





## INNEHÅLL

<b>1</b>	<b>Sammanfattning</b> .....	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Utredningsalternativ</b> .....	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Inledning</b> .....	<b>8</b>
<b>3</b>	<b>Mål för Västlänken</b> .....	<b>8</b>
<b>4</b>	<b>Förutsättningar</b> .....	<b>9</b>
4.1	Terräng och jordlager.....	9
4.2	Geologi och bergteknik.....	9
4.3	Geoteknik.....	10
4.4	Geohydrologi.....	10
4.5	Bebyggelse.....	11
4.6	Infrastruktur.....	11
4.7	Anläggningar i berg.....	11
4.8	Kommunalteknik.....	11
4.9	Buller och vibrationer.....	12
4.10	Elektromagnetiska fält.....	12
4.11	Utförda undersökningar.....	12
<b>5</b>	<b>Vald tunnelutformning</b> .....	<b>12</b>
<b>6</b>	<b>Normalsektioner</b> .....	<b>14</b>
<b>7</b>	<b>Förutsättningar för linjeberäkningar</b> .....	<b>14</b>
7.1	Spårgeometrisk riktlinjer.....	14
7.2	Allmänna riktlinjer.....	14
7.3	Hänsyn till kommunalteknik.....	14
7.4	Hänsyn till vattendrag.....	15
7.5	Avstånd rälsöverkant till tunneltak.....	15
7.6	Bergtäckning vid bergpåslag.....	15
<b>8</b>	<b>3D-modell</b> .....	<b>15</b>
<b>9</b>	<b>Värderade byggmetoder</b> .....	<b>15</b>
9.1	Inledning.....	15
9.2	Undermarksbyggande i jord.....	15
9.3	Undermarksbyggande i berg.....	17
<b>10</b>	<b>Rekommenderade byggmetoder</b> .....	<b>18</b>
10.1	Undermarksbyggande i jord.....	18

10.2	Undermarksbyggande i berg.....	22
<b>11</b>	<b>Övriga tekniska åtgärder.....</b>	<b>24</b>
11.1	Geohydrologi.....	24
11.2	EI24	
11.3	Elektromagnetiska fält.....	24
11.4	Buller och vibrationer .....	25
11.5	Kommunalteknik.....	25
<b>12</b>	<b>Risker i byggskedet.....</b>	<b>25</b>
<b>13</b>	<b>Underhåll av färdig anläggning .....</b>	<b>26</b>
13.1	Mål för underhållskoncept.....	26
13.2	Hur skall Västlänken utformas ur underhållsperspektiv? .....	26
13.3	Värdering av tekniska lösningar med avseende på underhåll.	26
13.4	Förebyggande underhåll – analys av insatser och kostnader.	27
13.5	Riskanalys.....	27
13.6	Akuta fel .....	28
13.7	Kryssväxlar.....	28
13.8	Erfarenheter från befintliga anläggningar.....	28
<b>14</b>	<b>Linjesträckningar.....</b>	<b>28</b>
<b>15</b>	<b>Några tekniska data.....</b>	<b>28</b>
15.1	Haga – Korsvägen via Älvstranden.....	28
15.2	Haga – Korsvägen via Stora Hamnkanalen.....	28
15.3	Haga – Chalmers via Älvstranden.....	28
15.4	Haga – Chalmers via Stora Hamnkanalen.....	28
15.5	Korsvägen via Johannebergsgatan.....	29
15.6	Korsvägen via Skånegatan .....	29
15.7	Förstärkningsalternativet.....	29
<b>16</b>	<b>Måluppfyllelse .....</b>	<b>29</b>
<b>17</b>	<b>Bilagor.....</b>	<b>29</b>

# 1 Sammanfattning

De mål och kriterier för projektet som är relevanta för den tekniska utformningen av Västlänken har formulerats enligt följande:

- Korta restider.
- God säkerhet.
- Minsta möjliga störningar av trafiken under byggtiden.
- Minsta möjliga störningar för näringsidkare under byggtiden.
- Samhällsekonomisk lönsamhet.
- Stadsmiljön bevaras.
- Mycket liten miljöpåverkan på omgivningen under driftskedet
- Minsta möjliga miljöpåverkan på omgivningen under byggskedet.

Göteborg karaktäriseras av lågt liggande lerområden längs älven och övriga vattendrag, men också av bergområden söder- och österut. Nivåskillnaden mellan staden inom vallgraven och bergområdena i söder är cirka 50 meter.

Nuvarande kommunikationsstråk med vägar och järnvägar ligger i de lerfyllda sänkorna och dalgångarna. Linjedragningarna för Västlänkens tunnel styrs därför helt av de önskade stationsplaceringarna och anslutningspunkterna till nuvarande linjer i Olskroken och Almedal. Detta betyder att långa delar av Västlänkens sträckning nödvändigtvis kommer att förläggas inom de lågt liggande, lerfyllda områdena vid Göteborgs Central och stadskärnan samt i Mölndalsåns dalgång. Därför kommer tunneln dels att utföras som en jordförlagd betongtunnel och dels som en tunnel i berg. Beroende på utredningsalternativen varierar andelen betong- och bergtunnel. I förstärkningsalternativet förekommer även långa broar för att lösa planskildheter.

Från teknisk synpunkt har eftersträvan att uppnå målen gjorts genom att utforma och kostnadsberäkna tunneln enligt följande kriterier:

- En så ytlig förläggning av den jordförlagda tunneln som möjligt.
- Liten inre tunnelhöjd med hjälp av kontaktledningsskena eller hängverk med liten konstruktionshöjd.
- Förläggning av den jordförlagda tunneln i största möjliga mån inom järnvägsområden och allmän platsmark så att inte befintlig eller planerad bebyggelse direkt berörs.
- En utformning av Västlänken med en dubbelspårstunnel med en bredvidliggande, för bilar körbara, service- och räddningstunnel.

En särskilt stor utredningsinsats har genomförts när den gäller den jordförlagda tunneln eftersom denna från kostnadssynpunkt är cirka fem till tio gånger dyrare att anlägga per löpmeter än en bergtunnel. Stor hänsyn har även tagits till övergångarna mellan betong- och bergtunnel eftersom dessa på många ställen placeras intill befintliga byggnader.

Förläggning av tunneln i berg kan i allmänhet göras på ett betryggande sätt då förhållandena är goda såväl när det gäller bergstabilitet som att få en tät tunnel. Dock måste särskild uppmärksamhet och åtgärder riktas mot bergpåslagen och där Västlänkstunneln kommer att ligga nära befintliga anläggningar eller med liten bergtäckning, som vid Kungsgatan.

En ytlig förläggning av den jordförlagda tunneln har eftersträvat av såväl resande- som säkerhetsskäl (korta gång- och utrymningstider) som av kostnadsskäl. Hänsyn måste dock tas till att vattendrag och kanaler samt rör och ledningar måste kunna passera över tunneltaket.

Vid ytlig förläggning föreslås den jordförlagda tunneln anlagd med hjälp av öppna schakter från markytan (cut & cover). För korta avsnitt kan pressning av förtillverkade betongelement tänkas. Ett tekniskt utförande med tunnelborrningsmaskin medför två separata enkelspårstunnlar och en djupare förläggning i jord vilket ger en sämre måluppfyllelse än föreslagna byggmetoder.

Ambitionen med en ytlig förläggning innebär att målsättningarna om minsta möjliga störningar av staden under byggtiden inte kan uppfyllas. Störningarna får olika omfattning beroende av studerat sträckningsalternativ. För järnvägstrafiken beror störningarnas omfattning av vilken placering för den nya stationen vid Göteborgs Central som slutligen väljs.

En jordförlagd betongtunnel får konstruktionsbredden ca 21 meter och konstruktionshöjden cirka 9 meter medan bergtunnelkonceptet får en total bredd av cirka 30 meter. Fyrspårsstationen vid Göteborgs C utförs i en jordförlagd betonglåda med längden (stationsdelen) av cirka 250 meter och konstruktionsbredden cirka 60 meter. Övriga stationer utförs som tvåspårsstationer helt i jord (UA Korsvägen via Skånegatan), helt i berg (Chalmers och Johannebergsgatan) eller delvis i jord och delvis i berg (Haga och Korsvägen i UA Haga – Korsvägen). En tvåspårsstation får bredden cirka 33 meter utförd i betong och cirka 41 meter i berg.

En ytlig förläggning av en jordförlagd tunnel innebär ett schaktdjup av normalt minst cirka 12 meter. I utredningen är schaktdjupet i jord som mest cirka 27 å 28 meter vid Hagakyrkan respektive Berzeliigatan beroende på bergpåslag intill byggnader. Chalmersstationen (helt i berg) ligger djupast med cirka 50 meter under markytan.

Trots målsättningen att inte direkt beröra befintlig bebyggelse har inte detta kunnat undvikas helt. I allmänhet förstärks eller avväxlas de byggnader som berörs. Vid Göteborgs C berörs såväl Posthuset vid Drottningtorget, Västgötabanans stationsbyggnad, Postterminalen som Nils Ericsonsterminalen. Dessutom påverkas ett bostadshus vid Mölndalsvägen och delar av SAAB:s växellådsfabrik. Vid passage från Olskroken påverkas ett lokstall i Sävenäs samt bebyggelse inom Partihallsområdet. För förstärkningsalternativet måste bostadshus i Olskroken rivas och närliggande hus få annan verksamhet.

För sträckningarna i centrala staden har profilen styrts så att övergången mellan betong- och bergtunnel inte behöver göras under byggnader. Sådana bergpåslag finns vid Residenset, Lilla

Torget, Rosenlund, Hagakyrkan, Korsvägen, Berzeliigatan, Eklandagatan och Rusthållareplatsen. Skatteförvaltningens hus vid Rosenlund måste dock avväxlas för att möjliggöra bergpåslag under huset.

Föreslagna sträckningar ligger mycket nära berganläggningarna i Otterhällan/Kungshöjd (Götatunneln, berggarage, andra tunnlar). Med nuvarande linjeföringar uppkommer direkt konflikt med arbetstunneln till Götatunneln från Stora Badhusgatan och två avloppstunnlar i berg söder om centrala staden. Konflikten med de senare bedöms kunna undvikas vid en optimering av linjerna i nästa utredningsskede.

En jordförlagd tunnel kan utföras som en platsbyggd betongtunnel inom tillfälliga stödkonstruktioner (som dock kvarlämnas) i form av stålspont/temporära slitsmurar eller med väggar i form av slitsmurar som ingår i den färdiga konstruktionen. I det första fallet, med stålspont, behöver schaktbredden vara 5 å 6 meter bredare än tunneln varför utrymmesbehovet vid anläggningsarbetena och schaktvolymerna ökar. I det andra fallet utförs platsgjutning av en betongvägg direkt i en i förväg grävd slits i jorden, som kan placeras i liv med en platsgjuten tunnelkonstruktion eller ingå som del i denna. Innan gjutning nedsänks en förtillverkad armeringskorg i slitsen, som är fylld med en stödvätska. Vid ett permanent utförande motsvarar schaktbredden den färdiga tunnelns bredd.

Miljöpåverkan i driftskedet kan uppstå genom buller och vibrationer, elektromagnetiska fält och genom grundvattensänkning. Ställda krav kan uppfyllas med tekniska lösningar i form av ballastmatta, isolatorer, sektionering av kraftförsörjningen samt genom injektering och täta konstruktioner. För påverkan på grundvattnets trycknivåer gäller att det är möjligt att klara uppställda krav för bergtunnlarna med existerande injekteringsteknik och i än högre grad med framtida injekteringsmedel. Särskilt riskfyllda delsträckor med grundvattenpåverkan är dock övergångarna mellan berg- och betongtunnel där särskilt noggrann utformning av de tekniska lösningarna och särskilt noggrant utförande erfordras. Detta förutsätter att förhållandena är tillräckligt väl undersökta innan

anläggningsarbetena påbörjas. Vid de jordförslagda tunnarna kan det övre grundvattenmagasinet påverkas vid otäta stödkonstruktioner och allt för genomsläppligt återfyllningsmaterial.

