



Elektromagnetiska fält orsakade av ny Tunnelbana

Underlag till MKB för järnvägsplan

Titel: Elektromagnetiska fält orsakade av ny Tunnelbana

Projektledare: Malin Harders, FUT

Bilder & illustrationer: FUT om inget annat anges

Dokumentid: 3310-M31-22-00002

Diarienummer: FUT 1511-0219

Utgivningsdatum: 2015-05-01

Distributör: Stockholms läns landsting, förvaltning för utbyggd tunnelbana

Box 225 50, 104 22 Stockholm. Tel: 08 737 25 00. E-post: nyatunnelbanan@sll.se

Innehållsförteckning

1	Sammanfattning.....	4
2	Förkortningar och förklaringar	5
3	Inledning	8
4	Elektromagnetiska fält.....	9
4.1	Elektriska fält	10
4.2	Magnetiska fält	10
4.3	Fältens avståndsavtagande	11
4.4	Naturliga fält.....	11
4.5	Riktvärden	12
5	Uppkomst av elektromagnetiska fält för tunnelbanan	12
5.1	Högspänningskablar	12
5.2	Likriktarstation	14
5.3	Matningskablar till strömskeneanläggningen	15
5.4	Strömskeneanläggning	15
5.5	Nätstationer	16
5.6	Lågspänning 400/230 V.....	16
6	Magnetfältens spridning beroende anläggningens utformning	17
6.1	Möjliga åtgärder i likriktarstationer och nätstationer för att reducera magnetfält	17
7	Slutsats.....	18
	Bilaga 1: Beräkning av B-fält	19

Ref. nr	Namn	Titel	Version/Datum
1	Strålsäkerhetsmyndigheten 2012:69	"Magnetfält i bostäder"	2012
2	Broschyr utgiven av flera myndigheter (Arbetsmiljöverket, Boverket, Elsäkerhetsverket, Socialstyrelsen och Strålskyddsmyndigheten)	"Magnetfält och Hälsorisker"	2009
3	Banverket (numera Trafikverket)	"Elektromagnetiska fält omkring järnvägen"	2003
4	Balfour Beatty Rail GmbH, "Produktkatalog"	"Systems design" (EMC)	2014
5	Trafikverket SH E4/E20 Tomtebodan – Haga Södra, Handling 11.23	"Fördjupad utredning, Elektromagnetism"	2014-05-15

1 Sammanfattning

I omgivningen till varje elektrisk ledare eller komponent som är strömförande uppkommer elektromagnetiska fält. Elektromagnetiska fält består av två olika fält, dels elektriska fält och dels magnetiska fält.

Är strömmen en likström bildas ett statiskt magnetfält, är det en växelström bildas ett växlande magnetfält. Människan är anpassad till att leva i jordens statiska magnetfält och det har inte gått att påvisa skadliga effekter av statiska magnetfält som människor normalt kommer i kontakt med. Diskussionen om negativ hälsopåverkan från magnetfält handlar enbart om växlande magnetfält.

Elektromagnetiska fält uppkommer i tunnelbanan från högspänningsnät, likriktar-stationer, strömskenan, nätstationer och lågspänningsställverk. Tunnelbanetågen i sig drivs med likström som ger upphov till i huvudsak statiska magnetfält (från likriktar-stationen och strömskenor). Övriga anläggningar skapar växlande magnetfält.

Enligt Socialstyrelsen har forskning visat att det inte går att se någon ökad risk för sjukdom för den som utsätts för elektromagnetiska fält med ett årsmedelvärde under $0,4 \mu\text{T}$. För växlande magnetfält har Stockholm stad under lång tid tillämpat årsmedelvärdet $0,2 \mu\text{T}$ som riktvärde. Gällande normer anger dock ett betydligt högre gränsvärde för det högsta tillåtna magnetfältet under kortare tid ($200 \mu\text{T}$, tidiagare $100 \mu\text{T}$). För de anläggningar som hör till planerad tunnelbana bedöms inte de elektromagnetiska fälten anta nivåer över $0,2-0,4 \mu\text{T}$ på platser där människor vistas under förutsättning att likriktarstationer och nätstationer placeras i bergrum på samma nivå som plattformarna. Vid placering på mark eller nära mark-nivå behöver omgivande verksamhet beaktas och anpassningar respektive avskärmningar kan bli aktuella.

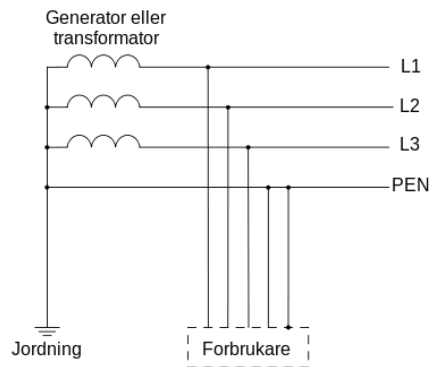
Tunnelbanan kan dock lokalt ge upphov till störningar på känslig teknisk utrustning på grund av de "förändringar" på jordmagnetfältet som såväl tågdriftens ström ger upphov samt till att fordonen i sig är av magnetiskt material som påverkar fältlinjerna vid passage.

De högspänningskablar och anläggningar som matar tunnelbanan kommer i huvudsak att var förlagda längs spår och i tunnelutrymmen i anslutning till tunnelbane-stationerna. Anläggningarna utförs enligt "försiktighetsprincipen" vilket innebär att både magnetfältsalstring och magnetfältsspridning reduceras så långt det är praktiskt möjligt. Vare sig personal eller allmänhet i kommer fortvarighet vistas i närhet av utrymmen där magnetfälten är kraftiga.

Lågspänningsanläggningar utförs enligt TN-C-system (4-ledarsystem med gemensam ledare för skyddsjord och neutralledare) i matningar från matande transformatorer och reservkraftverk till de lågspänningsställverk som kommer att finnas på undre planet (plattformplanet) i respektive ände (normalt två per station). För matningar till objekt från dessa sker denna med TN-S-system (5-ledarsystem med separad neutral- och skydds-jords-ledare). TN-S-systemet förhindrar uppkomsten av vagabonderande strömmar som annars kan ge höga magnetfältstyrkor. Troligtvis utförs dock "huvud-matning" från lågspänningsställverk på undre planet till övre planet (biljetthallen) också som TN-C-system på grund av jordningsproblematik.

