

Uppsala spårväg

PM Geoteknik -Underlag för samrådshandling
2020-06-10

Dokumentnamn:	PM Geoteknik -Underlag för samrådshandling
Författare:	Charlotta Carlsson, geotekniker WSP Samhällsbyggnad AB
Tillhör:	Projektledning, Infrastruktur, Vatten, Översiktlig vattenutredning del 2
Status:	Granskningshandling
Godkänt av:	Thomas Blomqvist, Uppsala kommun
Versionshantering	0.1

Innehållsförteckning

1	Uppdrag.....	1
1.1	Objekt	1
1.2	Dokumentets syfte.....	1
2	Underlag	1
3	Anläggningsbeskrivning.....	2
4	Förutsättningar för spårväg.....	3
4.1	Placering av spårväg.....	3
4.2	Vattenskyddsområde	3
4.3	Sättningar	4
4.4	Stabilitet.....	4
4.5	Uppbyggnad av spårväg.....	4
5	Planerad spårsträckning.....	5
5.1	Sträcka A.....	5
5.2	Sträcka B.....	9
5.3	Sträcka C.....	12
5.4	Sträcka D.....	15
6	Sammanfattning.....	19

1 Uppdrag

1.1 Objekt

Uppsala kommun ska ta fram ett samrådsunderlag för spårväg alternativt snabbuss (BRT). Sträckan är ca 17 km lång, se figur 1 för preliminär sträckning. Den slutliga sträckningen kommer att fastställas under detaljplaneskedet.

WSP Sverige AB har därför fått i uppdrag att utreda de geotekniska förutsättningarna i Uppsala spårvägs sträckning. I tillägg så skall förslag på markförstärkningar redovisas översiktligt.

1.2 Dokumentets syfte

Denna utredning och detta dokument har till syfte att översiktligt beskriva de geotekniska förutsättningarna som underlag för samrådshandling Detaljplan för kapacitetsstark kollektivtrafik.

2 Underlag

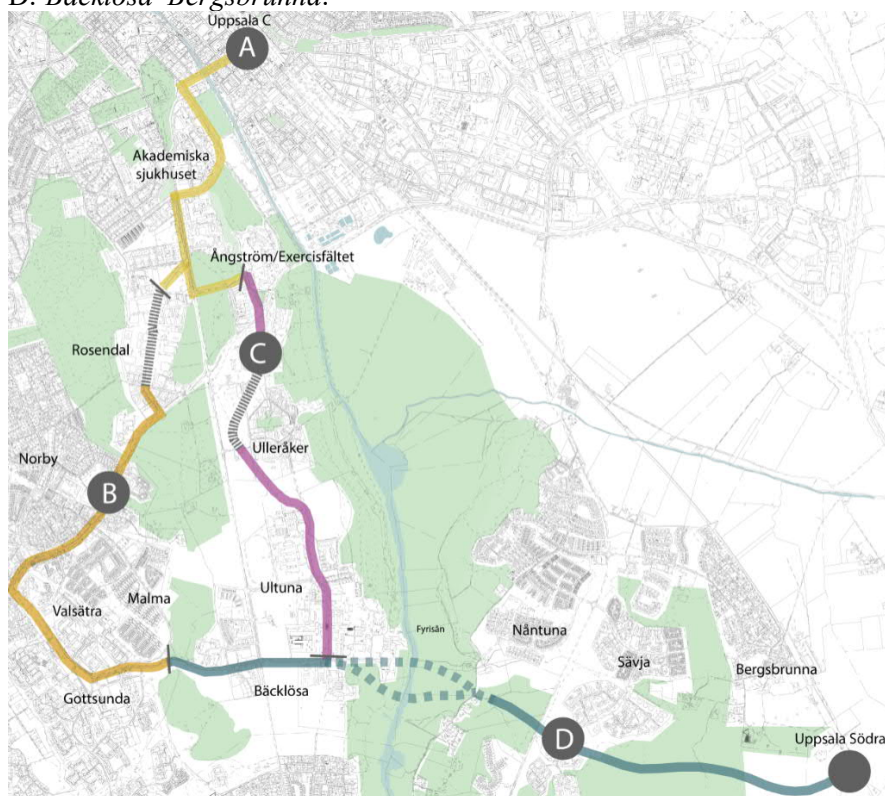
- 1) Spårutredning Kunska-spåret PM Geoteknik, uppdragsnummer 17U31896, dat. 2017-07-04 och utfört av Bjerking AB. Deluppdrag enligt nedan.
 - 1.1) A.1.1. Strandbodgatan- Islands-gatan-Stadsträdgården
 - 1.2) A3.1 och A3.2. Inre sjukhusvägen del 1 och 2
 - 1.3) A3.3. Ruddamsdalen
 - 1.4) B.1. Rosendal
 - 1.5) B.2. Vårdsätravägen
 - 1.5) B4.1. Ultuna södra
 - 1.6) C1. Exercisfältet-Norr
 - 1.7) D1. Ultunalänken
 - 1.8) Depålägen
 - 1.9) Delsträcka mellan Kungsgatan och Kungsängsleden, dat. 2017-11-14
 - 1.10) Förstudie Gottsunda
 - 1.11) Spåralternativ för Ångström och bro över Kungsängsleden
 - 1.12) PM Förutsättningar Kungsgatan-Ångström, dat. 2017-11-14
- 2) Generalkonsult Rosendal, PM Geoteknik, uppdragsnummer 10197660, dat. 2015-06-03 och utfört av WSP AB
- 3) PM Förutsättningar för grundläggning av bron väster om Fyrisån, uppdragsnummer 10165111, dat. 2012-11-09 och utfört av WSP AB.
- 4) Ångströmlaboratoriet Etapp 4, Projekterings PM Geoteknik, uppdragsnummer 13U23236, dat. 2013-12-20 och utfört av Bjerking AB
- 5) Ulleråker, Översiktlig geoteknisk undersökning, uppdragsnummer 6295073080, dat. 2015-05-28 och utfört av Sweco Civil AB.
- 6) Ulleråker, Geoteknisk undersökning för vägar och VA, uppdragsnummer 6295073407, dat. 2017-08-25 (rev. 2017-10-16) och utfört av Sweco Civil AB.

- 7) Ulleråker Etapp 1:1, Geoteknisk undersökning för detaljprojektering, uppdragsnummer 12704950, dat. 2019-05-02 och utfört av Sweco Civil AB.
- 8) SGU's jordartskarta
- 9) Rosendal Etapp 4, Projekterings PM Geoteknik, dat. 2020-03-26 och utfört av WSP AB.

