

Underlag till järnvägsplaner

Olskroken planskildhet och Västlänken

Göteborgs Stad och Mölndals stad, Västra Götalands län

Underlagsrapport Elektromagnetiska fält

TRV 2013/92338

2014-09-01



Titel: Olskroken planskildhet och Västlänken, Underlagsrapport Elektromagnetiska fält

Utgivningsdatum: 1 september 2014

Ärendenummer: TRV2013/92338

Utgivare: Trafikverket

Projektschef: Bo Larsson

Kontaktperson: Mira Andersson Ovuka, telefon 0771-921 921

Medverkande konsulter: Ramböll och Yngve Hamnerius AB

Figurer: Staffan Sävenfjord, figur 3.1; Fredrik Tellerup, figur 3.2; Trafikverket, övriga figurer.

Kartor: ©Lantmäteriet, dnr 109-2012/4174

Tryck:

Distributör: Trafikverket, Kruthusgatan 17, 405 33 Göteborg

Telefon 0771-921 921, www.trafikverket.se

Innehåll

Sammanfattning	4
1 Bakgrund	5
2 Bedömningsgrunder och krav	6
2.1 Övergripande mål och rekommendationer	6
2.2 Mål för magnetiska fält från Västlänken	9
3 Förutsättningar.....	10
3.1 Fordonsbeskrivning	10
3.2 Allmänt om EMF	12
3.3 Trafikering	15
3.4 Hälsoeffekter samt påverkan på teknisk utrustning	22
3.5 Effekter av starka fält.....	22
3.6 Effekter av svaga fält.....	22
3.7 Internationell bedömning.....	24
3.8 Påverkan på teknisk utrustning	25
4 Beräkningar av magnetiska fält.....	26
4.1 Strömmar i räl och jordledare	28
4.2 Sammanfattning utbyggnadsalternativet	40
5 Begreppsförklaringar.....	43
6 Källförteckning	45

Underlag 1 Kretsmodell

Underlag 2 Tågpositioner

Underlag 3 Strömmar

Underlag 4 Resultat Magnetfält

Sammanfattning

Olskroken planskildhet och Västlänken är två järnvägsprojekt i Göteborg. Projekten har olika finansiering och drivs inom Trafikverket som två projekt. Olskroken planskildhet finansieras inom den nationella investeringsplanen liksom Västlänken, som också ingår i det Västsvenska paketet med betydande andel regional finansiering. Olskroken planskildhet och Västlänken redovisas i separata järnvägsplaner.

Ett viktigt underlag för järnvägsplanerna är miljökonsekvensbeskrivningen, som är gemensam för projekten och ska godkännas av länsstyrelsen.

För magnetiska fält har följande mål formulerats:

- Sammanvägt årsmedelvärde för magnetfält får inte överskrida $0,4 \mu\text{T}$ (mikrotesla) inom stadigvarande arbetsplatser, skolor och bostäder.
- Enligt järnvägsutredningen finns även ett börvärde: Sammanvägt årsmedelvärde för magnetfält bör inte överskrida $0,2 \mu\text{T}$ inom stadigvarande arbetsplatser, skolor och bostäder.
- Momentana toppvärden får inte överstiga $1,0 \mu\text{T}$ för ett antal utpekade lokaler.

Västlänken projekteras med korta sugtransformatorsektioner, vilket reducerar magnetfältets årsmedelvärde. Normalt är det 5 km mellan sugtransformatorerna, men i Västlänken är det cirka 1 km mellan dem. Magnetfälten har beräknats för snitt längs Västlänken där det finns byggnader nära spåren med stadigvarande arbetsplatser, skolor och bostäder eller potentiellt störkänsliga ljudanläggningar. Kraven på magnetfältens årsmedelvärde (både bör- och skallvärde) uppfylls för alla beräknade byggnader.

För att beräkna maxmagnetfältet har den största tågströmmen, 540 A, ansatts. Man kan konstruera värre fall, som att ett tåg i vardera riktningen skulle samtidigt dra maxströmmarna 540 A och att de möts i det aktuella snittet, vilket skulle leda till ett nästan dubbelt så högt värde. Detta är dock ett konstruerat fall som kanske inte inträffar någon gång, varför fallet med ett tåg som drar max är ett mer realistiskt värde. Beräkningarna visar att kravet på toppvärde inte uppfylls för ett antal byggnader vid Liseberg.

Sammanfattningsvis kan sägas att magnetfälten har beräknats i en modell och en modell är alltid en förenklad bild av verkligheten. Trots dessa begränsningar bedöms att de skatade magnetfältsvärdena ger en ganska realistisk bild av den kommande järnvägens magnetfält.

1 Bakgrund

Olskroken planskildhet och Västlänken är två järnvägsprojekt i Göteborg. Projekten har olika finansiering och drivs inom Trafikverket som två projekt. Olskroken planskildhet finansieras inom den nationella investeringsplanen liksom Västlänken, som också ingår i det Västsvenska paketet med betydande andel regional finansiering. Olskroken planskildhet och Västlänken redovisas i separata järnvägsplaner.

Ett viktigt underlag för järnvägsplanerna är miljökonsekvensbeskrivningen, som är gemensam för projekten och ska godkännas av länsstyrelsen. Som ett underlag till miljökonsekvensbeskrivningen har en serie rapporter tagits fram som belyser följande områden: Kulturmiljö, rekreation, naturmiljö, förorenade områden, ljud, stömljud och vibrationer, elektromagnetiska fält, luftkvalitet, dag- och tunnelvatten, geologi och hydrogeologi, klimatförändringar och översvämningssäkring samt risk och säkerhet. Denna underlagsrapport avser elektromagnetiska fält.



Figur 1.1. Korridor för tillåtlighet. Järnvägsanläggningen ska inrymmas i korridoren.

2 Bedömningsgrunder och krav

2.1 Övergripande mål och rekommendationer

Riksdagen har beslutat om 16 miljö kvalitetsmål. Intressant för frågan om magnetiska fält är miljö kvalitetsmålet ”Säker strålmiljö”.

”Människors hälsa och den biologiska mångfalden ska skyddas mot skadliga effekter av strålning i den yttre miljön.”

”Riskerna med elektromagnetiska fält ska kontinuerligt kartläggas och nödvändiga åtgärder ska vidtas i takt med att sådana eventuella risker identifieras. (detta ska ske löpande)”.

I Sverige finns för närvarande inga tvingande gränsvärden för lågfrekventa elektriska och magnetiska fält. Däremot finns flera rekommendationer. Dessa har tagits som utgångspunkt för den målsättning som använts för Västlänken.

Strålsäkerhetsmyndigheten har under år 2008, (SSMFS 2008:18) gett ut ”allmänna råd” för allmänhetens exponering för elektromagnetiska fält, vilka bygger på Europarådets rekommendation från den 12 juli 1999, om allmänhetens exponering för fält med frekvenser mellan 0 och 300 GHz. De nivåer som SSM rekommenderar är de som ICNIRP (International Commission of Non-Ionizing Radiation Protection, 1998) har givit ut riktlinjer för exponeringen för elektromagnetiska fält inom frekvensområdet 0 - 300 GHz. ICNIRP:s riktlinjer bygger på två allmänt accepterade hälsoeffekter.

- 1) Lågfrekventa fält kan inducera ström, som om den är tillräckligt stark, kan excitera nervsignaler.
- 2) Högfrekventa fält kan alstra en skadlig uppvärmning av vävnader i kroppen.

Utgående från dessa akuta hälsoeffekter, har ICNIRP satt upp grundläggande begränsningar som, för arbetsexponering ligger 10 gånger under den nivå, där effekten dokumenterats. För allmänhetens exponering har man lagt till en ytterligare säkerhetsfaktor på 5 gånger, för att täcka in variationer i känslighet för barn, gamla och sjuka. De grundläggande begränsningarna säkerställer att elektriska och magnetiska fenomen som kan uppträda i kroppen, inte stör funktioner i nervsystemet eller ger upphov till skadlig värmeutveckling.

För lågfrekventa fält innebär de grundläggande begränsningarna, att den inducerade strömtätheten i centrala nervsystemet, medelvärdesbildad över 1 cm^2 , är 10 mA/m^2 för yrkesexponering och 2 mA/m^2 för allmänhetens exponering. Då dessa grundläggande begränsningar är svåra att mäta i en praktisk situation, har ICNIRP infört något man kallar referensvärden. Referensvärdena anges i storheter som kan mätas utanför kroppen och är härledda ur de grundläggande begränsningarna och säkerställer att dessa inte överskrids. Om referensvärdet överskrids innebär det inte nödvändigtvis att de grundläggande begränsningarna överskrids. Om ett referensvärde överskrids ska man istället göra en grundligare utredning för att undersöka om de grundläggande begränsningarna överskrids eller ej. Referensvärden varierar med frekvensen. För tågfrekvensen $16 \frac{2}{3} \text{ Hz}$ är referensvärdet för magnetiska fält $1500 \mu\text{T}$ för arbetsexponering och $300 \mu\text{T}$ för allmänhetens exponering. Dessa nivåer avser takvärden.

Exponeringarna från tågtrafiken ligger, med betryggande marginal, under dessa värden varför det inte är något problem att uppfylla SSM och ICNIRPs krav.

SSM:s rekommendationer ger ett tak för kortvariga exponeringar för att undvika akuta hälsoeffekter.

Det finns forskning som tyder på att det även skulle kunna finnas långsiktiga hälsoeffekter som barnleukemi. Detta beskrivs närmare i avsnitt 3.4.

För att skydda mot dessa eventuella långsiktiga effekter utarbetade fem myndigheter under 1996 "Myndigheternas försiktighetsprincip om lågfrekventa elektriska och magnetiska fält - en vägledning för beslutsfattare". De fem myndigheterna var 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."

Följande förklaring av vad som menas med normal magnetfältnivå ges i Myndigheternas försiktighetsprincip:

"Medianvärdet för bostäder och daghem i större städer är cirka 0,1 μT . 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 μT . Nära kraftledningar och transformatorstationer är magnetfälten högre. Mitt under en kraftledning kan det vara ungefär 10 μT . Man beräknar att cirka 0,5 procent av bostadsbeståndet har ett magnetfält över 0,2 μT 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 μT . I många industrimiljöer varierar naturligt nog värdena avsevärt. Det högsta dagsmedelvärdet 1,1 μT mättes för yrkesgruppen svetsare."

Socialstyrelsen gav år 2005 ut ett meddelandeblad "Elektromagnetiska fält från kraftledningar". Meddelandebladet har tagits fram i samråd med Boverket, Elsäkerhetsverket och Statens strålskyddsinstitut. Syftet är att förse beslutsfattare med ett uppdaterat bedömningsunderlag. Man skriver:

"Sambandet mellan exponering för elektromagnetiska fält från kraftledningar och vissa andra elinstallationer och ökad risk för leukemi hos barn har diskuterats under många år.

Under 2001 gjordes en omfattande genomgång av de epidemiologiska forskningsrapporter som då fanns (Ahlbom med flera 2001). Resultaten från genomgången tyder på att man kan se en viss ökning av leukemirisken hos befolkningsgrupper som exponeras för magnetiska fält på 0,4 μT eller mer (avser långvarig exponering för 50 Hz magnetfält i bostäder). Däremot ser man ingen riskökning under 0,4 μT . Det finns inte någon känd mekanism som skulle kunna förklara hur exponering för så svaga och lågfrekventa fält skulle kunna påverka risken för sjukdom.

Det vetenskapliga underlaget anses fortfarande inte tillräckligt gediget för att man ska kunna sätta ett gränsvärde. Det beror bland annat på att det saknas en biologisk förklaringsmodell för påverkan på cancerrisken.

Ellagstiftningen liksom miljöbalkens regler om försiktighet är tillämpliga på den här typen av exponeringar. De innebär att risker för människors hälsa ska undvikas så långt som det kan anses ekonomiskt rimligt.

Man säger vidare krav på försiktighet finns definierade i miljöbalkens andra kapitel:

3§ ”alla som bedriver eller avser att bedriva en verksamhet eller vidta en åtgärd ska utföra de skyddsåtgärder, iaktta de begränsningar och vidta de försiktighetsmått i överensstämmelse med behov för att förebygga, hindra eller motverka att verksamheten eller åtgärden medför skada eller olägenhet för människors hälsa eller miljön. I samma syfte ska vid yrkesmässig verksamhet användas bästa möjliga teknik. Dessa försiktighetsmått ska vidtas så snart det finns skäl att anta att en verksamhet eller åtgärd kan medföra skada eller olägenhet för människors hälsa eller miljön”.

7§ ”kraven på hänsyn enligt 2 - 6§§ gäller i den utsträckning det inte kan anses orimligt att uppfylla dem. Vid denna bedömning ska särskilt beaktas nyttan av skyddsåtgärder och andra försiktighetsmått jämfört med kostnaderna för sådana åtgärder...”

Dessa skrivningar innebär att risker för människors hälsa ska undvikas så långt som det kan anses ekonomiskt rimligt. De stämmer väl överens med det som fördes fram i *Myndigheternas försiktighetsprincip om lågfrekventa elektriska och magnetiska fält*. Principerna för riskhantering är således de samma idag som tidigare.

Det är stor skillnad på nivåerna som avses i försiktighetsprincipen och nivån 300 µT som finns i SSM:s rekommendation. Man bör dock observera att 300 µT är ett takvärde medan nivåerna i försiktighetsprincipen avser årsmedelvärden.

Trafikverket ansluter sig till Myndigheternas försiktighetsprincip. Man har liksom i Myndigheternas försiktighetsprincip inte fastslagit någon absolut nivå. Olika fall måste bedömas ur sina förutsättningar. Åtgärder för att reducera fälten måste vägas mot nivåerna och kostnaderna för åtgärderna. Liksom i försiktighetsprincipen är ambitionsnivån vid nybyggnation högre än för befintliga anläggningar. Detta är rimligt då en åtgärd som planeras redan vid projekteringen normalt är mer effektiv och kan genomföras till en lägre kostnad.

2.2 Mål för magnetiska fält från Västlänken

Trafikverket hänvisar till försiktighetsprincipen. Inom projekt Västlänken har dessutom följande krav formulerats:

Krav avseende hälsa

- Sammanvägt årsmedelvärde för magnetfält får inte överskrida 0,4 μT (mikrotesla) inom stadigvarande arbetsplatser, skolor och bostäder.
- Enligt järnvägsutredningen finns även ett börvärde: Sammanvägt årsmedelvärde för magnetfält bör inte överskrida 0,2 μT (mikrotesla) inom stadigvarande arbetsplatser, skolor och bostäder. Ett motiv för ett börvärde på hälften av skallvärdet är att järnvägens bidrag till magnetfältet i byggnader inte bör täcka in hela nivån då det finns andra källor till magnetfält i byggnaden av till exempel den egna elförbrukningen.

Krav avseende verksamheter

- Momentana toppvärden får inte överstiga 1,0 μT för:
 - Göteborgsoperan, scenutrymme och salong.
 - Artisterna, verksamhetslokaler
 - Stadsteatern, scenutrymme och salong
 - Konserthuset scenutrymme och salong
 - Liseberg, lokaler och platser där teater, musik och likvärdig verksamhet förekommer
 - Liseberg, lokaler och platser där teater, musik och likvärdig verksamhet förekommer
- För verksamheter som använder sig av elektronstrålelitografer eller magnetresonansutrustning får toppvärdet inte överskrida 0,2 μT .

