



r

SSI Rapport

SSI report

97:04 GERT ANGER, SSI. ANDRÉ BERGLUND, KJELL HANSSON MILD,  
ARBETSLIVSINSTITUTET, UMEÅ

*Magnetfält  
i elektriska lok*

STATENS STRÅLSKYDDSinSTITUT



*Statens strålskyddsinstitut*  
Swedish Radiation Protection Authority



SSI-rapport 97:04

Date of Issue: April 1997

ISSN 0282-4434

PRIS/PRIZE: 60 SEK

**FÖRFATTARE/AUTHOR:**

Gert Anger, SSI, Avdelning för Miljöövervakning och Mätning  
André Berglund, Kjell Hansson Mild, Arbetslivsinstitutet,  
Arbetsmedicinska enheten, Umeå

**TITEL/TITLE:**

Magnetfält i elektriska lok  
Magnetic Fields in Electric Locomotives

**SAMMANFATTNING/ABSTRACT:**

Svenska järnvägar drivs med 15 kV 16 2/3 Hz enfas växelström. I denna rapport redovisas mätningar av magnetfält vid förarplatsen i elektriska lok. Undersökningen gjordes dels i ett äldre elektromekaniskt lok, dels i olika nyare thyristorstyrda lok. Det visade sig att magnetfälten var starkare i äldre lok än i modernare loktyper.

Swedish railways run with 15 kV 16 2/3 Hz single phase alternating current. This study describes measurements of magnetic fields at the engine-driver's place in electric locomotives. Measurements were done both in an older electromechanic engine and in different more modern thyristor controlled ones. It was evident that there were stronger magnetic fields in older locomotives than in engines of later production.

**NYCKELORD (valda av författaren):**

magnetfält, lok

**KEY WORDS (CHOSEN BY THE AUTHOR):**

Magnetic, Field, Locomotive



*Statens strålskyddsinstitut*  
Swedish Radiation Protection Institute

Adress: Statens strålskyddsinstitut; se-171 16 Stockholm; Sweden  
Besöksadress: Karolinska sjukhusets område, Hus Z5.  
Telefon: 08-729 71 00, Fax: 08-729 71 08



# MAGNETFÄLT I ELEKTRISKA LOK

## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1. Inledning	1
2. Det svenska järnvägssystemet	2
2.1 Järnvägens elektrifiering	2
2.2 Elförsörjning av järnvägen	3
2.3 Elektrisk utrustning i elloken	4
2.3.1 Da-lok	4
2.3.2 Rc-lok	5
2.4 Ellokparkens fördelning	8
3. Material och metoder	10
3.1 Mätinstrument	10
3.2 Loktyper och körningar	12
3.3 Mätutförande	13
4. Mätresultat	14
4.1 Långtidsmätningar	14
4.1.1 Mätresultat för hela arbetspass	14
4.1.2 Mätningar vid körning längs enkelspår	16
4.1.3 Mätningar vid körning längs dubbelspår	22
4.1.4 Magnetfältvariationer och motorström	22
4.1.5 Magnetfält från källor längs banvallen, ej kontakt- och återledningar	23
4.2 Korttidsmätningar	23
4.2.1 Kurvform och frekvensanalys av magnetfälten	24
4.2.2 Riktning av magnetfälten	25
5. Diskussion	28
6. Sammanfattning	33
7. Summary	34
8. Referenser	36
9. Erkännande	36
10. Bilaga	37



# MAGNETFÄLT I ELEKTRISKA LOK

## 1. INLEDNING

Under det senaste decenniet har det gjorts ett stort antal epidemiologiska undersökningar om ett eventuellt samband mellan yrkesmässig magnetfältsexponering och en ökad risk för malignitet, främst leukemi och hjärntumörer (se vidare t ex Hardell et al., 1995, och Kheifets et al., 1995).

Studier har även gjorts bland järnvägsanställda. Floderus et al (1994) undersökte incidensen av cancersjukdomar hos de som var yrkesverksamma under perioden 1961 - 1979. Därvid sågs en förhöjd risk för kronisk lymfatisk leukemi bland lokförare under perioden 1961-69. I en nyligen publicerad studie av Alfredsson m.fl. (1996) om cancerincidens under tiden 1976-90 bland lokförare finner man en ökning av lymfatisk leukemi (RR=2,3, 95%KI: 1,0-4,5).

Lokförare utsätts under sin yrkesutövning för relativt höga magnetiska flödestätheter medan exponering för andra genotoxiska ämnen bedöms som försumbar.

De mätningar av magnetfält som hittills gjorts på lok (Stenlund et al, 1989) har varit av enklare slag och hänsyn har inte tagits till de speciella förhållanden som finns i loken. För att få en bättre förståelse för den exponeringssituation som råder, och därigenom bättre kunna bedöma vilken eller vilka faktorer i den elektromagnetiska miljön på lok som eventuellt är kopplad till cancerrisk, finns behov av såväl korttidsmätningar med frekvensanalys som långtidsmätningar med loggande instrument.

Eftersom bara ett fåtal Da-lok är kvar i trafik är det också av intresse att mäta magnetfälten i ett Da-lok vid lokförarens placering och jämföra resultaten med motsvarande mätningar i de modernare tyristorstyrda Rc-loken. Samtidigt gav undersökningen tillfälle att prova olika typer av mätutrustningar i en mera komplex miljö än i laboratoriet.





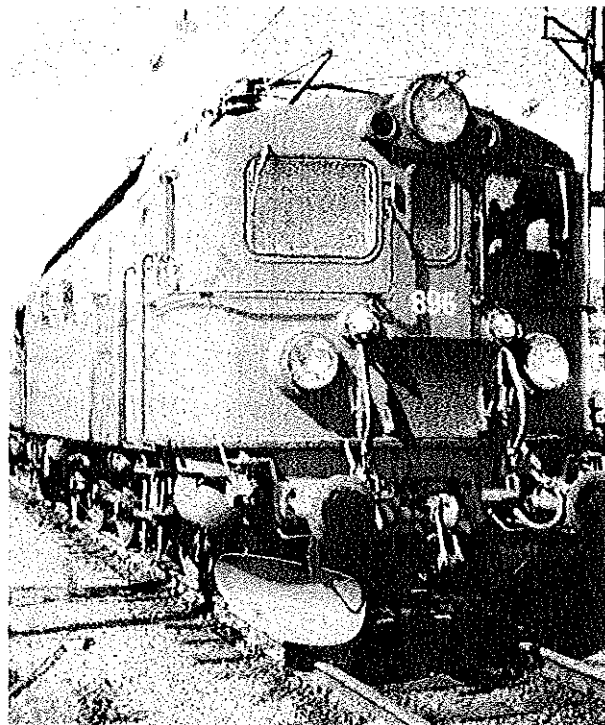
## 2. DET SVENSKA JÄRNVÄGSSYSTEMET

### 2.1 Järnvägens elektrifiering

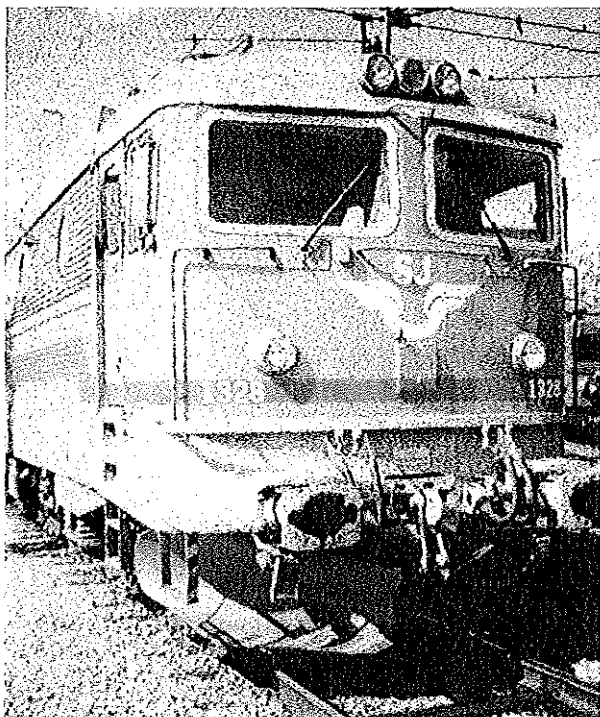
Det svenska järnvägsnätet har för närvarande en total längd av 10 960 km, varav 67 % eller 7335 km är elektrifierade (Banverket, 1993). Mer än 90 % av all personbefordran inom Statens järnvägar (SJ) utförs idag med elektrisk dragkraft.

