



Uppsala spårväg

PM Geoteknik - Underlag för kalkyl spårväg, 2021-11-30

PM GEOTEKNIK

UNDERLAG FÖR KALKYL SPÅRVÄGEN

2021-11-30



PM GEOTEKNIK

Underlag för kalkyl spårvägen

KUND

Uppsala kommun

KONSULT

WSP Samhällsbyggnad

Dragarbrunnsgatan 41

WSP Sverige AB

753 20 Uppsala

Besök: Dragarbrunnsgatan 41

Tel: +46 10 7225000

wsp.com

KONTAKTPERSONER

Uppdragsansvarig

Charlotta Carlsson

0702981985

Charlotta.carlsson@wsp.com

UPPDRAGSNAMN

Uppsala spårväg geoteknisk undersökning

UPPDRAGSNUMMERP

10340609

FÖRFATTARE

Charlotta Carlsson

DATUM

2021-06-04

ÄNDRINGSDATUM

2021-12-20

Granskad av

Fredrik Clifford

Godkänd av

INNEHÅLL

Uppsala spårväg	1
1 UPPDRAG	6
1.1 OBJEKT	6
1.2 DOKUMENTETS SYFTE	6
1.3 UNDERLAG	6
2 ANLÄGGNINGSBESKRIVNING	8
3 FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR SPÅRVÄG	9
3.1 PLACERING AV SPÅRVÄG	9
3.2 VIBRATIONER OCH STOMLJUD	9
3.3 VATTENSKYDDSOMRÅDE	9
3.4 SÄTTNINGAR OCH STABILITET	11
3.5 UPPBYGGNAD AV SPÅRVÄG	12
4 PLANERAT SPÅR	13
4.1 STRÄCKA A	13
4.1.1 Geotekniska förhållanden	14
4.1.2 Problemställning	15
4.1.3 Beräkningar	17
4.1.4 Förslag på teknisk lösning/erfarenheter från andra spårvägar	17
4.1.5 Förslag vidare utredning	18
4.1.6 Bedömda förstärkningsåtgärder	19
4.2 STRÄCKA B	19
4.2.1 Geotekniska förhållanden	19
4.2.2 Problemställning	21
4.2.3 Beräkningar	21
4.2.4 Förslag på teknisk lösning/erfarenheter från andra spårvägar	21
4.2.5 Förslag vidare utredning	22
4.2.6 Bedömda förstärkningsåtgärder	22
4.3 STRÄCKA C	22
4.3.1 Geotekniska förhållanden	23
4.3.2 Problemställning	25
4.3.3 Beräkningar	25
4.3.4 Förslag på teknisk lösning/erfarenheter från andra spårvägar	25
4.3.5 Förslag vidare utredning	26
4.3.6 Bedömda förstärkningsåtgärder	27
4.4 STRÄCKA D	27
4.4.1 Geotekniska förhållanden	27

4.4.2	Problemställning	31
4.4.3	Förslag på teknisk lösning/erfarenheter från andra spårvägar	32
4.4.4	Förslag vidare utredning	33
4.4.5	Bedömda förstärkningsåtgärder	34
5	SAMMANFATTNING	34

BILAGOR

Bilaga 1	Bedömda förstärkningsåtgärder med tillhörande planer
Bilaga 2	Beräkningar

1 UPPDRAG

1.1 OBJEKT

Uppsala kommun planerar att anlägga en spårväg alternativt snabbuss (BRT) genom staden. Sträckan är totalt 17 km lång, se figur 1. Den slutliga sträckningen kommer att fastställas under detaljplaneskedet.

WSP Sverige AB har fått i uppdrag att göra en enklare arkivinventering av aktuell sträcka, borra i vissa nyckelområden samt att studera aktuell profil för att kunna förbättra kalkylen för projektet. I tidigare utredning så var inte profilen för sträckan färdig. Utredningen skall redogöra för de markförstärkningar som kan tänkas behöva utföras i de olika sträckningarna.

Det skall inledningsvis nämnas att denna PM är en fortsättning av "PM Geoteknik som underlag för samrådshandling daterad 2020-05-14 och reviderad 2020-06-10 med uppdragsnummer 10298137 och som upprättades innan profilerna för spåret var färdiga.

1.2 DOKUMENTETS SYFTE

Denna utredning och detta dokument har till syfte att översiktligt beskriva de geotekniska förutsättningarna som underlag för en förbättrad kalkyl för projektet Uppsala spårväg. Alla bedömningar av förstärkningsåtgärder är i dagsläget osäkra och endast framtagna till en översiktlig kalkyl. Det rekommenderas att en förnyad bedömning och kalkyl utförs i senare skede.

1.3 UNDERLAG

- 1) Spårutredning Kunskapsspåret PM Geoteknik, uppdragsnummer 17U31896, dat. 2017-07-04 och utfört av Bjerking AB. Deluppdrag enligt nedan.
 - 1.1) A.1.1. Strandbodgatan- Islandsgatan-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) Rosendal Etapp 4, Projekterings PM Geoteknik, dat. 2020-03-26 och utfört av WSP AB.
- 9) Granskningshandling Geoteknisk undersökning Gottsunda allé, uppdragsnummer 12U21454, dat. 2013-02-26 och utfört av Bjerking AB.
- 10) Studenternas- Arena/Hus F, Hus T Kronåsen 2:1, Markteknisk undersökningsrapport, uppdragsnummer 14U26505, dat. 2017-04-21 och utfört av Bjerking AB.
- 11) Broförslag, Alternativ A och B, Markteknisk undersökningsrapport, uppdragsnummer 20U0980, dat. 2020-09-22 rev. 2020-10-05 och utfört av Bjerking AB
- 12) Tullgarnsbron, Markteknisk undersökningsrapport, uppdragsnummer 1320032515, dat. 2019-02-13 rev. 2021-02-10 och utfört av Ramböll
- 13) Ledningsunderlag, erhållet från beställare, ledningsägare i området och webbtjänsten ledningskollen.se
- 14) Jordartskarta, erhållet från Sveriges geologiska undersökning (SGU)
- 15) Fastighetskarta (Lantmäteriets)
- 16) Spårvägens sträckning i plan samt profil, erhållet av beställaren
- 17) Uppsala spårväg, Markteknisk undersökningsrapport, uppdragsnummer 10317297, dat. 2021-06-04, rev 2021-09-30 och utfört av WSP AB
- 18) "Måsen" Riktlinjer för markanvändning inom Uppsala och Vattholmaåsarnas tillrinningsområde ur grundvattensynpunkt, dat. 2018-04-23
- 19) Översiktlig stabilitetskartering Uppsala län, uppdragsnummer 1782251, dat. 2019-09-30 och utfört av Golder Associates AB

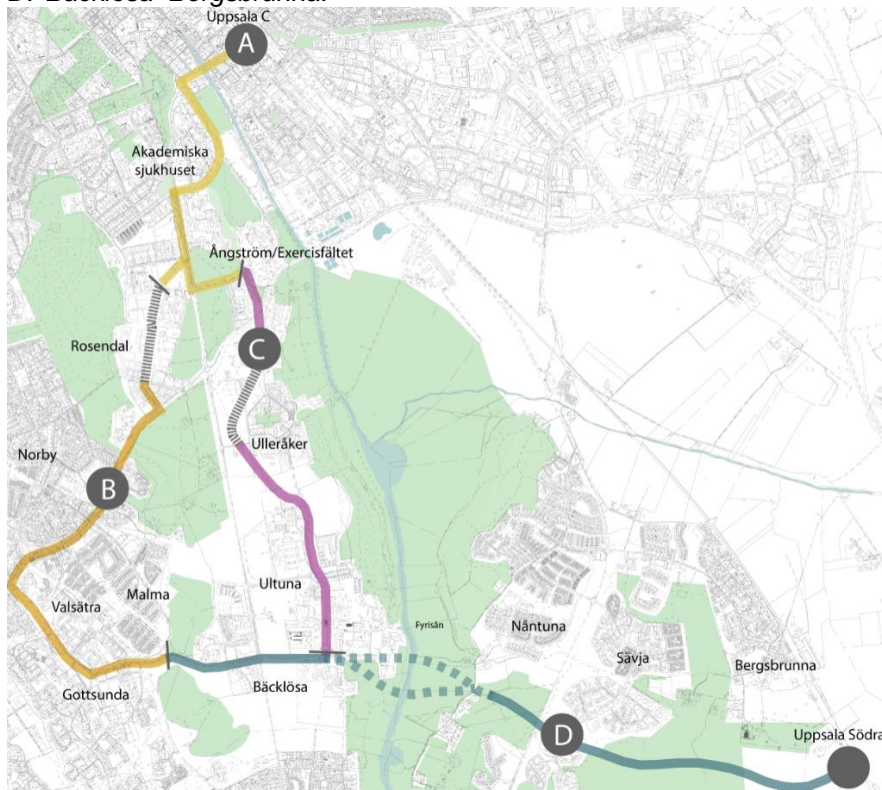
2 ANLÄGGNINGSBESKRIVNING

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 eller snabbuss (BRT). Planområdet består till stor del av befintlig gatemark, 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.

