i efterhand är jetinjektering. Plastspont är av naturliga skäl betydligt mer känslig än stålspont. Stålsponten kommer sakta att korrodera. Hur fort beror på de platsspecifika förutsättningarna (ex. typ av massor, vattenkvalitet, syreexponering), men det torde generellt ligga runt eller över 100 år.

Slitsvägg / slurryvägg

En slitvägg/slurryvägg består av en blandning av bentonit, cement och sand/moränmaterial (ofta befintliga massor där installation sker om de har rätt egenskaper) vilken efter den härdat bildar en tät skärm.

Installation kan ske med olika metoder där det gemensamma är att en smal (ca 1 meter) vertikalt schakt grävs där väggen ska installeras samtidigt som en slurry pumpas ned för att stabilisera schaktväggarna och samtidigt bildas då den härdat

efter några dagar en tät skärm. Hållfastheten hos den härdade slitsmuren kan varieras genom olika blandningsförhållanden mellan cement/bentonit och filler-materialet (vanligen kalkmjöl). Tillverkningen av cement/ bentonitsuspensionen utförs i en automatiserad blandningsanläggning. Den grävda slitsmuren kan utföras till ett maximalt djup av cirka 15 m.

Utgrävning kan exempelvis ske med konventionell grävmaskin utrustad med långsticka eller med särskild vertikal gripgrävare. Grävd slitsmur är lämplig speciellt vid svåra jordförhållanden, dvs. vid förekomst av hinder i jordlagren i form av block, stenar och likande. Metoden är mindre använd i Sverige men desto vanligare på kontinenten och Kanada.

En fördel med metoden jämfört med spont är att det inte finns några skarvar i tätskärmen. Nackdelen är att skärmen lokalt, särskilt på större djup, kan vara av sämre kvalitet exempelvis pga. intras från omkringliggande fyllning.

Jetinjektering och sektantpålar

Jetinjektering utförs normalt för att förstärka jord i samband med schaktning och grundläggning eller grundförstärkning. Jetinjektering kan även utföras för att anlägga tätskärmar i vattenförande jord.

Vid jetinjektering borrar en specialborrstång ner till önskat djup varefter man samtidigt som man roterar och drar upp stången sprutar ut en cementsuspension under högt tryck. Beroende på typ av massor där installationen sker kan diametern bli från 0,5-1,5 m eller mer. Sand och grusiga jordar med hög genomsläpplighet ger större diameter. För att konstruera en tätskärm installeras pelarna med överlappning. En nackdel med metoden är att de kräver relativt homogena förutsättningar i de massor där de installeras för att få ett bra överlappande tätande konstruktion. Det borde vara uppfyllt åtminstone stora delar av det aktuella området i Skvampen.

Sekantpålar är platsgjutna betongpålar. Metoden är mer vanligt förekommande på kontinenten i Europa än i Sverige. Sekantpålarna kan utföras på olika sätt antingen genom foderrörsborrning eller med jordskruv, där betong sedan används för att gjuta pålarna. Metoden är vad som är känt mindre frekvent använd för att anlägga särskilda tätskärmar, utan används framför allt som tillfälliga eller temporära stödvägg. En nackdel är att åtgången av cement/betong (och därmed kostnaden) är hög jämfört med övriga metoder.

Fördelar (alla metoder)

Fördelen med en tätskärm, företräddvis spont eller slurryvägg, är att de i stora delar av området kan utföras genom befintlig mark i direkt anslutning till området, eftersom massorna huvudsakligen utgörs av fyllda sandiga muddermassor. En tätskärm medför också att den tillgängliga volymen för fyllning av sulfidhaltiga muddermassor i Skvampen inte minskar, åtminstone de sträckor som inte utgörs av bergvall.

En tätskärm har rätt utförd mycket låg genomsläpplighet minst $1 \cdot 10^{-9}$ till $1 \cdot 10^{-10}$ m/s.

