



Järnvägsutredning

# Västkustbanan delen Varberg–Hamra



Delrapport Bergteknik





# Väst kustbanan, delen Varberg – Hamra Järnvägsutredning

20030129

## Delrapport Berg

### 1. Inledning

I rubricerade järnvägsutredning och MKB studeras två alternativa tunnelsträckningar genom Varberg, alternativ SMTÖ och CT.

Bergtekniska undersökningar för SMTÖ genomfördes huvudsakligen under 1998 inom ramen för pågående förprojektering/järnvägsplan för detta alternativ. I samband med miljöbalkens införande beslutade Banverket att låta upprätta en ny förstudie för projektet. Efter förstudien och erforderligt samråd genomfördes järnvägsutredning för objektet med nu aktuella två tunnelalternativ, SMTÖ enligt tidigare och en ny variant CT något längre österut. Inom ramen för järnvägsutredningen genomfördes nu bergtekniska undersökningar för alternativ CT på i stort sett samma nivå som tidigare SMTÖ.

Järnvägsutredningen är färdigställd och utsänd på remiss till olika remissinstanser.

Banverket upprättar nu beslutshandling för järnvägsutredningen. Föreliggande PM beskriver kortfattat de bergtekniska förutsättningarna i föreslagna alternativ och grundas på upprättade tekniska rapporter för

- SMTÖ (VKB Varberg – Hamra Förprojektering Göteborg 980904)
- CT (VKB Varberg-Hamra, Tunnel under Varberg, alternativ CT, Bergtekniska undersökningar och prognoser, Göteborg 2002-04-11)

Alternativen är beskrivna i järnvägsutredningen, förslagshandling (BVRT 2002-02-01)

### 2. Bergtekniska undersökningar

Bergtekniska undersökningar har genomförts som ytkarteringar, refraktionsseismik, jordbergsonderingar, kärnbörningar och kärnkarteringar samt bergklassificering enligt Q-metoden.

I undersökningsområdet förekommer det i huvudsak två bergartstyper. I de norra och centrala delarna av Varberg utgörs berggrunden av en svagt folierad, medelkornig charnokit. Lokalt kan charnokiten vara mer förgnejsad. Charnokiten är i regel mörkgrå med färgskiftningar i grönt. Den har i regel en lägre kvartshalt än granit och en högre andel mörkmineral. I charnokiten finns oftast en järn- och magnesiumhaltig pyroxen av hypersten eller diopsid eftersom bergarten har differentierats under högre tryck och temperatur än graniten. I området kring Gamla och Nya Påskberget är bergarten tydligt förgnejsad med röda fältspatrika och ljusa kvartsrika band.

I södra delarna av undersökningsområdet utgörs berggrunden av en grå till gråröd, medelkornig gnejs med tydliga ljusa och mörka ådror och band. Även här förekommer dock mörkare partier med förgnejsad charnokit.

Amfibolitgångar med några decimeters bredd har påträffats i båda bergartstyperna.

Troligtvis ligger de centrala delarna av Varberg i en övergångszon mellan charnokit och gnejs. Detta har t.ex. iakttagits i kärnbrorrhål som borrades i Engelbrektsparken. Den övre delen av kärnan utgörs av en mörk gnejs med tydlig foliation. Gnejsens mineralogi och färg påminner om charnokitens. Den undre delen av kärnan utgörs av en nästan massformig till svagt folierad charnokit. I bergarterna finns även decimeterbredda amfibolitgångar. Förhållandena indikerar att charnokiten har intruderat i gnejsen. Ytkarteringen har inte påvisat någon tydlig kontaktzon mellan charnokiten och gnejsen. Sannolikt är övergången mellan bergarterna otydlig. I kärnbrorrhål som borrades söder om Västkustvägen utgörs berget av en tydligt folierad gnejs.

## 2.1 Kärnbrörning

För alternativ *CT* gjordes två kärnbrörningar. KBH 01-1 borrades från Engelbrektsparken i en förmodad charnokit. KBH 01-2 borrades vid kolonistugeområdet i en förmodad gnejs. Kvalitetsklassning med Q-metoden gav följande resultat:

Tabell 2.1 Bergklassificering KBH 01-1.

Borrdjup		RQD	J <sub>n</sub>	J <sub>r</sub>	J <sub>a</sub>	J <sub>w</sub>	SRF	Q-index	Kvalitet
Från	Till								
9.45	12.00	90	4	2	2	1	1	22.50	Bra
12.00	15.00	80	6	2	2	1	1	13.33	Bra
15.00	18.00	90	4	2	2	0.5	1	11.25	Bra
18.00	30.00	90	6	2	2	1	1	15.00	Bra
30.00	33.00	90	6	2	3	0.5	1	5.00	Medelbra
33.00	36.98	100	4	1	1	1	1	25.00	Bra

Bra bergkvalitet har erhållits för i stort hela kärnan i KBH 01-1. Endast på borrdjup 30-33 m är bergkvaliteten något sämre.

