

LULEÅ HAMN

PORT OF LULEÅ · SWEDEN

02.6.6 PM Utredning av grundvattennivåer och utströmning från utfyllnad i Skvampen Malmporten Luleå



Samfinansierat av EU
Transeuropeiska transportnätet (TEN-T)

Dokumenttitel: Utredning av grundvattennivåer och utströmning från utfyllnad i Skvampen

Dokumentdatum: 2015-09-10

Version: 2.0

Datum för senaste version: 2015-09-25

Organisation:

Upprättad av: Klas Strömberg, Hans Häggström, Ramböll Sverige AB

Uppdragsansvarig: Peter Lindkvist

Teknikansvarig: Peter Lindkvist

Luleå hamn AB

Projektledare: Linda Wikman

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

Grundvattennivåer och utströmning från utfyllnad i
Skvampen

Luleå kommun

Malmporten i Luleå, hydrogeologisk utredning

Version 2.0

Boden 2015-09-25

Malimporten i Luleå, hydrogeologisk utredning

Grundvattennivåer och utströmning från utfyllnad i Skvampen

Datum	2015-09-25
Uppdragsnummer	1320004956
Utgåva/Status	Version 2.0

Peter Lindkvist
Uppdragsledare

Klas Strömberg
Hans Häggström
Handläggare

Peter Lindkvist
Björn Winnerstam
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

Innehållsförteckning

1.	Uppdrag	2
2.	Syfte	2
3.	Objekt	2
4.	Befintliga förhållanden och förutsättningar	3
4.1	Topografi och markbeskaffenhet	3
4.2	Havsnivå.....	4
4.3	Hydrologi och grundvattenbildning	4
4.4	Grundvattennivåer	6
4.4.1	Allmänna förutsättningar	6
4.4.2	Uppmätta grundvattennivåer	6
5.	Beräkningar grundvattennivåer och utströmning.....	10
5.1	Omfattning	10
5.2	Genomströmningsberäkningar	11
5.2.1	Allmänt	11
5.2.2	Beräkningssektioner	11
5.2.3	Randvillkor	14
5.2.4	Materialparametrar	14
5.2.5	Resultat	15
5.3	Utströmning och förändring av grundvattennivå.....	15
5.3.1	Beräkningar för grundfall	15
5.3.2	Beräkningar för känslighetsfall	19
5.3.3	Vattenbalans	20
6.	Diskussion och slutsatser	26
7.	Rekommendationer	28
8.	Bilagor	29
9.	Referenser	30

1. Uppdrag

På uppdrag av Luleå Hamn har Ramböll Sverige AB utfört en översiktlig hydrogeologisk utredning av grundvattennivåer och utströmning av grundvatten för planerade utfyllnad av muddermassor i inre Skvampen samt tagit fram rekommendationer för fortsatt utredning. Utredning ligger till grund för fortsatta undersökningar och studier av aktuella alternativ.

2. Syfte

Syftet med utredning har varit att göra en inledande utredning över vilka grundvattennivåer som kan komma att inställa sig i den planerade utfyllnaden av muddermassor i inre Skvampen för att säkerställa att de alltid ligger under grundvattenytan och på så sätt undvika oxidation av svavel i massorna. Utredningen har även studerat utströmning och tänkbara strömningsvägar från utfyllnaden, vilka åtgärder som kan krävas för att säkerställa en förhöjd grundvattenyta samt rekommendationer till fortsatta hydrogeologiska undersökningar och utredning.

3. Objekt

I samband med den planerade muddringen av farleden in mot Luleå hamn beräknas ungefär 530 000 m³ bottensediment uppkomma vilka innehåller förhöjda halter av svavel, TBT, PCB och PAH. Sedimenten är av sandig siltig karaktär. Det primära vid hantering och utfyllnad av dessa massor är att deponera dem så att de är placerade under grundvattenytan för att på så sätt undvika oxidation av svavlet i massorna vilket annars kan leda bildade av surt lakvatten.

Massorna för utfyllnad i första hand inom inre Skvampen (Figur 1). Området öster om SSAB:s fastighetsgräns är ca 550x320 meter dvs. totalt ca 170 000 m² varav det är möjligt att fylla inom ca 145 000 m² med hänsyn redan utfyllda massor i delar av området. Muddermassor planeras även att fyllas ut i mellan och yttre Skvampen (härefter benämnda yttre Skvampen) innanför en ny vall för att bygga ut hamnområdet. Det kan även komma att innefatta sulfidhaltiga massor.

Området runt Skvampen utgörs idag av industriområde där bland annat SSAB har sitt kollager. 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.

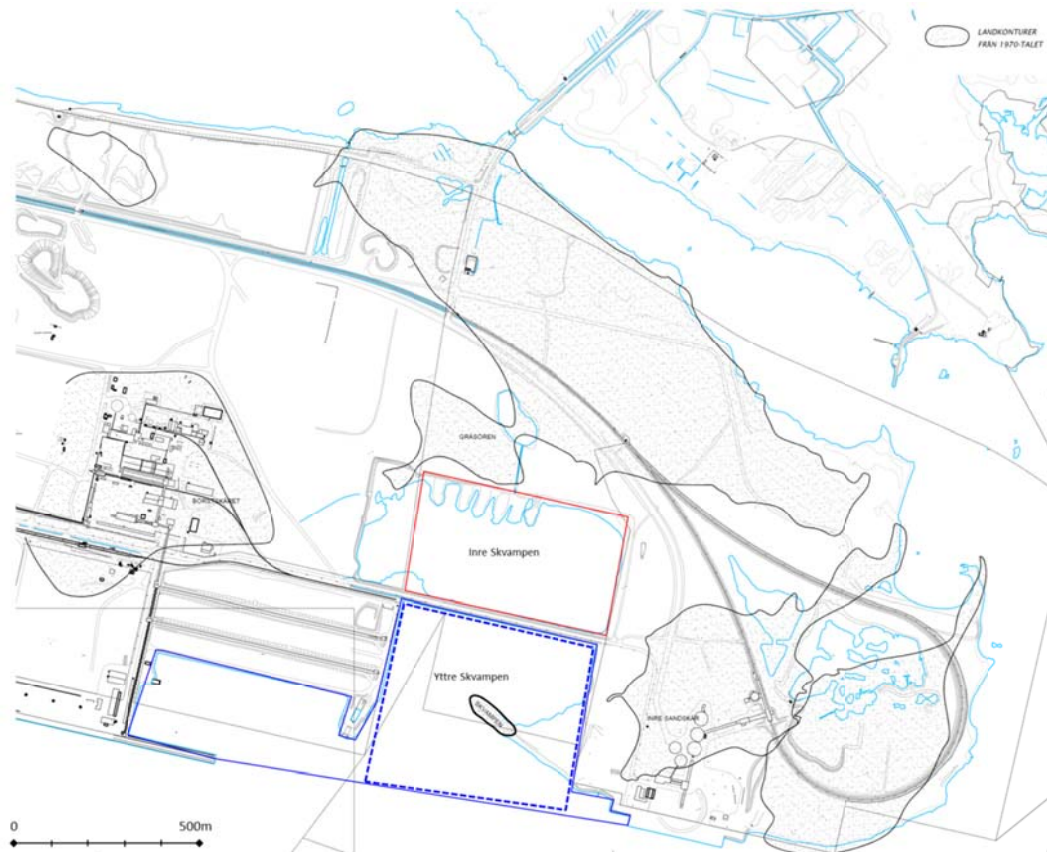
4. Befintliga förhållanden och förutsättningar

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 moränöar (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 område för utfyllnad av sulfidhaltiga massor inom inre Skvampen markerat med röd linje (öster om SSAB:s fastighet) och övriga muddermassor inom yttre Skvampen (blå linje), där alternativ även finns att fylla ut med sulfidhaltiga massor inom delar av yttre området (blåstreckat).



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

Vattendjupen i Inre Skvampen är till största delen under 1 m med botten huvudsakligen på +0 till -1 m över havet. I Yttre Skvampen ligger vattendjupen på mellan 0 och upp till mer än 10 m ute vid kajlinjen.

4.2 Havsnivå

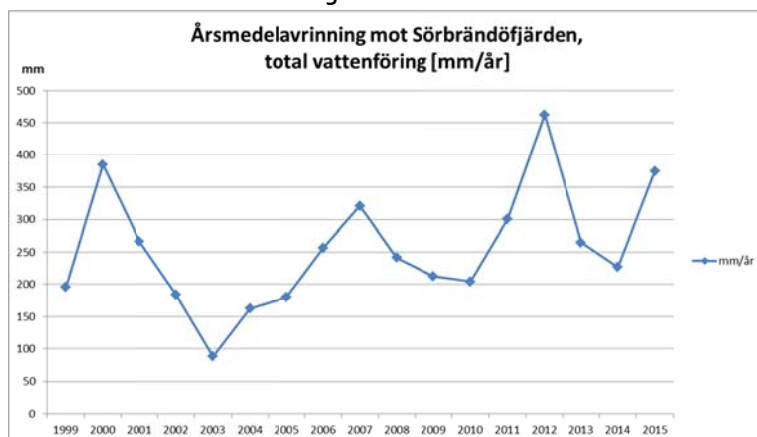
Medelvattennivån i Luleå hamn ligger på +0,10 m (RH2000) enligt uppgifter från Sjöfartsverket. Högsta högvatten (HHW) uppgår till +1,74 m och lägsta lågvatten (LLW) till -1,28 m enligt beräkningar utförda av SMHI [ref 2]. Medelvattennivån förväntas på sikt öka till ca +0,23 m år 2100 [ref 2]. Vindhastighet, vindriktning och lufttryck är de faktorer som framför allt styr havsnivån.

4.3 Hydrologi och grundvattenbildning

Genomsnittliga årsnederbörden i Luleå (station Luleå flygplats och Luleå Bergnäset) är enligt SMHI:s öppna data ca 550 mm. Den årliga genomsnittliga avdunstningen ligger enligt SMHI på ca 350 mm vilket innebär en genomsnittlig nettonederbörd på i storleksordningen 200 mm per år. Genom användning av lokal avrinningsdata kan även årstidsvariationer under det hydrologiska året fångas upp. Dessa variationer kan vara av intresse då de kan påverka andelen av den totala avrinningen som bildar grundvatten.