3 Anläggningsbeskrivning

Det aktuella planområdet sträcker sig från Uppsala centralstation till den nya järnvägsstationen Uppsala Södra. Inom det föreslagna området föreslås ett cirka 17 kilometer långt kollektivtrafikstråk som möjliggör spårväg och snabbuss (BRT). Planområdet består till stor del av befintlig gatumark, men även ej ianspråktagen mark i form av skogsmark och jordbruksmark samt delar av befintliga bostadsytor, verksamhetsytor och rekreationsytor. Det planerade kollektivtrafikstråket förväntas gå från Uppsala centralstation och förgrenas söderut i en östlig respektive västlig sträckning. Den västra sträckningen föreslås via Rosendal och Gottsunda och den östra sträckningen föreslås förläggas via Ulleråker och Ultuna, för att sedan sammanlänkas och gå vidare österut via Bäcklösa mot Sävja och Bergsbrunna, för att avslutas i den framtida knutpunkten Uppsala Södra. Inom planområdet föreslås en ny bro över Fyrisån vid Ultuna och en bro över Kungsängsleden vid Polacksbacken. Även befintliga Islandsbron ingår i planområdet. Den föreslagna kollektivtrafiksträckningen är indelad i fyra olika delsträckor enligt följande:

- A. Uppsala centralstation–Exercisfältet
- B. Rosendal–Gottsunda
- C. Ångströmlaboratoriet–Ultuna
- D. Bäcklösa–Bergsbrunna.



Figur 1: Planerad spårväg.

4 Förutsättningar för spårväg

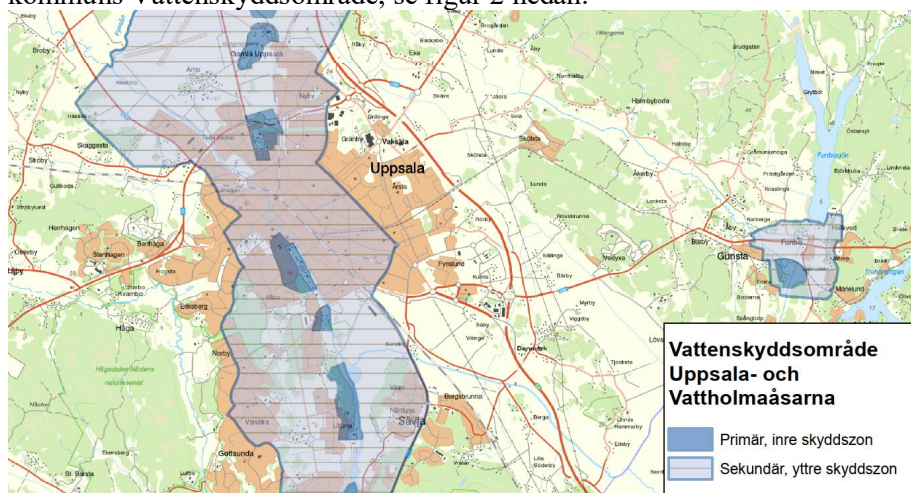
4.1 Placering av spårväg

Spåren förutsätts generellt placeras i befintlig vägbana. I sjukhusområdet så löper spårvägen i innerkurva och placeras därför delvis på de gräsytor som omger befintlig väg. Mellan Ulleråker och Ultuna samt från Ultuna till Bergsbrunna så förutsätts spårvägen gå i naturlig opåverkad mark till stor del.

4.2 Vattenskyddsområde

Grundvattnet utgör dricksvattenkälla för Uppsala och är därför skyddat för att förhindra verksamhet som kan medföra risk för förorening.

Skyddsområdet är indelat i yttre och inre skyddsområde, där det inre är särskilt skyddat. Stora delar av spårsträckningen går genom Uppsala kommuns Vattenskyddsområde, se figur 2 nedan.



Figur 2: Vattenskyddsområde Uppsalaåsen.

För markarbeten gäller följande:

Inre skyddszon

Täktverksamhet eller markarbeten får inte ske djupare än till 3 meter över högsta grundvattenyta. Den som vill utföra sådana åtgärder skall visa läget av denna vattenyta. Den som bedriver täkten är skyldig att i förekommande fall följa de anvisningar som länsstyrelsen meddelar beträffande bestämmande av högsta grundvattenyta samt i övrigt vidtaga de åtgärder länsstyrelsen kan föreskriva till skydd för grundvattnet.

Fyllnads- eller avjämningsmassor som kan försämra grundvattenkvaliteten eller försvåra den naturliga grundvattenbildningen får inte läggas inom området.

Täktverksamhet eller markarbeten får inte medföra bortledning av grundvatten eller sänkning av grundvattennivån.

Yttre skyddszon

Täktverksamhet eller markarbeten får inte ske djupare än till 1 meter över högsta grundvattenyta.

För övrigt gäller samma restriktioner som för den inre skydds-zonen.

4.3 Sättningar

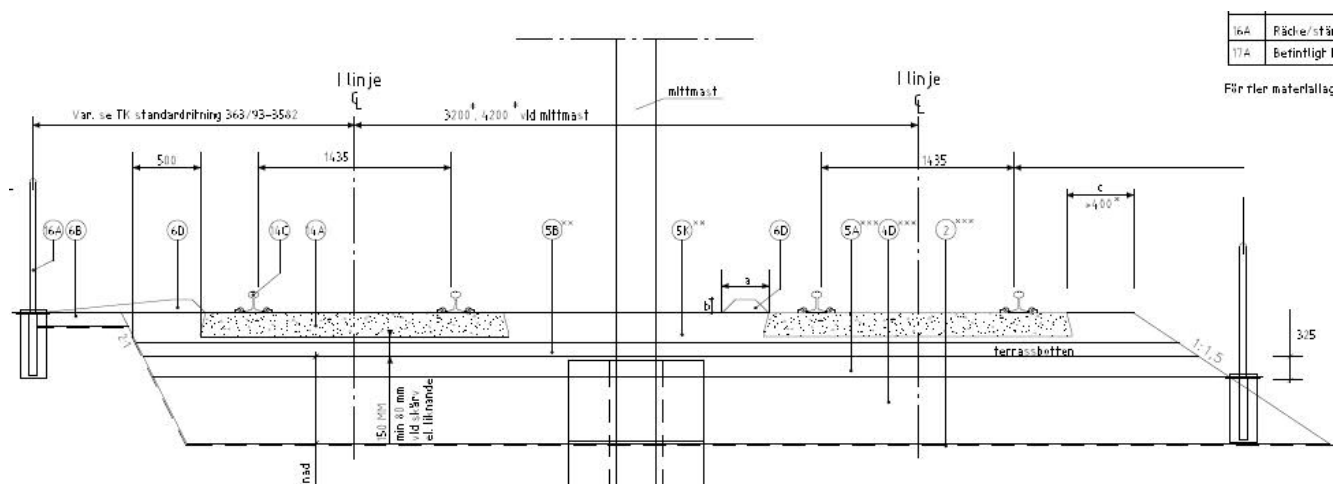
Spåret planeras främst anläggas i nivå med nuvarande mark. Där ev. höjningar av befintlig marknivå sker så finns risk för sättningar i områden med lera. Även om överkant spår ligger i nivå med befintliga gatunivåer så kan sättninggivande tillskottslaster uppkomma om spårsystemets vikt är större än vikten av den fyllning som skiftas ur. En överbyggnad vid nybyggnation (ca 1m) motsvarar en total lastökning om ca 5 kPa om markytan ej höjs. Uppfyllnader ovan mark medför ytterligare belastning. Sättningar pågår i centrala Uppsala. Förutom pågående sättningar så innebär ytterligare belastningsökningar tillkommande sättningar. Spårprofilen längs sträckan (uppfyllnadshöjden) är inte känd idag. Generellt gäller att större uppfyllnader innebär större omfattning av sättnings- och stabilitetskontroller. Ur sättnings- och stabilitetssynpunkt är det således en fördel med en låg spårprofil.