I byggskedet kan miljöpåverkan uppstå genom markrörelser, buller och vibrationer samt grundvattenpåverkan. Påverkan beror starkt av valda byggmetoder. I utredningen har förutsatts att stödkonstruktionerna är så styva att stödkonstruktionens rörelse horisontellt begränsas till maximalt 5 centimeter. Ett sådant krav kan klaras med slitsmurar. Permanenta slitsmurar reduceras också väsentligt risken för påverkan på det övre grundvattenmagasinet eftersom återfyllning på ömse sidor om den färdiga konstruktionen bortgår. När det gäller stödkonstruktioner så måste dessa utföras såväl med stålspons eller borrade pålar som slitsmurar. Beroende på de stora fördelarna med slitsmurar när det gäller minskat buller vid arbetena, minskad vibrationsnivå, minskad schaktvolym, något kortare byggtid och stora kostnadsbesparingar, har sådana föreslagits i stor omfattning.

Beroende på Västlänkens omfattning och längd måste anläggningsarbeten pågå samtidigt inom flera delområden för att den totala byggtiden ska bli rimlig. Tiden för anläggningsarbetena bedöms till 5 å 6 år, men måste föregås av cirka 2 års förarbeten för att flytta och lägga om ledningar samt utföra förarbeten för trafikomläggningar.

## 2 Utredningsalternativ

Järnvägsutredningen redovisar tre Västlänksalternativ för genomgående tåg vid Göteborgs Central och ett alternativ där nuvarande bangård för vändande tåg utvidgas. Detta senare alternativ benämns Förstärkningsalternativet. Västlänksalternativen ger nya stationer i staden och alternativen uppkallas efter stationslägena. De alternativ som redovisats är Haga – Korsvägen, Haga – Chalmers och Korsvägen. För de två först kan sträckningen gå antingen via Älvstranden eller via Stora Hamnkanalen och för den senare via Johannebergsgatan eller via Skånegatan.

Utredningsalternativen är

- Haga – Korsvägen
- Haga – Chalmers
- Korsvägen
- Förstärkningsalternativet



## 2 Inledning

Göteborg karakteriseras av lågt liggande lerområden längs älven och övriga vattendrag, men också av bergområden söder- och österut. Nivåskillnaden mellan staden inom vallgraven och bergområdena i söder är cirka 50 meter.

Nuvarande kommunikationsstråk med vägar och järnvägar ligger i de lerfyllda sänkorna och dalgångarna. Linjedragningarna för Västlänkens tunnlar styrs därför helt av de önskade stationsplaceringarna och anslutningspunkterna till nuvarande linjer i Olskroken och Almedal samt passagen av Göteborgs Central. Detta betyder nödvändigtvis att långa delar av Västlänkens sträckning kommer att förläggas inom de lågt liggande, lerfyllda områdena vid Göteborgs Central och stadskärnan samt i Mölndalsåns dalgång. Därför kommer tunneln dels att utföras som en jordförlagd betongtunnel och dels som en tunnel i berg. Beroende på utredningsalternativens sträckningar varierar andelen betong- och bergtunnel. I Olskroken och i förstärkningsalternativet förekommer även långa broar för att klara planskildheter.



Fördelningen av betong- respektive bergtunnel. Gult är jordförlagd betongtunnel och rött bergtunnel.

## 3 Mål för Västlänken

De mål och kriterier för projektet som är relevanta för den tekniska utformningen av Västlänken har formulerats enligt följande:

- Korta restider.
- God säkerhet.
- Minsta möjliga störningar av trafiken under byggtiden.
- Minsta möjliga störningar för näringsidkare under byggtiden.
- Samhällsekonomisk lönsamhet.
- Stadsmiljön bevaras.
- Mycket liten miljöpåverkan under driftskedet.
- Minsta möjliga miljöpåverkan på omgivningen under byggskedet.

Från teknisk synpunkt har eftersträvan att uppnå målen gjorts genom att utforma och kostnadsberäkna tunneln enligt följande kriterier:

- En så ytlig förläggning av den jordförlagda tunneln som möjligt.
- Liten inre tunnelhöjd med hjälp av kontaktledningsskena eller hängverk med liten konstruktionshöjd.
- Förläggning av den jordförlagda tunneln i största möjliga mån inom järnvägsområden och allmän platsmark så att inte befintlig och planerad bebyggelse direkt berörs.
- Utformning av Västlänken med en dubbelspårstunnel med en bredvidliggande, för vägfordon körbar, service- och räddningstunnel.

Den första punktsatsen strävar till att uppfylla målen korta restider, god säkerhet och samhällsekonomisk lönsamhet.

Den andra punktsatsen strävar till att uppfylla målet om samhällsekonomisk lönsamhet genom att minska anläggningskostnaden.



Den tredje punktsatsen strävar till att uppfylla målet att bevara stadsmiljön.

Den fjärde punktsatsen strävar till att fylla målet om god säkerhet, men även önskan om goda förutsättningar för drift och underhåll.

En särskilt stor utredningsinsats har genomförts när det gäller den jordförlagda tunneln eftersom denna från kostnadssynpunkt är cirka fem till tio gånger dyrare att anlägga per löpmeter än en bergtunnel. Den jordförlagda tunneln har förutsatts bestå av en platsbyggd betongtunnel utförd i öppen schakt inom tillfälliga stödkonstruktioner mot omgivande jord (cut & cover).

## 4 Förutsättningar

### 4.1 Terräng och jordlager

Göteborg karaktäriseras av lågt liggande lerområden längs älven och övriga vattendrag och höga bergområden söder om centrala staden och öster om Mölndalsån.

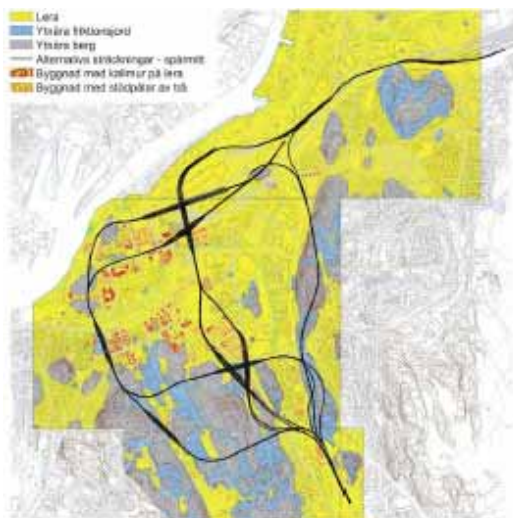
Nivåskillnaden är stor mellan centrala staden, där markytan ligger på nivån ca +11 till +13 i Göteborgs Stads lokala system, och bergområdena i söder. Till exempel ligger Götaplatsen på nivån ca +27 och Kapellplatsen på nivån ca +48.

För samtliga alternativa sträckningar varierar grundförhållandena påtagligt genom att såväl stora lerdjup som berg i dagen kan förväntas.

Stora lerdjup, 40 till 100 meter, förekommer i områdena kring Partihallarna, delar av Olskroken, Göteborgs Central och tillhörande spårområden, Lilla Bommen och Östra Nordstaden, delar av Södra Älvstranden, Rosenlund och Trädgårdsföreningen – Heden – norra delen av Sten Sturegatan.

Begränsade lerdjup, maximalt 40 meter, förekommer vid Sävenäs, delar av Olskroken, Gustav Adolfs torg, - Stora Hamnkanalen – Lilla Torget, delar av Södra Älvstranden, södra delen av Sten Sturegatan – Skånegatan – Korsvägen samt i området kring Mölndalsåns dalgång söder om Örgrytevägen. I vissa av dessa områden underlagras leran av mäktiga lager med friktionsjord som är vattenförande.

Berg i dagen eller ytnära berg förekommer vid Skansen Lejonet, Otterhällan/Kungshöjd, i området söder om Haga, sydväst om Korsvägen och väster om Mölndalsvägen samt öster om E6 med undantag av Olskroken och området mellan Örgryte gamla kyrka och Ryska konsulatet.



Geologisk karta. Gult är lera, grått är berg och blått är friktionsjord

### 4.2 Geologi och bergteknik

Samtliga utredningsalternativ går genom en kristallin bergmassa bestående av gnejs eller ådergjejsomvandlad granodiorit, i dagligt tal endast benämnd "gnejs" eller "Göteborgsgnejs". Inslag av mörkare djupbergarter (diabas, metafit m fl) förekommer i gnejsen, vilket normalt dock inte försvagar bergmassan.

Gnejsstrukturen i samtliga utredda tunnällagen stryker i huvudsak i N-S – N30°V och stupar 40 – 60° mot väst.

Den dominerande uppsprickningen inom området utgörs, förutom av sprickor i gnejsstrukturen, av sprickor med strykning Ö-V, N-S och ca N30°Ö. Stupningar från 60 – 90° förekommer i samtliga riktningar. Underordnat förekommer även andra riktningar, främst med flack stupning.

Partier av gnejs med något olika karaktär separeras ofta av djupgående, vattenförande krosszoner i Göteborgs berggrund. På grund av inlandsisens inverkan finns djupa, jordfyllda svackor vid lägena för sådana zoner, ofta med ost-västlig riktning (strykning).

Kartering av de tunnlar som drivits genom berget på olika djup verifierar att det förekommer återkommande partier med uppspruckna gnejsskivor. I övrigt uppvisar bergmassan likartade och goda egenskaper över hela utredningsområdet. Några indikationer på generellt avvikande områden i berggrunden har inte kunnat påvisas inom de utredda bergtunnelavsnitten. De skillnader som uppträder är av lokal karaktär och återkommer inom hela bergmassan och kan inte sägas skilja olika områden från varandra.

Bergmaterialets användbarhet för tillverkning av krossprodukter är sådan att det kan användas för både väg- och järnvägsbyggnadsändamål, dock inte som järnvägsmakadam (ballast).

### 4.3 Geoteknik

#### Fyllning

Inom de jordtäckta, lågt liggande områdena överlagras leran normalt av cirka 1 till 3 meter mäktig fyllning som lokalt har inslag av torrskorpelera. Vid Lilla Bommen kan dock fyllningen lokalt uppgå till cirka 5 till 7 meter, troligen på grund av återfyllda kanaler och/eller hamnbassänger. Mäktiga fyllningslager förekommer även vid Packhuskajen.

#### Lera

Leran är i allmänhet lös eller mycket lös och normalkonsoliderad eller svagt överkonsoliderad. I Mölndalsåns dalgång bedöms leran vara lösare än inom övriga delar. Detta betyder att leran är sättningsskänslig och att lokala stabilitetsproblem och stora rörelser kan förväntas vid schakter om inga åtgärder vidtas.

Undersökningar visar att hållfasthetstillväxten med djupet skiljer sig åt väsentligt beroende på vilka försöksresultat som beaktas. Hållfastheten bestämd med triaxialförsök är väsentligt högre än vad övriga metoder antyder. Baserat på andra undersökningar utförda i Göteborg bedöms dock resultaten från triaxialförsöken som trovärdiga varför dessa till stor del utgjort underlag för analyser av stödkonstruktionernas utformning.

#### Friktionsjord mellan lera och berg

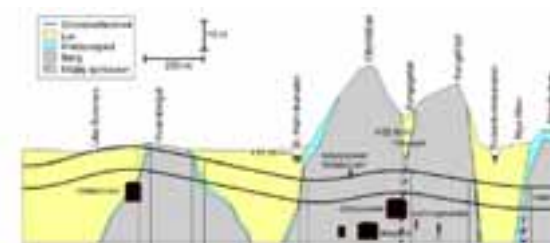
Inom delsträckor med begränsat lerdjup erfordras normalt avsänkning av vattentrycket i vattenförande jordlager under leran innan schaktarbete kan påbörjas med hänsyn till risken för hydraulisk bottenuppträckning. Inom sådana områden krävs dessutom omfattande tätningsåtgärder i det vattenförande jordlagret för att förhindra eller begränsa utbredningen av grundvattensänkning.

