

## Arlanda flygplats - Förlängning av bana 3

### Beskrivning geoteknik och hydrogeologi

2011-03-01



Västerås, 2010-03-01

Vectura  
Box 593  
721 10 Västerås  
Norra Källgatan 22  
[www.vectura.se](http://www.vectura.se)

Beställare: Swedavia AB  
Konsult: Vectura Consulting AB  
Projektledare: Björn Svensson / Jan-Olov Ericsson

Utförd av: Fredrik Clifford & Jan Sundberg

Titel: Arlanda flygplats - Förlängning bana 3, Geoteknik och hydrogeologi  
Objektnr: 104486

## Innehåll

<b>1. Inledning</b>	<b>4</b>
1.1 Uppdrag och omfattning	4
1.2 Syfte	4
<b>2. Geotekniska förhållanden</b>	<b>4</b>
2.1 Topografi och områdesbeskrivning	4
2.2 Jordlager	4
2.2.1 Översiktliga jordlagerförhållanden	4
2.2.2 Km 0/000-0/300, delen söder om Halmsjön	5
2.2.3 Km 0/300-0/750, delen i Halmsjön	6
2.2.4 Km 0/300-0/750, delen väster om Halmsjön	6
2.2.5 Km 0/750-1/130, delen norr om Halmsjön	7
<b>3. Hydrogeologiska förhållanden i anslutning till Halmsjön</b>	<b>7</b>
3.1 Översikt baserat på tidigare undersökningar	7
3.2 Nu utförda undersökningar	10
3.3 Resultat från nu utförda undersökningar	10
3.3.1 Geologi	10
3.3.2 Hydraulisk konduktivitet	11
3.3.3 Uppmätta grundvattennivåer och grundvattenströmning	11
3.3.5 Yt- och grundvattenkemi.	16
3.4 Värdering och slutsatser	17
<b>4. Grundläggning</b>	<b>19</b>
4.1 Angränsande befintliga anläggningar	19
4.2 Grundläggningsmetoder	19
<b>5. Skyddsåtgärder</b>	<b>23</b>
<b>6. Källförteckning</b>	<b>24</b>
<b>7. Bilagor</b>	<b>25</b>

## 1. Inledning

I denna rapport redovisas genomförda undersökningar och beräkningar som grund för val av grundläggningsteknik vid utbyggnad av en förlängd bana 3 på Stockholm-Arlanda Airport över Halmsjön. Även geohydrologiska förutsättningar och konsekvenser redovisas.

### 1.1 Uppdrag och omfattning

Vectura Consulting AB har fått i uppdrag att utreda förutsättningarna för att förlänga bana 3 norrut mot bana 2. Uppdraget omfattar en geoteknisk och en hydrogeologisk undersökning, samt resultat, slutsatser och principförslag på utförande av terrassering.. Objektet omfattar ca 300 m bred förlängning av landningsbana 3 i riktning norrut.

### 1.2 Syfte

Syftet med utredningen är att klargöra de grundläggningstekniska, geotekniska och hydrogeologiska förutsättningarna för en förlängd bana 3. Av stor vikt är att utreda de hydrauliska sambanden mellan Långåsen och Halmsjön.

## 2. Geotekniska förhållanden

Undersökningsresultat redovisas i Rapport geoteknik (ej inkluderad i denna handling). Även tidigare utförda undersökningar, se källförteckningen, och rapporter som legat till grund för tolkningen har inarbetats i handlingen..

### 2.1 Topografi och områdesbeskrivning

Terrängen utgörs av hårdgjorda ytor, grus- och sandhögar med viss vegetation, samt berg i dagen. På sträckan som planeras över Halmsjön finns en befintlig ljusramp, ca 10 m bred.

På västra och norra sidan av Halmsjön (fram till km ca 0/950), ligger marknivån högre än planerade banans nivå och en del jord-/bergsskärning kan förväntas.

Halmsjön sträcker sig mellan km ca 0/300 till 0/750 på den planerade bana 3. Variationen i vattendjup är relativt liten, ca 4- 7 m djup. I det planerade banområdet sluttar sjöbotten mot öster, ca 7% vid km 0/400 och 5% vid km 0/600. Sjöbotten planar ut vid ca höger 100 m från banmitt och håller ett konstant djup på omkring 7 m.

### 2.2 Jordlager

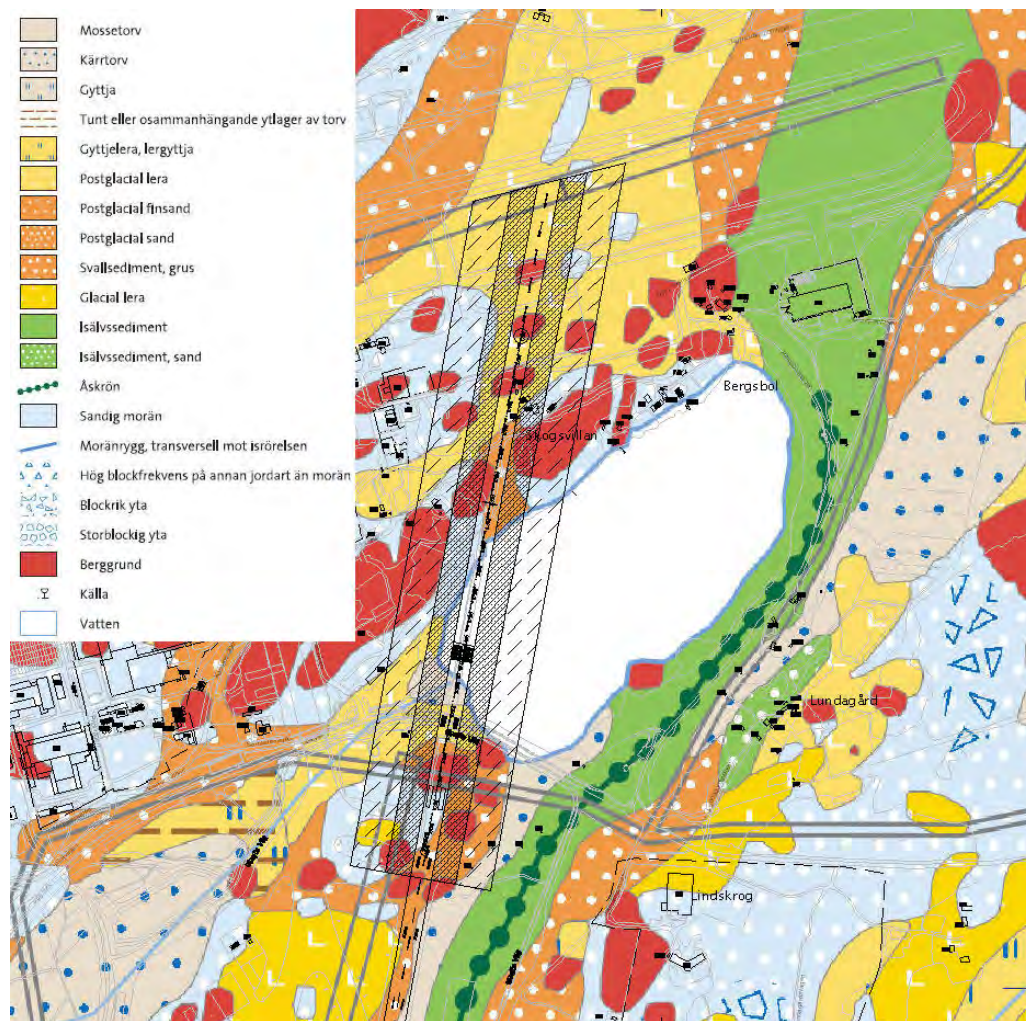
#### 2.2.1 Översiktliga jordlagerförhållanden

Halmsjön bedöms vara en så kallad dödisgrop eller egentligen åsgrop eftersom den ligger bredvid en rullstensås. Sjöar som bildats ur dödisgropar har ofta en relativt plan botten med skarpa kanter, vilket stämmer väl överens med Halmsjöns topografi.

Rullstensåsen kallas lokalt vid Arlanda för Långåsen och är en del av Stockholmsåsen. Åsen syns till höger om sjön i figur 1, (grön färg).

Längs sjöns västra sida består jordlagren av sandig morän och ytligt liggande berg. Strax norr om sjön inom området för planerad förlängning av bana 3 överlagras friktionsjorden av

postglacial lera. Även i söder finns en del postglacial lera men även en del postglacial sand och sandig morän. Torv kan även påträffas i planerade bana 3:s sydöstra delar.



Figur 1. Jordartskarta över området för planerade bana 3. Modifierad bild från SGU:s kartdatabas. Anmärkning: Placering av bana 3 och grundkarta stämmer inte exakt med SGU:s jordartskarta.

### 2.2.2 Km 0/000-0/300, delen söder om Halmsjön

På västra sidan av banmitt består jorden av friktionsjord på berg. Friktionsjorden består av stenig sand, sand, grus och underst av morän på berg. Djupet till berg är relativt litet och varierar mellan 1,5-5 m.

Omkring planerade bana 3:s mittlinje består det övre jordlagret av torrskorpelera eller lera med 1-3 m mäktighet. Leran är varvig och inslag av sand förekommer. Leran underlagras av sandig morän med varierande mäktighet ner till underliggande berg.

På östra sidan består översta jordlagret av torv eller gyttjig lera med ca 1 m mäktighet. Underliggande lager består av lera och sandig siltig lera till stort djup. Tjockleken på lagret

varierar mellan ca 3-8 m. Leran är mycket löst till löst lagrad med en skjuvhållfasthet på mellan 8-12 kPa. Sensitiviteten ligger mellan 8-12 och leran klassificeras som låg- till mellansensitiv. Vattenkvoten varierar mellan ca 25-90%. Leran underlagras av friktionsjord med varierande mäktighet på berg.

I sydöstra delen, omkring km 0/000-0/050 består de översta 2 m av fyllnadsmaterial, sandig lera och torrskorpelera. Friktionsjordlagret underlagras av ett ca 2,5 m tjockt lerlager som efterföljs av friktionsjord med varierande mäktighet på berg.

### 2.2.3 Km 0/300-0/750, delen i Halmsjön

Nivån på överytan för planerad banprofil redovisas i en rapport från Swedavia Konsult daterad **2011-02-18 och anges till nivån ca +31. Halmsjöns vattenyta på +23,45, vilket innebär att banan** då hamnar ca 7,6 m över vattenytan.

#### Allmänt

Ytan vid sjöns botten består av 2-4 meter mycket lös gyttja ovan mycket lös eller lös gyttjig lera eller varvig lera till stora djup, i vissa punkter över 15 m. Mäktigheten på de lösa sedimenten ökar från väst till öst i planerade banans utsträckning. Leran är sulfidfläckig på vissa ställen och även tunna skikt av silt har påträffats. Under leran finns ett friktionsjordlager med varierande mäktighet, som vilar på berg. Lerans skjuvhållfasthet varierar mellan ca 3-18 kPa och gyttjans mellan ca 3-10 kPa. Sensitiviteten i leran ligger mellan ca 10-30 och i gyttjan mellan ca 5-25. Både leran och gyttjan klassas som låg till mellansensitiv. Leran har en vattenkvot på mellan ca 40 -60% och gyttjan mellan ca 300-500%, i övergångslagren mellan gyttjan och leran ligger vattenkvoten mellan 60-300%.

#### Ljusrampen / inflygningslinjen

I sjöns västra del finns en sprängstensbank som sträcker sig över sjön i nord-sydlig riktning. Banken utgör väg och inflygningslinje i förlängningen av bana 3. Banken är ca 10 m bred och är grundlagd genom utfyllnad och nedpressning. Geotekniska sonderingar med bergborrmaskin har utförts genom banken för att klarlägga nedpressningsdjup och jordlagerförhållanden under banken.

Sonderingar har utförts i tre sektioner, 0/400, 0/500 och 0/600. Sonderingarna visar att bankfyllningens mäktighet varierar mellan ca 5-11 m med största mäktigheten i sektion 0/500.

En tolkning av sonderingar visar att banken i 0/400 och 0/500 kan vila på ett mindre skikt av grusmorän på berg. Det finns dock en osäkerhet i antagandet då det kan vara svårt att avgöra om det nedre jordskiktet på berg är grusmorän eller bankfyllning.

I den nedersta delen av banken har man i en av punkterna registrerat inslag av gyttja. I sektion 0/600 vilar banken på ca 1,4 m siltig lera ovan 2,5 m grusmorän på berg. Sonderingarna har registrerat berg på ca 8-11,5 m under Halmsjöns vattenyta (+23,45). Berget ligger som djupast i sektion 0/500.