I detta fall har data från SMHI:s Vattenweb används där avrinningsdata för olika områden ungefärligt beräknas med S-Hype modell utgående från uppmätt data från närliggande mätstationer. Ett närliggande lite större flackt område (delavrinningsområde 41827, avrinning mot Sörbrändöfjärden, 7,3 km²) ett par kilometer nordöst om Luleå hamn har används som underlag, eftersom data för än mindre områden normalt sett inte är lika representativ för låg- och höglödesperioder. Det valda området utgörs även av naturmark utan exempelvis bebyggelse vilket ger bättre opåverkad rådata.

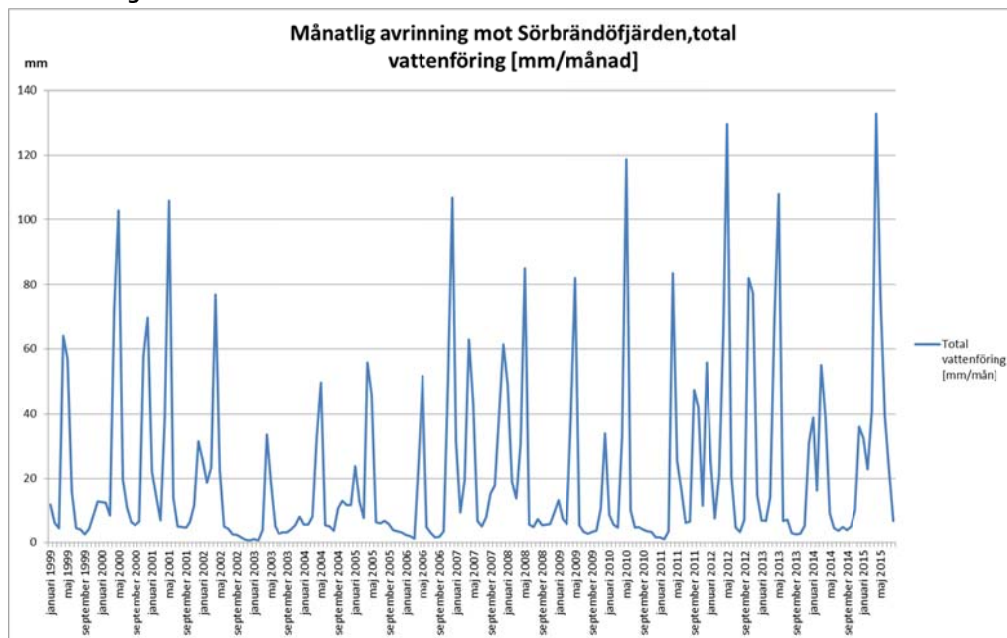
Figur 2. Månatliga avrinning (total vattenföring) omräknad till mm. Datamängden för år 2015 avser data fram till och med augusti.



Den genomsnittliga årsmedelavrinningen uppgår till ca 250 mm. Variationer från år till år för den period data finns tillgänglig visas i figur 2. Av figuren framgår exempelvis att 2003 var ett torrår och där föregående och efterföljande år även hade relativt lite avrinning. Vidare framgår att 2000, 2007 2012 och 2015 var våtår.

Den månatliga avrinningen visas i figur 3. Av figuren framgår exempelvis att vårflo den 2015 både var mycket kraftig och något längre i utsträckning än normalt.

Figur 3. Månatliga avrinning (total vattenföring) omräknad till mm. För 2015 avser data fram till och med augusti.



De befintliga markområdena, inklusive en tänkt framtida utfyllnad, har en relativt plan överyta huvudsakligen belägen på ca +3 m och kringgärdas av hav. Öster om Skvampen inom vändslungan för järnvägsspåret finns ett mindre inneslutet blöt-/våt område.

Nederbörd som faller över markområdena i det aktuella området kommer huvudsakligen att infiltrera (inströmningsområde) och strömma ut vid strandkanten och havet samt blötområdet (utströmningsområde). Eftersom marken huvudsakligen utgörs av genomsläppliga material och en plan yta är det rimligt att anta att i stort sett all avrinning kommer att bilda grundvatten. I detta fall har 90% har ansatts. Förändringar i grundvattennivån av det vatten som infiltrerar beror vidare på markens porositet (porvolym). Den effektiva porositeten hos den typ av sandiga (siltiga) material som huvudsakligen förekommer ligger i storleksordningen ca 30%.

Från ovanstående data kan en ungefärlig grundvattenbildning och ökning av grundvattennivå (förutsätter att ingen utströmning sker) beräknas vilken redovisas i Tabell 1.

Tabell 1. Översiktligt beräknad grundvattenbildning (meter vattenpelare, mvp) och grundvattenökning förutsatt ingen utströmning.

Avrinning	Netto, mm	Grundvatten- bildningsfaktor	Grundvatten- bildning	Porositet	Grundvatten- nivåökning
	<i>mm</i>	%	<i>mvp</i>	%	<i>m</i>
Medelavrinning, år	250	90	0,23	30	0,75
Snitt jan-juli	180	90	0,16	30	1,14
2015 jan-juli	380	90	0,34	30	0,54

Utgående från en total avrinning på 250 mm/år och 0,85-0,9 i grundvattenbildnings-faktor uppgår den totala grundvattenbildningen för ytan inom inre Skvampen till ca 38 000 m³.

4.4 Grundvattennivåer

4.4.1 Allmänna förutsättningar

Inom de aktuella markområdena kan det förväntas att grundvattennivån är något förhöjd över havsytan. En förhöjd grundvattennivå uppkommer till följd av en relativt långsam utströmning av det vatten som infiltrerar och bildar grundvatten 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 kommer vidare göra att grundvattennivåerna över land i högre utsträckning påverkas av förändringar av havsnivån.

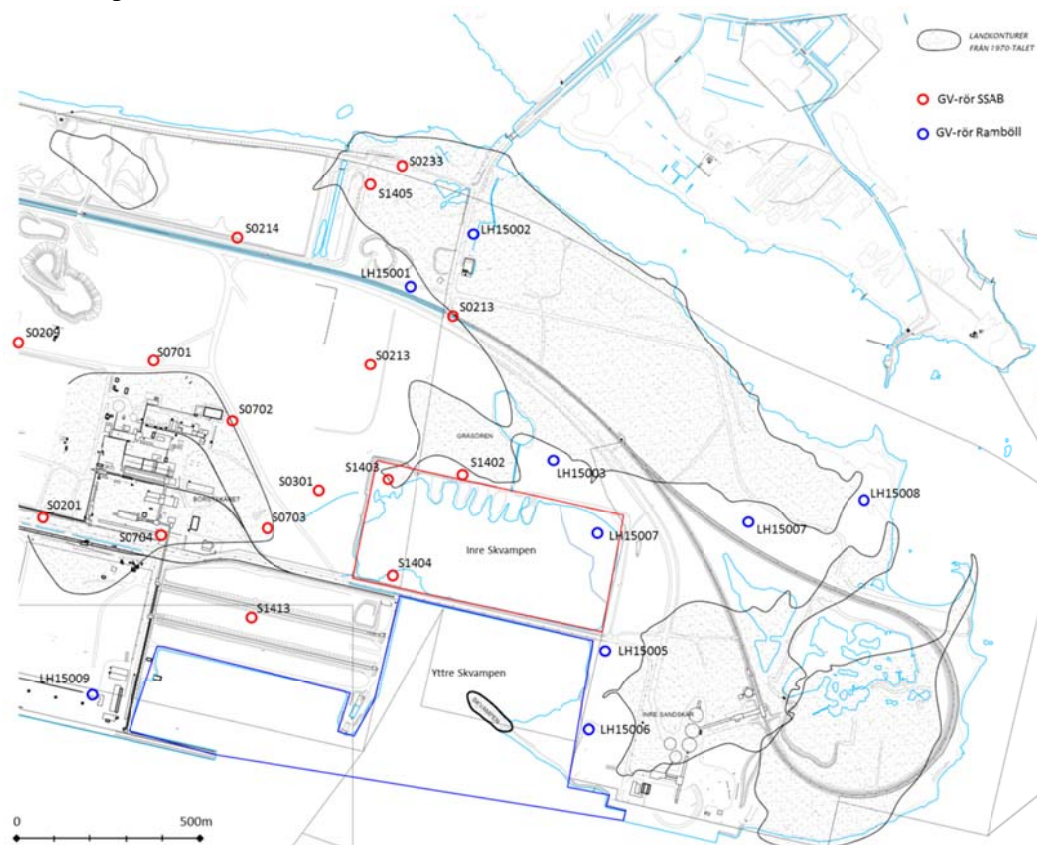
Cykeln för grundvattennivån är att den stiger relativt mycket i samband med vårfloden (mars-maj) för att sedan sjunka under sommaren, öka något under hösten och sedan sjunka igen under vintern till följd av en begränsad grundvattenbildning (nederbörd faller som snö samt att tjäle kan begränsa infiltrationen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

4.4.2 Uppmätta grundvattennivåer

Inom det aktuella området, från Skvampen och väster ut, finns flera grundvattenrör som installerats av SSAB och mätts en till två gånger per år med start 2002, 2003 och 2007 (Figur 4). De rör som ligger närmare Skvampen och som visar användbara data har inkluderats i utvärdering av förändring av nivåer

över tiden. Det omfattar både rör som är placerade inåt land och närmare havet. Ramböll har även under 2015 installerat ett antal nya grundvattenrör framför allt norr och öster om Skvampen för att ge en mer heltäckande bild av området (Figur 4 och Bilaga 1). Från dessa finns än så länge bara resultat från två mätningar i början och slutet av augusti. Placering och beteckning hos de olika rören visas i figur

Figur 4. Översiktskarta grundvattenrör installerade av SSAB och Ramböll och som använts i utvärdering.