3 FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR SPÅRVÄG

3.1 PLACERING AV SPÅRVÄG

Spåren förutsätts generellt placeras i befintlig vägbana. Mellan Ulleråker och Ultuna samt från Ultuna till Bergsbrunna så förutsätts spårvägen gå i naturlig opåverkad mark till stor del.

3.2 VIBRATIONER OCH STOMLJUD

Den vibrationsenergi som förs ned i marken då en spårvagn passerar kan orsaka störningar i närliggande byggnader i form av kännbara vibrationer och kan medföra att byggnadsdelar strålar ut ljud, så kallat stomljud. Vibrationsnivån i marken som når en byggnad påverkas generellt av följande:

- Källstyrkan, alltså hjulens kontakttryck mot rälsen.
- Spårgrundläggningen.
- Jordartstyp mellan spår och byggnad.
- Avstånd mellan spår och byggnad.

Det finns inga nationellt antagna riktvärden för stomburet ljud från spårvägstrafik. Följande värden för vibrationer har antagits som riktvärde och ligger i linje med andra spårvägsprojekt runtom i Sverige:

- Högst 0,3 mm/s för bostäder, hotell, sjukhus konsert- och teaterlokaler
- Högst 0,5 mm/s för kontor och skolor
- Högst 0,8 mm för butiker och restauranger

Strängare krav kan beslutas gälla i lokaler med vibrationskänslig utrustning.

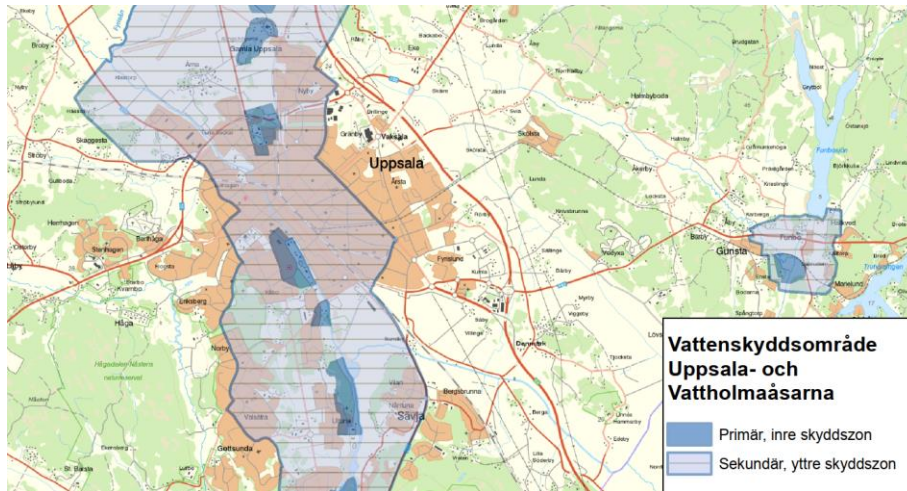
För stomljud finns inga nationella riktvärden, men det är sedan många år allmänt vedertaget att tillämpa det riktvärde som Miljöförvaltningen i Stockholm formulerat i Miljö 2000, ett miljöprogram antaget i september 1995 av kommunfullmäktige i Stockholm. I den sägs att stomljud i bostäder från trafik i tunnlar inte ska överskrida 30 dB(A), vid mätning av maximal ljudnivå med tidskonstanten "Slow".

Normalt tillämpas detta riktvärde även för stomljud alstrat av markförlagd trafik, speciellt för stomljud i bostadsrum som saknar utsikt mot trafiken och som därmed inte drabbas av ljud via fönster. Stomljud förväntas endast ge problem vid grundläggning på berg.

3.3 VATTENSKYDDSSOMRÅDE

Grundvattnet i området 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 vidtagna 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

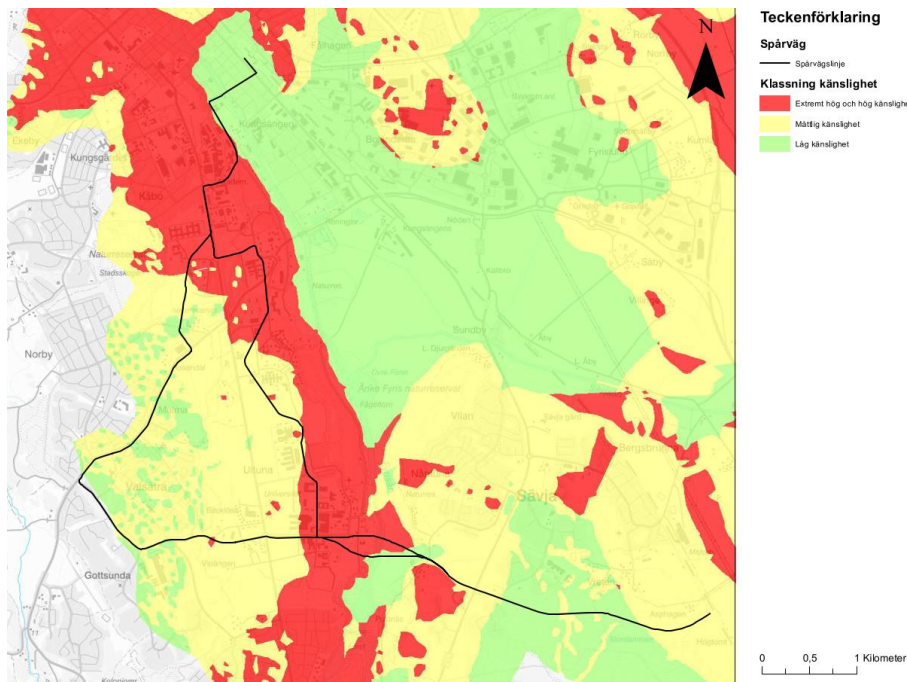
Täktverksamhet eller markarbeten får inte ske djupare än till 1 meter över högsta grundvattenyta.

För övrigt gäller samma restriktioner som för den inre skyddszonen.

Det skall också nämnas att Länsstyrelsen i ett närliggande projekt gett direktiv om att man i vissa delar av vattenskyddsområdet kräver ett minst 10 meter skyddande lerlager för att inte behöva tätningsåtgärder.

Uppsala kommun har också tagit fram riktlinjer för skydd av grundvattentäkten [18]. Dessa riktlinjer syftar till att få en mer hållbar markanvändning ur grundvattensynpunkt och så att risker som påverkar grundvattenkvaliteten i Uppsala- och Vattholmaåsarna beaktas tidigt i planeringen.

I dokumentet beskrivs olika känslighetsklasser, från låg känslighet till extrem känslighet. Känslighetsklasserna är framtagna utifrån de geologiska och hydrogeologiska förhållandena och olika skyddsåtgärder krävs utifrån vilken klassificering området har. Se figur 3 för känslighetskarta.



Figur 3: Känslighetskarta för grundvatten.

3.4 SÄTTNINGAR OCH STABILITET

Spåret planeras främst anläggas i nivå med nuvarande mark och i befintlig väg. Där 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.

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.

MSB har låtit utföra en stabilitetskartering för Uppsala kommun [19]. Syftet med karteringen var att identifiera områden där det finns behov av att göra detaljerade geotekniska utredningar.

Resultatet visar att sträcka A-C går över områden som översiktligt klassas som tillfredsställande stabila och att man därför inte behöver göra någon detaljerad

stabilitetsutredning för sträckan. Det skall dock nämnas att man ändå måste säkerställa stabiliteten för de laster som spårvägen med tillhörande bankar och konstruktioner kommer att påföra marken.