Den första elektriskt drivna banan i Sverige, en 750 m lång transportbana i Boxholm i Östergötland, togs redan i bruk 1890. 1923 fastställdes att enfas växelström, som krävde endast en kontakttråd, med en frekvens av  $16 \frac{2}{3}$  Hz och en nominell spänning på 15 kV skulle användas för den fortsatta elektrifieringen. Förutom i Sverige drivs järnvägen också i fyra andra länder i Europa, Norge, Tyskland, Österrike och Schweiz, med  $16 \frac{2}{3}$  Hz 15 kV enfas växelström. I de övriga europeiska länderna används antingen likström eller 50 Hz, 25 kV enfas växelström.

Under elektrifieringen av västra stambanan tillkom 1925 en loktyp, D-loket, som fram till 1943 tillverkats i 332 exemplar. D-loket har två motorer som via kugghjul driver en blindaxel. Därifrån överförs rörelsen med koppelstänger till tre drivaxlar. De första D-loken (Dg för gods- och Ds för snälltåg,) hade en effekt av 1 222 kW. 1936 byggdes också en variant (Dk) med 1472 kW.



Figur 1: Da-lok 896.



Figur 2: Rc5-lok 1328.

elektroniska styrsystem medger en steglös effektreglering av lokets fyra traktionsmotorer. Rc-

En ny serie koppelstångslok, Da-loken (figur 1), började tillverkas 1952. De var en modernare variant av D-loken och tillverkades fram till 1957 i 93 exemplar. 1953 tillkom dessutom Dm-loken för malmbanan, som tillverkades sammanlagd i 78 exemplar. De första Da- och Dm-loken hade en motoreffekt av 1840 kW respektive 4800 kW. Malmbanans ökande transportkapacitet gjorde att det från 1960 - 1970 tillverkades 19 stycken sk Dm3-loken, som består av tre Dm-lokhalvor med en sammanlagd motoreffekt av 7200 kW. Gemensamt för alla D-lok är att växelströmsmotorerna regleras genom att man via kontaktorer kopplar in olika uttag från lokets transformator. Samma styrteknik används också i SJ:s växellok av typ Ud, Ue och Uf, varav det 1994 fanns 77 exemplar kvar.

Vid årsskiftet 1966-67 började leveransen av en ny typ av lok, det boggidrivna Rc-loket (fig. 2), som var det första serietillverkade loket i världen med tyristorreglerade likströmsmotorer. Det

loken har dessutom både hastighets- och dragkraftsmässiga fördelar gentemot D-loken. De finns för närvarande i sex olika serier, Rc1 - Rc6, och bildar idag stommen i SJ:s lokpark.

Från och med 1990 introducerades en ny typ av tåg, det sk snabbmotorvagnståget, som består av en tyristorstyrd drivenhet X2, mellanvagnar och en manövervagn.

## 2.2 Elförsörjning av järnvägen

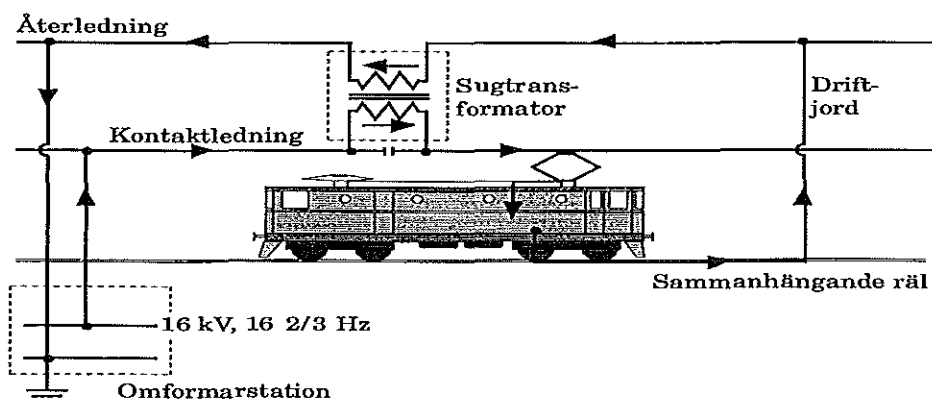
### Kontaktledning

Svenska järnvägar drivs med en nominell enfas växelspänning på 15 kV, 16 2/3 Hz, som överförs från omformarstationer via kontaktledningar till strömavtagarna på de elektriska fordonen ute på linjen. Strömmen i kontaktledningen kan uppgå till ca 300 A. Ledningen är monterad 5,0 - 5,6 m över rälen och består av kontakttråd, bärlina och bärtrådar. För att kunna begränsa eventuella fel på kontaktledningen är kontaktledningsnätet indelat i ca 1200 m långa linjesektioner, som är sammankopplade med enkla frånskiljare.

Inmatningen till ledningsnätet sker från omformarstationer, som finns med jämna mellanrum längs banan. De olika kontaktledningsdelarna kan ha något olika spänning. De är därför separerade av särskilda ca 180 m långa skyddssektioner, som kan hållas spänningslösa för att förhindra att lokens strömavtagare sammankopplar kontakttrådarna där spänningar kan vara något olika. På mätsträckan i Stockholmstrakten fanns det tre skyddssektioner, vid Hagalund, vid Kallhäll station och vid infarten till Tillbergas bangård.

### Återledning

Strömmen återförs från loken via hjulen och en av rälen, sammanhängande (s-) rälen, till omformaren. För att minska störningar i det vanliga svagströmsnätet intill banvallen genom kraftiga räl- och jordströmmar har man infört särskilda återledningar, som är placerade på kontaktledningsstolparna i samma höjd som kontaktledningarna men ca 3 m i sidled från dessa. Återledningsnätet är anslutet till s-rälen via sk jordslutare, som finns vid kontaktledningsstolparna med ca 5 km mellanrum längs banan. Återgångsströmmen tvingas tillbaka till återledningen med hjälp av särskilda strömtransformatorer, s.k. sugtransformatorer med omsättningen 1:1. Sugtransformatorerna är inkopplade mellan kontakt- och återledningen och finns 5 - 6 km ifrån varandra på stolpar längs banvallen, se figur 3. Vid Stockholmsmätningarna passerades ca. 20 sugtransformatorer under färden från Stockholm till Tillberga.



Figur 3: Principskiss av strömförsörjning vid svensk järnväg.

## Hjälpkraftledning

På kontaktledningsstolparna och parallellt med återledningen finns också en 10 kV eller 20 kV, 50 Hz kraftledning för att försörja signalanläggningar, belysningar och uppvärmning av växlar längs spåret med ström. Spänningen transformeras ner till 230 V eller 380 V av transformatorer, som antingen är placerade fristående på marken eller monterade på kontaktledningsstolparna.

## 2.3 Elektrisk utrustning i elloken

### 2.3.1 Da-lok

#### Elförsörjning och kraftöverföring

Loket är försett med två strömavtagare, som kan manövreras oberoende av varandra och separat frånskiljas från järnvägens 15 kV-elsystem. Från strömavtagaren leds spänningen via högspänningsgenomföringen och ett överströmsrelä till huvudtransformatorns primärlindning. Transformatorn, som är av manteltyp, innehåller sekundärlindningar med elva uttag, som är försedda med kontakter för anslutning av traktionsmotorer, hjälpmaskiner, tågvärme, hjälptransformator och reglertransformator. Huvuddelarnas placering i apparatskåp i maskinrummet framgår av figur 4. Da-loket har två förarhytter, A och B, i var sin ände. I varje förarhytt finns det två dörrar till maskinrummet.

Da-loket har en total effekt av  $2 \times 920 = 1840$  kW och är avsett för en största hastighet av 100 km/h. Det består av ett ramverk med två traktionsmotorer, tre drivaxlar, en blindaxel och två löpaxlar. Motorernas kraft överförs från rotoraxlar via fjäderkopplingar, kuggväxlar, blindaxel och koppelstänger till drivaxlarna.

Spänningsreglering av de två seriekopplade traktionsmotorerna skall ske med liten spänningsskillnad mellan stegen. Därför tas spänningen från tio olika uttag på huvudtransformatorns sekundärsida och delas sedan med hjälp av en reglertransformator till en variabel spänning mellan 0 och 296 V.