Tabell 2.2 Bergklassificering KBH 01-2.

Borrdjup		RQD	J <sub>n</sub>	J <sub>r</sub>	J <sub>a</sub>	J <sub>w</sub>	SRF	Q-index	Q-index
Från	Till								
12.53	14.53	25	9	3	2	0.66	1	2.75	Dålig
14.53	17.50	10	12	2	3	0.66	5	0.07	Mycket dålig
17.50	20.00	20	12	2	3	0.66	5	0.15	Mycket dålig
20.00	23.50	20	12	2	2	0.5	5	0.11	Mycket dålig
23.50	26.00	60	9	3	2	0.5	1	5.00	Medelbra
26.00	29.00	70	9	2	2	0.66	1	5.13	Medelbra
29.00	32.00	30	9	3	2	0.5	5	0.50	Mycket dålig
32.00	35.00	60	6	3	2	0.5	1	7.50	Medelbra
35.00	38.00	80	6	2	1	0.66	1	17.60	Bra
38.00	45.08	80	6	3	2	0.5	1	10.00	Medelbra

Dålig och mycket dålig bergkvalitet har erhållits i KBH 01-2 i det sönderspruckna berget på borrdjup 12.53-23.5 m och 29-32 m. I nedre delen är kärnan av medelbra till bra bergkvalitet.

För alternativ **SMTÖ** gjordes två kärnborrningar där kvalitetsklassning med Q-metoden gav följande resultat:

Tabell 2.3 Kbh 98-1 i kv Berget vid km 77 380 – 77 430

Borrdjup		RQD	J <sub>n</sub>	J <sub>r</sub>	J <sub>a</sub>	J <sub>w</sub>	SRF	Q-index	Kvalitetsklass
Från	Till								
0.00	5.00	100	4	3	2	1	1	37.50	Bra
5.00	13.00	100	3	2	1	0.66	1	44.50	Bra
13.00	16.00	95	4	2	2	0.66	1	15.68	Bra
16.00	18.50	100	3	3	1	1	1	100.00	Mycket bra
18.50	21.00	90	4	2	3	1	1	15.00	Bra
21.00	26.50	100	3	2	1	1	1	66.67	Mycket bra
26.50	30.00	80	6	2	3	1	1	8.89	Medelbra
30.00	37.00	100	3	3	1	1	1	100.00	Mycket bra
37.00	40.50	80	6	2	3	0.66	1	5.87	Medelbra
40.50	43.00	100	3	3	1	1	1	100.00	Mycket bra
43.00	44.00	80	3	3	2	1	1	40.00	Bra
44.00	46.00	100	3	3	1	1	1	100.00	Mycket bra
46.00	49.00	95	3	3	1	0.66	1	62.70	Mycket bra
49.00	52.00	100	6	2	2	0.66	1	11.00	Bra
52.00	55.00	100	3	3	1	1	1	100.00	Mycket bra
55.00	58.50	80	6	2	2	0.66	1	8.80	Medelbra
58.50	61.50	100	3	3	1	0.66	1	66.00	Mycket bra

Borrdjup		RQD	J <sub>n</sub>	J <sub>r</sub>	J <sub>a</sub>	J <sub>w</sub>	SRF	Q-index	Kvalitetsklass
Från	Till								
61.50	62.50	80	4	2	4	0.66	1	6.60	Medelbra
62.50	64.00	100	3	3	1	0.66	1	66.00	Mycket bra
64.00	66.00	80	9	2	3	0.66	1	3.91	Dålig
66.00	73.00	100	3	3	1	0.66	1	66.00	Mycket bra
73.00	74.50	100	3	3	1	1	1	100.00	Mycket bra
74.50	76.00	100	4	2	2	1	1	25.00	Bra
76.00	79.00	100	3	3	1	1	1	100.00	Mycket bra
79.00	81.00	95	4	2	3	1	1	15.83	Bra
81.00	84.50	100	3	3	1	1	1	100.00	Mycket bra
84.50	88.00	85	6	2	2	1	1	14.17	Bra
88.00	101.00	100	3	3	1	1	1	100.00	Mycket bra
101.00	101.50	100	3	2	1	1	1	33.33	Bra
101.50	104.50	100	3	2	1	1	1	66.67	Mycket bra
104.50	105.50	80	4	1	3	1	1	6.67	Medelbra
105.50	116.50	100	2	3	1	1	1	150.00	Mycket bra
116.50	119.00	90	4	2	2	1	1	22.50	Bra
119.00	127.00	100	2	3	1	1	1	150.00	Mycket bra
127.00	131.00	60	9	2	3	1	1	4.44	Medelbra
131.00	134.00	100	4	2	3	1	1	16.67	Bra
134.00	136.00	80	6	2	2	1	1	13.33	Bra
136.00	139.00	90	4	2	1	1	1	45.00	Mycket bra
139.00	142.50	70	9	2	2	1	1	7.78	Medelbra
142.50	148.00	95	3	2	1	1	1	63.33	Mycket bra
148.00	150.00	90	4	1.5	2	1	1	16.88	Bra
150.00	156.00	80	6	1.5	2	0.66*	1	6.60	Medelbra
156.00	160.00	90	6	1.5	1	1	1	22.50	Bra
160.00	162.50	20	12	1.5	3	0.66*	2.5	0.22	Mycket dålig
162.50	166.00	85	6	1.5	1	1	1	21.25	Bra
166.00	173.00	60	9	1.5	3	0.66*	1	2.20	Dålig
173.00	181.00	90	4	2	1	1	1	45.00	Mycket dålig
181.00	183.00	90	4	2	3	1	1	15.00	Bra
183.00	186.00	90	4	2	1	1	1	45.00	Mycket bra
186.00	191.00	90	6	2	3	1	1	10.00	Medelbra
191.00	195.00	10	12	2	4	0.5	5	0.040	Extremt dålig
195.00	200.50	20	12	2	3	0.5	5	0.11	Mycket dålig
200.50	202.50	65	9	1.5	1	0.66	1	7.15	Medelbra
202.50	206.59	90	6	1.5	1	0.66	1	14.85	Bra