4.4 Stabilitet

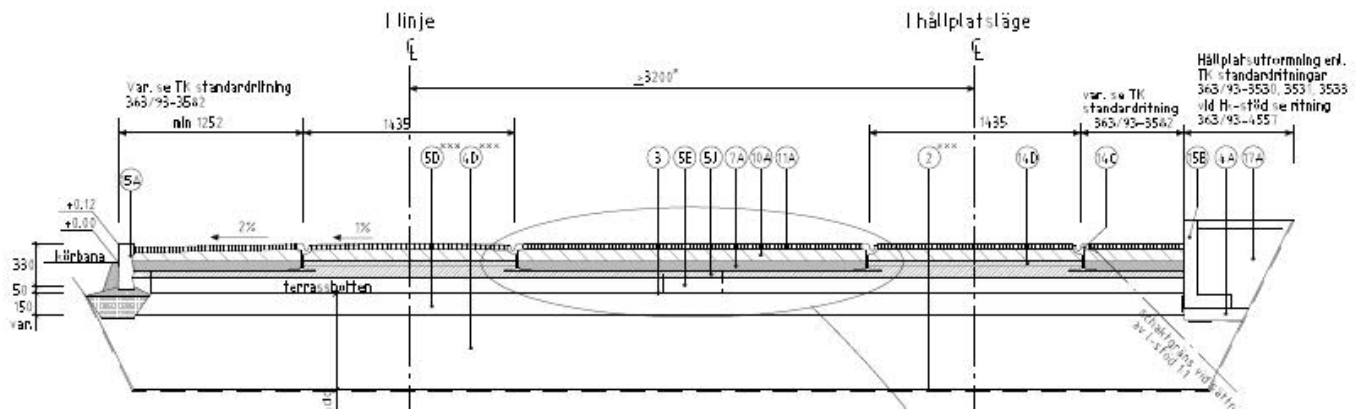
Spårprofilen längs sträckan (uppfyllnadshöjden) är inte känd idag. Generellt gäller att större uppfyllnader innebär större omfattning av sättnings- och stabilitetskontroller. Ur sättnings- och stabilitetssynpunkt är det således en fördel med en låg spårprofil. De stabilitetsproblem som har identifierats i detta skede redovisas under respektive delsträcka. Detta gäller anläggandet av ny bro över Kungsängsleden samt där spårvägen löper längs med ravinen i Gottsunda. Det skall dock nämnas att man i nästa skede och då främst när höjder är klara bör kontrollera stabiliteten längs hela sträckan.

4.5 Uppbyggnad av spårväg

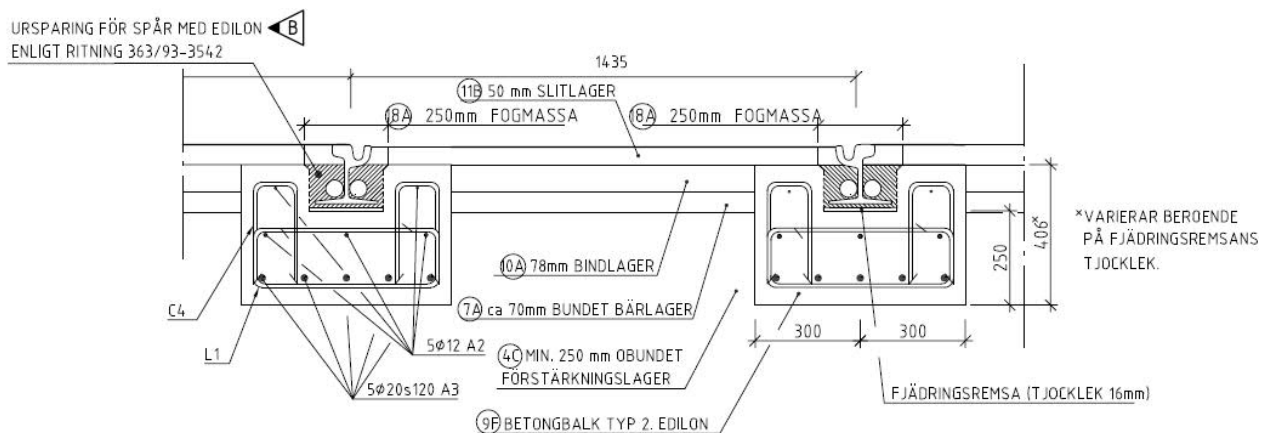
Spårvagnsspår i gatumark i Göteborg utförs generellt med 32 mm slitlager, 78 mm bindlager, 120 mm stopmakadam på 100 mm stopmakadam, totalt 330 mm. Vid nybyggnad ska till detta läggas på 150 mm stoppmakadam och 500 mm underballast. Total överbyggnad vid nybyggnation är alltså 980 mm. I tillägg måste man i Uppsala lägga till frostskydd under detta där terrassen är frostkänslig. Nedan visas några exempel på normalsektioner hämtade från Göteborgs Stad teknisk handbok.



Figur 3 Normalsektion av typ ballast spår på betongslipers (Göteborgs spårvägar, teknisk handbok)



Figur 4 Normalsektion av typ gatuspår i makadam (Göteborgs spårvägar, teknisk handbok)



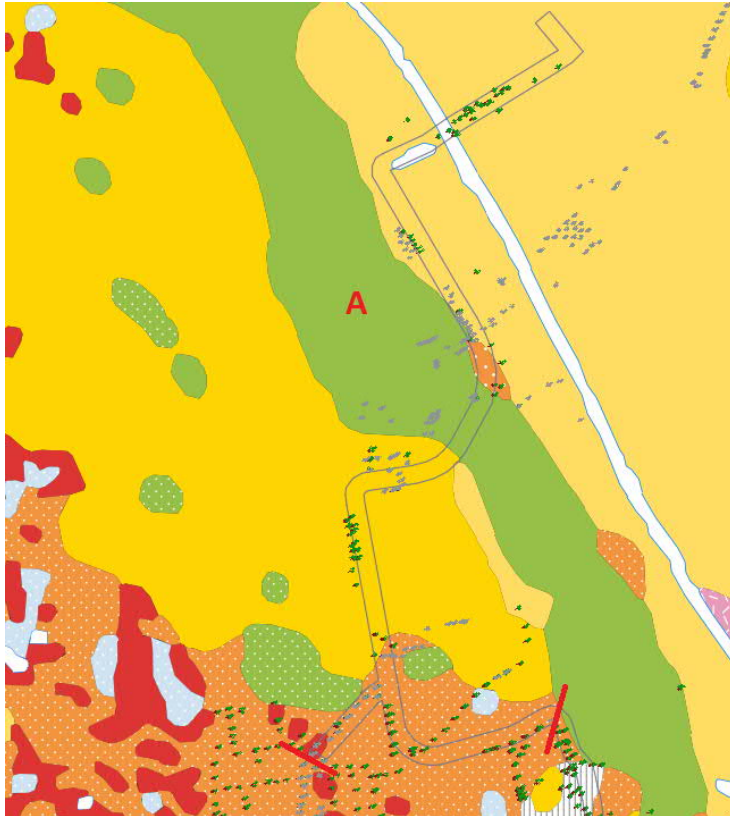
Figur 5 Normalsektion av typbetongplatta "Edilon typ 2" (Göteborgs spårvägar, teknisk handbok)

5 Planerad spårsträckning

5.1 Sträcka A

Sträcka A är planerad från Uppsala resecentrum och längs Bäverns gränd. Därefter planeras spårvägssträckningen gå via Munkgatan, över Islandsbron och sedan förbi Svandammen. Sedan via Sjukhusvägen och upp till Dag Hammarskjölds väg. I höjd med Biomedicinskt centrum så delas spårvägen i två grenar med en avstickare åt sydväst mot Rosendal och en del som fortsätter in på Regementsvägen och Ångström.