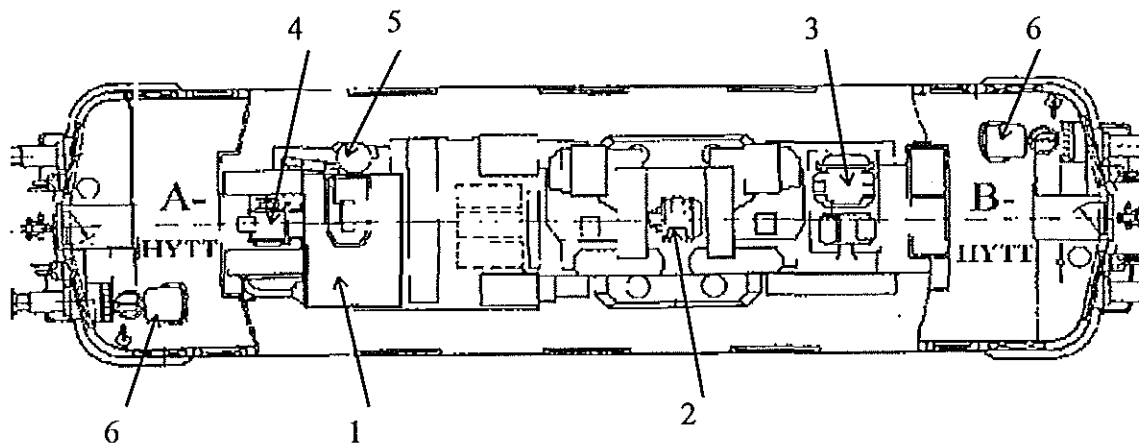
#### Hjälpmaskiner

Ventilatorer för kylning av transformatorn och traktionsmotorerna, oljepumpen för cirkulation av olja genom huvudtransformatorn och kompressorn för tryckluftsutrustning drivs av ett hjälpmaskinsystem, som består av fyra stycken (12,5 kW, 22 kW, 3 kW, 16,2 kW) 4-poliga enfas växelströmsmotorer vars spänning tas ut från huvudtransformatorns hjälpeffektuttag på 213 V. Medan oljepumpsmotorn är i drift så fort huvudtransformatorn är spänningssatt, slås de övriga hjälpmotorerna till och från med strömställare i förarhytten.

#### Övriga elsystem

I varje hytt finns det fyra värmelement och en värmebläkt, som matas från huvudtransformatorns hjälpeffektuttag på 213 V och in- och urkopplas med en strömställare i respektive förarhytt. Även vissa apparater i maskinrummet är försedda med värmelement, som matas från samma hjälpeffektuttag, men in- och urkopplas med en strömställare placerad i ett apparatstativ i maskinrummet.

Reservbelysning, hastighetsmätarbelysning och instrumentbelysning i loket matas med 6 V växelspanning från hjälptransformatorn. Lokets alla taklampor och strålkastare matas med 72 V växelspanning från en hjälptransformator, som är ansluten till huvudtransformatorns hjälpeffektuttag. Tidtabellslamporna däremot matas från lokets batteri med 72 V likström. Batteriet, som bl a också används för att höja och sänka strömavtagaren, laddas med ström från hjälptransformatorn, som likriktats med en likriktare av selentyp.



**Figur 4:** Huvuddelarnas placering i Da-loket. (SJS 1982)

- |                            |                                  |               |
|----------------------------|----------------------------------|---------------|
| 1: Huvudtransformator      | 2: Traktionsmotor med ventilator | 3: Kompressor |
| 4: Transformatorventilator | 5: Oljepump                      | 6: Förarplats |

### Tågvärme

Tågvärmen matas från sekundärlindningens 800 eller 1000 V uttag (16 2/3 Hz). Tågvärme-strömmen leds via en kontaktor till kopplingskabeln i lokets ändar och genom tågvärmekabeln till apparater i vagnarna och sedan vidare genom värmekablar under vagnarnas golv. Återledningen av strömmen sker genom vagnarnas ramverk, hjul, rälerna, samt lokets hjul och ramverk, och via återlednings- och strömtransformatorer till huvudtransformatorns sekundärlindning.

### 2.3.2 Rc-lok

#### Elförsörjning och kraftöverföring

Rc-loken finns i sex olika tillverkningsserier, Rc1 - Rc6. Rc-loken är boggilok, där de fyra traktionsmotorerna är fast upphängda med två på varje boggis ramverk. De har en total effekt av  $4 \times 900 = 3600$  kW. Medan Rc1-, Rc2-, Rc4- och Rc5-lok är avsedda för en största hastighet på 135 km/h är Rc3- och Rc6-lok byggda för en maxhastighet på 160 km/h. Kraften överförs från motorns rotor via en tandkoppling till en torsionsaxel och därifrån via en gummikoppling till kuggväxeln och hjulaxeln.

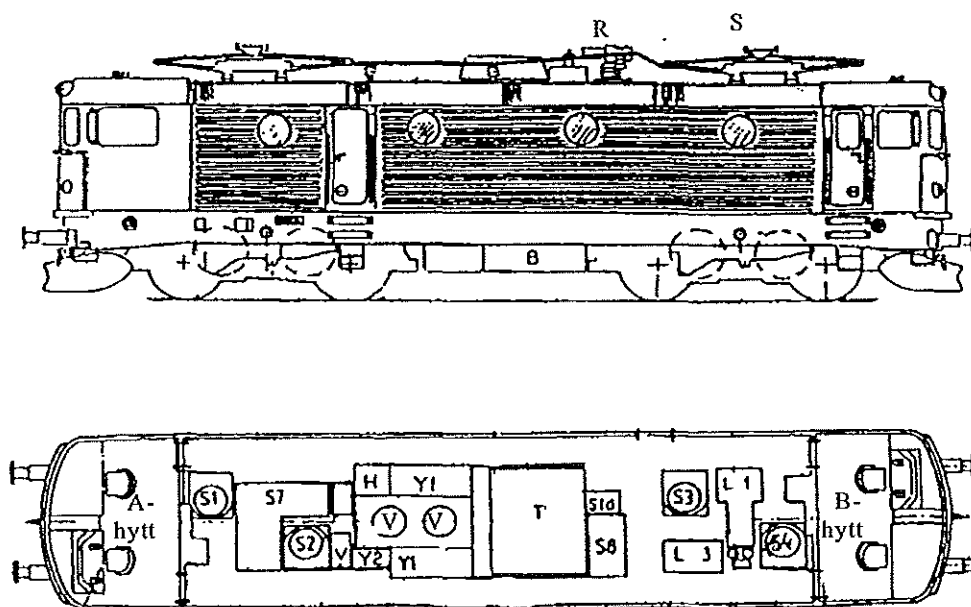
Även Rc-loken har två strömvtagare, som kan manövreras oberoende av varandra och med vars hjälp strömmen leds från 15 kV kontaktledningen till huvudtransformatorn. Den är en kärntransformator med primärlindningen av koppar och olika sekundärlindningar av aluminium för matning av traktionsmotorer, tågvärme och hjälpkraft. Primärlindningen är jordad via en återledningstransformator för att tvinga strömmen att passera via återledningsdonen istället för hjulaxellagren till rälerna. Ovanför transformatorn finns dessutom ett antal glättningsreaktorer inbyggda i transformatorkärlet.

Alla erforderliga kontaktorer, strömställare, reläer, säkringar, övriga komponenter och apparater är sammanförda i olika skåp i maskinrummet, se figurerna 5 - 7. Även Rc-lok har två förarhytter, A och B, i var sin ände med en dörr till maskinrummet.

## Motorreglering

Traktionsmotorerna, som är tyristorstyrda för att möjliggöra en steglös effektregering, drivs med pulserande likström. De består av separatmagnetiserade likströmsmotorer, som matas via strömriktare, som likriktar och styr strömmen från transformatorn. Strömmen passerar dessutom en glättningsreaktor innan den tillförs respektive motors rotor. Startströmmen kan uppgå till 2080 A, fältströmmen kan maximal bli 290 A. Fältströmmen till motorerna tas från var sin fältströmriktare, som matas från en särskild lindning från transformatorn. Tyristorerna i strömriktaren är vända på sådant sätt att den dra ström från transformatorns båda lindningshalvor under båda halvperioder.

Motorerna är två och två via var sin rotorströmriktare parallellkopplade till två gemensamma transformatorlindningar. Varje strömriktare är uppdelad i två bryggenheter, som innehåller ett antal tyristorer och dioder. Tyristorerna i de fyra rotorströmriktare styrs av totalt fyra styripulsdon, som omvandlar styrsignaler från reglerutrustningen till styripulser i takt med nätspänningen och med ett fasläge så att strömriktarens spänning blir proportionellt med styrsignalen. Likspänningen från strömriktarbryggorna ligger i serie med varje traktionsmotor och kan steglöst



Figur 5: Huvuddelarnas placering i Rc5/6-lok (Sjöborg, 1995).