\* J<sub>w</sub> är uppskattat

Tabell 2.4 Kbh 98-2 i kanten av Engelska parken km 77 470

Borrdjup		RQD	J <sub>n</sub>	J <sub>r</sub>	J <sub>a</sub>	J <sub>w</sub>	SRF	Q-index	Kvalitetsklass
Från	Till								
0.00	7.90								Jord
7.90	10.00	30	9	1.5	2	0.5	1	1.25	Dålig
10.00	13.00	75	9	2	3	0.5	1	2.78	Dålig
13.00	20.00	50	9	1.5	2	0.5	1	2.08	Dålig
20.00	22.00	20	12	1.5	3	0.5	2.5	0.18	Mycket dålig
22.00	23.00	10	12	1.5	4	0.5	5	0.030	Mycket bra
23.00	26.00	90	6	1	1	0.66	1	9.90	Medelbra
26.00	30.00	90	4	2	1	0.66	1	29.70	Bra
30.00	36.86	90	6	1	2	0.66	1	4.95	Medelbra

## 2.2 Seismik

I *alternativ CT* genomfördes seismiska undersökningar. Av den totala längden på 3250 m (P01-3 t o m. P01-18) fördelades bergkvaliteten enligt nedan:

Berghastighet (m/s)	Längd (m)	%	Bergkvalitet
5000-5500	3010	93	Bra berg
4500-5000	75	2	Medelbra berg
3500-4500	135	4	Dåligt berg (sprickzoner)
3000-3500	30	1	Mycket dåligt berg (sprickzoner)
<b>Summa</b>	<b>3250</b>	<b>100</b>	

För *alternativ SMTÖ* genomfördes totalt 4435 m seismik, vilket gav en fördelning av bergkvaliteten enligt nedan:

Berghastighet (m/s)	Längd (m)	%	Bergkvalitet
5000-5500	4050	91	Bra berg
4500-5000	155	4	Medelbra berg
3500-4500	145	3	Dåligt berg (sprickzoner)
3000-3500	85	2	Mycket dåligt berg (sprickzoner)
<b>Summa</b>	<b>4435</b>	<b>100</b>	

## 2.2 Hydrogeologi

Den hydrauliska konduktiviteten ( $k$ ) har beräknats i kärnborrhålen. För att klara de beräknade tillåtna värdena på inläckage krävs kontinuerlig förinjektering. Kärnborrhål KBH 98-1 och 98-2 (*alternativ SMTÖ*) och KBH 01 och 02 (*alternativ CT*) visar att stora vattenföringar förekommer i berggrunden.

De högsta  $k$ -värdena har uppmätts i anslutning till sprick- och krosszoner i kärnborrhålen. Både alternativ SMTÖ och CT uppvisar  $k$ -värden upp till en faktor  $10^{-6}$  till  $5 \times 10^{-6}$  m/s i kärnborrhålen.

## 3. Delområdesbeskrivning

En geologisk modell över förväntade förhållanden utmed tunnelsträckningen har utförts med avseende på berggrund, spricksystem och svaghetszoner. En prognos av bergkvaliteten har upprättats enligt Q-metoden.

Graden av förutsägbarhet längs tunnellen varierar med tillgången på information från karteringar av berg i dagen, seismikprofiler, kärnborrhål och jord-bergsonderingar. Nedan redovisas förväntade förhållanden med indelning efter tunnelns längdmätning

### 3.1 Alternativ CT

#### KM 76/280 – 77/185 Norra förskärningen och tunnelpåslag

Ett antal mindre hällar med berg i dagen finns på ömse sidor om den planerade tunnelsträckningen. Berggrunden utgörs här av en medelkornig charnokit med varierande grad av foliation.