3 Förutsättningar

Elektrisk tågtrafik medför emission av elektriska och magnetiska fält kring järnvägen. De elektriska fälten skärmas effektivt av berget över tunneln medan de magnetiska fälten går igenom berget om inte tunneln är utförd med speciellt magnetfältskrämmande material. Detta medför att det är magnetfältet som kan ge problem utanför tunneln. Magnetfälten har vanligen en betydande tidsvariation. Ofta finns en klar dygnsvariation.

Varken berg eller betong har någon nämnvärd skärmande verkan för magnetfält. Goda ledare som aluminium och koppar kan skärma magnetfält liksom metaller med hög permeabilitet som stål. I betongtunneln används stål som armering. Denna armering kommer att ge en viss skärmverkan. Dock är denna verkan begränsad och har inte tillgodosräknats i beräkningarna för de delar av tunneln som är av betong.

För att beräkna magnetfälten noggrant måste järnvägens elprojektering ha fastlagt hur spåren ligger, inklusive alla ledare för ström som kontaktledning, återledare, jordledare, eventuella förbimättningsledare, jordade strukturer som kan föra ström som handledare. Vidare måste positionerna för sugtransformatorer, jordpunkter, förbimättningssektioner, avbrott i kontaktledning, samlingsjordförbindelser med mera vara kända. Preliminära uppgifter på elanläggningens utformning har erhållits. Dessa uppgifter ligger till grund för beräkningarna, vilka redovisas i underlag 1.

Magnetfältets toppvärde bestäms av tågströmmen, spårgeometrin och avstånd från spår. De största strömmarna uppstår vid full acceleration, vilket innebär att om den elektriska sektionen innefattar ett tågstopp, som exempelvis en station, så är sannolikheten för höga strömmar stor. Ett enkelt persontågsätt har typiskt en maxström på 180 – 190 A. Dubbel- och trippeltågsätt kan dra två respektive tre gånger så stor ström.

När det gäller kraven på årsmedelvärden i närliggande hus, så är det naturligtvis i de hus som ligger närmast tunneln som man kan förvänta sig de högsta värdena. En inventering har genomförts som visar att de närmaste husen ligger på ett avstånd av cirka 17 meter.

I avsnitt 4 redovisas beräknade topp- och årsmedelvärden av magnetfältet vid fastigheter som ligger nära tunneln eller som antas kunna ha utrustning som störs av magnetfält. Som nämnts tidigare är den exakta utformningen av elsystemet inte helt fastlagd vid denna tidpunkt, varför beräkningarna har genomförts under vissa antaganden. Detta medför att det finns en osäkerhet i de beräknade nivåerna. De viktigaste antagandena rör var avbrotts- och matningspunkter finns för sektionering av strömmatningen i sektioner, vilka redovisas i underlag 1. Beräkningarna är baserade på preliminära uppgifter. I bygghandlingsskedet, när mer precisa indata finns tillgängliga, bör beräkningarna kontrolleras för kritiska lägen.

Några beräkningar har heller inte gjorts för teknikutrymmen och kablar till och från dessa, då kabelplaceringarna ännu inte är fastlagda. Magnetfältsbidraget från dessa är normalt litet, om fram och återgående strömkablar förläggs tillsammans, men kontroll kan behöva göras i bygghandlingsskedet.

3.1 Fordonsbeskrivning

De tågströmmar som beräkningarna är baserade på, grundas på uppgifter från Trafikverket angående vilka tåg som är mest troliga att trafikera Västlänken år 2030. Man beräknar att trafikmängden kommer att uppgå till 460 tåg/dygn sammanlagt i båda riktning-

arna år 2030. Under en dag består trafiken av 340 pendeltåg, 120 regionaltåg och inga snabbtåg.

Nedan följer en kort beskrivning av tågtyperna. Både X61 och X50 kommer vanligen att vara dubbelkopplad, men kan också vara trippelkopplad.

X61 Pendeltåg



*Figur 3.1 Bilden visar två X61 tåg som används som pendeltåg.
Foto: Staffan Sävenfjord*

X61 är fyrdelat tågsätt som är: 74 meter långt. Motoreffekten uppgår till 2000 kW och maxhastigheten till 160 km/h. Se figur 3.1.

X50-3 Regina



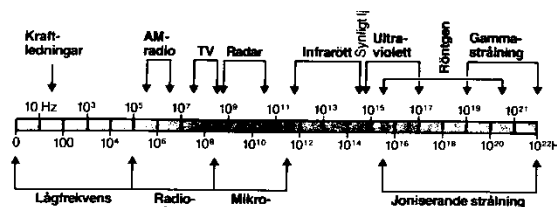
*Figur 3.2 Bilden visar ett X50-3 tåg, Regina som i Västlänken är ett regionaltåg.
Foto: Fredrik Tellerup*

X50-3 är en tredelad elmotorvagn. Det tredelade tågsättet har en längd av 81 meter och väger 270 ton. Se figur 3.2. Motoreffekten uppgår till 2385 kW och tåget har en maxhastighet av 200 km/h.

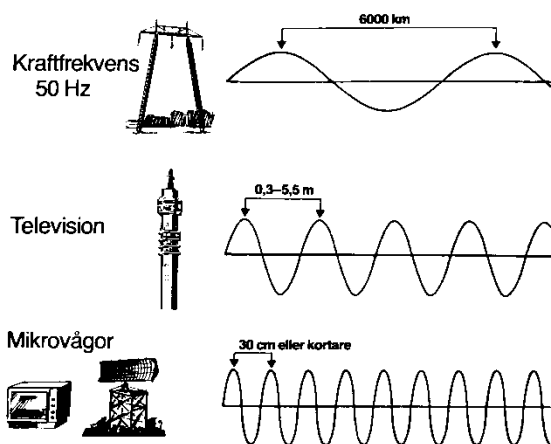
3.2 Allmänt om EMF

Så länge som människan har existerat så har vi varit utsatta för elektromagnetiska fält. Men det var inte förrän 1820 som sambandet mellan elektricitet och magnetism upptäcktes av Hans Christian Ørsted (1722-1851). På den tiden var elektricitet ett sällsynt fenomen, men under det senaste seklet så har vi sett en snabb "elektrifiering" av det moderna samhället: kraftledningar, elektrisk uppvärmning, elektriska verktyg och motorer, radiokommunikation, TV, radar och mikrovågsugnar. Ökningen av emissionen av elektromagnetiska fält gör det intressant att studera om dessa har biologisk inverkan på människor. Det elektromagnetiska spektrumet innefattar ett stort frekvensomfång. Merparten av de fält som finns i vår närmiljö är av relativt låg intensitet och låg frekvens.

Elektriska och magnetiska fält kan karaktäriseras av sin styrka och frekvens. Frekvensen anges i hertz (Hz), som anger hur många fältstyrkemaxima fältet har per sekund i en punkt. I figur 3.3 visas det elektromagnetiska spektrumet som sträcker sig från låga frekvenser, som nätfrekvensen 50 Hz via radiofrekvens och mikrovågsfrekvens, infrarött, synligt och ultraviolett ljus upptill röntgen och gammastrålning. Synligt ljus intar en särställning då vi kan se elektromagnetiska fält av dessa frekvenser. Övriga delar av spektrumet är osynligt. Det finns dock mätinstrument för samtliga delar av spektrumet.



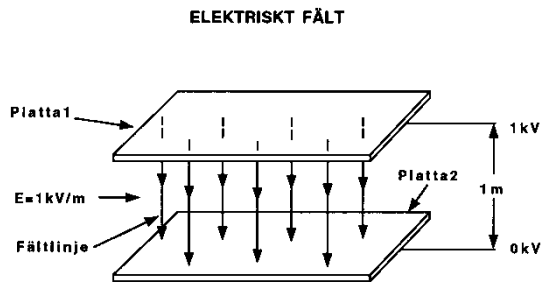
Frekvens och våglängd



Figur 3.3 Det elektromagnetiska spektrumet. (Källa: Svenska Elverksföreningen)

Elektriska fält

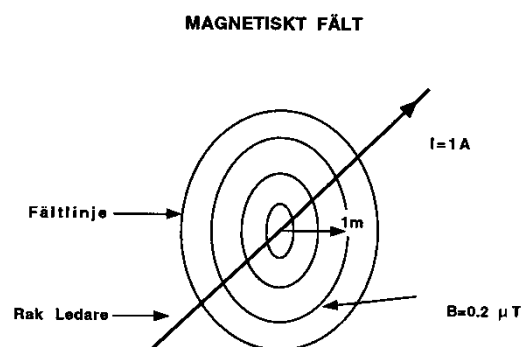
Elektriska fält beror på spänningar: Fältet går från en spänning till en annan. Styrkan på det elektriska fältet anges i Volt/meter (V/m). Om man har två plåtar som i figur 3.4 och den ena har spänningen 0 (noll) V och den andra 1 kV (kilovolt = 1000 V) så blir den elektriska fältstyrkan, E , lika med spänningsskillnaden, U ($= 1$ kV) dividerat med avståndet, d ($= 1$ m), det vill säga 1 kV/m. Detta innebär att alla spänningssatta föremål alstrar elektriska fält.



Figur 3.4 Ett elektriskt fält uppstår mellan föremål som har olika spänning. Den elektriska fältstyrkan (E) är lika med spänningsskillnaden delat med avståndet mellan föremålen.

Magnetiska fält

Elektriska fält alstras av spänningar. De magnetiska fälten alstras däremot av strömmar. Vi tar ett enkelt exempel, en rak ledning som det går en ström i, se figur 3.5. Runt ledningen skapas ett magnetiskt fält. De elektriska fältlinjerna går från en spänning till en annan. De magnetiska fältlinjerna bildar däremot alltid slutna banor runt om de strömmar som alstrar dem. Styrkan på de magnetiska fälten, den magnetiska flödestätheten, mäts i tesla (T). 1 tesla är en mycket stor enhet. När det gäller normal miljö får vi ta till mikrottesla (μT), milliondels tesla och nanotesla (nT), milliarddels tesla.



Figur 3.5 Magnetiska fält bildar slutna fältlinjer kring strömförande ledare. Den magnetiska flödestätheten (B) uppgår till $0,2 \mu\text{T}$ en meter från en ledare som för strömmen (I) 1 A.

Om vi låter en ström, I , gå genom ledaren i figur 3.5, får vi en magnetisk fältstyrka, H , på avståndet, r .

$$H = \frac{I}{2\pi \cdot r} \quad (\text{A/m})$$

Den magnetiska flödestätheten B är

$$B = \mu \cdot H \quad (\text{T})$$

där μ är en materialkonstant, permeabiliteten (Vs/Am). Permeabiliteten för vakuum brukar betecknas μ_0 . Den har värdet $4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Vs/Am}$. Nästan alla material har en permeabilitet med värde mycket nära μ_0 . Detta gäller för normala byggnadsmaterial, biologisk vävnad och de flesta metaller. Endast magnetiska material som järn har en permeabilitet

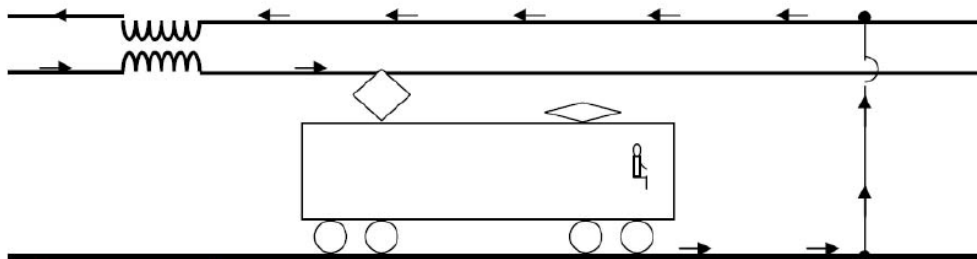
som avviker kraftigt från μ_0 . För material med permeabilitet μ_0 blir flödestätheten från ledaren i figur 3.5:

$$B = \mu_0 \cdot H = \frac{2 \cdot 10^{-7} I}{r} \quad (\text{T})$$

Om det går en ström på 1 A i figurens ledare, får vi en magnetisk flödestäthet på 0,2 μT en meter ut från ledaren. Vi ser att för normala strömstyrkor blir flödestätheten mycket mindre än 1 T. Är strömmen en likström bildas ett statiskt fält. Är det en växelström bildas ett magnetiskt växelfält.

Magnetiska fält från elektriska tåg

De magnetiska fälten bildas av de strömmar som matas till loket. Även de elektriska apparaterna inne i loket som motorer med mera 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 normalt sektionerad med så kallade sugtransformatorer på cirka var 5:e kilometer. Detta innebär att strömmen går i rälerna till sugtransformatorn och sugas sedan upp till en stolp- eller bergväggsförlagd återledarkabel, se figur 3.6.



Figur 3.6 Bilden visar ett exempel på strömmens väg via kontaktledning till lok och vidare via hjulen till S-räl. Strömmen sugas upp från rälerna, i jordpunkter, till återledaren med hjälp av sugtransformatorer.

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.

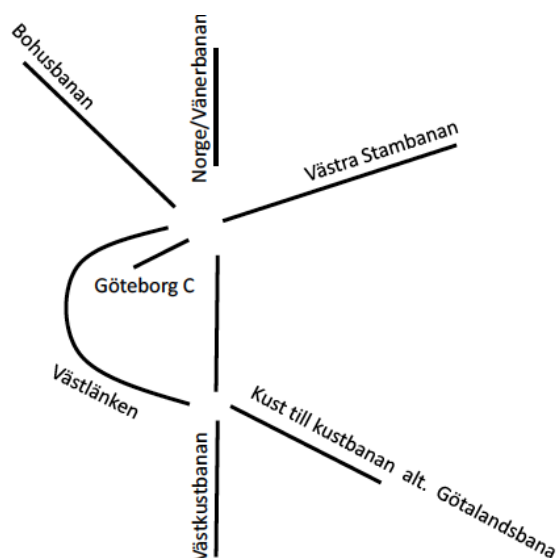
Då Västlänken går genom centrala Göteborg kommer tunneln med nödvändighet att på många platser ha ett begränsat avstånd till byggnader. För att minska exponeringen av dessa byggnader planeras Västlänken byggas med matning som är sektionerad med 1 000 meter långa sektioner. Att minska sektioneringen från cirka 5 000 meter till cirka 1 000 meter ger uppskattningsvis en tredubbling av kostnaden för kontaktledningsanläggningen. Varje sektion har avbrott för kontaktledningen i sektionssluten. Varje sektion matas på mitten av sektionen via en förbimatningsledning och en sugtransformator. Mitt i sektionen finns en jordpunkt för återledningen.

Det största magnetfältet uppstår när tågströmmen går via kontaktledning och åter via S-räl. Med denna utformning utsätts ingen byggnad för denna situation för mer än 500 meter av ett tågs väg. Genom att sektionera matningen begränsas tiden som varje tåg ger betydande magnetfältsbidrag vid en byggnad, vilket begränsar årsmedelvärdet av magnetfältet.