Nackdelar (alla metoder)

Eftersom installationen sker under marken kan tätskärmen efter utförande direkt inte kontrolleras. God planering (exempelvis föregående geoteknisk undersökning och utförande av teststräckor) och bra utförande minskar dock risken för detta. En slurryvägg är betydligt tjockare jämfört med spont vilket minskar risken för delar med högre genomsläpplighet vid bra förhållanden i schaktgraven.

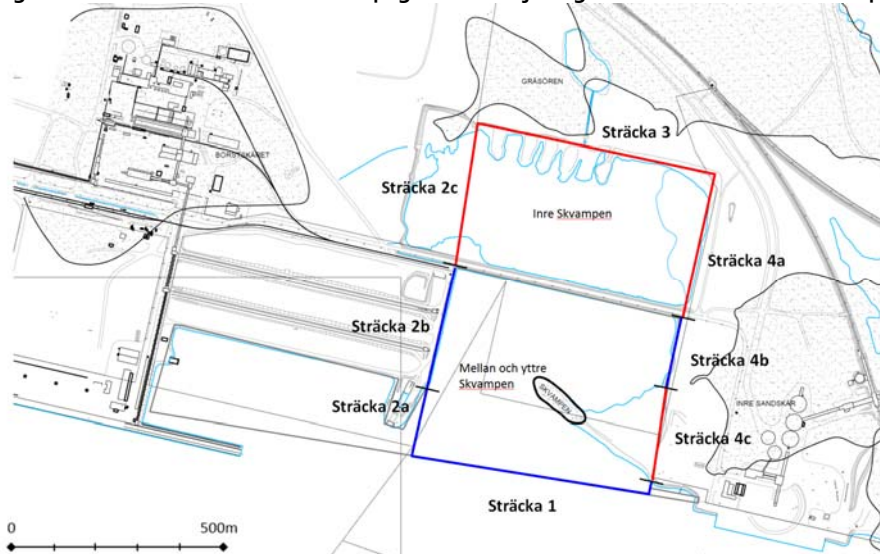
I det fall alternativ 3 väljs som huvudalternativ, med fyllning av sulfidmassor till nivå +1 (år 2013-2015) och där ingen muddring av finsediment görs i mellan och yttre Skvampen, kommer muddring lokalt utmed yttre bergvallen troligen ändå bli nödvändig. Detta för att anlägga en fyllning från vilken tätskärmen installeras på fast undergrund för att undvika att det i efterhand inte uppkommer sådana sättningar som kan påverka tätskärmens funktion.

Kostnad en per kvadratmeter är relativt hög, men med långa sträckor kan kostnaden reduceras.

6.4.3 Alternativ för tätvall/tätskärm utmed de olika delsträckorna

Baserat på den nuvarande kunskapen om de geotekniska förutsättningarna, hur området är utfyllt idag samt övriga förutsättningar exempelvis gällande praktiskt anläggande av tätvall/tätskärm redovisas nedan en bedömning av lämplig tätande anläggning runt den planerade utfyllnaden i Skvampen. Redovisningen sker utifrån ett antal delsträckor (figur 22).

Figur 22. Bedömda lämpliga tätvall/skärm för de olika delsträckorna runt Skvampen. Blå linje anger att tätvall eller tätskärm är lämplig och röd linje anger att tätskärm är mest lämplig.



Sträcka 1

Sträcka 1 utgörs av den yttre planerade vallen och ny kajlinje av sprängstensfyllning. Utmed denna sträcka är det möjligt att anlägga både tätvall och tätskärm. Vattendjupet utmed sträckan är förhållandevis stort ca 4 meter i snitt till finsedimenten och en mäktighet hos de senare på mellan 1-5 meter eller mer.

För båda metoderna behöver en fyllning ske i relativt stor omfattning på insidan vilket innebär att den tillgängliga fyllvolymen för de sulfidmassorna minskar något.