Längs förskärningen och vid tunnelpåslaget dominerar brantstående sprickor med i det närmaste nordsydlig riktning (N170°/85°, N345°/80° och N25°/70°). Dessutom förekommer bankningssprickor med en stupning på ca 15° mot sydväst. Dessa sprickor resulterar tillsammans i att bergarten på flera ställen är mycket storblockig. Sprickor förekommer också i riktningarna N290°/75°, N105°/60° samt N135°/50°.

Sprickytorna i charnokiten är i regel råa-ondulerande eller råa-plana och saknar sprickfyllning. Emellanåt förekommer emellertid sprickbeläggningar av klorit, kalcit och järnoxid.

De seismiska undersökningarna visar att berggrunden generellt sett är av god kvalitet. Ett par sprick- och krosszoner har emellertid kunnat utvärderas i delområdet. Vid ca KM 76/530 respektive 75/595 har två stycken krosszoner med öst-västlig riktning tolkats. Vid ca KM 76/810 respektive 76/885 finns tecken på två stycken sprickzoner med öst-västlig riktning. Vid ca KM 77/080 har en sprickzon med nordsydlig riktning noterats.

Bergschaktens höjd i förskärningen varierar mellan 0 och 13 m. Vid tunnelpåslaget är bergtäckningen ca 5 m.



**KM 77/185 – KM 78/000, centrala Varberg**

Delområdet ligger i tätbebyggt område utan berghällar. Enstaka mindre hållar med berg i dagen finns emellertid i södra änden av delområdet. Berggrunden utgörs här av medelkornig charnokit med varierande grad av foliation.

Brantstående sprickor med i det närmaste nordsydlig riktning (N30°/90° och N345°/80°) dominerar. Dessutom förekommer bankningssprickor med en stupning på 15-20° mot söder. Dessa sprickor resulterar tillsammans i att bergarten på flera ställen är mycket storblockig. Sprickor förekommer också i riktningarna N75°/70° och N160°/85°.

Från Engelbrektsparken (ca KM 77/290) har en 37 m lång kärna (KBH 01-1) borrats med riktning/lutning N240°/60° för att ytterligare undersöka bergets egenskaper. Den övre delen av den borrade kärnan består av en folierad medelkornig gnejs medan den nedre består av en massformig till svagt folierad charnokit.

Sprickfrekvensen är låg i hela borrkärnan. De flesta sprickytorna är råa-ondulerande eller råa-plana och saknar sprickfyllning. Det förekommer emellertid (främst i gnejsen) även att antal släta-plana sprickytor med klorit och kalcit som sprickfyllning.

I den borrade kärnan har gnejsens dominerande sprickriktning bestämts till N320°/30° (längs foliationen). I gnejsen förekommer även sprickor med riktningen N210°/30°. De sprickriktningar som, på grund av kärnans riktning, varit möjliga att utläsa i charnokiten är främst N310°/75° och N55°/45° samt i något mindre utsträckning N345°/80°.

Vid vattenförlustmätningar utförda i kärnborrhål KBH 01-1 har den hydrauliska konduktiviteten ca  $2 \times 10^{-6}$  m/s utvärderats i mitten av hålet och ca  $3 \times 10^{-6}$  m/s i hålets nedre del.

Bergklassificering av borrkärnan har visat på bra bergkvalitet förutom längs ett par meter av kärnans nedre del där kvaliteten är lägre.

De seismiska undersökningarna visar att berggrunden generellt sett är av god kvalitet. Ett par sprick- och krosszoner har emellertid kunnat utvärderas i delområdet. Vid ca KM 77/350 respektive 77/495 har två stycken sprickzoner med nordostlig riktning tolkats. Vid ca KM 77/450 har en krosszon med samma riktning noterats. Vid ca KM 77/750 och 77/860 finns tecken på två sprickzoner med öst-västlig respektive nord-sydlig riktning.

Bergtäckningen över den planerade tunneln varierar i det här delområdet mellan 5 (vid påslaget) och 22 m. I ovan nämnda sprickzon vid ca KM 77/450 är bergtäckningen emellertid endast 3 m.

Berget är blockigt och har råa sprickor. På grund av påslaget blir bergkvaliteten reducerad samtidigt som vattenföringen kan vara hög i det ytnära berget. Bergkvaliteten på resten av sträckan varierar från Q= 0.28 till Q= 9.90, trots att bergmassan bedöms som måttligt till starkt vattenförande.

### **KM 78/000 – KM 79/100, Påskberget**

I den norra delen av delområdet ligger Gamla Påskberget bestående av en folierad, ofta gnejsig charnokit. Från ca KM 78/750 och söderut finns ett flertal hållar med berg i dagen på ömse sidor om den planerade tunnelsträckningen. Också här består berget av en folierad gnejsig charnokit. Foliationens riktning har uppmätts till N60°/80°.