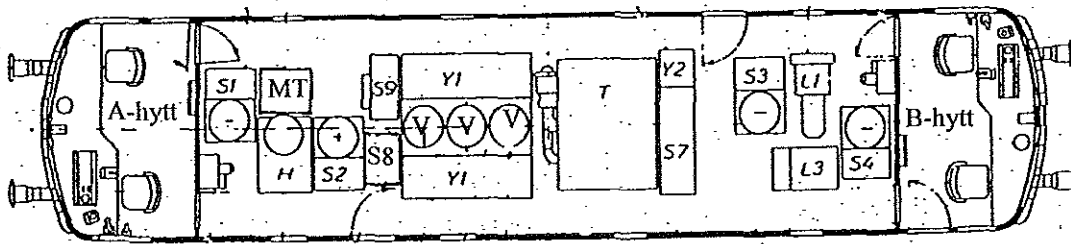
S: strömavtagare, R: huvudbrytare, T: huvudtransformator, Y1: strömriktare, M1-M4: traktionsmotorer, V: ventilator och oljekylare för strömriktare och transformator, S1-S4: ventilatorer för traktionsmotor, S7: skåp för manöversystem, S8: skåp för kontaktorer och filterutrustning, S10: glättningsreaktorer, H: hjälpkraftomriktare, Y2: skåp med styr- och reglerutrustning, B: batterier, ATC: ATC-utrustning, L1: huvudkompressor, L3: tryckluftstativ.

styras upp från noll. När båda bryggorna är fullt utstyrda har traktionsmotorerna nått sin maximala spänning av 870 V. Vid hastighet under ca 40 km/h är motorspänningen låg och genom bryggväxling blir alla transformatorlindningar lika belastade. Vid hastighet över 40 km/h ökas spänningen genom seriekoppling av två transformatorlindningar, som då belastas av två motorer med dubbelt så stor strömmatning som följd.

Strömriktarna är placerade i två rader av tredelade plåtskåp bredvid transformatorn. Varje skåp-rad är utrustad med 4 stycken strömriktarbryggor för två rotorkretsar och en enhet för två fältströmriktare. I de mellersta skåpen finns också fläktar och värmväxelpaket med kylare för strömriktare, reaktorer och transformatorn. Dessutom finns det i ett skåp en strömriktare för batteriladdning och i ett annat skåp en oljepump för strömriktarens kylsystem.

I Rc2- och Rc3-loken är strömriktarna betydligt större och tyngre än i de modernare Rc5- och Rc6-loken. Eftersom det med dåtidens komponenter inte var möjligt att styra lokens starka strömmar var man tvungen att parallellkoppla ett större antal tyristorer och dioder. I Rc4-loken lyckades man att utforma strömriktarna betydligt mindre genom att ungefär halvera antalet halvledarkomponenter. Antalet tyristorer och dioder i strömriktarna kunde ytterligare reduceras i Rc5- och Rc6-loken. Strömriktarna kunde därför få en mindre och mera kompakt utformning och placeras tillsammans med hjälpkraftsomriktaren i apparatskåp bredvid transformatorn. Dessa ändringar har också bidragit till en annorlunda placering av några apparatstativ. Även motorerna i Rc5/6-lok har fått en delvis ny utformning, men mekaniskt och elektriskt skiljer de sig inte från motorerna i tidigare Rc-lok.

Under loken hänger i en låda fyra stycken sk telefilter, som är kopplade till var sin traktionsmotorlindning. Var och en består av kondensatorer och reaktorer med uppgiften att dels höja motorernas effektfaktor och dels filtrera bort de övertoner som bildas vid tändning och släckning av tyristorerna.



Figur 6: Huvuddelarnas placering i Rc4-lok (Sjöborg, 1995).

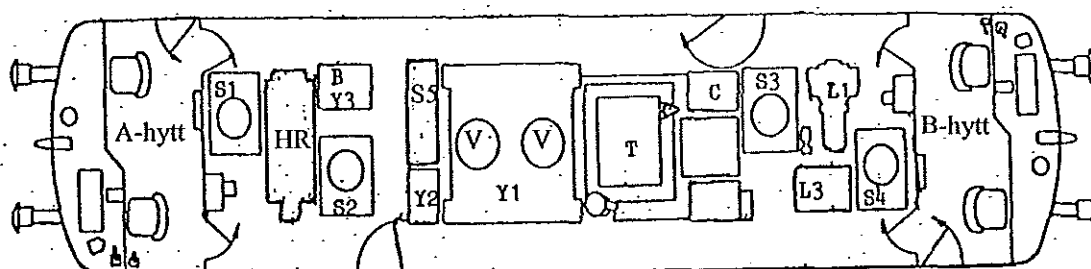
MT: mellantransformator (i lok nr 1137-1176), övriga förklaringar se figur 5

### Hjälpmaskiner

Hjälpmaskinerna utgörs av nedre och övre fläktmotorer till traktionsmotorerna, 3 fläktmotorer till strömriktare, fläktmotor till omriktare, 2 oljepumpmotorer till transformatorn och strömriktare, kompressormotor och maskinrumsventilator. Alla dessa hjälpmaskiner består av trefasstandardasynkronmotorer, som drivs med sinusliknande 3 x 380 V, 50 Hz (effektivvärde 420 V).

I Rc1-, Rc2- och Rc3-loken alstras trefasspänningen med hjälp av roterande omformare på 80 kW. Omformaren matas med 220 V från en lindning på huvudtransformatorns hjälpkraftlindning och består av en 2-polig enfas asynkronmotor, som driver en trefas asynkrongenerator. En del av Rc2-loken, nr 1127 - 1136, har byggts om och utrustats med statiska omriktare. För detta ändamål har en mellantransformator installerats, som upptransformerar huvudtransformatorns 220 V-uttag till 750 V, som krävs som matning av omriktaren, se figur 7. I Rc4-, Rc5- och Rc6-loken alstras den erforderliga trefasspänningen med hjälp av en statisk omriktare på 83 kW. Med hjälp av tyristorer omvandlas 16 2/3 Hz enfasspänningen på 750 V från huvudtransformatorns hjälpkraftlindning till 3x380 V på 50 Hz-spänning. Äldre Rc4-lok (fram t o m nr. 1176) levererades dock med roterande omformare, vilka senare byttes ut mot statiska omriktare. För

matningen av omriktaren försågs dessa Rc4-lok då med en mellantransformator för 750 V, som i sin tur matas med 250 V från hjälpkraftlindningen.



Figur 7: Huvuddelarnas placering i Rc2/3-lok (Sjöborg, 1995).

HR: Roterande omformare (i lok nr 1127-1136 ersatt med omriktare och mellantransformator),  
Y3: batteriladdningsdon, övriga förklaringar se figur 5.

### Övriga elsystem

Värmeutrustningen i loken består dels av ett värmeaggregat med fläkt, som är placerat i maskinrummet på väggen mot respektive förarhytt, och två elkaminer, som finns under durkarna vid förar- resp biträdesplatsen. Lokens värmeutrustning matas från huvudtransformatorns hjälp-effektuttag med 213 V, 16 2/3 Hz. I vardera förarhytt finns det ett stativ med olika reläer, strömställare och säkringar för lok- och tågvärme.

Vid förarplatsen finns det en signaltabla, strömställare för belysning, fläktar mm, hastighetsmätare och en instrumentpulp, som innehåller en manometer, hastighetsreferens, voltmeter för linjespänningen och amperemeter för motorströmmen.

Batteriladdningsdonet matas från huvudtransformatorn via en hjälptransformator med 100 V och 16 2/3 Hz. Batteriets likspänning används för matning av reläer, kontaktorer och invändig belysning, som består av två taklampor och tre tidtabellslampor i varje förarhytt. Liksom i Da-loket hänger ATC-panelen till höger om trafikradion ovanför instrumentpulpeten.

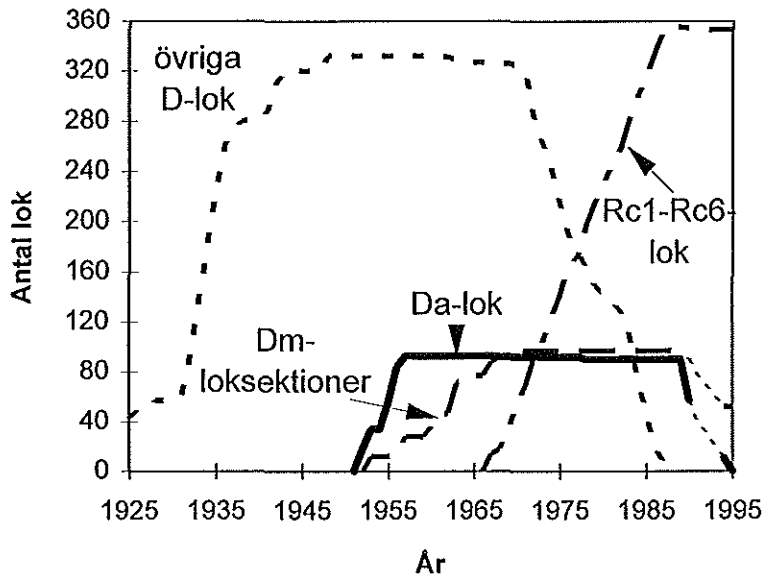
I Rc4-, Rc5- och Rc6-lok matas strålkastare med 28 V, 50 Hz från hjälpkraftsystemet. I Rc2-lok med omformare matas dock strålkastarna från hjälptransformatorn med 29 V, 16 2/3 Hz.