### 2.2.4 Km 0/300-0/750, delen väster om Halmsjön

Överytan på planerade bana 3 ligger på nivå ca +31. Marknivån lutar mot sjön från öst till väst. Som högst ligger marknivån på omkring +40 i läget för planerad bana 3.

Berg i dagen syns ställvis på sträckan. Jordförhållandena består överst av fyllnadsmaterial bestående av friktionsjord, sand och grus de övre 2-3 metrarna. Vid strandlinjen finns inslag av dy i sanden. Friktionsjordlagret underlagras av lera eller siltig lera. Lerlagrets mäktighet är

större närmare strandlinjen, uppemot 6 m tjockt vid km 0/400, och avtar västerut där djupet till berg blir mindre. Lerlagret underlagras av friktionsjord på berg.

### 2.2.5 Km 0/750-1/130, delen norr om Halmsjön

Norr om Halmsjön, på västra sidan av planerad banmitt, finns en ca 100x100 m stor, hårdgjord yta med fyllnadsmaterial bestående av sand och grus till ca 2 m djup. Djup till berg är relativt litet och ligger runt 2 m vid km 0/900. Längre norrut på västra sidan om planerade bana 3:s mittlinje, omkring km 1/130, består det översta jordlagret av friktionsjord. Friktionsjordlagret är fast lagrat, omkring 1-2 m tjockt och underlagras av fast- till halvfast lera. Leran har en mäktighet på mellan 1-4 m och skjuvhållfastheten varierar mellan ca 45-60 kPa. Leran underlagras av friktionsjord med varierande mäktighet, vilande på berg.

På östra sidan finns en höjd med grus, sand och berg. Strax norr om höjden planas terrängen ut och från km ca 0/950-1/050 består jordlagren av 1,5-2 m tjock torrskorpelera på friktionsjord med varierande mäktighet, vilande på berg. Vidare norrut på östra sidan om planerade bana 3:s mittlinje, från km ca 1/050-1/130, underlagras torrskorpelera ställvis av halvfast till lös lera. Leran är varvig och har en mäktighet på mellan 2-3 m. Skjuvhållfastheten varierar mellan ca 15-40 kPa, sensitiviteten mellan 10-15 och vattenkvoten ligger runt 50%. Leran klassificeras som mellansensitiv. Lerlagret underlagras av friktionsjord med varierande mäktighet på berg.

## 3. Hydrogeologiska förhållanden i anslutning till Halmsjön

Nedan följer en beskrivning av de hydrogeologiska förhållandena. Först följer en beskrivningen som i huvudsak grundas på tidigare utredningar. Därefter beskrivs resultaten från nu utförda undersökningar.

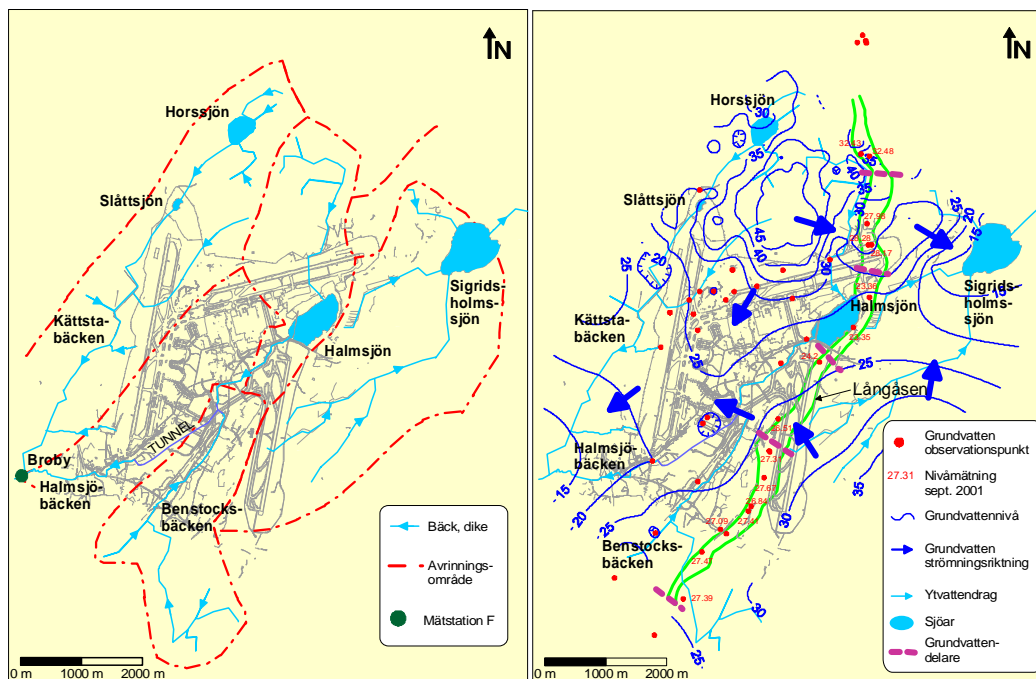
En förlängning av bana 3 kommer delvis att förläggas över Halmsjön. Viktiga frågeställningar är därför:

- Finns vattenförande skikt under Halmsjön och har dessa skikt i så fall kommunikation med Långåsen?
- Har Halmsjön hydraulisk kommunikation med eventuellt vattenförande skikt under Halmsjön och i så fall hur? Via sprängstensfyllning under ljusramp?
- Har Halmsjön hydraulisk kommunikation med Långåsen vid sjöns östra strand?

Beskrivningarna fokuserar på hydrauliska samband mellan Halmsjön, vattenförande skikt under Halmsjön och Långåsen.

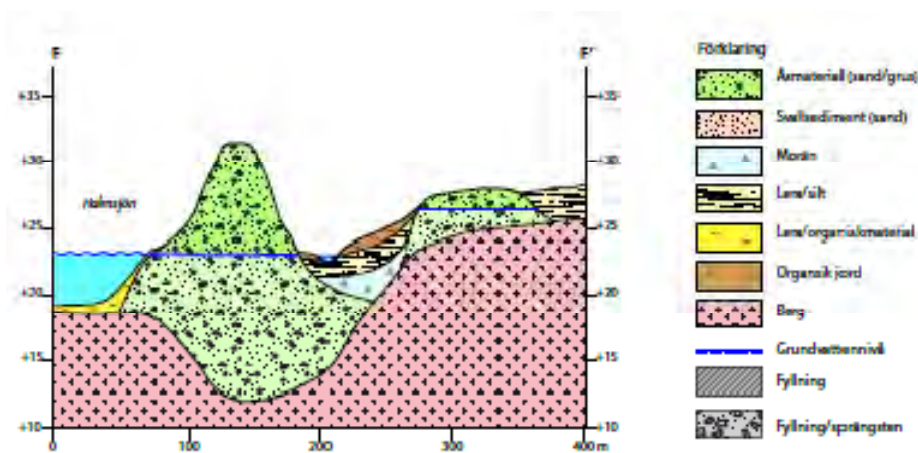
### 3.1 Översikt baserat på tidigare undersökningar

En översikt över kvartära avlagringar presenteras på jordartskarta i Figur 1. De övergripande avrinningsförhållandena inom Arlandaområdet framgår av Figur 2. Detta material är av principiell art för att beskriva geohydrologin i en "regional" modell. Halmsjön avvattnas via Halmsjöbäcken i söder. Tillrinning sker via ett mindre vattendrag i norr. Den hydrogeologiska bilden av området domineras av Långåsen som löper längs Halmsjöns östra kant. I Figur 2 visas en översikt över storskaliga flödesriktningar för grundvatten. Åsen är markerad med grönt. I åsen uppges vattendelare förekomma i anslutning till tvärgående bergryggar som indikeras i äldre undersökningar. Åsen är delvis bortschaktad men är i anslutning till Halmsjön intakt. Halmsjön är belägen i en sk dödigröp enligt samstämmig information från äldre undersökningar och SGU:s geologiska kartblad.



Figur 2 Översikt över avrinningsområden (vänster) samt grundvattenförhållanden (höger) inom Arlandaområdet [17]. OBS strömbilden utgör en översiktlig "regional" modell.

I Figur 3 visas ett exempel på schematisk tvärprofil genom Långåsen i anslutning till Halmsjön [18]. I verkligheten är åsen betydligt mer komplex uppbyggd.



Figur 3 Schematisk tvärprofil genom Långåsen mot Halmsjön [18]. Observera den förvrängda höjd- och längdskalan.

Eventuell hydraulisk förbindelse som finns mellan Halmsjön och Långåsen har kommenterats i flera utredningar. I en sammanfattande beskrivning av de hydrogeologiska förhållandena [17], i



huvudsak baserad på tidigare utredningar, uppges att åsen står i hydraulisk kontakt med Halmsjön. Enligt en utredning för bana 3 [20] är den hydrauliska förbindelsen god mellan Halmsjöns nordöstra strand och åsen, ned till nivån +22.5 m. Halmsjön är reglerad på nivån ca +23.45 . I senare utredningar anges att åsen är praktiskt taget tät mot Halmsjön [19]. Vidare anges att Halmsjön är en lokal mottagare av grundvatten från aktuellt åsparti [18]. Denna något divergerande information belyses vidare nedan i de nu utförda undersökningarna. Det ska här även nämnas att kompletterande undersökningar pågår av Långåsen (med akviferlagret som där etablerats) och dess omgivningar i vilken utredning av sambanden och strömningsförhållandena ytterligare skall belysas.

På grundval av utförda provpumpningar har man i de tidigare utredningarna uppskattat den hydrauliska konduktiviteten för kontakten mot Halmsjön till  $5 \times 10^{-5}$  m/s i den norra delen och  $2 \times 10^{-5}$  m/s längre söderut.

I den del av Långåsen som angränsar till Halmsjön har ett akvifervärmelager tagits i drift sommaren 2009. Lagret förser flygplatsen med värme och kyla. I lagret finns det såväl "varma" som "kalla" brunnar. Driften i dessa reverseras säsongsvis. Vidare finns det möjlighet att vid ansträngda driftfall utnyttja Halmsjön direkt. I Figur 4 visas planerade brunnslägen för lagret. Figuren är endast principiell och brunnslägen avviker något från slutligt etablerade lägen. Driften av akvifervärmelagret innebär att en höjning och sänkning av grundvattennivån sker såväl i söder som i norr [19]. Influensområdet uppgavs följa åsens kant mot Halmsjön. Simulering av sommardriftfallet visas i Figur 4. En separat utredning pågår som nämnts ovan för att ytterligare klarlägga de hydrauliska förutsättningarna för akviferen.



**Figur 4** Planerade brunnslägen samt hydraulisk simulering av sommardriftfall för akvifervärmelager (sänkta nivåer i norr och höjda nivåer i syd) [18]. Såväl brunnslägen som grundvattennivåer kan avvika från verkliga.

### 3.2 Nu utförda undersökningar

Undersökningarnas syfte har varit att öka kunskapen om mäktighet för olika jordlager, typ av jordarter/sediment under Halmsjöns botten, grundvattennivåer med särskild observation av om olika vattenförande lager förekommer i vertikalled, geohydrologiska förutsättningar med speciell uppmärksamhet på grundvattenförande lager under Halmsjön och dessas kommunikation med Långåsen.

Fältundersökningarna har i huvudsak omfattat:

- Sonderingar /borrningar
- Installation av grundvattenrör
- Mätning av grundvattennivå
- Mätning med självregistrerande tryckgivare
- Provtagning och analys av yt- och grundvatten
- Pulstest – hydraulisk konduktivitet

### 3.3 Resultat från nu utförda undersökningar

#### 3.3.1 Geologi

Resultat från pågående undersökningar i Halmsjön visar att lösa sediment med underliggande lera förekommer i Halmsjöns botten. Under dessa lösa sediment finns friktionsmaterial. Sedimenten hindrar troligen hydraulisk kommunikation mellan Halmsjön och friktionslagret. Förhållandena illustreras väl av den sektion av sonderingar och grundvattenrör som är dragen tvärs sjön i sektion 0/500, se Figur 10 (grundvattenrör i plan) och sektion i bilaga 1. För vidare beskrivning se även avsnitt 2.2.

Som framgår av bilaga 1 har de lösa sedimenten och lera en betydande mäktighet i centrala delar av sjön, ca 10-15 m. Nära stranden i punkt V013 är mäktigheten mindre, ca 5 m, och med inslag av skikt av friktionsmaterial. Sammanhängande friktionslager nås vid nivå ca +13 m.