Bergmassan domineras av brantstående sprickor i riktningarna N140°/80°, N110°/70°, N55°/90° samt N280°/80°. Sprickytorna i charnokiten är i regel råa-ondulerande eller råa-plana och saknar sprickfyllning. Emellanåt förekommer emellertid sprickbeläggningar av klorit, kalcit och järnoxid.

De seismiska undersökningarna visar att berggrunden generellt sett är av god kvalitet. Vid ca KM 78/320 respektive 78/640 har emellertid två sprickzoner med nordostlig riktning tolkats.

Bergtäckningen över den planerade tunneln varierar i det här delområdet mellan 16 och 27 m. Bergkvaliteten är bra på en stor del av denna sträcka. Ett par sprickzoner med sämre kvalitet förekommer.

### **KM 79/100 – KM 79/550, Kolonin och Almersgymnasiet**

Ett antal hållar med berg i dagen finns på ömse sidor om den planerade tunnelsträckningen. Berggrunden utgörs här av en folierad granitisk gnejs. Foliationens riktning har uppmätts till N300° med stupning relativt brant mot nordost. Öster om tunnelpåslaget har emellertid hållar där foliationen vridits till riktningen N150°/50° påträffats.

Bergmassan domineras av brantstående sprickor med riktningarna N35°/90° och N300°/80°.

I sektion ca KM 79/230 har en 45 m lång kärna (KBH 01-2) borrats för att ytterligare undersöka bergets egenskaper. Den borrarade kärnan består av en medelkornig folierad gnejs med tydliga ljusa och mörka band. Strax ovanför kärnans mitt har en par meter bred gång av amfibolit noterats.

Stora delar av borkärnan är sönderspruckna. Först under borrhjup 33 m är kärnan mer sprickfattig. I borkärnans övre del förekommer ofta kalcit och klorit som sprickfyllning. Sprickorna i kärnans nedre del är i regel ofyllda med råa-ondulerande sprickytor. Eftersom kärnan är mycket söndersprucken har det varit svårt att utvärdera sprickriktningar. Följande sprickriktningar har emellertid kunnat tolkas: N50°/90°, N75°/85°, N150°/45° och N5°/50°.

Vid vattenförlustmätningar utförda i kärnborrhål KBH 01-2 har den hydrauliska konduktiviteten utvärderats till  $3-4 \times 10^{-6}$  m/s.

Bergklassificering har visat på dålig och mycket dålig bergkvalitet i den sönderspruckna delen av borkärnan. I kärnans nedre del är bergkvaliteten medelbra till bra.

De seismiska undersökningarna visar att berggrunden generellt sett är av god kvalitet. Vid ca KM 79/190 respektive 79/235 har emellertid två sprickzoner med öst-västlig riktning tolkats. Bergtäckningen över den planerade tunneln varierar i det här delområdet mellan 11 och 22 m.

Den norra delen av sträckan vid Kolonin har den lägsta bergkvaliteten med  $Q < 1$ , mycket dåligt berg. Bergtäckningen är drygt 10 m. Resten av sträckan fram till påslaget, cirka 370 m, är bergkvaliteten bättre, dåligt till måttligt bra berg.

### **KM 79/550 – KM 79/860, Södra förskärningen och tunnelpåslag**

Ett flertal hållar med berg i dagen finns på ömse sidor om den planerade tunnelsträckningen. Berggrunden utgörs här av en folierad granitisk gnejs. Öster om tunnelpåslaget har foliationens riktning uppmätts till  $N150^{\circ}/50^{\circ}$ .

Bergmassan domineras av brantstående sprickor med riktningarna  $N35^{\circ}/90^{\circ}$  och  $N300^{\circ}/80^{\circ}$ . De seismiska undersökningarna visar att berggrunden generellt sett är av god kvalitet. Bergtäckningen vid tunnelpåslaget är ca 3.5 m.

Berget är blockigt och har rår sprickor. På grund av påslaget blir bergkvaliteten reducerad samtidigt som vattenföringen kan vara hög i det ytnära berget.

## 3.2 Alternativ SMTÖ

### KM 76 350 - 77 240, Norra förskärningen

Berg i dagen finns öster om spåret från KM 74 400. Bergschakten kommer att börja i sektion KM 76 350. Vid KM 76 300 - 76 400 finns berghällar vid spåret. Berggrunden utgörs här av en gråröd granitisk gnejs. Vid KM 76 650, ca 80 m öster om spåret, finns berghällar med charnokit och grönsten. Charnokiten är svagt förskiffrad i strykning/stupning, 90°/60°.

Bergschaktens höjd ovan dikesbotten varierar från 4-8 m mellan KM 76 400 - 77 050. Mellan KM 77 050 - 77 150 finns en lågpunkt i bergprofilen. Bergnivån går i denna del ner till RÖK och dikesbotten. Schaktens högsta del blir ca 10-12 m mellan KM 77 150 - 77 240. Jorddjup och jordens sammansättning beskrivs i de geotekniska delarna av undersökningen.