2 Förkortningar och förklaringar

EMC	Elektromagnetisk kompatibilitet (Electromagnetic Compatibility) är en del av teknikområdet elkraft som behandlar oavsiktlig generering, fortplantning och påverkan av elektromagnetisk energi avseende på de oönskade effekter (EMI) som sådan energi leder till. Målet med att studera EMC är att försäkra sig om att utrustning och/eller system inte påverkar, eller förhindrar, varandra från att fungera korrekt, med avseende på icke önskad utstrålning och mottagande av EMI. Ibland benämns EMC som EMI-kontroll och i praktiken kombineras ofta de båda begreppen genom att använda termen "EMC/EMI". Inom Europeiska Unionen ska utrustning ur störningssynpunkt uppfylla krav enligt EMC-direktivet på både emissioner och immunitet.
EMI	Elektromagnetisk interferens (Electromagnetic Interference) innebär oönskad elektromagnetisk utstrålning eller elektrisk och elektronisk störning i någon form. Denna utstrålning eller störning kan ha såväl naturliga som konstruerade orsaker och har den egenskapen att de orsakar ett oönskat gensvar, bristande funktion eller ökat slitage för den utsatta elektriska utrustningens prestanda. Den elektromagnetiska interferensen, EMI, är ett fenomen (den utsända elektromagnetiska strålningen och dess effekter). Den elektromagnetiska kompatibiliteten, EMC, beskriver däremot en utrustnings eller ett systems karakteristik eller egenskaper när det gäller att inte fungera på rätt sätt i en miljö med påverkande EMI. Syftet med EMC är att säkra en fungerande drift för olika utrustningar eller system som använder sig av eller påverkas av EMI och som befinner sig i samma elektromagnetiska miljö. Genom EMC kan de påverkande elektromagnetiska effekterna undvikas. Man kan säga att EMC innebär att man kontrollerar EMI så att oönskade effekter förhindras.
E-fält	Elektriskt fält, uppkommer mellan två objekt som har olika spänning (V). E-fält mäts i V/m (volt/meter).
B-fält	Magnetiska fält, uppkommer av strömmar längs en ledare som för ström. B-fält mäts Tesla som dock är en mycket stor enhet, praktiskt använd enhet är därför mikroTesla (μT).
FUT	Förvaltningen för Utbyggd Tunnelbana. Förvaltning inom Storstockholms läns landsting (SLL) som ansvarar för utbyggnaden av tunnelbanan.
Ls	Likriktarstation. Omvandlar och fördelar inkommande högspänning till lämplig strömform för tågdriften (för Tunnelbanan 33 kV växelström till 750 V likström)
Ns	Nätstation. Omvandlar inkommande högspänning (här 33 kV växelström) till "vanlig" 400/230 V alternativt 690/400 V om så krävs för mer effekt-krävande applikationer (ventilation).
TN-C	Lågspänningssystem med kombinerad skyddsjord- och neutralledare, så kallad PEN-ledare från matande transformator/generator till belastning (förbrukare).

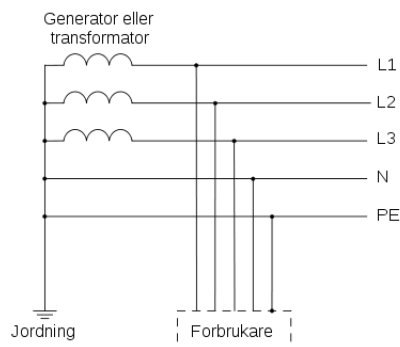


Figur 2.1: TN-C-system

Systemet innebär att en del av strömmen som egentligen ska gå i neutralledaren (del av PEN), kan leta sig in i andra ledande strukturer (armering, vattenrör etc.) och lokalt då kan ge upphov till höga magnetfält inom ett större område samt även problem med beröringsspänningar.

TN-S

Lågspänningssystem med separerad skyddsjord (PE) och neutralledare (N) från matande transformator/generator till belastning (förbrukare).

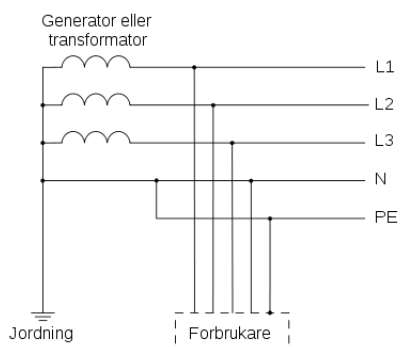


Figur 2.2: TN-S-system

Systemet innebär att den strömförande neutralledaren (N) är separerad förutom vid matande punkt vilket innebär att ingen ström flyter i andra ledande strukturer. Magnetfält uppkommer endast på grund av strömmen i det egna kabelförbandet. Då ledarna befinner sig mycket nära varandra och summan av strömmen är noll ger detta system endast upphov till magnetfält med relativt höga styrkor i direkt närhet till kabelförbandet.

TN-C-S

Lågspänningssystem med kombinerad skyddsjord- och neutralledare (PEN) från transformator/ generator till stationens fördelningsställverk. Därefter separata skyddsjord- (PE) och neutralledare (N) till belastning (förbrukare).



Figur 2.3: TN-C-S-system

Lågspänningssystem med möjlighet till inmatning ifrån flera håll (olika transformatorer, reservkraft) måste utformas på detta sätt för att skydds- och potentialjordning ska kunna fungera på korrekt sätt. Tunnelbanans lågspänningssystem för stationsmatning innan fördelningarna kommer att utföras på detta sätt.

Tub	Tunnelbana
Tub1	Tunnelbana 1 ("Gröna linjen")
Tub2	Tunnelbana 2 ("Röda linjen")
Tub3	Tunnelbana 3 ("Blåa linjen")
Tub4	Tunnelbana 4 ("Gula linjen"). Den beteckning som den nya tunnelbanelinjen mot Arenastaden planeras att få.

Anmärkning: Förkortning "Tub" ("Tub1" m.fl.) används av som förkortning av tunnelbana ur trafikall och säkerhetsmässig synpunkt (Tri, Trafiksäkerhetsinstruktioner). Förkortningen "TB" ("TB1" m.fl.) används på infrastrukturritningar för spår, el, signal och tele.

3 Inledning

Denna PM behandlar elektromagnetiska fält runt Tunnelbanans fasta infrastruktur vilket innebär kraftförsörjning för tågdriften och kraftförsörjning av tunnelbanestationerna.