Fortsättningen av profilen på land saknar lerskikt i undersökta punkter (friktionsmaterial) förutom i V110 där ett tunt lerskikt förekommer på nivå +22 m (se bilaga 1). Ett lerskikt skulle hindra hydraulisk kommunikation mellan åsen och Halmsjön. Den principiella tvärprofilen av åsen i Figur 3 antyder ett lerskikt på åsens sida. Detta har dock inte kunna bekräftas av utförda borrningar och ej heller av den manuella kartering som genomförts efter Halmsjöns östra sida. Det är emellertid möjligt att utsvallat friktionsmaterial överlagrar ett eventuellt lerskikt. Utförda borrningar har i så fall inte utförts till tillräckligt djup för att penetrera detta. Den första borrpunkten vid strandkant (V110) går ner till +20.6. Långåsen är komplext uppbyggt med flera åskärnor vilket illustreras i Figur 5. Swedavia avser att ytterligare studera kontakten mellan sjön och åsens östra strand för att få en mer komplett bild av förhållandena.

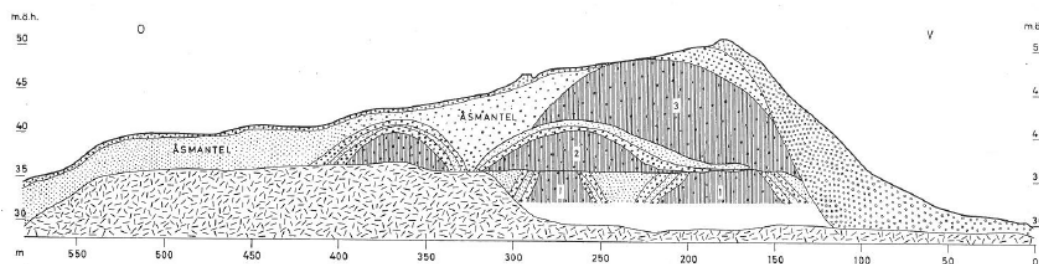


Fig. 33. Schematisk skiss över åskärmornas lägen i södra delen av åspartiet.

*A sketch of the position of the oze-cores in the southern part of the oze.*

Teckenförklaring, se fig. 26.

*Legend, see fig. 26.*

### Figur 5 Schematisk skiss över Långåsen i numera bortschaktat parti norr om Halmsjön (21).

Ljusrampen tvärs sjön i nord-sydlig riktning är grundlagd på sprängsten, se vidare avsnitt 2.2.3. Ur hydrogeologisk synpunkt är kontakten mellan sprängstensbanken och friktionslagret som allmänt förekommer under leran av intresse eftersom rampen skulle kunna kortsluta Halmsjön med friktionslagret under sjön. Tolkning av resultaten från tre borrningar med tung utrustning visar att i sektion ca 0/400 och ca 0/500 kan sprängstensfyllningen vila på friktionslager som överlagrar berg. Vid borrningarna är det emellertid svårt att urskilja om naturligt friktionslager verkligen finns på berg. På grundval av resultatet från borrningar/sonderingar kan man därför inte säga att en kontakt finns mellan det naturliga friktionsjordslagret under leran och sprängstensfyllningen. I sektion 0/500 finns inslag av lera i den undre delen av banken. I sektion 0/600 vilar fyllningen på 1.8 m siltig lera, se även avsnitt 2.2.3.

### 3.3.2 Hydraulisk konduktivitet

Bestämning av hydraulisk konduktivitet med hjälp av pulstest har utförts i ett antal grundvattentrör. Resultaten visar bl.a. att den hydrauliska konduktiviteten är hög i det friktionslager som finns under Halmsjön.

### 3.3.3 Uppmätta grundvattennivåer och grundvattenströmning

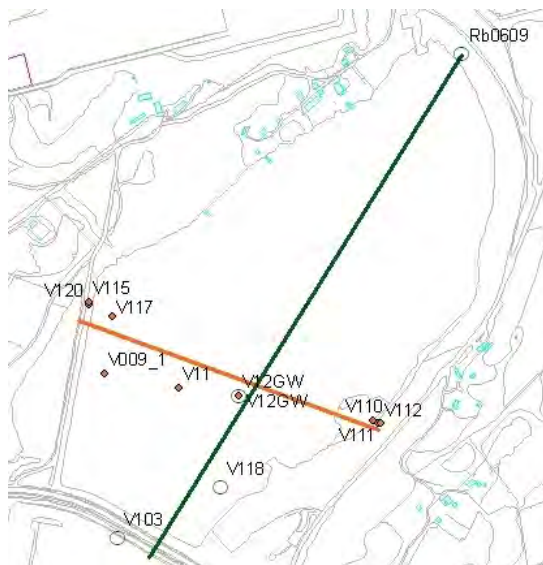
Grundvattennivåer har uppmätts i ett urval av rör vid flera tillfällen. Efterhand har antalet grundvattentrör utökats (i bilaga 6 finns en karta över gamla och nya rör). Man kan förvänta sig att grundvattennivåerna är påverkade av driftsituationen för akvifervärmelagret. Sommardriftfallet innebär pumpning i den norra delen av åsen och infiltration i den södra delen och vinterdrift vice versa. Skiftet mellan sommar- och vinterdrift skedde i november. Vid grundvattenmätningarna 15 september rådde således sommar- och i december vinterdrift (driften har dock skiftat mellan vinter- och sommar- sedan man lämnade sommar- och vinterdriftfallet).

I Figur 7 är grundvattennivåerna i en nord-sydlig längdsektion över sjön redovisade och i Figur 8 i en tvärssektion i öst-väst (för läge för sektioner se Figur 6). Grundvattennivån under sjön är flera dm under sjönivån i september medan skillnaden sjunkit till ca 1 dm i december när driften i akviferlagret reverserats. Tidigare i december finns dock mätningar i rör 0609 i åsen vid sjöns norra ände som visar att nivån tidvis överstiger sjöns nivå vid fullt reverserad drift (vinterdrift), se Figur 9. Nivån rör RB0609 i sjöns norra ände samvarierar i stor utsträckning med rör Rb0614 nära de norra brunnarna.

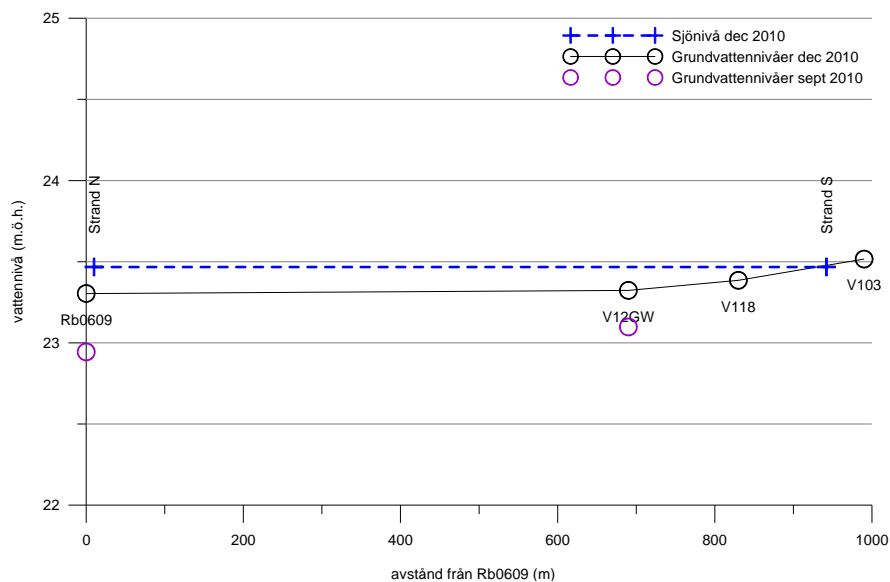
Figur 9 visar nivåerna i friktionslagret under sjön och hur de varierar i förhållande till brunnarna i syd (B) och norr (Rb0614). Man ser tydligt hur nivåerna B och Rb0614 minskar respektive ökar från augusti till december. Under oktober och början av november sker en period där driftsituationen är relativt konstant (lågt flöde?). Under första halvan av november sker en övergång till vinterdrift (pumpning i söder och infiltration i norr). Flödet varierar påtagligt i tiden och ger upphov till omvända responser i B och Rb0614. Man kan tydligt se hur rören i friktionslagret under sjön samvarierar med Rb0614. Grundvattenflödet är under nästan hela mätperioden från söder mot norr. Under januari 2011 och under kortare perioder i december 2010 har flödet reverserats och är då riktat från norr mot syd.

En rimlig förklaring till nivåskillnaden mellan Halmsjön och grundvattnet under sjön är att friktionsmaterialet under sjön har kontakt med en sänka för grundvatten, t.ex. pumpbrunnar på åsen i höjd med Halmsjöns norra del eller i kombination med att sjön är dämnd över grundvattnets naturliga nivå. Vidare visar tryckskillnaden att sedimenten/leran har en tätande funktion. Detta gäller även för sedimenten under den norra delen av rampen som överlagrar friktionslagret (rör V120).

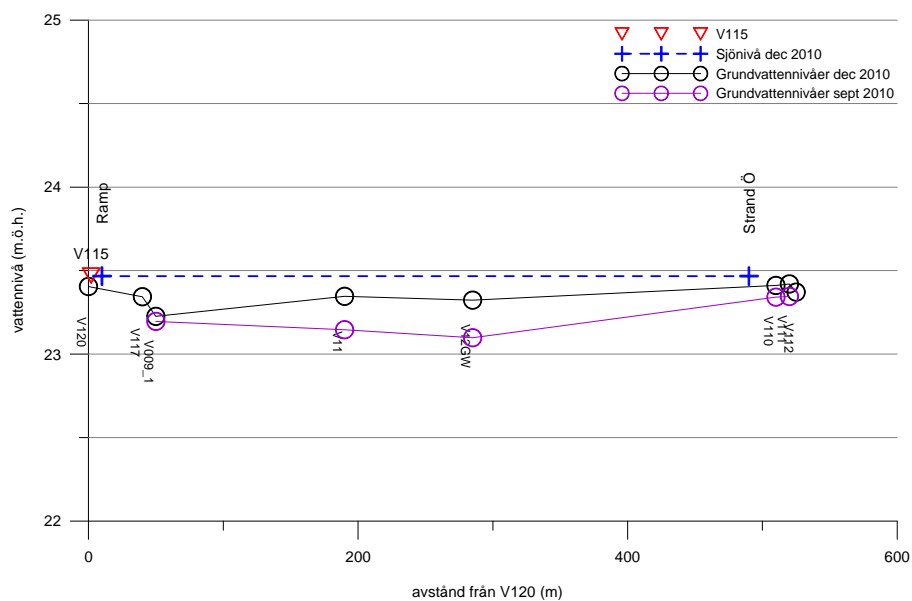
Det finns också en tryckskillnad mellan sjöns nivå och åsen i den norra änden av sjön vid båda tillfällena. Detta tyder på att åsen har en kapp med tätande funktion i denna del.



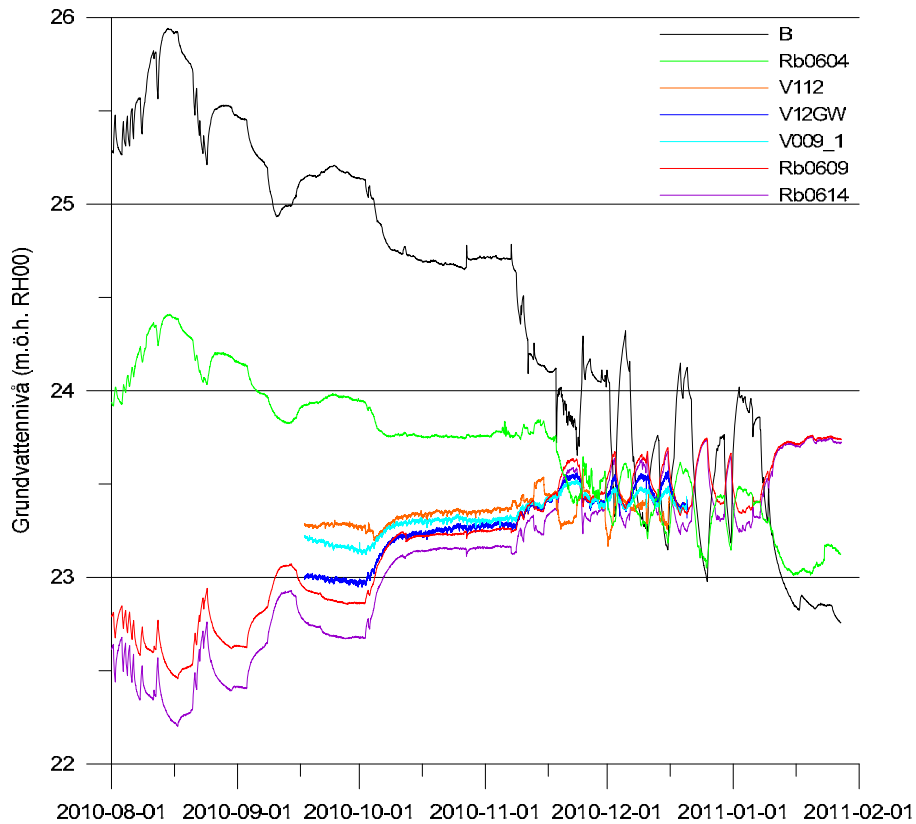
Figur 6. Läge för sektioner i N-S och O-V.