De seismiska mätningarna visar att berget generellt är av god kvalitet. Gånghastigheterna i berg är 5000 – 5400 m/s. Sprick- och krosszoner med upp till 10 m bredd förekommer. Berget i dessa zoner har gånghastigheter 3000 – 3500 m/s, vilket visar på dålig till mycket dålig bergkvalitet. Zonerna har prognosticerats vid KM ca 76 530, 76 590, 76 740, 76 860, 77 050, 77 110 och 77 180. Detta med antagandet att zonerna följer bergmassans huvudsprickriktning i ca 280°-300°/90°.

Bergmassan i bergschakten för det öppna tråget och för betongtunneln bedöms vara storblockigt söndersprucket. Tre huvudsakliga, brantstående sprickgrupper förekommer: Sprickor med nära östvästlig strykning (270°-290°), dels med nära nordsydlig strykning (160°-180°) och sprickor med nordostlig strykning (ca 30°). Dessutom förekommer subhorisontella bankningsplan. I det ytnära berget kan sprickavståndet mellan bankningsplanen vara ner till 0.5 m. Bergklassificering har inte utförts för bergmassan i de öppna bergschakten.

### KM 77 240 - 77 500 Tunnelpåslag - Kvarteret Prosten

Berg i dagen finns på denna sträcka endast i kvarteret Berget, öster om tunneln. Berggrunden utgörs till största delen av charnokit enligt Kbh 98-1. Kärnan visar också att omkring KM 77 400 övergår charnokiten i en granitisk gnejs. KM 77 400 - 77 500 kännetecknas av varierande bergartssammansättning med charnokit, granitisk gnejs, amfibolit och en mer basisk charnokit som här beskrivs som diorit.

Jord-bergsonderingarna har visat att lågpunkter i bergprofilen finns vid KM 77 410, bergtäckning ca 5 m och vid KM 77 450 - 77 470, bergtäckning 3.5 - 5 m. Vid tunnelpåslaget är bergtäckningen ca 5 m. I övrigt varierar bergtäckningen mellan 5-10 m.

Charnokiten är mycket sprickfattig till borrhjup 128 m, vilket ungefär motsvarar KM 77 400. Mellan KM 77 400 - 77 450 förväntas bergmassan vara delvis mer söndersprucken. En sprickzon på 160-170 m djup i kärnan kan eventuellt följa orienteringen för sprickgrupp 1 i Kbh 98-2, se figur 4.3. Riktning och läge stämmer ganska väl överens med lågpunkten vid KM 77 410. Sprickzonen är 5-10 m bred och har strykning/stupning ca 110°/60°.

Seismiken och jord-bergsonderingarna visar att det finns en lågpunkt med svaghetszoner under kvarteret Prosten, KM 77 450 - 77 470. Kbh 98-1 och 98-2 verifierar zonen som är ca

10 m bred med delvis helt sönderkrossad och leromvandlad gnejs och amfibolit. Zonen följer troligtvis strykning och stupning för sprickgrupp 1, 290°/90°. Eventuellt stupar den något mot sydväst, 50°-80°, vilket ger strykning/stupning 110°/50°-80°. Efter lågpunkten är sannolikt berggrunden relativt söndersprucken fram till 77 500 på grund av en svaghetszon i riktning 30°/90°, tolkad från seismiklinjer.

I charnokiten finns framför allt brantstående sprickor i riktning 280°/90° och 175°/90 samt flacka bankningsplan med mycket varierande strykning. Detta ger en bergmassa med mycket rektangulärt utformade block. Bankningsplanen har ett sprickavstånd på 0.5-5 m i den ytnära bergmassan. Längre ner ökar sprickavståndet till ca 5-10 m. Ytkarteringarna och Kbh 98-1 har visat att sprickorna i charnokiten kan vara relativt öppna med fyllningar av järnoxid och manganoxid.

Från påslaget till KM ca 77 400 finns huvudsakligen två sprickgrupper samt oregelbundet förekommande sprickor. Blockstorleken bedöms vara stor till mycket stor med en sprickvolym,  $J_w = 1-3$  sprickor/m<sup>3</sup> och delvis  $J_w < 1$  spricka/m<sup>3</sup>. Under lågpunkterna KM 77 400 - 77 500 förekommer fler lutande och plana sprickytor. Bergmassan är i anslutning till sprick- och krosszonerna mycket starkt söndersprucken. Blockstorleken bedöms till största delen vara medelstor med  $J_w = 3-10$  sprickor/m<sup>3</sup> och vid zonerna liten med  $J_w = 10-30$  sprickor/m<sup>3</sup>.

Dålig och mycket dålig bergkvalitet har erhållits i anslutning till sprick- och krosszonerna, KM 77 450 - 77 500. I övrigt är bergmassan av medelbra, bra och mycket bra kvalitet. Vid tunnelpåslaget har bergkvaliteten reducerats med  $J_n * 2$ .