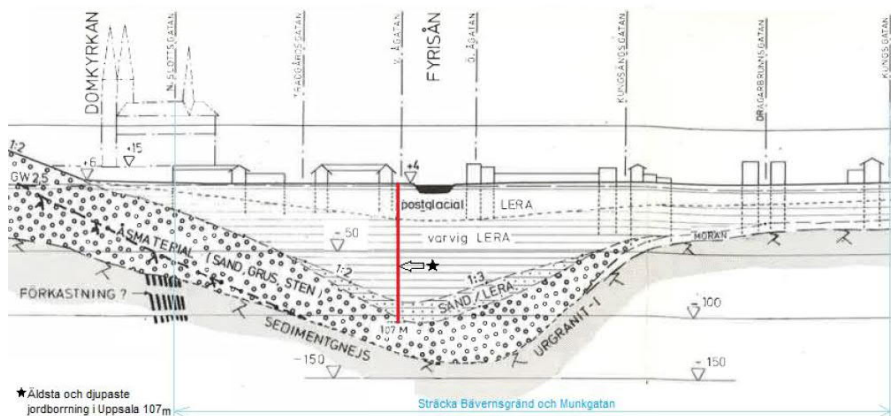
5.1.1 Geotekniska förhållanden



Figur 6: SGU's jordartskarta [8] sträcka A. Rött=ytligt berg, grönt=isälvs sediment, orange=postglacial sand, gult=lera, blått=morän.

Bäverns gränd-Islandsbron-Munkgatan

Marken utgörs överst av 0,6 – 3,0 meter fyllning. Därunder följer mäktiga lager kohesionsjord ovan friktionsjord och sedan berg se figur 4 nedan.



Figur 7. Jordprofil för aktuell sträcka. Ursprunglig bild från Ingenjörsgelogisk karta över Uppsala, S.E. Lundin, 1987 och bearbetad av Bjerking.

Kohesionsjorden utgörs av 20 – 95 meter lera med låg till medelhög skjuvhållfasthet.

Tidigare utförda avläsningar av grundvattenrör i området visar att grundvattennivån ligger kring +2,5 [1.12]. Det skall nämnas att det är välkänt att sättningar ständigt pågår inom centrala Uppsala. Dessa sättningar är resultatet av förändringar i grundvattennivåer,

tidigare uppfyllnader, markarbeten och byggnader som belastar marken. Pågående sättningar uppgår till minst 2 – 5 mm/år.

Sjukhusvägen

Mellan Svandammen och Studenternas möter centrala Uppsalas mäktiga lerlager Uppsalaåsen men underlagras fortfarande av relativt mäktiga lager av kohesionsjord vilandes på friktionsjord ovan berg.

Kohesionsjorden utgörs av 15 - 26 meter lera med mycket låg till medelhög skjuvhållfasthet.

Mellan korsningen Sjukhusvägen/Ulleråkersvägen och korsningen Sjukhusvägen/Dag Hammarskjölds väg utgörs undergrunden främst av isälvsmaterial i form av sand och grus. Ställvis förekommer kohesionsjord.

Kohesionsjorden utgörs av 0 – 10 meter lera med låg till medelhög skjuvhållfasthet.

Dag Hammarskjölds väg

Den norra delen av Dag Hammarskjölds väg utgörs överst av 1,0 - 3,0 meter fyllning ovan kohesionsjord. Därunder följer friktionsjord och sedan berg.

Kohesionsjorden utgörs av 0 – 6 meter lera med låg skjuvhållfasthet.

Söderut så utgörs marken av svallad sand som ställvis vilar på kohesionsjord.

Kohesionsjorden utgörs här av 0 – 10 meters lera med låg till medelhög skjuvhållfasthet.

Tidigare utförda avläsningar av grundvattenrör i området visar att grundvattennivån ligger kring +2,4 [1.12].

Regementsvägen

Endast ett fåtal kända sonderingar har utförts längs sträckan. Undergrunden utgörs enligt SGU's jordartskarta [8] och tidigare utförda sonderingar främst av fasta leror eller friktionsjord, främst sand [1.12].

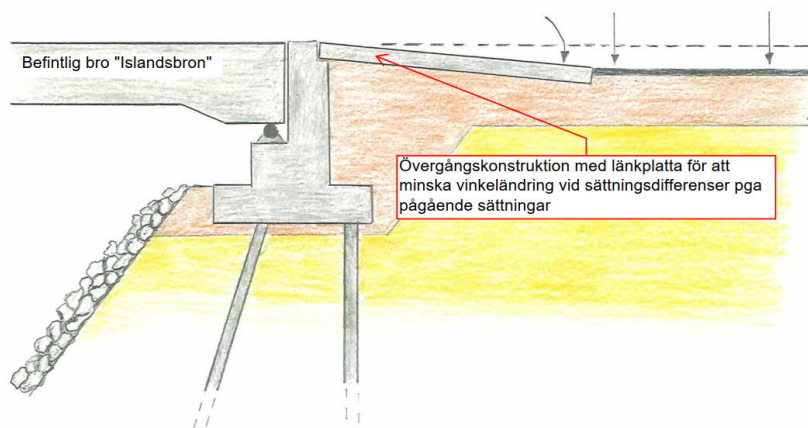
5.1.2 Problemställning

- I centrala Uppsala pågår marksättningar på ca 2–5 mm/år. Då sättningarna är allmänna så kommer anläggningar såsom vägar, ledningar och spårvägar följa med.
- Vid Bäverns gränd finns ledningar som kommer att ligga kvar under spåren. Omläggning av dessa sker när spårvägen ev. byggs men underhåll måste kunna utföras med relativt enkla åtgärder.
- Islandsbron är grundlagd på pålar vilket gör att differenssättningar utbildas mellan den pålgrundlagda bron och omgivande oförstärkt mark.
- Stora delar av Uppsalas gamla bebyggelse är grundlagd på träpålar, denna typ av grundläggning är mycket känslig för grundvattensänkningar. En sänkning av grundvattennivåerna skulle kunna göra att gamla träpålar får fri tillgång till syre och börjar ruttna.