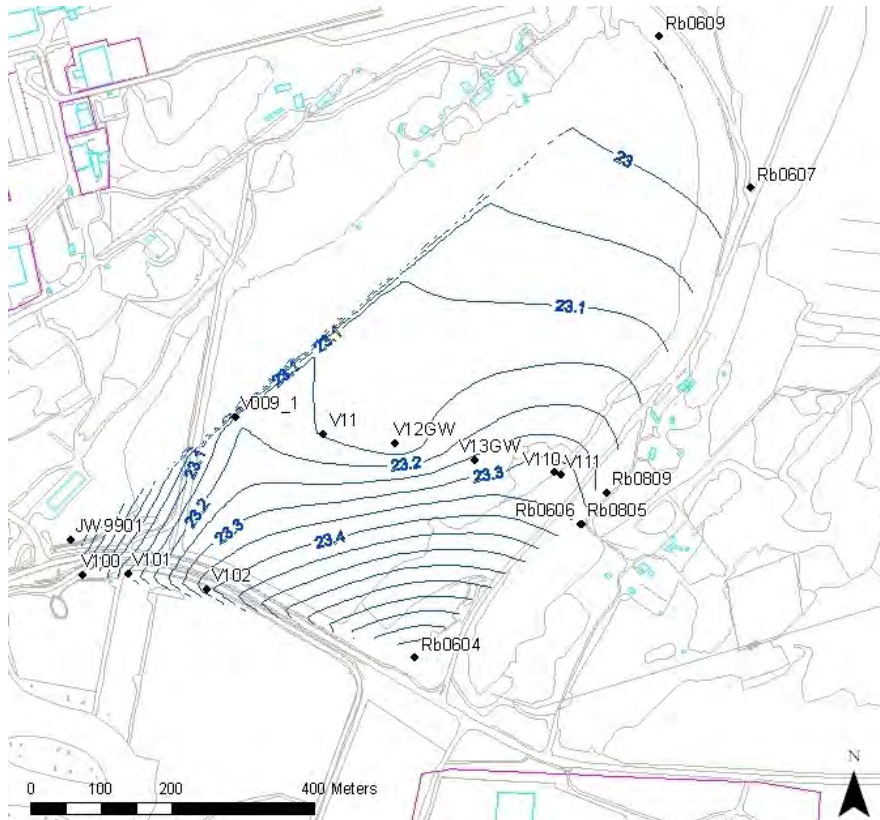
Figur 7. Grundvattennivåer i en profil i ca nord-syd i Halmsjön. Sjönivån: ca 23.45 möh. För plankarta se Figur 6.



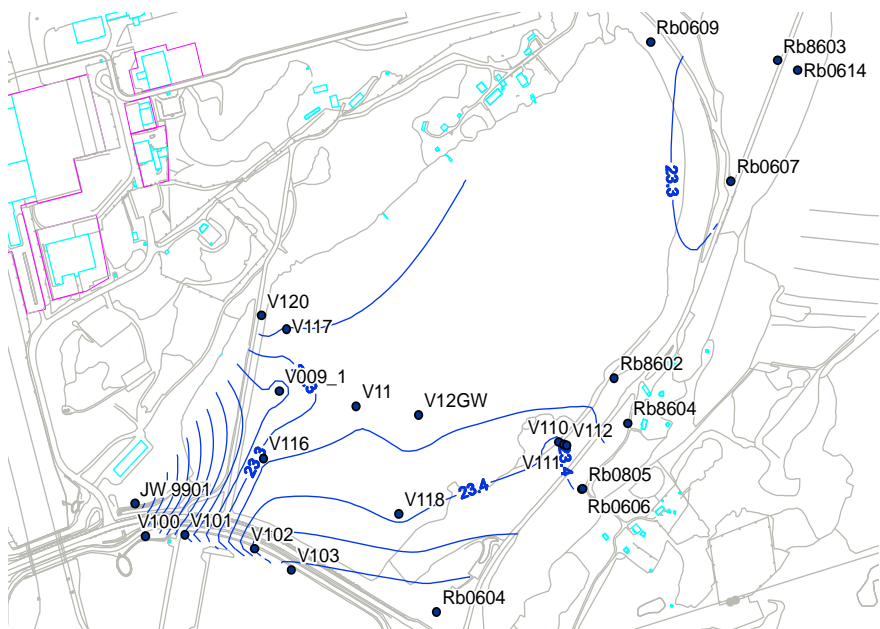
Figur 8. Grundvattennivåer i profil ca väst-öst i Halmsjön, från rampen i väst till stranden mot åsen i öst. Sjönivån: ca 23.45 möh. För plankarta se Figur 6.



Figur 9. Uppmätta grundvattennivåer med självregistrerande tryckgivare. B ligger nära brunnar till akviferlagret i södra delen av åsen och Rb0614 ligger nära brunnar i den norra delen. V009 och V12GW sitter i friktionslager under sjön. GV-gruppen: B, RB0614, Rb0609, Rb0604, Vectura: Övriga rör. Halmsjöns nivå: 23.45 möh.



Figur 10. Interpolerade grundvattennivåer 15 september 2010. Ekvidistans 5 cm.



Figur 11. Interpolerade grundvattennivåer 20-21 december 2010. Ekvidistans 5 cm.

I Figur 10 och Figur 11 visas interpolering av grundvattennivåer i september och december, dvs. tidpunkter då driften i huvudsak skall vara enligt sommar drift respektive vinter drift. Normalen mot angivna isolinjer visar grundvattenströmningens riktning.

Bilden av grundvattenströmningen är likartad vid de två tillfällena och är inte påtagligt influerad av driftfallet eller att fler mätpunkter tillkommit. En svag gradient finns i båda fallen mot nord över sjön samt i åsen västra kant mot Halmsjön. Vid mätningen i december är dock inte full vinter drift utvecklad. Den generella strömningsbilden i Figur 10 och Figur 11 bedöms därför komma att ändras vid fullt utvecklad stationär vinter drift vilket har varit fallet under januari 2011 samt under kortare perioder under december, se *Figur 9*.

Vidare finns en gradienten i riktning mot den dämnda sjöns utlopp i den sydvästra delen av området, innefattande den södra delen av rampen.

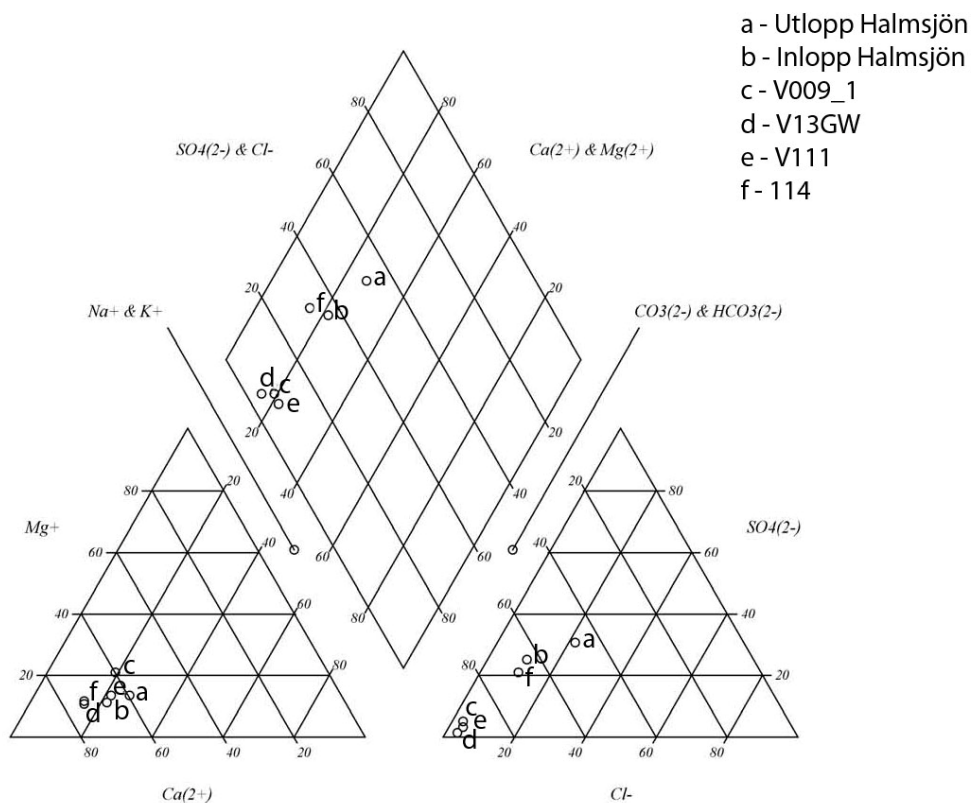
### 3.3.5 Yt- och grundvattenkemi.

I Tabell 1 presenteras analysresultat för de olika provtagningspunkterna. Vattenkemiska parametrar kan nyttjas som spårämnen. Ett sätt att jämföra koncentrationer är med piper plot där huvudkonstituenternas halter plottas mot varandra (se Figur 12). Figuren visar att de olika proverna delvis representerar olika vattenkemi. Skillnad finns t.ex. mellan vattenkemin i sjöns in- och utlopp, vilket kan ha flera orsaker, bl.a. lång omsättningstid. Underlaget behöver kompletteras för att tydliga slutsatser skall kunna dras om strömningsmönster, typ och ursprung samt blandningsförhållanden mm.

*Tabell 1. Analysresultat (urval av parametrar) från provtagning 15 september 2010.*

Provpunkt	V009_1	V11	V12GW	V13GW	V111	V101	Inlopp Halmsjön	Utlopp Halmsjön
N-tot	2,94	1,25	0,47	3,48	0,72	0,76	0,56	0,33
Ca	70,2	88,8	98,7	74,2	61,6	114	56	64,8
Mg	14,7	9,24	9,51	6,42	7,62	10,8	5,69	8,86
Na	21,8	22,4	19,7	14,8	20,2	22,6	11	24,9
K	7,15	5,37	9,02	5,26	6,26	7,75	16	14
Fe	0,0042	0,0104	0,0706	0,0056	0,0408	0,0404	0,106	0,0039
Mn	310	276	413	454	181	229	27	0,879
pH	7,5	7,4	7,5	7,4	7,1	7,2	7,3	8,1
alkalinitet	1100	270	250	990	210	320	160	160
ammonium	2,9	1,25	0,422	3,92	0,282	0,762	0,079	<0.050
nitrat	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	0,78	<0.50
klorid	21,7	22,9	25,5	20	24,8	29,8	16,1	42,7
sulfat	47,7	59	87,9	27,6	25	78,6	48,9	80,8





**Figur 12. Piper plot för grund- och ytvatten vid Halmsjön baserad på analysresultat från provtagning 15 september 2010. Genom placeringen i diagrammet kan olika vattens jonsammansättning jämföras. Diagrammet består av tre delar. I de två triangulära delarna anges den relativa halten av ämnena. Dessa är projicerade på den rombiska delen.**

### 3.4 Värdering och slutsatser

Resultat från undersökningar visar att hydraulisk kontakt finns mellan friktionsmaterial under Halmsjön och Långåsen. Trycknivån i friktionslagret under sjön är ca 0.2-0.35 m under sjönivån (september) för att i december ha minskat till ca 1 dm när det rena somrardriftfallet upphört. Detta tyder på kommunikation med ett avsaknat grundvattenmagasin i Långåsen, NV sjön. Det är också möjligt att åsens naturliga grundvattennivå i den norra delen är lägre än den dämnda sjöns nivå.