De elektromagnetiska fälten som uppkommer på själva fordonet behandlas inte här. För konstruktion av fordon gäller "försiktighetsprincipen" på motsvarande som för fasta anläggningar. Beroende på hur man gör konstruktionen får man olika magnetfältsalstring på olika platser i fordonet. Fordon, liksom övrig utrustning, måste konstrueras för att uppfylla EMC-direktivet. EMC-direktivet innebär ett tekniskt krav som reglerar att elektriska och elektroniska apparater ska vara utförda så att de inte själva alstrar sådana elektromagnetiska emissioner som översiger en viss nivå att de kan störa annan utrustning men inte heller själva bli störda i den miljö som de ska vara byggda för (störimmuna eller störokänsliga).

För verksamheter med känslig utrustning, exempelvis laboratorium med magnet-röntgenkameror och elektronmikroskop, kan problem uppkomma på grund av elektromagnetiska fält utifrån. Det beror på att utrustningen i sin natur är mycket känslig för yttre påverkan av olika fält då de tekniskt använder sig av elektriska och magnetiska fält för sin funktion. För att säkerställa att sådan utrustning fungerar på avsett vis måste det säkerställas att fält (eller andra störningar, exempelvis vibrationer) inte når sådana nivåer att denna störs. Se förklaringar av EMC och EMI i kapitel 2.

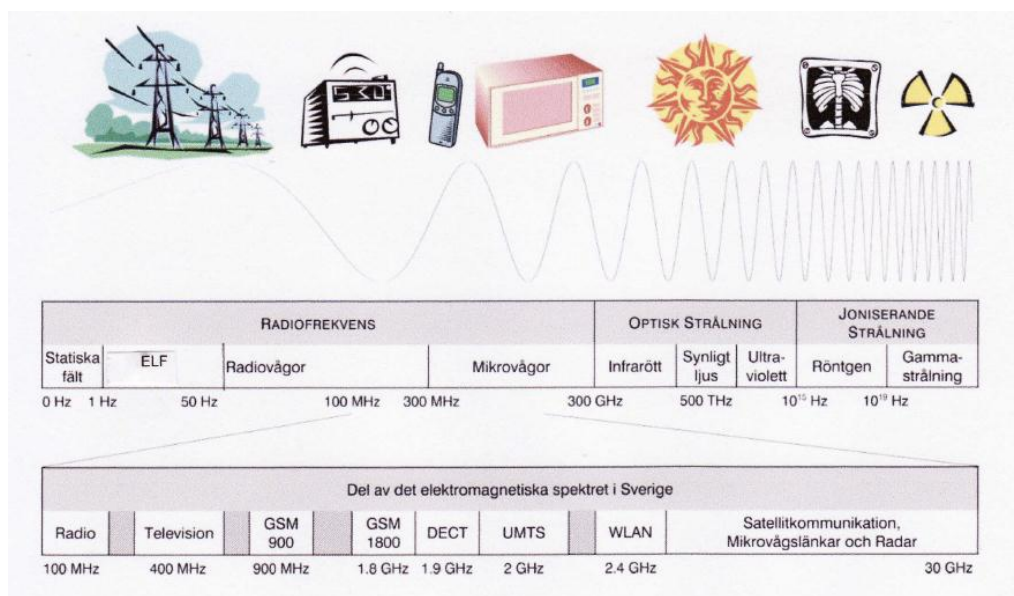
Primärt behandlar inte denna PM tunnelbanans påverkan på elektromagnetiska fält och dess påverkan på annan känslig utrustning som inte är relaterat till krav enligt EMC-direktivet.

4 Elektromagnetiska fält

Så länge som människan har existerat har vi varit utsatta för elektromagnetiska fält. Men det var inte förrän i början av 1900-talet som man började utnyttja elektriciteten, sedan dess har vi sett en kontinuerlig ökning av användningen.

Elektriska och magnetiska fält kan karakteriseras av sin styrka och frekvens. Frekvensen anges i hertz (Hz), som anger hur många fältstyrkemaxima fältet har per sekund. Det elektromagnetiska spektrumet som sträcker sig från statiska fält via låga frekvenser, som kraftfrekvensen 50 Hz, vidare via radiofrekvens, mikrovågsfrekvens, infrarött, synligt och ultraviolett ljus upptill röntgen och gammastrålning, se figur 4.1. Frekvensområdet 1 Hz till 300 Hz kallas ELF (Extremely Low Frequency) och innefattar bland annat kraftfrekvensen, vilken är 50 Hz i Sverige samt tågfrekvensen som i Sverige är 16,7 Hz.

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 spektret. Merparten av de fält som finns i vår närmiljö är av relativt låg intensitet och låg frekvens.



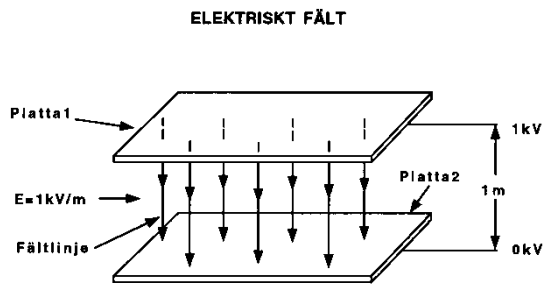
Figur 4.1 Det elektromagnetiska spektret.

Man definierar fältets våglängd som avståndet, i meter, mellan två vågtoppar. Mellan frekvens och våglängd råder ett bestämt förhållande, nämligen att produkten av dessa, (våglängden gånger frekvensen), är lika med vågens utbredningshastighet. Denna hastighet är lika ljusets hastighet (300 000 km/s) för alla typer av elektromagnetiska vågor. Låg frekvens svarar mot lång våglängd och hög frekvens mot kort. Vid 50 Hz är våglängden 6000 km, i radiofrekvensområdet några meter, i mikrovågsområdet några centimeter och i ljusområdet mikrometer. Vid 0 Hz kan vi inte tala om någon våglängd, då den skulle varit oändligt lång.

Elektromagnetiska fält består av elektriska och magnetiska fält. På avstånd som är större än cirka en våglängd från källan uppstår en så kallad plan elektromagnetisk våg med vinkelrät elektrisk och magnetisk fältkomponent. För fält från tåg är vi mycket närmare källan än en våglängd. I det fallet finns det inget bestämt samband mellan det elektriska och magnetiska fältet, varför vi bör använda oss av den elektriska respektive magnetiska fältstyrkan istället för det elektromagnetiska fältets styrka för att karakterisera spårvägens fält.