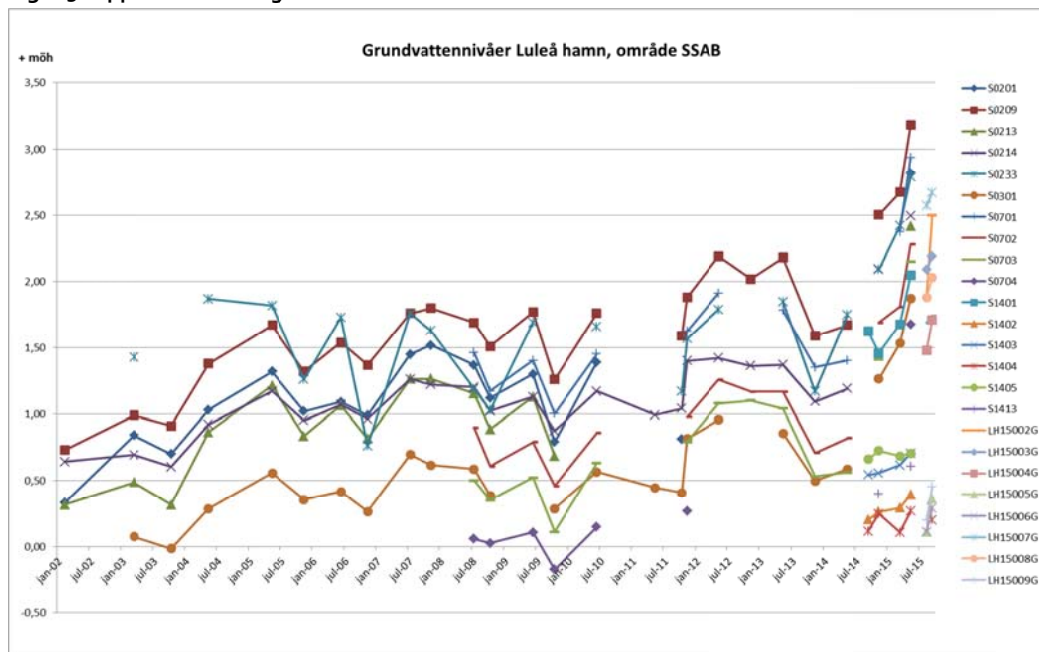


Uppmätta nivåer för samtliga utvalda rör SSAB och de installerade av Ramböll redovisas i figur 5. De ska noteras att linjerna mellan punkterna i flera fall inte representerar direkta förändringar (särskilt 2002-2005), eftersom det mellan punkterna i flera fall inte gjorts mätning under perioder med både förväntade höga och låga nivåer. Linjerna hjälper dock att uttyda förändringar från år till år.

Som framgår av figur 5 uppvisar merparten av rören en säsongsbetonad variation med högst nivåer i slutet av maj och låga nivåer i slutet/början av åren (vintertid). En jämförelse med den årliga avrinningen i figur 2 visar att låga grundvattennivåer generellt har inställt sig då flödena varit låga (främst 2002-2004, men även 2009/2010) och tvärt om att nivåerna varit höga i samband med

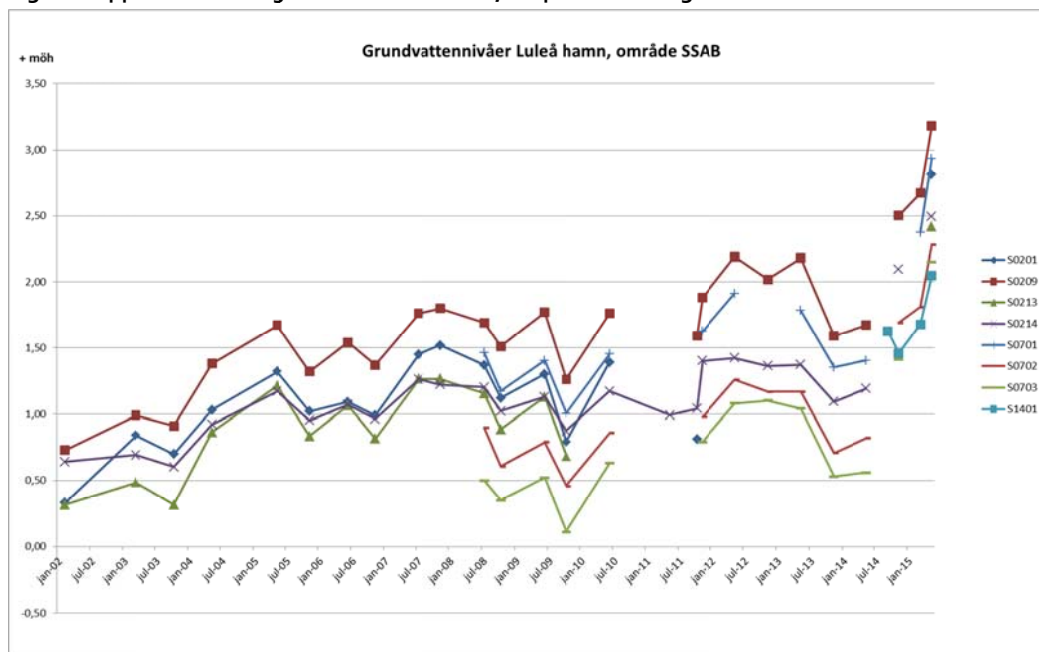
höga flöden (2007, 2012 och 2015). Nivåerna under vårfloden 2015 har varit osedvanligt höga.

Figur 5. Uppmätta nivåer grundvattenrör SSAB.



I figur 6 visas de av SSAB:s rör vilka sitter lite längre (minst 500 meter) från havet och Skvampen och i figur 7 de som sitter närmare dessa vattenområden. Denna uppdelning hjälper att uttyda nivåer och förändringar längre från och närmare vattenområden samt identifiera avvikande områden.

Figur 6. Uppmätta nivåer grundvattenrör SSAB, rör placerade längre inåt land.

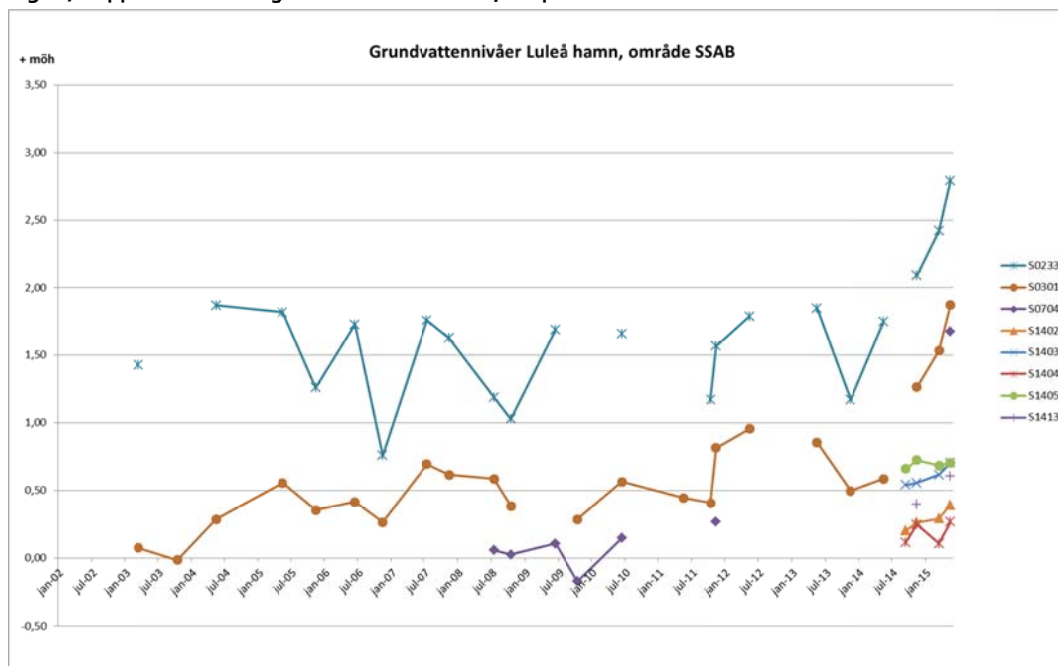


Figur 6 visar först att det är två rör, S0702 och S0703, som avviker tydligt från nivåer hos de övriga rören med en nivå som är minst 0,25 - 0,5 meter lägre. De uppvisar mer en trend som liknar de rör som sitter närmare vattenområdena (ex. S0301). Förmodligen beror de lägre grundvattennivåerna att de utfyllda massorna i detta område är något grövre än i närliggande områden.

Nivån hos övriga rör placerade längre inåt land vilka kan ge en indikation på vilka nivåer som minst kan komma att inställa sig inom planerade utfyllnad i Skvampen, visar på genomsnittliga nivåer mellan +1 till +1,5. Vid en normal vårflood stiger nivåerna ca 0,3-0,5 meter. Denna nivå stämmer väl överens med det beräknade värdet i tabell 1 som anger ca 0,54 meter (utan utströmning). I samband med perioder med kraftiga flöden 2011-2012 och 2015 har nivåerna stigit högre än normalt. Nivåerna under första halvåret 2015 har ökat mellan 1 till 1,5 meter. Dessa värden stämmer också väl överens med de som beräknats i tabell 1. Detta validerar att den konceptuella modell som byggts upp med antagna parametervärden (grundvattenbildningsfaktor och porositet) ger rimliga prognoser.

Under lågflödesperiod sjunker nivån normalt sett ca 0,35 m. Nivån under torrperioden 2002-2003 låg ca 0,75 m under den genomsnittliga nivån och ca 1 meter under nivån efter genomsnittlig vårflood.

Figur 7. Uppmätta nivåer grundvattenrör SSAB, rör placerade närmare vattenområdena.



Från figur 7 framgår att samtliga rör, utom S0233 vilken förmodligen sitter med spets i en tät naturlig jord (sandig siltig morän), visar på en genomsnittlig nivå runt eller lägre än +0,5 m. Liksom de rör som sitter längre inåt land har nivåerna i några fall stigit kraftigt under första halvåret 2015 till följd av de kraftiga vårfloden.

En slutsats från resultatet av uppmätta nivåerna är att området väster om inre och yttre Skvampen i riktning in mot rör S0301 och S0703/0702 och öster om den naturliga landformationen verkar vara betydligt mer genomsläppligt än omkringliggande områden.

5. Beräkningar grundvattennivåer och utströmning

5.1 Omfattning

För att kunna beräkna utströmning och potentiell förändring av grundvattennivån inom utfyllnaden har först genomströmningsberäkningar utförts för ett antal sektioner från utfyllnaden till omkringliggande vattenområdena. Baserat på resultatet har sedan beräkningar av utströmning och teoretisk nivåförändring gjorts för ett antal fall inklusive känslighetsanalys för den beräknade genomströmningen.

Tillvägagångssätt och resultat redovisas i nedanstående avsnitt.