Fördelen med tätskärm är dels att fyllning kan ske direkt i vattnet och inte behöver en lika flack innerslänk.

En tätvall behöver en flackare stabil slänk vilket först kräver en utfyllnad med sprängsten, sedan anläggande av filter och tätfyllning i torrhet samt att finsedimenten även måste muddras både för alternativ 1 och 3.

Sträcka 2

Sträcka 2 utmed den västra sidan av Skvampen delas in i tre delsträckor.

Utmed sträcka 2a är förutsättningarna desamma som för sträcka 1, men något mindre vattendjup och mäktighet hos sedimenten.

Sträcka 2b utgörs av befintlig hamnplan. Utmed denna sträcka är det möjligt att anlägga både tätvall och tätskärm. Vattendjupet är ca 1-2 meter och mäktigheten hos finsedimenten 1-2 m. För en tätskärm kan den befintliga marken användas. Det råder viss oklarhet vilken typ av massor detta område är fyllt med eftersom de verkar ha högre genomsläpplighet än övriga fyllda massor. Om det är större inslag av sprängsten och block kan det begränsa vilken typ av tätskärm som kan användas. Eftersom det är grundare utmed denna sträcka innebär det att utfyllnad för sprängsten (bortschaktning av delar av hamnplan ses inte som något alternativ) och tätvallen i sig tar upp mindre volym.

Sträcka 2c utgörs av ny vall/väg av sprängsten genom inre Skvampen. Eftersom bortschaktning av redan fyllda massor och underliggande sediment (ca 4-5 m mäktighet) inte är ett alternativ innebär det att tätskärm är det enda alternativet. I detta fall måste utfyllnaden göras på de befintliga sedimenten vilket innebär att det måste säkerställas att fyllnaden inte i senare skede sätter sig och påverkar tätskärmens funktion. Någon typ av förbelastning kan vara lämplig att använda.

Sträcka 3

Utmed sträcka 3 i norra delen av inre Skvampen och dess östra sida (sträcka 4a) finns stort inslag av redan fyllda massor ut i området vilket ger en oregelbunden

strandlinje. Med hänsyn till detta och då bortschaktning av redan fyllda massor inte är lämpligt är huvudalternativet att anlägga en tätskärm i markområdet där marken utgörs av sedan tidigare fyllda sandiga massor (se figur 22). Förutsättningarna att anlägga tätskärm i dessa bedöms som goda.

Sträcka 4

Sträcka 4 utmed den östra sidan av Skvampen delas in i tre delsträckor.

Utmed sträcka 4a är förutsättningarna desamma som för sträcka 3.

Utmed sträcka 4b är det möjligt att anlägga både tätvall och tätskärm. Vattendjupet är ca 1-2 meter och mäktigheten hos finsedimenten 1-2 m. För en tätskärm kan den befintliga marken användas. Förutsättningarna att anlägga tätskärm bedöms som goda då marken utgörs av fyllda sandiga massor. Eftersom det är grundare utmed denna sträcka innebär det att utfyllnad för sprängsten (bortschaktning av befintlig mark kan också vara ett alternativ för att anlägga en flack slänt) och tätvallen i sig tar upp mindre volym.

Sträcka 4c går rakt igenom markområdet med fyllda sandiga massor. Att dra sträckningen inåt "Skvampen" och sedan utåt igenom skulle innebära en betydligt längre sträcka och därmed högre kostnad oavsett alternativ. Att anlägga en tätvall utmed denna sträcka skulle kräva mycket omfattande schaktarbeten för att först skapa en stor grav där vallen kan anläggas. Av denna anledning är tätskärm det bästa alternativet. Förutsättningarna att anlägga tätskärm bedöms som goda.