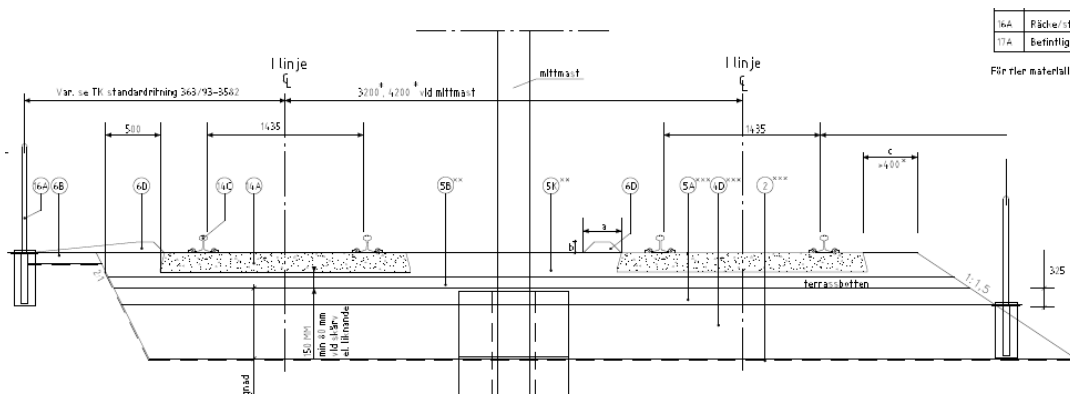
Sträcka D går över områden som inte MSB översiktligt karterat. Även detta område bör omfattas av en översiktlig stabilitetskartering innan man påbörjar detaljplanarbeten i detta område.

De sättnings- och stabilitetsproblem som har identifierats i detta skede redovisas under respektive delsträcka.

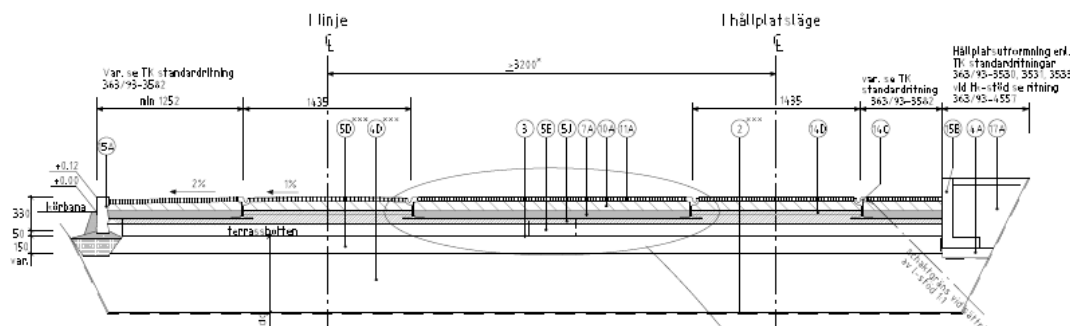
3.5 UPPBYGGNAD AV SPÅRVÄG

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 stopmakadam och 500 mm underballast.

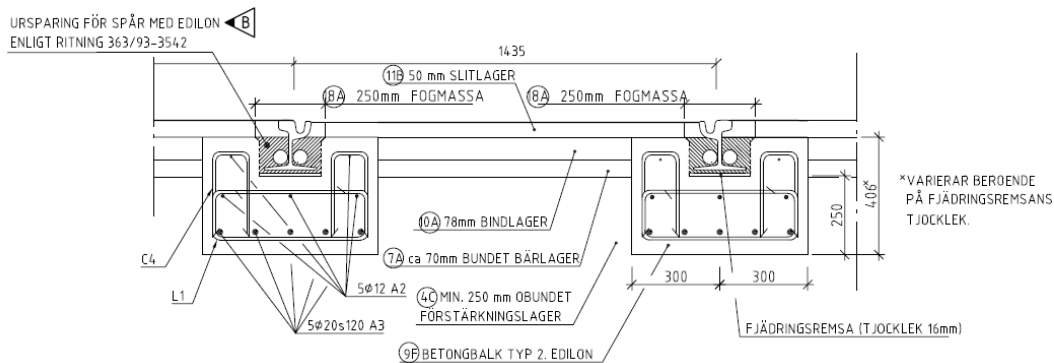
Total överbyggnad vid nybyggnation är alltså 980 mm. I tillägg måste man i Uppsala lägga till frostskydd under detta där terrassen är frostkänslig. Nedan visas några exempel på normalsektioner hämtade från Göteborgs Stad teknisk handbok.



Figur 4 Normalsektion av typ ballast spår på betongslipers (Göteborgs spårvägar, teknisk handbok)



Figur 5 Normalsektion av typ gatuspår i makadam (Göteborgs spårvägar, teknisk handbok)



Figur 6 Normalsektion av typbetongplatta "Edilon typ 2" (Göteborgs spårvägar, teknisk handbok)

4 PLANERAT SPÅR

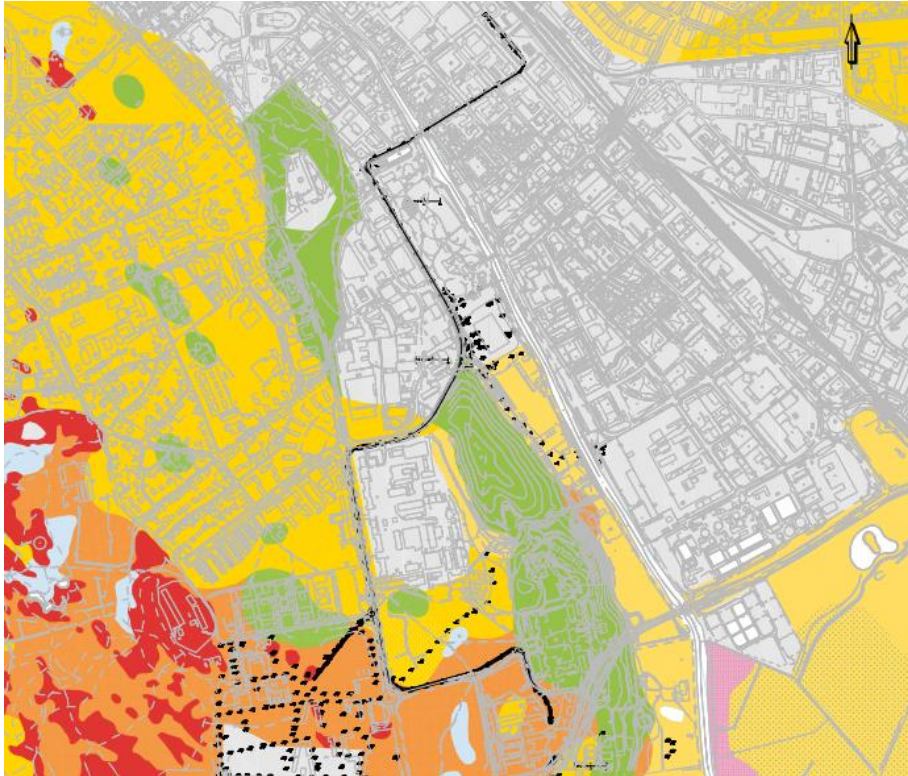
4.1 STRÄCKA A

Sträcka A är planerad från Uppsala resecentrum och längs Bäverns gränd. Därefter planeras spårvägssträckningen gå via Munkgatan, över Islandsbron och sedan förbi Svandammen.

Vidare 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.

Inga höjningar planeras längs delsträckan. Spåret anläggs i befintlig väg.

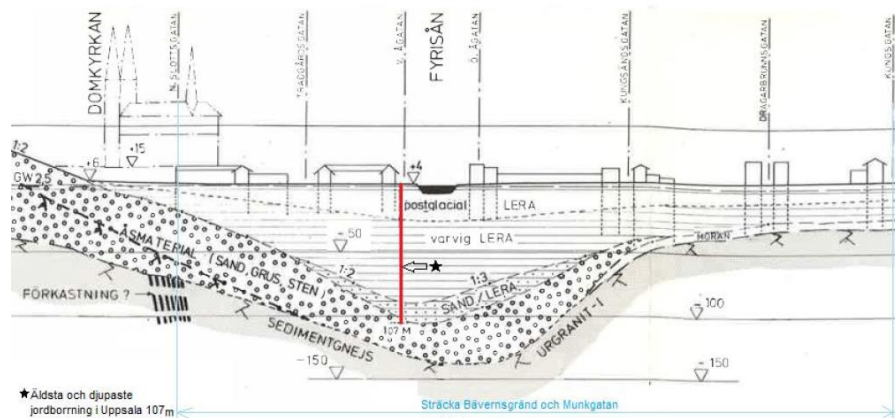
4.1.1 Geotekniska förhållanden



Figur 7: SGU's jordartskarta [8] sträcka A. Rött=ytligt berg, grönt=isälvsediment, orange=postglacial sand, gult=lera, blått=morän. De punkter som redovisas återfinns i projektets databas.