Normalt har friktionsjorden mellan lera och berg en mäktighet av 1 till 3 meter. Större mäktighet har konstaterats i Stora Hamnkanalen vid Kämpebron, inom södra delen av Sten Sturegatan – Korsvägen samt i Mölndalsåns dalgång. Provpumpning strax öster om Rondo har visat att en avsänkning av grundvattnet i de undre lagren kan fortplanta sig över stora avstånd om inga åtgärder vidtas.

### 4.4 Geohydrologi

Västlänken kommer att byggas under nuvarande grundvattennivå i jord och berg. Trots tätningsåtgärder kommer bortledning av inläckande grundvatten att ge upphov till sänkta grundvattennivåer och påverkan på grundvattenbalansen.

Grundvattenmiljön i Göteborg är sedan lång tid påverkad av olika dränerande anläggningar samt åtgärder som på olika sätt minskat grundvattenbildningen. Följden har blivit att grundvattennivån sjunkit och att bland annat sättningsskador uppkommit. Vattenbalansen har därmed ändrats och området har blivit mer känsligt för ytterligare påverkan.



På sträckan Lilla Bommen till Haga Kyrkoplan finns ett flertal övergångar mellan jord och berg.

Områden som är speciellt känsliga för grundvattenpåverkan är övergångar mellan betong- och bergtunnel samt områden där öppna schakter kommer i kontakt med berg och ovanförliggande friktionsjordlager. Resultatet av denna påverkan, som kommer att vara som mest markant under byggskedet, kan vara sättningar i mark och byggnader, ändrade flödesriktningar, sänkta vattennivåer i brunnar, mobilisering av befintliga markföroreningar och ändrade vegetationsförhållanden. Om inte åtgärder vidtas kan även dämning av grundvatten förekomma.

Genomförd utredning visar att i de områden som berörs av Västlänkens olika alternativ finns grundvattenberoende grundläggningar, det vill säga om sänkta grundvattennivåer uppkommer i övre eller undre grundvattenmagasin i jord kan skadliga sättningar uppstå. Beroende på sträckning berörs även områden med värdefull park- och naturmark, förorenad mark och bergvärmebrunnar.

När det gäller sättningar och skador på byggnaders grundläggningar uppvisar samtliga linjer utom Förstärkningsalternativet på betydande risker, speciellt alternativen som berör Stora Hamnkanalen och Korsvägen via Sten Sturegatan och Skånegatan. Sammantaget bedöms Förstärkningsalternativet ge upphov till förhållandevis få grundvattenrelaterade problem, följt av alternativen Korsvägen och Haga – Chalmers.



Sättningskänslig bebyggelse förekommer i stor omfattning i de lerfyllda områdena

## 4.5 Bebyggelse

Den äldre bebyggelsen, som är grundlagd med enbart trärustbädd eller rustbädd och mantelburna träpålar, är i allmänhet känslig för marksättningar och sidorörelser. Sådan bebyggelse längs sträckningarna har inventerats, okulärbesiktigats och bedömts när det gäller skaderisker. Denna bebyggelse finns företrädesvis inom de lågt liggande delarna i staden. Grundförstärkningar har i viss utsträckning bedömts bli nödvändiga att utföra innan Västlänken byggs för att möjliggöra tunnelbygget och förhindra eller lindra skadeutveckling

Även nyare bebyggelse är dock känslig särskilt för sidorörelser, vilket byggnaderna inte är dimensionerade för. Förstärkningar i stommar eller grundläggning kan bli aktuellt även för sådan bebyggelse. Också sådana byggnader har inventerats och riskbedömts.

## 4.6 Infrastruktur

Vägar och järnvägar är företrädesvis anlagda i de lågt liggande delarna av staden och i dalgångarna. Eftersom Västlänken ska ansluta till de befintliga järnvägsanläggningarna medför detta relativt långa sträckor i jord. Eftersom byggkostnaden är väsentligt högre för en jordförlagd tunnel än en bergtunnel påverkar detta starkt byggkostnaden för projektet.

## 4.7 Anläggningar i berg

Befintliga anläggningar i berg, som Västlänken kan komma i konflikt med, finns framförallt i Otterhällan/Kungshöjd. Dessa är Götatunneln med arbetstunnel från Stora Badhusgatan, Stadsarkivet, Kungsgaraget samt Göteborgs Energis och TeliaSoneras tunnlar. Söder om staden inom vallgraven finns Chalmerstunneln samt VA-verkets tunnlar. Teletunnlarna ligger dock i allmänhet mycket djupt.

## 4.8 Kommunalteknik

I de lågt liggande stadsdelarna förekommer omfattande ledningsstråk som kommer att påverkas av de olika alternativen. Härvid är självfallsledningarna för vatten och avlopp de som är svårast att lägga om eftersom lutningarna påverkas vid större omläggningar. Resultatet kan bli anläggning av ett helt nytt system inom ett större område. Ledningar som

går tvärs sträckningarna är relativt lätta att hantera under byggtiden såvida inte ledningarna ligger så lågt att de kolliderar med tunneln. Där sträckningarna går längs med eller i ledningsstråken är det nödvändigt att flytta ledningarna helt. Sådana fall uppstår i Sten Sturegatan, i Skånegatan och i Örgrytevägen.

#### 4.9 Buller och vibrationer

Förutsättningar finns redovisade i underlagsrapport "Ljud och vibrationer".

#### 4.10 Elektromagnetiska fält

Förutsättningar finns redovisade i underlagsrapport "Magnetfält".

#### 4.11 Utförda undersökningar

##### Geoteknik

Inom utredningen har utförts ett begränsat antal fältundersökningar i form av jord/bergsondering för bedömning av bergytans läge särskilt vid bergpåslag, seismik med samma syfte i Haga kyrkoplan, trycksonderingar för bedömning av mäktigheten av eventuell fyllning samt djup till underkant lera, kombinerade jord/berg- och trycksonderingar för att dessutom möjliggöra bedömning av mäktigheten hos fastare jordlager mellan lera och berg.

Inom utredningen har dessutom utförts ett fåtal fält- och laborieundersökningar i form av vingborrförsök, CPT-sondering, porttrycksmätning, installation av bälsättningsmätare, ostörd provtagning, CRS-försök, direkta skjuvförsök och triaxialförsök.

##### Bergteknik

Några undersökningar har inte utförts inom utredningen.

##### Geohydrologi

Provpumpning har utförts i Mölndalsåns dalgång vid Liseberg.

## 5 Vald tunnelutformning

### Allmänt

Under utredningens gång valdes, för såväl betong- som bergtunnel, en utformning

bestående av en dubbelspårstunnel med en bredvidliggande kombinerad service- och räddningstunnel för självutrymning. Den senare har, för olika alternativ, placerats på ena eller andra sidan om dubbelspårstunneln beroende av de byggtekniska förutsättningarna.

Tvärförbindelser, med sluss, har förutsatts på var 300:e meter.

Service-/räddningstunneln är utformad så att den är körbar med bil. Förutom nedfarter i tunneländarna anordnas två ramper på sträckan däremellan.



*Dubbelspårstunnel i betong med bredvidliggande service-/räddningstunnel (överst) och dubbelspårstunnel med bredvidliggande service-/räddningstunnel i berg (nederst) har använts för beskrivningar och kalkyl*

För Förstärkningsalternativet har däremot förutsatts att en ny dubbelspårstunnel byggs parallellt med och öster om befintlig Gårdatunnel. Tvärförbindelser skapas mellan de bägge tunnlar på var 300:e meter för räddning och service. I detta alternativ finns således inte någon med bil körbar service-/räddningstunnel.

I anslutningarna till befintlig bana, särskilt vid Almedal, separeras spåren till två enkelspårstunnlar/tråg varav den ena förses med en separerad service-/räddningstunnel. Tvärförbindelser skapas mellan de separerade tunnlar och service-/räddningstunneln.

Bredden på korridoren för tillåtlighetsprövning är anpassad så att en annan utformning är möjlig att genomföra inom korridorbredden, till exempel med två enkelspårstunnlar som också studerats spärgeometriskt tidigt i utredningen.

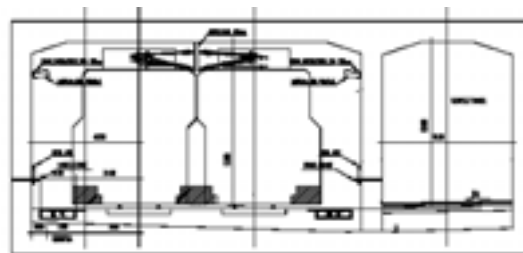
Tunnlar är utformade för ballasterat spår.

#### Betongtunnel

En jordförlagd betongtunnel har förutsatts få konstruktionsbredden 20,6 meter och konstruktionshöjden 9,15 meter enligt normalsektionerna. Måtten avser yttermått för betongkonstruktionen. Innerbredden i dubbelspårstunneln är 12,9 meter och i service-/räddningstunneln 5,1 meter. Måtten från räls överkant (RÖK) till innertaket i dubbelspårstunneln är satt till 6,3 meter. En vägg av betong skiljer dubbelspårstunneln från service-/räddningstunneln. Där en förbindelse med sluss anordnas mellan dubbelspårstunneln och service-/räddningstunneln måste konstruktionsbredden ökas. Detta gäller även där installationsutrymmen anordnas.

I Västlänkens ändar vid Göteborgs C och vid Almedal blir det även tråg och i vissa fall enkelspårstunnlar. Dessa får konstruktionsbredden ca 10,2 meter. Om det förekommer en bredvidliggande service-/räddningstunnel ökar bredden till 16,1 meter.

Såväl konstruktionsbredden som –höjden och förläggningdjupet under marknivån är starkt kostnadsdrivande.



*Dubbelspårstunnel i betong med service-/räddningstunnel*

#### Jordförlagd betongstation

Vid Göteborgs C kommer en 4-spårsstation att anläggas som jordförlagd betongstation. Konstruktionsbredden för en sådan station är 60 meter inklusive en service-/räddningstunnel, som går förbi på någon sida.

Vid Haga kyrkoplan och Korsvägen kommer 2-spårsstationer att anläggas, i vissa fall delvis i berg. Konstruktionsbredden för en sådan station i betong är 33 m inklusive en service-/räddningstunnel, som går förbi på någon sida.

#### Bergtunnel

En dubbelspårstunnel i berg har förutsatts få bredden 12,6 meter, inklusive ett utrymme av 0,5 m mellan teoretisk kontur och teoretisk bergkontur på vardera sidan. Detta utrymme är reserverat för bergförstärkning och dränkonstruktioner. Motsvarande mått för en enkelspårstunnel är 9,4 meter. Måttet från räls överkant (RÖK) till innertaket i dubbelspårstunneln är satt till 6,5 meter och för en enkelspårstunnel 6,1 meter. En service-/räddningstunnel förläggs med ca 10 meter berg mot dubbelspårstunneln. En tvärförbindelse med sluss anordnas mellan dubbelspårstunneln och service-/räddningstunneln. Installationsutrymmen kan anordnas i bergskivan mellan tunnlar.



