



Järnvägsutredning

# Västkustbanan delen Varberg–Hamra



Delrapport Elektromagnetiska fält

## Miljökonsekvensbeskrivning avseende magnetiska fält från tågtrafik i tunnel i Varberg

SAMMANFATTNING .....	2
1. INLEDNING.....	4
2 BERÄKNINGSFÖRUTSÄTTNINGAR .....	4
3. BESKRIVNING AV DRIFTSFALLEN .....	6
3.1 PROGNOFÖR TÅGTRAFIK GENOM TUNNELN ÅR 2010.....	8
4 BERÄKNING AV STRÖMMARNA I TUNNELN .....	8
4.1 STRÖMBERÄKNINGAR FÖR FEM TÅGLÄGEN .....	10
5. MAGNETISKA FRÅN ELEKTRISKA TÅG .....	12
6 RESULTAT AV MAGNETFÄLTSBERÄKNINGARNA.....	14
6.1 MAGNETFÄLT VID TUNNELMYNNING FRÅN DUBBELSPÅRSTUNNEL .....	14
6.2 MAGNETFÄLT VID TUNNELMYNNING FRÅN TVÅ ENKELSPÅRSTUNNLAR.....	20
6.3 MAGNETFÄLT VID TUNNELMITT, FRÅN DUBBELSPÅRSTUNNEL .....	23
6.4 MAGNETFÄLT VID TUNNELMITT, FRÅN TVÅ ENKELSPÅRSTUNNLAR .....	26
6.5 ÅRSMEDELVÄRDEN FÖR MAGNETFÄLTEN .....	29
7 DISKUSSION .....	31
8 MYNDIGHETERNAS SYN.....	33
9. SLUTSATSER.....	35
LITTERATUR .....	38
BERÄKNINGS OCH RESULTATBILAGOR.....	39

### Sammanfattning

Syftet med denna rapport är att ge en redogörelse av eventuella miljökonsekvenser av de elektromagnetiska fälten från en planerad järnvägstunnel under delar av Varberg. Tågtrafiken kommer att ge upphov till magnetiska fält kring järnvägen. I den planerade tågtunneln i Varberg, har man redan på planeringsstadiet studerat lösningar som innebär en reduktion av magnetfältsexponeringen från tågtrafiken. Viktiga komponenter i detta är att tunneln planeras med en stationsgräns med avbrott i kontaktledningen omedelbart söder om tunneln. Matningsström för bansträckningen söder om denna stationsgräns går via en kabel som innehåller fram- och återledare, vilket innebär att magnetfält från tågströmmar, från tåg söder om tunnel, ger ett försumbart bidrag. Vidare planeras tunneln med sugtransformatorer direkt före och efter tunneln, med en jordpunkt inne i tunneln.

Under dessa förutsättningar har magnetfälten beräknats för de olika tågtyper som kommer att trafikera tunnel. Beräkningarna visar att magnetfälten kan nå upp till 3,7  $\mu\text{T}$ , en meter över marknivå i den punkt där bergtäckningen är minst. Detta beräknat för värsta fall med tyngsta tåg (ståltåg) och enkelspårstunlar. Vid sådana nivåer ligger man över gränsen till tekniska störningar på bildskärmar och TV. För att säkert undvika sådana störningar måste magnetfältet vara under ca 0,5  $\mu\text{T}$ . Detta gör att sådana kortvariga störningar inte kan uteslutas på höjden 1 m över mark vid de hus som ligger med minst bergtäckning.

När det gäller skydd för akuta hälsoeffekter, kommer det att införas begränsningar för allmänhetens magnetfältsexponering. Enligt Statens strålskyddsinstitutets remissutgåva kommer denna begränsning att ligga vid 300  $\mu\text{T}$  vid 16,7 Hz, vilket innebär att fälten från tunneln kommer att klara denna gräns med god marginal.

Det finns också misstankar om långsiktiga hälsorisker av magnetfältsexponering. För att ta hänsyn till även dessa eventuella risker, har myndigheternas försiktighetsprincip om lågfrekventa elektriska och magnetiska fält formulerats: **“Om åtgärder, som generellt minskar exponeringen, kan vidtas till rimliga kostnader och konsekvenser i övrigt bör man sträva efter att reducera fält som avviker starkt från vad som kan anses normalt i den aktuella miljön. När det gäller nya elanläggningar och byggnader bör man redan vid planeringen sträva efter att utforma och placera dessa så att exponeringen begränsas.** Det övergripande syftet med för-

siktighetsprincipen är att på sikt reducera exponeringen för magnetfält i vår omgivning för att minska risken att människor eventuellt kan skadas.“

Denna princip har varit vägledande för planeringen av tunneln. När det gäller de eventuella långsiktiga effekterna, är det framförallt magnetfältens årsmedelvärde man vill begränsa. I försiktighetsprincipen anges ingen högsta tillåtna nivå. De hårdaste kraven har ställts på lokal och regional nivå. Här har man i både Stockholm och Malmö ställt krav på att årsmedelvärdet av magnetfältet, från nya elektriska anläggningar, i bostäder, skolor och daghem skall understiga  $0,2 \mu\text{T}$ . Detta krav har bland annat varit vägledande för projekteringen av Citytunneln i Malmö.

För Varbergs kommun finns inget beslut om något lokalt krav på magnetfältsnivåerna. Om man, trots detta, tillämpar lika hårda krav som i Stockholm och Malmö på årsmedelvärdet av magnetfältet, visar det sig, att med det föreslagna utförandet av tunneln, kan man klara detta krav i samtliga hus ovan tunneln. Vid det hus som har minst bergtäckning (ligger direkt efter tunnelmynningen) beräknas årsmedelvärdet av magnetfältet, 1 m över mark, till  $0,14 \mu\text{T}$  för dubbelspårtunnelalternativet och  $0,18 \mu\text{T}$ , för alternativet med två enkelspårtunnlar. För alla övriga hus erhålls lägre nivåer, tack vare större bergtäckning. Årsmedelvärdet i huset med minst bergtäckning kan enkelt reduceras något ytterligare, genom att flytta jordpunkten för sugtransformatorerna inne i tunnel närmare huset. Åtgärden har dock begränsad verkan, en flytt av jordpunkten på 300 m, skulle reducera årsmedelvärdet med ca 4 %.

Slutsatsen av utredningen är, att genom att vidta de ovan nämnda åtgärderna, kan årsmedelvärdet av de magnetiska fälten från tåget begränsas till under  $0,2 \mu\text{T}$ , i samtliga hus ovan tunneln. Detta innebär att magnetfältet klarar både kommande gränsvärden, myndigheternas försiktighetsprincip och de strängaste lokala kraven som ställts i Malmö och Stockholm.

## **1. Inledning**

Banverket håller på att bygga ut Väst kustbanan till dubbelspår. I samband med detta, planerar man bygga en tågtunnel, under delar av Varbergs stadskärna. Syftet med denna rapport är att ge en redogörelse av eventuella miljökonsekvenser av de elektromagnetiska fälten från de planerade järnvägsspåren. Rapporten har utarbetats på uppdrag av Scandiaconsult Sverige AB, Region Väst, Carl Johan Boke och Joakim Jonsson.

Projekteringen av tunneln har ännu inte kommit så långt, varför jag, i samråd med Per Rosquist och Erik Nilsson på Banverket, Västra banregionen, har gjort vissa antaganden avseende spårläge, sugtransformatorplacering, utformning och förläggning av jordledare, återledare, matarledning, strömmässigt avbrott på kontaktledningarna, förbindelsetunnlar mellan tunnelrören etc.

I denna rapport, beräknar jag de magnetiska fälten från tågen, 1 m ovan mark och högre upp, vid första huset efter tunnels början vid Varbergs station (avståndet 77280 m), eftersom bergtäckningen är minst här. Dessutom beräknas fälten vid tunnelns mitt (avståndet 78650 m), då strömfördelningen skiljer sig från den vid tunnels början här, samt att det finns ett lokalt minima avseende bergtäckningen här. Jag genomför detta för fem tågpositioner i tunneln samt ett försök till uppskattning av årsmedelvärde. Jag avslutar med en diskussion.

## **2 Beräkningsförutsättningar**

Beräkningarna har genomförts under följande förutsättningar:

- Spårplaner enligt järnvägsutredning 2002-06-05, fall SMTÖ har använts. Avstånd angivna i dessa spårplaner har använts.
- Tunneln strömförsörjs endast från norr (omformarstation Varberg), kontaktledningarna har vid stationsgränsen, direkt söder om tunneln, ett avbrott.
- Strömförsörjningen av banan söder om tunneln sker via en tunnelförlagd förbigångskabel, med fram- och återledare i samma kabel, dvs. tåg utanför tunneln drar ingen ström via tunnelns kontaktledning. Eftersom fram- och återledare ligger tätt ihop i samma kabel, kommer magnetfälten från de två ström-

marna, som skall vara lika stora, tack vare banans sugtransformatorer, att i stort sett ta ut varandra. Jag har därför försummat magnetfältet från denna kabel, på de avstånd där magnetfälten beräknats.

- En sugtransformator placeras på avståndet 76800 m, direkt norr om tunneln. Denna transformator har en sugpunkt (jordpunkt) inne i tunnlarna på avståndet 78400 m.
- Beräkningarna har utförts för två alternativ: 1). En dubbelspårstunnel med c/c-avståndet 4,5 m. 2). Två enkelspårstunnlar med c/c-avståndet 20 m mellan spåren.
- S-rälerna antas ligga ytterst i tunneln för båda spåren.
- Kontaktledningen med bärlina 70 mm<sup>2</sup> kopparbrons, kontakttråd 120 mm<sup>2</sup> kopparbrons, kontakttråd 5,5 m över RÖK (RälsÖverKant). Medelhöjd på bärlinan 0,8 m över kontakttråd. På grund av att större delen av strömmen går i kontakttråden kommer medelhöjden för strömmen att bli 5,8 m över RÖK.
- Det finns två samlingsjordlinor, 120 mm<sup>2</sup> Cu, per spår, dessa placeras 5 m över RÖK, 3,5 m ut från rälsmitt, på samma sida som S-rälerna. Var 300:e m finns en tvärförbindelse som förbinder de två spårens S-räler och samlingsjordledare.
- Det finns två återledare, vardera 212 mm<sup>2</sup> Al, placerade 5,9 m respektive 6,2 m över RÖK, 3 m ut från spårmitt på samma sida som S-rälerna.
- Tågen går normalt med vänstertrafik genom tunneln.
- Jag har räknat med en effektfaktor på 0,9 och en spänning på 16 kV då vi befinner oss nära omformarstationen, varför spänningsfallet bör vara litet fram till beräkningspunkten.

**Avstånd järnvägstunnel Varberg, alla avstånd i meter från Göteborg**

72500 Matning Varberg.

76800 Placering av sugtransformatorer, norr om tunneln, på båda spåren i modellen (Här finns det i verkligheten fler parallella spår, varför det troligen behövs ytterligare transformatorer).

77200 Här lägger vi första tvärförbindelsen. Tvärförbindelser skall ske var 300:e m. Tvärförbindelserna skall ligga där förbindelsetunnlarna ligger i tvåtunnelalternativet, på de ritningar jag har tillgång till finns inga tvärtunnlar inlagda och i enkeltunnelalternativet finns utrymningstunnlar men dessa ligger mer än 300 m från varandra varför tvärförbindelsen måste ligga tätare. Jag har därför valt att lägga tvärförbindelserna var 300:e m i modellen.

77230 Bergtunnel startar.

77500 Andra tvärförbindelsen.

77800 Tredje tvärförbindelsen.

78100 Fjärde tvärförbindelsen.

78400 Femte tvärförbindelsen, samt jordpunkt.

78700 Sjätte tvärförbindelsen.

79000 Sjunde tvärförbindelsen.

79300 Åttonde tvärförbindelsen.

79600 Nionde tvärförbindelsen.

79900 Tionde tvärförbindelsen.

80080 Tunnel slut.

80200 Elfte tvärförbindelsen och en sugtransformator på varje spår.

81300 Stationsgräns, avbrott i kontaktledning, jordpunkt.

Ett impedansnät för S-räler och samlingsjordledare visas i bilaga 1.

### **3. Beskrivning av driftsfallen**

Tunneln är en blocksträcka, vilket innebär att det aldrig kan finnas mer än ett tåg, per spår inne i tunneln. Av Per Rosquist har jag erhållit utskrifter från ett gångtidsberäkningsprogram. Eftersom tiden ges för varje delsträcka kan effekten och därmed den förbrukade strömmen beräknas för olika tågtyper i tunneln. Per har kontaktat Anders Bülund på Banverkets huvudkontor, som säger att effektberäkningarna är OK, men att

de bör sänkas med 10 % (vilket har verifierats genom mätningar). Beräkningar har gjorts för följande tåg:

Tåg 1 passagerartåg X2000, vikt 343 ton.

Tåg 18 passagerartåg Öresundståg, två multippelkopplade enheter, vikt 366 ton

Tåg 25 passagerartåg Regina X50, vikt 142 ton

Tåg 101 passagerartåg motorvagn X10, vikt 123 ton

Tåg 470 godståg ett RC4-lok, vikt 1400 ton.

Tåg 511 godståg ståltåg två RC4-lok, vikt 2556 ton.

Strömdata som erhållits från gångtidsberäkningarna för sträckan Hamra – Varberg, respektive Varberg – Hamra, redovisas i tabell 1. Spänningen har satts till 16 kV, då vi befinner oss nära omformarstationen, räkningarna har gjorts med effektfaktor på 0,9.