4.1 Elektriska fält

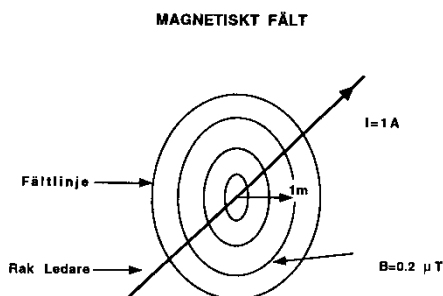
Elektriska fält beror på spänningar; fältet går från en spänning till en annan. Styrkan på det elektriska fältet anges i volt/meter (V/m). Om man har två plåtar som i figur 4.2 och den ena har spänningen 0 V och den andra 1 kV (kilovolt = 1000 V) så blir den elektriska fältstyrkan, E , lika med spänningsskillnaden, U ($= 1$ kV) dividerat med avståndet, d ($= 1$ m), dvs. 1 kV/m. Detta innebär att alla spänningssatta föremål alstrar elektriska fält. De elektriska fälten är normalt lätta att avskärma.



Figur 4.2 Ett elektriskt fält uppstår mellan föremål som har olika spänning. Den elektriska fältstyrkan (E) är lika med spänningsskillnaden delat med avståndet mellan föremålen.

4.2 Magnetiska fält

Elektriska fält alstras av spänningar, de magnetiska fälten alstras däremot av strömmar. Strömmen mäts i ampère (A). Vi tar ett enkelt exempel, en rak ledning som det går en ström i , se figur 4.3. 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 (μ T), milliondels tesla och nanotesla (nT), milliarddels tesla.



Figur 4.3 Magnetiska fält bildar slutna fältlinjer kring strömförande ledare. Den magnetiska flödestätheten (B) uppgår till 0,2 μ T, en meter från en ledare, som för strömmen (I) 1 A.

Magnetiska fält beskrivs mer ingående i bilaga 1. De magnetiska fälten är svåra att avskärma.

Sammanfattning av de elektromagnetiska fältens "natur":

- Elektriska fält alstras av spänningsskillnader
- Magnetiska fält alstras av elektriska strömmar

4.3 Fältens avståndsavtagande

Både de elektriska och magnetiska fälten avtar med avståndet från källan. Avståndsavtagandet är emellertid olika för olika källor. Från en (oändligt) stor platta avtar det elektriska fältet med ett genom avståndet ($1/r$). Fälten avtar snabbare från mindre föremål.

Det magnetiska fältet från en oändligt lång rak enkelledare avtar med ett genom avståndet ($1/r$). Fältet från en tvåledare avtar ungefär kvadratisk med avståndet ($1/r^2$). Detta gäller även för trefasledningar, som kraftledningar och skenförband. Magnetfältet avtar kubiskt ($1/r^3$) från en punktkälla som en liten transformator eller motor.

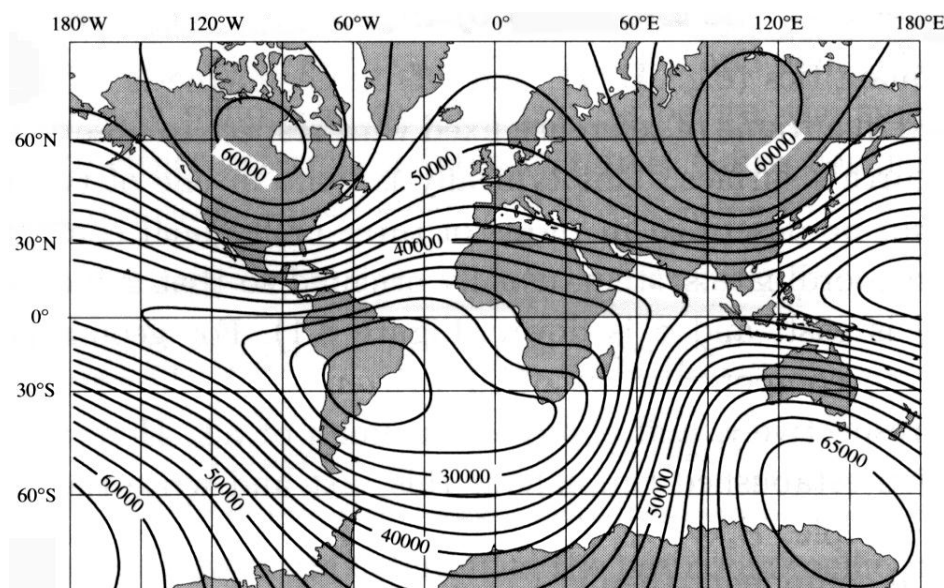
Källornas olika fältavtagande innebär att källor som elektriska små apparater kan ge betydande fältbidrag på nära håll, men att bidraget på några meters avstånd ofta är försumbart på grund av det starka avståndsavtagandet. Stora strukturer som kraftledningar och järnvägar, kan däremot ge betydande fältbidrag även på större avstånd, på grund av det svagare avståndsavtagandet.

Magnetfältet från strömmatningen till tåg, spårväg samt tunnelbana avtar normalt med kvadraten på avståndet från spåret eftersom vi har en framgående ström i kontaktledningen alternativt strömskenan och en återgångsström i ena eller båda rälerarna beroende på utformning av banans signalsystem. Vid parallella spår är återledningsrälerna elektriskt förbundna med varandra på olika platser vilket innebär det att återgångsströmmen kan välja olika vägar.

4.4 Naturliga fält

I naturen förekommer naturliga elektriska och magnetiska fält, dessa är huvudsakligen statiska fält. Om spårvagnarna drivs med likström kommer det att bildas statiska magnetfält i spårvägens närhet. Dessa magnetfält kommer att överlagras på det jordmagnetiska fältet som i Skåne är ca $50 \mu\text{T}$. Det jordmagnetiska fältet varierar över jorden, se figur 4.4.

I atmosfären uppstår det ett elektriskt fält, vid vacker väderlek är fältstyrkan vid marknivå typiskt 100 V/m , när ett åskmoln passerar uppstår stora variationer under molnet, fältstyrka varierar mellan $100 - 3000 \text{ V/m}$.