Gradienten mellan grundvattenrör i sjön och åsen i östlig och nordlig riktning är flack (Figur 7 och Figur 8). Detta kan tolkas som att den hydrauliska konduktiviteten i friktionslagret är hög. Detta styrks också av utförda pulstester. Uppmätta grundvattennivåer påverkas tydligt av driftsituationen för akvifervärmelagret. Bilden över strömningsmönstret mellan de två mättillfällena i september och december 2010 är dock likartad (Figur 10 och Figur 11). Full vinterdrift för akviferlagret bedöms dock ge en annorlunda strömningsbild, vilket var fallet under januari 2011 och kortare perioder under december 2010, se *Figur 9*.

Undersökningarna i aktuella punkter visar att sediment- och lerlagret i sjön verkar tätande eftersom en tryckskillnad finns mellan det vattenförande friktionslagret under sjön och sjöns nivå.

Ljusrampen har nord-sydlig utsträckning över Halmsjön och är grundlagd på sprängsten. Den norra delen av rampen underlagras av lera som i sin tur överlagrar friktionsmaterial. Den övriga delen av sprängstensrampen kan vara grundlagd direkt på berg eller på friktionsmaterial.

Grundvattennivåmätningarna visar att den mellersta och södra delen av rampen dräneras mot sydväst. Eventuellt läckage mellan sjön och underliggande friktionslager innebär att läckagevattnet dräneras i riktning mot den dämde sjöns utlopp i sydväst, se Figur 10 och Figur 11. Den norra delen av rampen vilar på ett lerlager som överlagrar friktionslagret. Där upprätthålls en nivåskillnad mellan sjön och friktionslagret. Skillnaden är dock mindre jämfört med andra delar.

De vattenkemiska undersökningarna visar på att olika typer av vatten förekommer.

Osäkerhet finns för i vilken grad Halmsjön har hydraulisk kontakt med Långåsen. Att en viss tätning föreligger styrks av att en nivåskillnad finns mellan sjön och grundvattnet nära stranden vid den norra och mellersta delen av stranden (avvikande nivå jämfört med sjön). I den södra delen kan en ut- resp. inströmning av grundvatten mellan åsen och sjön inte uteslutas.

Swedavia avser att utföra kompletterande undersökningar för att närmare klargöra de hydrogeologiska förhållandena i anslutning till Halmsjön.

## 4. Grundläggning

För grundläggningen av bana 3 har flera möjliga metoder utvärderats. Robusthet, praktiskt utförande och miljöpåverkan är några av de frågeställningar som har lagts till grund för den slutliga lösningen.

### 4.1 Angränsande befintliga anläggningar

*Norra delen av planerad förlängning Ramp K, vid bana 2*

Grundläggningsmetod: varierar inom området, ställvis inga åtgärder, i övrigt används tidig utläggning samt urgrävning och återfyllning. [2] [3] [4]

*Södra delen av planerad förlängning mot bana 3 norra banändan (rullbanan)*

Grundläggningsmetod: urgrävning och återfyllning [12].

*Väg 273*

Grundläggningsmetod: nedpressad sprängstensbank i kombination med urgrävning. [9] [12]

*Ljusramp bana 3 i Halmsjön*

Grundläggningsmetod: urgrävning och nedpressning i kombination med överlast. [9]

### 4.2 Grundläggningsmetoder

En översiktlig studie av olika grundläggningsmetoder har utförts för terrasseringen över sjön. De metoder som studerats har varit:

- nedpressning
- förbelastning
- spont och pålning
- bankpålning, jordförstärkning (KC, pelare, stenpelare, masstabilisering)
- Pålgrupper som bär upp fackverksbalkar och betongdäck
- samt kombinationer av metoder.

Tre av ovanstående metoder har utretts vidare. Dessa är nedpressning i kombination med överlast, två varianter av påldäck, se översiktlig beskrivning under "metodbeskrivning" nedan. Av dessa metoder bedömdes "påldäcket" vara mest intressant och en fördjupad utredning av detta alternativ har utförts och redovisas i TB del I, bilaga 1.6.

Viktiga aspekter som har beaktats vid valet mellan ovanstående tre metoder är praktiskt utförande, robusthet, ekonomi, teknik och miljö-/omgivningspåverkan.

*Delen norr om Halmsjön, anslutning mot bana 2 (ramp K)*

I det fall behov av markförstärkning är nödvändig kommer i huvudsak urgrävning och återfyllning att bli aktuellt.

*Halmsjön*

Botten består av mycket lösa sediment, vars mäktighet ökar i östlig riktning. De studerade alternativa metoderna måste säkerställa att sättningar inte överstiger kraven och att säkerheten mot stabilitet är tillräcklig. Miljökrav och omgivningspåverkan är också styrande.

Även kombinationer av metoder kan vara aktuella. Aktuella metoder redovisas översiktligt nedan.

#### Delen väster om Halmsjön

Området utgörs i huvudsak av berg och fastmark (morän). Där lösjord förekommer utförs urgrävning. Här kommer i viss utsträckning bergschakt att behövas.

#### Delen söder om Halmsjön, anslutning mot bana 3

Utskiftning av gammal fyllning, urgrävning och återfyllning.

### **Metodbeskrivning**

De metoder som kan anses vara aktuella för Halmsjön är följande:

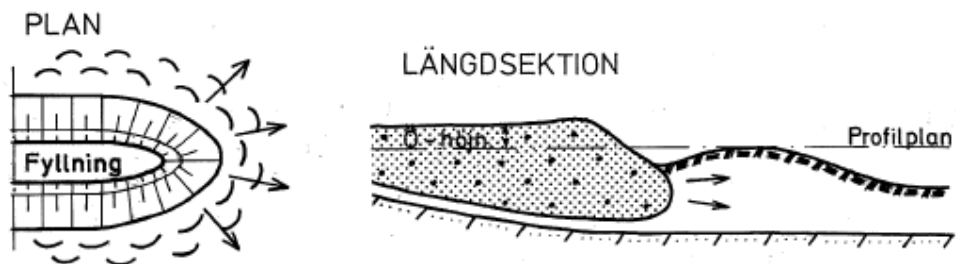
- ✓ Nedpressning av lösa sediment, eventuellt i kombination med förbelastning och vertikaldräner
- ✓ Påldäck (två varianter)
- ✓ Pålgrupper som bär upp fackverksbalkar och betongdäck (TB del I, bilaga 1.6)

Principerna för dessa olika metoder beskrivs översiktligt nedan.

#### Nedpressning av lösa sediment (bilaga 2-3)

Metoden nedpressning innebär att en bank fylls ut med så stor överhöjning över projekterat profilplan att befintliga lösa jordlager pressas undan och ersätts med fyllningsmassor. [13]

Vanligen sjunker inte fyllningen ända ner till fast botten, utan man får ett skikt kompressibel jord kvar under fyllningen. Nedpressning kan underlättas genom att sk "frontschakt utförs" framför tippfronten.

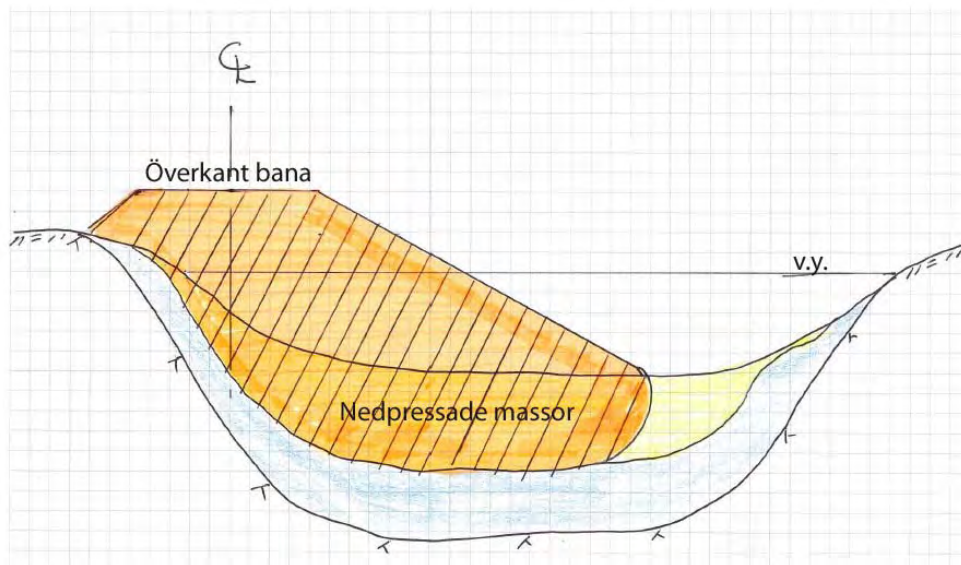


#### Förbelastning

Förbelastning innebär att marken i förväg belastas för att minska eller eliminera framtida sättningar som skulle uppkommit om man direkt skulle ha belastat marken med t.ex. en stor uppfyllnad, byggnad eller väg. Metoden innebär att man förbelastar jorden för den framtida nyttolasten.

Påldäck

Innebär att terrassering utförs på ett stort däck av betong som grundläggs på pålar.

**Utredningsalternativ för utförande av terrassering**Nedpressning / förbelastning av lösa sedimentFördelar

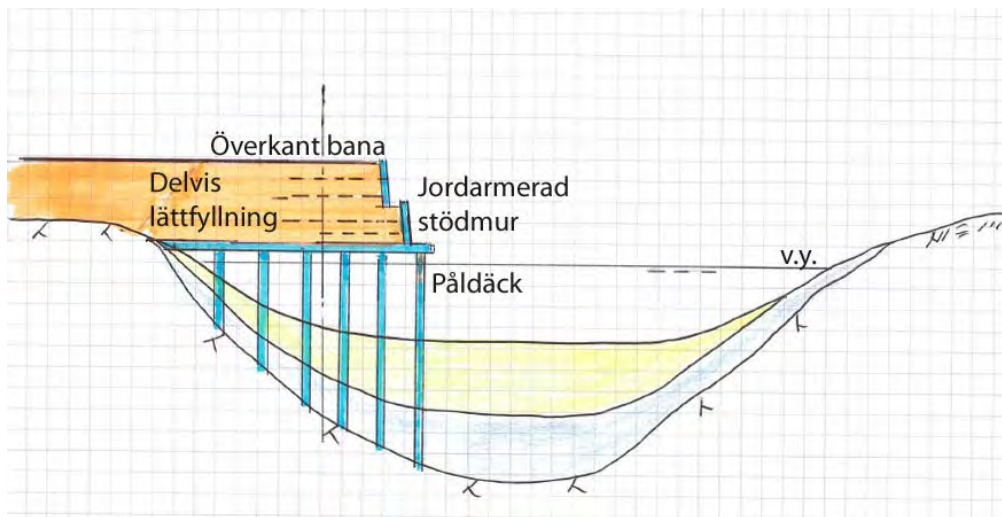
- ✓ Fördelar med nedpressning är framför allt att det är en relativt billig metod.
- ✓ De lösa jordskikten som återfinns längs en del av banan över Halmsjön är även lämpliga för att nedpressningen ska ge ett tillräckligt markgenombrott.
- ✓ Vid förbelastning kan vertikaldräner användas för påskynda sättningsförloppet och därmed minska bankens liggtime. Vertikaldräner anses också som en relativt billig metod.

Nackdelar

- ✓ Kräver långa liggtime.
- ✓ Svårt att prognosticera erforderlig tidsåtgång. Förlängd liggtime kan bli aktuellt.
- ✓ Totalstabiliteten i området kan vara ett problem. När sjöbotten lutar, vilket är fallet i Halmsjön, kan fyllningen glida i sidled och orsaka skred eller att åtgången på fyllnadsmassor blir mycket större än den beräknade volymen.
- ✓ Under de lösa övre sedimenten har fastare lera på djup ner till ca 17 m upptäckts i delar av Halmsjön. Detta kan innebära att nedpressningen inte får den förväntade effekten och resultatet kan bli att sättningarna blir långvariga.
- ✓ Intill ett nedpressningsområde kan skada uppstå på befintliga ledningar, trummor, vägar osv.

- ✓ Nedpressning i vattendrag och sjöar medför relativt stor omgivningspåverkan t.ex. bottenhävning och uppgrumling av vatten. Inverkan på strömningsförhållanden, fåglar och fisk ska beaktas.
- ✓ Relativt omfattande kontroll och uppföljning erfordras vid nedpressning. Kostnaden för detta ska även räknas med vid kostnadsjämförelser.
- ✓ Vertikaldräner som förs ned genom hela lerlagret innebär att en dränerande förbindelse upprättas mellan friktionsjorden under de täta lerlagren och sjön.
- ✓ Risker under utförandet. Svårt att kontrollera och verifiera resultatet.
- ✓ Muddring och hantering av muddermassor kan behövas.