- Sträckan går både genom inre och yttre skyddsområde för grundvatten. Grundvattnet ligger relativt högt längs delar av sträckan. Detta innebär att tillstånd måste sökas för många markarbeten. Schakt i åsen kan kräva att nya anläggningar tätas så att ingen infiltration av ytvatten sker ner till underliggande åsmaterial. Mer detaljerade utredningar krävs för att avgöra huruvida schakten innebär ett allvarligt intrång. Hårdgjorda ytor eller avjämningsmassor som försämrar grundvattenbildningen får inte anläggas inom vattenskydds-zonen. Detta bör dock inte utgöra något hinder längs större delen av delsträckan eftersom spåret i denna delsträcka främst byggs på tidigare gatumark som sedan tidigare är tät.
- Spåret passerar vibrationskänslig bebyggelse. Längs med hela Bäckens gränd samt i delar av sjukhusområdet bedöms vibrationsdämpande åtgärder behövas.
- I sjukhusområdet så löper spåret delvis bredvid nuvarande väg på orörd mark. Här kommer troligen förstärkningsåtgärder krävas i områden med lera.

5.1.3 Förslag på teknisk lösning/erfarenheter från andra spårvägar

- Möjlighet till underhåll och tillgänglighet till befintliga ledningar behöver beaktas vid val av spårlösning. I samband med grundläggning av spårvägen anläggs en kulvert eller trumma för att möjliggöra passage av ledningar under spårvägen. Detta möjliggör utbyte av ledningar utan att flytta spårvägen. En annan möjlighet kan vara att utforma spårssystemet som en modul som lätt kan frigöras och flyttas för att frigöra utrymme för ledningsschakt.
- I Göteborg där spårväg funnits under lång tid har man tillämpat olika typer av normalsektioner beroende på gällande förutsättningar. En vanlig utformning vid nyprojektering i stadsmiljö är spårssystem på betongplatta t.ex. typ Edilon se kap 4.5 fig. 5. Man har även traditionella lösningar med spår grundlagda på trä- eller betongslipers. Betongplatta bedöms pga. dess tyngd vara en fördel ur vibrationssynpunkt. En annan fördel är att den fördelar lasterna på ett effektivt sätt vilket är bra vid korsningar med annan trafik. Utom stadsmiljö är det vanligast med spår på slipers liknande den för vanlig järnväg.
- I vibrationskänsliga områden har man i Göteborg använt sig av grundläggning på betongplatta av typ ”Edilon” (finns i olika typutförande). Denna kan beskrivas som 450 mm betongplatta med uttag för spår, placerad på min. 50 mm dränering på min. 250 mm förstärkningslager, totalt alltså minst 750 mm från RÖK till schaktbotten, djupare för dränering. Eventuellt behövs i Uppsala ytterligare frostskydd under förstärkningslagret då Uppsala har större köldmängd än Göteborg.
- Övergång från oförstärkt mark till den pågrundlagda Islandsbron kan exempelvis utföras med länkplattor, se figur 8 nedan för exempel.



Figur 8: Exempelbild på länkplatta mellan förstärkt och oförstärkt konstruktioner.

- Lastkompensation med lättfyllning kan användas för att minimera de sättningar som kan komma att utbildas i områden med lera där spårvägen löper på orörd mark.
- Generellt vid uppfyllnader i områden med lera kan förstärkningsåtgärder krävas. Typ av förstärkningsåtgärd beror på uppfyllnadshöjden och lerans beskaffenhet. Lastkompensation är en sannolik förstärkningsåtgärd för lägre uppfyllnader.

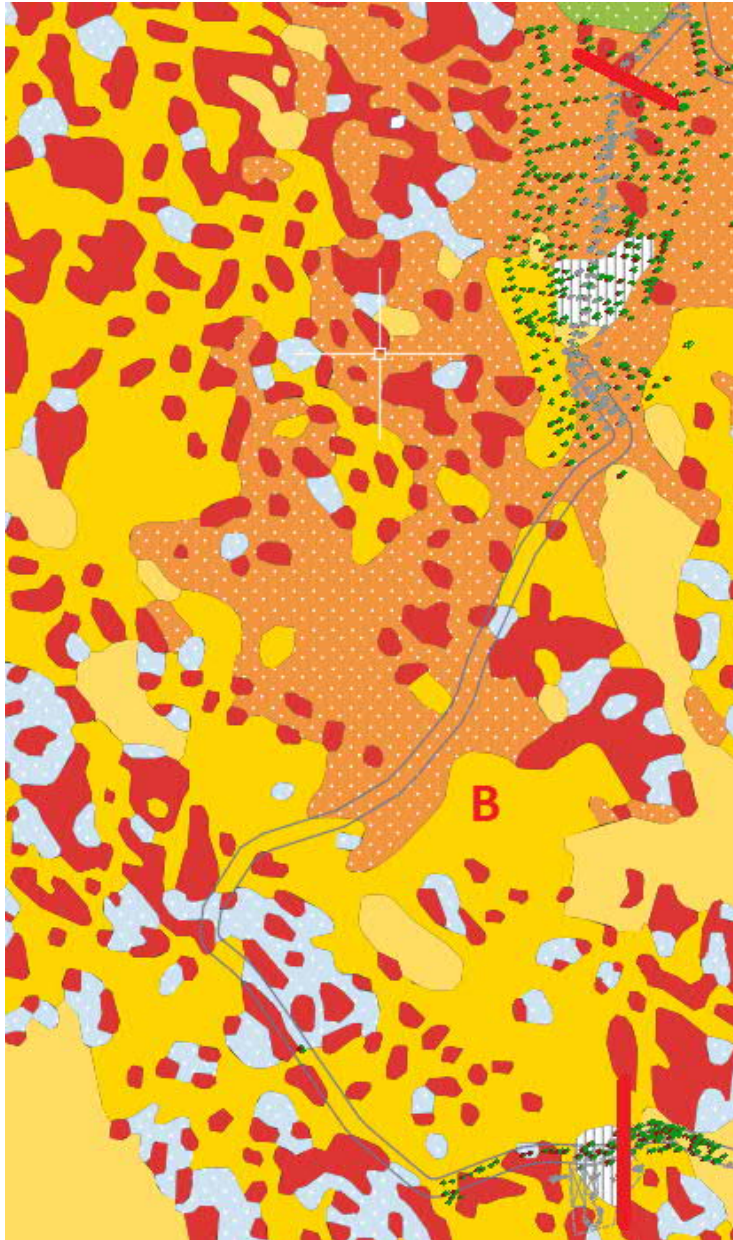
5.1.4 Förslag vidare utredning

- Fastställa krav för valt spårssystem, t.ex. toleranser för sättningsdifferenser/totalsättningar/skevning etc.
- Kompletterande undersökningar längs stora delar av sträckan för att ge underlag för beräkningar och verifiering av tekniska lösningar.
- Inventering av ev. tidigare utförda sättningsmätningar inom centrala Uppsala.
- Verifiering av föreslagna lösningar mot systemkrav genom beräkningar, exempelvis spänningskontroller, kontroll av stabilitet, sättningar och sättningsdifferenser.
- Studier av alternativa lösningar utifrån teknik och ekonomi.
- För att säkerställa genomförbarheten avseende spårvägstrafik förbi centrala Uppsala krävs att en utförlig vibrations- och akustikutvärdering utförs.

5.2 Sträcka B

Sträcka B löper genom Rosendal, korsar Rosendalsvägen och ansluter sedan till Vårdsätravägen. Planerad sträckning går sedan längs Vårdsätravägen och via Hugo Alfvéns väg vidare in på Gottsunda Allé.

5.2.1 Geotekniska förhållanden



Figur 9: SGU's jordartskarta [8] sträcka A. Rött=ytligt berg, grönt=isälvssediment, orange=postglacial sand, gult=lera, blått=morän.

