



UPPDRAGSNUMMER
10359460

DATUM
2025-02-14

UPPDRAGSNAMN
Uppsala Spårväg

Författare
Fredrik Clifford, Emil Friberg, Markus Löfgren

Kapacitetsstark kollektivtrafik – Uppsala Spårväg

UPPSALA SPÅRVÄG, BRO ÖVER FYRISÅN

Bilaga 1 till yttrande - Bemötande av yttranden från länsstyrelsen och Uppsala Vatten och Avfall AB. Mål nr M 4072–24

BAKGRUND

Länsstyrelsen och Uppsala Vatten har yttrat sig över Uppsala kommuns ansökan om tillstånd till uppförande av anläggning i vattenområde m.m. vid anläggande av bro över Fyrisån, Uppsala kommun, mål nr M 4072–24.

Detta dokument syftar till att sammanställa svar på tekniska frågeställningar kopplat till geoteknik och hydrogeologi. Yttranden som hanteras i detta dokument är aktbilaga 62, länsstyrelsen, och aktbilaga 55, Uppsala Vatten och Avfall AB (nedan Uppsala Vatten).

Enskilda frågeställningar används som rubriker för att möjliggöra navigering i dokumentet. Skrivelser från länsstyrelsen och Uppsala Vatten redovisas med kursiv text.

SAMMANFATTNING AV KOMPLETTERANDE UNDERSÖKNINGAR

Utifrån information från inledande undersökningar har WSP under hösten 2024 och vintern 2025 utfört ett antal kompletteringssonderingar och jordprovtagningar kring planerade brostöd, se bilaga 2 till yttrandet Markteknisk undersökningsrapport inkl ritningsbilagor daterad 2025-02-13. Sonderingar har även skett i preliminärt läge för ledningsschakter samt har kompletterande undersökningar för tillfartsbankarna genomförts. Sonderingarna har utförts för att kunna besvara frågor kring grundvatteninströmning, utbredning av kvicklera, sulfidhaltig lera och för att ge ytterligare underlag inför detaljprojektering av planerad bro.

Vidare har reviderade stabilitetsberäkningar utförts för bland annat schakt av brostöd och ledningar. Se bilaga 5 till yttrandet, reviderad bilaga 5.2 till ansökan, Projekterings PM Geoteknik, som således ersätter bilaga 5.2 till ansökan.

Provtagning av sulfidhaltig lera redovisas i Bilaga 4 till yttrandet, PM Sulfidjord, 2024-12-06.

Utöver detta har medelgrundvattennivåer i området reviderats utifrån de grundvattenmätningar som utförts efter det att ansökan lämnades in. Det har även installerats två nya grundvattenrör, ett på vardera sida av Fyrisån. Som ett resultat av ny information från de kompletterande fältundersökningarna ersätts kapitel 4.1.1-4.4.15 i PM Hydrogeologi, bilaga 4 till ansökan, med PM Brostöd, bilaga 3 till yttrandet.

Författare:

Fredrik Clifford, Geotekniker, WSP Sverige AB, Västerås

Emil Friberg, Hydrogeolog, WSP Sverige AB, Uppsala

Markus Löfgren, Hydrogeolog, WSP Sverige AB, Uppsala

Datum: 2025-02-14

A. KÄNSLIGHETSKARTAN

Länsstyrelsen efterfrågar en bedömning av om känslighetskartan, med nu planerade åtgärder, förändras eftersom delar av det skyddade lerlagret tas bort och en anläggning planeras i området.

Uppsala Vatten ska hålla känslighetskartan aktuell genom att uppdatera och revidera innehållet utifrån senast kända kunskap om tillrinningsområdets geologi och hydrogeologi. Den senaste versionen av känslighetskartan är från 2023 och i *PM Revidering av känslighetskartan för Uppsala- och Vattholmaåsarnas tillrinningsområde* (Rejlers, 2023) [D], presenteras de kriterier som de olika zonerna klassas utifrån. I samma dokument presenteras även de sonderingar som, rimligen, använts för att bedöma lerlagrens mäktighet. Utifrån presenterat sonderingsunderlag i nämnt PM är det tydligt att sonderingar vid broläget inte fanns tillgängliga när Uppsala Vatten arbetade fram den senaste versionen av känslighetskartan. . Bedömningsunderlaget för den senaste versionen av känslighetskartan utgörs således främst av kartmaterial.

Den planerade bron över Fyrisån ligger enligt senaste versionen av känslighetskartan inom de två känslighetsklasserna "extrem hög" och "låg", se figur 9 i PM Hydrogeologi, bilaga 4 till ansökan. Bedömningsgrunderna för ett områdes klassning utgörs av tillgänglig information om lokal geologi och topografi. De huvudsakliga parametrarna som är avgörande är förekomsten av isälvsmaterial, lermäktigheter ovan isälvsaterialet och avrinningsmönster.

På västra sidan finns brostöd inom klassningen extrem och hög zon. Zonerna kan inte redovisas på grund av att ytor för klassningen extrem zon är sekretessbelagda. Planerade arbeten vid de brostöd som ligger i hög riskzon innebär inte att de geologiska förutsättningarna förändras på ett sådant sätt att det erfordrar att området bör klassas om till extrem riskzon. Resterande brostöd ligger redan i extrem riskzon och känslighetskartan behöver efter anläggande inte justeras ytterligare.

På östra sidan Fyrisån ligger brostöden i låg riskzon enligt den senaste versionen av känslighetskartan. De inom projektet utförda sonderingarna ger dock en annan bild av geologin än vad låg riskzon innebär. I delar av det område som idag klassas som låg riskzon saknas lermäktigheter över 5 meter, och dessa områden uppfyller snarare kriterium för hög riskzon. Andra delar av området uppfyller kriterium för måttlig riskzon. Det bedöms således att känslighetskartan, vid nästa uppdatering, bör uppdateras utifrån projektets sonderingsresultat på östra sidan ån. Anläggandet av bron innebär inte att känslighetskartan behöver justeras ytterligare.

B. LERANS EGENSKAPER OCH GRUNDLÄGGNING AV BROSTÖD

Inom arbetsområdet finns lera som kan fungera som ett tätande lager över det isälvsmaterial som utgör dricksvattentäkten i åsen. Detta förutsätter dock att leran har rätt egenskaper och tillräcklig mäktighet.

Som framgår av den geotekniska undersökningen och projekterings PM geoteknik som bifogats ansökan förekommer lera i en mäktighet som varierar mellan 1,2–26 m på den västra sidan av Fyrisån och 0,3–9,5 m på den östra sidan. Leran vid undersökta brostöd på den västra sidan av Fyrisån innehåller enligt den geotekniska undersökningen sandskikt, sulfidhaltig siltig gyttjig lera med sandskikt och sulfidhaltig, sandig siltig lerig gyttja.

Länsstyrelsen kan inte se att lerans olika egenskaper har beaktats på ett tillfredsställande sätt i det hydrogeologiska PM:et och i miljökonsekvensbeskrivningen.