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 8 nedan.



Figur 8. 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].

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.

Under april 2021 så har geotekniska sonderingar utförts längs Sjukhusvägen. Syftet var att kontrollera erforderlig lermäktighet för att utreda behov av tätning för vägen vid anläggande av spårväg. Resultatet av sonderingarna [17] visar att tätningsåtgärder kan komma att krävas längs delar av sträckan.

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].

4.1.2 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. Det förväntas inte uppkomma sättningar på grund av

spårsystemet eftersom befintlig vägöverbyggnad schaktas bort och ersätts med spåröverbyggnad med ungefär samma tunghet. Dvs inga tillkommande laster förväntas.

Det skall dock nämnas att man exempelvis har problem med ojämna sättningar i Spårväg City i Stockholm trots att inga laster har påförts. Detta kan bero på en undermålig spårvägskropp eller lösning. En korrekt uppbyggd och dimensionerad spårvägskropp och terrass bör kunna ta upp de dynamiska laster som en spårväg innebär men en undermålig spårvägskropp och terrass kan troligen uppvisa de sättningsskador som man nu noterar inom Spårväg City.

- 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 pågrundlagda bron och omgivande oförstärkt mark.
- Stora delar av Uppsalas gamla bebyggelse är grundlagd på träpålar, denna typ av grundläggning är mycket känslig för grundvattensänkningar. Sänkning av grundvattennivåerna skulle kunna göra att träpålar i närområdet får fri tillgång till syre och börjar ruttna. Denna process är irreversibel.
- Sträckan går både genom inre och yttre skyddsområde för grundvatten och genom både lågkänslig zon och hög/extrem känslig zon enligt MÅsens klassificering [18]. Grundvattnet ligger relativt högt längs delar av sträckan.

Detta innebär att tillstånd måste sökas för många markarbeten. Schakt i åsen kan komma att 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 eller inte.

Hårdgjorda ytor eller avjämningsmassor som försämrar grundvattenbildningen får inte anläggas inom vattenskyddszonen. Detta bör dock inte utgöra något hinder längs större delen av delsträckan eftersom spåret i denna delsträcka främst byggs på tidigare gatumark.

- Spåret passerar vibrationskänslig bebyggelse. Längs med hela Bäverns gränd samt i delar av sjukhusområdet bedöms vibrationsdämpande åtgärder behövas.

4.1.3 Beräkningar

Inga beräkningar har utförts längs delsträckan i detta skede.

4.1.4 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 föreslås anläggning av en kulvert eller trumma för att möjliggöra passage av ledningar under spårvägen. Detta möjliggör utbyte av ledningar utan att flytta spårvägen. Kulverten föreslås grundläggas direkt i mark och kommer således att sätta sig med Uppsalas övriga ledningsnät.

En annan möjlighet kan vara att utforma spårssystemet som en modul som lätt kan frigöras och flyttas för att frigöra utrymme för ledningsschakt.

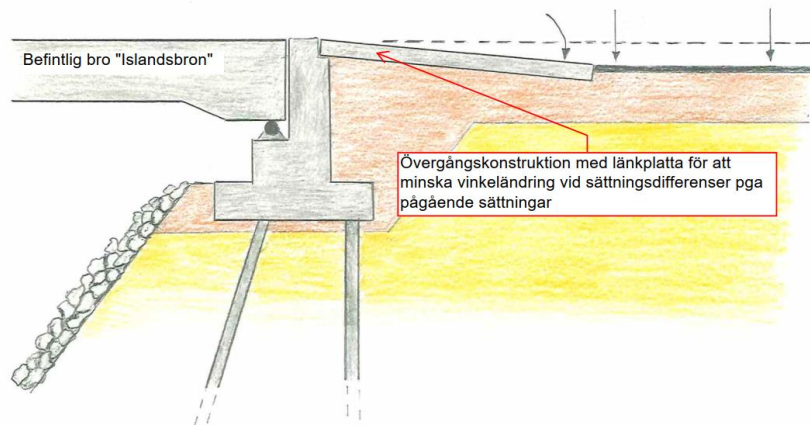
- I Göteborg där spårväg funnits under lång tid har man tillämpat olika typer av normalsektioner beroende på gällande förutsättningar. En vanlig utformning vid nyprojektering i stadsmiljö är spårssystem på betongplatta t.ex. typ Edilon se kap 4.5 fig. 5.

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.

Väljs ett spårssystem på betongplatta så bör man i ett senare skede utreda hur övergången mellan dessa system och oförstärkt mark ska dimensioneras.

- Övergång från oförstärkt mark till den pålgrundlagda Islandsbron kan exempelvis utföras med länkplattor, se figur 9 nedan för exempel. Länkplattan fästes i den pålade bron och grundläggs förövrigt direkt i mark. Länkplattans längd bestäms när sättningsstoleranser tagits fram i projektet.



Figur 9: Exempelbild på länkplatta mellan förstärkt och oförstärkta konstruktioner.

4.1.5 Förslag vidare utredning

- Fastställa krav för valt spårssystem, t.ex. toleranser för sättningsdifferenser/totalsättningar/skevning etc.
- Kompletterande utredningar/undersökningar krävs för att bedöma vilka åtgärder som krävs för skydd av grundvattnet [18]. Detta gäller främst vid övergångar mellan lera och åsmaterial och denna utredning bör ske i samråd med Länsstyrelsen.
- Kontroll av pågående sättningar inom centrala Uppsala för att se hur sättningarna varierar längs sträckan. Kontroll kan exempelvis ske genom en inventering av utförda sättningsutredningar alt. genom att använda sig av Insar eller likvärdigt, sättningsmätning via satellitdata.

Genom att använda Insar eller likvärdigt så kan man hitta de problemområden som finns inom sträckan och sedan utvärdera troliga sättningsdifferenser. Kontakt med andra spårvägsprojekt med liknande problem, exempelvis Spårväg city i Stockholm (SL) angående uppbyggnaden av deras spårväg.

- Verifiering av föreslagna lösningar mot systemkrav genom beräkningar, exempelvis spänningskontroller, 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.

- Stabiliteten utmed Fyrisån måste säkerställas för de eventuella laster som påförs.

4.1.6 Bedömda förstärkningsåtgärder

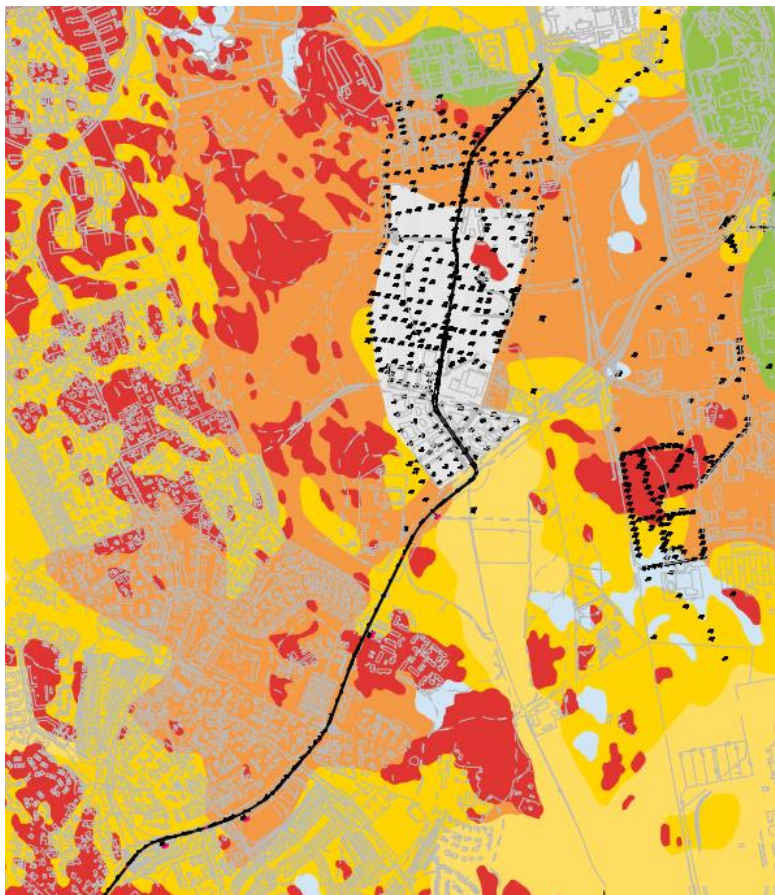
Bedömda förstärkningsåtgärder för delsträckan redovisas i Bilaga 1 tillhörande denna PM.