Figur 4.4 Bilden visar det jordmagnetiska fältets styrka i nT ($1000 \text{ nT} = 1 \mu\text{T}$) för olika platser på jorden. Varje isolinje ligger på ett avstånd av $2,5 \mu\text{T}$ från närmaste linje. Av bilden framgår att flödestätheten i Skåne är ca $50 \mu\text{T}$ ($50\,000 \text{ nT}$).

4.5 Riktvärden

Sverige saknar idag gränsvärden för långvarig exponering av elektromagnetiska fält. Statens Strålskyddsinstitut, Socialstyrelsen och andra myndigheter har dock formulerat en försiktighetsprincip för lågfrekventa magnetiska fält. Principen innebär att magnetiska fält som starkt avviker från vad som kan anses vara normalt i bostäder och på arbetsplatser bör reduceras. Enligt Socialstyrelsen har forskning visat att det inte går att se någon ökad risk för sjukdom för den som utsätts för elektromagnetiska fält med ett årsmedelvärde under $0,4 \mu\text{T}$.

Det finns referensvärden för akut exponering. Det gäller dock för höga värden som inte förekommer i tunnelbanemiljö.

5 Uppkomst av elektromagnetiska fält för tunnelbanan

Elektromagnetiska fält uppkommer i tunnelbanan från matande högspänningsnät, matande anläggningar (likriktarstationer) och från strömskeneanläggningen.

Elektromagnetiska fält uppkommer också ifrån andra elektriska anläggningar så som nätstationer och lågspänningsställverk, med tillhörande kabelförband för "vanlig" kraftförsörjning (400/230 V) av tunnelbanestationernas utrustningar.

Huvuddelen av magnetfälten från högspänningsutrustning och lågspänning är nätfrekventa (50 Hz) och är de magnetfält som är problematiska för allmänheten ur magnetfältperspektiv. Magnetfälten från tågdriftsanläggningen (likriktarstationen och strömskeneanläggning) uppkommer av likström och ger en till magnetfält av "statisk" karaktär och kommer därför i huvudsak upplevas som en variation av det naturliga jordmagnetfältet.

5.1 Högspänningskablar

Högspänningskablar utgörs av normalt två parallella kabelförband med en kabel per fas för huvudmatningarna. Dessa är antingen förlagda i triangel eller planförlagda. Summan av strömmen i kablarna är alltid nära noll vilket innebär att de olika strömkomponenterna i respektive kabel (fasledare) kommer att ge upphov till magnetfält som motverkar varandra.

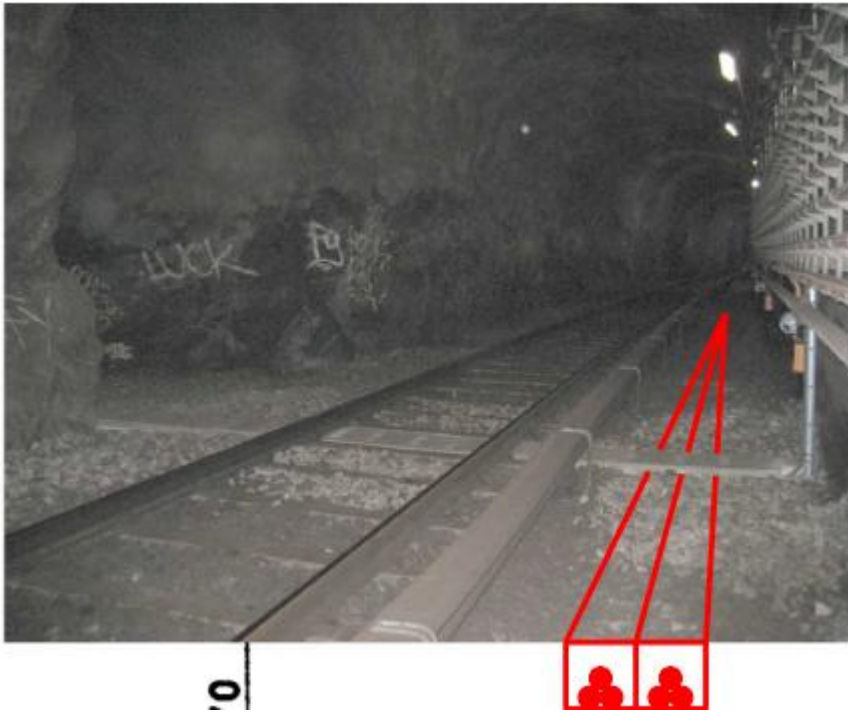


Bild 5.1: Projekterad förläggning av två parallella förband (dubbelkabelförband) bestående av enfaskablar förlagda i dubbelkanelränna. Förläggningen görs i triangel.

Beräkning av magnetfält från 33 kV:s högspänningskablar:

Approximativa beräkningar för ett kabelförband

	Ström [A]	Avstånd från kabelförägningens mitt [m]								
		0,5	1	2	3	4	5	6	8	10
Triangelförläggning	300	20,00	5,45	1,43	0,65	0,37	0,24	0,16	0,09	0,06
Fasavstånd: 0,1 m	200	13,33	3,64	0,95	0,43	0,24	0,16	0,11	0,06	0,04
Enledarkablar	100	6,67	1,82	0,48	0,22	0,12	0,08	0,05	0,03	0,02
	50	3,33	0,91	0,24	0,11	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01
Horisontalförläggning	300	45,00	13,85	3,91	1,82	1,05	0,68	0,48	0,27	0,17
Fasavstånd: 0,3 m	200	30,00	9,23	2,61	1,21	0,70	0,45	0,32	0,18	0,12
Enledarkablar	100	15,00	4,62	1,30	0,61	0,35	0,23	0,16	0,09	0,06
	50	7,50	2,31	0,65	0,30	0,17	0,11	0,08	0,05	0,03
Triangelförläggning	300	10,91	2,86	0,73	0,33	0,19	0,12	0,08	0,05	0,03
Fasavstånd: 0,05 m	200	7,27	1,90	0,49	0,22	0,12	0,08	0,06	0,03	0,02
Treledarkabel	100	3,64	0,95	0,24	0,11	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01
Tillämpbart för	50	1,82	0,48	0,12	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00
AXQJ 3x95	10	0,36	0,10	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00

Värden i μT

Kablar ska vid horisontalförläggning läggas så att de båda förbanden motverkar varandra (vid matning åt samma håll) För triangulär förläggning spelar detta mindre roll.

Tabell 1: Beräkning av magnetfält från kablar.