Kommunen behöver komplettera ansökan med:

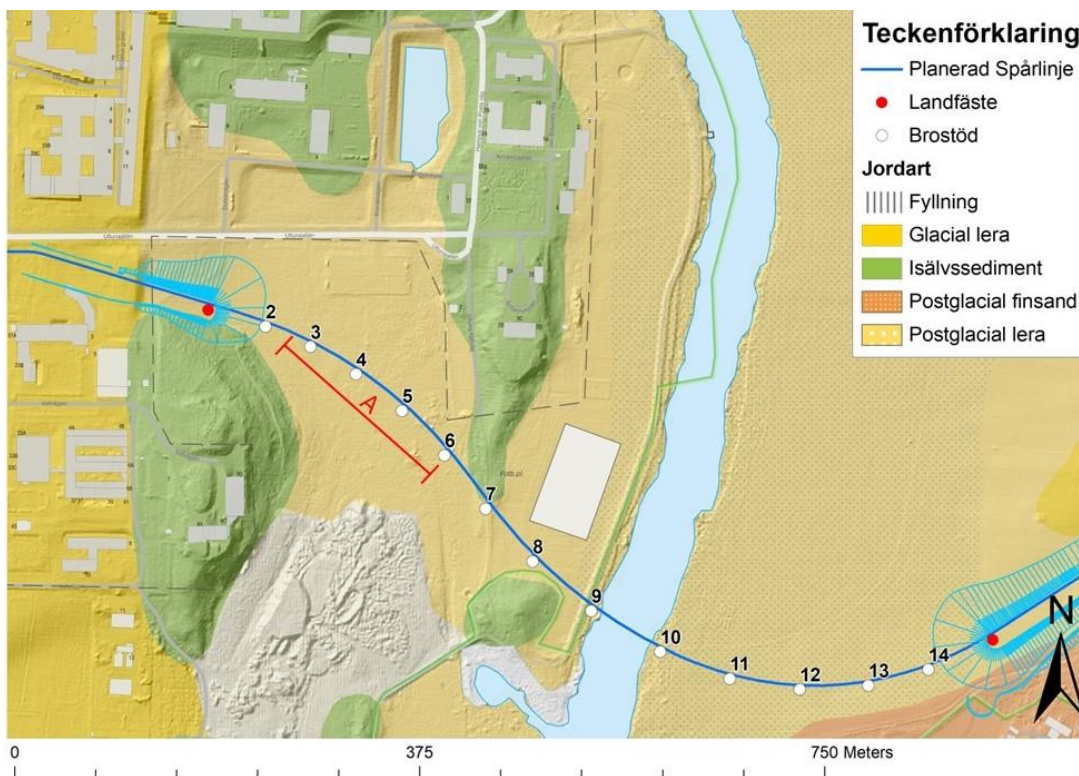
- *En redogörelse för om lera vid de olika brostöden på den västra sidan är av sådan kvalitet med lämpliga egenskaper och struktur att den uppfyller de krav som ställs för att sluta tätt kring pålar och spont samt utgöra ett tätt skyddande lager.*

Statens Geotekniska Institut (SGI) har gjort en kunskapssammanställning när det gäller pålning i förorenade områden och dess risker där bland annat risken för föroreningsspridning och kanalbildning i samband med pålning genom lågpermeabel lera ned till underliggande grundvattenförande lager tas upp [A]. Det finns även en SBUF rapport som är inriktad på spridningsrisker i samband med pålning i förorenad mark som också belyser frågan [B].

Av dessa rapporter framgår att gynnsamma egenskaper på lera för att undvika kanalbildning är homogen och normalkonsoliderad lera, låg permeabilitet och hög plasticitet. Lerans egenskaper beskrivs i kommande stycken för lägena där brostöden på den västra sidan ska anläggas. I Uppsala kommuns dokument "Riktlinje för markanvändning inom Uppsala- och Vattholmaåsans tillrinningsområde ur grundvattensynpunkt" anges för känslighetsklass "hög", även kriteriet minst 5 meter lermäktighet för område som avvattnas mot områden i klass "extrem".

Lerans egenskaper

Leran på västra sidan om Fyrisån är siltig och varvig, med relativt hög frekvens av horisontella skikt med sand och silt. Förekomsten av dessa mer permeabla skikt ökar i närheten av områden där åsen är ytlig eller går i dagen, gröna områden i figur 1 (isälvsmaterial). Inom delsträcka A (våtmarksområde), se figur 1, bedöms lerans homogenitet och tätande egenskaper dock vara bättre än för övriga delar.



Figur 1. Jordartskartan vid broläget

Lerans permeabilitet

Permeabiliteten i lera har bestämts på fyra nivåer i punkt 21W104 av Bjerking's jord- och berglaboratorium (se MUR, Bilaga 2, till yttrandet upprättad av WSP daterad 2025-02-13). Resultaten visar på en permeabilitet av storleksordningen 10^{-10} m/s, vilket är i linje med erfarenhetsvärden som anges i geoteknisk litteratur t.ex

[A], [C]. Sammantaget innebär det att leran vid brostöd 3, 4, 5, och 6 är lågpermeabel, vilket innebär att vattnet rör sig mycket långsamt i lera. Vid brostöd 2, 8 och 9 finns skikt av grövre jordar, silt- och sandskikt, som ger högre strömningshastighet på grundvattnet och därmed högre permeabilitet. Vid brostöd 1 är lermäktigheten begränsad samt grusig och sandig och vid brostöd 7 finns knappt någon lera alls utan enbart friktionsjord.

Laboratorieförsök [A] har visat att permeabiliteten inte ökade runt massundanträngande runda pålar som slogs ned i lera med hög plasticitet.

Lerans plasticitet

Lerans plasticitetstal I_p anger intervallet av vattenkvoter där jorden uppvisar plastiska egenskaper. Samband mellan plasticitetstal och flytgräns samt benämning framgår av tabell 1.

Tabell 1 Samband mellan flytgräns (w_L) och plasticitetstal (I_p). SS-EN/ISO 14688-2

Finkorniga jordar indelas enligt följande efter sina plasticitetsegenskaper		
Benämning	Flytgräns, w_L	Plasticitetstal, I_p
Oplastisk	<15 %	--
Lågplastisk	15 - 30	<10
Mellanplastisk	30 - 50	10 - 25
Högplastisk	50 - 80	25 - 50
Mycket högplastisk	>80	>50

På västra sidan har kolvprovtagning utförts i 8 punkter och på totalt 22 nivåer. Bestämning av lerans konflytgräns på dessa prover visar att på 17 stycken klassas leran som "Mycket högplastisk", på ett prov som "Högplastisk" och på fyra prover som "Mellanplastisk".

Hög plasticitet indikerar att leran har ett brett intervall av vattenkvoter där den uppvisar plastiska egenskaper. Detta innebär att leran kan deformeras utan att spricka eller flyta vilket är fördelaktigt ur tätningssynpunkt.

Sammanfattande slutsats gällande lerans förutsättningar

Sammanfattningsvis konstateras att lerans förutsättningar och kvalitet för att sluta tätt runt pålarna varierar utmed planerad brosträckning på den västra sidan. För brostöd 3, 4, 5 och 6 bedöms leran vara relativt homogen och lermäktigheten bedöms vara minst 5 meter. Leran är här till övervägande del även hög- eller mycket högplastisk. Detta är fördelaktigt ur tätningssynpunkt och här uppfylls de egenskaper som krävs för att leran ska sluta tätt kring pålar och spont.

