



Strål
säkerhets
myndigheten

Swedish Radiation Safety Authority

Författare: Gert Anger

2010:20

Lågfrekventa magnetfält i olika färdmedel
– en studie baserad på mätningar från åren 1993-2010

Titel: Lågfrekventa magnetfält i olika färdmedel – en studie baserad på mätningar från åren 1993-2010.

Title: Low frequency magnetic fields in different modes of transport: a study based on measurements from the years 1993 to 2010.

Rapportnummer: 2010:20

Författare: : Gert Anger

Datum: Juni 2010

Sammanfattning

Denna rapport sammanfattar resultaten från magnetfältsmätningar i olika färdmedel. Mätningarna genomfördes av Strålsäkerhetsmyndigheten, fd. Strålskyddsinstitutet, under åren 1993-2010. Mätningarna har gjorts inom ramen för myndighetens miljöövervakning på området elektromagnetiska fält. Syftet har varit att ge en övergripande bild av allmänhetens exponering för lågfrekventa magnetfält i bussar, bilar, fjärrtåg, pendeltåg, spårvagnar, tunnelbanetåg, fartyg och flygplan. Mätningarna har gjorts på slumpvis valda platser där passagerare uppehåller sig vilket gör att mätvärdena utgör exempel på generella nivåer snarare än att visa extremvärden. Underlaget är dock så omfattande att värdena som presenteras får anses representativt för passagerares magnetfältsexponering i allmänhet.

Samtliga mätvärden ligger väl under de rekommenderade maxvärdena för allmänheten. De högsta värdena uppmättes i tåg. Medelvärdet i tåg var omkring 2-27 mikrotesla beroende på tåg- och vagnstyp. I pendeltåg kunde magnetfält på upp till 80 mikrotesla mätas vid enstaka tillfällen. Den rekommenderade maxnivån för magnetfält alstrade av tågnätet är 300 mikrotesla.

Abstract

This report presents the results from magnetic field measurements performed in different modes of transport. These measurements were carried out by the Swedish Radiation Safety Authority, formerly the Swedish Radiation Protection Authority, during the years 1993-2010. The study is a part of the Authority's environmental assessment programme within the area of electromagnetic fields. The purpose was to give a comprehensive description of the general public's exposure to low frequency electromagnetic fields in buses, cars, long-distance and commuter trains, trams, underground trains, marine vessels and aircraft. The fact that the measurements were performed at randomly chosen places where passengers are present meant that general magnetic field levels were observed rather than extremes being identified. However, the material presented in this study is extensive and can therefore be considered as representative of passengers' exposure to magnetic fields in general.

All of the levels measured are well below the limits for general public exposure. The highest levels were measured in trains. The mean magnetic field strength in trains was around 2 to 27 microtesla, depending on the type of train and coach. On single occasions, measurements in commuter trains showed a magnetic field strength of up to 80 microtesla. The recommended limit for the general public's exposure to magnetic fields from the railway network is 300 microtesla.

Innehållsid

Sammanfattning3

1. Inledning7

2. Gränsvärden för elektromagnetiska fält i det aktuella frekvensområdet8

3. Mätobjekt9

3.1 Fjärrtåg9

3.2 Lokaltåg12

3.3 Tunnelbana14

3.4 Spårvagn15

3.5 Bussar, flygplan, fartyg, bilar17

Bussar

Flygplan

Fartyg

Personbilar

4. Mätmetod21

4.1 Mätinstrument21

4.2 Mätning av magnetfält vid låga frekvenser22

5. Mätresultat24

5.1 Fjärrtåg24

Tåg med Rc-lok

X2-tåg

X40-tåg

5.2 Lokaltåg45

X1-tåg

X10-tåg

X60-tåg

X3-tåg (Arlandabanan)

5.3 Tunnelbana73

C4-, C6-, C12-, C14- och C15-tåg

C20-tåg

5.4 Spårvagn95

A32 på Nockebybanan och Tvärbanan i Stockholm

M29 och M32 på trean i Göteborg

5.5 Bussar105

Bussar i lokaltrafik

Flygbussar till Arlanda

5.6 Flygplan116

Avro RJ80 från Helsingfors

Airbus till Berlin

5.7 Fartyg120

Färjan Trellborg–Sassnitz

Båt till Helsingfors

5.8 Personbilar123

Seat från 1997

Volvo, BMW, Toyota Prius, Honda Civic, Honda Insight från 2009

6. Diskussion128

7. Referenser138

8. Erkännande138

Bilagor

B1: Låga frekvenser139

B2: Fjärrtåg142

B3: Lokaltåg150

B4: Tunnelbana167

B5: Spårvagn182

B6: Bussar189

B7: Fartyg194

B8: Personbilar197

Sammanfattning

Vi omges ständigt av magnetfält: Det statiska, jordmagnetiska fältet, som på våra breddgrader utgör ca 50 μT (mikrotesla), är alltid närvarande. Dessutom omges vi av lågfrekventa magnetfält av varierande styrka och frekvens, beroende på elektrifieringen av vårt samhälle som började för ungefär 150 år sedan. Det medför också att det är magnetfält i moderna trafikmedel.

Inom ramen för Strålsäkerhetsmyndighetens (SSM) miljöövervakningsprogram presenteras här en undersökning av lågfrekventa magnetfält i olika trafikmedel såsom fjärr- och lokaltåg, tunnelbana, spårvagnar, bussar, flygplan, personfärjor och personbilar. Undersökningen gör inte anspråk på att vara någon fullständig kartläggning av magnetfälten i dessa trafikmedel. Avsikten har inte heller varit att leta upp platser med de starkaste fälten. I stället redovisar rapporten mätningar som gjordes mer eller mindre slumpmässigt under åren 1993–2010 på platser där resenärer vanligtvis uppehåller sig. Under åren har nya tåg, pendeltåg, tunnelbanetåg och bussar introducerats. Det har dock inte inneburit någon betydande förändring vad gäller magnetfälten i denna undersökning.

Alla mätresultat i denna rapport ligger väl under de referensvärden som rekommenderas i SSM:s allmänna råd för allmänhetens exponering för elektromagnetiska fält. Det finns därför inte någon anledning att föreslå åtgärder för att reducera magnetfält på de platser som passagerare har tillträde till. Man bör dock vid varje konstruktion av elektriska maskiner och apparater sträva efter att nå kostnadseffektiva lösningar för att begränsa onödiga magnetfält.

Svenska järnvägar drivs av växelström med en frekvens på 16,7 Hz. Därför utgör magnetfält på 16,7 Hz den övervägande andelen av det elektromagnetiska spektrat i alla tåg. I de allra flesta fall ger magnetfälten med frekvensen 16,7 Hz upphov till mer än 95 % av de totala fälten för alla frekvenser.

Styrkan hos magnetfälten i tågen beror huvudsakligen på strömmen som går genom kontakt- och återledningar samt i rälsen på det banavsnitt som tåget befinner sig. Det är därför inte bara det egna tågets strömförbrukning som orsakar de uppmätta magnetfälten utan även andra tåg på samma banavsnitt som kan bidra till den totala fältstyrkan. Det kan särskilt i Stockholmsområdet vara av betydelse där pendeltågen ofta går i tät trafik på samma spårssystem som fjärrtågen. Tågets strömförbrukning varierar kraftigt beroende på tågets köregenskaper, om det är fullastat med resenärer eller går halvtomt, stannar på en station, accelererar eller bromsar in eller kör i en upp- eller nerförsbacke. Även närheten till elektrisk utrustning eller ledningar i tåget och källor utanför tåget kan spela en roll för styrkan hos det uppmätta magnetfältet.

Av dessa anledningar kan magnetfälten vid olika tågresor uppvisa en stor spridning. Magnetfältens medelvärde för tåg dragna av de äldre Rc-loken varierade mellan 2 och 13 μT . För de nyare X2-tågen låg medelvärdet mellan 6 och 16 μT och för de senaste X40-tågen mellan 3 och 6 μT . I alla tre typerna av tåg kunde magnetfälten vid enstaka tillfällen på passagerarplats uppgå till ungefär 35 μT .

I alla tåg förekommer övertoner till grundtonen på 16,7 Hz. Deras styrkor avtar snabbt med stigande frekvens och bara den starkaste, tredje övertonen, dvs. 50 Hz, kan ibland överstiga 1 μT . I de nyare X2- och X40-tågen observerades ibland också magnetfält med högre frekvens, mellan ca 350 och 5000 Hz. Styrkan av dessa magnetfält översteg dock sällan några tiotals nanotesla (1 nT = 0,001 μT) och är därför mer eller mindre försumbara.

I pendeltåg är förhållandena likartade fjärrtågens, dock med ett undantag: Tågsätten av gamla X1- och X10-tåg består omväxlande av motor- och manöverbagnar. I motorvagnar (A-vagnar) förväntas lite starkare magnetfält än i manöverbagnar (B-vagnar). I X1A-vagnar var medelvärdet mellan 4 och 27 μT och i X1B-vagnar mellan 3 och 10 μT . Från X10-tåg finns det inte lika många mätningar och därför är det svårt att göra en rättvisande jämförelse. Medelvärdet i X10A-vagnar varierade mellan 2 och 10 μT och i manöverbagnar mellan 2 och 4 μT . Vid enstaka tillfällen kunde magnetfält upp mot 50–80 μT mätas i dessa pendeltåg.

I de nya pendeltågen (X60-tågen) är motorerna fördelade över flera vagnar och elektriska apparater finns på taket istället för i underredet. I dessa tåg låg magnetfältens medelvärde mellan 4 och 6 μT . De starkaste fälten kunde vid enstaka tillfällen vara mellan 22 och 36 μT . I X3-tågen (Arlandabanan) gjordes endast mätningar under fyra resor. Medelvärdet för dessa mätningar låg mellan 0,5 och 3 μT och de starkaste fälten var mellan 1 och 9 μT .

Frekvensanalys gjordes bara vid en resa i X10-tåg och ingen i X1-tåg. I X10A-vagnen förekom bara övertoner till grundtonen på 16,7 Hz. Övertoneernas styrka minskade snabbt med ökande frekvens. Den tredje och starkaste övertonen kunde som mest uppgå till 1 μT . Den elektriska utrustningen i X10-tågen liknar mycket den i X1-tågen och därför antas att X1-tågens magnetfält har en liknande frekvensfördelning. I X60- och X3-tågen tillkom dessutom svaga magnetfält vid högre frekvenser mellan ca 250–3500 Hz. Dessa magnetfält var dock bara några tiotals nanotesla och är försumbara i förhållande till den totala fältstyrkan.

Tunnelbanan och spårvagnarna drivs av likström som förs fram via kontaktskenor vid tunnelbanan och kontaktledningar vid spårvagnar. Likström alstrar statiska magnetfält som inte mättes i denna undersökning. Likströmmen i tunnelbanan och spårvagnarna överlagras av växelström som härrör dels från rikriktning av växelströmmen som tas från det allmänna elnätet, dels från styrningen av asynkronmotorerna i vagnarna. Dessa växelströmmar orsakar lågfrekventa magnetfält som mättes. Strömmarna i tunnelbanetågen och spårvagnarna varierar liksom i tågen också kraftigt med körsättet.

Magnetfälten var svaga, omkring 0,1 μT , när tunnelbanetågen eller spårvagnarna stannade vid en station och ökade till några mikrottesla mellan stationerna. Fältnens medelvärde varierade i de äldre tunnelbanetågen mellan 0,2 och 1,3 μT och i de nya tågen mellan ca 1 och 2 μT . Vid enstaka tillfällen kunde magnetfälten uppgå till 12–17 μT . I spårvagnarna var medelvärdet ca 1 μT . Fältnen kunde gå upp till 6 μT vid enstaka tillfällen.

Frekvensanalysen visade att i tunnelbanetågen och spårvagnarna fanns det alltid ett magnetfält omkring 300 Hz. Vid stillastående tunnelbanetåg eller spårvagn kunde magnetfält med frekvensen 300 Hz utgöra huvuddelen av spektrumet. Även övertoner till 300 Hz observerades, men styrkan minskade snabbt med stigande frekvens till några tiotals nanotesla och påverkade därför den totala fältstyrkan obetydligt. I nya tunnelbanetågen kunde ibland också signaler vid högre frekvenser upp till 2500 Hz observeras. Styrkan hos dessa magnetfält var dock bara några tiotals nanotesla och påverkade därför inte nämnvärt den totala fältstyrkan.

Bussar, bilar, flygplan och fartyg skiljer sig från de övriga trafikmedlen i undersökningen genom att de inte är anslutna till det allmänna elnätet utan måste ordna sin elförsörjning på egen hand. Färdmedlens motorer driver därför växelströmgeneratorer som levererar ström till olika elektriska utrustningar.

Bussar alstrar relativt svaga magnetfält på ca 0,5–1 μT . Därför har yttre magnetfält från exempelvis kraftledningar och järnväg mycket större inverkan på de uppmätta fälten i bussen. Spektral-analysen visade att fälten som översteg ungefär 1 μT ofta hade frekvensen 16,7 och/eller 50 Hz och kunde nästan alltid härledas till kraftledningar eller järnvägsspår som bussen passerade. De totala magnetfältens medelvärde för bussresor som gjordes i Stockholm låg mellan 0,1 och 0,5 μT . Det observerades också att fälten hade en lägre nivå, ungefär 0,2–0,3 μT , när bussen kördes och en högre nivå, ungefär 0,4–0,8 μT , när bussen stannade vid en hållplats eller ett trafikljus. Frekvensanalysen visade ofta ett något starkare magnetfält runt 27 Hz när bussen bromsade in och som minskade när bussen körde. Andra svaga magnetfält fanns vid 200 och 900 Hz. Närmare motorn kunde även svaga magnetfält vid högre frekvenser uppemot 1500–3500 Hz observeras. I frekvensfördelningen syns ofta också ett bredare band av magnetfält mellan 5 och ungefär 30 Hz, som kan till en del bero på att mätinstrumentet skakats vid mätögonblicket.

I flygplan alstrar generatoren ström med en konstant frekvens på 400 Hz. Därför innehåller frekvensspektrerna diskreta magnetfält på 400 Hz och övertoner vars styrka snabbt avtar till några tiotals nanotesla med stigande frekvens. 400 Hz-fälten var starkast vid golvet, upp emot ca 0,3–3 μT beroende på mätplatsen. I sittplatshöjd var magnetfälten 0,1–0,2 μT . Mätningarna utfördes i två flygplanstyper under tre resor i Europa.

Mätningar på fartyg gjordes på en Finlandsbåt och på tåg färjor på sträckan Trelleborg–Sassnitz. På Finlandsbåten genomfördes också en frekvensanalys, som visade att magnetfälten bestod av fält på 50 Hz och udda övertoner därav. Långt från elektriska apparater och ledningar var fälten mycket svaga, ofta under mätgränsen för mätinstrumentet. I närheten av elektrisk utrustning kunde magnetfälten öka till några enstaka mikrottesla. Situationen på fartyg liknar därmed den vanliga miljön med 50 Hz-magnetfält som finns i bostaden.

Mätningarna i bilar visade att det största bidraget till magnetfälten från bilarna kommer från magnetiserade däck och utgör 0,2–0,7 μT . Dessa fält har en grundfrekvens på 5 Hz till omkring 11 Hz beroende på däckens rotationshastighet. Även övertoner till dessa grundfrekvenser förekommer. När det finns yttre fält från exempelvis högspänningsledningar och järnvägslinjer blir magnetfälten från däcken försumbara.

1. Inledning

All elektrisk ström ger upphov till magnetiska fält. I alla trafikmedel som drivs av elmotorer finns det därför magnetfält. Eftersom strömmarna till motorerna varierar kraftigt med belastningen ändrar sig också magnetfältens styrka i fordonen på samma sätt. Även trafikmedel som inte drivs av elmotorer, såsom bilar, bussar, flygplan och fartyg, kan ha ett elsystem ombord som alstrar magnetfält.

I den föreliggande rapporten presenteras mätningar av magnetfält som har utförts under tidsperioden 1993–2010 i tåg, tunnelbana, spårvagn, bussar, fartyg, flygplan och personbilar. Det handlar inte om några systematiska mätningar för att ta reda på hur starka magnetfälten är vid varje tänkbar plats i olika trafikmedel eller leta upp den värsta exponering som man kan utsättas för som passagerare. Det är mer sporadiska mätningar där mätinstrumentet fick följa med vid olika förflyttningar från ort till ort. Mätresultaten ger ändå en uppfattning om hur starka magnetfält en vanlig passagerare kan träffa på under resor med olika färdmedel.

2. Gränsvärden för elektromagnetiska fält i det aktuella frekvensområdet

Sedan 2002 finns det i Sverige allmänna råd om begränsning av allmänhetens exponering för elektromagnetiska fält [1] från Statens strålskyddsinstitut (SSI) nuvarande Strålsäkerhetsmyndigheten (SSM). De bygger dels på rekommendationer som EU:s råd har utfärdat 1999 [2], dels på riktlinjer som har getts ut Internationella strålskyddskommissionen för ickejoniserande strålning, ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) 1998 [3].

De allmänna råden rekommenderar två typer av gränsvärden för magnetiska fält, dels grundläggande begränsningar, dels referensvärden. Grundläggande begränsningar baseras på de biologiska verkningar som magnetfält ger upphov till i kroppen, och de får inte överstigas. Magnetfält inducerar elektriska strömmar i kroppen. Som grundläggande begränsning har därför valts strömtätheten i kroppen, mätt i mA/m² (milliamperere per kvadratmeter) som medelvärde över en area av 1 cm² (kvadratcentimeter). I frekvensområdet 4 Hz–1 kHz har den grundläggande begränsningen satts till 2 mA/m² och i frekvensområdet 1 kHz–100 kHz till f/500 mA/m², där f är frekvensen uttryckt i Hz. För t.ex. 2 kHz blir då den högsta av magnetfält orsakade tillåtna strömtätheten i kroppen 4 mA/m².

Strömtätheten går dock inte utan vidare att mäta i kroppen. Därför har det ur de grundläggande begränsningarna härletts referensvärden som går att mäta utanför kroppen. Dessa referensvärden utgörs av den magnetiska fältstyrkan H, mätt i A/m, eller den magnetiska flödestätheten B, mätt i μT (mikrottesla). I luft och i människokroppen finns ett enkelt samband mellan fältstyrkan och flödestätheten, nämligen att 1 A/m=1,26 μT. Den högsta tillåtna flödestätheten i frekvensområdet 1 Hz–8 Hz är 40000/f² μT, för 8 Hz–800 Hz är den 5000/f μT (f är frekvensen i Hz) och för 800 Hz–150 kHz är den 6,25 μT. Rekommenderade maxvärdet för flödestätheten vid några olika frekvenser visas i tabell 2.1.

Tabell 2.1: Referensvärden för flödestätheten (effektivvärde) vid olika frekvenser

Frekvens f (Hz)	5	16,7	50	100	150	300	400	800-5000
Flödestäthet B (μT)	1600	300	100	50	33,3	16,7	12,5	6,25

Så länge som referensvärdena inte överstigs kan inte heller de grundläggande begränsningarna överskridas. Om däremot referensvärdena överskrids behöver det inte innebära att också de grundläggande begränsningarna överskrids. I sådana fall måste det visas genom en särskild beräkning av strömtätheten att de grundläggande begränsningarna inte överskrids.

3. Mätobjekt

Mätningar av magnetfält utfördes under ett stort antal resor med olika trafikmedel under åren 1993-2010. Resorna kunde ibland vara ganska korta, t.ex. bara ca. fem minuter med en lokalbuss i Stockholm. Men de kunde också sträcka sig över flera timmar, t.ex. en tågresor från Stockholm till Abisko eller från Stockholm till Berlin med tillhörande båtresa från Trelleborg till Sassnitz. Mätningar av magnetfält gjordes i nedan beskrivna fjärr- och lokaltåg, tunnelbanevagnar, spårvagnar, lokalbussar, fartyg och flygplan.

3.1 Fjärrtåg

Magnetfälten mättes under ett antal resor med tåg som drogs av olika typer av Rc-lok samt med X2- och X40-tåg. Mätningar av magnetfält i olika typer av lok har rapporterats tidigare [4]. I denna rapport presenteras endast mätningar som utfördes i de olika tågerna på platser avsedda för resenärer. Under resorna 1996 och 1997 till och från Berlin drogs tyska vagnar av svenska lok mellan Malmö och Trelleborg och av tyska lok mellan Sassnitz och Berlin.

Svenska järnvägar drivs av historiska/tekniska anledningar med växelström på 16,7 Hz och en spänning på 15 kV. I Europa drivs järnvägen förutom i Sverige även i Norge, Tyskland, Schweiz och Österrike av 16,7 Hz-system, länder där elektrifiering av järnvägen började redan på slutet av 1800-talet. Persontåg dras vanligtvis av ett lok, betecknad med littera D eller R, eller en motorvagn (littera X eller Y), som innehåller elektriska motorer med reglersystem och andra elektriska utrustningar. Linjeströmmen leds från kontaktledningen via en strömavtagare och en högspänningsledning till huvudtransformatorn i lokets maskinrum



Figur 3.1: Tåg med Rc6-lok på väg att lämna Hagalunds banområde i Solna.

eller i motorvagnen. I gamla lok och motorvagnar, som drivs med likströmsmotorer, måste linjeströmmen med hjälp av omformare eller likriktare omvandlas till likström. De senaste åren har en ny teknik med GTO-tyristorer för högre ström och spänning och med växelriktare utvecklats som gör det möjligt att omvandla likström och enfas växelström med 16,7 Hz till trefas växelström med varierande frekvens. Med det fick asynkrontekniken sitt genombrott för elloken och därför drivs nyare lok och motorvagnar med trefas asynkronmotorer [5], [6], [8].

Rc-loken finns i sex tillverkningsserier, Rc1–Rc6, som tillverkades mellan 1967 och 1988. De är boggilok, där fyra traktionsmotorer är fast upphängda med två motorer på varje boggis ramverk. Rc-loken är försedda med tyristorstyrda likströmsmotorer. Det betyder att växelströmmen från kontaktledningar måste omvandlas till likström i loket. De har en total motoreffekt $4 \times 900 = 3600$ kW. Medan Rc1-, Rc2-, Rc4- och Rc5-loken är avsedda för en största hastighet på 135 km/h är Rc3- och Rc6-loken byggda för en maximal hastighet på 160 km/h. Alla transformatorer, reaktorer, strömställare, reläer och övriga komponenter är sammanförda i olika skåp i lokets maskinrum. Strömmen till tågvärmen matas från sekundärlindningens 800 eller 1000 V uttag på huvudtransformatorn. Tågvärmeströmmen leds från loket via tågvärmekabeln till apparater i vagnarna och sedan vidare genom värmekablar under vagnarnas golv. Återledningen av strömmen sker genom vagnarnas och lokets ramverk och hjul via återledningstransformatorn till huvudtransformatorns sekundärlindning [5], [6], [8]-[12].

I personvagnar finns inga elektriska system som har med framdrivningen av tåget att göra, men det finns elektriska kretsar för belysning, värme och övriga anordningar. Magnetfälten i personvagnar orsakas dels av strömmar i dessa kretsar, dels av strömmar i kontaktledningar och rälsen. Längs järnvägsspåren löper också en högspänningsledning på 6,3 kV och 50 Hz för banbelysning och annan hjälpkraft, som kan bidra till fälten i personvagnar. I vagnar nära loket kan eventuellt också magnetfält från lokets motorer och andra utrustningar ge ett tillskott till fälten i personvagnar.

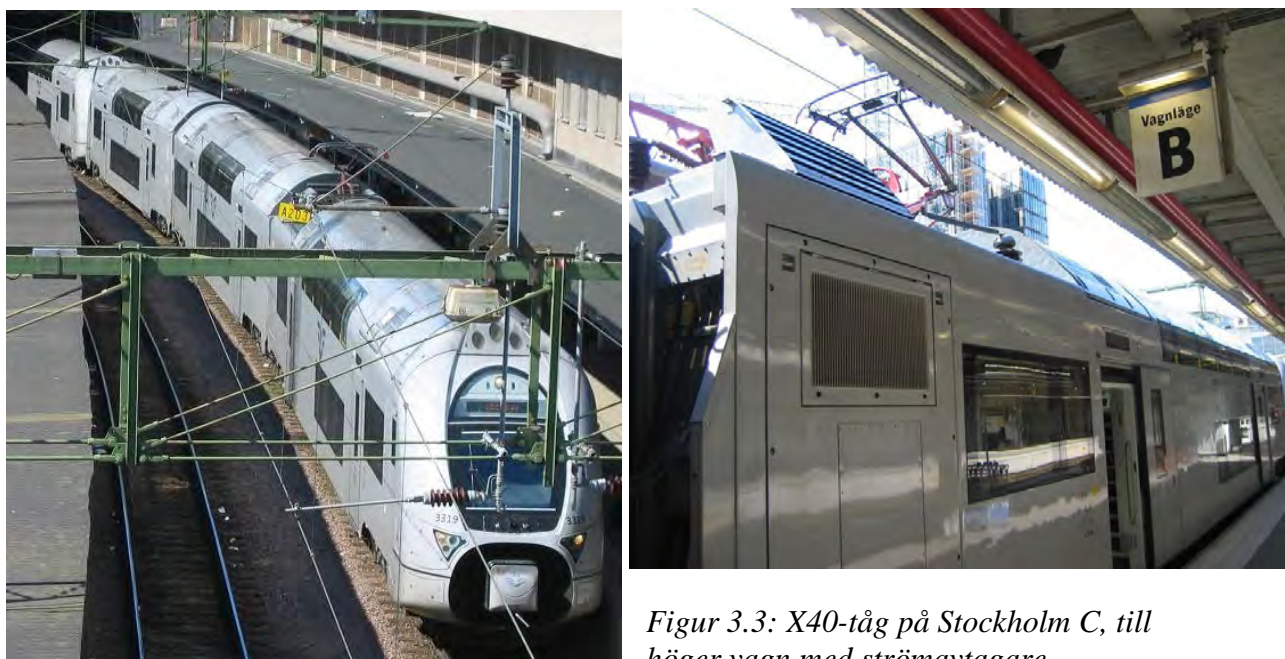
I motorvagnar finns i motsats till loket även utrymme för passagerare. X2-tågen (även kallad X2000) introducerades i Sverige 1990. Det är ett 4- till 7-vagnståg där en av vagnarna är en drivenhet med lite utrymme för expressgodis (betecknad med littera X2). I tågsättet ingår dessutom en manövervagn och två till fem mellan-



Figur 3.2: X2-tåg (även kallad X2000-tåg) på Stockholm c.

vagnar (med littera UA2X och UB2X respektive UA2 och UB2). X2 är egentligen ingen riktig motorvagn utan går bara använda till-sammans med mellanvagnarna UA2 och UB2. Linjeströmmen tas från kontakt-ledningen via huvudtrans-formatorn och överförs via nät-strömsriktare, likströmsmellanled och maskinströmrictare till de frekvensstyrda 3-fas asynkronmotorerna i drivenheten. Huvudtransformatorn är placerad i drivenhetens underrede. Drivenheten innehåller fyra 3-fas-asynkronmotorer som frekvensstyrs med GTO-tyristorer. De är monterade i motorboggierna som ger tåget en total motoreffekt av $4 \times 815 = 3260$ kW. Motorerna har också förmågan att levererar ström tillbaka till nätet när tåget motorbromsar. Drivaxlar finns endast i drivenheten. Tåget är byggd för en högsta hastighet på 200 km/h. Föraren kan även köra tåget från manövern där det finns en förarhytt. Strömmen till tågvärmen matas på liknande sätt som för Rc-loken från huvudtransformatorns 1000 V uttag. Korglutningssystemet, ventilationen och luftkonditionering matas med 3-fas växelström på 380 V. [5]-[12]

Ett nytt tvåvåningståg, X40-tåget, sattes 2005 i trafik på Svealandsbanan. X40 kan bestå av två (ändvagn+ändvagn) eller tre vagnar (ändvagn+mellanvagn+ändvagn) och är byggd för en maximal hastighet av 200 km/h. Vagnarna kan kopplas ihop till ett tolvvagnars tåg, vanligtvis trafikerar dock endast fem- eller sexvagnars tågsätt. Motorvagnar drivs av frekvensstyrda 3-fas-asynkronmotorer. Den sammanlagda motoreffekten för 2-vagnarståget är 1600 kW och för



Figur 3.3: X40-tåg på Stockholm C, till höger vagn med strömavtagare

3-vagnarståget 2400 kW. 2-vagnarståget har 2-axliga boggiar med motor i varje axel i början och i slutet av tåget och däremellan två löpboggiar. Mellanvagnen i 3-vagnarståget har ytterligare en boggi med motorer och en löpboggi. Huvudtransformatorn finns i anslutning till strömavtagaren, andra elkomponenter som t.ex. växelriktare, hjälpkraftomriktare och luftkonditionering är placerade i fordonens tak före och bakom det övre passagerarplanet [5]-[7], [11].

3.2 Lokaltåg i Stockholmsområdet

Mätningar av magnetfält utfördes i de äldre X1- och X10-tågen från 1970- och 1980-talen, i det nya X60-tåget som används i pendeltågstrafik i Stockholm sedan 2005 och, i mindre omfattning, i X3-tåget på Arlandabanan där trafiken kom igång 1999.

Lokaltågen (pendeltåg) trafikerar också det svenska järnvägsnätet och drivs därför med växelström på 16,7 Hz. Till skillnad från fjärrtågen drivs pendeltågen inte fram av ett lok utan av motorvagnar som innehåller traktionsmotorerna. Linjespänningen förs via en strömavtagare och en högspänningskabel in i motorvagnens huvudtransformator. Strömmen i denna kabel får inte överstiga 225 A. Huvudtransformatorn innehåller, förutom primärlindningen, lindningar för matning av traktionsmotorerna, tågvärme och hjälpkraft.

I X1- och X10-tågen drivs motorvagnarna av fyra tyristorstyrda likströmsmotorer som är placerade i varje boggi under golvet. En X1- respektive X10-enhet består av en motorvagn, betecknad med A, och en manövernagn, betecknad med B. Den senare är inte utrustad med motorer och med lika mycket annan elektrisk utrustning. Motorvagnen är utrustad med två



tvåaxliga boggier och har i X1-enheten en motorstyrka på $4 \times 280 \text{ kW} = 1120 \text{ kW}$ och i X10-enhet på $4 \times 320 \text{ kW} = 1280 \text{ kW}$. Ett X1- eller X10-tågsätt består vanligtvis av två till fyra enheter, dvs. fyra till åtta vagnar. Medan X1-tågen kan få en högsta hastighet på 120 km/h är X10-tågen avsedda för maxhastigheten 140 km/h.

Figur 3.4: X10-pendeltåg på Stockholm C

I underredet av X1- och X10-tågen finns inte bara motorerna utan också mycket av den övriga elektriska utrustningen såsom transformatorer, reaktorer, strömriktare, omformare eller omriktare och annat. I X1- och X10-tågen drivs alla hjälpmaskiner med 3-fas 50 Hz asynkronmotorer som matas i X1-tågen från en roterande omformare och i X10-tågen från en statisk hjälpkraftomriktare. Båda är placerade under golvet till motorvagnen. Vagnarna värms upp med elkaminer, placerade under fönstren i sittavdelningen och i skärmväggen i vestibulerna. Matningen sker från transformatorn med 230 V. Tågets lysrörsarmaturer matas med växelström på 220 V och 400 Hz. [5], [6], [8]-[12].

X60-tågen förs fram, liksom X2- och X40-tågen, av motorvagnar med frekvensstyrda 3-fas-asynkronmotorer. Varje tågsätt i X60-tågen består av två enheter med tripletter av vagnar, sammanlagt alltså sex vagnar. Ändvagnarna betecknas med A1 och A2, mellanvagnarna med M1-M4. Två vagnar i varje tripplett är motorvagnar. Motorerna är, som vid alla motorvagnar, placerade i boggin under golvet. Ett tågsätt har en sammanlagd motoreffekt på 3000 kW. X60-tågen är byggda för en högsta hastighet på 160 km/h. Till skillnad från X1- och X10-tågen är hos X60-tågen alla viktiga elektriska komponenter som transformatorer, växelriktare,



luftkonditionering m.m. förlagda till fordonets tak. Belysning sker med lysdioder (LED) och fiberoptik. [5]- [7], [11]

Figur 3.5: X60-pendeltåg på Solna station

X3-tåget, Arlanda-express, är ett fyrdelat motorvagnssätt avsett för trafiken Stockholm C–Arlanda N. Förutom vid ändhållplatserna använder Arlanda-expressen samma spår som fjärr- och regionaltågen.

Arlanda-expressen är byggd för en högsta hastighet på 200 km/h. Ett tågsätt består av två motorvagnar (A-vagnen) i början och slutet av tågen, en strömvagnarvagn (B-vagnen) och en servicevagn (C-vagnen). Tågsättet har totalt 16 axlar, varav hälften är drivna. De båda boggierna i motorvagnarna är



Figur 3.6: X3-tåg (Arlandabanan) på Stockholm C

utrustade med fyra motorer per vagn med 280 kW per motor, sammanlagd motoreffekt är således 2240 kW. Motorerna som används i X3-tågen är 3-fas asynkromotorer som styrs med de nyare IGBT-transistor-likritare (IGBT: Insulated Gate Bipolar Transistor) med frekvenser mellan 0–170 Hz. Som alla moderna tåg är även X3-tåget utrustat med återmatande elbromsar där drivmotorerna vid driftbromsning får arbeta som generatorer och kan återföra energi till kontaktledningarna. [5], [6], [11].

3.3 Tunnelbana

Mätvärden för magnetiska fält samlades in under olika resor med tunnelbanan på olika linjer i C4-, C6-, C12-, C14-, C15- och C20-vagnar.

Tunnelbanenätet är skilt från järnvägsnätet och spårvagnsnätet, dock har tunnelbanenätet en spårförbindelse till järnvägsnätet via Tvärbanan mellan stationerna Globen och Gullmarsplan. Tunnelbanan drivs elektriskt från en strömskena vid sidan av rälsen med en likspänning på 650 V. Beroende på linjen är maxhastigheten på tunnelbanetågen 70 eller 80 km/h.

Mätningar av magnetfält gjordes både i de äldre C4 – C15 vagnarna från 1960-, 1970- och 1980-talen och i de nya C20-tunnelbanevagnarna (eller tunnelvagnar) som togs i drift 1998. C4-tågen levererades mellan 1960 och 1967. De trafikerade röda linjen och uttrangerades 2001. Det är därför inte säkert om de första mätningarna i tunnelbanan under åren 1996–1997 gjordes i C4- eller C6-tågen. På liknande sätt är det med C12-tågen. De byggdes mellan 1977 och 1982, trafikerade gröna linjen och började skrotas 1999. Den första mätningen från 1995 kan ha därför utförts i ett C12- eller C14-tåg, som också trafikerade gröna linjen. C9-tågen från 1970-talet trafikerade blå linjen och slopades 2009 [5], [8], [9], [11], [13]. Det är därför inte säkert om mätningen 2005 från T-centralen till Vreten gjordes i ett C9-, C14- eller C15-tåg. Av de äldre vagnarna är idag bara C6- vagnar från 1970-talet, C14- och C15-vagnar från 1980-talet fortfarande i drift. Ett fullängdstunnelbanetåg består av åtta äldre vagnar eller tre nya vagndelar, undantagsvis förekommer också tiovagnarståg. Det går inte att sammankoppla vagnar av de äldre typerna med nya vagnar, men de äldre vagn typerna är samkörbara. C4-



vagnar var utrustade med likströmsmotorer som kunde kopplas i serie i olika steg eller parallellt.

*Figur 3.7:
Tunnelbane-
tåg C6*

C6-, C9-, C12-, C14- och C15-vagnar drivs av tyristorstyrda likströmsmotorer. Varje axel i de två tvåaxliga boggierna är utrustade med en motor på 81 kW i C4- och C12-vagnar, på 100 kW i C6- och C9-vagnar och på 110 kW i C14- och C15-vagnar. De elektriska huvudkretsarna för motorstyrningen som kontaktorer, reaktorer, bromsmotstånd och andra motstånd, likspänningsomriktare i C9-, C14- och C15-vagnar, olika filterkretsar, andra regulatorer m.m. finns under vagnsgolvet. I vagnarnas underrede finns också olika hjälpmaskiner som kompressor, fläktaggregat, termostatreglerade värmebatteri för värmning av ventilationsluften samt belysningsystemet som kopplas till 650 V-nätet. I C14- och C15-vagnar har de roterande omformarna från tidigare vagn typer ersatts med statisk hjälpkraftomriktare och likaså har andra elektromekaniska apparater ersatts med statiska komponenter. Den statiska hjälpkraftomriktaren matar bl.a. en växelriktare som genererar 3-fas 50 Hz växelström för bl.a. kompressorer, batteriladdare och fläktmotorer. [5], [11], [13].

I jämförelse med de äldre vagnarna är C20-vagnen en nykonstruktion av tunnelvagnar som bygger på modernaste teknik som avser såväl fordonskorgar och boggier som motorer och elutrustning. Varje tunnelvagn C20 består av tre vagndelar A, M och B. Ett C20-trevagnståg är bestyckad med fyra tvåaxliga boggier, där varje axel drivs av en frekvensstyrd trefas asynkronmotor på 125 kW. Likspänningen på 650 V omvandlas i en maskinströmriktare till trefas växelspanning för motorerna med den styrka och frekvens som krävs för en önskad hastighet och dragkraft. Två hjälpkraftomriktare, en i vardera A- och B-vagndelarna, omvandlar linjespanningen 650 V till trefas 50 Hz växelström för kompressorer, ventilatorer, fläktar, batteriladdare m.m. Denna utrustning och ytterligare apparater som bromsmotstånd och -moduler, induktorer, högspänningslådor m.m. är placerade bredvid en kabelkanal i underredet till vagndelarna [5], [8], [11], [13].



Figur 3.8: Tunnelbanetåg C20

3.4 Spårvagnar

Ett fåtal mätningar av magnetfält gjordes under resor med spårvagnslinje S12 och S22 i A32-vagnar i Stockholm och spårvagn linje 3 i M29- och M32-vagnar i Göteborg. Nockebylinjen (S12) rustades senast upp under 1997/98 och trafikeras sedan 1999 huvudsakligen med den nya vagnstypen A32. Samma vagnstyp används också på tvär-banan (S22) som invigdes år 2000. Spårvagnar drivs av likspänning på 600–750 V som förs fram i en kontaktledning ovanför spåret. Strömmen leds via en strömavtagare och omvandlas i strömriktare till 3-fas växelström för att driva de moderna motorvagnarnas asynkronmotorer. Strömmen leds sedan tillbaka via stålhjul och rälsen.

A32 är en dubbelriktningsvagn som har en förarhytt i båda ändar. Det är en sexaxlig, tredelad motorvagn med leder emellan. Den har tre tvåaxliga boggier varav ändboggierna är försedda



med en 120 kW motor per axel, så att den sammanlagda motoreffekten blir 480 kW per spårvagnssätt. Spårvagnens maximala hastighet är 80 km/h.[5], [11], [12].

Figur 3.9: Spårvagn A32 på Tvärbanan i Stockholm.

Spårvagnar i Göteborg drivs på samma sätt som i Stockholm med 600 – 750 V likström. M29 är en multipelkörbar vagn som byggdes mellan 1969 och 1972. Den har två tvåaxliga boggier med en motor på 50 kW per axel som ger en sammanlagd effekt på 200 kW per vagn. M32 är en ny typ av spårvagn med genomgående lågt golv som levererades till Göteborg under



2004–2009. Den har inga boggier utan tre fasta truckar. Trucken i mitten har löphjul. Truckarna vid vagnsändarna är drivande och har två motorer per truck med en effekt på 106 kW per motor, dvs. sammanlagt 424 kW [5], [11], [13].

Figur 3.10: Spårvagn M29 på linje 3 i Göteborg.



Figur 3.11: Spårvagn M32 i Göteborg (Foto från Hilma Sandstedt, Västtrafik)

3.5 Bussar, flygplan, fartyg, bilar

Bussar, flygplan, fartyg och personbilar kan under resan inte få nödvändig elektrisk ström genom det allmänna elnätet utan måste producera den själv genom att motorn driver en generator som alstrar en elektrisk spänning. Det kan vara en lik- eller växelströmgenerator, men moderna generatorer alstrar växelström som ger bättre effekt. Generatoren förser all elektrisk utrustning på bussen, flygplanet eller fartyget med ström som kan orsaka magnetfält av olika styrka och frekvens. För att starta motorn behövs i sin tur ett batteri, som också kan användas för att driva viss utrustning i nödsituationer.

Bussar

Bussarna som ingick i undersökningen var stadsbussar av olika tillverkare. De trafikerade skilda linjer under Stockholms lokaltrafiks (SL) huvudmannaskap som upphandlar trafiktjänster av flera olika entreprenörer. Bussarna gick på linje 1, 48, 176, 177, 507 och 540. Dessutom gjordes två mätningar i flygbussarna till Arlanda flygplats.



Figur 3.12: Buss linje 540 (februari 2010)

Tidigare bussar var oftast höggolvsbussar med ett eller flera trappsteg vid entrédörrarna. Mätningen från 1993 i bus 48 kan ha gjorts i en sådan buss. Från mitten av 1990-talet

köpte SL och andra bolag allt fler låggolvsbussar. Dessa finns i två varianter, dels lågtrénversioner, dels versioner med helt lågt golv. I lågtrénversionen har bara främre delen av

bussen lågt golv och bakre delen har trappsteg upp till en högre nivå för att ge plats för motorn, drivaxlar, bränsletanken med mera.



Figur 3.13: Buss linje 1 (februari 2010)

Den andra versionen har bara en mindre upphöjning bak i bussen och motorn kan finnas under sätena vid bakfönstret. Motorn kan också ligga under golvets upphöjning eller vara placerad på vänster sidan om den. [5], [14].

Mätningarna från 1993 och 1995 gjordes i buss på linje 48, antagligen Scania-bussar som förmodligen är avregistrerade nu. Linje 48 finns inte längre och har idag ersatts av andra linjer. Bussarna på linje 507 och 540 i denna undersökning tros vara tillverkade av Volvo [14].



Figur 3.14: Blåbuss 176 vid Brommaplan.

Bussarna på linjer 1, 176 och 177 tillhör de nya stom- eller blåbussarna som är ledbussar och



Figur 3.15: Flygbuss vid City terminalen (februari 2010)

började införas under slutet av 90-talet. I ledbussar sitter motorn oftast längst bak i bussen och drivning sker på det bakersta hjulparet. 1:ans buss var från Volvo och 176:an och 177:an från Scania. Även flygbussarna var ledbussar från Volvo.

Flygplan

Generatorer i flygplan alstrar enligt internationell standard ström med en frekvens på 400 Hz. Med hjälp av en CSD-enhet (Constant-Speed Drive) hålls frekvensen konstant även när



motorvarvtalen varierar [15]. Vid gaten är planet inkopplat till flygplatsens elsystem. Beroende på flygplats och plan kommer strömmen ibland från planets reservaggregat, en liten jetmotor nära stjärten. Vid starten stängs reservaggregatet eller flygplatsens elsystem av och generatorn kopplas in.

Figur 3.16: Avro RJ85, Turku flygplats

(foto: Jdm, Wikimedia Commons, wikimedia.org)

Mätningarna utfördes i två flygplanstyper: dels i en AvroRJ85 på sträckan mellan Helsingfors och Stockholm dels i en Airbus A319 mellan Stockholm och Berlin. AvroRJ85 är ett fyrmotorigt jetplan med vingarna som sträcker sig ut från flygkroppens övre del. Det har en marschhastighet på 801 km/h [5]. Airbus A319 är ett tvåmotorigt jetplan där motorerna är monterade på vingarna. Det har en maximal marschhastighet på 891 km/h [16].

Figur 3.17: Airbus A319 (foto: Juergen Lehle, albspotter.eu, Wikimedia Commons, wikimedia.org)



Fartyg

Mätningar gjordes på tre olika fartyg, dels tåg färjan Trelleborg–Sassnitz dels Silja lines Finlandsbåt Symphony.

På tåg färjan utfördes mätningar i samband med tågresorna Stockholm–Berlin. Färjelinjen trafikerades under åren för mätningarna och fortfarande idag av M/S Trelleborg och M/S Sassnitz. Tåg vagnarna rangeras

ombord med ett diesellok. M/S Trelleborg är byggd 1981 och har en motoreffekt på 17 650 kW fördelad på fyra dieselmotorer. M/S Trelleborg har en maxfart på 19 knop [5]. M/S Sassnitz är från 1989, även den har fyra dieselmotorer med en sammanlagd effekt på 18 200 kW och en maxfart på 20 knop [17]. Även M/S Silja Symphony från 1991 har fyra dieselmotorer som ger sammanlagd 32 560 kW och den gör 21,5 knop [17].



Figur 3.18: Tåg färjan M/S Trelleborg i Cityvarvets torrdocka i Göteborg (foto: David Castor, från wikipedia.org)



Figur 3.19: M/S Silja Symphony i Värtahamnen.

Personbilar

I undersökning ingick en äldre bil, modell 1998, och fem moderna bilar, modell 2009-2010, varav tre var elhybridbilar. Bilen från 1998 var en Seat Toledo, manuell växlad med en motoreffekt på 74 kW (vid 5800 varv/min) och en volym på 1600 cm³. Magnetfälten i de fem nya bilarna mättes i samarbete med Teknikens Värld. Mätprotokollet från dessa mätningar finns i bilaga B8, personbilar.

4. Mätmetod

4.1 Mätinstrument

Mätningar utfördes med tre olika, kalibrerade mätinstrument. I tabell 4.1 återges några tekniska specifikationer. Vid de skilda mättillfällena användes dock bara ett mätinstrument i taget, vilket framgår av resultatredovisningen. Alla tre instrumenten består av tri-axiella prober med tre ortogonala mätpolar. Instrumenten visar det totala effektivvärdet av den magnetiska flödestätheten B efter summering av de tre fältkomponenterna B_x , B_y och B_z i tidsdomänen inom det angivna frekvensområdet enligt

$$B = (B_x^2 + B_y^2 + B_z^2)^{1/2} \quad (4.1)$$

Tabell 4.1: Några tekniska data på mätinstrumenten

	Emdex Lite, special	Combinova MFM10	Combinova MFM3000
Mätspolssystem	3-axiell, ortogonal	3-axiell, ortogonal kocentrisk	3-axiell, ortogonal kocentrisk
Lindningsarea (cm ²)		100 (400 lindningar)	100 (400 lindningar)
Frekvensområde	10–1000 Hz, fast	5 Hz–2 kHz, fast	5 Hz–400 kHz, variabel
Frekvensrespons	plan	plan	plan
Mätområde (μT)	0–70	0–4, 0–40, 0–400, 0–10 000, väljs automatiskt	5 Hz–2 kHz: 0,01–10000 2–400 kHz: 0,01–200
Onoggrannhet	± 4 %	± 2 % av mätområde	±(1 % av avläst värde + 2 nT)
Samplingsintervall	4 s–20 min	6 s–30 min	2 s–60 min
Mätning	bredbandig	bredbandig	bredbandig o. frekvenssektiv

För Emdex-instrumentet är frekvensområdet 10–800 Hz, för Combinova MFM10 är det 5–2000 Hz och för MFM3000 kan ett antal frekvensområden väljas inom 5 Hz till 400 kHz. Alla tre instrumenten mäter således bredbandigt i de givna frekvensområdena. MFM10-instrumentet lämnar dessutom information om vilken frekvens som var dominerande under loggnings-perioden, t.ex. 16,7 eller 50 Hz eller blandad om en dominerande frekvens inte kunde hittas. Emdex-instrumentet var specialtillverkat för att kunna användas vid mätningar på järnvägen och inlånades från dåvarande Arbetslivsinstitutet. Detta instrument ger ingen information om frekvensen.

Det tredje instrumentet, Combinova MFM3000, erbjuder också möjligheten att göra en FFT-frekvensanalys (Fast Fourier Transform) av de uppmätta magnetfälten. Där görs summeringen i frekvensdomänen efter frekvensanalysen av de uppmätta fältkomponenterna. Den totala flödestätheten B_t i det avsedda frekvensområdet utgörs då av roten ur kvadratsumman av flödestätheten B_{fi} vid olika frekvenser enligt

$$B_t = (B_{f1}^2 + B_{f2}^2 + \dots + B_{fn}^2)^{1/2} \quad (4.2)$$

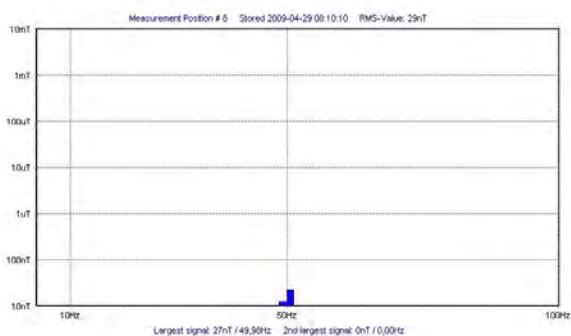
Alla mätinstrument var kalibrerade inom något år före mätningen. Kalibreringen visar också att dessa mätinstrument ändrar sina egenskaper endast obetydligt mellan kalibreringstillfällena. Instrumenten är av loggande typ, dvs. de samlar in mätvärden med valbara tidsintervaller. Vid de olika mätningarna användes intervaller mellan 2 s och 20 s. Mätdata bearbetades efteråt på olika sätt, t.ex. med medelvärdesberäkningar, diagramritning osv. Vid mätningar med Emdex-instrumentet sattes instrumentet fast i bältet på rapportskrivaren. De andra två instrumenten lades i en väska som oftast placerades på sitsen bredvid, ibland i knäet på personen som utförde mätningarna och någon gång också på golvet till det färdmedel som undersöktes.

4.2 Mätning av magnetfält vid låga frekvenser

Enligt Maxwell:s andra ekvation leder varje magnetfält som ändrar sig i tid eller i rum till ett elektriskt fält, som i sin tur ger upphov till en elektrisk ström i en ledare, t.ex. i mätspolen men även i människokroppen. Därför kan även mätinstrumentens rörelse i jordens statiska magnetfält bidra till det uppmätta fältet med lägre frekvenser än ca 20 Hz, som inte går att skilja från magnetfältet som orsakas av ett mätobjekt. För att få en uppfattning om hur stort detta bidrag kan vara gjordes mätningar med MFM3000-instrumentet som rördes dels långsamt dels snabbt i olika 50 Hz-magnetfält, se tabell B1 i bilaga B1. Instrumentets mätområde var inställt på 5 Hz – 400 kHz. På mätinstrumentet kan man då avläsa den totala flödestäthetens effektivvärde B_t och flödestätheten B_{50} vid 50 Hz. Flödestätheten B_{δ} vid övriga frekvenser består av bidrag med frekvenser från 5 Hz till ca 15–20 Hz och visas inte med ett siffervärde på mätinstrumentets display utan bara som staplar i spektrumet. B_{δ} beräknas därför enligt

$$B_{\delta} = (B_t^2 - B_{50}^2)^{1/2} \quad (4.3)$$

Vid långsamma till måttliga rörelser av mätinstrumentet var medelvärdet av $B_{\delta} = 0,15 \mu\text{T}$ (se tabell B1 i bilaga B1). Lägsta och högsta värde av B_{δ} var $0,03 \mu\text{T}$ respektive $0,38 \mu\text{T}$. B_{50} var vid dessa mätningar $0,025 \mu\text{T}$ och $0,032 \mu\text{T}$. I figur 4.1 visas exempel på spektra när mätinstrumentet är i vila och vid långsamma rörelser av instrumentet.



a) Mätinstrument i vila

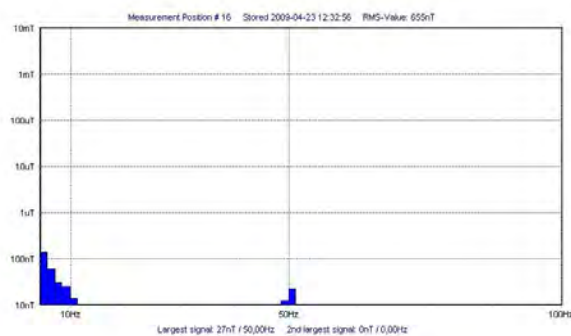


b) Långsam rörelse av instrumentet

Figur 4.1: Spektrum vid mätning av 50 Hz-magnetfält (Linjär frekvensaxel: 5, 10, 50, 100 Hz) Obs!: B-axeln (y-axel) är logaritmisk med skala 10 nT, 100 nT, 1 μT , 10 μT , 100 μT , 1 mT och 10 mT vid alla spektra i denna rapport. Frekvensaxeln (x-axel) kan vara linjär eller logaritmisk med olika skalor

Vid samma 50 Hz-magnetfält och snabba, ryckiga rörelser av mätinstrumentet ökade medelvärdet av B_{δ} till $0,69 \mu\text{T}$. Lägsta värdet av B_{δ} blev nu $0,42 \mu\text{T}$ och högsta värdet $1,07 \mu\text{T}$. Ett spektrum vid denna typ av rörelse visas i figur 4.2.

Figur 4.2: Spektrum av 50 Hz-magnetfält vid hastig rörelse av mätinstrumentet. (Axlar: som i figur 4.1)

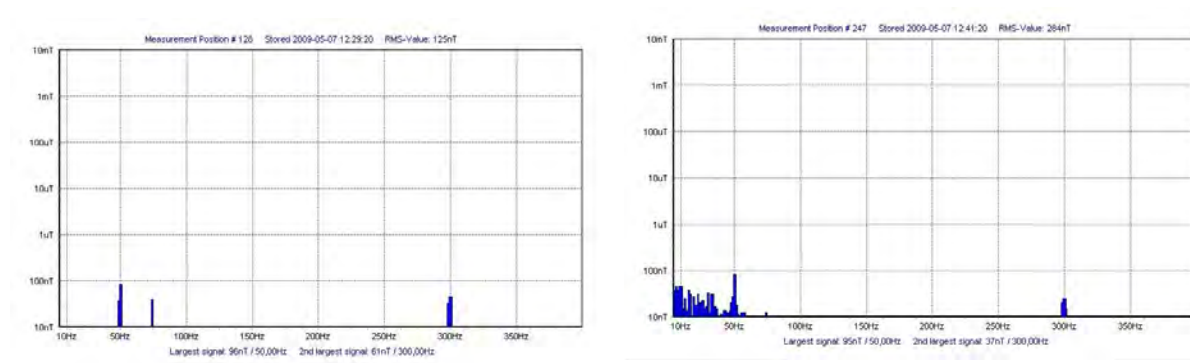


Magnetfälten under 20 Hz beror dock inte bara på rörelsen av mätinstrumentet. Det bekräftades vid mätningar av magnetfält från tunnelbanetåg då mätinstrumentet var stillastående ca 1 m från perrongkanten på tunnelbanestationen Vreten. I figur 4.3 visas ett

spektrum på tunnelbanestationen med tunnelbanetåget utanför syn- och hörhåll och ett spektrum med tåget inkommande på stationen. I tabell B1.2 i bilaga B1 finns resultaten av två mätserier. Mätinstrumentet visar i frekvenszoomen dels siffervärdet för den totala flödestätheten B_t , dels siffervärdet för flödestätheten vid frekvenser där magnetfälten var som starkast och som näst starkast. Flödestätheten vid andra frekvenser avlästes av stapelhöjden i frekvensspektrat. För frekvenser från 5 Hz till ca 20 Hz beräknades den sammanlagda flödestätheten B_{δ} på liknande sätt som förut enligt

$$B_{\delta} = (B_t^2 - B_{f1}^2 - B_{f2}^2 - \dots - B_{fn}^2)^{1/2} \quad (4.4)$$

I tabellen ser man att fälten vid 50 Hz, 75 Hz och ca 300 Hz dominerade, men ibland uppträdde också fält med frekvenser på 16,7 Hz, 25 Hz, ca 33 Hz och 100 Hz. De övriga fälten B_{δ} vid 5–ca 20 Hz varierade för det mesta mellan ca 0,020 och 0,075 μT när inget tåg befann sig på stationen. När ett tåg kom in eller lämnade stationen kunde dessa fält öka med en faktor av ungefär 10.



a) inget tåg inom syn- och hörhåll

b) ett tåg kommer in på stationen

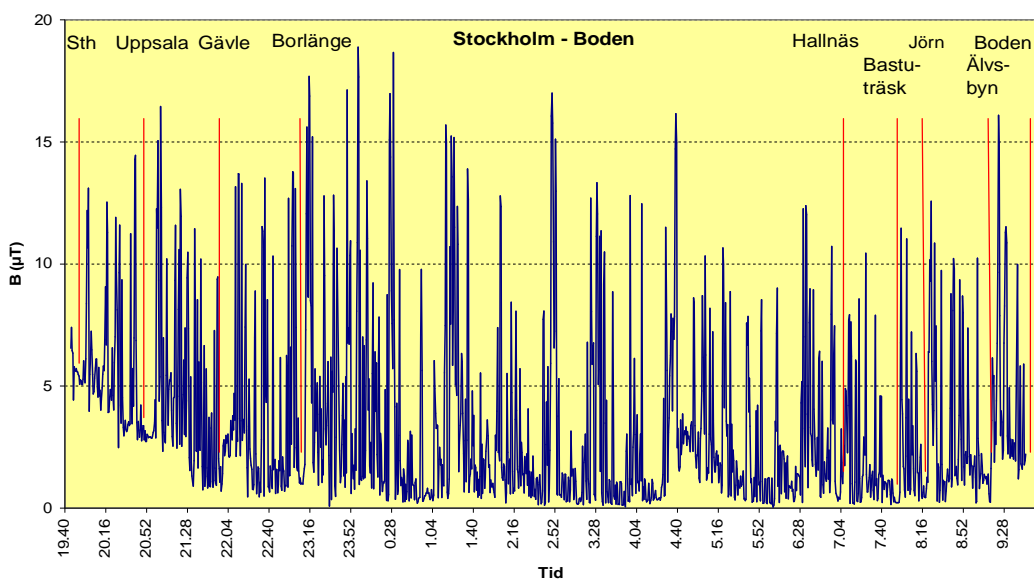
Figur 4.3: Spektrum av magnetfält på perrongen i tunnelbanestationen Vreten (stillastående mätinstrument). (Linjär frekvensaxel: 5, 10, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400 Hz.)

5. Mätresultat

5.1 Fjärrtåg

Tåg med Rc-lok

Åren 1995-2008 gjordes ett antal resor med tåg som drogs av Rc-lok. De första mätningarna är från en resa från Stockholm till Abisko 1995, den enda resan som gjordes på sommaren till skillnad från de övriga resorna. Ett tidsdiagram över variationen av magnetfält under resan från Stockholm till Boden visas i figur 5.1. Magnetfälten mättes med MFM10-instrumentet var 36:e sekund under 244 mätperioder av 360 s. I 75 % av alla mätperioder angavs 16,7 Hz som dominerande frekvens. I resterande 25 % betecknades frekvensangivelsen som blandad, dvs. en dominerande frekvens kunde inte fastställas.



Figur 5.1: Magnetfält vid resan Stockholm-Boden, 1995-07-26/1995-07-27.

En sammanfattning av mätresultat av alla resor med tåg dragna av Rc-lok ges i tabell 5.1. I tabellen anges det minsta och högsta värdet som uppmättes under resan, samt medelvärdet, medianvärdet och 90:e percentilen av magnetfälten. Dessutom anges i tabellen loklittera och loknummer samt personvagnslittera och -nummer när det antecknades. Även platsen som mätinstrumentet placerades på framgår av tabellen, om det finns anteckningar om den. Datum och tid för resorna ges också i tabellen. Dessutom anges vilket mätinstrument och vilken samplingsperiod som användes vid mätningen. För senare utvärdering är mätningarna också numrerade.

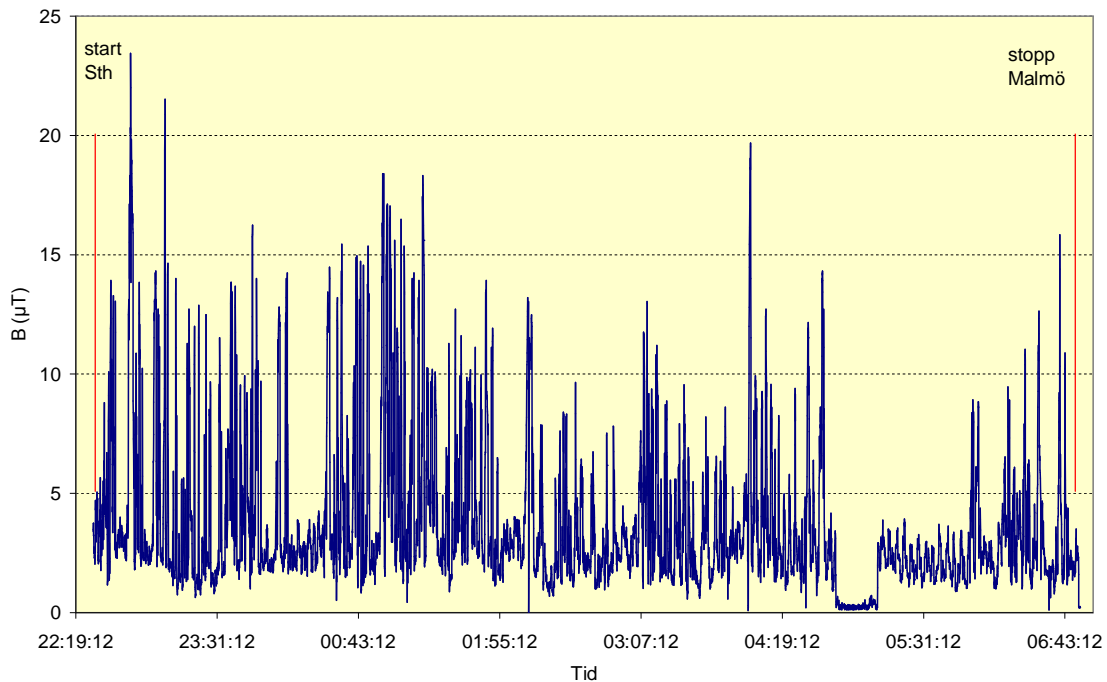
Medelvärden för magnetfälten i tåg dragna av Rc-lok varierade mellan 2,1 och 12,9 μT vid de olika resorna. Det högsta medelvärdet, 12,9 μT, kom från resan från Stockholm–Göteborg 2008, när magnetfältssonden befann sig bara ca 10 cm från ett värmeelement. För de andra resorna var medelvärdet lägre än 10 μT, utom för delsträckan Stockholm-Bollnäs vid resan till Åre 2008. Medianvärdet var vid alla resor lite lägre än medelvärdet. De högsta värdena som uppmättes vid resorna låg mellan 13,4 och 31,6 μT.

Tabell 5.1: Mätresultat för tåg dragna av Rc-och Rm-lok och tyska tåg (för MFM3000 uppges den uppmätta totala flödestätheten).

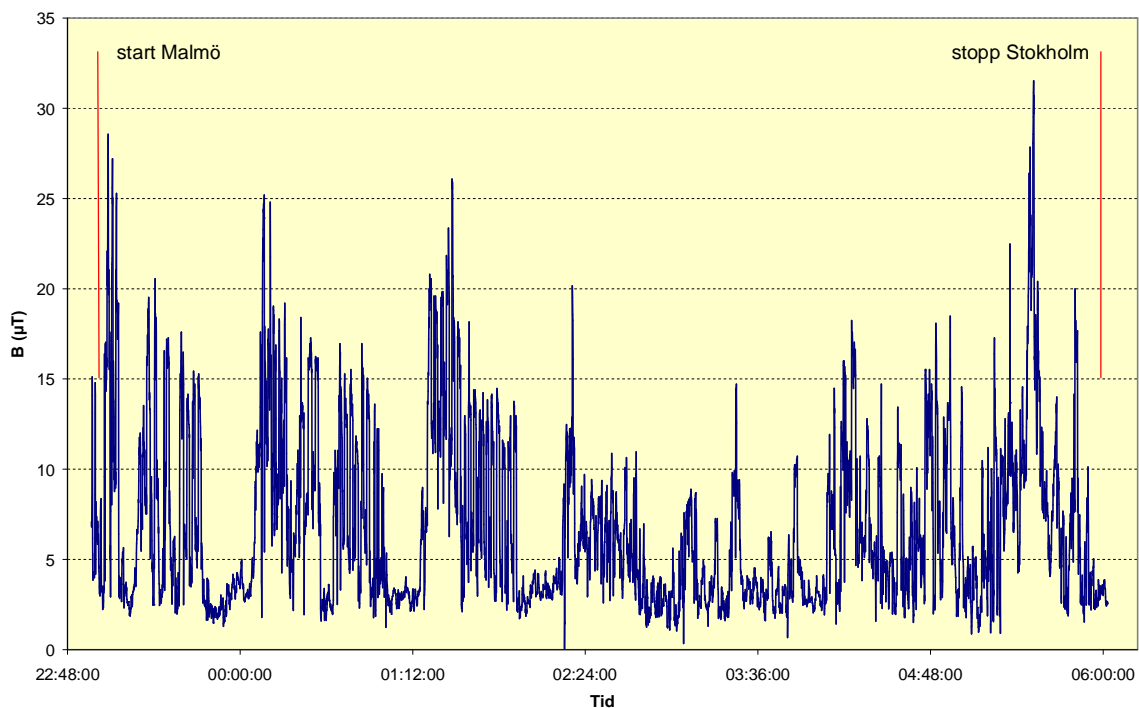
N r.	Datum	Tid	Lok		Körsträcka	Personvagn		Mätinstrumentets placering i vagn	Flödestäthet B (µT)					Mätinstr.	Samp- lings- period
			littera	nr.		Littera	Nr.		min	medel	median	90. per.	max		
1	1995-07-26	19.46-9.49	Rc	a	Sth-Boden	a	a	liggv., olika	0,05	3,48	2,12	8,81	18,88	MFM10	36 s
2	1995-07-27	10.04-14.59	a	a	Boden-Abisko	a	a	vid fönster	0,04	2,09	1,16	5,15	15,89	MFM10	36 s
3	1995-08-01	11.16-16.18	a	a	Abisko-Murjek	a	a	14, 35 vid fönster	0,05	2,68	1,80	5,12	13,42	MFM10	36 s
4	1996-10-27	23.13-06.47	Rc	a	Stockholm-Malmö	a	a	liggv., överst	0,25	6,40	5,58	15,97	31,48	Emdex	4 s
5	1996-12-07	22.30-06.50	Rc6	a	Stockholm-Malmö	a	a	liggv., mellan	0,01	3,75	2,66	8,22	23,48	Emdex	4 s
6	1996-12-14	23.01-07.59	Rc	a	Malmö-Stockholm	a	a	a	0,03	5,84	4,93	10,84	29,72	Emdex	4 s
7	1997-01-28	23.12-06.46	Rc	a	Stockholm-Malmö	a	a	liggv., nederst	0,02	5,99	4,88	10,85	24,44	Emdex	4 s
8	1997-02-04	23.00-06.00	Rc5	1327	Malmö-Stockholm	a	a	sovv., överst	0,06	6,84	5,10	13,96	31,56	Emdex	4 s
9	2008-01-01	09.09-13.58	Rc3	1062	Stockholm-Göteborg	B9	5223	fönster, 44-45, mot värmeel.	0,06	12,90	12,01	18,87	26,47	MFM3000	10 s
10	2008-01-05	13.02-18.54	Rc6	1350	Göteborg-Stockholm	B9	5321	fönster, 44-45	0,06	3,26	2,18	7,66	20,81	MFM3000	10 s
11	2008-02-14	07.56-15.12	Rc6	1338	Stockholm-Åre	B7F	5387	gång 37, fönster 38	2,16	8,31	7,51	13,46	23,34	MFM3000	20 s
					Sth.-Bollnäs			gång 37	2,16	11,13	10,62	16,04	23,34		
					Bollnäs-Åre			fönster 38	2,67	6,45	5,88	9,89	14,70		
12	2008-02-18	15.42-22.29	Rc6	1344	Åre-Stockholm	BF4	5463	gång 25, fönster 26	0,53	7,50	6,54	12,58	24,34	MFM3000	20 s
					Åre-Bollnäs			gång 25	2,36	7,55	7,01	12,54	19,11		
					Bollnäs-Gävle			fönster 26	2,39	4,91	3,99	9,49	14,09		
					Gävle-Sth			gång 25	0,53	7,83	6,79	13,61	24,34		
Svenskt lok, tyska vagnar															
13	1996-10-28	07.40-08.14	a	a	Malmö-Trelleborg	a	a	a	0,08	1,07	0,63	2,69	8,03	Emdex	4 s
14	1996-11-03	07.35-08.02	a	a	Trelleborg-Malmö	a	a	a	0,06	1,05	0,77	1,96	8,60	Emdex	4 s
15	1996-12-08	07.41-08.11	a	a	Malmö-Trelleborg	a	a	a	0,10	1,21	1,10	1,97	4,05	Emdex	4 s
16	1996-12-14	22.02-22.25	a	a	Trelleborg-Malmö	a	a	a	0,55	2,47	2,13	4,04	8,28	Emdex	4 s
17	1997-01-29	07.54-08.30	a	a	Malmö-Trelleborg	a	a	a	0,01	1,73	1,62	3,06	6,14	Emdex	4 s
18	1997-02-04	22.03-22.35	Rm	1260	Trelleborg-Malmö	a	a	a	0,13	1,44	1,27	2,87	4,63	Emdex	4 s
Tyskt lok, tyska vagnar															
1t	1996-10-28	12.00-16.25	a	a	Sassnitz-Berlin	a	a	a	0,01	1,21	1,11	2,43	10,92	Emdex	4 s
2t	1996-11-02	23.05-02.55	a	a	Berlin-Sassnitz	a	a	a	0,02	1,96	1,76	3,85	8,14	Emdex	4 s
3t	1996-12-08	12.14-16.28	a	a	Sassnitz-Berlin	a	a	a	0,01	1,95	1,90	3,49	9,18	Emdex	4 s
4t	1996-12-14	13.33-17.32	a	a	Berlin-Sassnitz	a	a	a	0,01	4,89	5,12	9,58	14,28	Emdex	4 s
5t	1997-01-29	12.23-16.25	a	a	Sassnitz-Berlin	a	a	a	0,02	2,03	1,95	3,58	10,64	Emdex	4 s
6t	1997-02-04	13.33-17.09	a	a	Berlin-Sassnitz	a	a	1. vagn bakom lok	0,06	2,24	2,23	3,79	8,05	Emdex	4 s

a: ej antecknad

Hösten och vintern 1996/97 gjordes mätningar vid tre tågresor från Stockholm till Berlin över Malmö, Trelleborg och Sassnitz. Mellan Stockholm och Malmö gick resan i svenska tåg, mellan Malmö och Trelleborg drogs tyska personvagnar av svenska lok och mellan Sassnitz och Berlin drogs de tyska vagnarna av tyska lok. Mätresultaten från resorna mellan Malmö och Trelleborg samt för resorna mellan Sassnitz och Berlin har listats separat i tabell 5.1. Exempel på tidsdiagram för dessa delresor finns i bilaga B2, fjärrtåg. Två exempel på mätningar från den del av resan som gick mellan Stockholm och Malmö visas i figur 5.2 och 5.3.

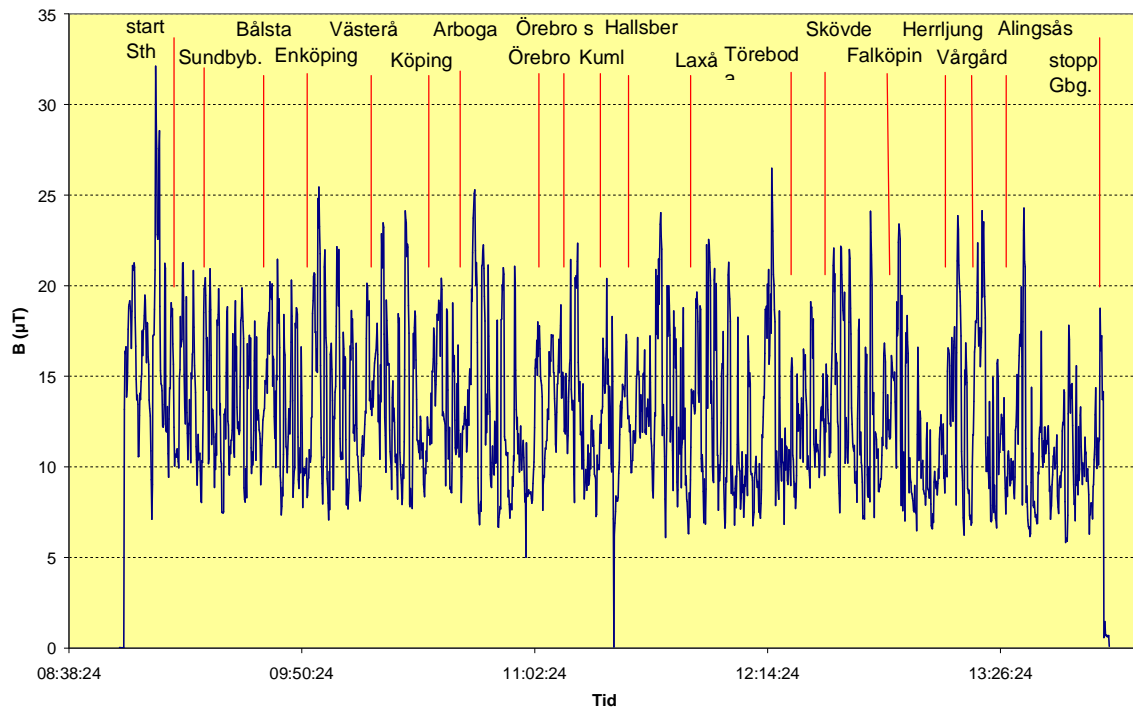


Figur 5.2: Magnetfält vid resan Stockholm-Malmö 1996-12-07.

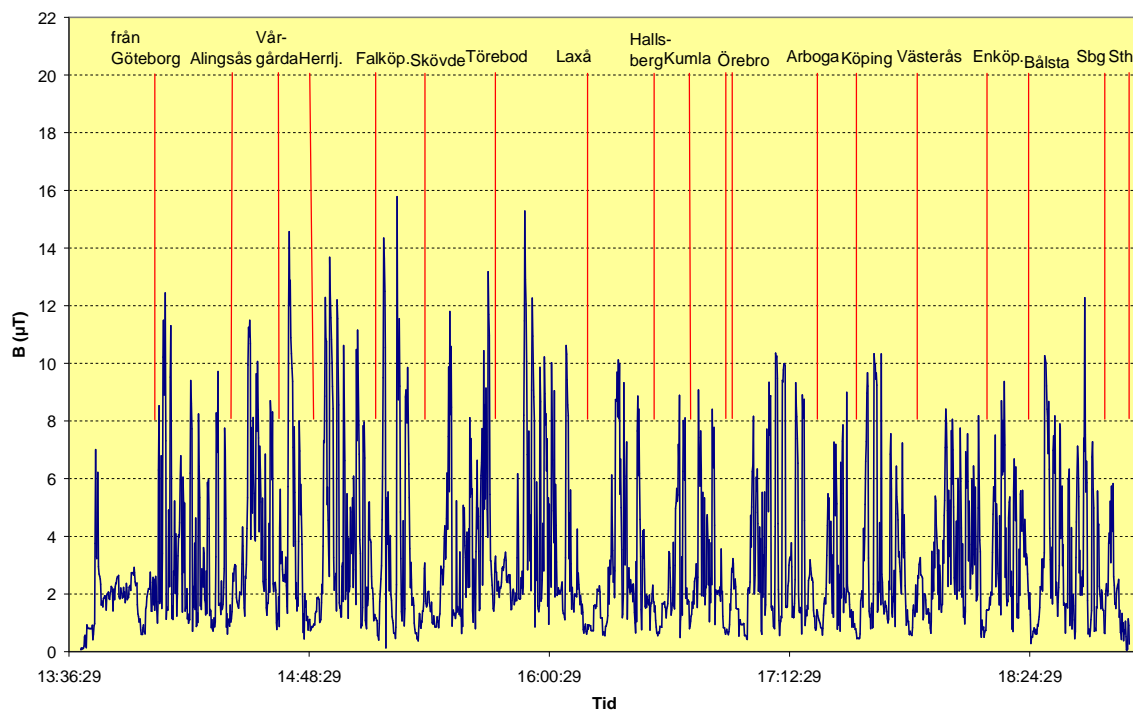


Figur 5.3: Magnetfält vid resan Malmö-Stockholm 1997-02-04.

I figur 5.4 och 5.5 visas diagram från resan mellan Stockholm och Göteborg vintern 2008.



Figur 5.4: Magnetfält vid resan Stockholm-Göteborg, 2008-01-01, med mätsonden nära värmeelement. (Mätt med MFM3000, B-axel: total flödestäthet).



Figur 5.5: Magnetfält vid resan Göteborg-Stockholm, 2008-01-05. (B-axel se figur 5.4).

Ytterligare tidsdiagram visas i bilaga B2, fjärrtåg. Alla tidsgrafer visar att magnetfälten i tåg kan variera kraftigt. Huvudorsaken till magnetfälten är den elektriska strömmen på 16,7 Hz som driver lokets motorer och som leds från omformarstationen fram och tillbaka i kontakt-

ledning, rälsen och återledning. När tåget står stilla behöver motorerna mindre ström och magnetfälten är då svaga. När tåget startar, accelererar eller befinner sig i uppförsläge behöver motorerna extra kraft och drar mera ström med ökande magnetfält som följd. Det är dock inte bara det egna tåget som påverkar strömmen, även andra tåg på samma avsnitt eller tåg på rälsen bredvid kan inverka på magnetfälten i det egna tåget. Det kan också finnas ytterligare magnetfältskällor utanför tåget, t.ex. intilliggande högspänningsledningar som kan bidra med 50 Hz-magnetfält. Även inne i tåget kan det finnas olika källor till magnetfält, t.ex. olika apparater och ledningar, som bidrar till det totala uppmätta fältet. De något lägre fälten vid resan från Stockholm till Abisko än vid de andra resorna kan bero på att resan gjordes på sommaren då värmen i tåget var avstängd och ingen ström gick i värmekablarna. Däremot kan närheten till en värmeelement, som vid resan Stockholm–Göteborg, leda till starkare magnetfält. Dessutom kan mätinstrumentets rörelse bidra till de totala uppmätta fälten, som visades i avsnitt 4.

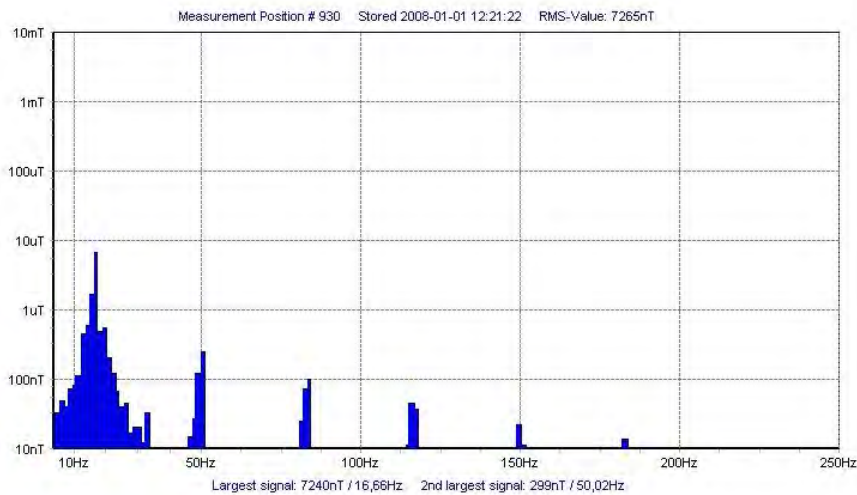
Vid resorna mellan Stockholm och Göteborg och Stockholm och Åre användes MFM3000-instrumentet för mätningarna, som möjliggjorde en frekvensanalys av den uppmätta totala magnetiska flödestätheten.

I tabell 5.2 finns några exempel på spektralfördelningen av flödestätheten vid resan Stockholm–Göteborg. I tabellen finns också magnetfälten vid övriga frekvenser f_0 , dvs. upp till ca 20–30 Hz, som är beräknade enligt ekvation (4.4). I figur 5.6a-c visas frekvensspektra från samma resa. I såväl tabellen som diagrammen återges spektralfördelningen, dels vid stillastående tåg på en station, dels när tåg kör och magnetfälten uppmättes ungefär till medelvärdet och till omkring maxvärdet enligt tabell 5.1.

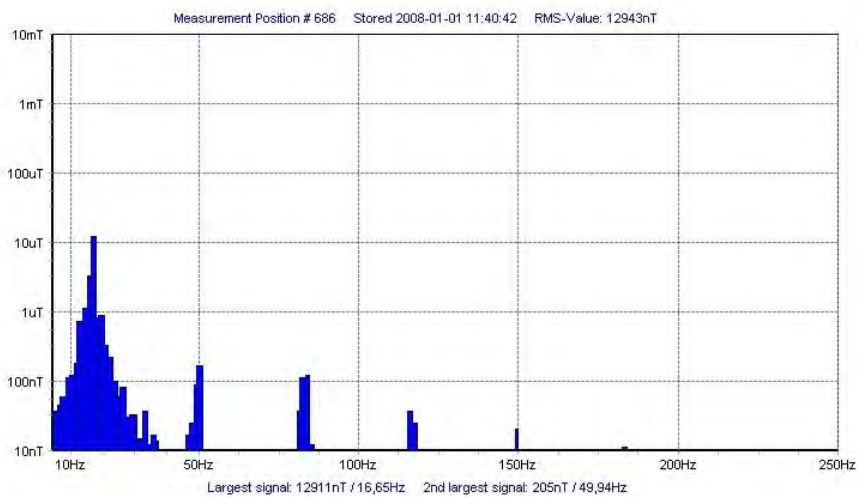
Tabell 5.2: Exempel på magnetfält B i μT vid olika frekvenser på resan Stockholm–Göteborg 2008-01-01 uppmätt med MFM3000. Fälten vid övriga frekvenser f_0 är beräknade enligt ekvation (4.4). Tidsangivelse stämmer överens med figur 5.4. (Medelvärde och toppvärde enligt tab. 5.1 och figur 5.4).

Tid	09.19	09.51	11.21	13.05	09.39	10.41	12.39	13.47	09.55	10.44	12.16	13.21
f(Hz)	Stillastående tåg				Mellan stationer, B_{tot} runt.medelv				Mellan stationer, B_{tot} runt toppv.			
Total	8,11	9,53	7,27	6,60	13,21	12,94	12,72	12,93	25,44	25,29	26,47	24,14
17	8,08	9,50	7,24	6,56	13,18	12,91	12,68	12,83	25,33	25,20	26,38	23,86
33	0,03	0,04	0,03	0,04	0,05	0,04	0,07	0,07	0,19	0,10	0,15	0,12
50	0,27	0,33	0,30	0,55	0,19	0,21	0,55	1,18	1,32	1,16	1,35	3,23
67							0,03		0,04	0,04	0,04	0,04
83	0,14	0,12	0,09	0,05	0,11	0,05	0,16	0,20	0,43	0,20	0,26	0,37
100							0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,05
117	0,03	0,03	0,04	0,06	0,04	0,04	0,17	0,10	0,26	0,15	0,15	0,41
133							0,02		0,02	0,02	0,02	0,02
150	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,08	0,03	0,05	0,08	0,07	0,17
167											0,02	0,02
183	0,01	0,01	0,01		0,01	0,01	0,02			0,02	0,02	0,04
217	0,01	0,01			0,01							
f_0	0,52	0,68	0,49	0,44	0,93	0,88	0,82	0,96	1,80	1,71	1,79	1,63

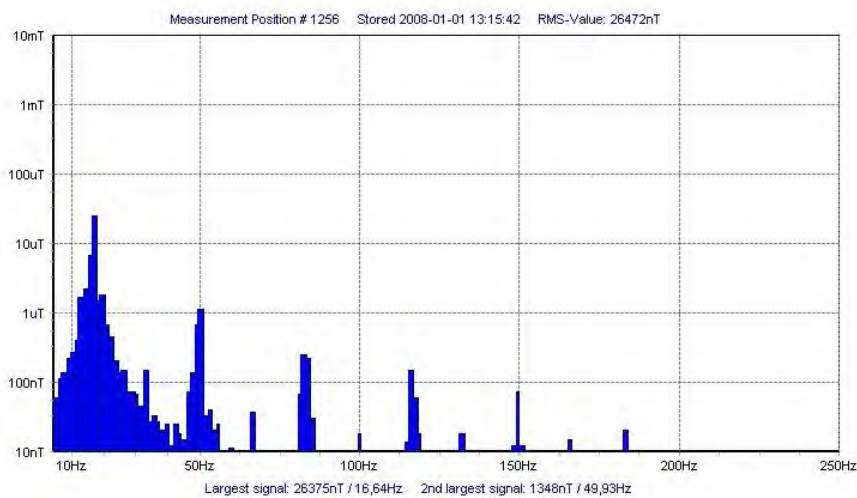
Grundtonen på 16,7 Hz har alltid den största amplituden och utgör över 98 % av de totala uppmätta fälten. Den tredje övertonen på 50 Hz har näst största amplitud, men den är betydligt mindre än grundtonens amplitud. Det finns också fler udda övertoner med avtagande amplitud, ibland tills den trettande övertonen på 216,7 Hz. Vid vissa tillfällen förekommer också jämna övertoner upp till åttonde övertonen på 133,3 Hz. Dessutom breddas spektrumet runt 16,7 Hz allt mer ju starkare den totala fältstyrkan är.



a) Stillastående tåg.



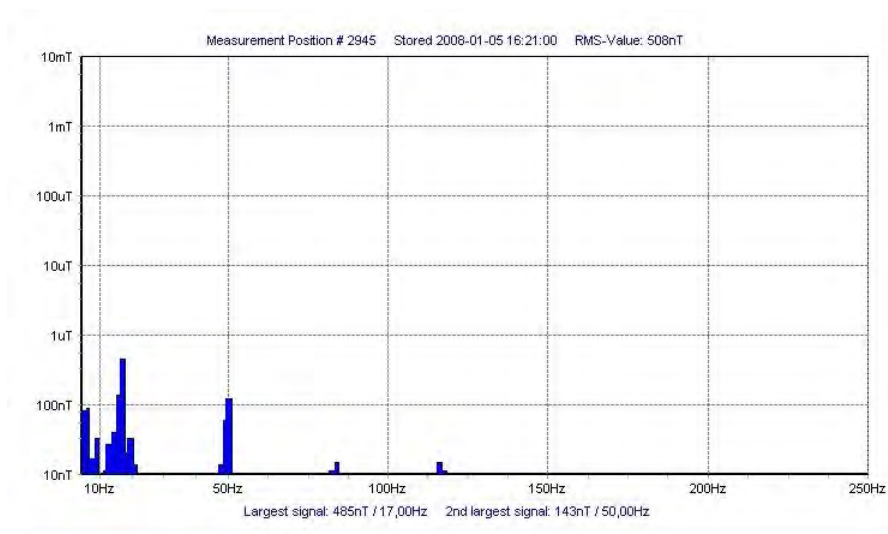
b) Tåg mellan två stationer, B_{tot} omkring medelvärdet enligt tabell 5.1.



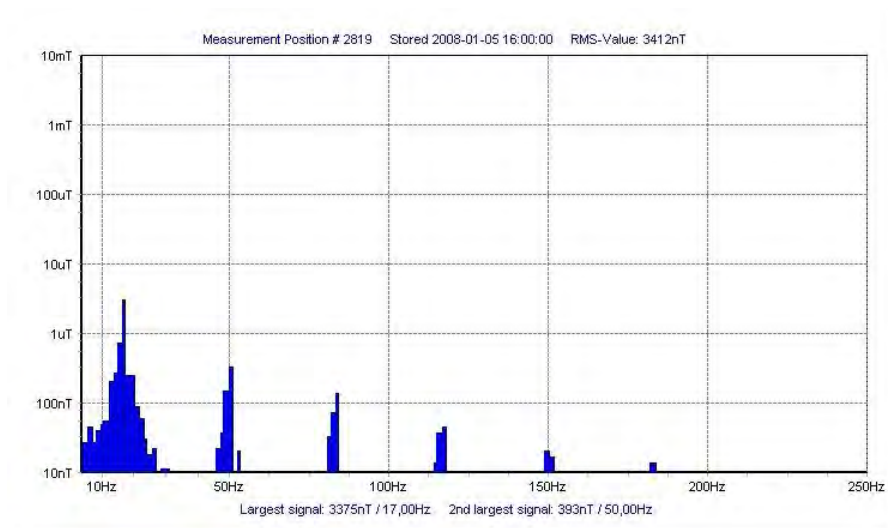
c) Mellan två stationer, B_{tot} omkring topvärdet enligt fig. 5.4.

Figur 5.6a-c: Spektral fördelning av magnetfält vid resan Stockholm-Göteborg 2008-01-01. (Tidsangivelsen i figuren en timme för tidig.)

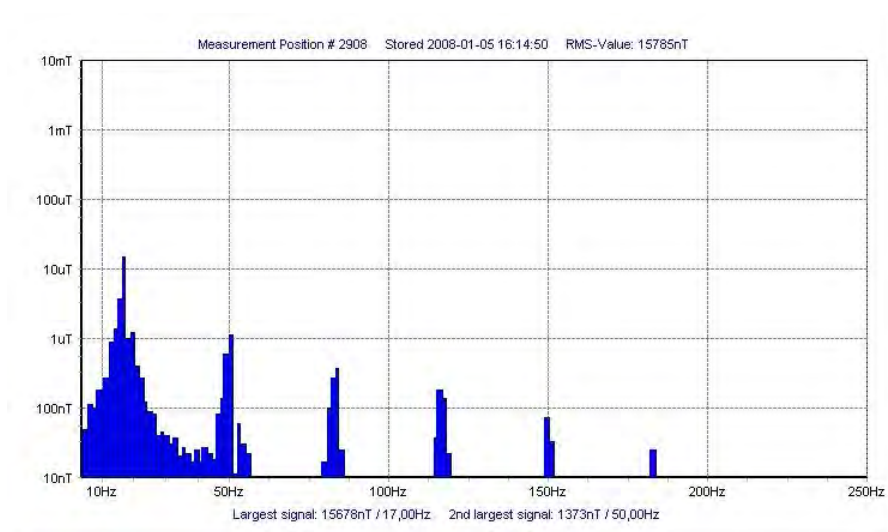
I figur 5.7a-c och tabell 5.3 visas motsvarande diagram och tabell för resan Göteborg-Stockholm 2008. Vid denna resa pekade fältsonden mot vagnens mitt och var därför 30-40 cm



a) Stillastående tåg.



b) Mellan två stationer, B_{tot} omkring medelvärdet enligt tabell 5.1.



c) Mellan två stationer, B_{tot} runt toppvärden enligt figur 5.5.

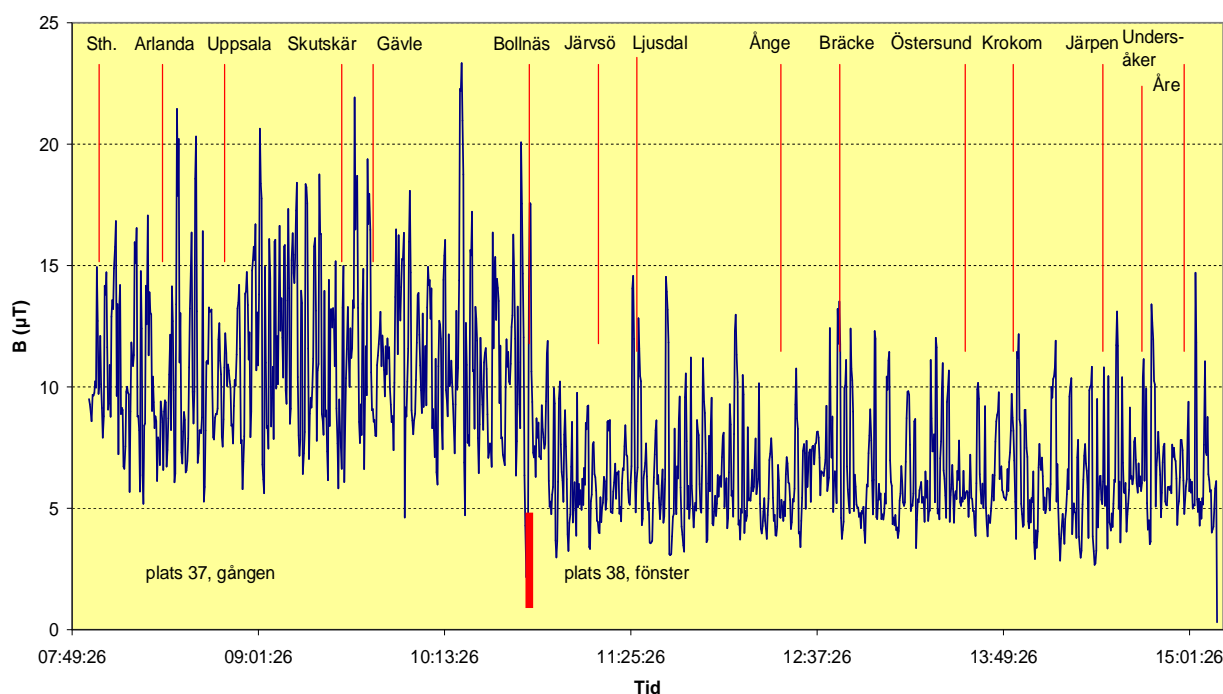
Figur 5.7a-c: Spektral fördelning av magnetfält vid resan Göteborg-Stockholm 2008-01-05. (Tidsangivelsen i diagrammen är en timme för tidig).

från värmeelementet. Fälten blev då lägre än vid resan till Göteborg och det finns inte lika många övertoner heller.

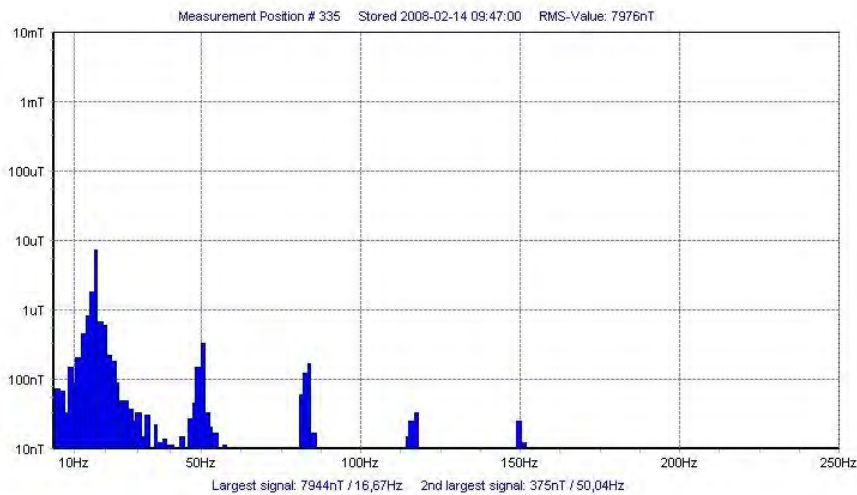
Tabell 5.3: Exempel på magnetfält B i μT vid olika frekvenser på resan Göteborg- Stockholm, 2008-01-05, uppmätt med MFM3000. Fälten vid övriga frekvenser f_0 är beräknade enligt ekvation (4.4). Tidsangivelse stämmer överens med figur 5.5. (Medelvärde och toppvärde enligt tabell 5.1 och figur 5.5).

Tid	14.25	15.21	17.23	18.27	14.20	15.00	16.22	18.38	14.43	15.15	15.53	18.41
f(Hz)	Stillastående tåg				Mellan stationer, B_{tot} runt medelv.				Mellan stationer, B_{tot} runt toppv.			
Total	0,88	0,51	0,81	0,64	3,29	3,41	3,54	3,27	14,56	15,79	15,28	12,28
17	0,88	0,49	0,76	0,63	3,22	3,38	3,52	3,21	14,47	15,68	15,20	12,24
33	0,02		0,02		0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,03	0,03
50	0,07	0,14	0,27	0,07	0,63	0,39	0,27	0,59	1,17	1,37	1,12	0,43
83	0,02	0,01	0,03		0,12	0,14	0,08	0,09	0,43	0,37	0,26	0,11
117		0,02	0,04		0,02	0,05	0,04	0,02	0,22	0,19	0,15	0,07
150			0,03		0,04	0,02	0,02	0,05	0,05	0,08	0,08	0,04
183					0,02	0,01		0,03	0,01	0,02	0,03	0,02
217											0,02	
f_0	0,07	0,04	0,14	0,04	0,24	0,28	0,24	0,25	1,10	1,14	1,09	0,93

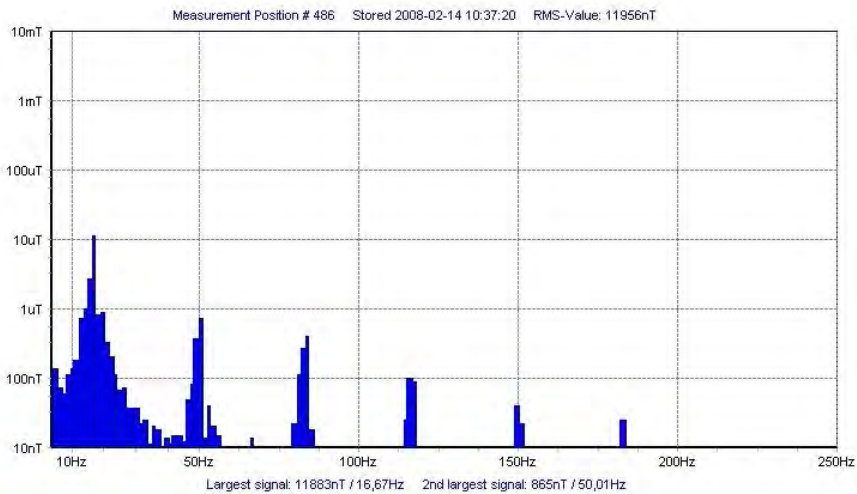
I figur 5.8 finns tidsdiagrammet för resan Stockholm-Åre 2008, och i figur 5.9a-c samt tabell 5.4 återges exempel på frekvensfördelning under denna resa. Liknande diagram och tabell för resan från Åre till Stockholm finns i bilaga B2, fjärrtåg.



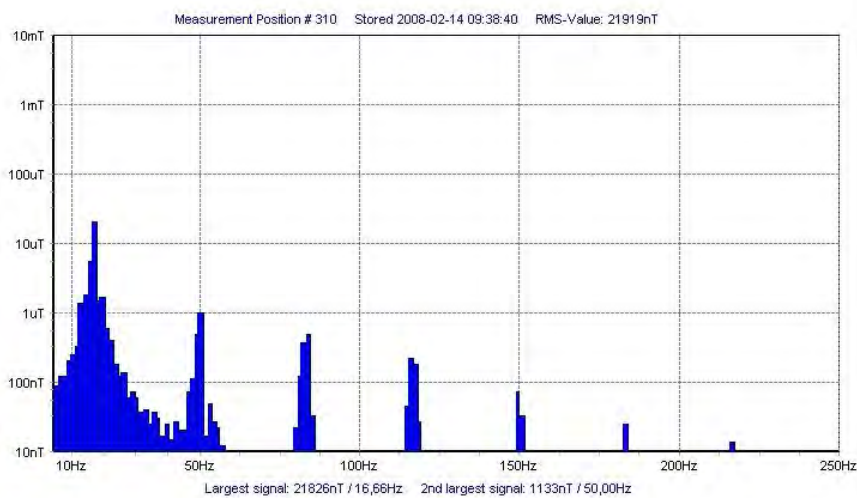
Figur 5.8: Magnetfält vid resan Stockholm-Åre 2008-02 14 på två olika platser.



a) Stillastående tåg.



b) Mellan två stationer, B_{tot} runt medelvärdet enligt tabell 5.1.



c) Mellan två stationer, B_{tot} omkring toppvärdet enligt figur 5.8.

Figur 5.9a-c: Spektral fördelning av magnetfält på resan Stockholm-Åre, 2008-02-14, på plats37 i vagn B7F.

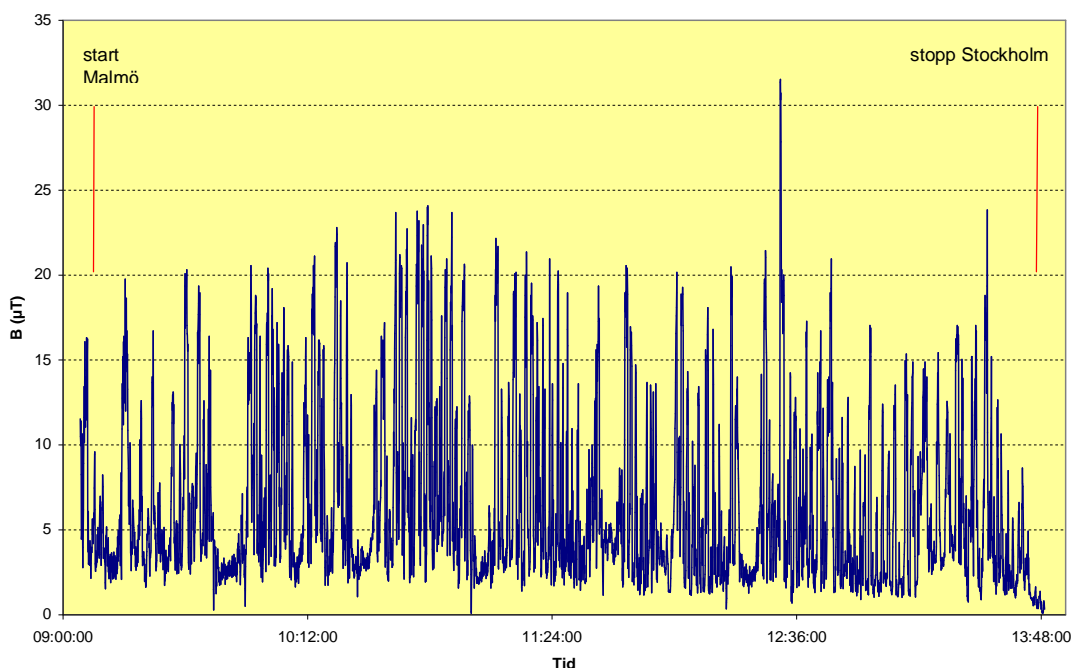
Tabell 5.4: Exempel på magnetfält B i μT vid olika frekvenser på resan Stockholm-Åre 2008-02-14, på plats 37 och 38. Fälten vid övriga frekvenser f_0 är beräknade enligt ekvation (4.3). Tidsangivelsen stämmer överens med figur 5.8. (Medelvärde och toppvärde enligt tab. 5.1 och figur 5.8).

Tid	08.23	09.47	11.13	13.36	09.31	10.37	11.23	13.10	09.39	10.20	11.39	14.47
f(Hz)	Stillastående tåg				Mellan stationer, B_{tot} runt medelv.				Mellan stationer, B_{tot} runt toppv.			
plats	37		38		37		38		37		38	
Total	6,78	7,98	3,97	4,65	12,77	11,96	7,56	6,74	21,92	23,34	14,54	13,40
17	6,76	7,94	3,96	4,63	12,70	11,88	7,52	6,72	21,83	23,24	14,46	13,32
33	0,01	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02	0,01	0,02	0,04	0,04	0,02	0,02
50	0,20	0,38	0,20	0,33	0,97	0,87	0,49	0,29	1,13	1,27	1,05	0,96
67						0,01						
83	0,05	0,16	0,10	0,06	0,29	0,41	0,19	0,14	0,48	0,41	0,29	0,41
117	0,03	0,03	0,05	0,04	0,08	0,10	0,05	0,04	0,23	0,11	0,12	0,14
150	0,01	0,02	0,02		0,05	0,04	0,02		0,07	0,08	0,06	0,03
183					0,03	0,02	0,01		0,02	0,05	0,02	
217									0,01			
f_0	0,48	0,58	0,28	0,34	0,91	0,90	0,56	0,47	1,58	1,65	1,03	1,01

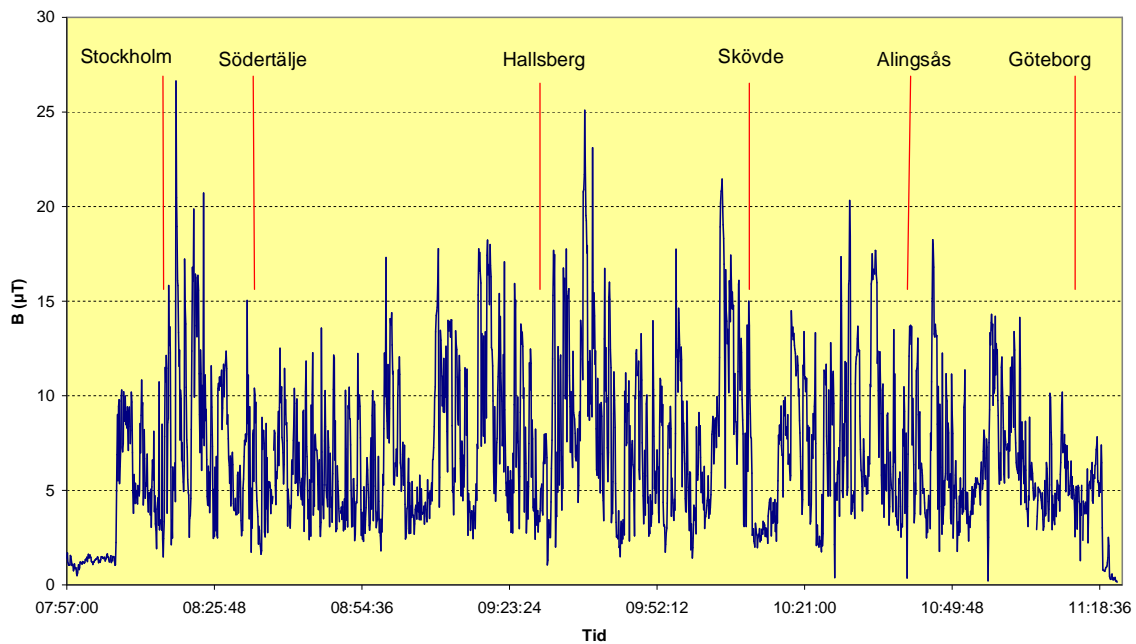
Frekvensfördelningen av magnetfält liknar den vid de andra resorna. Grundtonen på 16,7 Hz är starkast och utgör över 98 % av den totala flödestätheten. Näst störst är den tredje övertonen på 50 Hz, som kan uppgå till 1–3 μT vid de starkaste fälten. Ytterligare övertoner uppkommer vid starkare fält. Deras amplitud ökar med starkare fält och når bara vid femte övertonen (ca 83 Hz) upp till ca 0,4 μT . Alla andra övertoner har lägre amplitud som bara i enstaka fall är över 0,1–0,2 μT . Även magnetfält vid de övriga frekvenserna, ca 5–30 Hz, blir starkare med ökande total flödestäthet och blir 1–2 μT vid de starkaste fälten.

X2-tåg

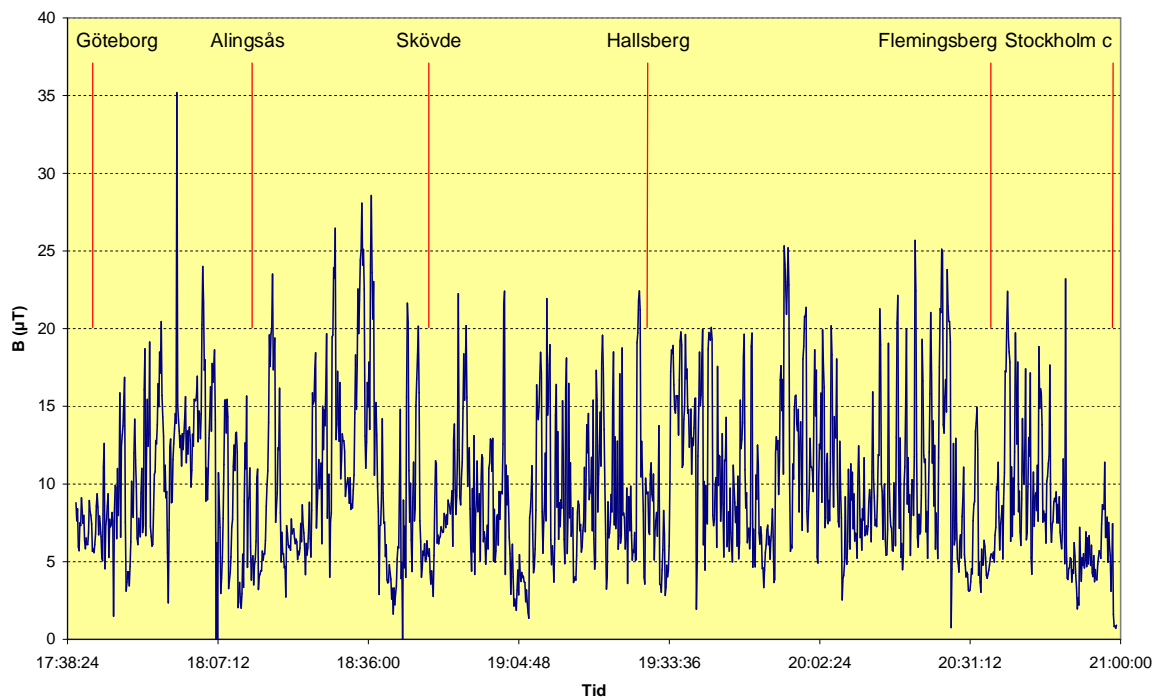
De första mätningarna i X2 gjordes 1996 med Emdex-instrumentet på resan Malmö-Stockholm. Vid alla övriga mätningar i X2-tåg användes Combinova MFM10 och MFM3000 instrumenten. Figur 5.10 visar tidsdiagrammet för mätningen som gjordes med Emdex-instrumentet och i figur 5.11 och 5.12 för dem som gjordes med MFM10.



Figur 5.10: Magnetfält i X2000 vid resan Malmö-Stockholm 1996-11-03.



Figur 5.11: Magnetfält vid resan med X2 Stockholm-Göteborg 2002-11-06.



Figur 5.12: Magnetfält vid resan med X2 från Göteborg till Stockholm 2002-11-06.

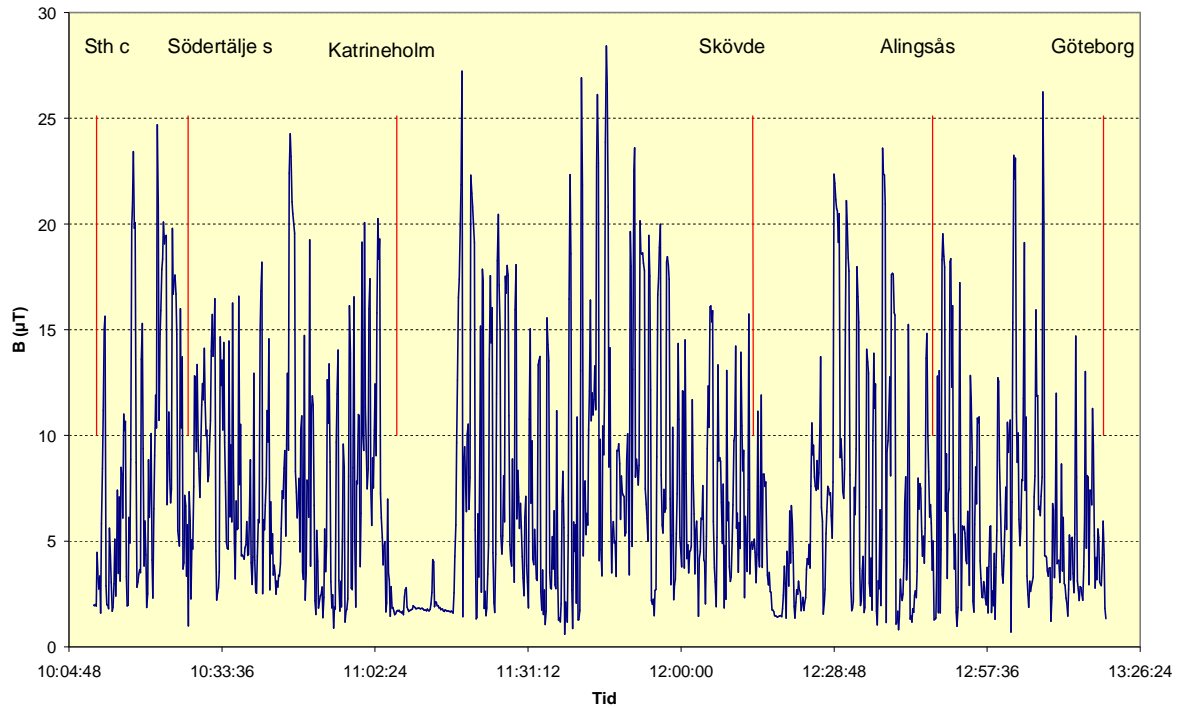
Vid resan Stockholm-Göteborg 2002 gjordes sammanlagt 1860 mätningar med MFM10 uppdelat i 62 mätperioder på 180 s. Under alla perioder angav instrumentet omkring 16,7 Hz som dominerande frekvens för magnetfälten. Vid återresan Göteborg-Stockholm gjordes 1340 mätningar under 67 mätperioder på 180 s. Endast vid tre perioder angavs "blandad" som frekvens för magnetfälten och vid alla övriga perioder omkring 16,7 Hz.

Tabell 5.6: X2000- och X40-tåg (för MFM3000 anges den totala uppmätta flödestätheten). Högerjusterad körsträcka: Platsbyte av instr.