7. Diskussion och slutsatser

Utredningen har visat att en viktig förutsättning av vilka alternativ för utfyllnad inom Skvampen som är möjliga är framtida förändring av land- och havsnivåer. Medan landhöjningen sker successivt ungefär 0,83 m mellan perioden 2013 till 2100, beror förändring av havsnivån hur klimatet kommer att förändras. Eftersom detta även beror på klimatpolitiska beslut finns följaktligen en stor osäkerhet vilket av scenarierna som är det mest troliga. För denna utredning har de klimatscenarier med minst förändring, och därtill förändring i det nedre troliga intervallet, använts vilket ger en ökning ca 0,24 m mellan år 2013 till 2100. Detta leder i sin tur till den största nettoskillnaden mot landhöjningen med en ändring på ca 0,6 m jämfört med idag. Genom att utgå från detta tas det redan nu höjd för hur framtida förändringar vilka i värsta fall kan komma att påverka havs- och grundvattennivåer.

Utgående från framtida förändring av land- och havsnivåer kan det konstateras att enbart alternativ 1 (fyllning till +/- 0 och muddring i mellan/yttre Skvampen) och 3 (fyllning till +1 utan muddring) är möjliga, där en grundvattennivå över de utfyllda suldfhaltiga massorna kan säkerställas.

Preliminär beräkning av utflödet från området genom en tätvall och tätskärm visar på mycket låga flöden. Ett lågt utflöde kommer att leda till stigande nivåer upp mot markytan såvida infiltration av avrinning begränsas eller vattnet har möjlighet att strömma ut över tätskärm/tätvall. Vattenbalanser över området vilka har beräknats för ett antal olika scenarier med genomsnittliga år och torrår avseende avrinning, visar att en tätskärm inte kommer att leda till någon avsänkning av grundvattennivån inom utfyllnaden. Nivån kommer antingen att stiga upp mot markytan eller ligga stabilt i det fall infiltrationen i området kraftigt begränsas, vilket även för torrår. För en tätvall med något högre genomsläpplighet blir andelen av ytan där infiltrationen begränsas viktigt för att inte leda till en successiv minskning och en grundvattennivå under lägsta på +1 (år 2100 med säkerhetsmarginal på minst 0,5 m över sulfidmassorna). I detta fall krävs att avrinningen från minst 50 % av ytan har möjlighet att infiltrera och bilda grundvatten för att grundvattennivån vid torrår inte ska sänkas av för mycket.

Genom att använda en lägsta grundvattennivå på minst 0,5 meter över nivån för de sulfidhaltiga massorna fås en extra säkerhet både avseende osäkerheter i beräkningar samt förändringar på längre sikt än 100 år.

Frekvensen hos mycket låga vattenstånd lägre än ca -0,5 och 1 m under medelvattenståndet förekommer mycket sällan i genomsnitt mindre än 1 respektive 0,01 % av tiden under ett år. Eftersom varaktigheten samtidigt är mycket kort, mindre än ett dygn, innebär det att dessa låga nivåer enbart kommer att medföra försumbara förändringar av grundvattennivåerna inom planerad utfyllnad.

Utförande av en tätande konstruktion för att varaktigt åstadkomma en förhöjd grundvattenyta över de sulfidhaltiga massorna görs lämpligen som en tätvall eller en tätskärm. Medan det för en tätvall i princip bara finns en möjlig utformning i detta fall (stödfyllning av berg, filter, tätjordfyllning av ex. morän och erosionsskydd) finns det ett antal olika utformningar för en tätskärm där de mest frekvent använda och lämpliga är tätspont och slurryvägg. De platsspecifika förutsättningarna vid val av tätande konstruktion (tätvall kontra tätskärm) eller typ av tätskärm är flera. Eftersom den befintliga informationen i vissa fall är begränsad, exempelvis avseende de geotekniska förhållandena i delar av området, är valet av metod inte helt självskriven. Sammantaget görs ändå bedömningen att en tätskärm är det bästa alternativet. Det invänt hänsyn till faktisk anläggande, exempelvis att byggnation av en tätvall högst troligen måste ske i torrhet med stora djup i yttre Skvampen samt att en tätskärm utmed stora delar av sträckan kan installeras från befintlig markyta. En tätskräm kräver även mindre fyllning innanför bergvallar. En annan viktig faktor är att schaktning undviks i inre Svampen där det redan finns utfyllda och deponerade massor av olika slag.