Vid brostöd 1, 2, 7, 8 och 9 som ligger i närheten av områden där åsen går i dagen (grönt i figur 1) blir leran mer siltig och inslagen av permeabla skikt som silt och sand ökar markant. Även sammanhängande lermäktigheter minskar eller försvinner helt då leran övergår till friktionsmaterial. Vid dessa stöd är således egenskaperna på leran sämre. För att undvika att grundvatten kommer in i schakterna för brostöd 2, 7, 8 och 9 via kanalbildning längs pålar och spont eller genom direktkontakt med grundvattnet, har bottenplattan på dessa brostöd höjts upp ovanför grundvattenytan. Vid brostöd 1 ligger grundvattenytan under schaktbotten därför utförs ingen höjning av detta stöd. Bottenplattan hamnar då i marknivå och måste döljas med jordmassor som formas till en kulle för att skydda plattan mot frost. Upphöjning av brostöd har således utförts där behov föreligger för att inte komma i kontakt med grundvattenytan under anläggningsarbetet.

Leran bedöms vid brostöd 3, 4, 5 och 6 därmed uppfylla de krav som ställs för att sluta tätt kring pålar och spont.

- **En riskbedömning av variationen i lerans struktur och egenskaper, och en beredskapsplan för det fall platsförhållandena visar sig vara sämre än predikterat.**

Huvuddragen i beredskapsplanen består av följande överväganden. Lerans kvalitet och egenskaper varierar enligt tidigare beskrivning och brostödens grundläggningsnivå har anpassats efter geotekniska och

hydrogeologiska förhållanden. Om problem ändå uppstår med vattenläckage längs pålarna kommer tätningsåtgärder vidtas med till exempel bentonitlera eller bentonitmattor, som pressas ner utmed pålen utav grävmaskin försedd med lämplig utrustning. Tätning kan även utföras med tråkilar som drivs ned med grävmaskin eller manuellt med slägga. När läckaget har avstannat får leran möjlighet att konsolidera och sluta tätt runt pålen. Denna metod har använts i andra projekt, bl.a. i samband med grundläggningsarbeten med Centralgaraget i Uppsala 2006. En slutlig beredskapsplan kommer att arbetas fram tillsammans med entreprenören och inges till tillsynsmyndigheten senast två månader innan den tillståndsgivna vattenverksamheten påbörjas, se villkorsförslag 23 i bilaga 7 till yttrandet.

• ***Riskreducerande åtgärder i förhållande till lerans egenskaper och struktur, samt en motivering till valda och bortvalda åtgärder.***

Nedan presenteras redan tillämpande riskreducerande åtgärder, det presenteras även åtgärder som kan användas i den beredskapsplan som kommer att inges till tillsynsmyndigheten samt avfärdade åtgärder.

Riskreducerande åtgärder som har tillämpats:

- Höjning av grundläggningsnivån på brofundamenten vid brostöd 2, 7, 8, och 9 görs för att undvika kontakt med grundvattenytan.

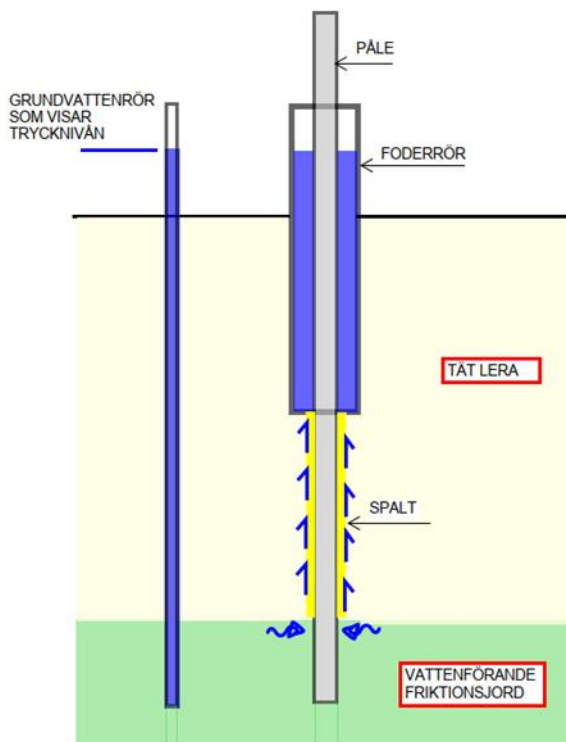
Efter utvärdering av kompletterande geotekniska sonderingar utförda under hösten 2024 och januari 2025 bestämdes att grundläggningsnivån för brostöd 2 och 7 höjs upp till marknivå. Risk för kontakt med grundvattnet genom vattenförande skikt i leran under schaktning för brostöd 2 och direktkontakt med grundvattenytan under schaktning för brostöd 7 föreligger annars. Även grundläggningsnivån för brostöd 8 höjs upp till marknivå, vilket är en ytterligare höjning av grundläggningsnivån för brostöd 8 än vad som redovisades i ansökan. Vid brostöd 8 varierar lerans mäktighet stort över planerad schaktyta. I de södra delarna av schakten finns ingen lera medan i norra delen återfinns upp emot 8 meter djupa lera.

Grundläggningsnivån för brostöd 9 är enligt ansökan upphöjd till marknivå då det annars föreligger risk för bottenuppträckning, för att undvika kontakt med grundvattenmagasinet samt kontakt med Fyrisån.

I PM Brostöd, bilaga 3 till yttrandet, redovisas alla brostöd med tolkade jordartsföljder, grundvattennivåer och grundläggningsdjup, detta ersätter kapitel 4.4 i PM Hydrogeologi, bilaga 4 i ansökan. För brostöd 1, 2, 7 och 8 redovisas nya tolkningar jämfört med det som redovisas i PM Hydrogeologi, bilaga 4 i ansökan.

Riskreducerande åtgärder som kommer studeras vidare under detaljprojekteringen och vidtas vid behov:

- Pålning från markytan före schaktning och anläggning av bottenplatta: Pålning sker då från markytan och inte från schaktbotten. Efter pålning får pålarna stå en tid så att leran kan konsolidera runt pålen innan schakt för bottenplatta utförs. Arbetsmetoden är dock tidskrävande då schaktning för och gjutning av bottenplatta behöver ske runt pålarna.
- Genom att påla inom foderrör förhindras risk för strömmande grundvatten utmed pålen vid högt vattentryck. Principen framgår av figur 2. Vid läckage så stabiliserar sig vattennivån i foderröret och strömningen av grundvatten upphör. Detta gynnar lerans läkningsprocess att sluta tätt runt pålen. Foderrören kan även fyllas med en tätande bentonitsuspension vilken är tyngre än vatten. Då kan också en tätande effekt åstadkommas i samband med att pålen installeras. Foderröret kommer även skära av horisontella vattenförande ytligt belägna skikt i leran om sådana skulle förekomma. Brostöd där små artesiska tryck skulle kunna förekomma är nr 2, 3, 4, 5, 6, 10 och 11.