I värdena ovan representerar värdet 300 A en mycket hög ström som motsvarar förkommande kabeltypers termiska förmåga att överföra ström. Värdet motsvarar den elektriska effekten 16 MVA vilket utgör 1/4 av hela tunnelbanans medelbelastning i dagsläget. Medelströmvärdet (maximala timvärden) för dessa kabelförband är ca 100 A per förband vilket motsvarar 5 MVA i överförd effekt.

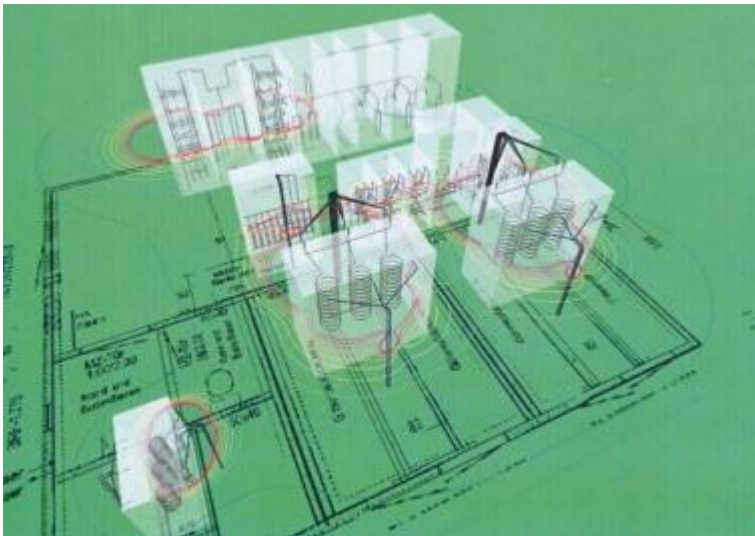
På ett avstånd om drygt 5 m kommer alltid magnetfältet runt dessa kablar att vara lägre än $0,2 \mu\text{T}$ även då de går med normala medelströmvärden vid det, ur magnetfältssynpunkt, minst gynnsamma förläggningssättet.

Även trefaskablar med mindre ledareareor än enfaskablarna förekommer för högspänningen, konstruktionen av dessa kablar innebär att de "naturligt" har en triangelförläggning med små fasavstånd. Strömstyrkan i dem måttlig, typiskt några 10-tals ampere. Sammantaget ger detta mycket liten magnetfältspridning ifrån en sådan kabel, på ett avstånd av på mindre än 1 m ifrån en sådan kabel är magnetfältet lägre än $0,2 \mu\text{T}$.

För de utbyggnader av Tunnelbanan som nu planeras ska kablar förläggas i spårmiljöns bergtunnlar (servicetunnel och spårtunnlar). Även om kablar skulle förläggas i mark ovan jord, exempelvis i trottoar utanför bostadsfastigheter, kommer magnetfältet ifrån dessa att underskrida gällande riktvärden.

5.2 Likriktarstation

Det som i huvudsak ger upphov till magnetfält är likriktarstationens likriktartransformator. Denna anläggningsdel är att betrakta som "punktformig" (ringa utbredning) och magnetfältet ifrån denna avtar i stort sett med kubiken på avståndet ($1/\text{avståndet}^3$). Detta innebär att en fördubbling av avståndet ifrån denna ger $1/9$ av värdet. I likriktarstationen finns också kabelförband där framförallt kabelförbandet mellan likriktartransformator och likriktare ger upphov till höga magnetfältstyrkor. För ett kabelförband reduceras magnetfälten med kvadraten på avståndet ($1/\text{avståndet}^2$) vilket innebär att en fördubbling av avståndet ifrån detta ger en $1/4$ av värdet. Sammantaget innebär detta att magnetfältet ifrån en likriktarstation avtar med ca $1/6 - 1/8$ vid ett fördubblat avstånd ifrån denna.



Figur 5.1 Exempel på magnetfältspridning runt apparater i en elektrisk anläggning (ex likriktarstation).

Då en anläggning inrymd i en annan byggnad är nära andra verksamheter eller i närheten av boende kan det krävas en skärmning av framförallt likriktarstationens likriktartransformator för att minimera magnetfältens påverkan ifrån denna. Magnetfälten avtar till värden på ca $0,2 \mu\text{T}$ (mikroTesla) för en oskärmad anläggning (i huvudsak likriktartransformatorn) på ca 20 m avstånd ifrån denna.

För en skärmad anläggning halveras i princip detta avstånd till ca 10 m vilket möjliggör kommersiell verksamhet direkt ovanför denna. Denna typ av verksamhet bör inte vara en förskola, skola eller sådan verksamhet som medför att personal stadigvarande vistas direkt ovanför anläggningen. Lämplig verksamhet kan vara restaurang- eller affärsytor. Ytterligare reducering av magnetfältet är inte praktiskt möjligt, "kraftigare" skärmning ger endast marginell reducering.

För att reducera magnetfälten ifrån anläggningen är det också viktigt att man beaktar detta vid projektering och konstruktion. Likriktartransformator och likriktare ska placeras nära varandra med korta kabelförband mellan sig. Om verksamhet finns ovanför anläggning placeras kabelförband lämpligtvis i golvnivå istället för i tak. Sådana beaktanden ingår i ”försiktighetsprincipen” att göra.

Att placera bostäder direkt ovanför en likriktarstation är direkt olämpligt även om magnetfältsnivåerna kan hållas nere. Variationerna i belastningen ger upphov till ljud och stomljud som kan uppfattas mycket störande kvälls- och nattetid även om värdena är låga.

Om likriktarstationen är inrymd i en fastighet med garage i flera plan placeras likriktarstationen med fördel i det understa då magnetfälten och buller snabbt avtar med ökande avstånd.

I huvudsak planeras samtliga likriktarstationer vid Tunnelbanans utbyggnad att placeras underjordiska utrymmen i den parallellgående servicetunneln i samma nivå som spårtunnlarna. I vissa fall kommer utbyggnaderna dock att påverka befintliga anläggningar och om det blir långa (mer än 2 km) eller besvärliga sträckor (kraftiga lutningar på grund av broar eller djup förläggning under vatten) så kan det krävas ytterligare likriktarstationer på sträckan. Dessa kan då komma att byggas ovan jord om detta är lämpligare.