Förutsättningarna för anläggande är goda i stora delar av området där marken utgörs av fylld sand. En osäkerhetsfaktor är västra delen av inre Skvampen där en ny bergvall anlagts och det förekommer fyllda massor på finsediment. För att undvika sättningar i den fyllning från vilken tätskrämen anläggs kan exempelvis förbelastning av fyllningen vara nödvändig. Vilken typ av tätskärm som är lämpligast kan avgöras först efter utförande av kompletterande geotekniska undersökningar och mer noggrann genomgång av förutsättningarna.

En stor fördel med en tätskärm är att markanvändningen på ytan (exempelvis byggnader, hårdgjorda ytor och liknande) inte behöver begränsas i lika stor utsträckning, eftersom det räcker med en mycket liten infiltration från avrinning för att grundvattennivån inte ska sjunka enligt utförd vattenbalans. Däremot måste det säkerställas att utflöde kan ske över tätskrämen, främst i södra delen vid yttre Skvampen, för att undvika att grundvattenytan stiger upp till markytan vilket kan påverka bärighet och stabilitet för anläggningar på markytan.

Vilket av alternativ 1 och 3 som är det mest lämpliga måste även utredas ytterligare. Alternativ 3 med något högre fyllhöjd hos de sulfidhaltiga massorna kräver enbart ca 1 meter högre tätskräm samtidigt som muddring inte behövs i mellan och yttre Skvampen. Muddring behöver dock utföras där den nya kajen/bergvallen ska anläggas i yttre Skvampen och troligen 5 – 10 meter innanför denna där utfyllnad behöver ske på insidan för att kunna anlägga en tätskärm.

8. Rekommendationer

En viktig förutsättning för fortsatt utredning och vilken typ av tätande konstruktion som är mest lämplig och hur/var denna ska anläggas, är kompletterande geotekniska undersökningar av marken runt Skvampen inklusive befintliga vägar/vallar. Vid denna typ av tekniskt komplicerade arbeten som förväntas kan det vara en fördel att i tidigt skede även föra diskussioner med entreprenörer med erfarenhet av de metoder som är mest troliga för att fånga upp olika frågeställningar.

Kompletterande beräkningar av genomströmning behöver utföras för de nya sektionerna för tätskärm och tätvall. Det innefattar även känslighetsanalys av exempelvis vilket djup som om det är nödvändigt att anlägga dessa.

För att kunna förbättra noggrannheten i utförda genomströmningsberäkningar och vattenbalanser och minska osäkerheten för olika parametrar behöver kompletterande hydrogeologiska undersökningar utföras vilka innefattar:

- Installera grundvattenrör i de naturliga landformationerna som finns rakt norr om och öster om området för utfyllnaden i inre Skvampen.
- Utföra permeabilitetstester (slug-test) i grundvattenrör inom de olika sektionerna.

9. Referenser

- 1) Rambøll, 02.6.2 PM Geoteknik - Malmporten i Luleå, 2014-05-31
- 2) SMHI, S Nerheim, Dimensionerande havsnivåer Luleå södra hamn, 2013-05-03
- 3) SMHI, M Andersson, Frekvens och havsvattenstånd i Luleå
- 4) IPCC, The A.R (Assessment Report) 5, WG1 (Working Group 1), 2013
- 5) Rambøll, 02.6.6 Grundvattennivåer och utströmning från utfyllnad i Skvampen, 2015-09-25
- 6) Luleå hamn, 02.9.2 PM masshantering. Ritning 02.9.10 Volymberäkning fyll. Ritning 02.9.11 Urgrävning lösa sediment, Skvampens djuphamn. 2015