### **KM 77 500 – 77 900 Brunnsparken – Pilhagen**

Berg i dagen finns på denna sträcka endast i mindre partier vid KM 77 800 – 77 900. Berggrunden utgörs till största delen av charnokit med inslag av gnejs och granit. Bergtäckning är cirka 4-6 m från KM 77 500 till 77 770. Därefter stiger bergöverytan så att täckningen är 20 m vid 77 900.

Två sprickzoner, som skär snett över tunneln, finns mellan KM 77 600 och 77 800. Två krosszoner finns det området där bergnivån höjer sig mellan KM 77 880 - 77 900. Mellan sprickzonerna bedöms berget vara storblockigt söndersprucket. Troligen finns öppna vattenförande bankningsplan med cirka 1m avstånd i det relativt ytnära berget över tunneln.

Dålig bergkvalitet har erhållits i sprick- och krosszonerna. I avsnittet med liten bergtäckning blir bergkvaliteten dålig.



### **KM 77 900 – 79 500 Pilhagen – Västkustvägen**

Berg i dagen finns på denna sträcka endast i mindre partier från Pilhagen fram till Sörse vid sektion KM 79 050. Från Sörse fram till Västkustvägen finns ett höjdområde med många bergblottningar. Berggrunden består av gnejs i alla blottningar. Inlagringar av andra bergarter kan sannolikt förekomma inom de jordtäckta partierna.

Bergtäckning är cirka 10-15 mellan KM 77 900 till 78 900. Därefter stiger bergöverytan så att täckningen är ungefär 20 m fram till Västkustvägen.

Under Mariedal har tre krosszoner och två sprickzoner fastslagits. Sannolikt kan det förekomma fler zoner som inte har upptäckts på grund av de begränsade bergblottningarna. Mellan sprickzonerna bedöms berget vara storblockigt söndersprucket. Troligen finns öppna vattenförande bankningsplan med 0.5 - 1m avstånd i det ytnära berget över tunneln. I den södra delen finns dominant öppna sprickor som går längs tunneln. Vid Sörsedammen, KM 79 300 - 79 500, finns berghällar med en skivig gnejs öster och väster om spåret. Förskiffringen stryker här i ca 270°-280° och stupar ca 40° mot norr. Berget är blockigt söndersprucket av plana sprickor i 225°/80°.

I den största delen av sträckan är bergkvaliteten bedömd till måttligt bra berg till bra berg. Dålig bergkvalitet har erhållits i sprick- och krosszonerna. I avsnittet med liten bergtäckning blir bergkvaliteten dålig.

### **KM 79 500 – 80 040 Västkustvägen - Södra påslaget**

Området består 150 m bred dal tvärs tunnelsträckningen med jorddjup upp till cirka 8 m. Resten av sträckan utgörs av ett höjdområde som sluttar flackt mot sydöst. Berg i dagen finns på denna sträcka på flera platser. Jordtäcket är generellt tunnt. Berggrunden utgörs till största delen av charnokit med inslag av gnejs i söder.

Bergtäckningen är cirka 7 m vid sprickzonerna under dalen tvärs tunneln. Bergtäckningen är störst mellan KM 79 000 och 79 800, där den uppgår till 20 m. Därefter sjunker bergytan så att täckningen endast är 3 m vid påslaget.

Två sprickzoner korsar tunneln under den jordtäckta dalen. Det förekommer sprickor och mindre sprickzoner som skär tunneln med spetsig vinkel inom området med den största täckningen. Inom den sydligaste delen har en sprickzon detekterats med seismiken. Zonen bedöms gå tvärs tunneln. Mellan sprickzonerna bedöms berget vara storblockigt söndersprucket. Troligen finns öppna vattenförande bankningsplan med cirka 1m avstånd i det ytnära berget över tunneln.

Dålig till mycket dålig bergkvalitet har erhållits i sprick- och krosszonerna. I avsnittet med liten bergtäckning blir bergkvaliteten dålig. I delen med störst täckning har bergkvaliteten beräknats till medelbra berg. I den södra delen där bergtäckningen är liten har bergmassans kvalitet bestämts till dålig. De yttersta 10 m närmast påslaget där inspänningen av berget är lägst har Q-värdet reduceras genom att Jn multiplicerats med 2.

## **KM 80 040 – 80 130, Södra förskärningen**

Mindre hållar med gnejsig charnokit finns i området runt bergpåslaget och förskärningen. Bergschaktens höjd varierar från 7-12 m ovan dikesbotten. Jorddjup och jordens sammansättning beskrivs i de geotekniska delarna av undersökningen.

De seismiska mätningarna visar att berget generellt är av god kvalitet. Gånghastigheterna i berg är 5000 – 5300 m/s. Bergmassan i bergschakten för det öppna tråget och för betongtunneln bedöms vara storblockigt söndersprucket. Brantstående sprickor med strykning i 35° och 300° dominerar sprickmönstret. De subhorisontella bankningsplanen är svåra att identifiera i berghällarna men kan antas förekomma.

Bergklassificering har inte utförts för bergmassan i den öppna bergschakten.