Rosendal

Marken utgörs huvudsakligen av sand som ställvis överlagras av mullhaltig jord och/eller torrskorpelera. Sanden har till stor del siltskikt eller är siltig. Lera har påträffats i områdets norra del. Lerans mäktighet här är ca 4 meter i väster och avtar mot öster. I områdets sydöstra del förekommer ett lager av kohesionsjord vars mäktighet som mest uppmätts till ca 8 meter. [2]. Kohesionsjorden har undersökts med kolvprovtagning och utgörs av lera med extremt låg till mycket låg skjuvhållfasthet [9].

Grundvattennivåerna varierar inom området. Uppmätta grundvattennivåer varierar mellan +17 och +31,5 vilket motsvarar djup mellan 2 – 12 meter under befintlig marknivå. De lägre grundvattennivåerna återfinns i den nordöstra delen av området.

Vårdsättravägen

Inga kända geotekniska undersökningar har utförts längs Vårdsättravägen. Enligt SGU's jordartskarta [8] så utgörs undergrunden växelvis av postglacial sand, lera, yttligt berg och morän.

Hugo Alfvéns väg

Endast ett fåtal sonderingar är utförda inom delsträckan. Sträckan utgörs enligt SGU's jordartskarta [8] växelvis av yttligt berg, morän och lera.

Gottsunda Centrum

I området kring Gottsunda centrum så utgörs undergrunden i tänkt spårvägssträckning främst av morän, berg och kohesionsjord av begränsad mäktighet. Kohesionsjorden utgörs främst av lera med torrskorpekaraktär [1.10].

Gottsunda Allé (Tippen)

Tipponrådet är till större delen utfyllt med grov fyllning av sten och block som täckts med ett begränsat lager med växtjord. Fyllnadsmäktigheter upp till ca 7,5 meter har noterats. Under fyllning så återfinns upp till 10 meter lera. Därunder följer friktionsjord ovan berg. Befintlig vägbank byggdes med en tät terrassbotten för att undvika att finare material strilar ner i de håligheter som förekommer i den okvalificerade fyllningen [1.10].

5.2.2 Problemställning

- I området kring Gottsundatippen så är befintlig väg grundlagd direkt i okvalificerad fyllning ovan naturligt lagrad jord. Sannolikt har mycket sättningar i leran redan utbildats men risk finns att sättningar även kan uppstå i den okvalificerade fyllningen.
- I områden med lera så kommer sättningar att utbildas vid belastningsökning.
- Delar av spårvägen går genom yttre skyddsområde för grundvatten. Grundvattnet ligger relativt hög längs delar av sträckan. Detta innebär att tillstånd måste sökas för många markarbeten.

5.2.3 Förslag på teknisk lösning/erfarenheter från andra spårvägar

- I området vid Gottsundatippen så pågår sannolikt sättningar orsakad av den mäktiga utfyllnad som utförts. Denna kan komma att behöva förstärkas och därför behöver en sättningsutredning utföras. Om förstärkningsåtgärder är motiverade kan en åtgärd vara partiell urgrävning och lastkompensation. Vald åtgärd beror i slutänden på resultatet från sättningsutredningen.
- Generellt vid uppfyllnader i områden med lera kan förstärkningsåtgärder krävas. Typ av förstärkningsåtgärd beror på uppfyllnadshöjden och lerans beskaffenhet. Lastkompensation är ofta en ekonomisk förstärkningsåtgärd för lägre uppfyllnader.

5.2.4 Förslag vidare utredning

- Fastställa krav för valt spårssystem, t.ex. toleranser för sättningsdifferenser/totalsättningar/skevning etc.
- Kompletterande undersökningar längs stora delar av sträckan för att ge underlag för beräkningar och verifiering av tekniska lösningar.
- Sättningsutredning för området runt Gottsundstippen med fyllning ovan lera.
- Verifiering av föreslagna lösningar mot systemkrav genom beräkningar, exempelvis spänningskontroller, kontroll av sättningar och sättningsdifferenser.
- Studier av alternativa lösningar utifrån teknik och ekonomi.

5.3 Sträcka C

Sträcka C går från Regementsvägen och sedan en kort bit söderut på Lägerhyddsvägen. Därefter löper spårvägssträckningen över Ångströmsområdet och korsar Kungsängsleden för att sedan ansluta till Ulleråkersvägen. I höjd med Statens rättspsykiatriska klinik så går spårvägen vidare ner mot Ultuna och löper sedan längs Ulls väg hela vägen ner till Ultunaallén.

5.3.1 Geotekniska förhållanden



Figur 10: SGU's jordartskarta [8] sträcka A. Rött=ytligt berg, grönt=isålvssediment, orange=postglacial sand, gult=lera, blått=morän.

Regementsvägen till Kungsängsleden

Tidigare undersökningar visar att undergrunden överst utgörs av ett ytskikt av upp till 3,5 meter fyllning ovan kohesionsjord. Därunder följer friktionsjord och berg. I en del punkter förekommer skikt av friktionsjord i eller ovan kohesionsjorden.

Kohesionsjorden utgörs av lera med medelhög skjuvhållfasthet.

Friktionsjorden under leran utgörs av siltig sand med lerskikt för att mot djupet övergå till sand.

Utförda grundvattenavläsningar visar en grundvattennivå kring +2,2 [1.12].

Bro över Kungsängsleden till Ulleråker

Utifrån de fåtal sonderingar som utförts i området runt tänkt bro så bedöms ytskiktet utgöras av upp till 1 meter fyllning. Fyllningen underlagras av kohesionsjord och sedan friktionsjord ovan berg på större djup.

Kohesionsjorden utgörs av 0 – 4 meter lera med fast beskaffenhet. Friktionsjorden under leran utgörs av siltig sand [1.12].

Ulleråker

Tidigare undersökningar visar att undergrunden främst utgörs av mer eller mindre mäktiga friktionsmaterial ovan berg. Upp till 3 meter kohesionsjord har noterats i lokala sänkor.

Kohesionsjorden utgörs av 2 meter torrskorpelera ovan lera av ngt lösare beskaffenhet.

Grundvattennivåerna inom området varierar och har noterats till nivåer varierande mellan +16 och +30 vilket motsvarar nivåer ca 4 – 10 meter under befintlig marknivå [6].

Ulls väg

Sträckan utgörs enligt SGU's jordartskarta [8] av lera, morän och sand.

5.3.2 Problemställning

- Grundläggning av ny bro över Kungsängsleden i område med sättningar. Bron behöver sannolikt pågrundläggas och differenssättningar kan komma att utbildas mellan den fast grundlagda bron och tillfartsbankarna. När höjdsättning är klar så bör stabiliteten mot Kungsängsleden kontrolleras för de laster som blir aktuella.
- Stora delar av spårvägen går genom yttre skyddsområde för grundvatten. Grundvattnet ligger relativt hög längs delar av sträckan. Detta innebär att tillstånd måste sökas för många markarbeten.
- Inom Ångströmsområdet samt i Ultuna återfinns byggnader med vibrationskänslig utrustning.
- I områden med lera så kommer sättningar att utbildas vid belastningsökning.