Figur 2. Pålning inom foderrör, principskiss

- Utföra pålning då grundvattennivån är låg. Lägre trycknivåer förbättrar möjligheterna för leran att "läka" och sluta tätt runt pälarna.

Riskreducerande åtgärder som avfärdats:

- Gjutning av grundläggningsplattan i ett vattenfyllt schakt har avfärdats då det är ett mer tidskrävande och kostnadsdrivande moment än att gjuta i torra förhållanden. Det är också en större arbetsmiljörisk att gjuta i vatten då det kan krävas dykare i det vattenfyllda schaktet. Det ökar även risken för att en förorening skulle nå grundvattnet då det finns direktkontakt med grundvattenmagasinet, därmed bör denna arbetsmetod undvikas.

C. OM SCHAKT, PÅLNING OCH SPONT, LERANS MÄKTIGHET OCH BOTTENUPPTRYCKNING

Det är länsstyrelsens uppfattning att för att utföra schakt, pålning och spontning behöver det lämnas minst 5 m lera av god kvalitet ovanför friktionslagret. Detta kan jämföras med tabell 3 i avsnitt 3.4.2. i den tekniska beskrivningen och redovisningen av lerans mäktighet i det hydrogeologiska PM:et som innebär att det vid vissa brostöd enbart finns mellan 2–4 m lera kvar. Om leran är av sämre kvalitet behöver leran ha större mäktighet.

Det anges i villkor 4 att marknivån kommer att höjas vid brostöd 8 och 9. Det går inte att följa resonemanget bakom valt villkor. I den hydrogeologiska utredningen anges en annan grundläggning för brostöd 8 och att det inte finns någon risk för bottenuppträckning. Där anges även att risken för bottenuppträckning har beräknats och utretts separat. Någon rapportering och beskrivning av den beräkningen och eventuella antaganden i beräkningen har inte presenterats.

Kommunen behöver komplettera ansökan med:

- **Den utredning av risk för bottenuppträckning som utförts.**

En beskrivning av utförd bedömning av risk för bottenuppträckning finns i bilaga 5 till yttrandet, Projekterings PM Geoteknik - Spårvägen, bro över Fyrisån, rev 2025-02-13, handlingen ersätter Bilaga 5.2 till ansökan.

Det förekommer risk för bottenuppträckning vid brostöd 8 och 9 om schaktning utförs för att anlägga bottenplattorna under mark. Med hänsyn till denna risk bedömdes det nödvändigt att höja upp grundläggningsnivån för bottenplattorna för att undvika schaktning. Genom en sådan ändring behöver bottenuppträckning inte befaras.

- **En redogörelse för vad som föranledde en ändring av vald anläggningsmetod för brostöd 8.**

I ansökan redovisades en höjning av grundläggningsnivån för brostöd 8 för att undvika risk för bottenuppträckning vid schaktning. Om bottenuppträckning sker skapas en permanent kontakt med grundvattenytan som vid höga grundvattennivåer kan nå upp till och flöda ut på markytan. Under hösten 2024 har kunnat konstateras att lerdjupen vid detta brostöd varierar stort inom området för planerad schakt. Detta har medfört att grundläggningsnivån för bottenplattan höjts upp ytterligare för att undvika kontakt med grundvatten. Grundläggningsnivån för brostöd 8 är nu i marknivå.

- **En utredning över möjligheten att höja markytan vid fler brostöd än brostöd 8 och 9 för att begränsa risken för påverkan på grundvattentäkten, samt en redogörelse för varför åtgärden avfärdas i övriga brostöd.**

Grundläggningsnivån för brostöd 2, 7, 8 och 9 har höjts upp till marknivå. Bedömningen är att det inte behövs för övriga brostöd även om grundvattnets trycknivå ligger över schaktbottennivå (utom för brostöd 1), varför upphöjning för dessa inte behöver ske. De geotekniska förhållandena med djupa lerlager som har bra förutsättningar för att sluta tätt kring pålar vid brostöd 3-6 och 10-11 gör att risk för kanalbildning längs pålarna bedöms vara liten (se tidigare svar om lerans egenskaper). Vid tillfartsbanken och brostöd 1 ligger grundvattennivån under schaktdjup. Vid brostöd 12-15 kommer grundvatten att ledas bort under byggskedet.

En höjning av alla brostödens grundläggning, och inte endast fyra brostöd av totalt 15, skulle innebära att stora mängder jordmassor skulle behöva tillföras för att täcka ytterligare elva bottenplattor för att undvika frostsador. Det är ett ytterligare skäl till att avfärda upphöjning av brostöd där sådan upphöjning inte är motiverad av grundvattensskäl. Dessutom, om upphöjning skulle ske även av de brostöd som av grundvattensskäl inte behöver höjas upp, skulle det markant påverka landskapsbilden och brons gestaltning.

D. GRUNDVATTENFÖRHÅLLANDEN

Området har i olika sammanhang beskrivits som ett område med en komplicerad hydrogeologi med förekomst av artesiskt grundvatten. Enligt ansökningshandlingarna redovisas grundvattenytan ligga 0,3–1,5 m under markytan förutom vid brostöd 1 och 15. Det framgår inte av underlaget om det är högsta uppmätta grundvattennivå som anges i handlingarna.

Kommunen behöver komplettera med:

- **Ett förtydligande kring vilken grundvattennivå som visas i ritningar och kartunderlaget och i det hydrogeologiska PM:et**

I det PM Hydrogeologi (bilaga 4 till ansökan) redovisas medelgrundvattennivåer. En grundvattenmodell är framtagen för att beräkna grundvattennivåer mellan de befintliga observationspunkterna (grundvattenrör). I modellen används medelgrundvattennivåer från närliggande observationsrör och utifrån geologi, topografi och annan relevant indata beräknas en medelgrundvattennivå mellan observationspunkterna. Då mätserien nu är längre jämfört med när ansökan lämnades in i maj 2024 har medelgrundvattennivåerna vid varje brostöd

reviderats jämfört med ansökan, se bilaga 3 till yttrandet, PM Brostöd. Högsta beräknade grundvattennivå, genom extremvärdesanalys, redovisas även.

- ***Ett resonemang kring den analys av samvariation och tidsserier som utförts. Varför har inte en längre tidsserie använts?***

Långtidsmätningar i närområdet saknas, därav har samvariationsanalys fått göras för de mätningar som finns på platsen. Det är det normala då det är ovanligt att det finns långtidsmätningar (> 10 år) på platsen där ett bygge ska genomföras. De slutsatser som skulle kunna dras av långtidsmätningar kan istället dras av samvariationsanalysen.

Samvariationsanalysen använder uppmätta värden som jämförs mot en längre tidsserie. Normalt används grundvattenmätserier från SGU då de tillhandahåller långa, högupplösta mätserier. En sådan finns i Uppsalaåsen norr om stan, mätstation Lagga 2, vilken har motsvarande geologiska förutsättningar som vid bron.