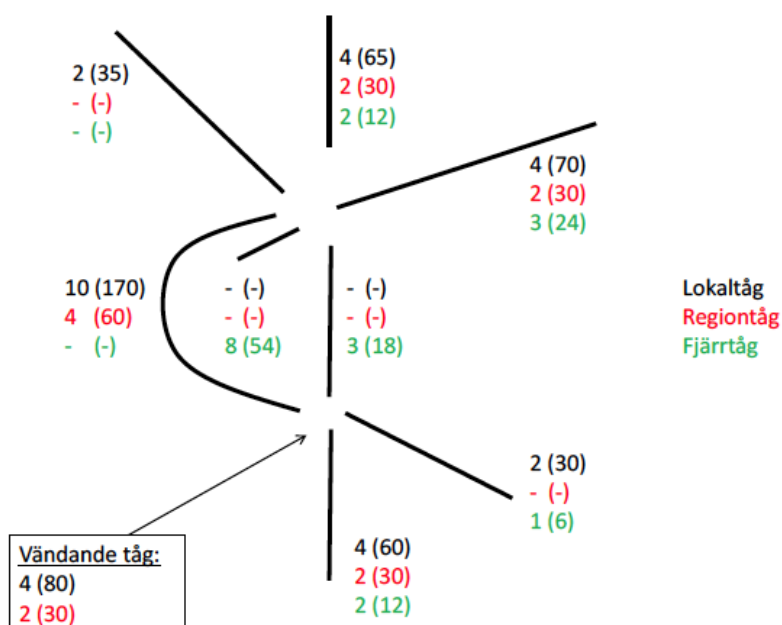
3.3 Trafikering

Den aktuella utredningen baseras på fyrspårsstationer vid Göteborg C, Haga och Korsvägen.

För att uppskatta årsmedelvärdet av magnetfältsexponeringen har vi använt trafikering enligt figur 3.7a och 3.7b.



Figur 3.7a Banor med persontågstrafik.



Figur 3.7b Persontåg. Dubbelturer, maxtimme (medelvardagsdygn). Västlänken prognos utredningsalternativ trafikering vid trafikstart.

Vi beräknar att trafikmängden i Västlänken kommer att uppgå till 460 tåg/dygn sammanlagt i båda riktningarna vid trafikstart. Under en dag består trafiken av 340 pendeltåg och 120 regionaltåg. I detta trafikläge väntas inga snabbtåg gå via Västlänken.

För att kunna uppskatta årsmedelvärdet av magnetfältet måste vi ansätta vilken strömförbrukning tågen har på den aktuella sträckan. Strömförbrukningen kan skilja från tåg till tåg och även för likadana tågtyper, beroende på den enskilde lokförarens körstil. Det är därför omöjligt att exakt förutsäga vilken strömförbrukning enskilda tåg kommer att ha. Strömmarna är baserade på strömkurvor från tågleverantör och kompletterande beräkningar i projektet. De olika tågtyperna med respektive strömförbrukning framgår av tabell 3.1.

Strömförbrukningen beror på acceleration, retardation, lutning och hastighet.

Magnetfältets toppvärde bestäms av tågströmmen, spårgeometrin och avståndet. De största strömmarna uppstår vid full acceleration vilket innebär att om den elektriska sektionen innefattar ett tågstopp, som exempelvis en station, så är sannolikheten för höga strömmar stor. Ett enkelt persontåg har typiskt en maxström på 180 – 190 A. Dubbel- och trippeltåg kan dra två respektive tre gånger så stor ström.

Tabell 3.1 strömförbrukning i ampere (a) vid olika driftsfall, data för x55 är skalade värden för x61.

Ström X50-3 (A)	Acc. 0 - 30‰	Ret. 0 - 30 ‰	Fortvarighet 0 ‰	Fortvarighet 30 ‰	Fortvarighet 20 ‰	Fortvarighet 10 ‰
Enkelfordon	270	188	30	168	120	68
Dubbelfordon	540	375	60	335	240	135
Ström X55						
Enkelfordon	210	165	22	144	105	66
Dubbelfordon	420	330	45	287	210	133
Ström X61 (A)						
Enkelfordon	127	100	13	87	63	40
Dubbelfordon	253	200	27	173	127	80
Trippelfordon	380	300	40	260	190	120

I Västlänken planeras användning av X50-3 trippeltågsätt. Dessa kan dra en maxström på 540 A. När det gäller spårgeometrin är avståndet mellan spåren en faktor som påverkar magnetfältet. Återgångsströmmen från tågen går i S-rälerna. S-rälerna är förbundna med varandra cirka var 250 meter, vilket innebär att återgångsströmmen från ett tåg sprids ut över befintliga S-räler. När återgångsströmmen sprids ut relativt matningsströmmen i kontaktledningen, bildas större strömslingor och därmed högre magnetfält.

Uppmätning av befintliga magnetiska fält, underlag

Yngve Hamnerius har vid Chalmers tidigare låtit genomföra ett flertal mätningar av magnetfält i Göteborg. I en studie genomfördes en 24 timmars loggning av magnetfältet i 67 lägenheter i flerbostadshus i Göteborg. 2011 genomfördes mätningar i 97 slumpvis utvalda bostäder i Göteborg, Borås och Marks kommuner.

I Västlänkenprojektet har det genomförts mätningar med loggning i hus längs Nollalternativet (Gårdatunneln). I dessa hus är det extra intressant att genomföra frekvensselektiva magnetfältsmätningar. På så vis kan man separera mätvärdena från tågens 16 2/3 Hz magnetfält från övriga källor som huvudsakligen är på frekvensen 50 Hz.

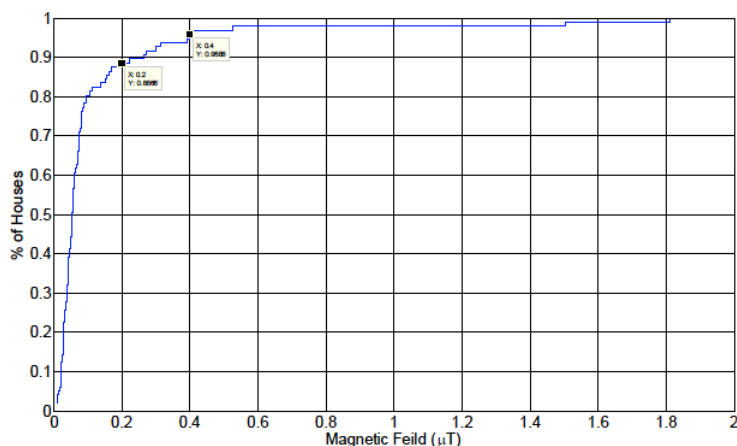
Mätning av magnetfält i bostadsmiljö

Mätningar av magnetfält har utförts i 67 lägenheter i Göteborgs kommun, Carlander och Moberg (1992) En förnyad mätning genomfördes på uppdrag av Strålsäkerhetsmyndigheten 2010-2011 (Hamnerius m fl 2011). Mätningarna utfördes med hjälp av en handburen magnetfältslogger Radians Innova ML-1. Instrumentet mäter magnetisk fältstyrka i frekvensområdet 30-2000 Hz. Instrumentet placerades i ett sovrum under sängen och magnetfältet loggades över 1 dygn. Kompletterande korttidsmätningar har utförts i sovrum, kök, vardagsrum och ett övrigt rum i lägenheter som hade dessa rum. I varje rum har fem mätpunkter tagits, samtliga en meter över golv. För att få ett relevant mätvärde, som kunde motsvara de boendes exponering på lägenheternas magnetfält, har mätvärdena viktats med avseende på trolig vistelsetid i olika rum.

Mätningarna 1992 gav följande resultat:

medelvärde för B_{viktad} :	0,12 μT
medianvärde för B_{viktad} :	0,07 μT
standardavvikelse för B_{viktad} :	0,05 μT

Mätningarna 2010-2011 gav en fördelning av magnetfältet i de uppmätta bostäderna som redovisas i figur 3.8.



Figur 3.8 Bilden visar fördelningen av medelmagnetfältet i 97 uppmätta bostäder i Göteborg, Borås och Marks kommuner.

Median och medelvärde för magnetfälten i bostäderna i de tre kommunerna redovisas i tabell 3.2.

Tabell 3.2 Magnetfältens medel- och medianvärde i de uppmätta bostäderna i de tre kommunerna.

Kommun	Göteborg	Borås	Mark
Antal bostäder	38	27	31
% bostäder < 0.2 μT	87	85	93
Median	0.05 μ T	0.07 μ T	0.04 μ T
Medel	0.10 μ T	0.15 μ T	0.09 μ T

Som framgår av tabell 3.2 är medel och medianvärdena vid mätningen 2010-2011 på ungefär samma nivå som motsvarande mätvärden 1992.

Mätningar av magnetfält för nollalternativet

Magnetfälten kring nollalternativet har uppmäts. Vi valde att specifikt titta på de magnetfält som tågen alstrade vid 16 2/3 Hz i kombination med fälten i området 30-2000 Hz. Magnetfälten kring nollalternativet är mycket intressanta att kunna bestämma, dels genom mätningar av läget (2004) och dels genom en trafikprognos för nollalternativet (år 2030). Den ungefär två kilometer långa dubbelspåriga Gårdatunneln är del av nollalternativet och är den delen av sträckan som vi valt att mäta kring. Vi har på så vis kunnat mäta direkt ovanför spåren såväl som i tunnelns sidled vid olika positioner. Mät-punkterna ligger utspridda på båda sidor om spåren, vid tunnelmynningarna och ungefär på mitten av tunneln. Tunneln har en svag S-form. Figurerna 3.9 – 3.11 redovisar mät-punkterna.



Figur 3.9 Den streckade svarta linjen indikerar Gårdatunnelns läge. Två mätpunkter valdes i det så kallade Turionhuset (fastighet 46:9) och en mätpunkt valdes i källaren på adressen Femkampsgatan 5C (fastighet 51:1).



Figur 3.10 Den streckade svarta linjen indikerar Gårdatunnelns läge kring Lisebergsmotet. Pilarna till vänster i bild indikerar mätningar gjorda under mark vid Liseberg station. Till höger om dessa visar två pilar mätpunkter vid Örgryte gamla kyrkas västliga och östliga sida. Något längre norrut valde vi två mätpunkter på Överåsgatan (fastigheterna 70:5 och 71:4). Ett kryss uppe till höger i bild indikerar en mätpunkt där det uppmättes oväntat höga magnetfältsnivåer vid frekvensen 16 2/3 Hz. Mätpunkten ligger på 200 meters avstånd från närmaste järnvägs-spår.



Figur 3.11 Bilden visar tunnelns södra del och två mätpunkter i Hemtjänsts lokaler på Påskbergsgatan (fastighet 33:10) samt två mätpunkter nästan rakt ovanför tunneln med enstaka meter bergtäckning - invid gångvägen strax öster om Nellickevägen (fastighet 750:759).

Med hjälp av mätinstrumenten BMM-3000 och BMM-3 från Enviromentor samt dataloggern Hobo H8 har vi mätt och loggat den magnetiska flödestäthetens effektivvärden i 3-sekunders intervaller över 1 dygn. För varje mätpunkt redovisas magnetfältens maximalvärden (rms) under ettdygnspanperioden samt magnetfältens 1-dygnsmedelvärde (rms).

Avståndet mellan mätpunkt och tunnelns origo, vilket definieras som mitt mellan dubbelspårerna samt mitt mellan räls överkant (rök) och kontaktledning. Magnetfältet som genereras av tågen och dess strömmatning redovisas i tabell 3.3. Resultaten är rangordnade efter avstånd till tunneln.

Tabell 3.3 Uppmätta magnetfältsnivåer för 16 2/3 Hz på olika adresser kring Gårdatunneln.
 B_{medel} avser magnetfältets dygnsmedelvärde och B_{max} avser det maximala rms-värdet som registrerats under dygnet.

Adress	Mätpunkt	Avstånd [m]	B_{medel} [μT]	B_{max} [μT]
Liseberg station	I trapphus för nödutg. vid dörr	9,8	0,26	13,0
Nellickevägen, gångväg	15 m n. om ing., östlig sida	13,1	0,16	8,28
Nellickevägen, gångväg	10 m n. om ing., östlig sida	15,1	0,11	5,80
Liseberg station	Trapphus nödutg, en avsats upp	15,2	0,10	5,19
Påskbergsgatan 12	1 meter från västlig fasad, insidan	26,0	0,07	3,23
Påskbergsgatan 12	13 meter fr. västlig fasad, insidan	36,3	0,04	2,00
Örgryte gamla kyrka	Ingång, västlig sida	37,7	0,05	1,68
Södra Gubberogatan, Turionhuset	Lunchrum mot östlig vägg	41,4	0,08	2,17
Överåsgatan 5	Källare, arb.rum	55,0	0,04	1,48
Södra Gubberogatan, Turionhuset	Rum mot västlig vägg	55,7	0,05	1,30
Örgryte gamla kyrka	Vid baksidan, östlig sida	64,2	0,03	0,97
Femkampsgatan 5C	Källare, syd-västligt hörn	73,3	0,04	0,95
Överåsgatan 12	Källare, västlig sida	79,5	0,01	0,46

Magnetfält i frekvensområdet 30-2000 Hz loggades i 40-sekunders intervaller över ett dygn med hjälp av magnetfältslloggern ML-1 från Enviromentor. Datainsamlingen från dessa mätningar visade att inga av de uppmätta husen hade medelmagnetfältsnivåer i källarvåningen som översteg $0,10 \mu\text{T}$.

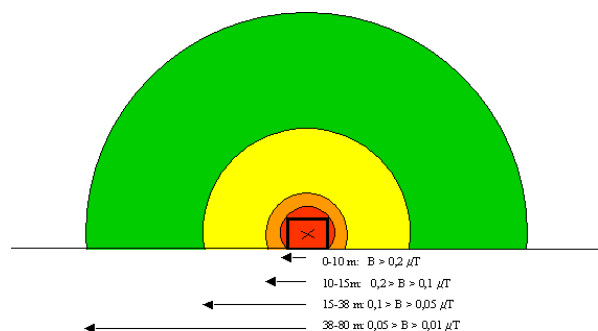
Det passerade cirka 250 tåg per dygn genom Gårdatunneln i den aktuella mätperioden under början av oktober 2004.

De uppmätta magnetfältens avståndsberoende

Strömmatningen till tågen bygger på principen om att strömmen bildar en krets där strömmen till tåget matas från sugtransformatorerna fram till tåget via kontaktledning- en. Strömmen tar därefter vägen genom tågets motorer för att sedan att ta sig ned i S-räl och åter till sugtransformatorerna. Om strömkretsen fungerar som just beskrivits, kommer magnetfältet att minska med ett över avståndet i kvadrat, om man rör sig vinkelrätt bort från spåret.

När mätresultaten plottas, både maximalvärden och medelvärden, så visar det sig att på avstånd större än cirka 15 meter så avtar fältet i stället med ett över avståndet. Detta tyder på att delar av återgångsströmmen vagabonderar i metallstrukturer utanför tunneln. I en mätpunkt cirka 200 meter från tunneln där bidraget från järnvägen borde varit försumbart, uppmättes signifikanta tågfrekventa fält vilket också tyder på vagabonderande strömmar.

I figur 3.12 sammanfattas medelmagnetfältets avståndsberoende utgående från mätningarna vid Gårdatunneln.



Figur 3.12 En sammanställning av mätresultaten kring Gårdatunneln visar dygnsmedelvärdet magnetisk flödestäthet B , loggade under en ettdygnsperiod. Figuren visar ett tvärsnitt av tunnelröret där man ser utbredelsen av magnetfält alstrade av tågtrafiken.