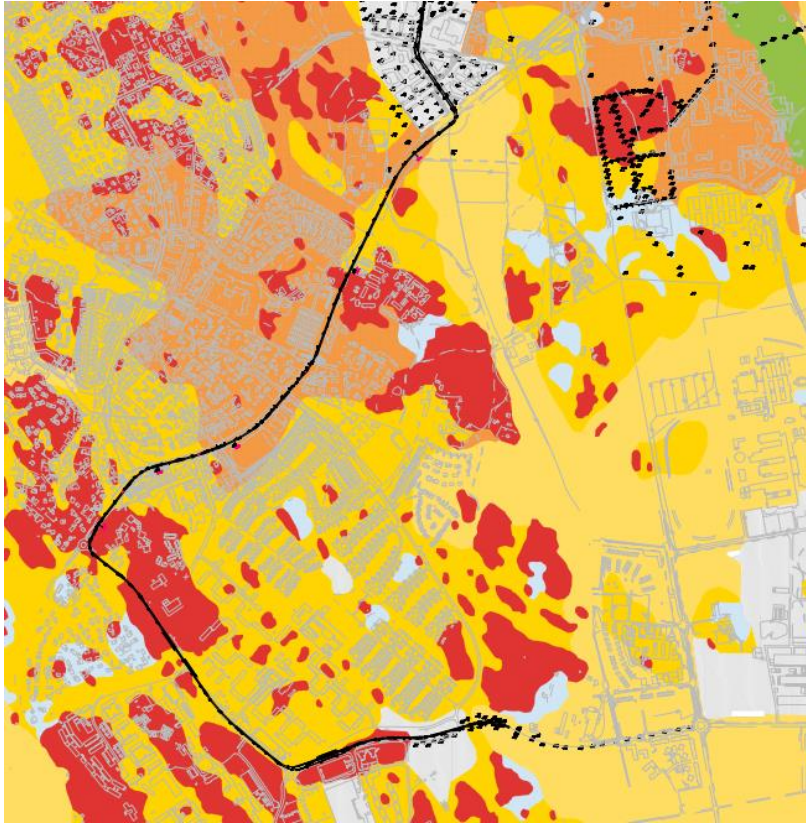
4.2 STRÄCKA B

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

Spåret går främst i befintlig väg. Mellan ca 3+820 och 3+950, i närheten av korsningen Torgny Segerstedts allé och Vårdsättravägen ska en hållplats anläggas. Detta innebär en uppfyllnad om ca 1 meter. Mindre profilhöjningar om ca 0,5 meter sker också mellan 4+900 och 5+000, 5+300 och 5+450, 5+760 och 5+860, 6+240 och 6+400 samt 6+800 och 7+000 [16].

4.2.1 Geotekniska förhållanden





Figur 10 och 11: SGU's jordartskarta [8] sträcka B. Rött=yttligt berg, grönt=isälvssediment, orange=postglacial sand, gult=lera, blått=morän. De punkter som redovisas återfinns i projektets databas.

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[2]. 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)

Tippområdet 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].

4.2.2 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 men spårsträckningen löper främst genom måttligt känslig zon enligt MÅsens klassificering [18].

Grundvattnet ligger relativt högt längs delar av sträckan. Detta innebär att tillstånd måste sökas för många markarbeten.

4.2.3 Beräkningar

Överslagsmässiga beräkningar har utförts för områden med lera där bank planeras. Beräkningarna redovisas i bilaga 2 tillhörande denna PM.

4.2.4 Förslag på teknisk lösning/erfarenheter från andra spårvägar

- I området vid Gottsundatippen så pågår möjligen sättningar orsakad av den mäktiga utfyllnad som utförts.

Denna delsträcka kan därför komma att behöva förstärkas och därav behöver en sättningsutredning där pågående markrörelser studeras utföras. Utredningen kan utföras med exempelvis Insar eller likvärdigt. Om förstärkningsåtgärder är motiverade kan en åtgärd vara partiell urgrävning

och lastkompensation. Vald åtgärd beror på resultatet från sättningsutredningen.

- 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.

Lastkompensation bedöms även behövas längs sträckor där ingen uppfyllnad planeras eftersom överbyggnadsmaterialet sannolikt är tyngre än de massor som skiftas ut.

4.2.5 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. Detta kan ske med exempelvis Insar eller liknande för att se om sättningar pågår.
- Verifiering av föreslagna lösningar mot systemkrav genom beräkningar, exempelvis spänningskontroller, kontroll av sättningar och sättningsdifferenser.
- Studier av alternativa lösningar utifrån teknik och ekonomi.
- Kontroll i MÅsen för att bedöma vilka åtgärder som krävs för skydd av grundvattnet [18].

4.2.6 Bedömda förstärkningsåtgärder

Bedömda förstärkningsåtgärder för delsträckan redovisas i Bilaga 1 tillhörande denna PM.

4.3 STRÄCKA C

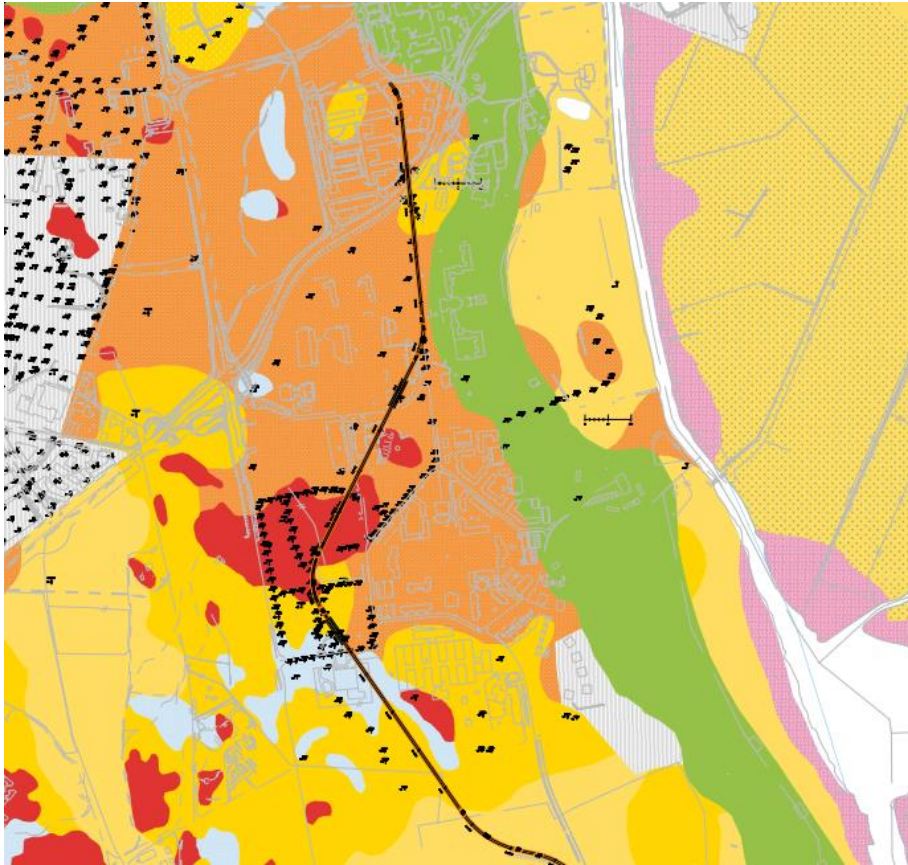
Sträcka C går från Regementsvägen och sedan en kort bit söderut på Lägerhyddsvägen. Därefter löper spårvägssträckningen över Ångströmsområdet och korsar Kungsängsleden för att sedan ansluta till Ulleråkersvägen.