Data från Uppsala Vatten för grundvattennivåer vid Ultuna källa mellan 2020 och 2024 uppvisar att vattnet vid källan och det i Lagga 2 inte samvarierar så som förväntades då observationspunkterna sitter i samma magasin. Grundvattnet vid brostödet uppvisar inte en opåverkad nivåvariation, vilket troligen beror på den infiltration och det uttag till dricksvattenverken som sker i åsen vid Sunnersta. Under vissa perioder avviker nivåerna tydligt från förväntade nivåer för att sedan skarpt återgå, vilket tolkas som förändringar av uttagsmängder från brunnar i åsen för Uppsala Vatten. Att finna statistiskt höga grundvattennivåer går däremot väl att göra och har så gjorts genom samvariationen och en extremvärdesanalys, för att få representativa värden. Resultatet från extremvärdesanalysen redovisas i PM Brostöd.

Fler samvariationsanalyser än de som presenteras i PM Hydrogeologi har utförts. Både med uppmätta data mot Uppsala Vattens 4 år långa tidsserie samt mot SGU:s referensrör Lagga 2.

- ***Ett resonemang och förslag på åtgärder i händelse av att grundvattennivån stiger under pågående arbete och bottenuppträckning riskerar att ske.***

Risken för bottenuppträckning har bedömts för samtliga schakter med både höga grundvattennivåer (5-års högnivåer) och med säkerhetsfaktor. Att det skulle uppstå risk för bottenuppträckning bedöms som ytterst liten. Åtgärder har vidtagits vid brostöd 2, 7, 8 och 9 i form av upphöjning av grundläggningsnivån till marknivån, för att undvika risken helt.

Om grundvattennivåerna mot förmodan stiger under anläggningsarbetet kan schaktet vattenfyllas för att på så sätt skapa det motstånd som krävs för att inte bottenuppträckning ska ske.

- ***Hur representativ är den grundvattennivå som visas och som beräkningar och antaganden kopplade till exempelvis bottenuppträckning bygger på.***

Grundvattennivån som visas i PM Hydrogeologi är baserad på uppmätta grundvattennivåer. Mellan mätpunkterna bedömer modellen en grundvattennivå. Det finns ett större antal, ca 12, grundvattenrör i närheten av bron, varav vissa har aningen längre tidsserier (4 år). Utifrån underlaget bedöms det att använda nivåer är representativa, även om en påverkan från vattenuttaget kan ses.

Bottenuppträckningsberäkningarna är utförda med en grundvattennivå som motsvarar 5 års återkomsttid, vilken togs fram genom en extremvärdesanalys på uppmätta data. Som nämnts kan man, trots antropogen påverkan i magasinet, utläsa högnivåerna, således bedöms den utförda extremvärdesanalysen vara representativ för området.

I Bilaga 3 till yttrandet, PM Brostöd, presenteras medelnivåer samt nivån med 5 års återkomsttid som används vid bottenuppträckningsberäkningar relativt schaktbotten för brostöden.

Sammanfattningsvis, i PM Hydrogeologi redovisas uppmätta grundvattennivåer samt, mellan observationspunkter, en modellerad grundvattennivå som tagits fram utifrån uppmätta grundvattennivåer. För bottenuppträckning används en grundvattennivå som beräknats med en extremvärdesanalys utförd på uppmätta grundvattennivåer. Utifrån att alla grundvattennivåer som presenteras är, eller är baserade på, i området uppmätta grundvattennivåer bedöms presenterade nivåer representativa för området.

E. PÅLNING OCH SPONTNING

Pålning avses ske till hejarsonderingens djup, vilket normalt borde vara svårt med betongpålar. Länsstyrelsen befarar att det kan medföra stor kompaktering av grundvattenförande jordlager, vilket kan utgöra hinder för grundvattnet. Vid utredningen av dämning uppfattar länsstyrelsen att man enbart tittat på själva pålen och inte på det faktum att ett område runt och under pålen även blir kompakterat.

Kommunen behöver komplettera med:

- **En fördjupad utredning om risk för kompaktering av åsmaterialet i samband med planerade arbeten och pålning.**

För spetsburna pålar verifieras den geotekniska bärförmågan genom stoppslagning mot berg eller i friktionsjord. I praktiken kommer dock en del av bärförmågan även att mobiliseras utmed pålens mantelyta. Vid slagning av påle i friktionsjord kommer pålens spets att packa jorden vilket leder till ökad lagringstäthet och lokalt runt pålen minskad permeabilitet.

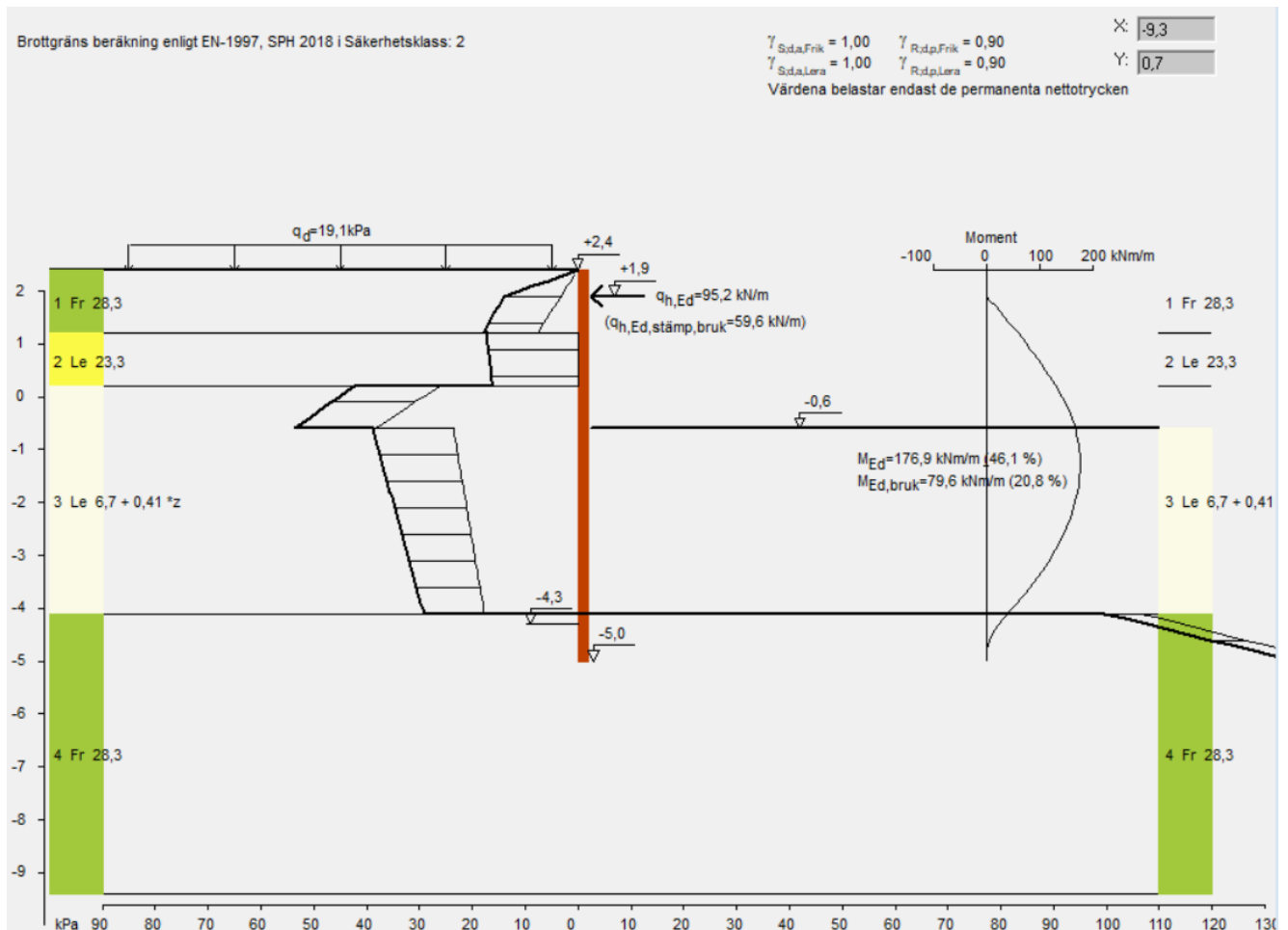
Hur jorden påverkas beror på egenskaperna, bland annat den relativa lagringstätheten som även kan benämnas densitetsindex, I_d . En låg lagringstäthet ökar jordens känslighet för påverkan. Utvärderingar från utförda CPT-sonderingar och hejarsonderingar visar på en lagringstäthet som i huvudsak varierar mellan 40–60%. Enligt SS-EN/ISO 14688–2, innebär det en mellanfast lagring, se Tabell 2. Bedömningen är grov och förutsätter normalkonsoliderad jord av främst sand.