Tåg typ	Antal lok	Antal vagnar	Tåg mot nord/syd	Stopp Varberg	Korr. energi (kWh)	Tid (s)	Ström (A)
1 X2	1	6	Nord	Ja	8	132	15
1 X2	1	6	Syd	Ja	148	204	181
1 X2	1	6	Syd	Nej	76	125	151
18 OTU	3	6	Syd	Ja	177	188	236
18 OTU	3	6	Syd	Nej	90	124	181
25 Regina X50	1	2	Syd	Ja	68	173	98
25 Regina X50	1	2	Syd	Nej	40	124	81
101 X10 motorvagn	1	0	Syd	Ja	57	183	78
101 X10 motorvagn	1	0	Syd,	Nej	35	146	60
470 RC4	1	33	Syd	Ja	227	520	109
470 RC4	1	33	Syd	Nej	177	215	206
511 RC4	2	25	Syd	Ja	440	448	246
511 RC4	2	25	Syd	Nej	288	231	311

**Tabell 1.** Energi och strömförbrukning på sträckan Varberg – Hamra, vilken innefattar tunnelsträckningen. Energiförbrukningen har korrigerats till 90% av den energi som erhålls från gångtidsberäkningarna.



I simuleringarna har vi lagt in följande 5 tåglägen:

1. tåg på positionen 77100 m nedspår.
2. tåg på positionen 77100 m uppspår.
3. tåg på positionen 79900 m nedspår.
4. tåg på positionen 79900 m uppspår.
5. tåg på positionen 77500 m nedspår.

### 3.1 Prognos för tågtrafik genom tunneln år 2010

För att uppskatta årsmedelvärdet av magnetfältsexponeringen har jag använt följande prognos för år 2010, som jag erhållit från Per Rosquist:

35 st. godståg, varav ca 4 stannar i Varberg. En del tåg går tomma, men för att inte underskatta strömmarna räknar vi medeltåget som tåg 470.

34 st. passagerartåg, lika många i vardera riktning, alla stannar i Varberg. Här antar vi att hälften är som tåg 10 (Öresundståg) och hälften som tåg 25 (Reginatåg).

16 st. X2-tåg, lika många i vardera riktning, varav 6 stannar, vi använder strömdata från tåg 1.

Det finns även pendeltåg från Göteborg X10-typ, dessa vänder i Varberg och trafikerar därför ej tunneln.

För södergående tåg används strömdata från tabell 1, med hänsyn till eventuellt tåg-stopp i Varberg. För norrgående tåg, som ej stannar i Varberg, används samma strömdata som för södergående tåg som ej stannar. Norrgående tåg som stannar i Varberg, rullar på tomgång eller bromsar i tunneln, varför deras strömförbrukning i själva tunneln sätts till noll. Se exemplet stannande norrgående tåg 1, i tabell 1, som endast förbrukar 8 kWh på sträckan Hamra – Varberg.

## 4 Beräkning av strömmarna i tunneln

För att kunna beräkna magnetfältet från tågtunneln, måste strömmarnas fördelning i kontaktledning, återledare, jordledare och S-räl, för de två spåren beräknas. Denna

beräkning har utförts genom att strömmarna beräknas för varje tåg och sedan superponerats. Härvid har hänsyn tagits till strömmens riktning i respektive ledare. Strömmarnas effektivvärden har adderats. Detta förfarande gäller för 16,6 Hz sinusformad tidsvariation hos strömmarna. Detta är inte helt fallet för strömmarna till tågen, men då strömmens kurvform inte är känd för enskilda tåg, i ett givet ögonblick, får denna approximation anses som den bästa för detta fall. När strömmen i kontaktledarna går genom sugtransformatorer sugas en lika stor ström upp i återledarna. Jag har vid denna beräkning antagit ideala sugtransformatorer, dvs. att lika stor ström går i kontaktledning och återledare vid sugtransformatorerna.

Strömmarnas fördelning i respektive ledningar i upp och nedspår, beror på impedanserna hos respektive ledare. Genom att uppskatta dessa impedanser har strömfördelningen kunnat beräknas. I tunneln finns två jordledare per spår, dessa är förbundna med S-rälen, var 300:e m. Jordledare och S-räl för de två spåren är tvärförbundna minst var 300:e m (i tvätunnelalternativet via tvärtunnlar). Detta innebär att när ett tåg, i tunneln, drar ström via kontaktledningen till S-rälen, så kommer denna ström att dela upp sig på S-räl och jordledare på *båda* spåren. När tåget rör sig får vi en komplex strömbild i dessa ledare. För att i detalj studera denna strömbild har vi skapat en kretsmodell, över S-räl, jordledare och tvärförbindelser, som beskriver alla impedanser, i dessa ledare, se bilaga 1, figur 1. Denna kretsmodell utvidgas sedan med kontaktledning, återledare och sugtransformatorer. Här läggs de olika tågen in som strömkällor och kretsens strömmar, i samtliga ledare, beräknas med hjälp av kretssimuleringsprogrammet P-spice. De två jordledarna och S-rälen är parallellkopplade för vardera spår. För att förenkla modellen har S-räl och jordlinornas impedans representerats med nettoimpedansen mellan varje tvärförbindelse. S-rälen har en impedans på 0,022 mohm/m och de två jordledarna har en sammanlagt impedans på 0,14 mohm/m. I kretsschemat anges den sammanlagda strömmen i S-räl och de två jordlinorna. Beroende på impedansförhållandena kommer 14% av strömmen att gå i de två jordledarna och 86% i S-rälen.

Strömmen måste gå i kontaktledningen till tågen. De två spårens kontaktledningar är ej förbundna i tunneln varför kontaktledningsströmmarna måste följa "sitt spår". Impedanserna är proportionella mot kontaktledningarnas längder. För att modellera dessa längder har vi ansatt längden i meter som "motståndsvärde" i P-spice schemat. Kretsschemat redovisas i bilaga 1, figur 2.

I detta schema har tåg i de fem valda positionerna lagts in med enhetsströmmen 100 A per tåg. Då strömmarna i ledarna är direkt proportionella mot tågets totalström, kan de olika tågen i tabell 1 enkelt simuleras, genom att multiplicera de erhållna värdena med (aktuell tågström/100). Strömberäkningarna redovisas i ett kretsschemor där de olika ledningsdelarna representeras av motstånd. Strömmarna anges i svarta boxar i kretsfigurerna. Boxarnas placering anger vilken sida av motståndet som strömmen *går in* i motståndet. När man studerar strömfördelningen är det viktigt att observera enheten efter strömgivelsen, A, mA, nA eller A med tiopotens. Programmet anger hur små strömmar som helst. Det är naturligtvis endast strömmar med amperestyrka som är intressanta ur magnetfältssynpunkt. Strömstyrkor i nA är i praktiken likvärdigt med ingen ström.

Programmet placerar automatiskt ut strömboxarna, vilket innebär att de på några figurer, delvis hamnat över varandra, vilket gör att några strömvärden inte går att läsa i figurerna. I samtliga beräkningar har dock de riktiga strömvärdena används.

#### 4.1 Strömberäkningar för fem tåglägen

Simuleringar har genomförts med tåg placerade enligt de fem tåglägen som angivits i avsnitt 2. Strömfördelningen för dessa tåglägen redovisas i bilaga 1, figurerna 3 – 7. I tabell 2 redovisas samtliga strömmar från vart och ett av tågen, från P-spiceberäkningarna vid avståndet 77280 m (första huset efter tunnelmynningen). I tabell 3 redovisas motsvarande värden på avståndet 78650 m (Köpstadsvägen). Jag har därvid utgått från de enskilda simuleringarna av ett tåg i taget. Detta är gjort för att illustrera verkan av varje enskilt tåg. För magnetfältberäkningen räcker det att justera till aktuell tågström och sedan summera strömmarna, i berörda snitt, från beräkningen med de i tunneln aktiva tågen. Positiv strömriktning definieras som söderut.

I tabell 2 har jag också sett på fallen med två tåg som möts i tunneln. Då totala antalet tåg prognostiseras till 42-43 per dygn i vardera riktningen år 2010, kommer endast några få av dessa att mötas just i tunneln. För årsmedelvärdesberäkningarna spelar dessa möten försumbar roll. De skulle däremot kunna ge upphov till högre momentanvärden än vid passage av ett tåg. Detta gäller endast ett södergående tåg som möter ett norrgående tåg som inte stannar i Varberg, då de norrgående tågen som stannar i Varberg nästan inte drar någon ström vid tunnelpassagen. Högst momentanvärden erhålls

där bergtäckningen är minst, dvs på avståndet 77280 m. För detta avstånd har strömmarna beräknats för fyra olika fall av tågmöte. Fall 6 beräknas för tåg i tågläge 4 och 5, fall 7 för tåg i tågläge 1 och 4, fall 8 för tåg i tågläge 2 och 5, fall 9 för tåg i tågläge 2 och 3. Strömfördelningen för dessa tågmöten redovisas i bilaga 1, figurerna 8 – 11. De angivna strömvärdena gäller både för dubbel- och enkelspårstunnelfallen.

**Tabell 2. Strömfördelning vid första huset (77280 m)**

	<b>Tunnel</b>	<b>Nedspår</b>			<b>Tunnel</b>	<b>Uppspår</b>		
	Kontaktledning	Återledare	Jordledare sammanlagt	S-räl	Kontaktledning	Återledare	Jordledare sammanlagt	S-räl
Tågfall 1 100 A	0 A	-100 A	8 A	48,5 A	0 A	0 A	6 A	37,5 A
Tågfall 2 100 A	0 A	0 A	6 A	37,5 A	0 A	-100 A	8 A	48,5 A
Tågfall 3 100 A	100 A	-100 A	0 A	0 A	0 A	0 A	0 A	0 A
Tågfall 4 100 A	0 A	0 A	0 A	0 A	100 A	-100 A	0 A	0 A
Tågfall 5 100 A	100 A	-100 A	-0,8 A	-5,3 A	0 A	0 A	0,8 A	5,3 A
Tågfall 6 100+100 A	100 A	-100 A	-0,8 A	-5,3 A	100 A	-100 A	0,8 A	5,3 A
Tågfall 7 100+100 A	0 A	-100 A	8 A	48,5 A	100 A	-100 A	6 A	37,5 A
Tågfall 8 100+100 A	100 A	-100 A	5,2 A	32,2 A	0 A	-100 A	8,8 A	53,8 A
Tågfall 9 100+100 A	100 A	-100 A	6 A	37,5 A	0 A	-100 A	8 A	48,5 A

**Tabell 3. Strömfördelning vid tunnelmitt Köpstadsvägen (78650 m)**

	<b>Tunnel</b>	<b>Nedspår</b>			<b>Tunnel</b>	<b>Uppspår</b>		
	Kontaktledning	Återledare	Jordledare sammanlagt	S-räl	Kontaktledning	Återledare	Jordledare sammanlagt	S-räl
Tågfall 1 100 A	0 A	0 A	-0,9 A	-5,3 A	0 A	0 A	0,9 A	5,3 A
Tågfall 2 100 A	0 A	0 A	0,9 A	5,3 A	0 A	0 A	-0,9 A	-5,3 A
Tågfall 3 100 A	100 A	0 A	-7,9 A	-48,3 A	0 A	0 A	-6,1 A	-37,7 A
Tågfall 4 100 A	0 A	0 A	-6,1 A	-37,7 A	100 A	0 A	-7,9 A	-48,3 A
Tågfall 5 100 A	0 A	0 A	-0,9 A	-5,3 A	0 A	0 A	0,9 A	5,3 A

## 5. Magnetiska från elektriska tåg

De magnetiska fälten bildas av de strömmar som matas till loket. Även de elektriska apparaterna inne i loket som motorer etc. ger upphov till fält. Dessa källor inne i loket avtar dock snabbt med avståndet (tredjepotensen på avståndet) varför det framförallt är lokföraren som utsätts för dessa fält. I hus som ligger nära ledningen har lokets fält avtagit så att det är den matande strömmen i kontaktledningen samt återgångsströmmen i räl, eller återledare, som alstrar det dominerande magnetfältet. Detta innebär att det bildas magnetfält vid spåret, inte endast när tåget passerar, utan också under den tid som tåget matas via kontaktledningen. Spårets strömmatning är sektionerad med sk sugtransformatorer på ca var 5:e km. Detta innebär att strömmen går i rälen till sugtransformatorn och sugas sedan upp till en stolp- eller bergväggsförlagd återledarkabel. Det är under tiden tåget går inom denna sektion som det alstras starkast magnetfält vid spåret. Det innebär att detta magnetfält typiskt får en varaktighet på några minuter. Praktiska mätningar som genomförts visar att så är fallet, se Ivarsson och Hasselgren (1993). När tåget har lämnat denna sugtransformatorsektion går framströmmen i kontaktledningen och returströmmen i återledaren i normalfallet. För Varbergstunneln planeras en stationsgräns med avbrott i kontaktledningen direkt efter tunnel (81300 m). Det innebär att tåg söder om denna gräns matas via en separat matningskabel genomtunneln. Då denna kabel innehåller fram och återledare kommer magnetfälten från de framgående strömmarna att kompenseras av fälten från återgångsströmmarna, varför kabelns bidrag blir försumbart uppe i husen ovan tunneln.

### Teori för magnetfält

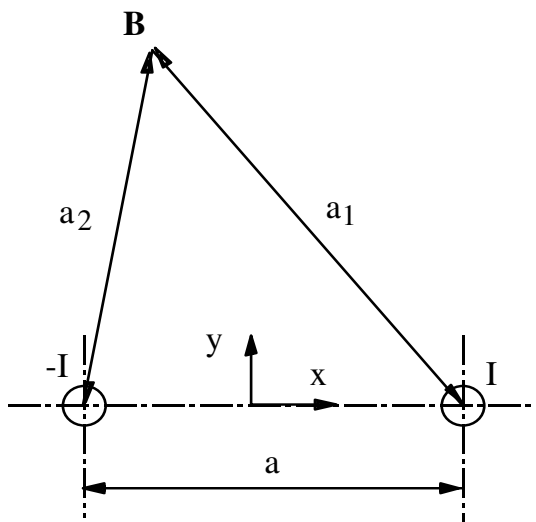
Den magnetiska källan måste ses som en sluten slinga. Det innebär att en strömgenomfluten ledare och dess återledare tillsammans ses som en magnetisk källa. I denna situation är den magnetiska källan varierande till sin karaktär beroende på var tåget befinner sig på spåret. Den mest kritiska situationen uppkommer då en ledare och dess återledare är som mest separerade geografiskt, dvs det är då det magnetiska fältet är som störst. Det uppkommer en stor "magnetisk dipol" då strömmen går i kontaktledningen och tillbaka i rälen och en mindre då strömmen går i återledaren.