5.2 Genomströmningsberäkningar

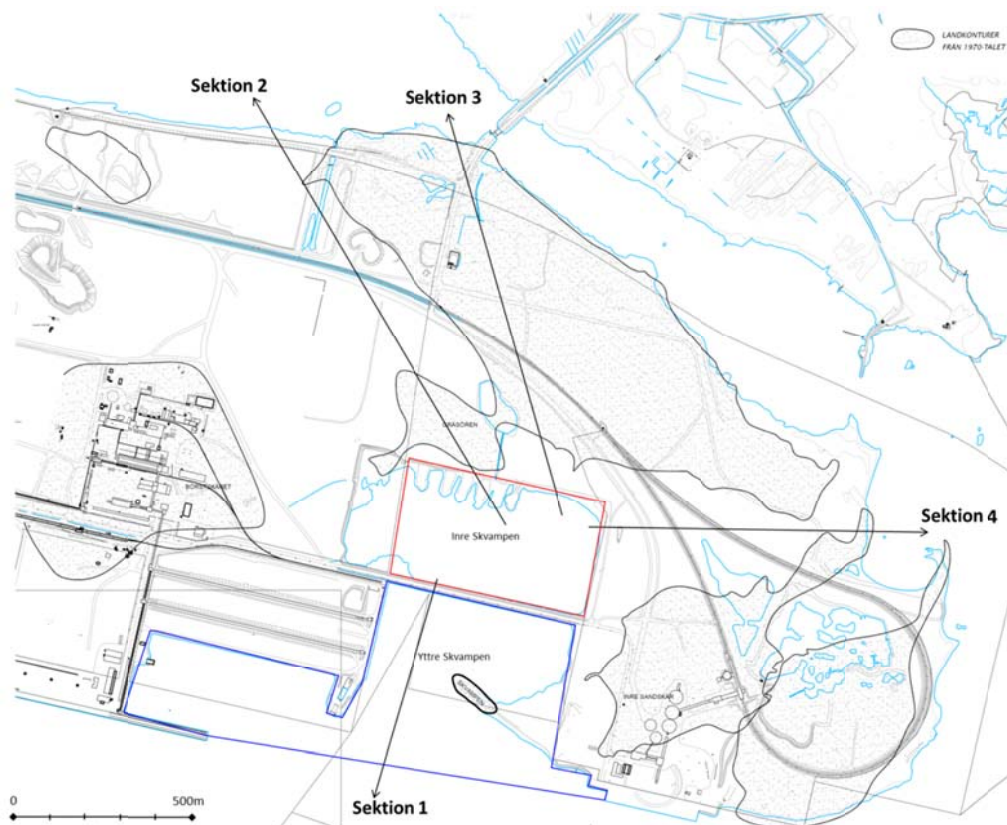
5.2.1 Allmänt

Beräkning av genomströmning har utförts med beräkningsprogrammet GeoStudio 2007. Genomströmningsberäkningar har utförts med applikationen SEEP/W där Steady-State nyttjats.

5.2.2 Beräkningssektioner

Beräkning har utförts för ett antal sektioner (se Figur 8) vilka anses vara representativa för de olika områdena. I valda beräkningssektioner finns data från geotekniska undersökningar och installerade grundvattenståndsror vilka använts som underlag.

Figur 8. Beräkningssektioner för genomströmningsberäkningar.

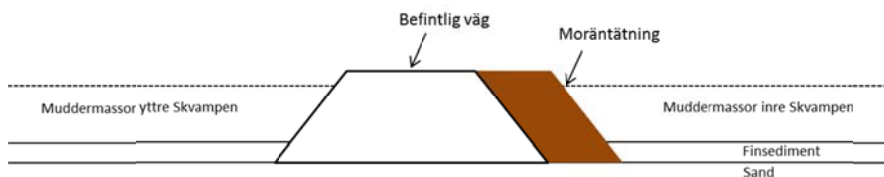


Sektion 1

Sektion 1 går över befintlig väg/vall mellan inre och yttre Skavampen och över den planerade utfyllnaden i yttre Skavampen (utförts enligt föreslagen konstruktion) till havet. Till följd att denna sektion har relativt nära förbindelse med havet, befintlig väg/vall utgörs av genomsläpplig bergfyllning och planerad

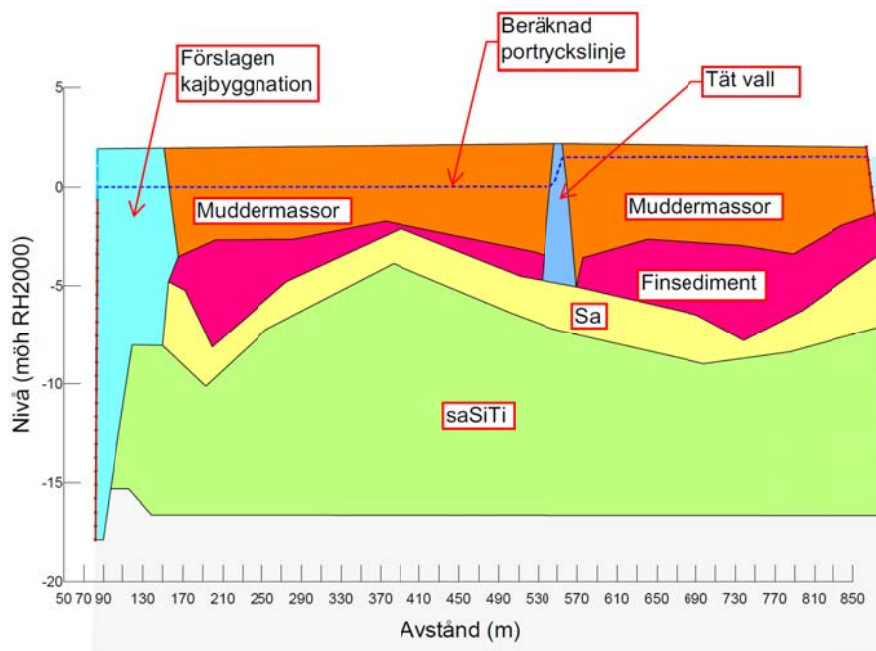
utfyllnad utförs av relativt genomsläppliga sandsediment har beräkningar utförts för två alternativ för att se hur det inverkar på genomströmningen. Ett fall där befintlig väg/vall använts som den är och ett där en tätvall konstrueras utmed denna. Denna tätvall kan ha olika utformningar. Exempelvis kan den utgöras av en tunnare moränvall med mycket låg genomsläpplighet eller bredare moränvall med något högre genomsläpplighet. Andra alternativ med tätspont och lågpermeabel duk är också möjliga. Detta har inte utretts i nuvarande skede utan en avsedd funktion med viss genomströmning har istället antagits. En konceptuell skiss på utformning av en tätvall med morän visas i Figur 9.

Figur 9. Konceptuell utformning av tätvall med moräntätning uppströms befintlig väg som utgör stödfyllning.



Sektion 1 visas i figur 10.

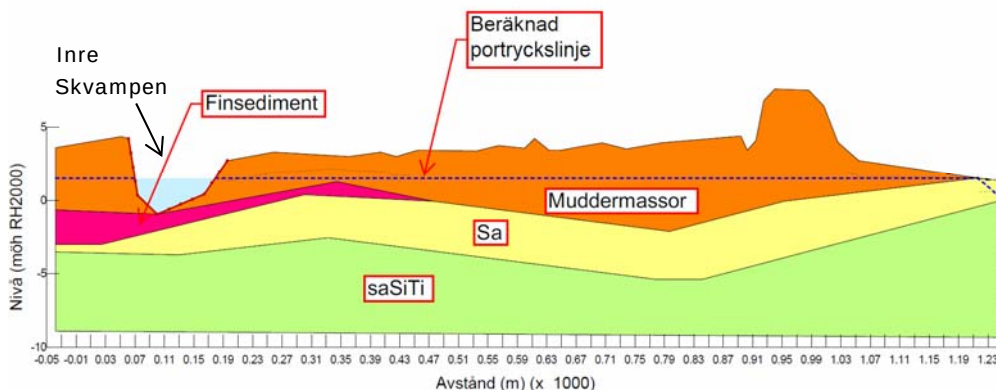
Figur 10. Sektion 1 med tätvall och beräknad portryckslinje för genomströmningsfall 1. Planerad utfyllnad till höger i bild.



Sektion 2

Denna beräkningssektion vilken går mot nordväst utgörs till största del av utfyllnads massor (sandiga sediment) från tidigare gjorda muddringar. Inget avvikande för detta område har noterats i installerade grundvattenrör. Sektion 2 visas i figur 11.

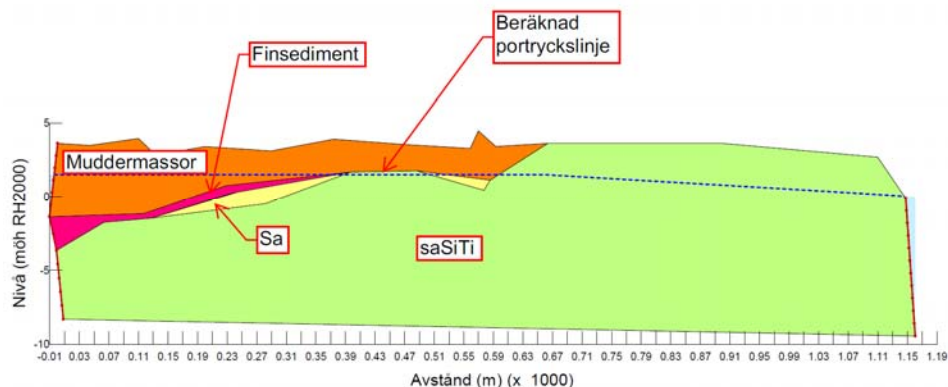
Figur 11. Sektion 2 med tätvall och beräknad portryckslinje för genomströmningsfall 2. Planerad utfyllnad till väster i bild inom "vattenområdet".



Sektion 3

Beräkningssektion 3 vilken går norrut ut från det planerade området för utfyllnaden utgörs till största av naturliga sandiga siltiga massor med lägre genomsläpplighet. Uppmätta grundvattennivåer inom detta område visar på relativt höga nivåer även mot utkanten vilket indikerar att massorna har en låg genomsläpplighet. Sektion 3 visas i figur 12.

Figur 12. Sektion 3 med tätvall och beräknad portryckslinje för genomströmningsfall 2. Planerad utfyllnad längst till väster i bild.