### Tågvärme

Liksom i Da-loket matas tågvärmerna med 800V eller 1000 V, som tas direkt från transformatorn via kontaktorer.

## 2.4 Ellokparkens fördelning

1925 togs de första 43 elloken med litterabeteckning Dg och Ds i drift. Som mest fanns det 332 D-lok med litterabeteckningar Df, Dg, Dk, Dr, Ds och Du. Den nya serien elektromekaniska lok, Da-loket, började levereras 1952 i 18 exemplar. Ett år senare tillkom 6 stycken Dm-lok (12 sektioner) för malmbanan, som var utförda som dubbellok där varje sektion i princip var ett Da-lok. Som mest fanns det mellan 1957 och 1967 93 Da-lok och från 1964 till 1966 34 Dm-lok (68 sektioner). Allt eftersom malmtågen skulle lastas till större bruttovikt fick SJ anskaffa starkare lok för malmbanan. Dm-loket kompletterades därför med en mellansektion av samma principiella utförande. Det nya loket, bestående av tre Da-sektioner, kallades Dm3 och levererades 1960 med tre exemplar (9 sektioner). Efter 1966 byggdes några Dm-lok om till Dm3-lok, som sedan 1970 finns i 19 exemplar (57 sektioner).

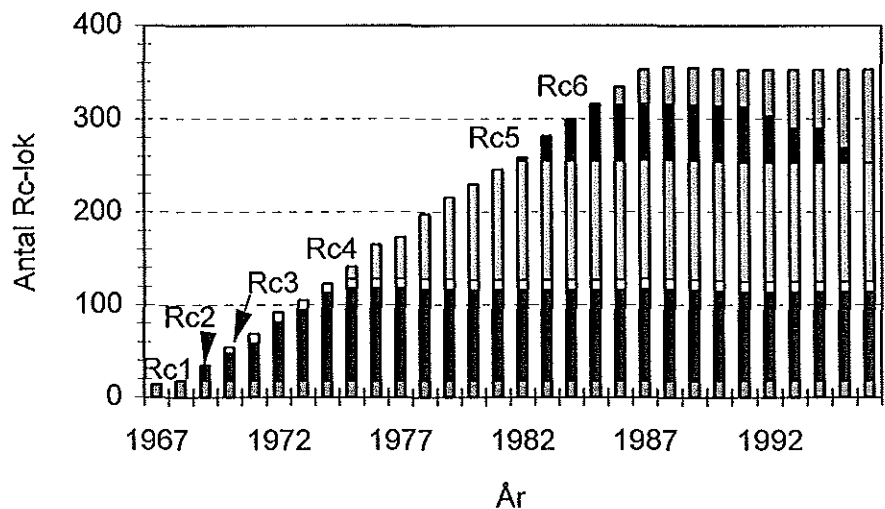


**Figur 8:** Lokparkens fördelning mellan D- och Rc-lok.  
Uppgifter om Da- och Dm-lok för 1991-93 saknas, (Wretman, 1989, Diehl et al 1969-94).

Sedan den nya generationen tyristorstyrda Rc-lok introducerades 1967 med 14 stycken Rc1-lok har antalet Rc-lok i SJ:s lokpark stadigt ökat. Samtidigt togs allt fler av de elektromekaniska D-loken ur trafik, se figur 8. Redan tidigare hade Dr- och Ds-loken skrotats. 1967 var fortfarande 507 D-lok i drift, varav 93 Da-lok och 46 Dm-respektive 42 Dm3-sektioner. 1988 fanns endast Da- och Dm-lok kvar, sammanlagt i 129 exemplar (varav 90 Da-lok, 20 Dm-lok och 19 Dm3-lok). Samma år upphörde också utbildningen av lokförare på Da-loken och som

då användes allt sparsamare i reguljär trafik. 1994 hade antalet minskat ytterligare till 52 Dm-enheter (2 Dm- och 16 Dm3-lok) och 11 Da-lok, varav de senare dock inte var längre regelbundet i drift utan hölls endast kvar som reserv.

Utbyggnaden av lokparken med Rc-lok fortsatte fram till 1975 med leveranser av sammanlagt 110 Rc2- och Rc3-lok, se bild 9. Under detta år började introduktionen av Rc4-lok, som byggdes fram till 1982 i 128 exemplar. Desutom byggdes 1977 sex stycken tyristorstyrda lok för malmbanan, de sk Rm-loken. 1982 tillkom de första fyra Rc5-loken, vars antal ökade fram till 1986 till 60 exemplar. Leveransen av Rc6-loken började 1985 och pågick fram till 1989 med sammanlagt 40 exemplar. Det allt



**Figur 9:** Lokparkens fördelning mellan olika Rc-lok, (Diehl et al 1969-94).

större behovet av lok med större hastighet medförde att man från och med 1992 byggde om allt fler Rc5-lok till Rc6-lok. Således ska 1996 alla Rc5-lok vara uppväxlade till Rc6-lok.



### 3. MATERIAL OCH METODER

#### 3.1 Mätinstrument

För att undersöka magnetfälten i förarhytten användes tre olika typer av personburna, loggande magnetfältsinstrument (Emdex Lite, Emdex II och Radians Innova ML1). De olika loggande mätinstrumenten, som användes samtidigt, synkroniserades innan mätningarna började. Dessutom utnyttjades två direktvisande instrument (Radians Innova BMM-3 och Combinova MFM10). Mätdata överfördes från instrumenten till en PC och bearbetades med hjälp av programmen Excel och Emcalc version 2.12. Det senare är speciellt utvecklad för att användas tillsammans med de två typerna av Emdex instrument.

För att ta reda på magnetfältens frekvensinnehåll utnyttjades vid Norrlandsmätningarna ett digitalt oscilloskop (LeCroy 9360) och vid Stockholmsmätningarna en tvåkanals datalogger (Pico ADC-100), båda i kombination med BMM3 instrumentet.

##### **Emdex Lite**

Detta instrument, som användes vid alla mätningar, är en kombinerad datalogger och givare för magnetisk flödestäthet. Minneskapaciteten, som oftast är den begränsande faktorn för hur långa registreringar som kan göras, är 128 kb. Instrumentet har tre stycken ortogonalt placerade spolar vilka registrerar effektivvärden på fältkomponenterna  $B_x$ ,  $B_y$  resp  $B_z$  inom intervallet 0–70  $\mu\text{T}$ . Instrumentet medger också avläsning av resultatens effektivvärde (rms-värde). Frekvensområdet inom vilket instrumentet arbetar är 10–1000 Hz (den lägre gränshänsen är specialanpassad för detta projekt). Samplingstiden kan programmeras från 4 s och uppåt. Vid dessa mätningar användes dock alltid den snabbaste samplingstiden på 4 s, vilket på grund av minnets begränsning gav en arbetstid på ca. 24 h.

##### **Emdex II**

Detta instrument är i princip uppbyggt på samma sätt som Emdex Lite instrumentet. Skillnaden är att den lägsta frekvensen som kan registreras är 40 Hz vilket innebär att detta instrument inte kunde användas för direkta mätningar av magnetfälten på tåg eftersom grundfrekvensen är 16 2/3 Hz. Emdex II har dock den fördelen att det kan registrera "event-markeringar". Därför användes Emdex II instrumentet vid Norrlandsmätningarna för att korrelera anteckningar och data från Emdex Lite instrumentet.

##### **Radians Innova ML1**

Instrumentet ML1 liknar i sin uppbyggnad Emdex-instrumenten, men har ett något annorlunda frekvensområde på 30 - 2000 Hz. Instrumentet dämpar magnetfälten vid 16 2/3 Hz ca 5,3 gånger (14,5 dB) och användes därför endast vid Stockholmsmätningarna för att bedöma fältens övertonshalt.

##### **Radians Innova BMM3**

Detta instrument har en prob med tre ortogonalt monterade spolar vilka ger x-, y- och z-komponenterna av magnetfältet och medger avläsning av den resulterande flödestäthetsens effektivvärde (rms-värde). Fem olika frekvensband kan väljas: 16 2/3, 50, 60, 150 samt 5–2000 Hz. De fyra första frekvensbanden är smalt filtrerade och användes inte vid dessa mätningar.