Om vi försummar markens inverkan och förutsätter att sugtransformatorn är ideal så kan summan av strömmarna i kontaktledning, återledare, räl och eventuella jordledare i ett snitt sägas vara noll. För en linjedipol i luft finns analytiska uttryck för magnetfäl-

tet i dess omgivning, se Smythe (1950). Med en geometri enligt figur 4.1 fås följande uttryck för magnetiska flödestätheten  $\mathbf{B}$ :

$$B_x = \frac{Iy}{2} \frac{1}{a_2^2} - \frac{1}{a_1^2} \quad (4.1)$$

$$B_y = -\frac{I}{2} \frac{x + \frac{1}{2}a}{a_2^2} + \frac{x - \frac{1}{2}a}{a_1^2} \quad (4.2)$$



Figur 4.1. Geometri för tvärsnittet av en linjedipol (oändligt lång) som leder strömmen  $I$ . Positiv ström är definierad som gående ut ur planet.

Fälten avtar med avståndet både uppåt och åt sidorna. De hus som kommer att ligga närmast spåret i tunneln är de som ligger rakt ovanför tunneln, där tunneln ligger som grundast. Beroende på var i tunneln vi befinner oss och var lok befinner sig får vi ett stort antal olika belastningsfall. För många belastningsfall blir strömbilden mer komplicerad, än i ovanstående beskrivning, med ström även i jordledare och i den andra tunneln. Därför har ett datorprogram utvecklats för beräkningarna.

Beräkningarna genomförs för två tunnelalternativ:

- En dubbelspårstunnel med c/c-avståndet 4,5 m.
- Två enkelspårstunnlar med c/c-avståndet 20 m mellan spåren.

Vi har genomfört beräkningarna 1 m respektive 5 m över mark, för två positioner:

- Vid första huset efter bergtunnelmynningen vid station (77280 m), tunneldjup mark till RÖK i tunneln 15 m.
- Vid tunnelmitt (78650 m), nära där Köpstadsvägen går över tunneln, tunneldjup mark till RÖK i tunneln 23 m.

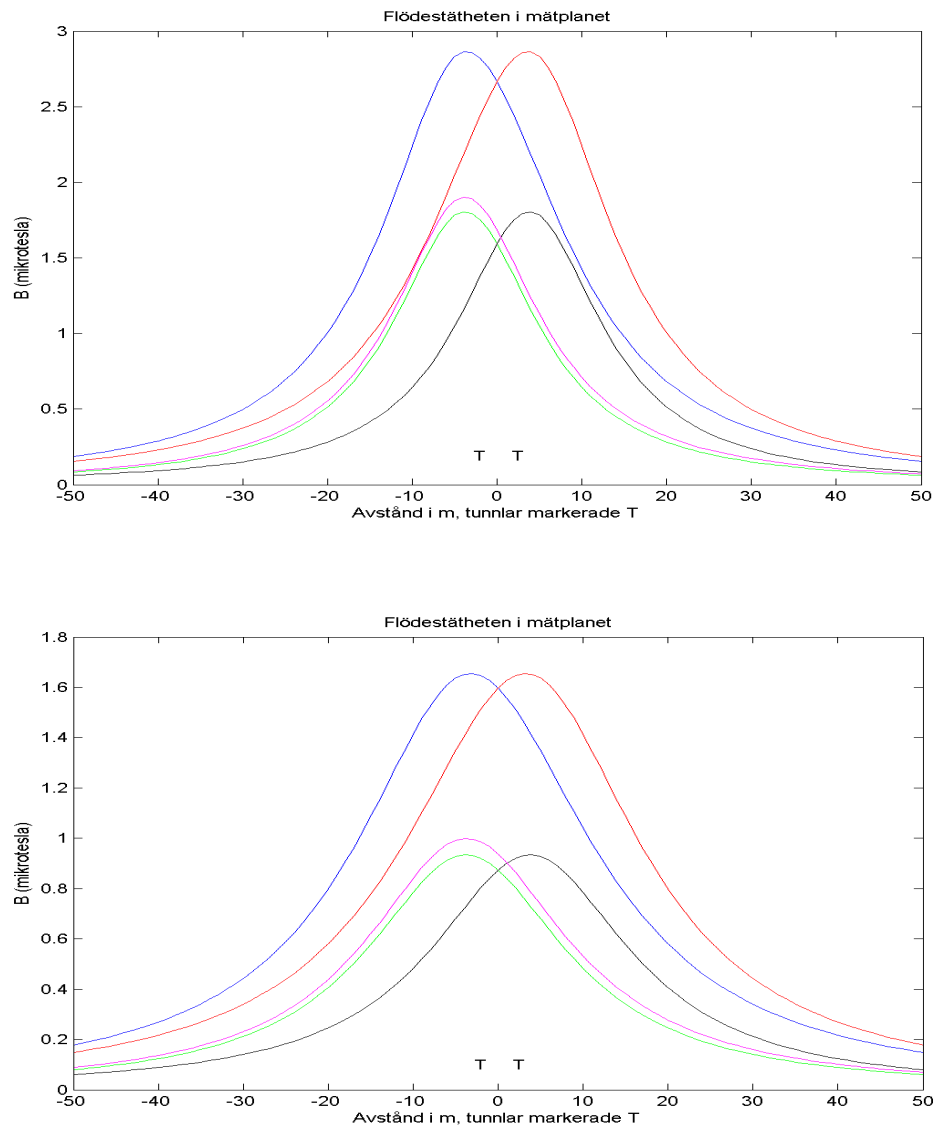
Simuleringar har genomförts för de ovan beskrivna belastningsfallen. Beräkningarna har genomförts i en tvådimensionell modell som byggts upp i programmet Matlab. Strömmarna i samtliga ledare i beräkningssnittet ansätts enligt de tidigare redovisade strömberäkningarna och magnetfältsvektorerna från samtliga ledare i beräkningssnittet, beräknas genom vektorsummering i varje punkt längs beräkningslinjen.

## **6 Resultat av magnetfältsberäkningarna**

Simuleringarna av magnetfälten för de olika fallen, redovisas i avsnitten 6.1 – 6.2 vid tunnels mynning och i avsnitten 6.3 – 6.4 vid Köpstadsvägen. Simuleringarna har genomförts för två fall; dubbelspårstunnel respektive två enkelspårstunnelar. Vid dessa simuleringar har olika tågströmmar enligt tabell 1 använts.

### **6.1 Magnetfält vid tunnelmynning från dubbelspårstunnel**

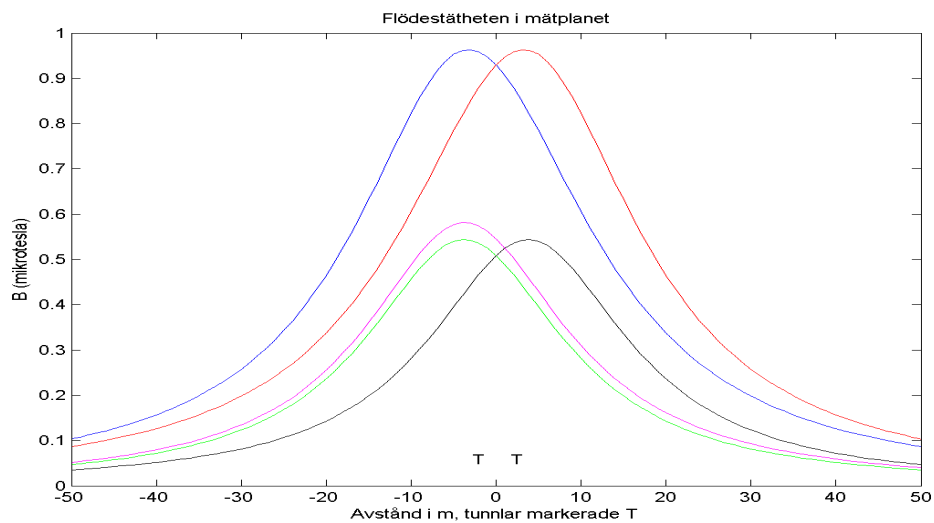
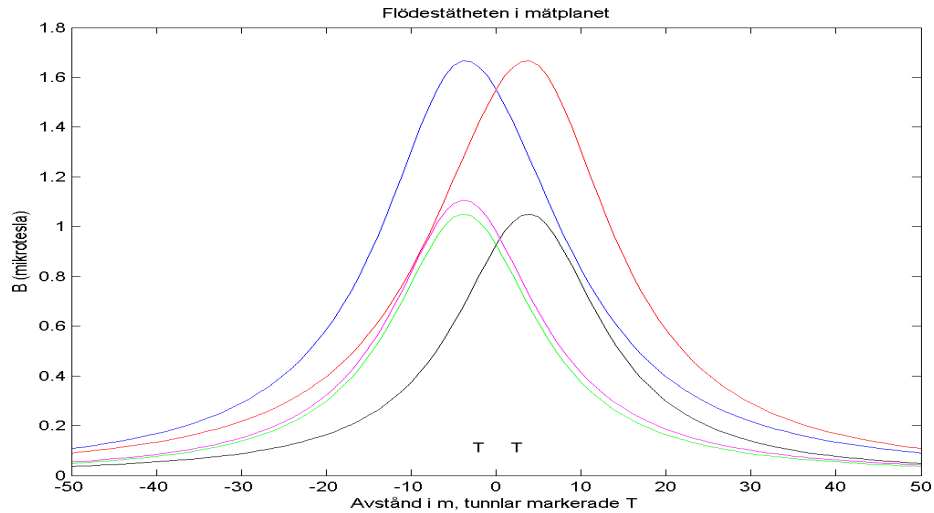
I detta avsnitt redovisas simuleringar av magnetfältet 1 m respektive 5 m, över mark vid första huset efter bergtunnelmynningen vid station (77280 m), tunneldjup mark till RÖK i tunneln 15 m. Tunneln är en dubbelspårstunnel med c/c avståndet 4,5 m mellan spåren. I figur 6.1 redovisas magnetfältet för den största enskilda tågströmmen från tabell 1; 311 A (ståltåg utan stopp i Varberg).



Figur 6.1. Beräknat magnetfält 1 m över mark (överst), samt 5 m över mark (underst), för dubbelspårstunnelfallet, vid första huset efter bergtunnelmynningen vid station (77280 m). Beräknat för en ström på 311 A (motsvarar ståltåg utan stopp i Varberg). Linjefärger: tågposition 1 blå, 2 röd, 3 grön, 4 svart och 5 lila.

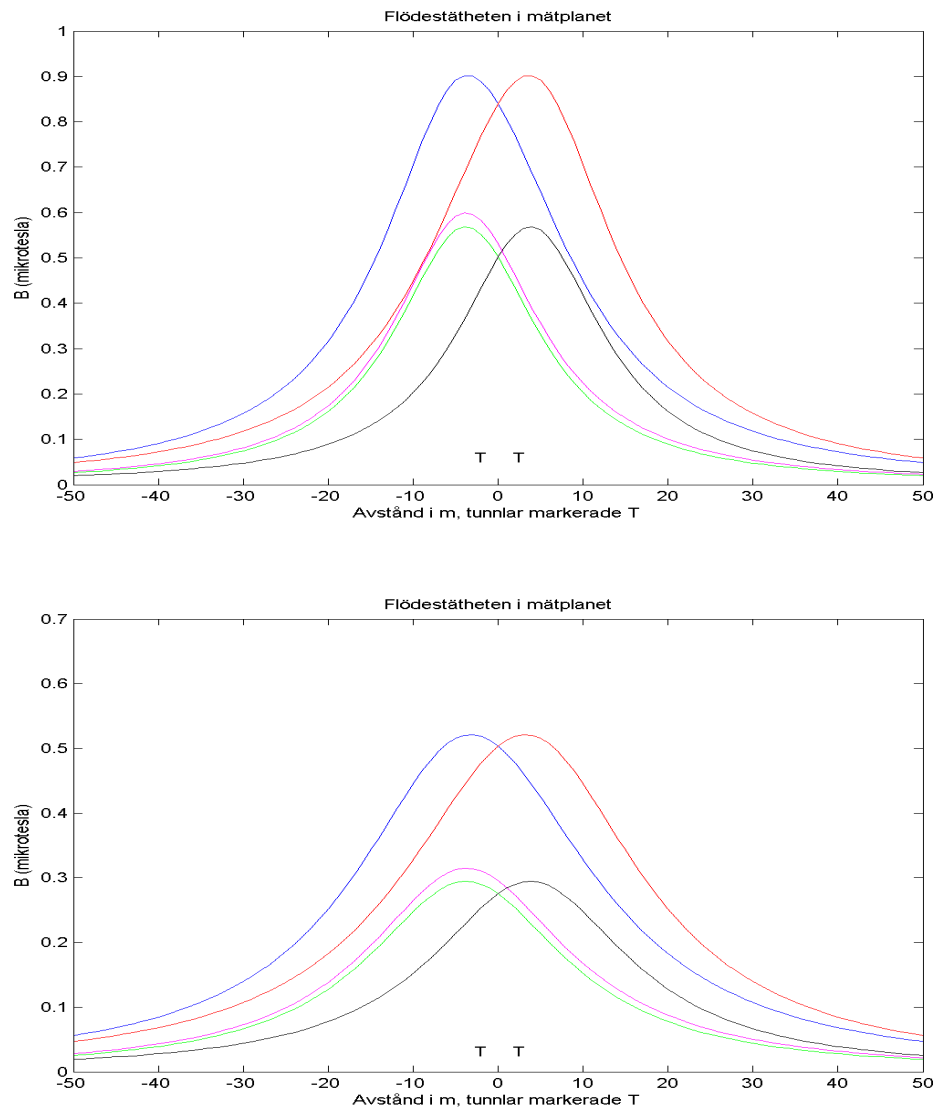
I figur 6.2 redovisas magnetfältet från ett tåg som drar en ström på 181 A, vilket motsvarar ett sydgående X2000 med stopp i Varberg. Av tabell 1 framgår att även Öresundståget drar 181 A, för fallet ej stopp i Varberg, men detta är av mindre intresse då samtliga Öresunds- och Reginatåg kommer att stanna i Varberg.