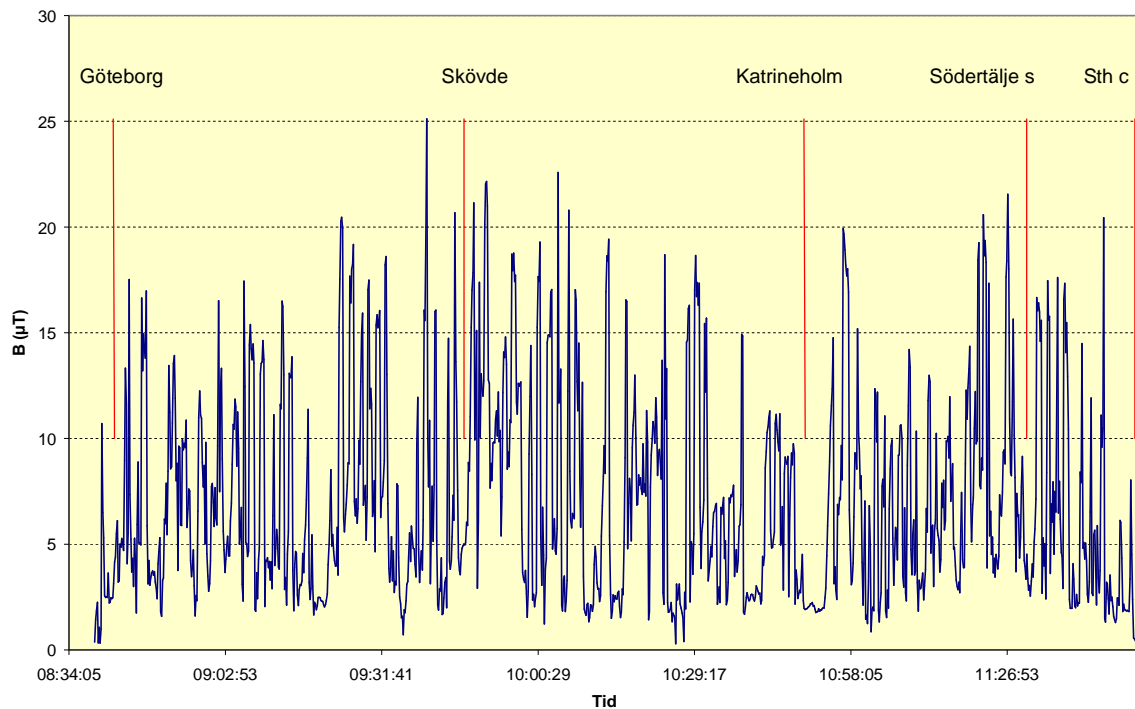
N r.	Datum	Tid	Tåg	Körsträcka	Vagn		Mätinstrumentets placering i vagn	Flödestäthet B (μT)					Mät-instrum.	Samplings-per. (s)
					Nr.	littera		min	medel	median	90. perc.	max		
19	1996-11-03	09.06-13.48	X2	Malmö-Stockholm	a	a	a	0,09	6,40	4,38	15,00	31,56	Emdex	4
20	2002-11-06	07.57-11.24	X2	Stockholm-Göteborg	a	a	a	0,14	6,96	5,92	12,66	26,63	MFM10	6
21	2002-11-06	17.42-20.59	X2	Göteborg-Stockholm	2508	UB2X.	a	0,71	9,89	8,63	17,57	35,19	MFM10	9
22	2008-11-14	08.30-11.49	X2	Stockh.-Söderhamn	a	a	Vagn 2, fönster 43, golv	1,29	16,27	16,49	28,02	32,85	MFM3000	120
23	2008-11-14	16.11-19.32	X2	Sundsvall-Söderhamn	a	a	Vagn 2, Fönster 9, golv	0,85	10,70	9,24	17,02	23,71	MFM3000	120
24	2009-09-14	10.10-13.17	X2	Stockholm-Göteborg	a	a	Vagn2, fönster 7	0,60	7,43	5,69	16,68	28,42	MFM3000	10
25	2009-09-15	08.42-11.50	X2	Göteborg-Stockholm	a	a	Vagn1, gång 11	0,19	7,10	5,64	14,89	25,12	MFM3000	10
26	2006-09-26	08.24-09.25	X40	Stockholm-Eskilstuna	3718	Z5	3. vagn, övre vån., olika platser	0,13	4,74	3,98	9,59	38,46	MFM10	6
27	2006-09-26	08.24-09.25	X40	Stockholm-Eskilstuna	3718	Z5	4. vagn, olika platser	0,13	5,35	3,71	14,58	19,14	MFM10	6
28		14.35-15.34	X40	Eskilstuna-Stockholm	3732	Z5	2.vagn, nedre vån. olika platser	0,07	2,79	2,18	6,54	16,49	MFM10	6
29		14.35-15.34	X40	Eskilstuna-Stockholm	3732	Z5	Olika platser	0,05	3,79	3,53	7,97	18,28	MFM10	6
30	2009-03-17	08.55-10.25	X40	Stockholm-Arboga	3312, 3502	Z1, Z3	1. och 2. vagn, nedre vån., olika pl.	0,18	6,21	5,67	12,22	17,94	MFM3000	5
		08.55-09.40	X40	Stockh-Strängnäs	3312	Z1	nedre vån., 21, 22	0,18	5,05	4,79	9,53	13,72		5
		09.41-10.00	X40	Strängn-Eskilstuna	3312	Z1	nedre vån., 27,28	4,48	9,40	8,86	15,48	17,94		5
		10.01-10.15	X40	Eskilstu-Kungsör	3312	Z1	nedre vån., 25,26	1,27	6,60	5,59	13,48	16,21		5
		10.16-10.26	X40	Kungsör -Arboga	3502	Z3	Nedre vån., gången och 3,4	0,95	4,32	2,23	9,88	15,05		5
31	2009-03-17	11.35-13.07	X40	Arboga-Stockholm	3312	Z1	sista vagn, olika platser	0,05	2,59	1,93	6,10	10,58	MFM3000	5
		11.35-12.20	X40	Arboga-Strängnäs	3312	Z1	ndere vån., 3,4	0,16	2,40	1,99	5,78	7,51		5
		12.20:12.29	X40	Strängn-Läggesta	3312	Z1	övre vån., 31, 32	0,23	3,12	2,61	6,10	7,22		5
		12.29:12.38	X40	Läggesta-Nykvarn	3312	Z1	övre vån., 51, 52	0,18	2,04	1,57	4,07	5,63		5
		12.38-12.48	X40	Nykvarn-Södertäl	3312	Z1	övre vån., vid trapp	0,12	2,19	1,45	4,98	8,71		5
		12.48-13.07	X40	Södertälje-Sth	3312	Z1	övre vån., 51,52	0,05	3,28	2,13	7,73	10,58		5
32	2009-03-17	13.51-15.25	X40	Stockholm-Arboga	3321	Z1	3. vagn, olika platser	0,09	3,25	2,39	7,40	18,95	MFM3000	10
		13.59-14.42	X40	Sth-Strängnäs	3321	Z1	nedre vån 19, 20	0,17	3,73	3,23	8,60	14,83		10
		14.42-15.27	X40	Strängn-Arboga	3321	Z1	övre vån., 34, 3	0,09	2,73	1,80	5,92	18,95		10
33	2009-03-17	15.35-17.09	X40	Arboga-Stockholm	3511	Z3	olika platser	0,14	4,32	2,44	10,84	17,71	MFM3000	10
		15.35-16.06	X40	Arboga-Eskilst	3511	Z3	nedre vån., 9,10	0,21	3,30	1,63	9,24	12,92		10
		16.06-16.20	X40	Eskilst-Strängn	3511	Z4	nedre vån., 25,26	0,23	3,64	2,05	9,52	11,67		10
		16.20-17.09	X40	Strängnäs-Sth	3511	Z4	övre vån., 57,58	0,14	5,31	3,66	13,11	17,71		10

a: ej antecknad

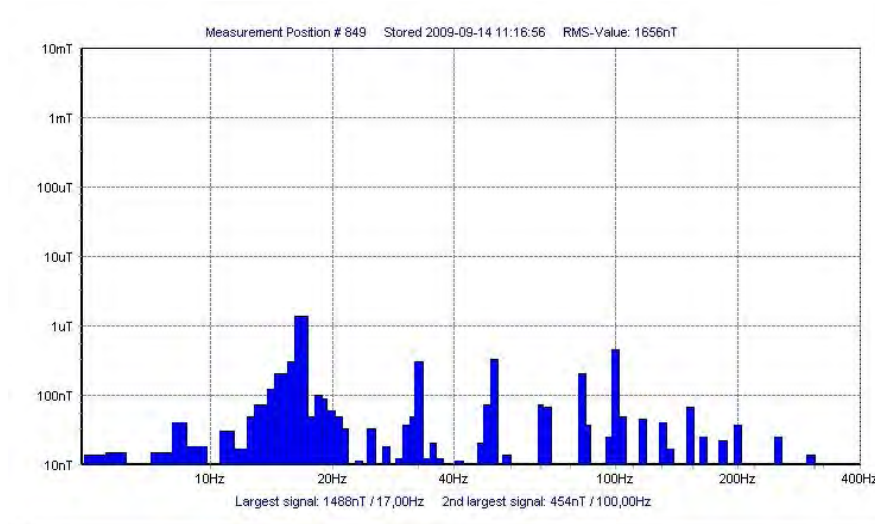
En sammanställning av mätningar i X2-tåg finns i första delen av tabell 5.6. I andra delen av tabellen finns en sammanställning av mätningar i X40-tåg, de avhandlas först i nästa avsnitt. Medelvärdena för magnetfälten varierade mellan 6,4 och 16,3 μT vid de olika resorna i X2-tågen. 90 % av alla fält som uppmättes var mindre än ca 13-28 μT och de högsta värdena under resorna uppmättes till ca 24–35 μT .



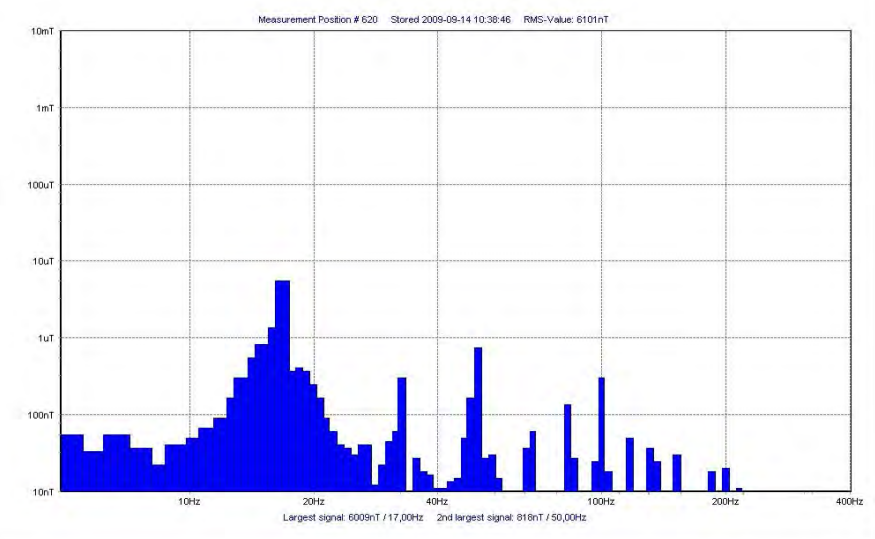
Figur 5.13: Magnetfält vid resan med X2 från Stockholm till Göteborg 2009-09-14.



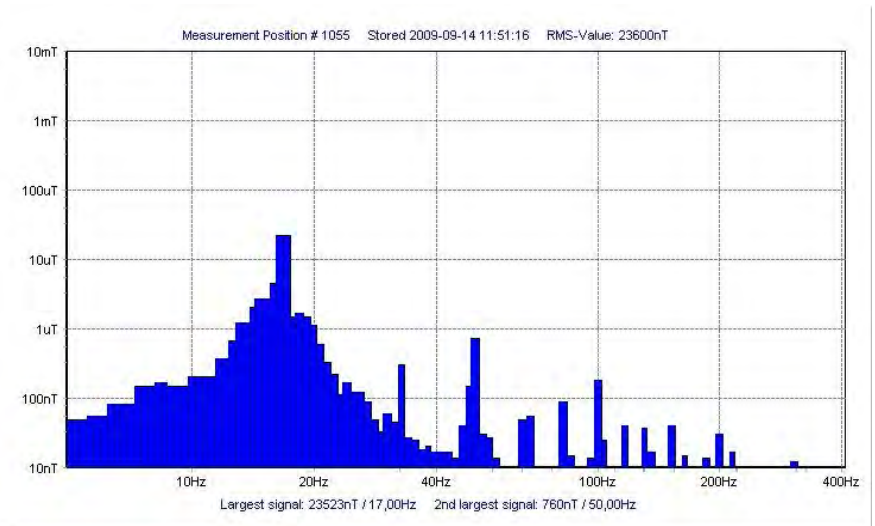
Figur 5.14: Magnetfält vid resan med X2 från Göteborg till Stockholm 2009-09-15.



a) Stillastående tåg.



b) Mellan två stationer,
 B_{tot} runt medelvärdet
enligt tabell 5.6.

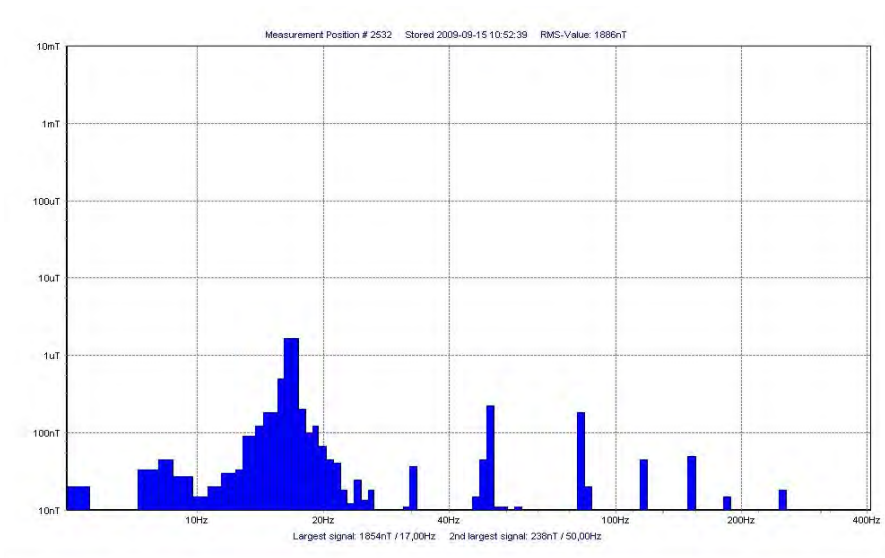


c) Mellan två stationer,
 B_{tot} omkring
toppvärden enligt
figur 5.13.

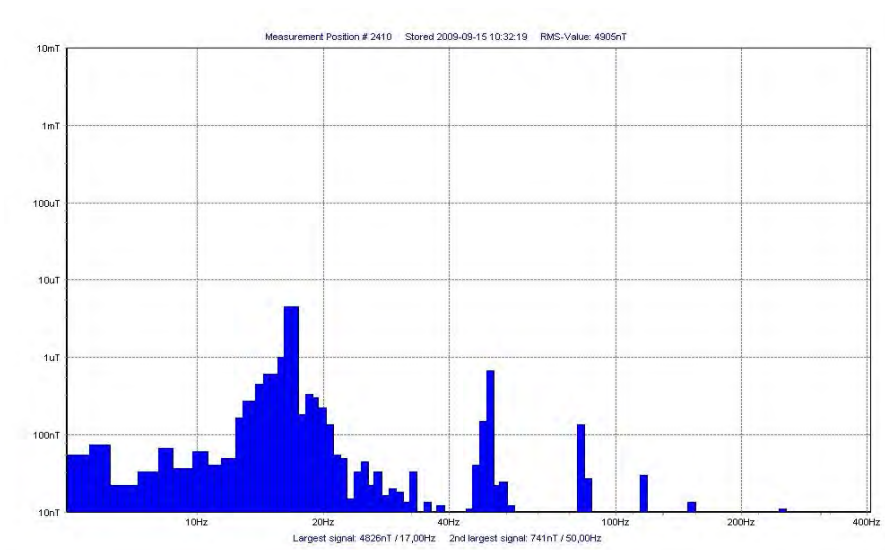
Figur 5.15a-c: Spektral fördelning av magnetfält på resan Stockholm-Göteborg, 2009-09-14.

2009 användes MFM3000-instrumentet för att mäta magnetfält på en resa från Stockholm-Göteborg och tillbaka. I figur 5.13 och 5.14 visas tidsdiagram och i figur 5.15a-c och 5.16a-c exempel på frekvensspektra för dessa resor. Ytterligare exempel på frekvensfördelning ges i tabell 5.7. Man ser att grundtonen på 16,7 Hz alltid är störst och att det förekommer såväl

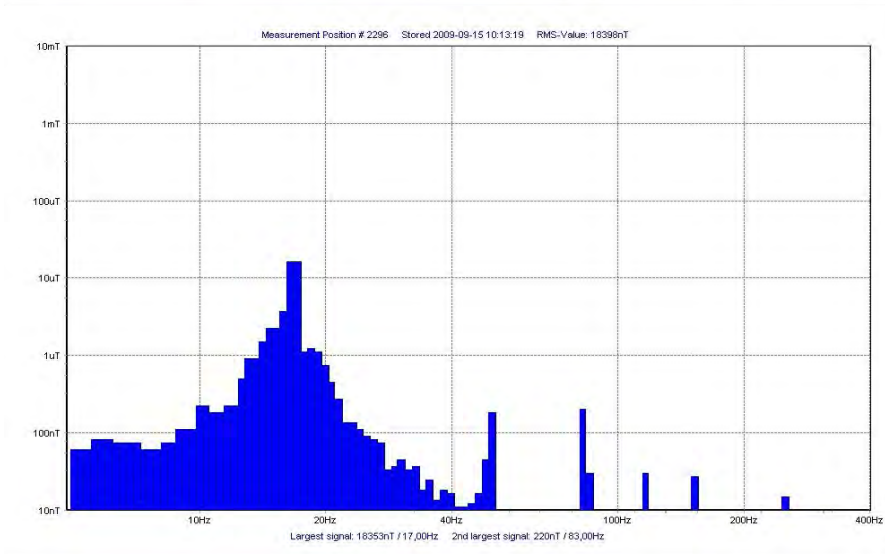
udda som jämna övertoner. Den tredje övertonen, 50 Hz, är nästan alltid starkast men betydligt svagare än grundtonen. Övertonernas amplitud avtar snabbt med ökande frekvens och



a) Stillastående tåg.



b) Mellan två stationer, B_{tot} runt medelvärdet enligt tabell 5.6.



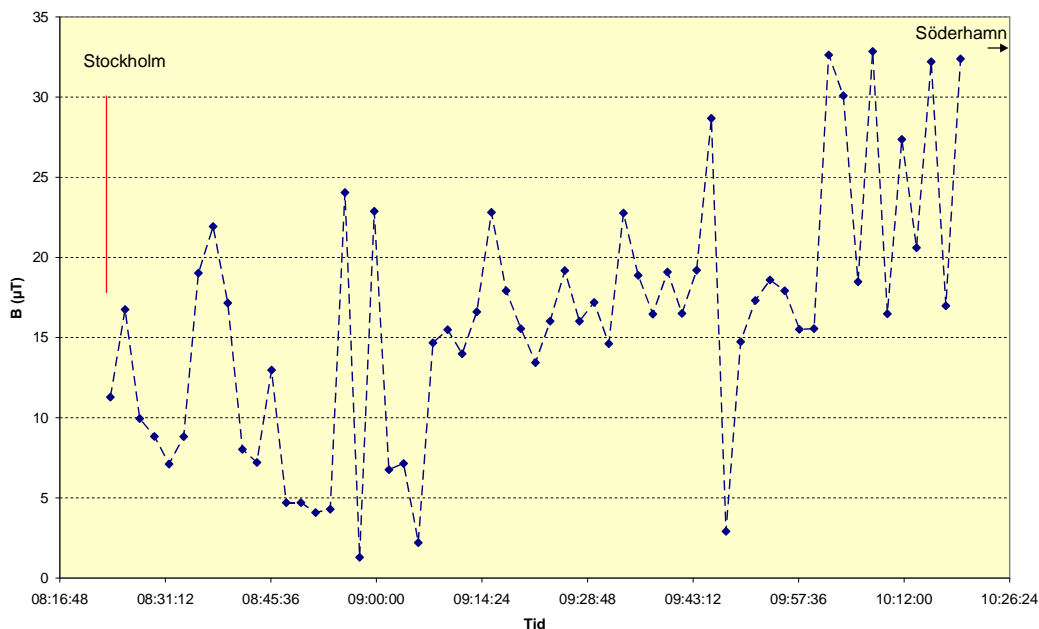
c) Mellan två stationer, B_{tot} omkring toppvärdet enligt figur 5.14.

Figur 5.16a-c: Spektral fördelning av magnetfält på resan Göteborg-Stockholm 2009-09-15.

är bara några tiotal nT (nanotesla) från åttonde övertonen (134 Hz). Jämfört med tåg dragna av Rc-lok verkar det att det finns fler övertoner i X2-tåg.

Tabell 5.7: Exempel på frekvensfördelning av magnetfält B (μT) vid resan Stockh.-Göteb., 2009-09-14, och Göteb.-Stockh., 2009-09-15. Fälten vid övriga frekvenser f_0 enligt ekvation (4.4). (Medelvärde och toppvärde enligt tab. 5.6 och figur 5.13-5.14).

f(Hz) /Tid	Stillastående tåg				Mell. stationer, B_{tot} runt medelv.				Mellan stationer, B_{tot} runt toppv.			
	Stockh.-Göteb.		Göteb.-Stockh.		Stockh.-Göteb		Göteb.-Stockh.		Stockh.-Göteb		Göteb.-Stockh	
	11.12	12.19	09.46	10.52	10.50	11.31	09.01	10.17	11.46	13.08	09.40	11.27
Total	1,74	1,43	3,56	1,80	7,58	7,12	7,67	7,46	28,42	26,24	25,12	21,55
17	1,57	1,26	3,35	1,75	7,50	7,05	7,55	7,33	28,32	26,03	24,99	21,49
33	0,34	0,34	0,14	0,03	0,28	0,32	0,22	0,03	0,28	0,36	0,13	0,07
50	0,40	0,36	1,16	0,31	0,74	0,61	1,18	1,23	1,35	2,43	1,47	0,43
67	0,05	0,08	0,02		0,04	0,05	0,05		0,08	0,06	0,02	0,02
83	0,27	0,11	0,07	0,20	0,14	0,20	0,22	0,16	0,36	0,63	0,25	0,28
100	0,43	0,43	0,01		0,20	0,22	0,02	0,02	0,20	0,40	0,01	
117	0,13	0,03	0,07	0,05	0,05	0,02	0,01	0,07	0,13	0,03	0,07	0,10
134	0,04	0,04	0,02		0,01	0,03	0,01		0,03	0,03	0,01	
150	0,07	0,02	0,03	0,05	0,03	0,06	0,04	0,02	0,04	0,04	0,02	0,01
167		0,02			0,02	0,02				0,02		
183	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01		0,04	0,01	0,02
200	0,04	0,03			0,01	0,02			0,04	0,04		
217	0,01		0,03			0,02			0,02	0,02	0,02	
233						0,01						
250	0,02	0,01	0,02	0,02		0,02	0,01		0,02	0,02	0,01	0,01
284								0,01				
350					0,01				0,01	0,01	0,01	
f_0	0,09	0,15	0,27	0,21	0,72	0,55	0,59	0,55	1,97	2,07	2,00	1,59

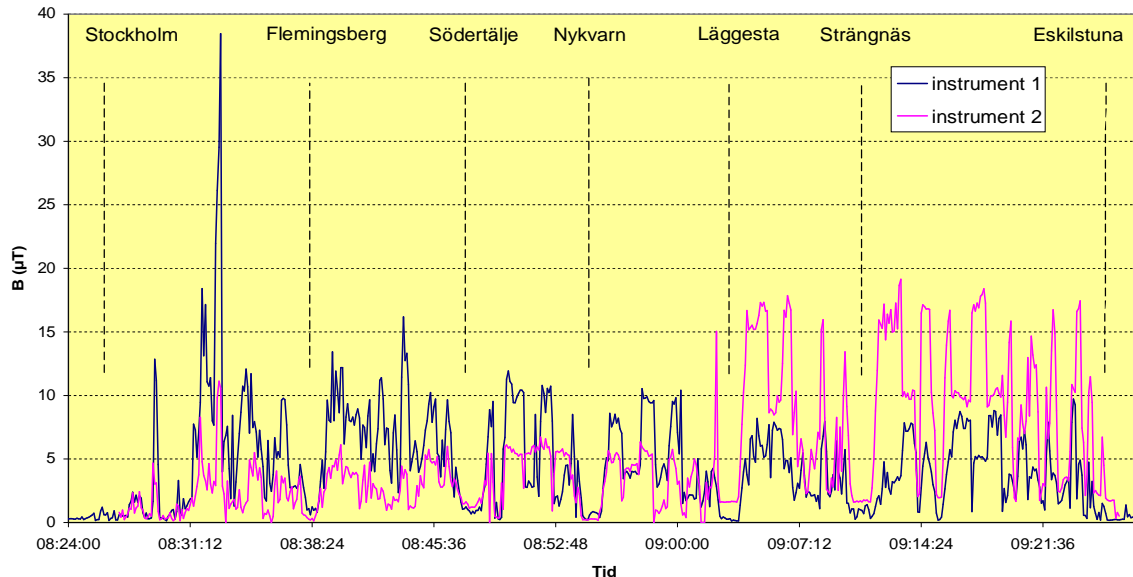


Figur 5.17: Magnetfält i X2000 vid resan Stockholm-Söderhamn, 2008-11-14. (Samplingsfrekv. 2 min).

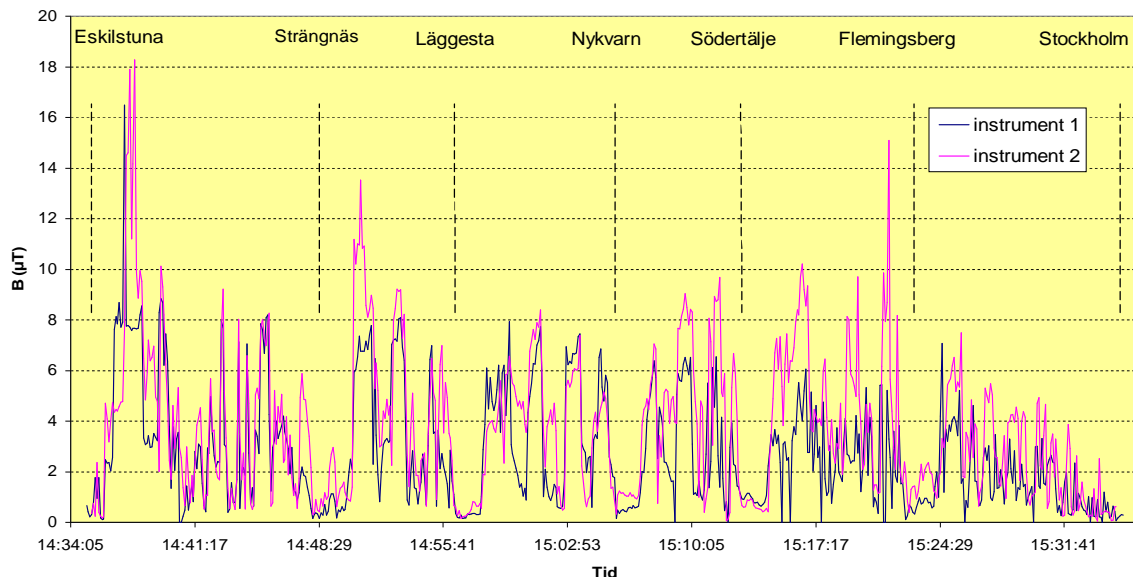
Även vid resan Stockholm-Söderhamn 2008 användes MFM3000 instrumentet, men frekvenszoomen var fel inställd och bara frekvenser över 1 kHz registrerades. Ibland observerades en svag signal på 0,01-0,02 μT vid 1100 Hz. Den totala flödestätheten angavs dock rätt då mätområdet var inställt på 5 Hz – 400 kHz. Tidsgrafen för resan Stockholm-Söderhamn ges i figur 5.17 och för Sundsvall-Söderhamn i bilaga B2. Instrumentet stod under resorna på golvet vid fönsterplatsen.

X40-tåg

En sammanfattning av resultaten för mätningar i X40-tåg finns i nedre delen av tabell 5.6. Medelvärde för de olika resorna låg mellan 2,6 och 6,2 μT . Nittionde percentilen varierade på resorna mellan 6,1 och 14,6 μT och det högsta uppmätta värdet mellan 10,6 och 38,5 μT .



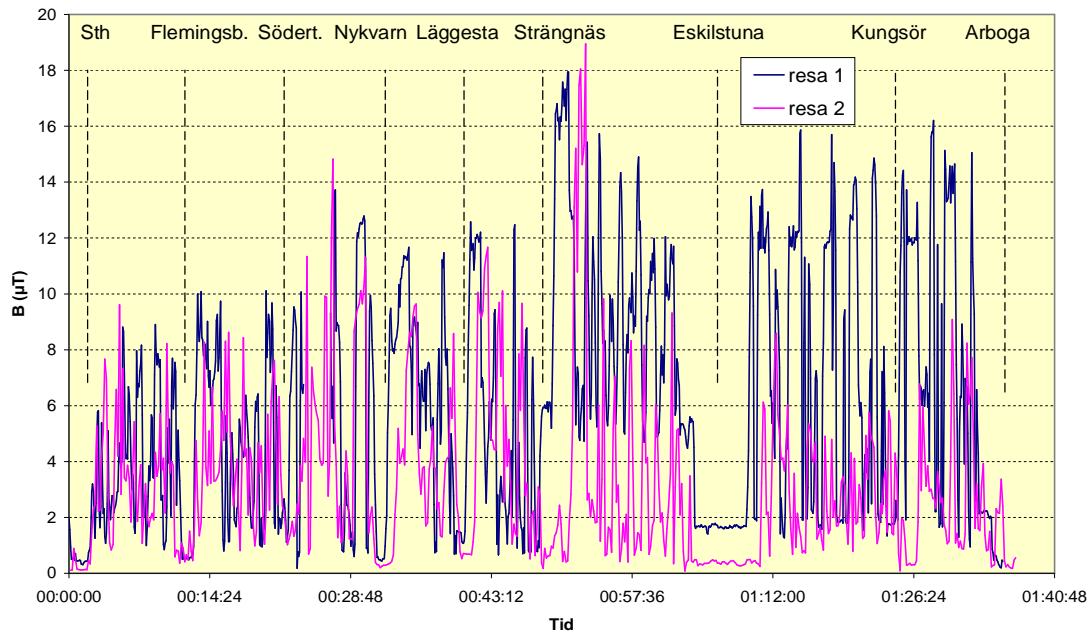
Figur 5.18: Magnetfält i X40-tåg vid resan Stockholm-Eskilstuna 2006-09-26, mätt med två MFM10-instrument på olika platser.



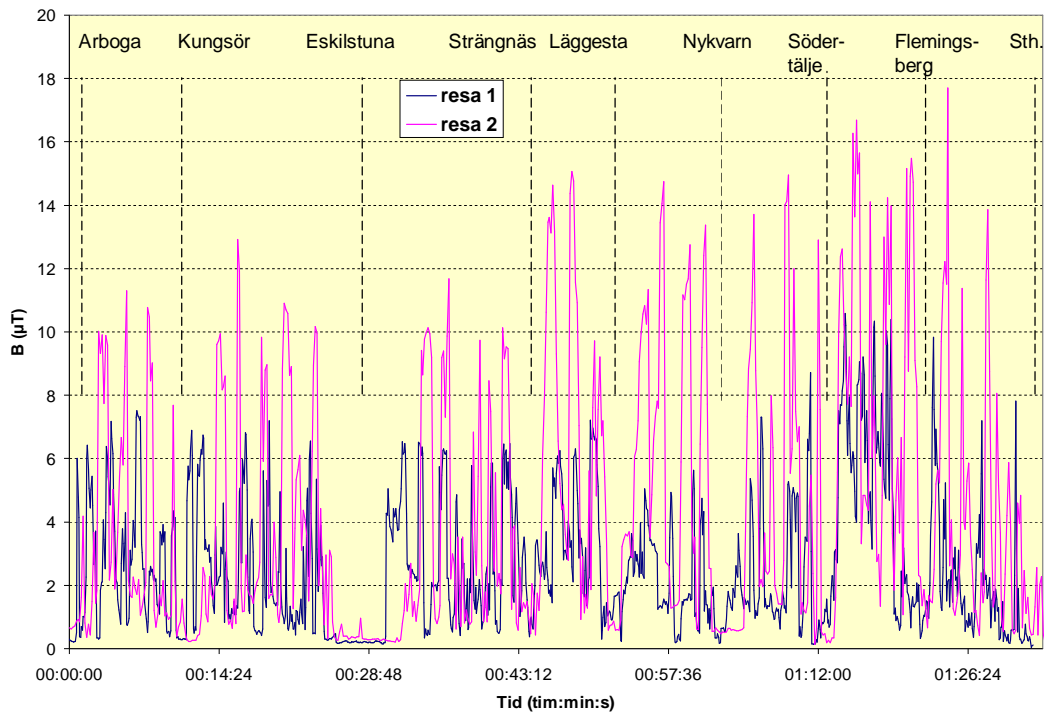
Figur 5.19: Magnetfält i X40-tåg vid resan Eskilstuna-Stockholm 2006-09-27 mätt med två MFM10-instrument på olika platser.

Vid resan Stockholm-Eskilstuna 2006 användes två MFM10-instrument samtidigt i olika vagnar. Sammanlagt gjordes 1140 mätningar under 38 mätperioder på 180 s vid resan Stockholm-Eskilstuna. Vid sex av dessa perioder angavs ”blandad” som dominerande

frekvens för magnetfälten och vid 32 perioder omkring 16,7 Hz. Även vid återresan Eskilstuna-Stockholm gjordes 1140 mätningar under 38 perioder. Den här gången hade 27 perioder en dominerande frekvens på omkring 16,7 Hz och för elva perioder var frekvensen ”blandad”. I figur 5.18 och 5.19 visas hur magnetfälten varierade med tiden mätt med båda instrumenten.



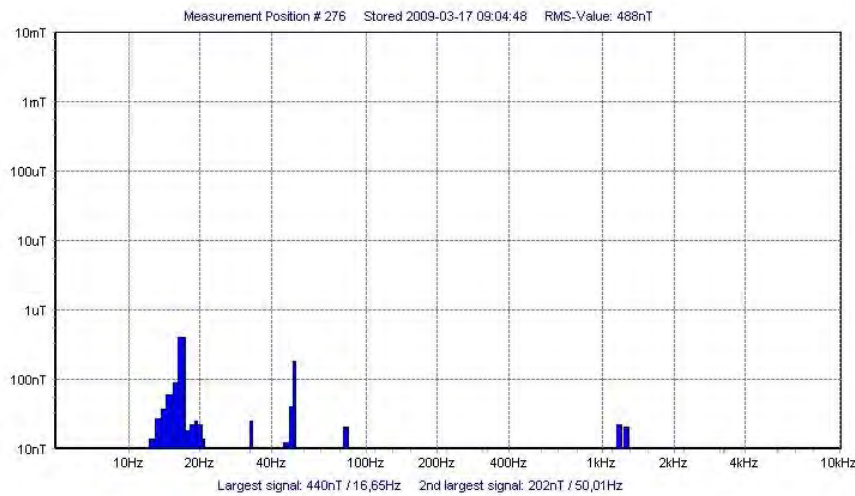
Figur 5.20: Magnetfält i X40-tåg vid två resor (30 och 32) Stockholm-Arboga 2009-03-17.



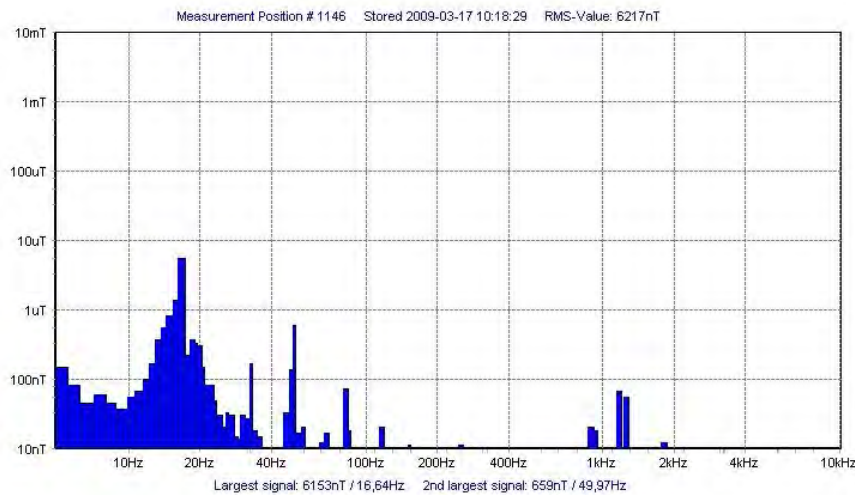
Figur 5.21: Magnetfält i X40-tåg vid två resor (31 och 33) Arboga-Stockholm 2009-03-17.

Vid resorna Stockholm-Arboga användes MFM3000-instrument som gav mera detaljerad information om frekvensinnehållet hos de uppmätta magnetfälten. Figur 5.20-5.21 visar

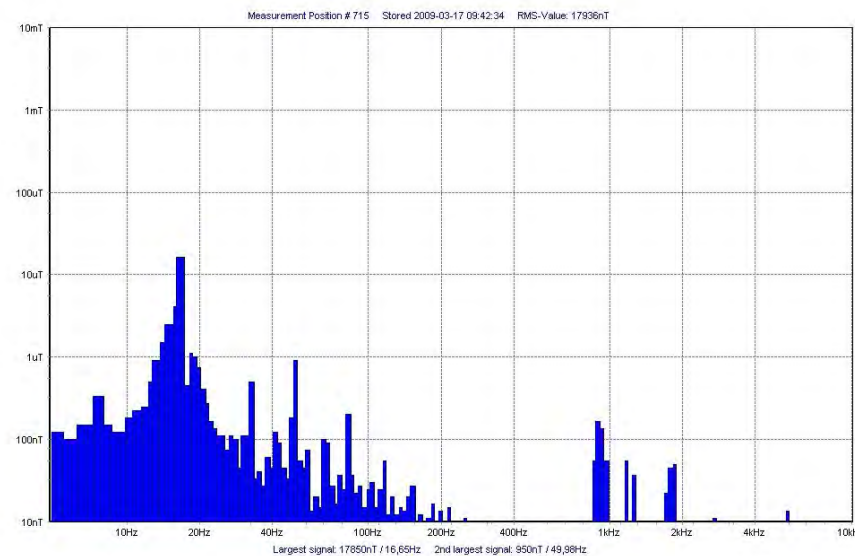
tidsgrafer vid två resor samma dag och figur 5.22a-c visar några exempel på magnetfältens frekvensspektra vid dessa resor med X40. Ytterligare exempel på frekvensfördelning ges i tabellform i tabell 5.8 och 5.9.



a) Tåg på en station.



b) Mellan två stationer, B_{tot} runt medelvärdet enligt tabell 5.6.



c) Mellan två stationer, B_{tot} omkring toppvärdet enligt figur 5.20.

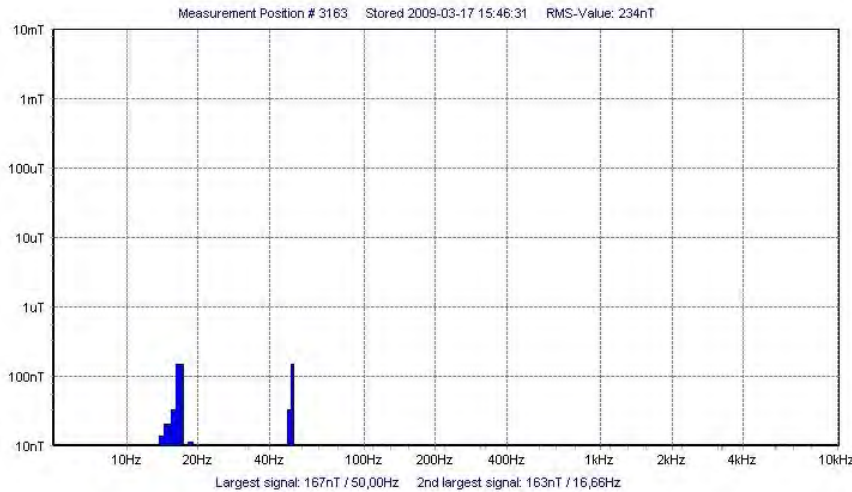
Figur 5.22a-c: Spektral fördelning av magnetfält på resa nr. 30 Stockholm–Arboga, 2009-03-17.

Tabell 5.8: Exempel på frekvensfördelning av magnetfält (B i μT) i X40-tåg på två resor Stockholm-Arboga, 2009-03-17. Fälten vid övriga frekvenser f_0 är beräknade enligt ekvation (4.4). (Medelvärde och toppvärde enligt tab. 5.6 och figur 5.20).

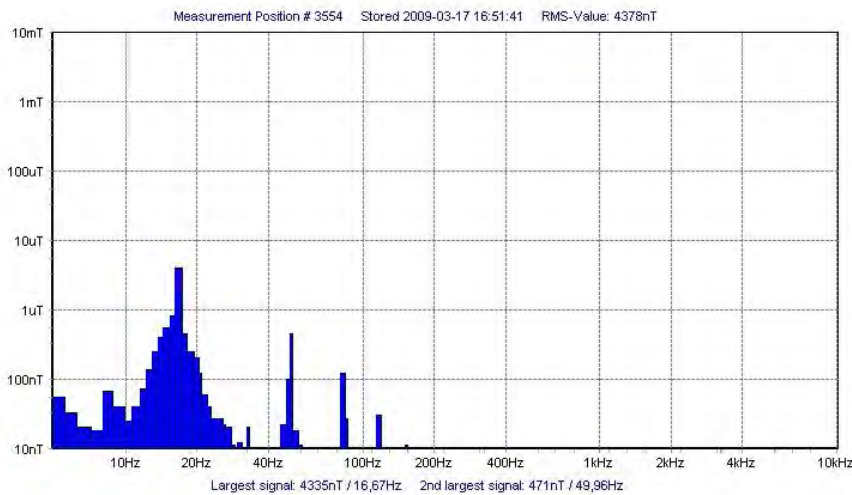
f(Hz) /Tid	Stillastående tåg				Mellan stationer, B_{tot} runt medelv.				Mellan stationer, B_{tot} runt toppv			
	resa 30		resa 32		resa 30		resa 32		resa 30		resa 32	
	09.05	10.16	14.22	15.16	09.12	10.18	14.36	15.10	09.43	10.09	14.20	14.43
Total	0,49	1,74	0,32	0,32	6,31	6,22	3,24	3,25	17,94	15,70	10,12	18,95
17	0,44	1,69	0,31	0,30	6,28	6,13	3,06	3,21	17,85	15,65	10,04	18,89
33	0,02	0,04		0,02	0,05	0,17	0,05	0,01	0,55	0,21	0,04	0,09
50	0,20	0,39	0,02	0,07	0,26	0,66	0,09	0,37	0,95	0,62	0,05	0,34
67		0,01			0,01	0,02			0,11	0,03		0,03
83	0,02	0,06		0,02	0,02	0,07	0,02	0,08	0,21	0,12		0,26
100									0,03	0,02		0,02
117						0,02			0,06	0,01		0,06
150						0,01			0,03	0,01		0,09
183									0,02	0,02		0,02
200												0,02
217									0,02	0,01		0,01
250						0,01			0,01	0,01		0,01
910					0,01	0,02	0,01		0,17	0,02	0,01	
1170	0,02	0,03			0,03	0,06			0,05	0,07		
1280	0,02	0,03			0,03	0,05			0,04	0,06		
1760						0,01			0,03	0,01		0,01
2750									0,01			
5300									0,01			
f_0	0,04	0,13	0,03	0,02	0,48	0,77	1,07	0,26	1,33	1,10	1,25	1,40

Tabell 5.9: Exempel på frekvensfördelning av magnetfält (B i μT) i X40-tåg på två resor Arboga-Stockholm, 2009-03-17. Fälten vid övriga frekvenser f_0 är beräknade enligt ekvation (4.4). (Medelvärde och toppvärde enligt tab. 5.6 och figur 5.21).

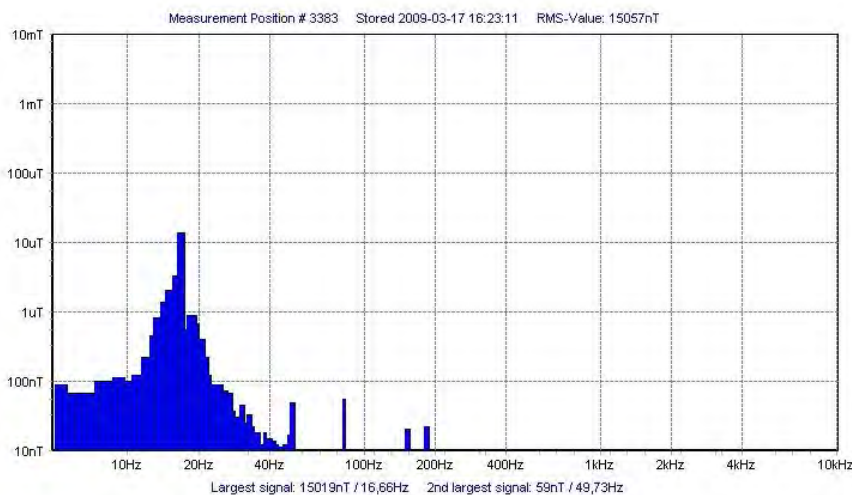
f(Hz) /Tid	Stillastående tåg				Mellan stationer, B_{tot} runt medelv.				Mellan stationer, B_{tot} runt toppv.			
	resa 31		resa 33		resa 31		resa 33		resa 31		resa 33	
	12.19	12.28	15.47	16.38	11.40	12.21	15.57	16.52	12.42	12.50	16.23	16.44
Total	0,55	0,26	0,23	0,50	2,69	2,61	4,36	4,38	7,30	10,58	15,08	14,96
17	0,44	0,24	0,16	0,49	2,32	2,59	4,05	4,34	7,29	10,49	15,02	14,92
33	0,02	0,01		0,04	0,23	0,02	0,03	0,02	0,02	0,05	0,04	0,07
50	0,32	0,02	0,17	0,12	0,19	0,14	0,10	0,47	0,09	0,95	0,06	0,04
67					0,04				0,01			0,01
83	0,08			0,02	0,02	0,05	0,04	0,12	0,02	0,19	0,05	0,02
100					1,24							
117	0,02				0,01			0,01		0,04		0,02
150					0,02						0,02	0,01
183											0,02	
200					0,07							
250					0,03							
910					0,02							
1170					0,01							
1280					0,01							
f_0	0,048	0,104	0,017	0,041	0,452	0,187	1,621	0,369	0,489	0,902	1,065	1,048



a) Stillastående tåg.



b) Mellan två stationer, B_{tot} runt medelvärdet enligt tabell 5.6.



c) Mellan två stationer, B_{tot} omkring toppvärden enligt figur 5.21.

Figur 5.23a-c: Spektral fördelning av magnetfält i X40-tåg Arboga–Stockholm, 2009-03-17.

Grundtonen på 16,7 Hz har även i X40-tåg alltid den största amplituden. Starkare fält ger fler övertoner, men deras amplituder minskar snabbt med ökande frekvens. Den tredje övertonen på 50 Hz har nästan alltid näst största amplituden. Den når ändå bara upp till ungefär 1 μ T

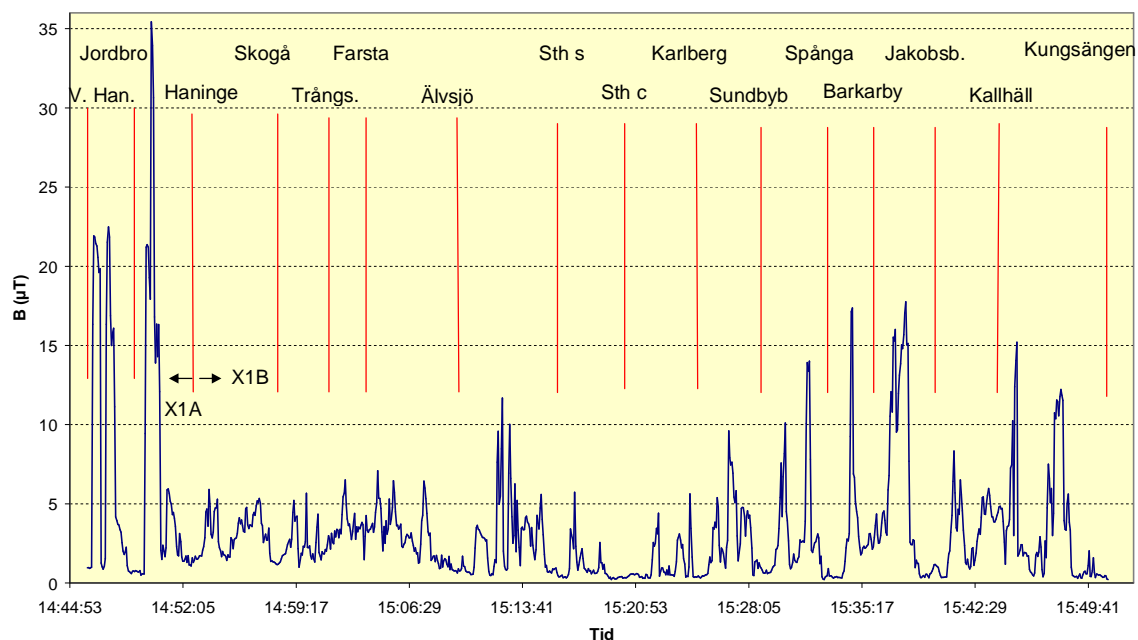
samtidig som grundtonen kan gå upp till 20 μT . Redan fjärde och femte övertonen (66,7 Hz och 83,3 Hz) når bara upp till 0,1-0,2 μT vid de allra starkaste fälten. Till skillnad från tåg med Rc-lok finns det vid X40-tåg även magnetfält med olika frekvenser mellan ca 900 Hz och drygt 5000 Hz, Dessa magnetfält är relativt svaga och överstiger bara undantagsvis 0,06 μT . I några enstaka fall kunde signalen vid ca 900 Hz dock uppgå till ungefär 0,2 μT . Dessa signaler beror antagligen på platsen i tåget. Även i X2000-tåg kunde ibland svaga signaler på 0,01-0,02 μT observeras vid frekvenser omkring 1100 Hz.

5.2 Lokaltåg

Mätningar av magnetfält i X1-, X10-, X60- och X3-lokaltåg (pendeltåg) i Stockholm gäller tiden från 1993 till 2009. De olika tågtyperna avhandlas i det följande var för sig.

X1-tåg

De första mätningarna i X1-tågen gjordes mellan 1995 och 1997 med Emdex-instrumentet. Från dessa mätningar visas i figur 5.24-5.29 några exempel på magnetfältens tidsdiagram. Ytterligare tidsgrafer från denna tid visas i bilaga B3, lokaltåg. 2002 gjordes mätningar med MFM10-instrumentet. Tidsgrafer från detta år finns i figur 5.30-5.34 och i bilaga B3. Inga mätningar med MFM3000-instrumentet gjordes i X1-tågen.



Figur 5.24: Magnetfält i pendeltåg X1A/X1B mellan Västerhaninge och Kungsängen, 1995-03-01.

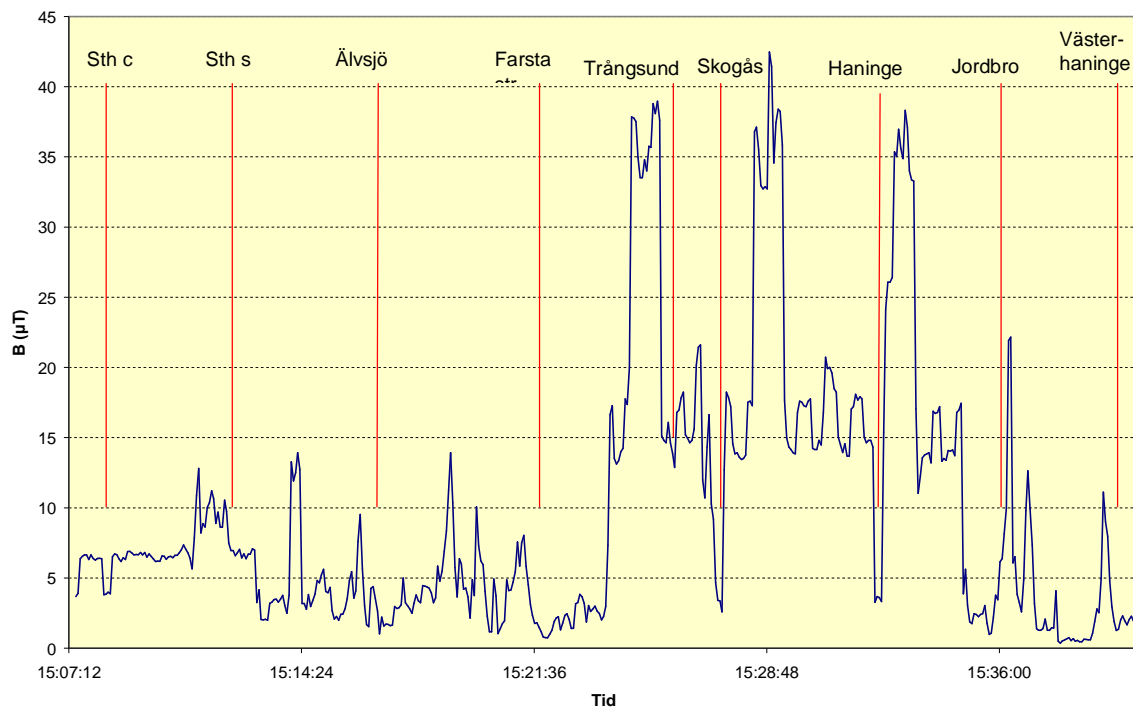
I tabell 5.10 finns en sammanställning av mätresultaten från alla X1-tåg. I A-vagnar låg medelvärdena mellan 4,0 μT och 18,2 μT och de maximala värdena mellan 13,2 μT och 86,4 μT . Intill genomföringen av högspänningskablarna vid en dörr kunde fält upp till 146 μT mätas. Detta var dock en plats där man normalt inte uppehåller sig. I B-vagnar var medelvärdena något lägre och låg mellan 2,8 μT och 9,6 μT . De största uppmätta värdena var mellan 11,4 μT och 49,8 μT i B-vagnarna.

Tabell 5.10: Magnetfält i olika pendeltåg X1. (Plats anger var mätinstrumentet befann sig: Numret anger bänkraden från vagnsände räknad i färdriktningen, v: vänster, h: höger, f: fönster, g: gång). Högerjusterad körsträcka: Platsbyte av instrument.

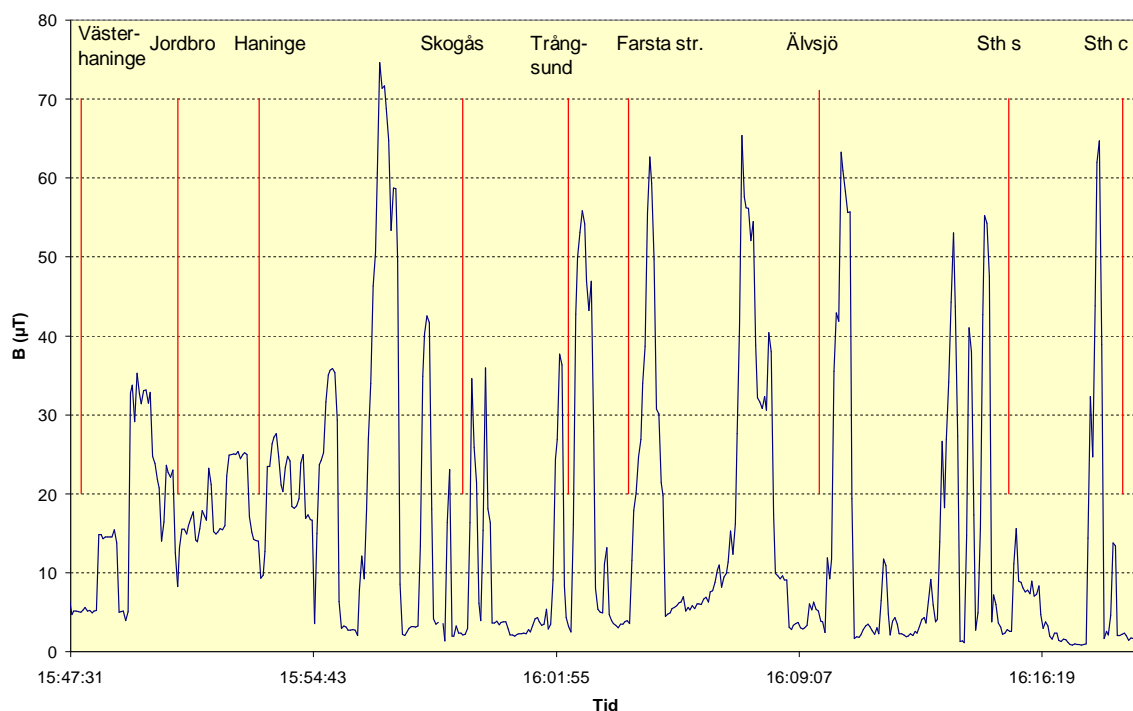
Nr	Datum	Tid	Tåg		Körsträcka	plats	Flödestäthet B (µT)					Mät-instrum.	Samp-lings-per. (s)
			Littera	nr			min	medel	median	90 perc.	max		
1	1995-02-23	13.54-14.22	X1 A	3047	Sth c-Kungsängen	2vg	0,53	4,87	4,34	6,91	22,2	Emdex	4
2		14.31-15.06	X1 A	3012	Kungsängen-Sth c	olika	0,13	10,95	7,08	26,12	43,08	Emdex	4
					Kungsäng-Barkarb	10hf	0,73	7,33			21,08		
					Barkarb-Spånga	7vf	1,62	17,4			39,16		
					Spånga-Sundbyb	7vg	2,91	22,03			43,08		
					Sundbyb-Sth c	20vf	3,13	11,71			26,84		
12		15.08-15.40	X1 B	a	Sth c-Västerhaninge	olika	0,37	9,56	6,38	19,64	42,52	Emdex	4
					Sth c-Sth s	13vf	0,71	5,99			12,81		
					Sth s-Farsta str	16hf	0,76	4,86			13,96		
					Farsta str-Haninge	20hf	0,75	17,59			42,52		
					Hanin.-Västerhan.	10hf	0,37	6,05			22,2		
3		15.48-16.19	X1 A	a	Västerhaninge-Sth c	olika	1,16	17,35	11,92	42,78	74,68	Emdex	4
					Västerhan.-Hanin.	10hg	3,98	18,41			35,32		
					Haninge-Trångsund	6vg	1,41	17,32			74,68		
					Trångsund-Sth c	6vf	0,86	15,54			65,4		
4	1995-03-01	14.45-14.53	X1 A	a	Västerhanin.-Haninge	18hg	0,49	6,93	2,01	21,20	35,48	Emdex	4
13		14.53-15.51	X1 B	a	Haninge-Kungsängen	olika	0,22	2,85	2,17	5,55	17,8	Emdex	4
					Haninge-Farsta str	7hf	1,00	2,98			6,50		
					Farsta str-Sth c	20hg	0,23	2,10			11,69		
					Sth c-Kungsängen	16vf	0,22	3,26			17,8		
5		15.56-16.23	X1 A	a	Kungsängen-Barkarby	10hf	0,89	8,28	7,49	14,29	23,48	Emdex	4
14	1997-02-08	13.03-13.22	X1 B	3009	Sth c-Tullinge	olika	0,48	5,58	5,92	8,08	11,41	Emdex	4
					Sth cr-Älvsjö	13vf	1,68	6,14			10,41		
					Älvsjö-Tullinge	14vf	0,48	5,28			11,41		
6		13.22-13.43	X1 A	3009	Tullinge-Södertälje c	20vf	0,48	3,96	3,73	6,65	13,24	Emdex	4
7		13.59-14.42	X1 A	3004	Södertälje c-Sth c	olika	0,52	18,21	7,28	61,60	86,36	Emdex	4
					Södert. c-Östertälje	7hf	0,52	9,18			85,24		
					Östertälje-Sth c	8hf	1,77	20,95			86,36		
15		14.43-15.21	X1 B	3004	Sth c-Märsta	7hf	0,62	2,83	1,56	7,24	14,28	Emdex	4

8		15.36-16.13	X1 A	3003	Märsta-Sth c	olika	0,20	12,06	6,78	37,56	55,96	Emdex	4
					Märsta-Rosersb.	8vf	2,61	9,27			32,92		
					Rosersb.-Sth c	7vf	0,20	12,39			55,96		
9	2002-11-14	10.21-10.57	X1 A	3012	Sth c-Märsta	olika	0,36	15,39	6,62	37,53	135,2	MFM10	6
					Sth c-Solna	1m	0,36	2,53			23,99		
					Solna-Helenelund	15hg	1,74	10,79			31,95		
					Helenel.-Rotebro	mittdörr	1,22	14,67			58,27		
					Rotebro-Uppl. V.	kabel	1,12	42,69			135,2		
					Uppl. V.-Rosersb.	6hg	1,39	23,29			56,1		
					Rosersb.-Märsta	dörr	0,48	7,21			64,9		
10		11.03-11.40	X1A	3012	Märsta-Sth c	olika	0,76	27,08	11,76	71,68	145,7	MFM10	6
					Märsta-Roserb.	kabel	25,04	90,67			134		
					Roserb-Uppl. V.	kabel	31,62	69,63			145,7		
					Uppl. V.-Rotebro	mittdörr	6,35	14,40			24,19		
					Rotebro-Norrviken	mittdörr	2,02	9,35			17,29		
					Norrviken-Sollent.	11hg	2,05	13,28			74,4		
					Sollentuna-Karlb.	bakdörr	0,76	9,95			39,62		
					Karlberg-Sth c	18hg	1,23	5,10			15,34		
16		11.42-12.24	X1 B	3012	Sth c-Södertälje c	olika	0,15	5,04	2,13	10,24	49,75	MFM10	6
					Sth c-Södra stat.	18vg	10,83	35,90			49,75		
					Södra stat-Älvsjö	15hg	1,95	4,21			42,22		
					Älvsjö-Huddinge	13hg	0,83	3,24			6,92		
					Huddinge-Tullinge	8vg	0,61	2,41			7,81		
					Tullinge-Tumba	3hg	0,35	1,33			6,69		
					Tumba-Södert. c	2vg	0,15	1,75			9,9		
11		13.47-14.33	X1 A	3050	Södertälje c-Sth c	olika	0,28	13,32	10,64	13,81	43,96	MFM10	6
					Södert. c-Rönninge	1hg	0,28	2,44			16,05		
					Rönn.-Flemingsb.	15hg	1,11	8,27			29,68		
					Flemingsb.-Sth c	mittdörr	0,41	25,17			43,96		

a: inte antecknad

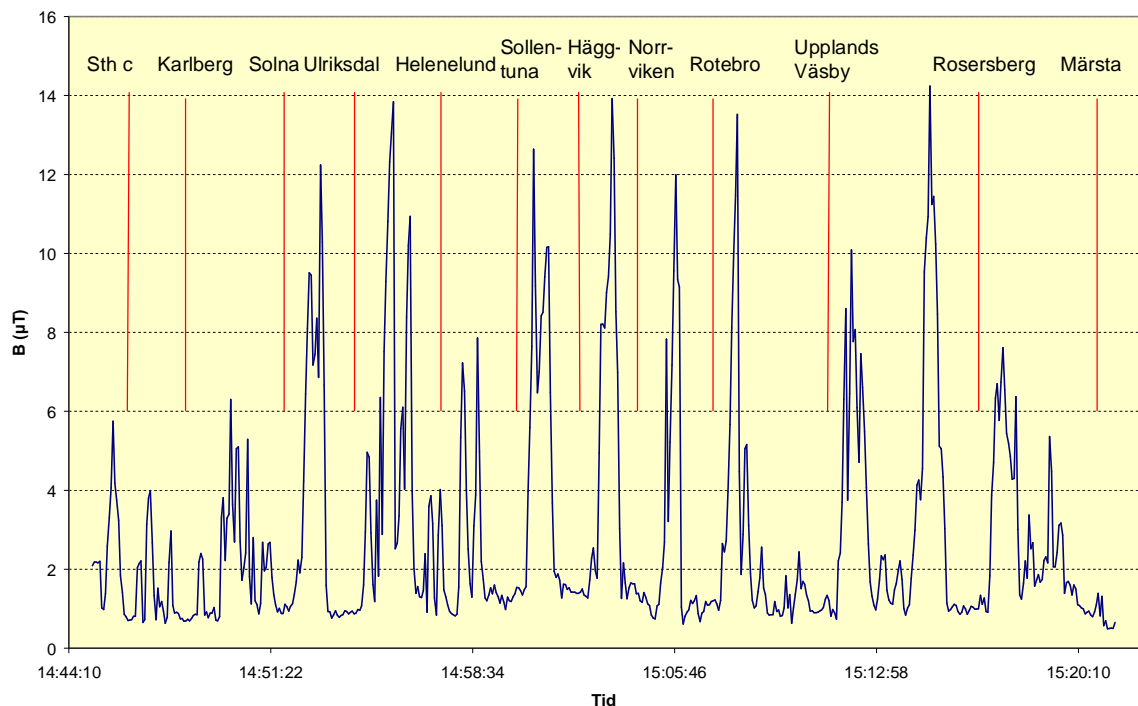


Figur 5.28: Magnetfält i pendeltåg X1B mellan Stockholm c och Västerhaninge, 1995-02-23.

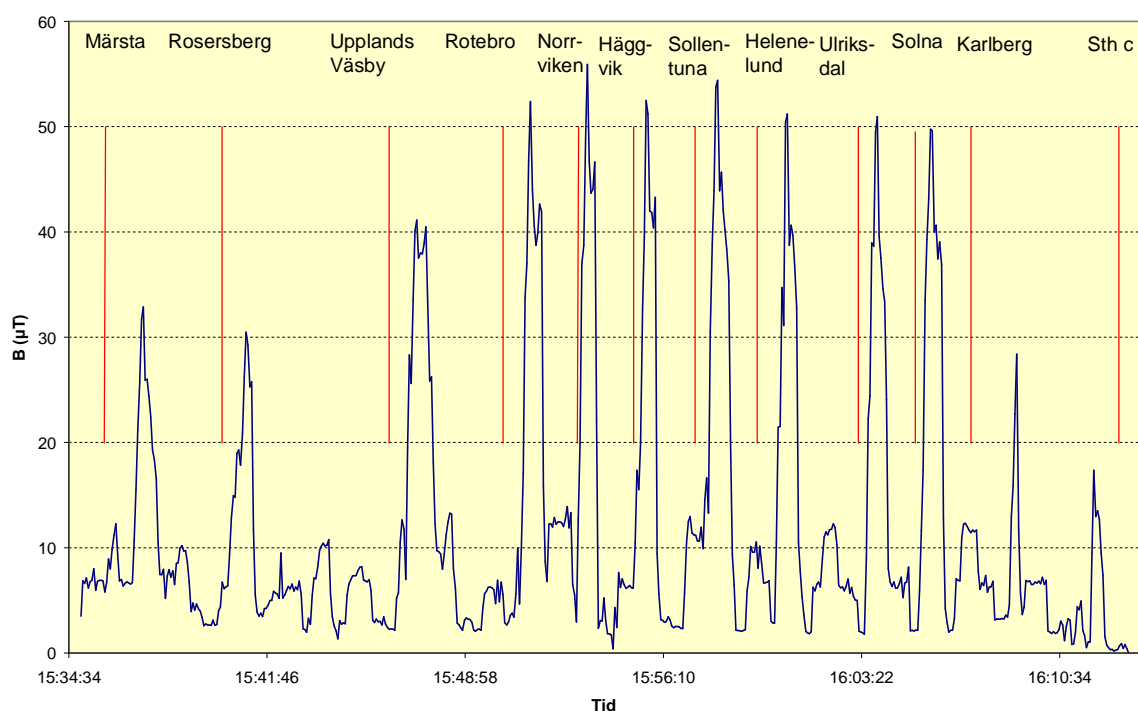


Figur 5.29: Magnetfält i pendeltåg X1A mellan Västerhaninge och Stockholm C, 1995-02-23.

Diagrammen i figur 5.27-5.33 visar skillnader mellan magnetfälten på olika platser i motorvagnarna A och manöverbvagnarna B, se också tabell 5.10. Flera liknande tidsgrafer ges i bilaga B3, lokaltåg.



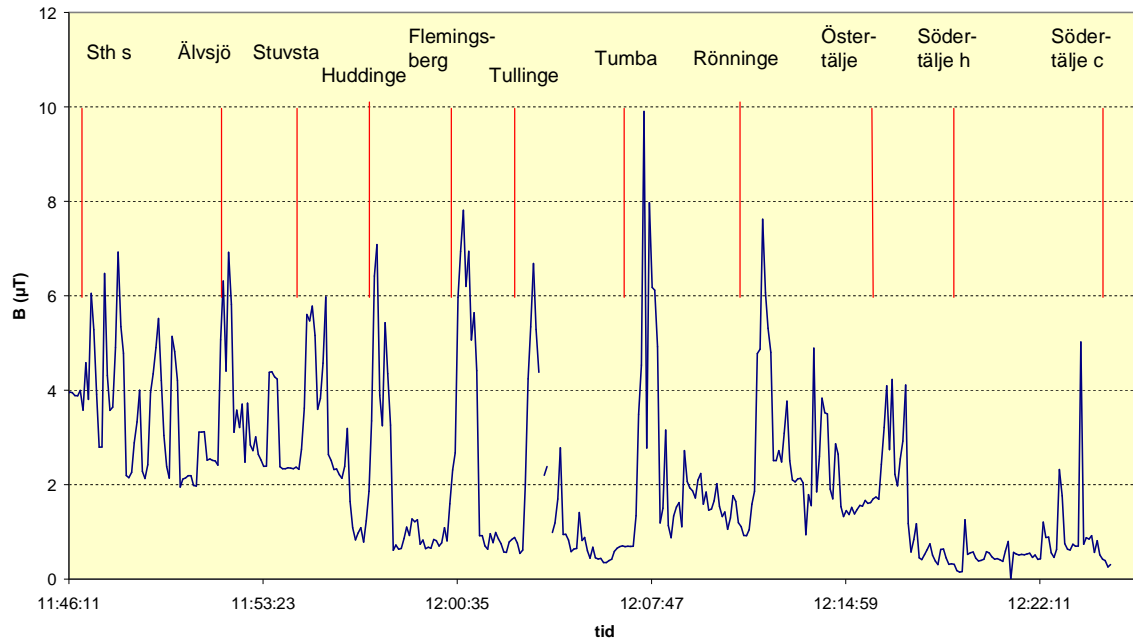
Figur 5.30: Magnetfält i pendeltåg X1B mellan Stockholm C och Märsta, 1997-02-08.



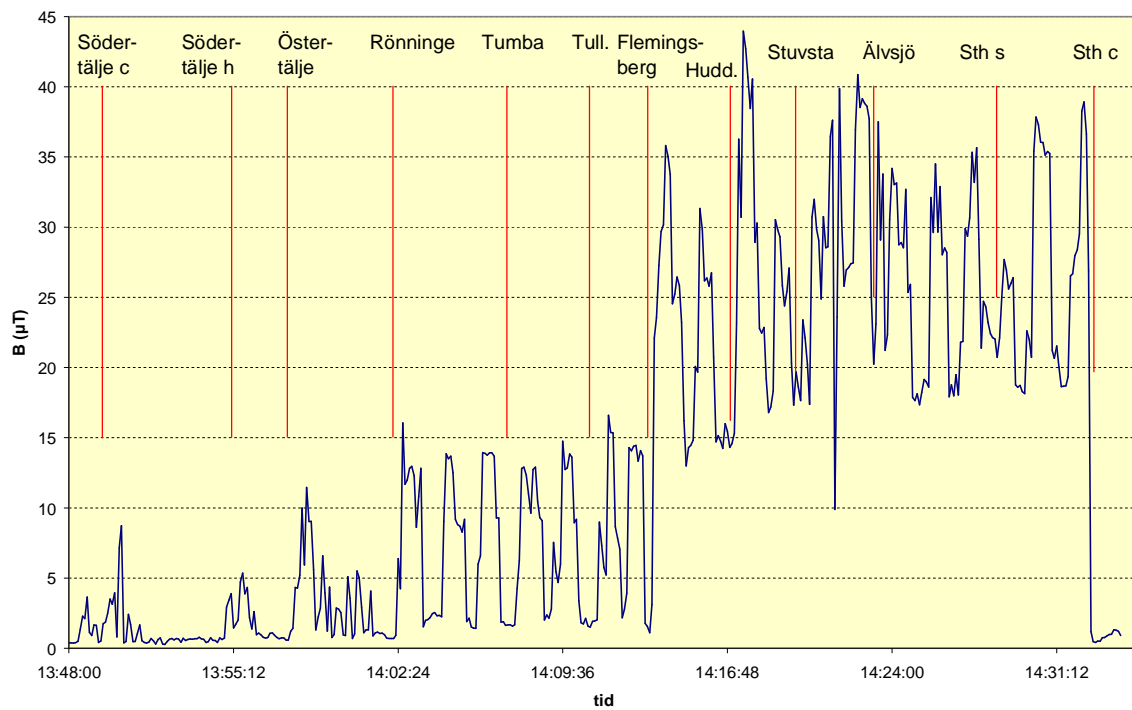
Figur 5.31: Magnetfält i pendeltåg X1A mellan Märsta och Stockholm C, 1997-02-08.

År 2002 gjordes mätningar med MFM10-instrumentet, som lämnar viss information om frekvensinnehåll i de uppmätta fälten. Två tidsgrafer från dessa mätningar syns i figur 5.32 och 5.33, ytterligare två finns i bilaga B3. Vid dessa fyra tågresor gjordes mätningar var 6:e s under sammanlagd 53 perioder på 180 s. Vid 42 perioder angavs 16,7 Hz som dominerande

frekvens. Vid elva perioder kunde en dominerande frekvens inte bestämmas och uppgiften som lämnats var "blandad". Vid en period uppgavs 33 Hz som dominerande frekvens.



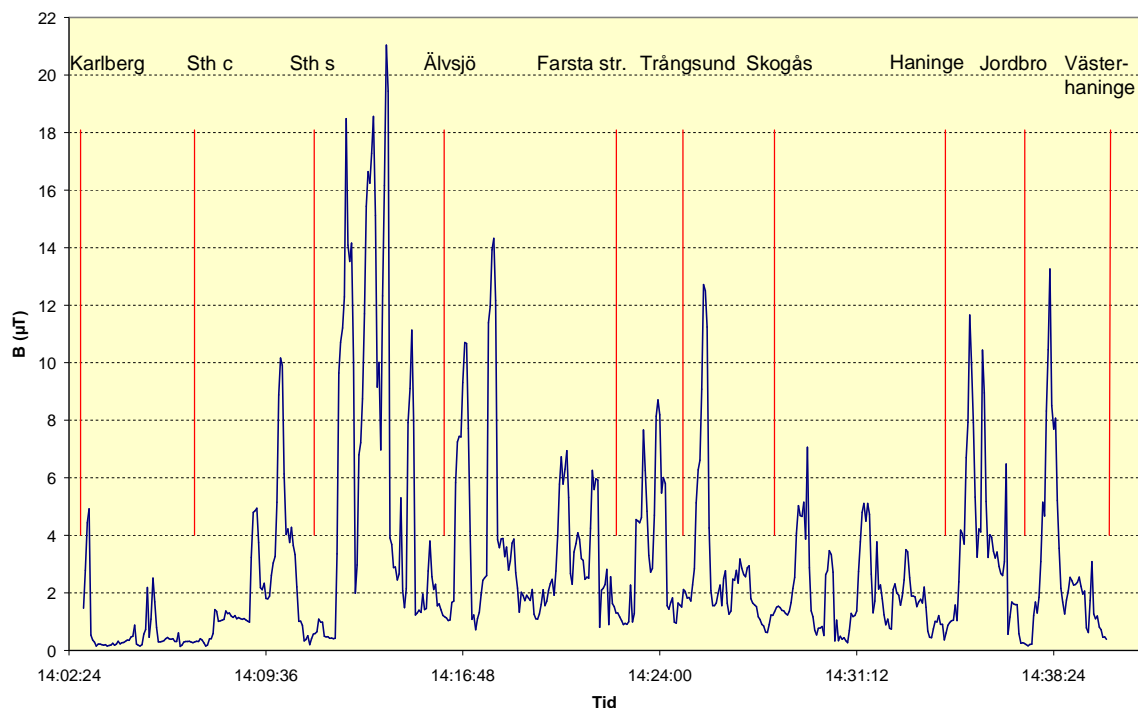
Figur 5.32: Magnetfält i pendeltåg X1B mellan Stockholm s och Södertälje c, 2002-11-14.



Figur 5.33: Magnetfält i pendeltåg X1A mellan Södertälje c och Stockholm C, 2002-11-14.

Pendeltåg X10

De första mätningarna i pendeltåg X10 gjordes 1993 och upprepades 1995, 2002, 2005 och 2008. I figur 5.34 visas tidsvariationen av magnetfält i en motorvagn X10A uppmätt 1995 med Emdex-instrumentet. Alla övriga mätningar i X10-tåg är gjorda med MFM10-instrumentet förutom den sista från 2008, då MFM3000-instrumentet användes.



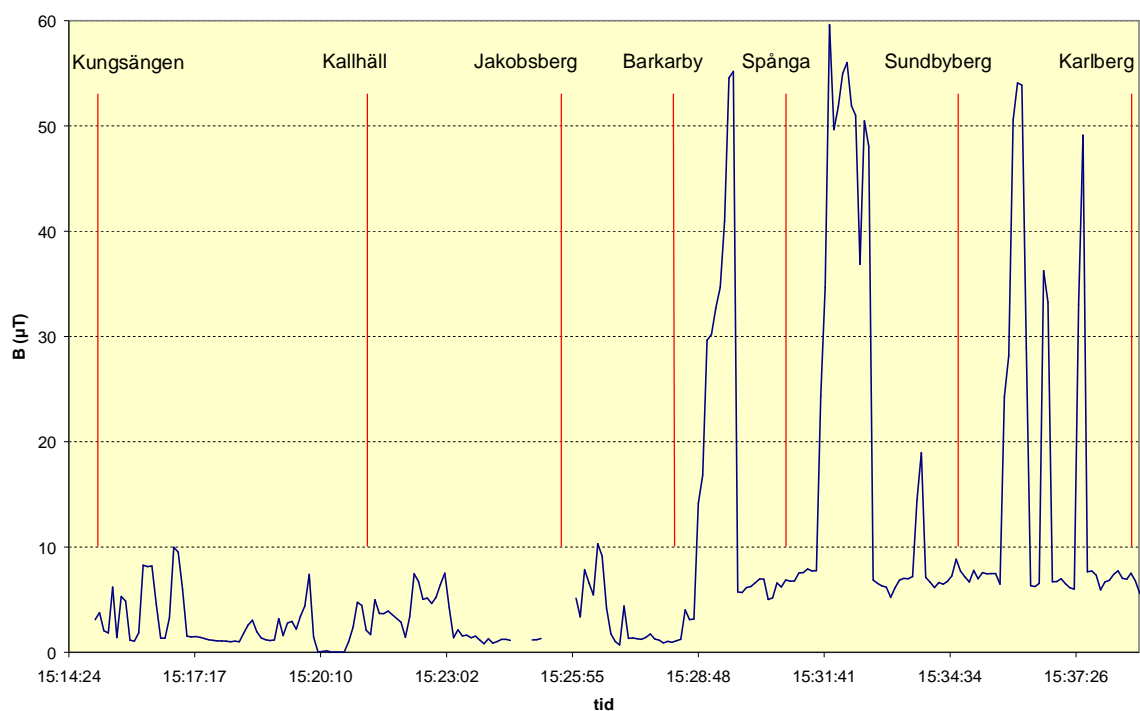
Figur 5.34: Magnetfält i pendeltåg X10A mellan Karlberg och Västerhaninge, 1995-03-01.

En sammanställning av de uppmätta magnetfälten i X10-tågen återges i tabell 5.11. Medelvärdena för mätningarna låg mellan 2,8 μT och 9,1 μT i motorvagnarna A och mellan 2,1 μT och 4,2 μT i manöverbvagnarna B. De största uppmätta värdena låg mellan 21,1 μT och 59,6 μT i A-vagnarna respektive 12,0 μT och 26,7 μT i B-vagnarna.

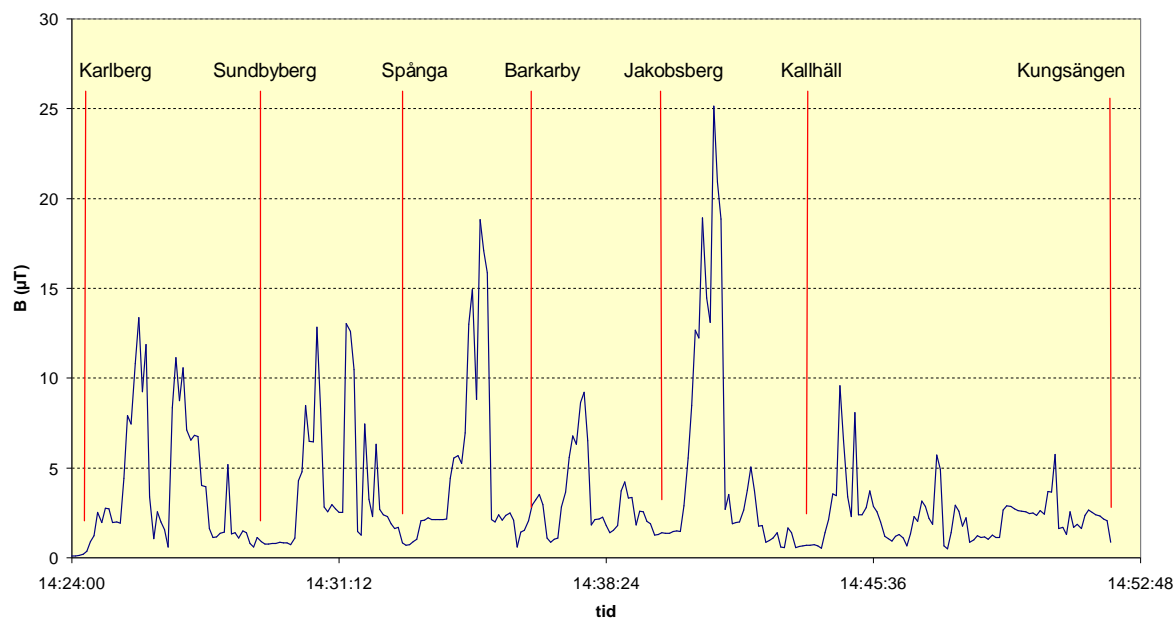
Medan Emdex-instrumentet inte lämnar någon information om frekvensen av de uppmätta signalerna upplyser MFM10 om vilken frekvens som var dominerande i den valda mätperioden. Vid mätningar 1993, se tidsdiagram 5.35 och 5.36, användes 20 mätperioder på 180 s. Vid 18 perioder angavs 16,7 Hz som dominerande frekvens och vid 2 perioder kunde ingen dominerande frekvens bestämmas. Vid mätningar 2002 (figur 5.37, 5.38 och bilaga B3) användes 27 mätperioder. Vid 19 av dem uppgavs 16,7 Hz som dominerande frekvens och vid 8 kunde sådan inte fastställas. Slutligen uppgavs vid mätningen 2005 (tidsdiagram i bilaga B3) att den dominerande frekvensen var 16,7 Hz i 11 av 14 mätperioder och i 3 gick den inte att bestämma.

Tabell 5.11: Magnetfält i olika pendeltåg X10. (Plats och högerställd körsträcka se tabell 5.10.)

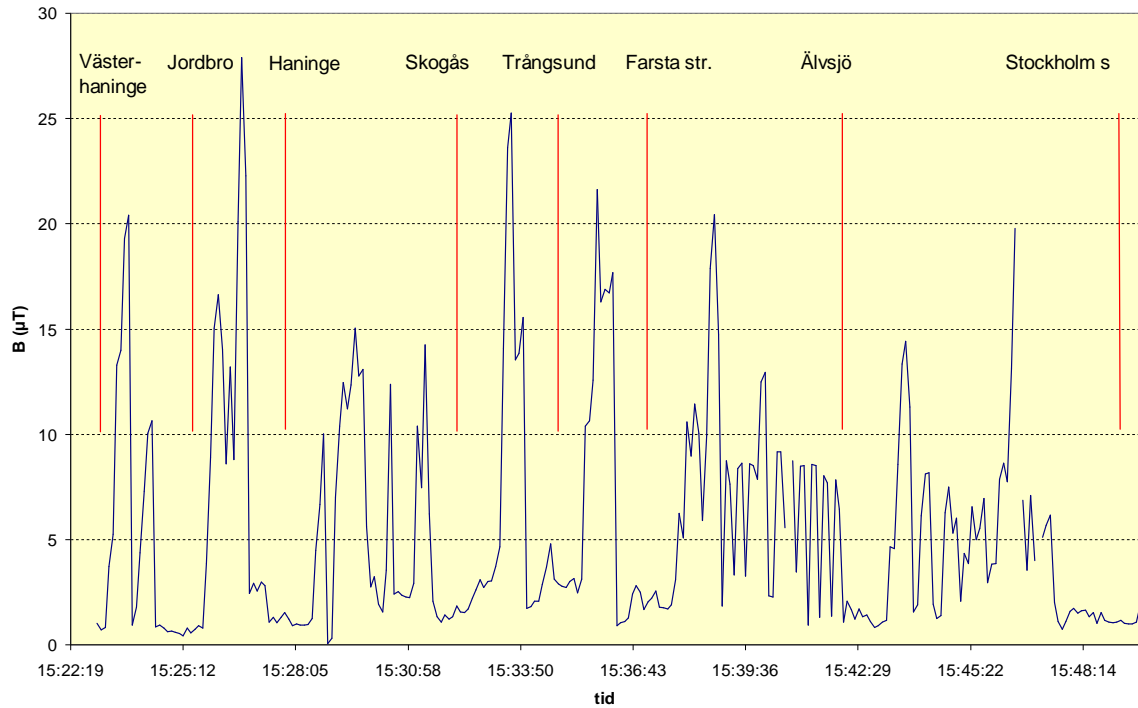
Nr	Datum	tid	Tåg		Körsträcka	plats	Flödestäthet B (µT)					Mät-instr.	Samplings-per. (s)
			Littera	nr			min	medel	median	90 perc.	max		
21	1993-10-22	14.24-14.52	X10 B	3131	Karlberg-Kungsängen	18hg	0,09	3,56	2,17	8,48	25,14	MFM10	6
17		15.15-15.39	X10 A	3131	Kungsängen-Karlberg	olika	0,02	9,08	5,68	29,24	59,62	MFM10	6
					Kungsän.-Barkarby	1hf	0,02	2,89			10,32		
					Barkarby-Karlb.	8hg	0,90	16,26			59,62		
18	1995-03-01	14.03-14.40	X10 A	a	Karlberg-Västerhanin.	olika	0,08	2,81	1,63	7,23	21,08	Emdex	4
					Karlberg-Sth c	15hf	0,15	0,74			4,93		
					Sth c-Farsta str.	8vg	0,20	4,47			21,08		
					Farsta str.-Haninge	12hf	0,28	2,51			12,76		
					Haninge-Västerhan.	14vf	0,17	3,37			13,26		
22	2002-11-14	14.42-15.07	X10 B	3122	Sth c-Västerhaninge	olika	0,33	4,23	2,35	10,15	16,93	MFM10	6
19		15.23-15.48	X10 A	3122	Västerhaninge-Sth s	olika	0,06	5,30	3,47	13,92	27,89	MFM10	6
					Västerhan.-Jordbro	1hg	0,44	4,64			20,41		
					Jordbro-Haninge	15hg	1,05	8,41			27,89		
					Haninge-Trångsund	mittdörr	0,06	5,42			25,27		
					Trångs.-Farsta str.	5vg	0,92	7,47			21,64		
					Farsta str.-Älvsjö	6hg	0,95	6,81			20,44		
					Älvsjö-Sth s	dörr	0,75	4,80			19,77		
23		15.48-16.24	X10 B	3122	Sth s-Kungsängen	olika	0,14	3,63	1,55	10,02	26,71	MFM10	6
					Sth s-Sth c	15vg	0,44	1,94			22,14		
					Sth c-Barkarby	7vg	0,14	3,27			26,71		
					Barkarby-Kallhäll	olika	0,31	5,24			25,85		
					Kallhäll-Kungsäng.	bakdörr	0,69	4,77			20,67		
24	2005-11-22	18.44-19.27	X10 B	3201	Södert c-Stockholm c	olika	0,30	2,07	1,30	4,63	12,01	MFM10	6
					Södertälje-Tullinge	olika	0,31	1,81			12,01		
					Tullinge-Flemingsb.	2hf	0,39	1,62			5,08		
					Flemingsb.-Huddin.	6hf	0,80	1,86			5,73		
					Huddinge-Stuvsta	9hf	0,35	1,66			5,49		
					Stuvsta-Älvsjö	2vg	0,57	1,90			4,10		
					Älvsjö-Sth s	8hg	0,30	2,68			9,50		
					Sth s-Sth c	9vf	0,89	3,55			11,30		
20	2008-01-06	15.49-16.01	X10 A	a	Årstab.-Flemingsb.	olika	0,33	1,67	0,93	4,23	8,01	MFM3000	10



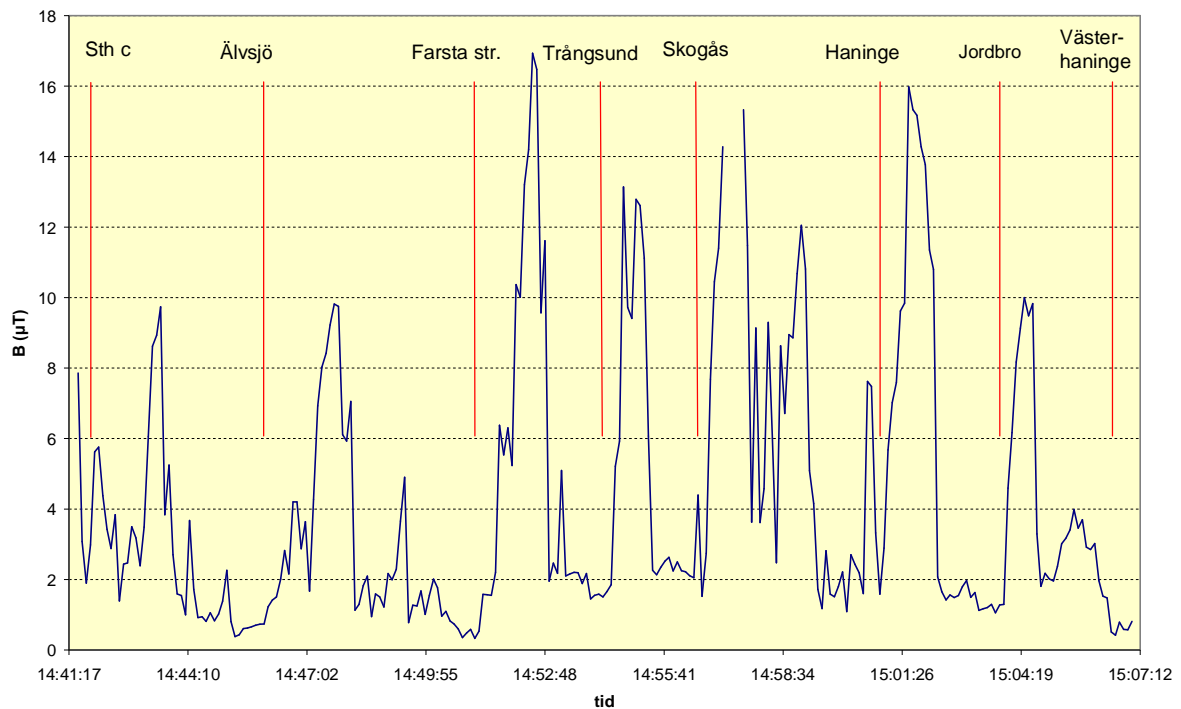
Figur 5.35: Magnetfält i pendeltåg X10A mellan Kungsängen och Karlberg, 1993-10-22.
 Obs! Vid Barkarby byttes plats inom samma vagn (se tabell 5.11).



Figur 5.36: Magnetfält i pendeltåg X10B mellan Karlberg och Kungsängen, 1993-10-22.



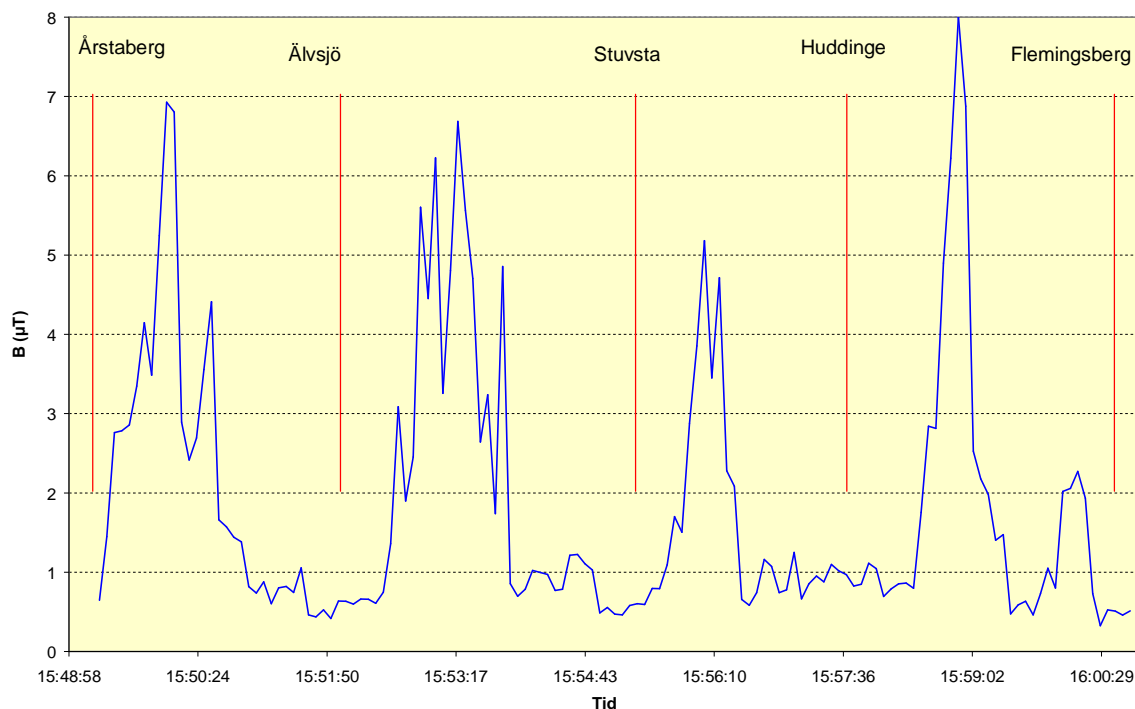
Figur 5.37: Magnetfält i pendeltåg X10A mellan Västerhaninge och Stockholm södra, 2002-11-14.



Figur 5.38: Magnetfält i pendeltåg X10B mellan Stockholm C och Västerhaninge, 2002-11-14.

Den enda mätningen med MFM3000 instrumentet i ett X10-tåg gjordes 2008. Tidsdiagrammet visas i figur 5.39. Tabell 5.12 ger några exempel på frekvenser som uppmättes i denna X10A-vagn och figur 5.40a-c visar några exempel på diagram av frekvensfördelningen

vid denna mätning. Grundtonen ligger alltid vid 16,7 Hz. Den har den största amplituden och den utgör alltid huvudandelen av den uppmätta totala flödestätheten. Den näst största amplituden har den andra (33 Hz) eller tredje (50 Hz) övertonen, men den är betydligt mindre än grundtonen. Övriga övertoners amplitud minskar snabbt till några tiotals nT. Mycket svaga signaler kunde observeras upp till den elfte övertonen (183 Hz). Resan från Årstabergr till Flemingsberg varade bra drygt tio minuter. Vid en längre resa skulle eventuellt starkare fält uppmättats, vilket i sin skulle kunna leda till övertoner med större amplitud och högre frekvens.

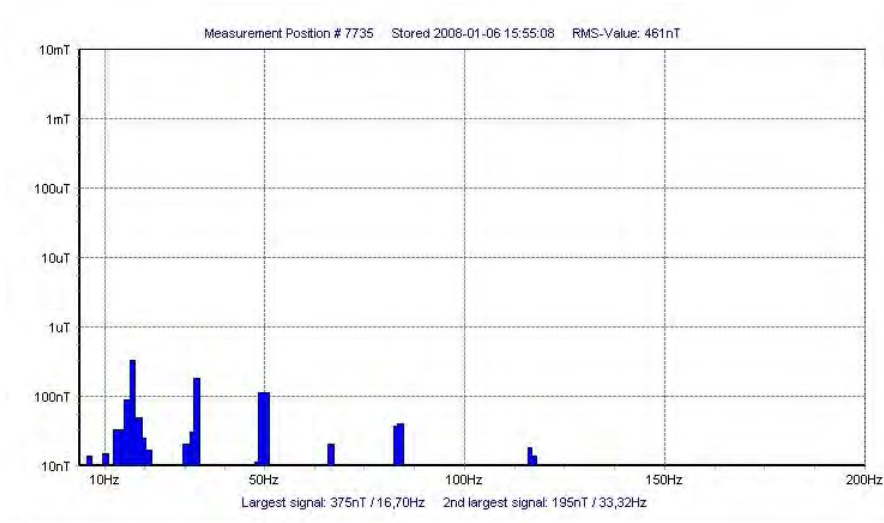


Figur 5.39: Magnetfält i pendeltåg X10A mellan Årstabergr och Flemingsberg, 2008-01-06.

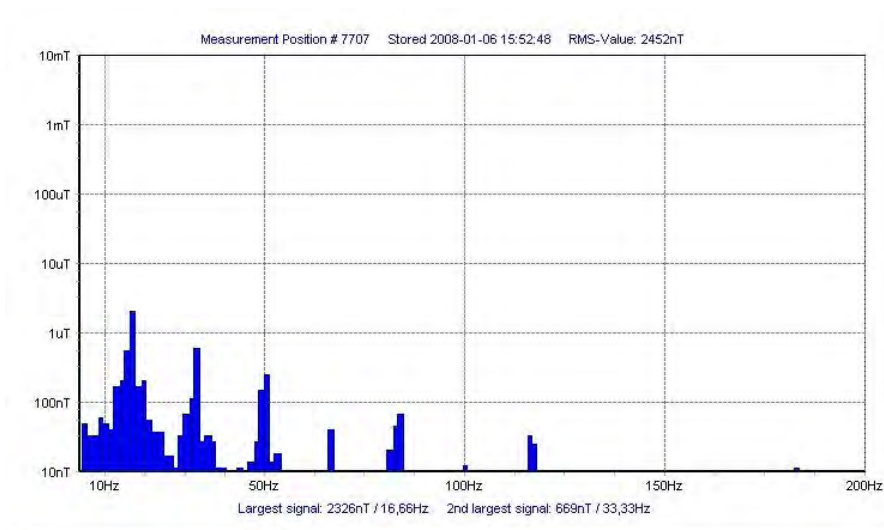
Tabell 5.12: Exempel på magnetfält B i μT vid olika frekvenser på resan Årstabergr-Flemingsberg i pendeltåg X10A, 2008-01-06. Fälten vid övriga frekvenser f_0 enligt ekvation (4.4). (Medelvärde och toppvärde enligt tab. 5.11 och figur 5.39).

Tid	15.52	15.57	15.53	15.56	15.50	15.59
f (Hz)	Stillastående tåg		Mellan stationer, B_{tot} omkr. medelv		Mellan stationer, B_{tot} omkr. toppv.	
Total	0,46	0,66	3,09	1,70	6,93	8,01
17	0,42	0,60	3,01	1,57	6,79	7,87
33	0,10	0,08	0,57	0,57	0,90	0,96
50	0,12	0,20	0,25	0,20	0,63	0,71
67	0,01	0,02	0,05	0,05	0,03	0,02
83	0,05	0,06	0,11	0,13	0,20	0,25
100			0,01	0,01	0,01	0,02
117	0,02	0,02	0,02	0,04	0,02	0,08
150			0,03	0,02	0,05	0,04
183			0,01	0,02		0,02
f_0	0,12	0,19	0,29	0,21	0,80	0,81

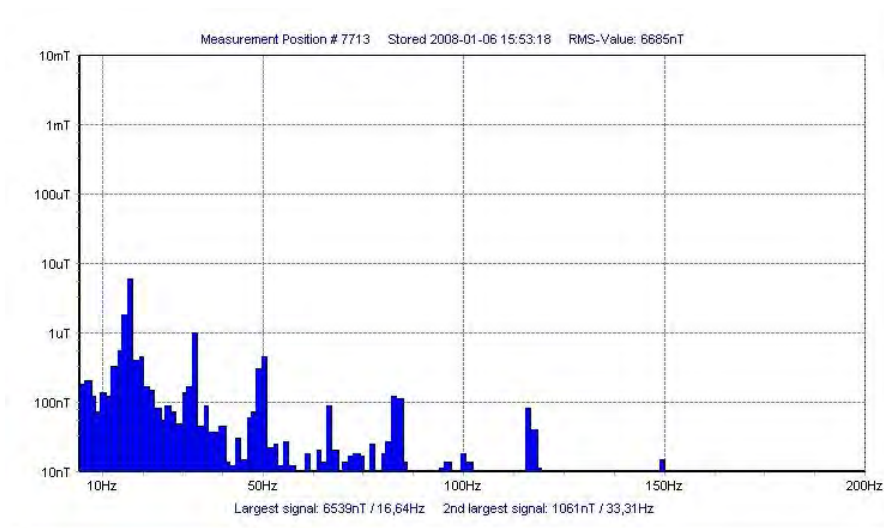
X1- och X10-tågen använder samma elsystem och X1-tågen skiljer sig konstruktionsmässigt inte så mycket från X10-tågen. Därför kan man utgå ifrån att frekvenssammansättning av magnetfältssignaler borde vara ganska lika. Även frekvensinformationen som MFM10-instrumentet lämnade vid de olika mätningarna kan tala för det.



a) Stillastående tåg.



b) Mellan två stationer, B_{tot} omkring medelvärdet enligt tabell 5.11.



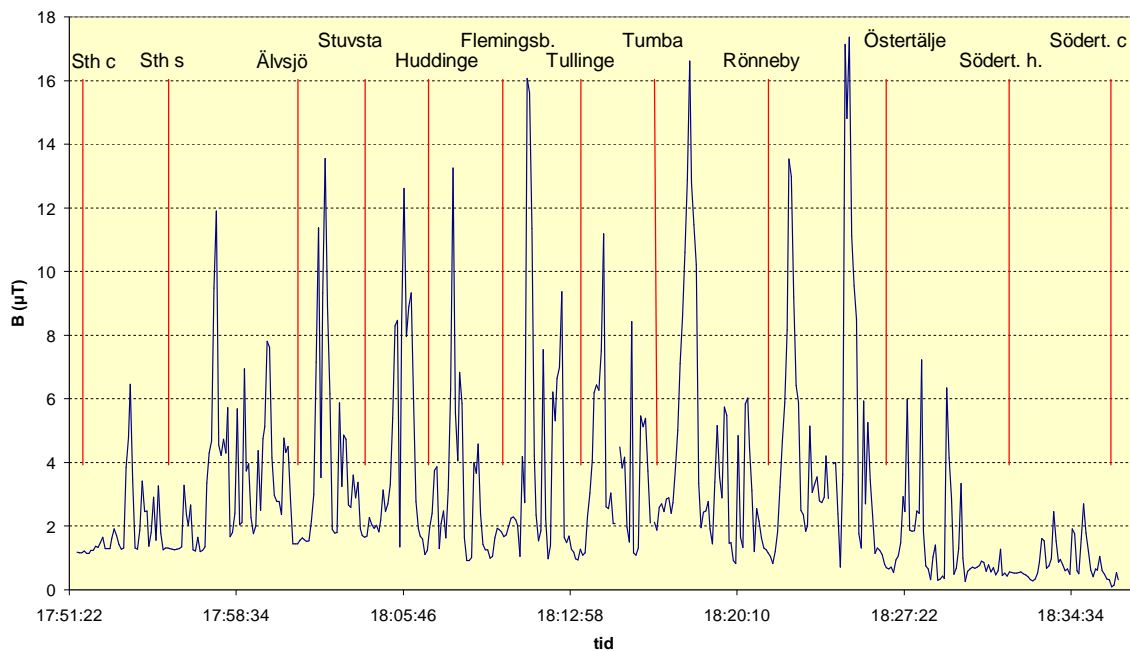
c) Mellan två stationer, B_{tot} omkring toppvärden enligt figur 5.39.

Figur 5.40a-c: Spektral fördelning av magnetfält i pendeltåg X10A vid resan Årstabergr-Flemingsberg, 2008-01-07 (Obs! linjär frekvensskala).

Pendeltåg X60

De första mätningarna i X60-pendeltåg gjordes 2005 med MFM10-instrumentet. 2008 och 2009 gjordes sedan mätningar med MFM3000-instrumentet. En sammanställning av alla mätresultat för X60-tåg finns i tabell 5.13. Medelvärdena låg mellan ca 4,2 μT och 5,8 μT . De största magnetfälten uppmättes till omkring 20-36 μT . Som det ser ut verkar det inte finnas några avgörande skillnader mellan magnetfälten i olika sektioner av X60-tågen.

I figurerna 5.41-5.43 visas tidsdiagram från mätningar med MFM10. Vid dessa resor användes 43 mätperioder om 180 s. Vid 38 av dessa perioder angavs 16,7 Hz som den dominerande frekvensen och vid fem var frekvensen blandad.

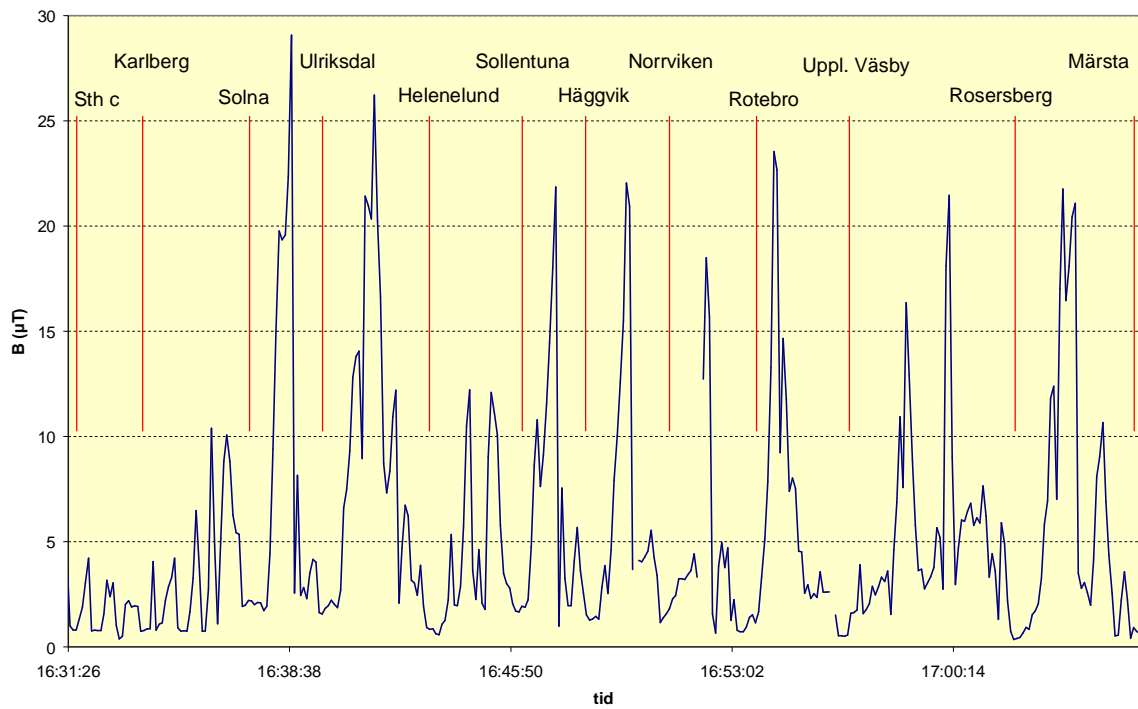


Figur 5.41: Magnetfält i pendeltåg X60 mellan Södertälje c och Stockholm C, 2005-11-22.

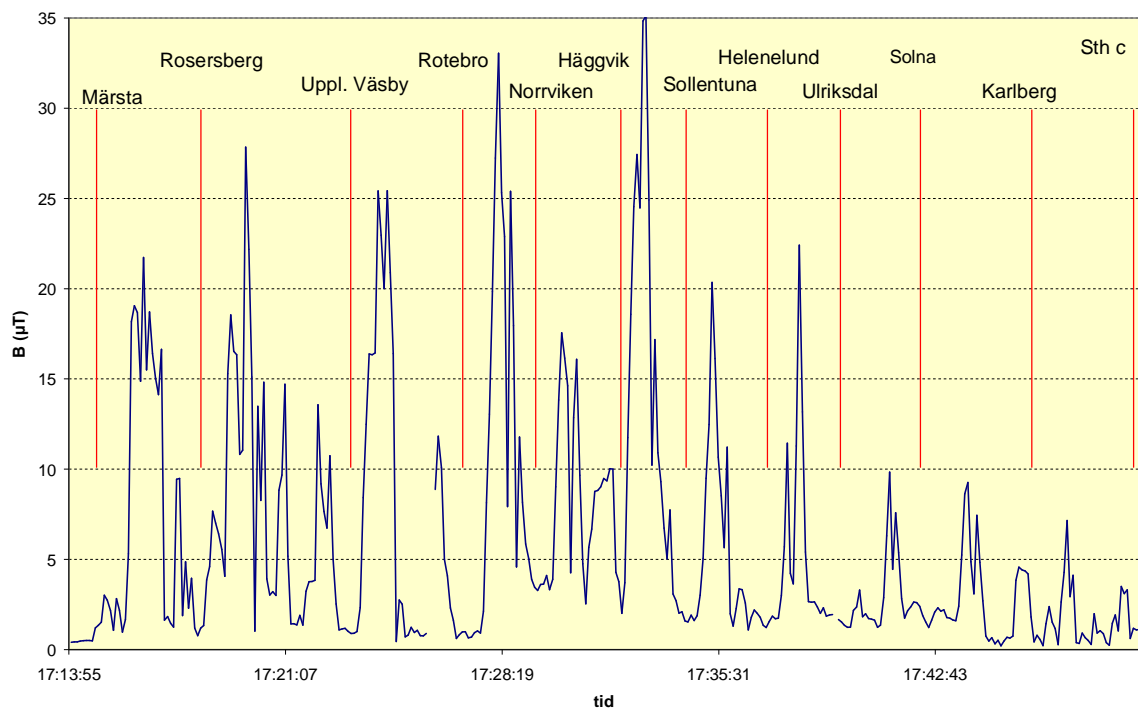
I figurerna 5.44–5.47 och bilaga B3, lokaltåg, visas sedan tidsdiagram från resorna mellan Sundbyberg och Västerhaninge från 2008 mätt med MFM3000-instrumentet i olika sektioner av pendeltåg X60.

Tabell 5.13: Magnetfält i olika pendeltåg X60. (Platser och högerställd sträcka se tabell 5.10, för MFM3000 anges den totala flödestätheten. a: Uppgift saknas).

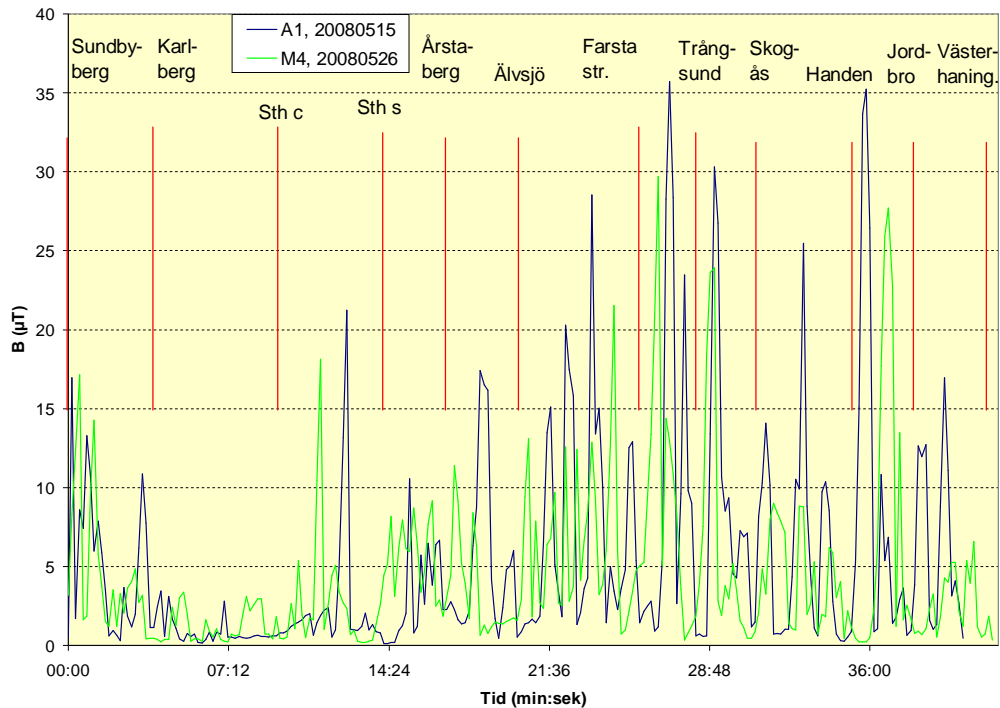
Nr	Datum	Tid	Tåg			Sträcka	Plats	Flödestäthet B (µT)					Mät-instr.	Samplings-per. (s)
			Litt.	nr	Sekt.			min	medel	median	90. per	max		
26	2005-11-22	16.32-17.06	X60	2646	A2	Stockholm c-Märsta	Olika	0,35	5,29	3,19	12,87	29,07	MFM10	6
						Sth c-Ulriksdal	v13g	0,38	4,13			29,07		
						Ulriksdal-Helenel.	vid dörr	0,92	8,45			26,22		
						Helenel.-Rotebro	h7g	0,58	5,11			22,05		
						Rotebr.-Uppl. Väsby	vid dörr	0,51	5,07			23,54		
						Uppl V-Märsta	v1g	0,35	5,39			21,76		
27		17.15-18.36	X60	2626	olika	Märsta-Södertälje c	Olika	0,09	4,40	2,32	11,23	35,12	MFM10	6
					M3	Märsta-Rosersberg	v6g	0,49	6,41			21,73		
					M3	Rosersb.-Rotebro	h7f	0,46	7,62			27,84		
					M2	Rotebro-Sollentuna	v8f	0,65	10,3			35,12		
					M2	Sollentuna-Ulriksd.	v9f	1,09	4,50			22,41		
					M1	Ulriksdal-Sth c	h10g	0,21	2,40			4,81		
					A1	Sth c-Stuvsta	v1f	1,15	3,09			13,56		
					A1	Stuvsta-Huddinge	v1g	1,12	4,26			12,62		
					A1	Huddinge-Tullinng	h1g	0,91	3,59			16,08		
					A1	Tullinge-Rönneby	v5f	0,84	3,96			16,62		
					A1	Rönneby-Södert. h	h13f	0,25	3,37			17,37		
					M1	Södert. h-Södert. c	h4g	0,09	0,80			2,7		
28	2008-05-15	15.07-15.48	X60	a	A1	Sundbyberg-Västerhan.	v12g	0,12	5,38	2,22	13,45	35,71	MFM3000	10
29	2008-05-16	06.46-07.30	X60	a	M1	Västerhan.-Sundbyberg	h14f	0,25	5,55	3,40	13,26	35,52	MFM3000	10
30		14.44-15.27	X60	a	A2	Sundbyberg-Västerhan.	v5g	0,07	4,15	3,06	9,17	25,13	MFM3000	10
31	2008-05-19	06.32-07.13	X60	a	M2	Västerhan.-Sundbyberg	h2f	0,87	5,45	3,06	14,98	28,78	MFM3000	10
32		15.07-15.47	X60	a	M4	Sundbyberg-Västerhan.	h6f	0,08	4,82	2,94	11,52	26,84	MFM3000	10
33	2008-05-20	06.33-07.15	X60	a	M4	Västerhan.-Sundbyberg	h8f	0,14	5,49	3,61	10,74	27,12	MFM3000	10
34		15.09-15.53	X60	a	A2	Sundbyberg-Västerhan.	h8m	0,13	5,29	2,41	9,56	35,19	MFM3000	10
35	2008-05-21	07.02-07.43	X60	a	M3	Västerhan.-Sundbyberg	h4f	0,12	4,32	2,86	13,09	21,8	MFM3000	10
36		15.37-16.18	X60	a	M2	Sundbyberg-Västerhan.	v7g	0,07	4,29	2,84	14,74	26,82	MFM3000	10
37	2008-05-26	06.34-07.14	X60	a	M2	Västerhan.-Sundbyberg	h11g	0,19	5,83	4,51	13,87	27,85	MFM3000	10
38		14.38-15.19	X60	a	M4	Sundbyberg-Västerhan.	v6f	0,19	4,57	2,68	10,47	29,72	MFM3000	10
39	2008-05-27	06.47-07.15	X60	a	M3	Västerhan.-Stockholm s	v1g	0,19	5,08	3,30	12,35	27,59	MFM3000	10
40	2009-09-14	09.28-09.56	X60	a	a	Uppl. Väsby-Stockh. c	a	0,07	4,22	2,95	10,33	20,31	MFM3000	10



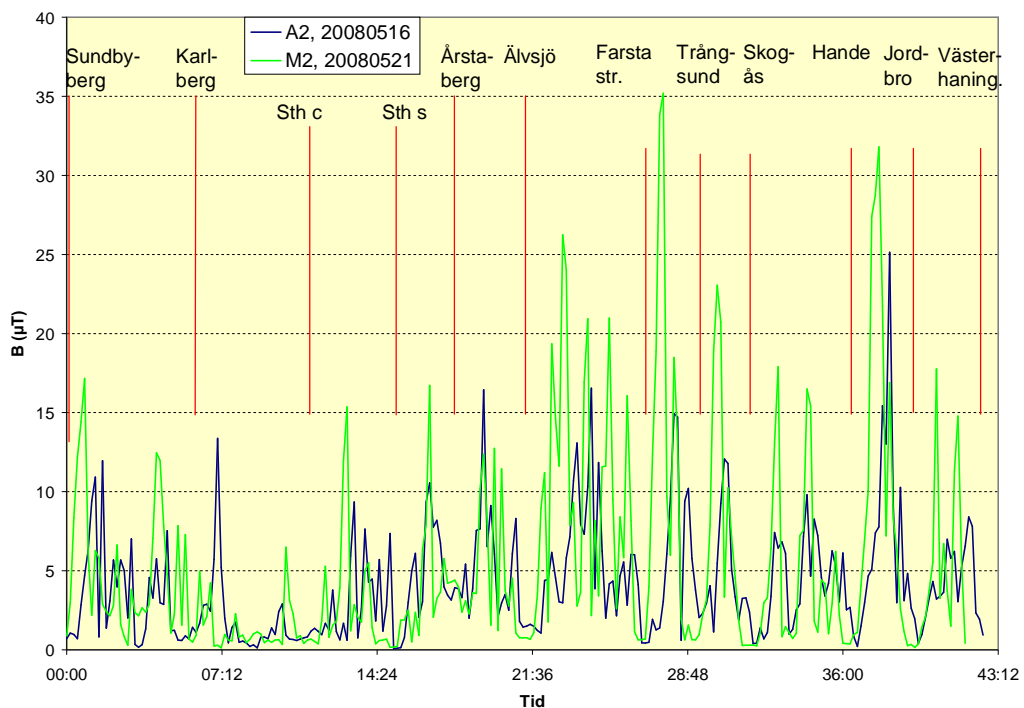
Figur 5.42: Magnetfält i pendeltåg X60 mellan Stockholm C och Märsta, 2005-11-22.