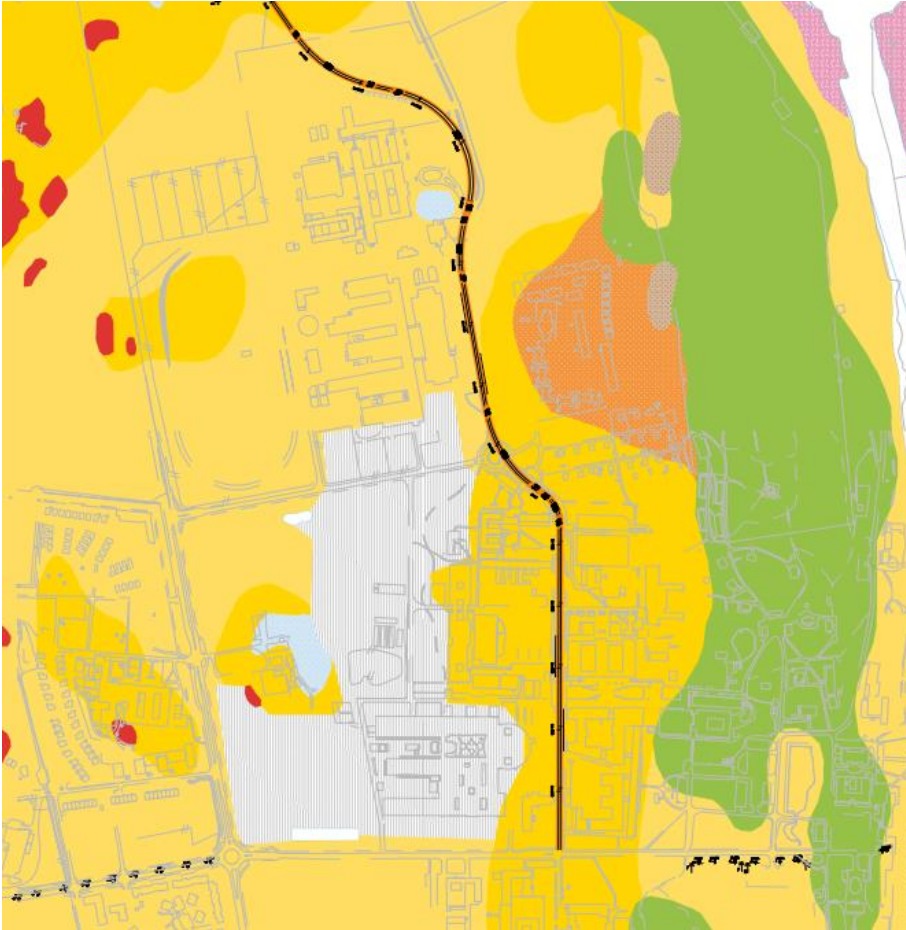
I höjd med Statens rättspsykiatriska klinik så går spårvägen vidare ner mot Ultuna och löper sedan längs Ulls väg hela vägen ner till Ultunaallé.

Spåret går delvis i befintlig väg och delvis i orörd mark. Mellan ca 3+400 och 3+670, skall en ny bro med tillhörande tillfartsbankar över Kungsängsleden anläggas.

Detta innebär en uppfyllnad av befintlig mark med upp till ca 3 meter. Högst bank återfinns på den norra sidan av bron vid Ångströms. Profilhöjningar om ca 0,5 – 2,0 meter sker också mellan ca 4+080 - 4+130, 4+300 - 4+360, 4+500 – 4+650, 4+700 – 4+850, 5+125 – 5+160, 5+350 – 5+450, 5+575 – 5+650 samt vid 5+800 – 5+850[16].

4.3.1 Geotekniska förhållanden





Figur 12 och 13: SGU's jordartskarta [8] sträcka C. Rött=ytligt berg, grönt=isälvs sediment, orange=postglacial sand, gult=lera, blått=morän. De punkter som redovisas återfinns i projektets databas.

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

Geotekniska undersökningar har utförts under våren 2021. Undersökningarna visar att undergrunden överst utgörs av upp till 4 m fyllning. Därunder följer 0,0 – 2,8 meter kohesionsjord ovan upp till 21 meter friktionsjord ovan berg.

Fyllningen utgörs i undersökta punkter av sand, grus och lera. Kohesionsjorden utgörs av lera med fastare beskaffenhet [17]. 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.

4.3.2 Problemställning

- Grundläggning av ny bro över Kungsängsleden i område med lera. 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 och spårsträckningen löper både genom måttligt känslig zon och hög/extremt känslig zon enligt MÅsens klassificering [18]. 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.

4.3.3 Beräkningar

Överslagsmässiga beräkningar har utförts där man planerar uppfyllnad i områden där lera förekommer. Beräkningarna redovisas i bilaga 2 tillhörande denna PM.

4.3.4 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. Lastkompensation bedöms även behövas längs sträckor där ingen uppfyllnad planeras eftersom överbyggnadsmaterialet sannolikt är tyngre än de massor som skiftas ut.
- Bron över Kungsängsleden bedöms behöva grundläggas med pålar ner till fast botten. Val av påltyp styrs av närheten till Ångströmlaboratoriet och deras krav på tillåtna vibrationer. För att minimera vibrationer så kan borrade stålrörspålar användas.

Tillfartsbanken bedöms kunna grundläggas direkt i mark med lättfyllning, eventuellt med förbelastning för att ta ut sättningar innan driftskedet. Detta är dock beroende av tillfartsbankens utbredning och höjd så att man klarar stabilitets- och sättningskrav.

Även aktiviteter i byggskedet t.ex pålning och schaktarbeten kan komma att påverka stabiliteten mot Kungsängsleden negativt. Detta bör kontrolleras i nästa skede. Länkplattor kan användas för att minska eventuella differenssättningar mellan pålad konstruktion och intilliggande bankar.

4.3.5 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.
- Fördjupad kontroll av sättnings- och stabilitetsförhållanden vid anläggning av Kungsängsbrons tillfartsbankar.
- Kompletterande undersökningar/utredningar samt kontroll i MÅsen för att bedöma vilka åtgärder som krävs för skydd av grundvattnet [18].

4.3.6 *Bedömda förstärkningsåtgärder*

Bedömda förstärkningsåtgärder för delsträckan redovisas i Bilaga 1 tillhörande denna PM.

4.4 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.

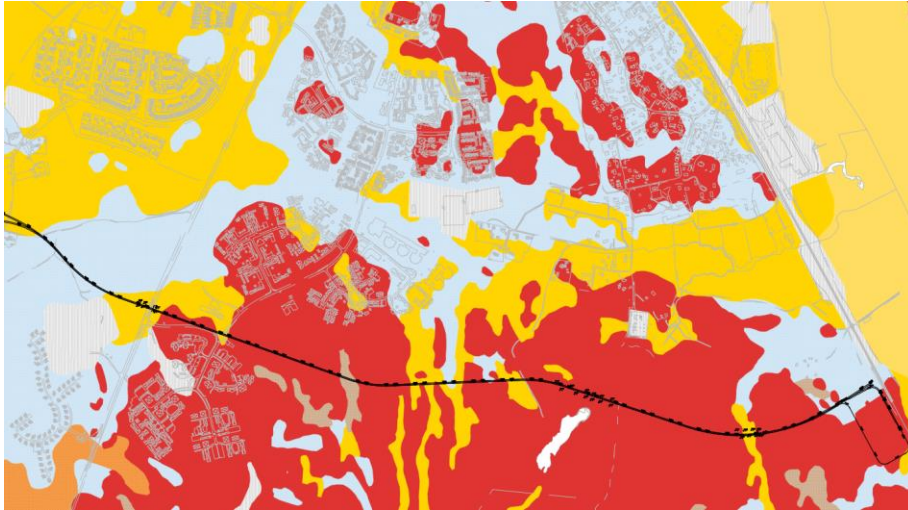
Profilhöjningar om ca 0,5 – 1,0 meter sker mellan ca 7+300 – 7+700, 8+100 – 8+150 samt 8+400 – 8+550. En större profilhöjning upp till 3 meter sker mellan ca 8+750 – 9+050 samt upp till 5 meter för tillfartsbankarna för lågbron. Högbroalternativet innebär bankhöjder om ca 2,5 – 6 meter.

Efter bron över Fyrisån så sker både profilhöjningar och profilsänkningar om upp till 2,5 meter fram till väg 255. Vid väg 255 diskuteras det kring olika lösningar, både överfart med bro eller att låta vägen gå i tråg under spårvägen. Fram till slutstationen så planeras både profilhöjningar och profilsänkningar. De största profilhöjningarna sker vid Östra grönstråket där en bank om ca 4 meter planeras samt vid ändstationen där spårvägen går på ca 7 meters bank.

Efter Östra grönstråket så planeras spårvägen gå i skärning med upp till 7 meter. Längs sträckan skall även en faunapassage anläggas. Vid faunapassagen kommer spårvägen passera ett naturstråk på bro. [16].

4.4.1 *Geotekniska förhållanden*





Figur 14 och 15: SGU's jordartskarta [8] sträcka D. Rött=ytligt berg, grönt=isälvssediment, orange=postglacial sand, gult=lera, blått=morän, brunt = torv. De punkter som redovisas återfinns i projektets databas.