Instrumentet har en oscilloskoputgång för varje spole samt en DC utgång som visar rms-värdet av resultatet. Monitorutgången kopplades vid Stockholmsmätningarna till en batteridriven nivåskrivare (Brüel & Kjær 2306) för att vara till hjälp vid protokollförandet under färden.

Vid Norrlandsmätningarna anslöts oscilloskoputgångarna till LeCroy 9360 för att magnetfältets frekvensinnehåll skulle kunna studeras. Vid Stockholmsmätningarna kopplades utgångarna

istället till tvåkanals dataloggern (Pico ADC-100), som med hjälp av en batteridriven PC och programvaran PicoLog och PicoScope kunde användas som datalogger, digitalt oscilloskop eller FFT-analysator.

### Combinova MFM 10

Även Combinova MFM 10, som endast nyttjades vid Stockholmsmätningarna, har en prob med tre ortogonalt monterade spolar, vilka medger registrering av den resulterande flödestäthetens effektivvärde i frekvensområdet 5 -2000 Hz. Instrumentet kan också användas för dataloggning av magnetfältet. Vid dessa tillfällen valdes en samplingshastighet av ett sampel var sjätte sekund. Med hjälp av en särskilt utskriftsmod, där man kan läsa ut 1024 sampel för de sista två perioderna av magnetfältssignalen, kan man dessutom registrera signalens kurvform i tidsdomänen för var och en av de tre mätpolarna.

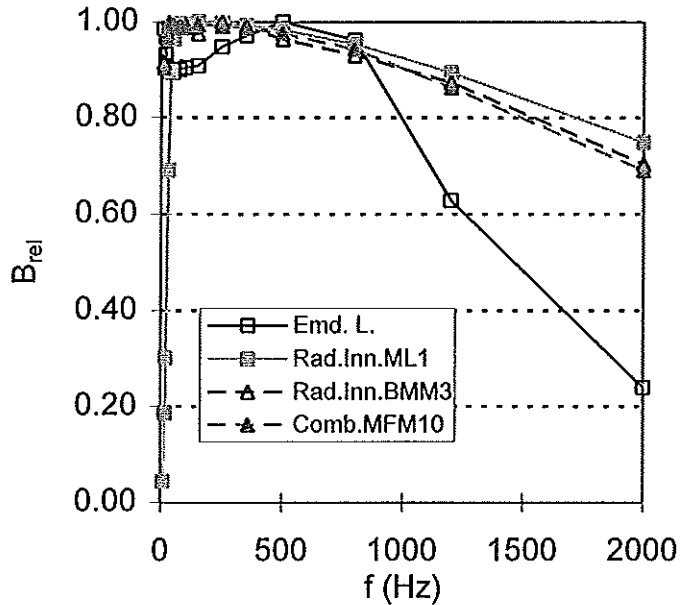
### Mätinstrumentens specifikationer och frekvensgång

En sammställning av några tekniska data för magnetfältsmetrarna återges i tabell 1. Snabba rörelse med mätinstrumenten i jordens statiska magnetfält kan ge upphov till momentana registreringar av upp till ca 0,5  $\mu\text{T}$ .

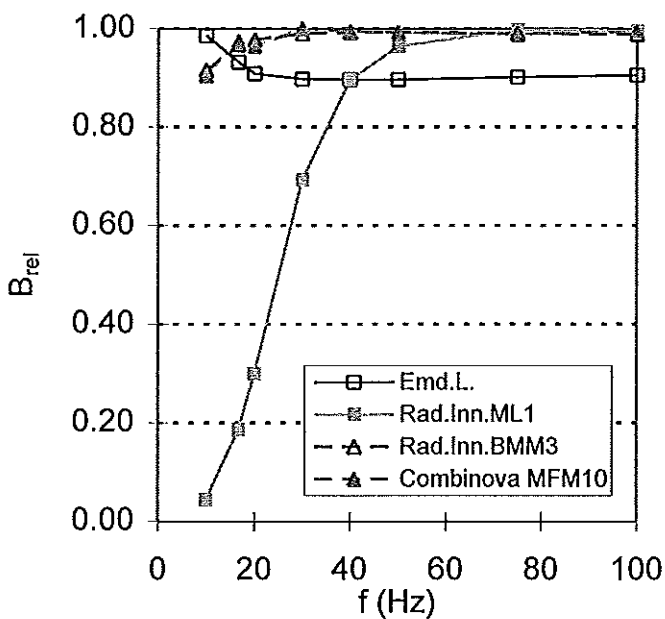
Tabell 1: Tekniska specifikationer för magnetfältsmetrar

	Emdex II	Emdex Lite	Radians Innova ML1	Combinova MFM10	Radians Innova BMM3
Mätområde ( $\mu\text{T}$ )	0,01 - 300	0 - 70	0,05 - 100	0 - 1000	0 - 2000
Onoggrannhet	$\pm 3\%$	$\pm 8\%$	$\pm 10\%$	$\pm 2\%$	$\pm(40 \text{ nT}+5\%)$
Frekvensområde (Hz)	40 - 800	10 - 800	30 - 2000	5-2000	5-2000
Samplingsintervall (s)	$\geq 1,5$	$\geq 4$	$\geq 1$	$\geq 6$	-
Minneskapacitet	512 kb	128 kb	4000 mätn.	4000 mätn.	-

Det framgår tydligt att instrumenten skiljer sig med hänsyn till den lägsta frekvensen som kan registreras. Magnetfältsmetrarnas frekvensgång kontrollerades i en Helmholtz-spole vid en nominell flödestäthet av 5  $\mu\text{T}$ . Mätinstrumentens normaliserade frekvensrespons illustreras i figur 10. Emdex II instrumentet finns inte med i diagrammen eftersom det endast utnyttjades för tidsmarkeringar. Det syns tydligt att känsligheten för ML1-instrumentet faller brant från ca 40 Hz till 16 2/3 Hz, vilket är grundfrekvensen för magnetfälten i loken. I Emdex Lite instrumentet dämpas däremot övertonerna upp till ca 300 Hz något i förhållandet till grundtonen, och eventuella fält med frekvenser högre än ca 900 Hz ger en allt mindre bidrag. De övriga båda magnetfältsmetrarna har en tämligen rak frekvensgång mellan ca 20 och 1500 Hz och något minskad känslighet vid 16 2/3 Hz.



a: Frekvensområde 0 - 2000 Hz



b: Frekvensområde 0 - 100 Hz

**Figur 10:** Magnetfältsmetrarnas frekvensgång.

andra förarhytten antingen genom att passera maskinrummet eller genom att lämna loket och gå till andra änden. Även under körningen av tågen förekom det kortare och längre uppehåll t ex vid stoppsignaler, vid mötesplatser eller vid lokfel. Vid sådana tillfällen kunde lokföraren också vara tvungen att gå in i maskinrummet t ex för att kontrollera säkringar, brytare eller ATC-utrustning. Även byte av lok och/eller tåg kunde förekomma under arbetspassen. I sådana fall anges i tabell B1 alla loktyper där insamling av mätdata med Emdex-Lite pågick.

### 3.2 Loktyper och körningar

Undersökningen gjordes under vintern och våren 1995 i sex olika typer av elektriska lok: Da-, Rc2-, Rc4-, Rc5- och Rc6-lok. Mätningar utfördes i lokens båda hytter, A och B, vid sammanlagt 39 körningar i 26 olika lok, varav ett Da-lok, tio Rc2-lok, åtta Rc4-lok, två Rc5-lok och fem Rc6-lok. 31 av körningarna (N1-N32) gjordes längs olika sträckor i Norrbotten och Västerbotten, fyra arbetspass (S1-S4) med åtta körningar är från sträckan Stockholm - Tillberga (Västerås), se tabell B1 och B2 i bilagan. I tabellerna skiljs loken åt genom de av SJ använda litterabeteckningar och numreringar. Några gånger drogs tåget av två lok. Mätningar avser då magnetfälten i den främre hytten av det första loket, dvs där lokföraren befann sig. Några av loken användes också vid flera tillfällen och vid olika dagar.

Loken drog i regel godståg, men vid några enstaka arbetspass i Norrland framfördes persontåg. Tågens totala vikt varierade mellan 279 och 2216 ton (se tabellerna för respektive lok i bilagan).