*Dubbelspårstunnel i berg med bredvidliggande service-/räddningstunnel*

## Station i berg

Tvåspårsstationer helt eller delvis i berg är studerade vid Haga kyrkoplan, Chalmers/Landala, vid Johannebergsgatan och vid Korsvägen. En sådan bergförlagd station får bredden 26,8 m inklusive en mittplattform med bredden 14,0 m och ett utrymme av 0,5 m mellan teoretisk kontur och bergteknisk kontur på vardera sidan. Detta senare utrymme är reserverat för bergförstärkning och dränkonstruktion. Måttet från räls överkant (RÖK) till tunneltaket (teoretisk bergkontur) mitt över plattformen är satt till 9,25 meter. En service-/räddningstunnel förläggs med ca 10 meter berg mot dubbelspårstunneln. I stationslägena vid Korsvägen och vid Haga kommer stationerna att delvis ligga i berg och delvis i betongtunnel. Den breddökning som erfordras i berg, med hänsyn till service-/räddningstunnelns förläggning, anordnas i berget varför bergöppningen vid bergpåslaget blir större än vad som erfordras enbart för stationen.

## 6 Normalsektioner

Normalsektioner finns upprättade för dubbelspårstunnel med bredvidliggande service-/räddningstunnel både i berg och i betong samt för enkelspårslösningar. Normalsektioner finns även för tvåspårsstation i berg och betong samt för fyrspårsstation i betong.

Normalsektionerna är upprättade med tidiga antaganden om att kontaktledningsskena eller hängverk med låg konstruktionshöjd kan användas för att minimera den inre höjden i tunnlar. Till grund för denna utformning har en utredning utförts om alternativa kontaktledningsutföranden, se "Rapport PM-Ktl-Västlänken-01".

## 7 Förutsättningar för linjeberäkningar

### 7.1 Spårgeometriska riktlinjer

Dimensionerande hastighet är 80 km/h. För Förstärkningsalternativet är önskvärd dimensionerande hastighet 140 km/h. Lägsta

acceptabla dimensionerande hastighet för Förstärkningsalternativet är 105 km/h.

Största acceptabla lutning är 30 promille dock gäller största lutning 10 promille för Förstärkningsalternativet.

Plattformar för tunnelstationer har förutsatts få en längd av 250 meter och en bredd av 14 meter.

Dubbelspårstunnel med 4,5 meter spåravstånd har varit riktlinjen för spårstunneln.

### 7.2 Allmänna riktlinjer

Linjedragningarna styrs helt av stationsplaceringarna. Beroende på dessa skiljer andelen jordförlagd betongtunnel och bergtunnel mellan de olika utredningsalternativen. Målsättningen har varit att i största möjliga mån lägga linjerna vid jordförlagd betongtunnel inom järnvägsområden och allmän platsmark så att inte befintlig eller planerad bebyggelse direkt berörs. Denna ambition fanns redan i förstudien. Detta har inte kunnat undvikas helt runt Göteborgs C där såväl Posthuset vid Drottningtorget, Västgötabanans stationsbyggnad, Postterminalen och Nils Ericsonsterminalen påverkas. Förutom Västgötabanans stationsbyggnad som rivs i vissa varianter kommer avväxling av befintlig grundläggning att göras för de berörda byggnaderna.

För övriga sträckningar i centrala staden har profilen styrts så att bergpåslag inte behöver göras under byggnader. Bergpåslag finns vid Residenset, Lilla Torget, Rosenlund, Hagakyrkan, Korsvägen, Berzeliigatan, Eklandagatan och Rusthållareplatsen. Detta har kunnat klaras utom när det gäller Skatteförvaltningens hus vid Rosenlund.

### 7.3 Hänsyn till kommunalteknik

Avståndet mellan betongtunnelns tak och markytan har satts till minst 3,0 meter med hänsyn till kablar, ledningar och rör. Konflikter kan dock uppstå med djupare liggande ledningar.

## 7.4 Hänsyn till vattendrag

Vattendjupet i kanaler och Mölndalsån har satts till 3,0 meter vid medelvattenstånd. Vattendjupet i Göta älv uppströms Göta älvbron har satts till minst 8,0 meter.

## 7.5 Avstånd rälsöverkant till tunneltak

Vid utredningens början gjordes nedanstående antaganden som utgångspunkt för de spärgeometriska beräkningarna.

För betongtunnel förutsattes avståndet från överyta betongtak till rälsöverkant (RÖK) till 7,0 meter. För en dubbelspårstunnel i berg förutsattes avståndet från berginnertak (tunnelkontur) till rälsöverkant (RÖK) till 8,0 meter. För en tvåspårsstation i berg förutsattes avståndet från berginnertaket (tunnelkontur) till rälsöverkant (RÖK) till 9,0 meter.

De osäkerheter som finns och beaktats är bergnivån vid bergpåslaget, bergets egenskaper, erforderligt utrymme för bergförstärkning och dräner, betongkonstruktionens dimensioner och fria höjden i tunneln med hänsyn till senare val av kontaktledningssystem.

## 7.6 Bergtäckning vid bergpåslag

Önskad bergtäckning har angivits till halva spännvidden inför linjeberäkningarna. För en dubbelspårstunnel med spännvidden 12,0 meter blev således önskvärd bergtäckning 6,0 meter. För en tvåspårsstation med spännvidden 26,0 meter blev således önskvärd bergtäckning 13,0 meter. När det gäller stationer i berg så har förutsatts att ett bergrum inte kan utföras så brett att en senare utbyggnad till fyrspårsstation kan rymmas i ett rum. En sådan utbyggnad har förutsatts bli utförd i två separat bergrum åtskilda av ca 12 meter berg. Spärgeometrin har beaktat detta.

## 8 3D-modell

En digital 3D-modell (*Virtual Reality*) har upprättats för att visa möjligheterna att anlägga Västlänken i Otterhällan/Kungshöjd med hänsyn till de befintliga anläggningarna i berget. Modellen visar att Västlänken är möjlig att anlägga men att utrymmet gentemot

Götatunnelns injekterade zoner är mycket begränsad och med vald utformning uppstår konflikt med Götatunnelns arbetstunnel (framtida drifttunnel) ned från Stora Badhusgatan.



3D-modellen visar hur Västlänken med service-/räddningstunnel till vänster passerar över Götatunneln i Otterhällan sett mot norr från Rosenlund (mark- och bergytan är borttagna i bilden).

## 9 Värderade byggmetoder

### 9.1 Inledning

Huvuddelen av järnvägsanläggningen förläggs under mark, delvis som jordförlagd betongtunnel och delvis som bergtunnel, men inom vissa delar förläggs den på bank eller på bro.

### 9.2 Undermarksbyggande i jord

Öppen jordschakt (cut & cover)

Principen för cut & cover är att åstadkomma en stor schakt inom vilket den egentliga betongtunneln kan platsgjutas. Då tunneln byggts färdig inom aktuell delsträcka återfylls mot dess tak och sidor. Metodiken används vid byggandet av till exempel Götatunneln vid Järntorget och Lilla Bommen. Metoden är den billigaste vid relativt ytlig tunnelförläggning och om markytan är tillgänglig för arbetena.

Schakterna för Västlänken blir ca 10 – 25 meter djupa och ca 25 – 60 meter breda samtidigt som omgivande jord (lera) är mycket lös. Därför krävs stödkonstruktioner som stabiliserar schaktväggarna, inom områden där lermäktigheten är stor (mer än ca 25 – 35 meter) krävs även åtgärder för att stabilisera

schaktbotten. Befintliga omgivande byggnader och konstruktioner är känsliga för sidorörelser och sättningar. Sammantaget erfordras mycket starka och styva stödkonstruktioner som både stabiliserar schakten och förhindrar uppkomst av skadliga rörelser i omgivningen.

För Västlänken bedöms att det kan bli aktuellt att stötta schaktväggarna med stålspond, slitsmurar och pålväggar. Dessa stötts i sin tur av horisontella stämp mellan schaktväggarna eller, där så är möjligt, av lutande dragstag som förankras i berg. Såväl stålspond, slitsmurar som pålväggar används ofta internationellt, men enbart de två förstnämnda har utnyttjats i "Västlänkenförhållanden" (till exempel Götatunneln).

För Västlänken erfordras mycket kraftiga stödkonstruktioner som normalt måste lämnas kvar i marken efter avslutat byggskede. Genom att utforma stödkonstruktionerna så att deras beständighet kan säkerställas under tunnelns hela livslängd kan de dock nyttjas som permanenta väggar i den färdiga tunneln. Därmed minimeras även den erforderliga schaktbredden samtidigt som schaktarbetena och tunnelbyggandet kan bedrivas enligt principen "top-down". Denna metodik innebär att tunnelns tak gjuts så snart schakten nått nivån för takets underkant. Därefter återfylls ovan tunneltaket varvid markytan kan återställas betydligt snabbare än vad som annars varit fallet. Detta möjliggör trafikpåsläpp tidigt. Fortsatt schaktningsarbete under tunneltaket utförs "från sidan" via den intilliggande schaktgropen. Avslutningsvis gjuts tunnelns golvplatta. Observera att det är enbart när stödkonstruktionerna utgörs av slitsmurar som denna metodik bedöms möjlig.

Inom delområden där jorddjupet maximalt är ca 25 – 35 m förs stödkonstruktionerna troligen ned till fast botten eller berg. Vid större djup görs detta troligen inte.

Arbetena med gjutning av betongtunneln görs i torrhet. När jorddjupen är små och stödkonstruktionerna nedförs till fast botten eller berg erfordras därför tätande åtgärder vid övergången till berg för att inte grundvattensänkning ska uppstå i omgivningen. Vidare erfordras att stödkonstruktionen fixeras vid berget för att inte skadliga rörelser ska

uppstå. Vid större jorddjup tätas leran runt stödskonstruktionen. För dessa förhållanden krävs dock normalt att leran under slutlig schaktbotten stabiliseras innan schaktningsarbetena påbörjas för att förhindra bottenupptryckning. Detta kan åstadkommas genom att installera exempelvis tvärgående slitsmurar eller jetpelare i jorden under blivande schaktbotten så att dessa stöttar stödskonstruktionerna och förhindrar bottenupptryckning.

Grundläggning av tråg, tunnel och stationer i platsgjuten betong måste utformas så att uppflytning kan hanteras då anläggningarna kommer att ligga under grundvattenytan. Dessutom måste grundläggningen utformas så att anläggningens vertikalarörelser och resulterande påkänningar i betongen reduceras. Grundläggning kommer troligen att kunna grundläggas på ca 35 meter långa dragförankrade kohesionspålar där jorddjupen är tillräckliga för detta. Inom områden med mindre jorddjup föreslås i stället stålkärnepålar förankrade i berg.

#### Fullortsborrning (TBM) och pressning

Fullortsborrning med TBM (Tunnel Boring Machine) i jord innebär i princip att en horisontellt orienterad stålcyllinder med sköld successivt trycks genom jorden. Sköldens front täcks av en borrkrona som roteras samtidigt som cylinderna pressas framåt genom jorden. Skölden pressas framåt med hjälp av hydraulstyrda domkrafter som tar spjörn mot prefabricerade tunnelsegment som successivt monteras i den bakre delen av skölden. Metodiken innebär att tunneln måste utformas som två friliggande cirkulära betongrör och på större djup än vid öppen schakt. Öppna schakter måste finnas vid start och slutpunkt samt vid stationer. Borrning utförs med en maskin som borrar ett tunnelrör åt gången. TBM-borrning utförs ofta internationellt, men i Norden har tekniken aldrig utnyttjats i "Västlänkenförhållanden" (lös, marin lera). Metoden har dock nyttjats vid någorlunda jämförbara förhållanden i sydöstra Asien, till exempel i Singapore.

Pressning i jord är i princip en förenklad variant av TBM-borrning. Det roterande borrhuvud som finns i fronten av TBM-skölden är här



ersatt med en specialtillverkad rektangulär front som innehåller hydraulstyrda luckor. Vid framdriften pressas fronten och den bakomliggande stålskölden framåt med hjälp av hydraulstyrda domkrafter som tar spjären emot platsgjutna rektangulära tunnelsegment. Pressning i "Västlänkenförhållanden" (lös, marin lera) har utförts i flera projekt i Göteborgstrakten. I dessa fall har dock oftast betydligt mindre tvärsnitts pressats som till exempel avloppskulvertar och gång/cykelportar.