Anledningen till de vagabonderande strömmarna är sannolikt att Gårdatunneln är byggd med ett konventionellt elsystem med cirka 5 kilometer mellan sugtransformatorerna och ingen sektionerad matning. I de beräkningar som redovisas här för Västlänken, förutsätts 1 km sektionerad matning vilket gör att problemen med vagabonderande strömmar bör vara betydligt mindre. Detta bygger dock på att det inte finns några andra källor till vagabonderande strömmar. En Västlänkstunnel kommer att vara elektriskt förbunden med båda ändarna av Gårdatunneln, vilket innebär att vagabonderande strömmar från Gårdatunneln kan gå i Västlänkstunneln. De beräkningar som redovisas här bygger på ideala sugtransformatorer och inga vagabonderande strömmar från Gårdatunneln.

Det är därför sannolikt att Gårdatunnelns elsystem måste modifieras så att det blir likvärdigt det planerade i Västlänken, för att magnetfältsmålen ska uppnås.

3.4 Hälsoeffekter samt påverkan på teknisk utrustning

Det elektromagnetiska spektrumet innefattar ett stort frekvensomfång, och en biologisk inverkan från mikrovågor behöver inte ha samma verkan som magnetfält från en kraftledning. Vi kan därför inte behandla inverkan från alla elektromagnetiska fält i en studie.

I detta avsnitt går vi först igenom de allmänt erkända hälsoeffekterna av riktigt starka lågfrekventa fält, för att senare komma in på forskningen om biologiska effekter av svaga magnetfält och frågan om dessa biologiska effekter kan innebära några hälsorisker.

3.5 Effekter av starka fält

Det är sedan länge känt, att det finns hälsorisker vid direktkontakt med spänningsförande föremål. Om man vid kontakt med en elektrisk strömkrets får ström genom kroppen kan strömmen excitera nervsignaler. Detta kan i värsta fall leda till hjärtstillestånd. Om man tar om ett ledande föremål och ström går genom armen och vidare genom kroppen, kan man inte släppa föremålet om strömstyrkan ligger över en viss nivå. Detta beror på att handens gripmuskler styrs av strömmen och de elektriska signaler som kommer från hjärnan "överröstas" av strömmen. För en vuxen man ligger denna nivå på cirka 15 mA, något lägre för kvinnor och för små barn kan den ligga så lågt som 5 mA.

Vid kontakt med högspänningsledningar kan strömstyrkan bli så stor att den inte endast exciterar nervsignaler, utan kan även ge upphov till brännskador. Det har genom åren skett ett antal olyckor. Personer har klättrat upp på järnvägsvagnstak och kommit nära kontaktledningen. Ett överslag har skett och personen har förutom nervpåverkan fått brännskador, som inte sällan lett till döden. För att i möjligaste mån minimera antalet elolycksfall, kringgärdas såväl vanliga elinstallationer som järnvägens installationer, av en rad säkerhetsbestämmelser.

Dessa exempel handlade om direktkontakt med elektriska ledare. Hur är det då med exponering av elektromagnetiska fält?

Det råder stor enighet om att riktigt starka lågfrekventa elektriska och magnetiska fält kan ge upphov till hälsoskadliga effekter. Elektriska och magnetiska växelvärd alstrar inducerade strömmar i människokroppen. Blir dessa strömmar tillräckligt stora, kan de, precis som för ledningsströmmar, excitera nervsignaler.

Den inducerade strömtätheten är proportionell mot fältets styrka och mot fältets frekvens. Tågens fält har den mycket låga frekvensen 16 2/3 Hz vilket innebär att det krävs mycket starka fält för att excitera nervsignaler. Om vi koncentrerar oss på fält utanför tunneln, så ligger magnetfältet på nivåer upp till ett tiotal μT . Dessa nivåer ligger mer än tiotusen gånger lägre än de nivåer som krävs för att excitera nervsignaler. Det är därför ingen risk att magnetfältet från tågtrafiken kan leda till excitering av nervsignaler.

3.6 Effekter av svaga fält

Synen på om svaga elektriska och magnetiska fält har någon hälsoskadlig inverkan har ändrats de senaste åren. De svaga fält man exponeras för i hem och kontorsmiljö inducerar svaga strömmar i kroppen. Styrkan på dessa strömmar är inte större än de strömmar som finns naturligt i kroppen av till exempel hjärtats aktivitet. Med anledning av detta bedömde forskarna allmänt att hälsorisker av dessa fält var mycket osannolika.

Ett första tecken på att denna bedömning kanske var felaktig kom 1979, då en studie publicerades där man funnit en korrelation mellan barncancer och magnetfält i hemmen,

Wertheimer och Leeper (1979). När denna rapport kom, möttes den av en utbredd mistrohet. Den ledde dock till att flera liknande studier genomfördes. När resultaten från de flesta av de fortsatta studierna också gav resultat som tydde på ett samband mellan magnetfält och barncancer, började en omprövning att göras.

Cancer och påverkan på nervsystemet

År 1992 presenterades två svenska studier; dels den s k närboendestudien, dels en studie av cancer och yrkesexponering för magnetfält. I närboendestudien undersöktes alla barncancerfall, vuxenleukemier och hjärntumörer för den del av befolkningen som bor mindre än 300 meter från 220 och 400 kV-ledningar. Resultaten var att man fann ett dos-responssamband mellan beräknad magnetfältsexponering och barnleukemier. Signifikant förhöjda barnleukemirisker observerades vid exponering över 0,2 μT (Feychting och Ahlbom 1992, 1993). I deras rapport finner man ingen korrelation mellan vuxenexponering i bostäder och leukemi eller hjärntumörer. Forskargruppen har gått vidare och förfinat sitt exponeringsmått till beräknad magnetfältdos under en tioårsperiod före diagnostillfället. Med denna metod finner man en ökad risk för en form av vuxenleukemi, för dem vars beräknade dos överstiger 2 $\mu\text{T}/\text{år}$.

Studien av yrkesexponering av män och cancer har genomförts av Birgitta Floderus med flera (1992, 1993). I undersökningen har man med hjälp av dosimetrar mätt exponeringen över en arbetsdag för fall och kontroller. I denna studie ser man statistiska samband mellan yrkesexponering för magnetfält och leukemier samt ett något svagare samband för hjärntumörer. De nivåer där man ser riskökningar ligger vid 0,2 – 0,3 μT .

Två danska studier har genomförts med liknade upplägg, Olsen (1993), Johansen (1998). Resultaten i dessa studier pekar åt samma håll som de svenska studierna, men resultaten är inte statistiskt säkerställda.

Den senaste barncancerstudien, Draper med flera (2005) bekräftar i och för sig det statistiska sambandet mellan barncancer och kraftledningar. Det som komplicerar bilden är att man ser överrisker ända ut till 500 meter från kraftledningen, ett avstånd på vilket magnetfältet avklingat till mycket låga värden.

Vid studier av vuxencancer och magnetfältsexponering i hemmiljön har man i de flesta studierna inte funnit något samband.

Man har fått störst samstämmighet i resultaten från studier av magnetfältsexponering och barnleukemi. Trots detta kan resultaten även från dessa studier tolkas på olika sätt då flertalet, i och för sig, finner ökade barnleukemirisker, men i många fall är dessa riskökningar inte statistiskt säkerställda. En möjlig förklaring till att många resultat inte är statistiskt säkerställda är att det är få barnleukemifall i varje studie, varför siffrorna blir osäkra. Att det är få barnleukemifall beror på att barnleukemi, tack och lov, är en mycket sällsynt sjukdom.

För att få ett säkrare bedömningsunderlag, samarbetade författarna till nio barncancerstudier varvid de lade samman sina rådata till en sammanslagen (pooled) analys, Ahlbom med flera (2000). I denna sammanslagna analys ser man en statistiskt säkerställd, drygt fördubblad barnleukemirisk vid medelxponeringar över 0,4 μT . Man ser inga riskökningar under nivån 0,4 μT . Materialet är så stort att författarna menar att det inte är sannolikt att riskökningen skulle kunna bero på slumpen, men de påpekar samtidigt att det aldrig är möjligt att bevisa ett orsakssamband med hjälp av epidemiologiska under-

sökningar, varför det är inte möjligt att utesluta att en annan faktor skulle kunna ligga bakom riskökningen.

Epidemiologiska studier kan aldrig **bevisa** ett orsakssamband mellan en faktor och en sjukdom. För detta behövs djurförsök. I en översiktsartikel skriver Löscher och Mevissen (1994) att det samlats allt mer bevis för att det i försöksdjur som exponerats för kraftfrekventa magnetfält, erhålls en cancerpåverkan, men att bevisen fortfarande är för svaga för att fastlägga ett orsak-verkansamband. Flera av djurförsöken tyder på att magnetfält skulle kunna vara en bidragande faktor för brösttumörutveckling, se till exempel Löscher med flera (1994). Löschers grupp har därefter arbetat vidare med djurförsök och i dessa sett en ökad cancerfrekvens hos magnetfältsexponerade djur, Baum med flera (1995). Vid upprepningsstudier vid Batellelaboratoriet i USA, har man inte lyckats upprepa dessa resultat, Anderson med flera (1999).

Sammanfattning

Sammanfattningsvis ser vi att ett flertal studier pekar mot ett samband mellan cancer och magnetfältsexponering. Starkast är bevisen för ett samband mellan bostadsexponering och barnleukemi. En viss samstämmighet finns också i yrkesstudierna avseende leukemi och hjärntumörer. För andra sjukdomar som brösttumörer och Alzheimers sjukdom, fosterutveckling och elöverkänslighet är läget fortfarande mycket osäkert. Det som gör forskningsläget osäkert är avsaknaden av en känd växelverkansmekanism som skulle kunna förklara ett eventuellt samband molekylärbiologiskt.

3.7 Internationell bedömning

WHO koordinerar arbetet med bedömning av hälsorisker av elektromagnetiska fält vid kontoret i Geneve. WHO-organet International Agency for Research on Cancer (IARC), utreder cancerrisker. IARC klassificerar olika agens cancerrisker, enligt en strikt procedur. Denna klassning är indelad enligt Tabell 3.4.

Under 2002 studerade en expertgrupp vid IARC forskningen om cancerrisker av statiska och extremt lågfrekventa elektromagnetiska fält. Arbetet finns dokumenterat i en bok som sammanställer och kommenterar en betydande del av forskningen på området, IARC (2002).

Enligt IARC är:

- Bevisen begränsade för att det skulle finnas ett samband mellan ELF-magnetfält och barnleukemi.
- Bevisen otillräckliga för att det skulle finnas ett samband mellan ELF-magnetfält och alla andra cancerformer.
- Bevisen otillräckliga för ett samband mellan magnetfält och cancer i försöksdjur.

Tabell 3.4 sammanställning av IARC:s klassning av cancer.

Klass	Benämning	Bevis för cancer
1	Är cancerframkallande	Tillräckliga bevis
2A	Troligen cancerframkallande	Begränsade bevis
2B	Möjligen cancerframkallande	Mer begränsade bevis
3	Kan inte klassas som cancerframkallande	Otillräckliga bevis
4	Troligen inte cancerframkallande	Bevis saknas

IARC:s bedömning när det gäller **statiska** elektriska och magnetiska fält samt lågfrekventa **elektriska** fält är att nuvarande data inte räcker för att man ska kunna bedöma om de är cancerframkallande eller inte (grupp 3).

För **lågfrekventa magnetfält** görs bedömning att de **möjligen** skulle kunna vara cancerframkallande, grupp 2B. Expertgruppen gjorde bedömningen att barncancerstudierna utgjorde ett begränsat bevis (limited evidence) för en överrisk för cancer, medan bedömningen av studier på vuxna blev att bevisningen var ofullständig (inadequate evidence). IARC ställningstagande bygger framförallt på epidemiologiska studier av barncancer och magnetfältsexponering.

3.8 Påverkan på teknisk utrustning

Det är framförallt apparatur med elektronstrålar som påverkas av magnetfält, som till exempel katodstrålerörsskärmar, elektronmikroskop, elektronstrålelitografer men även annan utrustning som magnetresonanstomografer. Vanligast förekommande är katodstråleskärmar, som ofta används i bildskärmar och TV-apparater. I de känsligaste bildskärmarna kan man detektera bildstörningar vid 0,5 μT . Bildpåverkan upplevs ofta störande vid nivåer över 1 μT .

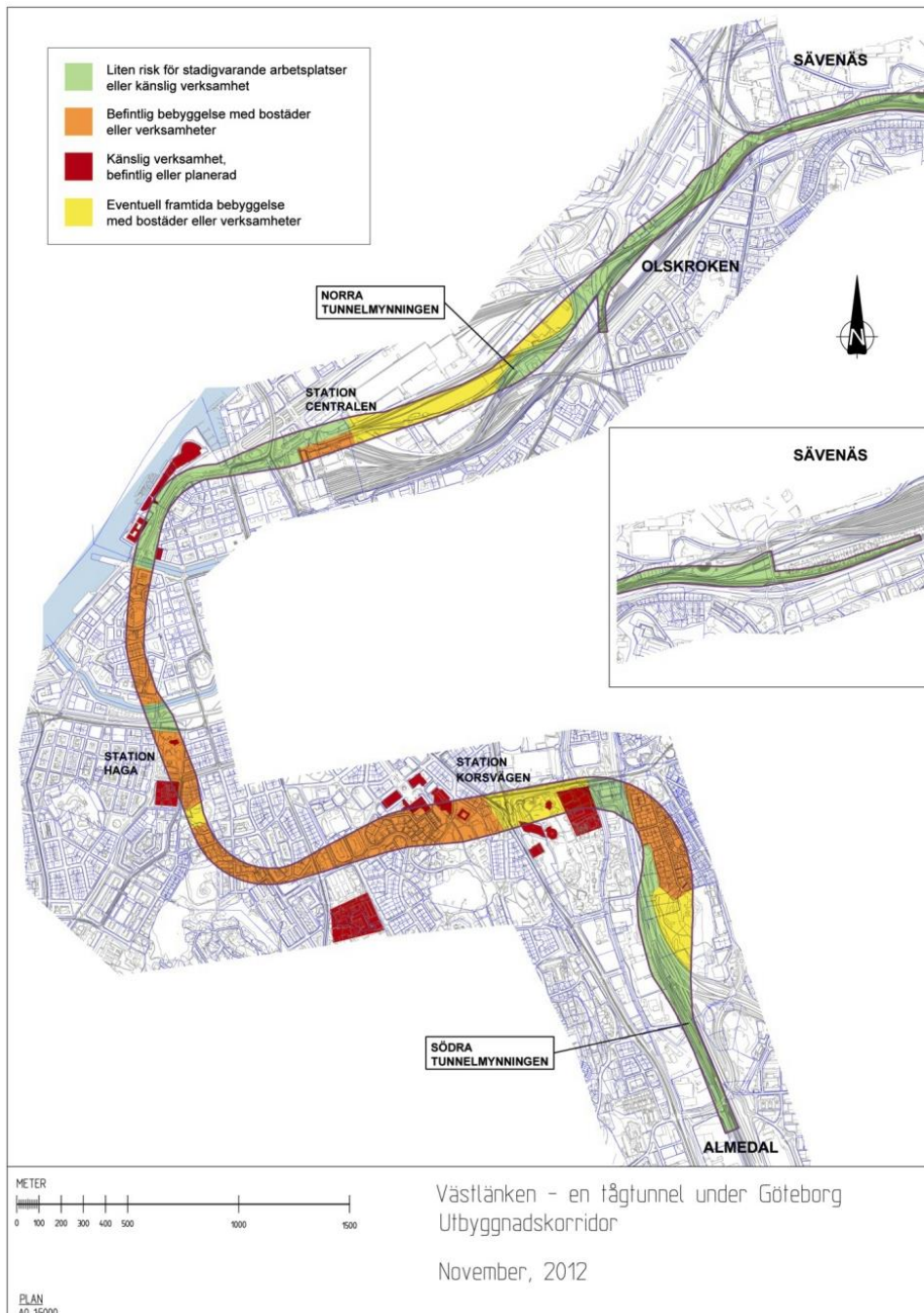
Platta bildskärmar och TV-apparater av plasma eller LCD-typ störs inte av magnetfält. Den tekniska utvecklingen går emot plasma- och LCD-skärmar vilket på sikt kommer att minska problemen med bildstörningar. Majoriteten av de bildskärmar som säljs idag är av LCD eller plasmatyp. För TV-skärmar är en liknande utveckling på väg. Detta innebär att när Västlänken tas i drift kommer bildstörningar i katodstrålerörsskärmar att vara ett begränsat problem.