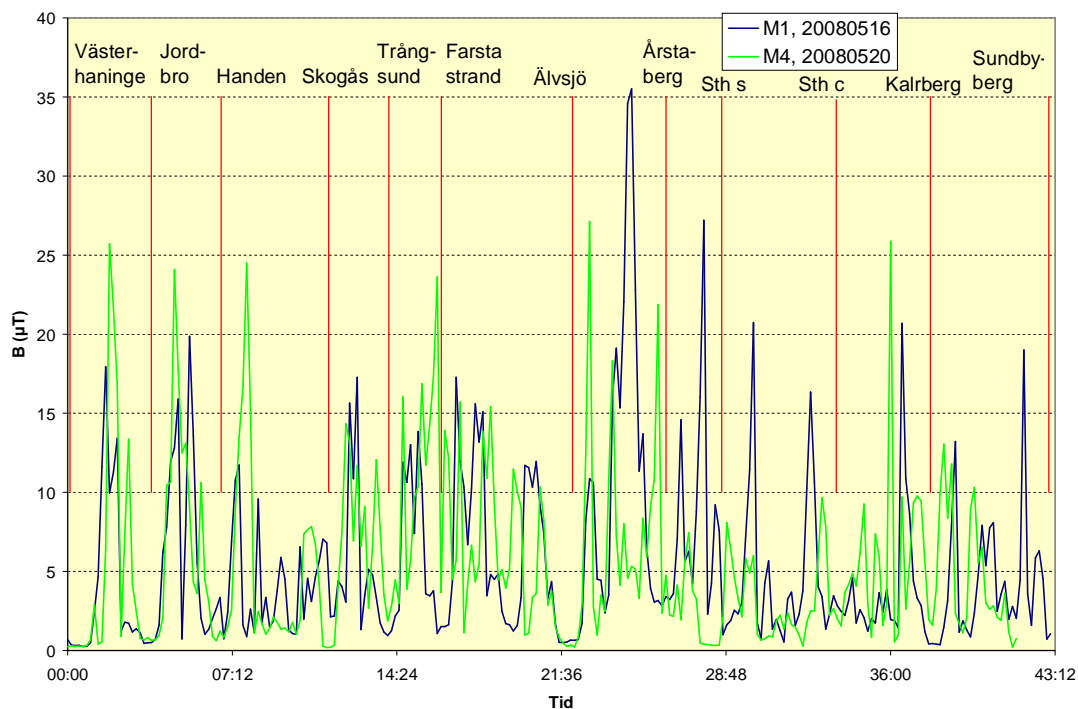
Figur 5.43: Magnetfält i pendeltåg X60 mellan Märsta och Stockholm C, 2005-11-22.



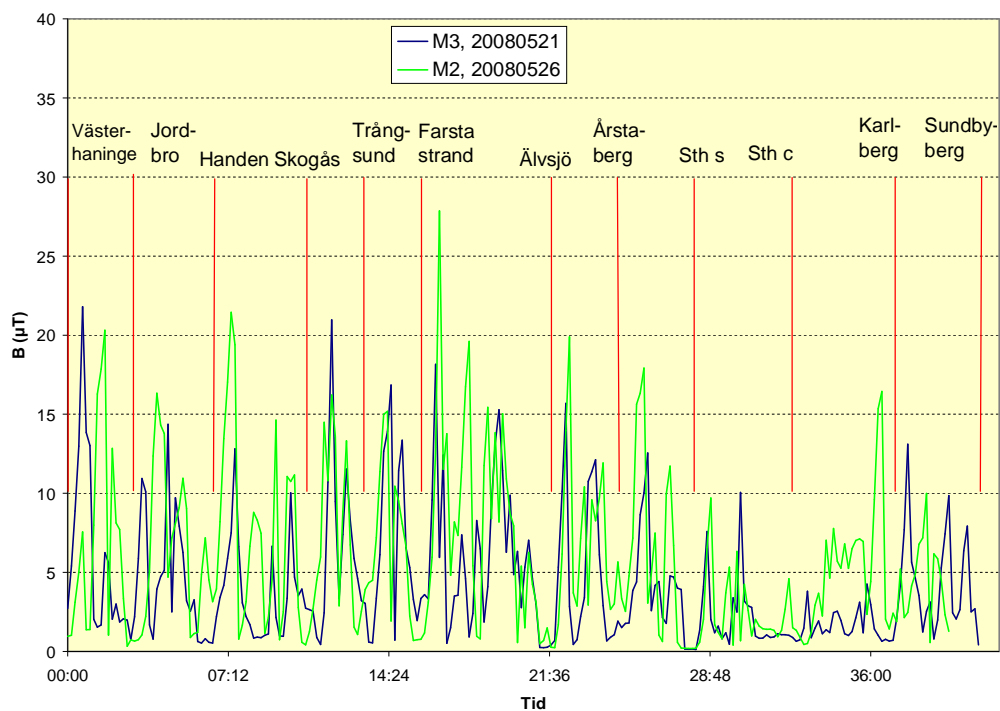
Figur 5.44: Magnetfält i olika sektioner av pendeltåg X60 mellan Sundbyberg och Västerhaninge, 2008-05-15 och 2008-05-26. (Vissa tidsförskjutningar kan förekomma mellan stationerna)



Figur 5.45: Magnetfält i olika sektioner av pendeltåg X60 mellan Sundbyberg och Västerhaninge, 2008-05-16 och 2008-05-21. Tidsaxel: se fig 5.44 (Vissa tidsförskjutningar kan förekomma mellan stationerna)



Figur 5.46: Magnetfält i olika sektioner av pendeltåg X60 mellan Västerhaninge och Sundbyberg, 2008-05-16 och 2008-05-20. Tidsaxel: se fig. 5.44 (Vissa tidsförskjutningar kan förekomma mellan stationerna)



Figur 5.47: Magnetfält i olika sektioner av pendeltåg X60 mellan Västerhaninge och Sundbyberg, 2008-05-21, och 2008-05-26. Tidsaxel: se fig. 5.44 (Vissa tidsförskjutningar kan förekomma mellan stationerna).

Frekvensfördelningen av några av dessa uppmätta magnetfält visas i tabell 5.14-5.19 och i form av diagram i figur 5.48 och 5.49 liksom i bilaga B3, lokaltåg. Grundtonen på 16,7 Hz är alltid starkast och utgör den övervägande andelen av det totala uppmätta magnetfältet. Näst starkast är för det mesta 50 Hz-signalen, som dock bara undantagsvis gick över 1 μT . Ibland kunde andra övertonen vara starkare, men den nådde då inte upp till 1 μT . Övertoner upp till 250 Hz är vanligt förekommande. Deras amplituder minskar snabbt med ökande frekvens och överstiger bara undantagsvis 0,1 μT . Mindre signaler med högre frekvenser, mellan ca 400 och 3500 Hz, kan också förekomma främst på vissa platser i M1-, M2- och M3-sektioner av tågen. Amplituden av dessa signaler är dock väldigt låg, överstiger sällan 0,03 μT och bidrar endast marginellt till den totala flödestätheten.

Tabell 5.14: Exempel på magnetfält B (μT) vid olika frekvenser f (Hz) på resan med pendeltåg X60 mellan Sundbyberg och Västerhaninge 2008-05-15 (i vagn A1) och 2008-05-16 (i vagn A2). Fälten vid övriga frekvenser f_0 är beräknade enligt ekvationen (4.4). (Medelvärde och toppvärde enligt tab. 5.13 och figur 5.44-5.45).

	Stillastående tåg				Mellan stationer, B_{tot} runt medelv.				Mellan stationer, B_{tot} runt toppv.			
Datum	0515	0515	0516	0516	0515	0515	0516	0516	0515	0515	0516	0516
Tid	15.16	15.39	14.55	15.11	15.26	15.09	14.48	15.10	15.35	15.31	15.04	15.23
$f \setminus \text{tot.}$	0,47	0,72	0,60	0,433	6,33	5,97	4,57	4,34	35,71	28,52	16,44	25,13
17	0,44	0,65	0,59	0,43	6,28	5,94	4,52	4,32	35,62	28,43	16,36	25,05
33		0,02	0,01		0,04	0,03	0,12	0,02	0,09	0,05	0,08	0,07
50	0,16	0,08	0,05	0,02	0,58	0,37	0,08	0,06	0,10	0,73	0,96	0,20
67					0,02		0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03
83	0,01	0,02	0,03		0,12	0,02	0,02	0,04	0,03	0,39	0,09	0,04
100									0,01			0,01
117					0,03	0,04	0,02	0,01	0,01	0,23	0,04	0,02
150	0,04	0,03	0,01		0,04	0,03			0,03	0,09	0,02	
183									0,14			
250										0,09		
f_0	0,05	0,29	0,07	0,05	0,52	0,47	0,70	0,43	2,55	2,10	1,27	1,95

Tabell 5.15: Exempel på magnetfält B (μT) vid olika frekvenser f (Hz) på resan med pendeltåg X60 mellan Sundbyberg och Västerhaninge 2008-05-19 (i vagn M4) och 2008-05-20 (i vagn A2). Fälten vid övriga frekvenser f_0 är beräknade enligt (4.4). (Medelvärde och toppvärde enligt tab. 5.13 och figur 5.46-5.47).

	Stillastående tåg				Mellan stationer, B_{tot} runt medelv.				Mellan stationer, B_{tot} runt toppv.			
Datum	0519	0519	0520	0520	0519	0519	0520	0520	0519	0519	0520	0520
Tid	15.26	15.37	15.26	15.42	15.22	15.41	15.28	15.46	15.35	15.43	15.39	15.34
$f \setminus \text{tot.}$	0,41	0,24	0,17	0,27	4,39	5,06	5,77	4,41	26,84	24,23	35,19	26,24
17	0,38	0,24	0,16	0,27	3,01	4,96	5,73	4,31	26,75	24,17	35,09	26,15
333	0,08		0,03	0,03	0,02	0,03	0,02	0,39	0,05	0,04	0,56	0,55
50	0,05	0,03	0,03	0,04	0,20	0,03	0,49	0,04	0,26	0,21	0,26	0,26
67						0,01		0,02			0,02	0,02
83	0,02				0,04	0,01	0,17	0,02	0,07	0,04	0,04	0,05
117					0,02				0,02	0,02	0,01	0,01
134						0,01						
150	0,01	0,01			0,02	0,01	0,01		0,02	0,02		
167									0,01			
183												0,12
217								0,10			0,12	
f_0	0,13	0,05	0,02	0,03	3,19	1,00	0,46	0,87	2,14	1,79	2,64	2,02

Tabell 5.16: Exempel på magnetfält B (μT) vid olika frekvenser f (Hz) på resan med pendeltåg X60 mellan Sundbyberg och Västerhaninge 2008-05-21 (i vagn M2) och 2008-05-26 (i vagn M4). Fälten vid övriga frekvenser f_0 är beräknade enligt ekvation (4.4). (Medelvärde och toppvärde enligt tab. 5.13 och figur 5.44-5.45).

	Stillastående tåg				Mellan stationer, B_{tot} runt medelv.				Mellan stationer, B_{tot} runt toppv.			
Datum	0521	0521	0526	0526	0521	0521	0526	0526	0521	0521	05226	0526
Tid	15.56	16.12	15.08	15.13	15.58	16.09	14.41	15.07	16.03	16.13	15.02	15.14
$f \setminus tot.$	0,65	0,18	0,45	0,23	4,69	5,63	4,83	5,18	26,82	23,18	21,51	27,69
17	0,63	0,17	0,44	0,22	4,66	5,60	3,97	5,17	26,74	23,11	21,46	27,62
33	0,03	0,03	0,02		0,04	0,17	0,03	0,02	0,70	0,70	0,04	0,05
50	0,05	0,02	0,10	0,06	0,04	0,05	0,06	0,09	0,19	0,11	0,15	0,18
67									0,01	0,01	0,01	
83			0,02			0,02		0,02	0,04	0,02	0,03	0,03
117											0,01	0,01
183									0,17	0,17		
200						0,05						
217	0,02											
284	0,02											
434	0,02											
660	0,03											
860	0,02											
930									0,02	0,02		
1070	0,02					0,02						
1340	0,02											
f_0	0,11	0,04	0,03	0,04	0,56	0,57	2,75	0,37	1,87	1,72	1,59	1,99

Tabell 5.17: Exempel på magnetfält B (μT) vid olika frekvenser f (Hz) på resan med pendeltåg X60 mellan Västerhaninge och Sundbyberg 2008-05-16 (i vagn M1) och 2008-05-19 (i vagn M2). Fälten vid övriga frekvenser f_0 är beräknade enligt ekvation (4.4). (Medelvärde och toppvärde enligt tab. 5.13 och figur 5.46-5.47).

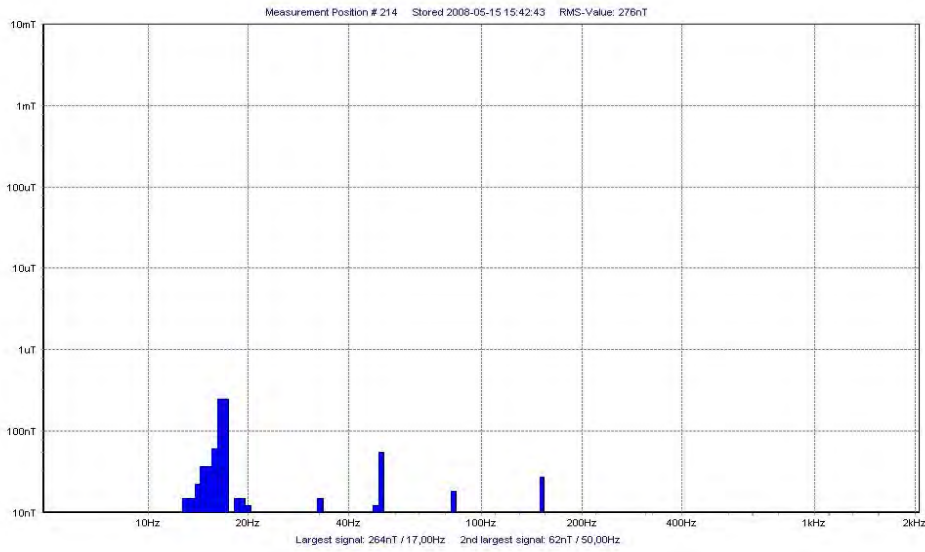
	Stillastående tåg				Mellan stationer, B_{tot} runt medelv.				Mellan stationer, B_{tot} runt maxv.			
Datum	0516	0516	0519	0519	0516	0516	0519	0519	0516	0516	0519	0519
Tid	06.50	07.08	06.41	07.01	07.05	07.17	06.53	07.02	07.11	07.14	06.42	06.49
$f \setminus tot.$	0,45	0,52	1,05	1,11	4,83	5,67	5,32	6,16	35,52	27,21	28,78	21,59
17	0,44	0,51	1,04	1,10	4,80	5,45	5,28	5,32	35,30	26,94	28,71	21,54
33				0,01	0,03	0,04	0,04	0,09	0,14	0,66	0,04	0,09
50	0,05	0,06	0,08	0,11	0,18	0,12	0,16	0,46	2,71	3,07	0,21	0,34
67							0,01	0,02		0,02	0,03	0,02
83	0,02	0,02	0,03	0,01	0,06		0,03	0,17	0,81	1,52	0,08	0,07
100									0,02		0,01	
117		0,01	0,01		0,03	0,01	0,03	0,09	0,23	0,53	0,05	0,10
130						0,02			0,01	0,10		
150	0,01	0,02			0,02	0,01		0,04	0,15		0,02	0,02
183								0,01	0,03	0,07		
217									0,03	0,02		
250									0,02	0,02		
284										0,02		
317										0,02		
420										0,01		
450										0,02		
900					0,01	0,01						
1800	0,01	0,01			0,01	0,01			0,01			
f_0	0,06	0,06	0,09	0,09	0,49	1,55	0,66	3,07	2,71	1,62	2,01	1,51

Tabell 5.18: Exempel på magnetfält B (μT) vid olika frekvenser f (Hz) på resan med pendeltåg X60 mellan Västerhaninge och Sundbyberg 2008-05-20 (i vagn M4) och 2008-05-21 (i vagn M3). Fälten vid övriga frekvenser f_0 är beräknade enligt ekvation (4.4). (Medelvärde och toppvärde enligt tab. 5.13 och figur 5.46-5.47).

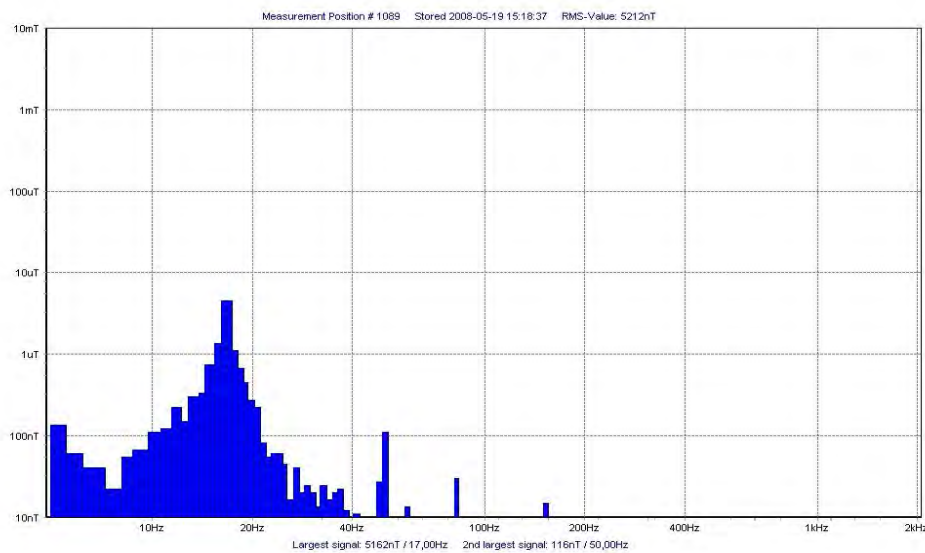
Datum	Stillastående tåg				Mellan stationer, B_{tot} runt medelv.				Mellan stationer, B_{tot} runt toppv.			
	0520	0520	0521	0521	0520	0520	0521	0521	0520	0520	0521	0521
Tid	06.44	07.01	07.08	07.24	06.52	07.03	07.13	07.22	06.35	06.56	07.03	07.14
$f \setminus tot.$	0,19	0,36	0,54	0,24	5,10	6,01	3,94	6,32	25,71	27,12	21,79	20,97
17	0,11	0,32	0,53	0,23	5,06	5,95	3,08	6,24	25,65	27,02	21,69	20,80
33				0,02	0,01	0,02		0,01	0,07	0,07	0,09	0,16
50	0,15	0,05	0,06	0,04	0,21	0,06		0,32	0,20	0,23	0,31	0,14
67						0,02		0,01	0,01	0,01		0,017
83			0,01	0,01	0,04	0,01		0,04	0,03	0,03	0,09	0,07
117			0,03		0,02			0,09	0,01		0,02	2,31
150			0,01					0,01	0,02	0,01	1,23	0,04
183									0,02		0,02	0,05
217											0,03	
580												0,07
740											0,11	
830												0,10
930			0,01	0,01							0,01	
1070											0,04	
1450												0,07
1550												0,04
1800											0,01	
2500											0,01	
2730											0,01	
3500											0,01	
f_0	0,04	0,02	0,05	0,04	0,59	0,82	2,46	0,95	1,86	2,35	1,67	1,32

Tabell 5.19: Exempel på magnetfält B (μT) vid olika frekvenser f (Hz) på resan med pendeltåg X60 mellan Västerhaninge och Sundbyberg 2008-05-26 (i vagn M2) och Västerhaninge och Stockholm s 2008-05-27 (i vagn M3). Fälten vid övriga frekvenser f_0 är beräknade enligt ekvation (4.4). (Medelvärde och toppvärde enligt tab. 5.13 och figur 5.46-5.47).

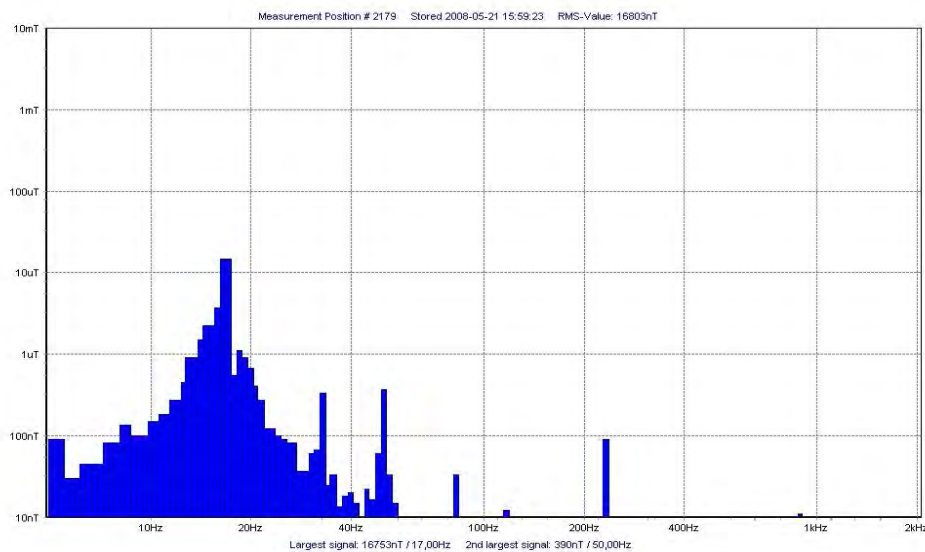
Datum	Stillastående tåg				Mellan stationer, B_{tot} runt medelv.				Mellan stationer, B_{tot} runt maxv.			
	0526	0526	0527	0527	0526	0526	0527	0527	0526	0526	0527	0527
Tid	06.45	07.02	06.50	07.08	06.55	07.04	06.55	07.08	06.42	06.51	06.59	07.04
$f \setminus tot.$	0,41	0,19	0,21	0,38	6,26	6,33	4,78	5,68	21,45	27,85	19,66	27,59
17	0,38	0,18	0,20	0,38	6,22	6,25	4,69	5,65	21,37	27,77	19,63	27,48
33	0,02	0,02			0,26	0,32	0,04	0,03	0,10	0,08	0,05	0,08
50	0,04	0,02	0,04	0,04	0,11	0,14	0,27	0,13	0,36	0,16	0,56	1,56
67					0,04	0,05			0,04	0,03	0,01	0,02
83	0,04		0,02	0,01	0,06	0,06	0,04	0,06	0,09	0,04	0,21	0,35
100					0,04	0,02		0,03	0,02	0,01		
117	0,01				0,02	0,01	0,04	0,02	0,04	0,03	0,11	0,23
134					0,01					0,01		
150								0,01	0,02	0,02	0,04	0,07
183												0,04
217												0,02
900											0,01	0,02
1800					0,01		0,01	0,01			0,01	0,01
f_0	0,14	0,06	0,05	0,05	0,07	0,91	0,86	0,57	1,74	2,05	0,94	1,94



a) 2008-05-15,
stillastående,
sektion A1.

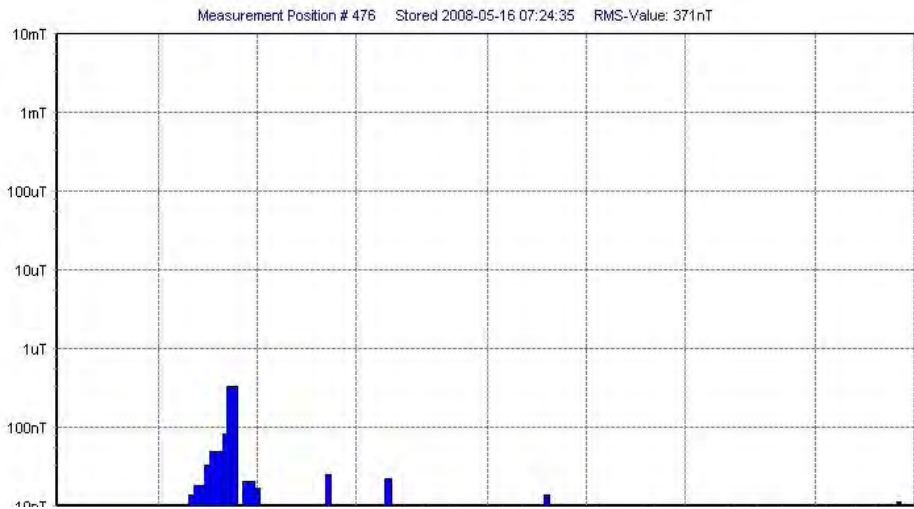


b) 2008-05-19,
mellan två
stationer,
sektion M4.

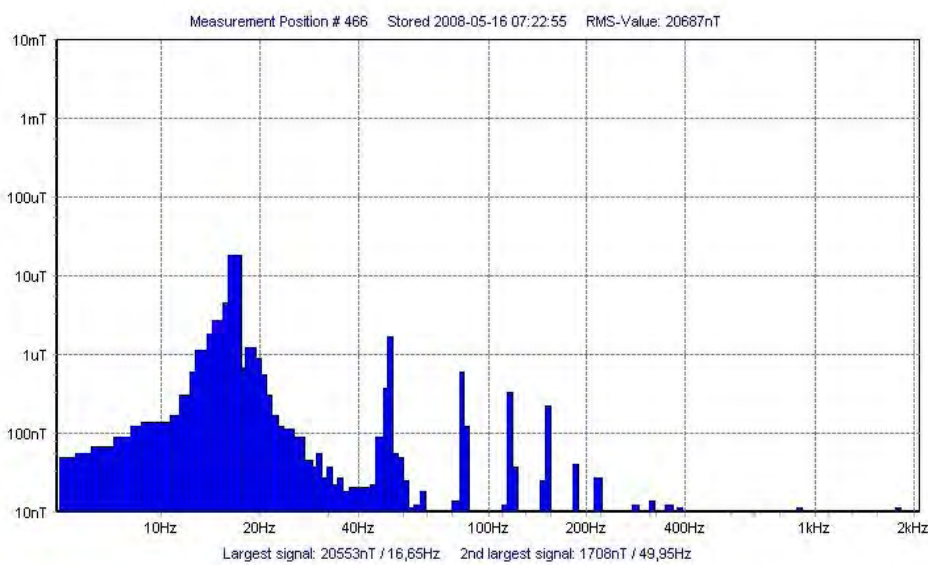


c) 2008-05-21,
mellan två
stationer,
sektion M2.

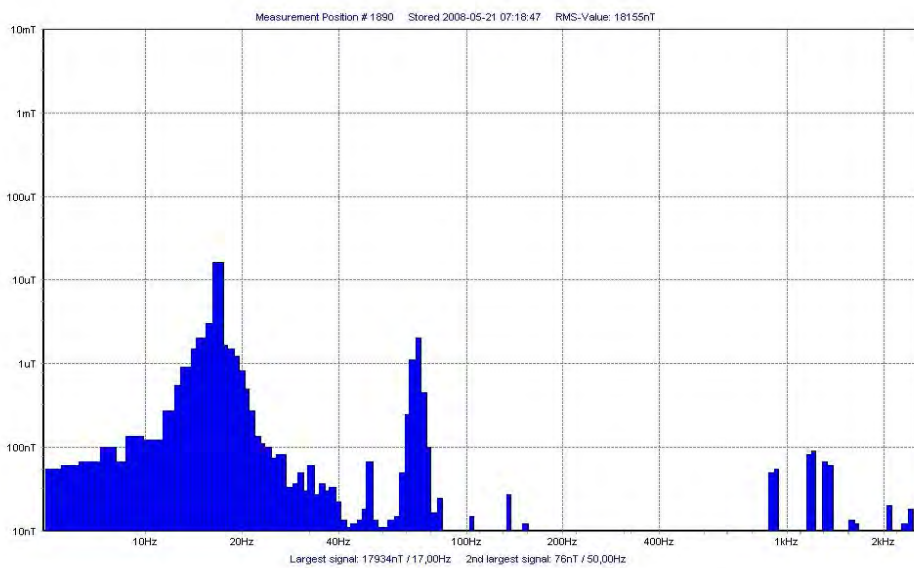
Figur 5.48a-c: Spektral fördelning av magnetfält i pendeltåg X60 vid resan Sundbyberg-Västerhaninge vid olika tillfällen.



a) 2008-05-16,
stillastående,
sektion M1.



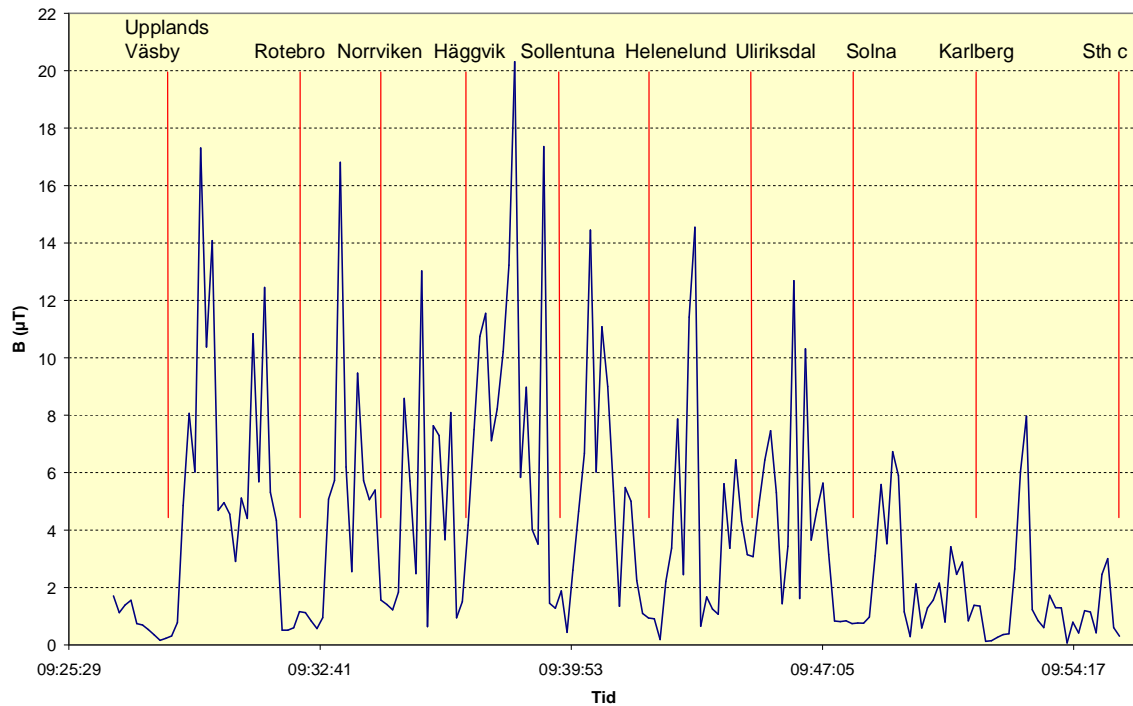
b) 2008-05-16,
mellan två
stationer,
sektion M1.



c) 2008-05-21,
mellan två,
stationer
sektion M3.

Figur 5.49a-c: Spektral fördelning av magnetfält i pendeltåg X60 vid resan Västerhaninge-Sundbyberg vid olika tillfällen.

I figur 5.50 visas magnetfältens tidsgraf från resan Upplands Väsby-Stockholm C från 2009. Tabell 5.20 och figur 5.51 ger exempel på frekvenser som kunde förekomma vid denna resa.

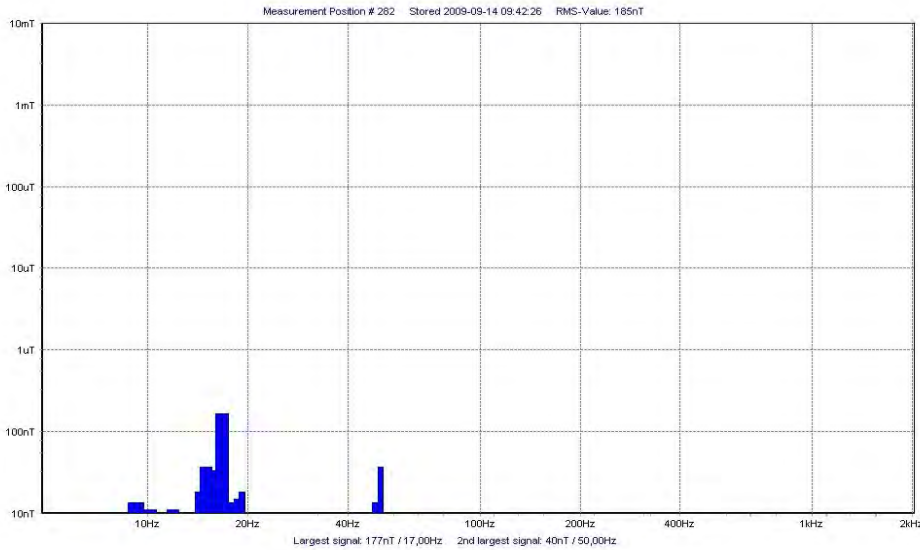


Figur 5.50: Magnetfält i pendeltåg X60 mellan Upplands Väsby och Stockholm C, 2009-09-14.

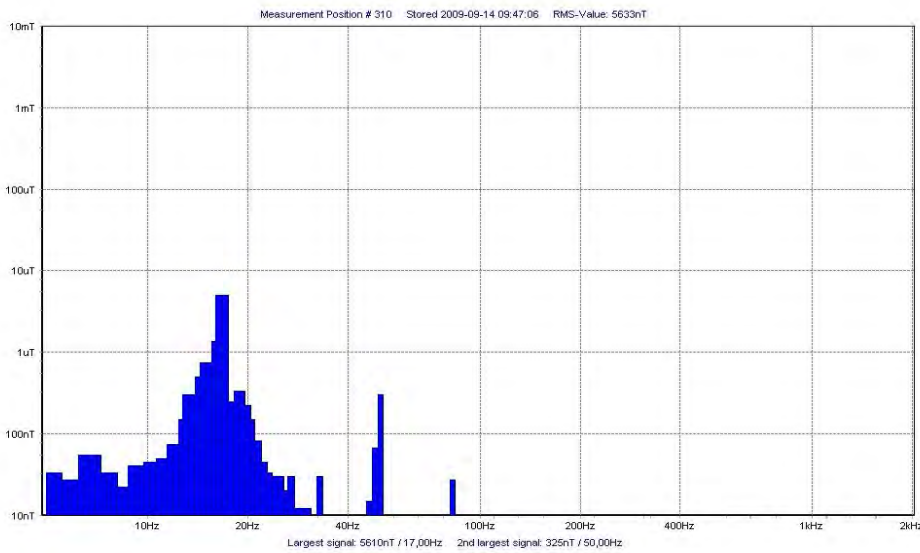
Tabell 5.20: Exempel på magnetfält B (μT) vid olika frekvenser f (Hz) på resan med pendeltåg X60 mellan Upplands Väsby och Stockholm C, 20090914. Fälten vid övriga frekvenser f_0 har beräknats enligt ekvation (4.4). (Medelvärde och toppvärde enligt tab. 5.13 och figur 5.50).

	Stillastående tåg		Mellan stationer, B_{tot} omkr. medelv.		Mellan stationer, B_{tot} omkr. toppv.	
	09.32	09.48	09.42	09.49	09.33	09.38
$f \setminus tot.$	0,51	0,74	5,00	5,58	16,81	20,31
17	0,50	0,62	4,99	5,51	16,76	20,25
33			0,02	0,03	0,07	0,07
50	0,09	0,41	0,09	0,80	0,34	0,14
67				0,01		0,01
83	0,04	0,01	0,02	0,02	0,10	0,03
117					0,02	0,01
150		0,01		0,01	0,01	
217						0,02
f_0	0,05	0,06	0,33	0,46	1,25	1,57

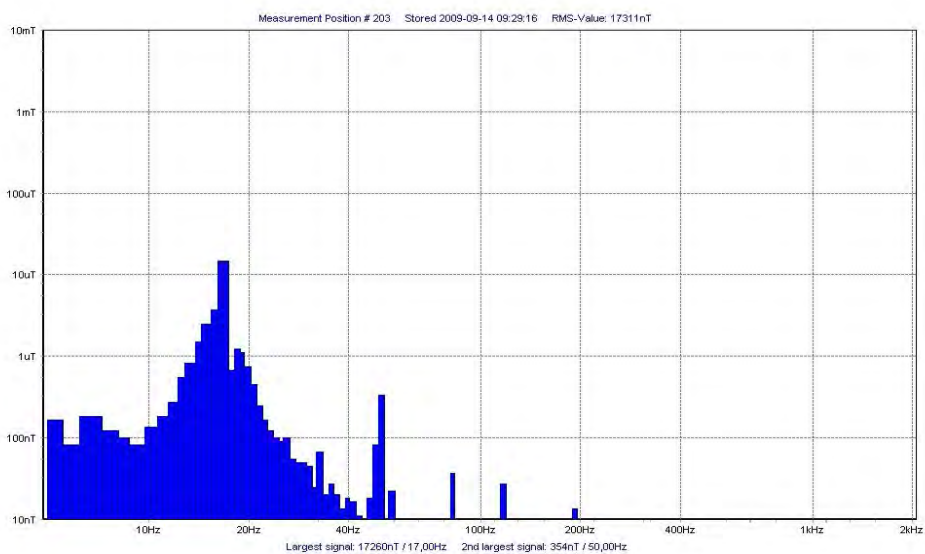
Magnetfälten vid denna resa är ungefär av samma storleksordning som vid tidigare mätningar i X60-tåg, men signaler med frekvenser högre än 217 Hz förkom inte den här gången.



a) Stillastående tåg.



b) Mellan två stationer.



c) Mellan två stationer.

Figur 5.51a-c: Spektral fördelning av magnetfält i pendeltåg X60 vid resan från Upplands Väsby till Stockholm C, 2009-09-14.

Pendeltåg X3, Arlandabana (Arlanda express)

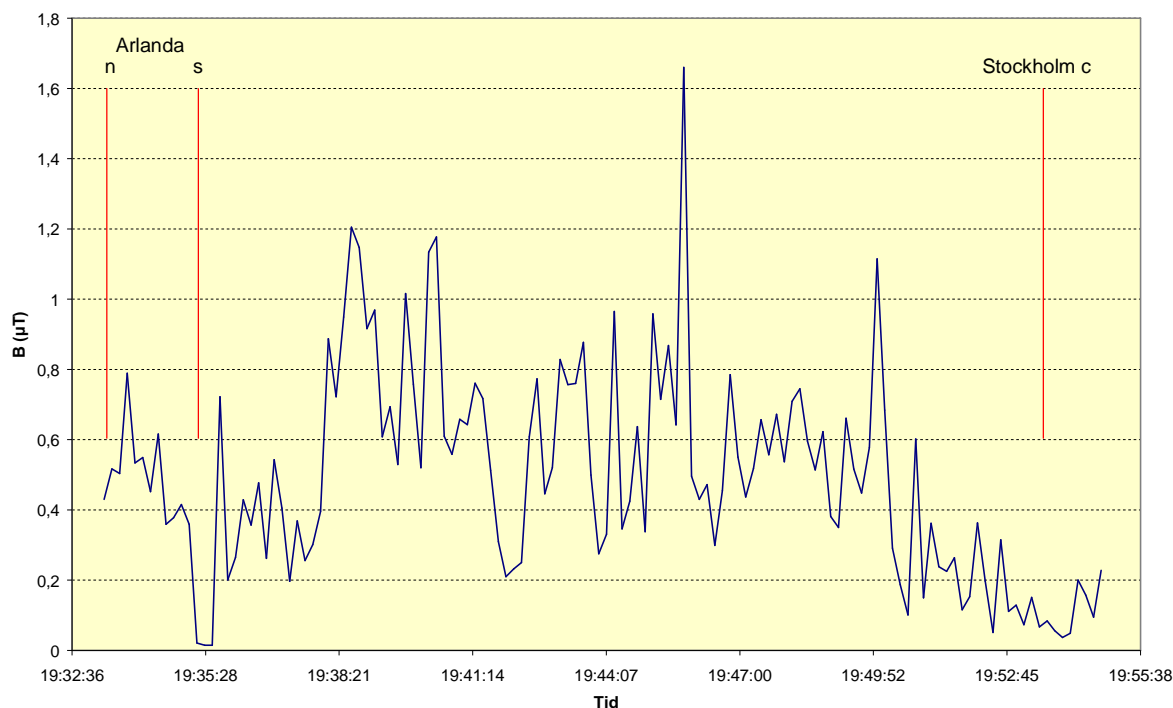
Mätningar på Arlandabanan, som trafikerar sträckan mellan Stockholm C och Arlanda flygplats, gjordes vid fyra tillfällen med instrumentet MFM3000. Tåget stannar bara en gång under resan vid Arlanda södra. En sammanställning av mätresultaten ges i tabell 5.21. Medelvärdet under de ca. 20 min långa resorna varierade mellan ca 0,5 och 2,7 μT . De största värdena låg mellan 1,2 och 9,0 μT vid de olika resorna. Mätningar gjordes i olika vagnar av tåget. Om resultaten gäller generellt för de olika vagnar eller bara återspeglar förhållanden vid de olika platserna vid mättillfället kan inte avgöras av denna begränsade studie.

Tabell 5.21: Magnetfält i Arlandatåg (samplingsperiod: 10 s vid mätning 41, 5 s vid mätning 42-44).

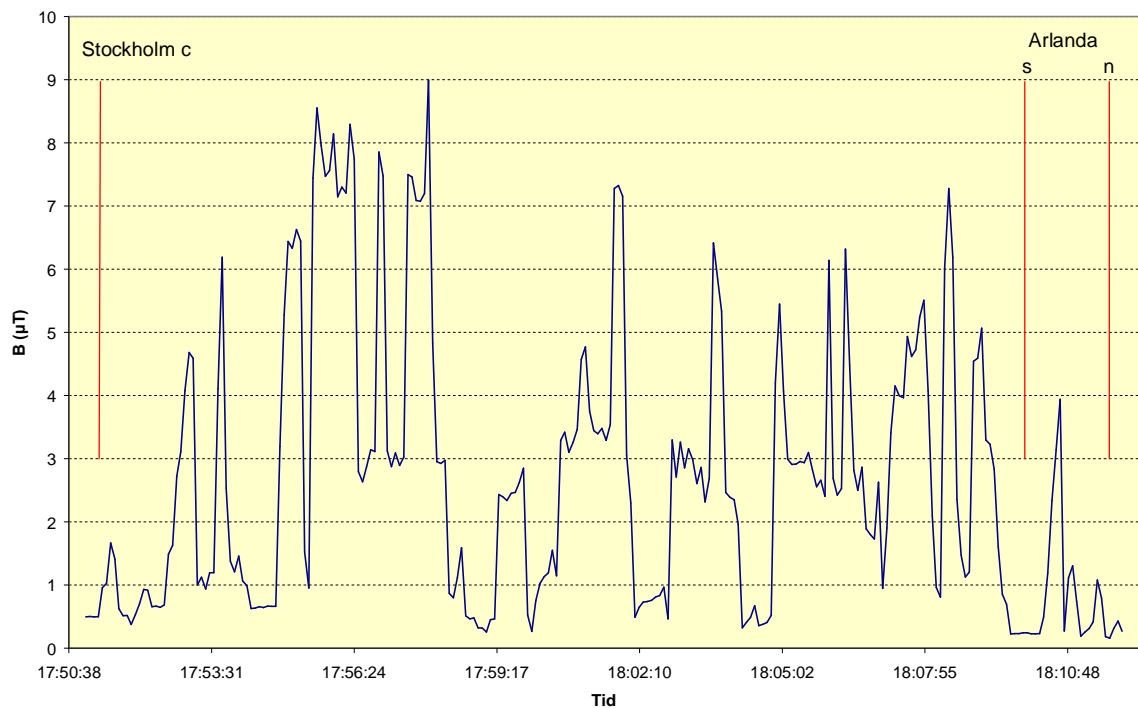
Nr	Datum Tid	Kör- sträcka	Vagn och plats	Magnetisk flödestäthet B (μT)				
				min	medel	median	90:e perc.	max
41	2008-01-15 19.33-19.55	Arlanda- Stockh.	1:a vagn	0,02	0,49	0,47	0,88	1,66
42	2009-03-17 17.51-18.12	Stockh.- Arlanda	2:a vagn 12F	0,16	2,73	2,46	6,44	9,00
43	2009-03-17 19.02-19.11 <i>a</i>	Stockh.- Arlanda	3:e vagn 7C	0,05	0,66	0,57	1,32	1,77
44	2009-03-17 19.20-19.41	Arlanda- Stockh.	4:e vagn 6F	0,03	0,54	0,60	0,87	1,19

a.: Instrumentet startades först ca 10 min efter avgången från Stockholm C

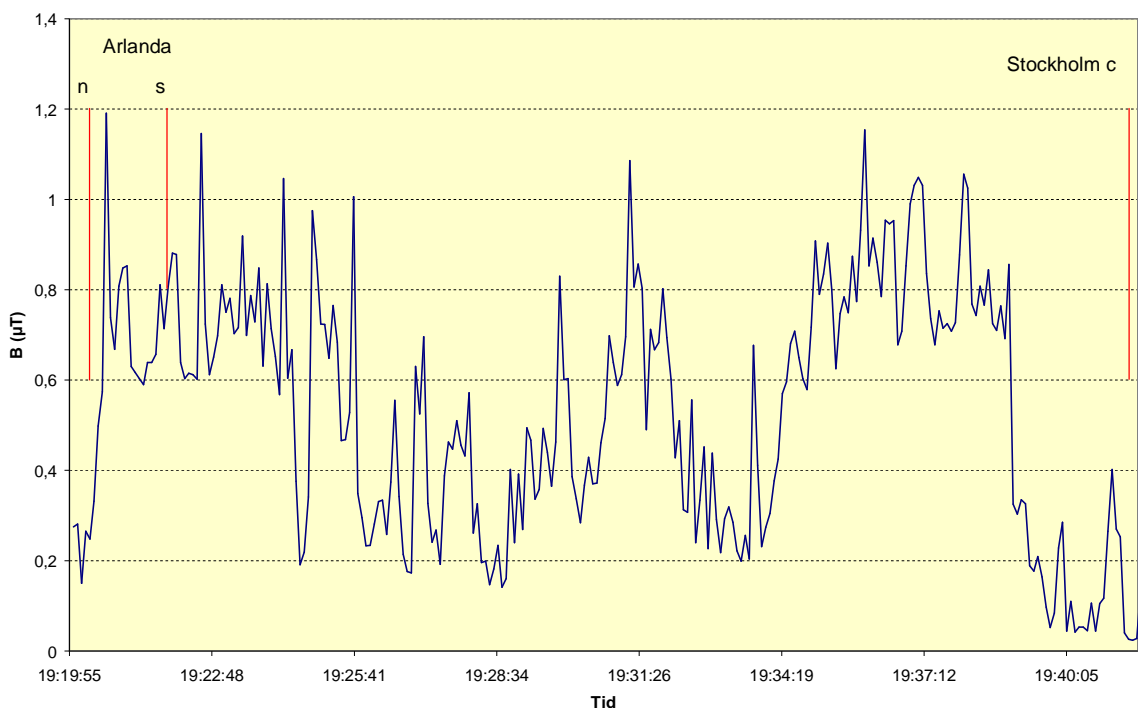
I figurerna 5.52-5.54 visas tidsdiagrammen för tre av de fyra resorna med Arlandatåget. Frekvensfördelningen av några slumpmässigt valda mätvärden återges i tabell 5.22 och figur 5.55 och 5.56. Ytterligare figurer av den spektrala fördelningen visas i bilaga B3, lokaltåg.



Figur 5.52: Magnetfält i Arlandatåg mellan Arlanda och Stockholm C, 2008-01-15.



Figur 5.53: Magnetfält i Arlandatåg mellan Stockholm C och Arlanda, 2009-03-17.



Figur 5.54: Magnetfält i Arlandatåg mellan Arlanda och Stockholm C, 2009-03-17.

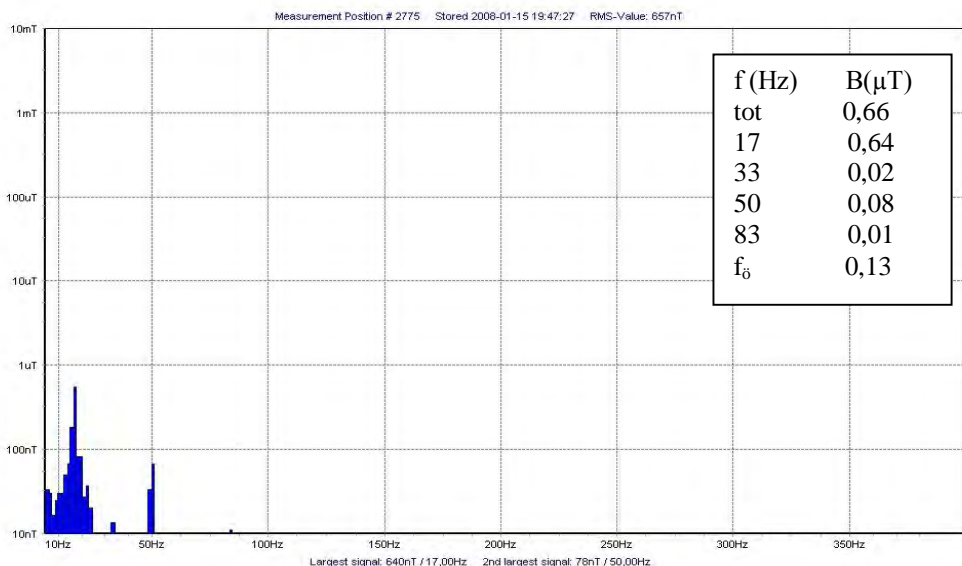
Grundtonen på 16,7 Hz utgör för det mesta den starkaste signalen, undantagsvis är 50 Hz-signalen starkare, vilket kan bero på att tåget passerade en kraftledning. Övertoner till 16,7 Hz med tydligt lägre amplitud är vanligt förekommande, upp till den sjunde övertonen på 117 Hz. Men även svaga signaler med en grundton på 816 Hz och dess tredje överton på omkring 2450 Hz ingår i magnetfältens spektrum. Signalen på 816 Hz kan ibland ha den näst största

amplituden av alla spektrala bidrag, men överstiger inte omkring 0,07 μT . En svagare signal på högst 0,02 μT finns också vid ca. 3700 Hz.

Tabell 5.22: Exempel på magnetfält B (μT) vid olika frekvenser f (Hz) på resan med Arlanda-tåg mellan Arlanda och Stockholm 2008-01-15 och 2009-03-17. Fälten vid övriga frekvenser f_0 enl. ekvation (4.4). Min- och medelvärde enl. tab. 5.21, toppvärde enl. fig. 5.52-5.54 .

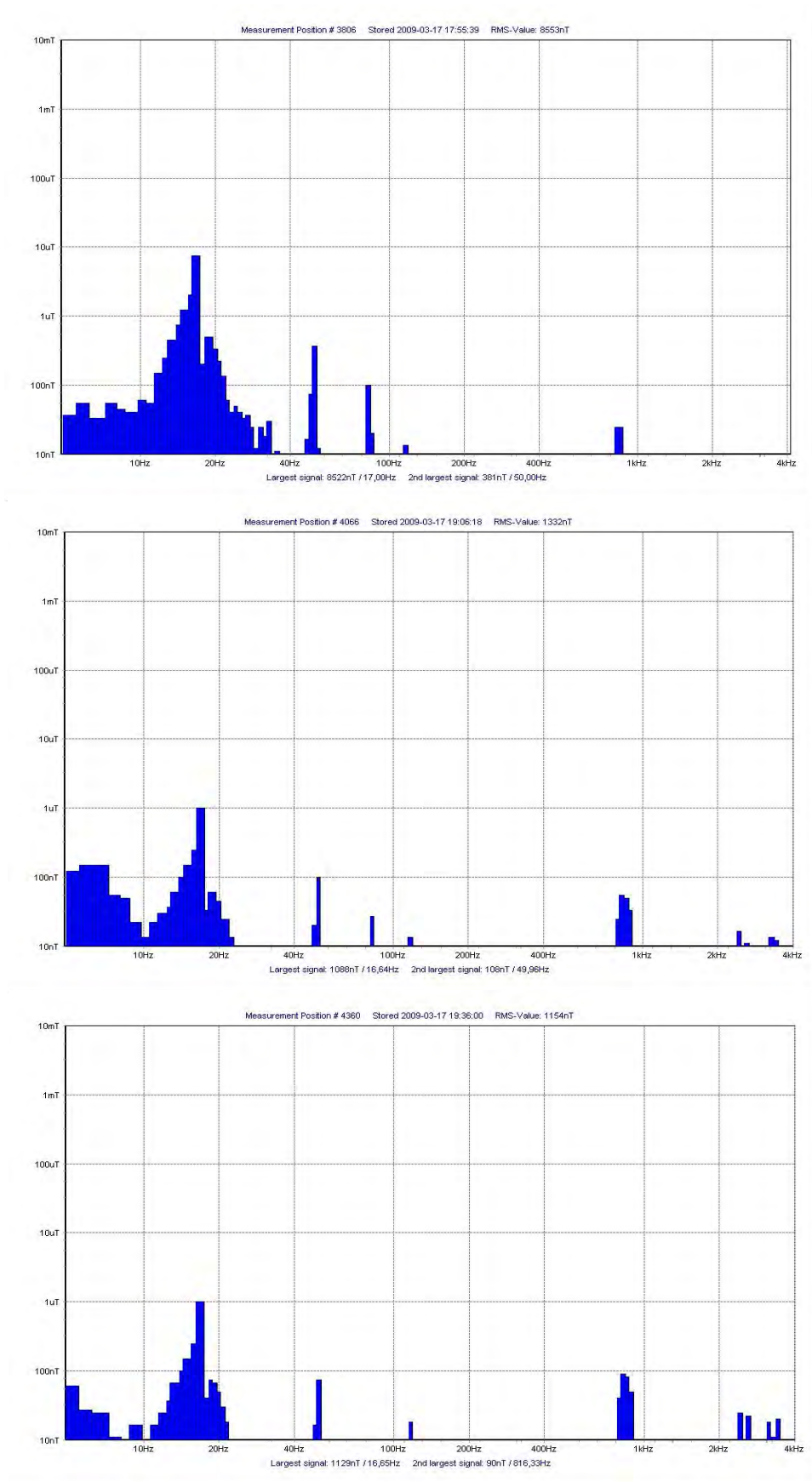
	B_{tot} omkring minvärde				B_{tot} omkring medelvärdet				B_{tot} omkring maxvärdet			
Datum	0115	0317	0317	0317	0115	0317	0317	0317	0115	0317	0317	0317
Tid	19.42	18.04	19.04	19.25	19.37	18.07	19.07	19.27	19.40	17.58	19.08	19.23
$f \setminus \text{tot.}$	0,21	0,32	0,29	0,19	0,54	2,86	0,65	0,70	1,18	9,00	1,35	1,15
17	0,18	0,20	0,17	0,08	0,29	2,85	0,58	0,21	1,05	8,97	1,34	0,58
33		0,01				0,03			0,01	0,04		
50	0,07	0,08	0,08	0,14	0,13	0,17	0,09	0,08	0,08	0,33	0,07	0,04
67										0,01		
83	0,04	0,04	0,02	0,05	0,04	0,04	0,01	0,02	0,02	0,09		0,01
117						0,02			0,02	0,01		
816						0,07	0,07	0,04			0,06	0,07
2000								0,01				
2450						0,01	0,01				0,02	0,01
2600							0,01				0,02	0,01
3700							0,01				0,02	0,01
f_0	0,09	0,24	0,22	0,09	0,44	0,26	0,27	0,66	0,52	0,66	0,18	0,99

Vid resan 2008 var frekvenszoomen på instrumentet inställd på 5-400 Hz. Frekvenser över 400 Hz syns därför inte i frekvensspektret, men de inkluderas i den totala flödestätheten då mätområdet var 5 Hz-400 kHz. I figur 5.55 (resa 41 från 2008) är skillnaden mellan B_{tot} och flödestätheten vid 17 Hz ganska liten och flödestätheten för de övriga frekvenser f_0 är inte heller särskilt stor. Därför kan man anta att signaler över 400 Hz borde i detta fall vara obetydliga. I femte kolumnen i tabell 5.22 är förhållanden inte så klara. Här kan det inte uteslutas att det finns svaga signaler över 400 Hz.



Figur 5.55: Spektral fördelning av magnetfält i Arlandatåget mellan Arlanda och Stockholm, 2008-01-15.

I figur 5.56a-c visar några exempel på frekvensfördelningen från resan 2009-03-17 där svaga signaler vid högre frekvenser mellan ca 800 och 3700 Hz kan ses.



a) $B_{tot}=8,55 \mu T$
 $B_{16,7}=8,52 \mu T$

b) $B_{tot}=1,33 \mu T$
 $B_{16,7}=1,09 \mu T$

c) $B_{tot}=1,15 \mu T$
 $B_{16,7}=1,13 \mu T$

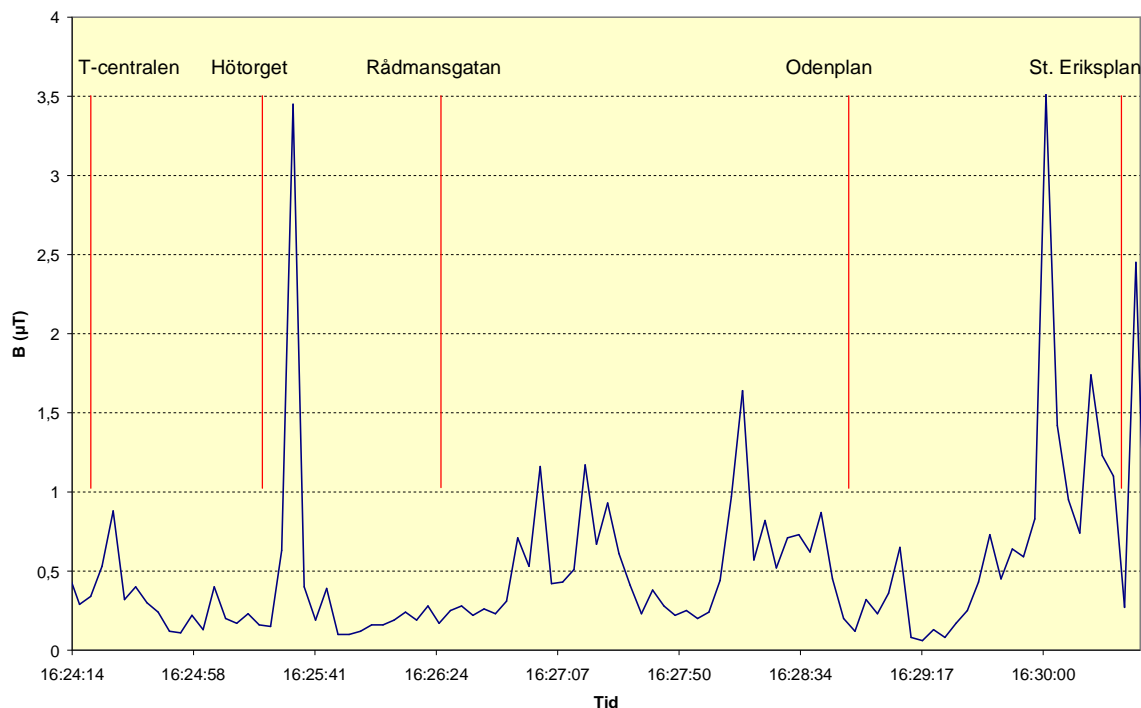
Figur 5.56a-c: Spektral fördelning av magnetfält i Arlandatåget mellan Stockholm och Arlanda, 2009-03-17, vid olika tidpunkter.

5.3 Tunnelbana

Mätningar av magnetfält i Stockholms tunnelbana gjordes vid olika tillfällen under åren 1995 till 2009. De första mätningarna under andra hälften av 90-talet gjordes med det specialtillverkade, bredbandiga Emdex-instrumentet. Från 2002 till 2005 gjordes bredbandiga mätningar med Combinova MFM10 och från 2008 användes Combinova MFM3000, som ger både bredbandiga och spektrala mätresultat. Statiska magnetfält mättes inte.

En sammanfattning av resultaten ges i tabell 5.24. Under de första åren gjordes inga anteckningar om vagn typer. Uppgifterna i tabellen härrör från information i [5], [8], [9] och [11]-[13] om vilka vagn typer som gick på olika linjer. I de äldre tunnelbanevagnarna varierade magnetfältens medelvärden mellan ca 0,2 och 1,3 μT . I de nyare C20-vagnarna varierade medelvärdena mellan ca 0,5 och 2,1 μT . Maxvärden kunde gå upp vid enstaka tillfällen mot ungefär 12 μT i de äldre och mot 17 μT i de nya tågen.

I figurerna 5.57-5.59 visas tidsdiagram för några av de tidigaste mätningarna med Emdex-instrumentet. Ytterligare tidsdiagram finns i bilaga B4, tunnelbana. Man ser tydligt att magnetfälten ökar när tågen drar på eller bromsar in mellan uppehållen vid stationerna.



Figur 5.57: Magnetfält i tunnelbanetåg av C14 eller C15 typ mellan T-centralen och St. Eriksplan, 1995-02-23.

I figur 5.60-5.63 visas tidsdiagram för mätningar gjorda med MFM10-instrumentet. Ytterligare diagram finns i bilaga B4, tunnelbana. MFM10-instrumentet lämnar uppgiften vilken frekvens som var dominerande under mätperioden (30 mätningar per 180 s). I 16 av 18 mätperioder i C6-vagnar kunde inte någon dominerande frekvens hittas. För 2 mätperioder angavs den dominerande frekvensen som mindre än 10 Hz. I C20-vagnarna gjordes mätningar under sammanlagd 23 mätperioder. För 10 perioder kunde inte hittas någon dominerande frekvens, för 11 perioder angavs mindre än 10 Hz och för 2 perioder 300 Hz.

Tabell 5.24: Sammanställning av resultat för mätningar i tunnelbanan 1995- 2009. (Om vagnlittera, bestående av fyra siffror, antecknats, är det angivet i tabellen).

Nr.	Datum	Tid	Vagntyp, ev. vagnlitt.	Sträcka	Flödestäthet B (μT)					Mätin- strum.	Samplings- period (s)
					min	medel	median	90. perc.	max		
1	19950223	16.24-16.30	C14, C15?	T-centralen–St Eriksplan	0,06	0,52	0,34	0,96	3,52	Emdex	4
2	19961027	21.49-22.01	C4, C6?	Bergshamra–T-centralen	0,03	0,22	0,17	0,41	1,44	Emdex	4
3	19961103	14.02-14.13	C4, C6?	T-centralen–Bergshamra	0,02	0,52	0,19	1,27	5,78	Emdex	4
4	19961215	08.23-08.34	C4, C6?	T-centralen–Bergshamra	0,04	0,68	0,38	1,37	6,25	Emdex	4
5	19970205	06.35-06.47	C4, C6?	T-centralen–Bergshamra	0,07	0,71	0,56	1,26	2,59	Emdex	4
6	19970208	16.17-16.23	C4, C6?	T-centralen–Gärdet	0,09	0,51	0,31	1,15	2,40	Emdex	4
16	20021106	21.12-21.23	C20	T-centralen–Bergshamra	0,04	1,02	0,57	2,22	5,37	MFM10	9
17	20051007	09.27-09.35	C20	Bergshamra–Stadion	0,04	0,63	0,34	1,25	8,73	MFM10	6
7	20051007	18.59-19.11	C6	T-centralen–Bergshamra	0,06	0,47	0,36	0,93	1,93	MFM10	6
18	20051008	11.52-12.05	C20	Bergshamra–Gamla stan	0,05	0,92	0,64	2,10	5,78	MFM10	6
19	20051008	13.31-13.51	C20	T-centralen–Tensta	0,04	1,08	0,78	2,41	5,75	MFM10	6
8	20051010	15.36-15.57	C6, 2736	Bergshamra–Zinkens damm	0,07	0,63	0,32	1,45	3,42	MFM10	6
9	20051010	16.49-16.55	C6	Slussen–T-centralen	0,15	0,49	0,44	0,78	1,42	MFM10	6
20	20051122	15.16-15.19	C20	Odenplan–T-centralen	0,09	0,82	0,38	1,62	4,35	MFM10	6
10	20051122	19.41-19.50	C9, C14, C15?	T-centralen–Vreten	0,10	0,33	0,60	1,95	3,95	MFM10	6
21	20080105	19.12-19.23	C20	T-centralen–Bergshamra	0,05	1,05	0,81	2,36	5,31	MFM3000 a	10 och 2
22	20080106	12.21-12.50	C20	Universitetet–Fruängen	0,06	1,18	0,76	2,84	13,49	MFM3000 a	2
23	20080106	12.54-13.14	C20	Fruängen–T-centr.	0,06	1,03	0,70	2,32	5,92	MFM3000 a	5
24	20080106	13.21-13.32	C20	T-centralen–Alvik	0,10	1,29	0,95	2,82	7,90	MFM3000 a	5
25	20080114	14.55-15.09	C20	Vreten–T-centralen	0,07	1,78	1,06	3,98	12,81	MFM3000 a	2
26	20080114	15.14-15.19	C20	T-centralen–Gärdet	0,18	1,57	1,36	2,94	5,84	MFM3000 a	2
27	20080115	20.03-20.14	C20	T-centralen–Bergshamra	0,33	2,04	0,99	5,72	11,15	MFM3000 a	10
11	20090317	08.29-08.40	C6, 2725	Bergshamra–T-centralen	0,08	0,63	0,61	1,15	2,00	MFM3000 b	5
28	20090317	19.54-20.10	C20, 2213A	T-centralen–Mörby centrum	0,07	1,43	0,81	3,09	11,54	MFM3000 b	2 och 5
29	20090317	20.17-20.22	C20	Mörby centr.–Tekniska högsk.	0,10	0,82	0,62	1,19	9,86	MFM3000 b	5
30	20090322	13.21-13.31	C20	Bergshamra–T-centralen	0,08	1,12	0,76	2,71	4,72	MFM3000 b	10
31	20090327	16.43-16.54	C20	T-centralen–Bergshamra	0,13	0,50	0,36	0,89	3,41	MFM3000 b	10
32	20090915	11.56-12.14	C20	T-centr–Vreten via Odenplan	0,15	2,09	1,89	4,41	9,00	MFM3000 b	10
33	20091124	13.39-14.01	C20	Hjulsta–T-centralen	0,03	0,91	0,58	1,65	6,57	MFM3000 b	5
12	20091124	14.25-14.36	C6, 2685	T-centralen–Liljeholmen	0,07	1,30	0,65	3,14	11,62	MFM3000 b	5

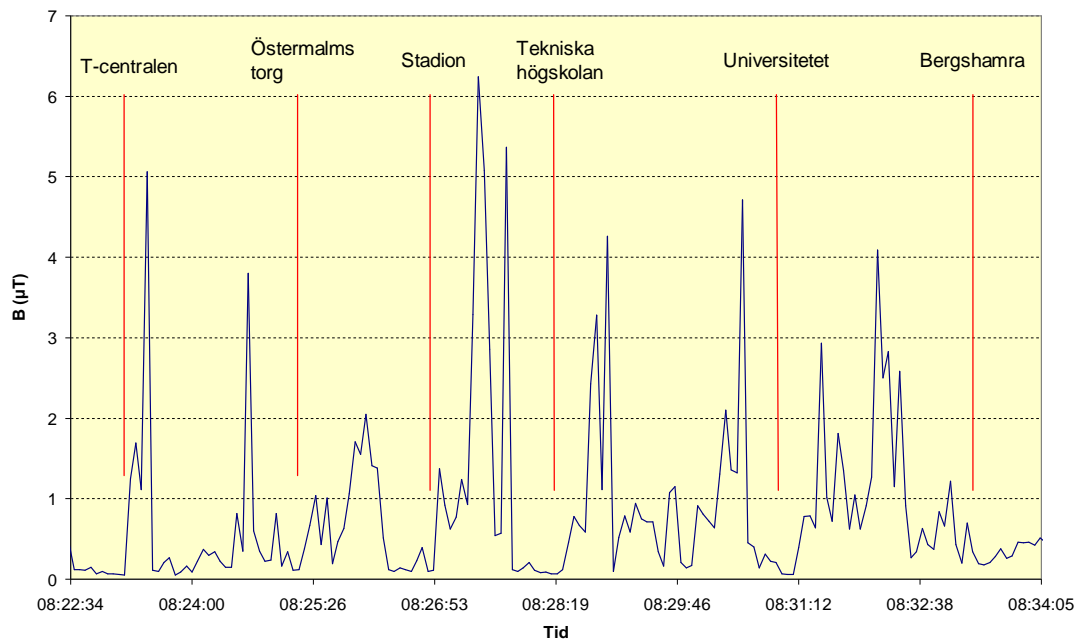
13	20091124	14.57-15.24	C6, 2773	Liljeholmen–Mörby centrum	0,09	0,60	0,37	1,35	7,48	MFM3000 <i>b</i>	5
14	20091124	15.26-15.54	C6, 2679	Mörby centrum–Telefonplan	0,06	0,88	0,35	2,48	6,73	MFM3000 <i>b</i>	5
34	20091124	16.11-16.23	C20	Midsommarkransen–T-central.	0,09	1,36	0,76	3,14	17,15	MFM3000 <i>b</i>	5
35	20091124	16.28-17.02	C20	T-centralen–Hässelby strand	0,03	1,50	0,91	3,45	15,51	MFM3000 <i>b</i>	5
36	20091124	17.07-17.39	C20	Hässelby strand–T-centralen	0,07	1,38	0,95	3,01	11,19	MFM3000 <i>b</i>	5
15	20091124	17.41-17.52	C6, 2781	T-centralen–Bergshamra	0,15	1,20	0,61	2,93	7,76	MFM3000 <i>b</i>	5

?: går inte att klarlägga i vilka av dessa två eller tre vagntyper mätningarna gjordes,

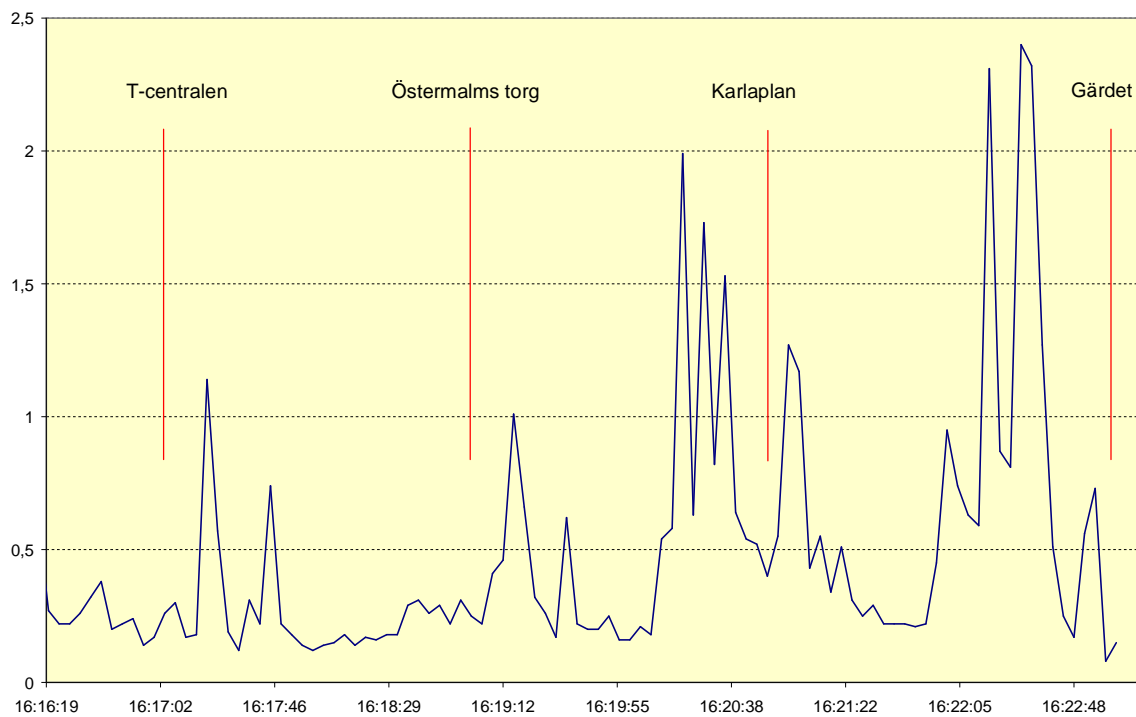
a: frekvenszoom 5–400 Hz,

b: frekvenszoom 5 Hz–400 kHz

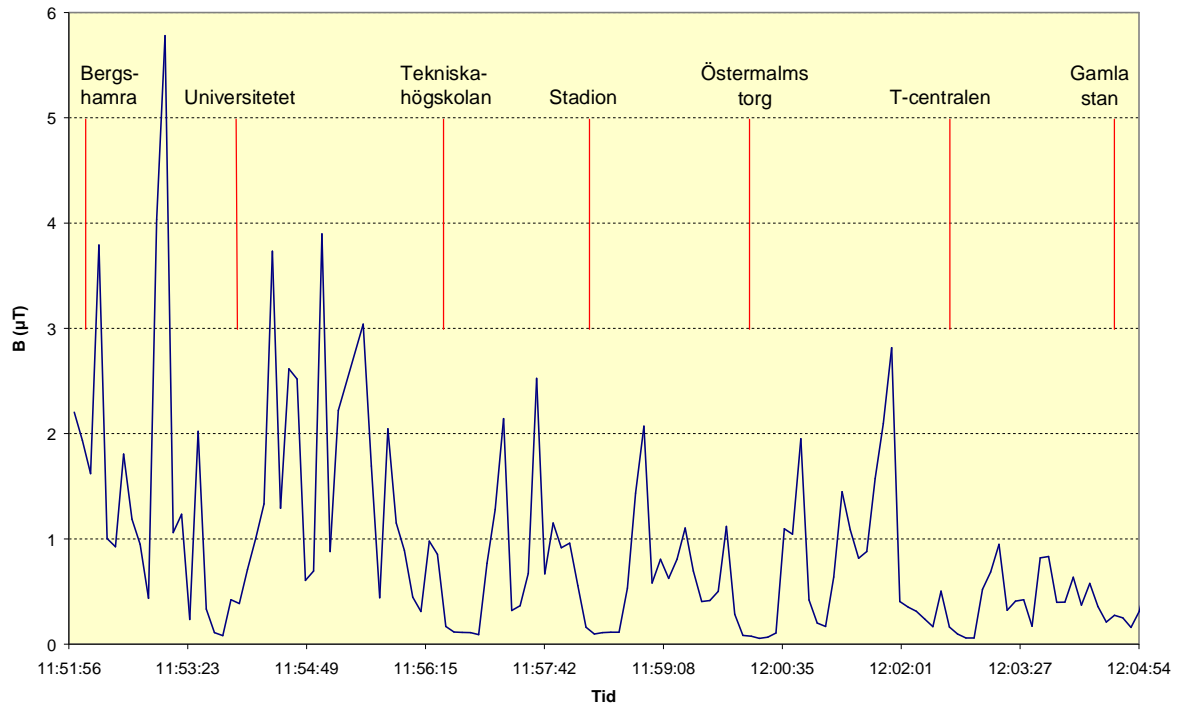
MMF3000: Mätområdet alltid 5 Hz-400 kHz



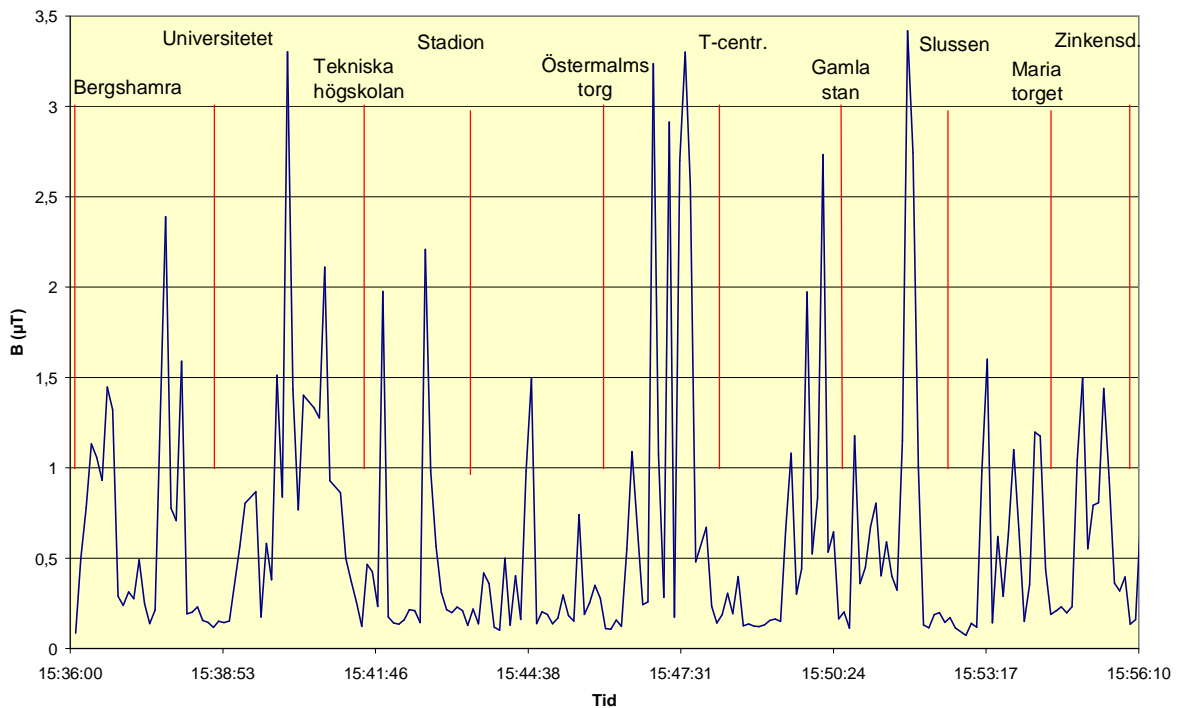
Figur 5.58: Magnetfält i tunnelbanetåg av C4 eller C6 typ mellan T-centralen och Bergshamra, 1996-12-15.



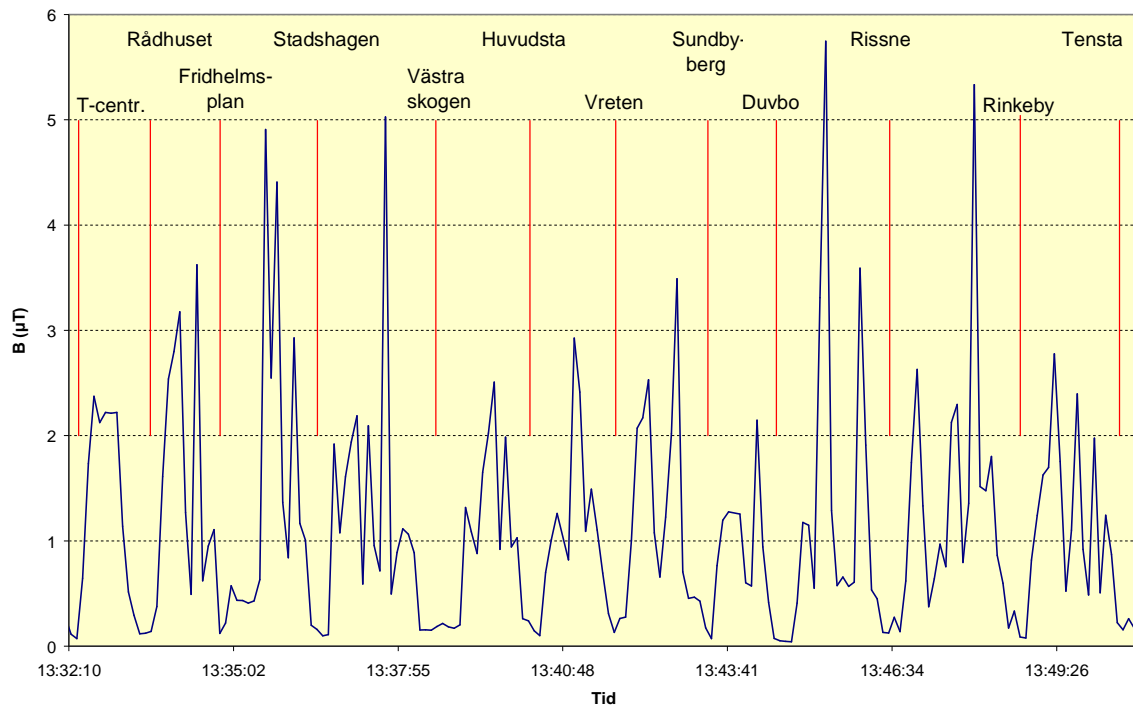
Figur 5.59: Magnetfält i tunnelbanetåg av C4 eller C6 typ mellan T-centralen och Gärdet, 1997-02-08.



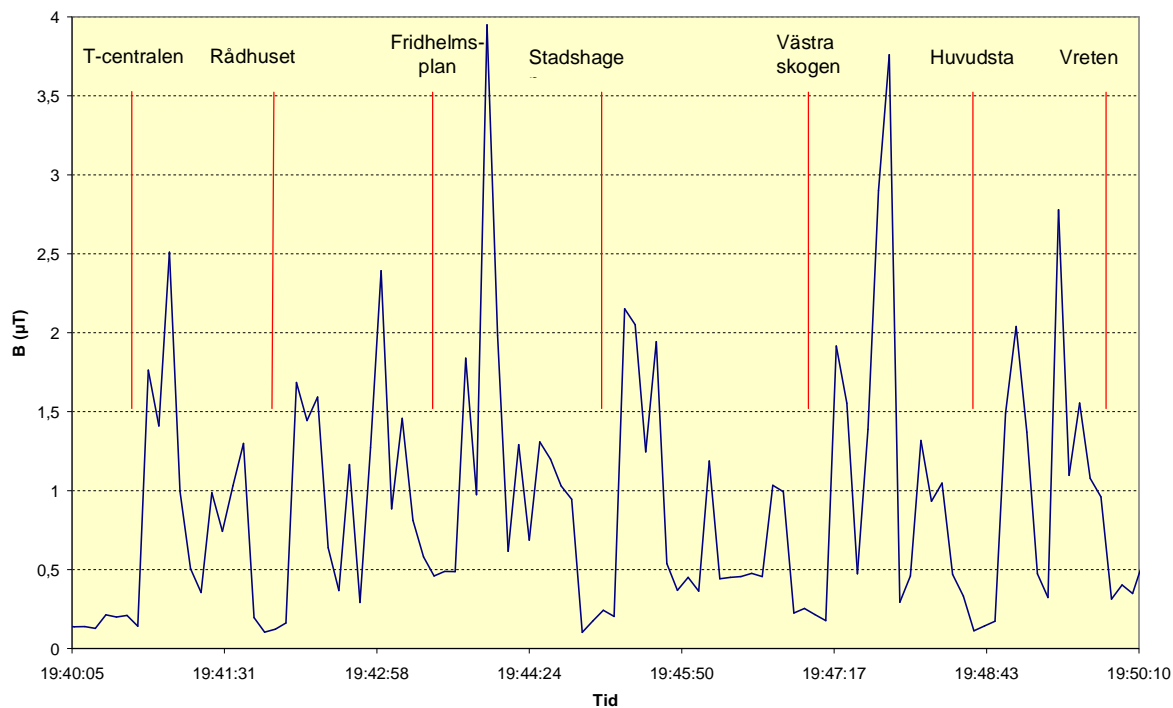
Figur 5.60: Magnetfält i tunnelbanetåg av C20 typ mellan Bergshamra och Gamla stan, 2005-10-08.



Figur 5.61: Magnetfält i tunnelbanetåg av C6 typ mellan Bergshamra och Zinkensdamm, 2005-10-10.



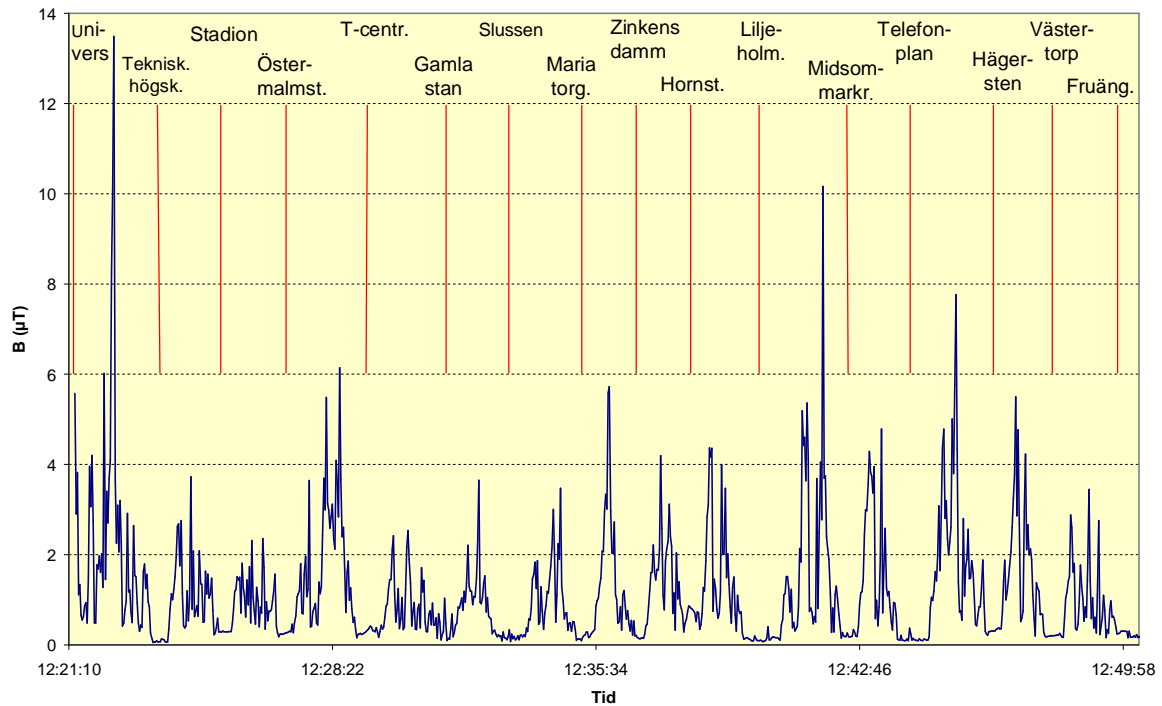
Figur 5.62: Magnetfält i tunnelbanetåg av C20 typ mellan T-centralen och Tensta, 2005-10-08.



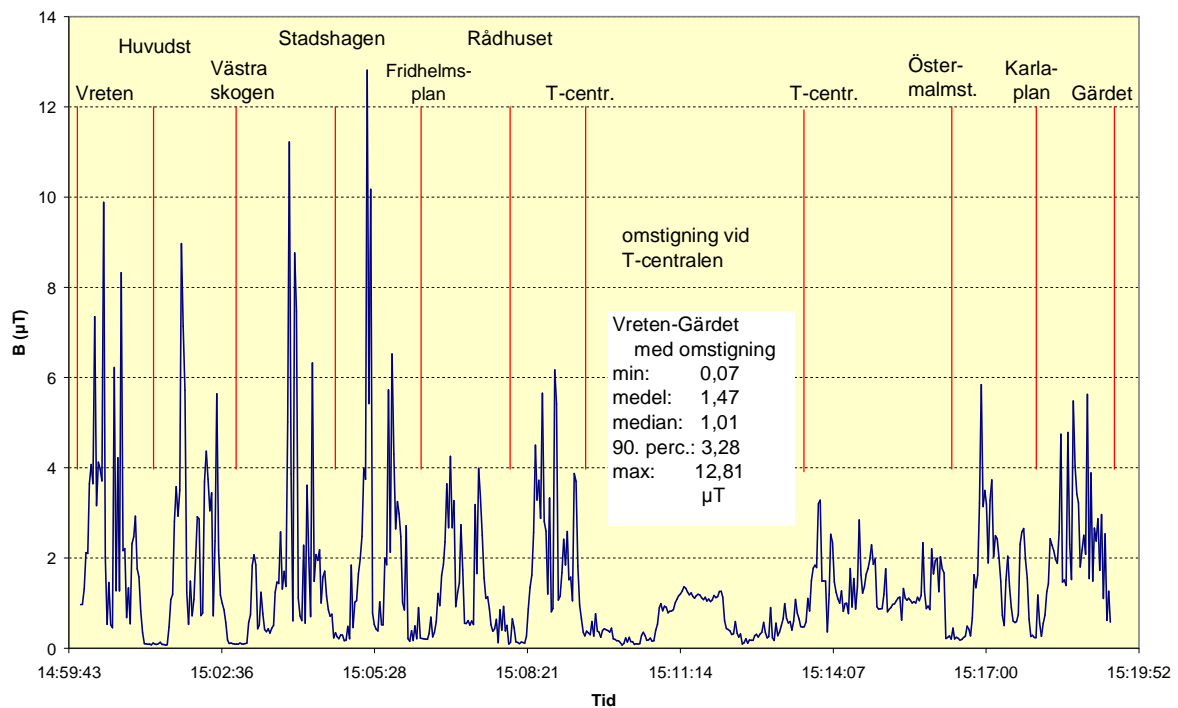
Figur 5.63: Magnetfält i tunnelbanetåg av C9-, C14- eller C15-typ mellan T-centralen och Vreten, 2005-11-22.

I figur 5.64 och 5.65 visas tidsdiagram för mätningar i C20-tåg med MFM3000 och samplingsperioden 2s. MFM3000-instrumentet ger upplysning om magnetfältens frekvenser,

men vid samplingsperioden på 2s återges frekvensuppgifter inte korrekt. För dessa mätningar tas därför inte hänsyn till frekvensangivelser, utan bara till värdet på den totala fältstyrkan.

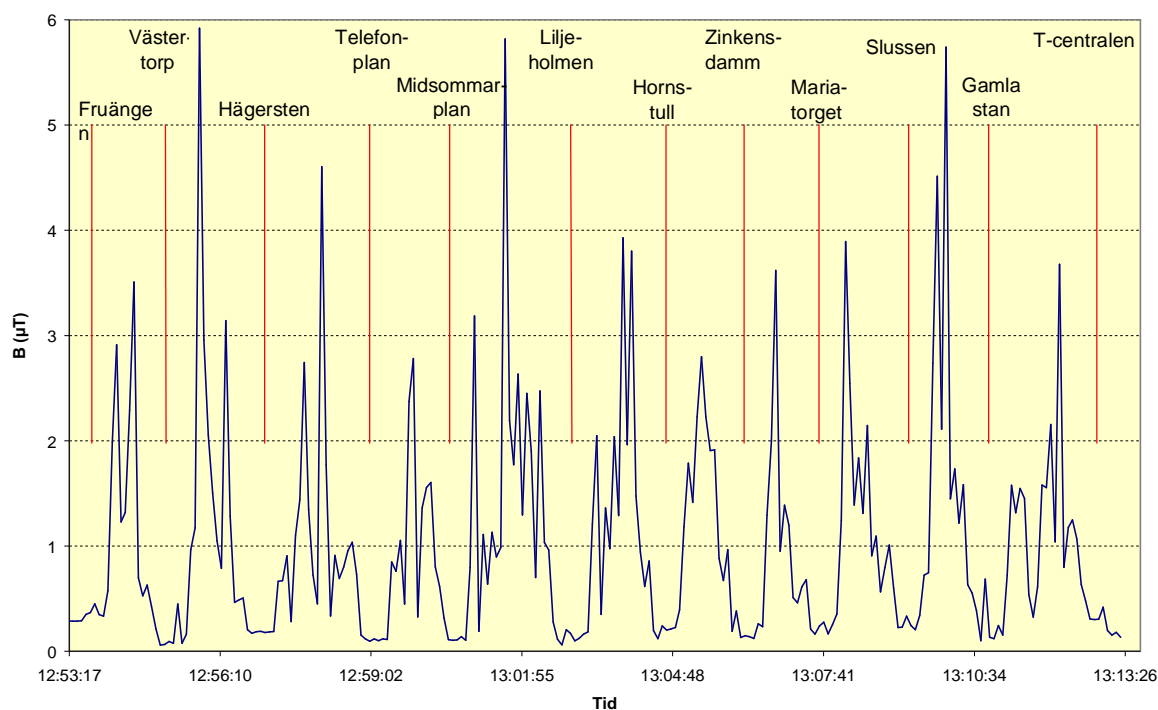


Figur 5.64: Magnetfält i tunnelbanetåg av C20-typ mellan Universitetet och Fruängen, 2008-01-06, mätt med MFM3000-instrument och 2s samplingsperiod.

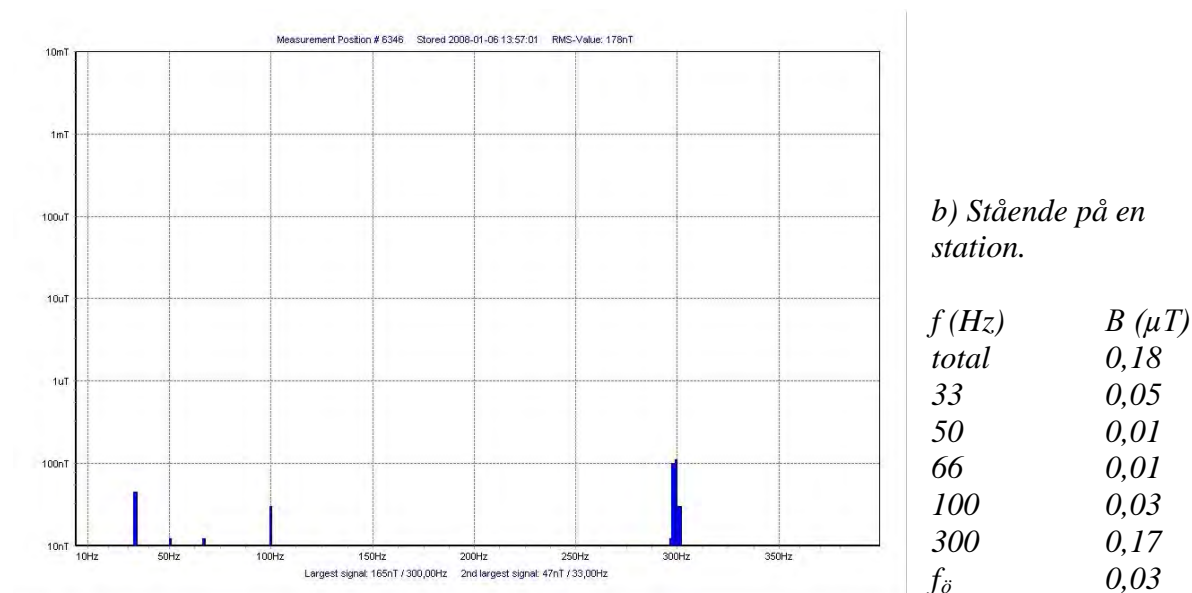


Figur 5.65: Magnetfält i tunnelbanetåg av C20-typ mellan Vreten och Gärdet inklusive omstigning vid T-centralen, 2008-01-14, mätt med MFM3000-instrument och 2s samplingsperiod.

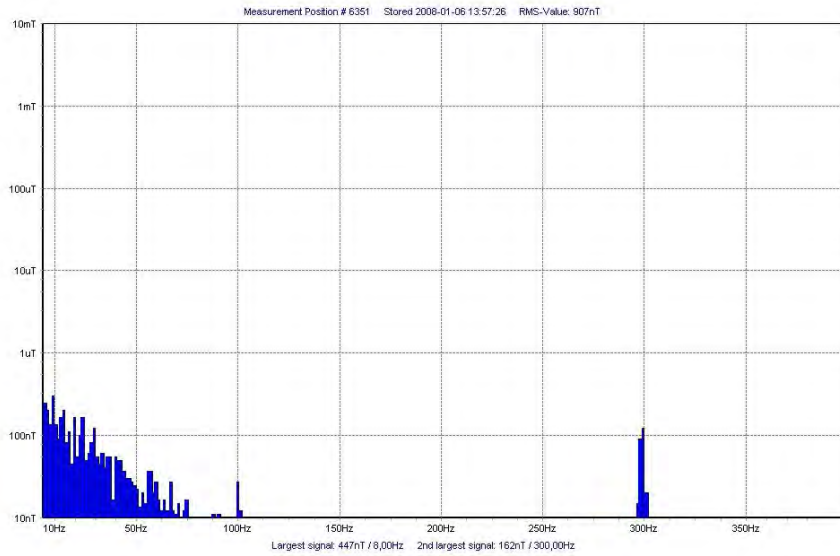
I figur 5.66 visas ett tidsdiagram för det totala magnetfältet i en C20-tunnelbanavagn, mätt med samplingsperioden 5 s och mätområdet 5 Hz–400 kHz, men frekvenszoomen inställd på 5–400 Hz. I figur 5.67 återges ett liknande diagram men med frekvenszoomen 5 Hz–400 kHz. Till varje tidsdiagram ges exempel på den uppmätta frekvensfördelningen vid tre tillfällen.



a) Tidsdiagram

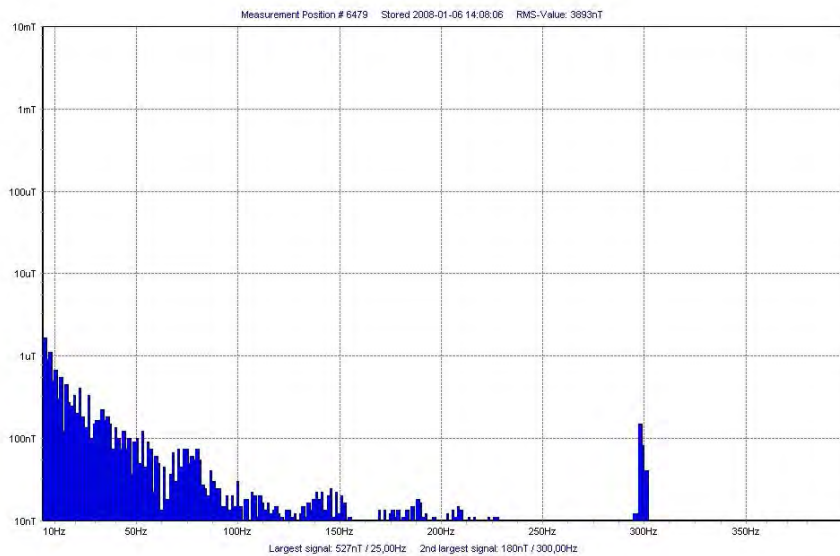


b) Stående på en station.



c) B_{tot} omkring medelvärdet enligt tabell 5.24.

f (Hz)	B (μT)
total	0,91
8	0,45
24	0,16
33	0,06
50	0,02
66	0,03
100	0,02
300	0,16
$f_{\ddot{o}}$	0,75

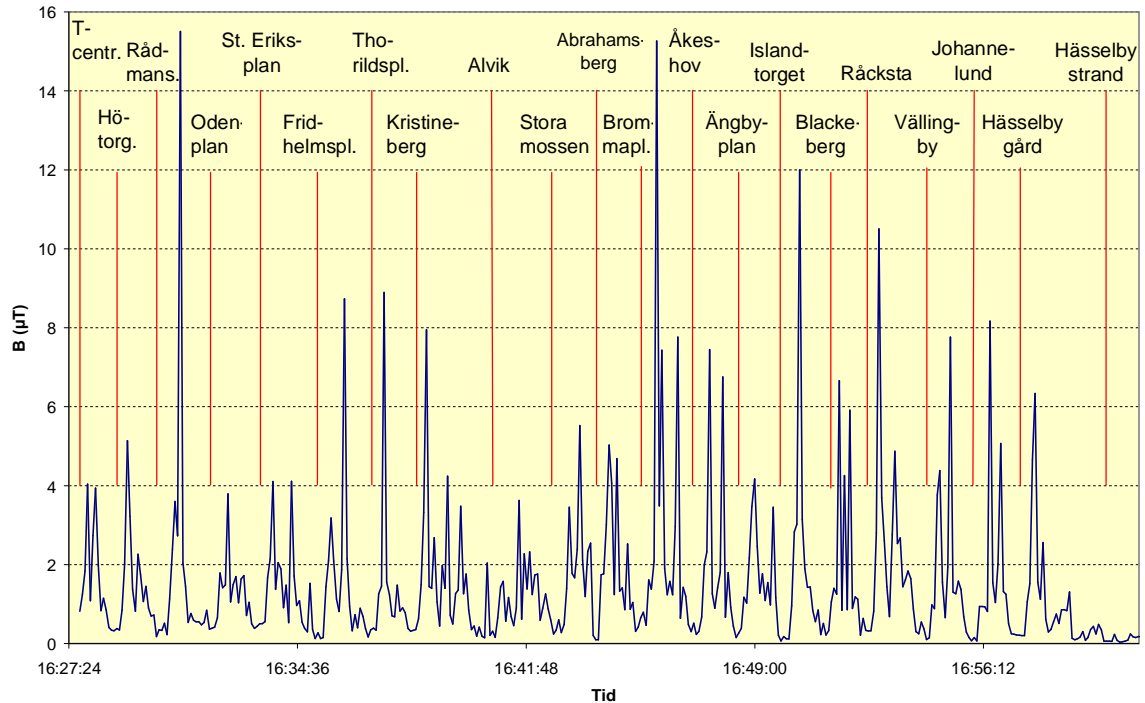


d) B_{tot} omkring toppvärden enligt a).

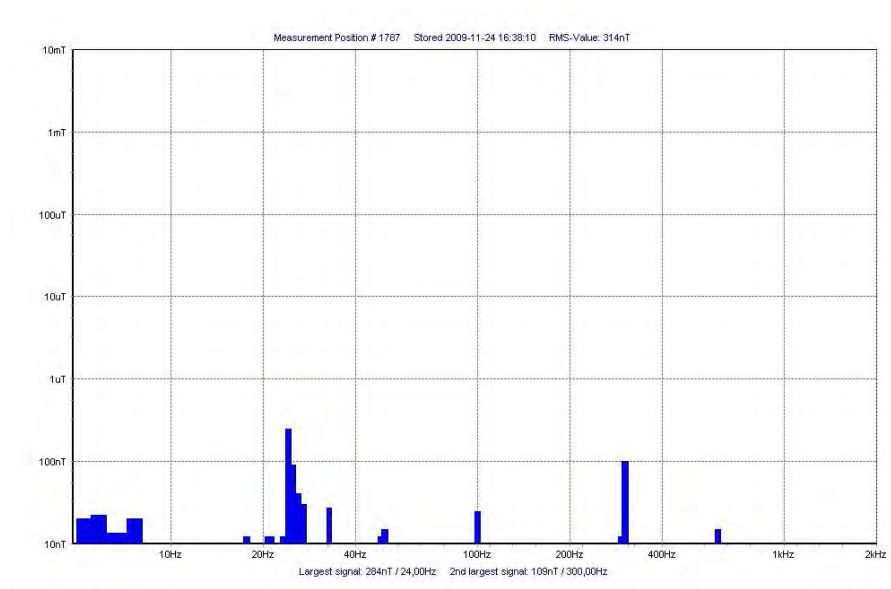
f (Hz)	B (μT)
total	3,89
25	0,53
50	0,11
100	0,03
300	0,18
$f_{\ddot{o}}$	3,85

Figur 5.66a-d: Magnetfält i tunnelbanetåg C20 mellan Fruängen och T-centralen, 2008-01-06, (mätområde 5 Hz-400 kHz, frekvenszoom 5–400 Hz). a) Tidsdiagram, b)-d) frekvensfördelning mellan 5 och 400 Hz. Tabeller bredvid ger flödestätheten vid olika frekvenser avläst ur diagrammen bredvid. Flödestätheten för övriga frekvenser $f_{\ddot{o}}$ beräknad enligt ekvation (4.4).

Vid mätningar som visas i figur 5.67 förekom det bara en enda gång en mycket svag signal över 2 kHz på 0,01 μT vid ca 12 kHz (se också figur B4.10e i bilaga B4). Därför visas frekvensfördelningen i diagrammen endast upp till 2 kHz.

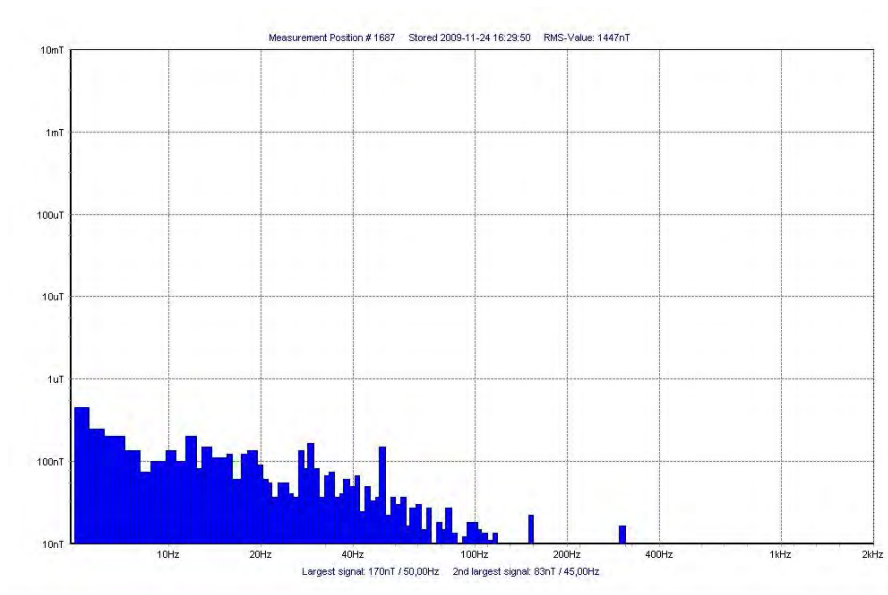


a) Tidsdiagram



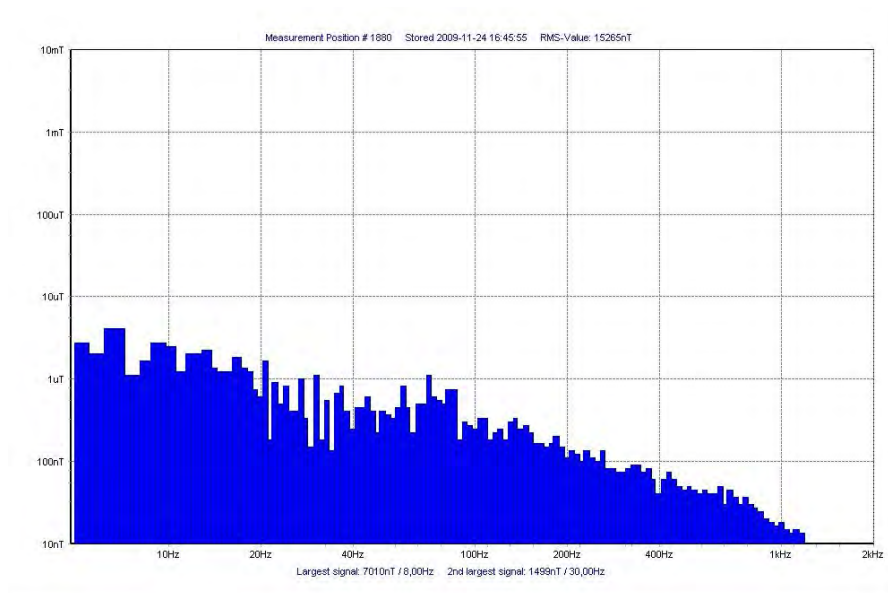
b) Stående på en station.

f (Hz)	B (μT)
total	0,31
24	0,28
50	0,02
100	0,02
300	0,11
600	0,02
$f_{\bar{o}}$	0,07



c) B_{tot} omkring medelvärdet enligt tabell 5.24.

f (Hz)	B (μT)
total	1,45
45	0,08
50	0,17
150	0,02
300	0,02
$f_{\ddot{o}}$	1,43



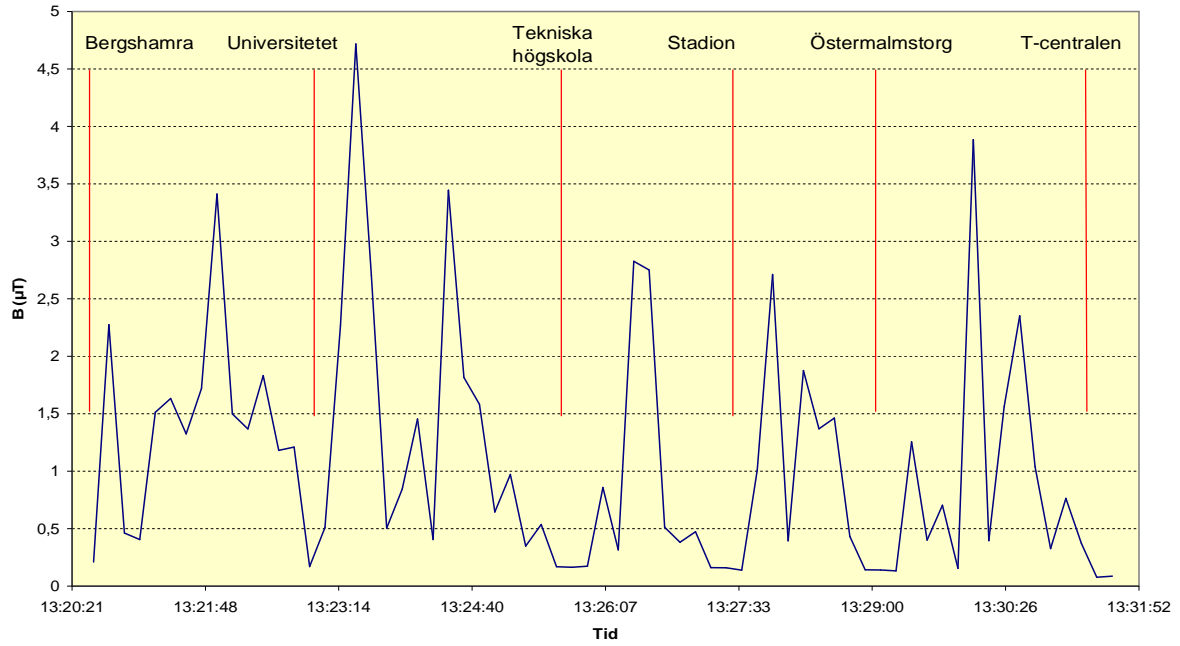
d) B_{tot} omkring toppvärden enligt a).

f (Hz)	B (μT)
total	15,27
8	7,01
33	1,50
$f_{\ddot{o}}$	13,48

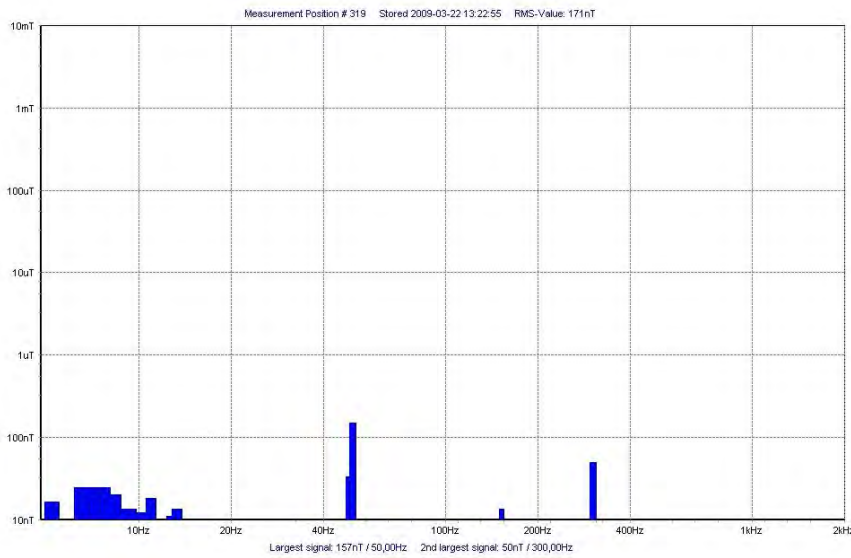
Figur 5.67a-d: Magnetfält i tunnelbanetåg C20 mellan T-centralen och Hässelby strand, 2009-11-24, (mätområde och frekvenszoom 5 Hz–400 kHz).

a) Tidsdiagram, b-d) frekvensfördelning mellan 5 Hz och 2 kHz.
För tabeller se figur 5.66a-d.

Liknande diagram för en mätning med samplingsperioden 10 s och mätområdet 5 Hz–400 kHz visas i figur 5.68. Inga signaler observerades med frekvenser högre än 2 kHz. Ytterligare diagram för olika resor i C20-tunnelbanetåg finns i bilaga B4, tunnelbana. I bilaga B4, tunnelbana, visas för samma resa 10 frekvensspektra (figur B4.11a-l) som är tagen med 10 s mellanrum mellan stationerna Stadion och Östermalmstorg.