5.3.3 Förslag på teknisk lösning/erfarenheter från andra spårvägar

- I Göteborg har man i vibrationskänsliga områden använt sig av grundläggning på betongplatta av typ Edilon se tidigare beskrivning. Lösningen innebär en bankropp på totalt ca 750 mm från RÖK till schaktbotten, djupare för dränering beroende på betongplattans utförande. Eventuellt behövs i Uppsala ytterligare frostskydd under förstärkningslagret då Uppsala har större köldmängd än Göteborg.
- Lastkompensation med lättfyllning kan användas för att minimera de sättningar som kan komma att utbildas i områden med lera där spårvägen löper på orörd mark.

- Generellt vid uppfyllnader i områden med lera kan förstärkningsåtgärder krävas. Typ av förstärkningsåtgärd beror på uppfyllnadshöjden och lerans beskaffenhet. Lastkompensation är en sannolik förstärkningsåtgärd för lägre uppfyllnader.
- Bron över Kungsängsleden bedöms sannolikt grundläggas med pålar ner till fast botten. Kompletterande undersökning krävs för att utreda lerans mäktighet. Där lermäktigheten medför oacceptabla total- och differenssättningar kan förstärkningsåtgärder komma att utgöras av utgrävning eller lättfyllnad, alt. en kombination av dessa metoder. Beroende på tillfartsbankens utbredning och höjd så kan förstärkningsåtgärder krävas för att klara stabiliteten. Även aktiviteter i byggskedet t.ex pålning och schaktarbeten kan komma att påverka stabiliteten mot Kungsängsleden negativt. Detta bör kontrolleras i nästa skede.

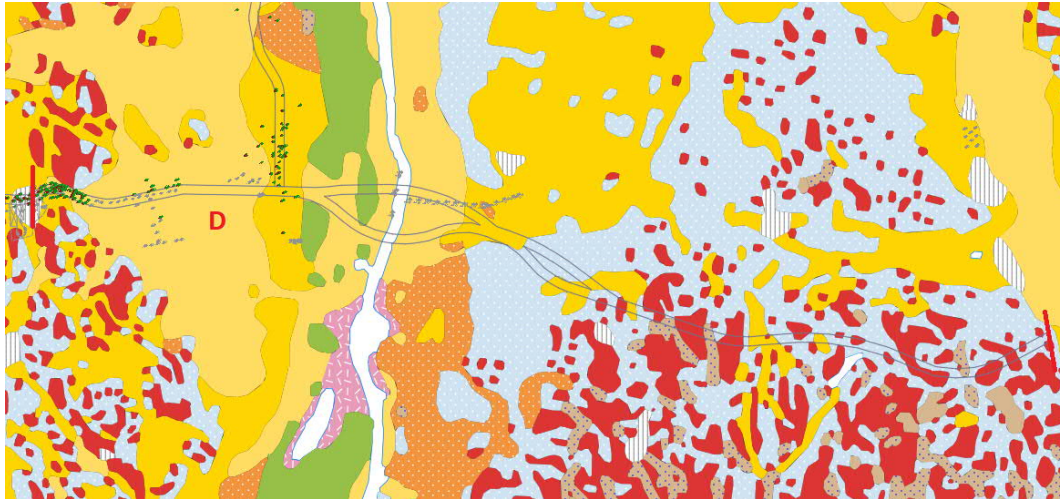
5.3.4 Förslag vidare utredning

- Fastställa krav för valt spårssystem, t.ex. toleranser för sättningsdifferenser/totalsättningar/skevning etc.
- Kompletterande undersökningar längs stora delar av sträckan för att ge underlag för beräkningar och verifiering av tekniska lösningar.
- Verifiering av föreslagna lösningar mot systemkrav genom beräkningar, exempelvis spänningskontroller, kontroll av sättningar och sättningsdifferenser.
- Studier av alternativa lösningar utifrån teknik och ekonomi.
- För att säkerställa genomförbarheten avseende spårvägstrafik förbi Ångströmlaboratoriet samt delar av Ultuna krävs att en utförlig vibrations- och akustikutvärdering utförs.
- Geotekniska undersökningar i läget för bro över Kungsängsleden.

5.4 Sträcka D

Sträcka D går från Gottsunda allé och korsar sedan Dag Hammarskjölds väg till Ultunaallén. Planerad spårväg löper sedan vidare österut över Fyrisån, där två alternativa broalternativ utreds, över väg 255 och sedan vidare till sin ändstation i Bergsbrunna.

5.4.1 Geotekniska förhållanden



Figur 11: SGU's jordartskarta [8] sträcka A. Rött=ytligt berg, grönt=isälvssediment, orange=postglacial sand, gult=lera, blått=morän, brunt = torv.

Gottsunda allé (Bäcklösas västra del, ravinen)

I området för aktuell delsträcka så utgörs undergrunden överst av fyllning eller mulljord. Ytskiktet underlagras kohesionsjord ovan friktionsjord och sedan berg. Kohesionsjorden utgörs av 3 – 12 meter lera.

För att uppnå en acceptabel säkerhet mot stabilitetsbrott så har man utfört en lastkompensation av befintlig vägbank i anslutning till ravinen.

Grundvattennivån har strax norr om delsträckan tidigare uppmätts till ca +20,8. Detta motsvarar djup ca 2 meter under marknivån.

Gottsunda allé (Bäcklösas östra del)

Undergrunden längs aktuell delsträcka utgörs överst av fyllning. Fyllningen underlagras av kohesionsjord ovan friktionsjord och sedan berg.

Kohesionsjorden utgörs av 3 – 19 meter lera med låg till mycket låg skjuvhållfasthet [1.10].

I höjd med Dag Hammarskjölds väg så har man tidigare uppmätt grundvattennivåer kring +5.

Ultunaallén

Sträckan utgörs enligt SGU's jordartskarta [8] av lera och isälvsmaterial.

Bro över Fyrisån

Tidigare underökningar visar att undergrunden utgörs av 5 – 20 meter kohesionsjord.

Kohesionsjorden utgörs av lera med extremt låg till mycket låg skjuvhållfasthet.

Vattennivån i Fyrisån och grundvattennivån i åsen varierar med årstid och över åren. Nivån i åsen varierar mindre än Fyrisåns nivå. Grundvattnet kan under vissa perioder med högt grundvattenstånd pressas ut i Fyrisån. Även det omvända kan ske. [1.7]

Fyrisån - Sävja/Bergsbrunna

Endast ett fåtal sonderingar är utförda inom delsträckan. Sträckan utgörs enligt SGU's jordartskarta [8] växelvis av ytligt berg, torvjordar, morän och lera. Ett område med lera av större mäktighet återfinns i anslutning till Fyrisån, mäktigheten avtar sannolikt österut mot Nántuna.

I området skall en faunapassage anläggas, se figur 12. Vid faunapassagen kommer spårvägen passera ett naturstråk på bro.



Figur 12: Faunapassagen i Sävja/Bergsbrunna.