Utrustning som elektronmikroskop, elektronstrålelitografer och magnetresonanstomografer är inte så vanligt förekommande men finns på Chalmersområdet.

Vissa typer av ljudanläggningar som använder sig av magnetfält för signalöverföring kan störas. Exempel på sådana system är hörselslingar och elgitarrer.

4 Beräkningar av magnetiska fält

En bedömning av risken för störningar i intelligande bebyggelse har genomförts av projekt Västlänken, se figur 4.1.



Figur 4.1 Bedömning av byggnader som potentiellt kan störas av magnetfält från Västlänken.

Magnetfälten har beräknats i ett antal tvärsnitt längs bansträckningen, se figur 4.2. Tvärsnitten har valts utifrån där det finns hus nära banan där personer bor eller stadigvarande vistas eller där det finns känslig utrustning.



Figur 4.2 Kartbild av Västlänkens sträckning. De snitt där magnetfältberäkningar har utförts har ritats in.

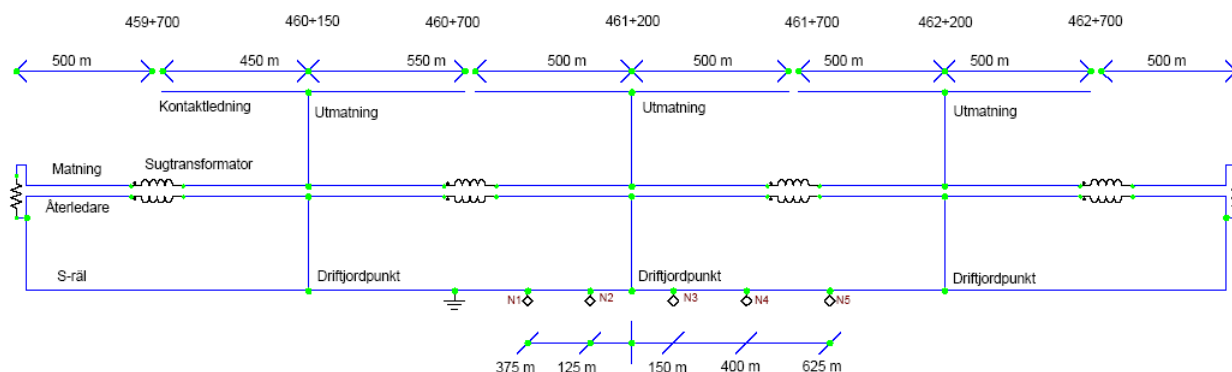
För att kunna beräkna magnetfältet från tågen, måste strömmarnas fördelning i kontaktledning, återledare, jordledare, matningsledning och S-räler beräknas. När tåget rör sig får vi en komplex strömbild i de olika ledarna. För att i detalj studera denna strömbild har vid simuleringarna skapats en kretsmodell som beskriver alla impedanser. I denna kretsmodell läggs de olika tågen in som strömkällor och kretsens strömmar, i samtliga ledare, beräknas med hjälp av ett kretssimuleringsprogram av P-spicetyp.

Som nämnts är inte elprojekteringen ännu klar för Västlänken. Med utgångspunkt från en tänkt typsektion på en kilometer, har kretsmodellen skapats. Kretsmodellen visas schematiskt i figur 4.3, För en detaljerad redovisning, se underlag 1.

Simuleringarna har utförts för dubbelspårstunnlar och med fyrspar vid stationerna. Beräkningar har utförts för 15 tågpositioner på uppspar och 15 positioner på nedspår. Beräkningspositionerna redovisas på tre elscheman i underlag 2. I dessa simuleringar har strömmarna i tunnarna beräknats för varje tåg och sedan superponerats. Med superpo-

nering innebär att man adderar värden med hänsyn till storlek, riktning och fasläge. Härvid har hänsyn tagits till strömmens riktning i respektive ledare. Strömmarnas effektivvärden har adderats. Detta förfarande gäller för $16\frac{2}{3}$ 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 tidsögonblick, får denna approximation anses som den bästa för detta fall.

När strömmen i kontaktledningarna respektive matningsledningarna går genom sugtransformatorer, sugas en lika stor ström upp i återledningarna, se figur 4.4. Vi har vid denna beräkning antagit ideala sugtransformatorer, det vill säga att lika stor ström går i kontaktledning och återledare, vid sugtransformatorerna.

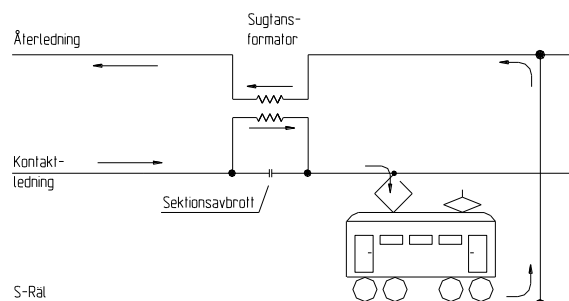


Figur 4.3 Schematisk bild av utmatningar, kontaktledningsavbrott, sugtransformatorer för Västlänken.

4.1 Strömmar i räl och jordledare

För båda berg- och betongtunnlar har antagits att förbimatningsledningar är förlagda i vardera tunnelröret. Matningsledningarna har en skärm som förbinds med S-räl var 500:e meter. I vardera tunnelröret finns 2 samlingsjordledare 50 mm^2 i topp och 70 mm^2 Cu på vägg, samt dubbla jordade handledare, en på varje sida i röret.

I tunneln har antagits att samlingsjordledare och handledare är förbundna med S-rälen var 250:e meter. Jordledare och S-räl i de två rören antas även förbundna i dessa punkter. Detta innebär att när ett tåg i tunneln drar ström via kontaktledningen till S-rälen, kommer denna ström att dela upp sig på S-räl, jordledare, handledare och skärm för *båda* spåren.



Figur 4.4 Schematisk bild av strömmatning till tåg via kontaktledning, sugtransformator, S-räl och återledning.

I Banverkets tunnel vid Trollhättan är förbimatningen införd med ett kabelpar per spår där kablarna ligger tätt ihop. Samma antagande har gjorts i denna beräkning. I tunneln

går 4 stycken 500 mm² aluminiumkablar för förbimatning genom tunneln; två framledare med 80 mm² Cu-skärm och två återledare med 50 mm² Cu-skärm. Dessa skärmar är anslutna till S-räl i båda ändar samt vid matningspunkten så att återgångsströmmar kommer att gå i dessa också. Samtliga förbimatningskablar ligger i kabelrännor vid sidan av spåren.

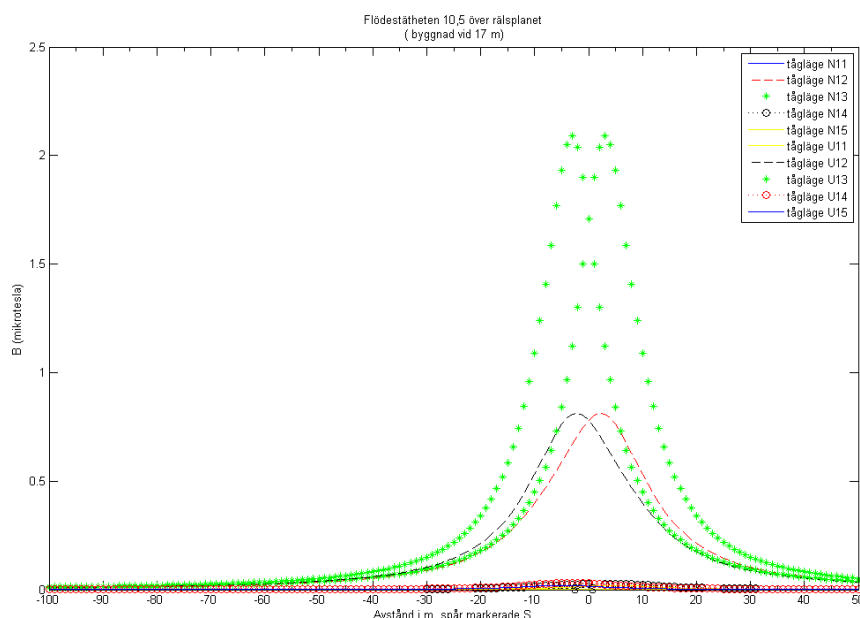
Vid fyrspårsstation antas en 50 mm² Cu samlingsjordledare för varje spår, förlagda i konsoler för kontaktledningsskena på tunneltak. Vidare in i tunneln antas två samlingsjordledare 50 + 70 mm² per spår.

Samtliga strömmar från vart och ett av tågen, från P-spiceberäkningarna, redovisas för de olika beräkningssnitten i underlag 3. Simuleringarna har genomförts för ett tåg i taget. Detta har gjorts för att illustrera verkan av varje enskilt tåg. För magnetfältsberäkningen tas strömmarna i detta snitt från beräkningen.

Samtliga redovisade tågpositioner ligger på nedspår. Motsvarande positioner på uppspår erhålls genom spegling på grund av modellens symmetri.

Utgående från de beräknade strömmarna har de magnetiska fälten från tågtrafik i tunnelarna beräknats. Beräkningarna har genomförts i de beräkningssnitt som visas i figur 4.2. Fälten avtar med avståndet både uppåt och åt sidorna. De hus som ligger 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.

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 magnetfältvektorer från samtliga ledare i beräkningssnittet, beräknas genom vektorsumming i varje punkt längs beräkningslinjen. I figur 4.5 visas ett exempel på resultaten från magnetfältberäkningarna.



Figur 4.5. Beräkning av magnetfält vid hus 17 meter från spår vid snitt "Operan" från tåg som drar enhetsströmmen 100 A i olika tåglägen. Magnetfältet beräknat i ett plan en meter över mark.

I följande avsnitt redovisas beräkningar av magnetfält vid utvalda hus som ligger nära tunneln. Det är dels bostäder där kraven på årsmedelvärden ska uppfyllas, dels byggnader med känsliga verksamheter som skulle kunna störas av magnetfälten. För de senare är det främst toppvärdena som är begränsande.

Nollalternativet

Nollalternativet innebär att endast Gårdatunneln används och att Västlänken inte byggs ut. För Gårdatunneln har omfattande mätningar utförts. Dessa redovisades i tabell 3.3. Den mätpunkt som låg närmast tunneln var i ett trapphus i Lisebergsstationen. Här uppmättes de högsta värdena med ett medelvärde på 0,26 μT och ett toppvärde på 13 μT . Denna punkt överstiger målsättningen att årsmedelvärdet bör vara under 0,2 μT , men det är varken någon bostad, stadigvarande arbetsplats eller känslig utrustning i detta trapphus. Övriga mätpunkter har medelvärden som klarar börkravet.

Toppvärdena är relativt höga i flera av mätpunkterna. Vid inventeringen uppmärksammades att en person som bodde nära Gårdatunneln, söder om S:t Sigfrids plan, upplevde bildskärmsstörningar. Orsaken till de relativt höga toppvärdena torde vara vagabonderande tågströmmar.

Konsekvenser av att inte bygga ut Västlänken innebär att förhållandena avseende magnetfält blir i stort sett likvärdiga med idag. Dock kan man förvänta sig en ökad tågtrafik år 2030, vilket bör innebära något högre medelvärden än de som registrerats i mätningen 2004. Tågtrafiken kan dock inte öka i den omfattning som anges i prognosen år 2030 för Västlänken, då kapaciteten i Gårdatunneln inte räcker till för denna trafik eftersom prognosen förutsätter trafik både i Västlänken och i Gårdatunneln, den senare främst för godstrafik.

Utbyggnadsalternativet

För utbyggnadsalternativet har magnetfälten simulerats för snitten som markerats i figur 4.2. Resultaten sammanfattas nedan. En detaljerad redovisning finns i underlag 4.

För att beräkna årsmedelvärdena av magnetfälten har medelströmförbrukningen för olika tågtyper simulerats för en sektion vid de aktuella husen. Se Västlänken Aktivitets-PM 64, 2005. Något annorlunda tågtyper användes vid simuleringen 2005, till exempel användes litt. X60 som är ett sexvagns tåg vilket nu antas ersättas av X61 som är ett fyrvagnståg. Strömvärdena har därför justerats för dessa förhållanden. Utgångspunkten för simuleringarna är att tågen minimerar gångtiden genom att accelerera upp till stationär hastigheten för den aktuella sträckan så snabbt som möjligt. De simulerade strömmarna och tiderna redovisas i underlag 4. Gångtiden för att passera en sektion har också beräknats. Tid för eventuellt stopp vid stationer är inte medräknat.

Vid beräkningarna av årsmedelvärdena har beräkningarna utförts för kortast körtid, vilket naturligtvis leder till en eventuell överskattning av strömförbrukningen. Körtiden har därför eventuellt underskattats. Det innebär att dosen uttryckt i μT s, bör bli ganska rätt då en för hög medelström kombineras med en för kort körtid.

Dubbel och trippelkopplade tåg medför att strömmen fördubblas eller tripplas medan körtiden är oförändrad. I en magnetfältsdosberäkning kan därför dubbel och trippeltåg behandlas som två respektive tre enkeltåg. Vi har i detta skede inte den exakta fördelningen av tågen. I Trafikverkets trafikeringsprognos anges vanligaste tåglängd för X50-3 161 meter (motsvarar tvåtågset) X55 107 meter (motsvara enkeltåg) och för X61 149 me-

ter (motsvarar tvåtågset). I brist på exaktare uppgift har projektet beräknat med att alla tåg har "vanligaste" längd för respektive typ.

För att beräkna maximalt magnetfält från ett tåg har den största tågströmmen, 540 A ansats vilket är maxvärdet för ett dubbelkopplat X50-3. Man kan konstruera värre fall som att ett tåg i vardera riktningen skulle samtidigt dra maxströmmarna 540 A och att de möts i det aktuella snittet, vilket skulle leda till ett nästan dubbelt så högt värde. Detta är dock ett konstruerat fall som kanske inte inträffar någon gång, varför fallet med ett tåg som drar max är ett mer realistiskt värde.