Figur 6.2. Beräknat magnetfält 1 m över mark (överst), samt 5 m över mark (underst), för dubbelspårstunnelfallet, vid första huset efter bergtunnelmynningen vid station (77280 m). Beräknat för en ström på 181 A (motsvarar sydgående X2000-tåg med stopp i Varberg). Linjefärger: tågposition 1 blå, 2 röd, 3 grön, 4 svart och 5 lila.

I figur 6.3 redovisas magnetfältet från ett tåg som drar en ström på 98 A, vilket motsvarar ett sydgående Reginatåg med stopp i Varberg.

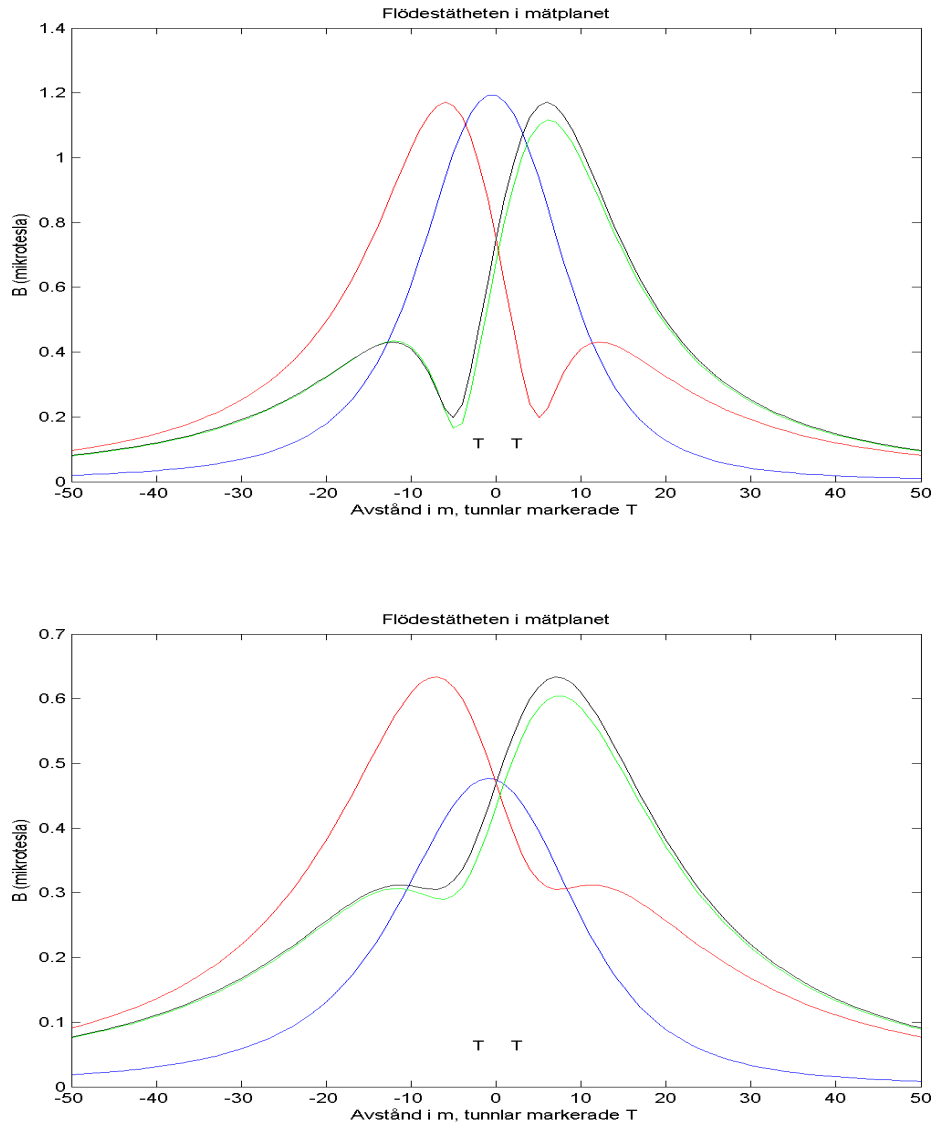


Figur 6.3. Beräknat magnetfält 1 m över mark (överst), samt 5 m över mark (underst), för dubbelspårstunnelfallet, vid första huset efter bergtunnelmynningen vid station (77280 m). Beräknat för en ström på 98 A (motsvarar sydgående Reginatåg med stopp i Varberg). Linjefärger: tågposition 1 blå, 2 röd, 3 grön, 4 svart och 5 lila.

Vid tågmöte i tunneln kan naturligtvis strömmarna i tunneln bli större, för att få ett mått på ett möjligt maximalvärde har simuleringar även utförts för tågmöten. Eftersom bergtäckningen är minst vid tunnelmynningen har jag genomfört dessa simuleringar av magnetfälten vid denna position. Jag har då utgått från tågfallen 6 – 9. För att strömmaxvärde skall uppnås, måste det nordgående tåget vara ett tåg som ej stannar i Var-

berg. Då det är fler tåg under dagtid, är det sannolikast att mötet sker då, vilket innebär att det huvudsakligen är persontåg som är aktuella. Persontågen drar mellan 81 och 236 A enligt tabell 1, detta intervall omfattar även godståg med 1 RC4-lok. För att inte underskatta ett eventuellt maxvärde, ansätter jag att vardera tåget drar 200 A. Beräkningarna av magnetfälten vid tågmöte redovisas i figur 6.4, för fallen 6 – 9.

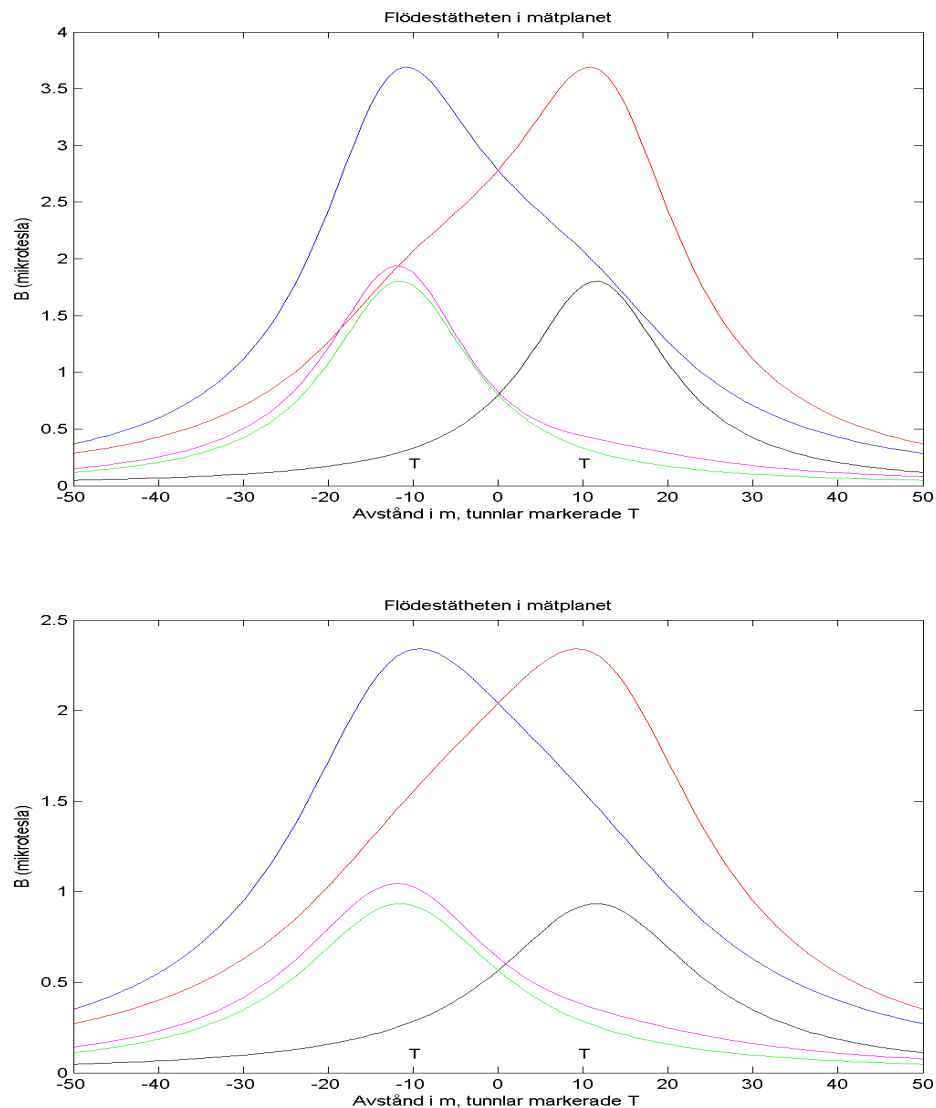
Som framgår av figuren 6.4, fås ej högre fält för två tåg à 200 A, än de som erhöles med ett tåg med 311 A, figur 6.1 eller ett tåg med 181 A, figur 6.2. Detta beror sannolikt på att, trots att totalströmmen blir större, så blir strömfördelningen mer symmetrisk, varför fälten blir svagare. Detta gör att tågmötesfallen inte är av något intresse, vare sig för toppvärde eller årsmedelvärde, varför jag inte genomför några simuleringar för övriga positioner och tunnelvarianter.



Figur 6.4. Beräknat magnetfält 1 m över mark (överst), samt 5 m över mark (underst), för dubbelspårstunnelfallet, vid första huset efter bergtunnelmynningen vid station (77280 m). Beräknat för en ström på 200 A, för vardera ett syd och ett nordgående tåg, enligt tågfall 6 - 9. Linjefärger: tågfall 6 blå, 7 röd, 8 grön och 9 svart.

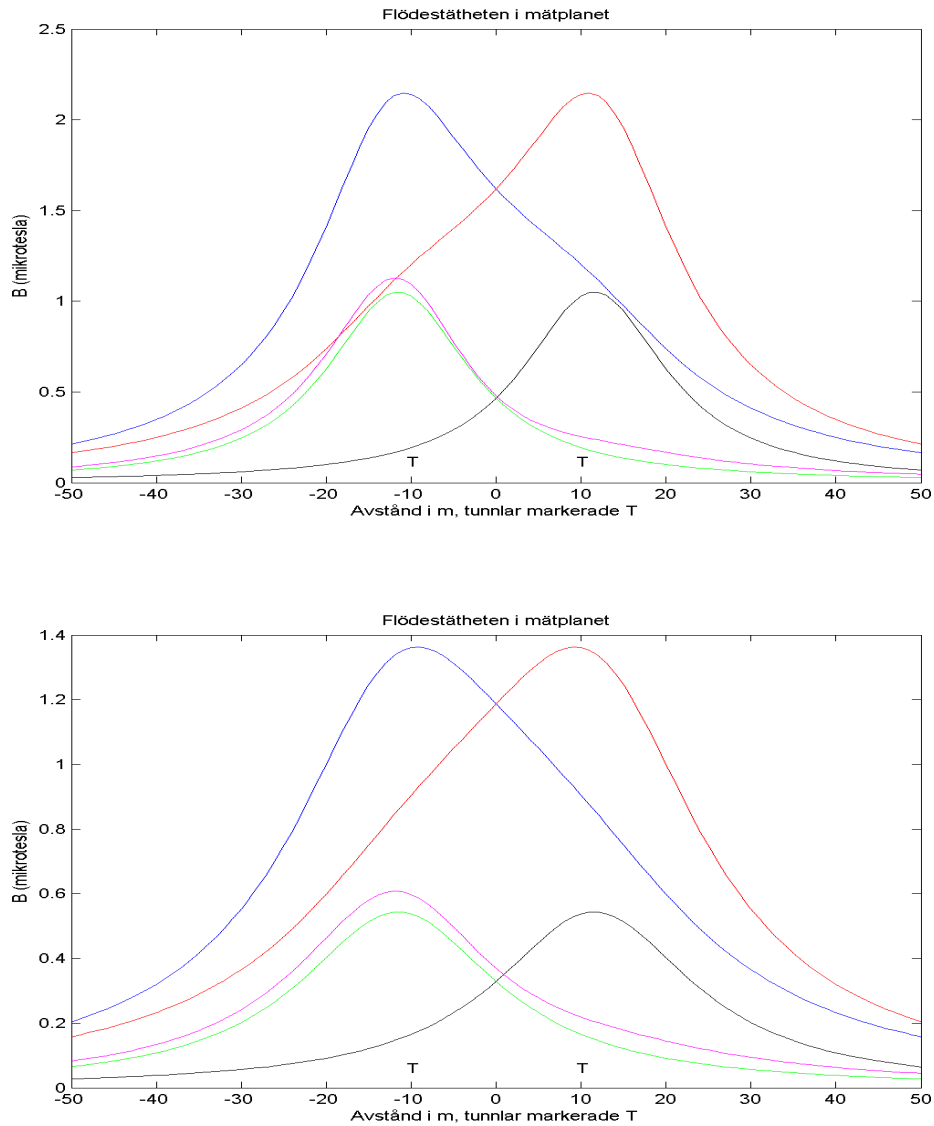
## 6.2 Magnetfält vid tunnelmyning från två enkelspårstunnlar

I detta avsnitt redovisas simuleringar av magnetfältet 1 m respektive 5 m, över mark vid första huset efter bergtunnelmyningen vid station (77280 m), tunneldjup mark till RÖK i tunneln 15 m. Beräknat för fallet med två enkelspårstunnlar med c/c avståndet 20 m mellan spåren.