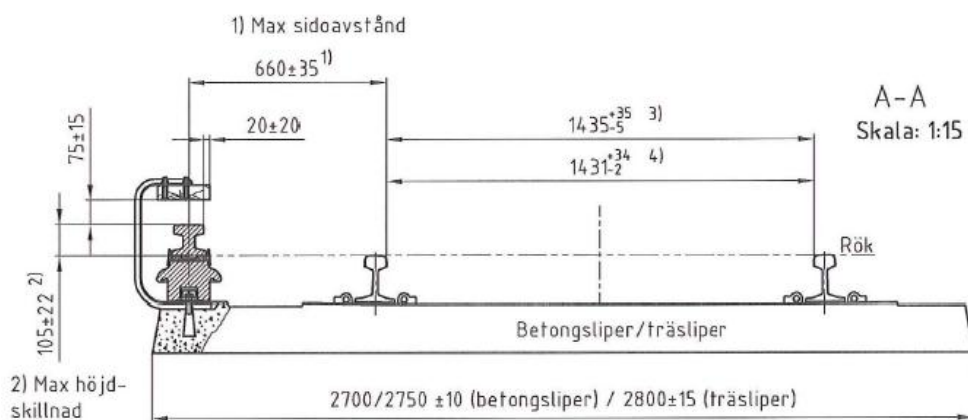
5.3 Matningskablar till strömskeneanläggningen

Från likriktarstationen till strömskenan och spåret går både plus- och minuskablar med höga strömstyrkor (upp till 6000 A) som ger upphov till kraftiga magnetfält.

Strömarten i dessa är dock likström och magnetfältet bidrar i huvudsak till variationer i jordmagnetfältet. Kablarna förläggs dock så ”balanserat” som möjligt för att minimera dess EMC-påverkan på andra tekniska system.

5.4 Strömskeneanläggning

I spåret överförs den elektriska kraften till tågen i strömskenan och de båda rälerna i spåret fungerar som återledning. Strömstyrkan i dessa är av samma storleksordning som i matningskablarna (upp till 6000 A). Man kan betrakta detta som en elektrisk ledning med ett ”fasavstånd” på 0,66 m till första rälen och 2,1 m till andra rälen.



Figur 5.2: Spår med strömskena

Strömarten i dessa är dock likström och magnetfältet bidrar i huvudsak till variationer i jordmagnetfältet.

5.5 Nätstationer

Nätstationer används för att omvandla elkraft från matande högspänningsnät till lågspänd elkraft ("vanlig elkraft", 400/230 V, 50 Hz) till stationer för bland annat signal- och teleanläggningar men också för stationernas ventilation, belysning, hissar och rulltrappor med mera.

Matning av mer effektkrävande utrustning, exempelvis brandgasventilation, kan komma att ske med system för 690/400 V, 50 Hz ("industrikraft"). Denna är dock ur magnetfältssynpunkt identisk med 400/230 V förutom att strömstyrkorna för en given effekt blir lägre med denna och därmed ger upphov till lägre magnetfältsbidrag.

I de nya tunnelbanorna är huvudinriktningen att nätstationer byggs i underjordiska teknikrum i servicetunneln i anslutning till respektive uppgång. I nätstationerna är det framförallt nättransformatorn som ger upphov till kraftiga magnetfält på liknande sätt som för transformatorn i likriktarstationerna.

Denna anläggningsdel är att betrakta som "punktformig" (ringa utbredning) och magnetfältet ifrån denna avtar i stort sett med kubiken på avståndet ($1/\text{avståndet}^3$). Detta innebär att en fördubbling av avståndet ifrån denna ger $1/9$ av värdet.

Magnetfälten ifrån nätstationen beräkna bli ca $0,2 \mu\text{T}$ på ett avstånd om ca 10 m. Vid skärmning av anläggningen halveras detta avstånd.

5.6 Lågspänning 400/230 V

Lågspänningsanläggningar utförs med kabelförband från matande nätstationer och reservkraftverk till lågspänningsställverk belägna i vardera stationsände. Lågspänningsställverken återfinns på det undre planen (plattformsnivån). I de övre planen (biljetthallarna) finns endast fördelningar som antingen är matade ifrån lågspänningsställverken med TN-S eller TN-C-system (4-ledarsystem med gemensam PEN-ledare).

I ett TN-C-system kan vagabonderande strömmar uppkomma. Med vagabonderande strömmar menas att del av returströmmen letar sig in i annan ledande struktur, exempelvis vattenledningsrör och armering. Strömmen i matande kabelförband är då inte i balans (summan är inte noll då en del letar sig utanför denna) och denna obalans kan ge upphov till höga magnetfält i kabelförbandets närhet.

För tunnelbanans stationer går dessa kablar i schakt och kulvertar på relativt stora avstånd ifrån annan verksamhet. Man kan jämföra detta med elverkens kablar till kabelskåp och serviser till fastigheter. Dessa utförs normalt som TN-C-system och det är inte ovanligt att man kan mäta upp magnetfält på upp mot $1,0 \mu\text{T}$ längs trottoarer i gatumiljö. De höga fältstyrkorna avtar dock snabbt med avståndet ifrån kabeln ($1/\text{avståndet}^2$).

För matningar till objekt från dessa sker denna med TN-S-system (5-ledarsystem med separat N- och PE-ledare). TN-S-systemet förhindrar uppkomsten av vagabonderande strömmar som annars kan ge höga magnetfältsstyrkor. I närhet av personalutrymmen och där folk vistas stadigvarande kommer magnetfälten att underskrida $0,2 \mu\text{T}$ (gränsvärdet är $200 \mu\text{T}$ enligt normer).

6 Magnetfältens spridning beroende anläggningens utformning

6.1 Möjliga åtgärder i likriktarstationer och nätstationer för att reducera magnetfält

Anläggningar ska utformas enligt "försiktighetsprincipen". Detta innebär att man vid projektering konstruerar anläggningen så att bland annat kablar förläggs på sådant sätt att magnetfälten minimeras och att komponenter placeras i närhet av varandra. Detta gäller framförallt likriktartransformatorn och likriktaren som är förbundna med ett kabelförband där höga växelströmmar flyter och som då ger upphov till kraftiga magnetfält.

Om känslig utrustning finns eller verksamheter där personal vistas i fortvarighet finns i direkt anslutning till en anläggning, exempelvis likriktarstation eller nätstation, kan det vara aktuellt att behöva skärma av denna för att reducera magnetfälten.