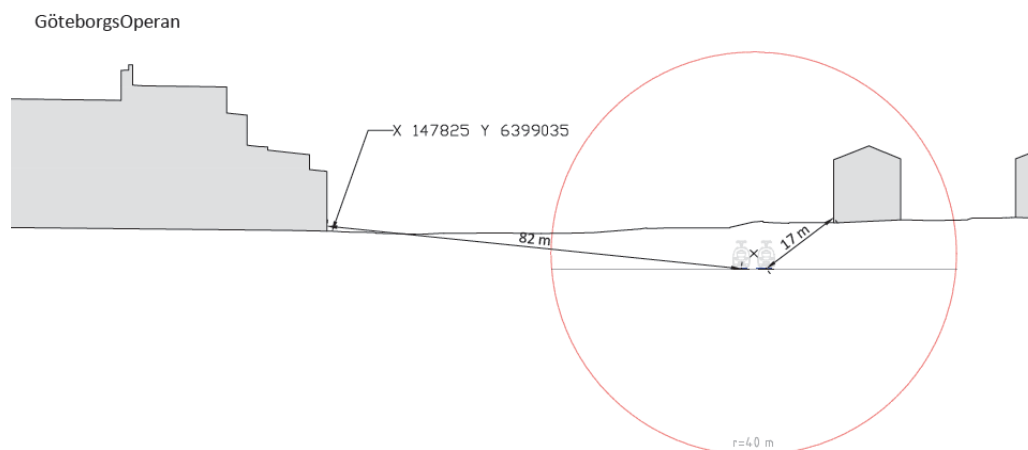
I varje beräkningssnitt har magnetfälten beräknats i de hus som ligger närmast järnvägen (ofta ett bostadshus) samt i förekommande fall de hus där det finns störkänslig apparatur. Detta illustreras till exempel av snittet Operan där själva operahuset ligger 82 meter från spåret samtidigt som det ligger en byggnad på avståndet 17 meter. I detta fall beräknas magnetfälten i båda byggnaderna.

Magnetfält vid snitt Operan

De närmaste husen vid snittet vid Operan visas i figur 4.6. Magnetfälten har beräknats en meter över mark i de aktuella husen. Avstånden anges från närmaste spår till närmaste punkt i hus en meter över mark.

Beräkningarna redovisas i underlag 4. I huset på Kvarnberget på avståndet 17 meter uppskattas årsmedelvärdet till 0,18 μT med ett maxvärde på 2,9 μT . För Göteborgsoperan uppskattas årsmedelvärdet av magnetfältet från Västlänken till 0,01 μT med ett maxvärde på 0,1 μT .

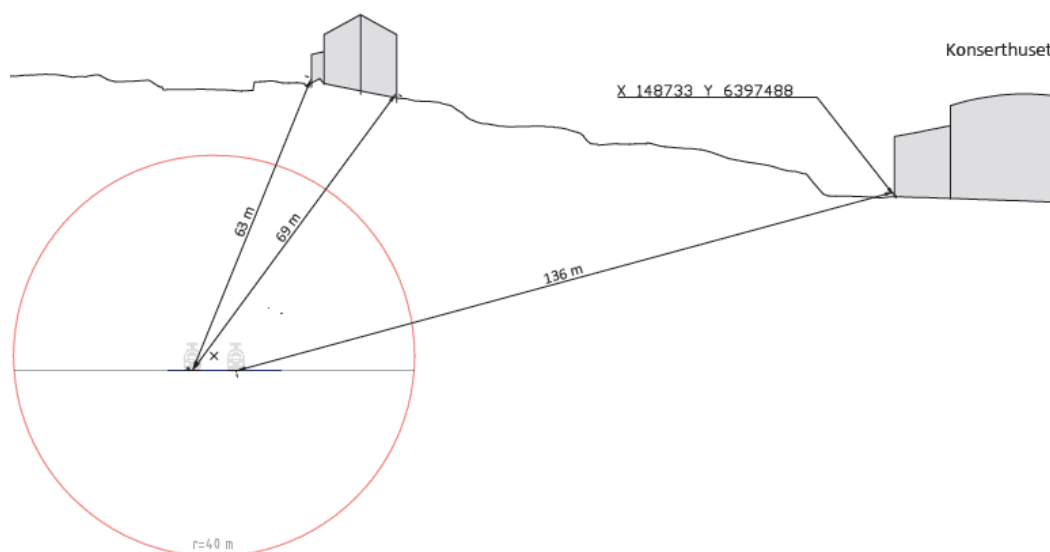
Det innebär att kravet på årsmedelvärde uppfylls för båda byggnaderna och kravet på maxvärde uppfylls för Operan.



Figur 4.6 Vid snittet Operan finns ett hus på Kvarnberget på avståndet 17 meter från närmaste spår. Operahuset ligger på avståndet 82 meter.

Magnetfält vid snitt Konserthuset

De närmaste husen vid snittet vid Konserthuset visas i figur 4.7. Magnetfälten har beräknats en meter över mark i de aktuella husen. Avstånden anges från närmaste spår till närmaste punkt i hus en meter över mark.



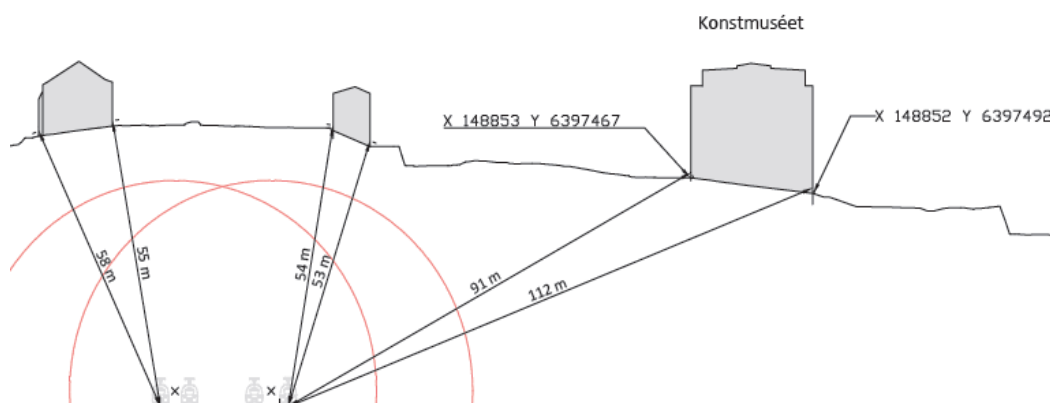
Figur 4.7 Vid snittet Konserthuset finns ett hus på avståndet 63 meter från närmaste spår. Konserthuset ligger på avståndet 136 meter.

Huset närmast tunneln beräknas få ett årsmedelvärde på $0,01\text{ }\mu\text{T}$, årsmedelvärdet för Konserthuset beräknas till $0,002\text{ }\mu\text{T}$. Det maximala magnetfältet från ett tåg har beräknats för Konserthuset till $0,2\text{ }\mu\text{T}$, se underlag 4.

Det innebär att kravet på årsmedelvärde uppfylls för båda byggnaderna och kravet på maxvärde uppfylls för Konserthuset.

Magnetfält vid snitt Konstmuseet

De närmaste husen vid snittet vid Konstmuseet visas i figur 4.8. Magnetfälten har beräknats en meter över mark i de aktuella husen. Avstånden anges från närmaste spår till närmaste punkt i hus en meter över mark.



Figur 4.8 Vid snittet Konstmuseet finns hus på avstånden 53 och 55 meter från närmaste spår. Konstmuseet ligger på avståndet 91 meter.

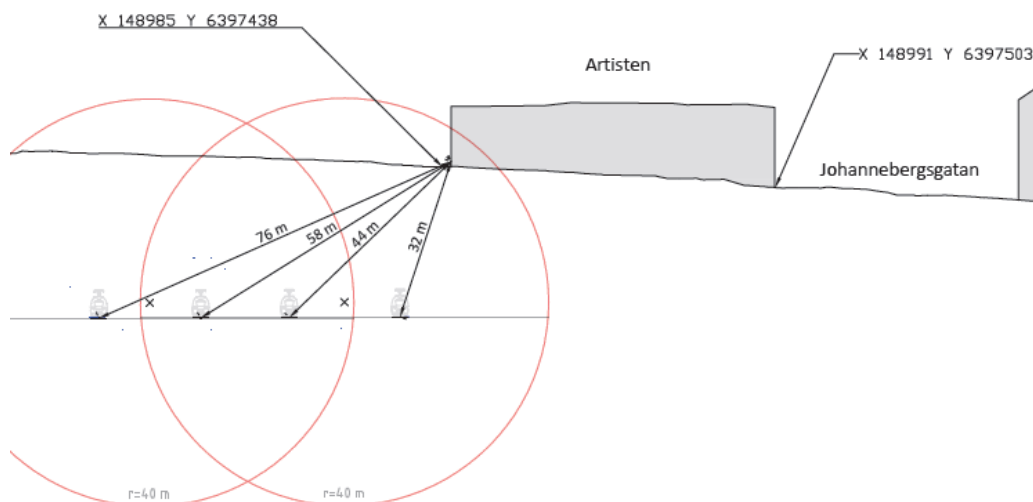
Huset på 53 m avstånd beräknas få ett årsmedelvärde på $0,02\text{ }\mu\text{T}$ i närmaste punkt, motsvarande värde för huset på 55 meter avstånd är också $0,02\text{ }\mu\text{T}$. Det maximala magnet-

fältet från ett tåg har beräknats för Konstmuseet till $0,12 \mu\text{T}$, årsmedelvärdet beräknas här till $0,007 \mu\text{T}$, se underlag 4.

Det innebär att kravet på årsmedelvärde uppfylls för alla byggnaderna och kravet på maxvärde uppfylls för Konstmuseet.

Magnetfält vid snitt Artisten

De närmaste husen vid snittet vid Artisten visas i figur 4.9. Magnetfälten har beräknats 1 meter över mark i närmaste punkt i Artisten. Avstånden anges från närmaste spår till närmaste punkt i hus en meter över mark.



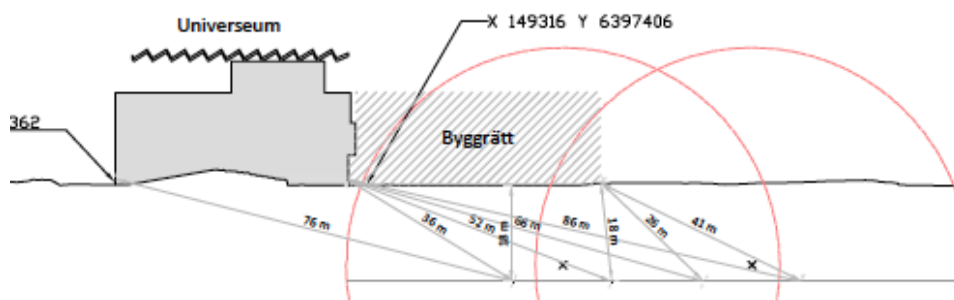
Figur 4.9. Vid snittet Artisten ligger Artisten på avståndet 32 meter.

Årsmedelvärdet för magnetfältet i närmaste punkt i Artisten uppskattas till $0,07 \mu\text{T}$. Det maximala magnetfältet från ett tåg har beräknats för Artisten till $1,5 \mu\text{T}$, se underlag 4.

Det innebär att kravet på årsmedelvärde uppfylls för Artisten men att kravet på maxvärde inte uppfylls för närmaste punkt i Artistenbyggnaden. Då Artisten är en stor byggnad bör man göra en noggrannare undersökning för att se var i byggnaden störkänslig utrustning finns och beräkna magnetfälten i dessa utrymmen.

Magnetfält vid snitt Universeum

Det närmaste huset vid snittet vid Universeum visas i figur 4.10a. Magnetfälten har beräknats en meter över mark i Universeum. Avstånden anges från närmaste spår till närmaste punkt i hus en meter över mark.



Figur 4.10a Vid snittet Universeum, ligger Universeum på avståndet 36 meter. Universeum har en byggrätt för ev. framtida utbyggnad, den ligger på avståndet 18 meter över spår.

För Universeum beräknas årsmedelvärdet bli $0,04 \mu\text{T}$. Det maximala magnetfältet från ett tåg har beräknats för Universeum till $0,9 \mu\text{T}$, se underlag 4.

Det innebär att kravet på årsmedelvärde uppfylls för Universeum samt att kravet på maxvärde uppfylls för närmaste punkt i Universeumbyggnaden.

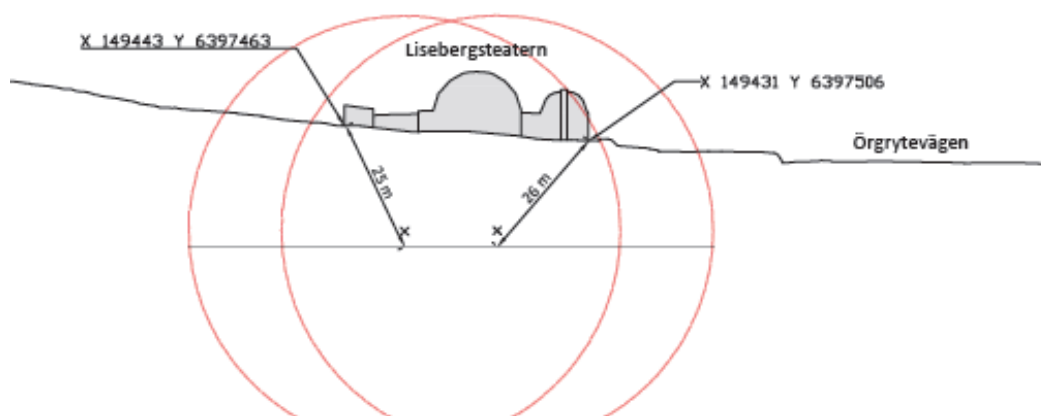
Universeum har en byggrätt som finns med på detaljplanen, se figur 4.10 b. För byggrätten beräknas årsmedelvärdet bli $0,15 \mu\text{T}$. Det maximala magnetfältet från ett tåg har beräknats för byggrätten till $4,3 \mu\text{T}$, se underlag 4. Det innebär att kravet på årsmedelvärde uppfylls för byggrätten men att kravet på maxvärde inte uppfylls för närmaste punkt i byggrätten.

Då årsmedelvärdet uppfylls innebär det att försiktighetsprincipen beaktas med avseende på risker för människors hälsa. I Universeum finns ett stort antal djur vars eventuella hälsorisker rimligen också beaktas med detta avstånd till tunneln.

Djur kommer naturligtvis att även exponeras längs andra delar av Västlänkens sträckning. Västlänken kommer till exempel att passera under vattendrag med vandrande fisk. För Västlänken har vi cirka 7 meter vid Stora hamnkanalen, 10 meter vid Rosenlund och 11 meter vid Mölndalsån till botten på vattendraget från kontaktledningen. Fiskar använder kemiska signaler för att hitta tillbaka till sin hemmaflod, hur de navigerar på havet har länge varit okänt men data tyder på att de bland annat använder magnetiska signaler, Putman et al. (2013). Denna frågeställning har tidigare uppmärksamats för kablar som ligger direkt på havsbotten där fisken kan komma verkligt nära kabeln och därför bli utsatt för betydligt starkare magnetfält från kabeln än vad fallet är för Västlänken. Inget tyder på att detta skulle vara något problem för fiskens vandring.

Magnetfält vid snitt Lisebergsteatern

Det närmaste huset vid snittet vid Lisebergsteatern visas i figur 4.11. Magnetfälten har beräknats en meter över mark i Lisebergsteatern. Avståndet rakt upp från nedspår är 21 meter till närmaste punkt i hus en meter över mark.