## **4. Drivning av bergschakt**

Bergschakten förutsätts drivas med konventionell borrhning och skonsam sprängning. Tunnel drivningen kommer troligen att ske både från söder och från en tillfartstunnel som fungerar som mellanpåslag. Tunnlarna kommer att injekteras samt förstärkas med sprutbetong och bultar.

Längs vissa sträckor kommer sprängning att ske på ett ringa djup under markytan. Tunnelsträckningens läge är i huvudsak under bebyggt område. Detta innebär att det finns stora restriktioner beträffande sprängningsarbeten. Bergschakten har därför delats upp i tre olika klasser beroende på närhet till bebyggelse.

På grund av närheten till bebyggelse kommer arbeten med bergschakt inte att kunna pågå nattetid.

### **4.1 Bergschakt för öppet tråg och betongtunnel**

Bergschakten kommer att utföras som pallsprängning med relativt små salvor för att minimera risken för kast, och begränsa vibrationerna.

Efter spontning och avslutat jordschakt kommer botten- och ridåinjektering på vardera sidan av schakten för det öppna tråget att utföras. För betongtunneln bedöms enbart injektering av botten vara nödvändig. Injekteringen kommer att utföras med cementbaserade injekteringsmedel.

Förstärkningen av det öppna tråget kommer att bestå av ingjutna bergbultar. Vid behov kommer dessutom bergförankring med skyddsnät att utföras.

### **4.2 Bergschakt för södra förskärningen**

Bergschakten kommer att utföras som pallsprängning med relativt små salvor för att minimera risken för kast. Längs södra förskärningen bedöms ingen systematisk injektering vara nödvändig. Förstärkningen av södra förskärningen kommer att bestå av ingjutna bergbultar. Vid behov kommer dessutom bergförankring med skyddsnät att utföras.

### 4.3 Huvudtunnel

Huvudtunneln kommer att utföras som en ca 109 m<sup>2</sup> stor dubbelspårstunnel med nischer för järnvägsspecifik utrustning. Längs tunnelsträckningen finns ett par zoner med mycket dåligt berg. Dessa kan komma att inverka negativt på tunneldrivningen genom att kortare indrifter och ökade förstärkningsinsatser blir nödvändiga. Injektering av huvudtunneln kommer att utföras som kontinuerlig förinjektering med cement. Injekteringen utförs genom skärminjektering i ca 18 m långa framåtriktade hål. Varje injekteringsskärm består av ca 40 hål och överlappningen mellan injekteringsskärmarna skall vara minst 8 m.

Vid injektering av tunneln förväntas inga större problem uppstå. I de områden där spricksystemet i bergmassan är öppet och bitvis starkt vattenförande kan emellertid stora mängder injekteringsbruk komma att behövas. Eventuellt måste slutinläckningskravet skärpas för en begränsad del av tunneln.

Tunneln skall förstärkas i sin helhet. Förstärkningsklasserna har upprättats utifrån förväntad bergkvalitet längs tunneln samt rekommenderad förstärkning enligt Q-systemet.

Bergförstärkningen består i huvudsak av 3 m långa ingjutna bergbultar kompletterade med fiberarmerad sprutbetong. Bultbrickor och fiberarmerad sprutbetong skall på tunnelväggarna täckas med 20 mm oarmerad sprutbetong.

Längs en sträcka av ca 30 m med liten bergtäckning kan det komma att krävas lining av tunnelsektionen. Vatten- och frostisolering kan komma att behöva monteras i avsnitt med fukt och dropp i taket.

### 4.4 Tillfartstunnel

Tillfartstunneln kommer att utföras som en 20 m<sup>2</sup> tunnel i lutning 1:10 med en längd av ca 250 m. Vid markytan kommer nedfarten till tunneln att förses med port. Drivning av tillfartstunneln kommer att utföras i relativt bra berg. Injektering utförs så att minst samma täthet som i huvudtunneln erhålls. Bergförstärkningen kommer att utföras med bultning och vid behov sprutbetong.

### 4.5 Utrymningstunnel

Utrymningstunneln kommer att utföras som en 25 m<sup>2</sup> tunnel belägen parallellt med huvudtunneln. Bergpelaren mellan de båda tunnlarne är 10 m bred. Tvärförbindelser mellan utrymningstunneln och huvudtunneln utförs med ett mellanrum på 300 m. Utrymningstunnelns längd kommer att bli ca 2 391 m (mellan KM 77/165 och 79/556) och anslutning sker till tillfartstunneln.

Injektering av utrymningstunneln kommer att utföras som kontinuerlig förinjektering med cement. Injekteringen kommer att utföras enligt samma princip som i huvudtunneln, men med kortare och färre hål per injekteringsskärm.

Eftersom utrymningstunneln ligger parallellt med huvudtunneln kommer inläckaget i de båda tunnlarne att regleras av ett gemensamt krav på totalt inläckage. Bergförstärkning kommer att utföras enligt samma princip som för huvudtunneln.