Vid byggande i form av TBM-borring erfordras en djupare och bredare förläggning av Västlänken än de projekterade linjesträckningarna. Sannolikt måste tunneln förläggas minst cirka 30 till 35 meter under markytan inom jordtäckta områden för att erhålla begränsa markytans sättningar till samma storleksordning (5 cm) som ansetts gälla för ett utförande med öppen schakt. Trots detta erfordras sannolikt avvaxlingar, grundförstärkningar, spårjusteringar, ledningsomläggningar och dylikt vid passage under eller omedelbart intill befintliga konstruktioner. Ingen av metoderna (TBM och pressning) har så vitt känt kombinerats med pålgrundläggning. De platsspecifika kraven för Västlänken medför att en skräddarsydd utrustning erfordras. Därför blir etableringskostnaderna mycket höga. För att TBM-borring ska vara ekonomiskt försvarbar krävs således att metoden kan nyttjas inom relativt långa delsträckor. Av de studerade alternativen kan detta enbart vara möjligt för UA Korsvägen, som i så fall måste få en ny spårgeometrisk utformning med två enkelspårstunnlar. TBM-borring bedöms inte vara tillämpbar vid stationslägen, i områden där tunneltvärsnittet delvis förläggs i berg, vid bergpåslag, vid uppgångar för utrymningsvägar och vid tvärgående räddningstunnlar.

Pressning kan tänkas vara en tekniskt och ekonomiskt försvarbar metod för korta passager under trafikerade stråk och för små tvärsnitt, således inte för stationerna.

Öppna schakter erfordras således även för såväl TBM som pressning vid sträckans början och slut, vid stationslägen och vid bergkontakt eller

vid övergång till fastare jord vilket ger upphov till merkostnader vid en djup tunnelförläggning.

### 9.3 Undermarksbyggande i berg

#### Inledning

Bergtunnlar har byggts i Sverige under många år och för många skiftande ändamål. Nästan uteslutande har tunnelbyggande genomförts med konventionell borring och sprängning. Ett antal tunnelprojekt i kristallin berggrund har dock utförts med tunnelborrningsmaskin (TBM) de senaste 20 åren.

#### Borring och sprängning

Konventionell borring och sprängning är en välkänd och väl beprövad teknik i Göteborgsområdet. Med denna metod går det lätt att ta hänsyn till rådande geologiska, geohydrologiska och bergtekniska förhållanden och det finns väl beprövade metoder för att utföra drivning genom olika typer av problemområden. Vid konventionell borring och sprängning erhålls ett bra bergmaterial som, om sammansättningen är rätt, kan krossas och användas vid anläggningsarbeten.

Större delen av bergtunnelsystemet, där bergtäckningen och bergkvaliteten är god, kan från bergmekanisk synpunkt drivas med full sektion och salvlängder på 5 till 6 meter, förutom där sektionen är så stor att tillgänglig utrustning inte räcker till. Dock kan vibrationsrestriktioner medföra att tunnlar ofta inte kan drivas med fulla salvlängder. Troligen blir salvlängderna 3 till 4 meter i normala fall och eventuellt måste sektionen delas för att minska vibrationerna från sprängningen.

Vid liten bergtäckning (mindre än två tredjedelar av spännvidden) och genom svaghetszoner måste drivningen anpassas från fall till fall. I sådana fall utförs drivning med pilottunnel med reducerad salvlängd och släpande stross. Strossen utförs efter det att förstärkning gjorts. Placering av pilottunnel och dess storlek avgörs av bergövertyans topografi eller svaghetszonens egenskaper. Salvlängd, strossningsförfarandet och tillåten samverkande laddning beror på omfattning och karaktär på svaghetszonen.

Vid normala bergförhållanden är bergförstärkning med bergbult och sprutbetong tillräckligt för att erhålla en säker och stabil bergtunnel. Vid partier med liten bergtäckning eller större svaghetszoner bör bergförstärkningen dimensioneras som samverkande med bergmassan under antagandet att ett naturligt tryckt valv kan utbildas i berget ovanför tunneln. Vid tunnelpåslagen erfordras kransbultning runt tunnelperiferin innan drivningen påbörjas. Tunnelpåslaget ska även ha en stödjande bergförstärkning så långt in i tunneln (ca 3 – 10 meter) som den reducerande inspänningen av bergmassan bedöms påverka stabiliteten. Den stödjande förstärkningen kan antingen utgöras av en integrerad del av den platsgjutna tunnelportalkonstruktionen eller utföras som ett bergförankrat fiberarmerat sprutbetongvalv som ansluter till tunnelportalen.

Borringen och sprängningen föregås av injekteringsarbeten för att kraftigt reducera inläckage av grundvatten till tunneln. Trots detta erfordras vattenisolering och dräner i den färdiga tunneln. Dessa måste brandskyddas.

#### Fullortsborring med TBM

Fullortsborring med tunnelborrningsmaskin innebär att hela tunnelarean kontinuerligt bearbetas med maskin. Berget sönderdelas med ett antal stålrullar (cutters) på ett roterande skärhuvud, som med stor kraft trycker mot berget. Till en början användes fullortsborring i lösa bergarter. Kvaliteten på stålrullarna har emellertid utvecklats, så att större tryckkrafter och högre rotationshastighet kan utnyttjas. Idag är fullortsborring i vissa fall ekonomiskt även i hårda bergarter som förekommande graniter och gnejser i Göteborgs berggrund. Eftersom en tunnelmaskin innebär en stor ekonomisk investering, är den i första hand lämplig för längre tunnlar.

Med fullortsborring fås fördelar som t.ex. en jämn kontur i förhållande till sprängning, mindre skador på det omgivande berget, mindre risk för vibrationsskador på närliggande anläggningar/installationer etc. Om en sprängd tunnel betonginklädes (lining) kan det vara ekonomiskt att fullortsborra även kortare tunnlar.

Fullortsborring av en dubbelspårtunnel i berg skulle erfordra en TBM med en diameter på ca 13 m. För att möjliggöra detta måste spårprofilen sänkas betydligt för att klara bergtäckningen under fastigheter vid bergpåslagen. Maskiner för denna stora area finns på marknaden men är relativt ovanliga. En service-/räddnings- och installationstunnel får plats under spåren i samma sektion. En tunnel med diametern 13 meter är dock orimligt stort för de UA som studerats. Mer praktiskt skulle vara att fullortsborra två parallella enkelspårstunnlar med en diameter på ca 9,5 meter vardera. Efter utförd fullortsborring måste tvärtunnlar sprängas ut med konventionell borring och sprängning på jämt avstånd för att klara utrymning vid brand.

Stationerna kan fullortsborras med en tunnel i vardera kanten. Det mellanliggande berget sprängs bort med konventionella metoder så att erforderlig stationssektion erhålls.

Om projektering av spårgeometrier, normalsektioner etc, utformas med hänsyn till TBM finns det stor möjlighet att bergförlagda tunnlar tekniskt kan utföras med TBM. Utredning av möjligheterna att driva tunnelsystemet med TBM-metoden kräver en helt annan utformning av såväl spårsträckning i plan som i profil.

Vid fullortsborring erhålls till stor del ett flisigt och finfördelat material som huvudsakligen kan användas som fyllning för underbyggnad men inte för krossning till underballast och förstärkningslager.

## 10 Rekommenderade byggmetoder

### 10.1 Undermarksbyggande i jord

#### Studerade byggmetoder

Eftersom Västlänken förläggs inom tätbebyggda områden ställs mycket höga krav beträffande acceptabel omgivningspåverkan i byggskedet (markrörelser, buller, vibrationer, påverkan på grundvattnet, ianspråktagande av markytan, transporter etc).

De principiella byggmetoder som studerats är dels byggande i öppen schakt från markytan

(”cut & cover”) och dels TBM (”Tunnel Boring Machine”). De objektsspecifika förhållandena innebär dock att tunneldrivning med hjälp av TBM i lös jord bedöms vara tekniskt-ekonomiskt ofördelaktig (inom flera delområden också tekniskt inte tillämpbar) varför enbart byggande i form av ”cut & cover” rekommenderas. Denna rekommendation ligger också till grund för kostnadsberäkningarna.

#### Rekommenderad byggmetod

Schakterna för Västlänken blir cirka 10 till 25 meter djupa och cirka 25 till 60 meter breda samtidigt som omgivande jord (lera) är mycket lös. Befintliga omgivande byggnader och konstruktioner är känsliga för sidorörelser och sättningar. Sammantaget krävs därför mycket starka, styva och också täta stödkonstruktioner, som både stabiliserar schakten och förhindrar uppkomst av skadliga rörelser i omgivningen. I utredningen har förutsatts att stödkonstruktionernas rörelse horisontellt begränsas till 5 cm. Baserat på tillgänglig information om de byggnadstekniska förutsättningarna rekommenderas ”cut & cover”.

Vid kostnadsberäkningarna har förutsatts en platsgjuten betongtunnel utförd inom stödkonstruktioner, som normalt kvarlämnas i jorden men inte ingår som del i den färdiga anläggningen. Som sådana stödkonstruktioner har förutsatts slitsmurar och stålspont. Stålspont placeras normalt ca 1,5 å 2 m utanför den platsbyggda betongkonstruktionen med återfyllning av jord däremellan. Slitsmurar däremot kan utföras i liv med betongkonstruktionen varvid återfyllningen bortgår eller som ingående i den färdiga konstruktionen. Lämplig stödkonstruktion delsträcka för delsträcka finns redovisade i ”Teknisk PM Byggande i jord” för varje utredningsalternativ utgående från de geologiska förutsättningarna

En kostnadsjämförelse har även gjorts i vilken slitsmurarna tänkts ingå som del i den färdiga tunneln på långa sträckor. Detta bedöms ha stora teknisk-ekonomiska fördelar. Enligt gällande regelverk i Sverige är godtas detta dock inte. Internationellt ingår som regel alltid slitsmurarna som en del i den färdiga konstruktionen. Från Banverkets sida krävs ett

fortsatt aktivt utvecklingsarbete för att möjliggöra en sådan tillämpning.



*Slitsmurar i Götatunneln vid Lilla Bommen*

#### Stödkonstruktionernas styvhet

Beräkningar visar att väggjockleken för slitsmurarna behöver vara 1,0 – 1,4 meter. Även stödkonstruktioner med stålspont får stora dimensioner. Antalet stämpnivåer varierar mellan en och fyra. Stämpan placeras dock normalt så att fritt utrymme finns för att platsbygga betongtunneln under den lägsta stämpnivån. Stämpade stödkonstruktioner är att föredra jämfört med bakåtförankring av såväl tekniska (mindre rörelser) som juridiska skäl (konstruktionsdelar under annans mark).

#### Åtgärder mot bottenuppträckning

Inom delsträckor med begränsat jorddjup måste risken för hydraulisk bottenuppträckning under byggskedet beaktas. Jorddjupet är då maximalt cirka 25 till 35 meter och stödkonstruktionerna nedförs troligen till fast botten eller berg. Därmed erhålls en horisontell stötning i schaktbottennivå som bidrar till att stabilisera schaktväggarna och minskar rörelserna på grund av schaktarbetet. Berget är dock hårt och sluttar sannolikt kraftigt lokalt. Vidare kan det lokalt även överlagras av grövre jord som kan vara svår att forcera. Denna grövre jord är troligen också kraftigt vattenförande. Därför måste vattentrycket i denna jord sänkas temporärt så att den täta leran mellan detta lager och schaktbotten inte pressas upp av vattentrycket då schaktarbeten utförs i torrhet. Normalt accepteras inte att vattentrycket sänks inom områden som är belägna utanför den blivande schakten då detta kan orsaka skadliga sättningar av omgivande befintliga konstruktioner. Således förväntas, och har förutsatts, att omfattande åtgärder (dubning,

jetinjektering i jorden och ridåinjektering i berget) är nödvändiga för att säkerställa att kontakten mellan berget och stödkonstruktionen är så stabil och tät att skadlig påverkan på omgivande konstruktioner kan undvikas eller minimeras. Stödkonstruktioner till berg kan dock permanent komma att påverka den horisontella grundvattenströmningen i driftskedet.