Figur 6.5. Beräknat magnetfält 1 m över mark (överst), samt 5 m över mark (underst), för fallet med två enkelspårstunnlar, vid första huset efter bergtunnelmyningen vid station (77280 m). Beräknat för en ström på 311 A (motsvarar stältåg utan stopp i Varberg). Linjefärger: tågposition 1 blå, 2 röd, 3 grön, 4 svart och 5 lila.

I figur 6.5 redovisas magnetfältet för den största enskilda tågströmmen från tabell 1; 311 A (ståltåg utan stopp i Varberg).

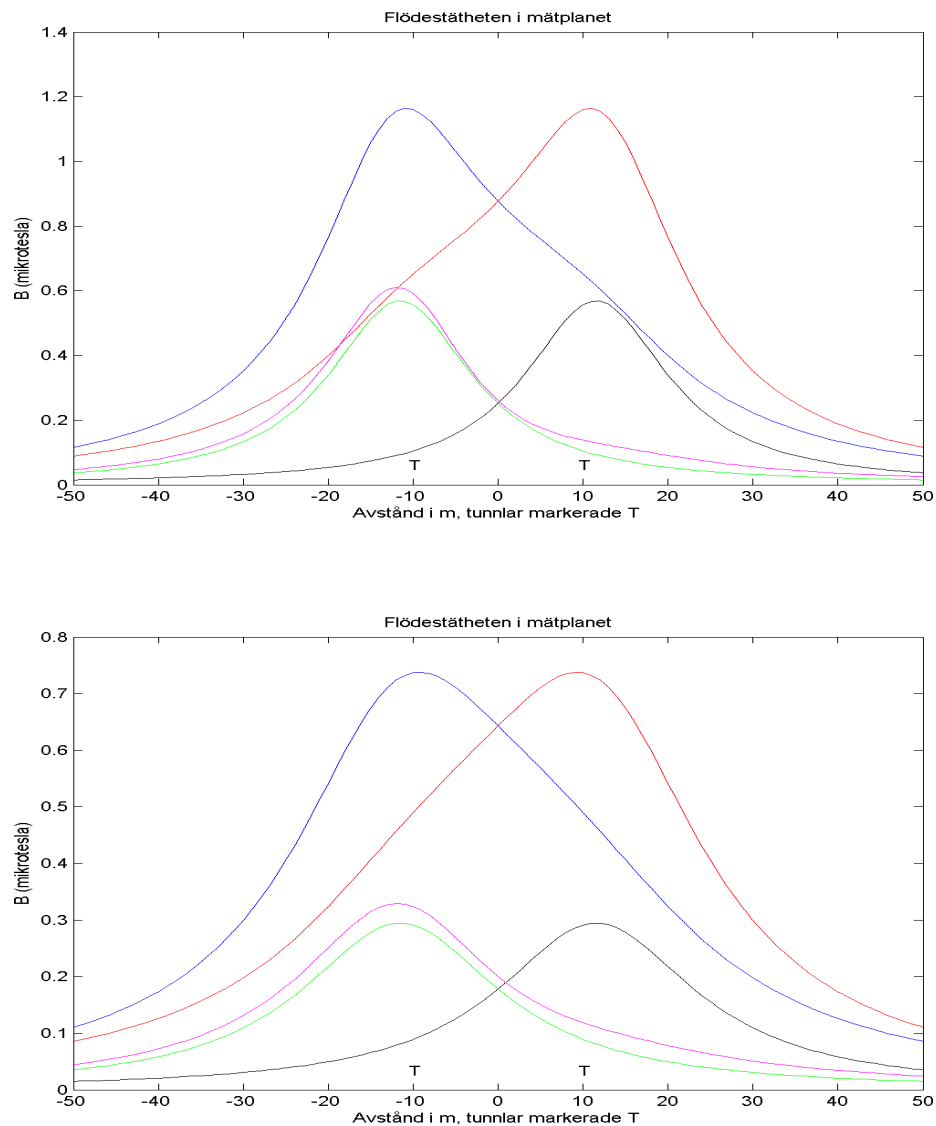


Figur 6.6. Beräknat magnetfält 1 m över mark (överst), samt 5 m över mark (underst), för fallet med två enkelspårstunnelar, vid första huset efter bergtunnelmynningen vid station (77280 m). Beräknat för en ström på 181 A (motsvarar sydgående X2000-tåg med stopp i Varberg). Linjefärger: tågposition 1 blå, 2 röd, 3 grön, 4 svart och 5 lila.

I figur 6.6 redovisas magnetfältet från ett tåg som drar en ström på 181 A, vilket motsvarar ett sydgående X2000 med stopp i Varberg. Av tabell 1 framgår att även Öre-

sundståget drar 181 A, för fallet ej stopp i Varberg, men detta är av mindre intresse då samtliga Öresunds- och Reginatåg kommer att stanna i Varberg.

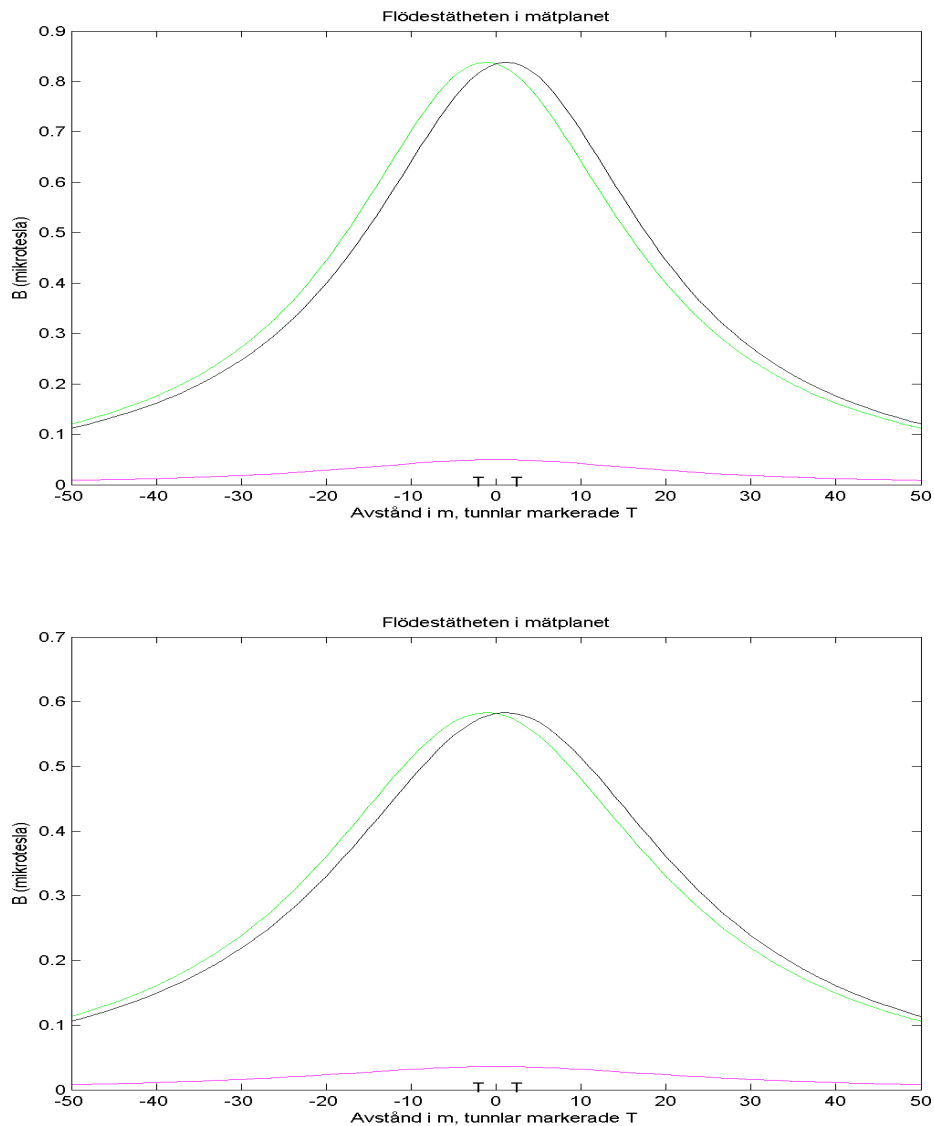
I figur 6.7 redovisas magnetfältet från ett tåg som drar en ström på 98 A, vilket motsvarar ett sydgående Reginatåg med stopp i Varberg.



Figur 6.7. Beräknat magnetfält 1 m över mark (överst), samt 5 m över mark (underst), för fallet med två enkelspårstunnlar, vid första huset efter bergtunnelmynningen vid station (77280 m). Beräknat för en ström på 98 A (motsvarar sydgående Reginatåg med stopp i Varberg). Linjefärger: tågposition 1 blå, 2 röd, 3 grön, 4 svart och 5 lila.

### 6.3 Magnetfält vid tunnelmitt, från dubbelspårstunnel

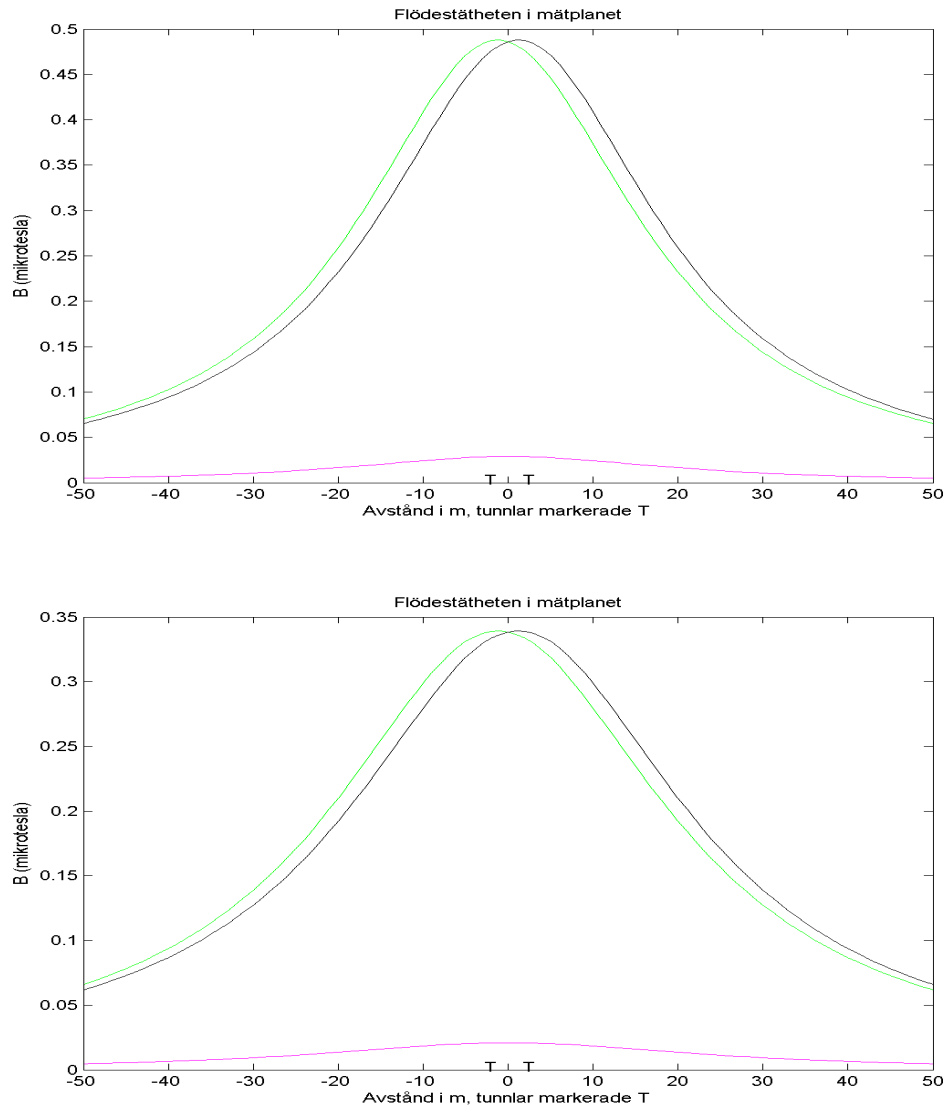
I detta avsnitt redovisas simuleringar av magnetfältet 1 m respektive 5 m, över mark vid tunnelmitt, Köpstadsvägen (78650 m), tunneldjup mark till RÖK i tunneln 23 m. Tunneln är en dubbelspårstunnel med c/c avståndet 4,5 m mellan spåren.



**Figur 6.8.** Beräknat magnetfält 1 m över mark (överst), samt 5 m över mark (underst), för dubbelspårstunnelfallet, vid tunnelmitt Köpstadsvägen (78650 m). Beräknat för en ström på 311 A (motsvarar ståltåg utan stopp i Varberg). Linjefärger: tågposition 1 blå, 2 röd, 3 grön, 4 svart och 5 lila. OBS blå och röd linje sammanfaller med lila linje.