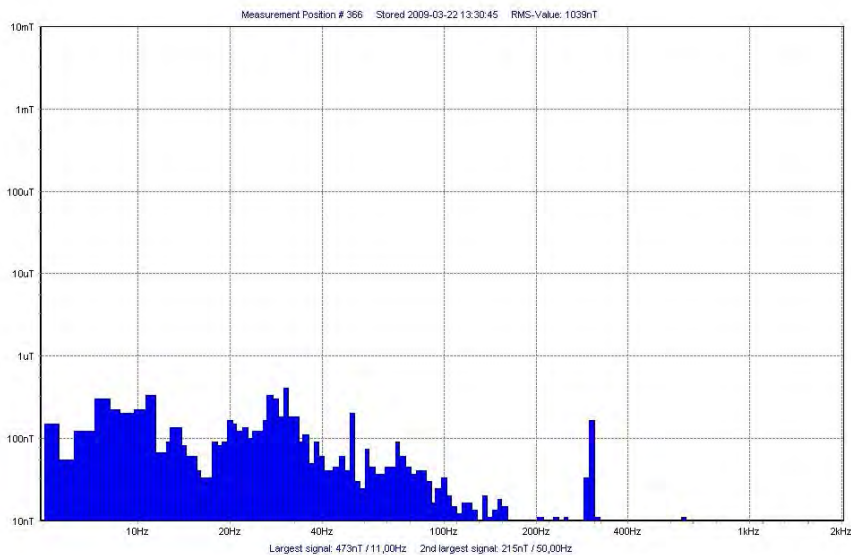


a) Tidsdiagram



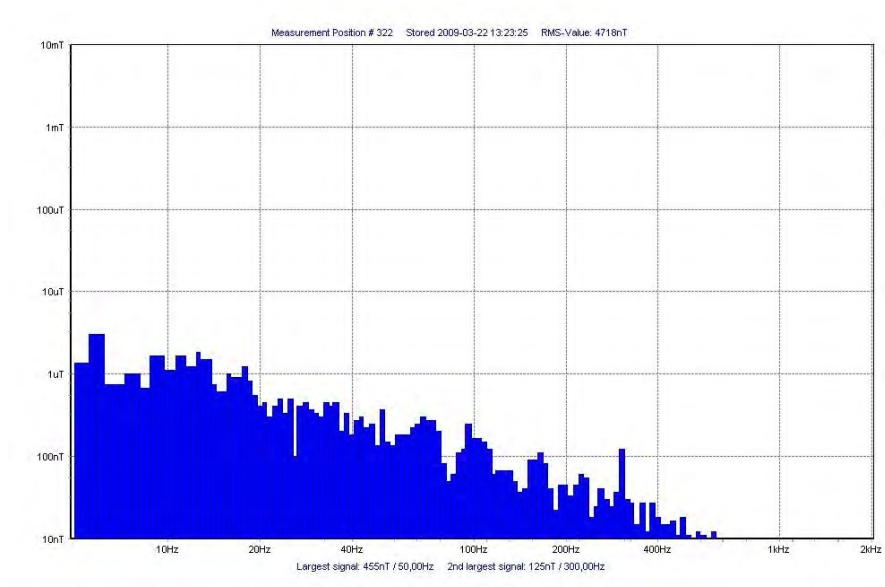
b) Stående på en station.

f (Hz)	B (μT)
total	0,17
50	0,16
150	0,01
300	0,05
f_{δ}	0,05



c) B_{tot} omkring medelvärdet enligt tabell 5.24.

f (Hz)	B (μT)
total	1,04
11	0,47
50	0,22
100	0,04
300	0,17
600	0,01
f_{δ}	0,88



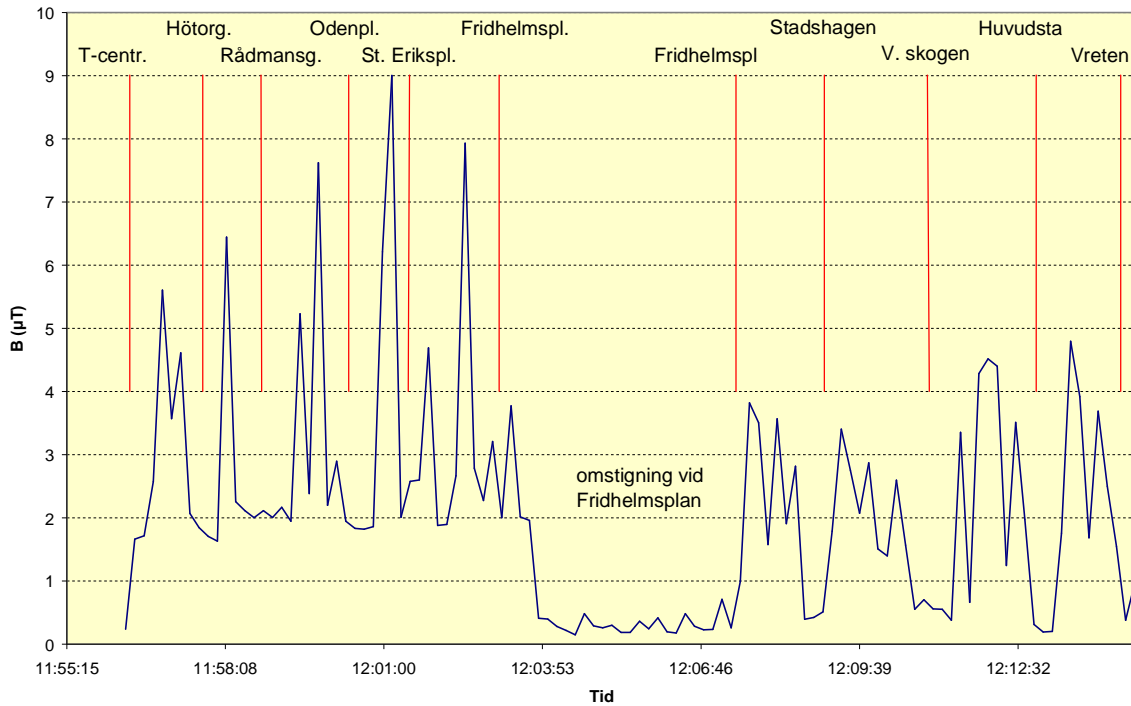
d) B_{tot} omkring toppvärden enligt a).

f (Hz)	B (μT)
total	4,72
50	0,46
300	0,13
600	0,01
f_{δ}	4,69

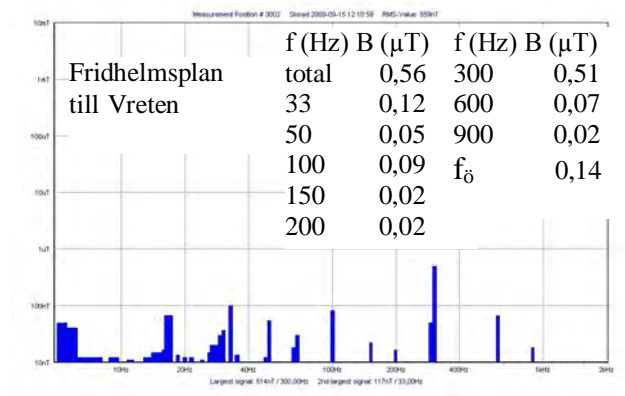
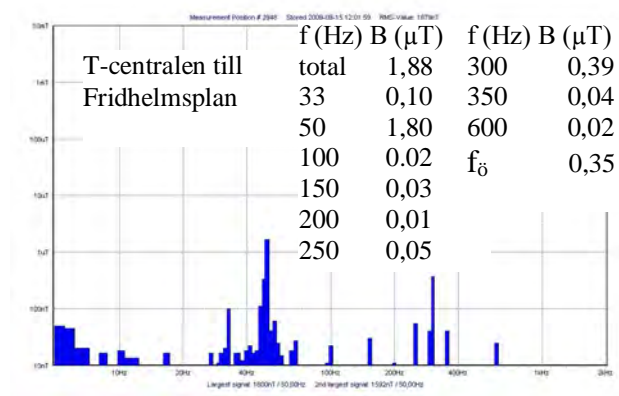
Figur 5.68a-d: Magnetfält i tunnelbanetåg C20 mellan Bergshamra och T-centralen, 2009-03-22 (mätområde och frekvenszoom 5 Hz–400 kHz).
a) Tidsdiagram, b)-d) frekvensfördelning mellan 5 Hz och 2 kHz.
För tabeller se figur 5.66a-d.

Ur frekvensspektrerna framgår att magnetfälten i tunnelbanan består av ett brett frekvensband mellan 5 Hz till ibland mer än 400 Hz, beroende på den totala fältstyrkan. Endast vid svagare totala magnetfält fås ett mer eller mindre diskret spektrum med varierande frekvenser på t.ex. 24 Hz, 33 Hz, 50 Hz, 66 Hz, 100 Hz, 150 Hz, 300 Hz och 600 Hz. Många av dessa frekvenser återfinns i de breda frekvensbanden vid starkare fält. Signalen på 300 Hz finns med i alla spektra och härrör från ripplet av den likriktade trefas-växelström som tunnelbanesystem matas med.

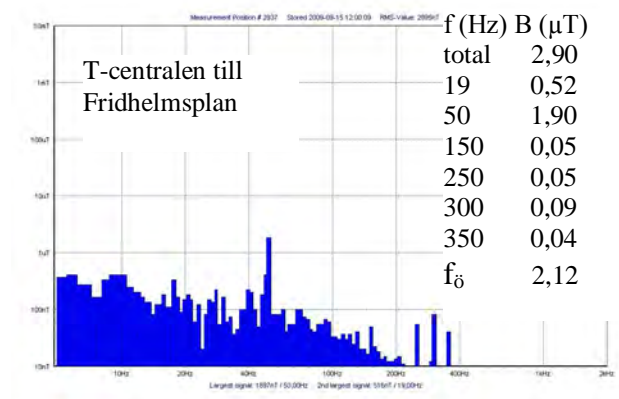
Ett annat exempel visas i figur 5.69 för resan med två C20-tåg mellan T-centralen till Vreten via Odenplan med omstigning vid Fridhelmsplan. I tidsdiagrammet syns det tydligt att magnetfälten bara går ner till ca $2 \mu T$ när tåget stannar på stationerna mellan T-centralen och Fridhelmsplan. Däremot minskar magnetfälten till ca $0,5 \mu T$ när tåget stannar på stationerna mellan Fridhelmsplan och Vreten. Även i frekvensfördelningen syns en tydlig skillnad mellan mätningar i båda tågen: I den första delen av resan är 50 Hz-signalen alltid omkring $1,1\text{--}2 \mu T$ och utgör oftast frekvensen med den största amplituden. Mellan Fridhelmsplan och Vreten är 50 Hz-signalen bara mellan $0,05$ och $0,3 \mu T$ och den största signalen har oftast frekvensen 300 Hz. Dessutom saknas i många av dessa spektra de svaga signalerna vid 250 Hz och 350 Hz som finns vid resan mellan T-centralen och Fridhelmsplan. Om skillnaderna berodde på olika platser i vagnarna eller eventuella yttre fält eller andra orsaker utreddes inte.



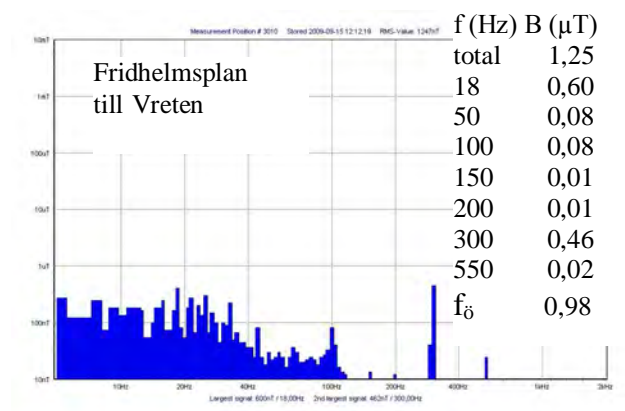
a) Tidsdiagram



b) Stående på en station.

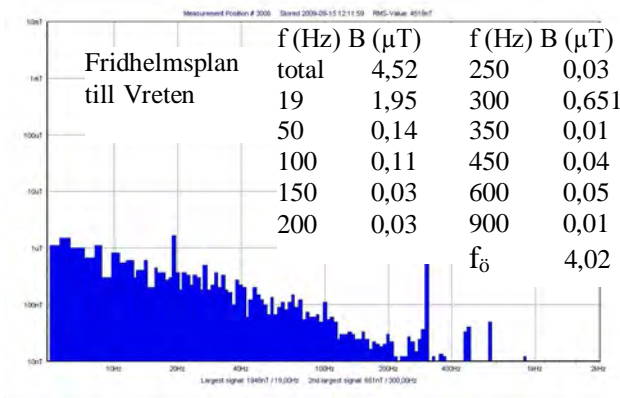
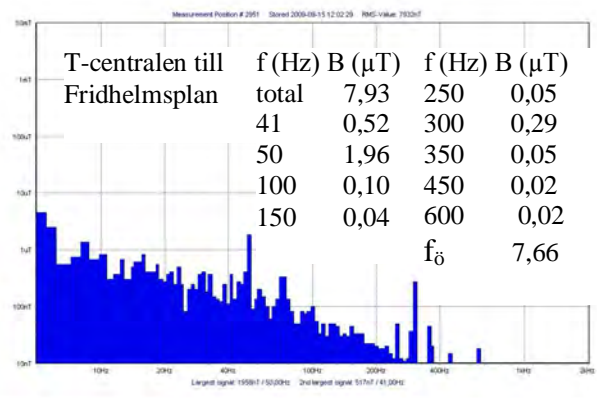


c) Stående på en station.



d) B_{tot} omkring medelvärde enligt tabell 5.24.

e) B_{tot} omkring medelv. enligt tabell 5.24.

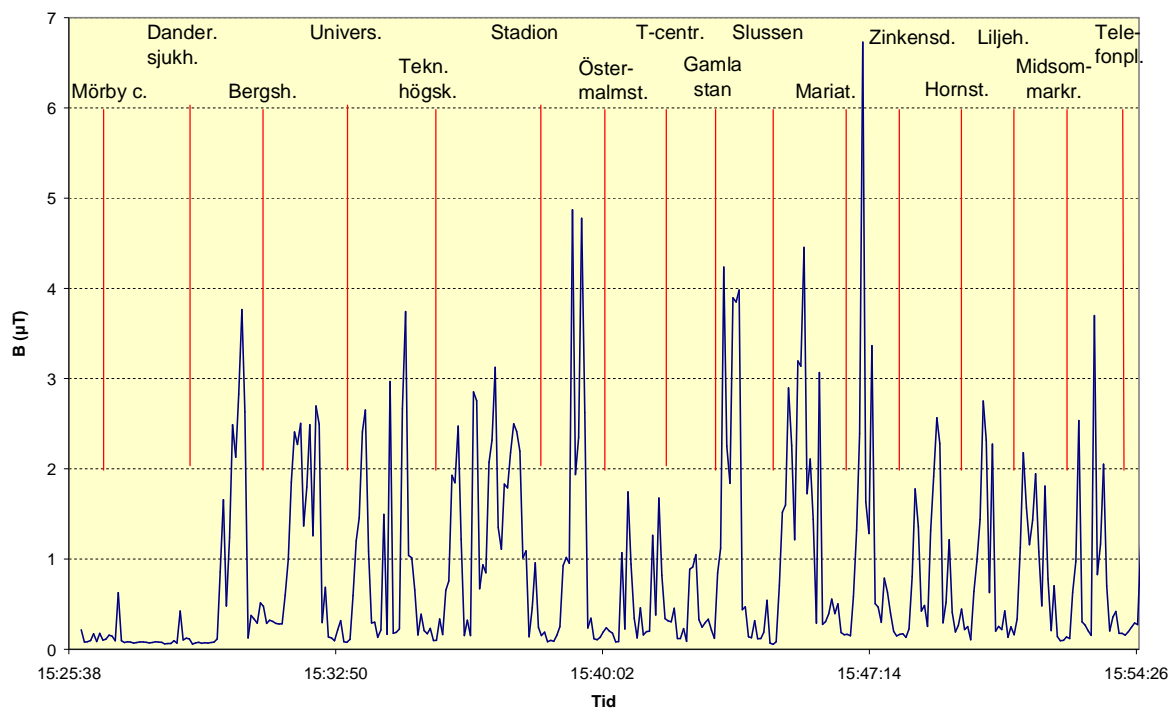


f) B_{tot} omkring toppvärde enligt a)

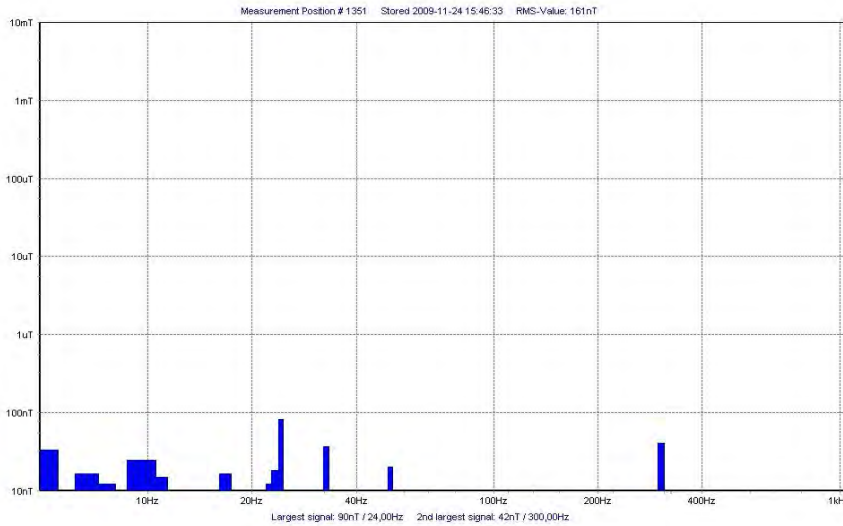
g) B_{tot} omkring toppvärden enligt a)

Figur 5.69a-g: Magnetfält i tunnelbanetåg C20 mellan T-centralen och Vreten inklusive omstigning vid Fridhelmsplan, 2009-09-15. a) tidsdiagram, b)-g) frekvensfördelning mellan 5 Hz och 2 kHz för delsträckorna T-centralen–Fridhelmsplan och Fridhelmsplan–Vreten. För tabeller se figur 5.66a-d.

I figur 5.70 visas ett liknande diagram för tunnelbana C6 mellan Mörby centrum och Telefonplan. Frekvenszoomen var inställd på 5 Hz–400 kHz, men frekvenser över 1 kHz observerades inte vid denna mätning. I bilaga B4, tunnelbana, visas för samma resa 10 frekvensspektra (figur B4.12a-l) som är tagen med 10 s mellanrum mellan stationerna Stadion och Östermalmstorg. Ytterligare tidsdiagram och frekvensfördelningar för mätningar i C6-vagnar finns i samma bilaga.

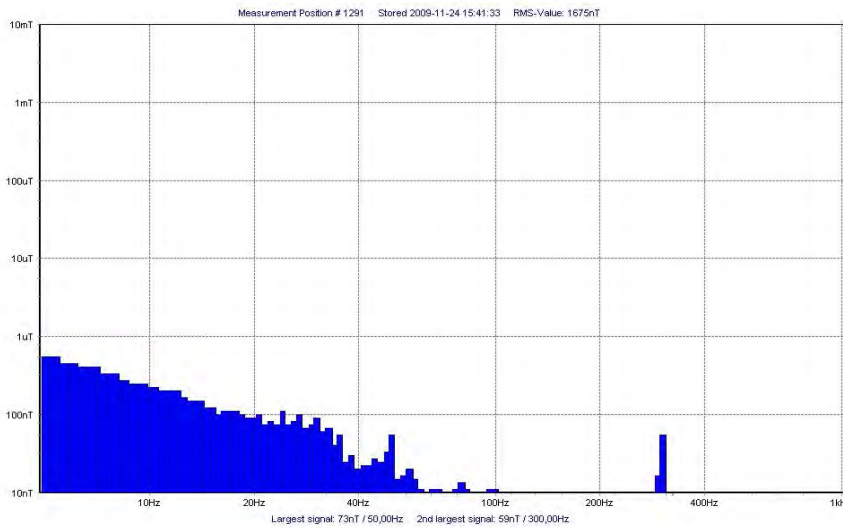


a) Tidsdiagram



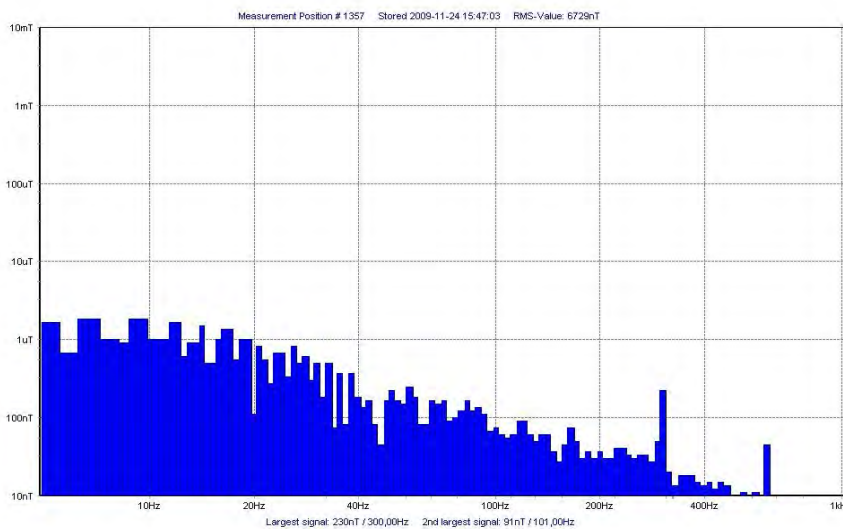
b) Stående på en station.

f (Hz)	B (μT)
total	0,16
24	0,09
33	0,04
50	0,02
300	0,04
$f_{\ddot{o}}$	0,12



c) B_{tot} omkring medelvärde enligt tabell 5.24

f (Hz)	B (μT)
total	1,68
50	0,07
75	0,02
100	0,01
300	0,06
$f_{\ddot{o}}$	1,67

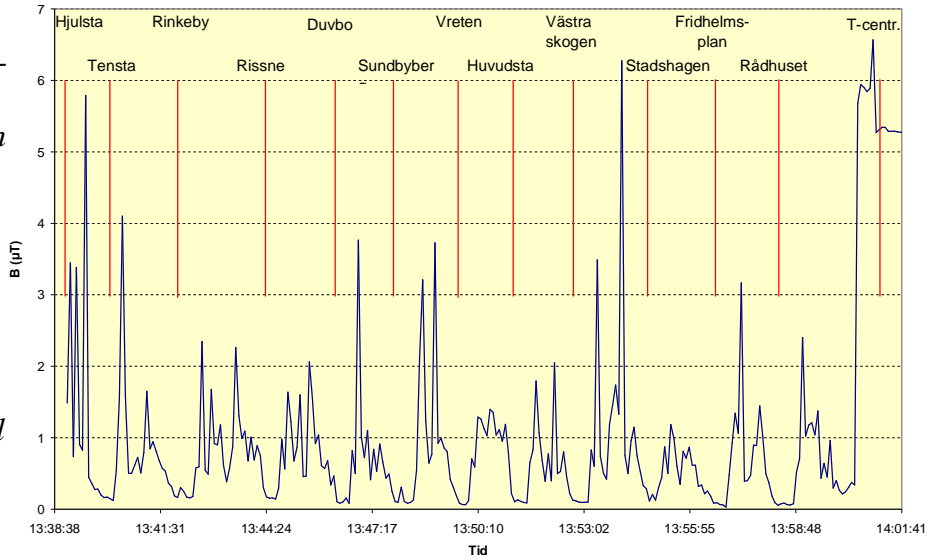


d) B_{tot} omkring maxvärdet enligt tabell 5.24.

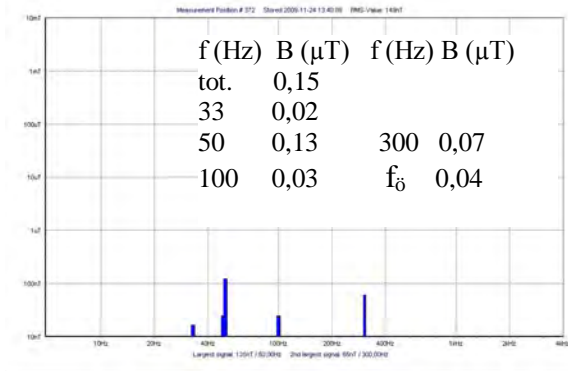
f (Hz)	B (μT)
total	6,73
50	0,23
100	0,07
150	0,07
200	0,03
300	0,23
600	0,04
$f_{\ddot{o}}$	6,72

Figur 5.70a-d: Magnetfält i tunnelbanetåg C6 mellan Mörby centrum och Telefonplan, 2009-11-24. a) tidsdiagram, b)-d) frekvensfördelning mellan 5 Hz och 1 kHz, för tabeller se figur 5.66.

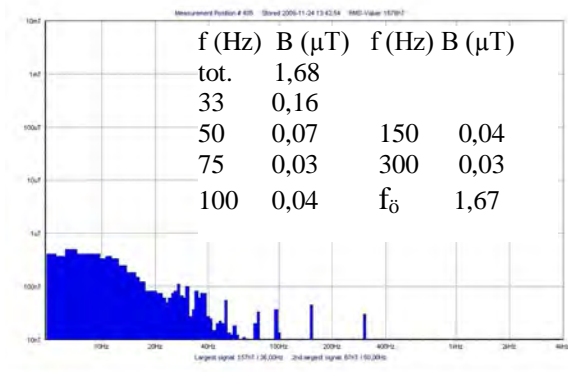
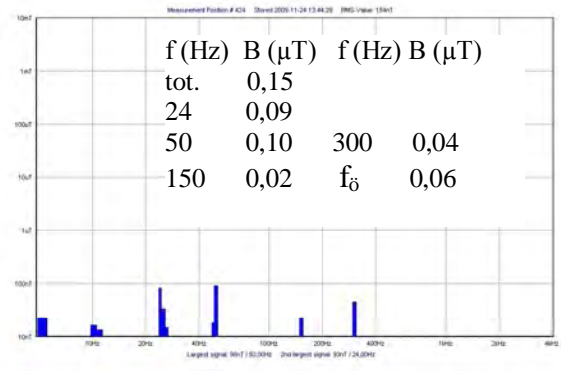
Figur 5.71a-d: Magnetfält i tunnelbanetåg C20 mellan Hjulsta och T-centralen, 20091124, a) tidsdiagram och frekvensspektrum när b) tåget stannar, c) B_{tot} omkring medelvärdet och d) B_{tot} omkring toppvärden enligt a). (Frekvensaxel 5 Hz–4kHz)



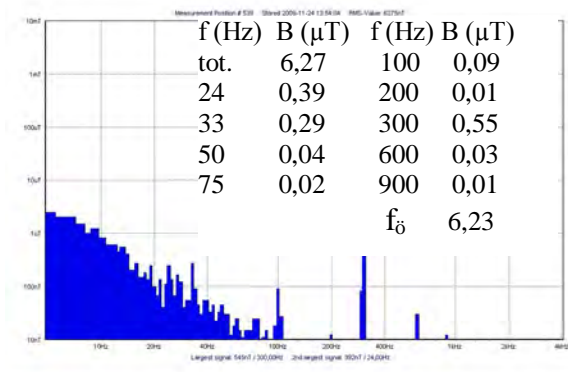
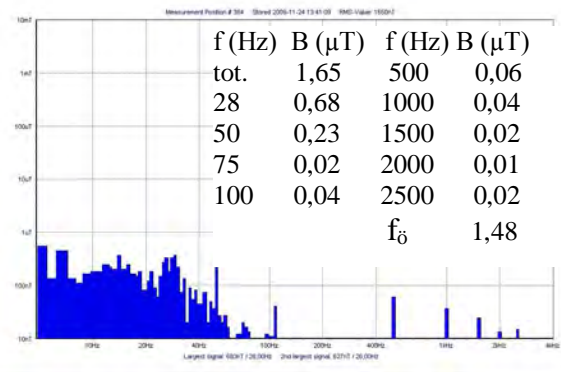
a)



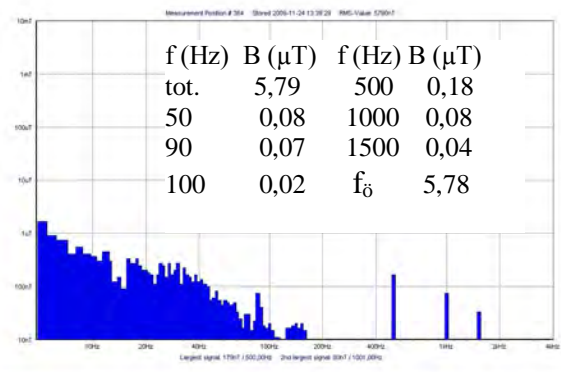
b)



c)

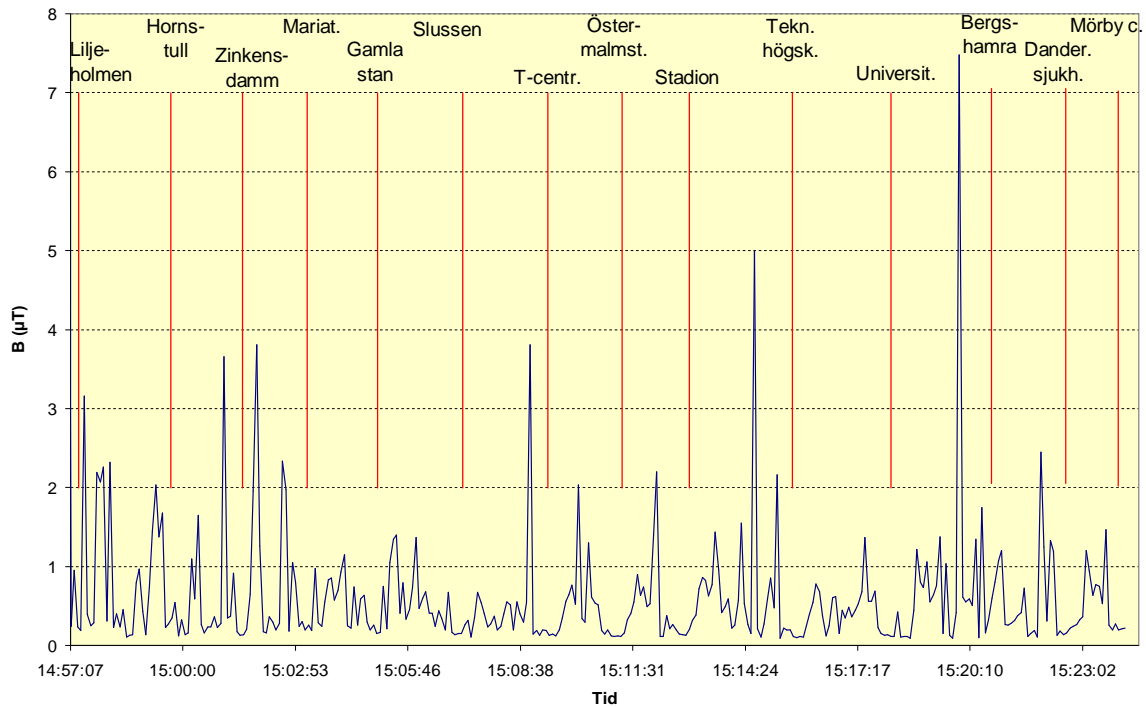


d)

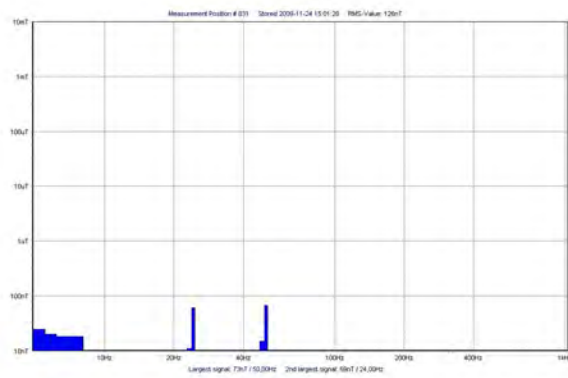


Från en resa med C20-tåg visas i figur 5.71 ett exempel på hur frekvensfördelningen kan skilja sig även om den totala flödestätheten är ungefär lika stor. I diagrammen på högersidan ser man istället för signaler vid 300, 600 och 900 Hz signaler vid 500, 1000, 1500 och 2000 Hz när magnetfälten blir starkare.

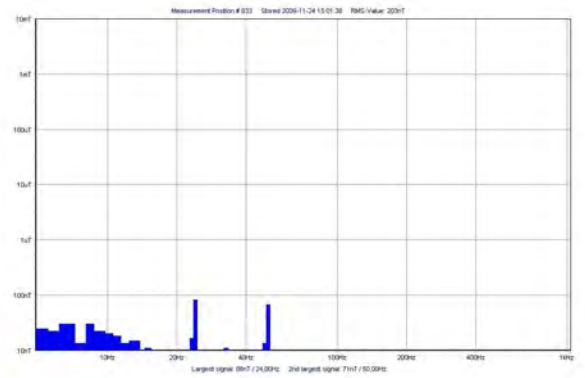
I ytterligare två exempel, figur 5.72 och 5.73, visas hur frekvensfördelningen kan förändras i ett C6- och ett C20-tåg mellan stationerna Zinkensdamm och Mariatorget.



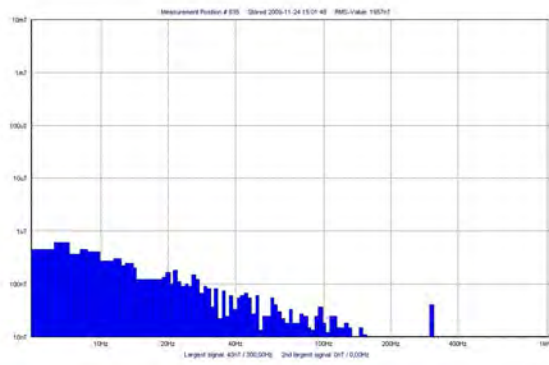
a) Tidsdiagram



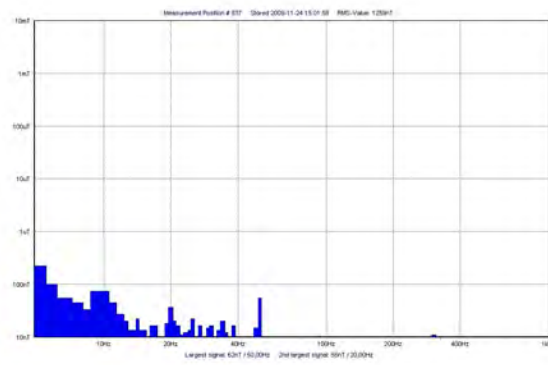
b: Tid 15.01.28



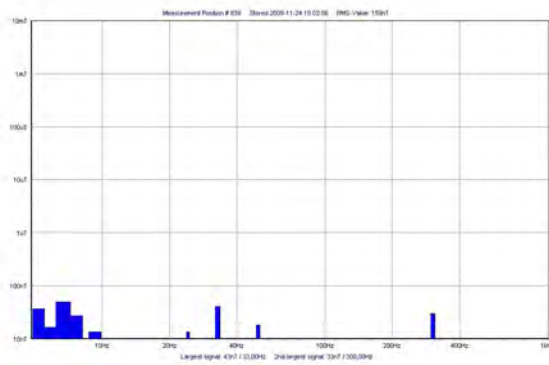
c: Tid 15.01.38



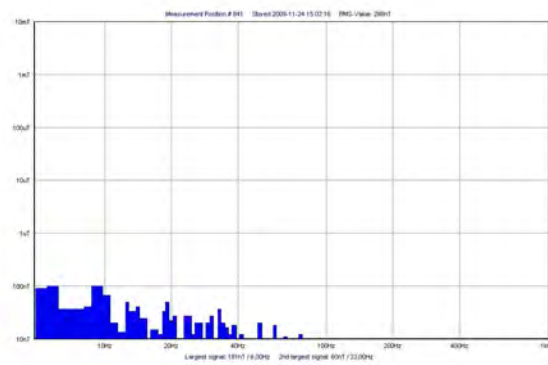
d: Tid 15.01.48



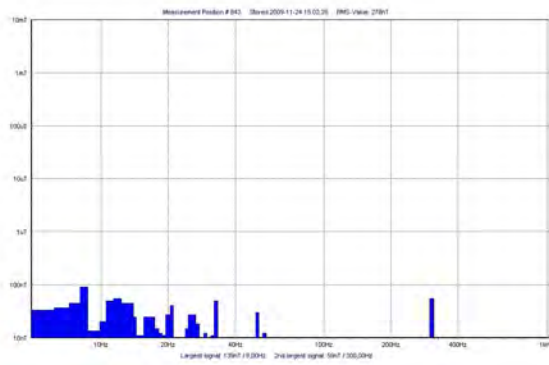
e: Tid 15.01.58



f: Tid 15.02.08



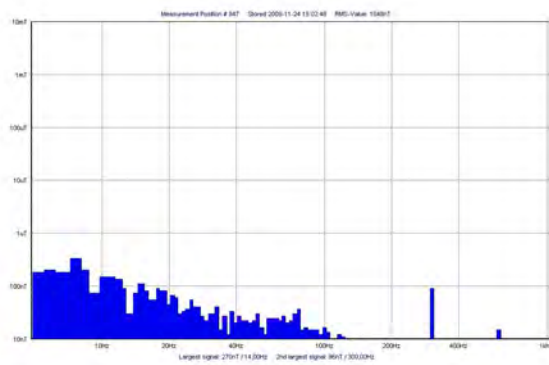
g: Tid 15.02.18



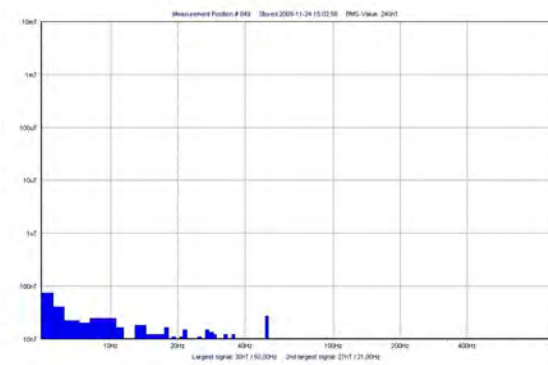
h: Tid 15.02.28



i: Tid 15.02.38



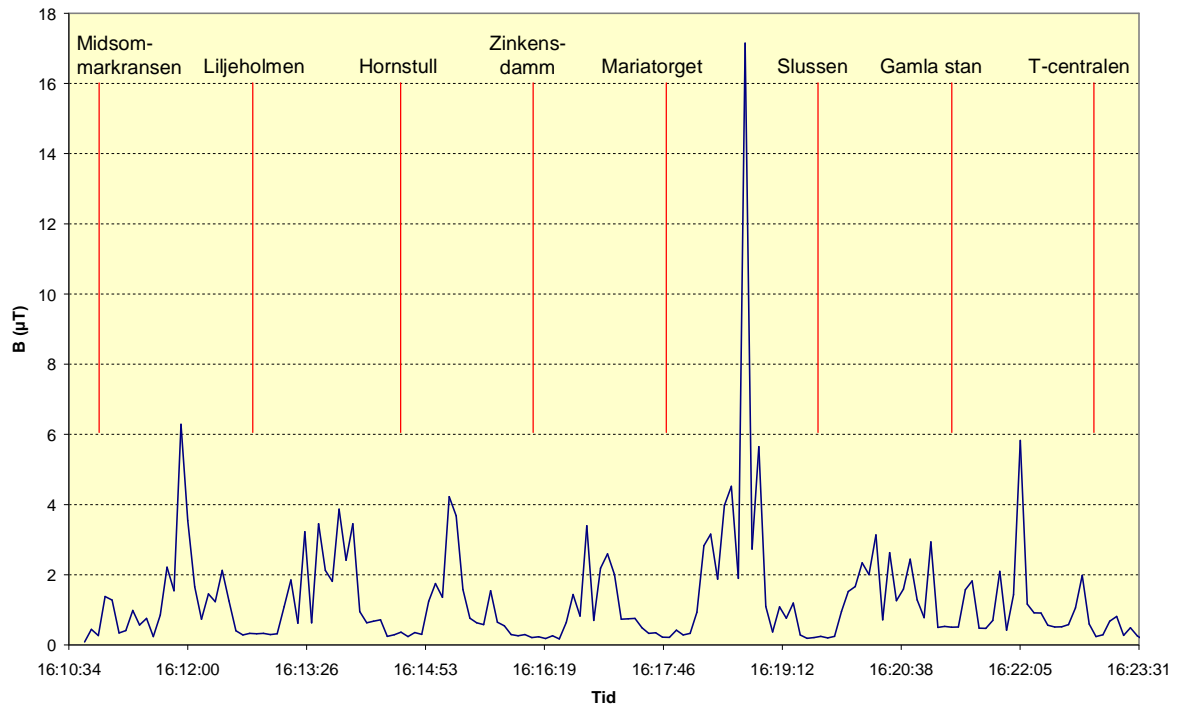
j: Tid 15.02.48



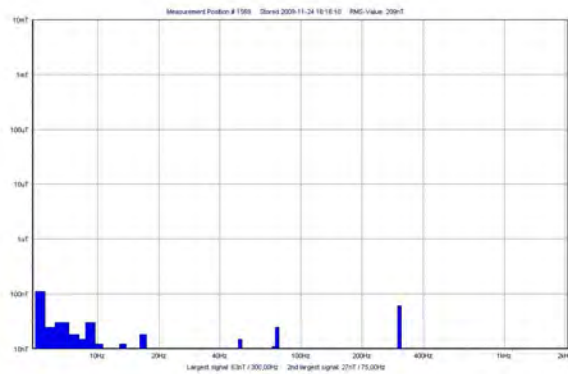
k: Tid 15.02.58

Figur 5.72a-k: Magnetfält i tunnelbana C6 på resan mellan Liljeholmen och Mörby centrum, 2009-11-24. a) Tidsdiagram, b)-k) frekvensspektra stationerna Zinkensdamm och Mariatorget (Skalstrecken på frekvensaxeln: 10, 20, 40, 100, 200, 400 Hz, 1 kHz, på magnetfältsaxeln 10 nT, 100 nT, 1 μ T, 10 μ T, 100 μ T, 1 mT, 10 mT)

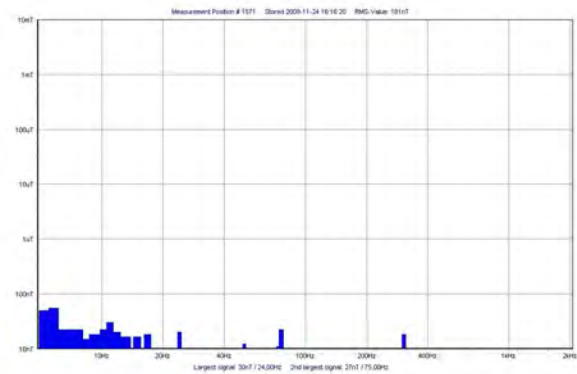
Liknande diagram för C6- och C20-tåg mellan stationerna Stadion och Östermalms torg finns i bilaga B4, tunnelbana (figur B4.11 och B4.12).



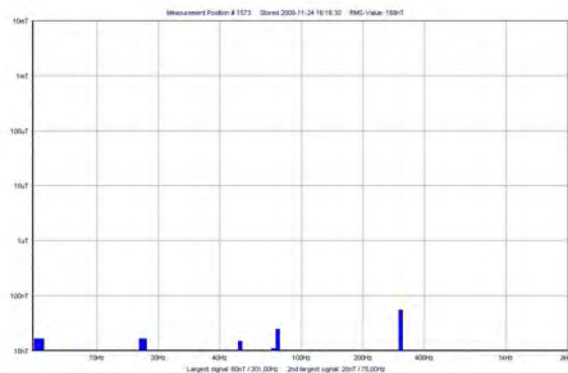
a) Tidsdiagram



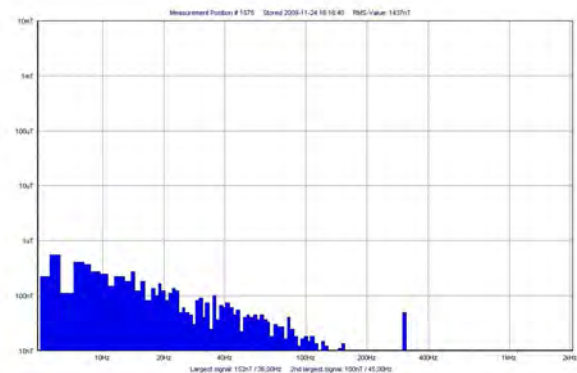
b: Tid 16.16.10



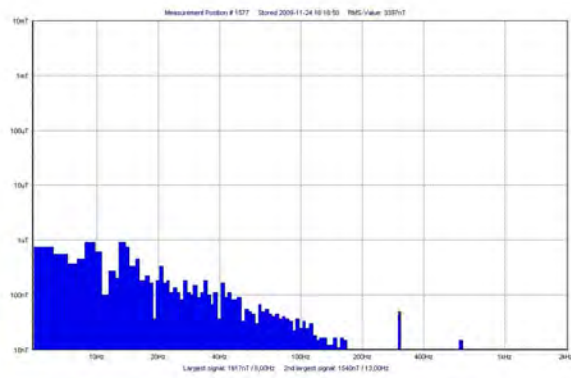
c: Tid 16.16.20



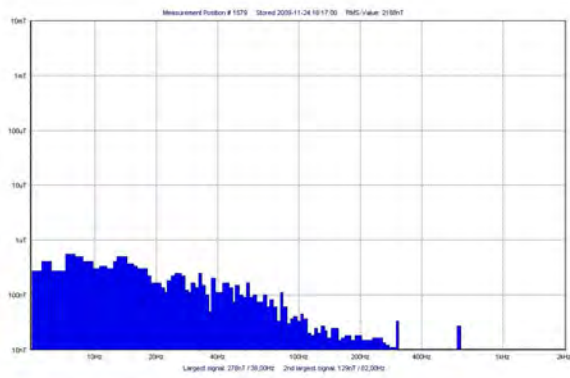
d: Tid 16.16.30



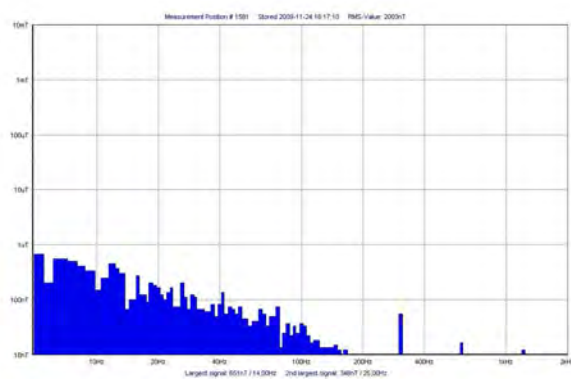
e: Tid 16.16.40



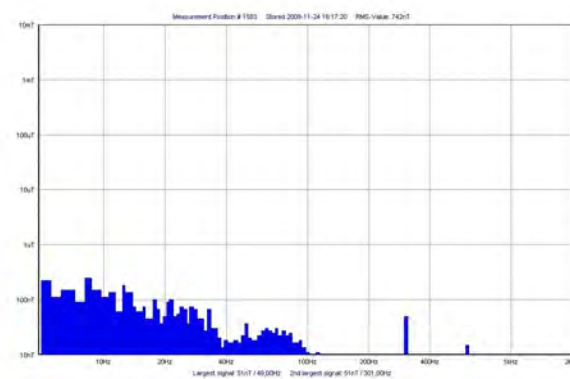
f: Tid 16.16.50



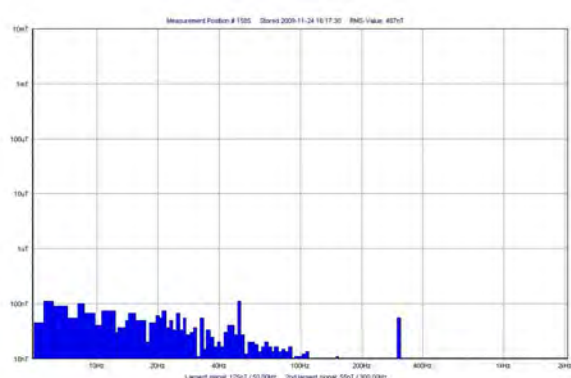
g: Tid 16.17.00



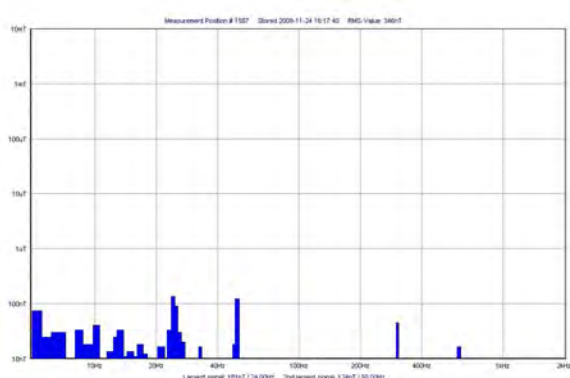
h: Tid 16.17.10



i: Tid 16.17.20



j: Tid 16.17.30

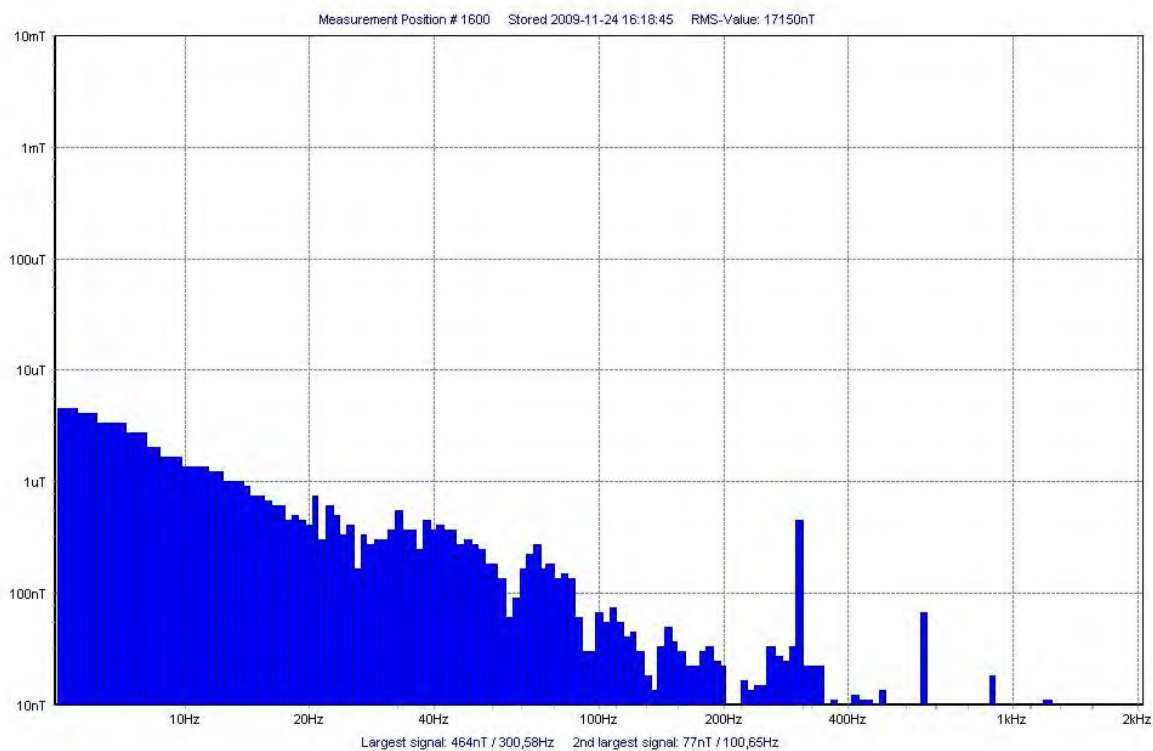


k: Tid 16.17.40

Figur 5.73 a-k: Magnetfält i tunnelbana C20 på resan mellan Midsommarkransen och T-centralen, 2009-11-24. a) Tidsdiagram, b)-k) frekvensspektra stationerna Zinkensdamm och Mariatorget. (Skalstrecken på frekvensaxeln: 10, 20, 40, 100, 200, 400 Hz, 1, 2 kHz, för magnetfältsaxeln se figur 5.72).

Redan tidigare har det påpekats att magnetfälten i tunnelbanan karakteriseras av ett brett band av signaler upp till ca.300–400 Hz för de starkastefälten. Så är också fallet vid det starka fältet på ca 17 μT i diagram 5.73a vilket visas i spektrumet 5.73i och har visats i liknande diagram förut. När tåget saktar in och stannar förekommer mera diskreta linjer i spektrumet. Signalen vid 300 Hz och eventuellt svaga övertoner på 600 Hz, 900 Hz och 1200 Hz finns även i dessa två exempel. 300 Hz-signalen är för det mesta mindre än 0,1 μT , men kan i enstaka fall uppgå till ungefär 0,5 μT . Amplituderna på övertoner, som verkar vara vanligare i C20-vagnar, är bara några tiotal nanotesla och bidrar väldigt lite till den totala fältstyrkan. Det

största bidraget till den totala fältstyrkan kommer från signaler med låga frekvenser upp till ca 40–60 Hz.



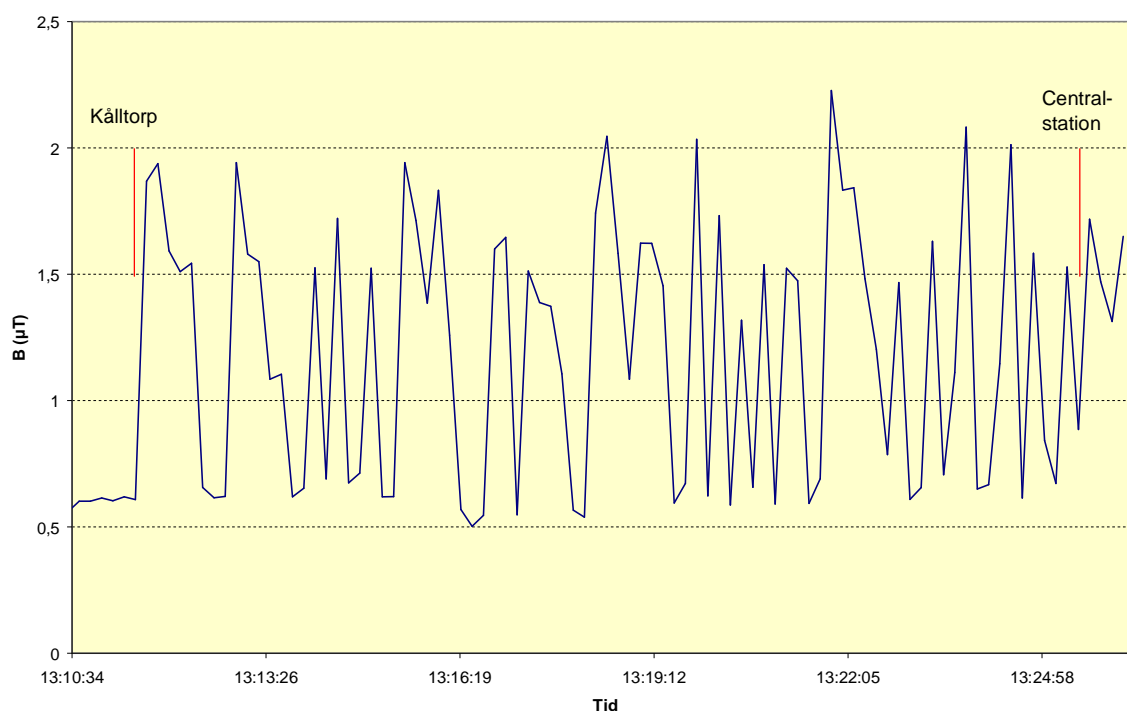
Figur 5.73i: Spektrum vid maximum för magnetfältet i diagram 5.73a (Midsommarkransen till T-centralen, 2009-11-24).

5.4 Spårvagn

2008 och 2010 gjordes mätningar med MFM3000 instrumentet vid resor med spårvagn dels i Göteborg dels i Stockholm. Mätningarna i Göteborg gjordes på trean mellan Centralstationen och Kålltorp. I Stockholm utfördes mätningar på Nockebybanan i Bromma och på tvärbanan mellan Alvik och Sickla udde. Tidsgrafer för några av dessa resor visas i figur 5.74-5.78 och 5.88. Ytterligare diagram finns i bilaga B5, spårvagnar. En sammanfattning av mätresultaten (total flödestäthet) ges i tabell 5.25. Man ser att medelvärdet för den totala flödestätheten

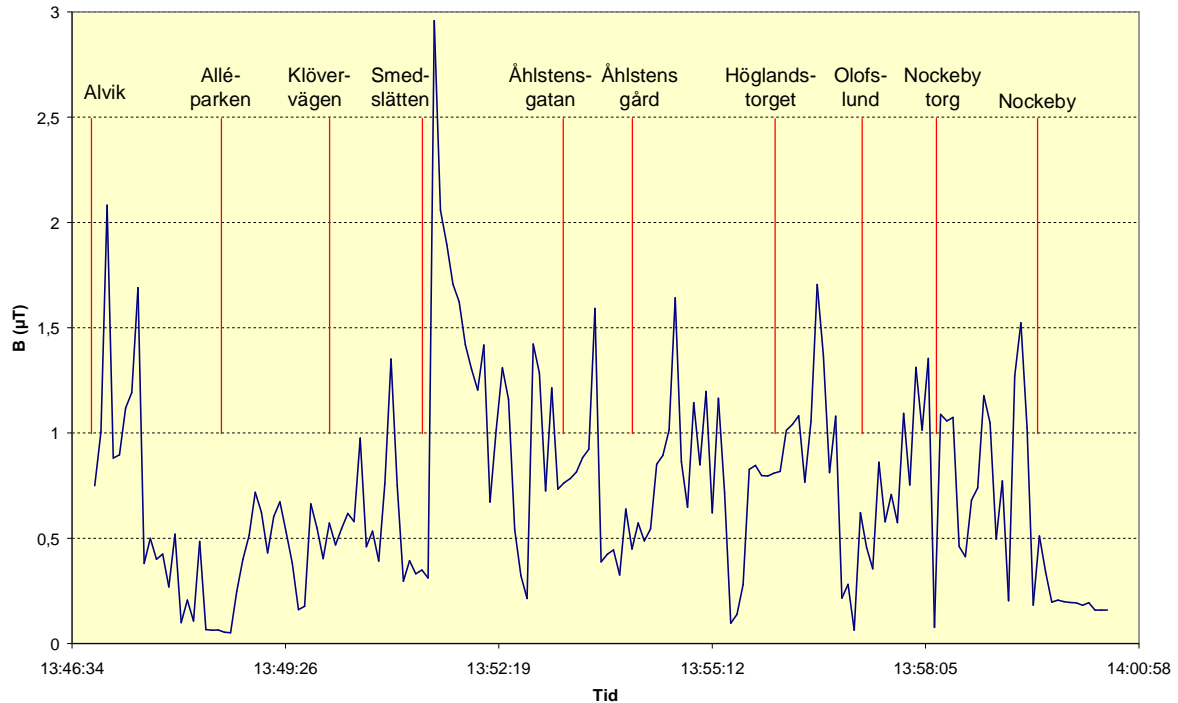
Tabell 5.25: Magnetfält (total flödestäthet) i spårvagnar (u: uppgift saknas).

Ort	Göteborg	Göteborg	Stockholm	Stockholm	Stockholm	Stockholm	Stockholm	Stockholm	Stockholm
Linje	3	3	Nockebyban.	Nockebyban.	Tvärbanan	Nockebyban.	Nockebyban	Tvärbanan	Tvärbanan
Typ (nr.)	M32 (1)	M29 (2)	A32 (3)	A32 (4)	A32 (5)	A32 (6)	A32 (7)	A32 (8)	A32 (9)
Littera	u	806	u	u	u	426	426	412	407
Sträcka	Central.-Kålltorp	Kålltorp Central..	Alvik-Nockeb.	Nockeb.-Alvik	Alvik-Årstab.	Alvik-Nockeb	Nockeb.-Alvik	Alvik-Sickla	Sickla-St. Ess.
Datum	2008-01-01	2008-01-05	2008-01-06	2008-01-06	2008-01-06	2010-01-12	2010-01-12	2010-01-12	2010-01-12
Tid	14.16-14.29	13.11-13.26	13.47-13.59	14.01-14.16	14.29-14.43	11.19-11.32	11.36-11.49	11.58-12.26	12.45-13.11
Samp. (s)	10	10	5	5	5	5	5	5	5
Flödestäthet B (μT)									
Min	0,09	0,50	0,05	0,05	0,06	0,08	0,10	0,05	0,07
Medel	0,67	1,19	0,72	0,74	0,49	0,65	0,77	0,53	0,58
Median	0,78	1,29	0,65	0,61	0,42	0,56	0,67	0,55	0,54
90. perc.	0,95	1,84	1,34	1,48	0,81	1,12	1,31	0,83	1,02
Max	1,31	2,23	2,96	5,73	2,36	5,52	3,57	1,96	2,35

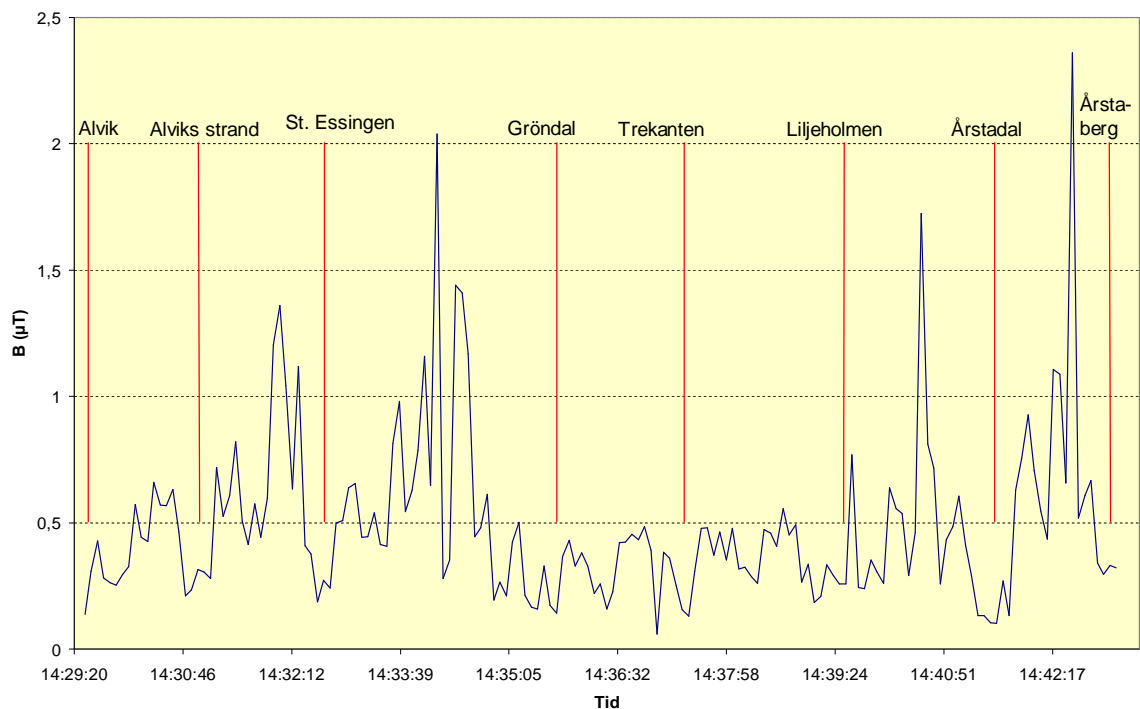


Figur 5.74: Magnetfält på spårvagn M29 linje 3 mellan Kålltorp och Centralstationen i Göteborg, 2008-01-10.

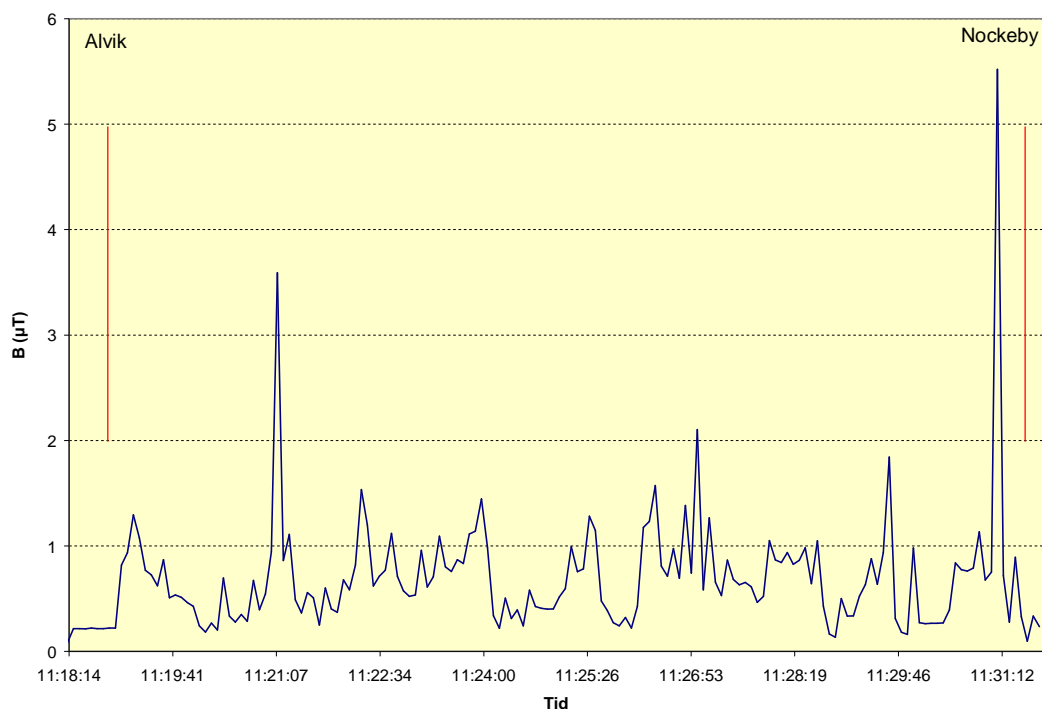
varierar mellan ca. 0,5 och 1,2 μT . 90 % av alla mätningar låg under 0,8–1,8 μT . Det största värdet som kunde mätas under resorna uppgick till ca. 1,3 till 5,7 μT . På resan från Kålltorp till Centralstationen i Göteborg var medelvärdet och även det minsta värdet något högre än vid de övriga resorna, vilket kan bero på omedelbar närhet till en elektrisk apparat.



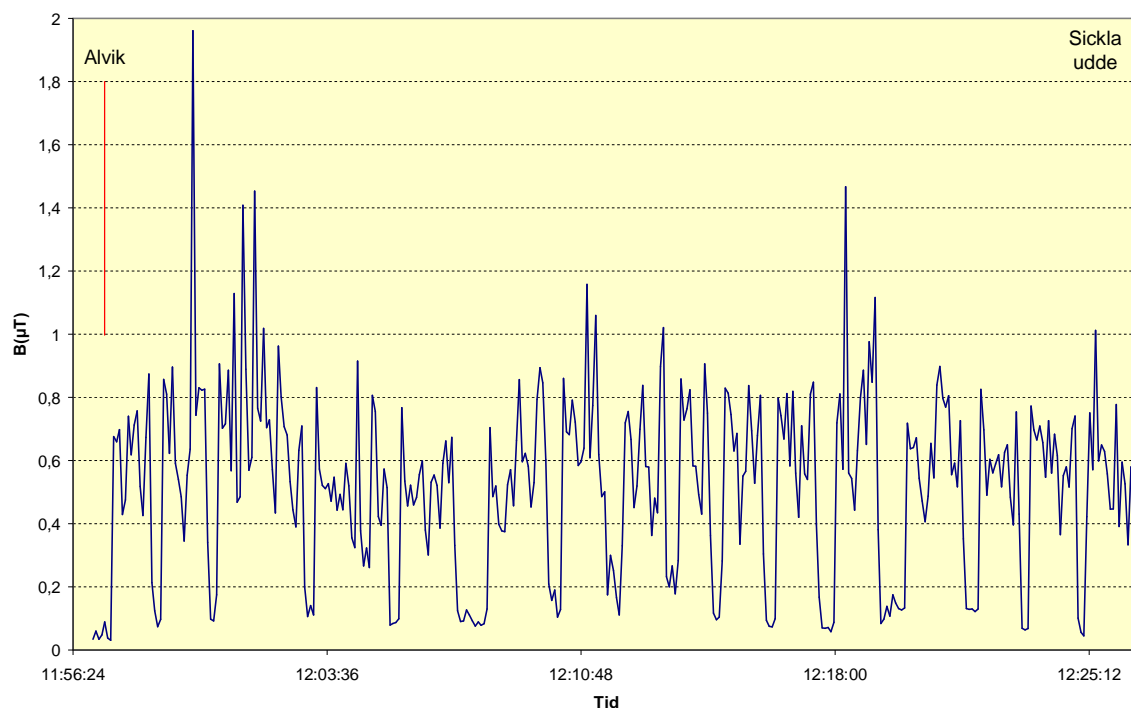
Figur 5.75: Magnetfält på Nockebybanan mellan Alvik och Nockeby i Bromma, 2008-01-06.



Figur 5.76: Magnetfält på Tvärbanan mellan Alvik och Årstaberg i Stockholm, 2008-01-06.



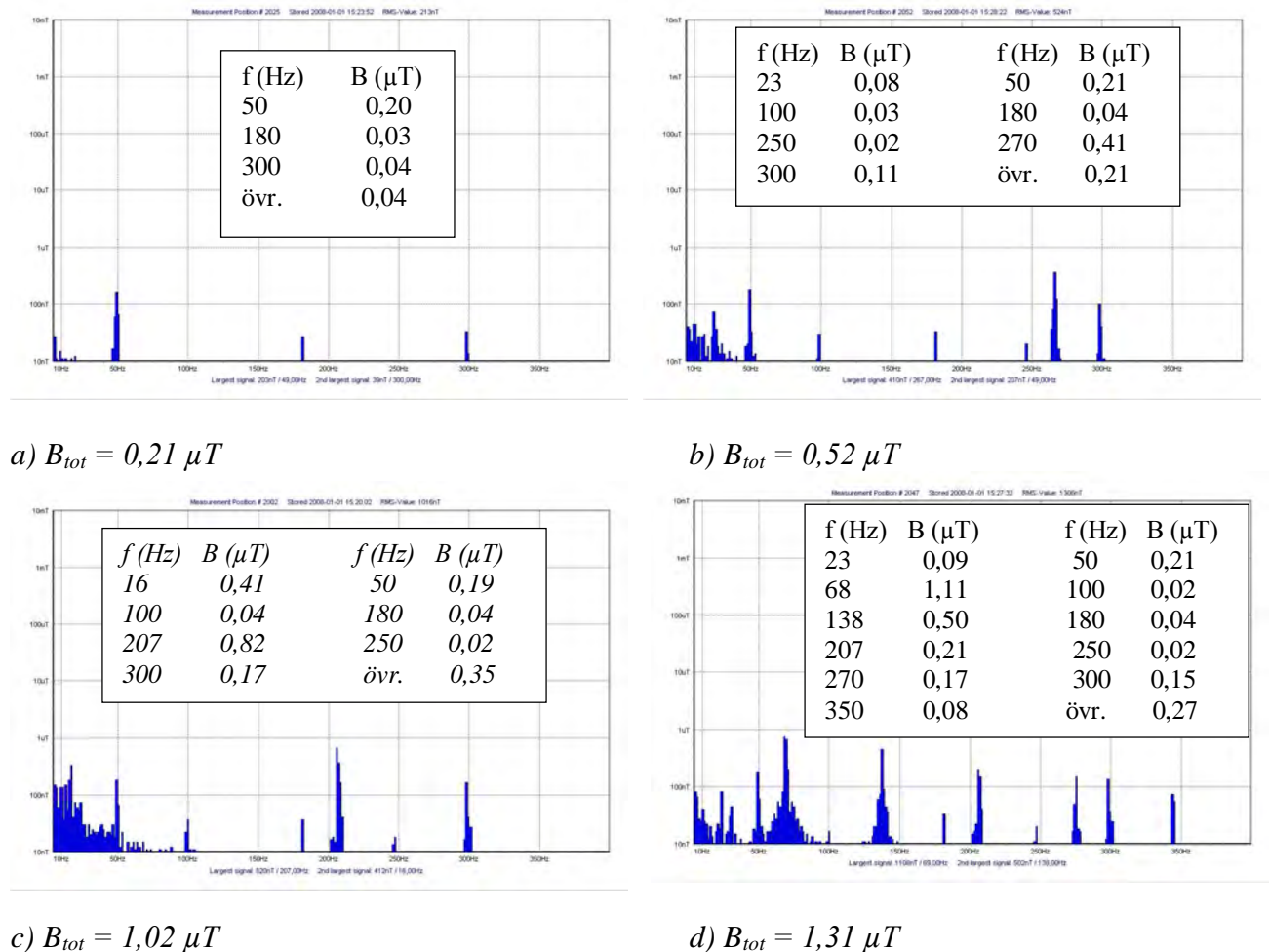
Figur 5.77: Magnetfält på Nockebybanan mellan Alvik och Nockeby i Bromma, 2010-01-12.



Figur 5.78: Magnetfält på Tvärbanan mellan Alvik och Sickla udde i Stockholm, 2010-01-12.

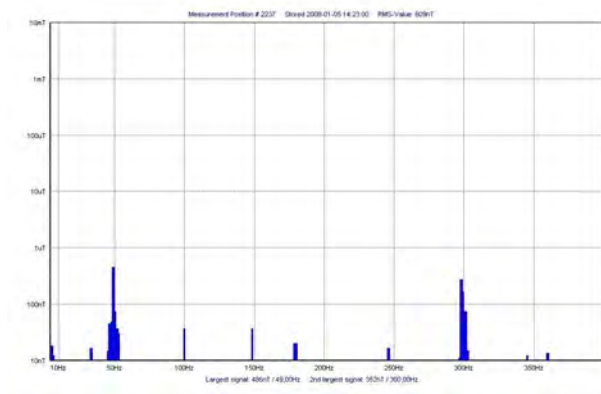
Eftersom alla mätningar av spårvagnar gjordes med MFM3000 finns information om frekvensinnehållet av magnetfälten. Vid mätningarna 2008 var dock mätinstrumentets frekvenszoom olyckligtvis inställd på 5–400 Hz, så att frekvensinformationen är begränsad till maximalt 400 Hz. Den totala flödestätheten visades ändå korrekt då instrumentets mätområde var 5 Hz–400 kHz. Dessutom visade frekvensanalysen av mätningarna från 2010

att amplituden av signaler med frekvenser över 400 Hz är mycket liten och därmed endast bidrar obetydligt till den totala flödestätheten. Frekvensspektra från spårvagnsmätningarna 2008 visas i figurerna 5.79-5.83. På grund av den begränsade frekvensinformationen från 2008-mätningarna visas bara några enstaka spektra från Stockholm detta år, fler frekvensfördelningar visas istället från 2010, figur 5.84–5.89.

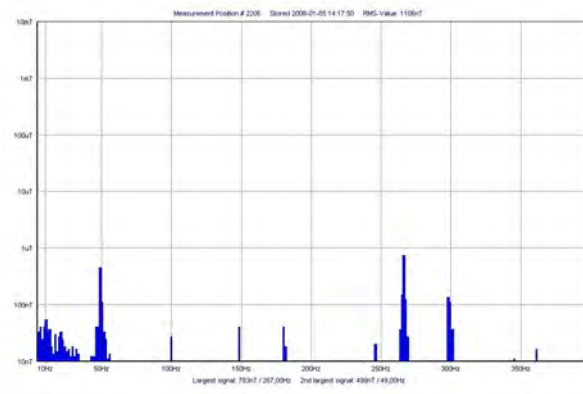


Figur 5.79a-d: Exempel på frekvensspektra av magnetfält i spårvagn M32 på linje 3 mellan Centra-stationen och Källtorp, 2008-01-01, vid olika totala flödestätheter. (frekvensaxel: linjär, 5-400 Hz, B-axel: logaritmisk, 10 nT-10 mT)

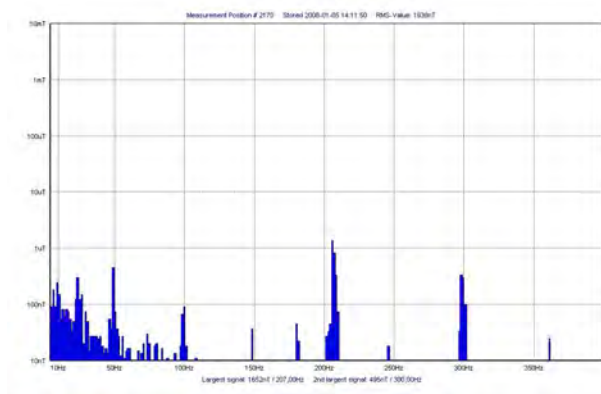
Figureerna visar tydliga linjespektra, bara vid starkare fält ser man ett bredare band av signaler upp till ungefär 100 Hz. I alla spektra syns en signal på 300 Hz av olika styrka. I Göteborg kunde den uppgå till ca. 0,5 μT , på Nockebybanan upp till ca. 1,5 μT , men på tvärbanan översteg denna signal bara någon gång 0,02 μT . Dessutom fanns det återkommande signaler vid vissa frekvenser såsom 50, 75, 100, 150 och 200 Hz. Vid starkare fält uppträder också signaler t.ex. omkring 250, 340 och 360 Hz vid Göteborgs-mätningarna och på 350 och 400 Hz vid mätningarna på Nockebybanan. På Tvärbanan kunde dock aldrig högre frekvenser än 300 Hz observeras. Frekvenserna härrör bl.a. från rippet som – liksom vid tunnelbana – kan uppstå vid olika typer av likriktning av trefas-växelström som används vid spårvagnar. Om skillnaderna beror på sträckan, vagnarna, olika platser i vagnar eller någon annan anledning kan med grundval av de gjorda mätningarna inte avgöras. Ytterligare exempel på frekvensspektra från dessa mätningar visas i bilaga B5, spårvagnar.



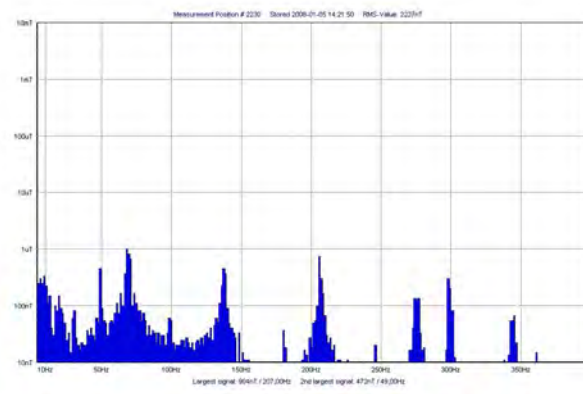
a) $B_{tot} = 0,61 \mu T$



b) $B_{tot} = 1,11 \mu T$

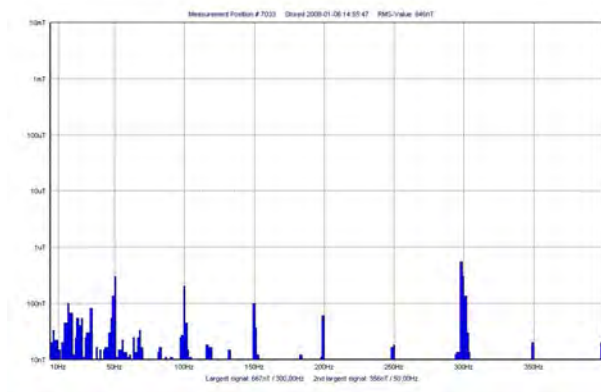


c) $B_{tot} = 1,94 \mu T$

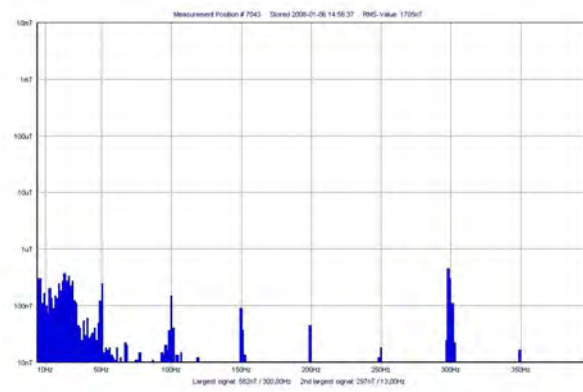


d) $B_{tot} = 2,23 \mu T$

Figur 5.80a-d: Exempel på frekvensspektra av magnetfält i spårvagn linje 3 mellan Kålltorp och Centralstationen, 2008-01-05, vid olika totala flödestätheter (axlar: se figur 5.79).

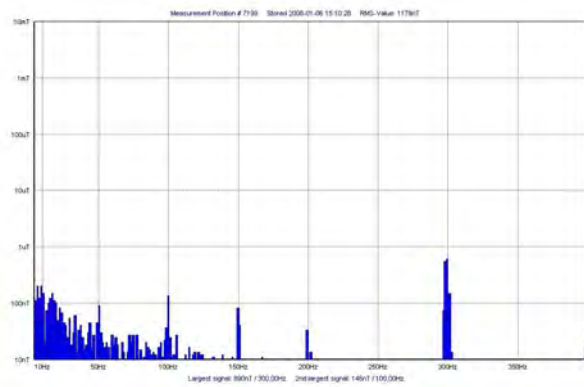


a) $B_{tot} = 0,85 \mu T$

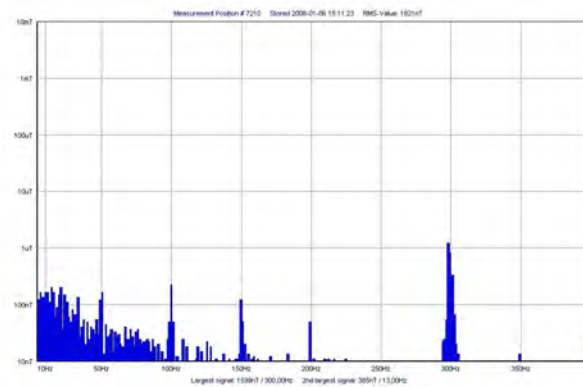


b) $B_{tot} = 1,71 \mu T$

Figur 5.81a-b: Exempel på frekvensspektra av magnetfält på Nockebybanan från Alvik till Nockeby, 2008-01-06, vid olika totala flödestätheter (axlar: se figur 5.79).

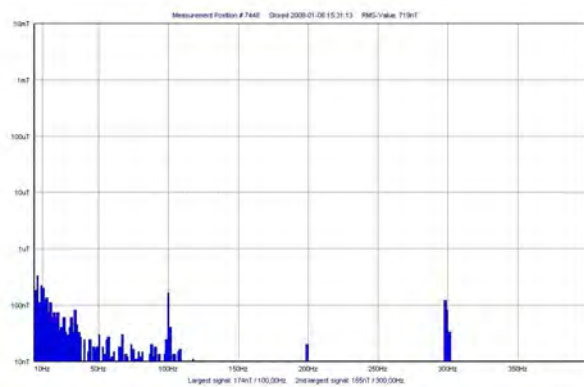


a) $B_{tot} = 1,18 \mu T$

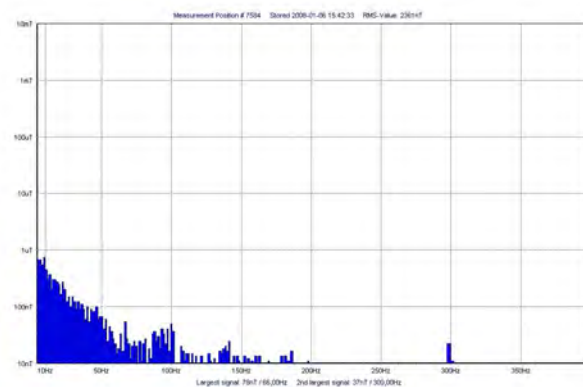


b) $B_{tot} = 1,82 \mu T$

Figur 5.82a-b: Exempel på frekvensspektra av magnetfält på Nockebybanan från Nockeby till Alvik, 2008-01-06, vid olika totala flödestätheter (axlar: som i figur 5.79).

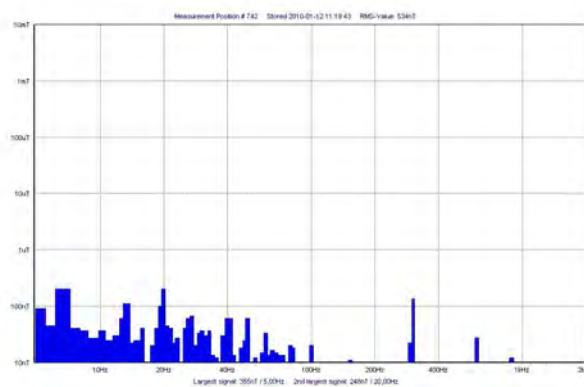


a) $B_{tot} = 0,72 \mu T$

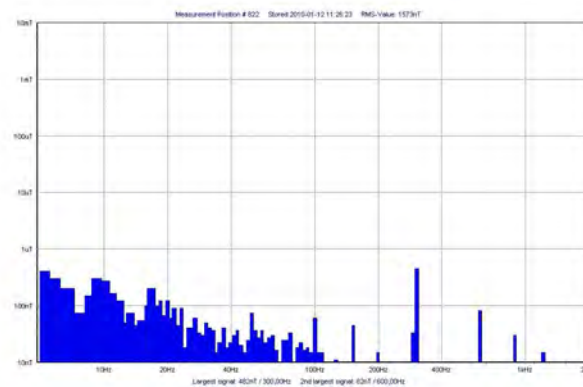


b) $B_{tot} = 2,36 \mu T$

Figur 5.83a-b: Exempel på frekvensspektra av magnetfält på Tvärbanan från Alvik till Årstaberget, 2008-01-06, vid olika totala flödestätheter (axlar: se figur 5.79).



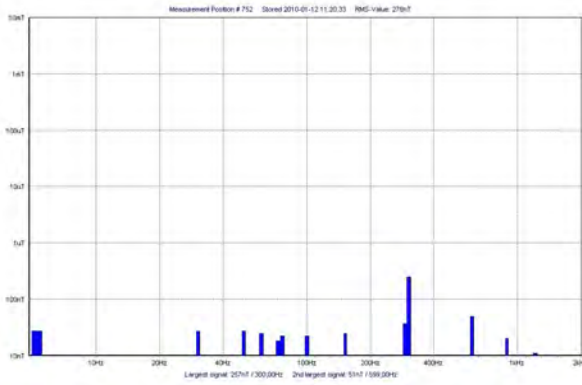
a) $B_{tot} = 0,53 \mu T$



b) $B_{tot} = 1,57 \mu T$

Figur 5.84a-b: Exempel på frekvensspektra av magnetfält på Nockebybanan från Alvik till Nockeby, 2010-01-12, vid olika totala flödestätheter. (f-axel: logaritmisk 5 Hz - 2 kHz.).

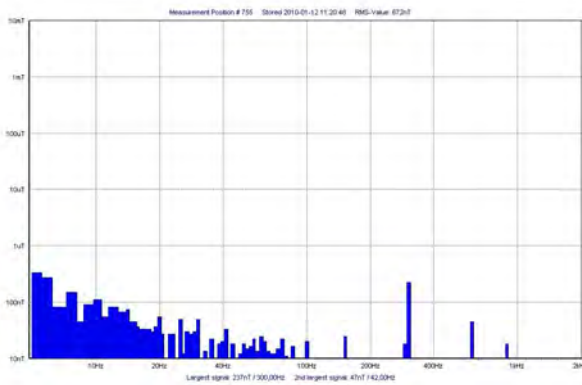
I figur 5.85 visas från en Stockholmsmätning hur snabbt frekvensinnehållet kan ändra sig i en serie av spektra upptagna med 10 s. Ytterligare ett exempel finns i bilaga B5, spårvagnar.



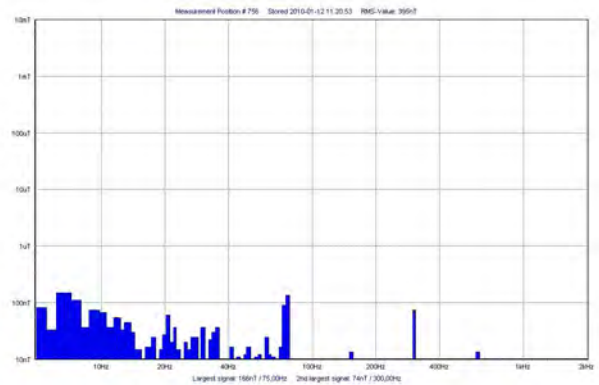
a) Tid: 11.20.33, $B_{tot} = 0,28 \mu T$, hpl.: Alléparken



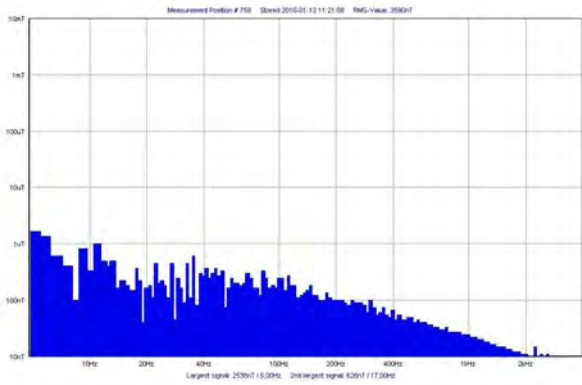
b) Tid: 11.20.38, $B_{tot} = 0,35 \mu T$



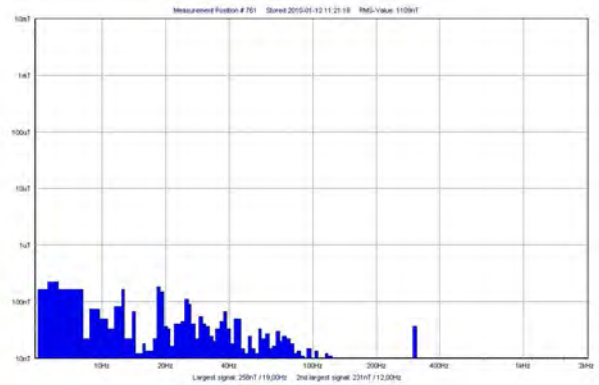
c) Tid: 11.20.48, $B_{tot} = 0,67 \mu T$



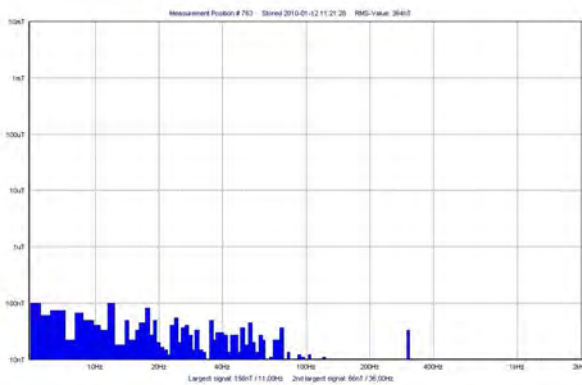
d) Tid: 11.20.58, $B_{tot} = 0,39 \mu T$



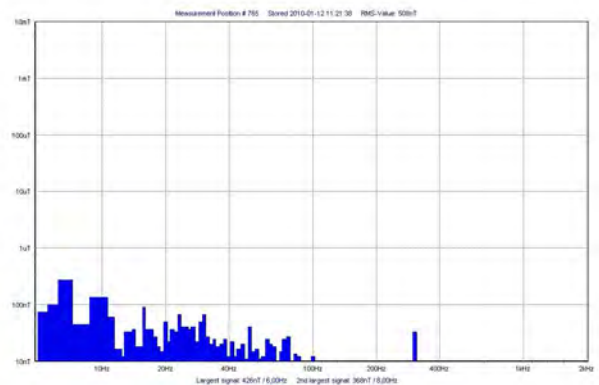
e) Tid: 11.21.08, $B_{tot} = 3,59 \mu T$



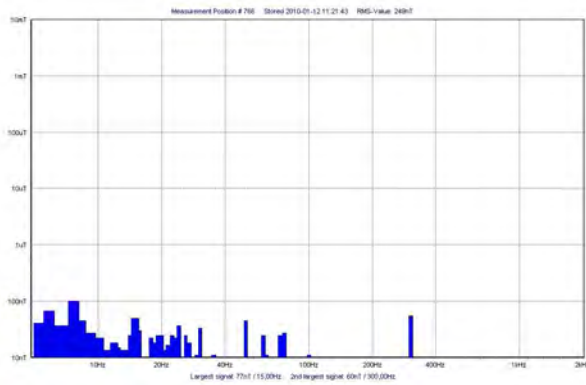
f) Tid: 11.21.18, $B_{tot} = 1,11 \mu T$



g) Tid: 11.21.28, $B_{tot} = 0,36 \mu T$



h) Tid: 11.21.38, $B_{tot} = 0,51 \mu T$

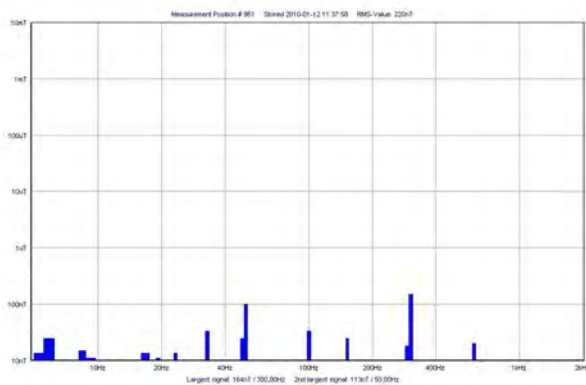


i) Tid: 11.21.43, $B_{tot} = 0,25 \mu T$, hpl. Klövergat.

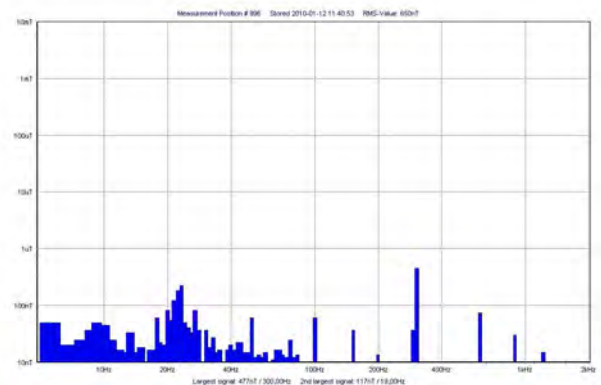


j) Tid: 11.21.48, $B_{tot} = 0,60 \mu T$

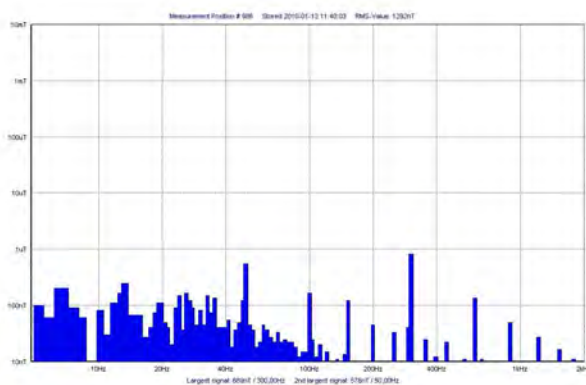
Figur 5.85a-j: Exempel på frekvensspektra av magnetfält på Nockebybanan från Alléparken till Klövergatan, 2010-01-12. (frekvensaxel: se figur 5.84, men i e) lite över 2kHz)



a) $B_{tot} = 0,22 \mu T$



b) $B_{tot} = 0,65 \mu T$

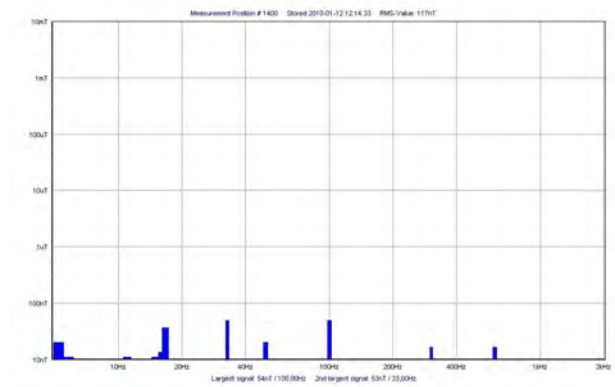


c) $B_{tot} = 1,29 \mu T$

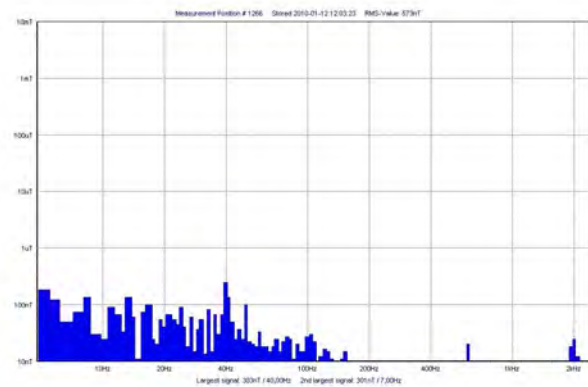


d) $B_{tot} = 2,41 \mu T$

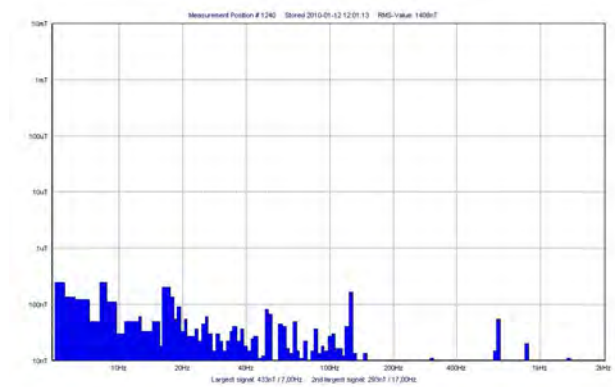
Figur 5.86a-d: Exempel på frekvensspektra av magnetfält på Nockebybanan från Nockeby till Alvik, 2010-01-12, vid olika totala flödestätheter. (frekvensaxel: se figur 5.84)



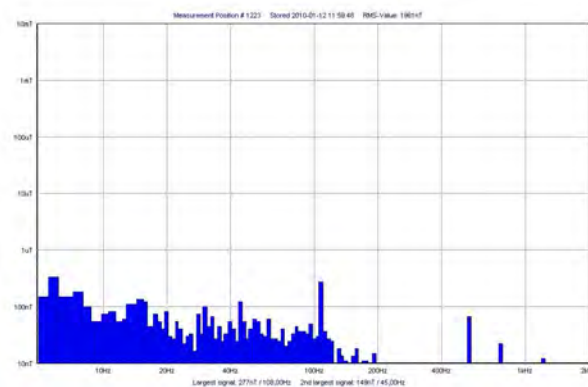
a) $B_{tot} = 0,12 \mu T$



b) $B_{tot} = 0,57 \mu T$

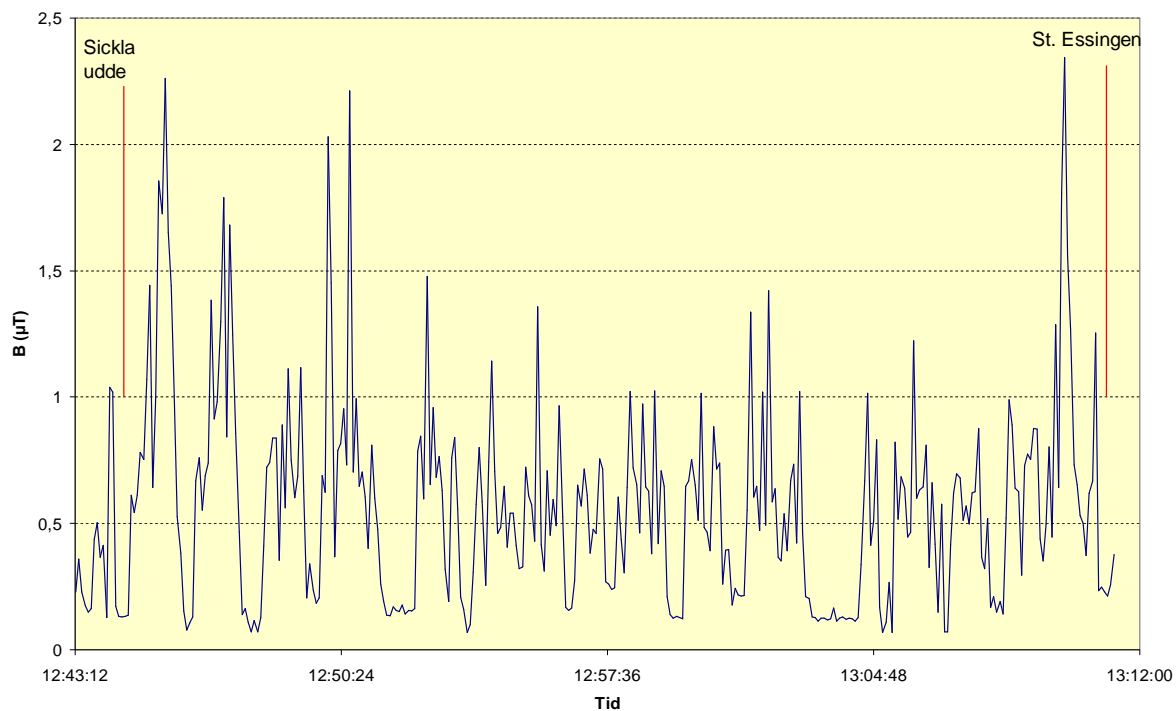


c) $B_{tot} = 1,41 \mu T$

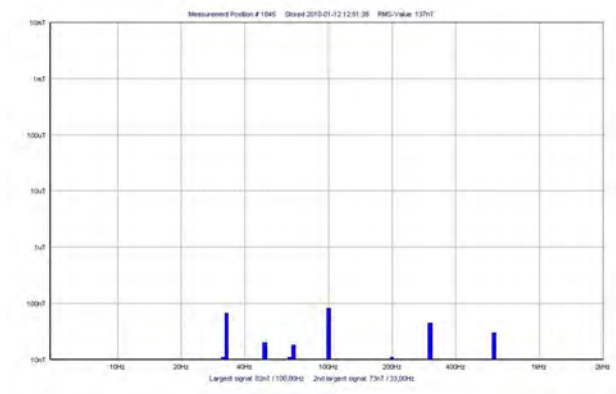


d) $B_{tot} = 1,96 \mu T$

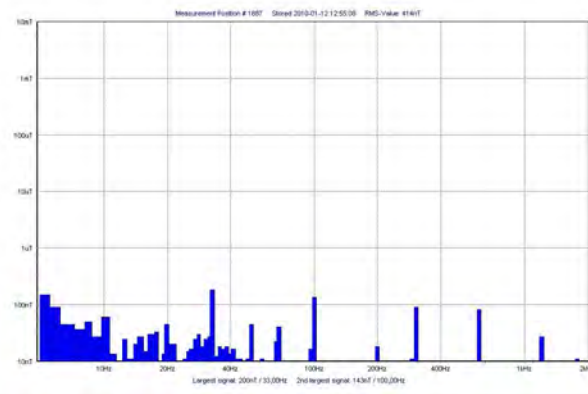
Figur 5.87a-d: Exempel på frekvenspektra av magnetfält på Tvärbanan från Alvik till Sickla udde, 2010-01-12, vid olika totala flödestätheter. (frekvensaxel: se figur 5.85)



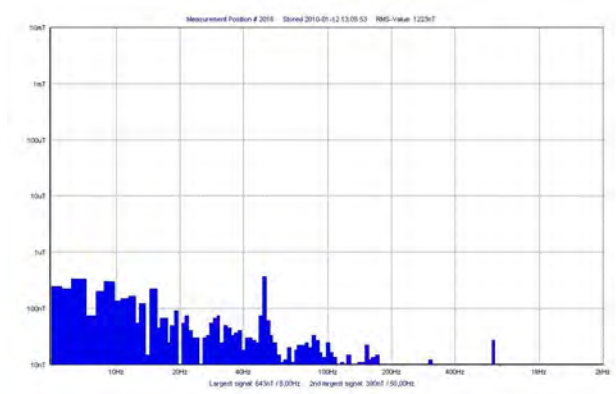
Figur 5.88: Magnetfält på Tvärbanan mellan Sickla udde och Stora Essingen i Stockholm, 2010-01-12.



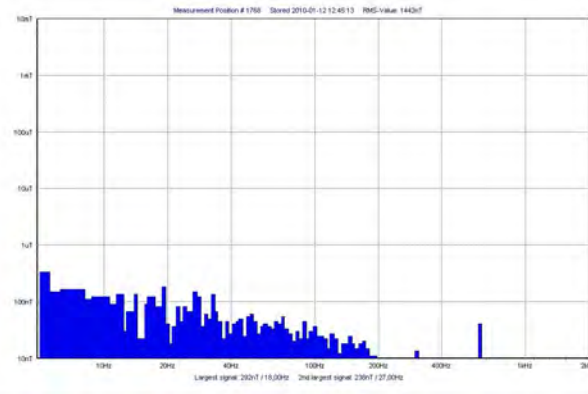
a) $B_{tot} = 0,14 \mu T$



b) $B_{tot} = 0,41 \mu T$



c) $B_{tot} = 1,22 \mu T$



d) $B_{tot} = 1,44 \mu T$

Figur 5.89a-d: Exempel på frekvensspektra av magnetfält på Tvärbanan från Sickla udde till Stora Essingen, 2010-01-12, vid olika totala flödestätheter. (frekvensaxel: se figur 5.85)

5.5 Bussar

Undersökningar gjordes i några av Stockholm lokaltrafiks bussar och i flygbussen till Arlanda. 1995 gjordes mätningarna med Emdex-, 1993, 2005 och 2006 med MFM10- och 2009 och 2010 med MFM3000-instrumentet. En sammanfattning av mätresultaten ges i tabell 5.26. Medelvärdet för resorna var aldrig högre än 0,5 μT och 90 % av alla mätningar låg under ca 0,9 μT .

Tabell 5.26: Mätning av magnetfält i bussar

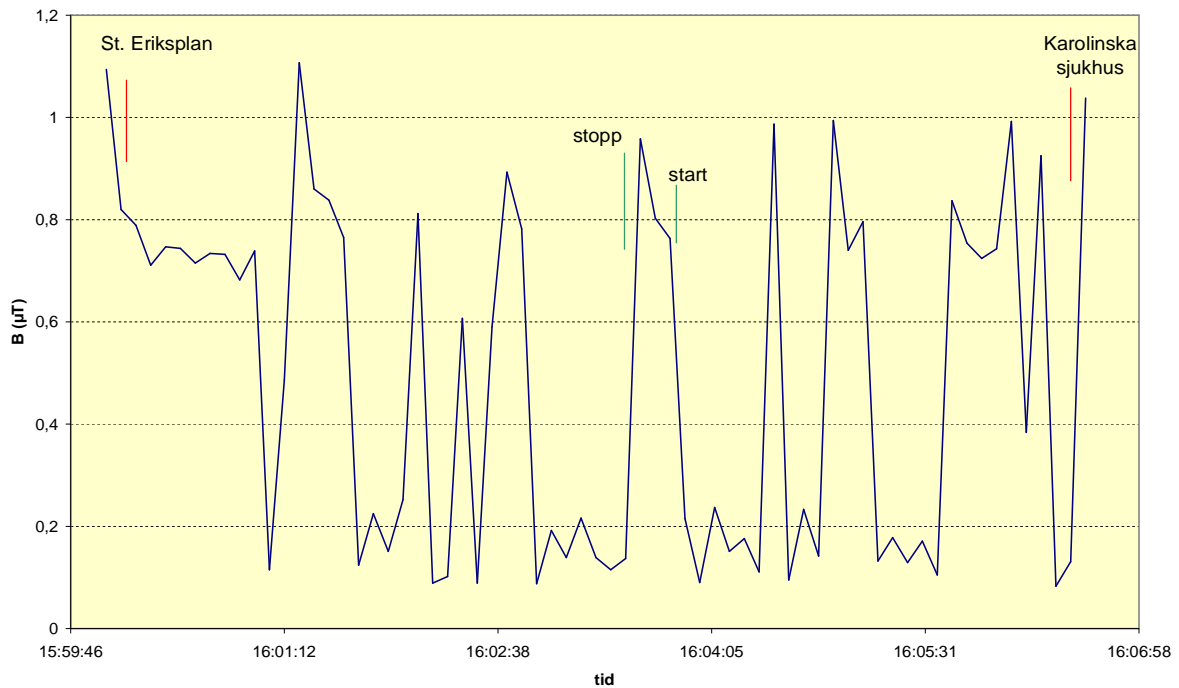
Bus/littera datum/tid	Sträcka	Plats	Mätin-strum. Sampelper.	Flödestäthet B (μT)				
				min	medel	median	90. perc.	max
48/ a 1993-10-23 16.00-16.07	St. Eriksplan- Karolinska sjukhus	Längst bak	MFM10 6 s	0,08	0,48	0,49	0,88	1,11
48/ a 1995-02-23 16.34-16.44	St. Eriksplan- Karolinska sjukhus	Vänster mitten	Emdex 4 s	0,01	0,34	0,32	0,65	1,37
540/ a 2005-10-08 18.21-18.57	Tensta centrum.– Kungshamra		MFM10 6 s	0,06	0,49	0,34	0,95	1,12
507/ a 2005-11-22 13.15-13.23	Västra skogen– Odenplan	Höger mitten	MFM10 6 s	0,03	0,21	0,10	0,46	0,51
176/ a 2006-09-27 08.40-08.56	Bergshamra bro–Vreten		MFM10 6 s	0,02	0,33	0,26	0,60	2,72
Flygbuss/ a 2009-03-22 13.53-14.32	City terminalen– Arlanda	Höger fram	MFM3000 10 s	0,03	0,09	0,05	0,13	2,68
Flygbuss/ a 2009-03-27 15.43-16.27	Arlanda–City terminalen	Vänster bak	MFM3000 10 s	0,04	0,25	0,13	0,70	2,16
177/ 7016 2010-01-11 18.11-18.26	Vreten–Bergs- hamra bro	Vänster mitt	MFM3000 5 s	0,09	0,32	0,34	0,38	1,61
176/ 7013 2010-01-12 10.33-10.50	Bergshamra bro– Brommaplan	Höger fram	MFM3000 5 s	0,08	0,24	0,21	0,34	1,65
1/ 2188 2010-01-12 13.20-13.40	Stora Essingen– Norrländsgatan	Höger fram	MFM3000 5 s	0,05	0,34	0,39	0,53	0,78

a: uppgift om littera saknas

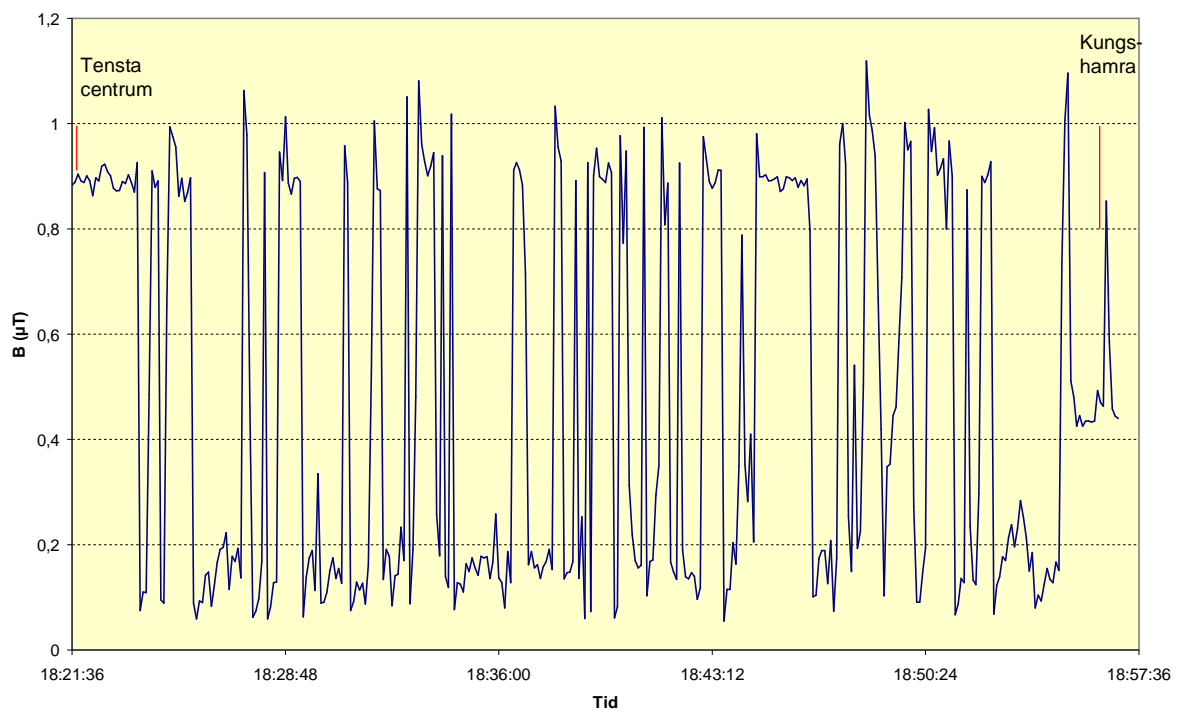
Figur 5.90-5.97 visar några tidsdiagram för bussfärderna. Ytterligare diagram ges i bilaga B6, bussar. Man ser att magnetfälten i stort sätt svänger mellan två bestämda nivåerna som kan skilja sig lite grann vid de olika mätningarna. I buss 48 och 540 låg nivåerna på ca 0,1 och 0,9 μT medan de låg vid ungefär 0,1 och 0,4-0,5 μT vid de övriga bussarna. Det observerades att magnetfälten oftast ökade i styrka när bussen bromsade in och stannade vid trafikljus eller hållplatser. Detta har också markerats i två av diagrammen.

Graferna i figurerna 5.90-5.92 skiljer sig från diagrammen 5.93-5.97 genom att det inte finns några enstaka signaler som är betydligt starkare än de övriga signalerna, som t.ex. vid mätningar i bussarna 176 och 177 från 2006 och 2010 (figur 5.93 och 5.94). Frekvensanalysen, som ges tillsammans med tidsgraferna i figur 5.94-5.97, visar att dessa signaler

beror på järnvägar och/eller högspänningsledningar i omedelbar närhet av bussens färdväg. Olika yttre fält kan inverka starkare på de uppmätta fälten i bussen eftersom fälten från bussarna är relativt svaga. Ytterligare frekvensfördelningar ses i bilaga B6, bussar.

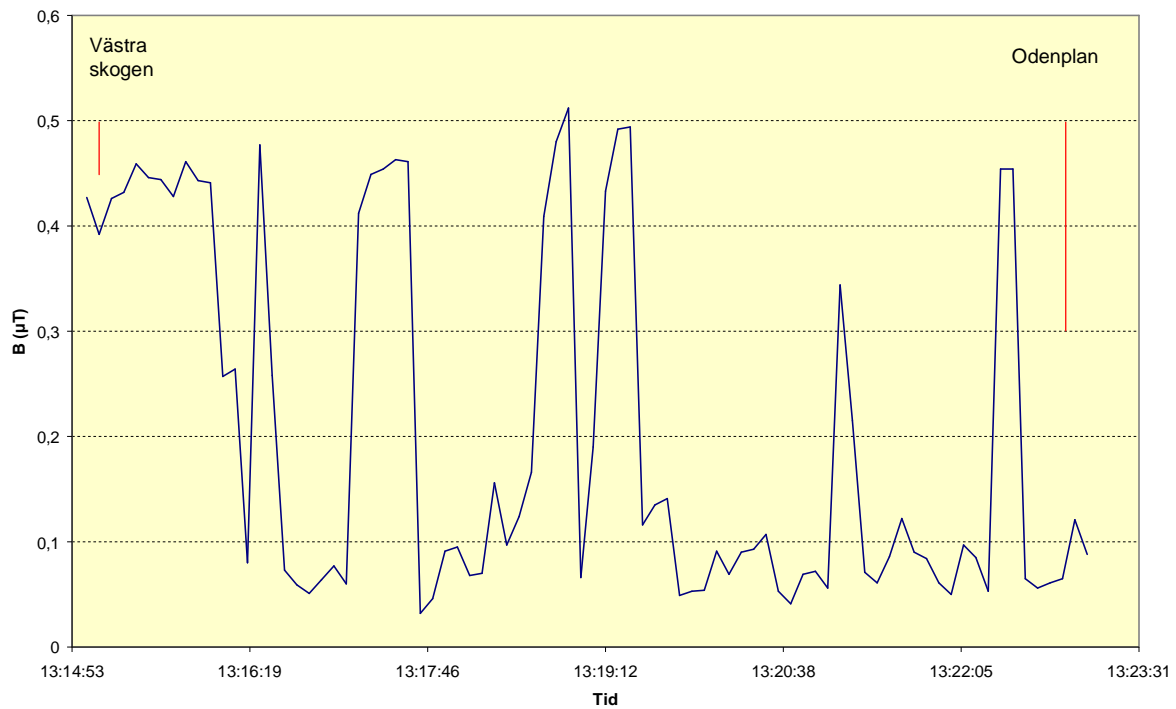


Figur 5.90: Magnetfält i buss 48 mellan St. Eriksplan och Karolinska sjukhus, 1993-10-22. Stopp och start av bussen är markerad vid ett tillfälle.