På delsträckor där jorddjup överstiger cirka 25 till 35 meter nedförs stödkonstruktionerna troligen inte till fast botten eller berg. Ett kritiskt dimensioneringsproblem är härvid schaktbottens stabilitet. Det krävs normalt att leran under slutlig schaktbotten stabiliseras innan schaktarbetet påbörjas. Detta kan åstadkommas genom att installera exempelvis slitsmurar eller jetpelare i jorden under blivande schaktbotten så att dessa stöttar stödkonstruktionerna och förhindrar bottenuppträckning. Sådan förstärkning måste utföras från markytan innan de huvudsakliga schaktarbetena påbörjas. Vid stödkonstruktion av slitsmurar har föreslagits en lösning med tvärgående slitsmurar under schaktbotten liknande tillvägagångssättet för Götatunneln vid Lilla Bommen. Med hänsyn till global upplyftning av hela strukturen bedöms att etappvis schaktning erfordras. Vidare bedöms att den cirka 60 meter breda schakten för 4-spårsstation vid Göteborgs C kräver uppdelning i två längsgående byggetapper.

#### Platsgjuten betongtunnel

Utgående från krav avseende tunnelns fria innermått har erforderlig tjocklek på tak, väggar och golv beräknats. För en dubbelspårstunnel med service-/räddningstunnel bedöms tjockleken för tak och golv uppgå till 0,9 till 1,1 meter (lokalt något tjockare vid voter) medan väggarnas tjocklek beräknats uppgå till ca 0,8 till 0,9 meter. För en tvåspårsstation med djup förläggning (t ex 18 m djup vid Haga) beräknats erforderlig tjocklek för tak och golv till cirka 1,5 till 1,7 meter (lokalt något tjockare vid voter) medan vägg tjockleken beräknats till cirka 1,0 till 1,4 meter.

#### Grundläggning av tunnel och tråg

Det bedöms att trågförlagda delsträckor huvudsakligen måste grundläggas på

dragförankrade pålar med hänsyn till upplyftning. Inom övriga delsträckor bedöms dock att dragförankrade pålar inte behövs i driftskedet, åtminstone inte med hänsyn till upplyftning. Vid en tillfällig avschaktning till tunneltaket krävs dock dragförankrade pålar om inte särskilda åtgärder, till exempel korta schaktetapper eller sänkning av vattentrycket under tunnelbotten vidtas. I detta utredningsskede bedöms att en trolig utformning är att tråg, tunnel och stationer huvudsakligen innefattar grundläggning på dragförankrade kohesionspålar där jorddjupen är tillräckliga för detta. Inom områden med mindre jorddjup föreslås i stället stålkärnepålar förankrade i berg. Pålarna bidrar naturligtvis även till att reducera tunnelns vertikäl rörelser.

#### Grundförstärkningar

De olika utredningsalternativen passerar intill ett stort antal befintliga byggnader. För att möjliggöra detta utan att berörda byggnader skadas erfordras förstärkning av byggnadernas grundläggning.

Baserat på berörda byggnaders kondition och förväntade rörelser på grund av schaktarbetena har bedömning gjorts vilka byggnader som behöver grundförstärkas eller åtgärdas på annat sätt. Följande indelning i åtgärder har använts vid bedömning och kostnadsberäkning:

- Byggnader som bedöms kräva grundförstärkningar och efteråtgärder. Detta omfattar byggnader som är belägna mindre än cirka 20 till 40 meter från närmaste schaktvägg och antingen är grundlagda direkt på mark eller på korta träpålar. Även byggnader grundlagda på annat sätt, men som vid okulär besiktning konstaterats vara i dåligt skick har beräknats ingå i denna kategori. Grundförstärkningen bedöms behövas för att undvika att byggnaderna får svåra skador och/eller att schaktväggarnas stödkonstruktioner överbelastas. Andra åtgärder, i form av reparation av mindre sprickor som uppkommit i fasader och väggar till följd av schaktningsarbetena kan eventuellt behövas. Särskilt känsligt är den äldre bostadsbebyggelsen mellan

Sten Sturegatan/Skånegatan och Södra Vägen.

- Byggnader som bedöms kräva efterarbeten. Berörda byggnader är belägna på mindre avstånd än cirka 20 till 40 meter från närmaste schaktvägg och grundlagda på betongpålar och vid okulär besiktning konstaterats vara i gott skick. Även byggnader belägna på något längre avstånd ingår i denna kategori om de är grundlagda på träpålar och vid okulär besiktning konstaterats vara i dåligt skick. Efterjusteringar i form av reparationer av mindre sprickor som uppkommit vid schaktningsarbetena bedöms bli aktuella. Det anses dock inte motiverat att utföra grundförstärkningar innan tunnelarbetena färdigställts eftersom detta innebär stora störningar på den verksamhet som bedrivs i byggnaderna samtidigt som vissa efterarbeten ändå bedöms bli nödvändiga.
- Byggnader som inte bedöms kräva några åtgärder. Byggnader som är belägna på större avstånd än cirka 20 till 40 meter från närmaste schaktvägg och vid okulär besiktning har konstaterats vara i gott skick eller som bedöms vara grundlagda på fastmark eller berg. Sådana byggnader förväntas inte behöva efterjusteringar i form av reparationer av sprickbildning. I byggnader med mycket känsliga inredningsdetaljer, som stuckaturer, kan påverkan dock inte uteslutas.

#### Avväxling av byggnader

På fyra avsnitt totalt av utredningsalternativen passerar Västlänken delvis under byggnader. Omfattning och utformning av avväxlingsåtgärder för dessa har studerats och kostnadsberäknats enligt nedan:

- Posthuset, Drottningtorget. Avväxlingen utformas som ett system av mycket kraftiga avväxlings- och upplagsbalkar som grundläggs på grävpålar till berg. Sannolikt behöver den södra delen av byggnaden grundförstärkas och de två delarna

rörelsemässigt ”frikopplas” med hjälp av en rörelsefog. Hela byggnaden erfordrar sannolikt viss efterlagning av sprickor.

- Nils Ericsonterminalen. Byggnaden är grundlagd på kohesionspålar av betong samtidigt som lerdjupet uppgår till 80 meter. Den planerade tunneln sträcker sig cirka 33 meter in under norra delen av byggnaden på en längd av ca 20 meter och passerar genom dess källare. Det enklaste och billigaste alternativet bedöms vara en tillfällig demontering av den del av byggnaden som är belägen ovanpå den planerade tunneln. Sannolikt erfordras även vissa efterarbeten i närliggande delar av byggnaden i övrigt.
- Lokala skattemyndigheten, Rosenlund. Avväxling föreslås utformad av ett system av kraftiga avväxlingsbalkar som grundläggs på stålkärnepålar till berg. Förfarandet är mycket likt det som använts vid avväxlingen av Rosenlundshuset vid Götatunneln
- Bostadshus vid Mölndalsvägen/Rusthållareplatsen. För detta hus bedöms samma typ av avväxlingssystem som vid Lokala Skattemyndigheten vara nödvändig



*Posthuset måste avväxlas i variant under Stora Hamnkanalen*

### Entreprenad- och arbetsområdesgränser

Byggandet av Västlänken bör delas in i delentreprenader som har tillräcklig storlek för att attrahera internationella entreprenörer och konsortier. Vissa av de byggmetoder och arbetsmoment som rekommenderas används i mycket liten utsträckning i Sverige och övriga Norden vilket innebär att till exempel etableringskostnaderna för specialutrustning måste kunna fördelas ut på stora entreprenaddelar. Korta entreprenader medför dessutom en ökad risk för konflikter mellan entreprenörer i entreprenadgränserna och att beställarorganisationen måste hantera och samordna ett stort antal delentreprenader.

Vid byggande i jord krävs i byggskedet tillgång till markområden som sträcker sig utanför den färdiga konstruktionen. Dessa områden krävs för transporter och upplag, maskiner och annan specialutrustning. Inom delsträckor där schaktarbetena erfordrar stödkonstruktioner krävs utrymme för dessa. Om temporära stödkonstruktioner nyttjas, främst vid stålspont, bedöms att ytterkanten för dessa förläggs cirka 3 meter utanför ytterkant färdig tunnel-/trågvägg. Integreras stödkonstruktionerna som permanenta tunnel-/trågväggar krävs dock inte denna extra yta.



*Fyrspårsstation i betong med väggar av slitsmurar under byggnad i London.*

## 10.2 Undermarksbyggande i berg

### Berguttag

För byggande av bergtunnlar och stationer i berg rekommenderas konventionell borrar och sprängning. Denna rekommendation, med injektering och vattenavledning enligt nedan, ligger till grund för beräkningar av

anläggningskostnader och bedömningar av nödvändig byggtid.

Konventionell borrar och sprängning är en välkänd och väl beprövad teknik i Göteborgsområdet. Med denna metod går det lätt att anpassa till rådande geologiska och bergtekniska förhållanden och det finns väl beprövade metoder att driva igenom olika typer av problemområden.

Vid konventionell borrar och sprängning erhålls ett bergmaterial som kan krossas och användas som underballast och fyllningsmassor. Vid fullortsbollar däremot erhålls till stor del ett flisigt och finfördelat material som inte är brukbart till underballast.

Drivning av bergtunnlar med konventionell borrar och sprängning bygger på ett cykliskt förfarande, som är relativt lika från projekt till projekt. Arbetet utförs enligt följande cykel:

- Injektering (tätning) av bergmassan.
- Borrar för sprängning.
- Laddning
- Sprängning.
- Ventilering av spränggaser.
- Utlastning.
- Skrotning.
- Bergförstärkning.

Ur bergteknisk synvinkel kan större delen av Västlänkstunnelarna drivas med full sektion och salvlängder om 5 meter förutsatt att bergtäckningen är god. Vibrationsrestriktioner med hänsyn till befintliga byggnader och anläggningar kan dock reducera en sådan framdrift.

Vid liten bergtäckning (mindre än två tredjedelar av spännvidden) och drivning genom svaghetszoner måste drivningen anpassas till förhållandena ("aktiv design").

### Injekteringskoncept

För att minimera risken för produktionsstörningar orsakade av dålig effekt av

injekteringen bör en strategi med få variabler väljas. Avståndet mellan injekteringshålerna bör hållas konstant i den första skärmen, konstant injekteringstid, få recept på injekteringsbruk etc. Detta koncept bygger på att det borrar många injekteringshål redan i första injekteringsomgången och att det utförs en skärminjektering utan att sprickornas karaktär kartläggs i förväg.

Det injekteringskoncept som förordas för Västlänken och utgör underlag för kostnadsberäkningarna kan sammanfattas enligt följande:

- Injekterings-skärmarna utförs med längden maximalt 18 meter, överlapp mellan skärmarna utförs minst med 8 meter, avstånd mellan borrhålsbotten för injekteringshål 2 meter, stickning från teoretisk bergtunnelkontur 4 meter på 18 meter för injekteringshål,
- injektering utförs under 30 minuter även i hål som inte visar på någon bruksåtgång, två recept på injekteringsbruk för första omgången,
- efter första kompletta skärmen utförs 5 kontrollhål placerade där man med ledning av bergmassans karaktär förväntar sig inläckande vatten, vattenförlustmätningar utförs endast i kontrollhål efter första kompletta skärmen. Om något av kontrollhålen visar läckage överstigande uppsatta krav utförs ny komplett skärm med fininjekteringsmedel typ silicasol.
- Efterinjektering utförs endast i enstaka fall och då som en komplett skärm med stickning 4 meter.