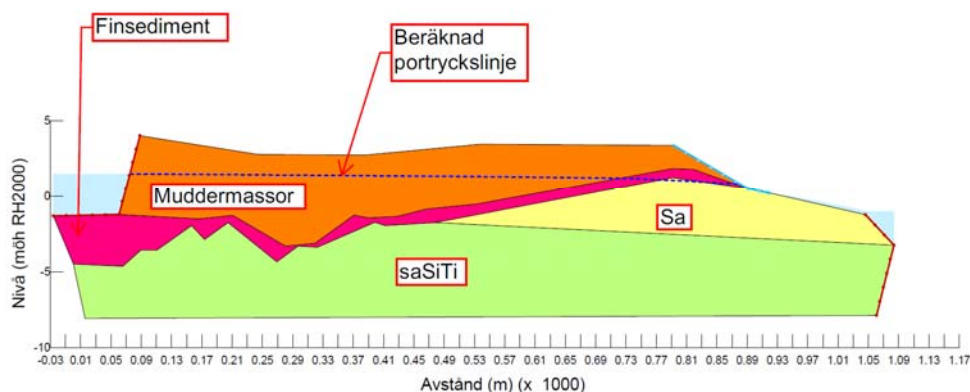


Sektion 4

Denna beräkningssektion utgörs till största del av utfyllda massor (sandiga sediment) från tidigare gjorda muddringar men under dessa delvis även naturligt förekommande sandiga sediment. Avståndet till området vid vändslingan för järnvägen där vatten/våtmarksområden förekommer är något kortare än där beräkningssektionen ligger. Området mellan utfyllnaden och denna del av området utgörs dock till större del av naturligt förekommande sandiga sediment vilka har

en något lägre genomsläpplighet än de utfyllda varför resultatet från beräkningssektionen kan representera hela området. Sektion 4 visas i figur 13.

Figur 13. Sektion 4 med tätvall och beräknad portryckslinje för genomströmningsfall 1. Planerad utfyllnad till höger i bild inom "vattenområdet".



Resultatet för sektion 4 används även för områden väster om sektion 1 (avståndet till havet/vattenområdet är ungefär detsamma). Detta område utgörs delvis av befintlig utfyllnad och planerad utfyllnad för muddermassor (sandiga sediment). Uppmätta grundvattennivåer indikerar att den befintliga utfyllnaden har något längre nivåer än hos motsvarande rör på samma avstånd från havet i andra delar av hamnområdet. Det innebär att någon form av åtgärd kan vara nödvändigt att utföra för att uppnå en funktionsnivå med samma utströmning som beräknats för sektion 4.

5.2.3

Randvillkor

Två olika grundvattensituationer har beräknats för att erhålla vilka troliga flöden som kan tänkas uppkomma i de olika beräkningssektionerna. För utfyllnaden i inre Skvampen har en normal högsta nivå (nivån efter vårflood) hos grundvattennivå satts till +1,5 meter utgående från uppmätta resultat i befintliga grundvattenrör vilka befinner sig längst från havet. Nivån i havet har satts till +/- 0 m i genomströmningsfall 1. Detta fall är styrande för utströmning och förändring av grundvattennivåer över längre tidsperioder (månader till år). I genomströmningsfall 2 har nivån i havet satts till -1 m vilket högst troligen enbart kommer att inträffa kortare tidsperioder (timmar till dygn).

5.2.4

Materialparametrar

Eftersom inga resultat från permeabilitetstester i fält finns för de installerade grundvattenrören i området har erfarenhetsvärden [ref: 3] ansatts för de material som förekommer (tabell 2).

Tabell 2. Ansatta hydraulisk konduktivitet för de olika typerna av förekommande material.

Material	Bulk hydrauliska konduktivitet (m/s) (x,y-led)
Sandig silt/siltig morän	1×10^{-9}
Naturligt lagrad sand	1×10^{-6}
Finsediment	1×10^{-9}
Utfylld sand	5×10^{-4}
Sprängsten	5×10^{-1}
Tätvall	1×10^{-7}

5.2.5 Resultat

Resultatet av beräkningarna för genomströmningsfall 1 och 2 redovisas i tabell 3, med befintlig väg och tätvall i sektion 1. Som framgår är skillnaden mellan fall 1 och 2 mycket liten vilket framför allt beror på att merparten av avsänkningen av porttryckslinjen sker i slutet av sektionen närmast havet. Skillnaden om en tätvall anläggs utmed vägen i sektion 1 minskar utströmningen med en faktor 25.

Tabell 3. Resultat genomströmningsberäkningar för fall 1 och 2 med befintlig väg respektive tätvall i sektion 1.

Sektion	Fall 1	Fall 2
	$m^3/s, m$	$m^3/s, m$
1 väg	5×10^{-6}	5×10^{-6}
1 tätvall	2×10^{-7}	2×10^{-7}
2	7×10^{-8}	7×10^{-8}
3	4×10^{-11}	4×10^{-11}
4	9×10^{-7}	9×10^{-7}

5.3 Utströmning och förändring av grundvattennivå

5.3.1 Beräkningar för grundfall

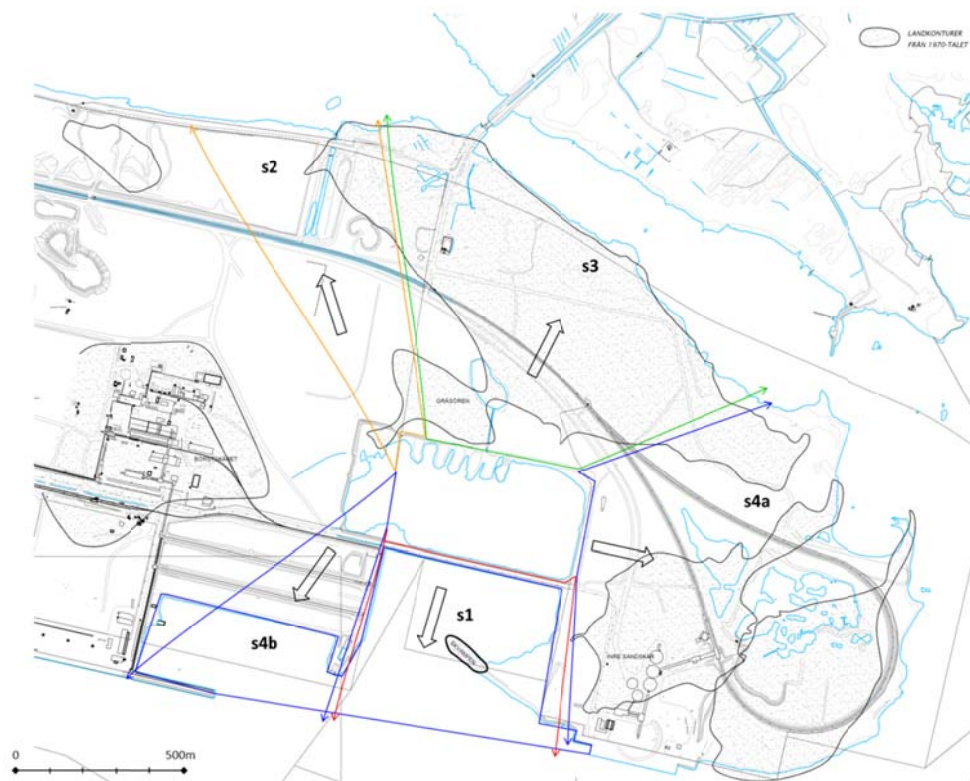
Förutsättningarna för att en förhöjd grundvattenyta ska inställa inom området i inre Skvampen, åtminstone lika hög som mätts upp i de inre delarna av befintliga markområden, är goda förutsatt att åtgärder vidtas för att begränsa utströmningen längs vissa sektioner. Detta gäller främst sektion 1 enligt redovisat i föregående avsnitt.

Utgångspunkten för samtliga beräkningar är att grundvattennivån inom utfyllnaden befinner sig på normal högsta nivå +1,5 meter vilket inträffar i slutet av vårfloden maj/juni.

Utgående från förutsättningarna i området vid inre Skvampen har först en konceptuell utströmningsmodell satts upp vilken använts för att beräkna storleken på utströmningen utgående från resultatet för genomströmningsfall 1 (+1,5 inom

Skvampen och +0 i havet). Utflödet av grundvatten antas grovt ske uppdelat från de olika delarna/sidorna hos området enligt figur 14.

Figur 14. Fördelning av utströmning från utfyllnad inom inre Skvampen, utgångsfall.



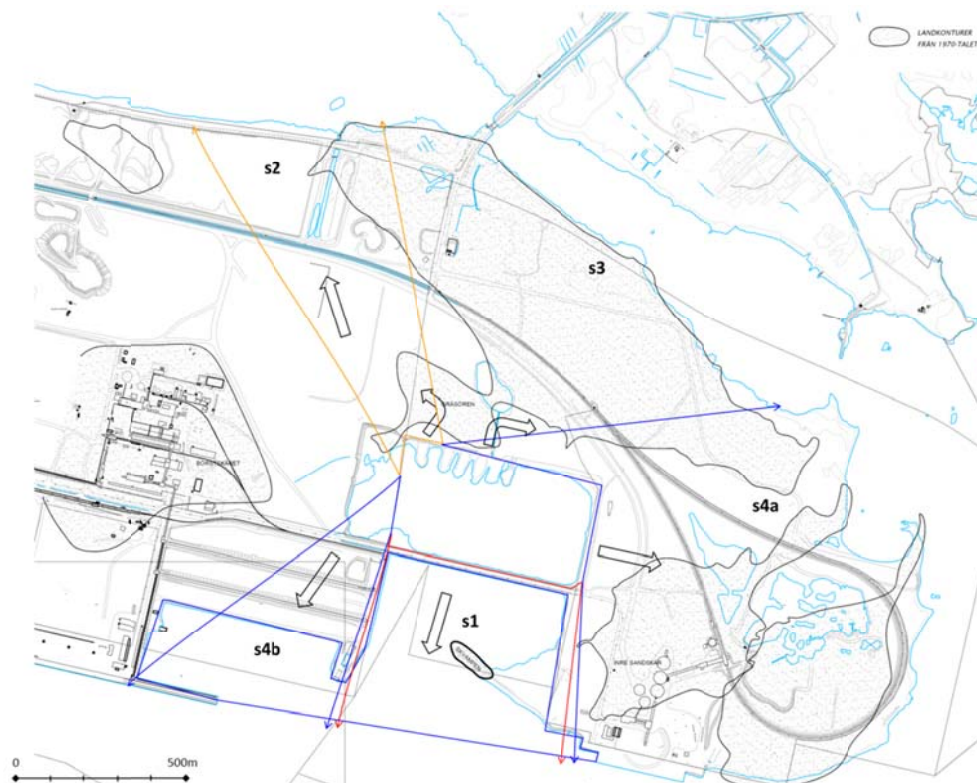
Resultatet av beräkningarna redovisas i tabell 4 tillsammans med längden hos de olika sektionerna. Som framgår sker utströmning främst genom sektion 1, 2, 4a och 4b. Utströmningen genom sektion 3 är i stort sett försumbar även om sträckan i utfyllnaden från vilken utströmning sker är förhållandevis bred (ca 440 meter). Eftersom grundvattnet huvudsakligen kommer att strömma genom de områden som har högre genomsläpplighet innebär det att vatten som strömmar ut från den norra delen av utfyllnaden högst troligen kommer att ske i riktning mot sektion 2 och sektion 4a. Beräknat utflöde i utgångsfallet underskattar således utströmningen i den norra delen av utfyllnaden.