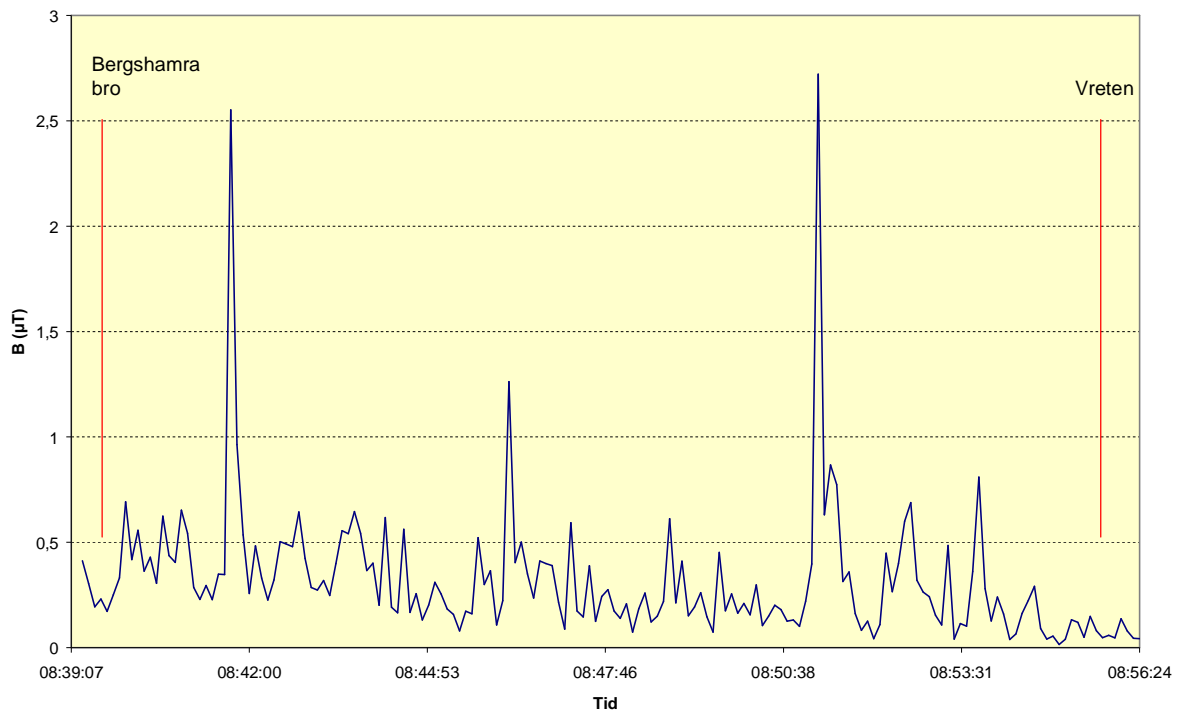


Figur 5.91: Magnetfält i buss 540 mellan Tensta centrum och Kungshamra, 2005-10-08.

1993, 2005 och 2006 gjordes mätningar under 25 perioder (30 mätningar per period på 180 s) med MFM10 i bussar. I 19 perioder kunde den dominerande frekvensen inte bestämmas, i 2 perioder var den 27 Hz och i ytterligare 2 fall var den mindre än 10 Hz. I ett fall, vid mätningen från 2006, angavs den som 50 Hz på mätperioden som inkluderade signalen på ca 2,6 μT som syns i figur 5.93.

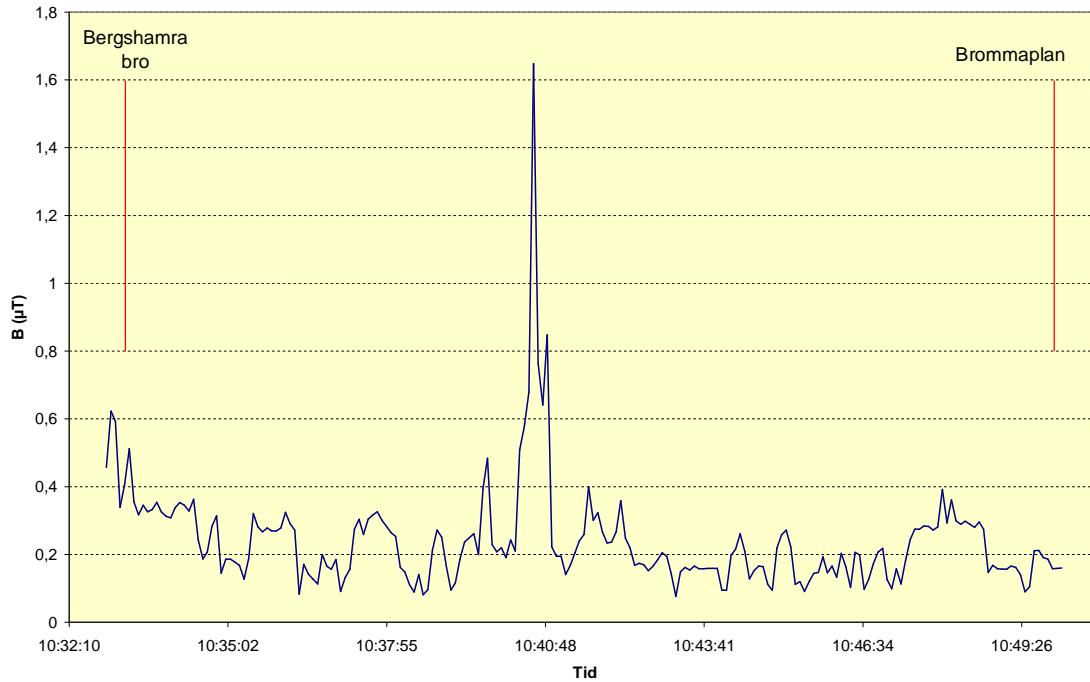


Figur 5.92: Magnetfält i buss 507 mellan Västra skogen och Odenplan, 2005-11-22.

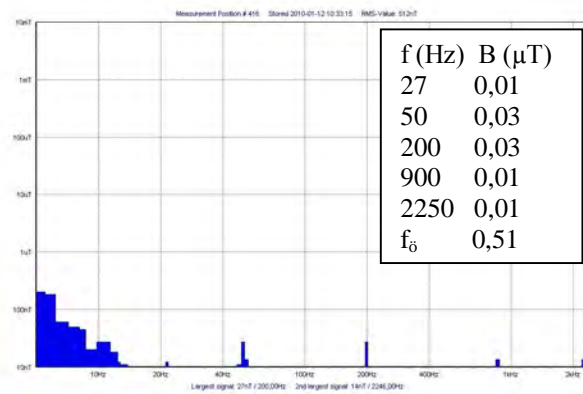


Figur 5.93: Magnetfält i buss 176 mellan Bergshamra bro och Vreten, 2006-09-27.

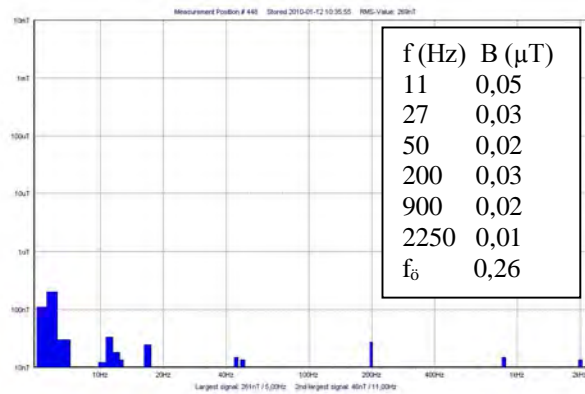
Mätningarna med MFM3000 från 2010 ger bättre information över frekvensinnehållet av magnetfälten i bussarna. Några exempel på frekvensfördelningen visas i figur 5.94-5.97 och i bilaga B6.



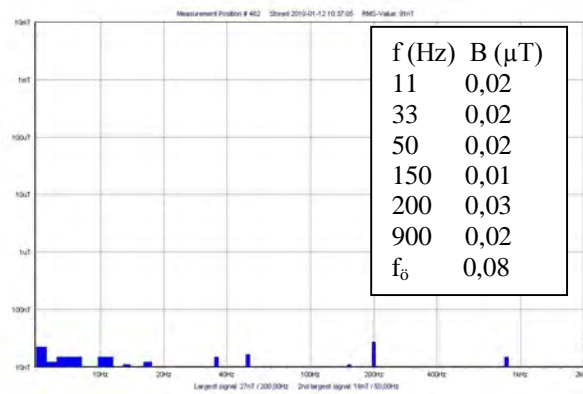
a) Tidsdiagram



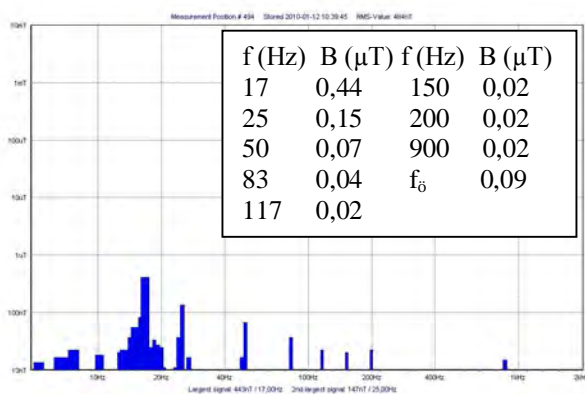
b) Tid: 10.33.15, $B_{tot} = 0,51 \mu\text{T}$



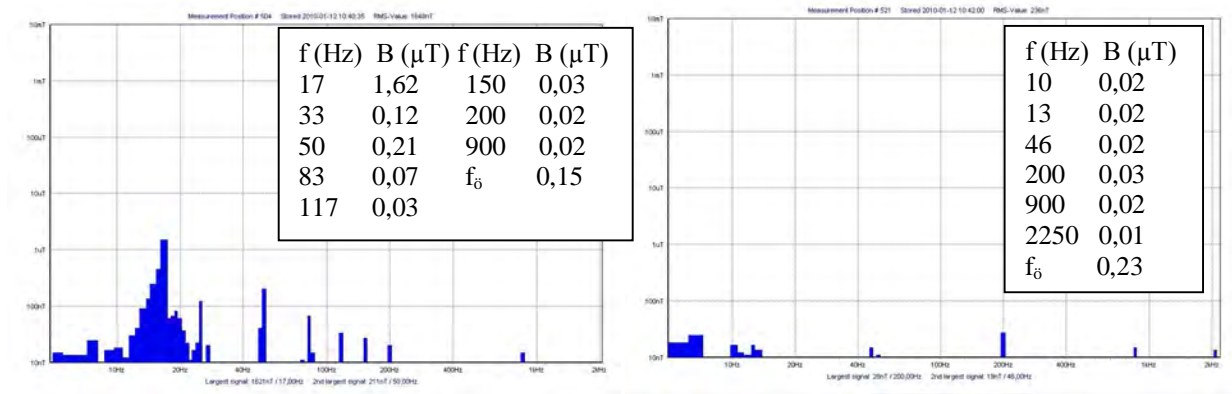
c) Tid: 10.35.55, $B_{tot} = 0,27 \mu\text{T}$



d) Tid: 10.37.05, $B_{tot} = 0,09 \mu\text{T}$



e) Tid: 10.39.45, $B_{tot} = 0,48 \mu\text{T}$



f) Tid: 10.40.35, $B_{tot}=1,65 \mu T$

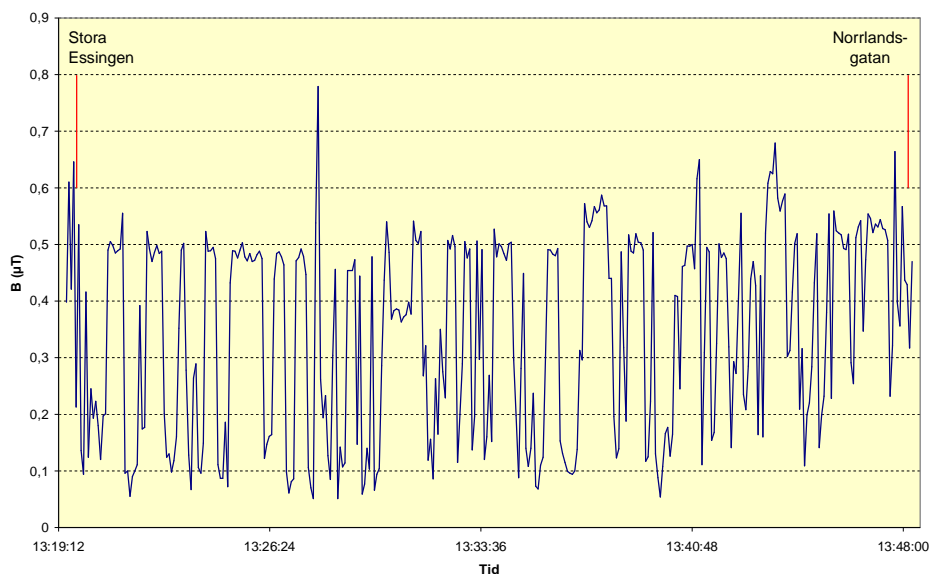
g) Tid: 10.42.00, $B_{tot}= 0,24 \mu T$

Figur 5.94a-g: Magnetfält i buss 176 mellan Bergshamra bro och Brommaplan, 2010-01-12.

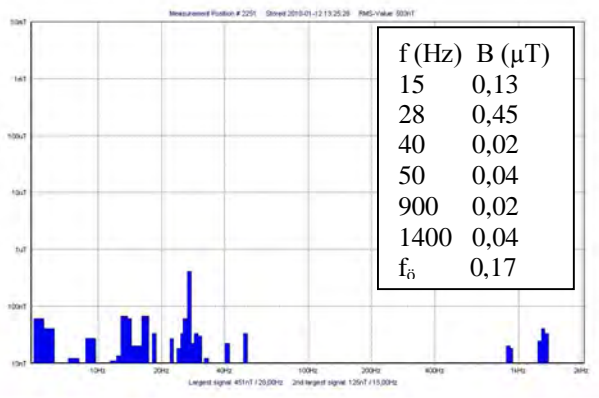
a): Tidsgraf, b)-g): Spektra vid olika tidpunkter och totala flödestätheter B_{tot} (frekvensaxel se figur 5.85)

I figur 5.94 syns tids- och frekvensgrafer för resan med buss 176 till Brommaplan. Vid tiden när det i tidsgrafen finns ett maximum på $1,65 \mu T$ ger frekvensspektra e) och f) starka signaler på ca. $0,44$ respektive $1,62 \mu T$ vid 17 Hz. Även tredje och femte övertonen (50 och 150 Hz) är starka än vid närliggande spektra. Dessa frekvenser är vanliga från järnvägen. Det finns också andra svaga signaler med frekvenser på 25-27, 200 och 900 Hz. Dessa signaler finns även i spektra när totala flödestätheten inte har höga värden. Dessutom finns ibland också svaga signaler vid 50 Hz och omkring 2 kHz. Starkare signaler finns även mellan 5 Hz och ungefär 15 Hz som kan bero på rörelse av mätinstrumentet.

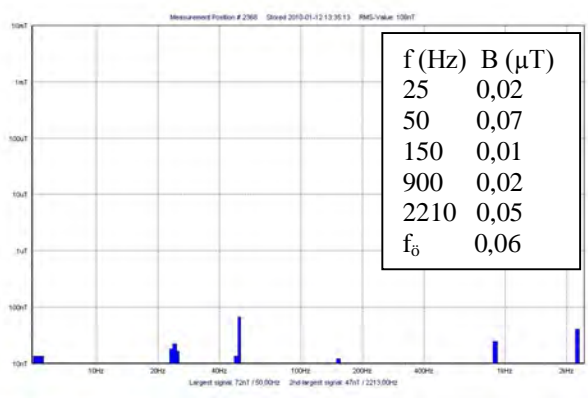
I tidsgrafen i figur 5.95 finns vid tiden 13.44 ett maximum på $0,68 \mu T$. Omkring samma tid syns i spektrum en starkare signal på $0,46 \mu T$ vid frekvensen på 50 Hz och övertonen 150 Hz (figur d), som kan bero på yttre 50 Hz-fält vid bussens färdväg. Även i de andra spektra finns svagare signaler vid 50 och 150 Hz, som kan bero på omgivningen i stadsmiljön. Liksom i buss 176 förekommer även signaler mellan 5 och ca 20 Hz, vid 25-27 Hz, och vid 900 Hz och mellan ca 1,4 och 2,7 kHz.



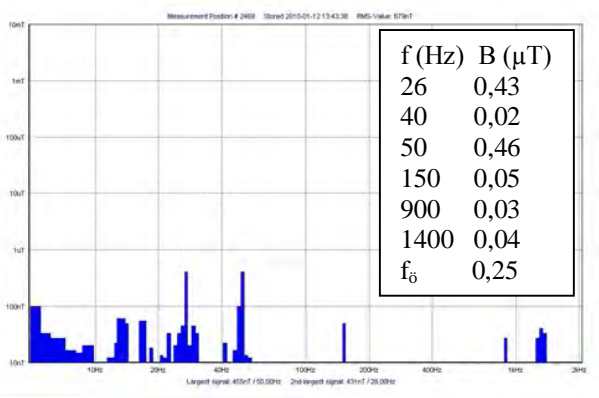
a) Tidsdiagram



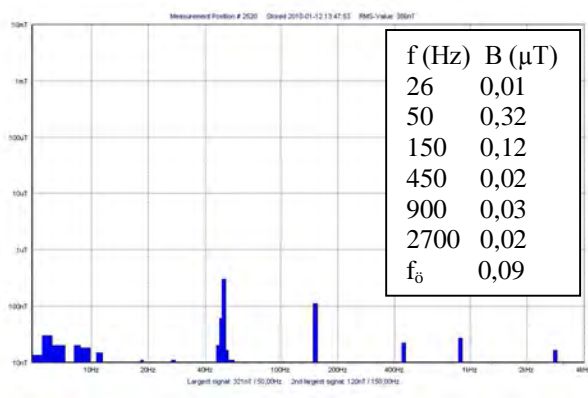
b) Tid 13.25.28, $B_{tot} = 0,50 \mu T$



c) Tid: 13.35.13, $B_{tot} = 0,11 \mu T$

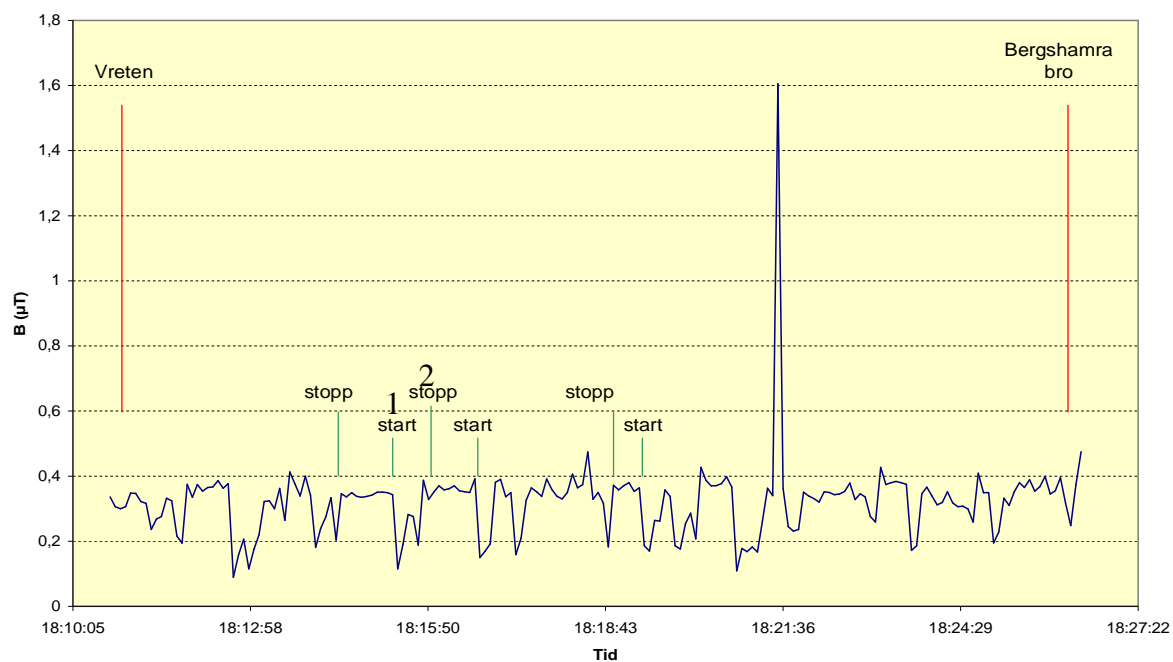


d) Tid: 13.43.38, $B_{tot} = 0,68 \mu T$

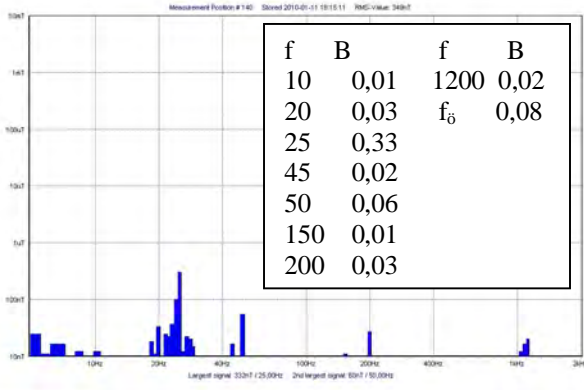


e) Tid: 13.47.53, $B_{tot} = 0,36 \mu T$

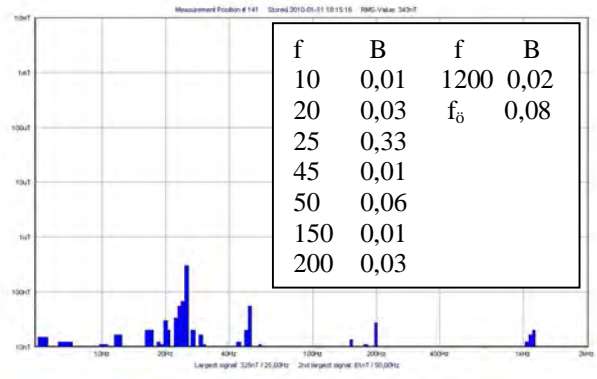
Figur 5.95a-d: Magnetfält i buss 1 mellan Stora Essingen och Norrlandsgatan, 2010-01-12.
 a) Tidsgraf, b)-d) spektra vid olika tidpunkter (frekvensaxel se figur 5.94) och
 e) med frekvensaxel 5 Hz - 4 kHz).



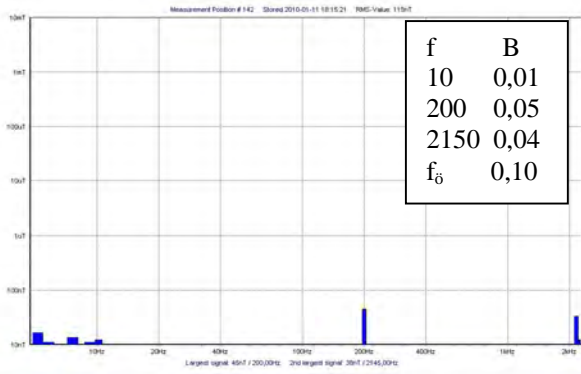
a) tidsdiagram



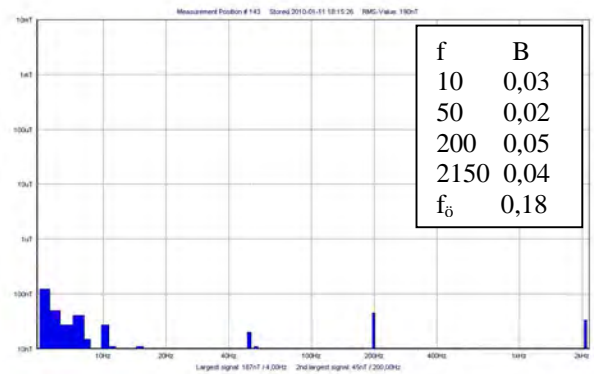
b) $B_{tot}=0,35 \mu T$



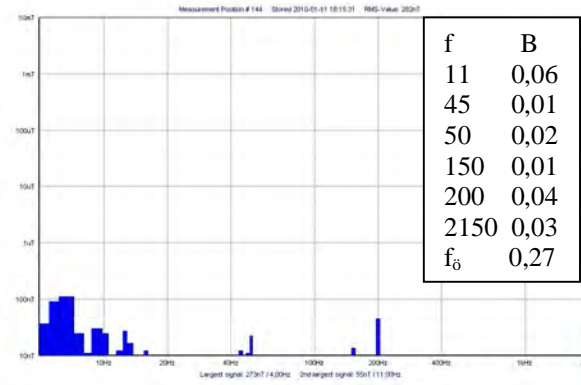
c) $B_{tot}=0,34 \mu T$



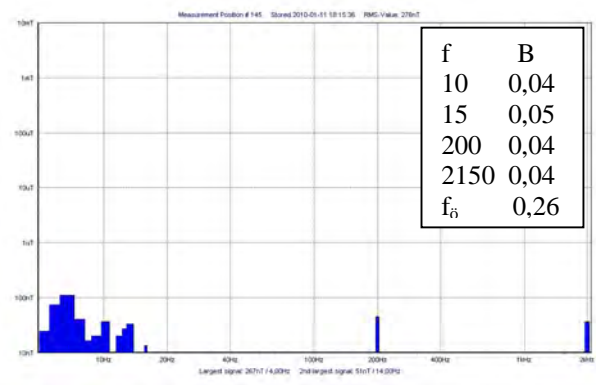
d) $B_{tot}=0,12 \mu T$



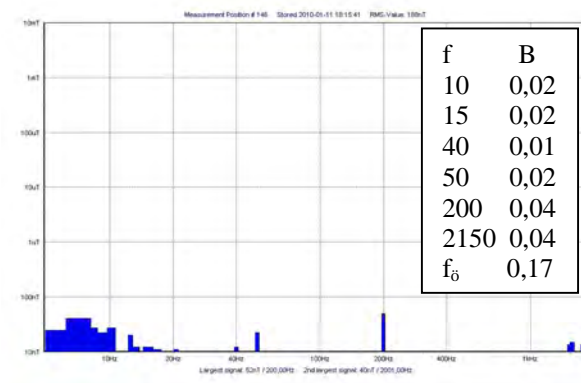
e) $B_{tot}=0,19 \mu T$



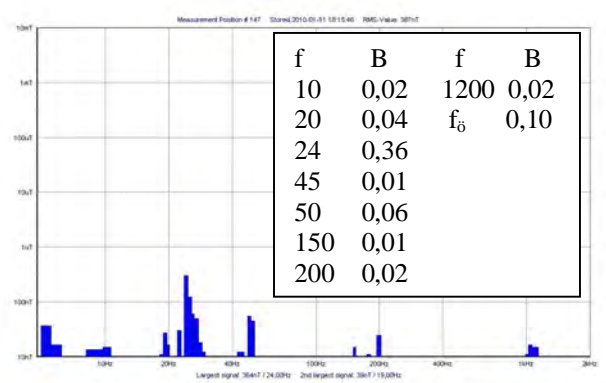
f) $B_{tot}=0,28 \mu T$



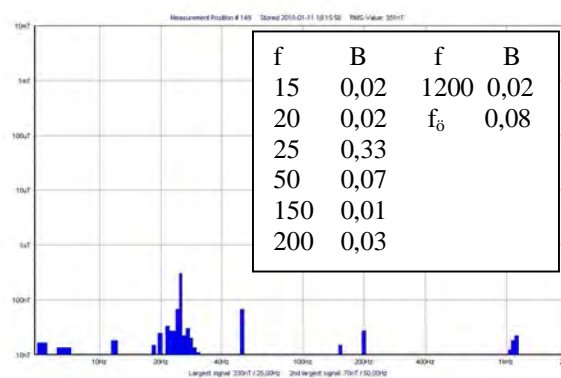
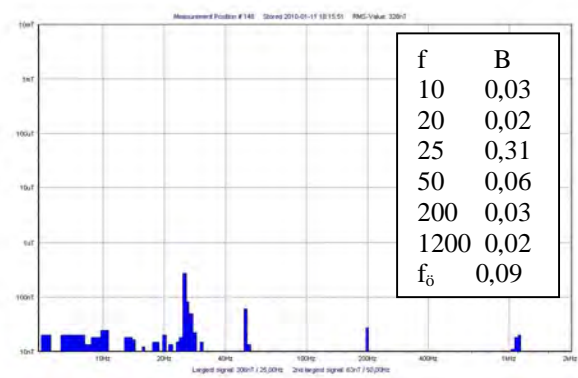
g) $B_{tot}=0,28 \mu T$



h) $B_{tot}=0,19 \mu T$



i) $B_{tot}=0,39 \mu T$



j) $B_{tot} = 0,33 \mu T$

k) $B_{tot} = 0,35 \mu T$

Figur 5.96a-k: Magnetfält i buss 177 mellan Vreten och Bergshamra bro, 2010-01-11.

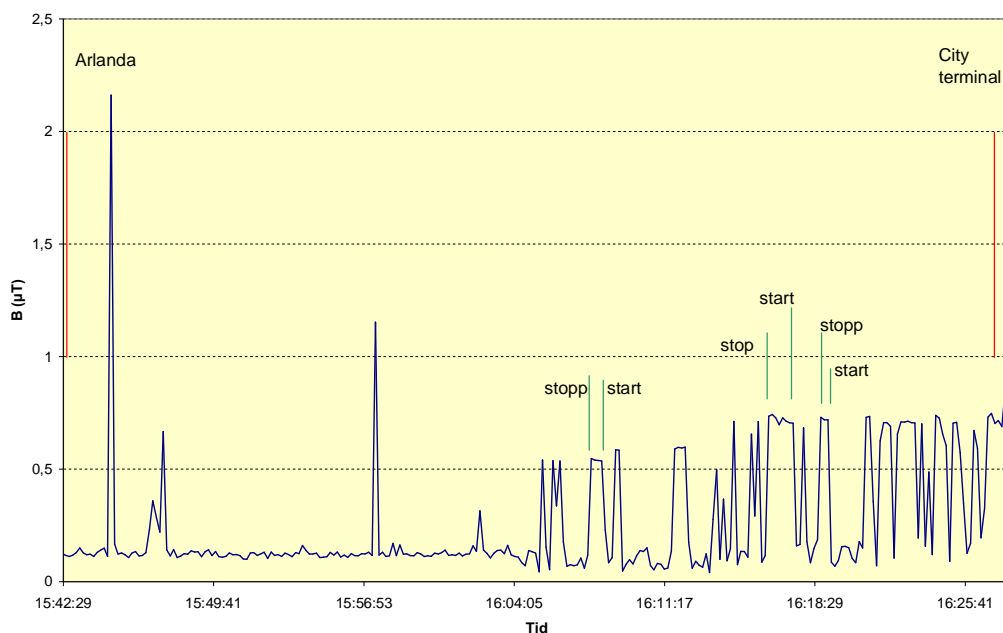
a) Tidsgraf med stopp och start av bussen markerad vid tre tillfällen.

b)-k): Serie av spektra med 5 s mellanrum från 18.15.01-18.15.56

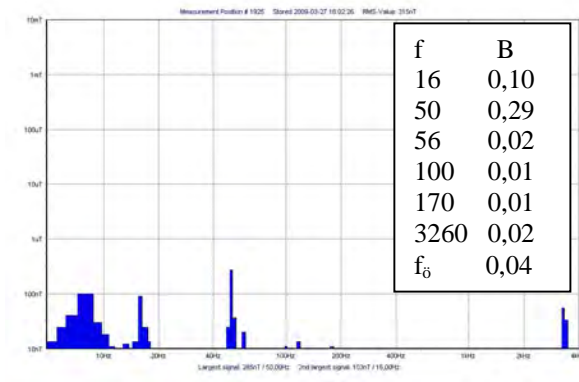
(frekvensaxel se figur 5.94, tabeller: f i Hz, B i μT). Tabeller: f i Hz, B (μT).

I figur 5.96a-k visas en tidsgraf och en serie av spektra med 5 s mellanrum från första 'start'-till andra 'stopp'-tillfället (1 till 2) i tidsgrafen. Det finns lågfrekventa signaler upp till ca. 20 Hz i varje spektrum. Den starkaste signalen finns omkring 25-27 Hz som verkar uppträda när bussen stannar. Vidare finns det svaga signaler vid 50 Hz, 200 Hz och från ca. 1,4 till 2 kHz.

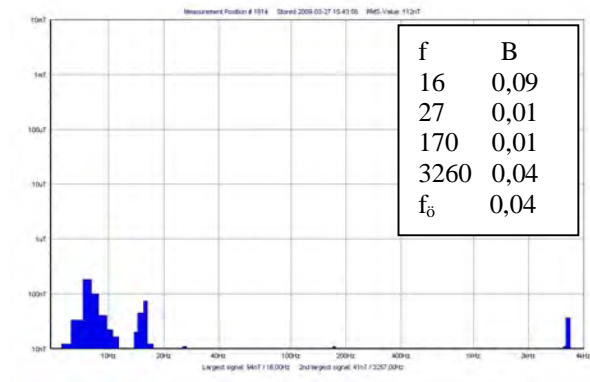
Mätningar i flygbussen, som visas i figur 5.97 och 5.98, skiljer sig något från de övriga bussmätningarna: Dels är det långa sträckor utan stopp vid hållplatser och trafikljus dels går färdvägen ofta i närheten av kraftledningar eller järnvägen. Således har de första tre topparna på 2,16, 0,67 och 1,15 μT i tidsgrafen för resan Arlanda–Stockholm city (figur 5.97) en 50 Hz-andel på 2,15, 0,65 och 1,14 μT . I övrigt ser man på tidsgrafen de för bussar typiska svängningar mellan i stort sett två fältnivåer när bussen närmar sig Stockholm och det blir flera stopp vid hållplatser, trafikljus och i rusningstrafiken. Frekvensspektra visar som vanligt



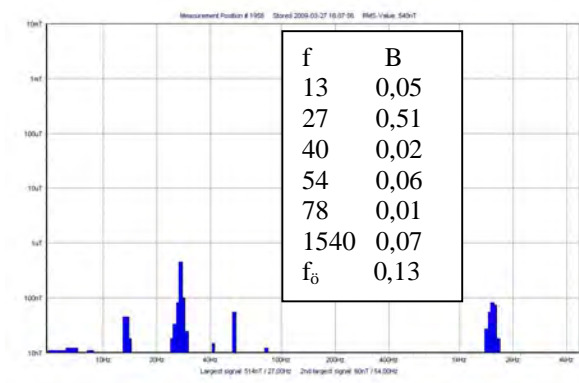
a) Tidsdiagram



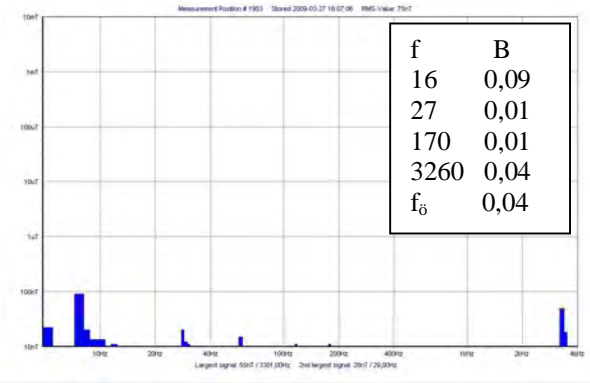
b) Tid: 16.02.26, $B_{tot}=0,32 \mu T$



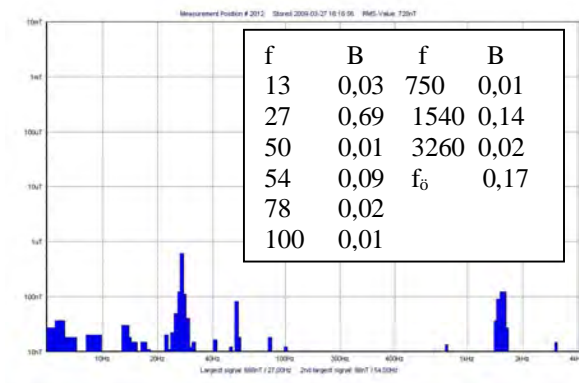
c) Tid: 15.43.56, $B_{tot}=0,11 \mu T$



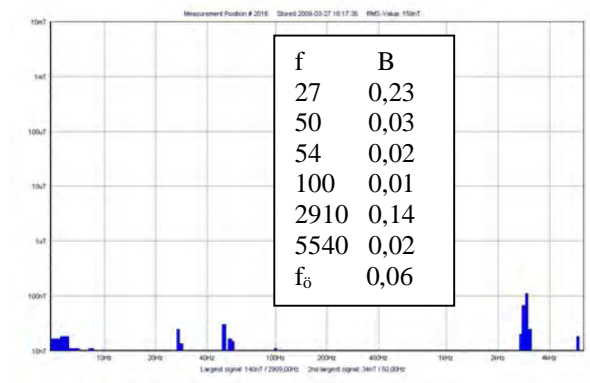
d) Tid: 16.07.56, $B_{tot}=0,54 \mu T$



e) Tid: 16.07.06, $B_{tot}=0,08 \mu T$



f) Tid: 16.16.56, $B_{tot}=0,73 \mu T$



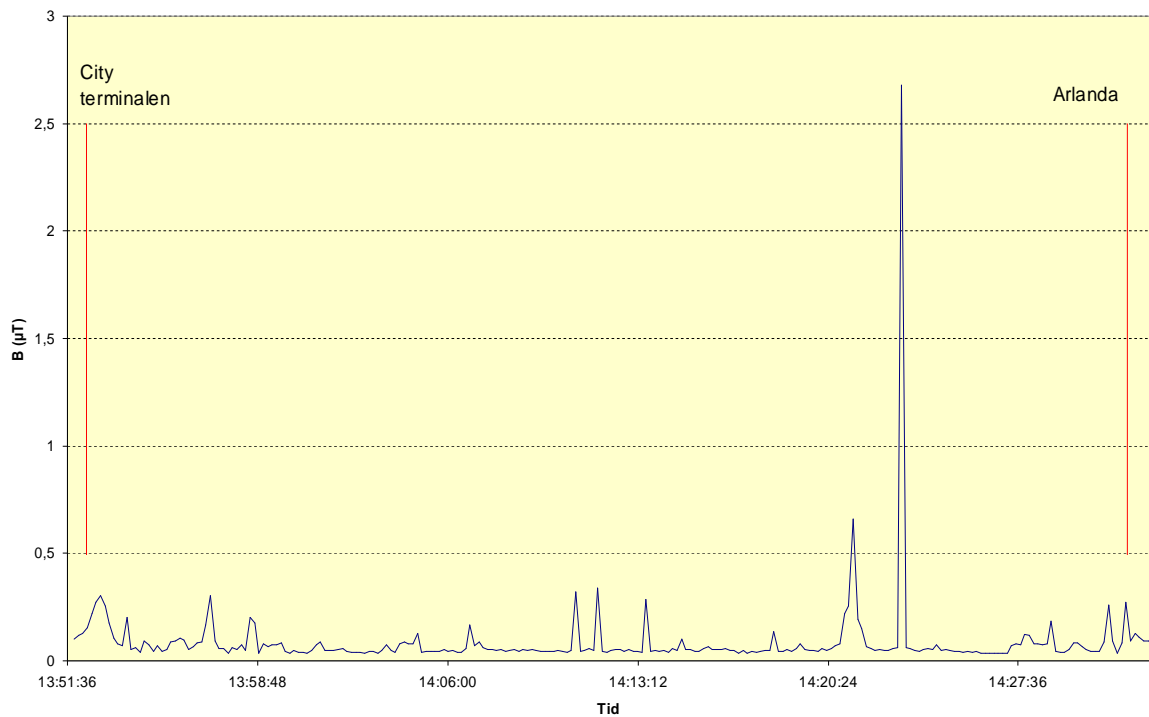
g) Tid: 16.17.36, $B_{tot}=0,16 \mu T$

Figur 5.97a-g: Magnetfält i flygbus mellan Arlanda och Stockholm city terminalen, 2009-03-27. a) tidsgraf, b)-g) spektrum vid olika tider, (logaritmisk frekvensaxel 5 Hz-4 kHz, vid g) lite över 4 kHz). Tabeller: f i Hz, B i μT .

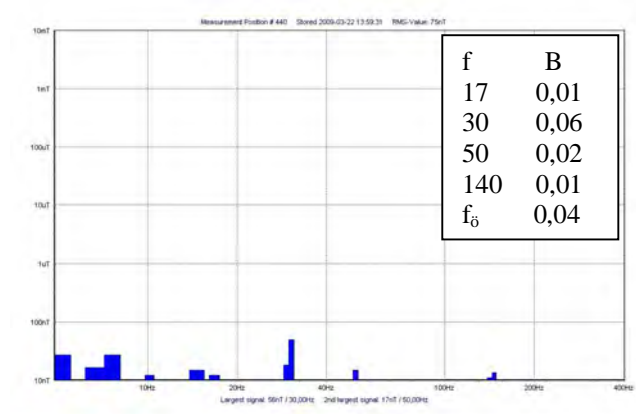
lågfrekventa signaler upp till ca 15 Hz. Den starkaste signalen finns ofta omkring 25-27 Hz när bussen bromsar in eller stannar. Det finns också en signal på maximalt ca 0,1 μT vid en frekvens omkring 1,5 kHz. Ännu svagare signaler finns det omkring 2,9 kHz och över 4 kHz.

Frekvensspektra ser lite annorlunda ut för färden från Stockholms city till Arlanda när mätinstrumentet befann sig på en plats lägre fram i bussen. Några exempel på den spektrala för-

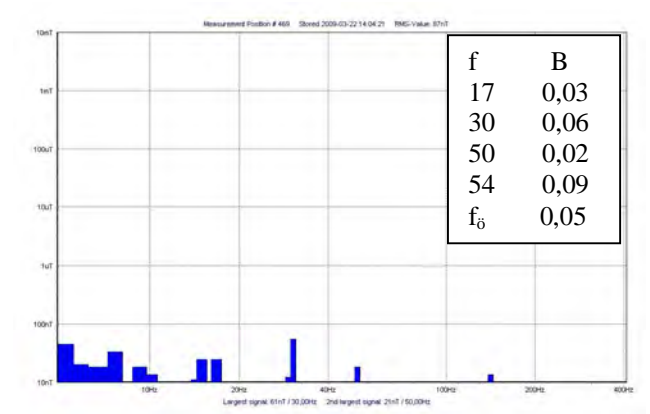
delningen för resan visas tillsammans med tidsgrafen i figur 5.98. Det som saknas är de svaga signalerna vid högre frekvenser. Bara en enda gång, kort före ankomsten i Arlanda, fanns en



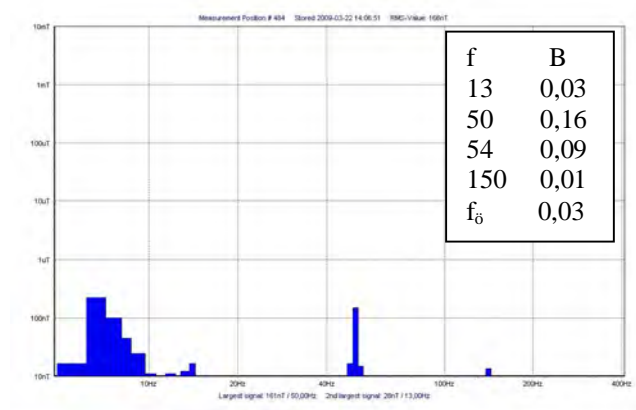
a) Tidsdiagram



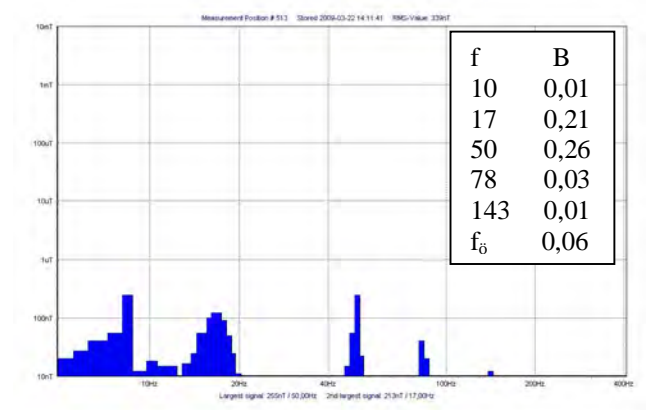
b) Tid: 13.59.31, $B_{tot}=0,08 \mu T$



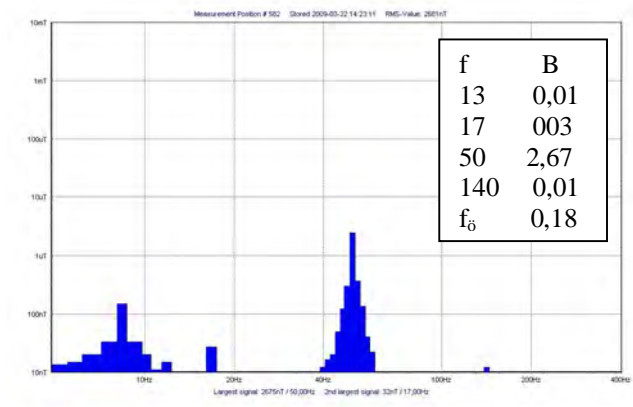
c) Tid: 14.04.21, $B_{tot}=0,09 \mu T$



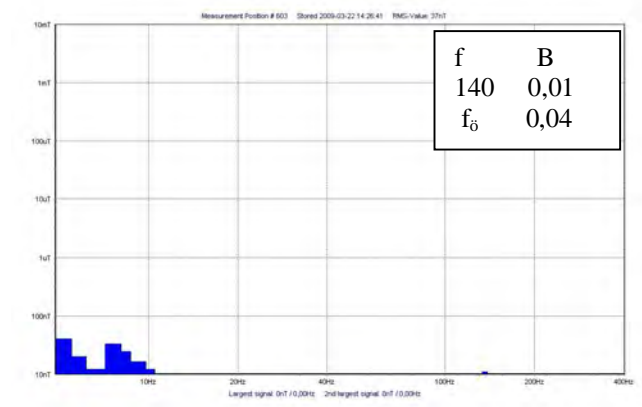
d) Tid: 14.06.51, $B_{tot}=0,17 \mu T$



e) Tid: 14.11.41, $B_{tot}=0,34 \mu T$



f) Tid: 14.23.11, $B_{tot}=2,68 \mu T$



g) Tid: 14.26.41, $B_{tot}=0,04 \mu T$

Figur 5.98a-g: Magnetfält i flygbus mellan Stockholm city terminalen och Arlanda, 2009-03-22. a) tidsgraf, b)-g) spektrum vid olika tider, (logaritmisk frekvensaxel 5 - 400 Hz). Tabeller: f i Hz, B i μT .

svag signal omkring 1,5 kHz, se figur B6.6 i bilaga B6. I alla andra spektra finns inga signaler över 200 Hz (frekvenszoomen var ända upp till 400 kHz). Utöver signaler med olika frekvenser upp till 20 Hz fanns det signaler vid 33 Hz, 50 Hz och 150 Hz. 50 Hz-signalen i figur 5.98f har en amplitud på 2,67 μT och sammanfaller med maximum i tidsgrafen, som förmodligen orsakas av en högspänningsledning.

5.6 Flygplan

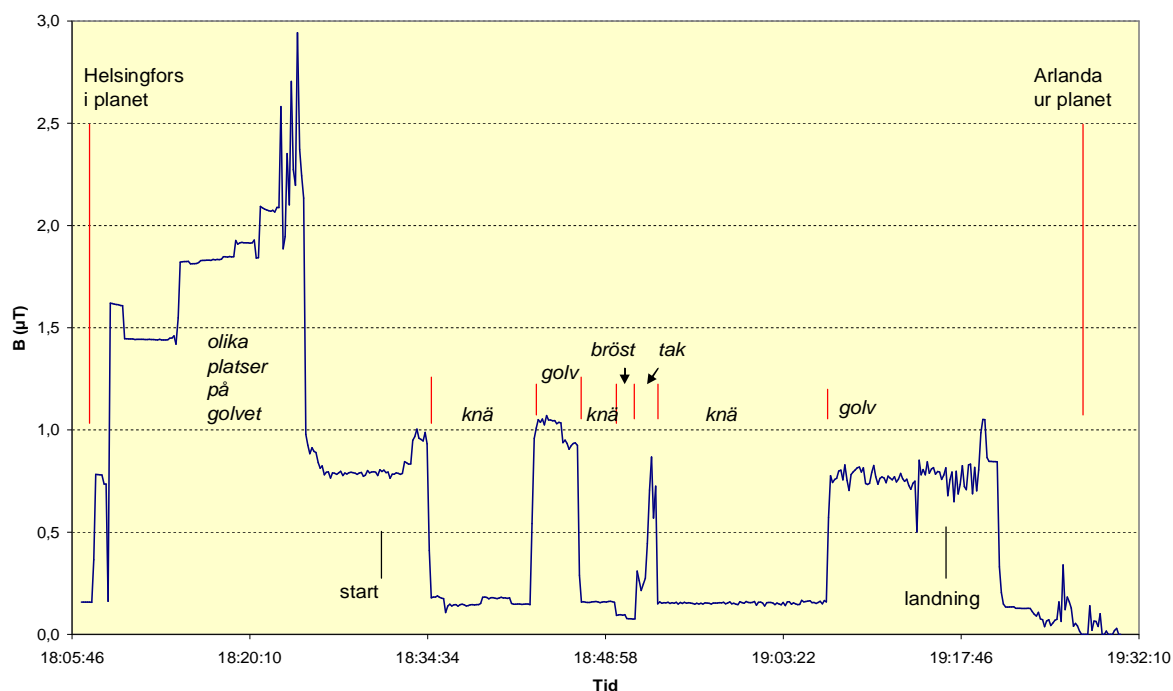
Mätningar gjordes med MFM3000-instrumentet under tre flygresor dels från Helsingfors till Stockholm 2008 dels från Arlanda till Berlin Schönefeld och tillbaka 2009. Flygplanstyperna var en AvroRJ85 från Helsingfors och en Airbus A319 mellan Stockholm och Berlin.

Mätningar utfördes på en fönsterplats med mätinstrumentet vid fötterna, i knäna och på sätet bredvid, som var en mittplats. Mellan Helsingfors och Stockholm hölls instrumentet även i brösthöjd på en sittande resenär. En sammanfattning av mätresultaten ges i tabell 5.27.

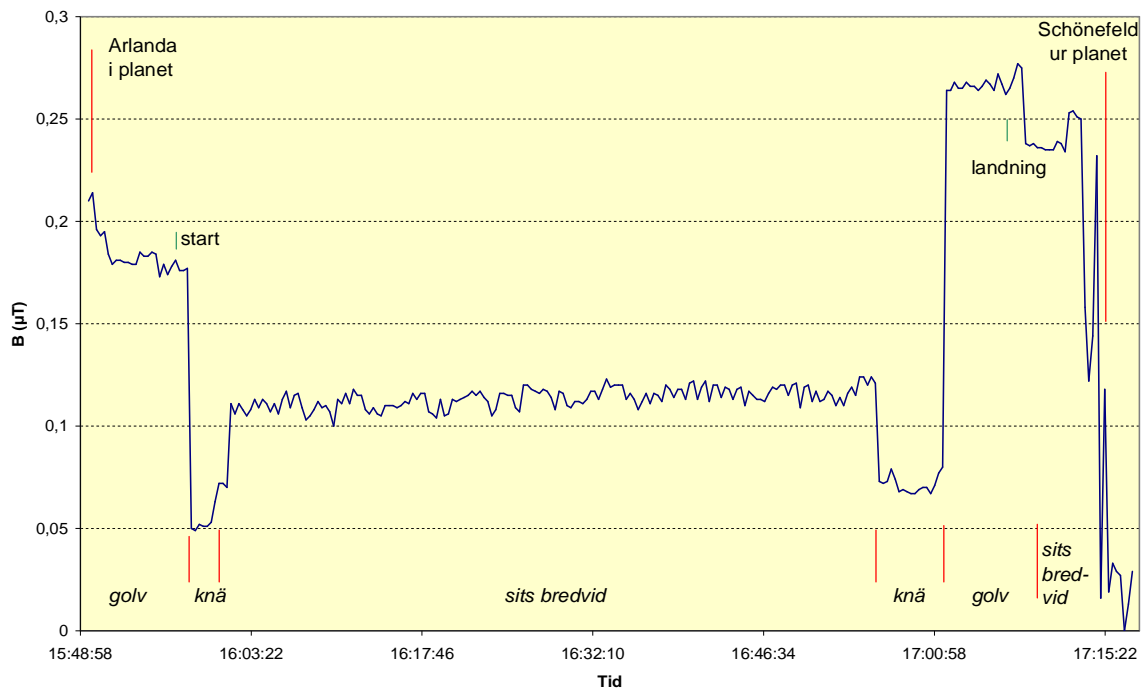
Eftersom mätinstrumentet vid Helsingfors-resan har flyttas runt mera på olika ställen är resultaten inte uppdelade på skilda platser som vid Berlin-flygen. Tidsdiagram ses i figur 5.99-5.101. Tillsammans med grafen i figur 5.99 kan man se att magnetfältens medelvärde alltid är störst vid golvet, ca 0,2 respektive 1,0 μT för Berlin-resorna. De starkaste fälten uppmättes vid Berlin-flygen ca 1,7 μT vid golvet och 0,2-0,3 μT vid sitsen bredvid eller i knäna. På Helsingfors-flyget mättes ett något starkare fält på 2,9 μT , men då hade instrumentet flyttas på golvet intill flygplanets vägg.

Tabell 5.27: Sammanfattning av resultaten för mätningar av magnetfält i flygplan

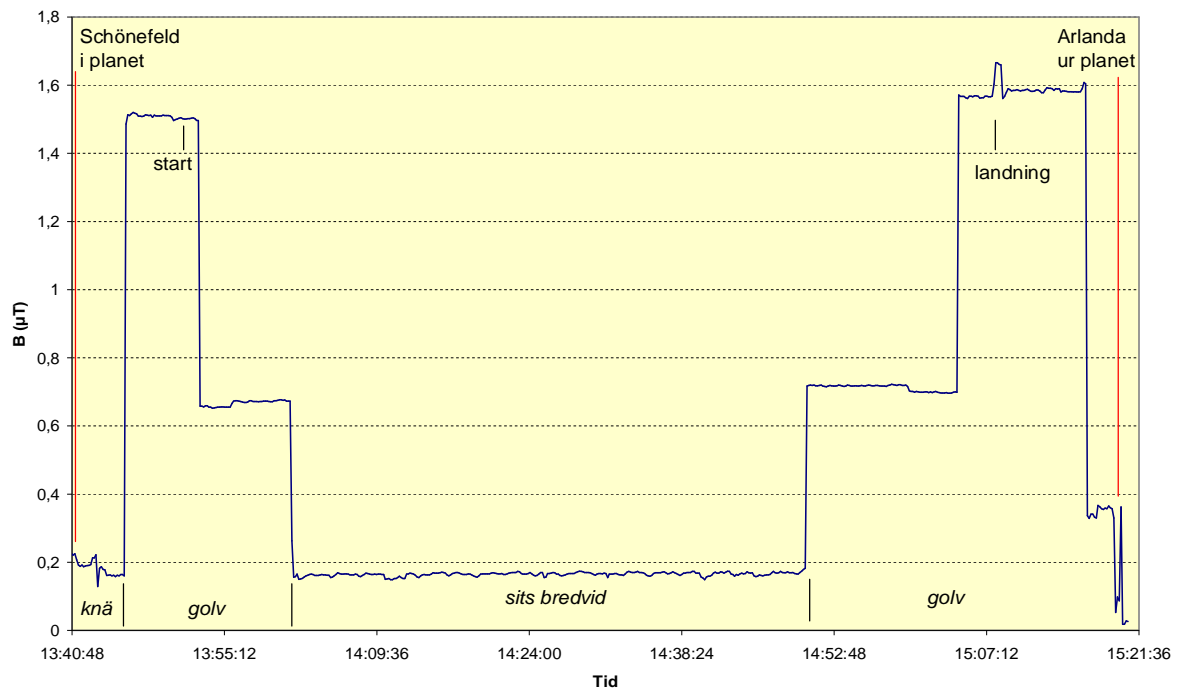
Dat.	2008-01-15			2008-03-22			2008-03-27	
Resa	Helsingf.- Stockholm			Stockholm- Berlin			Berlin- Stockholm	
Samp.	10 s			20 s			10 s	
Plats	Golv, knä, bröst, 15A	Golv 21F	Knä 21F	Sits bredvid 21E	Golv 18E	Knä 18F	Sits bredvid 18E	
Tid	18.06-19.24	15.50-15.59 17.02-17.08	15.59-16.02 16.56-17.02	16.02-16.56 17.08-17.15	13.46-14.01 14.50-15.20	13.40-13.46	14.01-14.50	
Totala flödestäthet B (μT)								
Min	0,04	0,05	0,05	0,10	0,05	0,13	0,15	
Med	0,74	0,20	0,07	0,13	1,03	0,19	0,17	
50 %	0,76	0,19	0,07	0,11	0,19	0,19	0,17	
90 %	1,83	0,27	0,08	0,22	1,59	0,22	0,17	
Max	2,94	0,28	0,08	0,25	1,67	0,23	0,26	



Figur 5.99: Magnetfält i flygplan Avro RJ85 mellan Helsingfors och Arlanda, 2009-01-15.



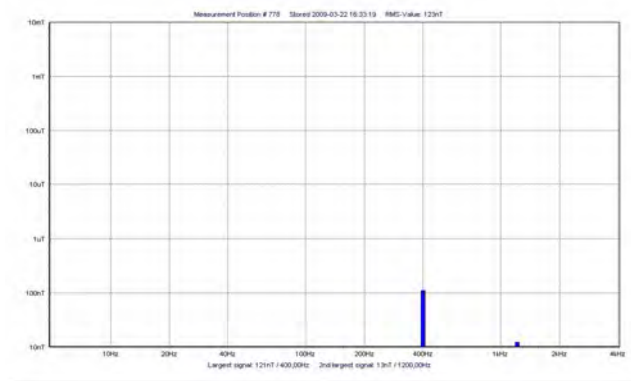
Figur 5.100: Magnetfält i flygplanet Airbus A319 mellan Arlanda och Berlin-Schönefeld, 2009-03-22.



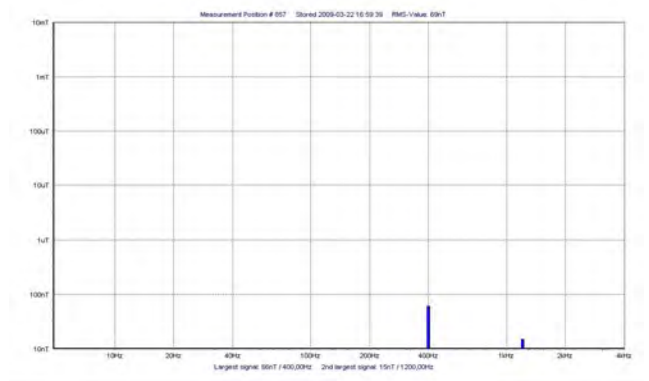
Figur 5.101: Magnetfält i flygplanet Airbus A319 mellan Berlin-Schönefeld och Arlanda, 2009-03-27.

Figur 5.102 och 5.103 visar några frekvensspektra från flyget mellan Stockholm och Berlin vid olika placeringar av mätinstrumentet. Instrumentets frekvenszoom var inställd på 5 Hz-400 kHz, men frekvenser över 4 kHz förekom inte. Man ser tydligt att övertonshalten ökade till nionde övertonen (3600 Hz) vid starka fält, men deras amplituder minskar snabbt till några

tiotals nanotesla. Även en svag andra övertton (800 Hz) kunde ibland registreras. Dessa signaler orsakas av flygplanens strömförsörjning med 400 Hz-system.

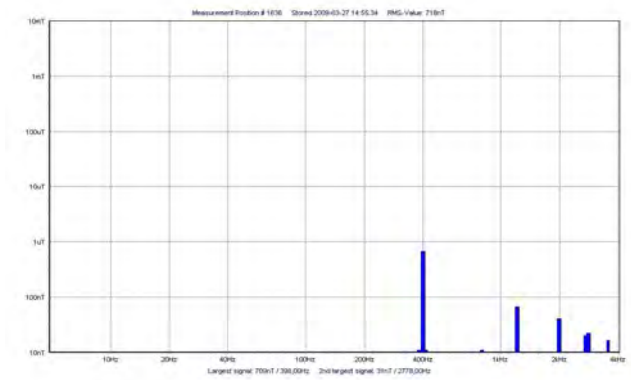


a) Sätet bredvid

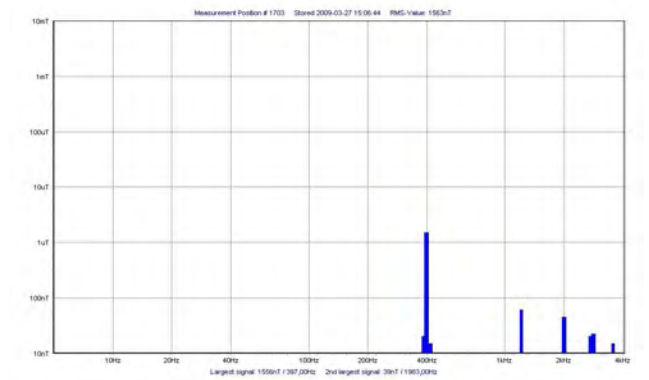


b) På knäna

Figur 5.102a-b: Exempel på magnetfältens frekvensfördelning vid flyget Stockholm–Berlin, 2009-03-22. Mätinstrument: a) på stolen bredvid, b) på knäna. (Logaritmisk frekvensaxel 5 Hz – 4 kHz)

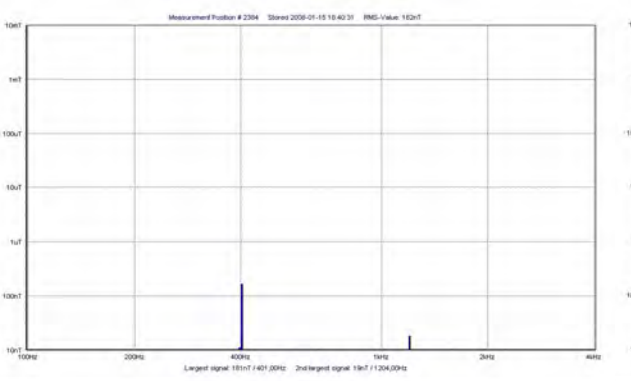


a)

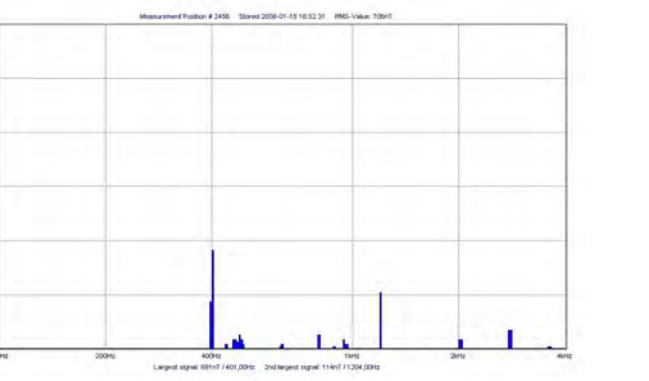


b)

Figur 5.103a-b: Exempel på magnetfältens frekvensfördelning vid flyget Berlin–Stockholm, 2009-03-27. a) och b) mätinstrument på golvet. (Frekvensaxel se figur 5.101)



a) På knäna



b) Mot taket

Figur 5.104a-b: Exempel på magnetfältens frekvensfördelning vid flyget Helsingfors–Stockholm, 2009-01-15. Mätinstrument: a) på knäna, b) mot taket. (Logaritmisk frekvensaxel 100 Hz–4 kHz)

På Helsingfors-flyget kunde även andra frekvenser mätas med instrumentet mot väggen eller taket ovanför stolen, men amplituderna var bara omkring 0,01 μT , se figur 5.104.

5.7 Fartyg

De första mätningarna på fartyg gjordes med Emdex-instrumentet (sampleperiod 4 s) i mitten på 1990-talet på tåg- och bilfärjan mellan Trelleborg och Sassnitz. 2008 gjordes en ny mätning med MFM3000-instrumentet (sampleperiod 10 s) på Siljalines fartyg Symphony mellan Stockholm och Helsingfors. På resorna mellan Trelleborg och Sassnitz bars mätinstrumentet mot kroppen dels i tågupén, dels på olika platser på färjan där resenärer vanligtvis uppehåller sig. På Finnlandsbåten gjordes mätningar dels i en innerhytt, dels med mätinstrumentet i en väska på olika ställen på båten.

En sammanfattning av mät resultatet visas i tabell 5.28. Medelvärdet på de olika resorna varierade mellan 0,01 och 0,13 μT och 90 % av alla mätvärden var mindre än 0,16 μT . De starkaste fälten kunde gå upp mot 4 μT beroende på närheten av olika apparater eller strömförande ledningar på fartygen.

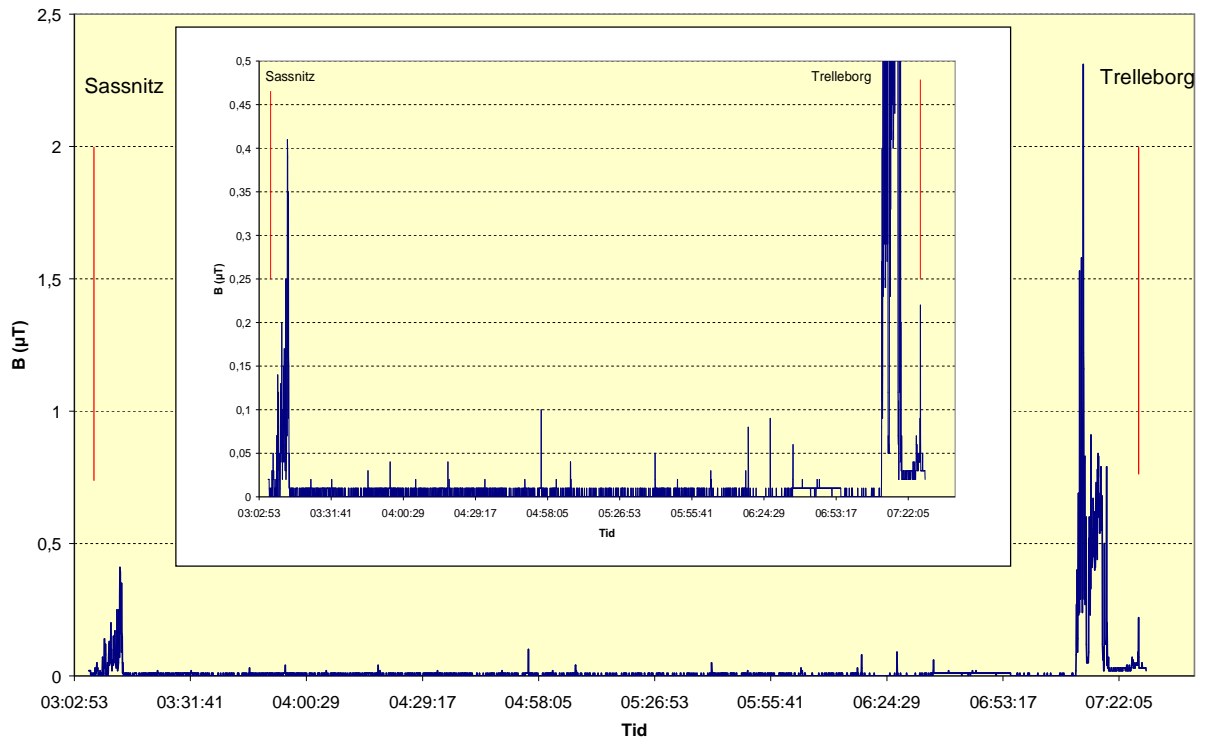
Tabell 5.28: Sammanfattning av resultaten för mätningar av magnetfält i fartyg

Dat.	19961028	19961103	19961208	19961214	19970129	19970204	20080114	
Resa	Trelleborg Sassnitz	Sassnitz– Trelleborg	Trelleborg –Sassnitz	Sassnitz– Trelleborg	Trelleborg –Sassnitz	Sassnitz– Trelleborg	Stockholm- Helsingfors	
Plats	olika	mest i tåg	Olika	olika	Olika	olika	olika	hytt
Tid	08.18- 12.00	03.07- 07.22	08.34- 12.14	17.50- 21.44	08.30- 12.20	17.59- 21.51	16.03- 23.47	
Flödestäthet B (μT)								
Min	<	<	<	<	<	<	0,01	0,01
Med	0,03	0,02	0,03	0,13	0,06	0,02	0,07	0,01
50 %	<	<	0,01	0,16	0,01	<	0,03	0,01
90 %	0,05	0,01	0,05	0,16	0,07	0,03	0,16	0,02
Max	3,76	2,31	3,36	2,88	2,63	2,54	0,34	0,03

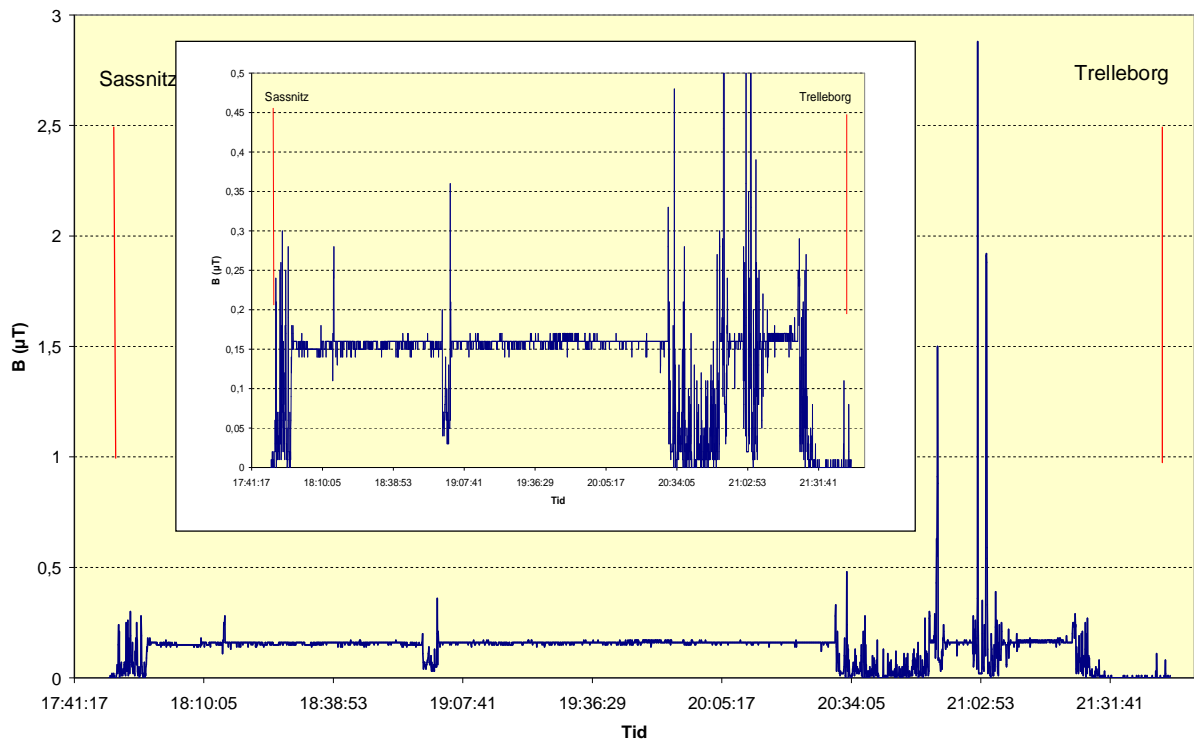
<: mindre än mätinstrumentets mätgräns

Figur 5.105 och 5.106 visar tidsdiagram för resan mellan Sassnitz och Trelleborg. I figur 5.105 (november 1996) gjordes resan under natten och den mesta tiden tillbringades därför i tågupéns liggvagn. Det andra diagrammet är från en resa (december 1996) som gick på eftermiddagen då den mesta tiden tillbringades på båten passagerardäck. Det kan vara förklaringen för skillnaderna mellan medelvärdet på båda resorna. Ytterligare diagram visas i bilaga B7, fartyg.

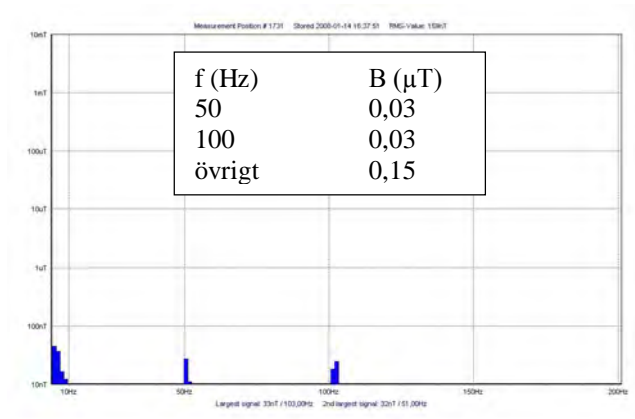
Precis som på färjan Trelleborg-Sassnitz mättes i båten till Helsingfors svaga 50 Hz-magnetfält. Rörelsen av mätinstrumentet kan därför påverka den uppmätta totala fältstyrkan betydligt, se figur 5.107. I figur 5.107 a) ser man att den största delen av magnetfältet beror på rörelsen. I spektrum b) ser man att den övervägande delen utgörs av 50 Hz-signalen. Dessutom finns även svaga 150 Hz- och, inte så vanligt, 250 Hz-signaler. Beräkningarna i tabell 5.28 av flödestätheter för Helsingfors-mätningarna baseras därför endast på 50 Hz-delen och eventuella övertoner och inte på den totala fältstyrkan. I figur 5.108 ses tidsgrafen för den del av magnetfältet som utgjordes av 50 Hz och övertoner på olika platser på båten. För de övriga mätningar från nittio-talet är en frekvensuppdelning inte möjlig. Emdex-instrumentet är dessutom inte lika känsligt för rörelse eftersom dess mätområde börjar först vid 10 Hz och inte vid 5 Hz som för MFM3000.



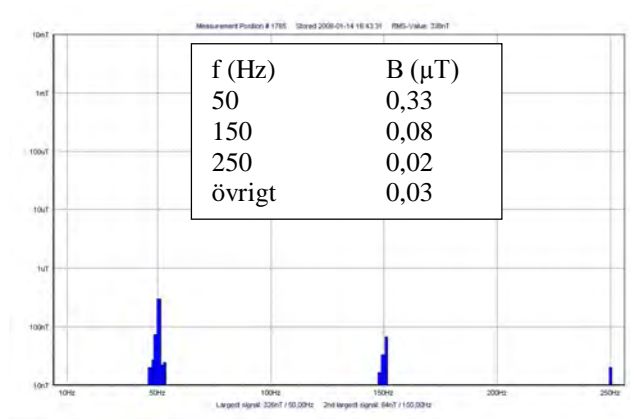
Figur 5.105: Tidsdiagram för magnetfält vid resan med tågfärjan från Sassnitz till Trelleborg, 1996-11-03 kl. 03.07–07.22. Infälld: Samma graf med B-axel 0-0,5 μT .



Figur 5.106: Tidsdiagram för magnetfält vid resan med tågfärjan från Sassnitz till Trelleborg, 1996-12-14 kl. 17.50–21.44. Infälld: Samma graf med B-axel 0-0,5 μT .

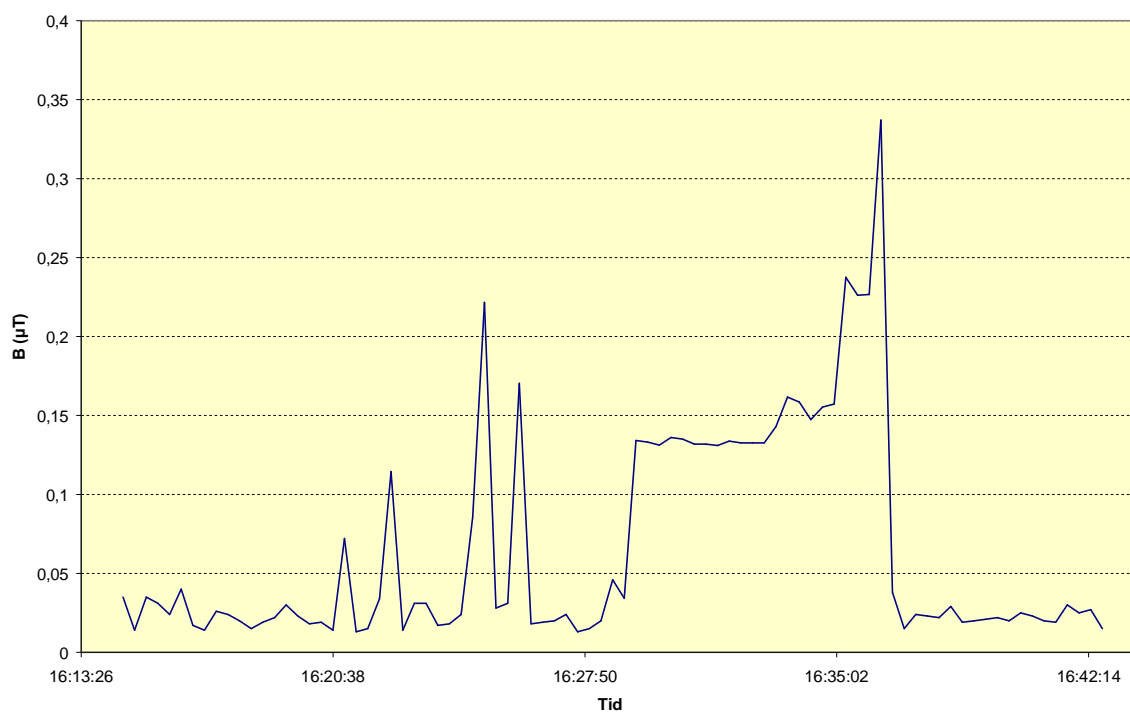


a) rörelse av instrument, $B_{tot} = 0,16 \mu T$



b) vilande instrument, $B_{tot} = 0,34 \mu T$

Figur 5.107a-b: Två exempel på frekvensfördelning av magnetfält vid båtresan Stockholm-Helsingfors, 2008-01-14. Linjär frekvensaxel a) 5–200 Hz, b) 5–250 Hz.



Figur 5.108: Tidsdiagram för 50 Hz-delen och övertoner av magnetfält vid en del av resan med båten från Stockholm till Helsingfors, 2008-01-14.

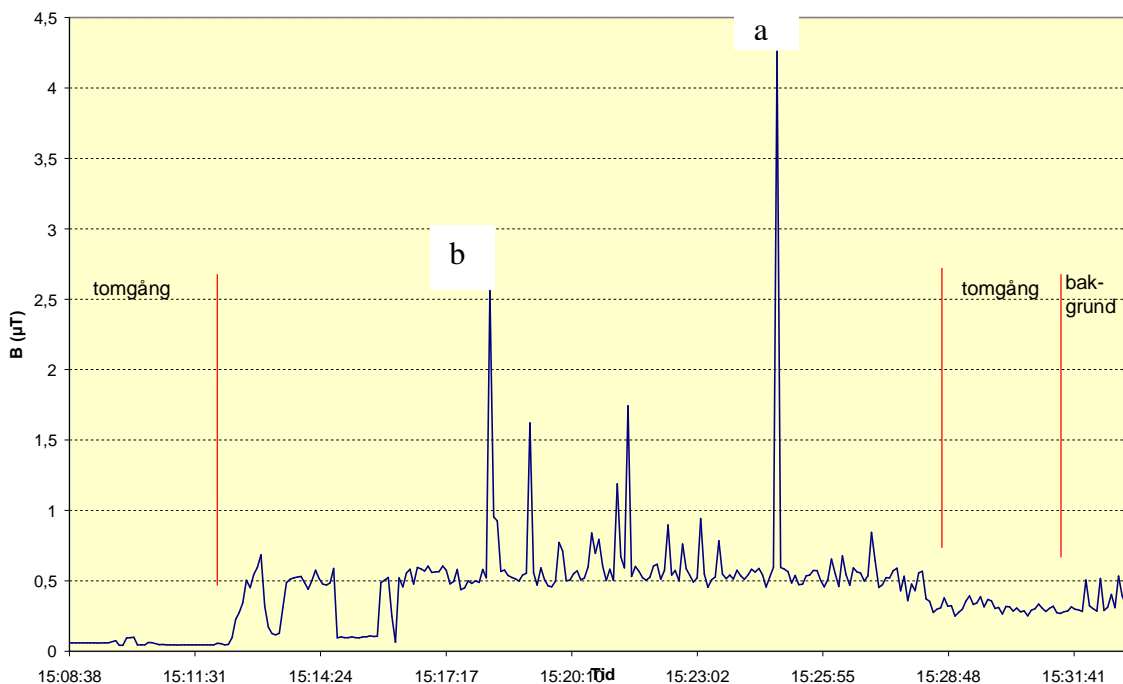
5.8 Personbilar

Samtliga bilmätningar utfördes 2009 med MFM3000-instrumentet och 5 s samplingsintervall. I Seat-bilen gjordes mätningar vid tre tillfällen under resorna mellan Bergshamra och SSM. Vid ett tillfälle placerades instrumentet i knäet på föraren, vid de andra två tillfällena lades MFM3000 på stolen bredvid föraren. Bilresorna gick längs två olika sträckor. Den ena sträckan, 1 (E18, E4, Råsundavägen, Frösundaleden, Tritonvägen, Vretenvägen), gick mestadels på 50 km/h vägar och korsade två järnvägslinjer och men det fanns ingen synlig kraftledning i närheten. Den andra sträckan, 2 (E18, Ulvsundaleden, Bällstavägen, Hamngatan, Albygatan), gick för det mesta på 70-vägar. Den korsades av två järnvägslinjer och tio högspänningsledningar. Resultaten från dessa tre mätningar presenteras i tabell 5.29. Tidsgrafer över variationen av magnetfälten visas i figur 5.109 och 5.110 samt i bilaga B8. Medelvärdet för de tre bilresorna varierade mellan 0,4 och 0,6 μT , det lägre värdet på förarplatsen. Medelvärdesberäkningarna har endast tagit hänsyn till magnetfälten under själva resorna och inte till tomgångs- och bakgrundsmätningar i början och slutet av mätserierna.

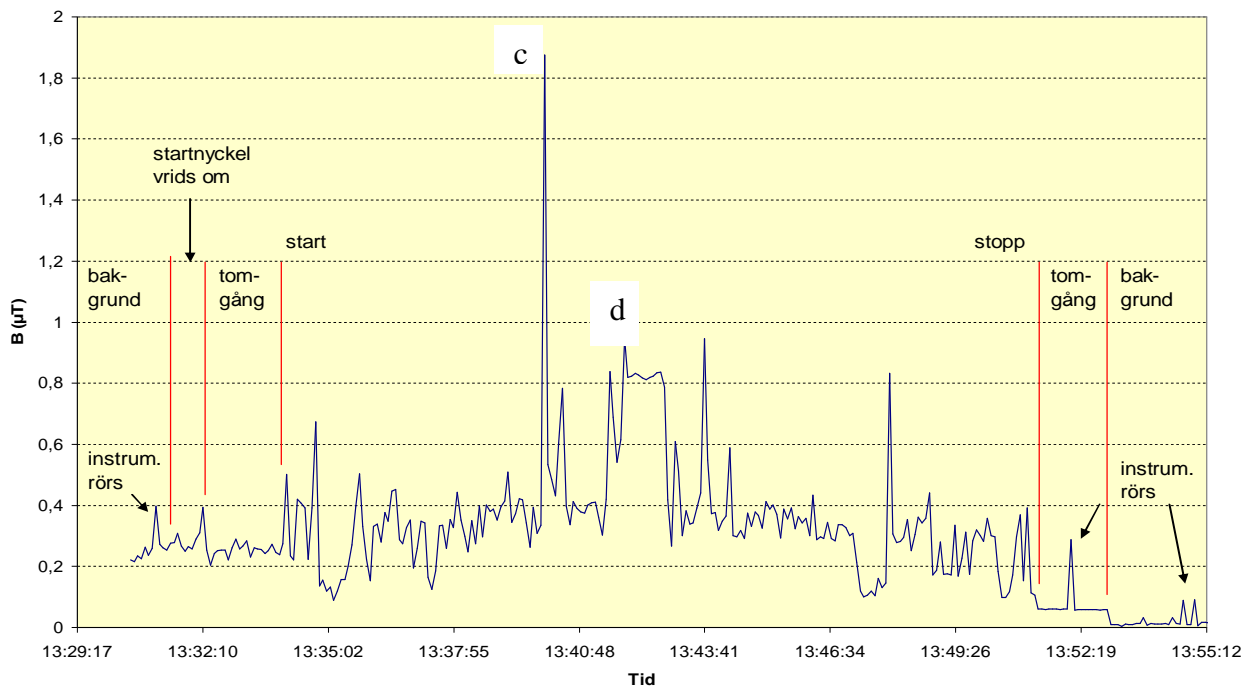
Tabell 5.29: Mätning av magnetfält i Seat-bilen

Datum	Tid	Väg	Plats	Flödestäthet B (μT)				
				min	medel	median	90. perc.	max
2009-03-17	21.40-21.56	2	h. framsäte	0,06	0,60	0,56	0,68	2,49
2009-03-21	15.13-15.29	1	h. framsäte	0,05	0,54	0,52	0,65	4,26
2009-03-28	13.34-13.51	2	v. framsäte	0,09	0,37	0,39	0,61	1,88

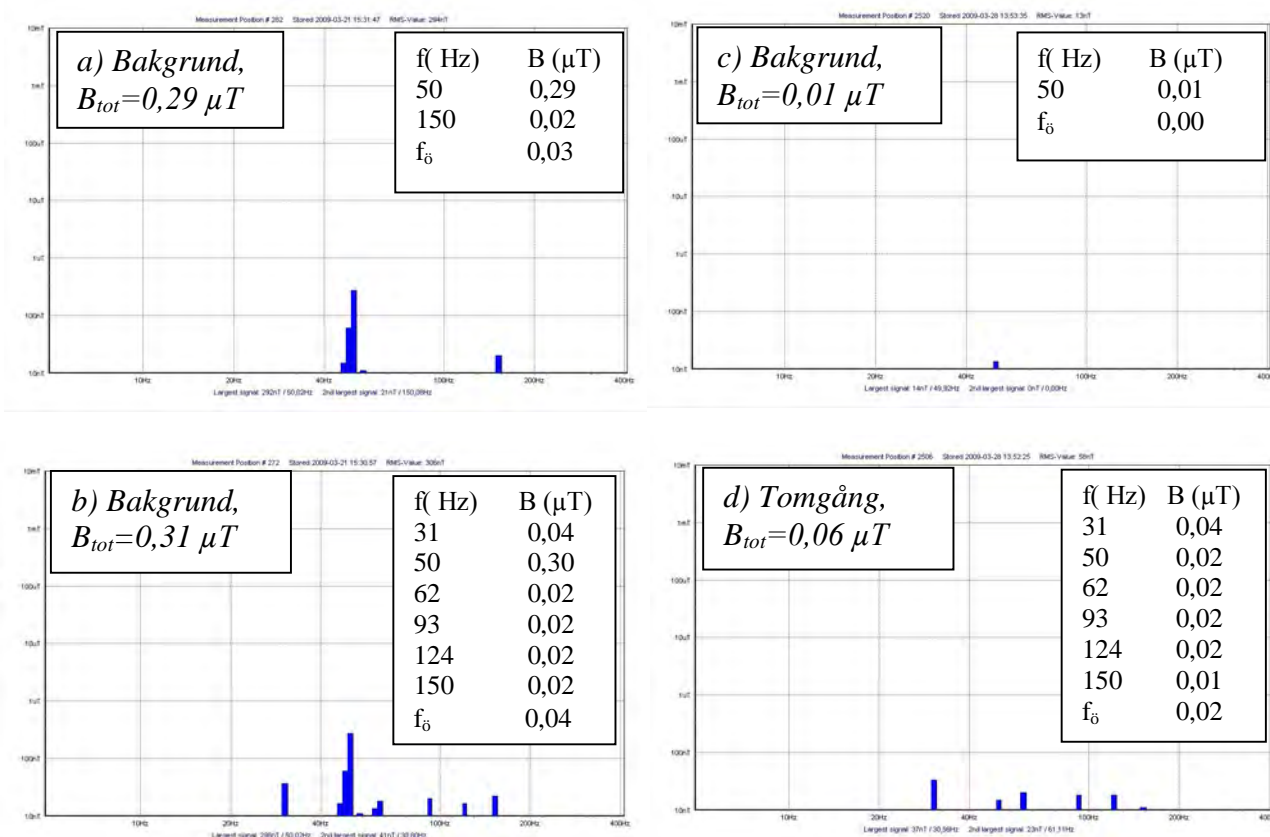
Mätningen i de fem nya bilarna gjordes på en särskilt vald vägsträcka där det inte fanns några järnvägslinjer eller högspänningsledningar i närheten. Resultaten visas i mätprotokollet i bilaga B8.



Figur 5.109: Magnetfält i bilen Seat på väg 1 från SSM till Bergshamra, 2009-03-21. För topparna vid a och b visas frekvensspektra i figur 5.115a och b.

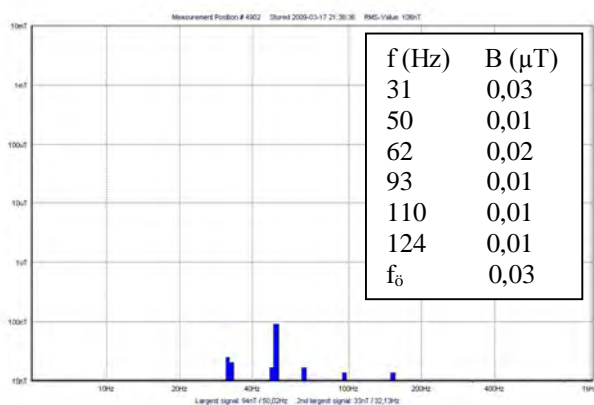


Figur 5.110: Magnetfält i bilen Seat på väg 2 från Bergshamra till SSM, 2009-03-28. För topparna vid c och d visas frekvensspektra i figur 5.115 c och d. Vid skakning av mätinstrumentet observerades magnetfältstoppar, se till vänster och höger i grafen.

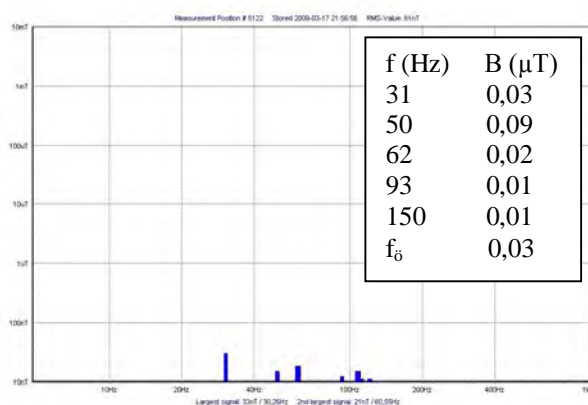


Figur 5.111a-d: Frekvensfördelning av magnetfält i bilen Seat när motorn är avstängd och vid tomgång. a) och b) i Bergshamra, 2009-03-21, c) och d) framför SSM, 2009-03-28.

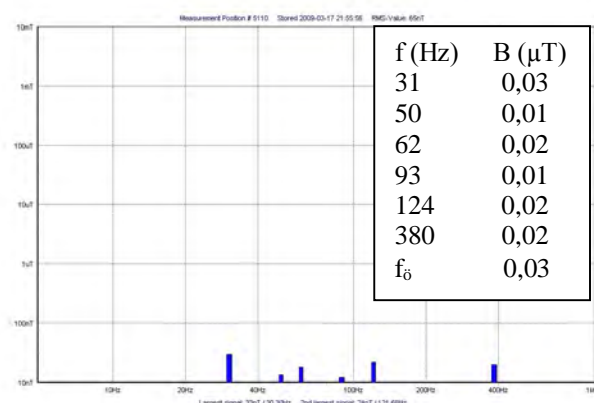
I figur 5.109-5.111 syns bl.a. att bakgrunds-nivån är lägre på parkeringsplatsen framför SSM än i Bergshamra (0,01 respektive 0,3 μT). I tomgång uppmättes en signal på 0,03 μT vid ungefär 31 Hz och svagare övertoner vid ungefär 62, 93 och 124 Hz. I figur 5.112 visas exempel på spektra när fläkten slås på när bilen går i tomgång. Det blir då ytterligare en svag signal vid på ungefär 0,03 μT vid ca 250, 400, 560 eller 600 Hz beroende på fläktens inställning (se i bilaga B8).



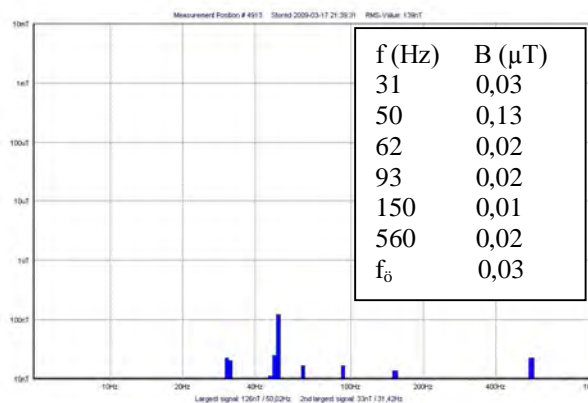
a) Fläkten av, $B_{tot}=0,06 \mu\text{T}$, vid SSM



c) Fläkten av, $B_{tot}=0,11 \mu\text{T}$, i Bergshamra



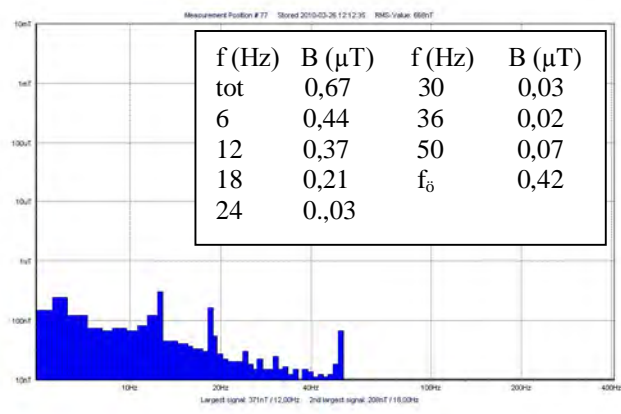
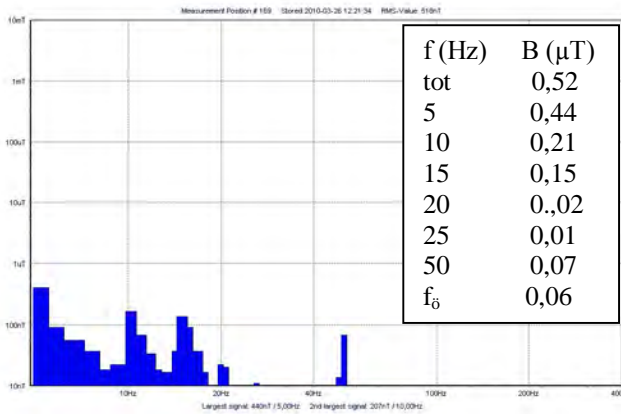
b) Fläkten på, $B_{tot}=0,07 \mu\text{T}$, vid SSM



d) Fläkten på, $B_{tot}=0,14 \mu\text{T}$, i Bergshamra

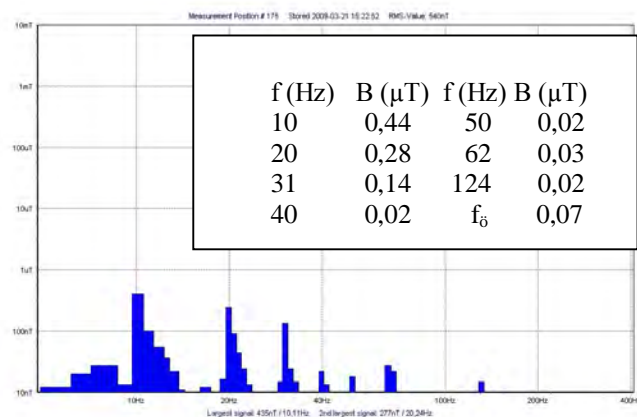
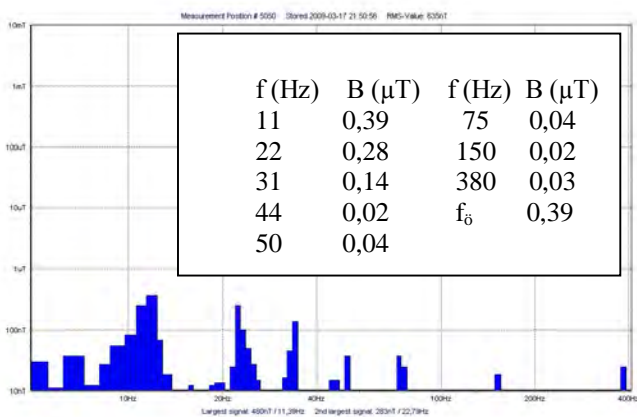
Figur 5.112a-d: Frekvensfördelning av magnetfält i bilen Seat i tomgång framför SSM och i Bergshamra med fläkten av- och påslagen (2009-03-17).

När bilen rullar tillkommer signaler från bildäcken. Däcken innehåller permanent magnetiskt material som ger upphov till magnetiska växelfält då hjulen roterar. Fältens frekvens beror på rotationshastigheten hos hjulen. Detta visas i spektrum i figur 5.113a när bilen rullar nerför en backe med motorn avstängd. Bilens hastighet nådde då ungefär 40 km/h. Det resulterar i ett linjespektrum med en grundfrekvens på ca 5-6 Hz och, i det här fallet, fyra övertoner vars styrka avtar med ökande frekvens. Signalerna från däcken är ungefär 0,4-0,5 μT . Figur 5.113b visar spektrumet när mätinstrumentet samtidigt skakas lätt. Linjespektrumet från däcken överlagras av ett brett band av signaler från 5 Hz till ca 40 Hz. Bandets signalstyrka är störst vid 5 Hz och avtar sedan stadigt vid högre frekvenser, men är i detta fall sammanlagt ungefär lika stor som signalerna från däcken, nämligen $f_0=0,42 \mu\text{T}$. I båda spektra syns också en 50 Hz-signal som kommer från omgivningen. Denna signal kan naturligtvis variera i styrka beroende yttre magnetfält när bilen körs, se figur 5.114a-c.



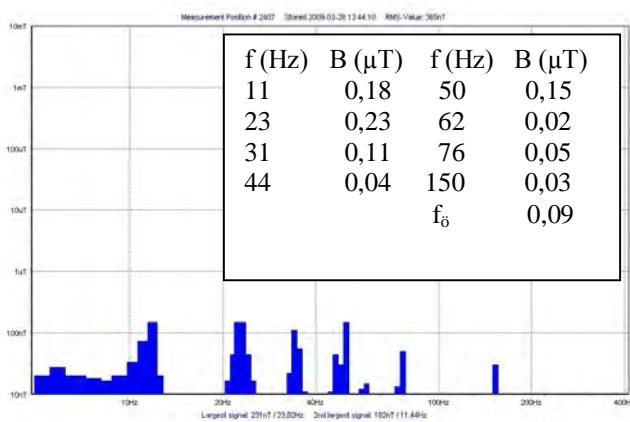
a) Bilen rullar med avstängd motor. b) Mätinstrumentet skakas samtidigt.
 Figur 5.113a, b: Bilen rullar nerför en backe med avstängd motor, 2010-03-26.

I figur 5.114a-c visas några exempel på frekvensspektra när bilen körs. Spektren liknar ganska mycket de i figur 5.113. Men magnetfälten från däckens överlagras magnetfälten från motorn och elektroniken. Dessutom är grundfrekvensen för däckens magnetfält, ca 10-12 Hz, något högre än i figur 5.113 eftersom bilens hastighet är högre. Då 50 Hz-signalen är relativt svag ger fälten från däckens det största bidraget, ca 0,4-0,5 μT , till den totala flödestätheten.



a) Längs väg 2, $B_{\text{tot}}=0,64 \mu\text{T}$

b) Längs väg 1, $B_{\text{tot}}=0,54 \mu\text{T}$

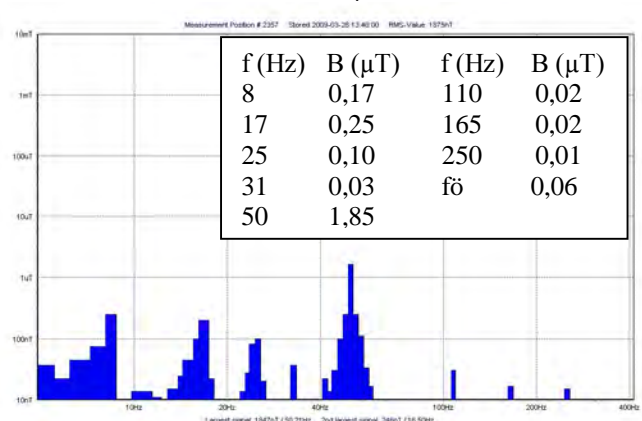
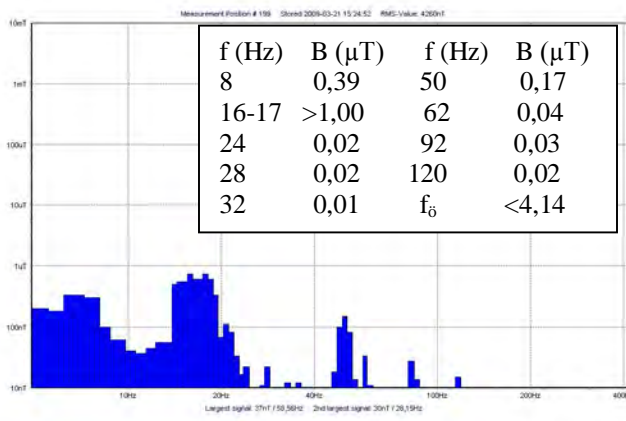


c) Längs väg 2, $B_{\text{tot}}=0,37 \mu\text{T}$

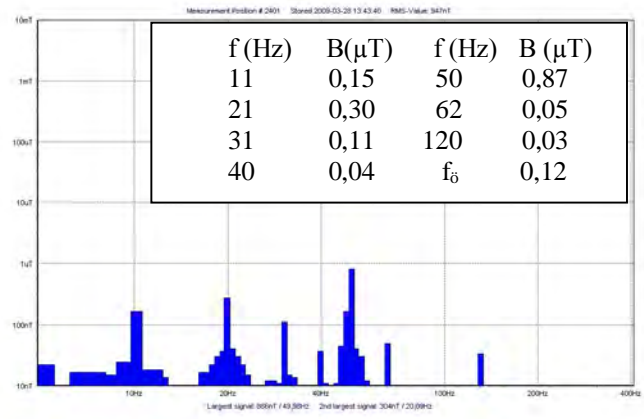
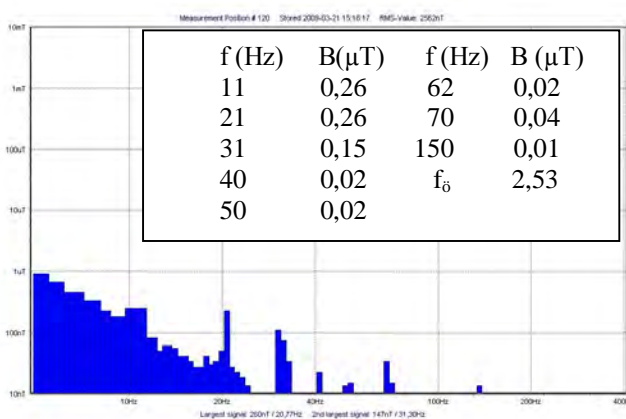
Figur 5.114a-c: Frekvensfördelning av magnetfält när bilen körs. a) 2009-03-17, b) 2009-03-21, c) 2009-03-28. B_{tot} är omkring medelvärdet enl. tabell 5.29.

Det gäller dock inte när bilen passerar platser där starkare yttre fält kan påverka mätningen, som visas i spektra i figur 5.115a-d. Magnetfältens frekvensfördelning visas för fyra tidpunkter som är markerade med a, b, c och d i figur 5.109 och 5.110. I figur 5.115 c) och d) kommer det starkaste bidraget till spektrerna från 50 Hz-signalerna som med största sannolikhet orsakas av högspänningsledningarna som korsar vägen. I figur a) syns ett band av linjer från ca 16 och 19 Hz. Amplituden är säkert större än $1 \mu\text{T}$, men den är svår att uppskatta korrekt. Signalen består antagligen av en 16,7 Hz-signal från en korsande järnväg och en överton av däcksignalen. Dessutom kan bidrag från lätt skakning av instrumentet inte uteslutas. En skakning av instrumentet syns tydligt i figur d) med ett brett band mellan 5 Hz och ca 20 Hz som utgör den övervägande delen av spektrumet. I alla fyra fallen finns naturligtvis de vanliga signalerna från däck och motorn samt bielektroniken kvar. Fler frekvensspektra ges i bilaga 8, personbilar.

a) $B_{tot}=4,26 \mu\text{T}$



c) $B_{tot}=1,88 \mu\text{T}$



b) $B_{tot}=2,56 \mu\text{T}$

d) $B_{tot}=0,95 \mu\text{T}$

Figur 5.115a-d: Frekvensspektra vid topparna a och b i figur 5.109 och c och d i figur 5.110.

De flesta av topparna som är större än ca $0,5 \mu\text{T}$ i figur 5.110 kan härledas till 50 Hz-signalerna, som utgör den största delen av spektrerna. Orsaken till toppen på ca $1,2 \mu\text{T}$ i figur 5.109 är en 50 Hz-signal. För topparna mellan $1,5$ och $1,6 \mu\text{T}$ finns det däremot inga 50 Hz- eller 16,7 Hz-signalerna som förklaring, utan spektra liknar figur 5.115 b). Är de totala magnetfälten mindre än ca $0,5 \mu\text{T}$ består spektra i huvudsak av signaler från däck, motorn och bilens elektronik med mer eller mindre starka inslag av 50 Hz-signalerna, där magnetfälten från däck ofta utgör det största bidraget.

6. Diskussion

Mätinstrument och onoggrannhet

I undersökningen användes beprövade mätinstrument för mätning av lågfrekventa magnetfält. De utmärker sig genom bra prestanda, hög tillförlitlighet och mångårig stabilitet. Två av instrumenten, Emdex Lite och Combinova MFM10, är av äldre modell och har använts vid många mätningar. Det tredje, MFM3000, är relativt nytt och bygger på samma princip och teknik som MFM10, men innehåller en annorlunda, nyskapad programvara, som bl.a. möjliggör frekvensanalys av det uppmätta magnetfältet.

Onoggrannheten på mätvärden av den bredbandiga, totala flödestätheten uppskattas till $\pm 10\%$. En del fel, särskilt vid låga frekvenser upp till ungefär 10-20 Hz, kan också tillkomma genom att mätinstrumentet inte hålls stilla under mätningen (se avsnitt 3).

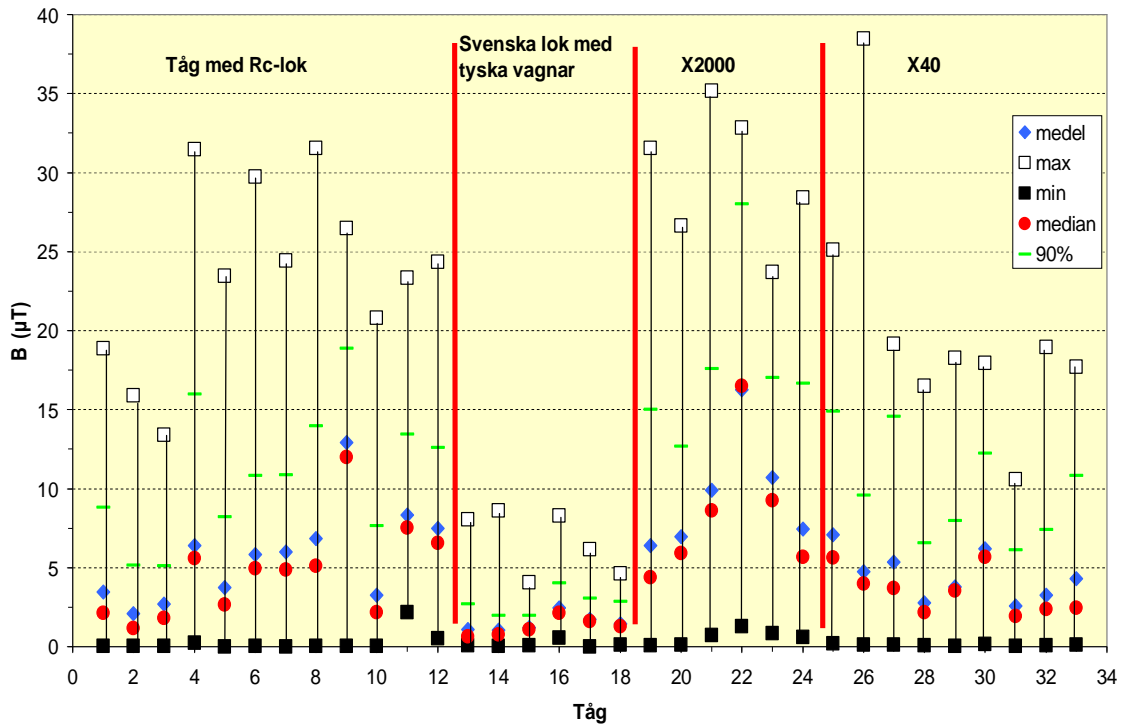
Onoggrannheten på styrkan av de frekvenskomponenter som mättes med MFM3000 är däremot större. Det saknas t.ex. en pekare på instrumentdisplayen, som underlättar att avläsa fältstyrkor för andra frekvenser än de som har den största och näst största amplituden. På grund av beräkningsalgoritmen för fourieranalysen av breda signaler är den avlästa amplitudhöjden på displayen inte alltid proportionellt till mot magnetfältets styrka. Därför uppskattas onoggrannheten till $\pm 20\%$ för de frekvenser som inte har den största eller näst största amplituden.

Fjärrtåg

I figur 6.1 ges en överblick över alla mätningar som gjordes i fjärrtåg. En direkt jämförelse av magnetfälten i olika typer av tåg är dock problematisk. Huvudanledningen till fälten i tåg är matningsströmmen som leds via kontaktledningar till motorer och tillbaka via rälsen och återledningar. Strömmen som behövs i motorerna beror på om tåget accelererar eller bromsar in. Dessutom spelar det en roll hur sträckan ser ut där tåget åker, t.ex. om det är uppförs- eller nerförsbacke, enkel- eller dubbelspår, om det finns andra tåg på samma avsnitt. Andra omständigheter som kan påverka mätresultaten är tågets vikt, dvs. hur många vagnar det har och hur många personer som transporteras. Även årstiden kan tänkas inverka på magnetfälten, t.ex. på vintern när det elektriska värmesystemet är i full drift. Mätinstrumentets placering kan också vara av betydelse som det visas vid tåg nummer 9 (tåg med Rc-lok) och tåg nummer 22 (X2), där instrumentet fanns nära värmeelementet och ett något högre medelvärde registrerades.

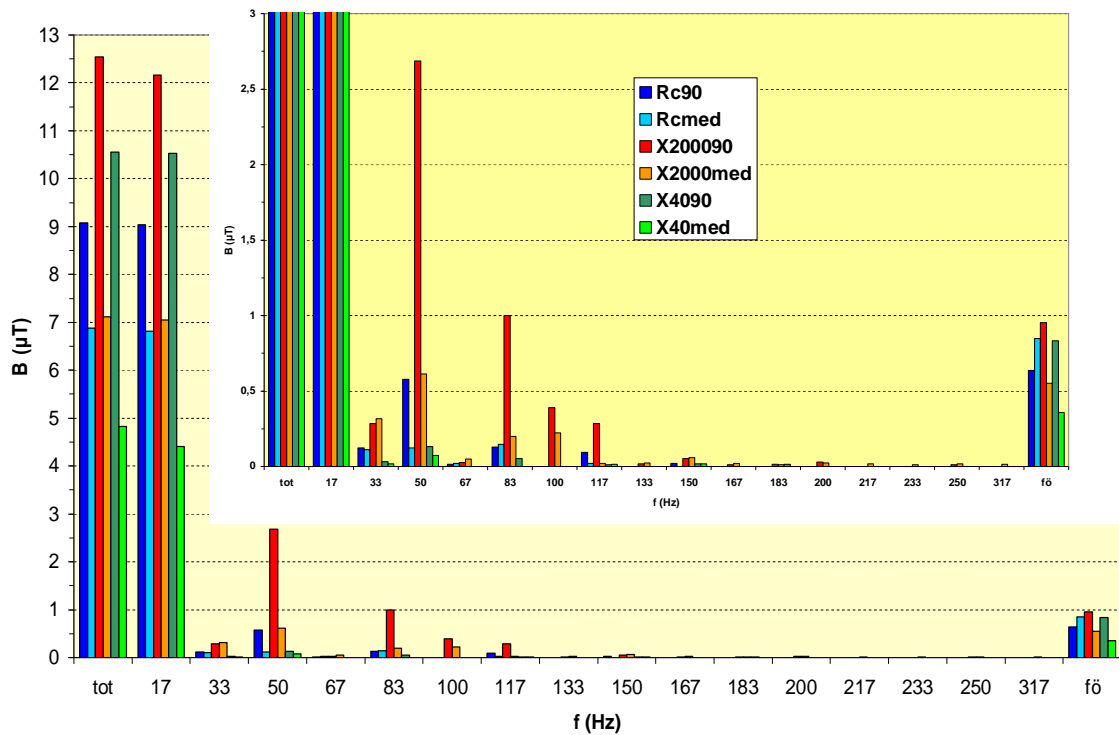
En tydlig skillnad syns dock för tåg där svenska lok drog tyska vagnar mellan Malmö och Trelleborg. Medelvärdet för dessa resor ligger ungefär mellan 1 och 2 μT , medan det för övriga tåg i denna redovisning är ungefär 2-11 μT (med undantag för tåg 9 och 22). Om det beror på de tyska vagnarna, sträckan eller andra omständigheter kan dock inte avgöras.

De bredbandiga magnetfälten består av signaler med olika frekvens, som kunde bestämmas genom FFT-analys (fast fourier transform) med MFM3000-instrumentet. I figur 6.2 återges typiska frekvens-fördelningar för tåg med Rc-lok, X2- och X40-tåg när totala flödestätheten är omkring medelvärdet och omkring 90:e percentilen enligt tabellerna 5.1 och 5.6. Det syns tydligt att den starkaste signalen finns vid 16,7 Hz (17 Hz) som har nästan lika stor amplitud som den totala flödestätheten. För alla tåg finns också andra, tredje och femte övertonen, ytterligare övertoner finns för det mesta vid X2. Övertonerna har väldigt liten amplitud, bara tredje (50 Hz) och femte övertonen är större än 0,5 μT för X2-tåg. Som det visades i kapitel 5.1 finns det i X2000 ibland också svaga signaler på 0,01-0,02 μT vid omkring 1100 Hz.



Figur 6.1: Lågfrekventa magnetfält i fjärrtåg, resultat av bredbandiga mätningar.

Bredare band av spektrallinjer mellan 5 Hz och omkring 20 Hz förekommer också men är relativt svaga vilket syns på amplituderna för övriga frekvenser f_0 , som är lägre än $1 \mu\text{T}$.