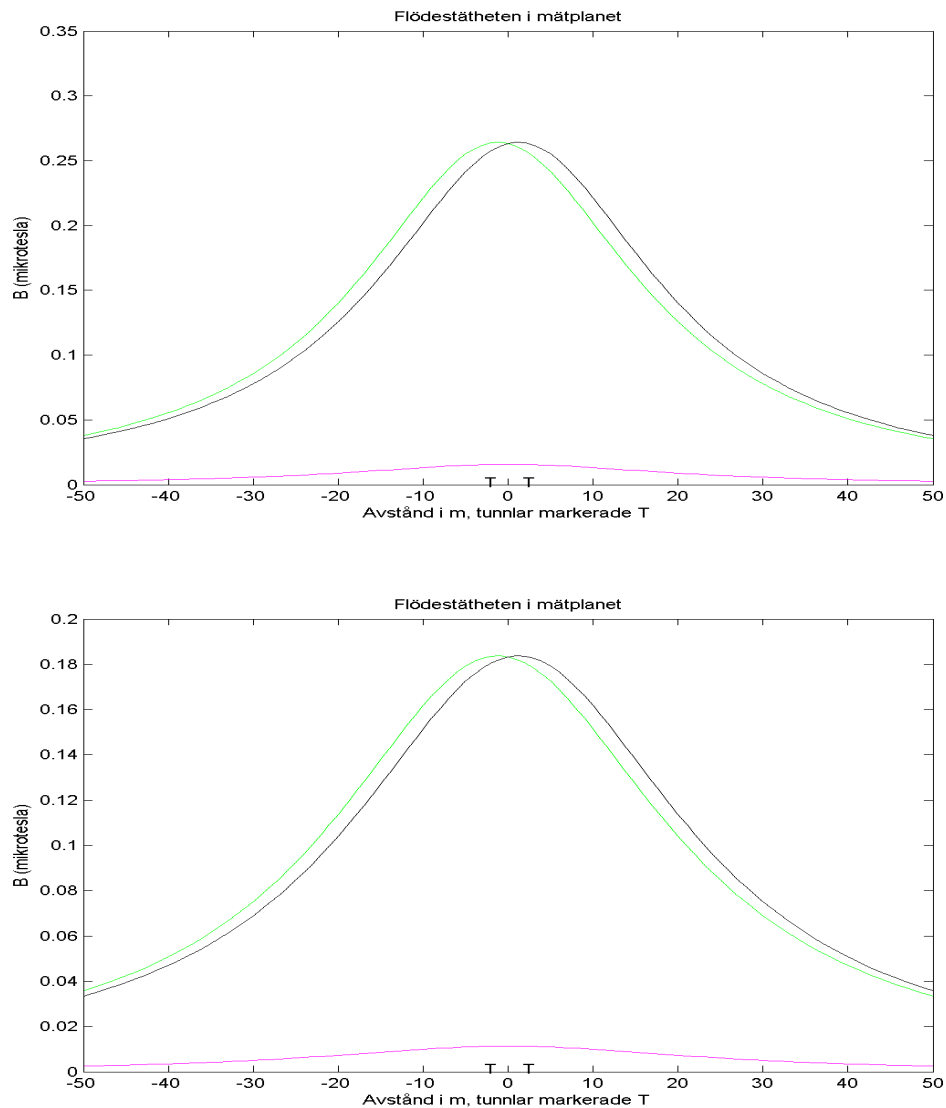
I figur 6.8 redovisas magnetfältet för den största enskilda tågströmmen från tabell 1; 311 A (ståltåg utan stopp i Varberg).



**Figur 6.9.** Beräknat magnetfält 1 m över mark (överst), samt 5 m över mark (underst), för dubbelspårstunnelfallet, vid tunnelmitt Köpstadvägen (78650 m). Beräknat för en ström på 181 A (motsvarar sydgående X2000-tåg med stopp i Varberg). Linjefärger: tågposition 1 blå, 2 röd, 3 grön, 4 svart och 5 lila. OBS blå och röd linje sammanfaller med lila linje.

I figur 6.9 redovisas magnetfältet från ett tåg som drar en ström på 181 A, vilket motsvarar ett sydgående X2000 med stopp i Varberg. Av tabell 1 framgår att även Öre-

sundståget drar 181 A, för fallet ej stopp i Varberg, men detta är av mindre intresse då samtliga Öresunds- och Reginatåg kommer att stanna i Varberg.

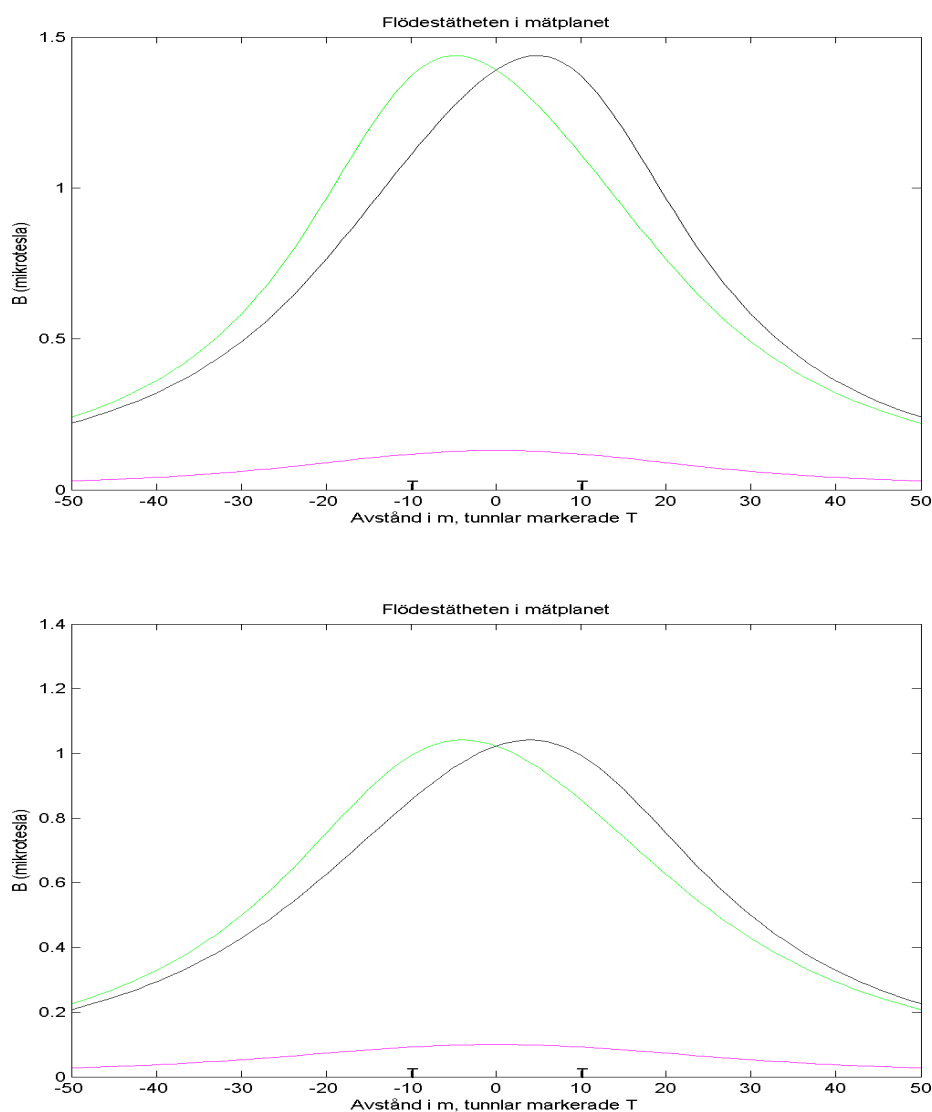


**Figur 6.10.** Beräknat magnetfält 1 m över mark (överst), samt 5 m över mark (underst), för dubbelspårstunnelfallet, vid tunnelmitt Köpstadsvägen (78650 m). Beräknat för en ström på 98 A (motsvarar sydgående Reginatåg med stopp i Varberg). Linjefärger: tågposition 1 blå, 2 röd, 3 grön, 4 svart och 5 lila. OBS blå och röd linje sammanfaller med lila linje.

I figur 6.10 redovisas magnetfältet från ett tåg som drar en ström på 98 A, vilket motsvarar ett sydgående Reginatåg med stopp i Varberg.

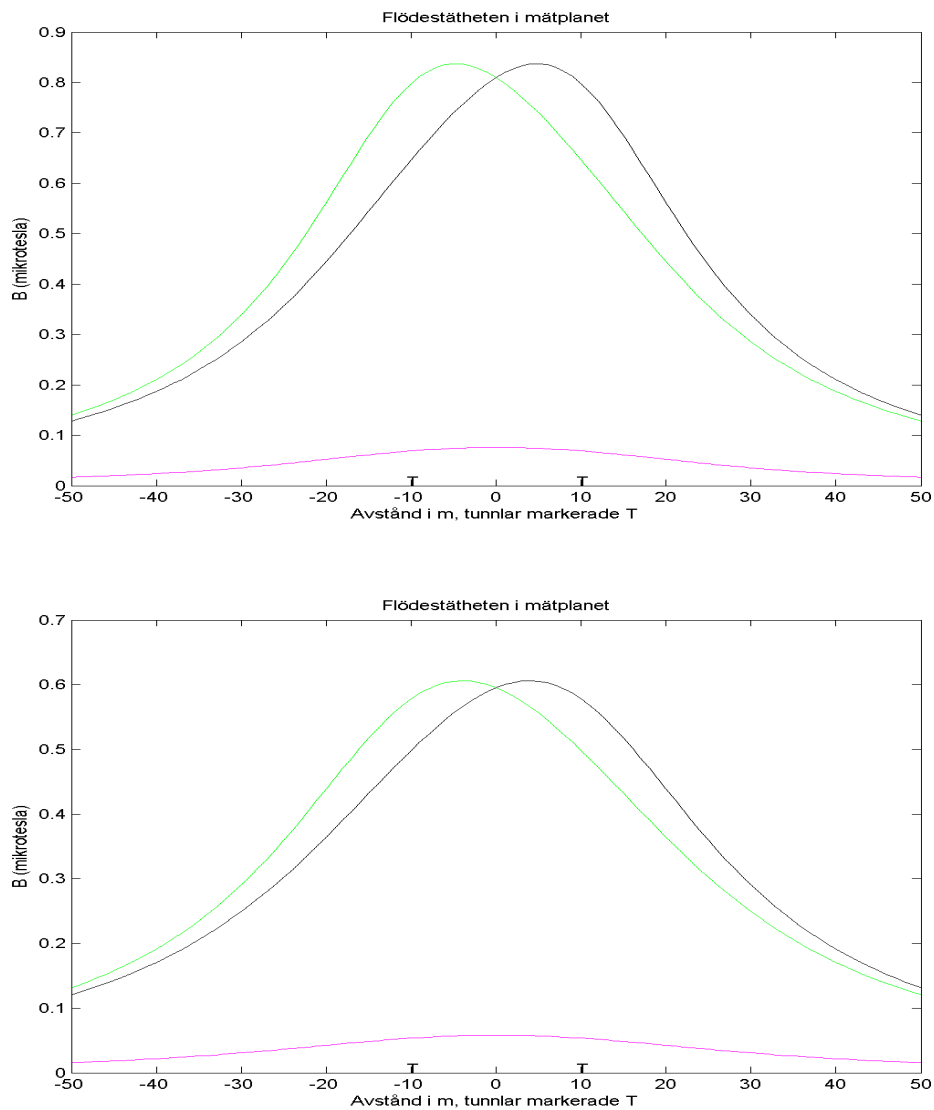
### 6.4 Magnetfält vid tunnelmitt, från två enkelspårstunnlar

I detta avsnitt redovisas simuleringar av magnetfältet 1 m respektive 5 m, över mark vid tunnelmitt, Köpstadsvägen (78650 m), tunneldjup mark till RÖK i tunneln 23 m.



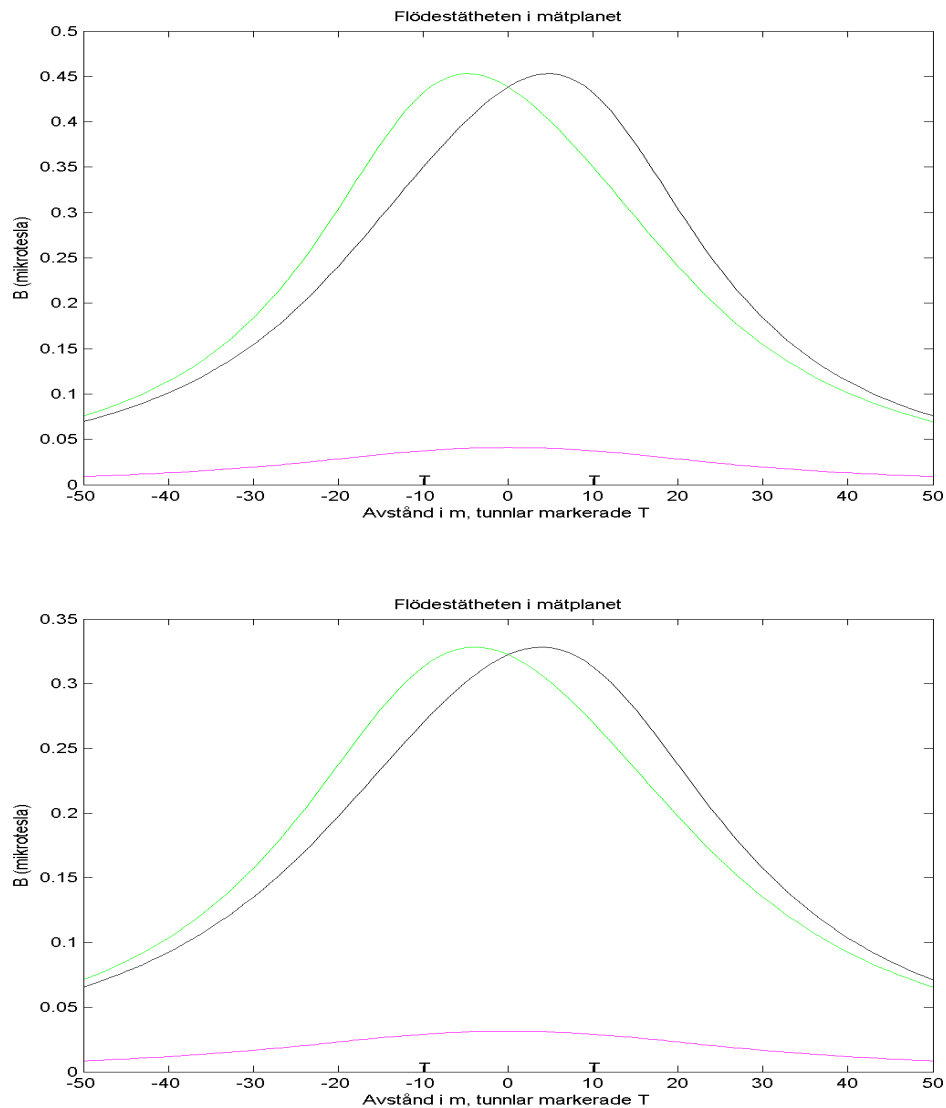
**Figur 6.11.** Beräknat magnetfält 1 m över mark (överst), samt 5 m över mark (underst), för fallet med två enkelspårstunnlar, vid tunnelmitt Köpstadsv. (78650 m). Beräknat för en ström på 311 A (motsvarar ståltåg utan stopp i Varberg). Linjefärger: tågposition 1 blå, 2 röd, 3 grön, 4 svart och 5 lila. OBS blå och röd linje sammanfaller med lila linje.