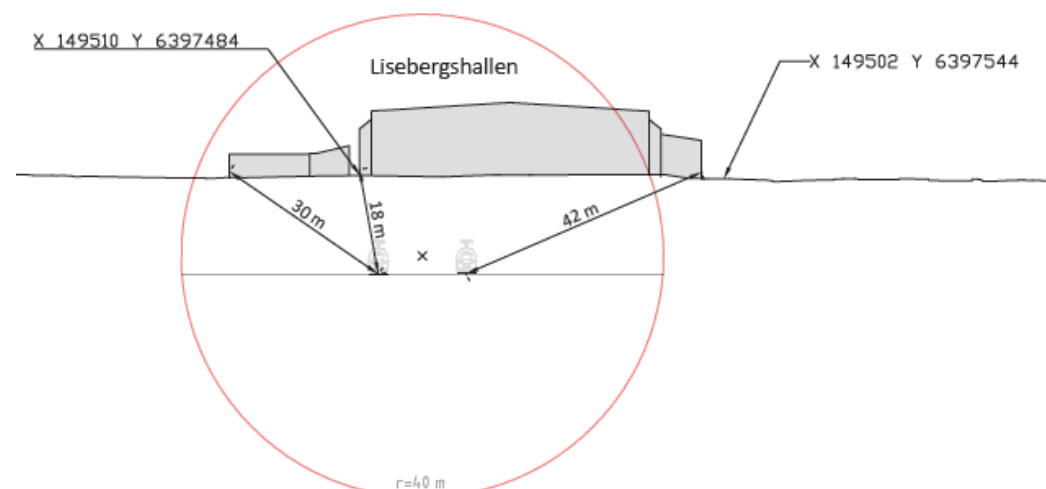
Figur 4.11. Vid snittet Lisebergsteatern ligger teatern på avståndet 21 meter rakt över nedspår (detta avstånd är inte markerat i bilden).

För Lisebergsteatern beräknas årsmedelvärdet i närmaste punkt till $0,13 \mu\text{T}$. Det maximala magnetfältet från ett tåg har beräknats för Lisebergshallen till $2,8 \mu\text{T}$, se underlag 4.

Det innebär att kravet på årsmedelvärde uppfylls för Lisebergsteatern men att kravet på maxvärde inte uppfylls för närmaste punkt i Lisebergsteaterbyggnaden. Då teatern är en stor byggnad bör man göra en noggrannare undersökning för att se var i byggnaden störkänslig utrustning finns och beräkna magnetfälten i dessa utrymmen.

Magnetfält vid snitt Lisebergshallen

Det närmaste huset vid snittet vid Lisebergshallen visas i figur 4.12. Magnetfälten har beräknats en meter över mark i Lisebergshallen. Avstånden anges från närmaste spår till närmaste hörn i hus en meter över mark.



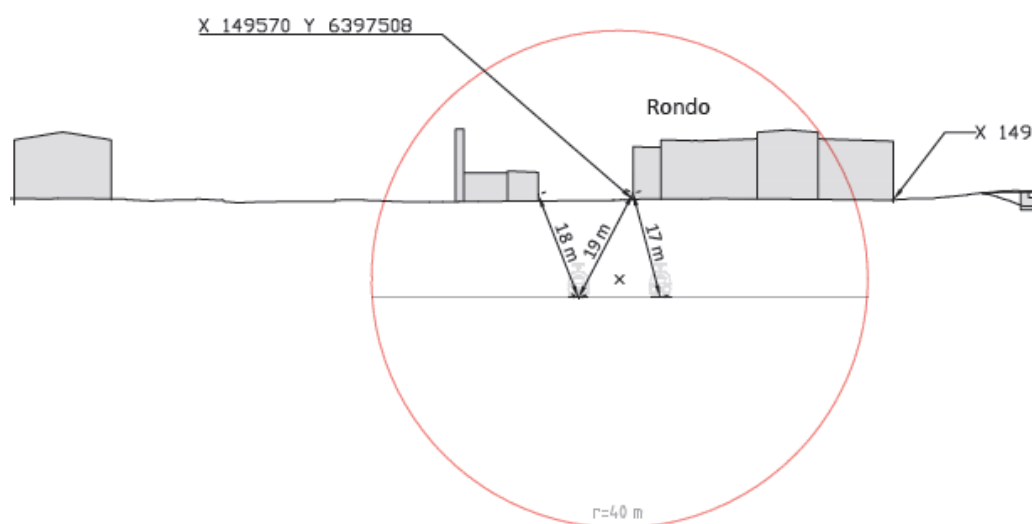
Figur 4.12. Vid snittet Lisebergshallen ligger hallen på avståndet 18 meter.

För Lisebergshallen beräknas årsmedelvärdet till $0,17 \mu\text{T}$. Det maximala magnetfältet från ett tåg har beräknats för Lisebergshallen till $2,9 \mu\text{T}$, vid avståndet 30 meter i figur 4.12 är magnetfältet $1,1 \mu\text{T}$ och vid avståndet 42 meter är magnetfältet $0,5 \mu\text{T}$, se underlag 4.

Det innebär att kravet på årsmedelvärde uppfylls för Lisebergshallen men att kravet på maxvärde inte uppfylls för närmaste punkt i Lisebergshallensbyggnaden. Då hallen ligger rakt över spåren och överskridandet är ganska stort innebär det att stora delar av hallen överskrider kravet på maxmagnetfält. Lisebergshallen kommer sannolikt att tas bort när Västlänken byggs.

Magnetfält vid snitt Rondo

De närmaste husen vid snittet vid Rondo visas i figur 4.13. Magnetfälten har beräknats en meter över mark i Rondobyggnaden. Avstånden anges från närmaste spår till närmaste hörn i hus en meter över mark.



Figur 4.13 Vid snittet Rondo ligger hallen på avståndet 17 meter.

Beräkningarna redovisas i underlag 4. I Rondo på avståndet 17 meter uppskattas årsmedelvärdet till $0,19 \mu\text{T}$ med ett maxvärde på $2,8 \mu\text{T}$. För grannhuset på avståndet 18 meter uppskattas årsmedelvärdet av magnetfältet från Västlänken till $0,15 \mu\text{T}$ med ett maxvärde på $2,7 \mu\text{T}$.

Det innebär att kravet på årsmedelvärde uppfylls för båda byggnaderna och medan kravet på maxvärde inte uppfylls för Rondo.

Magnetfält vid Kruthusgatan

De närmaste befintliga hus vid snittet vid Kruthusgatan visas i figur 4.14. Ingen byggnad ligger idag nära spåren. För att uppskatta årsmedelvärdet för magnetfälten i hus som eventuellt skulle komma att byggas närmare spåren har beräkningar utförts en meter över mark i byggnaderna. Resultatet redovisas i tabell 4.1.



Figur 4.14 Vid snittet Kruthusgatan ligger närmaste befintliga hus på avståndet 67 meter.

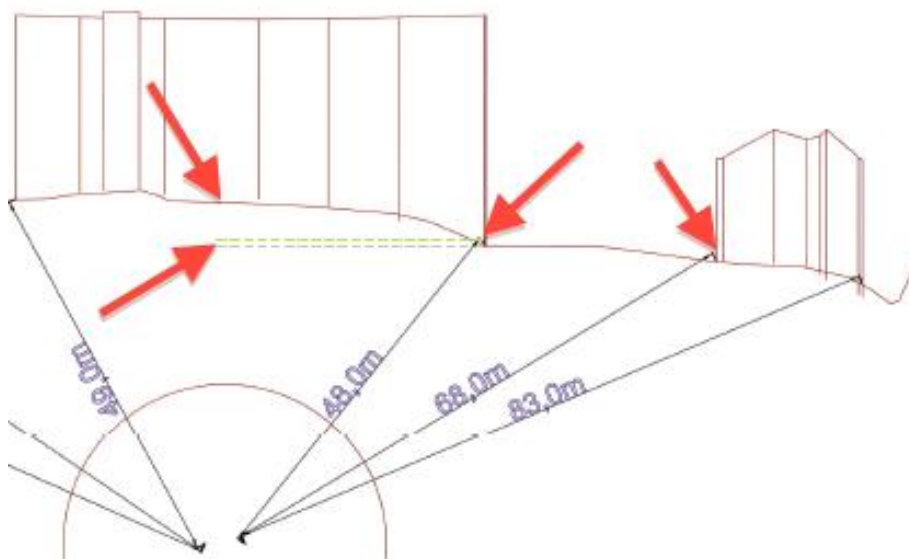
Tabell 4.1 Beräknat årsmedelvärde för magnetfält.

Placering av byggnad	Uppskattat årsmedelvärde magnetfält (μT)
Rakt över spåren	0,35
10,6 m åt höger i bild	0,17
12,6 m åt höger i bild	0,14
17,6 m åt höger i bild	0,08
22,6 m åt höger i bild	0,05
Befintligt hus t h. I bild	0,006

Det innebär att kravet på årsmedelvärde uppfylls för alla beräknade placeringar av byggnaderna utom positionen rakt över spåren.

Magnetfält vid snitt Otterhällan

De närmaste husen vid snittet vid Otterhällan visas i figur 4.15. Magnetfälten har beräknats en meter över mark i byggnaderna. Avstånden anges från närmaste spår till närmaste hörn i hus en meter över mark.



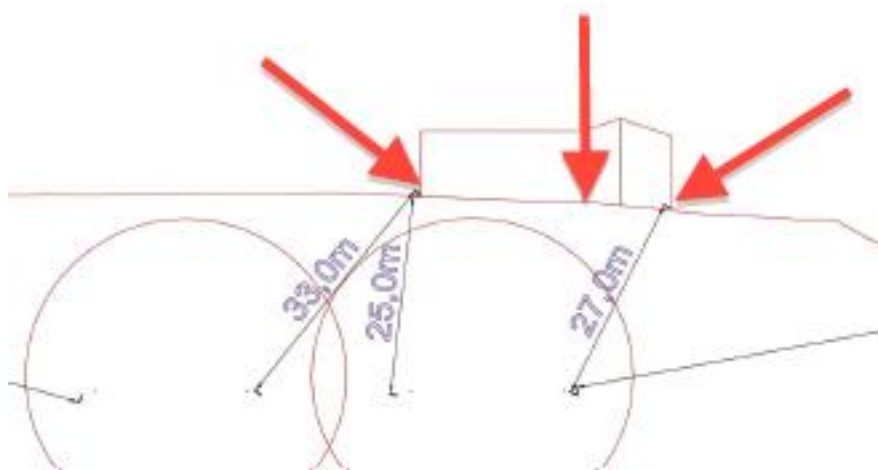
Figur 4.15 Vid snittet Otterhällan finns hus på avstånden 48 och 68 meter från närmaste spår. Räknet från nivån 1 meter över mark vid högra hörnet är det vinkelräta djupet till spåren 37 meter (streckad linje).

Huset rakt över tunneln på 37 meters avstånd (sannolikt i källare) beräknas få ett årsmedelvärde på $0,03 \mu\text{T}$, vid marknivå beräknas årsmedelvärdet till $0,02 \mu\text{T}$, motsvarande värde för huset på 68 meters avstånd är $0,01 \mu\text{T}$, se underlag 4.

Det innebär att kravet på årsmedelvärde uppfylls för alla byggnaderna.

Magnetfält vid snitt Landeriet

Det närmaste huset vid snittet vid Landeriet visas i figur 4.16. Magnetfälten har beräknats en meter över mark i byggnaden.



Figur 4.16 Vid snittet Landeriet ligger huset 23 meter över spåret.

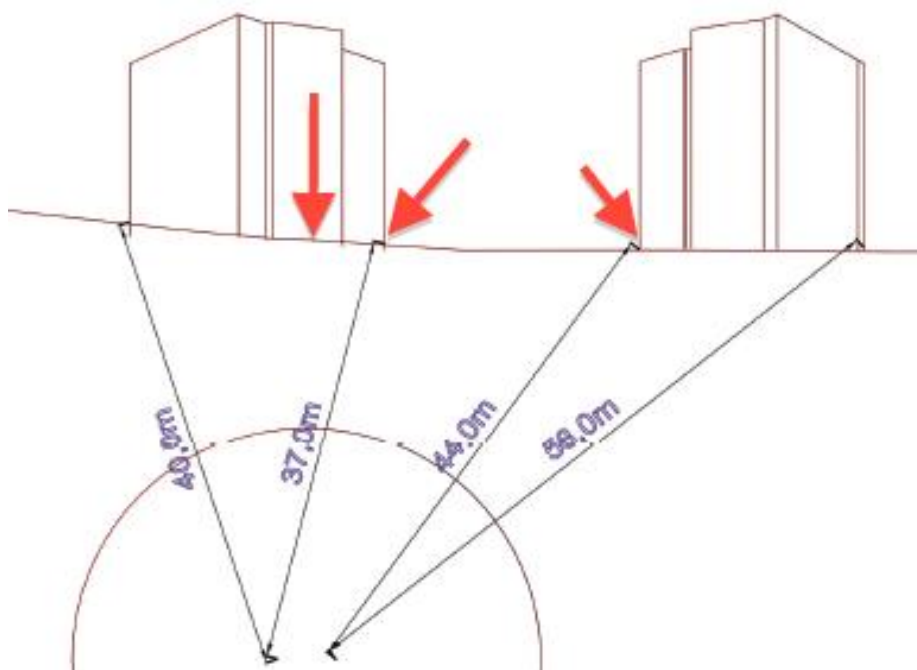
Huset beräknas få ett årsmedelvärde på $0,13 \mu\text{T}$, vid närmaste punkt, se underlag 4. Det innebär att kravet på årsmedelvärde uppfylls för närmaste punkt i Landeriet.

Magnetfält vid snitt Skår

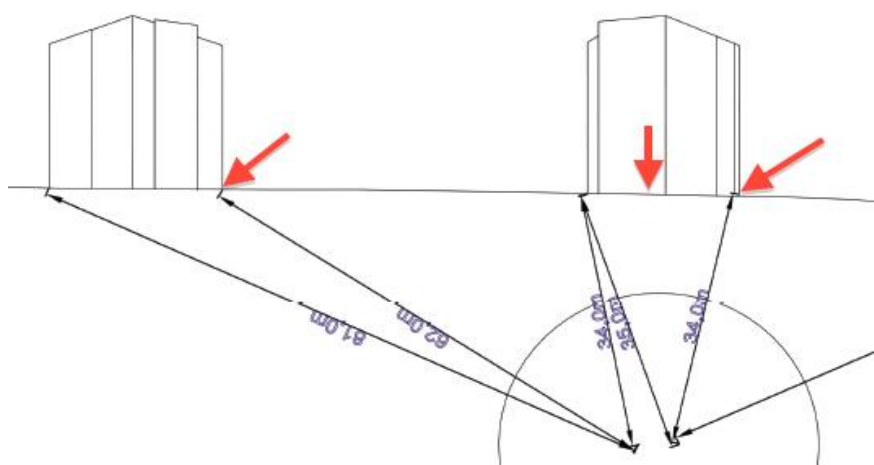
Vid Skår har magnetfälten beräknats i två snitt "Skår 1" och Skår 2". Snittens läge framgår av figur 4.2. De närmaste husen vid snittet vid Skår 1 visas i figur 4.17, och de i snitt Skår 2 visas i figur 4.18. Magnetfälten har beräknats en meter över mark i byggnaderna.