Tabell 2 Korrelationer för klassificering av densitetstermer enligt SS-EN/ISO 14688–2

Term	Densitetsindex I_d %
Mycket lös	0 till 15
Lös	15 till 35
Mellanfast	35 till 65
Fast	65 till 85
Mycket fast	85 till 100

Studier från laboratorieförsök och provpålning visar att den påverkade zonen är ganska lika runt mantel och i pålspets och kompakteringen orsakad av pålningen bedöms därför vara relativt lokal runt pålen och uppgår till ca 1-2 påldiametrar [B], se figur 3.

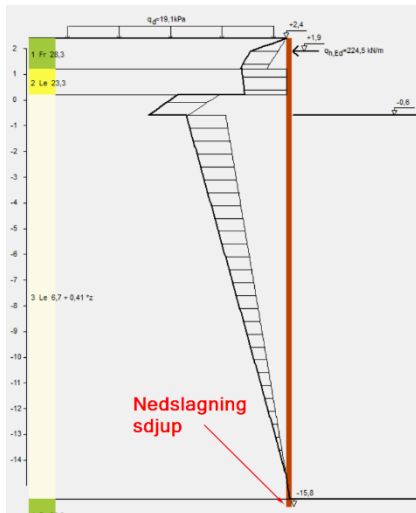
I och med att jorden vid broläget bedöms som mellanfast förväntas en relativt liten kompaktering av kringliggande jord i det aktuella fallet.



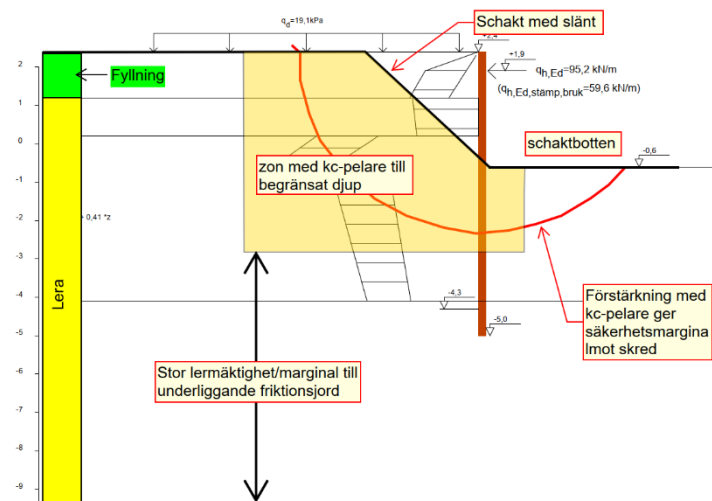
Figur 4. Kontroll av spontdjup vid stöd 2 med begränsad lermäktighet.

Vid stora lermäktigheter visar resultat från analytiska beräkningsprogram (Spontprogrammet) oproportionerligt stora nedslagningsdjup i förhållande till schaktdjupen. Problematiken exemplifieras i figur 5. I dessa fall behöver sponter modelleras med numeriska samverkansprogram och med fördel i 3D för att erhålla mer rättvisande djup.

Ett alternativ där lermäktigheter är stora kan vara att förstärka leran med kalkcementpelare till begränsade djup så att tätande lerlager mot underliggande friktionsjord bibehålls. På så sätt kan schakt utföras med slänter, principen visas i figur 6. Lösningen behöver dock verifieras med beräkningar. Då lösningen skulle ske i de ytliga lerlagren har det ingen påverkan på grundvattensituationen.



Figur 5. Exempel på nedslagningsdjup vid stora mäktigheter med lös lera



Figur 6. Principlösning, KC-förstärkt lera till begränsat djup

- **En utredning av vilka risker på kort och lång sikt som finns kopplade till val av sponttyp, samt valet att lämna kvar spanten jämfört med att ta upp den. Exempel på risker som behöver belysas är täthet (utläckage av grundvatten), spridningsvägar, kompaktering m.m.**

Täthet

Sponter som behöver slås genom leran och ned i friktionsjorden för att få tillräckligt mothåll och bli rotationsstabila behöver lämnas kvar. För att avgöra vid vilka stöd som sponter kan dras upp behöver detaljerade beräkningar utföras i detaljprojekteringsskedet. Kanalbildning och risk för läckage motverkas i byggskedet genom att vibrera spontplankorna vilket minskar risken för att lera skall fastna på plankorna. En annan åtgärd som planeras är att dra upp spanten stegvis så att leran ges möjlighet att läka och sluta tätt.

En kvarlämnad spont är, ur grundvattensynpunkt, att föredra. I det fall att spanten ska dras upp och är installerad ner igenom hela lermäktigheten riskeras kopplingar mellan undre magasin och markytan skapas. Detta då risken för kanalbildning är markant större vid avvecklingsskedet jämfört med installationen. En lämnad spont påverkar inte grundvattenflödena. Problematiken som kan uppstå med en kvarlämnad spont är således endast att den kan rosta. Men för att rost ska inträffa krävs att spanten syresätts, under grundvattenytan rostar en spont ytterst lite (1–2 mm / 100 år [E]).

Således kan en spont kapas under grundvattennivån och lämnas kvar utan att riskera påverkan på grundvattenmagasinet. Om sponten dras upp ska den dras stegvis med tidsintervall mellan dragen.