Beräknat för fallet med två enkelspårstunnlrar med c/c avståndet 20 m mellan spåren. I figur 6.11 redovisas magnetfältet för den största enskilda tågströmmen från tabell 1; 311 A (ståltåg utan stopp i Varberg).



**Figur 6.12.** Beräknat magnetfält 1 m över mark (överst), samt 5 m över mark (underst), för fallet med två enkelspårstunnlrar, vid tunnelmitt Köpstadsvägen (78650 m). Beräknat för en ström på 181 A (motsvarar sydgående X2000-tåg med stopp i Varberg). Linjefärger: tågposition 1 blå, 2 röd, 3 grön, 4 svart och 5 lila. OBS blå och röd linje sammanfaller med lila linje.

I figur 6.12 redovisas magnetfältet från ett tåg som drar en ström på 181 A, vilket motsvarar ett sydgående X2000 med stopp i Varberg. Av tabell 1 framgår att även Öresundståget drar 181 A, för fallet ej stopp i Varberg, men detta är av mindre intresse då samtliga Öresunds- och Reginatåg kommer att stanna i Varberg.



**Figur 6.13.** Beräknat magnetfält 1 m över mark (överst), samt 5 m över mark (underst), för fallet med två enkelspårstunnelar, vid tunnelmitt Köpstadsvägen (78650 m). Beräknat för en ström på 98 A (motsvarar sydgående Reginatåg med stopp i Varberg). Linjefärger: tågposition 1 blå, 2 röd, 3 grön, 4 svart och 5 lila. OBS blå och röd linje sammanfaller med lila linje.



För att beräkna dosen används data från magnetfältssimuleringarna som på 1 m över mark vid första huset 77280 m är ungefär 0,9  $\mu\text{T}$  per 100 A när tåget är i norra sträckan och 0,6  $\mu\text{T}$  per 100 A när tåget är i södra sträckan. Dosen vid denna position redovisas i Tabell 4.

Antal tåg avser syd och nordgående tåg som ej stannar i Varberg, samt sydgående tåg som stannar i Varberg. Nordgående tåg som stannar i Varberg, medtages ej, då strömförbrukningen i tunneln är mycket liten för dessa tåg. Tågdata från prognos för år 2010, enligt avsnitt 3.1.

Dygnsdosen blir enligt tabell 4, 12504  $\mu\text{T}$ s, vilken ger ett dygnsmedelvärde på 0,14  $\mu\text{T}$ , vilket även innebär att årsmedelvärdet kan uppskattas till 0,14  $\mu\text{T}$  för dubbeltunnelalternativet.

Motsvarande beräkning för alternativet med två enkelspårstunnlar redovisas i tabell 5. Här ger magnetfältssimuleringarna 1 m över mark vid första huset 77280 m är ungefär 1,16  $\mu\text{T}$  per 100 A när tåget är i norra sträckan och 0,75  $\mu\text{T}$  per 100 A när tåget är i södra sträckan.

**Tabell 5** Magnetfältsdos av olika södergående tåg 1 m över mark vid 77280 m för dubbelspårstunnelfallet. Data avser ett dygn

Tåg typ	Stopp Varberg	Totaltid (s)	Tid norra (s)	Tid södra (s)	Dos ( $\mu\text{T}$ s)	Antal tåg	Totaldos ( $\mu\text{T}$ s)
1 X2	Ja	204	55	100	251	3	754
1 X2	Nej	125	34	61	129	10	1286
18 OTU	Ja	188	51	92	302	9	2722
25 Regina X50	Ja	173	47	85	116	8	927
470 RC4	Ja	520	141	256	388	2	775
470 RC4	Nej	215	58	106	302	31	9373
511 RC4	Ja	448	121	220	751		
511 RC4	Nej	231	63	114	493		
<b>Summa</b>							<b>15837</b>

Dygnsdosen blir enligt tabell 5, 15837  $\mu\text{T}$ s, vilken ger ett dygnsmedelvärde på 0,18  $\mu\text{T}$ , vilket även innebär att årsmedelvärdet kan uppskattas till 0,18  $\mu\text{T}$  för alternativet med två enkelspårstunnlar. Eftersom detta är det fall som ger högst magnetfält, kom-

mer årsmedelvärde av magnetfältet från tågen att vara under  $0,2 \mu\text{T}$ , 1 m över mark, i samtliga hus som ligger över tunneln. Då vi i denna beräkning, tagit det högsta värdet, oavsett vilket spår tåget går på, innebär det en viss överskattning, speciellt för fallet med två enkelspårstunnlar, där ett hus som ligger över nedspåret får ett något mindre bidrag från tåg på uppspåret och vice versa.

Då det är huset närmast tunnelmynningen, som har minst bergtäckning, skulle man kunna minska årsmedelvärde för detta hus, genom att flytta jordpunkten för sugtransformatorerna en tvärförbindelse (300 m), närmare huset. Åtgärden leder till en viss ökning för husen bortom jordpunkten, men eftersom dessa har större bergtäckning, blir ökningen mindre för dessa hus. En överslagsberäkning visar att sänkningen av årsmedelvärde för huset vid tunnelmynningen endast blir ca 4 %, varför åtgärden inte har så stor betydelse.

## 7 Diskussion

Beräkningarna är genomförda för realistiska belastningsfall vid trafik med samtliga förekommande tågtyper. Det innebär att de redovisade magnetfältsnivåerna simulerar den verkliga tågtrafiken.

Simuleringarna av de fem tågpositionerna 1 – 5 visar, för första huset ovan tunneln, att magnetfälten kan uppgå till ca  $2,8 \mu\text{T}$ , en meter över marknivå, för dubbelspårstunnelalternativet och ca  $3,7 \mu\text{T}$  för alternativet med två enkelspårstunnlar. Dessa värden avser värsta fall, ett ståltåg passerar Varberg utan att stanna. Motsvarande värden vid Köpstadsvägen är betydligt lägre på grund av större bergtäckning. Här kan magnetfälten uppgå till ca  $0,85 \mu\text{T}$ , en meter över marknivå, för dubbelspårstunnelalternativet och ca  $1,45 \mu\text{T}$  för alternativet med två enkelspårstunnlar.

Eftersom årsmedelvärde även för värsta fall ligger under  $0,2 \mu\text{T}$ , kommer magnetfältsbidraget från tågtrafiken, i alla hus över tunneln att ligga under  $0,2 \mu\text{T}$ .

Generellt ses som väntat, att fältet minskar med ökat tunneldjup. Beräkningarna visar att magnetfälten avtar ju högre upp i husen man kommer. Fem meter över mark har magnetfältet minskat med 40 %, jämfört med en meter över mark, vid första huset ovan tunneln.



### Övriga kraftanläggningar 50 Hz för fläktar, belysning mm i tunneln

I tunneln kommer det att finnas kraftanläggningar för 50 Hz spänning för matning av fläktar belysning mm. Det kan tänkas att det placeras ett högspänningsställverk i någon tunneldel. Även dessa komponenter ger upphov till magnetfält. Dels ger de olika komponenterna som ställverk och fläktmotorer lokala bidrag, dessa avtar snabbt med avståndet och brukar ej ge några markanta bidrag på mer än fem meters avstånd. Då dessa komponenter ligger nere i tunnarna, kommer bidraget på marknivå att bli försumbart. En potentiellt värre källa är vagabonderande strömmar i ledningsnätet, då magnetfältet från vagabonderande strömmar avtar långsamt med avståndet. För att undvika vagabonderande strömmar utförs samtliga 50 Hz installationer med femledarsystem (gäller samtliga installationer i tunnarna). I fungerande femledarsystem förekommer inte vagabonderande strömmar. Detta innebär att 50 Hz kraftanläggningarna i tunnarnas magnetfältsbidrag på marknivå är försumbar i förhållande till tågtrafik eller andra befintliga kraftkällors bidrag på marknivå

### Generellt

De här redovisade beräkningarna gäller för dessa fem tågfall. Att fältets styrka varierar med antalet tåg, strömförbrukning och tågens position framgår av beräkningarna. Detta innebär att de här redovisade magnetfälten gäller för fem realistiska driftsituationer, men att de varken redovisar värsta eller bästa fall. Att spåren ligger i en tunnel innebär inte att situationen för de närmast belägna husen förvärras, snarare tvärt om. Om spåren ligger på mark skulle de hus som ligger på minimiavståndet, 5 m, ligga närmare de strömförande ledningarna, och därför utsättas för högre magnetfält.

Beräkningarna visar att magnetfälten kan nå upp till  $3,7 \mu\text{T}$ , en meter över marknivå, för sämsta fall. Vid sådana nivåer ligger man över gränsen till tekniska störningar på bildskärmar och TV. För att säkert undvika sådana störningar måste magnetfältet vara under ca  $0,5 \mu\text{T}$ . Detta gör att sådana kortvariga störningar inte kan uteslutas på höjden 1 m över mark vid de hus som ligger med minst bergtäckning.

Alla beräkningar bygger på, att de enda strömmarna som går i tunneln, orsakas av de tåg som finns i tunneln. Det är viktigt att räler och järnvägens jordledningar inte sam-

mankopplas med 50 Hz-nätets neutralledare, för att inte vagabonderande strömmar från 50 Hz-nätet kommer att gå i dessa ledare.

De tekniska störningarna är väl relativt okontroversiella, de finns. Hur allvarligt de skall bedömas beror på vilka verksamheter som finns i de mest närliggande husen, hur ofta störningarna uppstår etc. Betydligt svårare att bedöma är hälsoeffekterna av magnetfälten. Här finns det inga gränsvärden, men väl rekommendationer, se nedan.

## **8 Myndigheternas syn**

Det finns för närvarande inga svenska gränsvärden eller lagar som begränsar lågfrekventa magnetfält. EU har föreslagit att medlemsländerna inför gränsvärden baserade på ICNIRP (1998).

Vilken är de svenska myndigheternas bedömning? Statens Energiverk sa redan 900201 att man skall inta en försiktighetsstrategi, som innebär att man vid nyanläggning av skolor, lekplatser och daghem skall placera dem så långt från kraftledningar att flödestätheten ligger under 200-300 nT.

Kriteriegruppen för fysikaliska riskfaktorer (1995) har granskat frågan om risken för cancer vid yrkesmässig exponering för lågfrekventa magnetfält. Gruppens slutsats är att "Epidemiologiska studier visar ett visst, trovärdigt men svagt, stöd för hypotesen om ett samband mellan hjärntumörer och vissa former av leukemi och exponering för magnetfält. En samlad bedömning av djurstudier och epidemiologiska undersökningar är att yrkesmässig exponering för magnetfält möjligen kan vara cancerframkallande för människa. Det saknas dock underlag för att avgöra om det finns ett dos-respons samband. Kriteriegruppen konstaterar sammanfattningsvis att det vetenskapliga underlaget inte räcker för att ta fram ett gränsvärde. Detta utesluter inte andra åtgärder - t. ex. baserade på någon form av försiktighetsstrategi."

Med detta som underlag har fem myndigheter under 1996 gemensamt utarbetat "Myndigheternas försiktighetsprincip om lågfrekventa elektriska och magnetiska fält - en vägledning för beslutsfattare". De fem myndigheterna är Arbetskyddsstyrelsen, Boverket, Elsäkerhetsverket, Socialstyrelsen och Statens strålskyddsinstitut.