Med detta tillvägagångssätt bedöms att kraven i kommande miljödömande för vattenverksamhet kan innehållas samtidigt som injekteringsarbetet blir lättare att kalkylera för entreprenören. Antalet störningar i produktionscykeln bedöms också kunna minimeras, vilket minskar risken för förseningar och icke-kalkylerbara kostnadsökningar.

Ovan beskrivet tillvägagångssätt är generellt. För delar av tunnelsystemet kommer injekteringsförfarandet att behöva anpassas på grund av de geologiska förhållandena, hänsyn till intilliggande anläggningar, närhet till bergöveryta etc.

### Bergförstärkning

Vid normala bergförhållanden i Västlänkens sträckningar kommer bergförstärkning med bergbult och sprutbetong att vara tillräckligt för att erhålla en säker och stabil bergtunnel. Bergförstärkning vid partier med liten bergtäckning eller större svaghetszoner, har förutsatts dimensionerade så att de armerar berget och bildar ett tryckt valv i samverkan med berget. Tillämpbara metoder kan vara kransbultning, förinjektering med cement eller frysning. Sådana zoner förväntas på ett fåtal ställen.

Alla synliga bergytor i tak och anfang i spår- och stationstunnlarna täcks med sprutbetong som brandskydd. Bultar har förutsatts måste rostskyddas med epoxi och varmförzinkning.

Vid kostnadsberäkningen har förutsatts att alla betongsprutade bergytor i tak och anfang täcks med ett 20-30 mm tjockt sprutbetongskikt med polypropylenfiberinblandning, utan stålfiber. Detta skikt utgör då även korrosionsskydd för bergförstärkningen.

### Bergvattenavledning

Undantaget det fall där en vattentät betonglining utförs kommer tunnlar inte att bli helt täta oavsett hur bra injekteringen lyckas. Därför kommer någon form av bergvattenavledande system att behöva anläggas.

I kostnadsberäkningen har en konventionell dränkonstruktion med 50 mm PE-matta täckt med sprutbetong förutsatts för både de delar av tunnelsystemet där isolerade dräner behövs som de delar där sådana inte behövs. Stora delar av Västlänkens bergtunnelsystem är inte utsatta för frysningsrisk och kan således förses med en oisolerad dränkonstruktion.

För de bergförlagda stationerna, där sug- och dragkrafterna blir mindre än i dubbelspårstunneln, bedöms någon form av

valv behöva tillämpas. Motivet till detta är det relativt flacka taket i stationstunnlarna kan ge upphov till risk för bakfall och vattenansamling i det fall konventionella dräner används. Alternativt kan en motgjuten dränkonstruktion med tätmembran användas vid stationerna för att kombinera dränen med ett bärande huvudsystem.

Brandskydd av konventionella dräner föreslås med ett täckande lager, ca 80 mm, fiberarmerad sprutbetong. För att förhindra att denna sprutbetong spjälkas kan inblandning av polypropylenfiber göras.

### Övergång berg-/betongtunnel

Övergången mellan berg- och betongtunnlar måste utformas så att såväl vattentäthet som erforderlig stabilitet erhålls i bergtunnelpåslaget. För att lyckas med detta bör bergtunneln motgjutas med en stödjande betongkonstruktion, en lining, 4 till 10 meter in i bergtunneln. Denna lining utförs med tätmembran och förenas med den jordförlagda betongtunneln med hjälp av vattentäta rörelsefogar. Liningens längd i bergtunneln beror på bergtäckning och bergkvalitet och bestäms från fall till fall.

## 11 Övriga tekniska åtgärder

### 11.1 Geohydrologi

Den självklara utgångspunkten är att inga större grundvattenrelaterade skador skall uppkomma som en konsekvens av Västlänken. Erfarenheter från liknande byggverksamheter i Sverige visar att det är möjligt att uppnå om rätta metoder används och om rätta krav ställs när det gäller grundvattenpåverkan i form av läckage, grundvattensänkning och skyddsåtgärder

För att upprätthålla erforderliga grundvattennivåer krävs skyddsåtgärder i form av tätning av bergtunnel, jordschakt och betongtunnel. Speciellt angeläget är det att åstadkomma tillräcklig tätning i övergången mellan berg- och betongtunnlar.

Vid behov krävs skyddsinfiltration (injektering av vatten), vilken kan behöva permanentas där bestående inläckage uppstår. Infiltration

kommer att behöva tillgripas i stor omfattning under byggskedet.

Erforderliga åtgärder hanteras vid utredning och projektering vid byggande i jord och berg.

### 11.2 EI

#### Kontaktledningssystem

Något beslut om kontaktledningssystem har inte tagits. Underlag för val finns redovisat i "Rapport PM-Ktl-Västlänken-01", upprättad av ÅF-Infrastruktur AB, med datum 2005-03-18.

Med den tvärsektion för tunneln som hittills använts i utredningen går det att bygga ett kontaktledningssystem S9,8/9,8kN med en kontaktledningshöjd av 5300 mm och systemhöjd 600 mm. Kontaktledningssystem S9,8/9,8kN medger en upphängning på var 35:e meter och ca 350 - 400 mm systemhöjd i spannmitt. Om val görs av ett system med lägre inspänningskraft än 9,8 kN blir avståndet mindre mellan upphängningspunkterna och montagekostnaden högre. Högre inspänningskraft än 9,8 kN blir svårt att ha med tanke på de snäva kurvor som finns i spåralternativen.

Kontaktsskena av fabrikat Furrer+Frey är ett alternativt system, som innebär att tunneltaket kan sänkas till cirka 6 meter över rälsöverkant.

### 11.3 Elektromagnetiska fält

För att minimera de elektromagnetiska fälten i tunneln har sektionerna valts att vara mellan 500 och 1000 meter, vilket ungefär är så långt som behövs för att få sektioner på ömse sidor om de planerade stationerna. Om det vid beräkning av de elektromagnetiska fälten framkommer att värdena blir för höga kan sektionerna minskas till 500 meter.

Kraftmatning till sektionerna utförs med förbiledningskabel i betongränna och med utmatning var tusende meter. Högspänningskablar förläggs på samma sida om spåret och sugtransformatorerna placeras på samma sida om spåren.

Vid varje utmatning monteras fjärrstyrda fränskiljare. Sugtransformator (torrisolerad, 500 A) placeras i separata utrymmen vid varje



sektionspunkt. Placeringen av sugtransformatorerna skall anpassas till signalplaceringen för att erhålla så låga värden som möjligt på de elektromagnetiska fälten i känsliga områden. Utrymmesbehovet för två sugtransformatorer blir ca 8 m<sup>2</sup> med en takhöjd på 2,5 meter.

För Förstärkningsalternativet bör, med anledning av de höga elektromagnetiska fält som finns redan i dag i Gårdatunneln, kontaktledningen byggas om enligt principen korta sektioner och mindre avstånd än normalt mellan sugtransformatorerna. Kontaktledningen för befintlig tunnel byggs med sektioner som är mellan 500 till 1000 meter och med placering av en sugtransformator vid varje sektionspunkt. Kontaktledningssystemet byggs som konventionellt hängverk.

#### 11.4 Buller och vibrationer

Utredningen visar att där så erfordras kan stomljuddämpning göras med ballastmatta och med isolatorer vid avvaxlingar mot betongtunneln.

#### 11.5 Kommunalteknik

Mer omfattande påverkan på det befintliga avloppsnätet uppkommer vid Östra Hamngatan samt inom området vid Göteborgs C.

Omfattande flyttningar av ledningar erfordras inom de delsträckor där alternativen går längs med gator som i Sten Sturegatan, Skånegatan, Örgrytevägen och Korsvägen.

## 12 Risker i byggskedet

Byggande i stadsmiljö medför alltid risker och dessa ökar väsentligt då en stor del av byggobjektet förläggs under mark.

Flertalet risker kan minskas påtagligt genom att tillse att jorden och berget är tillräckligt undersökt och utrett, att de byggnadstekniska beskrivningarna och förutsättningarna är tillräckliga och tydliga och att beställare och entreprenörer har en kontinuerlig dialog och ett informationsutbyte samt att det finns "reservplaner" för oväntade händelser som kan uppkomma. Det är också viktigt att arbeten kan bedrivas inom flera lokaler samtidigt så att inte

arbetet stannar upp totalt vilket är en risk vid TBM-borrning.

Följande arbetsmoment kan medföra stora ekonomiska och tidsmässiga konsekvenser vid byggande av Västlänken:

- Bergpåslag. Flertalet bergpåslag ligger i omedelbar närhet till känsliga byggnader och anläggningar. Baserat på tillgängligt underlag under järnvägsutredningen har påslagen placerats så att de inte bedöms skada dessa. Om bergtäckning och/eller bergkvalitet är mindre/sämre än förväntat finns en påtaglig risk att mer omfattande, och kostsamma/tidskrävande åtgärder erfordras. Genom ytterligare undersökningar i kommande utredningsskeden kan denna risk begränsas, men dock inte elimineras
- Passage av jordförlagd tunnel intill eller under befintliga konstruktioner. Flertalet sådana passager bedöms kräva omfattande grundförstärkningar och avvaxlingar. Baserat på tillgängligt underlag har bedömts vilka åtgärder som behövs för att inte skada berörda konstruktioner. Dokumentationen över befintliga byggnader är dock ofta otillräcklig och det är svårt att finna information som kan säkerställas utnyttjandet av byggnadernas befintliga bärsystem och grundläggning. Omfattande inventeringar i kommande utredningsskeden i kombination med robusta tekniska lösningar medför att riskerna kan begränsas, men inte helt elimineras.
- Stödkonstruktioner till berg. Neddrivning och infästning av stödkonstruktioner till berg samt tätning av berget och övergången jord/berg är behäftat med stora osäkerheter. Riskerna kan dock begränsas genom detaljerade förundersökningar, nyttjande av robusta byggmetoder samt provpumpningar för att kontrollera att erforderlig täthet uppnåtts.

- Tvärgående slitsmurar under schaktbotten. Sådana tvärgående slitsmurar och skarven mellan dessa är kritiska ur såväl stabilitets- som rörelsehänseende. Riskerna kan dock begränsas genom nyttjande av robusta byggmetoder och välanpassade kontrollprogram.
- Arkeologiska utgrävningar, permanenta ledningsomläggningar och grundförstärkningar bör i möjligaste mån utföras innan de storskaliga arbetena rörande schakt- och tunnelbyggande påbörjas inom respektive delsträcka.
- Högt vattenstånd. Risker för översvämning till följd av högt vattenstånd är störst under byggskedet. För färdig anläggning måste framtida bedömda höjningar av vattenstånden beaktas så att alla öppningar till tunnelsystemet läggs på betryggande nivåer.
- Skredrisker under entreprenadarbetena särskilt vid jord liggande direkt på starkt lutande berg som kan förekomma särskilt vid Stora Hamnkanalen och Packhuskajen.

## 13 Underhåll av färdig anläggning

### 13.1 Mål för underhållskoncept

Värdering av olika underhållskoncept görs utgående från att anläggningen skall kunna underhållas på ett effektivt sätt utan att hindra tågtrafiken, den skall utformas så att banan är åtkomlig med korta insatstider och krav på funktion och utrymme för underhåll skall vara samordnade med tekniska och säkerhetsmässiga ändamål.

### 13.2 Hur skall Västlänken utformas ur underhållsperspektiv?

Det är viktigt att ta hänsyn till drift- och underhållsaspekter tidigt i planeringsprocessen. Sambanden mellan systemets *kapacitetsutnyttjande* och därmed *tillgänglighet* för underhållsinsatser och

underhållsorganisationens *inställelsetid* samt behov av *insatstid* och *åtkomst* till anläggningen är grundläggande vid värdering av underhållskoncept. Dessutom skall varje anläggningsdel utformas och väljas på ett underhållseffektivt sätt med avseende på funktion, kvalitet och kostnad. Utvärdering av kraven skall ske på systemnivå och inte på komponentnivå.