Tabell 4. Utgångsfall; beräknat utflöde för genomströmningsfall 1 med tätvall i sektion 1

Sektion	Beräknad utströmning	Längd sektion	Utflöde	Fördelning
	$m^3/s, m$	m	l/s	%
1	2×10^{-7}	650	0,13	21
2	7×10^{-8}	200	0,014	2
3	4×10^{-10}	440	0,000176	0,03
4a	9×10^{-7}	360	0,324	53
4b	9×10^{-7}	160	0,144	24
Totalt			0,612	

I figur 15 redovisas en reviderad konceptuell modell över hur utströmningen av vatten troligen kommer att ske. Exakt var vattendelaren går utmed sträcken är inte helt klart men troligen ligger den i området strax norr om utfyllnaden där den naturliga landformationen (Gräsören) är belägen, med hänsyn till att de naturliga jordlagren norröver har en lägre genomsläplighet än områdena mot nordväst och österut (utfyllnadsmassor).

Figur 15. Basfall med korrigerad fördelning av utströmning från utfyllnad sektion 2, 3 och 4a inom inre Skvampen.



Resultatet av utflöde, fördelning samt beräknad avsänkning per månad redovisas i tabell 5. Beräknad avsänkningen förutsätter att ingen grundvattenbildning sker

samt att gradienten och utströmningshastigheten är konstant under hela tiden. Det senare är rimligt vid små förändringar av grundvattennivån men vid större, ex. om nivån sänks med ett par decimeter från +1,5 m kommer utströmningen att minska något.

Den totala avsänkningen under 6 månader (motsvarar en årlig genomsnittlig torrperiod) uppgår till ca 0,25 m under konstanta förhållanden. Denna avsänkning stämmer bra överens, även om den är något låg, med de avsänkningar som uppmätts i befintliga grundvattenrör i området vilka visar på en avsänkning på ca 0,3-0,4 m under ett halvårs torrperiod. Avsänkningen kan dock förväntas vara något lägre eftersom en tätvall återfinns utmed delar av området (sektion 1) vilket inte finns runt de befintliga grundvattenrören.

Tabell 5. Basfall; beräknat utflöde och avsänkning per månad för genomströmningsfall 1 (grundvattenyta +1,5 utfyllnad och +/- o i havet) med korrigerad fördelning och tätvall i sektion 1.

Sektion	Beräknad utströmning	Längd sektion	Utflöde	Fördelning	Utflöde	Avsänkn -ing	Avsänkn -ing
	<i>m³/s, m</i>	<i>M</i>	<i>l/s</i>	%	<i>m³/mån</i>	<i>mvp/mån</i>	<i>m/mån</i>
1	2x10 ⁻⁷	650	0,13	13			
2	7x10 ⁻⁸	240	0,0168	2			
3	4x10 ⁻¹¹		0	0			
4a	9x10 ⁻⁷	760	0,684	70			
4b	9x10 ⁻⁷	160	0,144	15			
Totalt			0,975		2 527	0,014	0,048

Det totala utflödet under konstanta förhållanden uppgår till ca 27 000 m³. Mängden är något låg jämfört med den totala grundvattenbildningen beräknad till ca 38 000 m³ enligt avsnitt 3.3.

Resultaten visar att de ansatta värdena på genomsläpplighet för de olika materialen i närområdet och övriga antagna förutsättningar för basfallet ger en rimlig prognos, möjligen något låg utströmning vilket analyseras närmare i ett antal olika känslighetsfall i avsnitt 5.3.2.

I tabell 6 redovisas resultaten för genomströmningsfall 2 där nivån i havet är -1 i havet. Skillnaderna i beräknat läckage är mycket små och inom osäkerheten för antagna parametrar varför resultatet är det samma som för fall 1. En sådan låg nivå inträffar vidare bara kortare perioder (dagar till veckor) varför det inte är realistiskt att fortvarigt anta en sådan nivå i havet uppträder under flera månader.

Tabell 6. Beräknat utflöde och avsänkning per månad för genomströmningsfall 2 (grundvattenyta +1,5 utfyllnad och -1 i havet) med tätvall vid sektion 1.

Sektion	Beräknad utströmning	Längd sektion	Utflöde	Fördelning	Utflöde	Avsänkn -ing	Avsänkn -ing
	<i>m³/s, m</i>	<i>m</i>	<i>l/s</i>	%	<i>m³/mån</i>	<i>mvp/mån</i>	<i>m/mån</i>
1	2x10 ⁻⁷	650	0,13	13			
2	7x10 ⁻⁸	240	0,0168	2			
3	7x10 ⁻¹¹		0	0			
4a	9x10 ⁻⁷	760	0,684	70			
4b	9x10 ⁻⁷	160	0,144	15			
Totalt			0,975		2 527	0,014	0,048

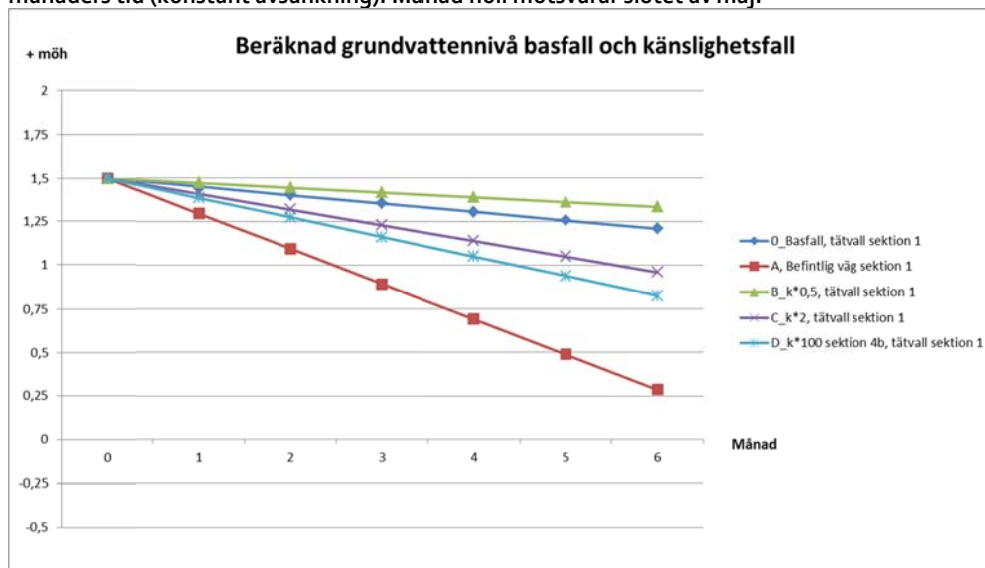
5.3.2 Beräkningar för känslighetsfall

För att kontrollera känsligheten i modellen för de antagna värdena som använts att beräkna utströmning och avsänkning har motsvarande beräkningar utförts för ett antal känslighetsfall. I samtliga fall har genomströmningsfall 1 använts som grund. De olika fallen redovisas i tabell 7. Resultatet visas som ackumulerad förändring av grundvattennivå i figur 16.

Tabell 7. Basfall och använda känslighetsfall.

Fall	Beskrivning
0	Basfall (korrigerad fördelning utströmning) med tätvall vid sektion 1
A	Befintlig vägbank av bergmaterial vid sektion 1 (dvs. ingen tätvall) med permeabilitet 1*10 ⁻¹ m/s vilket medför att utanför liggande fylld sandiga sediment styr storleken på utströmningen. Genomströmningen genom sektion 1 ökar ca med en faktor 100 jämfört med basfallet
B	Permeabiliteten minskas med en faktor 0,5 för samtliga sektioner förutom sektion 1 tätvall
C	Permeabiliteten ökas med en faktor 2 för samtliga sektioner förutom sektion 1 tätvall
D	Permeabiliteten ökas med en faktor 10 för sektion 4b motsvarande att de fyllda massorna i området antas vara mer genomsläppliga än antaget i basfallet

Figur 16. Beräknad förändring av grundvattennivå för basfall och känslighetsfall under 6 månaders tid (konstant avsänkning). Månad noll motsvarar slutet av maj.



Som framgår av figur 15 kommer av nivån inom utfyllnaden att sjunka relativt snabbt och inställa sig strax över havsytan om någon tätvall inte konstrueras utmed sektion 1 (Fall A). Det beror på att området utanför vilket fylls med muddrade massor bestående av sandiga sediment med relativt hög genomsläpplighet i kombination med ett kort avstånd till havet, vilket ger en stor hydraulisk gradient.

Nivån sjunker ungefär på motsvarande sätt vid ett ökat utflöde genom sektion 4b (Fall D) motsvarande att de utfyllda massorna i detta område är mer genomsläppliga, vilket utvärderingen av uppmätta grundvattennivåer tyder på att de är.

I det fall genomsläppligheten för samtliga sektioner utom sektion 1 (konstruerad tätvall där genomsläppligheten kan kontrolleras) ökas med en faktor 2 (Fall C) uppgår avsänkningen till ca 0,09 m/månad och ca 0,54 m under 6 månader samt utflödet till ca 4 700 m³/månad eller 51 000 m³/år. Det är något högre än de förändringar som observerats i fält samt större än möjlig grundvattenbildning under ett genomsnittligt år.

I det fall genomsläppligheten minskas med en faktor 2 (Fall B) blir avsänkningen något lägre ca 0,16 m under 6 månader.