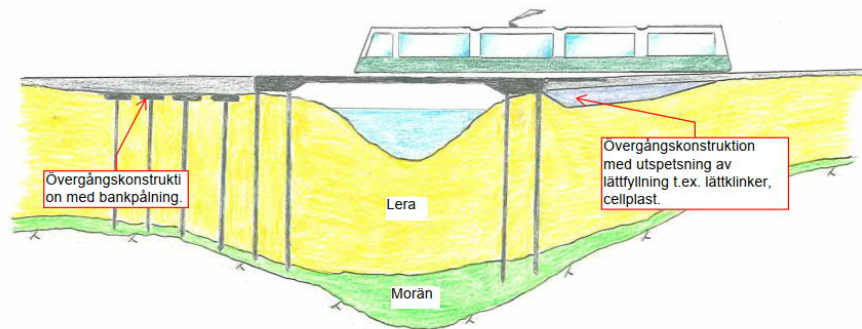
Området för planerad faunapassage utgörs enligt SGU's jordartskarta [8] av ytligt berg, sandig morän och kärrtorv med tillhörande våtmarker.

5.4.2 Problemställning

- Bron över Fyrisån kommer sannolikt behöva grundläggas med pålgrundläggning mot fast botten. Detta innebär att man kommer komma i kontakt med Uppsalaåsen och det grundvattenmagasin som innefattar Uppsala vattentäkt.
- Eftersom marken i området kring bron över Fyrisån utgörs av sättningkänsliga jordarter så kommer grundförstärkning att behövas för tillfartsbankar till bron.
- Delar av spårvägen går genom yttre och inre skyddsområde för grundvatten. Grundvattnet ligger relativt hög längs delar av sträckan. Detta innebär att tillstånd måste sökas för många markarbeten. Detta kommer bland annat vara aktuellt i byggskedet för nya broar/vid pålning.
- Gottsunda allé är delvis förstärkt med lättfyllning för att klara stabiliteten mot ravinen. I detta område krävs att nya beräkningar utförs för att kontrollera att stabiliteten klaras med de ev. tillskottlaster som spårvagnen tillför.
- I områden med lera så kommer sättningar att utbildas vid belastningsökning.
- Planerad faunapassage löper över ett område med bland annat våtmark och gränsar till områden med lera. Eventuell belastningsökning/uppfullnad kan komma att ge upphov till sättningar. Brostöd kan komma att behöva pålas ned till fast botten.

5.4.3 Förslag på teknisk lösning/erfarenheter från andra spårvägar

- Bron över Fyrisån kommer att behöva grundläggas med pålar ner till fast mark. Tillfartsbankarna kan grundläggas med exempelvis bankpålning eller lättfyllning, se figur 13 nedan för exempel.



Figur 13: Exempel på grundläggning av tillfartsbankar till planerad pågrundlagd bro.

- Lastkompensation med lättfyllning kan användas för att minimera de sättningar som kan komma att utbildas i områden med lera där spårvägen löper på orörd mark.
- Generellt vid uppfyllnader i områden med lera kan förstärkningsåtgärder krävas. Typ av förstärkningsåtgärd beror på uppfyllnadshöjden och lerans beskaffenhet. Lastkompensation är en sannolik förstärkningsåtgärd för lägre uppfyllnader.
- En utfyllnad med bank kan behöva lastkompenseras eller förstärkas med exempelvis lättfyllning eller kc-förstärkning och detta kan innebära mer miljöpåverkan. En lösning för att minska denna miljöpåverkan kan därför vara att förlänga bron med fler brostöd.

5.4.4 Förslag vidare utredning

- Fastställa krav för valt spårssystem, t.ex. toleranser för sättningsdifferenser/totalsättningar/skevning etc.
- Kompletterande undersökningar längs stora delar av sträckan för att ge underlag för beräkningar och verifiering av tekniska lösningar.
- Verifiering av föreslagna lösningar mot systemkrav genom beräkningar, exempelvis spänningskontroller, kontroll av sättningar och sättningsdifferenser.
- Studier av alternativa lösningar utifrån teknik och ekonomi.
- Stabilitetsutredning mot ravinen vid Gottsunda Allé. I detta område krävs att nya beräkningar utförs för att kontrollera att stabiliteten klarar med de ev. tillskottlaster som spårvagnen tillför.
- En geoteknisk undersökning i läge för planerad faunapassage krävs för att bedöma behovet av förstärkningsåtgärder för tillfartsbankar och utformning av bron.

6 Sammanfattning

När spårprofilen är känd så behöver generella stabilitets- och sättningskontroller utföras. Nedan listas de specifika delar av sträckan där behov av förstärkningsåtgärder identifierats.

Tabell 1. Exempel på förstärkningsåtgärder i identifierade problemområden

Delsträcka	Objekt	Problemställning	Förstärkning
A	Bäverns gränd	Vibrationskänsligt område, ledningar under planerad spårväg	Spårssystem med effektiv dämpning av vibrationer. Systemval behöver utredas i senare skede men sannolikt utgörs detta av av spår på betongplatta. Ur underhållssynpunkt bör korsande ledningar samlas ihop och förläggas i en kulvert/rör under spårvägen. Alternativt utformas en lösning så att spår och spårplatta lätt kan demonteras och lyftas bort.
A	Islandsbron	Differenssättningar mellan pålad bro och omgivande mark	Länkplatta
A	Sjukhusområdet	Anläggning i jungfruelig mark där lera förekommer	Lättfyllning
B	Gottsundstippen*	Ev. pågående sättningar där okvalificerad fyllning överlagrar lera	Urgrävning och lastkompensation/borrade pålar
C	Ängströmlaboratoriet	Vibrationskänsligt område	Val av spårssystem
C	Bro över Kungsängsleden	Sättningsdifferens mellan bro och tillfartsbank. Ev. risk för stabilitetsproblem i bygg- och permanentskedet.	Urgrävning/lättfyllning
D	Gottsunda allé, västra ravinen	Ev. stabilitetsproblem mot ravinen	Lättfyllning
D	Bro över Fyrisån	Bro i sättningskänsligt område	Pålning
D	Bro över Fyrisån, tillfartsbankar	Differenssättningar mellan pålad bro och omgivande mark	Länkplatta samt utspetsning med lättfyllning alt. bankpålning
D	Faunapassage Sävja/Bergsbrunna	Differenssättningar mellan ev. pålad bro och omgivande mark vid grundläggning i lösa jordar. Miljöpåverkan av eventuella förstärkningsåtgärder.	Länkplatta samt utspetsning med lättfyllning alt. bankpålning. Förlängd bro med fler brostöd. Pålgrundläggning för bron.

*Utredning krävs för att fastställa behovet

VI ÄR WSP

WSP är ett av världens ledande analys- och teknikkonsultföretag. Vi verkar på våra lokala marknader med stöd av global expertis. Som tekniska experter och strategiska rådgivare har vi tillgång till ingenjörer, tekniker, naturvetare, planerare, utredare och miljöspecialister liksom professionella projektörer, konstruktörer och projektledare. Vi erbjuder hållbara lösningar inom Hus & Industri, Transport & Infrastruktur och Miljö & Energi. Med drygt 39 000 medarbetare på 500 kontor i 40 länder medverkar vi till en hållbar samhällsutveckling. I Sverige har vi omkring 4 000 medarbetare. wsp.com

WSP Sverige AB
Dragarbrunnsgatan 41
753 20 Uppsala
Besök: Dragarbrunnsgatan 41

T: +46 10 7225000
Org nr: 556057-4880
Styrelsens säte: Stockholm
wsp.com