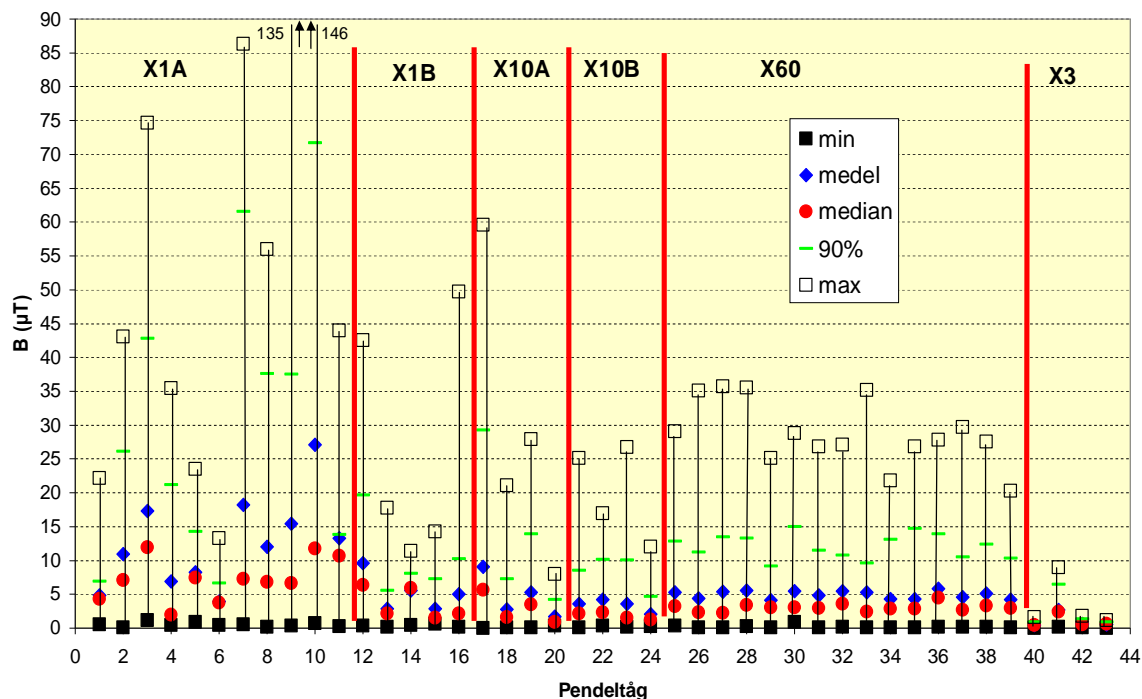
Figur 6.2: Exempel på frekvensfördelning av magnetfält i fjärrtåg runt 90:e percentilen och runt medelvärdet enligt tabellerna 5.1 och 5.6. Infällt visas samma diagram men med B-axeln från 0-3 μT .

Tvåvåningståget X40 skiljer sig från övriga typer genom att motorer och andra elektriska komponenter finns fördelade mellan olika vagnar och inte i ett särskilt lok. Därför kan det förväntas att magnetfälten skulle vara högre på vissa platser. I tabell 5.6 ser man att medelvärdet är mellan 2 och 4 μT på såväl nedre som övre våningen med undantag för några platser på nedre och övre våningen där medelvärdet var över 5 μT . I kapitel 5.1 visades också att det kan förekomma svaga signaler på några tiotals nanotesla vid frekvenser mellan ungefär 900 och 5000 Hz.

Pendeltåg

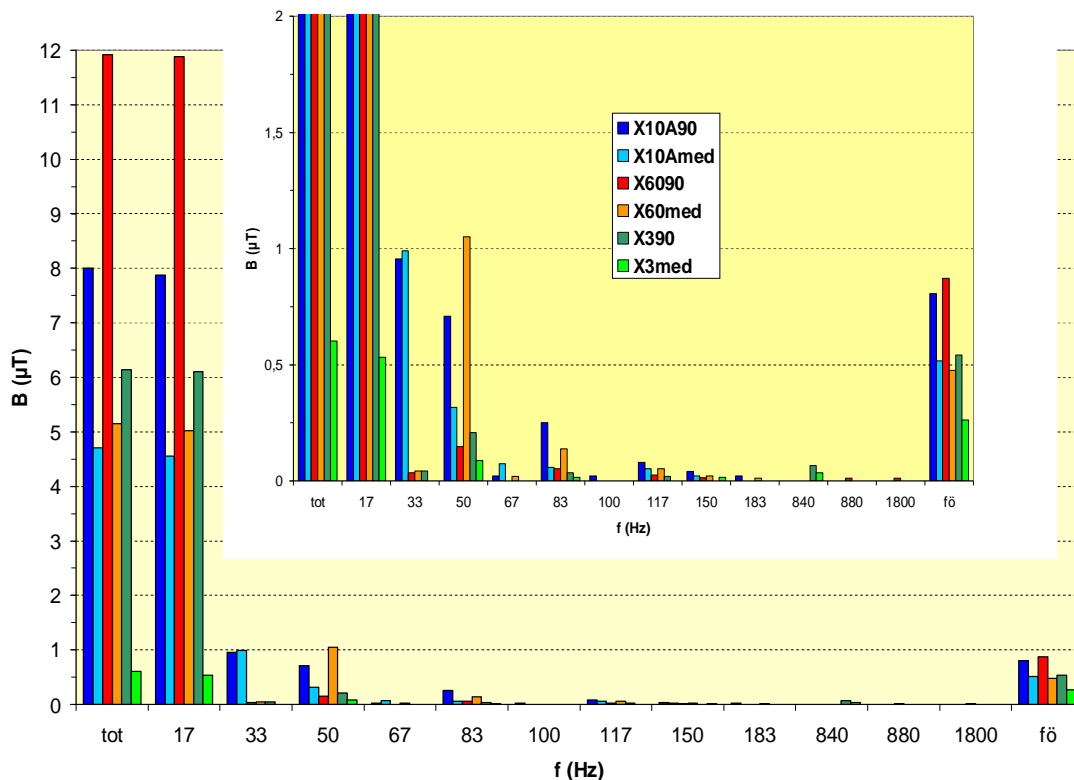
Pendeltågen skiljer sig från traditionella tåg med lok i och med att de istället för lok har motorvagnar där även resenärer finns. Dessutom är avståndet mellan stationerna bara några enstaka minuter så att det blir flera inbromsningar och accelerationer. När magnetfälten i olika typer av pendeltåg ska jämföras gäller för övrigt samma problematik som för fjärrtåg som beskrevs tidigare. I figur 6.3 visas ett sammanfattande diagram av resultaten från tabellerna 5.10, 5.11, 5.13 och 5.21. Det framgår att de högsta medelvärdena på upp mot 20 μT för den totala flödestätheten finns i motorvagnarna X1A. De högsta värdena i X1A-vagnar på 135 μT och 146 μT observerades med mätinstrumentet intill högspänningskabeln i hörnet av en dörr. I X10-tågen låg medelvärden på ca 3 μT till upp mot 10 μT i såväl motor- som manövervagnar (A resp. B), men på vissa platser kunde högre värden på magnetfälten registreras, se tabell 5.11. Eventuellt skulle det ha gjorts några fler mätningar i X10-tågen för att säkerställa resultaten.

I X60-tågen är medelvärdet omkring 5 μT i de sektioner där mätningarna utfördes. Det mättes inte heller några extremt höga magnetfält på de i tabell 5.13 angivna platserna. I X3-tågen (Arlandabanan) uppmättes de lägsta medelvärdena, lägre än 1 μT , men på en resa var medelvärdet nästan 3 μT . Arlandabanan har utöver slutstationer bara ett stopp, vilket leder till mindre variationer av magnetfälten under hela resan. Endast fyra resor gjordes med X3-tåget och därför skulle det vara önskvärt med fler resor med mätinstrumentet på flera olika platser.



Figur 6.3: Lågfrekventa magnetfält i pendeltåg, resultat från bredbandiga mätningar.

I figur 6.4 återges några typiska frekvensfördelningar för X10-, X60- och X3-tåg. Det gjordes inga mätningar med MFM3000-instrumentet i X1-tåg och bara en mätning i en motorvagn X10A. Även i pendeltågen är amplituden störst vid 16,7 Hz och är nästan lika stor som den totala flödestätheten. Amplituden på övertonerna avtar snabbt med ökande frekvens, den andra och tredje övertonen är starkast. I X60- och X3-tågen observerades ibland också svaga signaler på några tiotals nT mellan ca 800 och 3700 Hz, som visades i kapitel 5.2. Ytterligare några svaga signaler finns mellan 5 Hz och omkring 20 Hz, som syns på de små amplituderna för övriga frekvenser f_0 .

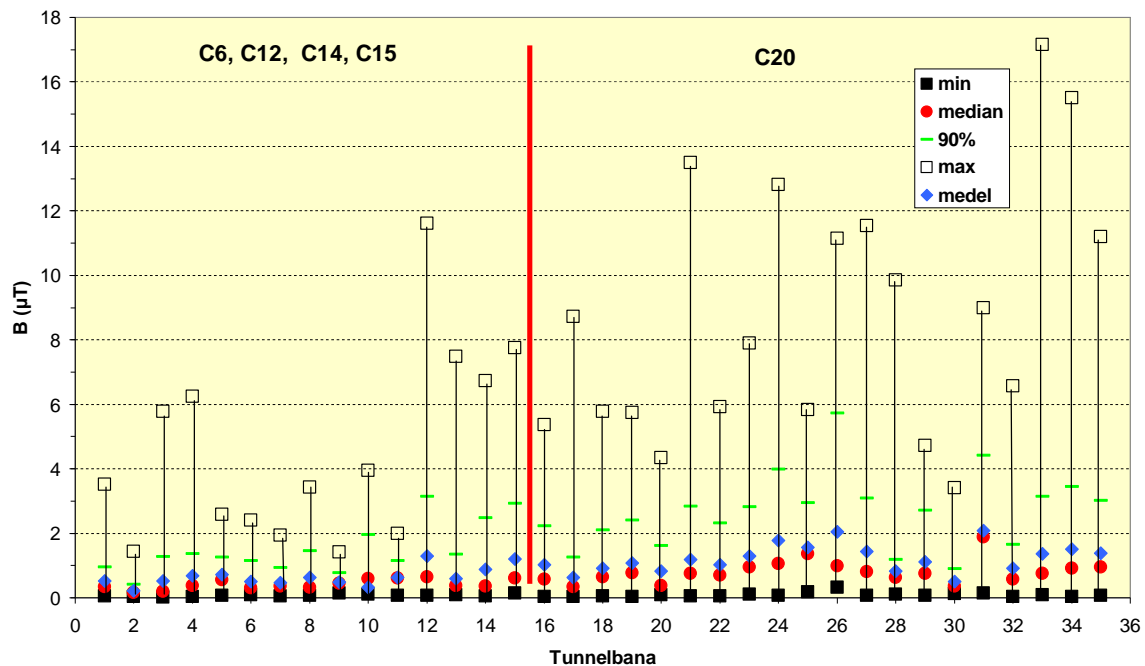


Figur 6.4: Exempel på frekvensfördelning av magnetfält i lokaltåg runt 90:e percentilen och runt medelvärdet enligt tabellerna 5.11, 5.13 och 5.21. Infällt visas samma diagram men med B-axeln från 0-2 μT .

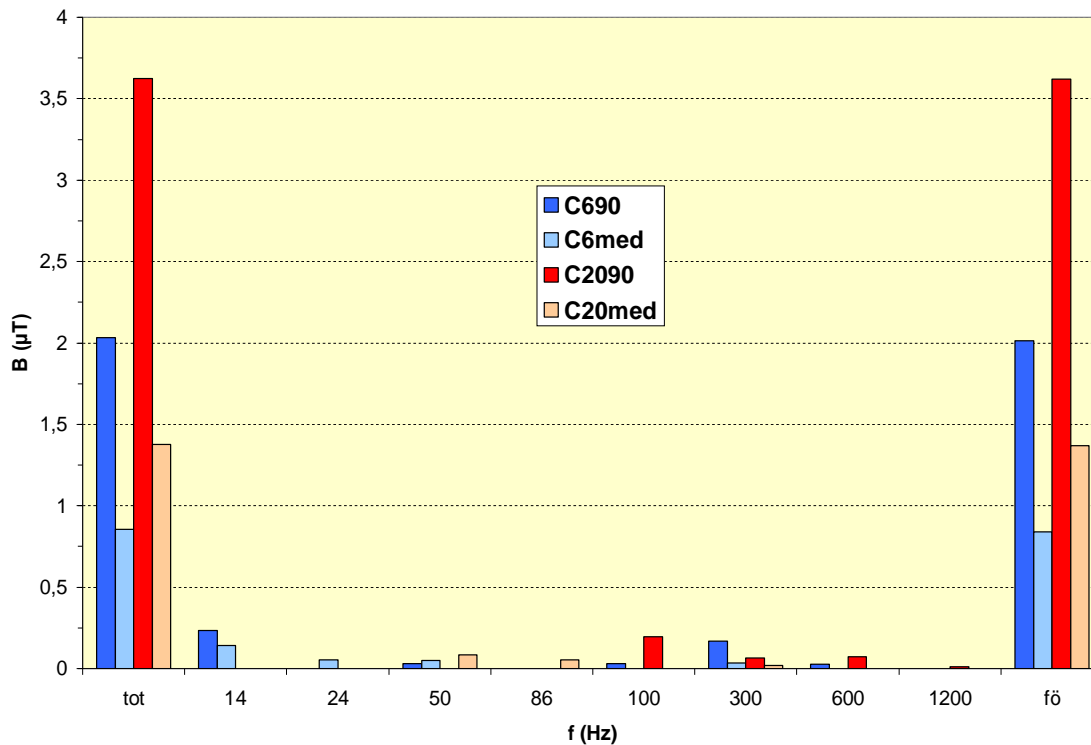
Tunnelbanetåg

I tunnelbanetågen uppmättes lägre fält än i fjärr- och lokaltågen. Medelvärdena varierade mellan ungefär 0,5 och 2 μT , se figur 6.5 som är en sammanfattning av tabell 5.24. Tunnelbanan drivs inte med växelström utan med likström, vilket inte inkluderas vid mätning av magnetiska växelfält. Mätningen omfattar bara överlagringar av likström med växelström, som uppstår i motorer och andra komponenter och vid likriktningen av trefas växelström som tunnelbanesystemet matas med. Det statistiska magnetfältet, som bildas av likström, mättes inte. Enligt uppgift i [8] förbrukar ett C20-tåg vid högtrafik med 250 passagerare 5,5 kW/km. Om det finns två tåg på samma sträcka flyter en ström på ca 17 A genom ledningsskenan. 1 m från skenan kan då det statistiska magnetfält uppskattas uppskattas till ca 22 μT , som kan jämföras med det jordmagnetiska fältet på ungefär 50 μT .

En jämförelse av magnetfälten mellan tåg av äldre (C6, C12, C14, C15) och ny (C20) modell kan vara problematisk av liknade anledningar som nämnts förut. Det verkar dock som att medelvärdena är något högre i C20-tågen än i de äldre vagnarna, ungefär 1–2 μT i C20-vagnar och 0,5–1 μT i de äldre typerna.



Figur 6.5: Lågfrekventa magnetfält i tunnelbanetåg, resultat av bredbandiga mätningar.

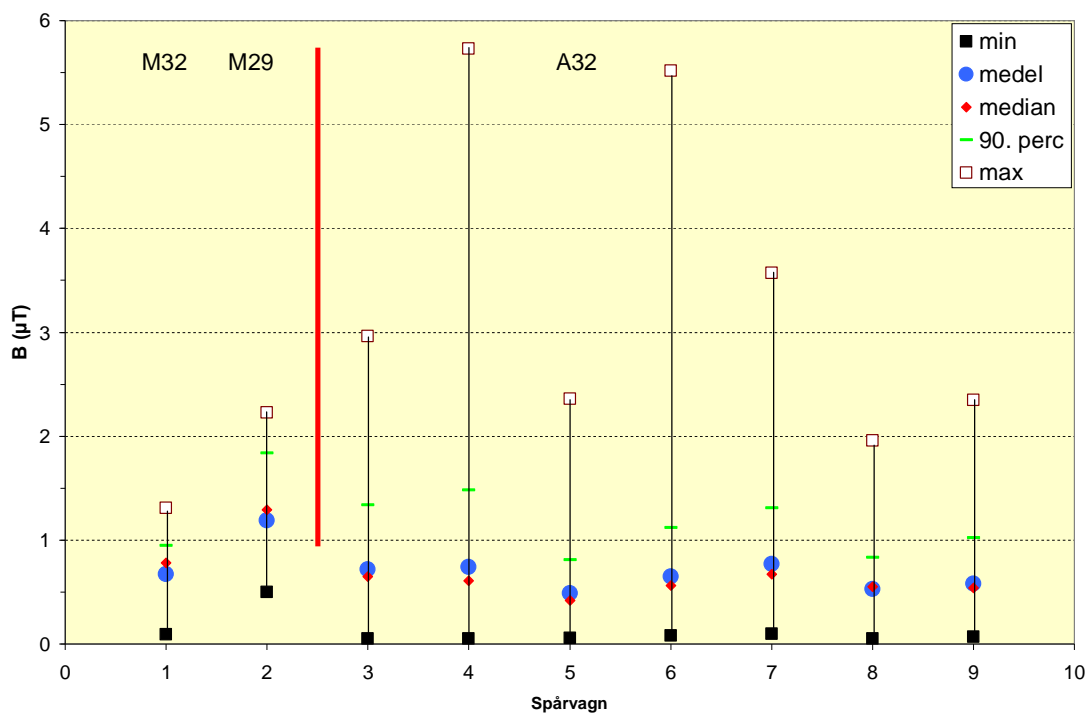


Figur 6.6: Exempel på frekvensfördelning av magnetfält i tunnelbanetåg runt 90:e percentilen och runt medelvärdet enligt tabell 5.24.

Som visades i kapitel 5.3 kännetecknas frekvensfördelning av magnetfälten i tunnelbanan dels av ett brett spektrum från 5 Hz till ibland upp till 300 Hz dels diskreta signaler på 300 Hz och övertoner. Det återspeglas också i figur 6.6, som ger exempel på frekvensfördelning i C6- och C20-tågen. Man ser tydligt att den totala flödestätheten är nästan lika stor som den för övriga frekvenser som utgörs av det breda bandet upp till ibland några hundra Hz. Samtidigt ser man att tillfälligheter spelar in när någon signal utmärks i det breda spektrumet. Dessutom ser man tydligt en svag signal vid 300 Hz, som alltid finns med i spektra från tunnelbanemätningar och härstammar från ripplet som uppstår vid likriktning av trefas växelström. Även andra, tredje och fjärde övertonen till 300 Hz kan ofta registreras. Fjärde övertonen och ibland också svaga signaler med högre frekvens förekommer ibland i C20-tåg. Som alltid är övertonernas amplitud högre ju starkare den totala fältstyrkan är och den minskar samtidigt snabbt med ökande frekvens.

Spårvagn

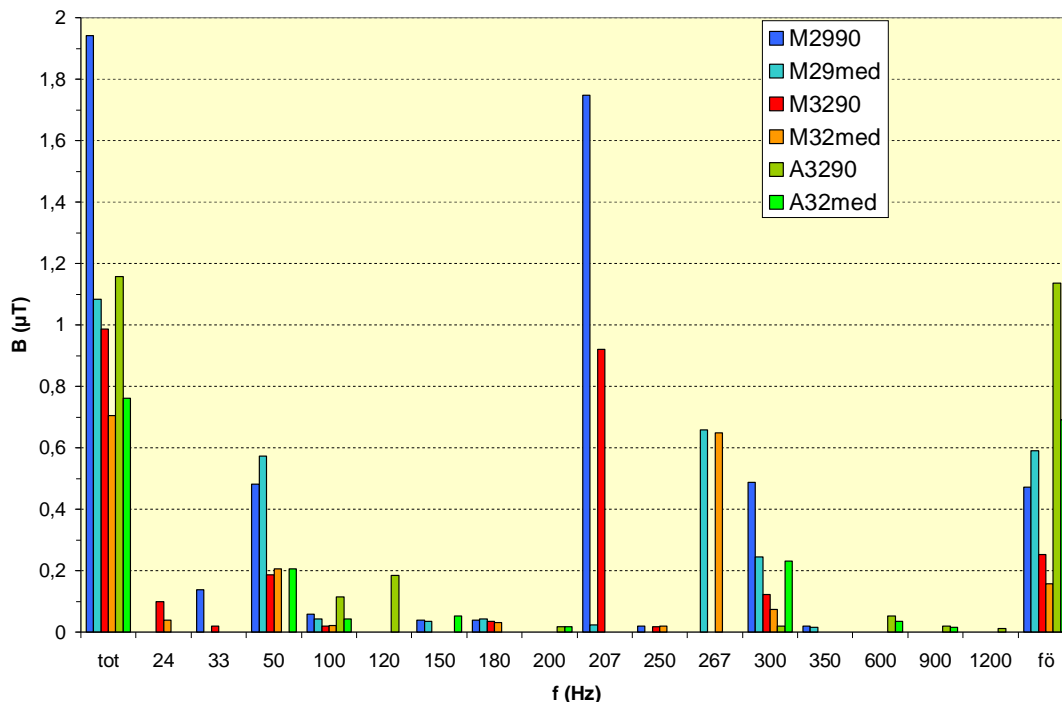
Liksom tunnelbanetågen drivs också spårvagnar med likström, men strömmen leds fram i luftledningar. Även vid spårvagnar mättes inte heller statistiska magnetfält, som uppskattas som mindre än i tunnelbanan eftersom luftledningen är längre bort från sitsplatserna i spårvagnar. Figur 6.7 visar resultaten från tabell 5.25 som diagram. Medelvärdena är något lägre än vid tunnelbanan, ca 0,5 μT till dryg 1 μT . Eftersom magnetfälten i spårvagnar är relativt svaga kan inverkan av yttre fält t.ex. från kraftledningar spela en större roll än vid de förhållandevis starka fälten i tågen. En jämförelse av magnetfälten av de båda spårvagnstyperna är av tidigare nämnda orsaker inte lämplig.



Figur 6.7: Lågfrekventa magnetfält i spårvagn, resultat från bredbandiga mätningar.

Även i spårvagnar består magnetfältens frekvensfördelning, som visades i kapitel 5.4, av ett bredare spektrum upp mot ca 100 Hz och några svaga diskreta signaler mellan 200 Hz och 1500 Hz. Detta återspeglas också i figur 6.8, som visar exempel på spektra vid 90:e percentilen och medelvärdet enligt tabell 5.25. Man ser att större delen av de uppmätta magnetfälten härrör från övriga frekvenser f_0 , dvs. det breda spektrum upp till omkring 100 Hz. Ibland finns det inslag av enstaka starkare signaler av varierande frekvens som går att urskilja,

t.ex. signalen vid 24 Hz. 50 Hz-signalen kan någon gång vara något starkare antagligen beroende på närheten av en apparat i spårvagnen eller 50 Hz-fälten utanför spårvagnen. I alla spektra finns alltid svaga signaler på 300 Hz och ofta också dess övertoner, som orsakas av likriktning av spårvägssystemet som är anslutet till det allmänna 50 Hz-nätet. Även svaga signaler mellan 250 och 400 Hz, som ibland observerades, uppkommer antagligen av samma anledning.



Figur 6.8: Exempel på frekvensfördelning av magnetfält i spårvagnar runt 90:e percentilen och runt medelvärdet enligt tabell 5.25.

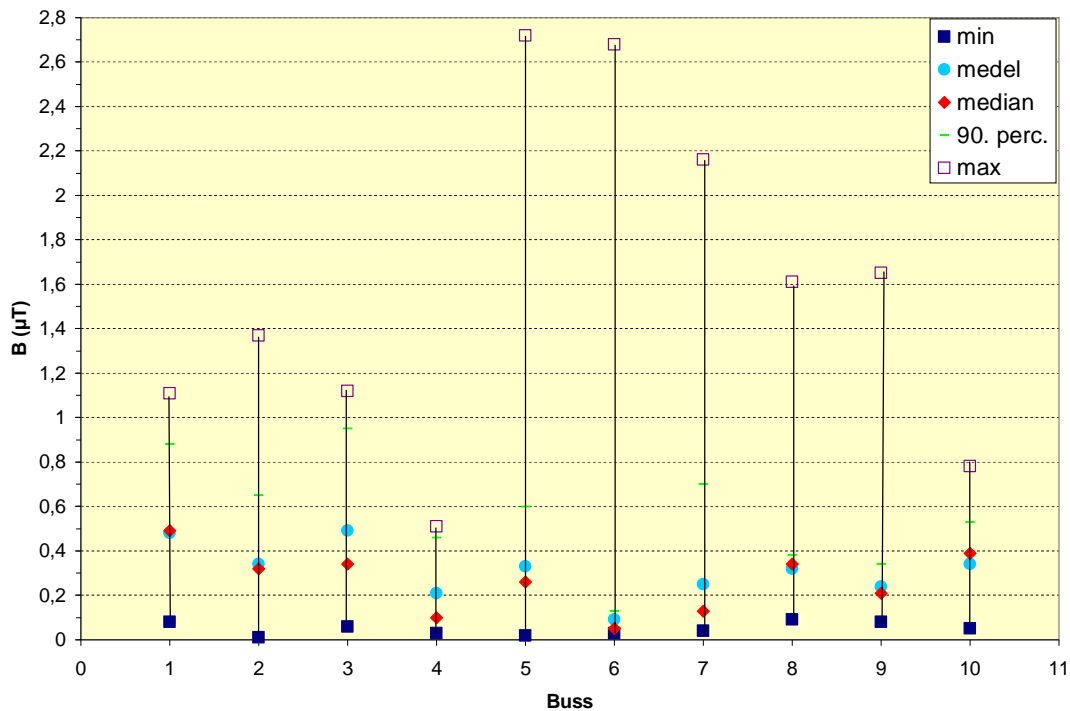
Mätningar från Tyskland

Liknande mätningar i fjärr-, lokal- och tunnelbanetåg och spårvagnar har gjorts i Tyskland i Berlin [15]. Fjärrtågen drivs i Tyskland, liksom i Sverige, av enfasväxelspänning på 15 kV med en frekvens på 16,7 Hz. Mätvärdena för magnetiska flödestätheten i den tyska undersökningen är ungefär jämförbara med mätvärdena som erhöles i denna rapport på resorna Sassnitz-Berlin (tabell 5.1). Även frekvensfördelningen motsvarar den som hittades i de svenska tågen. Lokaltågen (Stadt-Bahn eller S-Bahn) i Berlin drivs, i motsats till Stockholm, med likström och är därför inte direkt jämförbar med pendeltågen i Stockholm. Då sträckan för S-Bahn på många ställen i Berlin löper parallellt med tåget finns det i de tyska spektrerna även signaler på 16,7 Hz, men också de för likströmsdriften typiska signalerna på 250 och 300 Hz. Tunnelbanan (Untergrund-Bahn eller U-Bahn) i Berlin drivs, liksom i Stockholm, enligt en internationell standard med en likspänning på 750 V. Den totala magnetiska flödestätheten liknar den som hittades i Stockholms tunnelbanetåg. Även frekvensfördelningen med ett ganska brett spektrum upp mot ca 100 Hz och typiska signaler vid 50 Hz, 100 Hz och 250-400 Hz är jämförbar med denna undersökning. Spårvagnarna drivs i Berlin som i Stockholm med en likspänning på 600 V. Även här finns likheter med Stockholmsmätningarna avseende totala magnetiska flödestätheter och frekvensfördelningar.

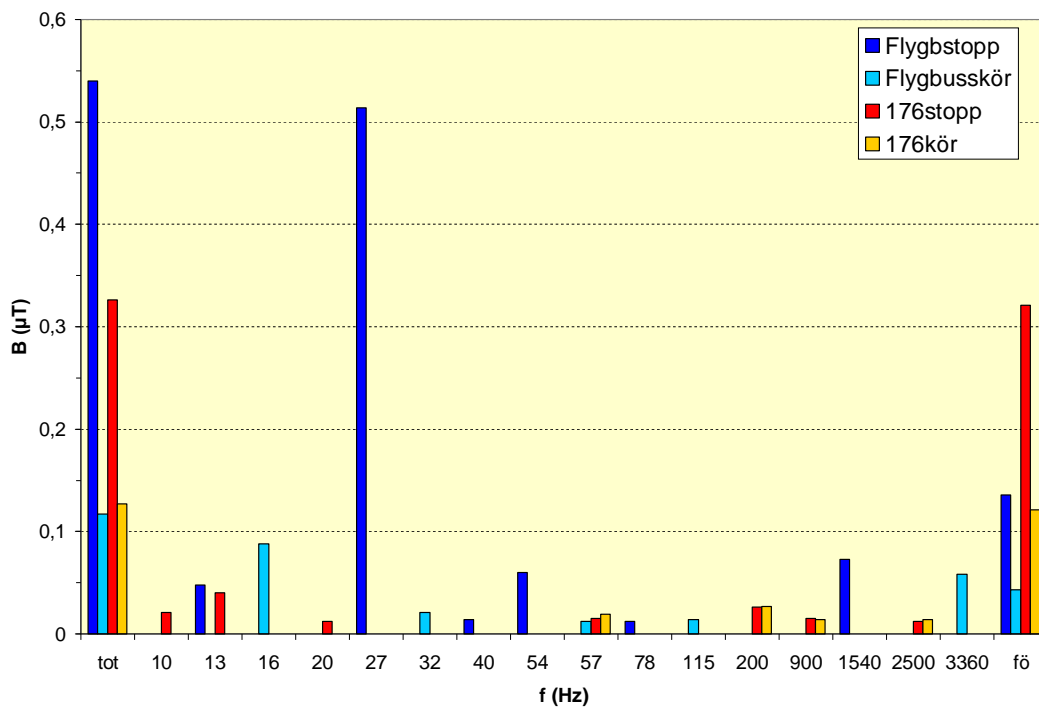
Bussar

Som det visades i kapitel 5.5 kan de uppmätta magnetfälten i bussar påverkas starkt av yttre fält. De flesta maxima i figur 6.9 orsakas således av 50 Hz-magnetfält eller fält från järnvägen

längs bussarnas färdväg. I kapitel 5.5 framgår också att magnetfälten i bussarna ofta utgörs av två olika styrkenivåer: dels en lägre nivå omkring 0,1–0,2 μT när bussen körs dels en högre nivå på 0,4–1 μT när bussen stannar. Frekvensanalysen i kapitel 5.5 visade också att magnetfälten består dels av ett bredare spektrum upp mot ca.30–40 Hz dels av diskreta signaler vid högre frekvenser. I figur 6.10 syns några svaga signaler på 10–40 Hz som är insprängda i den bredare delen av spektrumet och några svaga diskreta signaler upp till 3360 Hz.



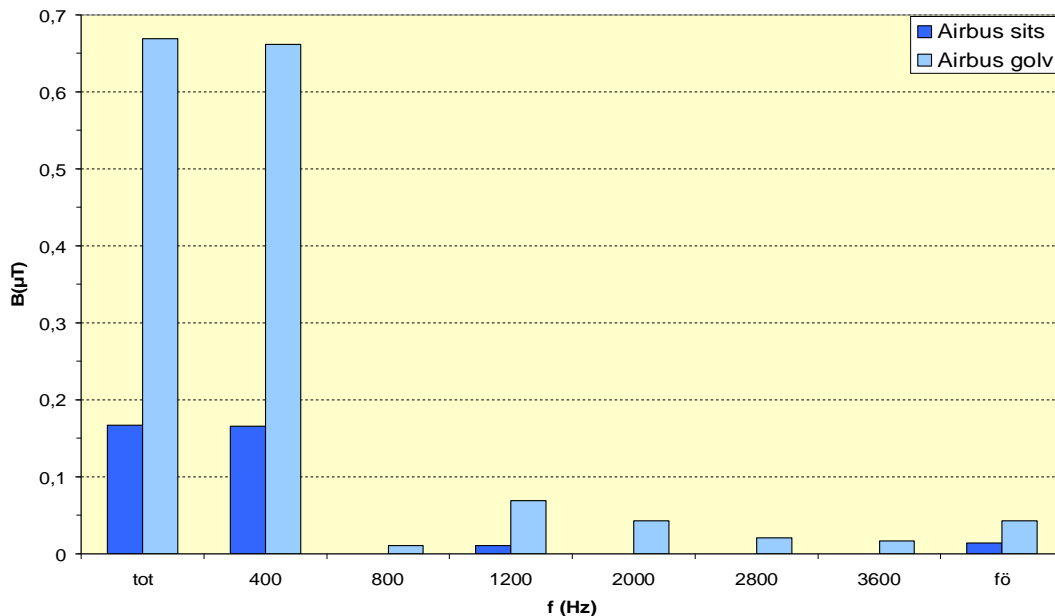
Figur 6.9: Lågfrekventa magnetfält i bussar, resultat från bredbandiga mätningar.



Figur 6.10: Exempel på frekvensfördelning av magnetfält i bussar vid stopp och när de körs.

Flygplan

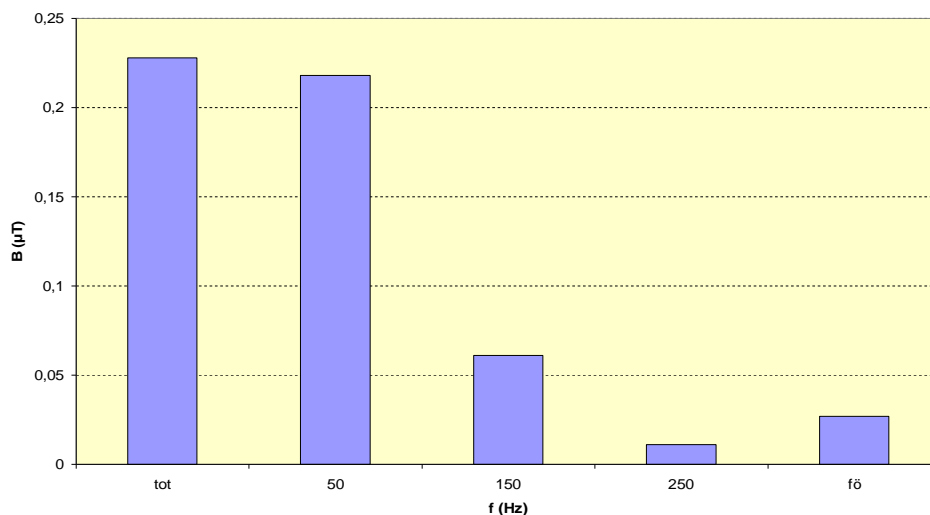
Flygplanens 400 Hz-strömförsörjningssystem är anledningen att det uppmättes magnetfält vid 400 Hz och i huvudsak udda övertoner till 400 Hz upp till 3600 Hz i flygplan. Figur 6.11 visar att 400 Hz-signalen utgör nästan hela den totala flödestätheten. Starkare totala fält på nästan $0,7 \mu\text{T}$ vid golvet ger fler övertoner, men deras amplituder minskar snabbt med ökande frekvens.



Figur 6.11: Exempel på frekvensfördelning av magnetfält i flygplan.

Fartyg

Liknande förhållanden föreligger vid passagerarfartyg, men grundtonens frekvens för magnetfälten är 50 Hz, se figur 6.12. På färjan Trelleborg-Sassnitz gjordes endast bredbandiga mätningar i frekvensområdet 10-1000 Hz och en uppgift om frekvenserna kunde inte fås. Det antas att magnetfälten på färjorna också hade grundfrekvensen 50 Hz. Fälten är starkare i närheten av en elektrisk apparat och mycket svag t.ex. i en hytt långt från någon elektrisk utrustning. Därmed liknar situationen på ett fartyg en vanlig miljö för 50 Hz-magnetfält som finns t.ex. i bostaden. Även här finns ofta den tredje övertonen på 150 Hz, och fältens styrka beror på närheten till elektriska maskiner och apparater.



Figur 6.12: Exempel på frekvensfördelning av magnetfält i passagerarfartyg.

Personbilar

Bilarna mättes i två olika miljöer. Under mätningar kördes fem nya bilar på en vägsträcka där bakgrundsfältet vid 50 Hz var ungefär $0,02 \mu\text{T}$ och mindre än $0,01 \text{ nT}$ vid andra frekvenser. Dessutom gjordes mätningar på flera platser i bilarna. En äldre bil av märke Seat kördes däremot på en mer "vanlig" vägsträcka där flera högspänningsledningar och tåglinjer korsade vägen. Vid de nya bilarna utgjorde bildäcken det största bidraget till de uppmätta magnetfälten. I Seatbilen var förhållanden litet mera komplicerat. När det totala magnetfältet var svagare än ca $0,5 \mu\text{T}$ var bidragen från de magnetiserade bildäcken övervägande, omkring $0,4 \mu\text{T}$. Vid starkare fält utgjorde däremot 50 Hz- och 16,7 Hz-signaler från omgivningen det starkaste bidraget till de uppmätta fälten. Skakning av mätinstrumentet ledde till ett brett band av signaler mellan 5 Hz och ca 20 Hz, som kunde utgöra det största bidraget till fälten. Det tillkommer dessutom svaga magnetfält från bl.a. motorn och fläkten med olika frekvenser som kan skilja sig från bil till bil, men som spelar endast en liten roll för de totala fälten.

7. Referenser

- [1]: Strålsäkerhetsmyndighetens allmänna råd om begränsning av allmänhetens exponering för elektromagnetiska fält. SSMFS 2008:18. 2008
- [2]: Council Recommendation of 12 July 1999 on the limitation of exposure of the general public to electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz), (1999/519/EC).
- [3]: Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz). Health Physics 74 (4): 494-522; International Commission of Nonionizing Radiation Protection (ICNIRP). 1998.
- [4]: Magnetfält i elektriska lok. Gert Anger, André Berglund, Kjell Hansson Mild, SSI-rapport 97:04. 1997
- [5]: http://sv.wikipedia.org/wiki/elektrifierad_j och ytterligare sidor: /X2000, /X40, /X60, /Arlanda_Express, /Tunnelbana, /spårvagn, /Bussar, /British_Aerospace, /MS Trelleborg. 2009
- [6]: www.jarnvag.net. Järnväg.net. 2009
- [7]: www.se.alstom.com. Alstom Sverige. 2009
- [8]: Svenska elmotorvagnar. Tore Nordin, Svenska järnvägsklubben skriftserie nr 76, Stockholm. ISBN 91-85098-97-3, 2003
- [9]: Svenska lok och motorvagnar 1994. Ulf Diehl, Lennart Nilsson, Svenska järnvägsklubben skriftserie nr 61, Stockholm. ISBN 91-85096-76-0, 1994.
- [10]: Svenska person- och motorvagnar 1999. Lennart Nilsson, Svenska järnvägsklubben skriftserie nr 69, Stockholm. ISBN 91-85098-87-6, 1999.
- [11]: Svenska lok och motorvagnar med personvagnar 2009. Ulf Diehl, Lennart Nilsson, Svenska järnvägsklubben skriftserie nr 82, Stockholm. ISBN 978-918519504-6, 2009
- [12]: www.sparvagssallskapet.se/vagnhallen. [Spårvägssällskapet](http://www.spurvagssallskapet.se). 2009
- [13]: www.t-banan.se. Tunnelbanan i Stockholm. 2009
- [14]: www.svenskbusshistoria.se. Svensk busshistoria. 2010
- [15]: Aircraft Electrical Systems. E. H. J. Pallet. ISBN 0-582-98819-5, Essex, England, 1987.
- [16]: www.airbus.com. Airbus. 2010
- [17]: www.faktaomfartyg.se. Fakta om fartyg. 2010
- [18]: Schienengebundene Transportsysteme Teil2. K. Henschel, S. Goltz, I. Ruppe, S. Eggert, H. Neuschulz, M. Angerer. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin Fb 800. ISBN3-89701-144-1, Dortmund/Berlin 1998.

Erkännande

Jag vill tacka Martin Lindgren för att han bar mätinstrumentet med sig på resan mellan Stockholm och Söderhamn med X2000-tåg och resorna med X60-tåg mellan Sundbyberg och Västerhaninge. Jimmy Estenberg tackar jag för att han tog med sig instrumentet på resorna i X60-, X2000- och tunnelbanetåg den 14. och 15. september 2009. Dessutom ett stort tack till honom för att han ville läsa den långa rapporten och kom med värdefulla synpunkter och tips.

Bilaga B1:

Tabell B1: Magnetfält vid rörelse av mätinstrumentet

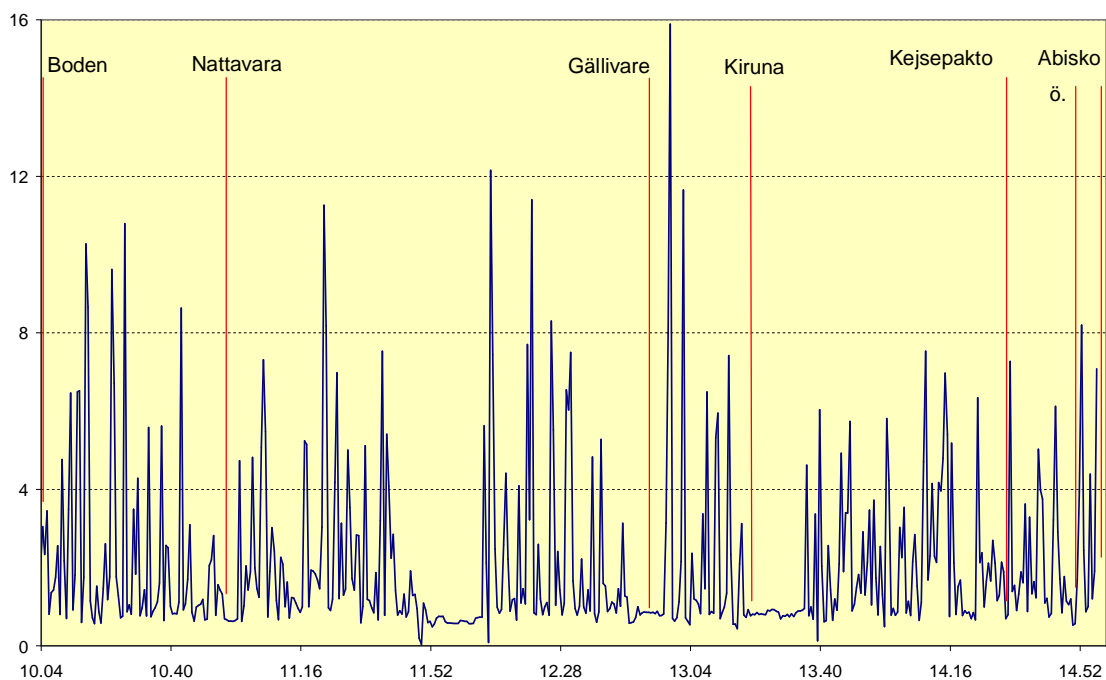
Långsamma rörelse			Ryckiga rörelse		
B _{tot} (μT)	B ₅₀ (μT)	B ₀ (μT)	B _{tot} (μT)	B ₅₀ (μT)	B ₀ (μT)
0,376	0,028	0,375	0,684	0,017	0,684
0,351	0,030	0,350	0,490	0,024	0,489
0,367	0,025	0,366	0,655	0,027	0,654
0,107	0,024	0,104	0,782	0,027	0,782
0,054	0,026	0,047	0,602	0,028	0,601
0,115	0,025	0,112	0,423	0,026	0,422
0,195	0,027	0,193	0,432	0,025	0,431
0,239	0,028	0,237	0,929	0,026	0,929
0,112	0,024	0,109	0,905	0,025	0,905
0,110	0,030	0,106	0,855	0,024	0,855
0,190	0,026	0,188	0,998	0,025	0,998
0,198	0,028	0,196	0,624	0,031	0,623
0,364	0,024	0,363	0,610	0,036	0,609
0,098	0,023	0,095	0,884	0,030	0,883
0,132	0,024	0,130	0,710	0,033	0,709
0,070	0,025	0,065	0,551	0,034	0,550
0,126	0,025	0,123	0,565	0,031	0,564
0,369	0,024	0,368	0,648	0,033	0,647
0,078	0,023	0,075	0,537	0,031	0,536
0,094	0,023	0,091	0,500	0,033	0,499
0,063	0,024	0,058	0,782	0,030	0,781
0,061	0,024	0,056	0,887	0,030	0,886
0,151	0,025	0,149	0,571	0,033	0,570
0,177	0,026	0,175	0,487	0,031	0,486
0,189	0,026	0,187			
0,175	0,025	0,173			
0,054	0,026	0,047			
0,081	0,026	0,077			
0,082	0,025	0,078			
0,151	0,025	0,149			
0,097	0,027	0,093			
0,087	0,024	0,084			
0,099	0,024	0,096			
0,105	0,026	0,102			
0,044	0,026	0,035			
0,058	0,026	0,052			
0,328	0,026	0,327			
0,355	0,034	0,353			
0,046	0,031	0,034			
0,044	0,032	0,030			
0,068	0,032	0,060			
0,043	0,030	0,031			
0,180	0,032	0,177			
0,382	0,032	0,381			
0,303	0,031	0,301			
	min	0,030		min	0,422
	medel	0,153		medel	0,687
	median	0,108		median	0,647
	max	0,381		max	1,074

Tabell B2: Magnetfält vid vilande instrument på tunnelbanestation

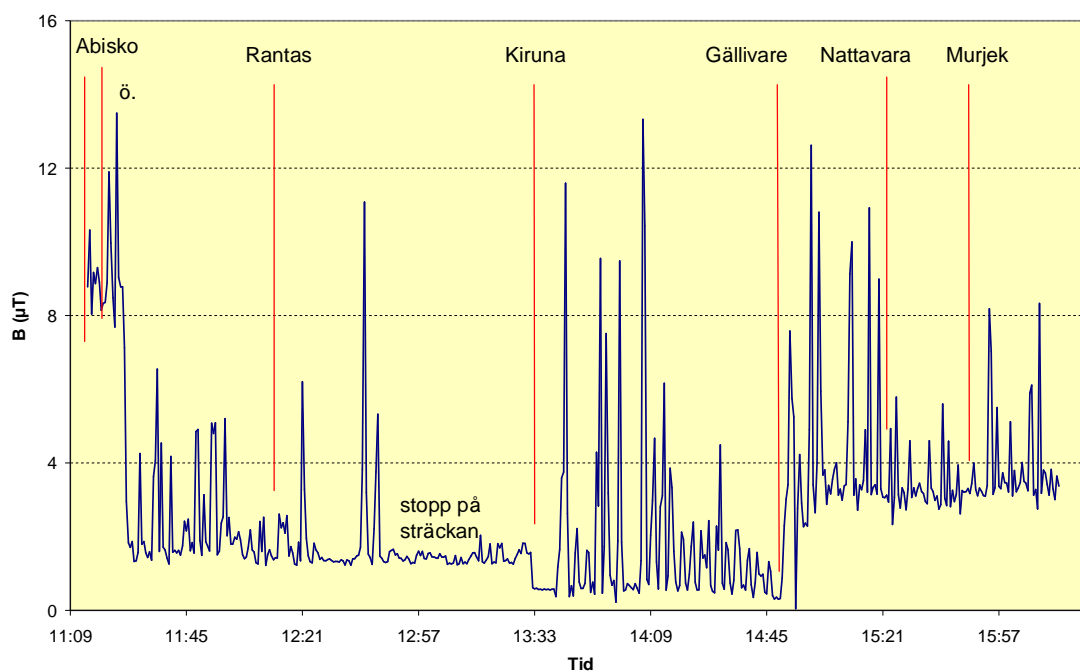
Serie 1		B vid olika frekvenser i μT									
nr	tid	B_{tot}	$B_{16,7}$	B_{25}	B_{33}	B_{50}	B_{75}	B_{100}	B_{300}	B_0	
110	12:27:50	0,114	0,000	0,000	0,000	0,100	0,045	0,000	0,018	0,026	inget tåg på stationen
111	12:27:55	0,116	0,000	0,000	0,000	0,100	0,045	0,000	0,025	0,028	
112	12:28:00	0,118	0,000	0,000	0,000	0,098	0,045	0,000	0,025	0,041	
113	12:28:05	0,172	0,000	0,000	0,000	0,095	0,043	0,000	0,028	0,134	
114	12:28:10	0,117	0,000	0,000	0,000	0,099	0,045	0,000	0,000	0,043	
115	12:28:15	0,230	0,000	0,000	0,000	0,099	0,045	0,000	0,045	0,198	
116	12:28:20	0,123	0,000	0,000	0,000	0,099	0,045	0,000	0,028	0,050	
117	12:28:25	0,115	0,000	0,000	0,000	0,100	0,045	0,000	0,011	0,033	
118	12:28:30	0,142	0,000	0,000	0,000	0,098	0,040	0,000	0,053	0,079	
119	12:28:35	0,121	0,000	0,000	0,000	0,098	0,045	0,000	0,040	0,038	
120	12:28:40	0,115	0,000	0,000	0,000	0,098	0,045	0,000	0,011	0,038	
121	12:28:45	0,119	0,000	0,000	0,000	0,099	0,040	0,000	0,047	0,024	
122	12:28:50	0,111	0,000	0,000	0,000	0,098	0,045	0,000	0,000	0,026	
123	12:28:55	0,123	0,000	0,000	0,000	0,098	0,063	0,000	0,000	0,039	
124	12:29:00	0,132	0,000	0,000	0,000	0,098	0,045	0,000	0,022	0,073	
125	12:29:05	0,117	0,000	0,000	0,000	0,097	0,045	0,000	0,035	0,032	
126	12:29:10	0,122	0,000	0,000	0,000	0,097	0,045	0,000	0,058	0,011	
127	12:29:15	0,125	0,000	0,000	0,000	0,097	0,045	0,000	0,060	0,025	
128	12:29:20	0,125	0,000	0,000	0,000	0,096	0,045	0,000	0,061	0,026	
129	12:29:25	0,130	0,000	0,000	0,000	0,096	0,045	0,000	0,056	0,051	
130	12:29:30	0,138	0,000	0,000	0,000	0,095	0,045	0,000	0,051	0,074	
131	12:29:35	0,132	0,000	0,000	0,000	0,097	0,045	0,000	0,054	0,056	
132	12:29:40	0,147	0,000	0,000	0,000	0,096	0,045	0,000	0,065	0,079	
133	12:29:45	0,141	0,000	0,000	0,000	0,097	0,040	0,000	0,083	0,045	
134	12:29:50	0,135	0,000	0,000	0,000	0,097	0,040	0,000	0,078	0,034	
135	12:29:55	0,157	0,000	0,000	0,000	0,096	0,056	0,000	0,083	0,073	tåg in på stationen
136	12:30:00	0,132	0,000	0,000	0,000	0,098	0,064	0,000	0,000	0,061	
137	12:30:05	0,279	0,000	0,000	0,000	0,092	0,000	0,000	0,000	0,263	
138	12:30:10	0,122	0,000	0,000	0,000	0,088	0,000	0,000	0,000	0,084	
139	12:30:15	0,101	0,000	0,000	0,000	0,094	0,000	0,000	0,023	0,029	
140	12:30:20	0,125	0,000	0,000	0,000	0,092	0,000	0,000	0,029	0,079	
141	12:30:25	0,177	0,000	0,128	0,000	0,089	0,000	0,000	0,028	0,079	
142	12:30:30	0,176	0,000	0,143	0,000	0,093	0,000	0,000	0,028	0,033	
143	12:30:35	0,183	0,000	0,151	0,000	0,093	0,000	0,000	0,035	0,028	
144	12:30:40	0,167	0,000	0,136	0,000	0,088	0,000	0,000	0,025	0,032	
145	12:30:45	0,334	0,000	0,106	0,000	0,079	0,000	0,011	0,109	0,286	
146	12:30:50	0,722	0,000	0,000	0,000	0,094	0,014	0,011	0,113	0,707	
147	12:30:55	0,467	0,022	0,000	0,000	0,089	0,000	0,028	0,170	0,424	
148	12:31:00	0,286	0,020	0,000	0,000	0,098	0,000	0,025	0,159	0,214	
149	12:31:05	0,247	0,016	0,000	0,000	0,095	0,000	0,016	0,154	0,167	tåg ut ur stationen
150	12:31:10	0,222	0,000	0,000	0,000	0,097	0,045	0,000	0,090	0,173	
151	12:31:15	0,250	0,000	0,000	0,000	0,097	0,045	0,000	0,022	0,225	
152	12:31:20	0,196	0,000	0,000	0,000	0,098	0,045	0,000	0,000	0,164	
153	12:31:25	0,147	0,000	0,000	0,000	0,098	0,045	0,000	0,000	0,100	
154	12:31:30	0,148	0,000	0,014	0,000	0,098	0,045	0,011	0,067	0,074	
155	12:31:35	0,522	0,000	0,000	0,000	0,098	0,045	0,000	0,000	0,511	
156	12:31:40	0,121	0,000	0,000	0,000	0,099	0,046	0,000	0,000	0,052	
157	12:31:45	0,147	0,000	0,000	0,000	0,099	0,046	0,000	0,000	0,098	
158	12:31:50	0,163	0,000	0,000	0,000	0,096	0,042	0,000	0,000	0,125	

Serie 2		B vid olika frekvenser i μT									
nr	tid	B _{tot}	B _{16,7}	B ₂₅	B ₃₃	B ₅₀	B ₇₅	B ₁₀₀	B ₃₀₀	B ₆	
214	12:38:35	0,099	0,000	0,000	0,000	0,076	0,048	0,000	0,020	0,036	inget tåg på stationen
215	12:38:40	0,097	0,000	0,000	0,000	0,075	0,048	0,000	0,020	0,033	
216	12:38:45	0,098	0,000	0,000	0,000	0,075	0,048	0,000	0,025	0,032	
217	12:38:50	0,099	0,000	0,000	0,000	0,075	0,048	0,000	0,025	0,035	
218	12:38:55	0,101	0,000	0,000	0,000	0,075	0,048	0,000	0,032	0,036	
219	12:39:00	0,098	0,000	0,000	0,000	0,076	0,048	0,000	0,025	0,030	
220	12:39:05	0,101	0,000	0,000	0,000	0,076	0,048	0,000	0,028	0,036	
221	12:39:10	0,145	0,000	0,000	0,000	0,076	0,050	0,000	0,032	0,108	
222	12:39:15	0,103	0,000	0,000	0,000	0,075	0,048	0,000	0,032	0,041	
223	12:39:20	0,103	0,000	0,000	0,000	0,075	0,048	0,000	0,040	0,033	
224	12:39:25	0,114	0,016	0,000	0,000	0,075	0,050	0,000	0,066	0,016	
225	12:39:30	0,117	0,000	0,000	0,000	0,075	0,050	0,000	0,071	0,023	
226	12:39:35	0,117	0,000	0,000	0,000	0,075	0,050	0,000	0,071	0,023	
227	12:39:40	0,121	0,000	0,000	0,000	0,074	0,050	0,000	0,077	0,027	
228	12:39:45	0,102	0,000	0,000	0,000	0,074	0,048	0,000	0,040	0,032	
229	12:39:50	0,103	0,000	0,000	0,000	0,073	0,050	0,000	0,050	0,016	
230	12:39:55	0,105	0,000	0,000	0,000	0,072	0,048	0,000	0,032	0,050	
231	12:40:00	0,110	0,000	0,000	0,000	0,074	0,050	0,000	0,055	0,033	
232	12:40:05	0,098	0,000	0,000	0,000	0,074	0,048	0,000	0,000	0,043	
233	12:40:10	0,104	0,000	0,000	0,000	0,077	0,048	0,000	0,025	0,044	
234	12:40:15	0,137	0,011	0,000	0,000	0,077	0,048	0,000	0,014	0,101	
235	12:40:20	0,102	0,018	0,000	0,000	0,073	0,045	0,000	0,022	0,047	
236	12:40:25	0,160	0,013	0,000	0,000	0,072	0,045	0,000	0,064	0,119	
237	12:40:30	0,116	0,014	0,000	0,000	0,074	0,056	0,000	0,059	0,034	
238	12:40:35	0,167	0,013	0,000	0,000	0,075	0,047	0,000	0,035	0,137	
239	12:40:40	0,105	0,011	0,000	0,000	0,075	0,049	0,000	0,022	0,049	
240	12:40:45	0,139	0,013	0,000	0,000	0,076	0,050	0,000	0,067	0,080	
241	12:40:50	0,140	0,025	0,000	0,000	0,075	0,050	0,000	0,070	0,077	
242	12:40:55	0,136	0,020	0,000	0,000	0,077	0,050	0,000	0,071	0,068	
243	12:41:00	0,131	0,000	0,000	0,000	0,076	0,050	0,000	0,070	0,063	
244	12:41:05	0,131	0,011	0,000	0,000	0,076	0,050	0,000	0,086	0,037	
245	12:41:10	0,130	0,011	0,000	0,000	0,076	0,069	0,000	0,045	0,065	tåg in i stationen
246	12:41:15	1,625	0,000	0,000	0,000	0,091	0,011	0,000	0,000	1,622	
247	12:41:20	0,284	0,016	0,000	0,000	0,095	0,040	0,000	0,037	0,262	
248	12:41:25	0,078	0,000	0,000	0,000	0,076	0,000	0,000	0,016	0,007	
249	12:41:30	0,078	0,000	0,000	0,000	0,070	0,000	0,000	0,020	0,028	
250	12:41:35	0,076	0,000	0,000	0,000	0,069	0,000	0,000	0,014	0,029	
251	12:41:40	0,074	0,000	0,000	0,000	0,071	0,000	0,000	0,000	0,021	
252	12:41:45	0,079	0,000	0,000	0,000	0,071	0,000	0,000	0,015	0,031	
253	12:41:50	0,141	0,000	0,000	0,000	0,072	0,000	0,000	0,013	0,121	
254	12:41:55	0,260	0,032	0,000	0,000	0,063	0,011	0,000	0,079	0,237	
255	12:42:00	1,008	0,056	0,000	0,022	0,085	0,014	0,000	0,156	0,990	
256	12:42:05	0,281	0,020	0,000	0,020	0,063	0,000	0,032	0,215	0,164	
257	12:42:10	0,317	0,014	0,000	0,022	0,063	0,000	0,022	0,194	0,240	
258	12:42:15	0,362	0,032	0,000	0,020	0,063	0,000	0,018	0,177	0,307	tåg ut ur stationen
259	12:42:20	0,156	0,028	0,000	0,000	0,075	0,050	0,013	0,100	0,072	
260	12:42:25	0,240	0,020	0,000	0,022	0,076	0,050	0,018	0,132	0,175	
261	12:42:30	0,255	0,018	0,000	0,018	0,075	0,050	0,018	0,117	0,206	
262	12:42:35	0,207	0,016	0,000	0,000	0,077	0,048	0,000	0,014	0,185	
263	12:42:40	0,120	0,000	0,000	0,000	0,074	0,045	0,000	0,013	0,082	

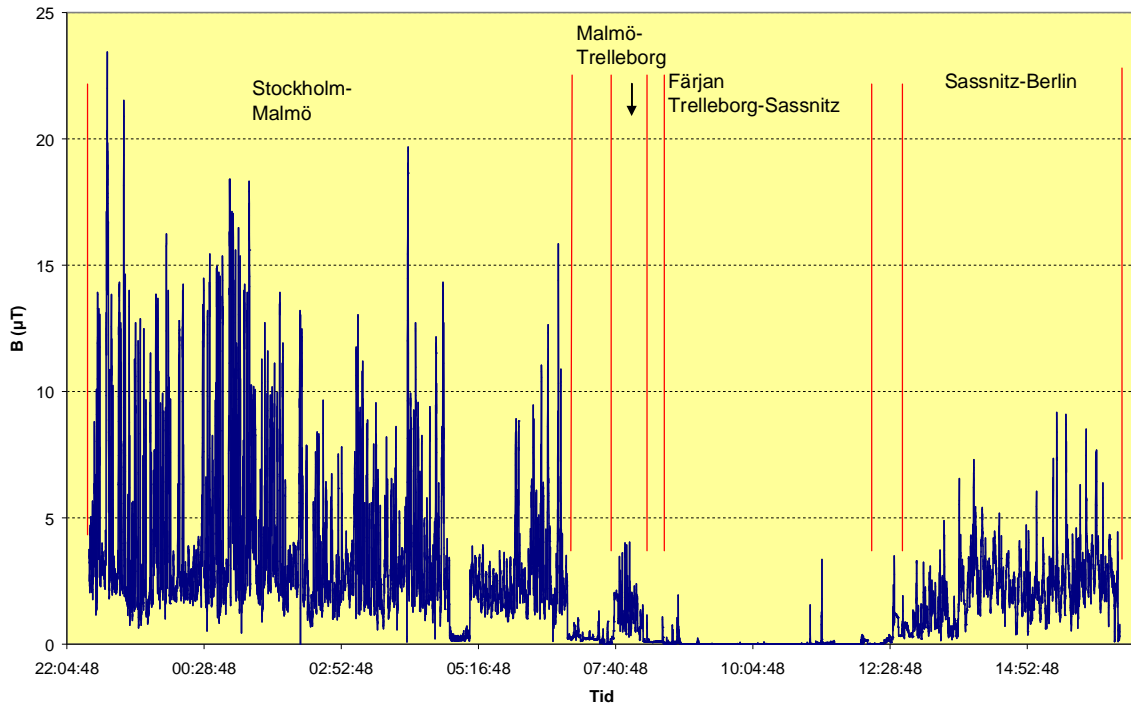
Bilaga B2, fjärrtåg



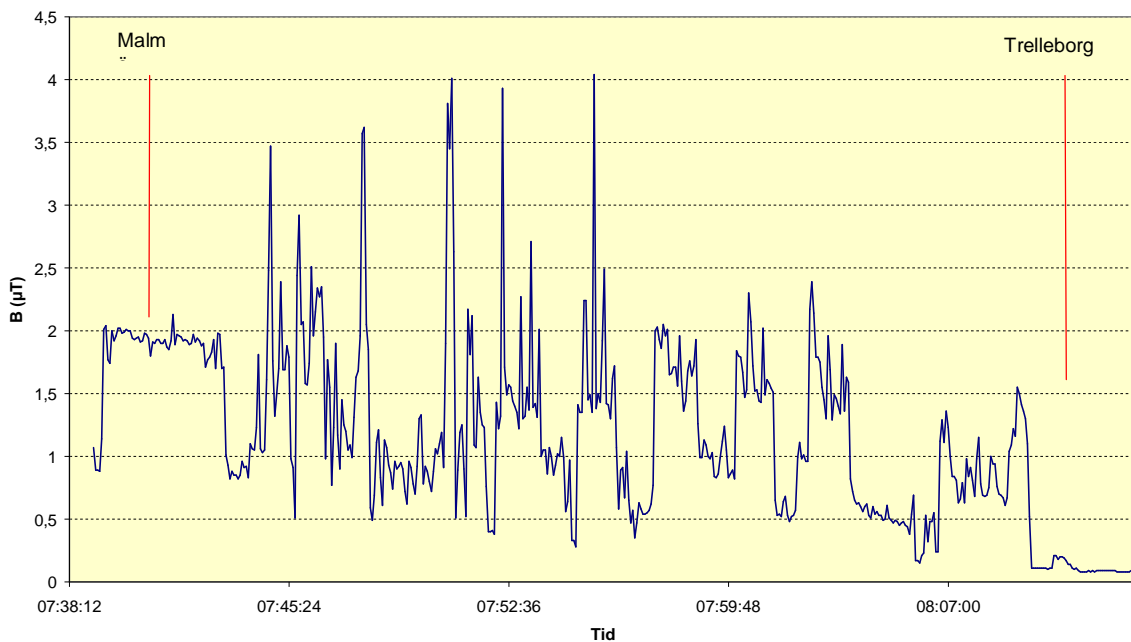
Figur B2.1: Magnetfält på tågresan från Boden till Abisko, 1995-07-27.



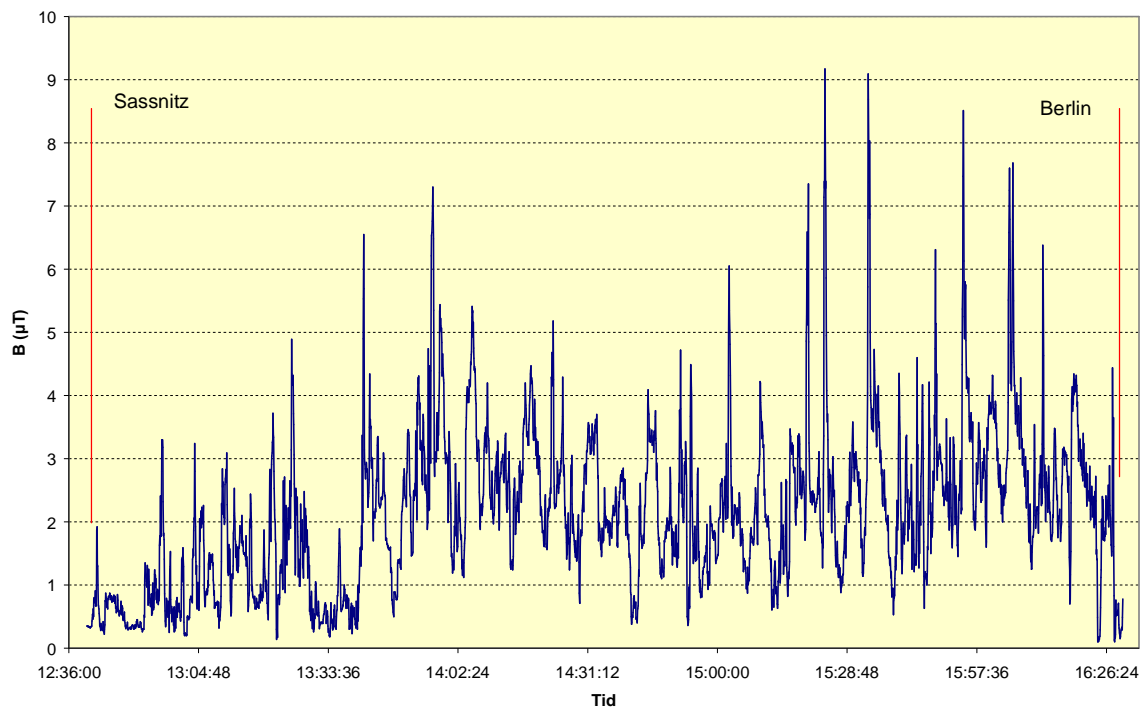
Figur B2.2: Magnetfält på tågresan från Abisko till Murjek, 1995-08-01.



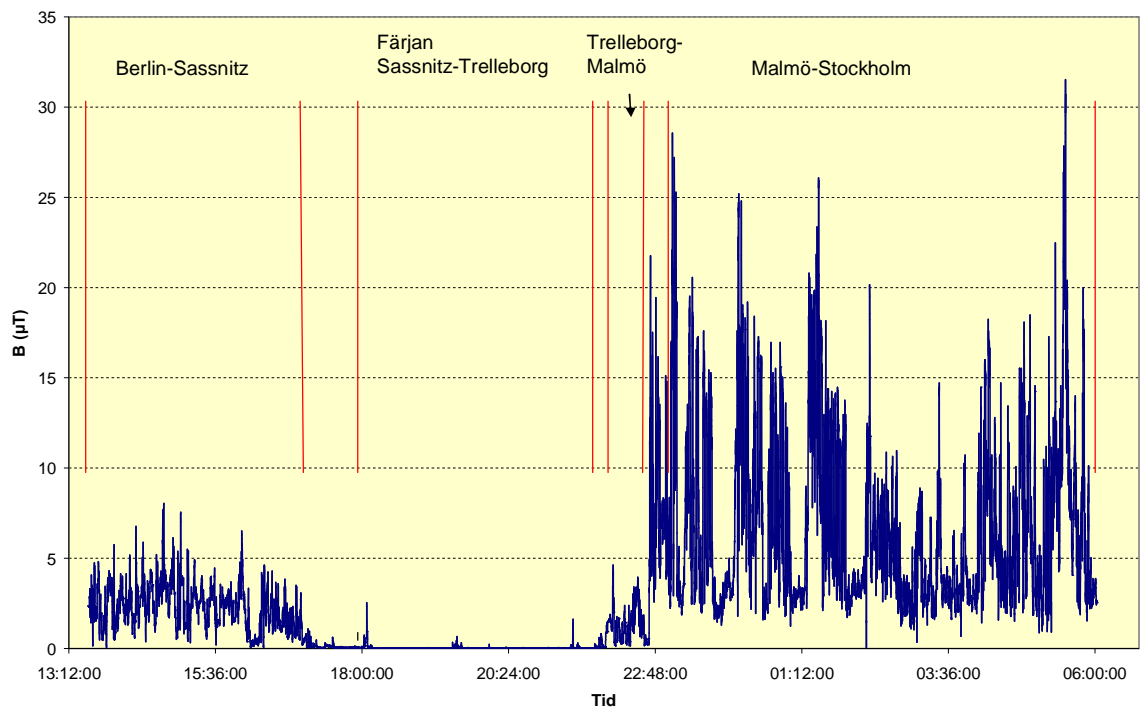
Figur B2.3: Magnetfält på tågresan från Stockholm till Berlin, 1996-12-07/08. Svenskt tåg (lok och vagnar) går mellan Stockholm och Malmö, svenskt lok och tyska vagnar mellan Malmö och Trelleborg, tyskt tåg (lok och vagnar) mellan Sassnitz och Berlin.



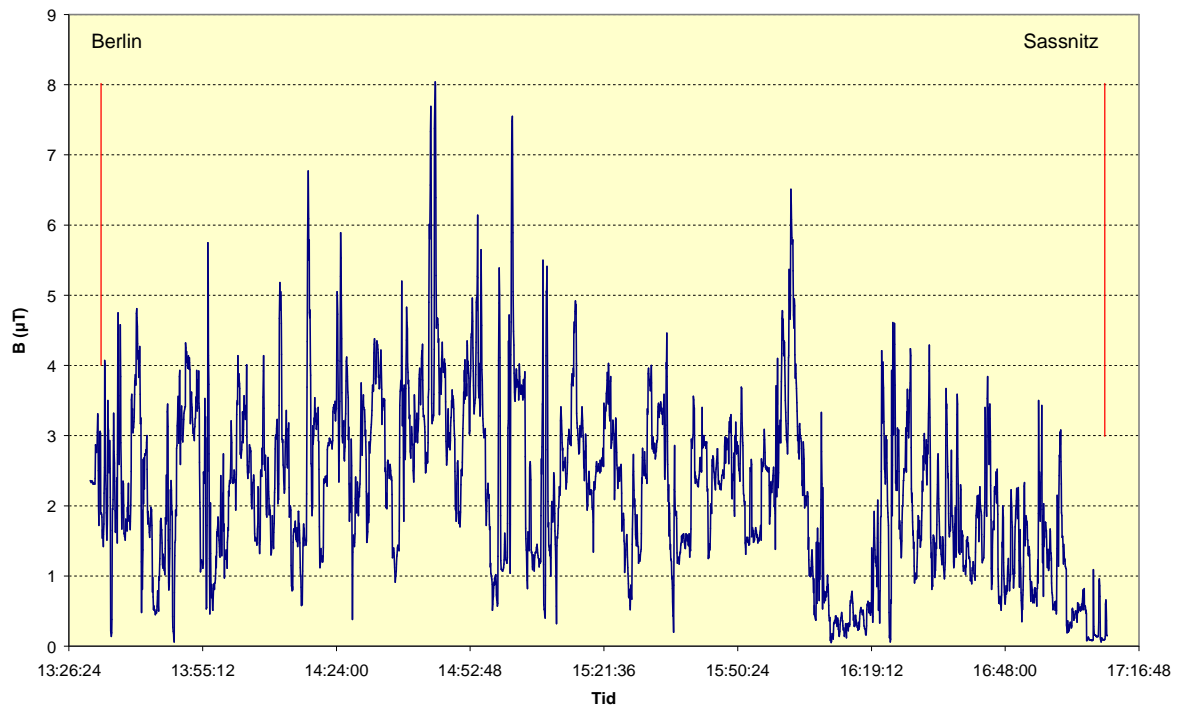
Figur B2.4: Magnetfält på tågresan Malmö-Trelleborg, 1996-12-08. Se förklaringar i texten till figur B2.1. Observera att det är olika skalor på B-axeln i figurerna.



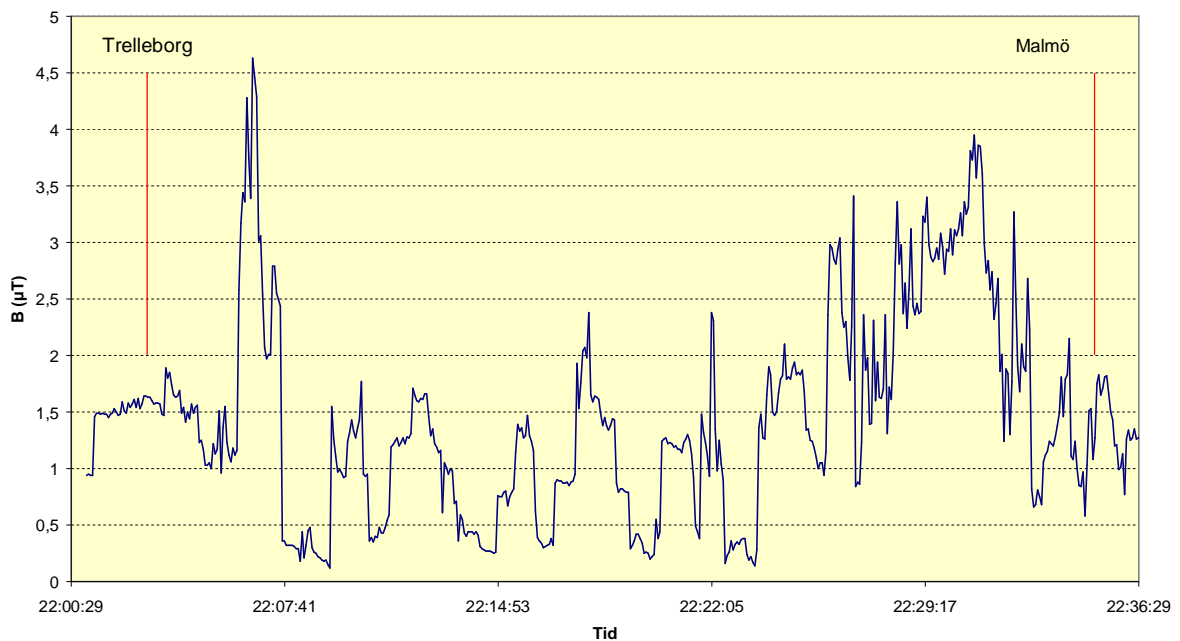
Figur B2.5: Magnetfält på tågresa från Sassnitz stad till Berlin-Lichtenberg, 1996-12-08. Se förklaringar i texten till figur B2.1 och B2.2.



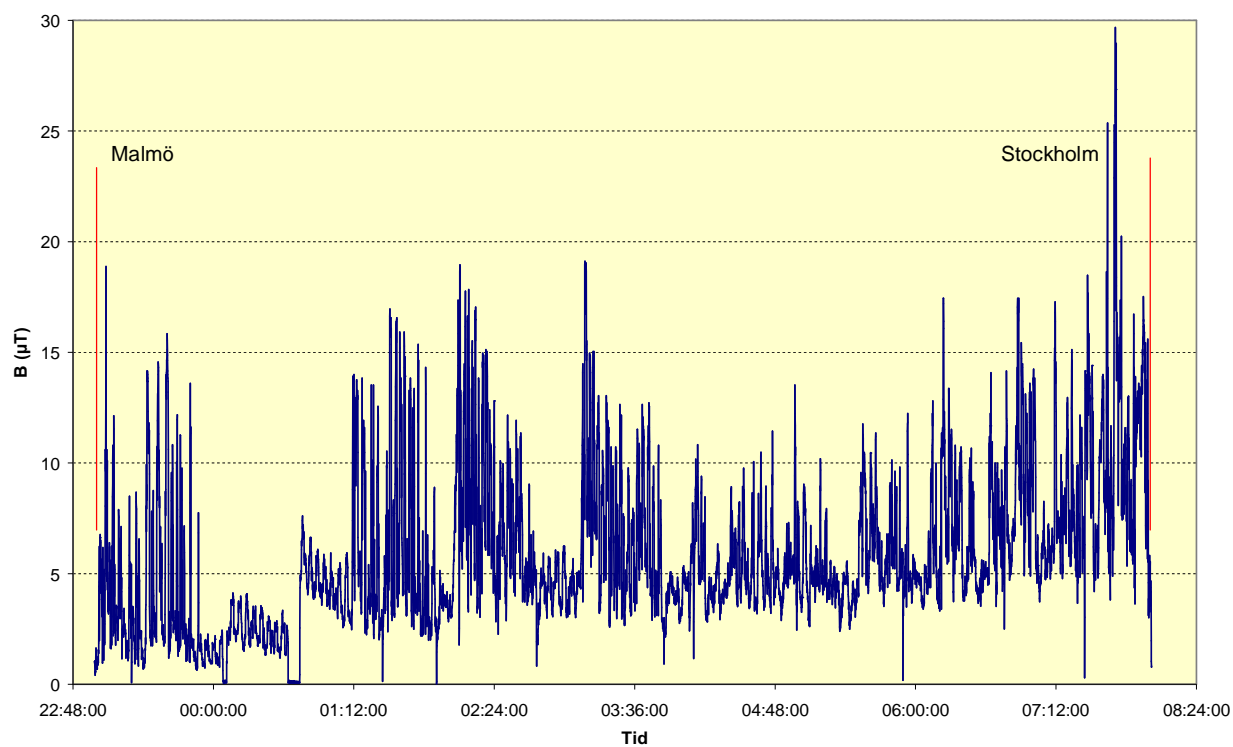
Figur B2.6: Magnetfält på tågresa från Berlin till Stockholm, 1997-02-04/05. Svenskt tåg (lok och vagnar) går mellan Malmö och Stockholm, svenskt lok och tyska vagnar mellan Trelleborg och Malmö, tyskt tåg (lok och vagnar) mellan Berlin och Sassnitz



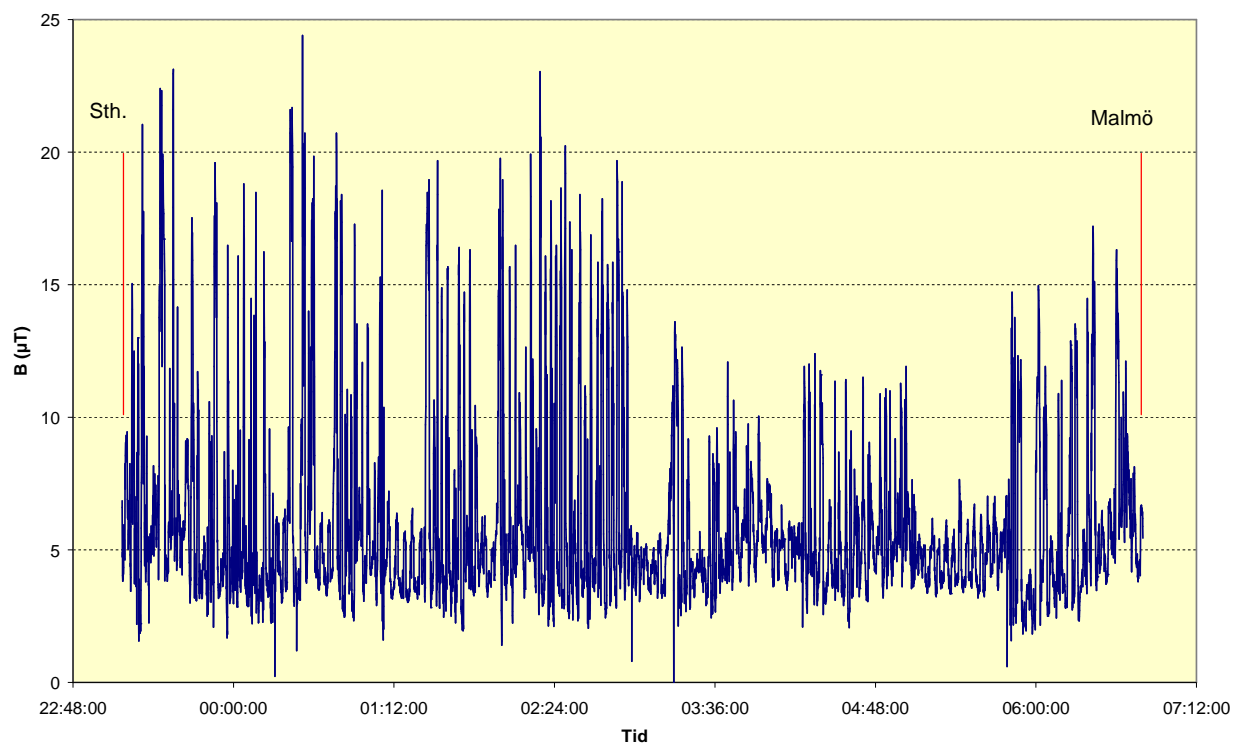
Figur B2.7: Magnetfält på tågresa från Berlin-Lichtenberg till Sassnitz hamn, 1997-02-04. Se förklaringar i texten till figur B2.4 och B2.2.



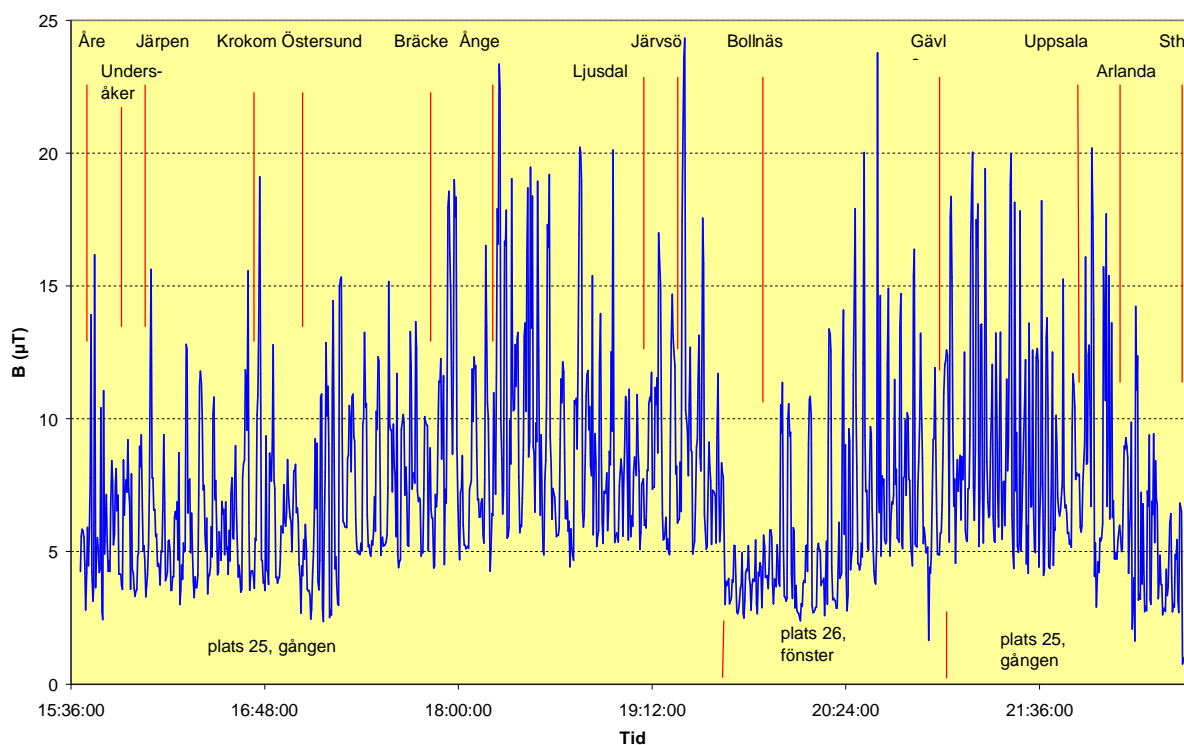
Figur B2.8: Magnetfält på tågresa Trelleborg–Malmö, 1997-02-04. Se förklaringar i texten till figur B2.4 och B2.2.



Figur B2.9: Magnetfält på tågresa Malmö–Stockholm, 1996-12-14/15.



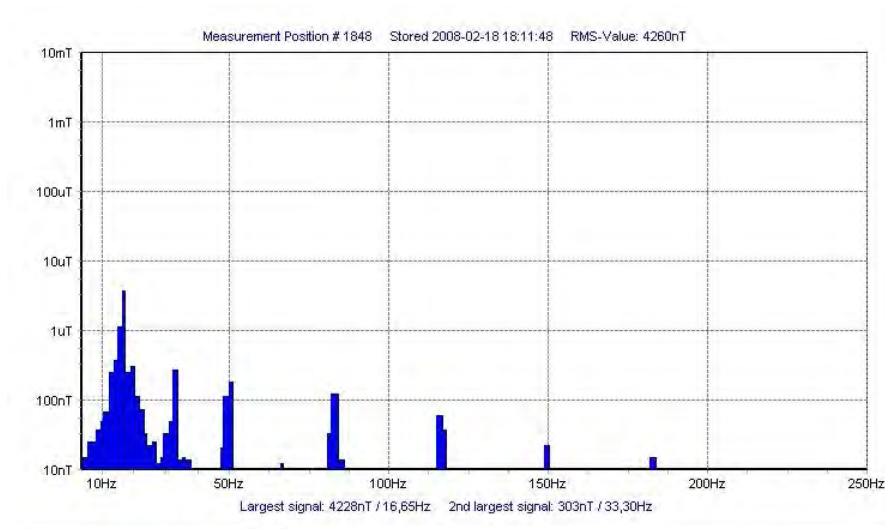
Figur B2.10: Magnetfält på tågresa Stockholm–Malmö, 1997-01-28/29.



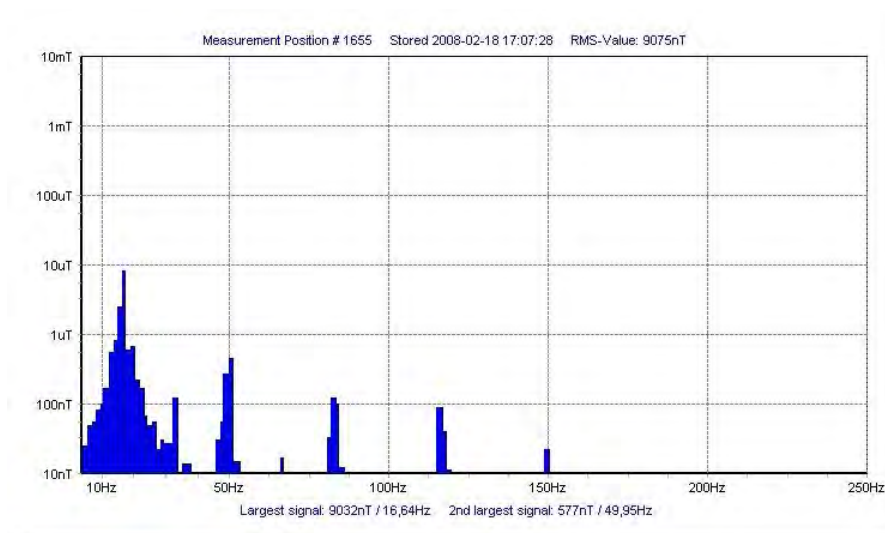
Figur B2.11: Magnetfält på tågresan Åre–Stockholm, 2008-02-18.

Tabell B2.1: Exempel på magnetfält B i μT vid olika frekvenser på resan Åre-Stockholm 2008-02-18 uppmätt med MFM3000. Fälten vid övriga frekvenser f_0 är beräknade enligt ekvation (4.3). (Medelvärde och toppvärden enligt tabell 5.1 och figur B2.11).

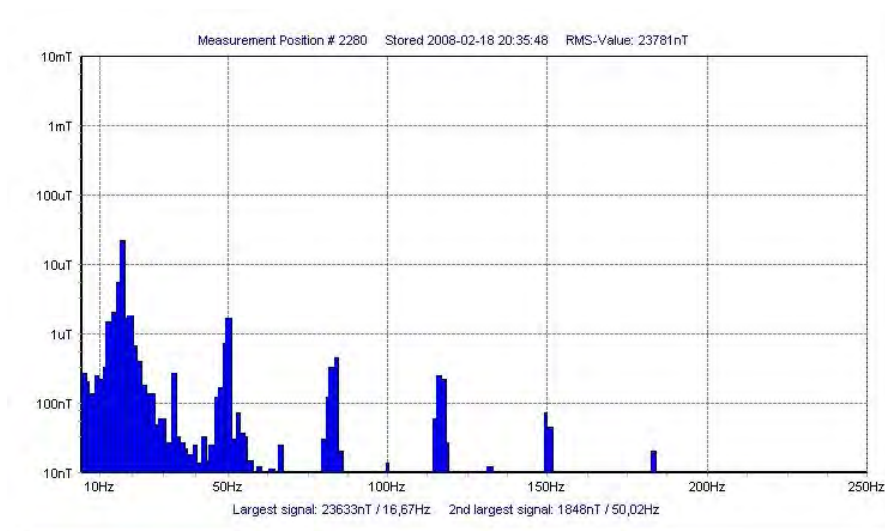
Tid	17.05	18.12	20.49	21.51	16.15	17.07	21.08	21.27	18.15	19.24	20.36	21.55
f (Hz)	Stillastående tåg				Mellan stationer, B_{tot} runt medelv,				Mellan stationer, B_{tot} runt toppv.			
Total	2,83	4,26	4,86	5,73	6,88	9,08	8,34	9,48	23,35	23,63	23,78	20,19
17	2,80	4,23	4,84	5,68	6,82	9,03	8,27	9,40	23,24	23,51	23,63	20,07
33	0,12	0,30	0,30	0,27	0,11	0,12	0,26	0,26	0,23	0,27	0,27	0,26
50	0,28	0,19	0,10	0,53	0,12	0,58	0,81	0,67	1,37	1,61	1,85	1,53
67		0,01		0,01	0,02	0,02	0,04	0,02	0,05	0,03	0,02	0,01
83	0,03	0,12	0,10	0,15	0,15	0,13	0,27	0,11	0,37	0,43	0,43	0,41
100									0,02	0,02	0,02	
117	0,02	0,06	0,04	0,15	0,02	0,10	0,09	0,02	0,24	0,17	0,24	0,26
133											0,01	
150	0,01	0,02	0,01	0,02		0,02	0,02	0,03	0,11	0,05	0,08	0,08
183	0,01	0,01	0,02	0,01			0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03
f_0	0,26	0,35	0,38	1,71	0,85	0,64	0,72	1,01	1,66	1,73	1,81	1,43



a) Stillastående tåg

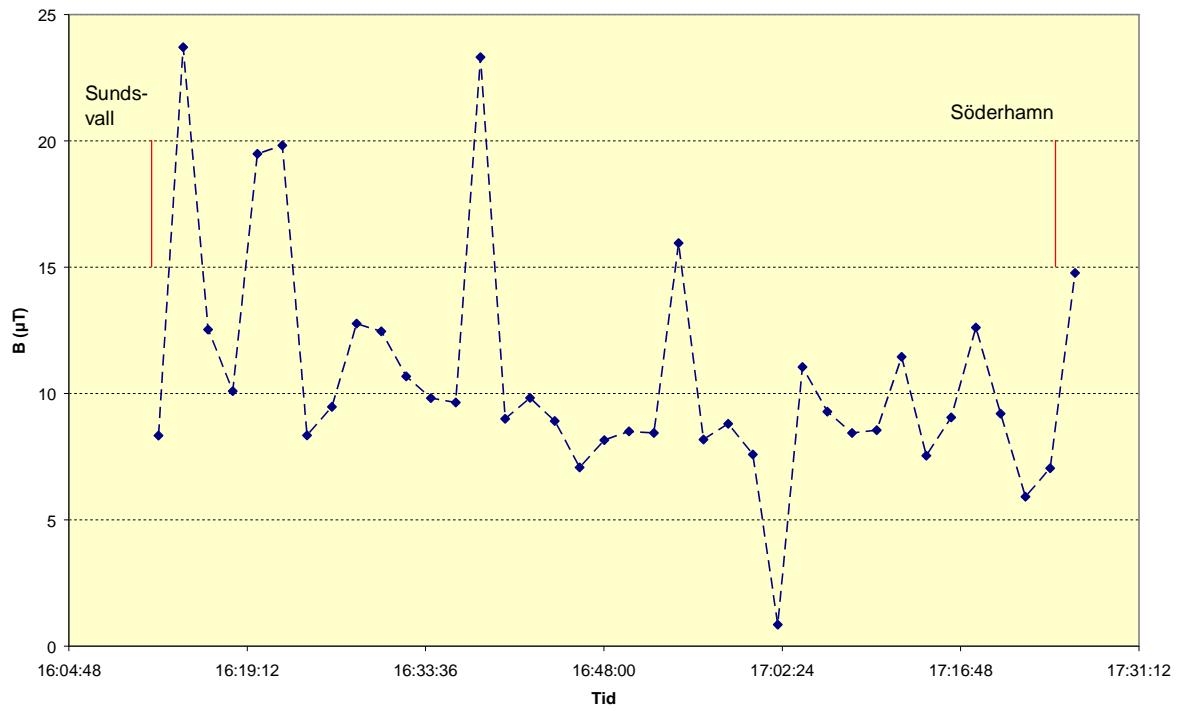


b) Mellan två stationer, B_{tot} omkring medelvärdet enligt tabell 5.1.



c) Mellan två stationer, B_{tot} omkring toppvärden enligt figur B2.11.

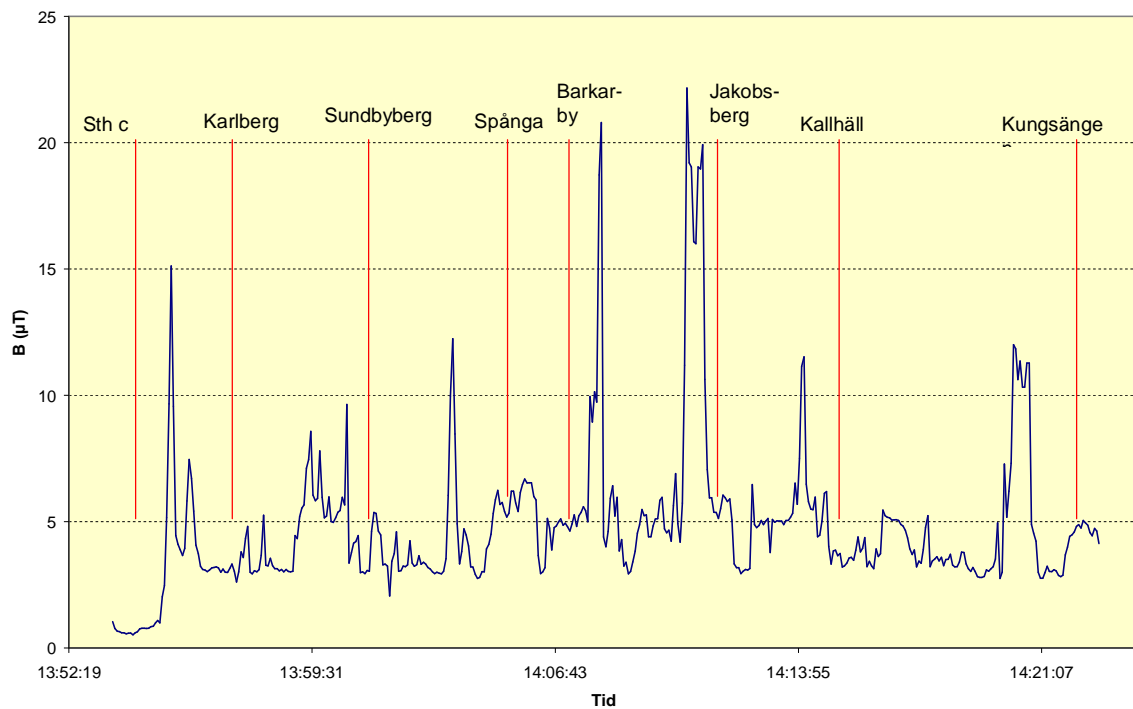
Figur B2.12a-c: Spektral fördelning av magnetfält i tåg vid resan Åre- Stockholm, 2008-02-18.



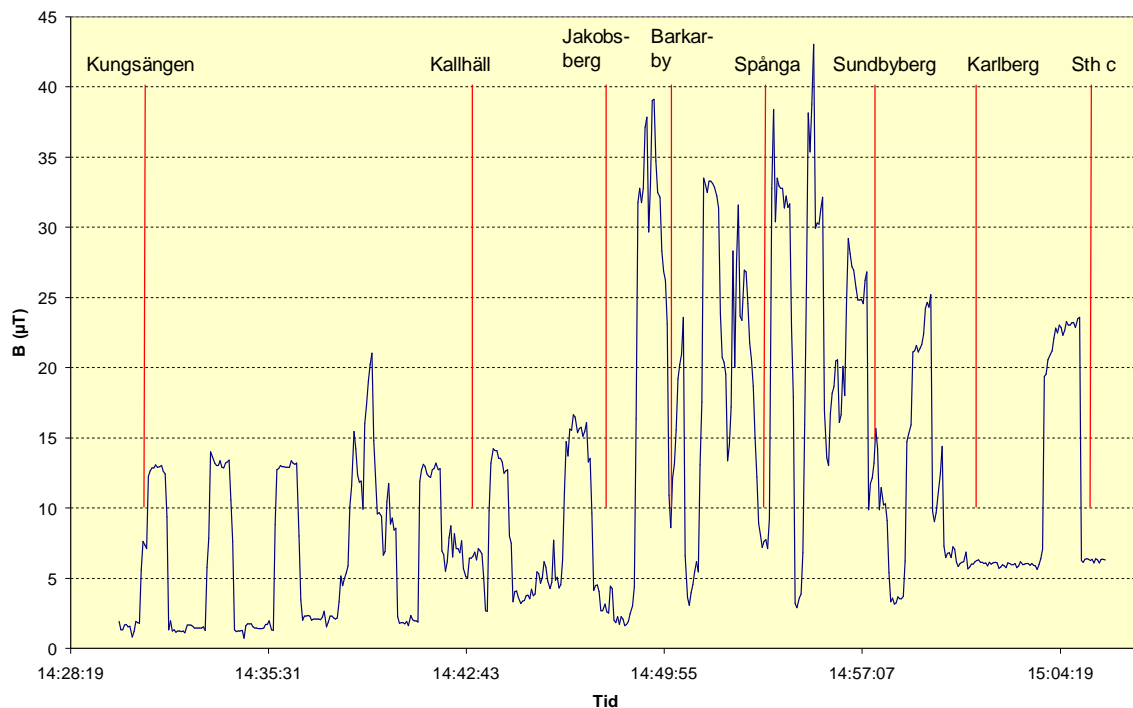
Figur B2.13: Magnetfält i X2000-tåg på resan Sundsvall-Söderhamn, 2008-11-14. Samplingsperiod 2 min.

Bilaga B3, lokaltrafik

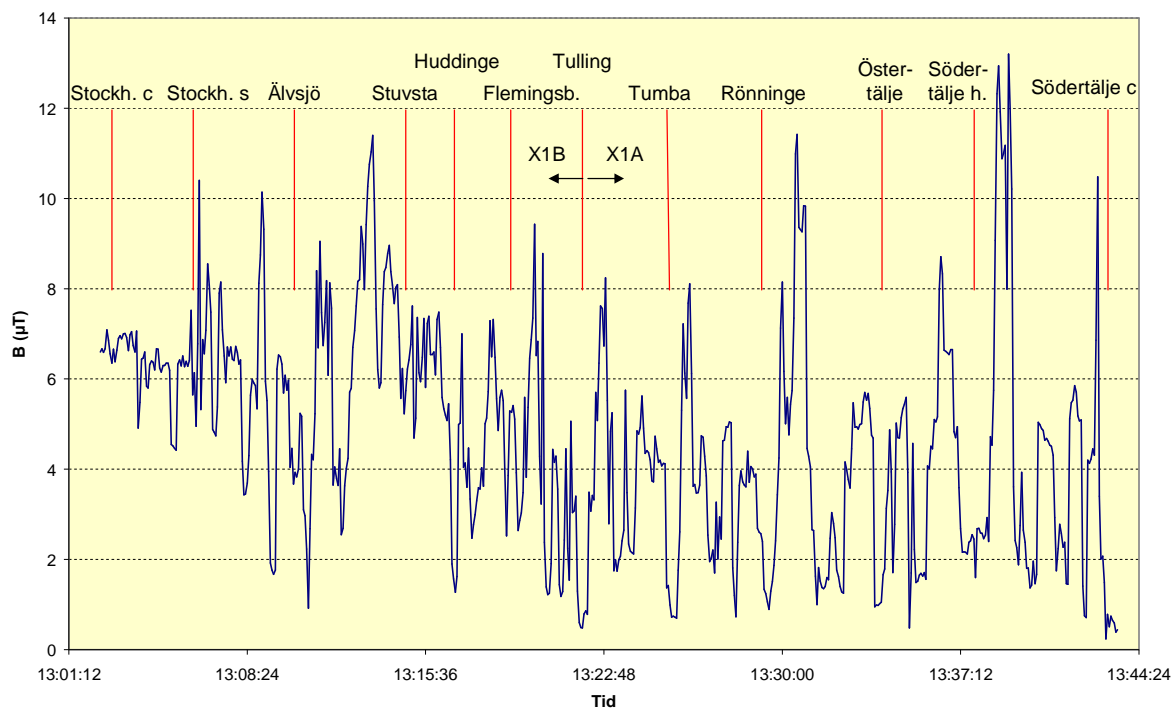
X1-tåg



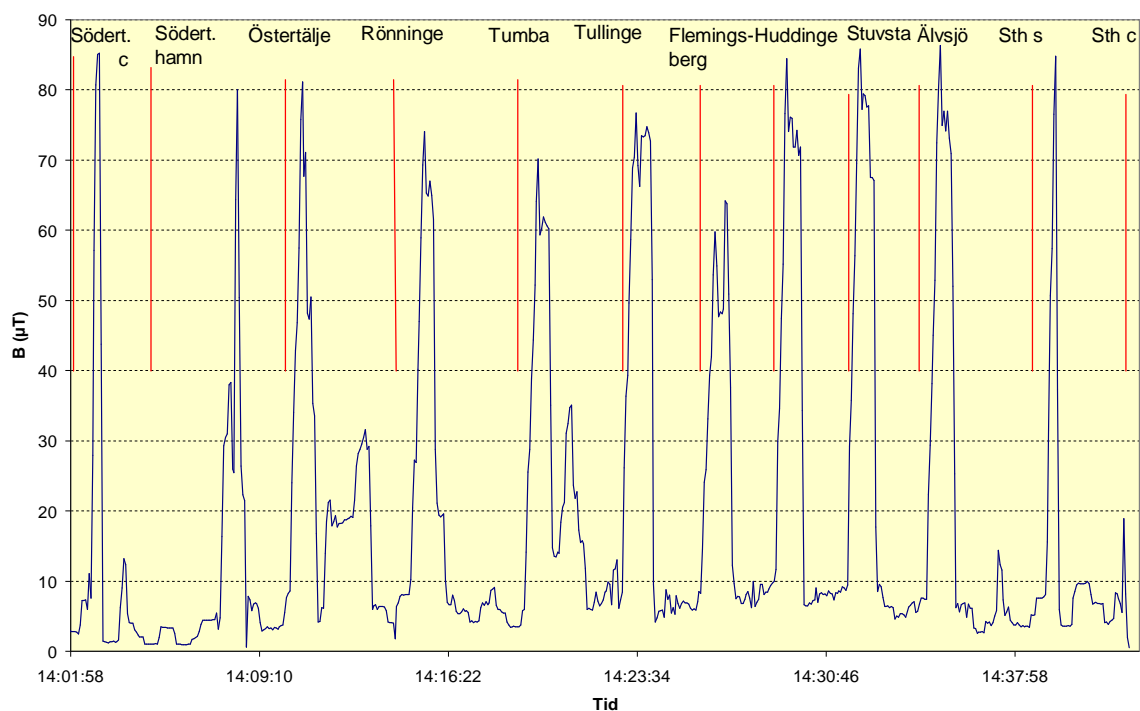
Figur B3.1: Magnetfält i pendeltåg X1A mellan Stockholm c och Kungsängen, 1995-02-23.



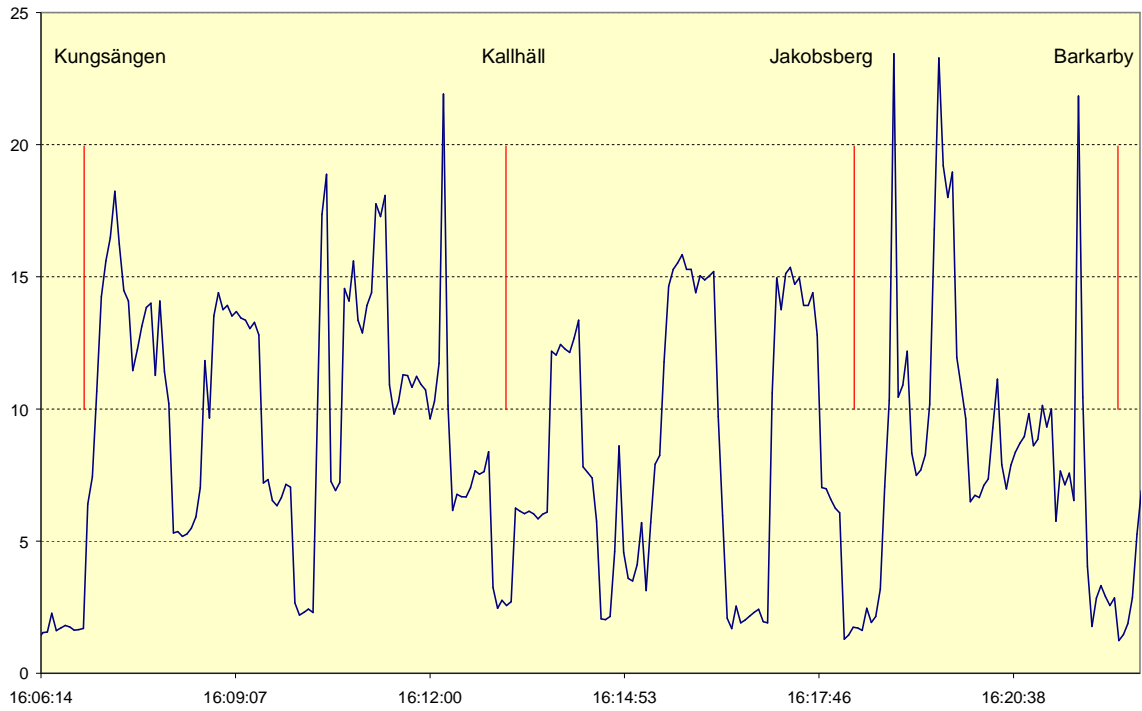
Figur B3.2: Magnetfält i pendeltåg X1A mellan Kungsängen och Stockholm c, 1995-02-23.



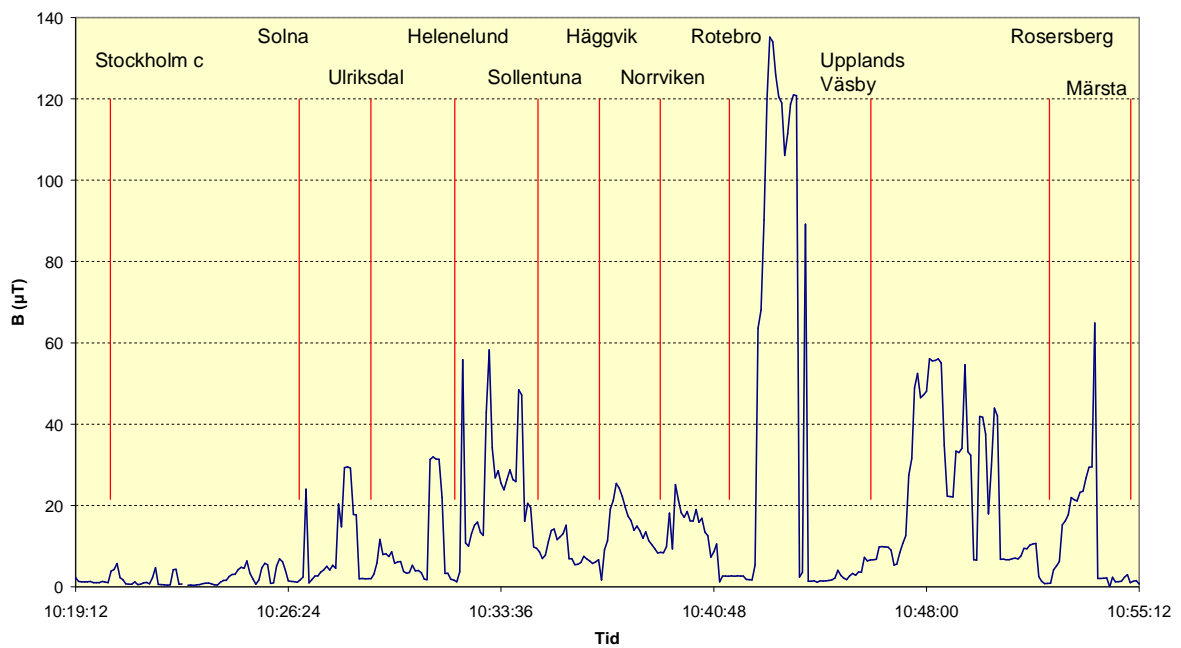
Figur B3.3: Magnetfält i pendeltåg X1B och X1A mellan Stockholm c och Södertälje c, 1997-02-08.



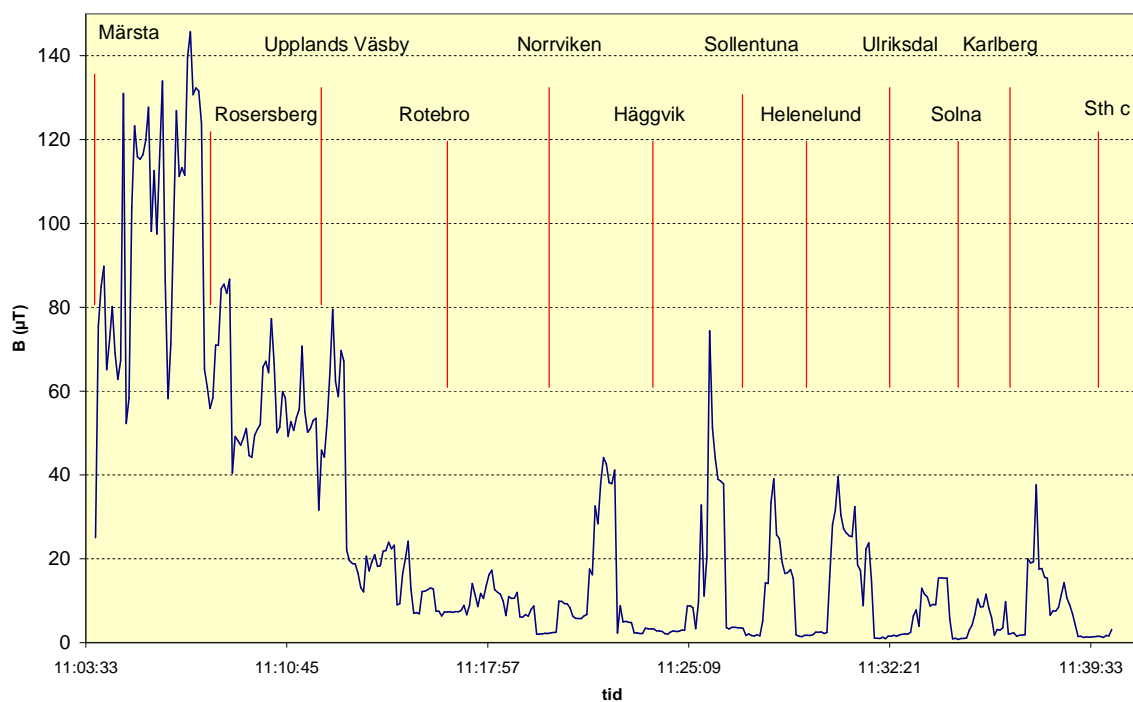
Figur B3.4: Magnetfält i pendeltåg X1A mellan Södertälje c och Stockholm c, 1997-02-08.



Figur B3.5: Magnetfält i pendeltåg X1A mellan Kungsängen och Barkarby, 1995-03-01.

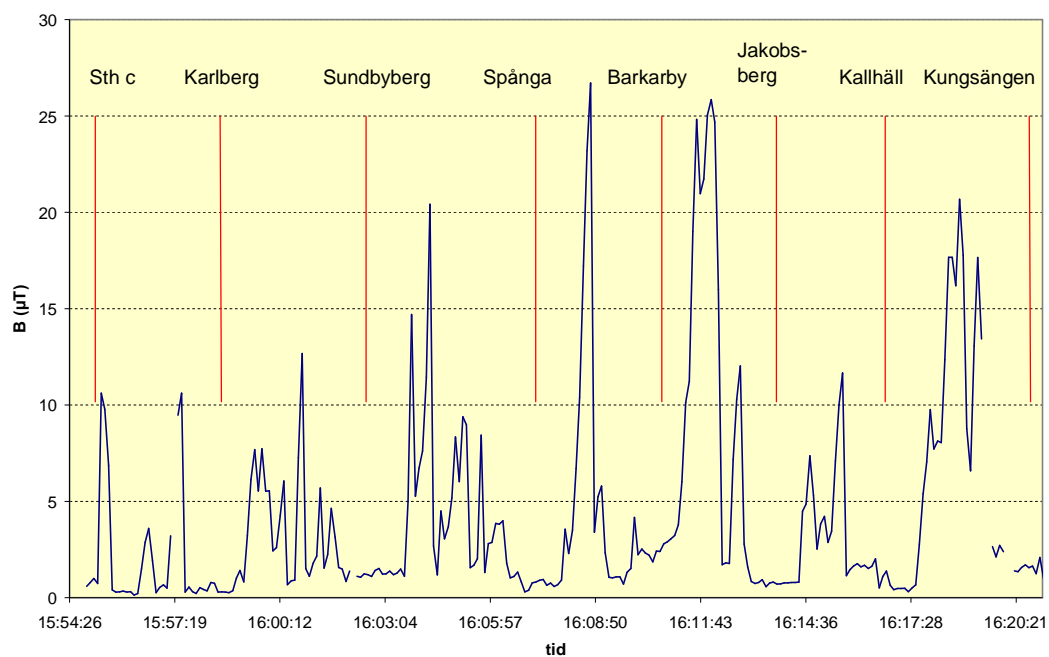


Figur B3.6: Magnetfält i pendeltåg X1A mellan Stockholm c och Märsta, 2002-11-14. Vid maximum mellan Rotebro och Upplands Väsby hölls instrumentet högspänningskabeln i hörnet av en dörr.

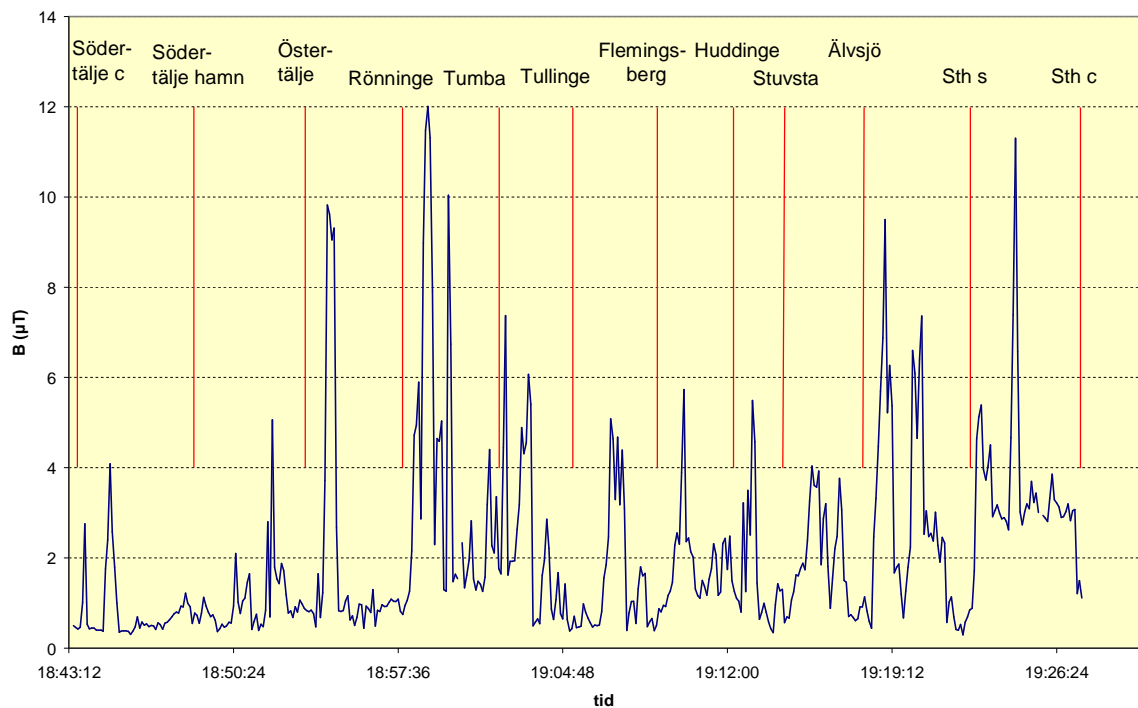


Figur B3.7: Magnetfält i pendeltåg X1A mellan Märsta och Stockholm c, 2002-11-14. Höga värden mellan Märsta och Rosersberg är uppmätta intill högspänningskabeln vid en dörr, där man vanligtvis inte står.