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 [9].

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][9].

I höjd med Dag Hammarskjölds väg så har man tidigare uppmätt grundvattennivåer kring +5[1.10][9].

Ultunaallén

Geotekniska undersökningar har utförts under våren 2021. Undersökningarna visar att undergrunden överst utgörs av upp till 1,7 m fyllning. Därunder följer 9 – 21 meter kohesionsjord ovan friktionsjord/åsmaterial och sedan berg. Fyllningen utgörs i undersökta punkter av sand, grus och lera. Kohesionsjorden utgörs av sulfidlera med låg skjuvhållfasthet. [17].

Bro över Fyrisån

Tidigare undersökningar visar att undergrunden utgörs av 5 – 20 meter kohesionsjord ovan friktionsjord/åsmaterial.

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

Vattennivån i Fyrisån och grundvattennivån i åsen varierar med årstid och över åren [11].

Fyrisån – Väg 255

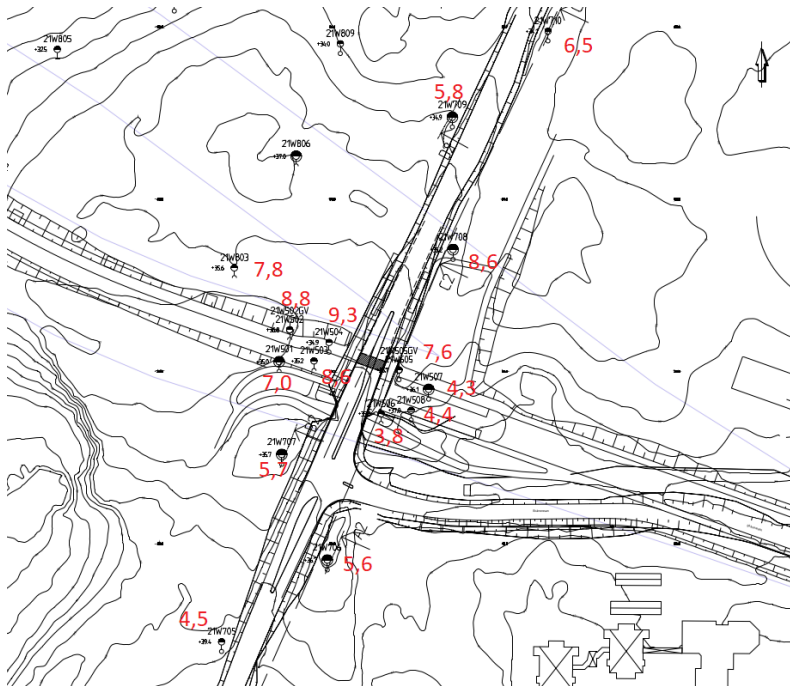
Sträckan utgörs enligt SGU´s jordartskarta [8] växelvis av lera, morän och ytligt berg. Ett område med lera av större mäktighet återfinns i anslutning till Fyrisån, mäktigheten avtar sannolikt österut mot Nåntuna.

Övergång väg 255

Geotekniska undersökningar har utförts under sommaren 2021. Undersökningarna visar att ytskiktet utgörs av mulljord eller upp till 2 meter fyllning. Därunder följer 0 - 2 meter kohesionsjord ovan 4,3 – 7,3 m friktionsjord.

Kohesionsjorden utgörs i undersökta punkter av sandig torrskorplera. Friktionsjorden utgörs överst av siltig sand. Block har noterats i friktionsjorden. För jorddjup i undersökta punkter kring överfarten se figur 16.

Uppmätta grundvattennivåer varierar mellan +31,8 och +33,4 vilket motsvarar djup mellan 2,3 – 5,0 meter under befintlig marknivå. Det skall dock nämnas att endast två mätningar utförts och att man fortsatt bör kontrollera installerade rör för att få en bild av grundvattnets årstidsvariation [17].



Figur 16: Jorddjup i undersökta punkter vid överfart väg 255

Tråg

Geotekniska undersökningar har utförts under sommaren 2021. Undersökningarna visar att ytskiktet utgörs av 0,2 – 0,5 meter mulljord eller fyllning, därunder följer ca 0 - 8,6 meter friktionsjord. I enstaka punkter har upp till 0,5 meter sandig torrskorpelera noterats i friktionsjorden. Friktionsjorden utgörs i undersökta punkter överst av stenig grusig sandmorän. Block förekommer i friktionsjorden [17].

Faunapassage

I området skall en faunapassage anläggas, se figur 17. Vid faunapassagen kommer spårvägen passera ett naturstråk på bro.



Figur 17: Faunapassagen i Sävja/Bergsbrunna.

Geotekniska undersökningar har utförts under sommaren 2021. Undersökningarna visar att undergrunden överst utgörs av upp till 4 m friktionsjord. Friktionsjorden utgörs i undersökta punkter överst av lerig grusig sand.

Uppmätta grundvattennivåer varierar mellan +43,9 och +44,2 vilket motsvarar djup mellan 0,4 – 1,2 meter under befintlig marknivå. Det skall dock nämnas att endast en mätning utförts och att man fortsatt bör kontrollera installerade rör för att få en bild av grundvattnets årtidsvariation [17].

Östra grönpassagen

Geotekniska undersökningar har utförts under sommaren 2021. Undersökningarna visar att undergrunden överst utgörs av upp till 6 m friktionsjord. I enstaka punkt har ett tunnare lager sandig torrskorpelera noterats ovan friktionsjorden. Friktionsjorden utgörs i undersökta punkter överst av lerig siltig sand [17]. Ett grundvattenrör har installerats inom området, vid det första mättilfället kort efter installation var dock röret torrt.

Uppsala södra

Öster om östra grönpassagen så går spårvägen i skärning. Man har därför här utfört ytterligare geotekniska sonderingar under november 2021. Undersökningarna visar att undergrunden i utförda punkter utgörs av upp till 3 meter friktionsjord. Friktionsjorden utgörs av grusig, sandig, stenig morän. Block förekommer i friktionsjorden. Två grundvattenrör har installerats inom området, vid det första mättilfället kort efter installation var dock rören torra.

4.4.2 **Problemställning**

- Broarna över Fyrisån kommer behöva grundläggas med pågrundläggning 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 broarna över Fyrisån utgörs av sättningkänsliga jordarter så kommer grundförstärkning att behöva utföras för tillfartsbankar till bron. När det gäller spårvägen medför styvhetsskillnader och de sättningsdifferenser som kan uppstå att åkkomforten försämras samtidigt som slitaget på spårbanan och tågset ökar.

För att komma från eller åtminstone minimera ovanstående olägenheter krävs att markförstärkningen utformas som en övergångskonstruktion där styvheten succesivt minskas mellan bro och ej grundförstärkt bank.

- Eftersom MSB's stabilitetsutredning [19] inte avser området vid broarna över Fyrisån så bör en stabilitetskartering utföras för att kontrollera om stabiliteten är erforderlig här. Stabiliteten måste kontrolleras för både befintliga förhållanden och för de extra laster som tillfartsbankar och bro tillför.
- Delar av spårvägen går genom yttre och inre skyddsområde för grundvatten och spårsträckningen löper både genom måttligt känslig zon och hög/extremt känslig zon enligt MÅsens klassificering [18]. 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 bör man säkerställa att inga nya laster påförs för att stabiliteten mot ravinen fortsätter vara erforderlig.
- 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. Dock visar utförda undersökningar i läget för spårvägen att marken främst utgörs av ej sättningkänsliga jordar. Eventuell belastningsökning/uppfyllnad kan komma att ge upphov till mindre sättningar.

Brostöd kan beroende på laster delvis behöva pålas ned till fast botten alternativt kan urgrävning ske. För bankarna kan tidig utläggning vara ett alternativ.

- Planerad spårväg innebär bergschakt.

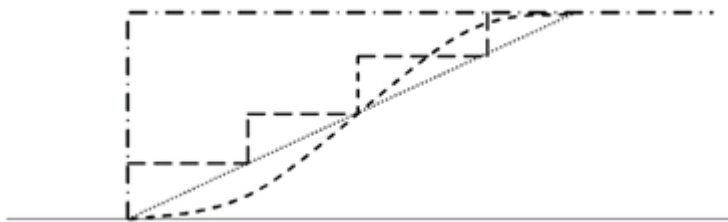
- Där spårvägen löper över områden med torv kan utgrävning krävas.