“Myndigheterna rekommenderar gemensamt följande försiktighetsprincip: **Om åtgärder, som generellt minskar exponeringen, kan vidtas till rimliga kostnader och konsekvenser i övrigt bör man sträva efter att reducera fält som avviker starkt från vad som kan anses normalt i den aktuella miljön. När det gäller nya elanläggningar och byggnader bör man redan vid planeringen sträva efter att utforma och placera dessa så att exponeringen begränsas.** Det övergripande syftet med försiktighetsprincipen är att på sikt reducera exponeringen för magnetfält i vår omgivning för att minska risken att människor eventuellt kan skadas.“

En förklaring av vad menas med normal magnetfältnivå ges i skriften “Medianvärdet för bostäder och daghem i större städer är cirka 0,1  $\mu\text{T}$ . I mindre städer och på landsbygden är värdena ungefär hälften. I storstadsområdena har cirka 10 procent av bostäderna minst ett rum med ett magnetfält över 0,2  $\mu\text{T}$ . Nära kraftledningar och transformatorstationer är magnetfälten högre. Mitt under en kraftledning kan det vara ungefär 10  $\mu\text{T}$ . Man beräknar att cirka 0,5 procent av bostadsbeståndet har ett magnetfält över 0,2  $\mu\text{T}$  på grund av närhet till elektriska ledningar av olika typer. Mätningar har gjorts för ett stort antal yrkeskategorier på deras arbetsplatser. Medianvärdet för dessa var cirka 0,2  $\mu\text{T}$ . I många industrimiljöer varierar naturligt nog värdena avsevärt. Det högsta dagsmedelvärdet 1,1  $\mu\text{T}$  mättes för yrkesgruppen svetsare.“

Det finns klara bevis för att starka fält kan ge hälsoeffekter. Statens strålskyddsinstitut har givit ut en remissutgåva med allmänna råd, som bygger på Europarådets rekommendation från den 12 juli 1999, om allmänhetens exponering för fält med frekvenser mellan 0 och 300 GHz. Europarådets rekommendation har tagits fram av ett antal aktörer, såsom ICNIRP (The International Committee of Non Ionizing Radiation Protection), SCC (The Scientific Steering Committee) och Europeiska Kommissionen. Denna rekommendation utgår från ICNIRP:s gränsvärden. Dessa rekommendationer bygger på skydd mot bevisade hälsoeffekter som trigging av nervsignaler på grund av inducerade strömmar. De begränsningar som denna norm ger för allmänhetens exponering uttrycks i så kallade referensvärden. För tågans matningsfrekvens, 16,7 Hz, är referensvärdet 300  $\mu\text{T}$ , vilket innebär att de fält som tågen ger upphov till, ligger långt under referensvärdet.

På regional nivå finns det vissa städer, som valt att gå ut med krav på högsta magnetfältsnivå vid ny bebyggelse och/eller nya kraftledningar. Malmö stad har antagit kravet på att årsmedelvärdet inte ska överskrida 0.2  $\mu\text{T}$  på platser där människor vistas mycket. Detta ska styra hur ny bebyggelse och nya kraftledningar lokaliseras. För befintliga miljöer gäller att den elektromagnetiska fältstyrkan, när det kan ske till rimliga kostnader, bör minskas vid exponering som är tiotals gånger högre än normalvärden för elektromagnetiska fält.

Stockholms stad antog 1993 ett riktvärde som ska klaras för nyproduktion av bostäder, skolor, daghem och lekplatser. Dessa platser får inte utsättas för en högre magnetfältsnivå än 0.2  $\mu\text{T}$  (årsmedelvärde) från kraftledningar, ställverk och transformatorstationer. För befintlig miljö gäller samma mål men på längre sikt.

Det finns andra organisationer, som ej är myndigheter, som uttalat sig, de strängaste kraven kommer från Vasakronan AB (f d Byggnadsstyrelsen) och LO. Vid nybyggnation av byggnader för Vasakronan kräver man femledarsystem och användning av skärmade kablar så att det magnetiska fältet (5 Hz - 2 kHz) skall vara under 0,2  $\mu\text{T}$ , 0,8 m över golv, i de punkter där personer har sina arbetsplatser och det elektriska fältet (5 Hz - 2 kHz) skall vara under 10 V/m.

Sista ordet är inte sagt om en eventuell hälsopåverkan av fält. Grundorsaken till den stora osäkerheten är att man inte har någon bra förklaringsmodell för hur svaga elektriska och magnetiska fält växelverkar med biologiska system. Intensivt forskningsarbete för att finna denna modell pågår, varför vi kan hoppas på klarare besked i framtiden.

## 9. Slutsatser

Tågtrafiken kommer att ge upphov till magnetiska fält kring järnvägen. I den planerade tågtunneln i Varberg, har man redan på planeringsstadiet, studerat lösningar som innebär en reduktion av magnetfältsexponeringen från tågtrafiken. Viktiga komponenter i detta är att tunneln planeras med en stationsgräns med avbrott i kontaktledningen omedelbart söder om tunneln. Matningsström för bansträckningen söder om denna stationsgräns går via en kabel, som innehåller fram och återledare, vilket

innebär att magnetfält från tågströmmar, från tåg söder om tunnel, ger ett försumbart bidrag. Vidare planeras tunneln med sugtransformatorer direkt före och efter tunneln, med en jordpunkt inne i tunneln.

Under dessa förutsättningar har magnetfälten beräknats, för de olika tågtyper som kommer att trafikera tunnel. Beräkningarna visar att magnetfälten kan nå upp till 3,7  $\mu\text{T}$  en meter över marknivå i den punkt där bergtäckningen är minst när den tyngsta tågtypen (ståltåg) passerar, för enkeltunnelfallet. Vid sådana nivåer ligger man över gränsen till tekniska störningar på bildskärmar och TV. För att säkert undvika sådana störningar måste magnetfältet vara under ca 0,5  $\mu\text{T}$ . Detta gör att sådana kortvariga störningar inte kan uteslutas på höjden 1 m över mark vid de hus som ligger med minst bergtäckning.

När det gäller skydd för akuta hälsoeffekter, kommer det att införas begränsningar för allmänhetens magnetfältsexponering. Enligt Statens strålskyddsinstitutets remissutgåva, kommer denna begränsning att ligga vid 300  $\mu\text{T}$  vid 16,7 Hz, vilket innebär att fälten från tunneln kommer att klara denna gräns med god marginal.

Det finns även misstankar om långsiktiga hälsorisker av magnetfältsexponering. För att ta hänsyn till dessa eventuella risker, har myndigheternas försiktighetsprincip om lågfrekventa elektriska och magnetiska fält formulerats: **“Om åtgärder, som generellt minskar exponeringen, kan vidtas till rimliga kostnader och konsekvenser i övrigt bör man sträva efter att reducera fält som avviker starkt från vad som kan anses normalt i den aktuella miljön. När det gäller nya elanläggningar och byggnader bör man redan vid planeringen sträva efter att utforma och placera dessa så att exponeringen begränsas.** Det övergripande syftet med försiktighetsprincipen är att på sikt reducera exponeringen för magnetfält i vår omgivning för att minska risken att människor eventuellt kan skadas.“

Denna princip har varit vägledande för planeringen av tunneln. När det gäller de eventuella långsiktiga effekterna, är det framförallt magnetfältens årsmedelvärde man vill begränsa. I försiktighetsprincipen anges ingen högsta tillåtna nivå. De hårdaste kraven har ställts på lokal och regional nivå. Här har man i både Stockholm och Malmö ställt krav på att årsmedelvärdet av magnetfältet, från nya elektriska anläggningar, i bostäder, skolor och daghem skall understiga 0,2  $\mu\text{T}$ . Detta krav har bland annat varit vägledande för projekteringen av Citytunneln i Malmö.

För Varbergs kommun finns inget beslut om något lokalt krav på magnetfältsnivåerna. Om man, trots detta, tillämpar lika hårda krav som i Stockholm och Malmö på årsmedelvärdet av magnetfältet, visar det sig, att med det föreslagna utförandet av tunneln, kan man klara detta krav, i samtliga hus ovan tunneln. Vid det hus som har minst bergtäckning (ligger direkt efter tunnelmynningen) beräknas årsmedelvärdet av magnetfältet, 1 m över mark, till 0,14  $\mu\text{T}$  för dubbelspårtunnelalternativet och 0,18  $\mu\text{T}$  för alternativet med två enkelspårtunnlar. För alla övriga hus erhålls lägre nivåer, tack vare större bergtäckning. Årsmedelvärdet i huset med minst bergtäckning kan enkelt reduceras något ytterligare, genom att flytta jordpunkten för sugtransformatorerna inne i tunnel närmare huset. Åtgärden har dock begränsad verkan, en flytt av jordpunkten på 300 m skulle reducera årsmedelvärdet med ca 4 %.

Slutsatsen av utredningen är, att genom att vidta de ovan nämnda åtgärderna, kan årsmedelvärdet av de magnetiska fälten från tåget begränsas till under 0,2  $\mu\text{T}$ , i samtliga hus ovan tunneln. Detta innebär att magnetfältet klarar både kommande gränsvärden, myndigheternas försiktighetsprincip och de strängaste lokala kraven som ställts i Malmö och Stockholm.

Göteborg 021103

Yngve Hamnerius, bitr. professor  
Elektromagnetik, Chalmers Tekniska Högskola

## LITTERATUR

Arbetskyddstyrelsen m fl (1996) "Myndigheternas försiktighetsprincip om lågfrekventa elektriska och magnetiska fält - en vägledning för beslutsfattare" Arbetskyddstyrelsen ADI 477.

Europarådet, *RÅDETS REKOMMENDATION av den 12 juli 1999 om begränsning av allmänhetensexponering för elektromagnetiska fält (0 Hz-300 GHz)*, Europeiska gemenskapernas officiella tidning,

[http://europa.eu.int/comm/health/ph/programmes/pollution/ph\\_fields\\_cr\\_sv.pdf](http://europa.eu.int/comm/health/ph/programmes/pollution/ph_fields_cr_sv.pdf), 2002-09-20

Ivarsson, O. och Hasselgren, L. (1993) "Mätningar och numeriska beräkningar av magnetfält i intilliggande fastigheter från elektriskt järnvägsspår" Rapport nr 4 Inst f mikrovågsteknik, CTH, Göteborg.

ICNIRP "Guidelines on limits of exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz)", International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, Health Physics, April 1998, Volume 74, Number 4.

Kriteriegruppen för fysikaliska riskfaktorer (1995) "Magnetfält och cancer - ett kriteriedokument" Arbete och hälsa 1995:13.

Miljöförvaltningen Malmö stad, *Miljöprogram för Malmö stad 1998 – 2002: 2.15 Elektromagnetiska fält*, <http://www.malmo.se/see/work/2026/miljwebb.pdf>, 2002-08-13

Miljöförvaltningen Stockholms stad, *Miljöutredning – på väg mot en hållbar utveckling: Elektromagnetiska fält*, Stockholms miljöprogram 2002 – 2006,

<http://www.slb.mf.stockholm.se/tyckom/pdf/miljoutredning020507.pdf>, 2002-08-13

Smythe, W. R.(1950) "Static and Dynamic Electricity" , McGraw-Hill, York (Pa, USA), pp. 269-270.

## **BERÄKNINGS OCH RESULTATBILAGOR**

**1. Kretsmodell för räl och jordledare i tunneln**

**2. Nätmodell för strömmar i tunneln**

**3. Beräknade strömmar för fall 1**

**4. Beräknade strömmar för fall 2**

**5. Beräknade strömmar för fall 3**

**6. Beräknade strömmar för fall 4**

**7. Beräknade strömmar för fall 5**

**8. Beräknade strömmar för fall 6**

**9. Beräknade strömmar för fall 7**

**10. Beräknade strömmar för fall 8**

**11. Beräknade strömmar för fall 9**



Figur 1. Impedansschema för räl och samlingsjordledare.

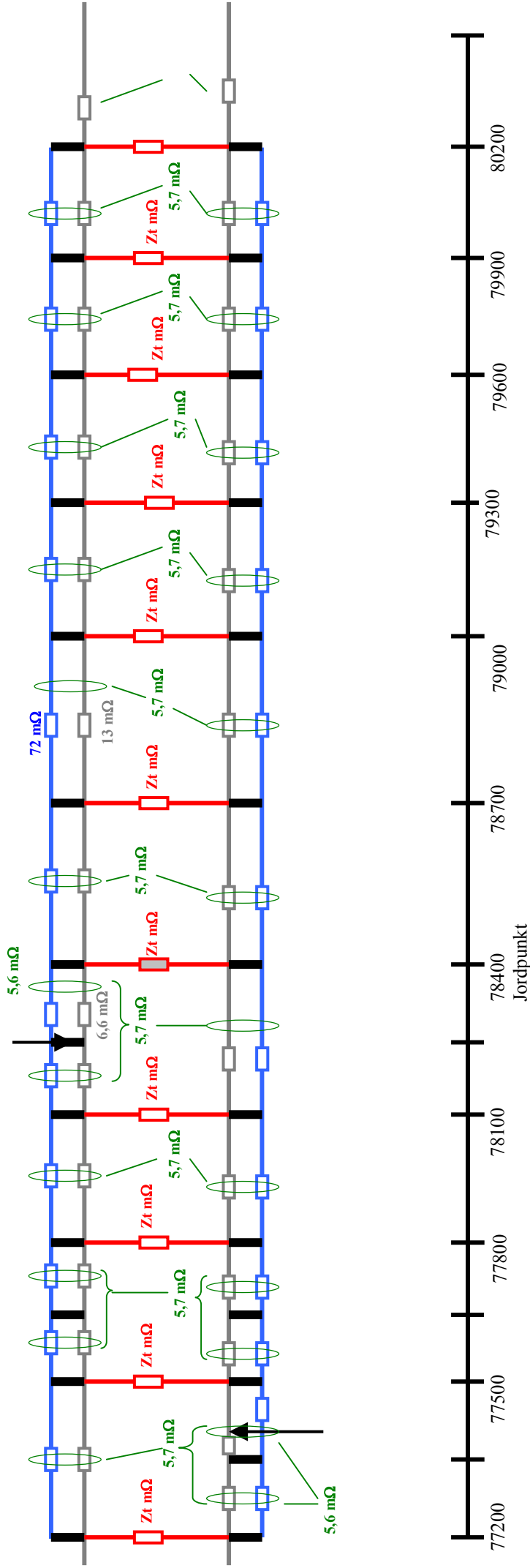
Tvårförbindningarna antas vara lika långa som avståndet S-räl till S-räl plus 0,5 m, 6,6 m respektive 17,1 m.

Samplingsjordledare 120 mm<sup>2</sup> Cu: tillsammans 0,14 mΩ/m } 0,019 mΩ/m

1 x S-räl Fe: 0,022 mΩ/m

1 x tvårförbindning 50mm<sup>2</sup> Cu: 0,34 mΩ/m

Kort förbindelse: försummar resistans (de som inte påverkar har utelämnats)



Tunnelavstånd C/C 4,5 eller 20 m



