För Skår 1 uppskattas årsmedelvärdet i närmaste punkt i det vänstra huset i figur 4.17 till $0,03 \mu\text{T}$ och i det högra huset $0,02 \mu\text{T}$, se underlag 4.

För Skår 2 uppskattas årsmedelvärdet i närmaste punkt i det vänstra huset i figur 4.17 till $0,01 \mu\text{T}$ och i det högra huset $0,04 \mu\text{T}$, se underlag 4.



Figur 4.17 Vid snittet Skår 1 ligger husen 37 respektive 44 meter från spåret.



Figur 4.18 Vid snittet Skår 2 ligger husen 52 respektive 34 meter från spåret

4.2 Sammanfattning utbyggnadsalternativet

Magnetfälten har beräknats för ett antal snitt längs Västlänken där det finns närliggande hus där människor vistas stadigvarande samt byggnader med potentiellt störkänsliga ljudanläggningar. Västlänken projekteras med korta sugtranformatorsektioner för att begränsa magnetfältens årsmedelvärden. Kraven på magnetfältens årsmedelvärde (både bör och skallvärden) uppfylls för samtliga beräknade byggnader. Resultaten sammanfattas i tabell 4.2.

Tabell 4.2 beräknat årsmedelvärde av magnetfält en meter över mark, i befintliga hus i punkt närmast järnvägen

Beräkningssnitt	Magnetfält i punkt närmast järnvägen (μT)
Kruthusgatan	0,006
Kvarnberget	0,18
Operan	0,01
Otterhällan	0,03
Konserthuset	0,01
Konstmuseet	0,02
Artisten	0,07
Landeriet	0,13
Universeum	0,04
Lisebergsteatern	0,13
Lisebergshallen	0,17
Rondo	0,19
Skår 1	0,03
Skår 2	0,04

Värdena i tabell 4.2 avser den byggnad som ligger närmast spår i respektive snitt, vilket inte alltid är den byggnad som snittet benämns efter. För snittet Operan finns ett hus på 17 meters avstånd på Kvarnberget, detta särredovisas i tabellen.

För att beräkna maxmagnetfältet har den största tågströmmen, 540 A ansats. Man kan konstruera värre fall som att ett tåg i vardera riktningen samtidigt skulle dra maxströmmarna 540 A och att de möts i det aktuella snittet, vilket skulle leda till ett nästan dubbelt så högt värde. Detta är dock ett konstruerat fall som kanske inte inträffar någon gång, varför fallet med ett tåg som drar max är ett mer realistiskt värde. I tabell 4.3 sammanfattas de beräknade magnetfälten, i närmaste punkt i byggnaden, från ett tåg som drar 540 A när det passerar huset.

Tabell 4.1 beräknat magnetfält en meter över mark, i punkt närmast järnvägen, för ett tåg som drar 540 A.

Byggnad	Magnetfält i punkt närmast järnvägen (μT)
Operan	0,1
Konserthuset	0,2
Konstmuseet	0,1
Artisten	1,5
Universeum	0,9
Lisebergsteatern	2,8
Lisebergshallen	2,9
Rondo	2,8

Kraven på toppvärdet för magnetfältet är:

- Momentana toppvärden får inte överstiga 1,0 μT för:
 Göteborgsoperan, scenutrymme och salong.
 Artisten, verksamhetslokaler
 Stadsteatern, scenutrymme och salong
 Konserthuset scenutrymme och salong
 Liseberg, lokaler och platser där teater, musik och likvärdig verksamhet förekommer

Stadsteatern ligger på längre avstånd från Västlänken än Konstmuseet varför kravet uppfylls för teatern.

Vi ser att i närmaste punkt i byggnaderna vid Liseberg överskrider nivån 1,0 μT åtminstone i delar av byggnaderna.

Man kan ifrågasätta om kravet 1,0 μT är för hårt. Kravet torde ha sin grund i att bildskärmar med katodstrålerör störs vid nivån cirka 1 μT . Då bildskärmarna numera använder flytande kristalldisplayer som inte störs av magnetfält faller denna grund för kravet. Yttre magnetfält kan också störa ljudutrustning som mikrofoner. För ljudutrustning finns EMC-standarder som kräver att sådan utrustning har en tålighet mot störande magnetfält.

Kraven på tålighet enligt EMC-standardEN 55103-2:2009 (Product family standard for audio, video, audio-visual and entertainment lighting control apparatus for professional use) är i miljön E2 (Commercial and light industrial (including, for example, theatres and television studios which are not purpose-built studios)).

Kraven på apparaturens tålighet för yttre magnetiska fält enligt standardEN uttrycks som:

3 A/m till 0,03 A/m 50 Hz till 5 kHz

0,03 A/m 5 kHz till 10 kHz

Kravet på tålighet för audioutrustning är 3 A/m (=3,6 μT) vid 50 Hz för att minska till 0,03 A/m vid 5 kHz. Tågets frekvens 16,7 Hz ligger under området som specificeras men skulle man extrapolera kravet till 16,7 Hz skulle det ligga på 9 A/m (= 10,8 μT).

Sett i detta sammanhang ligger de beräknade magnetfälten under nivån 10,8 μT för samtliga byggnader.

För elektronstrålelitografer finns ett hårdare krav på toppmagnetfält men inga elektronstrålelitografer har identifierats längs sträckningen.

Alla uppgivna magnetfältsvärden måste ses som en skattning som bygger på en rad antagande, som exempelvis tågströmmar på olika sträckor. Den använda magnetfältsmodellen är tvådimensionell, vilket innebär raka, oändligt långa ledare. Detta leder till en viss överskattning av fälten, speciellt på längre avstånd från järnvägen. Strömmarna i de metalliska ledarna har beräknats utgående från varje ledares resistivitet. Vad som inte finns med i modellen är att en del av returströmmen går i marken; hur stor denna del är beror på markresistiviteten, som inte är känd. I fallet Västlänken kommer spåret att förläggas i bergtunnel eller i betongtunnel varför man kan räkna med att ”mark”-resistiviteten är betydligt högre än för en normal järnvägssträckning. Försummandet av markströmmarna leder till en viss underskattning av magnetfälten. Induktiva effekter, på grund av att strömmarna är växelströmmar, har inte heller tagits med i modellen, vilket kan leda till en viss överskattning av magnetfälten.

Sammanfattningsvis kan sägas i magnetfälten har beräknats i en modell och en modell är alltid en förenklad bild av verkligheten. Trots dessa begränsningar bedöms att de skattade magnetfältsvärdena ger en ganska realistisk bild av den kommande järnvägens magnetfält.

5 Begreppsförklaringar

Elektromagnetiska fält (EMF)

Stationära och rörliga elektriska laddade partiklar skapar krafter på andra stationära eller rörliga laddade partiklar. För att underlätta studierna av dessa krafter så har man skapat begreppet kraftfält. Detta kraftfält kallas antingen elektriskt fält, magnetiskt fält eller elektromagnetiskt fält. Stationära laddningar, till exempel vid likström, ger upphov till elektrostatiska och respektive magnetostatiska fält. Vid växelström har man rörliga eller accelererade laddningar som ger upphov till ett växlande kraftfält. Så är fallet för strömmatning av de svenska tågen, där strömmen och likaså de elektromagnetiska fälten som omger de olika strömförande delarna ändrar riktning $16 \frac{2}{3}$ gånger per sekund. Således skapas ett elektromagnetiskt fält med frekvensen $16 \frac{2}{3}$ Hertz (Hz).

Som en tumregel kan man säga att höga elektriska fält beror på hög spänning (Volt) och höga magnetiska fält beror på hög ström (Ampere).

Lågfrekventa (LF) elektromagnetiska fält

Elektromagnetiska fält som ändrar riktning 300 till 300 000 gånger per sekund, 300 Hz – 300 kHz betecknas som lågfrekventa (LF).

Extremt lågfrekventa (ELF) elektromagnetiska fält

Elektromagnetiska fält som ändrar riktning 3 till 300 gånger per sekund, 3 Hz – 300 Hz betecknas som extremt lågfrekventa (ELF).

Elektrisk fältstyrka

Runt varje laddad partikel existerar det ett elektriskt fält som utbreder sig runt partikeln. När en andra laddad partikel placeras nära den första kommer krafter att verka på dessa partiklar till följd av det elektriska fältet som dessa omger sig med. Elektrisk fältstyrka är ett mått på antal elektriskt laddade partiklar per avståndsenhet och anges i enheten Volt per meter, V/m.

Magnetiska fält

Magnetiska fält utövar krafter på andra rörliga laddningar. Rörliga laddningar omskrivs ofta som elektrisk ström. Beroende på geometri och antalet rörliga laddningar så kommer den magnetiska fältstyrkan variera. Magnetiska fält beskrivs av två vektorstorlekar: den magnetiska fältstyrkan H och den magnetiska flödestätheten B . I luft, vakuum och i icke-magnetiska material så är det tillräckligt att beskriva en av dessa storheter för att få en korrekt beskrivning av de magnetiska fälten.

Magnetisk fältstyrka, H

Magnetisk fältstyrka, H , är ett mått för antal rörliga laddningar per avståndsenhet och anges i enheten Ampere per meter, A/m. I jämförelse med elektriska fält är inte magnetisk fältstyrka lika känslig för ändringar i geometri, vilket gör det enklare att göra noggranna mätningar samtidigt som det är mycket svårt att skärma bort oönskade magnetfält.

Magnetisk flödestäthet, B

När man talar om magnetfält så syftar man oftast på den magnetiska flödestätheten, B. Enheten för magnetisk flödestäthet är Tesla. Då 1 Tesla är ett mycket stort mått så pratar vi i dagligt tal oftast om mikrotelsa eller μT . 1 Tesla motsvarar 1 000 000 μT .

Grundton och övertoner

Elkraften som förser våra arbetsplatser och hushåll med ström och spänning ska idealiskt endast innehålla en 50 Hz sinuston. Tågen förser med sinusformig ström och spänning med frekvensen $16\frac{2}{3}$ Hz. 50 Hz respektive $16\frac{2}{3}$ Hz kallas för systemens grundton. I de fall där ström eller spänning inte är perfekt sinusformiga säger vi att det finns inslag av övertoner. Det finns jämna och udda övertoner. Övertonerna är sinusvågor med högre frekvens. Ett antal överlagrade sinusvågor eller övertoner kan sammantaget skapa en annan vågform än den rena sinuston som man eftersträvar i de ovan nämnda systemen.

6 Källförteckning

Ahlbom A, Day N, Feychting M, Roman E, Skinner J, Dockerty J, Linet M, McBride M, Michaelis J, Olsen JH, Tynes T & Verkasalo PK. (2000):

A pooled analysis of magnetic fields and childhood leukemia. *British Journal of Cancer* 83:692-698.

Anderson LE, Boorman GA, Morris JE, Sasser LB, Mann PC, Grumbein SL, Hailey JR, McNally A, Sills RC & Haseman JK. (1999): Effect of 13-week magnetic field exposures on DMBA-initiated mammary gland carcinomas in female Sprague-Dawley rats. *Carcinogenesis* 20:1615-1620.

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

Baum A, Mevissen M, Kamino K, Mohr U & Löscher W (1995): A histopathological study on alterations in DMBA-induced mammary carcinogenesis in rats with 50 Hz, 100 mT magnetic field exposure. *Carcinogenesis*

Carlander A, Moberg B (1995): Mätning av lågfrekventa magnetfält, radon och gammastrålning inom Bostadsmiljöprojektet. Institutionen för Mikrovågsteknik, Chalmers Tekniska Högskola. Examensarbete.

Draper, G. Vincent, T. Kroll, M. and Swanson, J (2005): Childhood cancer in relation to distance from high voltage power lines in England and Wales: a case-control study *BMJ* 330.pp.1290-

Feychting, M. and Ahlbom A (1992): Magnetic fields and cancer in people residing near Swedish high voltage power lines. IMM-rapport 6/92, Stockholm.

Feychting M and Ahlbom A (1993): Magnetic fields and cancer in children residing near Swedish high-voltage power lines. *American Journal of Epidemiology* 138:467-481.

Floderus, B., Persson, T. Stenlund, C (1992): Ökad risk för leukemier och hjärntumörer vid yrkesmässig exponering för magnetfält *Läkartidningen*, 89, nr 50.

Floderus B, Persson T, Stenlund C, Wennberg A, Ost A, & Knave B (1993): Occupational exposure to electromagnetic fields in relation to leukemia and brain tumors: a case-control study in Sweden. *Cancer Causes Control* 4:465-476.

Y. Hamnerius, S. Atefi, A. Eslami, M. Hopeson, A. Khan, G. Silva, and J. Estenberg "Distribution of ELF magnetic fields in Swedish dwellings" 2011 URSI XXX General Assembly, proceedings 4 pp. Book of Abstracts p. 64.

International Agency for Research on Cancer (IARC) (2002): IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. 2002. Vol 80, Non-Ionizing Radiation, part 1: Static and Extremely Low-Frequency (ELF) Electric and Magnetic fields.

ICNIRP International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. (1998): Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz). *Health Physics* 74:494-522.

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.

- Johansen C, & Olsen JH (1998): Risk of cancer among Danish utility workers - A nation-wide cohort study. *American Journal of Epidemiology*, 147:548-555.
- Kriteriegruppen för fysikaliska riskfaktorer (1995): Magnetfält och cancer - ett kriteriedokument. *Arbete och hälsa* 1995:13
- Löscher, W. and Mevissen, M. (1994) :Animal studies on the role of 50/60-hertz magnetic fields in carcinogenesis. *Life Sciences* 54 pp 1531-1543.
- Löscher, W., Wahnschaffe, U., Mevissen, M., Lerchl, A. and Stamm, A. (1994):Effects of weak alternating magnetic fields on nocturnal melatonin production and mammary carcinogenesis in rats. *Oncology* 51 pp 288-295.
- Olsen JH., Nielsen A. & Schulgen G (1993): Residence near high voltage facilities and risk of cancer in children. *British Medical Journal* 307:891-895.
- Putman NF, Lohmann KJ, Putman EM, Quinn TP, Klimley AP, Noakes DL. (2013) "Evidence for geomagnetic imprinting as a homing mechanism in Pacific salmon" *Curr Biol.* 2013 Feb 18;23(4):312-6
- Riksdagen (1997) Riksdagens beslut om miljö kvalitetsmål, enligt prop. 1997/98:145
- Socialstyrelsen 2005 Elektromagnetiska fält från kraftledningar. *Meddelandeblad* juni 2005.
- SSMFS 2008:18 (2008) Strålsäkerhetsmyndighetens allmänna råd om begränsning av allmänhetens exponering för elektromagnetiska fält.
- N. Wertheimer and E. Leeper (1979): Electrical wiring configurations and childhood cancer. *American Journal of Epidemiology* 109, pp 273-284.

Underlagsrapporter till Västlänkens MKB

Kulturmiljö

Naturmiljö

Rekreation

Förorenade områden

Dag- och tunnelvatten

Ljud, stömljud och vibrationer

Elektromagnetiska fält

Luftkvalitet

Geologi och hydrogeologi

Klimatförändringar och översvämningssäkring

Risk och säkerhet



TRAFIKVERKET

Trafikverket, Kruthusgatan 17, 405 33 GÖTEBORG.
Telefon: 0771-921 921, Texttelefon: 010-123 50 00

www.trafikverket.se