Ett arbetspass kunde, utöver körningen av loket, inkludera en rad olika moment för lokföraren, som promenad till tåget på bangården, rangeringar, växlingar och längre uppehåll vid bangårdar eller stationer. Därvid kunde föraren vara tvungen att förflytta sig till den

### Stockholmsmätningar

Vid mätningarna i Stockholmstrakten (arbetspassen S1-S4) framfördes tågen från Hagalunds bangård via Stockholms centralstation till Tillbergas bangård utanför Västerås. Där kopplades godsvagnarna bort och ersattes med nya. Loken flyttades till tågens motsatta ände och tågen kördes sedan samma sträcka tillbaka till Hagalund. I varje arbetspass ingick rangeringsarbete vid Hagalund, Stockholms centralstation och Tillberga. Under färden var alltid den bakre strömavtagaren i bruk, den främre hade fällts ner.

Mellan Stockholm och Kallhäll finns det parallella spår, som även trafikeras av pendeltåg. Vid Kallhälls station blev sträckan enkelspårig ända fram till Tillberga. Längs denna del av sträckan fanns ett antal korta parallellspår som mötesplatser för mötande tåg. Sträckan Stockholm - Kallhäll var 21,3 km, från Kallhäll till Tillberga var det 79,4 km.

Mätvärdena från de fyra arbetspassen i Stockholmstrakten delades efteråt upp i ett antal körningar längs enkel- och dubbelspår, där sådana förekom. För varje arbetspass anges i tabell B1 datum, klockslag, arbetspassens längd, körsträcka, typ av arbetsmoment och vilka strömavtagare som var uppfällda.

### Norrlandsmätningar

Mätningarna har utförts i två omgångar. Vid första omgången utfördes översiktliga mätningar i lokförarhytten. Registreringar av frekvensinnehåll samt en allmän översikt av fältmiljön i förarhytten gjordes. Vid andra omgången mätningar skickades Emdex Lite instrumentet med lokförarna och "gick stafett" under en period av några veckor. Detta gav en blandning av de olika tåg och loktyper som förarna tjänstgjorde på.

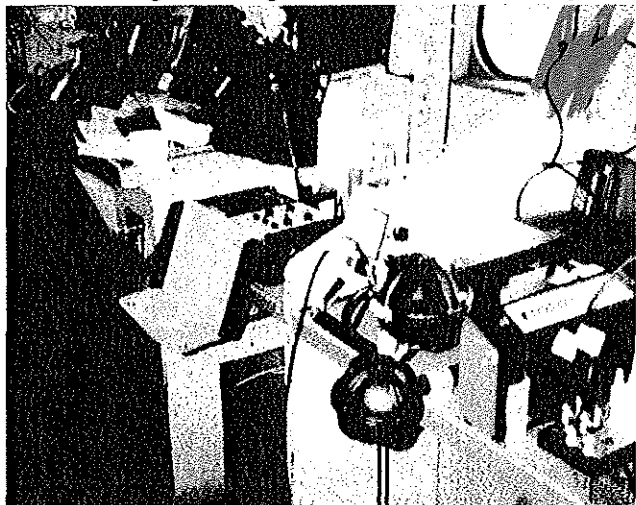
I Norrland framfördes tågen endast längs enkelspår. Uppgifter om arbetspassen motsvarande Stockholmsmätningarna var av olika skäl inte tillgängliga för Norrlandsmätningarna när denna rapport skrivs. För Norrlandsmätningarna redovisas därför endast sammanställningen av körningar och inte av arbetspassen, se tabell B2.

### 3.3 Mätutförande

Emdex Lite instrumentet placerades vid arbetspassets början i vänstra bröstficka på lokförarens kavaj och startades inställd med en samplingsintervall på 4 s. Instrumentets display pekade därvid framåt, så att x-spolens axel hamnade i ett horisontellt plan parallellt med lokförarens framsida, medan z-spolens axel pekade i det horisontella planet vinkelrätt mot hans framsida. Y-spolens axel var således parallell med förarens längsaxel. Instrumentets orientering i förhållande till tågets färdriktning påverkades dock av lokförarens arbetsställning. Vid några av Norrlandsmätningarna kan lokförare ha burit instrumentet i midjebältet eller i byxficka. Mätinstrumentet ML1 placerades vid Stockholmsmätningarna i lokförarens vänstra jackficka.

Mätinstrumenten BMM3 och MFM10 tejpades vid Stockholmsmätningarna fast på bordet 1,2-1,4 m till höger om förarpulpeten, figur 11. Instrumenten användes också vid några tillfällen för att göra punktmätningar på andra ställen i förarhytten.

Vid Stockholmsmätningarna antecknades med jämna mellanrum (om möjligt två gånger per minut) mätvärden från BMM3-displayen, samt lokets hastighet, linje-



Figur 11: Uppställning av stationärt placerade mätinstrument i Da-loket.

spänning och motorström, som avlästes från förarpanelen. Dessutom gjordes anteckningar om olika observationer under färden så som passage av km-skyltar, sugtransformatorer, skyddssektioner, stationer samt kommentarer angående körförhållanden som start, stopp, tågpassage osv.

## 4. MÄTRESULTAT

För översiktlighetens skull delas mätresultaten upp i långtids- och korttidsmätningar. Till långtidsmätningar räknas alla mätdata från Emdex Lite- och Radians Innova ML1-instrumenten samt de magnetfältsregistreringar som gjordes med BMM3 och MFM10. De två senare instrumenten användes tillsammans med oscilloskopet och dataloggern också till kortvariga mätningar för att ta reda på magnetfältsignalens kurvform och frekvensinnehåll.

### 4.1 Långtidsmätningar

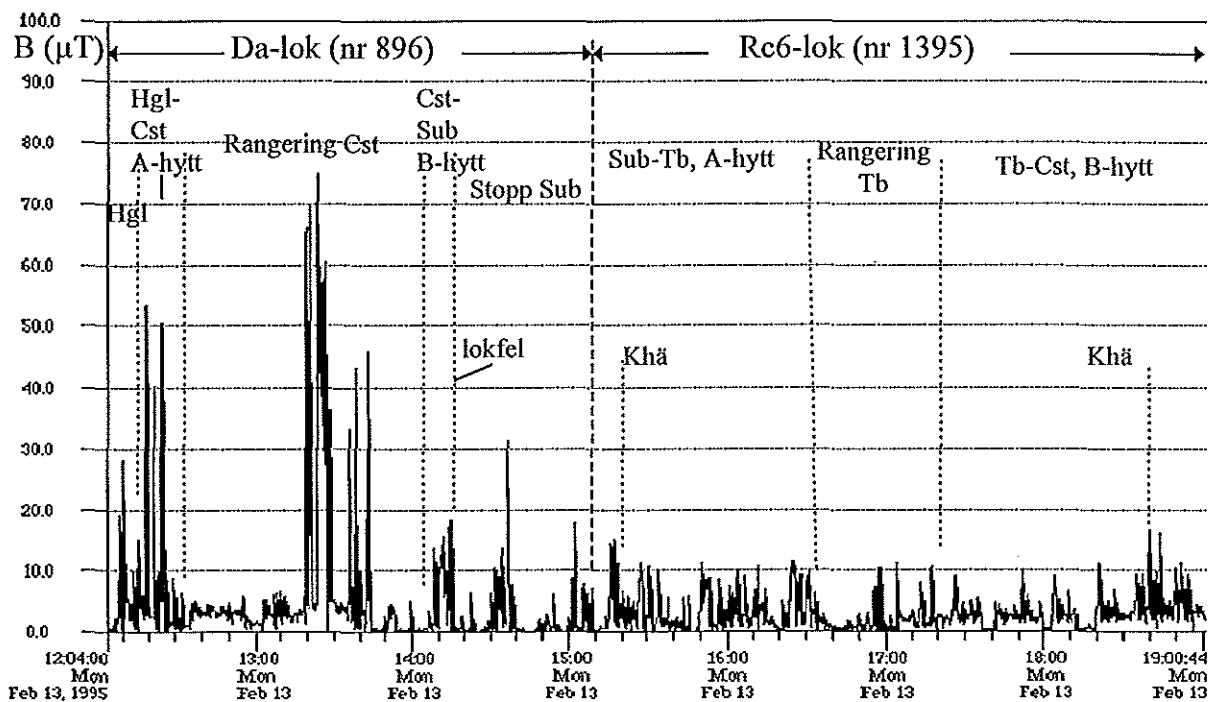
Resultaten från långtidsmätningar presenteras dels för hela arbetspass dels för de tidsavsnitt, som lokförarna tillbringade i förarhytten vid körning av tågen. Vid de senare har alltså mätvärden vid rangeringsarbete och sammansättning av tågsätt före och efter körningar sorterats bort. Således har det tagits fram 39 enskilda körningar längs enkelspår, där den kortaste tog 58 minuter. Fyra av dessa körningar genomfördes i Da-loket, sexton i Rc2-lok, tio i Rc4-lok, tre i Rc5-lok, sex i Rc6-lok. I Stockholmsområdet fanns det också möjlighet att registrera mätdata för tolv 9 - 18 minuter långa körningar längs dubbelspår, varav sex i Da-loket, fyra i Rc5-lok och två i Rc6-lok.