X10-tåg

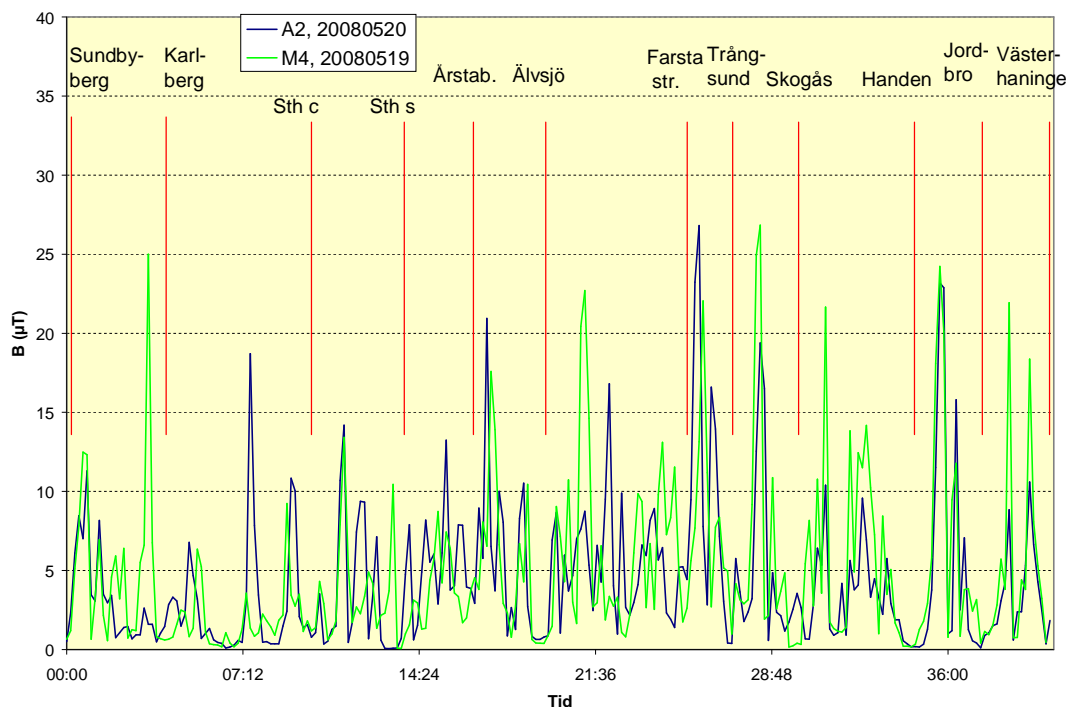


Figur B3.8: Magnetfält i pendeltåg X10B mellan Stockholm c och Kungsängen, 2002-11-14.

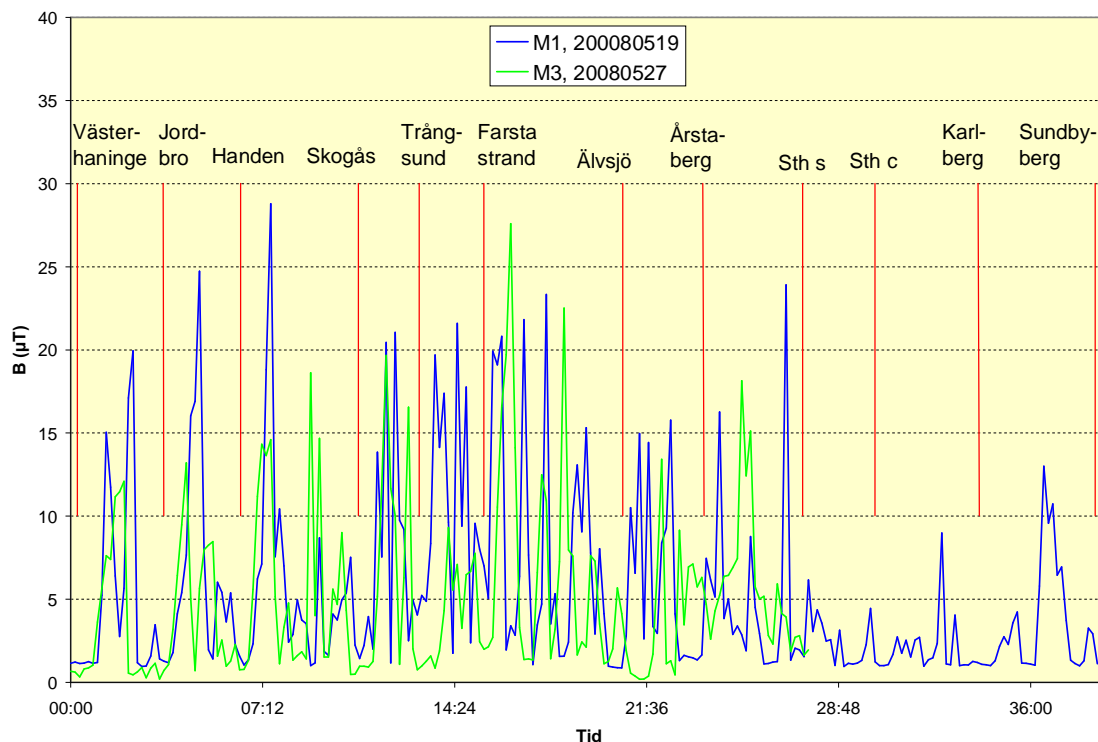


Figur B3.9: Magnetfält i pendeltåg X10B mellan Södertälje c och Stockholm c, 2005-11-22.

X60-tåg



Figur B3.10: Magnetfält i olika sektioner av pendeltåg X60 mellan Sundbyberg och Västerhaninge, 2008-05-19 och 2008-05-20. (Vissa tidsförskjutningar kan förekomma mellan stationerna)



Figur B3.11: Magnetfält i olika sektioner av pendeltåg X60 mellan Västerhaninge och Sundbyberg, 2008-05-19, och Västerhaninge och Stockholm s, 2008-05-27. (Vissa tidsförskjutningar kan förekomma mellan stationerna)

Tabell B3.1: Exempel på magnetfält B i μT vid olika frekvenser på resan med pendeltåg X60 mellan Sundbyberg och Västerhaninge 2008-05-15 och 2008-05-16. Fälten vid övriga frekvenser f_0 är beräknade enligt ekvation (4.4). (Medel- och toppvärde enligt tabell 5.13 och figur B3.10).

f(Hz)	Stillastående tåg				Mellan stationer, B_{tot} omkring medelv.				Mellan stationer, B_{tot} omkring toppv.			
	0515	0515	0516	0516	0515	0515	0516	0516	0515	0515	0516	0516
/Datum	0515	0515	0516	0516	0515	0515	0516	0516	0515	0515	0516	0516
/Tid	15.16	15.39	14.55	15.11	15.26	15.09	14.48		15.35	15.31	15.04	15.23
Total	0,47	0,72	0,60	0,433	6,33	5,97	4,57	4,34	35,71	28,52	16,44	25,13
16,7	0,44	0,65	0,59	0,43	6,28	5,94	4,52	4,32	35,62	28,43	16,36	25,05
33,3		0,02	0,01		0,04	0,03	0,12	0,02	0,09	0,05	0,08	0,07
50	0,16	0,08	0,05	0,02	0,58	0,37	0,08	0,06	0,10	0,73	0,96	0,20
66,7					0,02		0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03
83,3	0,01	0,02	0,03		0,12	0,02	0,02	0,04	0,03	0,39	0,09	0,04
100									0,01			0,01
116,7					0,03	0,04	0,02	0,01	0,01	0,23	0,04	0,02
150	0,04	0,03	0,01		0,04	0,03			0,03	0,09	0,02	
183,3									0,14			
250										0,09		
f_0	0,05	0,29	0,07	0,05	0,52	0,47	0,70	0,43	2,55	2,10	1,27	1,95

Tabell B3.2: Exempel på magnetfält B i μT vid olika frekvenser på resan med pendeltåg X60 mellan Sundbyberg och Västerhaninge 2008-05-19 och 2008-05-20. Fälten vid övriga frekvenser f_0 är beräknade enligt ekvation (4.4).. (Medel- och toppvärde enligt tabell 5.13 och figur B3.11).

f(Hz)	Stillastående tåg				Mellan stationer, B_{tot} omkring medelv.				Mellan stationer, B_{tot} omkring toppv.			
	/Datum	0519	0519	0520	0520	0519	0519	0520	0520	0519	0519	0520
/Tid	15.26	15.37	15.26	15.42	15.22	15.41	15.28	15.46	15.35	15.43	15.39	15.34
Total	0,41	0,24	0,17	0,27	4,39	5,06	5,77	4,41	26,84	24,23	35,19	26,24
16,7	0,38	0,24	0,16	0,27	3,01	4,96	5,73	4,31	26,75	24,17	35,09	26,15
33,3	0,08		0,03	0,03	0,02	0,03	0,02	0,39	0,05	0,04	0,56	0,55
50	0,05	0,03	0,03	0,04	0,20	0,03	0,49	0,04	0,26	0,21	0,26	0,26
66,7						0,01		0,02			0,02	0,02
83,3	0,02				0,04	0,01	0,17	0,02	0,07	0,04	0,04	0,05
116,7					0,02				0,02	0,02	0,01	0,01
134						0,01						
150	0,01	0,01			0,02	0,01	0,01		0,02	0,02		
167									0,01			
183,3												0,12
216,7								0,10			0,12	
f_0	0,13	0,05	0,02	0,03	3,19	1,00	0,46	0,87	2,14	1,79	2,64	2,02

Tabell B3.3: Exempel på magnetfält B i μT vid olika frekvenser på resan med pendeltåg X60 mellan Sundbyberg och Västerhaninge 2008-05-21 och 2008-05-26. Fälten vid övriga frekvenser f_0 är beräknade enligt ekvation (4.4). (Medel- och toppvärde enligt tabell 5.13 och figur 5.44-5.45)

f(Hz)	Stillastående tåg				Mellan stationer, B_{tot} omkring medelv.				Mellan stationer, B_{tot} omkring toppv.			
	0521	0521	0526	0526	0521	0521	0526	0526	0521	0521	05226	0526
/Datum	15.56	16.12	15.08	15.13	15.58	16.09	14.41	15.07	16.03	16.13	15.02	15.14
/Tid	15.56	16.12	15.08	15.13	15.58	16.09	14.41	15.07	16.03	16.13	15.02	15.14
Total	0,65	0,18	0,45	0,23	4,69	5,63	4,83	5,18	26,82	23,18	21,51	27,69
16,7	0,63	0,17	0,44	0,22	4,66	5,60	3,97	5,17	26,74	23,11	21,46	27,62
33,3	0,03	0,03	0,02		0,04	0,17	0,03	0,02	0,70	0,70	0,04	0,05
50	0,05	0,02	0,10	0,06	0,04	0,05	0,06	0,09	0,19	0,11	0,15	0,18
66,7									0,01	0,01	0,01	
83,3			0,02			0,02		0,02	0,04	0,02	0,03	0,03
116,7											0,01	0,01
183,3									0,17	0,17		
200						0,05						
216,7	0,02											
284	0,02											
434	0,02											
660	0,03											
860	0,02											
930									0,02	0,02		
1070	0,02					0,02						
1340	0,02											
f_0	0,11	0,04	0,03	0,04	0,56	0,57	2,75	0,37	1,87	1,72	1,59	1,99

Tabell B3.4: Exempel på magnetfält B i μT vid olika frekvenser på resan med pendeltåg X60 mellan Västerhaninge och Sundbyberg 2008-05-16 och 2008-05-19. Fälten vid övriga frekvenser f_0 är beräknade enligt ekvation (4.4). (Medel- och toppvärde enligt tabell 5.13 och figur 5.46 och B3.11).

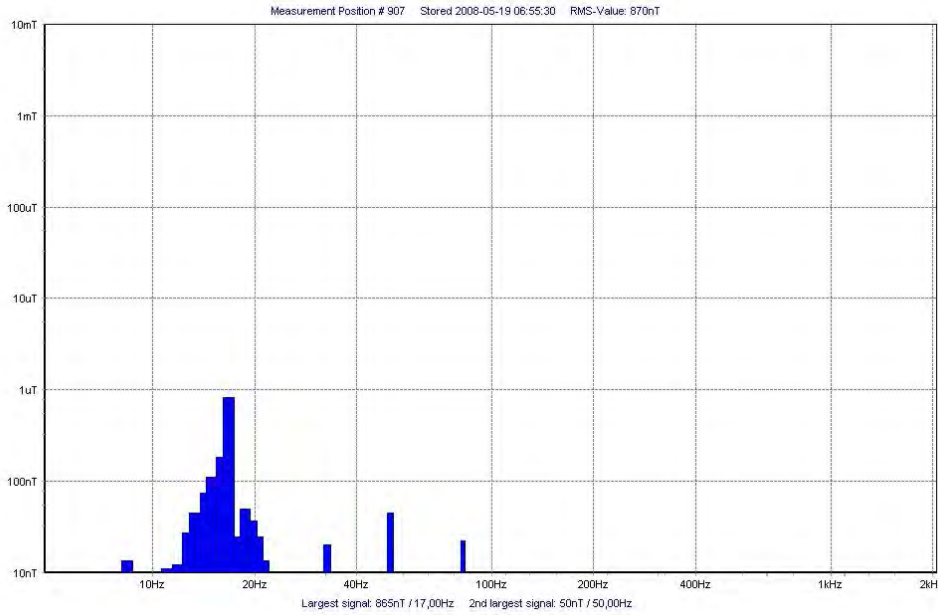
f (Hz)	Stillastående tåg				Mellan stationer, B_{tot} omkring medelv.				Mellan stationer, B_{tot} omkring toppv.			
	0516	0516	0519	0519	0516	0516	0519	0519	0516	0516	0519	0519
/Datum	06.50	07.08	06.41	07.01	07.05	07.17	06.53	07.02	07.11	07.14	06.42	06.49
/Tid	06.50	07.08	06.41	07.01	07.05	07.17	06.53	07.02	07.11	07.14	06.42	06.49
Total	0,45	0,52	1,05	1,11	4,83	5,67	5,32	6,16	35,52	27,21	28,78	21,59
16,7	0,44	0,51	1,04	1,10	4,80	5,45	5,28	5,32	35,30	26,94	28,71	21,54
33,3				0,01	0,03	0,04	0,04	0,09	0,14	0,66	0,04	0,09
50	0,05	0,06	0,08	0,11	0,18	0,12	0,16	0,46	2,71	3,07	0,21	0,34
66,7							0,01	0,02		0,02	0,03	0,02
83,3	0,02	0,02	0,03	0,01	0,06		0,03	0,17	0,81	1,52	0,08	0,07
100									0,02		0,01	
116,7		0,01	0,01		0,03	0,01	0,03	0,09	0,23	0,53	0,05	0,10
130						0,02			0,01	0,10		
150	0,01	0,02			0,02	0,01		0,04	0,15		0,02	0,02
183,3								0,01	0,03	0,07		
216,7									0,03	0,02		
250									0,02	0,02		
284										0,02		
317										0,02		
420										0,01		
450										0,02		
900					0,01	0,01						
1800	0,01	0,01			0,01	0,01			0,01			
f_0	0,06	0,06	0,09	0,09	0,49	1,55	0,66	3,07	2,71	1,62	2,01	1,51

Tabell B3.5: Exempel på magnetfält B i μT vid olika frekvenser på resan med pendeltåg X60 mellan Västerhaninge och Sundbyberg 2008-05-26 och 2008-05-27. Fälten vid övriga frekvenser f_0 är beräknade enligt ekvation (4.4). (Medel- och maxvärde enligt tabell 5.13 och figur 5.47 och B3.11)

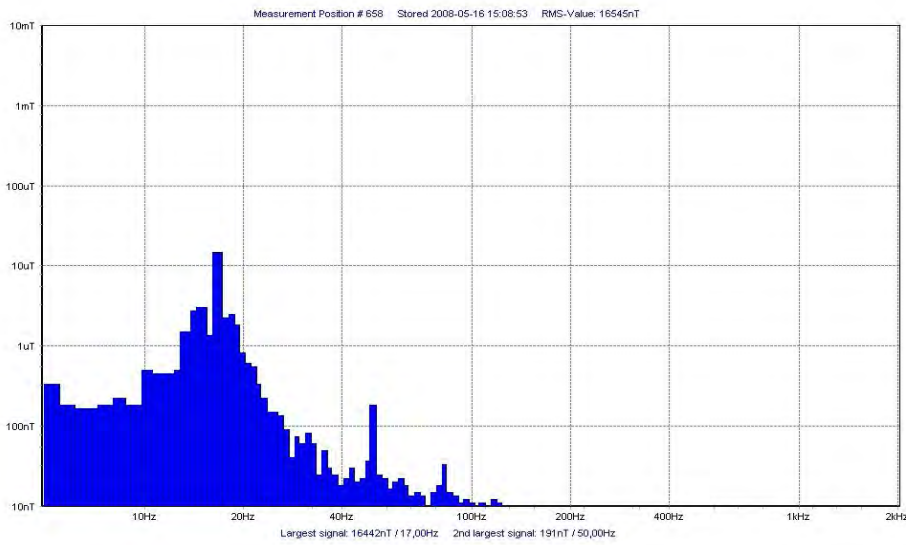
Datum	0526	0526	0527	0527	0526	0526	0527	0527	0526	0526	0527	0527
Tid	06.45	07.02	06.50	07.08	06.55	07.04	06.55	07.08	06.42	06.51	06.59	07.04
f(Hz)	Stillastående tåg				Mellan stationer, B_{tot} omkring medelv.				Mellan stationer, B_{tot} omkring toppv.			
Total	0,41	0,19	0,21	0,38	6,26	6,33	4,78	5,68	21,45	27,85	19,66	27,59
16,7	0,38	0,18	0,20	0,38	6,22	6,25	4,69	5,65	21,37	27,77	19,63	27,48
33,3	0,02	0,02			0,26	0,32	0,04	0,03	0,10	0,08	0,05	0,08
50	0,04	0,02	0,04	0,04	0,11	0,14	0,27	0,13	0,36	0,16	0,56	1,56
66,7					0,04	0,05			0,04	0,03	0,01	0,02
83,3	0,04		0,02	0,01	0,06	0,06	0,04	0,06	0,09	0,04	0,21	0,35
100					0,04	0,02		0,03	0,02	0,01		
116,7	0,01				0,02	0,01	0,04	0,02	0,04	0,03	0,11	0,23
134					0,01					0,01		
150								0,01	0,02	0,02	0,04	0,07
183,3												0,04
216,7												0,02
900											0,01	0,02
1800					0,01		0,01	0,01			0,01	0,01
f_0	0,14	0,06	0,05	0,05	0,07	0,91	0,86	0,57	1,74	2,05	0,94	1,94

Tabell B3.6: Exempel på magnetfält B i μT vid olika frekvenser på resan med pendeltåg X60 mellan Västerhaninge och Sundbyberg 2008-05-20 och 2008-05-21. Fälten vid övriga frekvenser $f_{\bar{v}}$ är beräknade enligt ekvation(4.4). (Medel- och toppvärde enligt tabell 5.13 och figur 5.46-5.47).

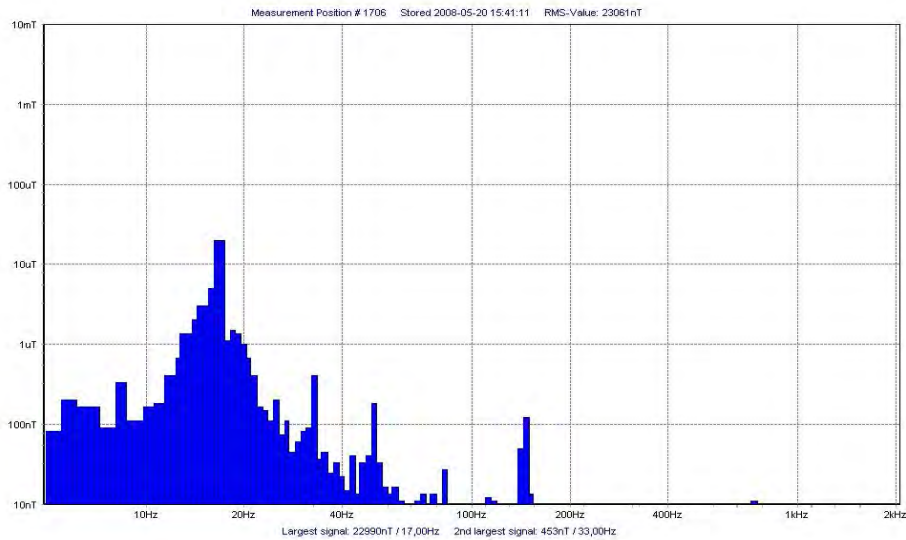
Datum	0520	0520	0521	0521	0520	0520	0521	0521	0520	0520	0521	0521
Tid	06.44	07.01	07.08	07.24	06.52	07.03	07.13	07.22	06.35	06.56	07.03	07.14
f(Hz)	Stillastående tåg				Mellan stationer, B_{tot} omkring medelv.				Mellan stationer, B_{tot} omkring maxv			
Total	0,190	0,359	0,535	0,236	5,099	6,007	3,944	6,321	25,714	27,124	21,791	20,970
16,7	0,114	0,320	0,528	0,229	5,060	5,951	3,083	6,240	25,646	27,021	21,689	20,799
33,3				0,019	0,012	0,019		0,014	0,073	0,066	0,090	0,162
50	0,148	0,045	0,061	0,037	0,207	0,057		0,317	0,197	0,225	0,307	0,137
66,7						0,017		0,011	0,014	0,014		0,017
83,3			0,012	0,012	0,039	0,011		0,035	0,032	0,026	0,090	0,073
100												
116,7			0,032		0,023			0,090	0,014		0,021	2,310
130												
150			0,014					0,012	0,021	0,011	1,233	0,039
183,3										0,017	0,017	0,053
216,7											0,032	
580												0,066
740											0,111	
830												0,100
930			0,011	0,011							0,014	
1070											0,043	
1450												0,059
1550												0,039
1800											0,014	
2500											0,012	
2730											0,012	
3500											0,011	
$f_{\bar{v}}$	0,035	0,024	0,048	0,036	0,593	0,816	2,460	0,952	1,857	2,350	1,670	1,316



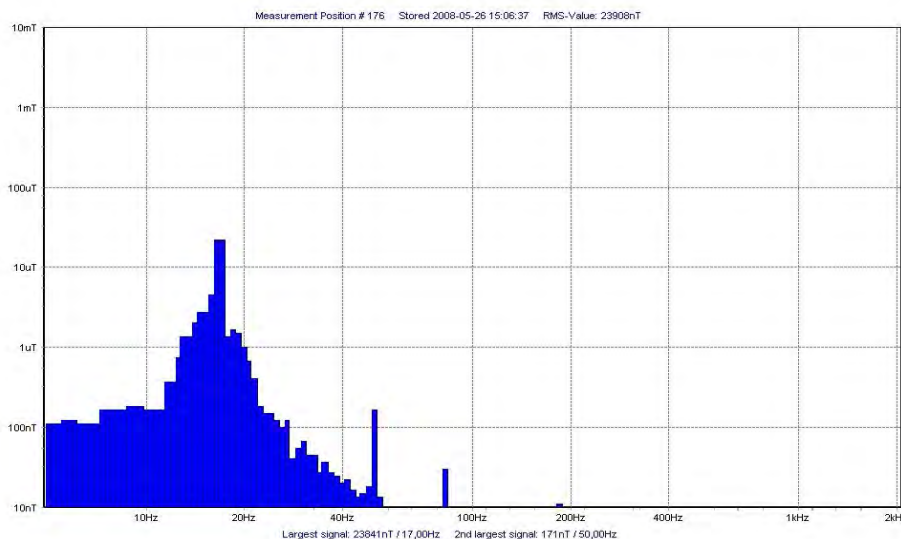
Figur B3.12: Spektral fördelning av magnetfält på en station i sektion M4 på pendeltåg X60 vid resan Västerhaninge-Sundbyberg, 2008-05-19



a) 2008-05-16, sektion A2

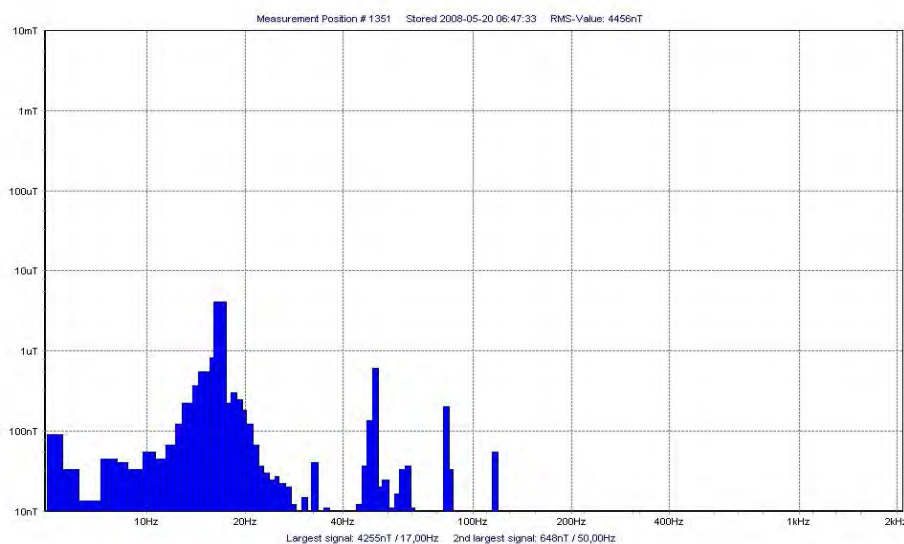


b) 2008-05-20, sektion A2

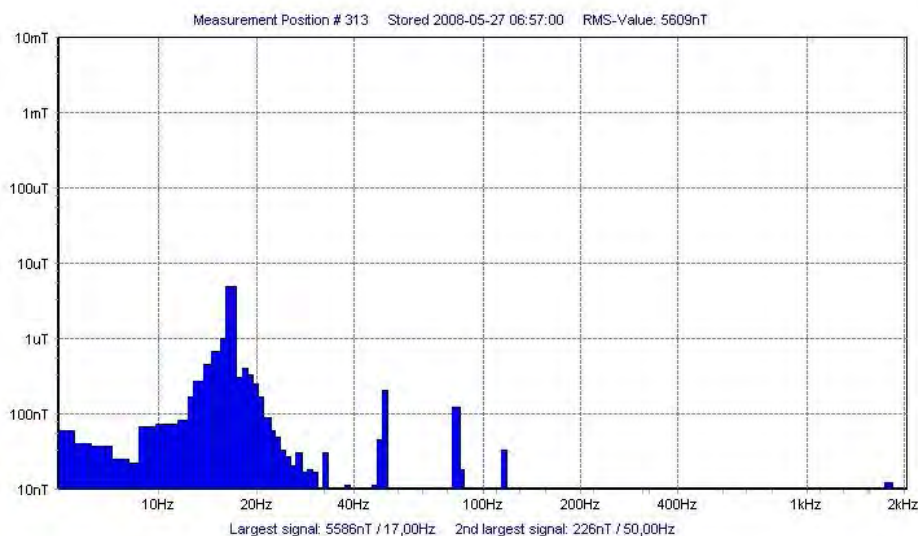


c) 2008-05-26,
sektion M4

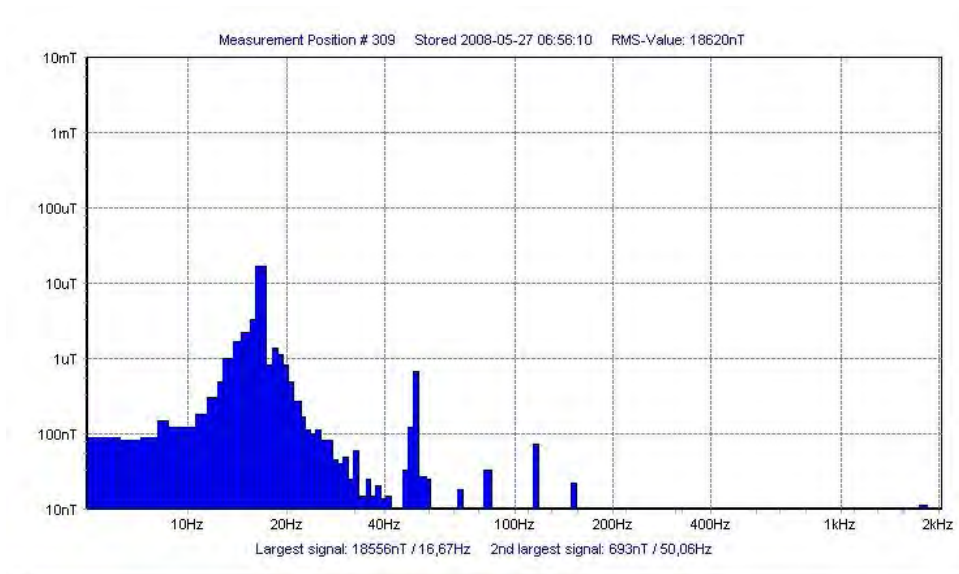
Figur B3.13a-c: Spektral fördelning av magnetfält i pendeltåg X60 vid resan Sundbyberg-Västerhaninge mellan två stationer vid olika tillfällen



a) 2008-05-20,
sektion M3



b) 2008-05-26,
sektion M2



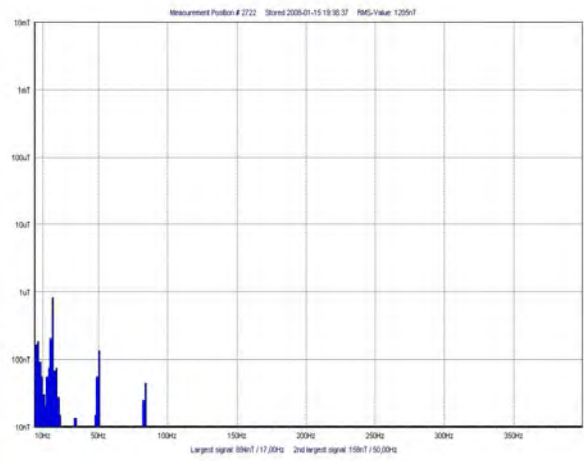
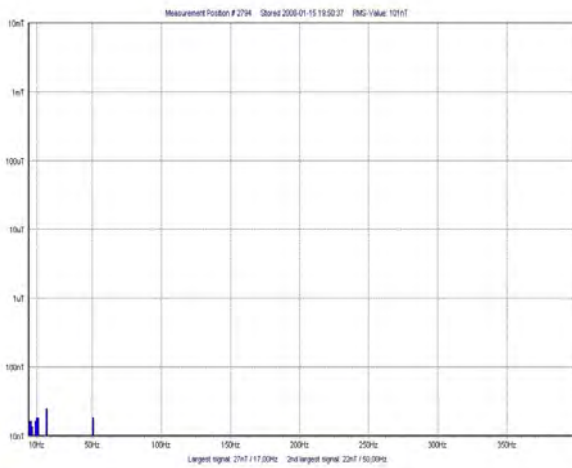
c) 2008-05-27,
sektion M3

Figur B3.14a-c: Spektral fördelning av magnetfält i pendeltåg X60 mellan två stationer vid resan Västerhaninge-Stockholm s vid olika tillfällen,

X3-tåg (Arlandabanan)

Tabell B3.13: Exempel på magnetfält B i μT vid olika frekvenser på resan med Arlandatåg mellan Arlanda och Stockholm 2008-01-15 och 2009-03-17. Fälten vid övriga frekvenser f_0 är beräknade enligt ekvation (4.4). (Min-, medel- och toppvärde enligt tabell 5.21 och figur 5.52-5.53).

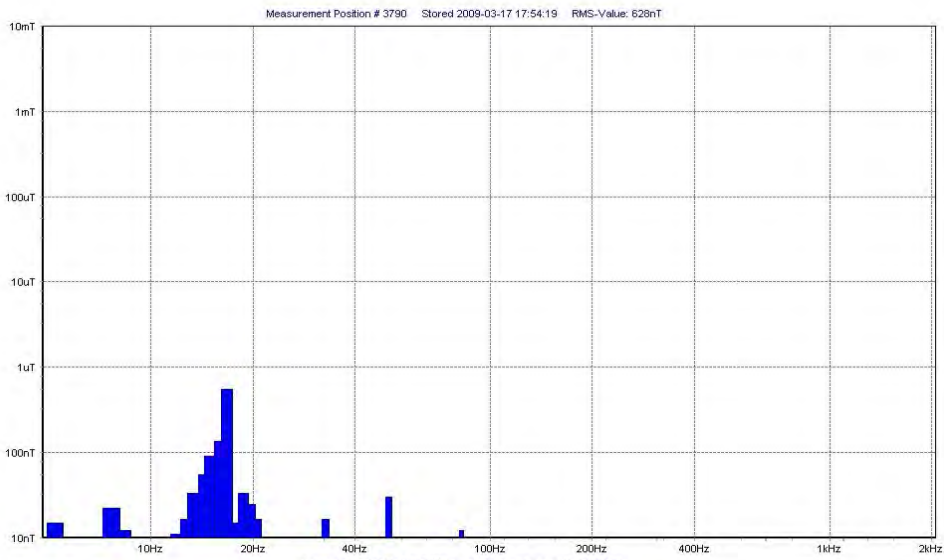
Datum	0801	0903	0903	0903	0801	0903	0903	0903	0801	0903	0903	0903	
Tid	19.42	18.04	19.04	19.25	19.37	18.07	19.07	19.27	19.40	17.58	19.08	19.23	
f(Hz)	Mellan stationer, B_{tot} omkring minv				Mellan stationer, B_{tot} omkring medelv.				Mellan stationer, B_{tot} omkring toppv.				
Total	0,210	0,323	0,286	0,191	0,543	2,864	0,653	0,696	1,177	8,996	1,351	1,146	
16,7	0,179	0,200	0,171	0,082	0,287	2,846	0,583	0,210	1,051	8,966	1,336	0,579	
33,3		0,014				0,026			0,014	0,039			
50	0,059	0,075	0,077	0,144	0,125	0,172	0,091	0,076	0,079	0,328	0,071	0,035	
66,7										0,011			
83,3	0,039	0,039	0,023	0,053	0,035	0,035	0,012	0,017	0,023	0,090		0,012	
116,7							0,021		0,017	0,011			
816							0,066	0,059	0,035			0,059	0,066
2000								0,011					
2450							0,012	0,014				0,019	0,014
2600								0,012				0,015	0,014
3700								0,014				0,019	0,014
f_0	0,092	0,242	0,216	0,095	0,444	0,260	0,272	0,658	0,523	0,655	0,175	0,986	



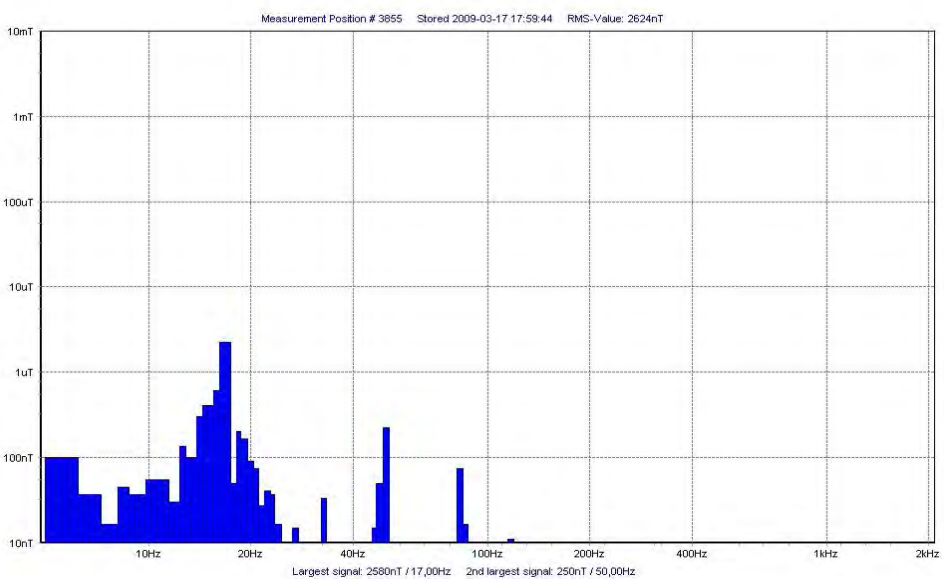
a)

b)

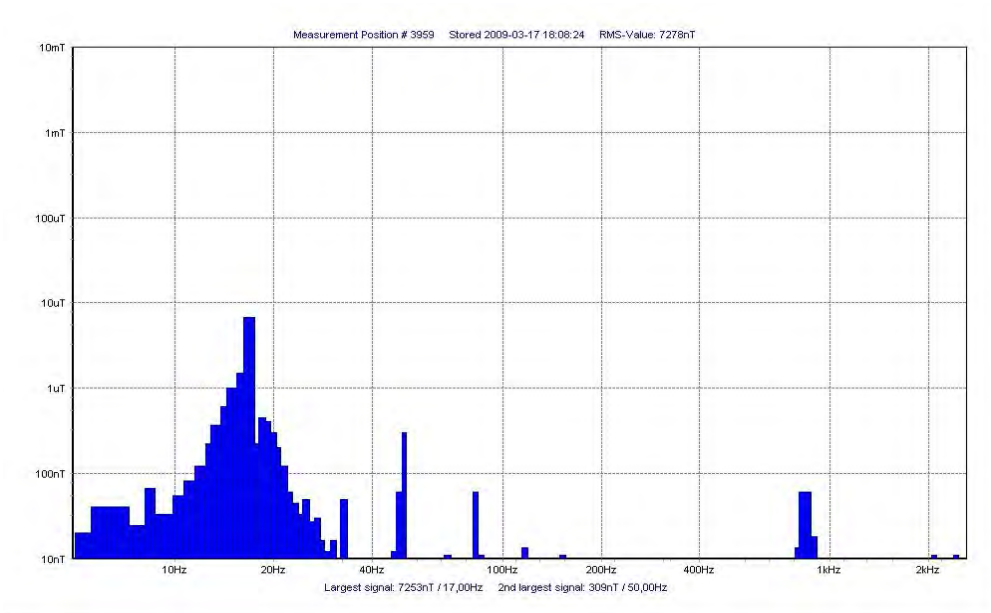
Figur B3.15a-b: Magnetfält i Arlandatåget mellan Arlanda och Stockholm, 20080115



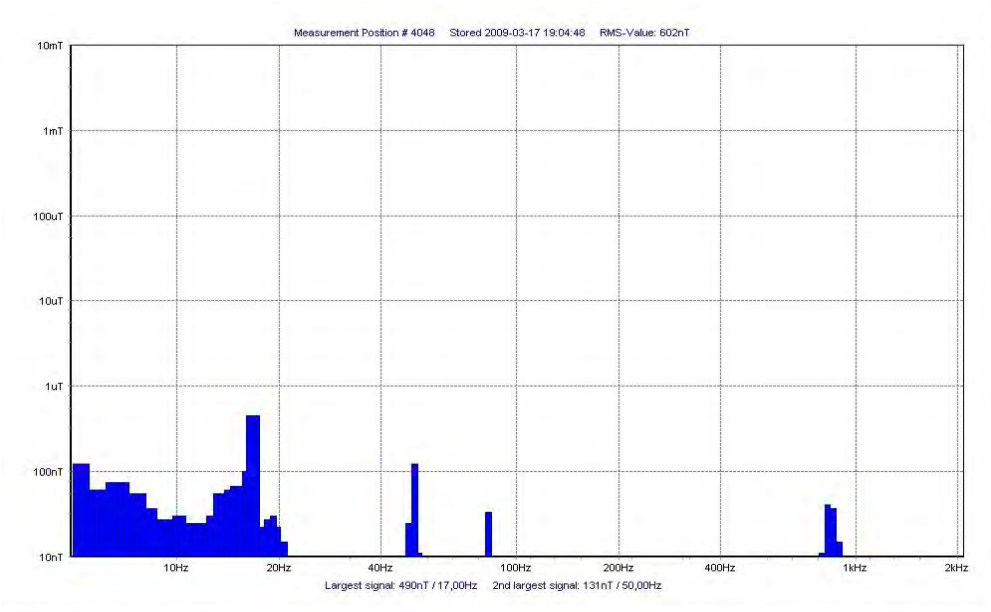
a)



b)

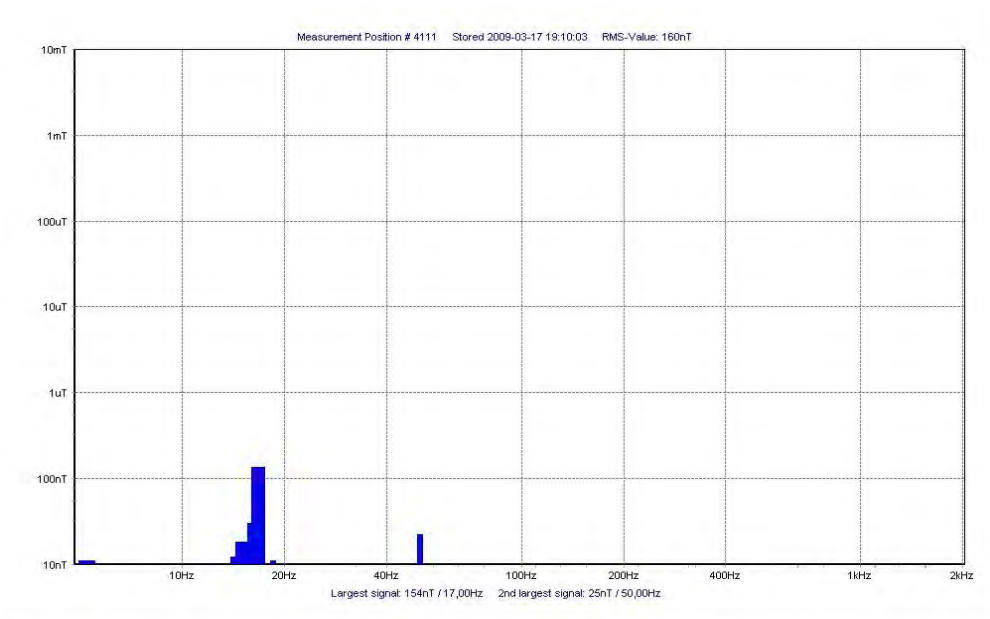


c)

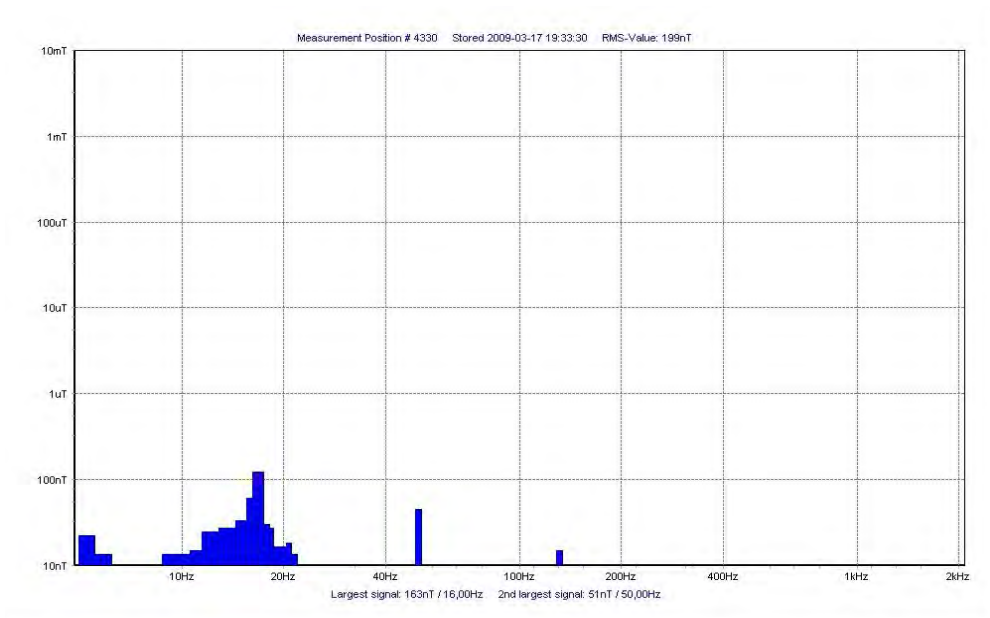


d)

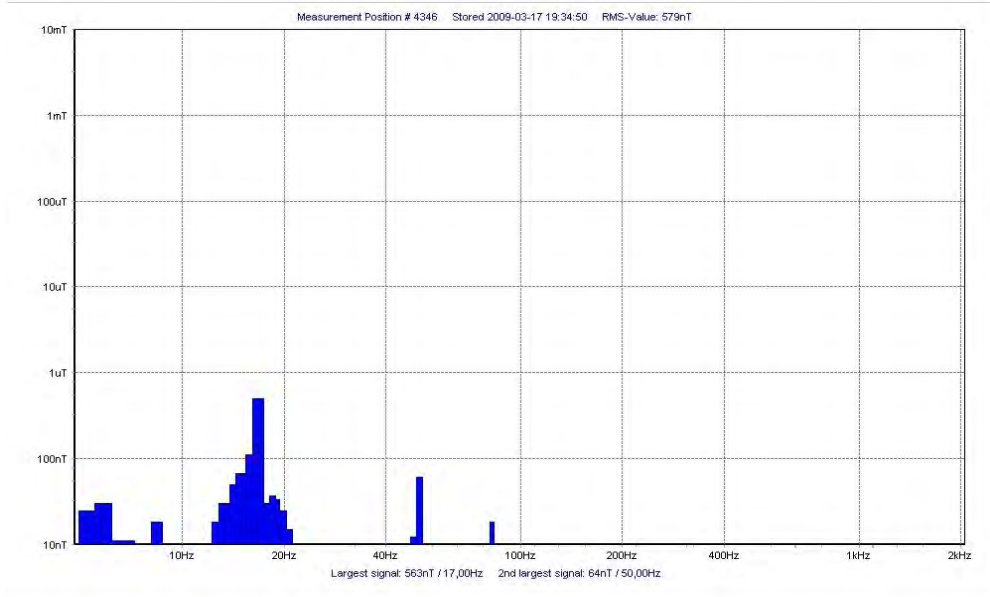
Figur B3.16a-d: Magnetfält i Arlandatåget mellan Stockholm och Arlanda, 2009-03-17



a)



b)

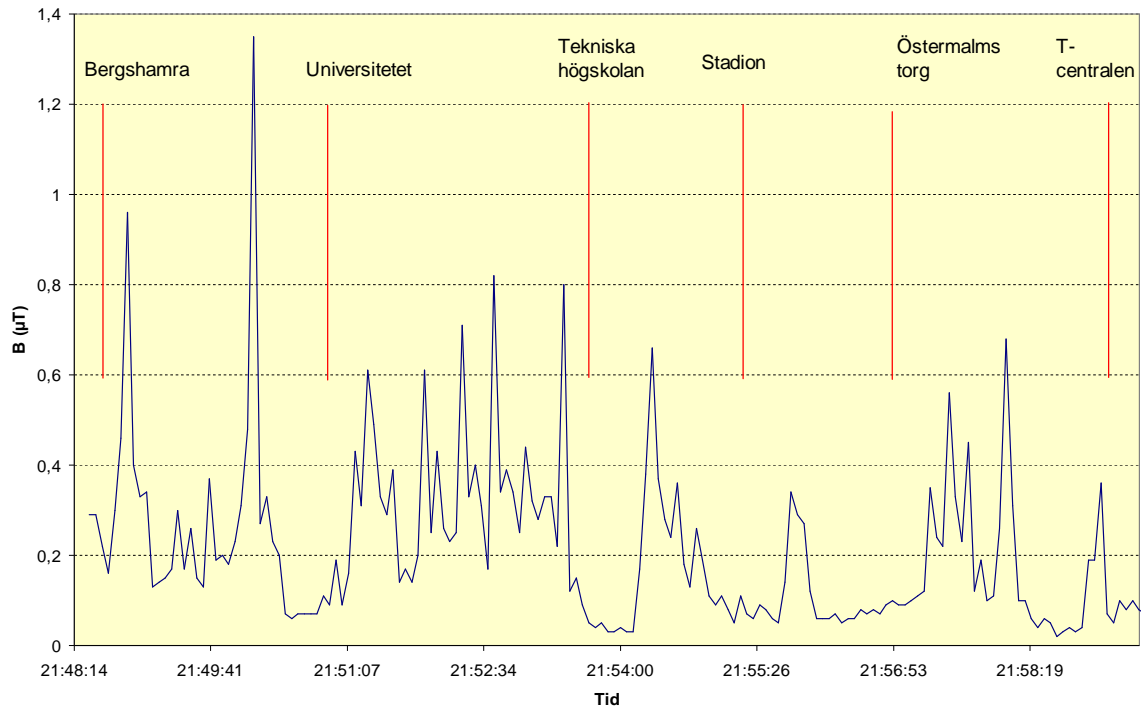


c)

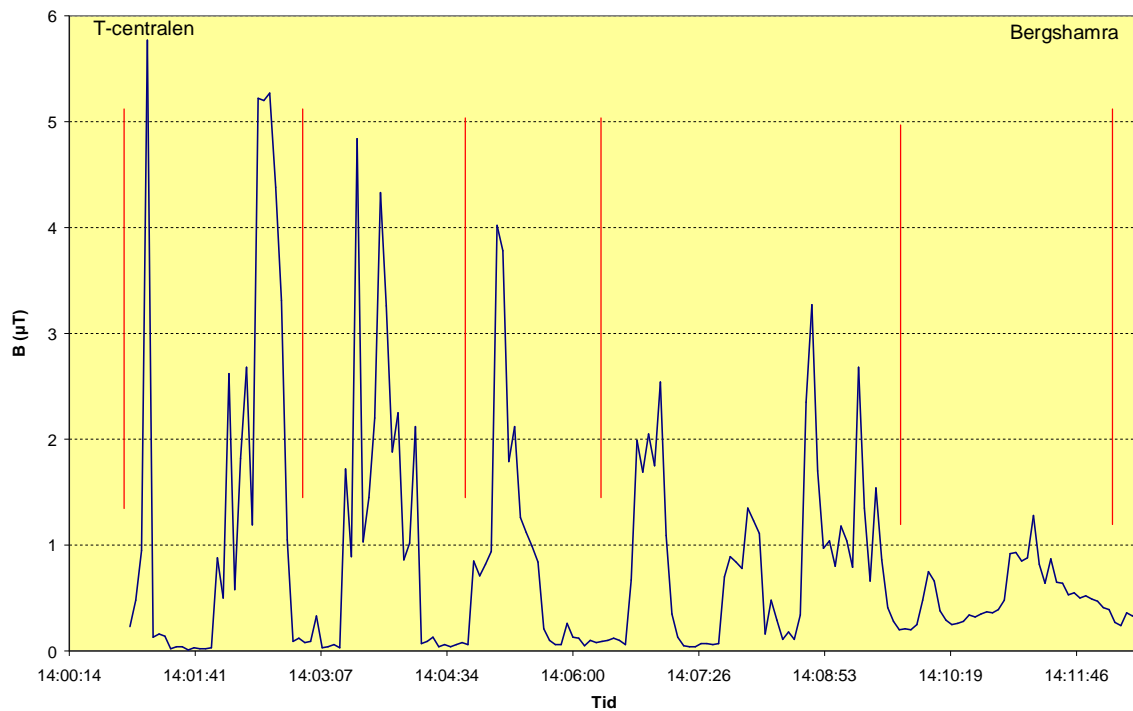
Figur B3.17a-c: Magnetfält i Arlandatåget mellan Arlanda och Stockholm, 2009-03-17

Bilaga B4, tunnelbana

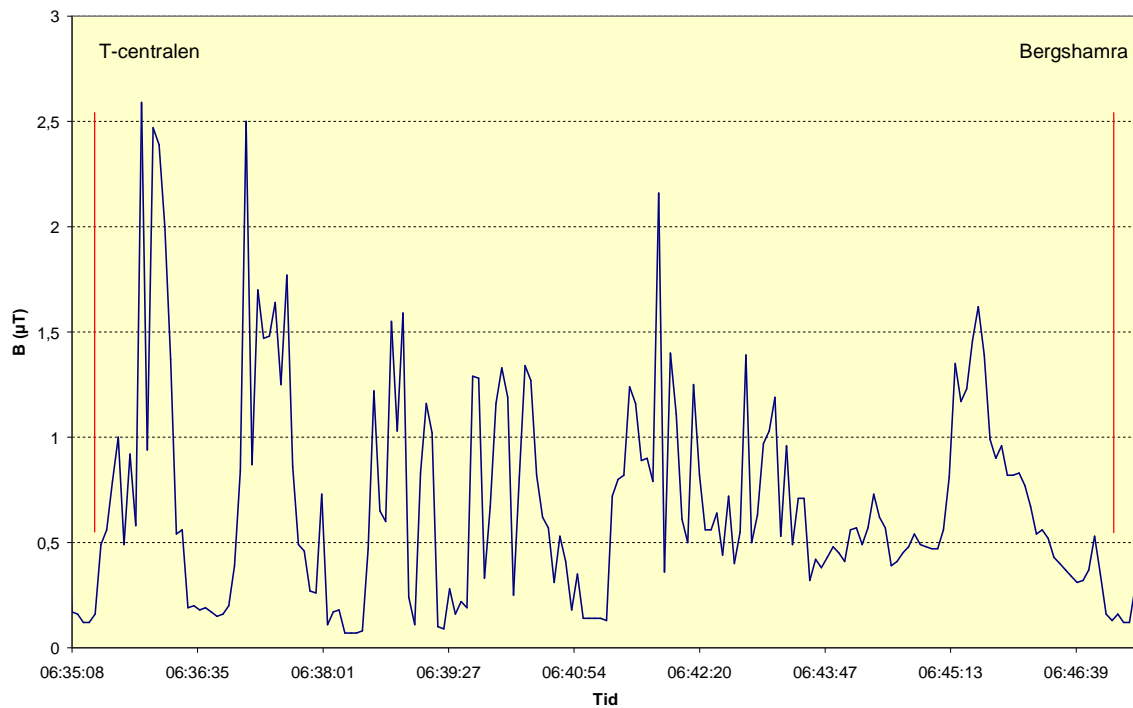
Obs! Statiska magnetfält mättes inte i tunnelbanan, bara lågfrekventa magnetfält.



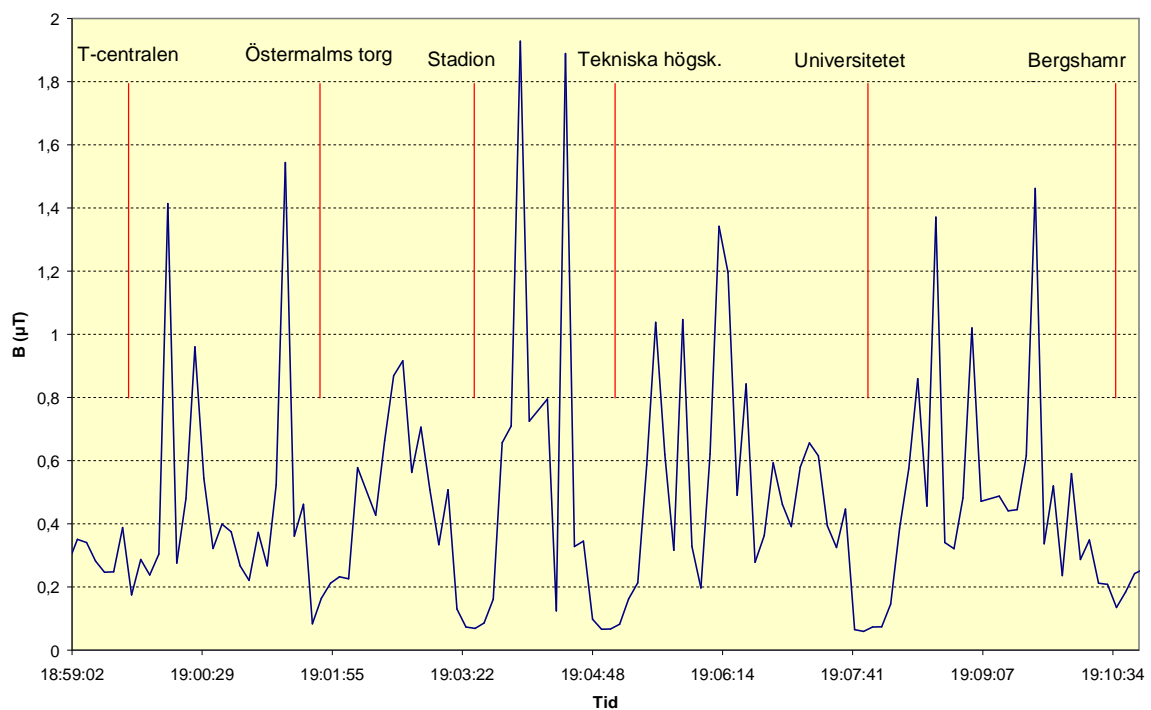
Figur B4.1: Magnetfält i tunnelbanetåg av C4- eller C6-typ mellan Bergshamra och T-centralen, 1996-10-27, mätt med Emdex.



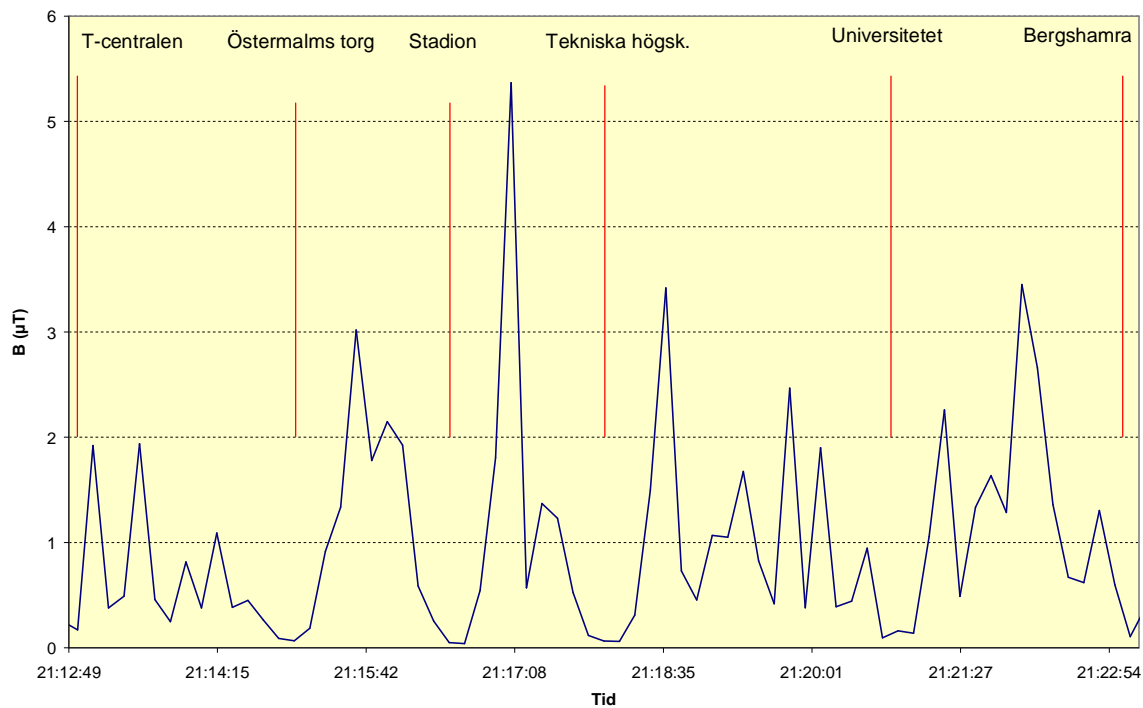
Figur B4.2: Magnetfält i tunnelbanetåg av C4- eller C6-typ mellan T-centralen och Bergshamra, 1996-11-03, mätt med Emdex.



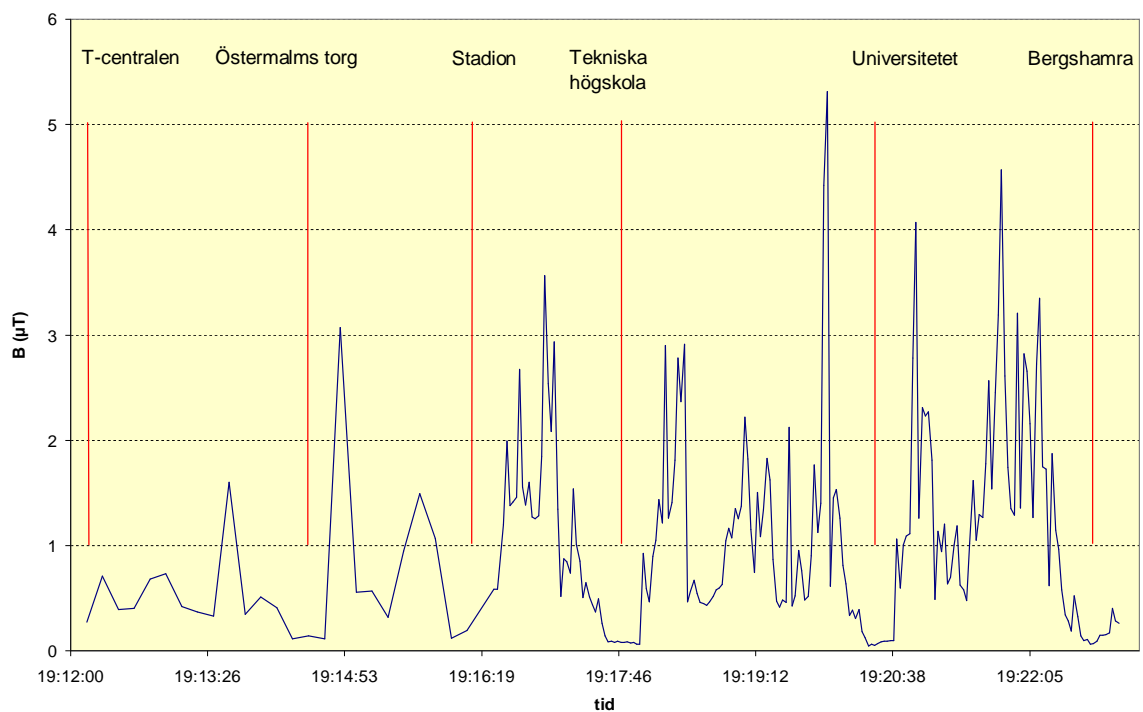
Figur B4.3: Magnetfält i tunnelbanetåg av C4- eller C6-typ mellan T-centralen och Bergshamra, 1997-02-05, mätt med Emdex.



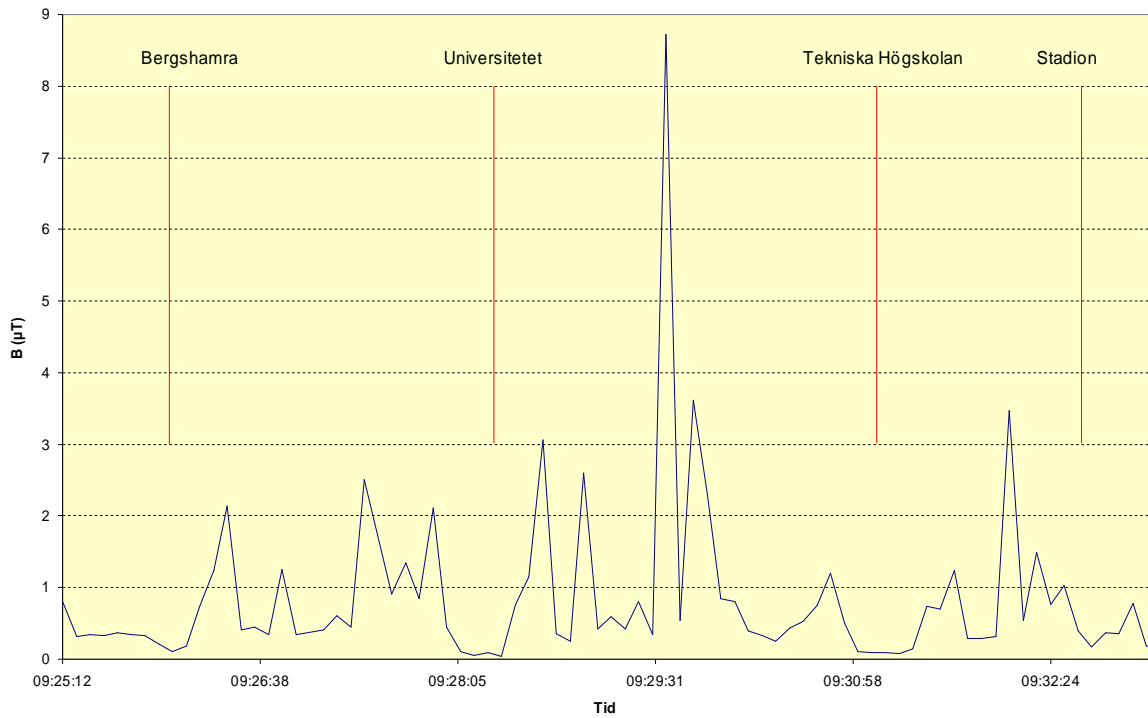
Figur B4.4: Magnetfält i tunnelbanetåg C6 mellan T-centralen och Bergshamra, 2005-10-07, mätt med MFM10.



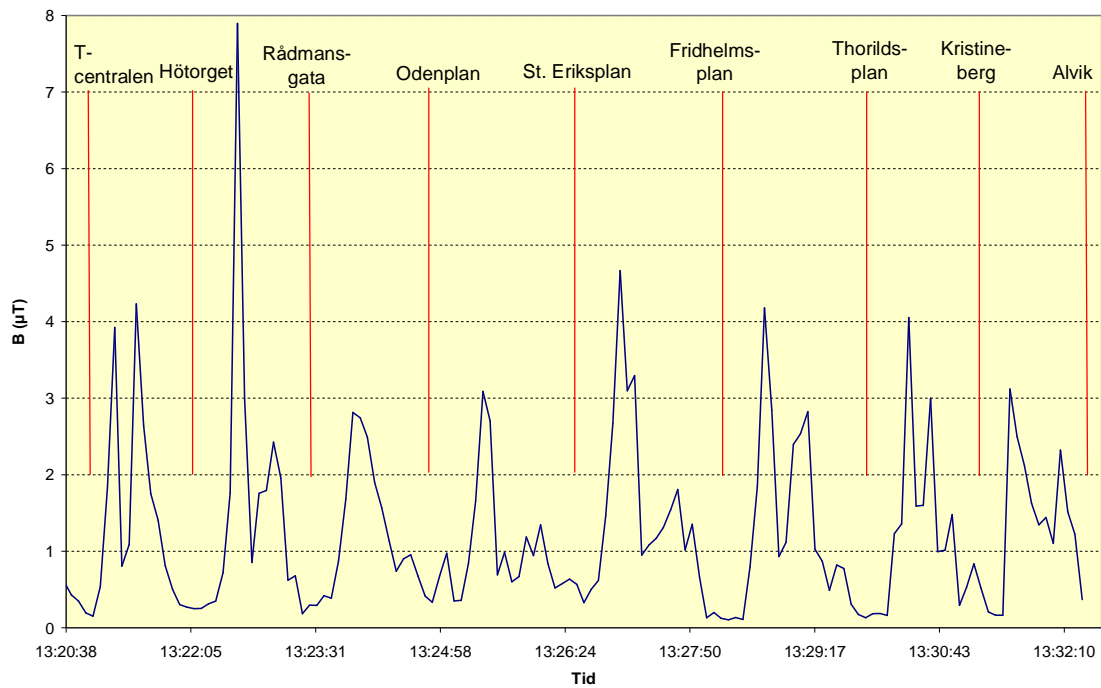
Figur B4.5: Magnetfält i tunnelbanetåg C20 mellan T-centralen och Bergshamra, 2002-11-06, mätt med MFM10 och 6s samplingsperiod.



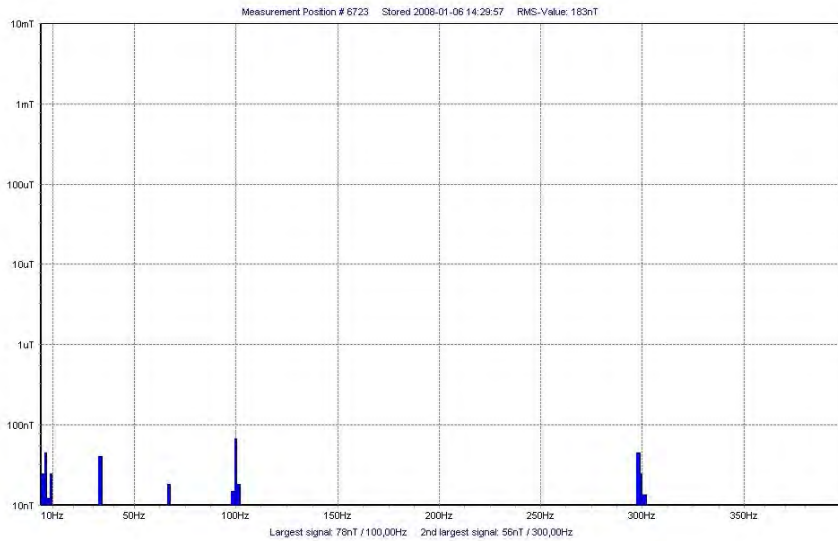
Figur B4.6: Magnetfält i tunnelbanetåg av C20-typ mellan T-centralen och Bergshamra, 2008-01-05, mätt med MFM3000, först med 10s- och från Stadion med 2s-samlingsperiod.



Figur B4.7: Magnetfält i tunnelbanetåg av C20-typ mellan Bergshamra och Stadion, 2005-10-07, mätt med MFM10.

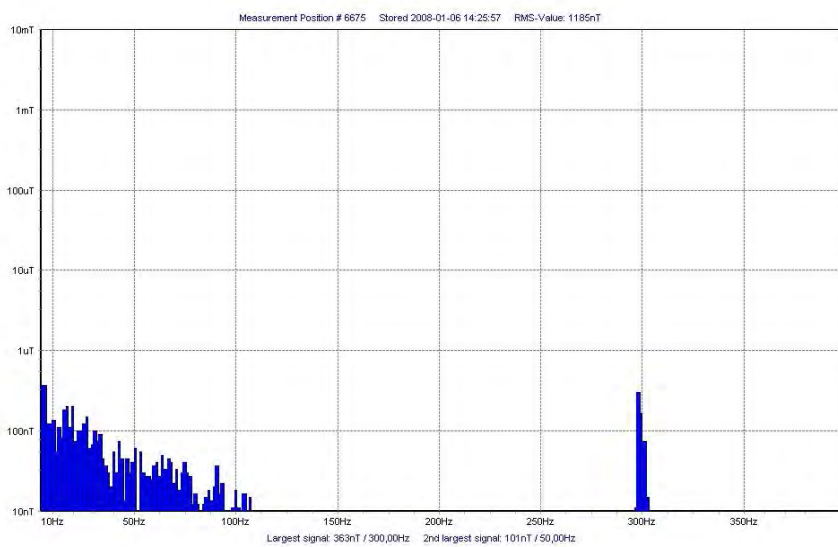


a: Tidsdiagram



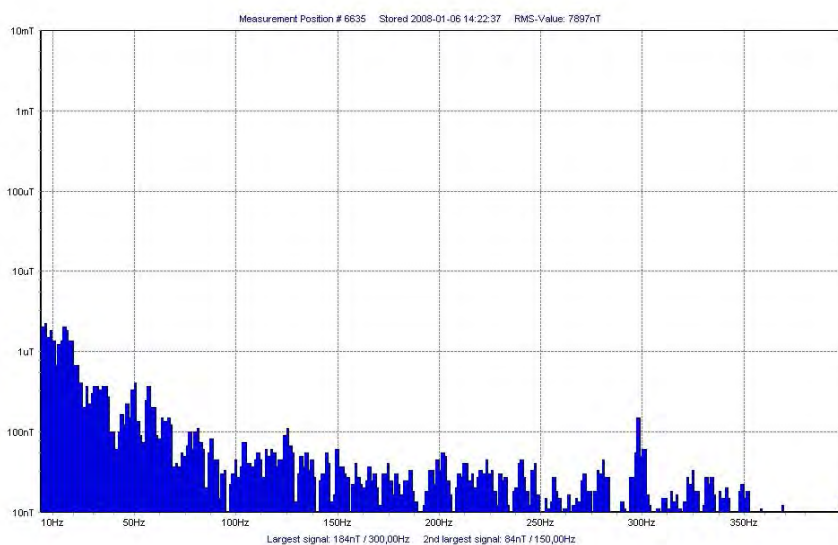
f (Hz)	B (μ T)
total	0,18
33	0,04
66	0,02
100	0,08
300	0,06
$f_{\bar{o}}$	0,15

b) Tåget på station



f (Hz)	B (μ T)
total	1,19
50	0,10
100	0,02
300	0,36
$f_{\bar{o}}$	1,12

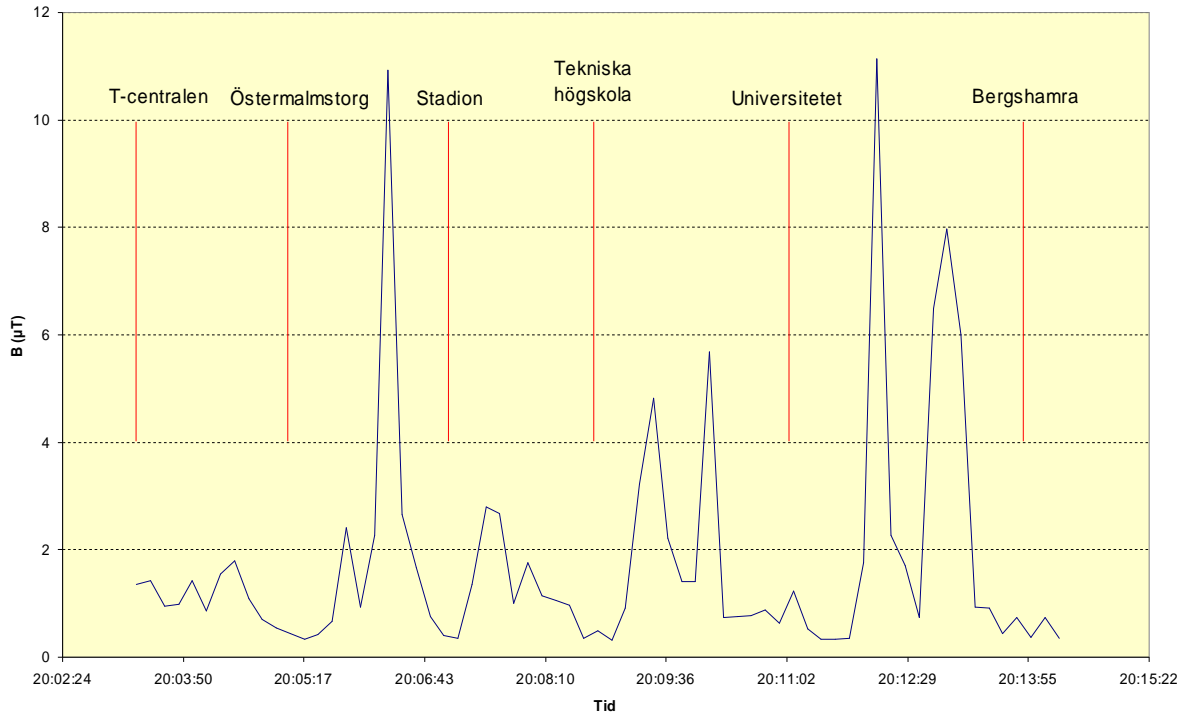
c) B_{tot} omkring medelvärdet enligt tabell 5.24



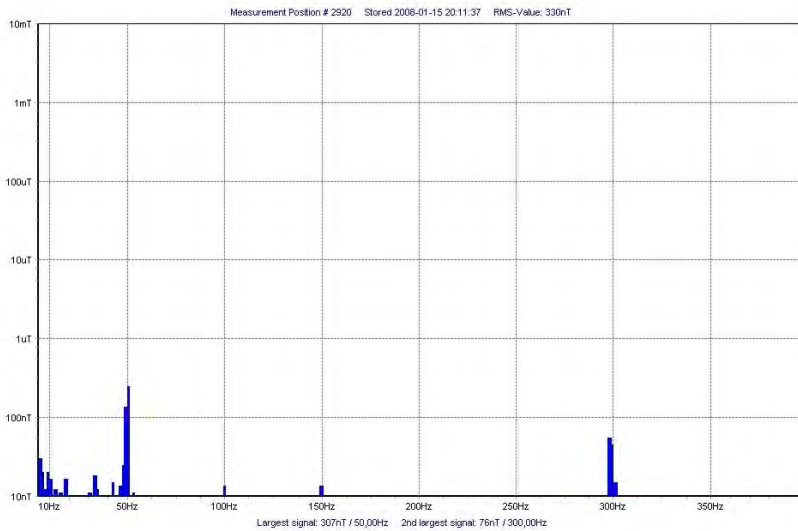
f (Hz)	B (μ T)
total	7,90
50	0,43
100	0,04
150	0,08
300	0,18
400	0,02
$f_{\bar{o}}$	7,88

d) B_{tot} maxvärdet enligt tabell 5.24 och figur B4.8a

Figur B4.8 a-d: Magnetfält i tunnelbanetåg C20 mellan T-centralen och Alvik, 2008-01-06, a) tidsgraf, b)-d) frekvensfördelning (frekvenszoom och linjär skala 5-400 Hz).

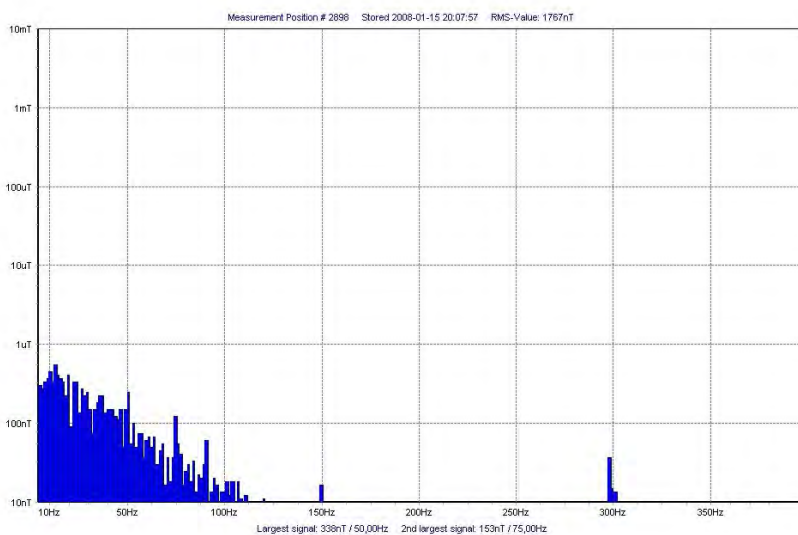


a) Tidsdiagram



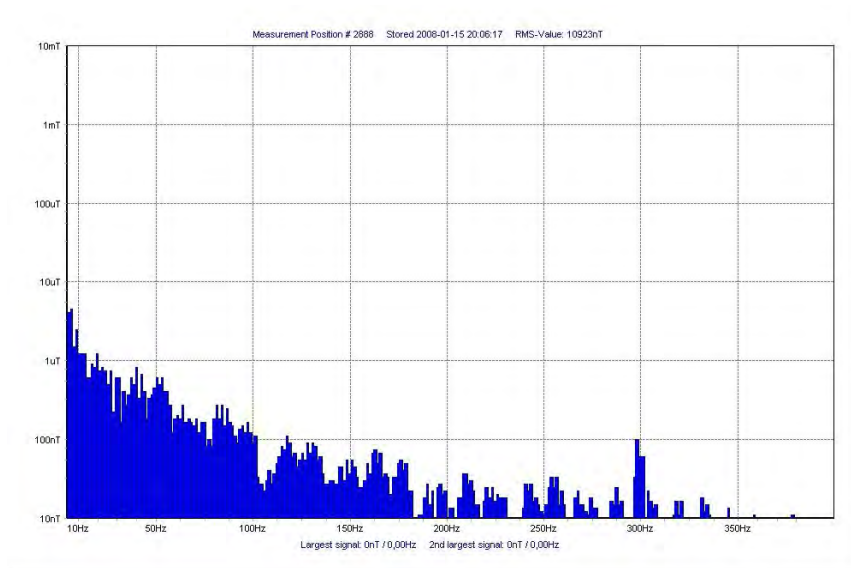
f (Hz)	B (μT)
total	0,33
33	0,02
50	0,31
100	0,01
150	0,01
300	0,08
$f_{\text{ö}}$	0,09

b) Tåget på station



f (Hz)	B (μT)
total	1,77
50	0,34
75	0,15
100	0,02
150	0,02
300	0,04
$f_{\text{ö}}$	1,73

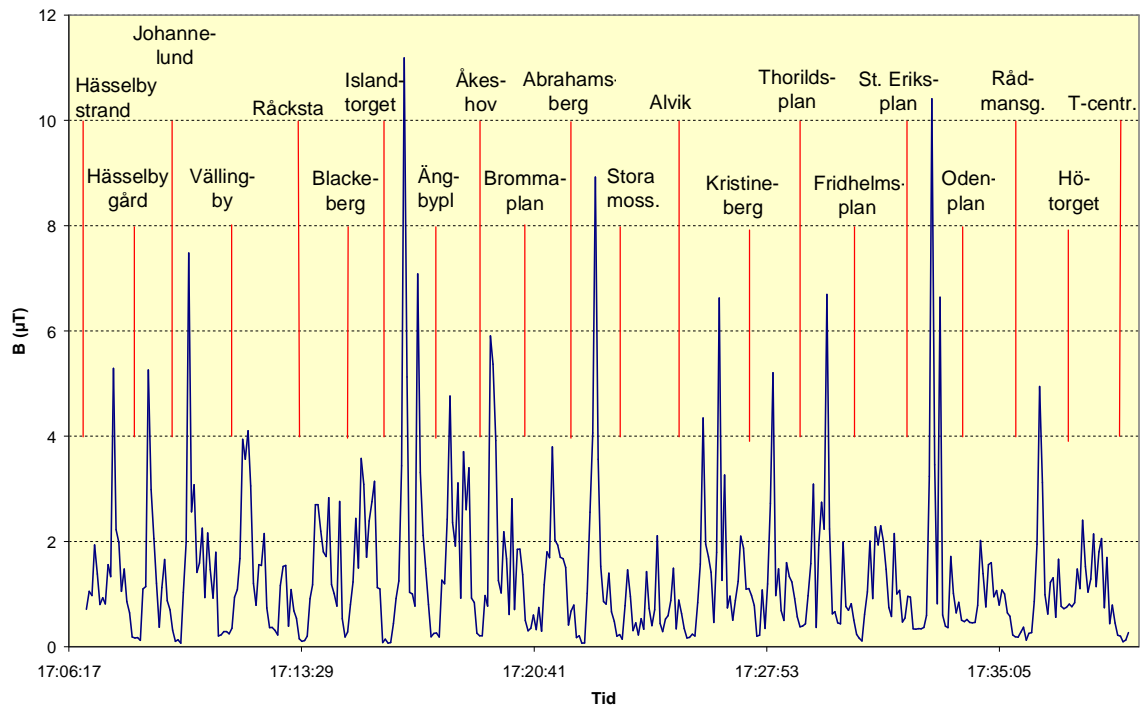
c) B_{tot} omkring medelvärdet enligt tabell 5.24



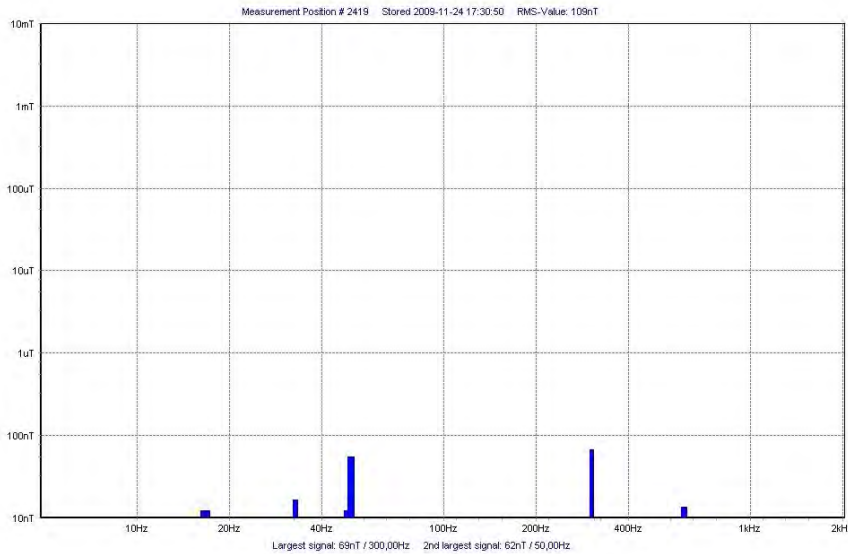
f (Hz)	B (μ T)
total	10,92
300	0,11
f_{δ}	10,92

d) B_{tot} toppvärde enligt figur B4.9a

Figur B4.9a-d: Magnetfält i tunnelbanetåg av C20-typ mellan T-centralen och Bergshamra, 2008-01-15, a) tidsgraf, b)-d) frekvensfördelning (frekvenszoom och linjär skala 5-400 Hz).

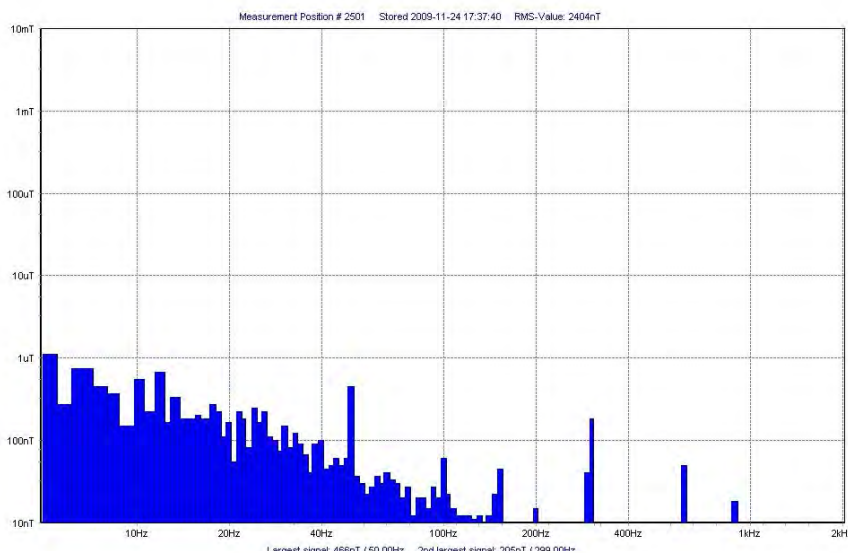


a) Tidsdiagram



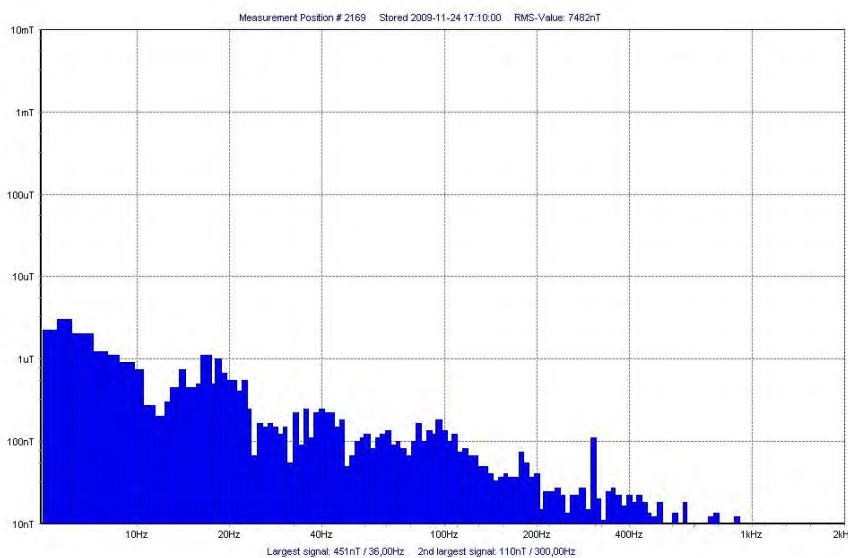
f (Hz)	B (μ T)
total	0,11
17	0,01
33	0,02
50	0,06
300	0,07
600	0,01
f_{δ}	0,05

b) Tåget på station



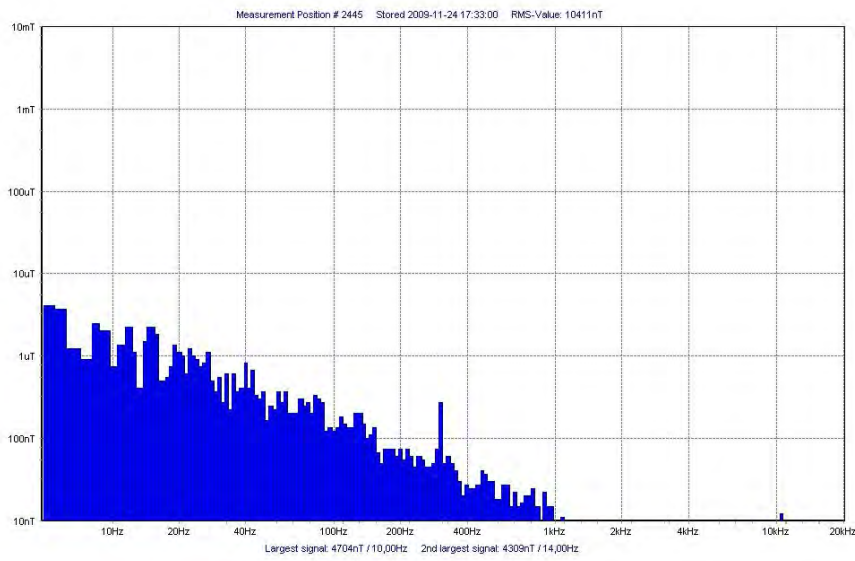
f (Hz)	B (μ T)
total	2,40
50	0,47
100	0,07
150	0,05
200	0,02
300	0,21
600	0,05
900	0,02
f_{δ}	2,35

c) B_{tot} omkring medelvärdet enligt tabell 5.24



f (Hz)	B (μ T)
total	7,48
36	0,45
300	0,11
600	0,02
900	0,01
f_{δ}	7,47

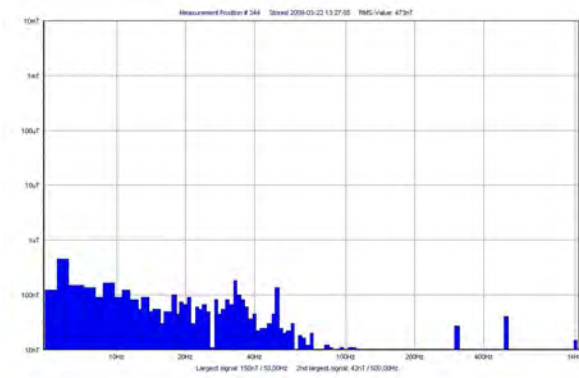
d) B_{tot} toppvärde enligt figur B4.10a



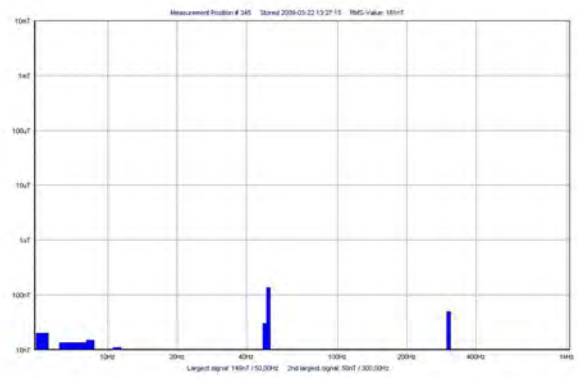
f (Hz)	B (μ T)
total	10,41
300	0,15
12000	0,01
$f_{\ddot{o}}$	10,41

e) B_{tot} toppvärde enligt figur B4.10a. Frekvensaxel 5 Hz–20 kHz.

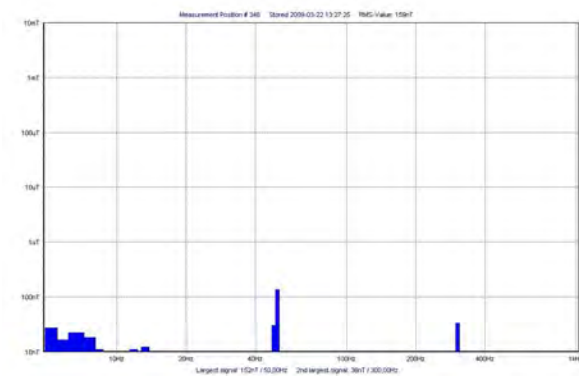
Figur B4.10a-e: Magnetfält i tunnelbanetåg C20 mellan Hässelby strand och T-centralen, 2009-11-24. a) tidsgraf, b)-e) frekvensspektra, logaritmisk skala 5 Hz-2 kHz resp. 5Hz–20 kHz.



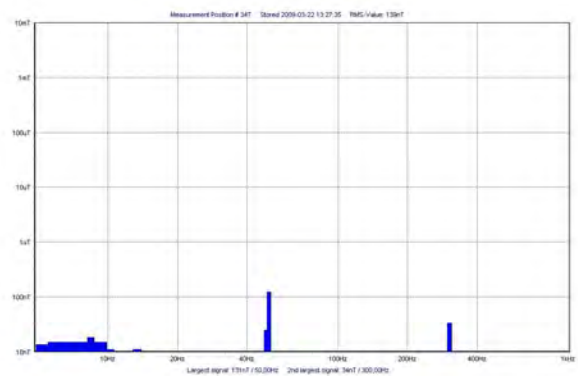
a: Tid 13.27.05



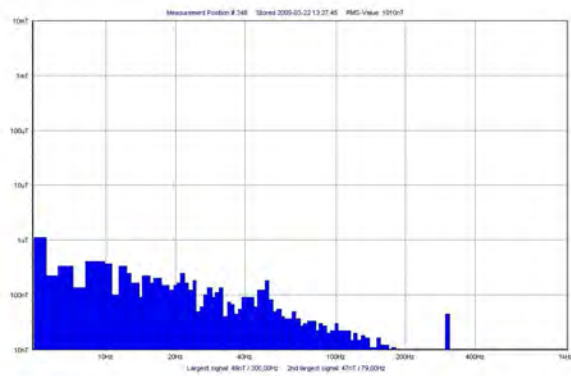
b: Tid 13.27.15



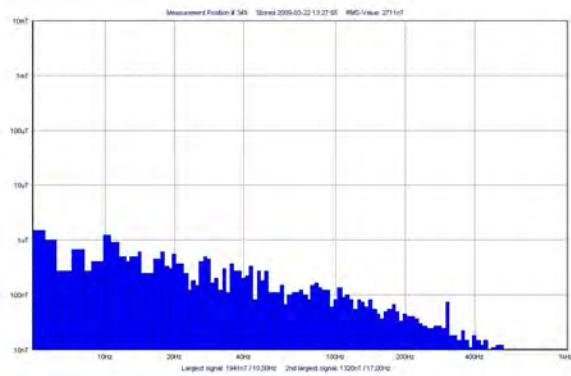
c: Tid 13.27.25



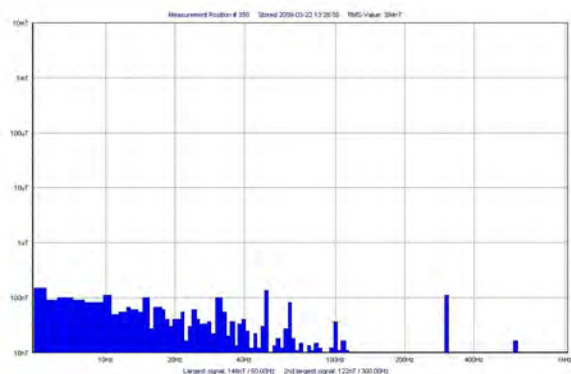
d: Tid 13.27.35



e: Tid 13.27.45



f: Tid 13.27.55



g: Tid 13.28.05



h: Tid 13.28.15



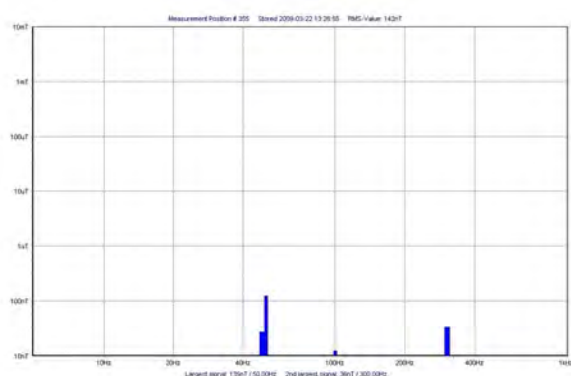
i: Tid 13.28.25



j: Tid 13.28.35

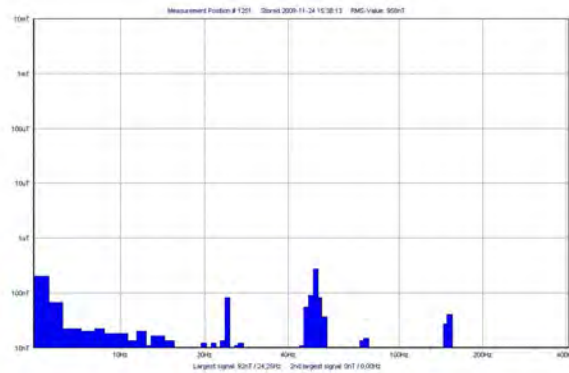


k: Tid 13.28.45



l: Tid 13.28.55

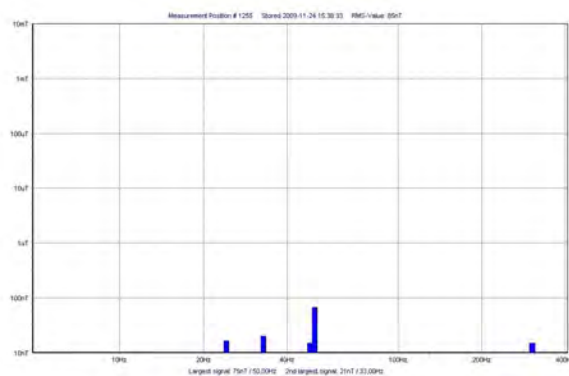
Figur B4.11a-l: Frekvensspektrum av magnetfält i C20-vagn mellan stationerna Stadion och Östermalmstorg på resan mellan Bergshamra och T-centralen, 2009-03-22. Frekvensaxel 5 Hz–1 kHz



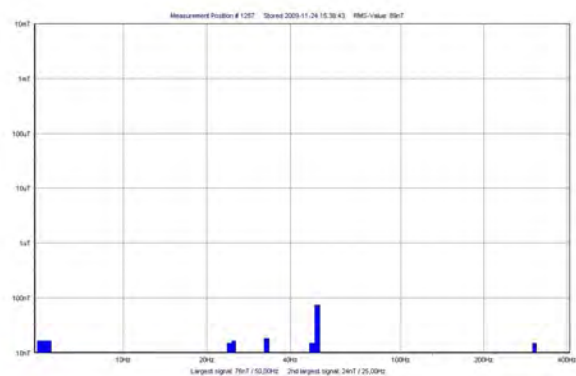
a: Tid 15.38.13, frekvensaxel 5-200 Hz



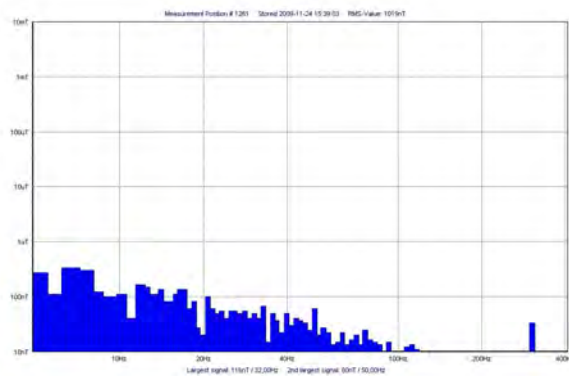
b: Tid 15.38.23, frekvensaxel 5-1000 Hz



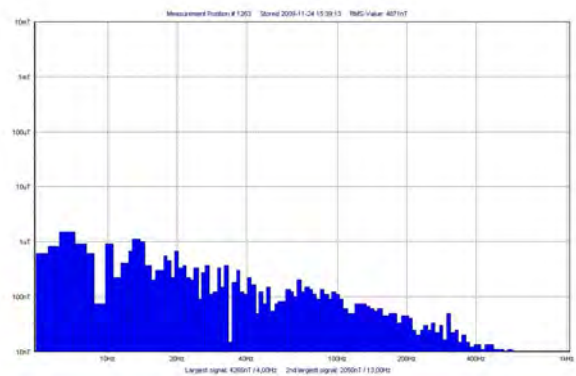
c: Tid 15.38.43, frekvensaxel 5-400 Hz



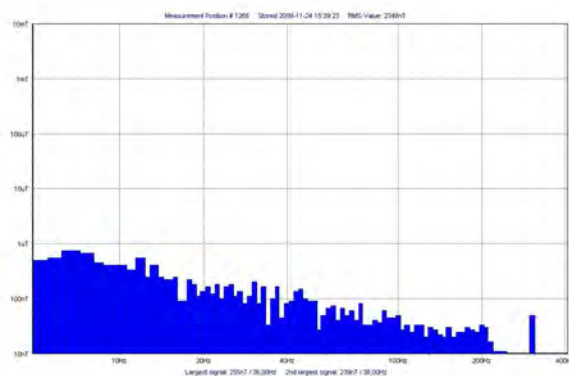
d: Tid 15.38.53, frekvensaxel 5-400 Hz



e: Tid 15.39.03, frekvensaxel 5-400 Hz



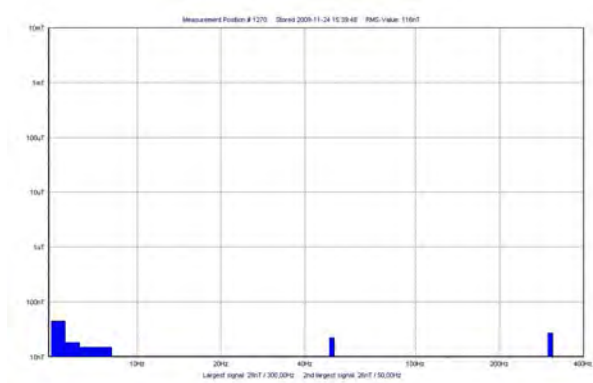
f: Tid 15.39.13, frekvensaxel 5-1000 Hz



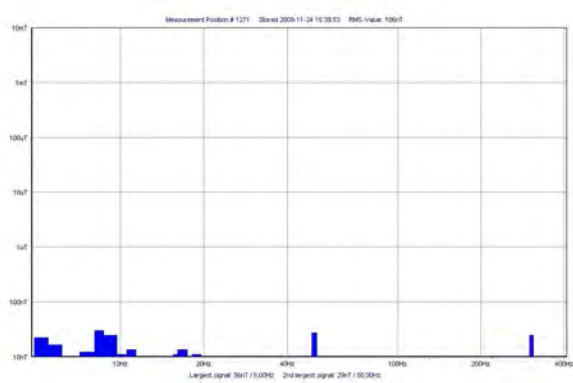
g: Tid 15.39.23, frekvensaxel 5-400 Hz



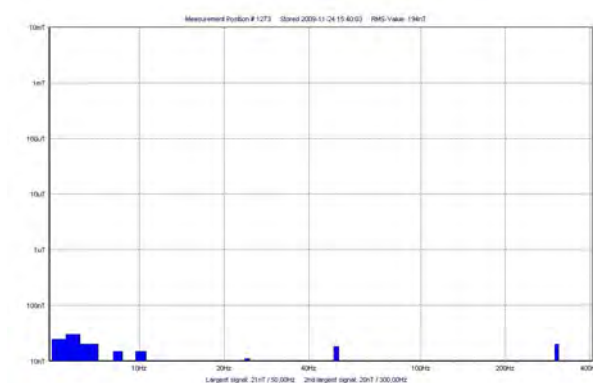
h: Tid 15.39.33, frekvensaxel 5-400 Hz



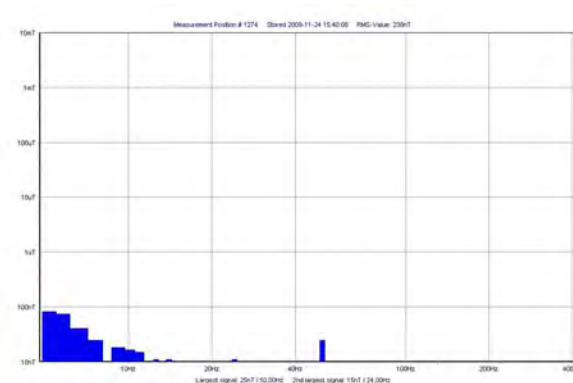
i: Tid 15.39.43, 5-400 Hz



j: Tid 15.39.53, 5-400 Hz

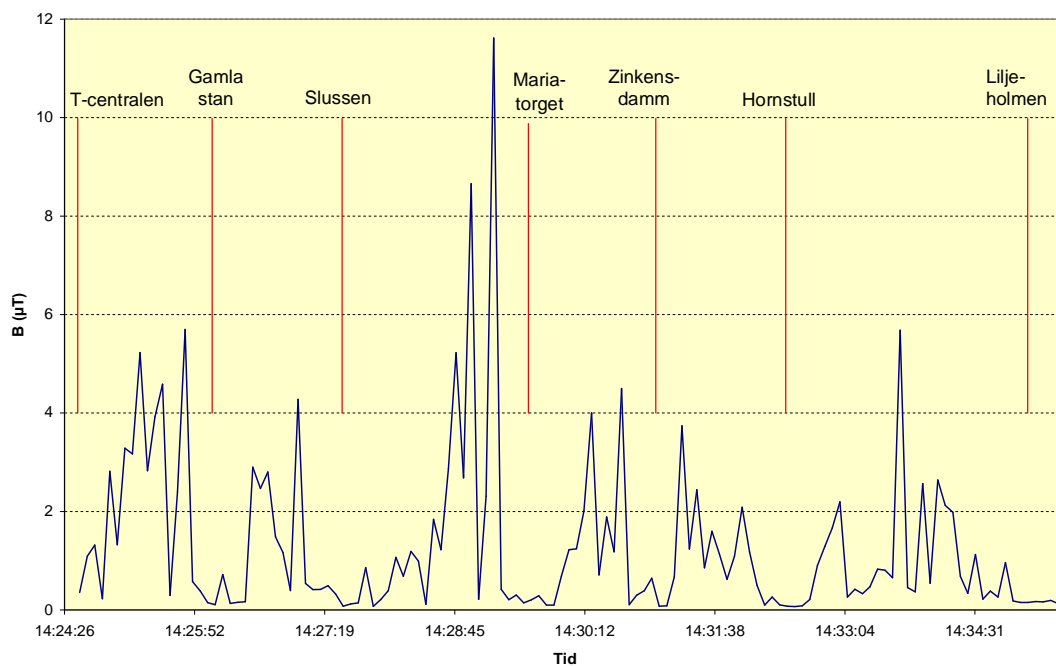


k: Tid 15.40.03, 5-400 Hz

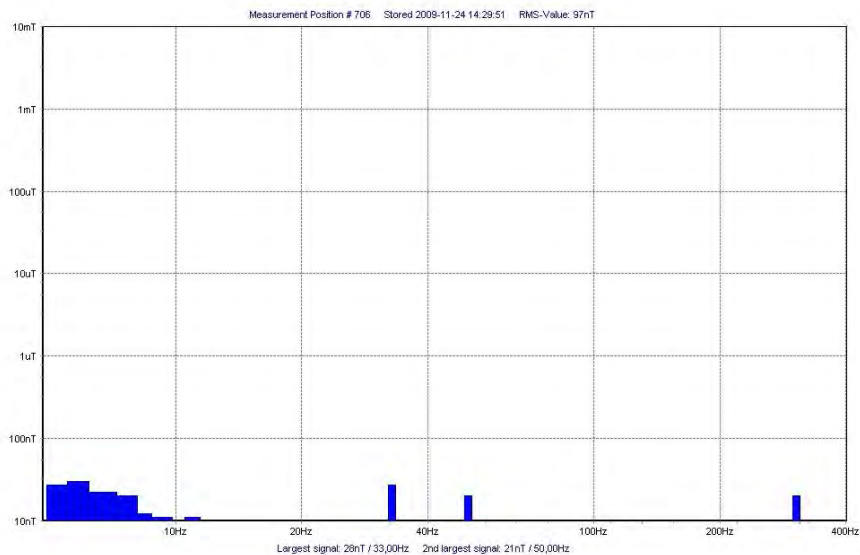


l: Tid 15.40.08, 5-400 Hz

Figur B4.12a-l: Frekvensspektrum av magnetfält i C6-vagn mellan stationerna Stadion och Östermalmstorg på resan Mörby centrum - Telefonplan, 2009-11-24. (Frekvensaxel: 5-400 Hz, utom b) och f) 5-1000 Hz)

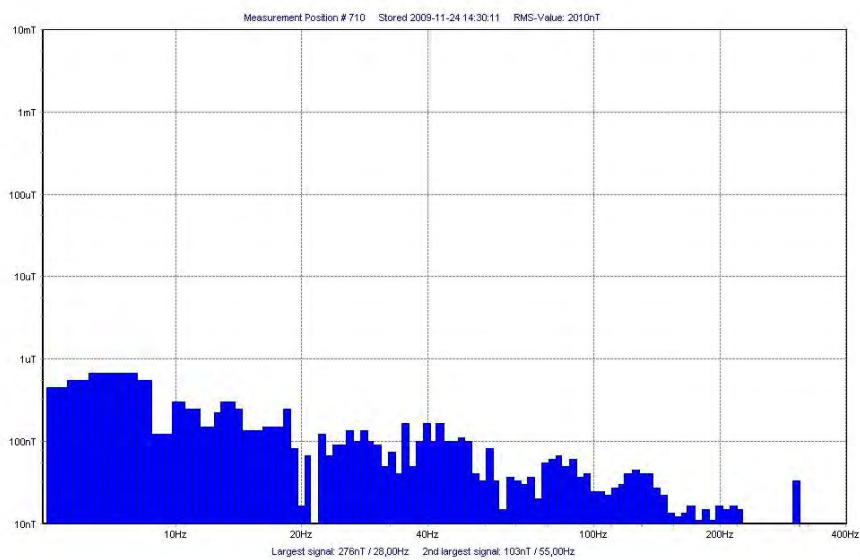


a) Tidsdiagram



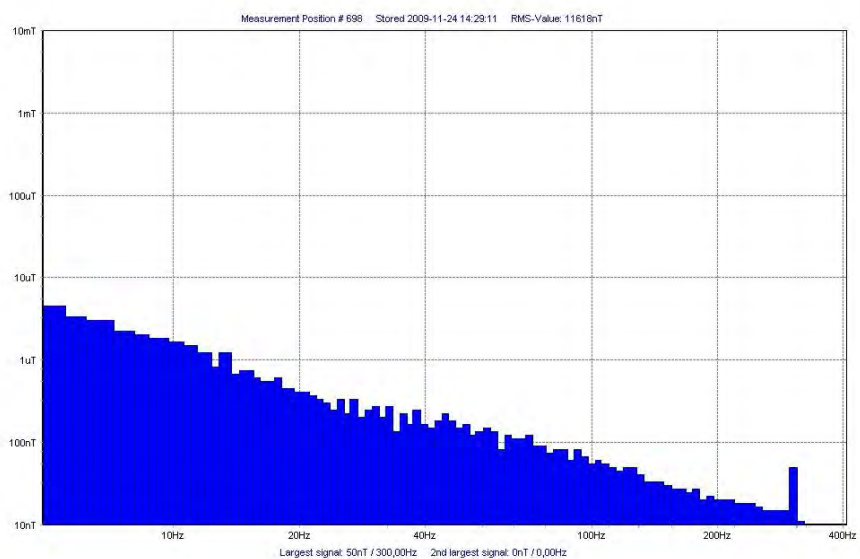
f (Hz)	B (μT)
total	0,10
33	0,03
50	0,02
300	0,02
$f_{\bar{o}}$	0,09

b) Tåget på station



f (Hz)	B (μT)
total	2,01
24	0,28
50	0,10
100	0,04
200	0,02
300	0,04
$f_{\bar{o}}$	1,99

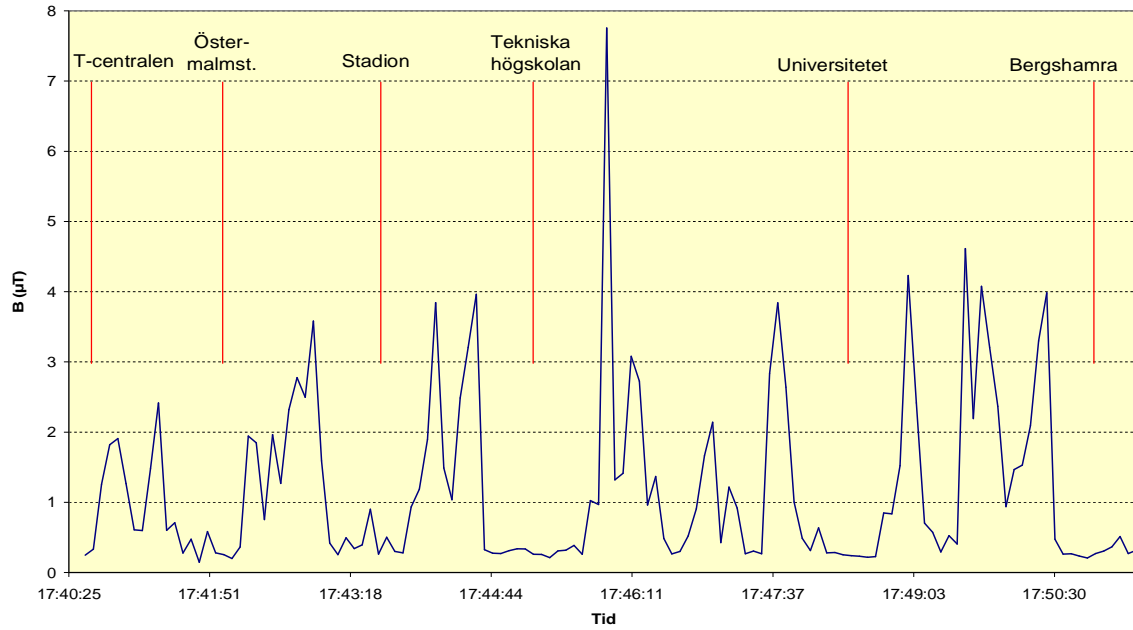
c) B_{tot} omkring medelvärdet enligt tabell 5.24



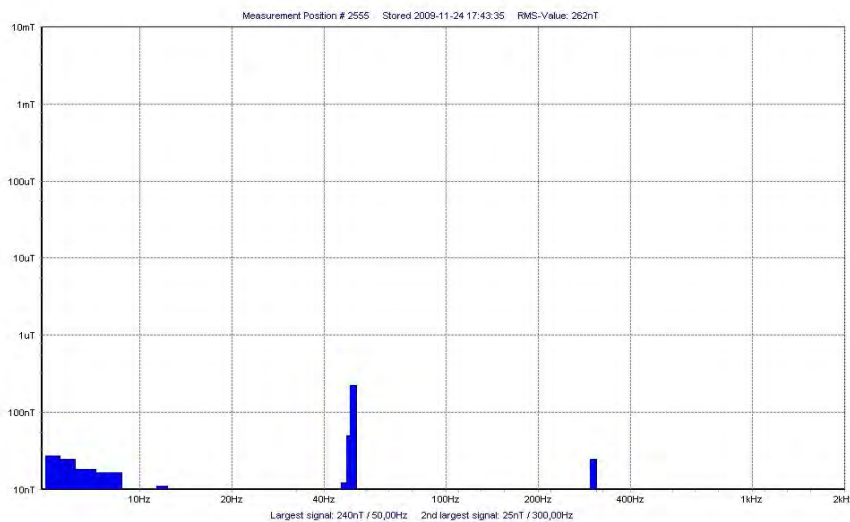
f (Hz)	B (μT)
total	11,62
300	0,05
$f_{\bar{o}}$	11,62

d) B_{tot} maxvärde enligt tabell 5.24 och figur B4.13a.