#### Påldäck (bilaga 4-5 samt fördjupad utredning se TB del I, bilaga 1.6)



#### *Fördelar*

- ✓ Robust lösning
- ✓ Minimerar intrånget i Halmsjön genom att man slipper fylla med slänter.
- ✓ Omgivningspåverkan är relativt liten jämfört med nedpressning och utförande som bygger på jordförstärkning med stabilisering.
- ✓ Pålsystem kan väljas så att påverkan på grundvatten minimeras. Vidare tas inga jordmassor upp till ytan. Detta är fördelaktigt ut miljö synpunkt.
- ✓

#### *Nackdelar*

- ✓ Hög pålkostnad - stora laster och extremt lösa sediment till stora djup i kombination med fritt vatten innebär att en stor del av pålen står utan sidomotstånd. För att klara stabilitet och bärförmåga krävs styva pålar med relativt stora dimensioner, t.ex grova betongfyllda stålrörspålar.
- ✓ Låg installationskapacitet om jobben utförs från pråm /" jack upp" rigg.

- ✓ Dräneringsväg öppnas mellan sjön och underliggande lager friktionsjordlager (behöver inte vara negativ)
- ✓ Injektering av stora cementmängder kan medföra förändringar av PH-värdet i sjön.

Baserat på en sammanvägning av för- och nackdelar för de olika metoderna förordas en lösning med påldäck med överbyggnad utförd på ett fackverk. En mer detaljerad beskrivning redovisas i TB del I, bilaga 1.6.

## 5. Skyddsåtgärder

I dagsläget finns ett antal olika reningsmetoder för att förhindra grumling i vattendrag. En kombination av flera olika metoder är ofta tänkbar [16].

Ofta ställs det krav på att grumling ej får ske under vissa perioder eller att grumling skall förhindras. Genom besiktning har man möjlighet att bedöma de lokala förutsättningarna för olika typer av åtgärder. Skräddarsydda kontroll- och provtagningsprogram bör tas fram innan arbetena påbörjas.

Länsor och geotextilgardiner används för att minska grumling i samband med byggarbeten i vattendrag, t ex vid pålning eller grävning. Geotextilgardiner hängs upp i flytenheter och förankras i botten runt ett grumlande arbete. Geotextilen har en filtrerande verkan och det material som slammas upp från botten sprids då inte ut i vattendraget, utan stannar kvar innanför geotextilgardinen.

En möjlighet är också att temporärt sänka nivån i sjön och leda förbi inströmmande vatten under de grumlande arbetenas utförande. Då förhindrar man effektivt spridning nedströms.

Olika muddringsmetoder är också tänkbara för att eliminera eventuell förorenings-spridning. T.ex. är sugmuddring möjlig och innebär att man "dammsuger" botten till en förutbestämd nivå. Muddrat slam pumpas till bassäng för stabilisering/avvattning.

Det är också principiellt tänkbart att innesluta förorenade sediment genom täckning.

Geotextilgardiner bedöms vara en tillräcklig skyddsåtgärd.



*Figur 13. Flygbild över Halmsjön i samband med ljusrampens byggande. Grumling är genom skyddsåtgärder begränsad till den västra delen av sjön.*

## 6. Källförteckning

Underlag för den geotekniska, hydrogeologiska och miljötekniska utredningen är:

- [1] Rapport Geoteknik, Arlanda Bana 3, Förlängning av ramp K, upprättad av AB Jacobsson och Widmark, daterad 1999-06-23.
- [2] PM Geoteknik nr 1, Arlanda Bana 3, Förlängning av ramp K, upprättad av AB Jacobsson och Widmark, daterad 1999-06-23.
- [3] PM Geoteknik nr 2, Arlanda Bana 3, Förlängning av ramp K, upprättad av AB Jacobsson och Widmark, daterad 1999-11-15.
- [4] Rapport Geoteknik 3, Arlanda Bana 3, Förlängning av ramp K, upprättad av AB Jacobsson och Widmark, daterad 2000-10-12.
- [5] Rapport Geoteknik 2, Arlanda Bana 3, Förlängning av ramp K, upprättad av AB Jacobsson och Widmark, daterad 1999-11-10.
- [6] PM Geoteknik nr 3, Arlanda Bana 3, Förlängning av ramp K, upprättad av AB Jacobsson och Widmark, daterad 2000-10-12.
- [7] Bygghandling E4, Arlanda Bana 3, Ny sträckning v. 273 på delen: Hangarvägen – v.894, upprättad av Luftfartsverket & Vägverket Konsult Uppsala, daterad 1999-04-01.



- [8] Bygghandling TR 1, Terrassering för TWY W (Norra), inflygningslinje i Halmsjön och del av ILS-yta mm, upprättad av Luftfartsverket & Jämtfrakt Anlägg AB, daterad 1999-04-01.
- [9] Kontraktshandling 06, prissatt mängdbeskrivning Jämtfrakt Anlägg AB, 1999-02-15.
- [10] Kontraktshandling 13.9, Tillfälligt kontrollprogram i samband med anläggningsarbeten i Halmsjön och Halmsjöbäcken Luftfartsverket 1998-11-24.
- [11] Stockholm – Arlanda airport. Förstudie Förlängning Bana 3, upprättad av Luftfartsverket Teknik, daterad 2009-10-05
- [12] PM Arlanda bana 3 Markförstärkning för rullbana, Norra banänden upprättad av J&W daterad 1997-10-30.
- [13] Nedpressning av vägbank, TU 139, Statens Vägverk 1979-06.
- [14] Grundförstärkning med stenpelare, Introduktion och beräkningsmodell. Exjobb av Johan Dahlberg och Johan Hedlund, Lunds universitet februari 2008.
- [15] Pålplintar AB
- [16] Inventering av reningsanläggningar för grumligt dagvatten/tunnelvatten vid infrastrukturbyggande
- [17] Sweco 2002. Stockholm - Arlanda Flygplats. Grundvattenförhållanden.
- [18] Sweco 2007a. Akvifervärmelager Långåsen. Tillståndsansökan till miljödomstolen. Del 1. Teknisk beskrivning.
- [19] Sweco 2007b. Akvifervärmelager Långåsen. Tillståndsansökan till miljödomstolen. Del 2. Miljökonsekvensbeskrivning (MKB).
- [20] Golder 1989. Hydrogeologisk undersökning av området kring planerad bana 01R-19L vid Arlanda flygplats.
- [21] Gösta Ericsson, Studier över Stockhomsåsen vid Halmsjön. Geologiska föreningens förhandlingar. Band 82, häfte 1. 1960.

## 7. Bilagor

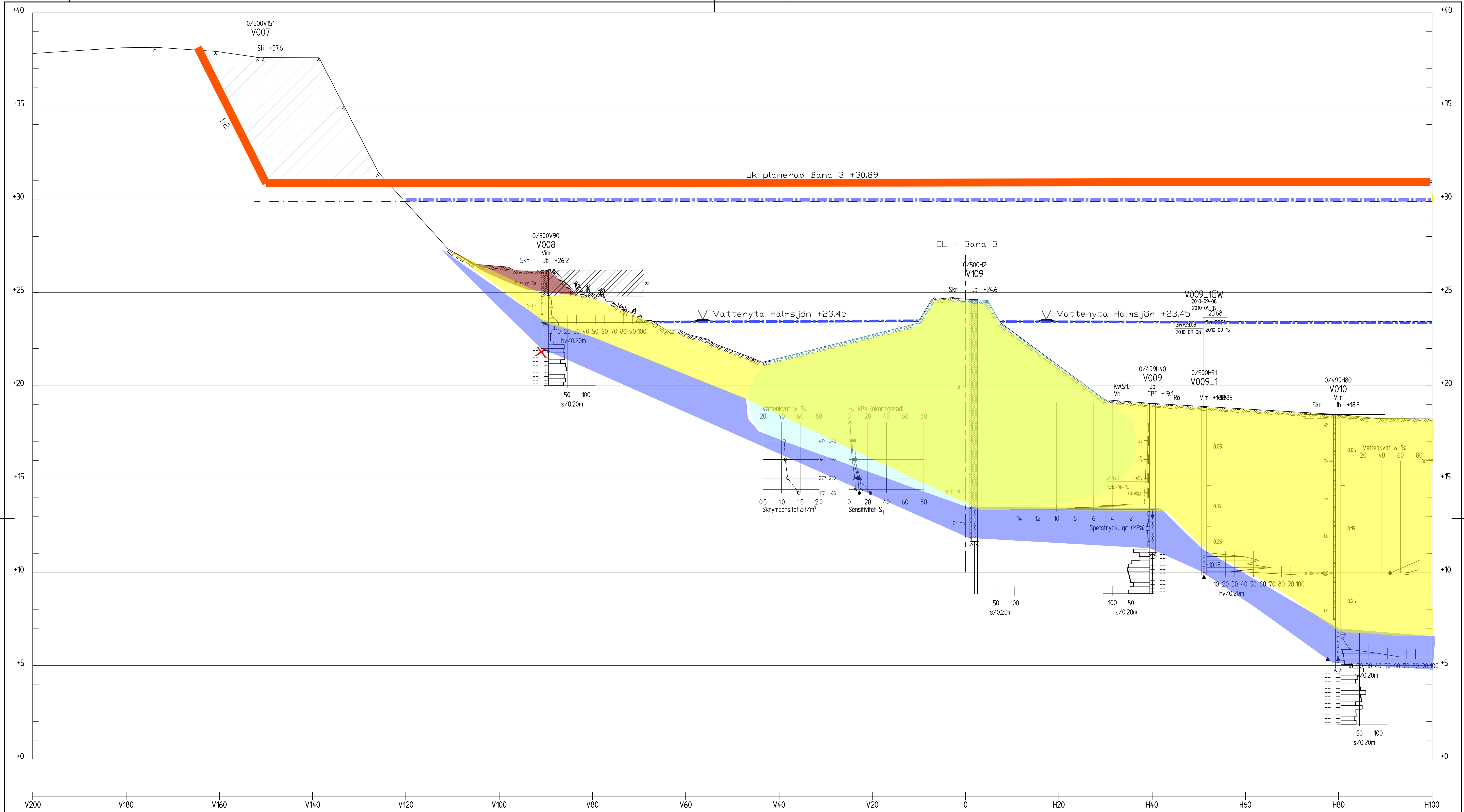
1. Tvärsektion. Sektion 0/500 H100-H560.
2. Typritning nedpressning, plan
3. Typritning nedpressning, sektion km 0/500
4. Typritning påldäck alternativ 1
5. Typritning påldäck alternativ 2
6. Karta över grundvattenrör

Vectura är marknadsledande teknik konsulter inom transportinfrastruktur och rörelseplanering. Vectura löser komplexa transportutmaningar och står för ett unikt kunnande i samspillet mellan transportslagen. Vi hjälper våra kunder att utveckla hållbara transportsystem och erbjuder tjänster inom utredning och analys, projektering, bygg- och projektledning samt drift och underhåll.

Vi är 1100 konsulter och finns på 40 orter i Sverige samt i Köpenhamn.

[www.vectura.se](http://www.vectura.se)

***Vectura***



TVÄRSEKTION 0/500  
H 1: 100 L 1: 400

**FYLLNING**

**GYTT/ LERA**

**FRIKTIONSJORD/  
MORÄN/ÅSMA  
LERA**

**BERG**

**FÖRKLARINGAR**

Redovisning enligt SGF beteckningssystem version 2001:2, se www.sgf.net  
Undersökningar utförda av Vectura har id-namn som inleds med V.

**KOORDINATSYSTEM**  
System i plan: SWEREF99 18:00  
System i höjd: RH 00

Som underlag för höjder på Bana 3 har använts Stockholm – Arlanda airport, Förstudie Förlängning Bana 3, upprättad av Luftfartsverket Teknik, daterad 2009-10-05, Tillhörande dokument, Lutning bana 1200, under fläk Bana höjder 1500.