Resultatet visar att de ansatta värdena i basfallet på genomsläpplighet för hela området totalt sett (främst sektion 2 och 4) är aningen låga och troligen ligger mellan basfallet och det för känslighetsfall C. För fortsatta beräkningar ansätts en utströmning på 3 600 m³/månad motsvarande en teoretisk avsänkning på 0,07 m/månad och ca 0,42 m under 6 månader.

5.3.3

Vattenbalans

Utgående från en bedömd teoretisk avsänkning på 0,07 m/månad vid konstanta förhållanden har vattenbalans över inflöde (grundvattenbildning) samt utströmning beräknats för ett antal olika fall. Ett fall med 3 återkommande

genomsnittliga år och två fall för återkommande torrår. Som indata för grundvattenbildning har statistik för avrinning använts enligt avsnitt 4.3. Data för genomsnittligt år visas i tabell 8.

Tabell 8. Avrinningsdata för genomsnittlig år.

Månad	Avrinning (mm/mån)
jan	17
feb	9
mar	13
apr	51
maj	66
jun	9
jul	5
aug	5
sep	8
okt	13
nov	19
dec	30

Data för torrår omfattar dels data för perioden 2001 maj till 2007 juni under vilken grundvattennivåerna sjönk till låga nivåer under perioden 2002-2003 samt tre efter varande påföljande torrår baserat på avrinning för år 2003. Avrinningsdata redovisas i tabell 9a och 9b.

Tabell ga. Avrinningsdata för perioden 2001 maj till 2007 juni innefattande faktisk data för efter varande följande torrår samt data för 2003 representerade lägsta nivåer markerade.

Månad	Avrinning (mm/mån)
maj 2001	106
juni 2001	14
juli 2001	5
augusti 2001	5
september 2001	5
oktober 2001	6
november 2001	11
december 2001	32
januari 2002	26
februari 2002	19
mars 2002	23
april 2002	77
maj 2002	23
juni 2002	5
juli 2002	4
augusti 2002	3
september 2002	2
oktober 2002	2
november 2002	1
december 2002	1
januari 2003	1
februari 2003	1
mars 2003	4
april 2003	34
maj 2003	18
juni 2003	5
juli 2003	3
augusti 2003	3
september 2003	3
oktober 2003	4
november 2003	5
december 2003	8

Tabell gb. Avrinningsdata för perioden 2001 maj till 2007 juni innefattande faktisk data för efter varande följande torrår samt data för 2003 representerade lägsta nivåer markerade.

Månad	Avrinning (mm/mån)
januari 2004	5
februari 2004	6
mars 2004	8
april 2004	33
maj 2004	49
juni 2004	5
juli 2004	5
augusti 2004	4
september 2004	11
oktober 2004	13
november 2004	12
december 2004	12
januari 2005	24
februari 2005	13
mars 2005	8
april 2005	56
maj 2005	45
juni 2005	6
juli 2005	6
augusti 2005	7
september 2005	6
oktober 2005	4
november 2005	3
december 2005	3
januari 2006	2
februari 2006	2
mars 2006	1
april 2006	25
maj 2006	52
juni 2006	5
juli 2006	3
augusti 2006	2
september 2006	2
oktober 2006	4
november 2006	50
december 2006	107
januari 2007	31
februari 2007	9
mars 2007	19
april 2007	63
maj 2007	43
juni 2007	7

För att kompensera att gradienten och utströmningen kommer att minska något när grundvattennivån sjunker under +1,5 och få balans mellan in- och utflöde har denna reducerats linjärt utgående från denna nivå. På motsvarande sätt har utströmningen ökat vid högre nivåer.

I figur 17 redovisas resultatet för 3 efter varandra följande genomsnittliga år. Beräkningen visar på en avsänkning på ungefär 0,25 m från grundvattennivån efter vårflod till lägsta nivå i slutet av sommaren och vintern. Resultatet visar att med ansatta värden uppnås en balans sett över ett år.

Figur 17. Vattenbalans för 3 genomsnittliga år (maj - maj).



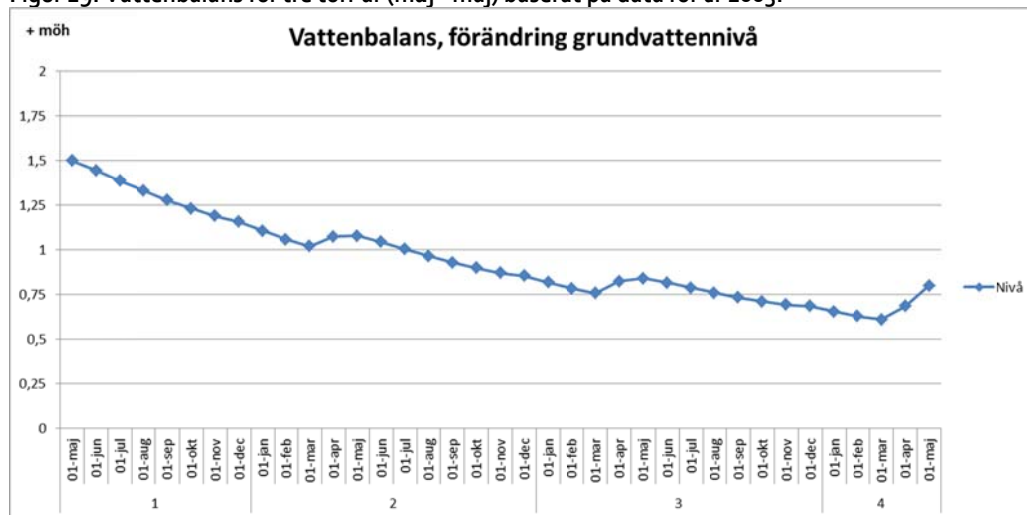
I figur 18 redovisas resultatet för perioden 2001 till 2007. Resultatet stämmer överlag bra överens med de faktiska förändringar som uppmätts för installerande grundvattenrör (jämför med figur 6). Den lägsta avsänkningen inträffar i slutet av 2003 och början av 2004 varefter nivåerna börjar återhämta sig och i stort ligger på normala efter vårfloden 2007. Ökningen av nivåerna i samband med vårfloden (2005 och 2006) är något lägre än vad som har uppmätts. Avsänkningen i samband med torrperiod ligger på mellan 0,3-0,5 meter.

Figur 18. Vattenbalans baserad på verklig data för perioden 2001 maj till 2007 juni.



I figur 19 redovisas resultatet för tre efter varandra inträffade torrår vilket kan sägas motsvara värsta fallet. Grundvattennivån sjunker med ca 0,5 m under det första torråret. Därefter blir beräknad avsänkning något mindre under påföljande två torrår så att totala avsänkningen efter tre torrår blir totalt ca 0,8 meter lägre än normal högsta nivå.

Figur 19. Vattenbalans för tre torr år (maj - maj) baserat på data för år 2003.



6. Diskussion och slutsatser

Utredningen visar att de naturliga grundvattennivåerna i rör installerade lite längre från havet inom hamnområdena i genomsnitt ligger på +1 till +1,5 meter över havet. 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 uppvisar vidare lägre grundvattennivåer än övriga område på samma avstånd till havet vilket är en tydlig indikation att massorna i detta område är mer genomsläppliga.

Förutsättningarna för att skapa en förhöjd grundvattenyta inom den planerade utfyllnaden i inre Skvampen är goda baserat på faktiska uppmätta nivåer där den befinner sig på ungefär samma avstånd till omkringliggande vattenområden/hav som befintliga grundvattenrör i inre delen av hamnområdet. Jämfört med dessa finns det dock skillnader omkringliggande mark till den planerade utfyllnaden, i dess södra del där befintlig vägg/vall ligger samt det utfyllda hamnområdet väster om denna (Figur 19). Dessa måste särskilt beaktas och åtgärder högst troligen vidtas för att minska genomströmningen till tillräckligt låga nivåer för att en förhöjd grundvattenyta ska kunna inställa sig inom utfyllnaden. För vägen/vallen omfattar det en konstruktion av någon typ av "tätvall" på insidan av befintlig väg. Något motsvarande behövs troligen även längs delar av den västra kanten.

Om åtgärder vidtas för att begränsa utströmningen mot söder och sydväst bedöms en normal högsta nivå i slutet av vårflo den i maj ca +1,5 m över havet och normal lägsta nivå i slutet av sommaren samt vintern på +1,25 m över havet att kunna uppnås inom utfyllnaden. Utförda känslighetsfall och vattenbalanser visar att nivån i värsta fall kan nivån sjunka nästan 1 meter vid flera efter varandra följande torrår. För att med all säkerhet undvika att grundvattennivån blir lägre än överytan hos de utfyllda sulfidhaltiga massorna bör dessa således inte placeras högre än +0,5 m över dagens havsnivå. Över de sulfidhaltiga massorna fylls sedan "rena" muddermassor företrädesvis med samma materialegenskaper (sandiga sediment) för att ge goda möjligheter till en hög grundvattenbildning som i nuvarande utfyllda massor.

Att en högre nivå på exempelvis +2 meter långvarigt ska inställa sig (förutom kortare perioden i samband med kraftiga flödesperioder) är mindre troligt baserat på uppmätta naturliga variationerna i områden. I sådana fall behöver en tätande konstruktion anläggas runt hela området.