### 13.3 Värdering av tekniska lösningar med avseende på underhåll

#### Tunnelkoncept

Dubbelspårstunnel med parallell räddnings- och servicetunnel alternativt två enkelspårstunnlar är två möjliga utföranden från säkerhetssynpunkt.

Från underhållssynpunkt bedöms **dubbelspårstunnel med servicetunnel** vara att föredra, då servicetunneln ger underhållspersonalen möjlighet att i den dagliga driften snabbt med bil ta sig fram för att rätta till fel i anläggningen. Många installationer kan placeras i servicetunneln, vilket ger en bra arbetsmiljö då underhåll och felavhjälpning kan utföras utan kontakt med tågtrafiken. De flesta åtgärder i tåg tunneln kan utföras med reducerad hastighet för tågtrafiken. En stor del av det förebyggande underhållsarbetet och avhjälpande underhållet som inte är akut, kan utföras nattetid under tågfria tider. En nackdel är att spår i båda riktningar måste stängas av helt vid större underhållsarbeten.

Nackdelar med två enkelspårstunnlar är att eventuella portar mellan tunnarna vid kryssväxlar blir mycket långa, anordningarna är kostsamma och underhållskrävande. Dessutom påverkar varje underhållsåtgärd på kanalisering och andra längsgående installationer tågtrafiken. Bristen på serviceväg, där underhållspersonalen kan köra bil fram till felet, ger längre driftstörningar. Alla installationer kräver passage av trafikutrymmet, vilket ger en sämre arbetsmiljö för underhållspersonalen.

#### Banöverbyggnad - Ballastfritt spår

Ballastfria spår är stabila konstruktioner där man utnyttjar betong för att låsa slipern och fördela laster ned i underliggande konstruktion.

Anläggningskostnaden för dessa är normalt högre, vilket ska uppvägas av möjlig högre prestanda och lägre underhållskostnader. Ballastfritt spår rekommenderas inte för Västlänken på grund av att de jordförlagda tunnelarna inte kan garanteras vara sättningsfria, vilket nära nog är ett krav vid denna typ av spår. Även underhållskrävande övergångskonstruktioner mellan ballastfritt spår i bergtunnel och ballastspår i jordförlagda tunnlar samt i anslutande banor talar mot denna konstruktionsmetod liksom olägenheter med att inte ha en enhetlig lösning i tunnelsystemet.

#### Övriga tekniska anläggningar

Strömförsörjning med kontaktskena tar mindre plats jämfört med traditionellt hängbärverk och sparar därmed utrymme i tunnlar. Detta innebär lägre anläggningskostnad för tunnelsystemet, vilket tillsammans med lägre underhållskostnader talar för kontaktskena, trots högre investeringskostnad.

Tekniska system för övervakning och detektering är till stor nytta för att i god tid upptäcka händelser som kan orsaka skada på anläggningen och hindra tågtrafiken. Vissa av dessa system innebär i sig ett ökat underhåll, till exempel om det föreskrivs TV-övervakning i hela tunnelsystemet, men detta skall ställas mot nyttan att snabbt kunna bedöma insatsernas art och omfattning.

Vid val av övriga tekniska system, såsom ventilation och stationsanläggningar, är naturligtvis underhållsaspekten ett av de kriterier som ligger till grund för beslut.

#### Tunneltvätt – tunnelyta mm

Om krav ställs på att tunneln skall tvättas för att reducera partikelhalten, ställs krav på utrustning klassad för att tåla högtryckstvätt. Stor fördel med ballastfritt spår som inte kräver tvättning och som medger effektiv uppsamling av tvättvatten.

### 13.4 Förebyggande underhåll – analys av insatser och kostnader

Banverkets modell för att beskriva kostnaderna för det förebyggande underhållet och ge underlag för fördelning av underhållsmedel har

använts för att uppskatta tidsåtgång och kostnader för förebyggande underhåll.

Tågfria tider för förutbestämt underhåll visar sig vid grova uppskattningar som utförts med Idealkalkylmodellen inte direkt vara alternativskiljande för de genomgående utredningsalternativen. Bedömda tider ligger runt drygt 1000 årstimmar medan Förstärkningsalternativet bedöms till 1900 timmar per år. Tre av de fem största underhållsinsatserna kan kopplas till växelunderhåll.

Förutsatt att det är tågfritt i tunneln cirka 4 timmar kan det förebyggande underhållet utföras nattetid sett över året. Vissa större underhållsarbeten kan kräva längre tid vilket då kräver särskilda åtgärder.

Kostnader för förebyggande underhåll har bedömts liksom tågfri tid med Idealkalkylen. Totala underhållskostnaden har grovt beräknats till drygt 7 Mkr per år för alternativ Haga – Chalmers och alternativ Haga – Korsvägen och ca 5,5 Mkr/år för alternativ Korsvägen och Förstärkningsalternativet. Även när det gäller kostnader är det åtgärder kopplade till växelunderhåll som dominerar.

### 13.5 Riskanalys

Under utredningen har en riskanalys genomförts för att identifiera de händelser som under systemets livslängd påverkar tågtrafiken mest.

De största riskerna för påverkan av tågtrafiken är händelser som inte går att påverka med underhållsinsatser, nämligen sabotage och självmordsförsök.

Därnäst framkom att risken för tunnelras, nedfallande block och total kollaps, var de händelser som innebar störst risk, dvs produkten av sannolikhet och konsekvens. Fel på tåg på grund av framdrift eller strömavtagare tillhörde händelserna med stor risk liksom fel på utrustning såsom komponenter i ställverk. Genom att vidta åtgärder vid utformningen av anläggningen kan stopptiden reduceras väsentligt, i det bedömda scenariet med 60 %, till ca 90 timmar/år. Utan åtgärder är motsvarande tid 240 timmar/år.

### 13.6 Akuta fel

Stopptider på grund av akuta händelser, avhjälpande underhåll, bedömdes i den inom utredningen genomförda riskanalysen till knappt 100 timmar per år om föreslagna åtgärder genomfördes. Mest effektivt är detektorer för bevakning av strömavtagare. Med sådana bedömdes stopptiden nästan helt elimineras, från 72 timmar utan till 1 timme med detektorer.

Kostnaderna för avhjälpande underhåll har bedömts utgående från kostnaderna för akuta fel samt besiktningssmärkningar som föranleder akuta insatser på Göteborgs C och befintliga stationer på Västkustbanan. Tillsammans med kostnader för rulltrappor, hissar m m uppskattas dessa till cirka 2,7 Mkr/år för alternativ Haga – Chalmers och alternativ Haga – Korsvägen och cirka 1,8 Mkr/år för alternativ Korsvägen och cirka 0,9 Mkr/år för Förstärkningsalternativet.

### 13.7 Kryssväxlar

Kryssväxlar har stor betydelse för *akut* underhåll. Med kryssväxlar på ömse sidor om felstället kan trafiken passera på det andra spåret. Trafikeringsmässigt innebär detta förseningar på upp till drygt 5 minuter, vilket dock kan accepteras.

Förebyggande underhåll som kräver avstängt spår kan emellertid inte utföras under dagtid i Västlänken då motsvarande försening inte är acceptabel vid planerade avbrott.

Trafikstrukturen är sådan att det kommer att vara trafikfritt i Västlänken under 4 timmar per natt. Det planerade underhållet kan förläggas till dessa tidpunkter.

### 13.8 Erfarenheter från befintliga anläggningar

Tillgången till jämförbara anläggningar är begränsad, men vissa uppgifter har hämtats från Drogdöntunneln genom Øresundsbro Konsortiet.

I Drogdöntunneln utförs allt planerat underhållsarbete nattetid. Avtalade tider är 4 timmar per natt. Tunnelanläggningarna kräver fler funktionskontroller än en traditionell järnvägsanläggning av bland annat dörrar,

detektorer, pumpar mm. Detektorer finns för koloxid, kvävedioxid, sikt och nivå i pumpsumpar. Det ballastfria spåret har hittills fungerat väl, kanske beroende på att tunneln är ganska rak.

## 14 Linjesträckningar

De aktuella linjesträckningarna finns detaljerat kommenterade från byggteknisk synpunkt i respektive PM ”Byggande i jord”, ”Byggande i berg” och ”Geohydrologi” och illustrerat på ritningar.

## 15 Några tekniska data

### 15.1 Haga – Korsvägen via Älvstranden

- Totallängd 9715 meter
- Längd i jord 5093 meter
- Längd i berg 3520 meter.
- Övrig längd är bank och bro

### 15.2 Haga – Korsvägen via Stora Hamnkanalen

- Totallängd 9508 meter
- Längd i jord 5001 meter
- Längd i berg 3405 meter.
- Övrig längd är bank och bro

### 15.3 Haga – Chalmers via Älvstranden

- Totallängd 9280 meter
- Längd i jord 5083 meter
- Längd i berg 3275 meter.
- Övrig längd är bank och bro

### 15.4 Haga – Chalmers via Stora Hamnkanalen

- Totallängd 9073 meter
- Längd i jord 4991 meter
- Längd i berg 3160 meter.
- Övrig längd är bank och bro

### 15.5 Korsvägen via Johannebergsgatan

- Totallängd 7369 meter
- Längd i jord 5537 meter
- Längd i berg 1010 meter.
- Övrig längd är bank och bro

### 15.6 Korsvägen via Skånegatan

- Totallängd 7491 meter
- Längd i jord 6024 meter
- Längd i berg 645 meter
- Övrig längd är bank och bro

### 15.7 Förstärkningsalternativet

- Totallängd ca 4600 meter
- Längd i jord 560 meter
- Längd i berg 1990 meter
- Övrig längd är bank och bro

## 16 Måluppfyllelse

Ambitionen med en yttlig förläggning av Västlänken i jord innebär en optimering av anläggningskostnaden men innebär att målsättningen om minsta möjliga störningar av staden under byggtiden är svår att uppfylla. Störningarna får olika omfattning beroende av studerat sträckningsalternativ. För järnvägstrafiken beror störningarnas omfattning av vilken placering av den nya stationen vid Göteborgs Central som slutligen väljs. Alternativet med ett stationsläge i norr vid Nils Ericsonsterminalen stör minst medan ett sydligt läge vid Drottningtorget stör mest.

Trots målsättningen att inte direkt beröra befintlig bebyggelse har inte detta helt kunnat undvikas. I allmänhet behöver närliggande byggnader med otillräcklig grundläggning grundförstärkning. Beroende på alternativ

behöver ett fåtal byggnader avväxlas då sträckningarna går under dessa. De byggnader som berörs är Posthuset vid Drottningtorget, Nils Ericsonsterminalen, Skatteförvaltningens hus vid Rosenlund och ett bostadshus vid Mölndalsvägen. Beroende på alternativ behöver även en del byggnader rivas. Mest omfattning får detta för Förstärkningsalternativet som påverkar bostadsbebyggelsen i Olskroken i stor omfattning. I övrigt kan Västgötabanans station, Postterminalen och Banverkets Idrottshall vid Bergslagsbanan komma att beröras.

## 17 Bilagor

- Teknisk PM Byggnade i jord.
- Arbetsrapport – TBM i lera
- Teknisk PM Byggnade i berg
- Teknisk PM Geohydrologi
- Teknisk PM El och tele
- Normalsektioner
- Plan- och profilritningar, 1:1000/1:400, J01 – J52
- Ritningar: Fördelning berg/jordförlagd tunnel och konstruktionstyper, 1:5000; G:21:001 – 004.
- Ritningar: Järnvägsanläggningarna i byggskedet (berörda byggnader och erforderliga arbetsområden), 1:2000, G:31:001-016.
- Ritningar: Tvärsektioner vid Palace, Stora Hamnkanalen, Kanaltorgsgatan, Örgrytevägen och Skånegatan 1:100/1:200, G:41:001-003