Även kompaktare ställverk ger upphov till mindre magnetfält. Ett alternativ för högspänningsställverk kan vara att använda GIS-ställverk (gasisolerade ställverk) som i trånga tunnelmiljöer och utrymmen med "svåra" miljöproblem har fördelaktiga egenskaper.



Bild 6.1: GIS-ställverk (Siemens) med 5 brytare i likriktarstation för Tvärbanan.

Inga anläggningar för tunnelbanans utbyggnader bedöms dock komma i sådan närhet av verksamhet där personal vistas i fortvarighet. Det bedöms därför inte vara nödvändigt att vidtaga några speciella åtgärder för att minimera störningsrisken ifrån elanläggningarna. Exemplet ovan med GIS-ställverk ger istället upphov till annan miljöproblematik där gasen (SF₆ = svavelhexafluorid) i ställverket ska användas restriktivt då det är en mycket kraftig växthusgas.

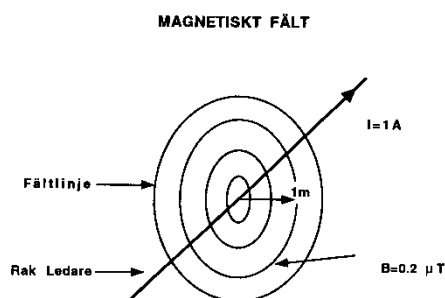
7 Slutsats

Utbyggnaden av tunnelbanan bedöms inte ge upphov till några elektromagnetiska fält som innebär menlig påverkan på annan verksamhet eller för allmänheten i området. Detta dels på grund av att tunnelbanan är likströmsdriven och magnetfälten ifrån denna i huvudsak är av statisk karaktär. Dels på grund av de avstånd som den och dess anläggningar är belägna på är så pass stora (>10 m).

För tunnelbanan är det främst likriktarstationerna som kan ge upphov till problem ur magnetfältssynpunkt. De planeras i huvudsak placeras i bergrum i spårmiljön (vid tunnelbanans stationsentréer) och kommer därmed vara på betydligt avstånd ifrån annan verksamhet samt bostäder.

Om placering av likriktarstationer skulle behöva ske på eller nära markytan behöver anpassning av placeringen med hänsyn till omgivningen ske. Särskilda skärnings-åtgärder kan vid behov behöva studeras.

Bilaga 1: Beräkning av B-fält



Figur 1: 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 1, får vi en magnetisk fältstyrka, H , på avståndet (radien), r .

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

Den magnetiska flödestätheten B är:

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

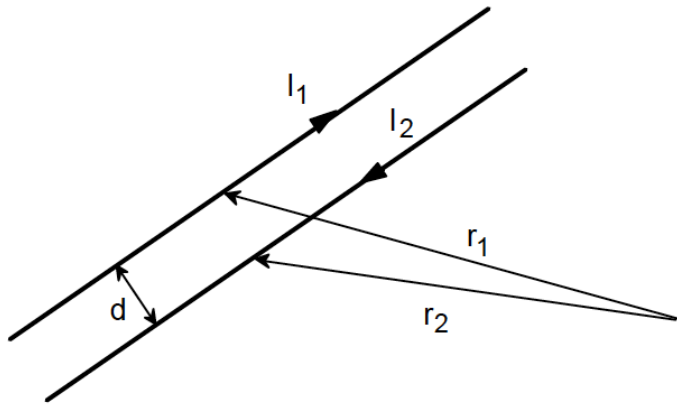
där μ är en materialkonstant, permeabiliteten (Vs/Am). Permeabiliteten för vakuum brukar betecknas μ_0 , den har värdet $4\pi \cdot 10^{-7} \text{Vs}/\text{Am}$. Nästan alla material har en permeabilitet med värde mycket nära μ_0 . Detta gäller för normala byggnadsmaterial, biologisk vävnad och de flesta metaller. Endast ferromagnetiska material som järn har en permeabilitet som avviker kraftigt från μ_0 . För material med permeabilitet μ_0 blir flödestätheten från ledaren i figur 1:

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

Om det går en ström på 1 A, i figurens ledare, får vi en magnetisk flödestäthet på $0,2 \mu\text{T}$ 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.

När vi har en tvåledare, där strömmen I går fram i den ena ledaren och samma ström går tillbaka i den andra ledaren, kommer dessa båda strömmar att ge upphov till motriktade magnetfält som delvis tar ut varandra. Magnetfältet från en tvåledare med avståndet d mellan ledarna, enligt figur 2, blir om strömmen I_1 går i den ena ledaren och en returström I_2 går i den andra ledaren:

$$B = \frac{\mu \cdot I_1}{2 \cdot \pi \cdot r_1} + \frac{\mu \cdot I_2}{2 \cdot \pi \cdot r_2} \quad (\text{T})$$



Figur 2: Magnetiskt fält från en tvåledare där den ena ledaren för en ström I_1 och den andra ledaren en returström I_2 . Vinkelräta avståndet till ledarna är r_1 respektive r_2 .

Om vi skriver om med gemensamt bråkstreck och ansätter att $I_2 = -I_1$, dvs. fram och returström lika stora, får vi:

$$B = \frac{\mu \cdot I_1 \cdot r_2 - \mu \cdot I_1 \cdot r_1}{2 \cdot \pi \cdot r_1 \cdot r_2} \quad (\text{T})$$

Om avståndet d mellan ledarna är mycket mindre än r_1 och r_2 så kan man utan att beräkningsresultatet nämnvärt påverkas förenkla formeln.

$$r_2 - r_1 \approx d \quad r_2 \approx r_1 \approx r$$

$$B \approx \frac{d \cdot \mu \cdot I_1}{2 \cdot \pi \cdot r^2} \quad (\text{T})$$

Vi ser att magnetfältet blir direkt proportionellt mot d och omvänt proportionellt mot avståndet i kvadrat. En vanlig lampsladd innehåller två ledare, en som för strömmen till lampan och en som för strömmen tillbaka. Dessa två ledare kommer att skapa motriktade fält som nästan helt tar ut varandra, om ledarna ligger tätt tillsammans (d litet). Är ledarna långt från varandra, som avståndet mellan kontaktledning och räl vid tågtrafik, får vi ett större magnetfält. För tunnelbana skapas magnetfältet av strömmen i strömskenan och returströmmen i de båda rälerna i spåret.

[Baksidestext] Verdana 9/14