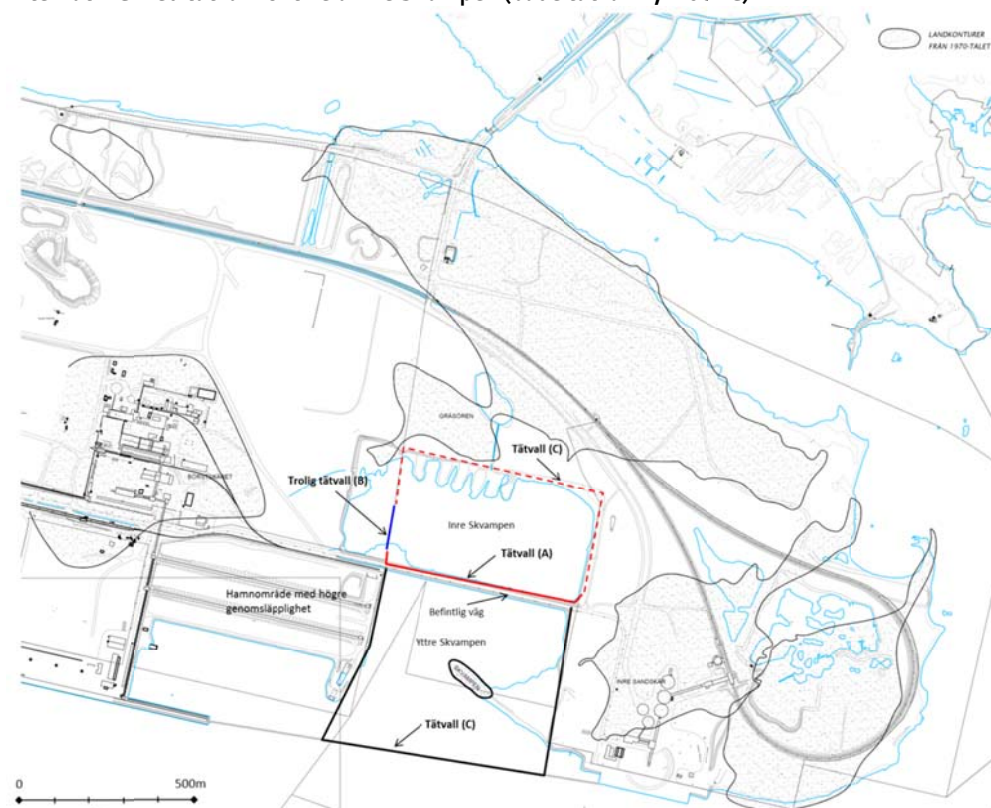
Det ska i sammanhanget påpekas att den lägsta grundvattennivån inställer sig vintertid. Marken är frusen vilket kraftigt begränsar syrenedträngningen och där oxidationen av svavel (temperaturberoende enligt Ahrrenius ekvation) i stort sett är noll. Nivån under torrperioden sommartid är dock enbart marginellt högre så det är i sammanhanget av mindre betydelse.

Eftersom en utfyllnad upp till nivå +0,5 m begränsar mängden massor som kan deponeras i inre Skvampen till runt 140 000 m³ måste andra alternativ utredas. Det kan omfatta en utfyllnad inom yttre Skvampen (till motsvarande nivå som i inre Skvampen dvs. till ca +0,5 m) med eller utan muddring för att frigöra tillräckligt med volym. I sådant fall behöver en tätvall troligen anläggas runt stora delar av den yttre delen av utfyllnaden (Figur 20). Någon "inre" tätvall utmed befintlig väg behövs då inte. Ett andra alternativ är att anlägga en mindre tätvall runt hela inre Skvampen för att kunna höja grundvattennivån med 0,5 till 1 meter

och ha en lägre nivå i yttre Skvampen. En möjlighet är även att gräva ut delar av inre Skvampen för att kunna inrymma samtliga sulfidhaltiga massor upp till nivå +0,5 m.

Utförda beräkningar tar vidare inte hänsyn till pågående landhöjning och eventuell förändring av havsnivån på lång sikt vilket måste studeras och vägas in i val av alternativ och beräkningar av utströmning.

Figur 20. Konceptuella lägen för tätvallar. Alternativ A föreslagen utfyllnad inom inre Skvampen till +0,5 m med tätvall (A) utmed befintlig väg och troligen även väster (B) om denna (detta alternativ gäller även vid en urgrävning för att på så sätt öka volymen). **Alternativ B** med utfyllnad i både inre och yttre Skvampen till +0,5 m med tätvall utmed sidorna i yttre utfyllnaden. **Alternativ C** med tätvall runt hela inre Skvampen (både tätvall A, B och C).



7. Rekommendationer

Olika möjliga alternativ för utfyllnad av de sulfidhaltiga massorna i både inre och yttre Skvampen behöver studeras och utvärderas. Långsiktiga förändringar av land- och havsnivå behöver då även vägas in och utvärderas tillsammans med alternativa utformningar av tätvallar innefattande lokalisering, djup och konsekvenser för andra delar. När ett eller flera möjliga alternativ tagits fram kan de preliminära beräkningarna av genomströmning och vattenbalans uppdateras.

För att kunna förbättra noggrannheten i utförda beräkningar och minska osäkerheten för olika parametrar och förutsättningarna för de olika sektionerna rekommenderas att ett antal geotekniska och hydrogeologiska undersökningar utföras.

- Installera grundvattenrör i de naturliga landformationerna som finns rakt norr om och öster om området för utfyllnaden i inre Skvampen.
- Geoteknisk undersökning av den befintliga utfyllnaden sydväst om utfyllnaden i inre Skvampen samt av den befintliga vägen/vallen.
- Utföra permeabilitetstester (slug-test) i grundvattenrör inom de olika sektionerna.

När testerna utförts och utvärderats rekommenderas att preliminära beräkningar över genomströmning, utflöde och vattenbalansmodell för aktuella alternativ med utfyllnad av sulfidhaltiga massor i inre och yttre Skvampen uppdateras.

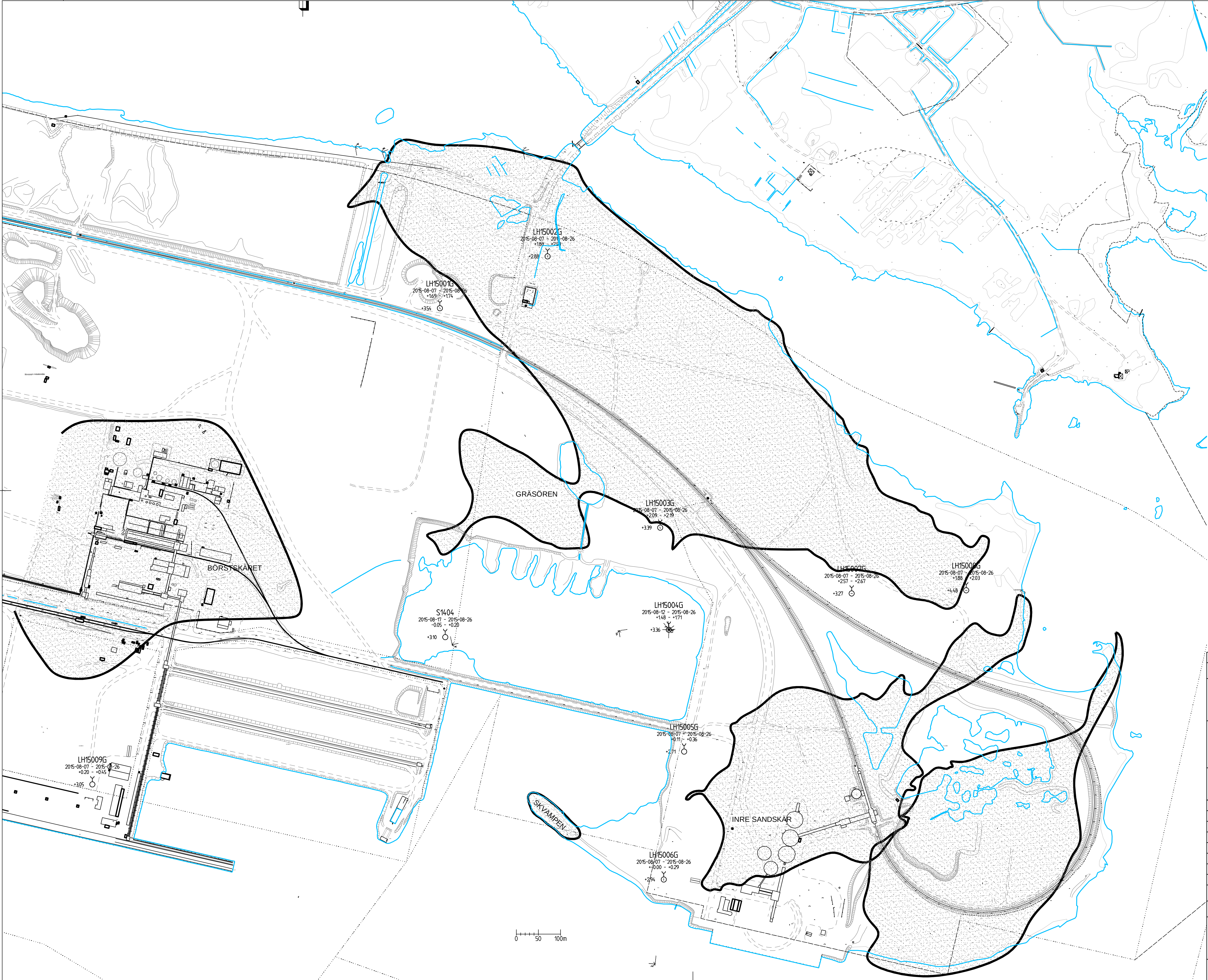
Vidare rekommenderas att fortsätta att övervaka grundvattennivåer i installerade. Utvalda rör som installerats av SSAB bör mätas minst 4 gånger per år för att bättre kunna följa förändringar över säsong och från år till år.

8. Bilagor

- 1) Rambøll 2015, installerande grundvattenrör Luleå hamn område Skvampen

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) SGU, R Larsson, Jords egenskaper, 2008



COORDINATSYSTEM
SYSTEM I PLAN SWEREF 99 21 45
SYSTEM I HÖJD RH 2000

BETECKNINGAR
GEO- OCH BERGTEKNISKA BETECKNINGAR
SE SGFS BETECKNINGSLAD, WWW.SGF.NET

LANDKONTURER
FRÅN 1970-TALET

LH15008G
2015-08-07 - 2015-08-26
+1.88 - +2.93
+4.48

GRUNDVATTENRÖR
AVLÄSNINGSPERIOD
GW-NIVÅ MAX- OCH MINVÄRDE
MARKNIVÅ

BET	ANT	ÄNDRINGEN AVSER	DATUM	SIGN
Malmport i Luleå				
LULEÅ HAMN PORT OF LULEÅ - SWEDEN				
Samfinansierat av EU Transeuropeiska transportnätet (TEN-T)				
UPPDAG NR 1320004956-001				
RITAD AV plin				
HANDLÄGGARE PETER LINDKVIST				
DATUM 2015-09-07				
ANSVARIG PETER LINDKVIST				
LULEÅ KOMMUN LULEÅ HAMN KONTROLLPROGRAM GRUNDVATTEN PLACERING GRUNDVATTENRÖR				
SKALA (A1) 1:4000 (A3) 1:8000		NUMMER		BET GW01