Kompaktering

Leran har mycket låg hållfasthet och sponten bedöms kunna tryckas ned till största delen. Om sponten behöver penetrera genom leran och in i friktionsjorden kan viss vibrering behöva utföras. Nödvändig längd i friktionsjorden bedöms inte vara stor och påverkan från kompaktering liten. Vertikalkrafterna i sponten utgörs i princip endast av egentygden (stämpad spont) varför behov av hård stoppslagning inte är aktuellt.

Spridningsvägar

Miljöprovtagning som har utförts indikerar inga förväntade föroreningar i jorden. Provtagning kommer även utföras kontinuerligt i samband med schakt inför deponering av jordmassor. Precis som för pålarna säkerställs att installationen av spont görs från ren yta.

Risken för kanalbildning med installerad spont bedöms, vid installation genom lera, vara liten. Detta då eventuella otäta skarvar kommer att fyllas med lera i samband med installation i leran.

Risken för föroreningsspridning längs spont eller genom spontlås och skarvar minimeras även genom att marken provtagits innan installation och att det säkerställs att arbete sker från rena ytor. Risken är således mycket liten.

G. MARKSTABILITET OCH KVICKLERA

Enligt den geotekniska undersökningen planeras det för ytterligare utredningar, däribland utbredning av kvicklera och stabiliteten i området för bron och dess tillfartsbanker. Länsstyrelsen kan inte se av inlämnat material att de planerade utredningarna utförts.

Kommunen behöver komplettera ansökan med:

- ***Utbredningen av kvicklera samt behovet av särskilda skyddsåtgärder under arbetstid och drift.***

Kvicklera har påträffats i fem sonderingspunkter på östra sidan belägna nära Fyrisån. En mer utförlig redovisning av kvicklerans utbredning redovisas i bilaga 5 till yttrandet, Projekterings PM geoteknik som ersätter Bilaga 5.2 till ansökan, under avsnittet "Övrigt".

Vid arbeten i känsliga områden med kvicklera upprättas ett mät- och kontrollprogram där gränsvärden för viktiga parametrar tas fram tillsammans med åtgärder som kan sättas in i det fall gränsvärden uppnås. Exempel på åtgärder är dragning av lerproppar där så bedöms lämpligt, förändring av pålordning, modifiering av arbetsutförande och maskinval.

Skyddsåtgärden innebär i första hand övervakning av markrörelser i slänten mot Fyrisån genom instrumentering av inklinometrar som ger bra information om rörelser i jorden från markytan och mot djupet och nivåmätning av marken. Även porttrycksmätning kan bli aktuellt, men behovet och placering av dessa bestäms i samband med detaljprojekteringen. Övervakning av rörelser behöver även utföras okulärt genom regelbunden besiktning på plats då kritiska arbeten pågår. Det kan då handla om att använda syftlinjer, notering av skredtecken och sättningar.

När det gäller projekteringen av schakt och grundläggningsarbeten tas hänsyn till förekomst av kvicklera genom att säkerhetsklass 3 tillämpas, vilket är den högsta säkerhetsklassen, med avseende på stabilitetsbrott. Detta är i enlighet med gällande regelverk t.ex. TRVINFRA-00230 [H] och SGI:s vägledning 8 "Utredning av släntstabilitet [I]".

Ovanstående skyddsåtgärder avser byggskedet. I driftskedet behövs inga särskilda skyddsåtgärder då brostöden kommer att pålas till fast berg.

- **Klargörande om stabiliteten för arbetsfordon inom våtmarken och i närheten av Fyrisån är utredd och hanterad i ansökan eller om ytterligare skyddsåtgärder kommer att krävas. Se hänvisning till kommande utredningar i den geotekniska undersökningen.**

Inom våtmarken anläggs en pontonbyggväg som inte bedöms påverka stabiliteten negativt.

Inledande stabilitetsberäkningar visar att stabiliteten mot Fyrisån är erforderlig med antagna laster. När arbetsordning och arbetslaster är framtagna så ska nya beräkningar utföras, därför har man i ansökan tagit höjd för spont längs båda sidor av Fyrisån.

Stabiliteten för arbetsfordon inom våtmarken och i närheten av Fyrisån är således utredd och hanterad i ansökan.

H. SULFIDHALTIG LERA

Enligt den geotekniska utredningen förekommer det sulfidhaltig lera eller lera med sulfidinslag inom arbetsområdet. Kommunen har inte utvecklat eller redogjort för risker och hantering av sulfidhaltiga massor och länshållningsvatten infiltreras i åsen. Av ansökningshandlingarna framgår att länshållningsvattnet kommer att hanteras lokalt och därefter pumpas till närbeläget dike, dagvattenledning eller direkt till Fyrisån.

Kommunen behöver komplettera sin ansökan med:

- **En redogörelse för hantering, risker och anpassningar av arbetet med avseende på förekomst av sulfidhaltiga leror och länshållningsvatten med lågt pH**

Utredning av sulfidhaltig lera genomfördes hösten 2024. Denna redovisas i PM Sulfidjord, bilaga 4 till yttrandet. Nedan följer en sammanfattning av förekomst av sulfidhaltig lera samt anpassningar av arbetena.

I det fall att sulfidhaltiga leror syresätts oxideras jorden och vätejoner frigörs. Oxidation kan ske som konsekvens av grundvattensänkning eller att leran frigörs i samband med schaktarbete. Fria vätejoner sänker pH i den miljö de förekommer, jord eller vatten. Risker med sulfidhaltig lera är således främst försurning.

Vid undersökning av förekomst av sulfidhaltig jord uttogs jordprover på båda sidor om Fyrisån (västra och östra) och utvärderades enligt metoderna Optimass [F] och Vägverkets publikation 2007:100 [G]. Utifrån analysresultaten bedömdes jorden på östra sidan inte utgöras av sulfidjord vilket således också stämde överens med observerade jordarter på den östra sidan. På den västra sidan av Fyrisån bedömdes dock risken för sulfidjord som högre. Två av sju analyserade prover på västra sidan klassades som sulfidjord med medelhög försurningspotential, dessa är två prover uttogs närmre Fyrisån mellan djupen 2,5 – 3,5 m under markytan.

Vid schakt i sulfidhaltig lera bör exponering för syre minimeras. Detta kan göras genom att minska tiden grundvattenavsänkning pågår samt tiden schakt står öppna.

Vid ett bortskaffande av sulfidhaltig lera bör schaktning ske direkt till lastbil för transport till mottagningsanläggning. Om sulfidhaltig lera ska mellanlagras ska massorna hanteras som förorenade, dvs mellanlagringen ska ske på ett kontrollerat sätt för att minimera risken för försurning. Exempelvis på en tät yta (presenning), uppvallad jord runt omkring för att förhindra att lakvatten lämnar den täta ytan samt att jorden täcks för att minimera uppkomsten av lakvatten vid eventuell nederbörd. Okulär kontroll av eventuellt uppkommande lakvatten bör göras regelbundet. Eventuell mellanlagring behöver även ske på behörigt avstånd till Fyrisån.

Vid borttransport av sulfidhaltiga massor kommer kontakt med berörd mottagningsanläggning ske i god tid före.