**TILLHÖRANDE RITNINGAR**  
100G0101 Översiktsplan  
100G0202 Plan 0/200-0/750  
100G0605 Fristående borrhål 0/400-0/500 (Vecturas undersökningar)

**ANMÄRKNINGAR**

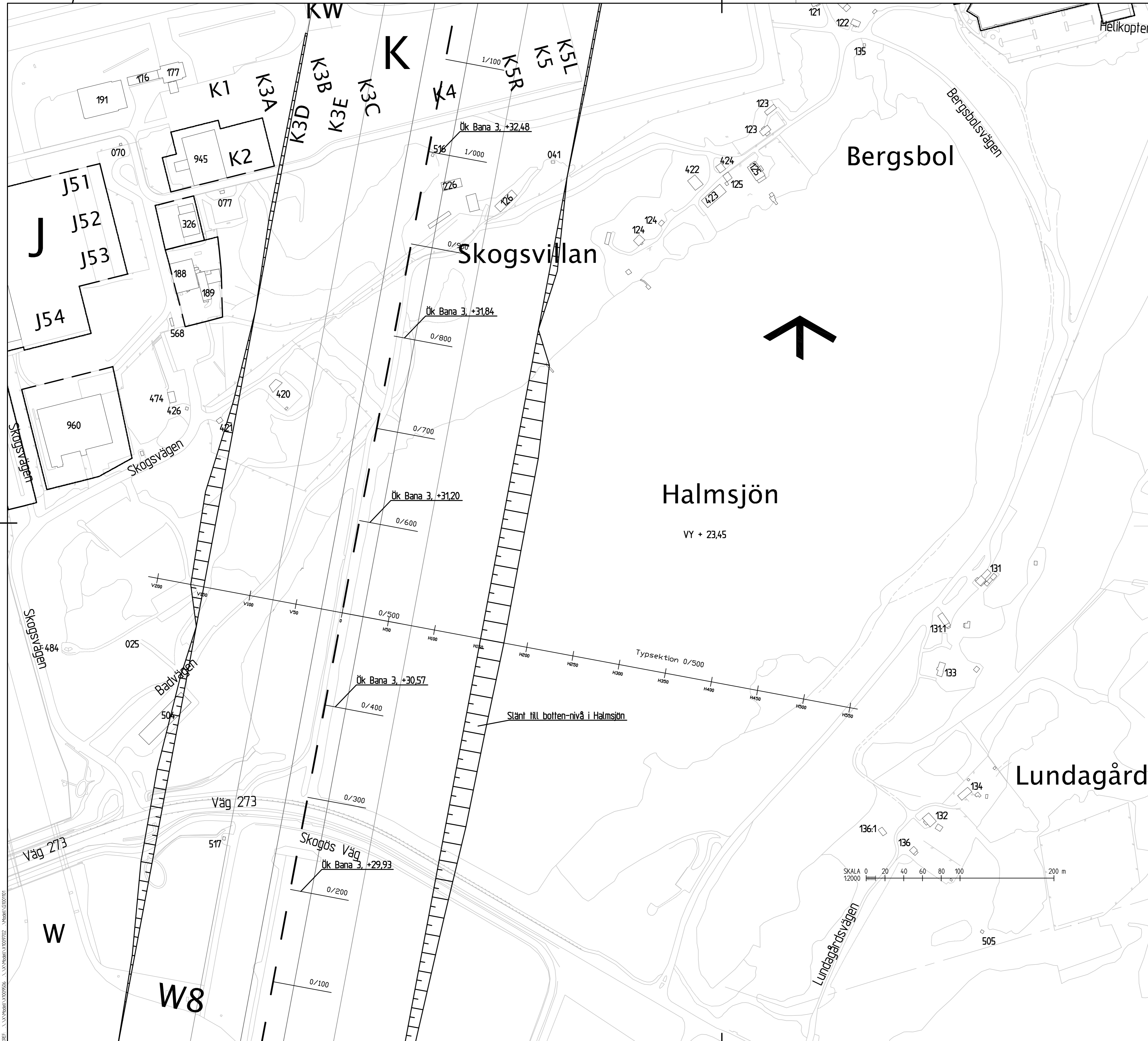
Borrhål i ljusrampen med beteckning V108, V109 och V115 är bergsborrning utförda med en Klemm bormaskin. Foderrör av typen OD 101 mm och vattenspolning har använts vid utförandet. Jordarter har bedömts okulärt i fält vid uppspolning.

REV	ANT	ÄNDRINGEN AVSER	GGK	DATUM	VV DATUM	VV DIARENSPNER
XXXX						
			ARBETSMATERIAL			
			ARLANDA BANA 3			
UPPDRAGSANSVARIG F CLIFFORD			SEKTION 0/500 V200-H100 GEOTEKNISK UNDERSÖKNING			
KONSTR J ST JÄRNBORG XXXX			TVÄRSEKTION			
VASTERÅS GODKÄND AV XXXX			KONSTRUKTIONSR 2010-10-01 FORMAT A1 SKALA H:1:100 L:1:400 RITNINGSR 100 G 09 02			

REF: \\sv\sv\proj\1009504 - Medel\1009501 - \sv\sv\proj\1009507

Filnamn: \\sv\sv\proj\1009504 - Medel\1009501 - \sv\sv\proj\1009507







Schematisk redovisning av bana 3:s utformning över Halmsjön.  
 Som underlag för höjder på Bana 3 har använts Stockholm - Arlanda airport, Förstudie Förtälgning Bana 3, upprättad av Luftfartsverket Teknik, daterad 2009-10-05, Tillhörande dokument, Lutning bana 3 1200, under fluk Bana höjder 1500.

**KOORDINATSYSTEM**

System i plan: SWEREF99 18.00  
 System i höjd: RH 00

**TILLHÖRANDE RITNINGAR**

100G1102 Typsektion km 0/500 (V200-H550)

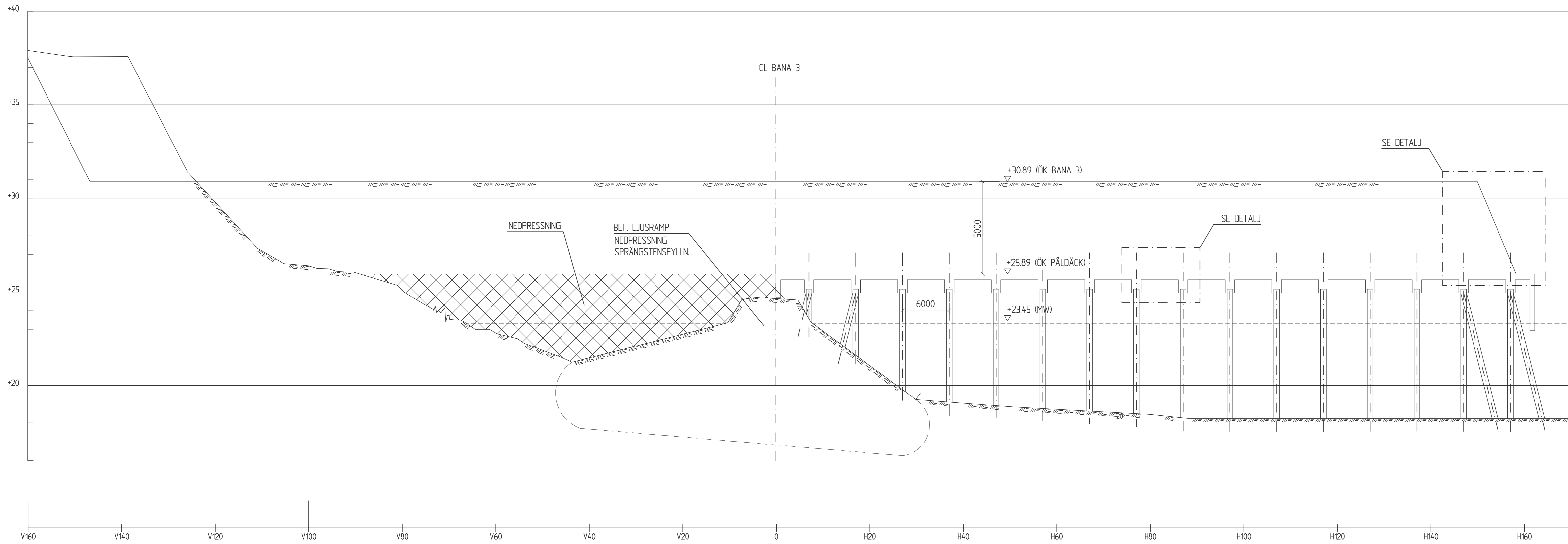
REV	ANT	ÄNDRINGEN AVSER	GÖD	DATUM	VV DA TUM	VV DIARENUMMER
XXXX						
ARBETSMATERIAL			ARLANDA BANA 3			
						
URDRAGSANSVARIG			URDRAGSNUMMER			
F CLIFFORD						
KONSTR			KONSTRUKTIONSR			
J ST JÄRNBORG			XXXX			
VÄSTERÅS			RITNINGSR			
2010-10-01			2010-10-01			
GODKÄND AV XXXX			OBJEKT NR			
			RITNINGSR			
			100 G 11 01			
			REV			

XREF: \\svp0001\proj\100702\100702\map\G110101

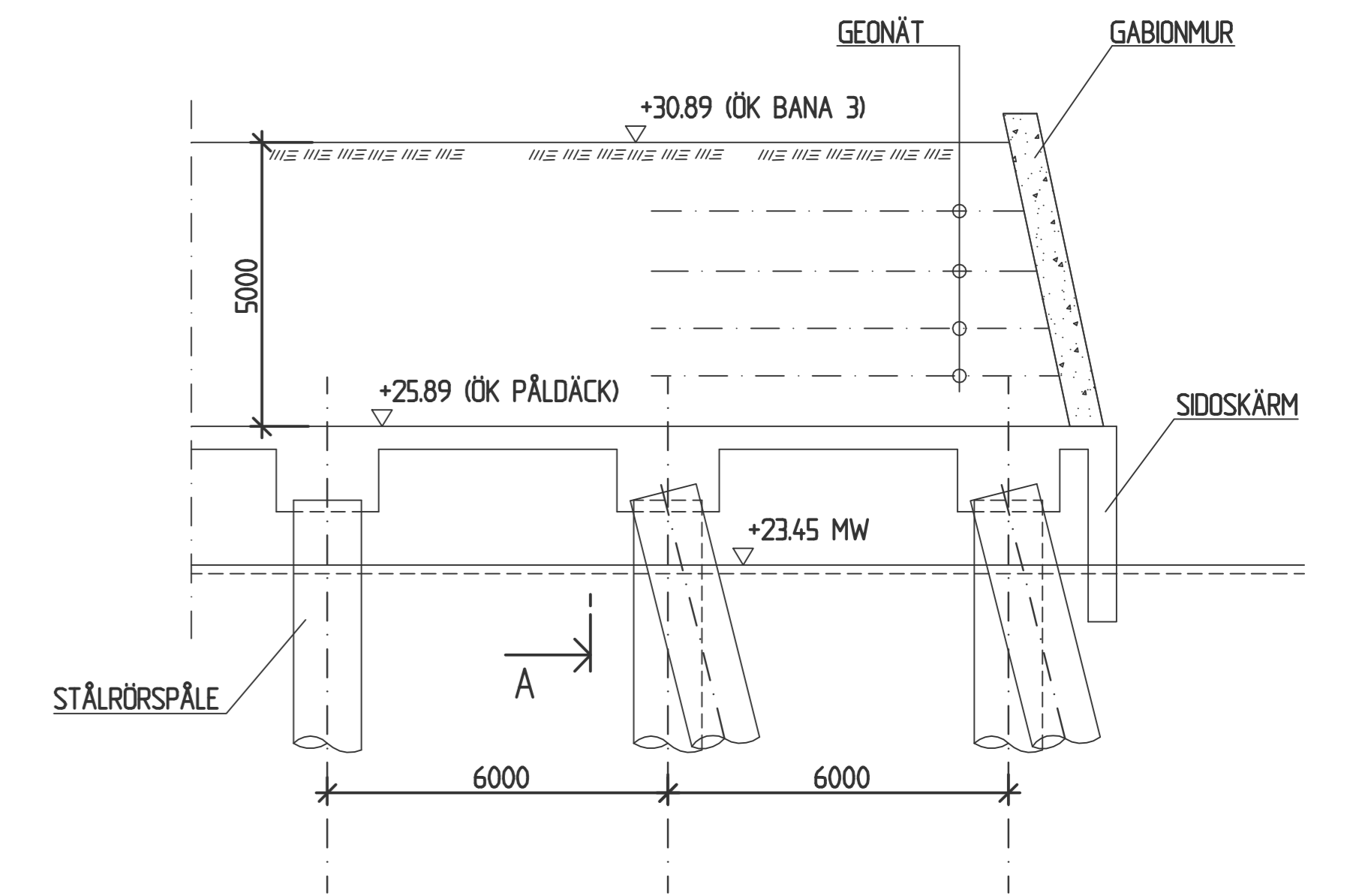
Ritning w:\100702\G1101\G1101\100702\100702\map\G110101