Figur B4.13a-d: Magnetfält i tunnelbanetåg C6 mellan T-centralen och Liljeholmen, 2009-11-24, a) tidsgraf, b)-d) frekvensfördelning med logaritmisk skala 5-400 Hz

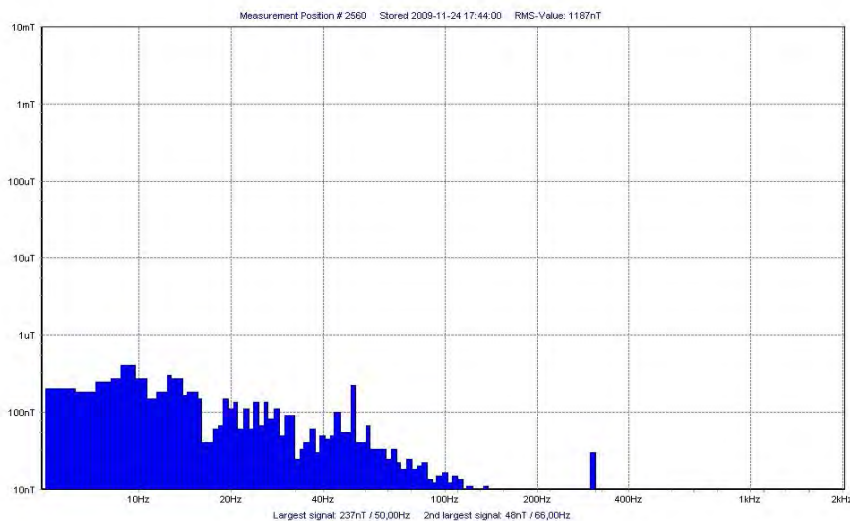


a) Tidsdiagram



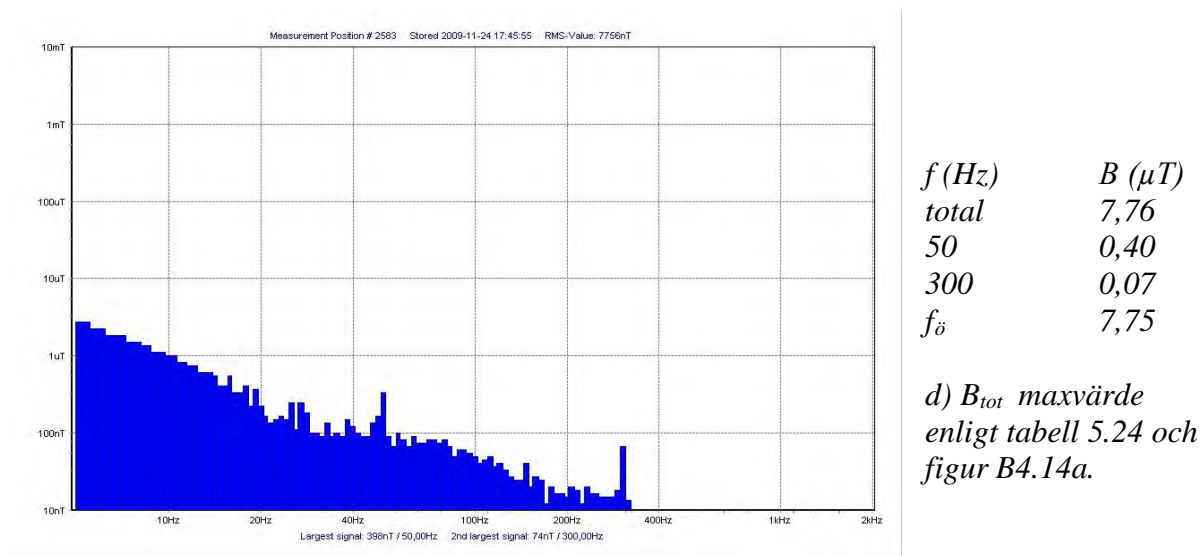
f (Hz)	B (μT)
total	0,26
50	0,24
300	0,03
$f_{\text{ö}}$	0,10

b) Tåget på station



f (Hz)	B (μT)
total	1,19
50	0,24
66	0,05
300	0,03
$f_{\text{ö}}$	1,16

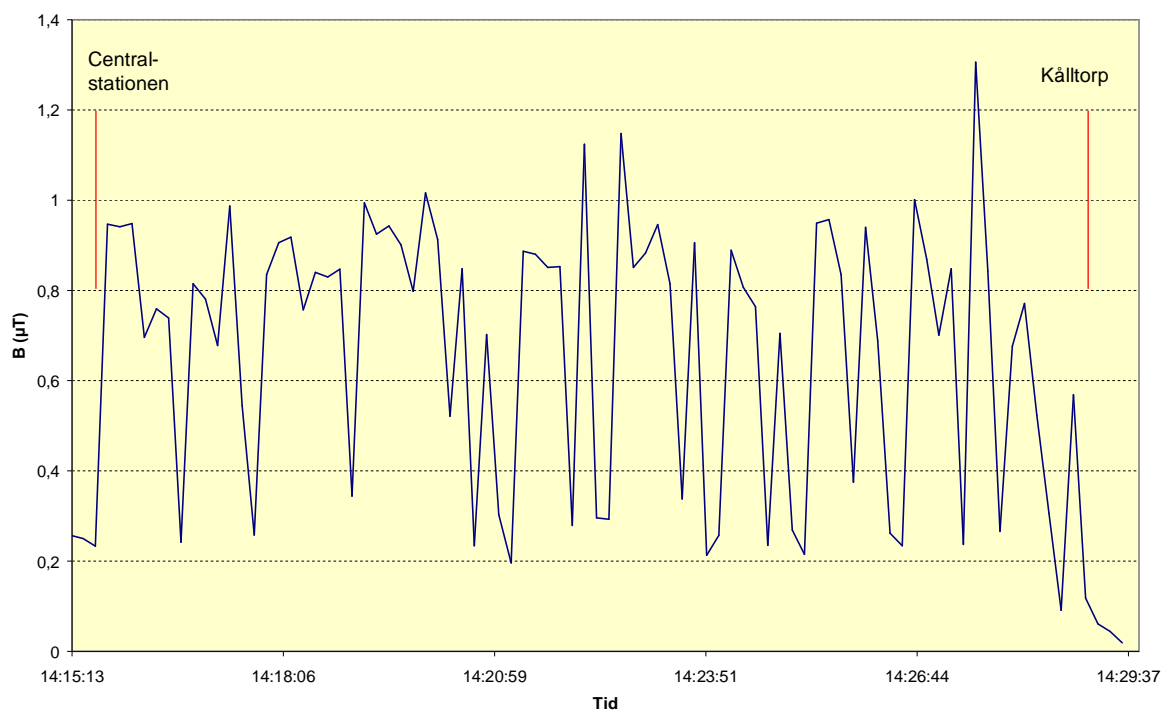
c) B_{tot} omkring medelvärde enligt tabell 5.24



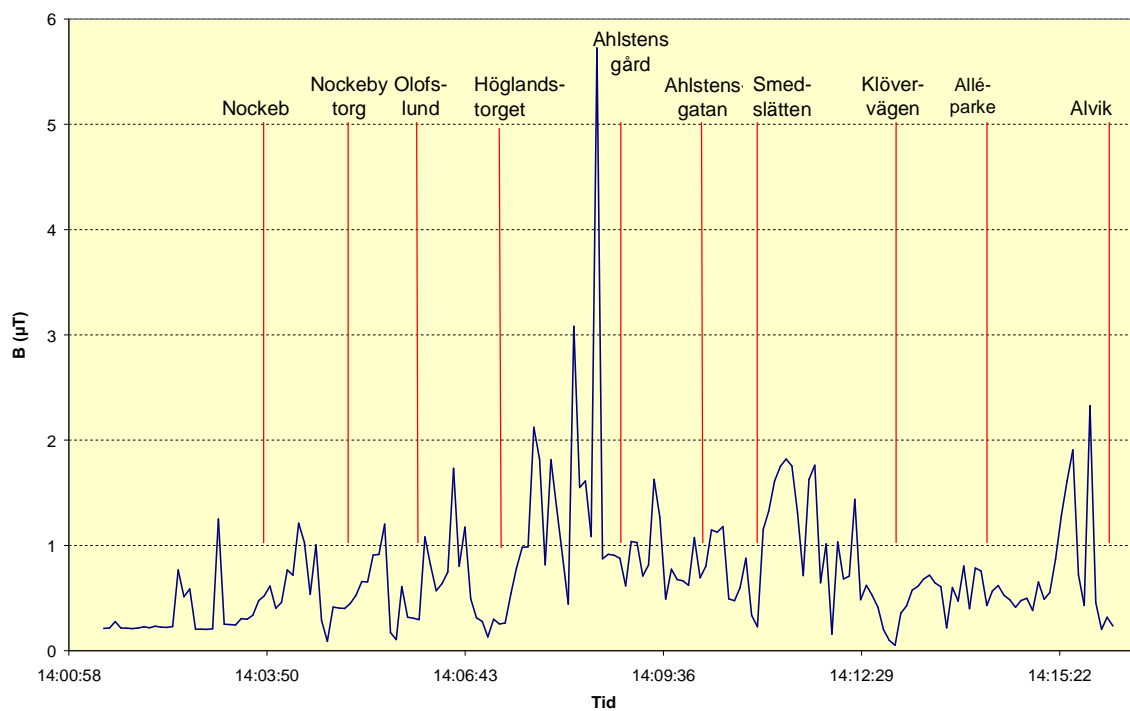
Figur B4.14a-d: Magnetfält i tunnelbanetåg C6 mellan T-centralen och Bergshamra, 2009 11-24. a) tidsgraf, b)-d) frekvensfördelning med logaritmisk skala 5 Hz-2 kHz

Bilaga B5, spårvagnar

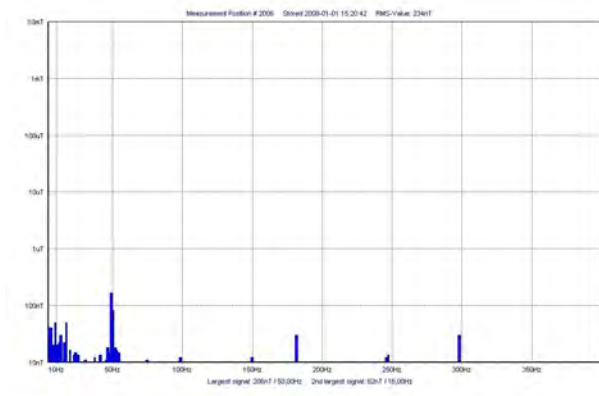
Obs! Statiska magnetfält mättes inte i spårvagnar, bara lågfrekventa magnetfält.



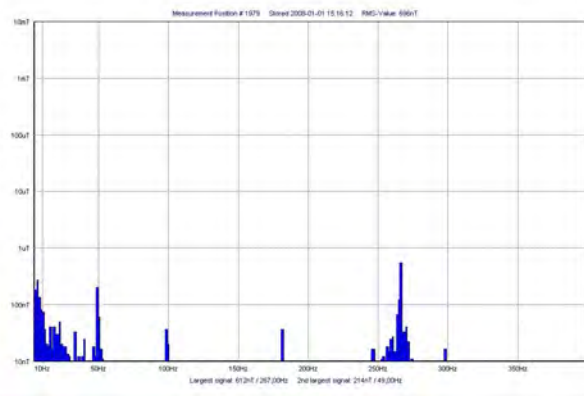
Figur B5.1: Magnetfält på spårvagn 3 mellan Centralstationen och Kålltorp i Göteborg, 2008-01-01.



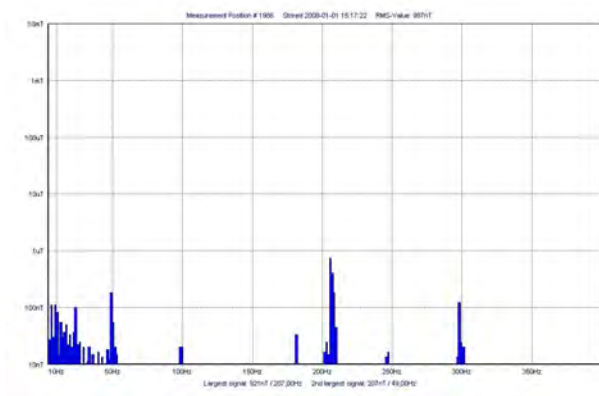
Figur B5.2: Magnetfält på Nockebybanan mellan Nockeby och Alvik i Bromma, 2008-01-10.



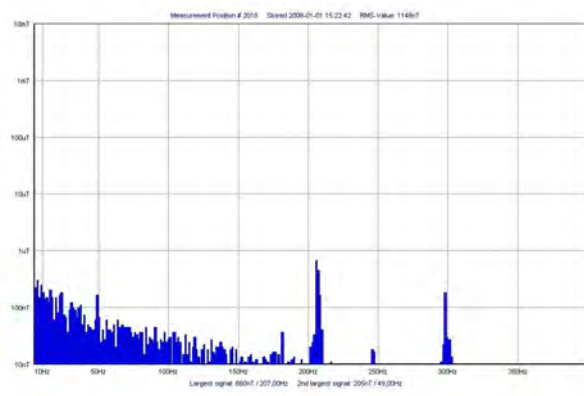
a) $B_{tot} = 0,23 \mu T$



b) $B_{tot} = 0,70 \mu T$

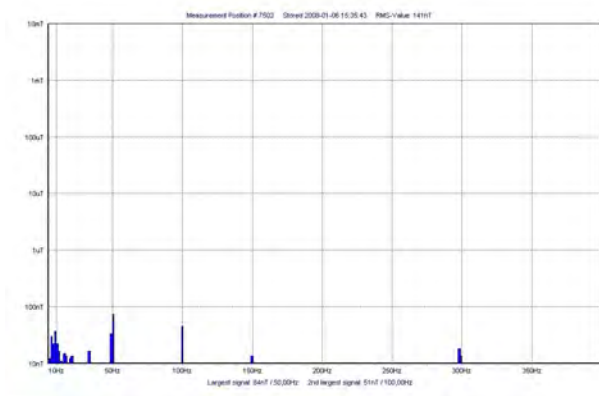


c) $B_{tot} = 0,99 \mu T$

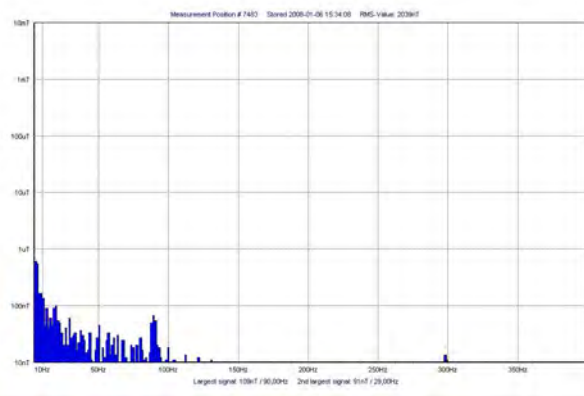


d) $B_{tot} = 1,15 \mu T$

Figur B5.3a-d: Exempel på frekvensspektra av magnetfält i spårvagn nr 3 mellan Centralstationen och Kålltorp, 2008-01-01, vid olika totala flödestätheter. (frekvensaxel: linjär, 5–400 Hz)

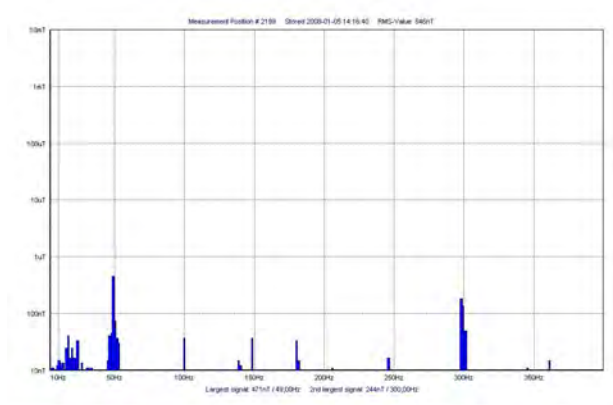


a) $B_{tot} = 0,14 \mu T$

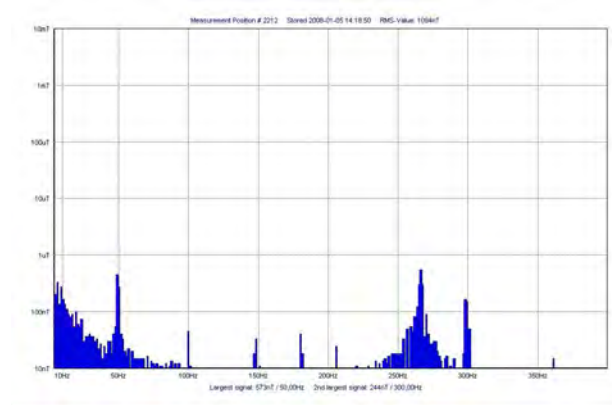


b) $B_{tot} = 2,36 \mu T$

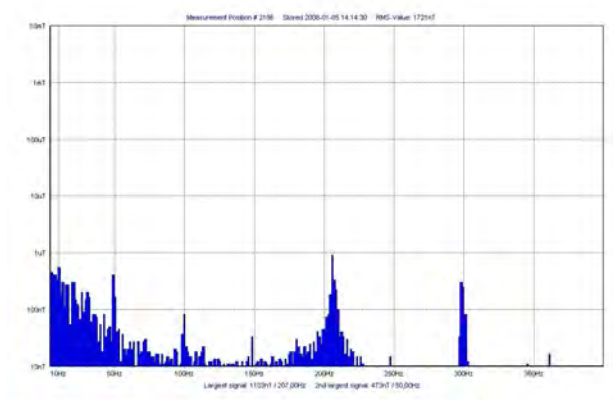
Figur B5.4a-b: Exempel på frekvensspektra av magnetfält på Tvärbanan från Alvik till Årstaberget, 2008-01-06, vid olika totala flödestätheter (frekvensaxel: se figur B5.3)



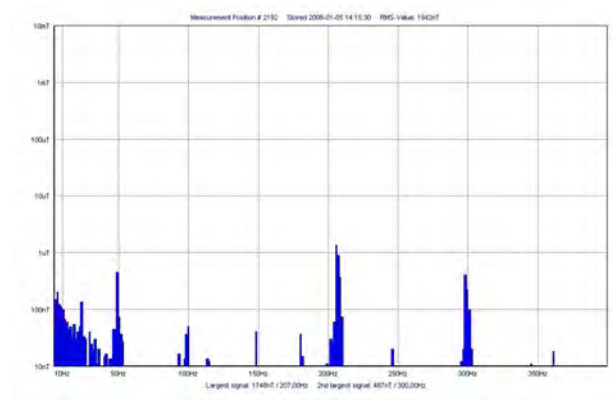
a) $B_{tot} = 0,55 \mu T$



b) $B_{tot} = 1,06 \mu T$

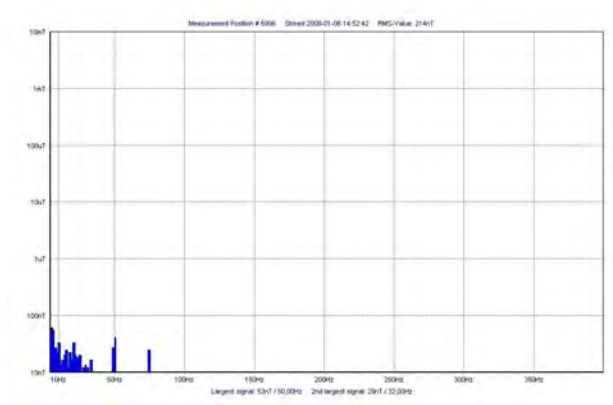


c) $B_{tot} = 1,72 \mu T$

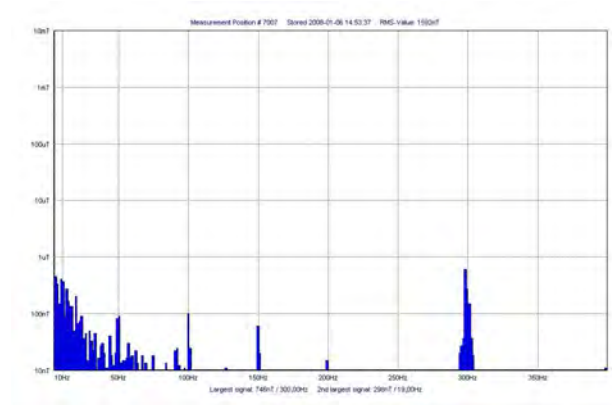


d) $B_{tot} = 1,94 \mu T$

Figur B5.5a-d: Exempel på frekvensspektra av magnetfält i spårvagn nr 3 mellan Kålltorp och Centralstationen, 2008-01-05, vid olika totala flödestätheter (frekvensaxel: se figur B5.3)

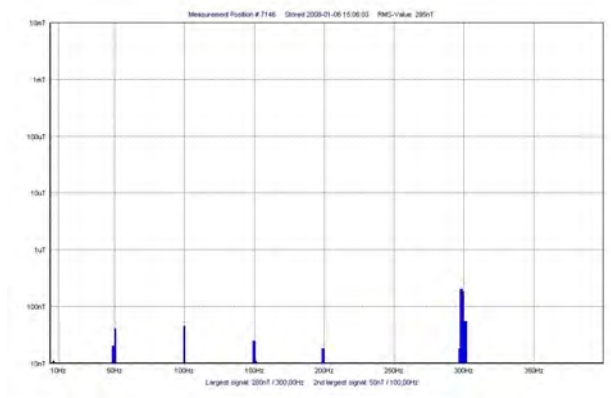


a) $B_{tot} = 0,21 \mu T$

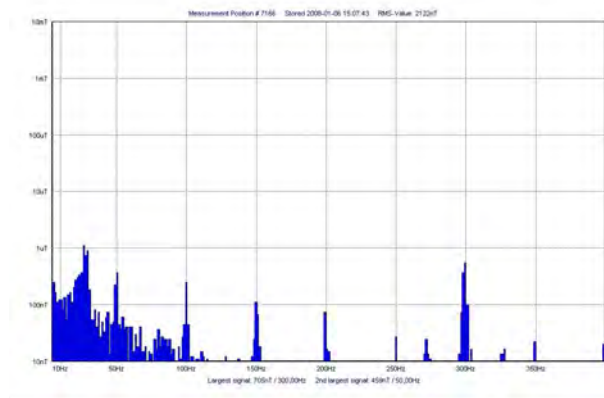


b) $B_{tot} = 1,59 \mu T$

Figur B5.6a-b: Exempel på frekvensspektra av magnetfält på Nockebybanan mellan Alvik och Nockeby, 2008-01-06, vid olika totala flödestätheter (frekvensaxel: se figur B5.3)

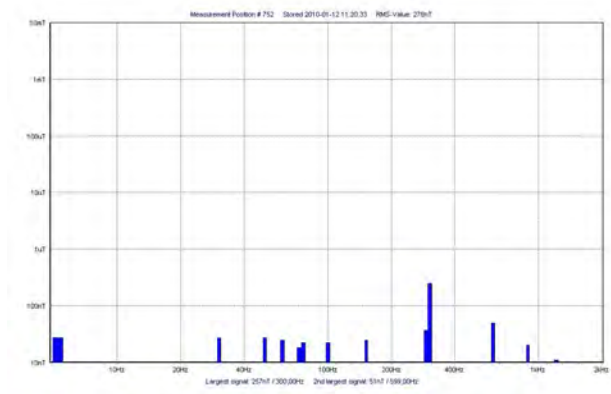


a) $B_{tot} = 0,29 \mu T$

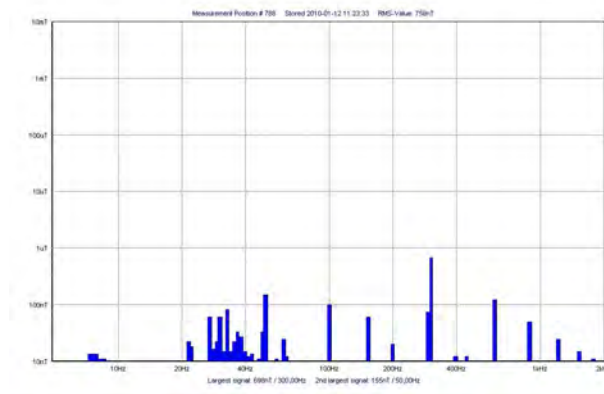


b) $B_{tot} = 2,12 \mu T$

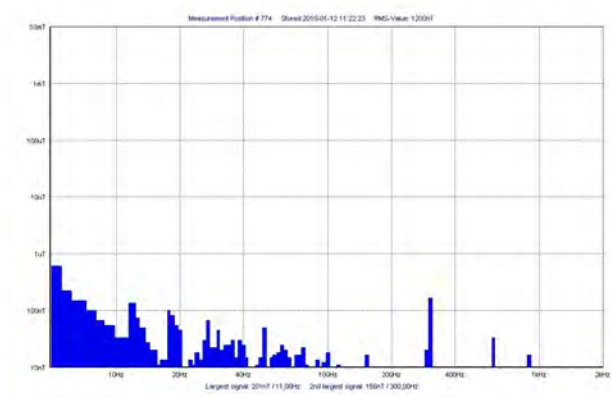
Figur B5.7a-b: Exempel på frekvensspektra av magnetfält på Nockebybanan från Nockeby till Alvik, 2008-01-06, vid olika totala flödestätheter (frekvensaxel: se figur B5.3)



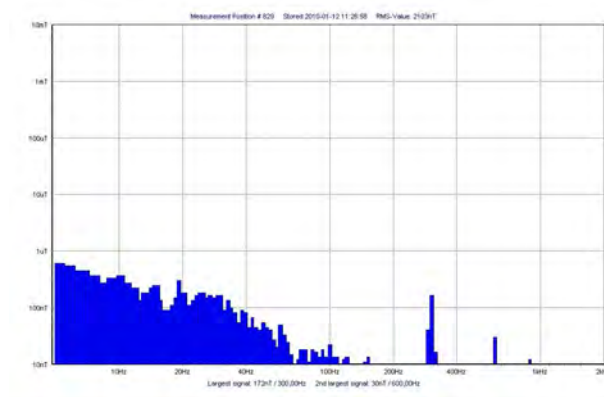
a) $B_{tot} = 0,28 \mu T$



b) $B_{tot} = 0,76 \mu T$

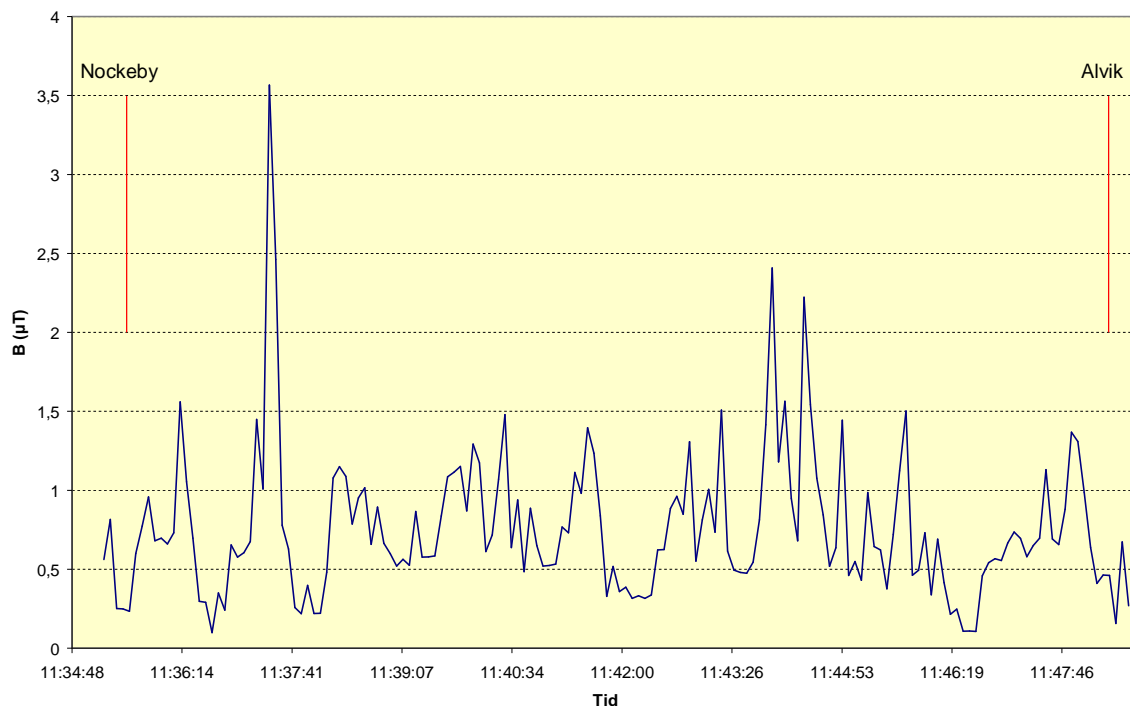


c) $B_{tot} = 1,20 \mu T$

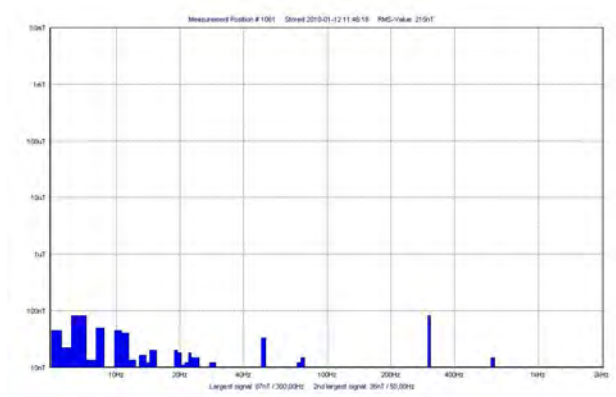


d) $B_{tot} = 2,10 \mu T$

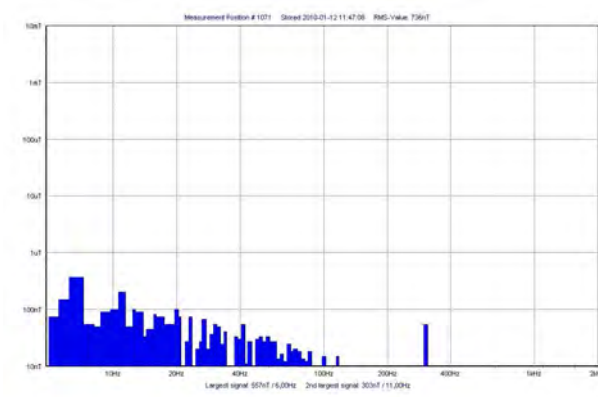
Figur B5.8a-d: Exempel på frekvensspektra av magnetfält på Nockebybanan från Alvik till Nockeby, 2010-01-12, vid olika totala flödestätheter. (frekvensaxel: logaritmisk, 5 Hz–2 kHz.)



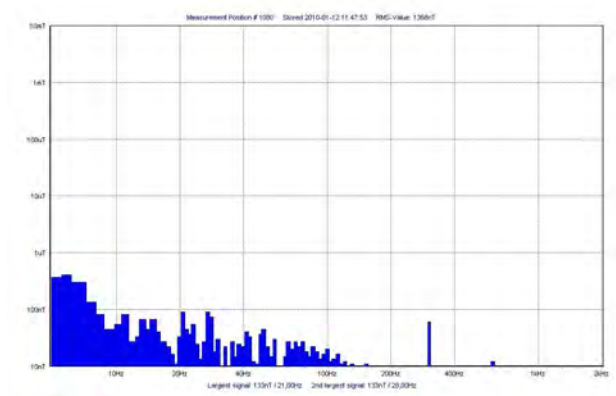
Figur B5.9: Magnetfält på Nockebybanan mellan Nockeby och Alvik i Bromma, 2010-01-12



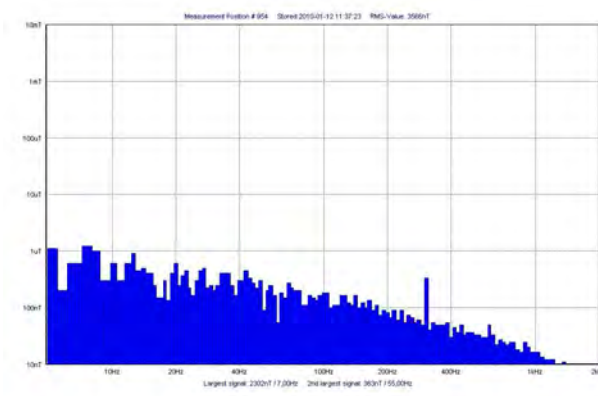
a) $B_{tot} = 0,22 \mu T$



b) $B_{tot} = 0,74 \mu T$

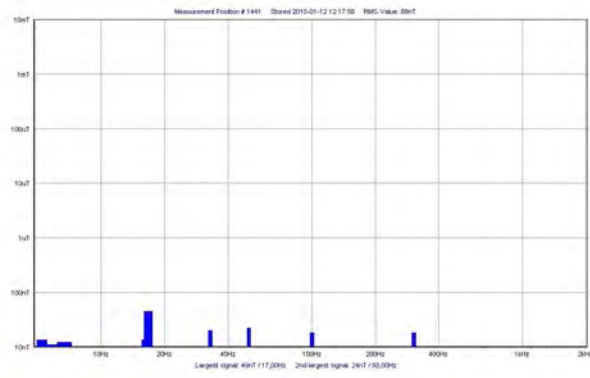


c) $B_{tot} = 1,37 \mu T$



d) $B_{tot} = 3,57 \mu T$

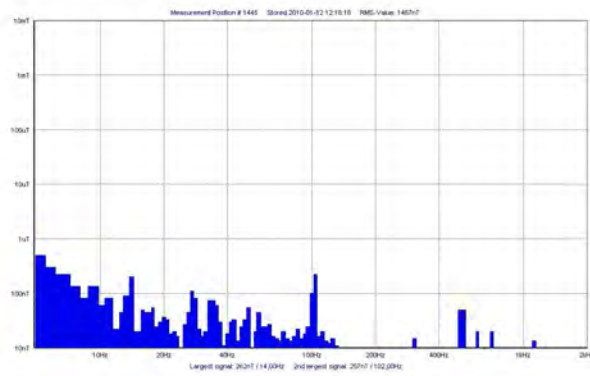
Figur B5.10a-d: Exempel på frekvensspektra av magnetfält på Nockebybanan från Nockeby till Alvik, 2010-01-12, vid olika totala flödestätheter. (frekvensaxel se figur B5.8)



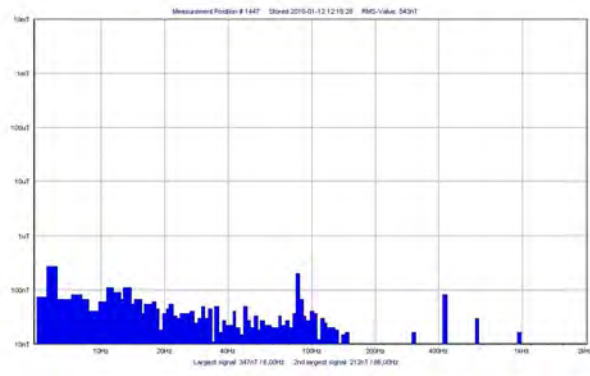
a) *Tid: 12.17.58, $B_{tot} = 0,09 \mu T$*



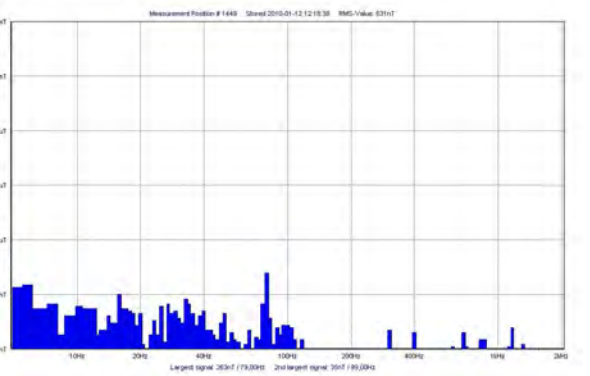
b) *Tid: 12.18.08, $B_{tot} = 0,81 \mu T$*



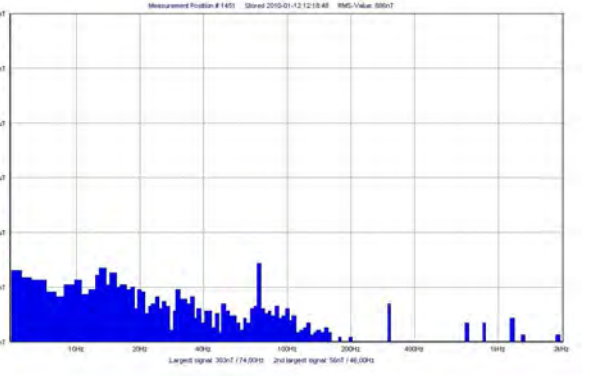
c) *Tid: 12.18.18, $B_{tot} = 1,47 \mu T$*



d) *Tid: 12.18.28, $B_{tot} = 0,54 \mu T$*



e) *Tid: 12.18.38, $B_{tot} = 0,63 \mu T$*



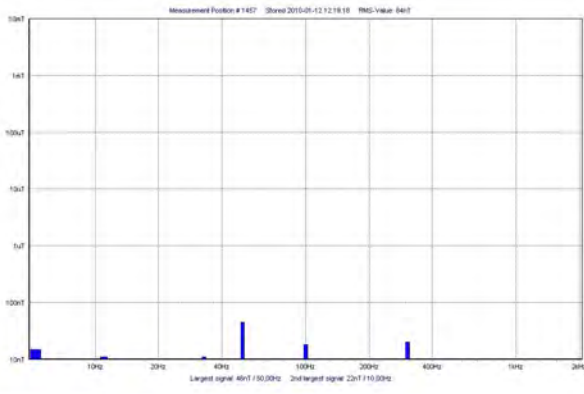
f) *Tid: 12.18.48, $B_{tot} = 0,89 \mu T$*



g) *Tid: 12.18.58, $B_{tot} = 0,98 \mu T$*



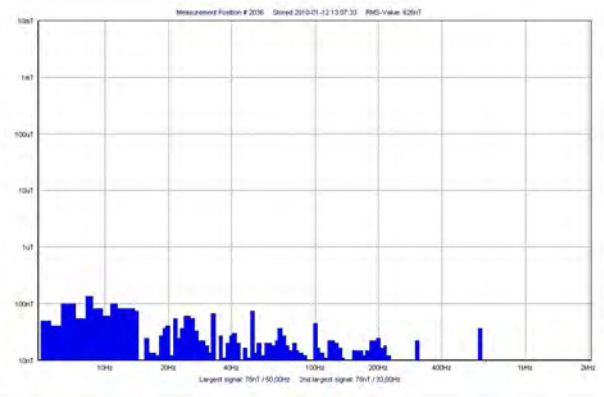
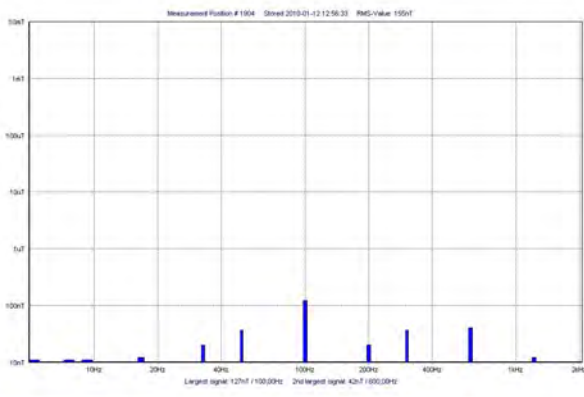
h) *Tid: 12.19.08, $B_{tot} = 1,12 \mu T$*



i) Tid: 12.19.18, $B_{tot} = 0,08 \mu T$

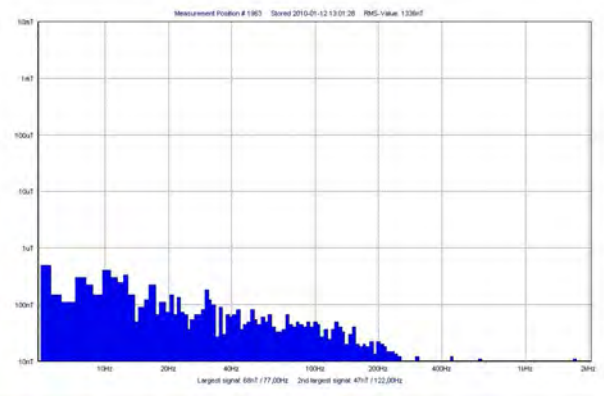
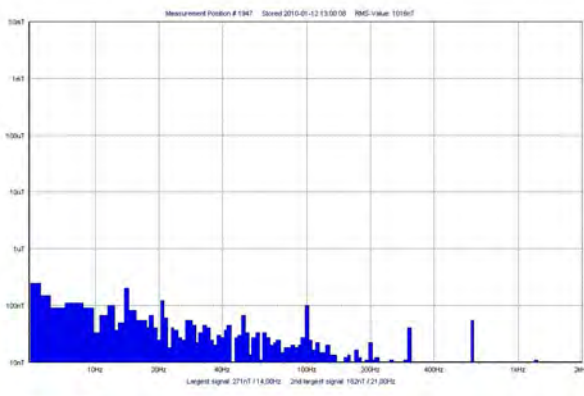
j) Tid: 12.19.23, $B_{tot} = 0,10 \mu T$

Figur B5.11a-j: Exempel på frekvensspektra av magnetfält på Tvärbanan från Alvik till Sickla udde, 2010-01-12, med 10 s mellanrum. (frekvensaxel se figur B5.8)



a) $B_{tot} = 0,16 \mu T$

b) $B_{tot} = 0,63 \mu T$

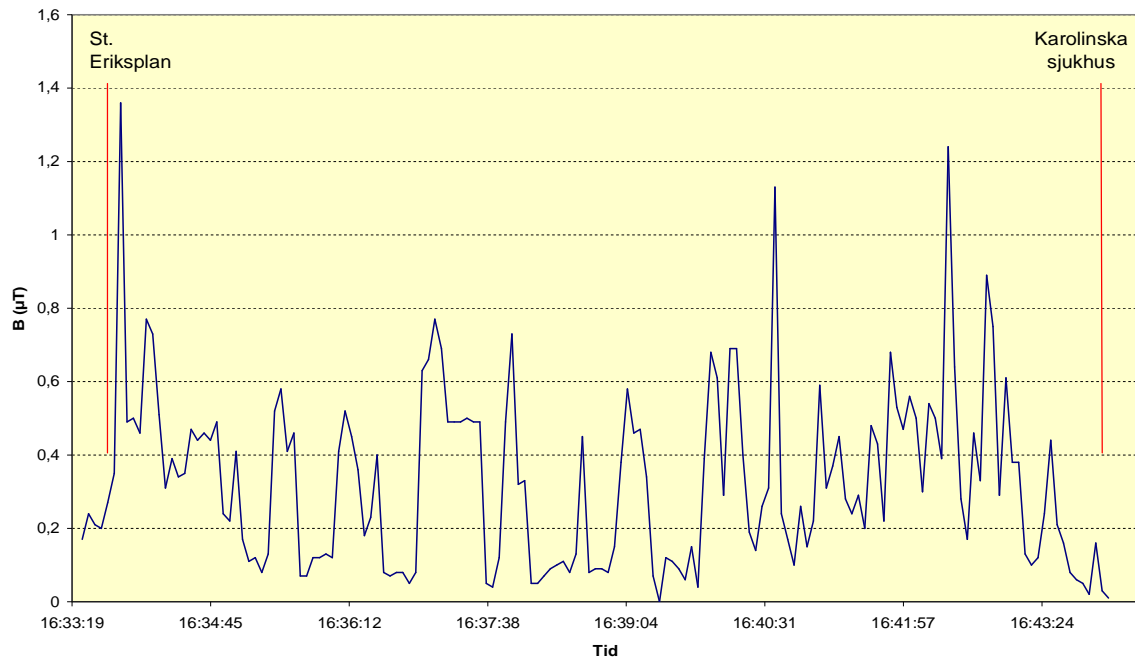


c) $B_{tot} = 1,02 \mu T$

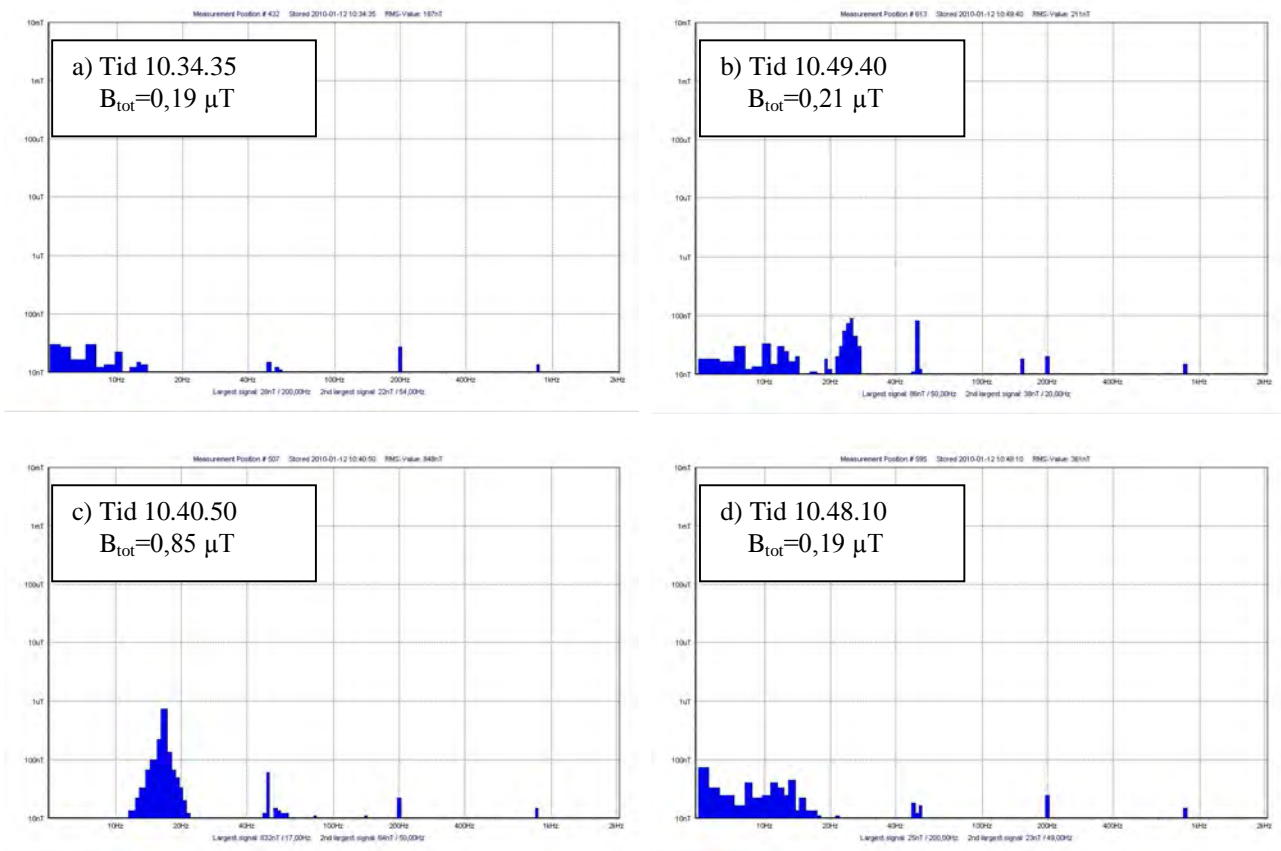
d) $B_{tot} = 1,34 \mu T$

Figur B5.12a-d: Exempel på frekvensspektra av magnetfält på Tvärbanan från Sickla udde till Stora Essingen, 2010-01-12, vid olika totala flödestätheter. (frekvensaxel se figur B5.8)

Bilaga B6, bussar

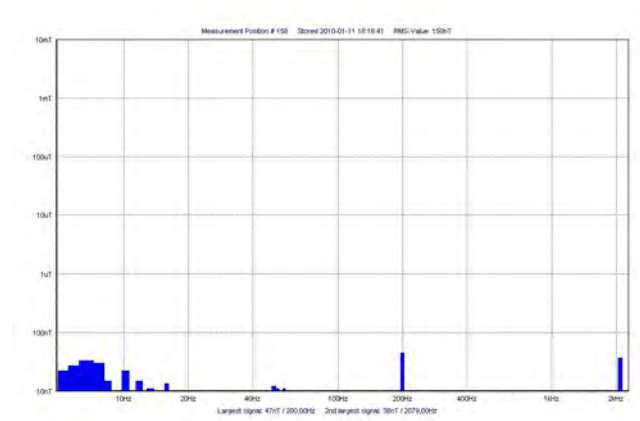


Figur B6.1: Magnetfält i buss 48 mellan St. Eriksplan och Karolinska sjukhuset, 1995-02-23.

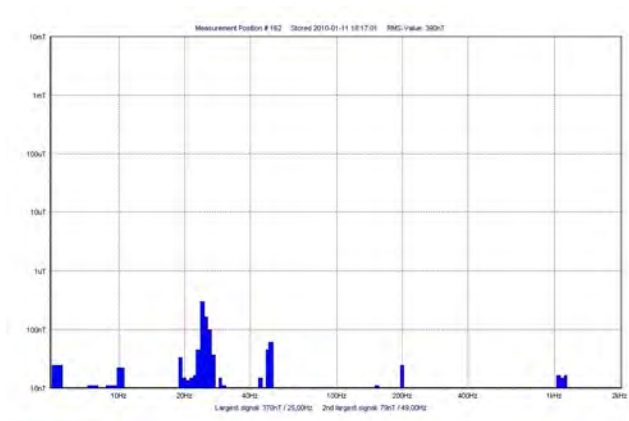


Figur B6.2a-d: Frekvensfördelning av magnetfält i buss 176 mellan Bergshamra bro och Brommaplan, 2010-01-12, vid olika tidpunkter och totala flödestätheter B_{tot} . (logaritmisk frekvensaxel 5 Hz–2 kHz).

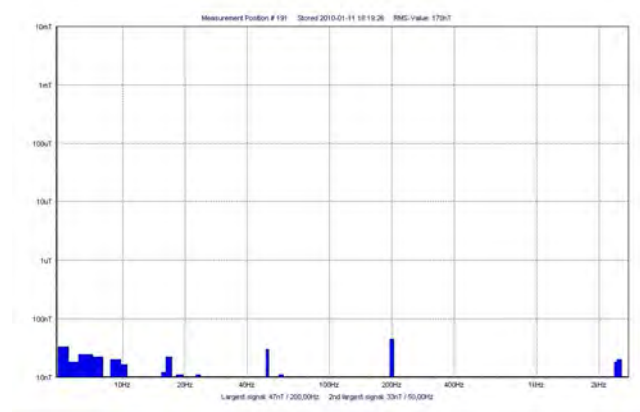
I figur B6.2c syns en signal på 0,83 μT vid 17 Hz som sammanfaller med den mindre topp som ligger bredvid maximum i figur 5.94a.



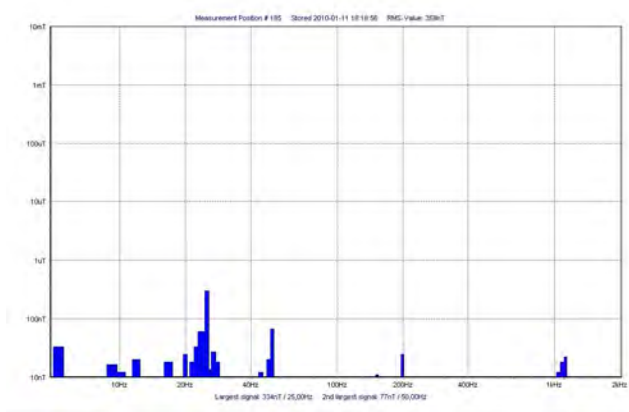
a) Tid: 18.16.41, $B_{tot}=0,15 \mu\text{T}$



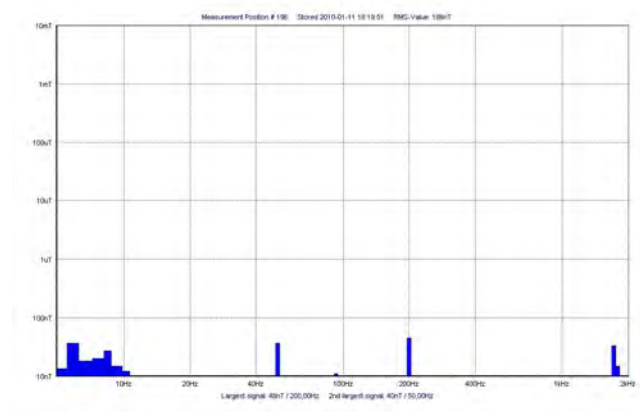
b) Tid: 18.17.01, $B_{tot}=0,15 \mu\text{T}$



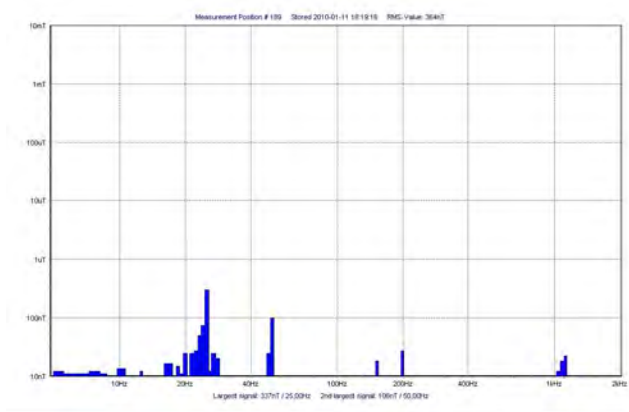
c) Tid: 18.19.26, $B_{tot}=0,17 \mu\text{T}$



d) Tid: 18.18.56, $B_{tot}=0,36 \mu\text{T}$

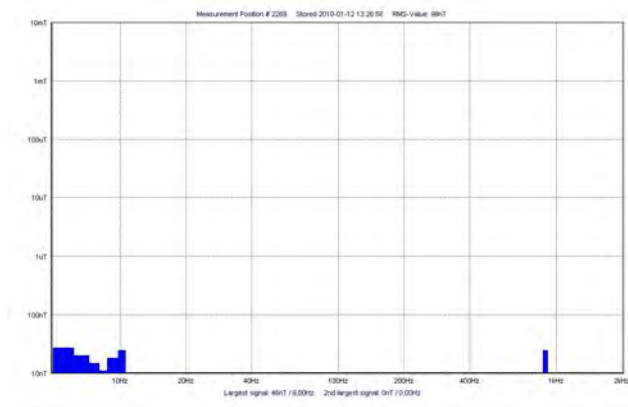


e) Tid: 18.19.51, $B_{tot}=0,19 \mu\text{T}$

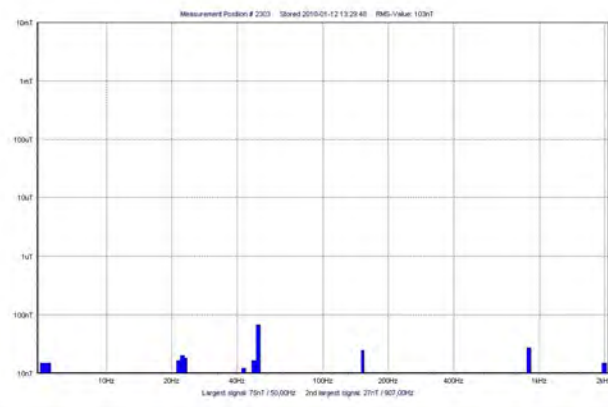


f) Tid: 18.19.16, $B_{tot}=0,36 \mu\text{T}$

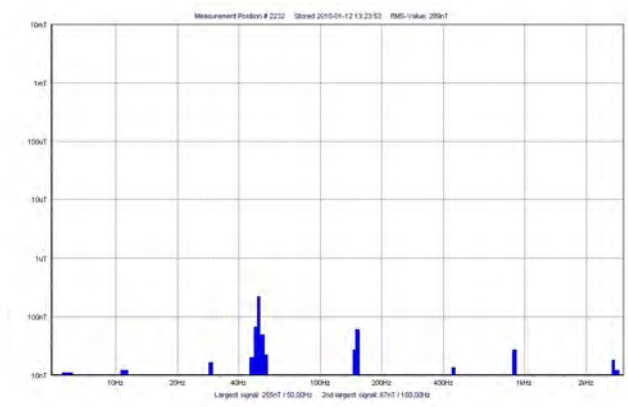
Figur B6.3a-f: Frekvensfördelning av magnetfält bus 177 mellan Vreten och Bergshamra bro, 2010-01-11, vid olika tidpunkter och totala flödestätheter B_{tot} (frekvensaxel se figur B6.2)



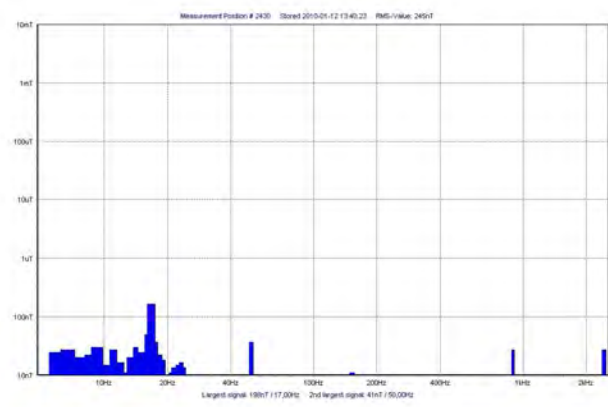
a) Tid: 13.26.58, $B_{tot}=0,10 \mu T$



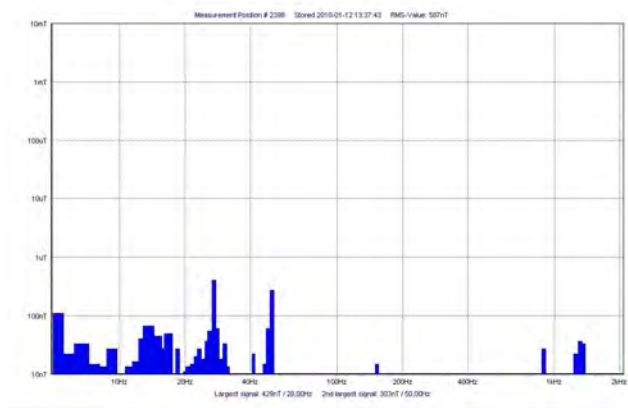
b) Tid: 13.29.48, $B_{tot}=0,10 \mu T$



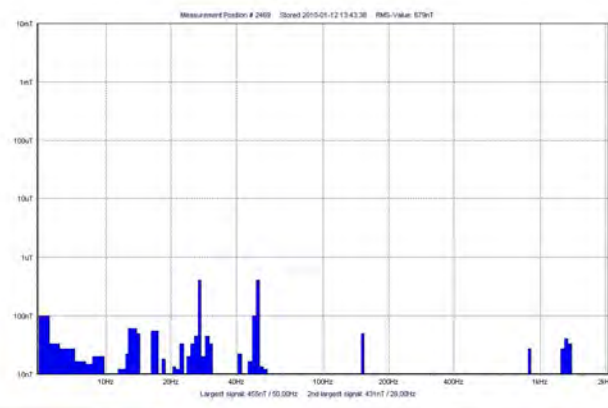
c) Tid: 13.23.48, $B_{tot}=0,29 \mu T$



d) Tid: 13.40.23, $B_{tot}=0,25 \mu T$

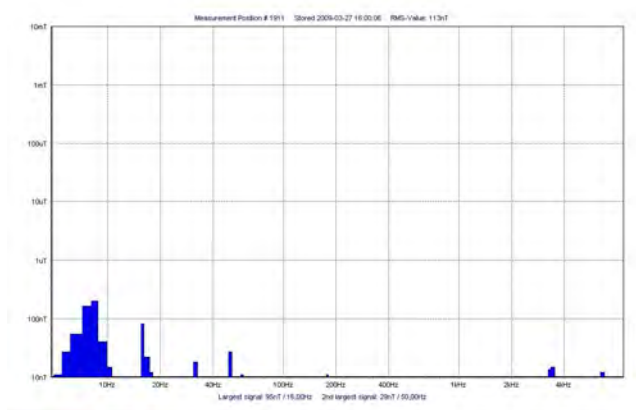


e) Tid: 13.37.43, $B_{tot}=0,59 \mu T$

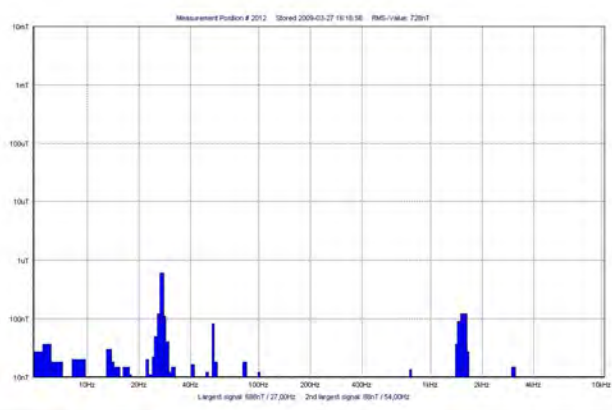


f) Tid: 13.43.38, $B_{tot}=0,68 \mu T$

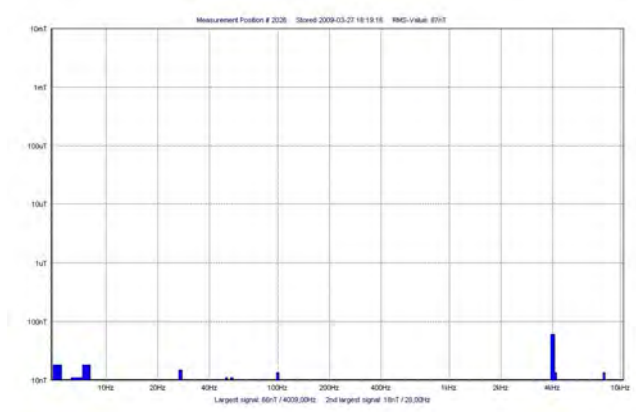
Figur B6.4a-f: Frekvensfördelning av magnetfält i buss 1 mellan Stora Essingen och Norrlandsgatan, 2010-01-12, vid olika tidpunkter och totala flödestätheter B_{tot} (frekvensaxel se figur B6.2)



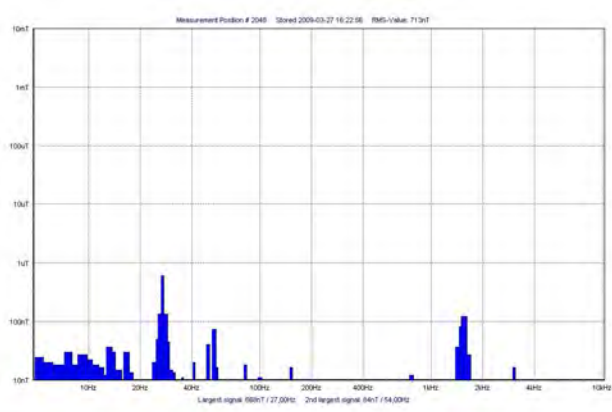
a) Tid: 16.00.06, $B_{tot}=0,11 \mu T$



b) Tid: 16.16.56, $B_{tot}=0,73 \mu T$

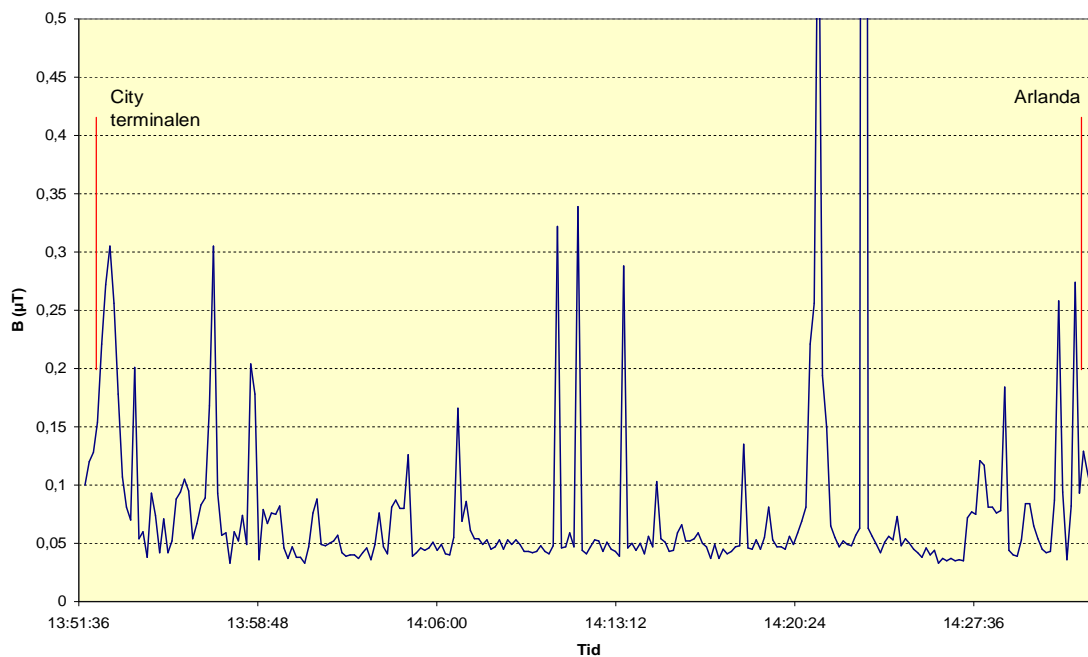


c) Tid: 16.19.16, $B_{tot}=0,09 \mu T$

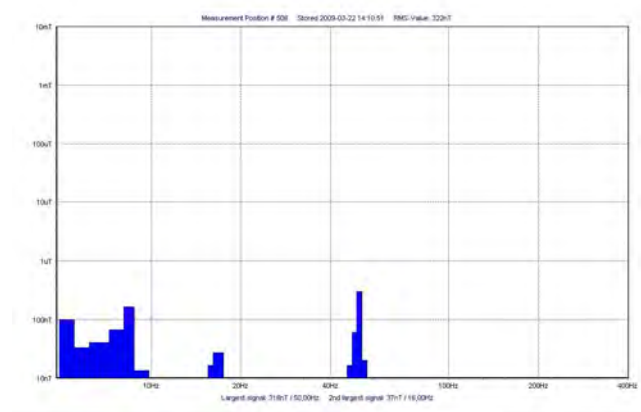


d) Tid: 16.22.56, $B_{tot}=0,73 \mu T$

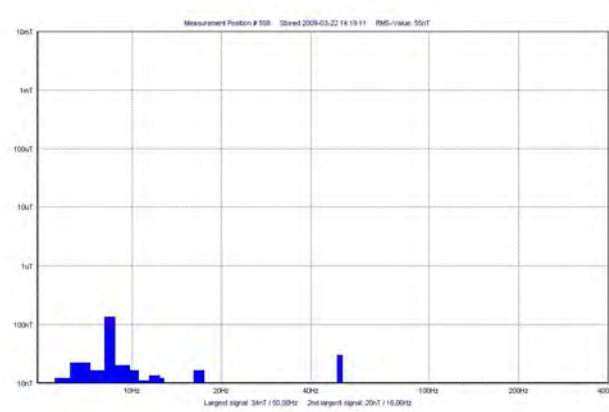
Figur B6.5a-d: Frekvensfördelning av magnetfält i flygbuss mellan Arlanda och Stockholm city, 2009-03-27, vid olika tidpunkter och totala flödestätheter B_{tot} (logaritmisk frekvensaxel 5 Hz–10 kHz)



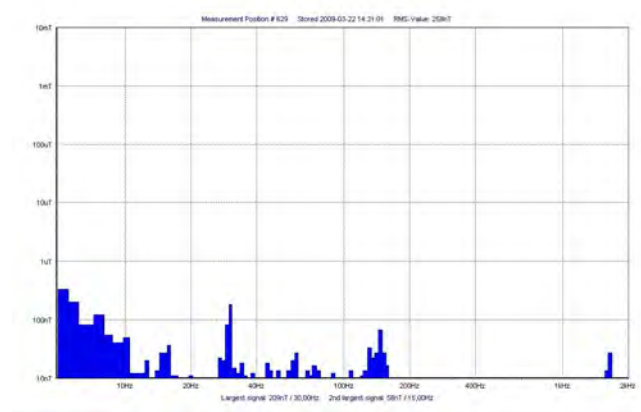
a) Samma tidsdiagram som i figur 5.98a men med y-axel 0–0,5 μT



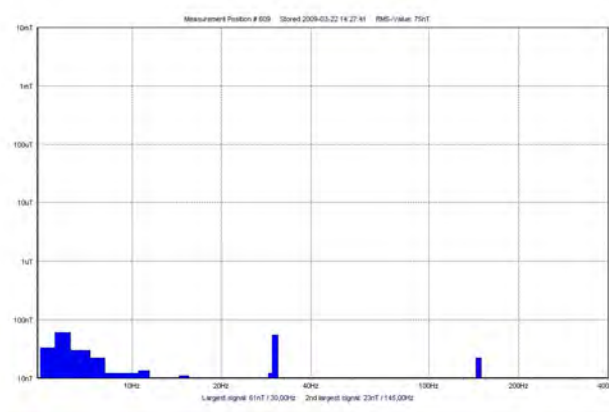
b) Tid: 14.10.51, $B_{tot}=0,32 \mu T$



c) Tid: 14.19.11, $B_{tot}=0,06 \mu T$



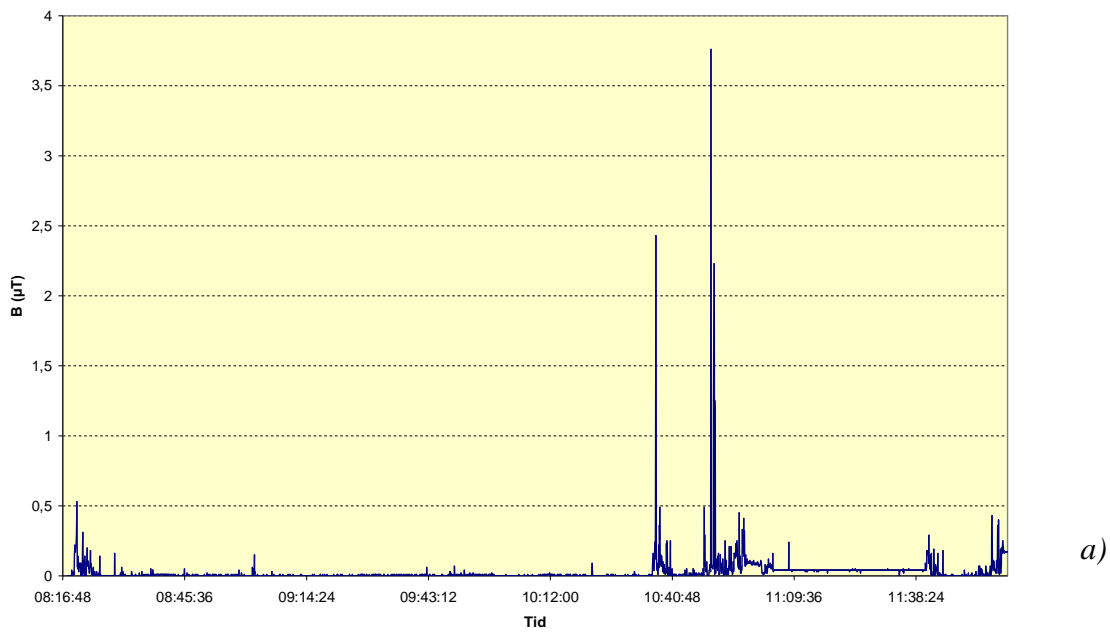
d) Tid: 14.31.01, $B_{tot}=0,26 \mu T$



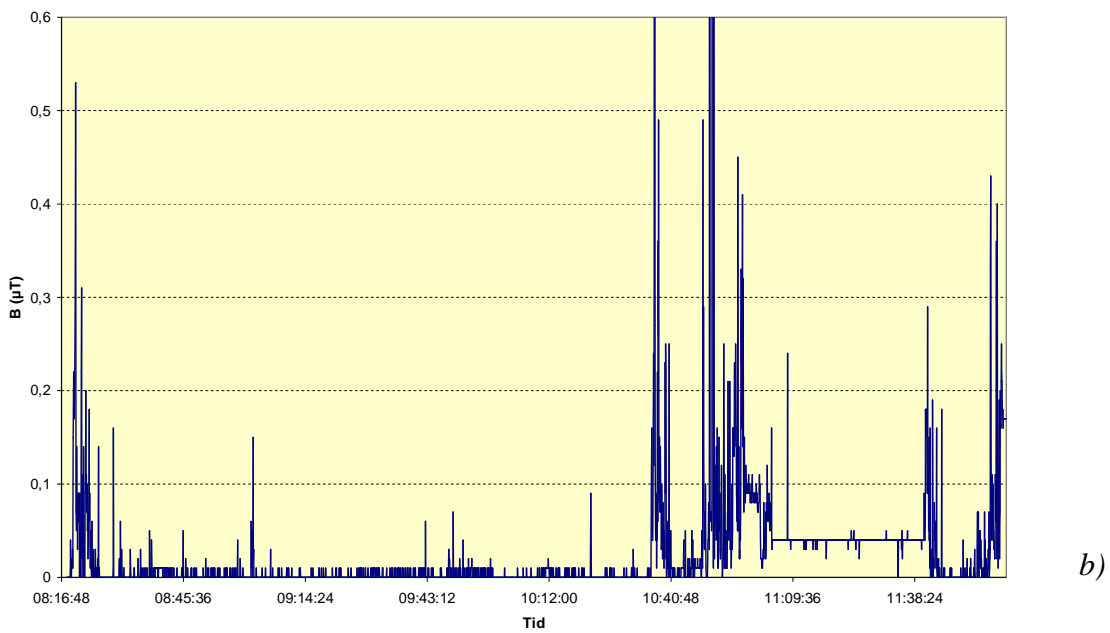
e) Tid: 14.27.41, $B_{tot}=0,08 \mu T$

Figur B6.6a-d: Magnetfält i flygbuss mellan Stockholm city terminalen och Arlanda, 2009-03-22. a) tidsgraf, b)-d) spektrum vid olika tider (logaritmisk frekvensaxel, 5 - 400 Hz i b, c och e, 5 Hz–2 kHz i d)

Bilaga B7, fartyg

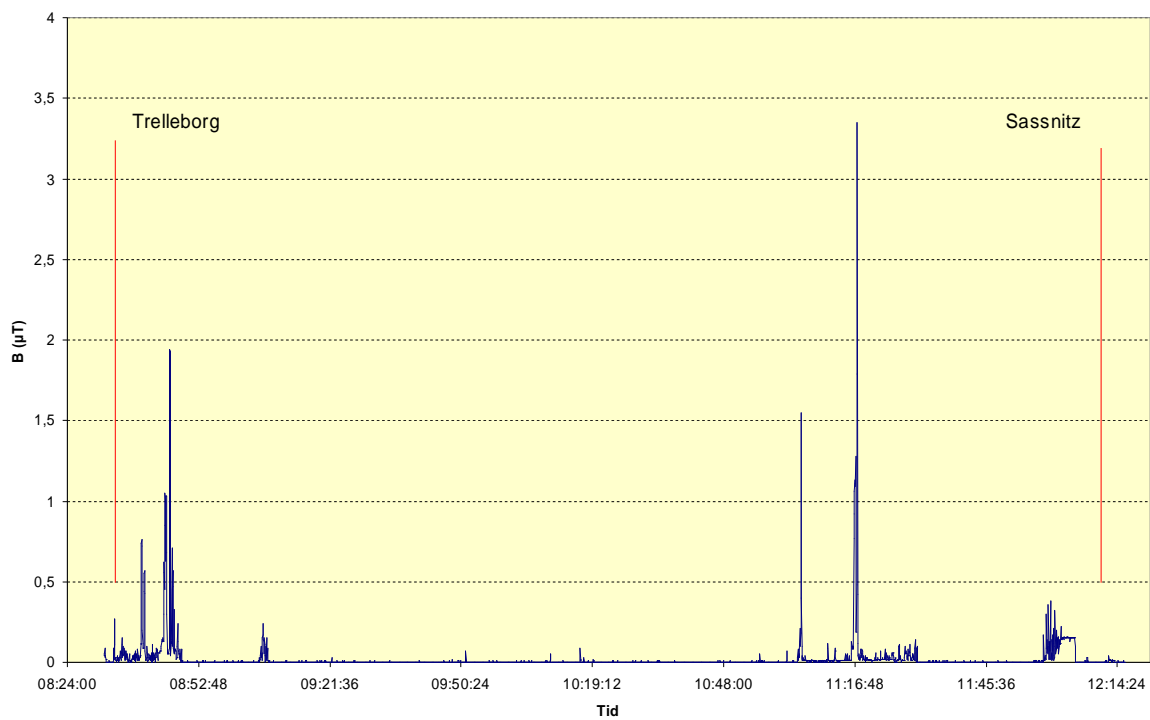


a)

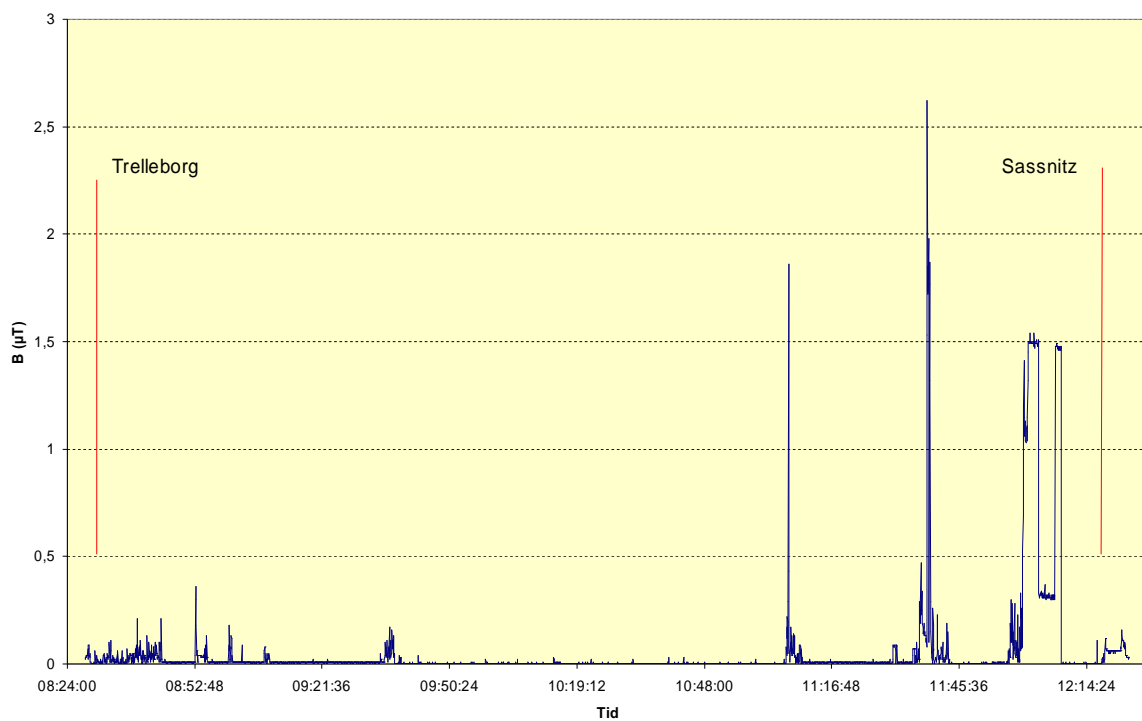


b)

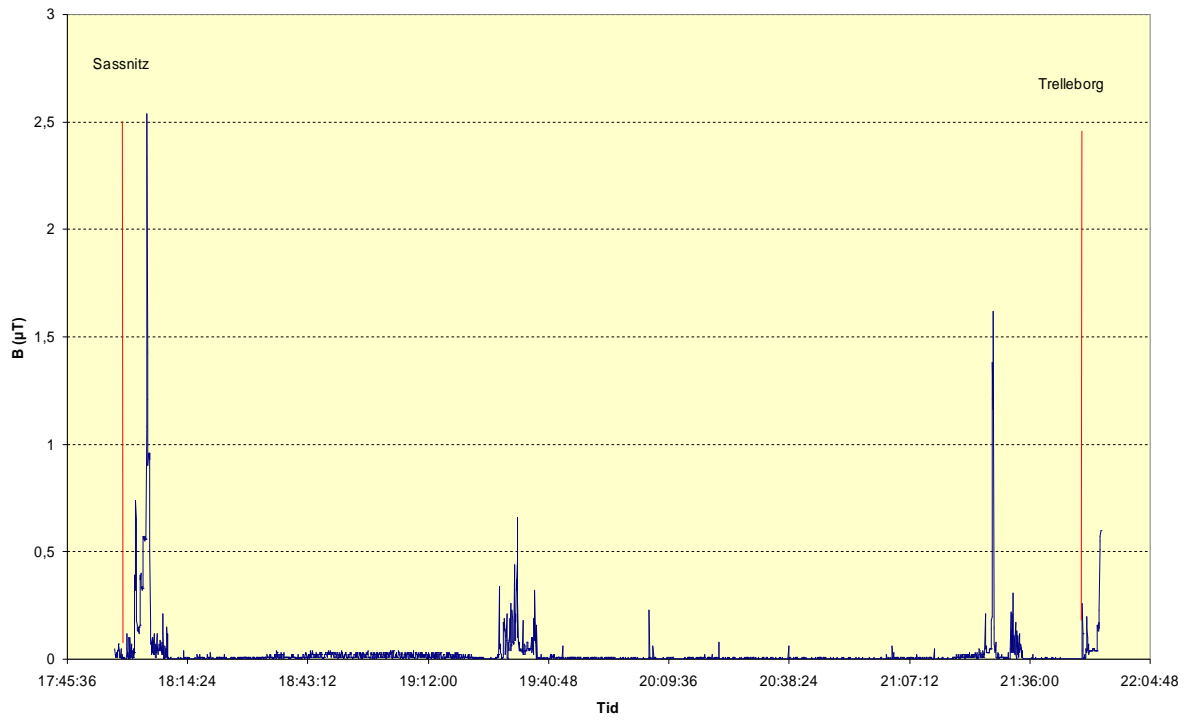
Figur B7.1a-b: Tidsdiagram för magnetfält vid resan med tågfärjan från Trelleborg till Sassnitz 1996-10-28. a): B-axel 0–4 μT , b): B-axel 0–0,6 μT



Figur B7.2: Tidsdiagram för magnetfält vid resan med tågfärjan från Trelleborg till Sassnitz 1996-12-08



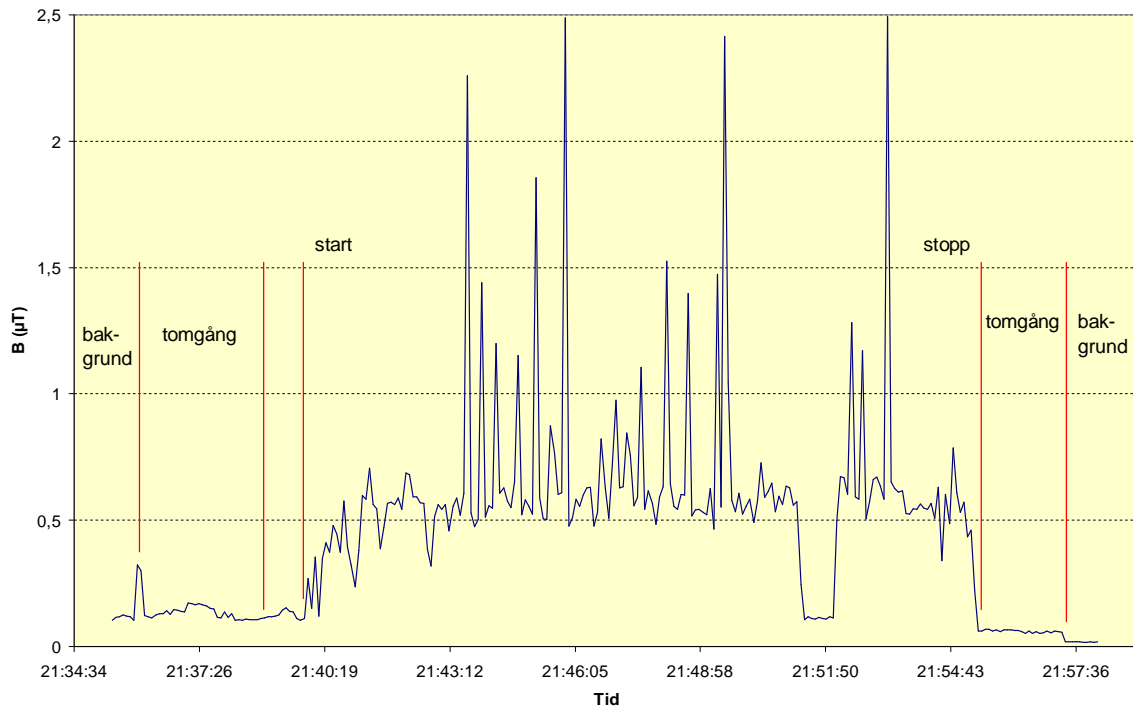
Figur B7.3: Tidsdiagram för magnetfält vid resan med tågfärjan från Trelleborg till Sassnitz 1997-01-29



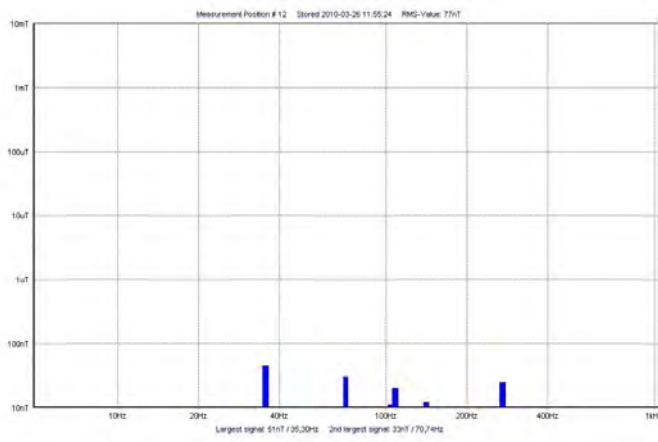
Figur B7.4: Tidsdiagram för magnetfält vid resan med tågfärjan från Sassnitz till Trelleborg 1997-02-04

Bilaga B8, personbilar

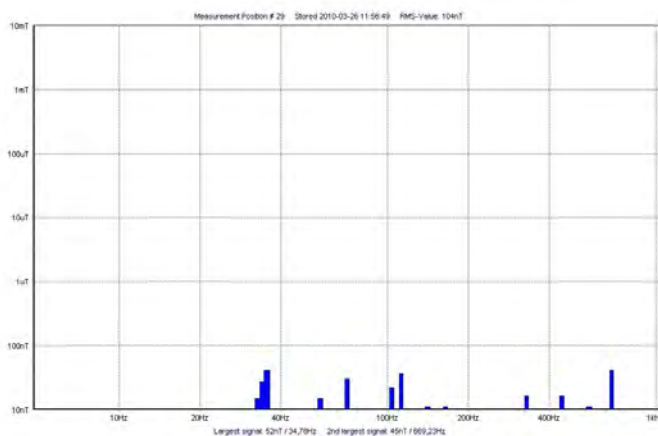
Seat-bilen



Figur B8.1: Magnetfält i Sea bilen på väg 2 från Bergshamra till SSM, 2009-03-17.

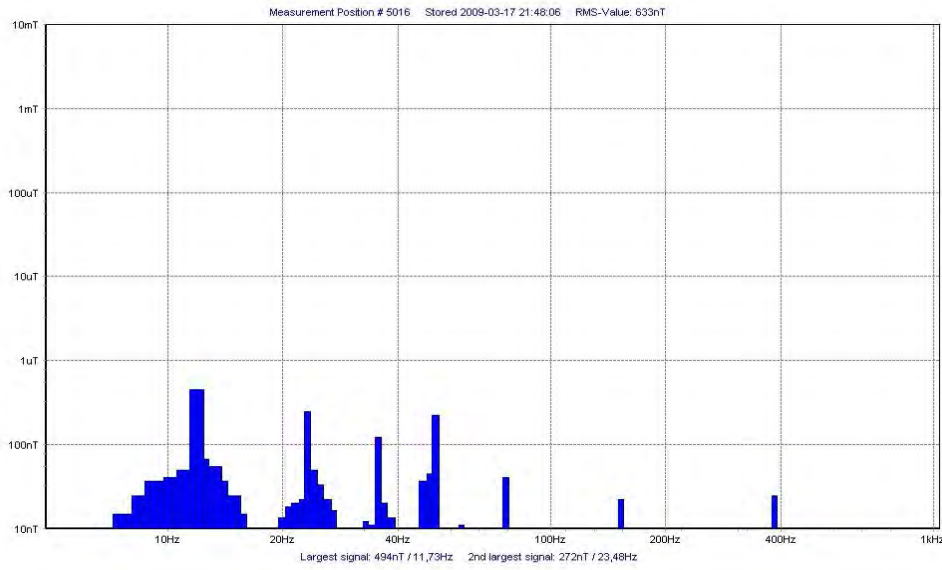


a) Fläkten i läget 1

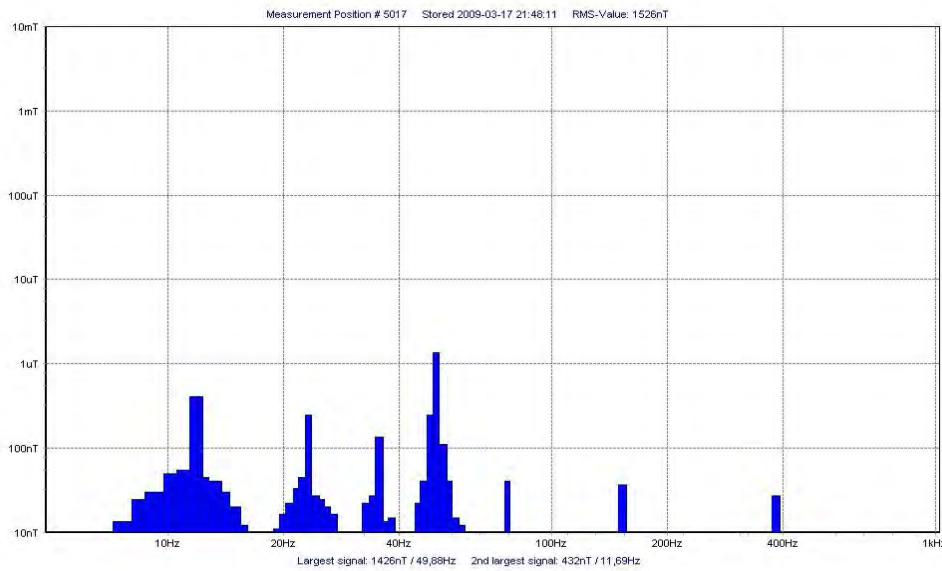


b) Fläkten i läget 4

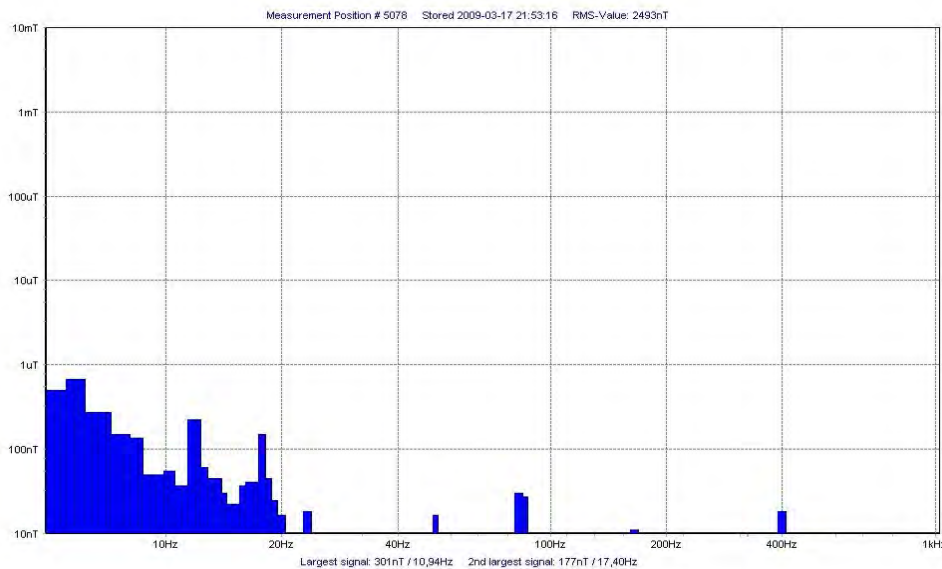
Figur B8.2a-b: Frekvensfördelning av magnetfält i Seatbilen i tomgång framför SSM med fläkten påslagen. (2010-03-26)



a) $B_{tot}=0,63 \mu T$,
runt medelvärdet
enligt tabell 5.29.

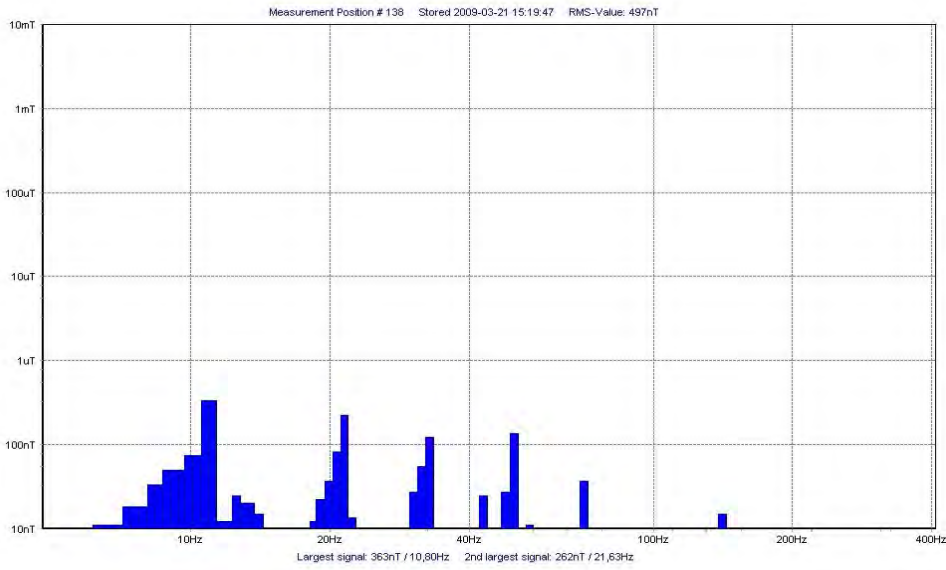


b) $B_{tot}=1,53 \mu T$,
toppvärde enligt
figur B8.1.
 $B_{50Hz}=1,43 \mu T$
ger störst bidrag.

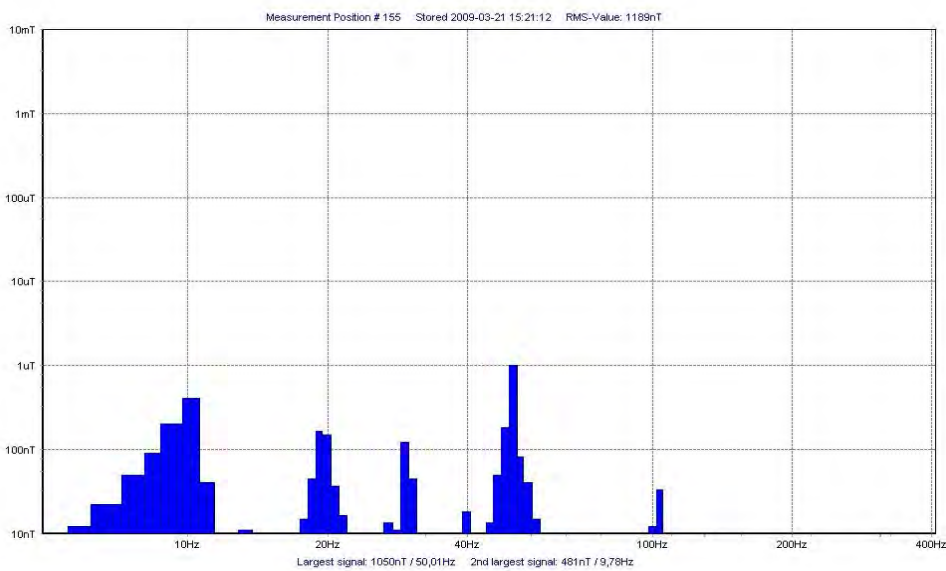


c) $B_{tot}=2,49 \mu T$,
toppvärde enligt
figur B8.1.
Skakning av
instrumentet ger
stort bidrag.

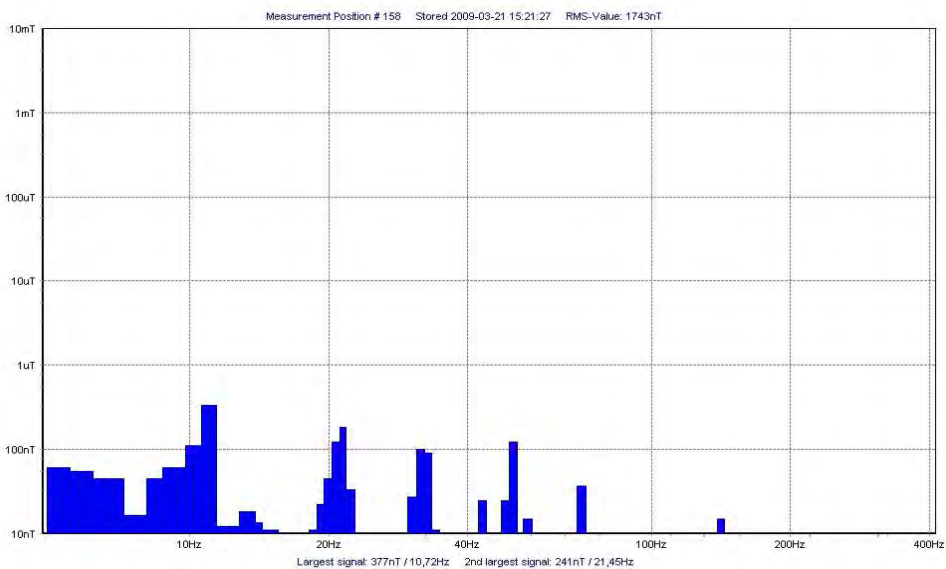
Figur B8.3a-c: Frekvensfördelning av magnetfält i Seatbilen, 2009-03-17.



a) $B_{tot}=0,50 \mu T$,
runt medelvärde
enligt tabell 5.29.

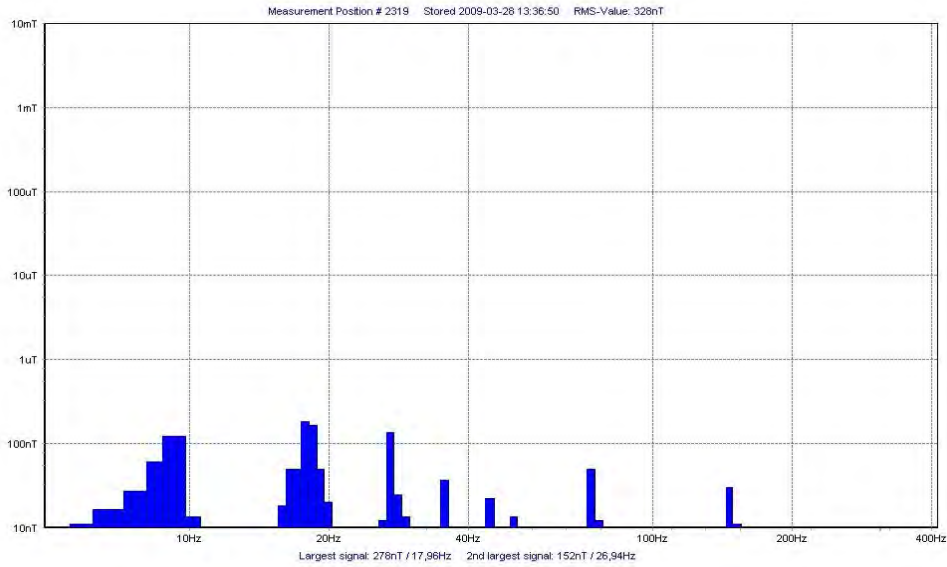


b) $B_{tot}=1,19 \mu T$,
toppvärde enligt
figur 5.109.
 $B_{50Hz}=1,05 \mu T$ ger
störst bidrag.

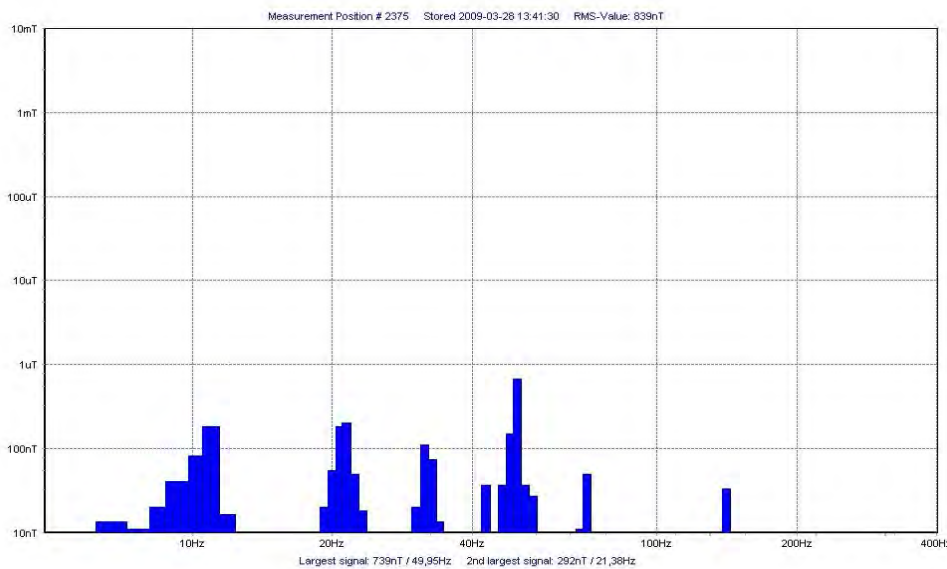


c) $B_{tot}=1,74 \mu T$,
toppvärde enligt
figur 5.109.
Eventuell skakning
av instrumentet ger
stort bidrag.

Figur B8.4a-c: Frekvensfördelning av magnetfält i Seatbilen, 2009-03-21.



a) $B_{tot}=0,33$
 μT , runt
 medelvärde
 enligt tabell
 5.29.



b) $B_{tot}=0,84$
 μT , toppvärde
 enligt figur
 5.110.
 $B_{50Hz}=0,74 \mu T$
 ger störst
 bidrag.

Figur B8.5a-b: Frekvensfördelning av magnetfält i Seatbilen, 2009-03-28.



MÄTPROTOKOLL

Datum: 2010-03-03

Vår referens: SSM 2010/861

Författare: Jimmy Estenberg

Fastställt: Hélène Asp, 2010-03-03

Mätning av lågfrekventa magnetfält i bilar

Syftet med mätningarna var att skaffa en generell bild av styrka och frekvens för lågfrekventa magnetfält i bilar samt att undersöka om magnetfälten i elhybridbilar skiljer från fälten i andra bilar.

Sammanfattning

I undersökningen ingick två dieselbilar och tre elhybridbilar. Mätningarna visar att det generellt var små skillnader i magnetfält mellan de uppmätta bilarna. Alla uppmätta magnetfält ligger långt under referensvärdena som utgör rekommenderade maxnivåer för allmänheten.

Mätobjekt

Totalt valdes fem bilar som tillhandahölls av Teknikens Värld. Modellerna visas i tabell 1. Samtliga var av modellår 2009-2010 och hade automatväxel-låda eller steglös transmission.

Tabell 1. Mätobjekten

Märke	Modell	Drivmedel
BMW	5-serie Touring	Diesel
Honda	Civic	El/Bensin
Honda	Insight	El/Bensin
Toyota	Prius	El/Bensin
Volvo	S80	Diesel

Mätutrustning

Magnetfälten mättes med magnetfältsmätare Combinova MFM 3000, serienummer 106. Mätinstrumentet är riktningsoberoende (isotrop), mäter inom frekvensområdet 5 Hz – 400 kHz och kalibrerades 2007-05-07. Instrumentet är frekvensselektivt vilket innebär att det visar hur magnetfältet är fördelat på olika frekvenser. Värdena som instrumentet ger är RMS-



värden (magnetfältens effektivvärden). Instrumentets mätonoggrannhet är +/- (1% av uppmätt värde +2 nT). Det är försumbart jämfört med mätuppställningarnas övriga osäkerheter, som uppskattas till +/- 20 %.

Genomförande

Mätningarna utfördes 2009-10-20 och 2009-10-21 av Jimmy Estenberg (Strålsäkerhetsmyndigheten, SSM) och Gert Anger (SSM). Under mätningarna närvarade även chaufförerna David Lilja och Johan Ålander från Teknikens Värld.

Under mätningarna kördes bilarna på en vägsträcka där bakgrundsmagnetfältet var så lågt att det inte påverkade mätresultaten, ungefär 0,02 μT (mikrotesla) vid 50 Hz och mindre än 0,01 nT (nanotesla) vid andra frekvenser.

Mätningarna gjordes på fyra olika positioner i varje bil; höger framsäte, vänster framsäte, höger baksäte och vänster baksäte. Vid dessa positioner mättes magnetfältet (5 Hz-400 kHz) i hastigheter mellan 30-110 km/h. Både accelerations- och konstantfartsmätningar gjordes. Vid höger framsäte mättes även magnetfält när bilen stod stilla i tomgång.

Det är känt att metallväven i bildäck kan vara magnetiserade vilket innebär att de alstrar ett växlande magnetfält när däcken roterar. Magnetfältets bidraget från däcken uppskattades genom att mäta när bilen rullade i 30-50 km/h med avstängd motor. Magnetfältstyrkan från däcken är oberoende av hur snabbt däcken rullar, däremot ändras magnetfältets frekvens med hastigheten.

Under mätningarna var bilstereon och de elektriska sätesvärmarna avstänga, AC var igång och temperaturen var inställd på 20°C.

Figur 1 och 2 visar mätuppställningarna för förarplatsen, passagerarplatsen fram och vänster passagerarplats bak.



Figur 1. Magnetfältsmätning på passagerarplats fram och på förarplatsen.



Figur 2. Magnetfältsmätning på vänster passagerarplats bak.



Resultat

Tabell 2 visar magnetfälten för de olika mätsituationer och positioner som presenterats ovan. I figur 3 presenteras medelvärdena.

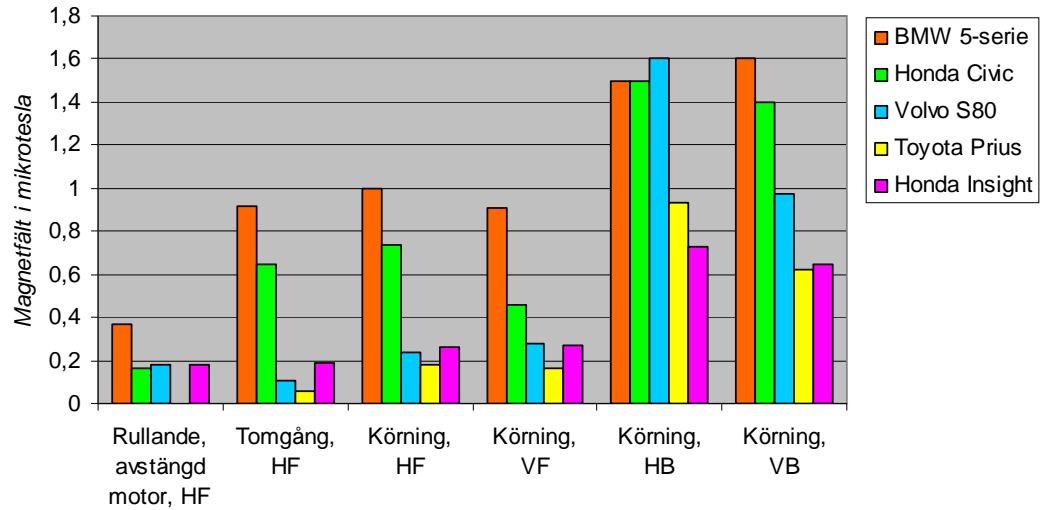
Magnetfälten som genererades av däcken utgjorde i många fall de enskilt största värdena och hade grundfrekvenser runt 7-8 Hz vid farterna 30-50 km/h samt ca 16-17 Hz vid 110 km/h. Magnetfälten från däcken var framförallt tydliga i baksätet, där man kommer närmre hjulhuset jämfört med i framsätet. Magnetfältsbidragen från däcken var ca 0,2-0,7 μT .

Vid mätningarna i BMWn kom det största magnetfältsbidraget från källor som hade frekvenserna 80 Hz respektive 100 Hz. Det är oklart vilka dessa källor var.

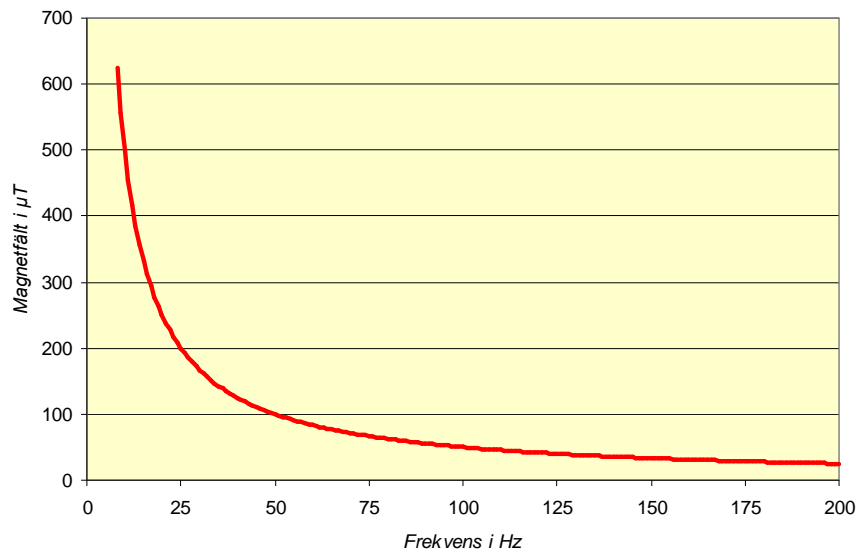
Tabell 2. Uppmätta magnetfält i mikrottesla i de olika bilarna. HF=höger fram, VF=vänster fram, HB=höger bak, VB=vänster bak.

	Honda Civic	BMW 5-serie	Toyota Prius	Volvo S80	Honda Insight
Rullande med avstängd motor, HF	0,1-0,2	0,3-0,4	ej mätt	0,1-0,2	0,1-0,2
Tomgång, HF	0,6-0,7	0,9-1,0	0,06-0,07	0,1	0,2
Körning, HF	0,4-0,8	0,9-1,3	0,1-0,2	0,2-0,3	0,2-0,4
Körning, VF	0,4-0,5	0,7-1,6	0,1-0,5	0,2-0,4	0,2-0,7
Körning, HB	0,9-2,1	1,1-3,4	0,9-1,1	1,4-2,2	0,7-0,8
Körning, VB	1,2-1,7	1,2-2,4	0,5-0,9	0,9-1	0,6-0,7

I figur 3 framgår att magnetfälten i de mätta bilarna var relativt låga. Vid körning i hastigheterna 30-110 km/h var magnetfälten i medel ungefär 0,2-1,6 μT på de uppmätta platserna. Det motsvarar mindre än en hundradel av referensvärdet, rekommenderat maxvärde för allmänheten. De vanligast förekommande frekvenserna var inom området 8-200 Hz. Inom det frekvensområdet varierar referensvärdet enligt figur 4, se SSMFS 2008:18. Referensvärdet är lägre för högre frekvens eftersom magnetfält med högre frekvens alstrar mer ström i människan.



Figur 3. Uppmätta magnetfält (medelvärden) i de olika bilarna. HF=höger fram, VF=vänster fram, HB=höger bak, VB=vänster bak. Magnetfält vid rullande med avstängd motor kunde inte mätas i Toyota Prius.



Figur 4. Allmänhetens referensvärden för magnetfält vid olika frekvenser.



Diskussion

Mätningarna gjordes bara på en bil av varje modell. Det är därför inte möjligt att dra några detaljerade slutsatser för enskilda bilmärken eller modeller. För att kunna göra det krävs betydligt mer omfattande mätningar på fler bilar. Det finns dessutom inte heller någon mätstandard för hur magnetfält ska mätas i fordon, vilket gör att resultaten som presenteras i denna rapport inte nödvändigtvis är helt överensstämmande med andra mätdata. En förbättring vid framtida mätningar skulle vara att utgå från mer exakta mätpositioner.

Strålsäkerhetsmyndigheten bedömer ändå att mätningarna ger en bra bild av vilka magnetfältsnivåer som generellt kan förväntas i bilar.

En av de enskilt största källorna till magnetfält i bilen var de roterande bildäcken. Det är ytterligare en anledning till att det blir missvisande att jämföra resultat från enskilda bilar. En av orsakerna till att magnetfälten var något högre i baksätet jämfört med i framsätet var att man där sitter närmre däcken. En annan orsak kan vara närheten till kablar från batteriet som på en del bilar är monterat bak. Även om batteriet huvudsakligen ger likström så finns även en del överlagrade växelspänningar och transienter som ger upphov till växlande magnetfält.

Om man räknar bort magnetfälten från bildäcken så är skillnaderna i magnetfält generellt mycket små mellan stillastående med motorn på tomgång och körning i 30-110 km/h.

Samtliga uppmätta magnetfält ligger långt under referensvärdena. Som högst uppgår magnetfältens styrka till några enstaka procent av referensvärdet. Det fanns inga större skillnader mellan elhybrider och dieslbilar. Eftersom elhybriderna delvis drevs på bensin finns det ingen anledning att anta att magnetfälten i bensindrivna bilar skulle avvika.

Järnvägsnätet i Sverige ger magnetfält på frekvensen 16,7 Hz vilket är ungefär samma frekvens som bildäcken ger. Det kan därför vara intressant att jämföra magnetfältsnivåerna i de uppmätta bilarna med magnetfälten i tåg. I tåg och pendeltåg kan magnetfälten vara ungefär 7 μT i medelvärde, med toppvärden på drygt 30 μT . I bilarna mättes magnetfält i medelvärde runt 1,6 μT eller lägre.



2010:20

Strålsäkerhetsmyndigheten har ett samlat ansvar för att samhället är strålsäkert. Vi arbetar för att uppnå strålsäkerhet inom en rad områden: kärnkraft, sjukvård samt kommersiella produkter och tjänster. Dessutom arbetar vi med skydd mot naturlig strålning och för att höja strålsäkerheten internationellt.

Myndigheten verkar pådrivande och förebyggande för att skydda människor och miljö från oönskade effekter av strålning, nu och i framtiden. Vi ger ut föreskrifter och kontrollerar genom tillsyn att de efterlevs, vi stödjer forskning, utbildar, informerar och ger råd. Verksamheter med strålning kräver i många fall tillstånd från myndigheten. Vi har krisberedskap dygnet runt för att kunna begränsa effekterna av olyckor med strålning och av avsiktlig spridning av radioaktiva ämnen. Vi deltar i internationella samarbeten för att öka strålsäkerheten och finansierar projekt som syftar till att höja strålsäkerheten i vissa östeuropeiska länder.

Strålsäkerhetsmyndigheten sorterar under Miljödepartementet. Hos oss arbetar drygt 250 personer med kompetens inom teknik, naturvetenskap, beteendevetenskap, juridik, ekonomi och kommunikation. Myndigheten är certifierad inom kvalitet, miljö och arbetsmiljö.

Strålsäkerhetsmyndigheten
Swedish Radiation Safety Authority

SE-171 16 Stockholm
Solna strandväg 96

Tel: +46 8 799 40 00
Fax: +46 8 799 40 10

E-post: registrator@ssm.se
Webb: stralsakerhetsmyndigheten.se