Då det inte kommer länshållas något grundvatten på den västra sidan än riskeras inte att länshållningsvatten med lågt pH når recipienten. På den östra sidan än, där länshållning planeras vid brostöd 12–15, förekommer inte sulfidhaltig lera. Länshållningsvatten förväntas således inte ha lågt pH som konsekvens av sulfidjordar. Vattnet kommer renas och provtas innan det släpps till recipient och pH-justering kan installeras vid behov.

I. LEDNINGSSCHAKT

I samband med arbetet kommer dagvattenlösningar och ledningar att anläggas, även vissa ledningsomläggningar är aktuella. Vid brostöd 4–8 anläggs ledningsschakter på ett djup mellan 1,5–2 m. Omläggning av ledning i våtmarken sker genom styrd borrhning. Vid brostöd 13–15 anläggs ledning intill och längs schakt för brostöden.

Kommunen behöver komplettera ansökan med:

- **Nivån på ledningsschakt i förhållande till den höjning av markytan som planeras vid brostöd 8.**

Ledningsomläggningen har studerats vidare efter ansökan. Befintliga ledningar kommer i vissa fall behöva läggas om då de ligger i konflikt med brostöd. Befintliga ledningar ligger på ett djup på ca 1,5–2,5 meter. Detaljprojekteringen kring de nya ledningsschakterna är inte genomförd, detta kommer ske i samband med att bron detaljprojekteras. Ledningsschakterna förväntas dock ha motsvarande djup som de befintliga ledningarna då de i huvudsak enbart kommer flyttas sidledes för att göra plats för brostöden.

Som beskrivits ovan under kapitel B har grundläggningsnivån för brostöd 8 höjts upp och kommer att anläggas i marknivå.

- **Redogörelse om ledningsschakten kan riskera att bidra till förorening eller spridning av föroreningar eller bortledning av grundvatten.**

Schakterna för ledningsomläggning på östra sidan innebär grundvattenbortledning efter samma förutsättningar som vid brostöd 12–15 då lermäktigheterna i området är så grunda att ledningsschaktbotten ligger under lerans underkant. Förutsättningarna är geologiskt desamma som för brostöd 12–15 och geotekniska utredningar har utförts i området som styrker den bedömningen. För arbeten med ledningsschakter på den östra sidan kommer det således att länshållas grundvatten, detta ingår i yrkanden i ansökan.

Ledningsschakterna på västra sidan Fyrisån kommer i vissa fall att penetrera lerlagret. Då schaktbottennivåerna för ledningsschakterna ligger under uppmätta grundvattennivåer i stora delar av området kommer det att läcka in grundvatten i schaktet. Länshållning av vattnet från åsmaterialet ska ej ske och schakterna får således utföras i blöta förhållanden alternativt med schaktfri metod. Ingen grundvattenbortledning kommer att ske, varför risk för föroreningsspridning inte behöver befaras.

Delar av ledningsschakterna på västra sidan Fyrisån ligger inom det som klassas som extrem hög känslig zon i Uppsala Kommuns känslighetskarta. Inom dessa områden krävs åtgärder för att täta ledningsschakten om arbetet inte utförs schaktfritt. Täta ledningsschakter och säkerställande att marken är ren innan schaktarbete påbörjas gör att föroreningsspridning till vattentäkten undviks.

Förslagsvis anläggs ett tätskikt av bentonitduk längs botten för VA-ledningarna. Länshållningsvatten kommer även att hanteras och provtas i enlighet med beskrivning i ansökan. Arbetsmaskiner kommer att vara uppställda på tätt underlag.

Sammanfattningsvis kommer grundvattenbortledning att ske vid ledningsomläggning på den östra sidan av Fyrisån. På den västra sidan kommer ledningsomläggning ske med schaktfri metod eller i blöta förhållanden

vilket innebär att ingen grundvattenbortledning kommer att ske. På båda sidor om ån säkerställs att arbete sker från ren yta vilket innebär att risken för att sprida och bidra med föroreningar undviks.

J. DEPONIER

Gällande angränsande nedlagda deponier EBH-ID 149362, EBH-ID 148375 samt EBH-ID 148374 bedömer länsstyrelsen att det förekommer risk för spridning i anslutning till planerade grävarbeten. Länsstyrelsens bedömning är att ytterligare undersökning och beaktan kan komma att krävas vid fortsatt arbete och detta bör tas i samråd med tillsynsmyndigheten

De nedlagda deponierna EBH-ID 149362, EBH-ID 148375 samt EBH-ID 148374 ligger utanför det modellerade påverkansområdet och således väntas ingen föroreningsspridning från dessa kunna ske på grund av den sökta vattenverksamhetens inverkan på vattenförhållanden.

Schaktmassor kommer att provtas vid behov före start av schaktarbete och erforderliga anmälningar kommer att lämnas in till Miljöförvaltningen.

K. AKTBILAGA 55 – UPPSALA VATTEN OCH AVFALL AB

1. Grumling

En ökad turbiditet i grundvattnet är inte alltid en konsekvens av påarbete men som Uppsala Vatten nämner förekommer det. Förutsättningarna från projektet bedöms vara sådana att påverkan på vattenkvaliteten vid uttagsbrunnarna Sunnersta inte ska ske som konsekvens av anläggningsarbetet.

Även om det inte förväntas ske någon grumling är det rimligt att säkerställa detta inom kontrollprogrammet. Förslagsvis görs kontroller i form av provtagning på grundvattnet innan arbetet börjar, under arbetes gång samt en tid efter arbetet. Exakt utformning av läge och omfattning föreslås bestämmas i samråd med tillsynsmyndigheten.

2. Tätning av pålar

Gällande tätning av pålar hänvisas till tidigare skrivelser om samma fråga i svaren till Länsstyrelsens yttrande. Se redovisning i avsnitt B.

KÄLLOR

- [A] Pålning i förorenade områden-Kunskapssammanställning (Charlotta Tiberg, Paul Edebalk, Björn Dehlbom), SGI 2019-09-03.
- [B] Installation av pålar och spont i förorenad mark – Spridningsrisk och ansvarsfördelning SBUF ID:13413 (Ellen Samuelsson), NCC Teknik 2019-04-05
- [C] Information 1-Jords egenskaper (Rolf Larsson), Statens Geotekniska Institut (SGI) 2008
- [D] PM Revidering av känslighetskartan för Uppsala- och Vattholmaåsarnas tillrinningsområde,
- [E] Svenska institutet för standarder, (2007). Pålar och spont, SS-EN 1993–5:2007,
- [F] Optimass, u.å. Bedömningsverktyg för sulfidjords förurningspotential. Tillgänglig: <https://www.optimass.se/bedomningsverktyg-sulfidjord/> (2024-11-28),
- [G] Vägverket, 2007. Råd och rekommendationer för hantering av sulfidjordsmassor. Publikation 2007:100. Vägverket, Teknikavdelningen, Sektionen för vägteknik.
- [H] SGI. (2023), *Utredning av släntstabilitet*, Utgåva 1, SGI Vägledning 8, Statens Geotekniska Institut, (SGI)
- [I] Trafikverket (2023), TRVINFRA-00230 version 2.0, Geokonstruktion, Dimensionering och utformning