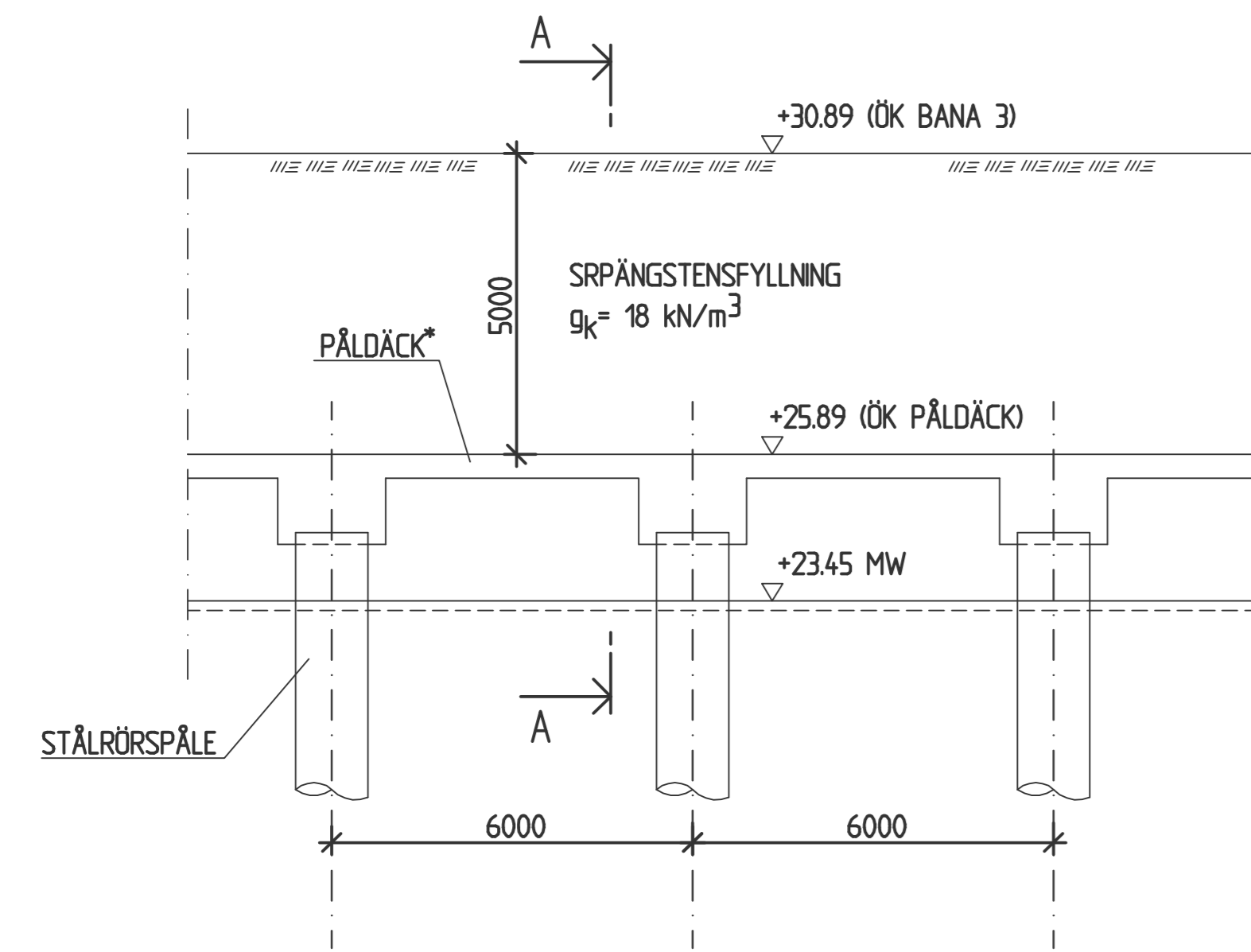




TVÄRSEKTION 0/500  
H 1:100 L 1:400

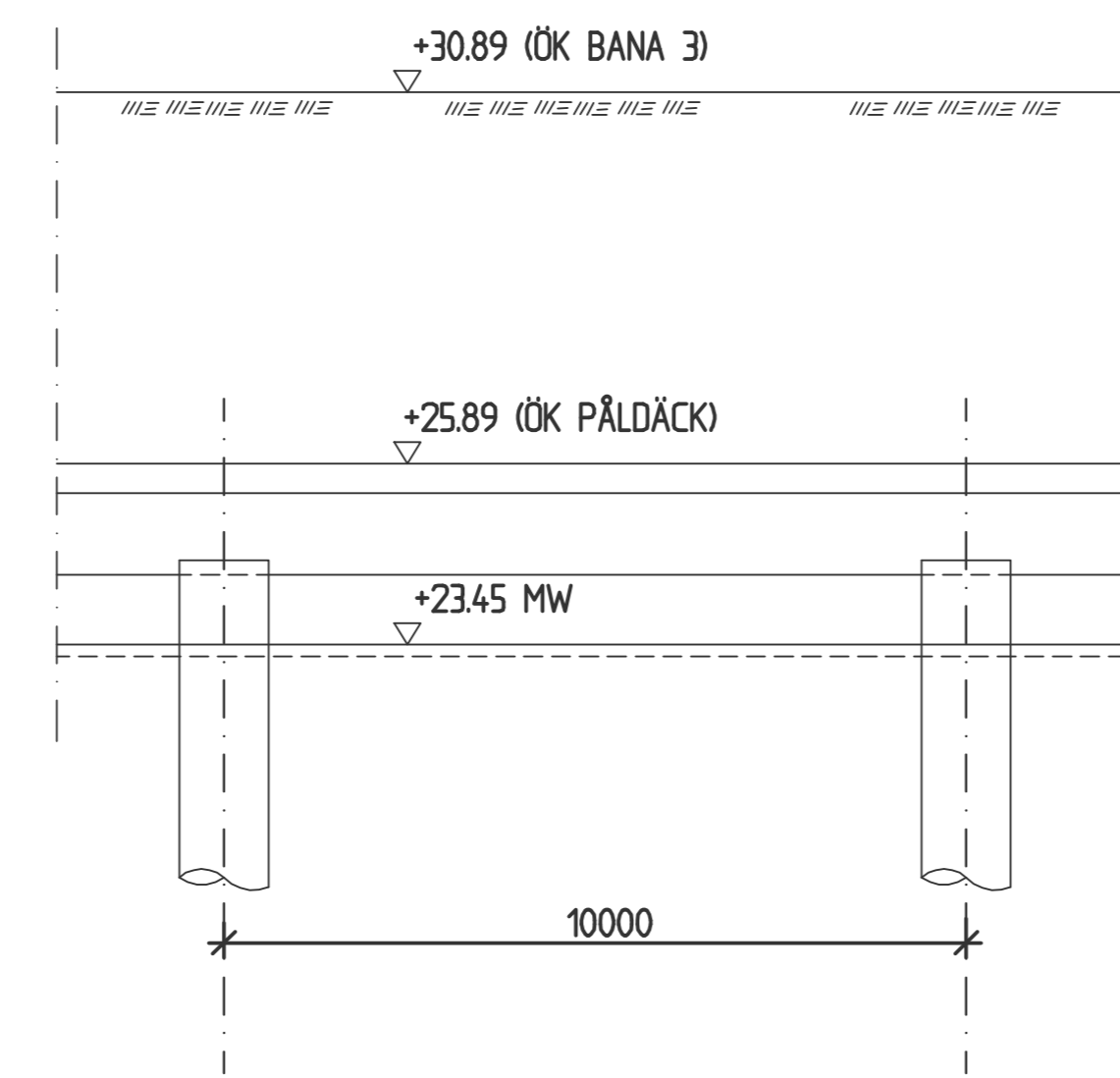


DETALJ AVSLUTNING-PÅLDÄCK  
SKALA 1:100

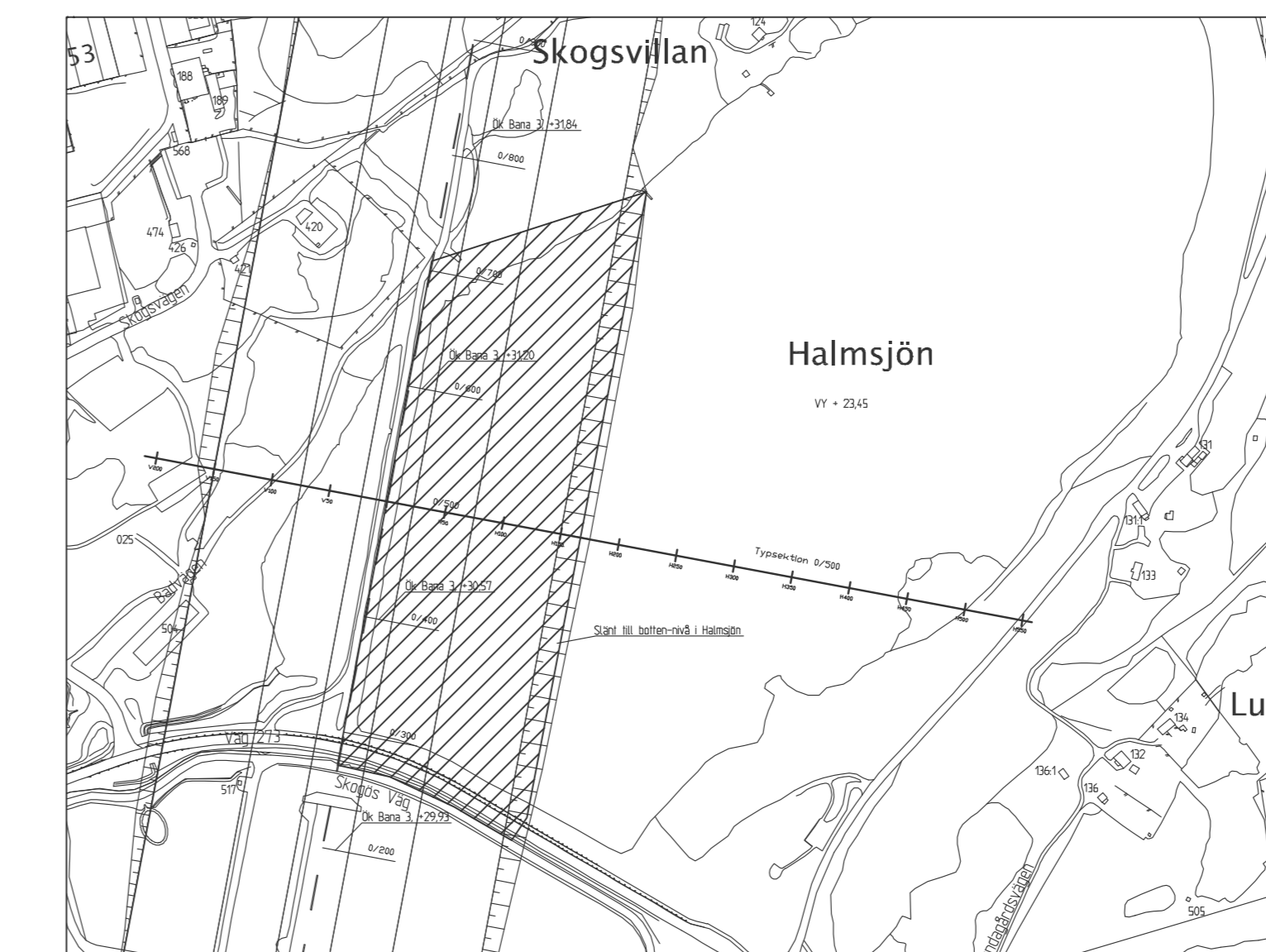


DETALJ PÅLDÄCK  
SKALA 1:100

PLATSBYGGT ALT.  
PREFABRICERADE PLATTOR



SEKTION A-A  
SKALA 1:100



ÖVERSIKTSPLAN

▨ PÅLDÄCK

REV	ANT	ÄNDRINGEN AVSER	GOÄK	DATUM	VV DATUM	VV DIARIENUMMER
XXXX						
ARBETSMATERIAL			ARLANDA BANA 3			
Vectura			PÅLDÄCK ALTERNATIV 2			
UPPGÄVANS ANSVARIG			UPPGÄVANS LEDDARE			
F CLIFFORD			104486			
TYPNING			XXXX			
A FRIDHOLM			XXXX			
VÄSTERÅS			2010-09-28			
GODKÄND AV XXXX			100 K 00 02			



## Bilaga 7