4.4.3 Förslag på teknisk lösning/erfarenheter från andra spårvägar

- Broalternativ A (lågbron) över Fyrisån kommer att behöva grundläggas med spetsburna pålar ner till fast mark. Utformning av övergångskonstruktion kan utformas på olika sätt.

Utformningen beror av funktionskrav avseende deformationer momentant efter byggtid samt vad som utvecklas under livslängden, geotekniska förutsättningarna, laster mm. Men också vilket underhållsintervall som kan accepteras.

Principen för övergångskonstruktionen är att man succesivt trappar av styvheten på en viss längd som figur 18 visar.



Figur 18: Exempel på olika former av styvheter i en övergångskonstruktion.

För att få en mjuk övergång mellan den pålade bron och den naturliga marken föreslås en övergångskonstruktion med bankpålning i kombination med kc-förstärkning/lättfyllning.

För att ytterligare minska risken för skadliga sättningdifferenser så föreslås även länkplattor mellan bro och fyllning samt förbelastning mellan övergångar från kc-pelarförstärkning och lättfyllning till naturlig mark. På östra sidan kan sista delen av banksträckan lastkompenseras.

Skulle kc-förstärkning inte vara genomförbart pga. miljöskyddsskäl eller annat så föreslås istället bankpålning med övergång till lättfyllning där kohesionsjorden övergår till åsmaterial. Detta är dock ett betydligt dyrare alternativ.

- Broalternativ B (högbron) över Fyrisån kommer att behöva grundläggas med spetsburna pålar ner till fast mark. Anslutande bankar innebär uppfyllnader om 2,5 – 6 meter. Den västra tillfartsbanken ligger enligt jordartskartan dels på åsmaterial och dels på lera och man bör i kalkylskedet räkna med att denna iaf delvis behöver grundläggas med bankpålning.

Där markförhållandena under banken övergår till friktionsjord så bedöms övergången kunna utföras med lättfyllning. För att ytterligare minska risken för skadliga sättningdifferenser så föreslås även länkplattor mellan bro och

yllning samt förbelastning mellan övergångar lättfyllning till naturlig mark. Den östra tillfartsbanken bedöms behöva grundläggas med kc-förstärkning i kombination med urgrävning/lättfyllning.

För att ytterligare minska risken för skadliga sättningdifferenser så föreslås även länkplattor mellan bro och fyllning och förbelastning. Skulle kc-förstärkning inte vara genomförbart pga. miljöskyddsskäl eller annat så föreslås istället bankpållning med övergång till lättfyllning där så är möjligt. Detta är dock ett betydligt dyrare alternativ.

- 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.
- 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. Lastkompensation bedöms även behövas längs sträckor där ingen uppfyllnad planeras eftersom överbyggnadsmaterialet sannolikt är tyngre än de massor som skiftas ut.
- 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.
- Vid större uppfyllnader i områden med ringa lerdjup eller silt/sand så kan även tidig utläggning vara ett alternativ för att ta ut mindre sättningar innan anläggning av spårväg.

4.4.4 Förslag vidare utredning

- Fastställa krav för valt spårssystem, t.ex. toleranser för sättningdifferenser/totalsättningar/skevning etc.
- Kompletterande undersökningar längs stora delar av sträckan för att ge underlag för beräkningar och verifiering av tekniska lösningar. Specifikt så bör man i ett tidigt skede utföra kompletteringar av geotekniska undersökningar i läget för bankarna till de två broalternativen över Fyrisån för att kunna göra en säkrare kalkyl.
- Verifiering av föreslagna lösningar mot systemkrav genom beräkningar, exempelvis spänningskontroller, kontroll av sättningar och sättningdifferenser.
- Studier av alternativa lösningar utifrån teknik och ekonomi.
- Kompletterande utredningar/undersökningar krävs för att bedöma vilka åtgärder som krävs för skydd av grundvattnet [18]. Detta gäller främst vid

övergångar mellan lera och åsmaterial och denna utredning bör ske i samråd med Länsstyrelsen.

- Kompletterande undersökningar där spårvägen går i skärning alt. går på högre bankar.
- Kontroll av befintlig stabilitet kring Gottsunda allé inför detaljplanläggning.
- Kompletterande undersökningar i områden med torv.
- Eftersom MSB's stabilitetsutredning [19] inte avser området vid broarna över Fyrisån så bör en stabilitetskartering utföras för att kontrollera om stabiliteten är erforderlig här. Stabiliteten måste kontrolleras för både befintliga förhållanden och för de extra laster som tillfartsbankar och bro tillför.

4.4.5 Bedömda förstärkningsåtgärder

Bedömda förstärkningsåtgärder för delsträckan redovisas i Bilaga 1 tillhörande denna PM. Det skall påpekas att dessa förstärkningar bedömts som troliga efter ett mindre antal geotekniska undersökningar samt studier av jordartskartan. De skall därför ses som överslagsmässiga och endast användas för kalkyl i tidigt skede.

5 SAMMANFATTNING

Nedan listas de specifika delar av sträckan där behov av förstärkningsåtgärder identifierats. Dessa redovisas även i bilaga 1.

Tabell 1. Exempel på förstärkningsåtgärder i identifierade problemområden

Delsträcka	Objekt	Problemställning	Förstärkning
A	Bäverns grand, Sjukhusområdet	Ledningar under planerad spårväg	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	Bäverns grand, Sjukhusområdet	Vibrationskänsligt område	Spårssystem med effektiv dämpning av vibrationer. Systemval behöver utredas i senare skede men sannolikt utgörs detta av av spår på betongplatta.
A	Islandsbron	Differenssättningar mellan pålad bro och omgivande mark	Länkplatta

A	Sjukhusområdet	Övergång mellan lera och friktionsjord med ej erforderlig lermäktighet för grundvattenskydd	Tätskikt
B,C,D	Generellt i områden med lera där spårvägen går på bank. Även där man går utanför befintlig väggkropp eller ändrar lasten i områden med lera.	Sättningar	Urgrävning och lastkompensation
B	Gottsundstippen*	Ev. pågående sättningar där okvalificerad fyllning överlagrar lera	Urgrävning och ev. lastkompensation om sättningar pågår
C	Ångströmlaboratoriet	Vibrationskänsligt område	Val av spårssystem
C	Bro över Kungsängsgleden, tillfartsbankar	Sättningsdifferens mellan bro och tillfartsbank. Ev. risk för stabilitetsproblem i bygg- och permanentskedet.	Urgrävning/lättfyllning, länkplattor samt förbelastning
D	Gottsunda allé, västra ravinen	Ev. stabilitetsproblem mot ravinen om man ökar lasten på befintlig väg	Urgrävning/lättfyllning
D	Broar över Fyrisån	Broar i sättningskänsligt område	Pålning
D	Broalternativ A över Fyrisån, tillfartsbankar	Differenssättningar mellan pålad bro och omgivande mark	Bankpålning i kombination med kc-förstärkning/lättfyllning, lastkompensation, länkplattor samt förbelastning
D	Broalternativ B över Fyrisån, tillfartsbankar	Differenssättningar mellan pålad bro och omgivande mark	Bankpålning i kombination med lättfyllning/urgrävning, kc-förstärkning, länkplattor samt förbelastning
D	Faunapassage Sävja/Bergsbrunna	Broar i område med lera och sand	Ev. pålgrundläggning beroende på laster, annars urgrävning eller kombination av bägge
A, B, C & D	Längs hela sträckan*	Spårvägen sträckning går genom både inre och yttre skyddsområde för grundvatten.	Tättningsåtgärder
D	Främst kring Fyrisån	Stabilitetsproblem kring Fyrisån	Förstärkningsåtgärder såsom lättfyllning, kc-förstärkning och bankpålning
D	Uppsala södra	Bergschakt erfordras	Bergschakt

* Utredning krävs för att fastställa behovet

VI ÄR WSP

WSP är en av världens ledande rådgivare och konsultbolag inom samhällsutveckling. Med cirka 55 000 medarbetare i över 40 länder samlar vi experter inom analys och teknik, för att framtidssäkra världen.

Tillsammans med våra kunder tar vi fram innovativa lösningar för en mänsklig, trygg och välfungerande morgondag. Vi planerar, projekterar, designar och projektleder olika uppdrag inom transport och infrastruktur, fastigheter och byggnader, hållbarhet och miljö, energi och industri samt urban utveckling. Så tar vi ansvar för framtiden.

wsp.com

WSP Sverige AB
Dragarbrunnsgatan 41
753 20 Uppsala
Besök: Dragarbrunnsgatan 41
T: +46 10-722 50 00
Org nr: 556057-4880
Styrelsens säte: Stockholm
wsp.com