Detaljerade mätresultat över flödestäthetens medelvärde, standardavvikelse, minsta värde, 50 %-percentil (medianvärde), 75%-percentil och högsta värde för respektive loktyp presenteras i tabellerna B3 - B14 i bilagan. Alla mätvärden anges i  $\mu\text{T}$  (mikrotesla) och har avrundats till två siffrors noggrannhet. I tabell B3 används dessutom ett annat sätt att beskriva lokförarens exponering genom att medelvärdet multiplicerats med exponeringstiden under arbetspasset. Detta ”dosmått” anges i  $\mu\text{Th}$  (mikroteslatimmar).

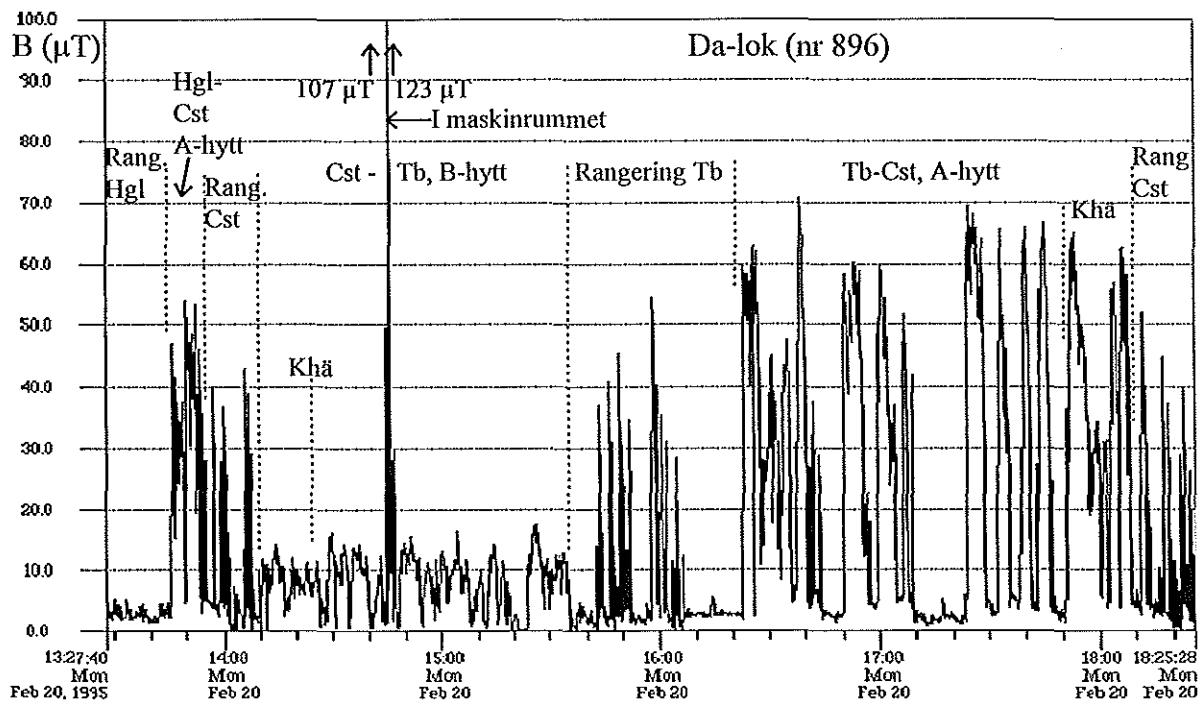
#### 4.1.1 Mätresultat för hela arbetspass

Mätresultaten för de fyra arbetspassen från Stockholmsmätningarna presenteras i tabell B3. Några typiska tidsdiagram visas i figur 12 - 14. I figur 12 visas tidsdiagrammet för arbetspass S1 som påbörjades med 1.16 timmar i ett Da-lok, och som sedan fortsatte i drygt fem timmar i ett Rc6-lok. Man ser tydliga skillnader i magnetfältens amplituder; ”topparna” är väsentlig högre i Da-loket. Det starkaste fältet uppmättes under detta arbetspass till  $75 \mu\text{T}$  i Da-loket. Medelvärdet för hela arbetspasset var  $3,6 \mu\text{T}$ , medianvärdet  $2,1 \mu\text{T}$  och dosmättet låg på  $25 \mu\text{Th}$  (tabell B3).

I figur 13 återges tidsdiagrammet för det nästan fem timmar långa arbetspasset S3 i Da-loket. Man ser tydligt att magnetfälten var avsevärt starkare i lokförarens A-hytt än i B-hytten. När lokföraren en kort stund uppehöll sig i maskinrummet för att återställa ATC-utrustningen registrerades magnetfält över  $120 \mu\text{T}$ . Det exakta värdet kunde i dessa fall inte fastställas eftersom mätvärdena i två av instrumentets mätpolar översteg  $70 \mu\text{T}$ , vilket är den översta gränsen för Emdex Lite. Medelvärdet för hela arbetspasset var  $14 \mu\text{T}$ , medianvärdet  $5,3 \mu\text{T}$  och dosvärdet  $70 \mu\text{Th}$  (se tabell B3).

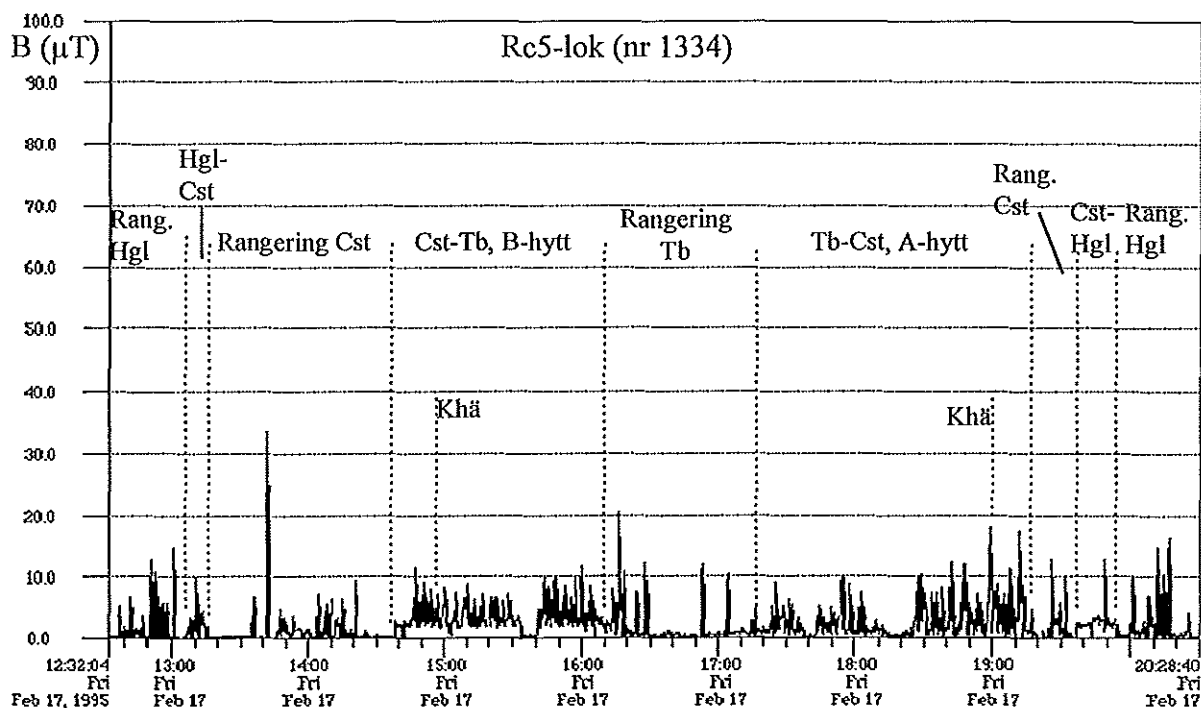


Figur 12: Magnetisk flödestäthet, B, i ett Da- och Rc6-lok under arbetspass S1.  
 Cst: Stockholm centralen, Hgl: Hagalund, Khä: Kallhäll, Sub: Sundbyberg, Tb: Tillberga



Figur 13: Magnetisk flödestäthet, B, i Da-loket under arbetspass S3, förkortningar se fig.12.

Figur 14 återger tidsdiagrammet för det nästan sju timmar långa arbetspasset S2 i ett Rc5-lok. Det är tydligt att magnetfälten var även i Rc5-loket svagare än i Da-loket. Som största flödestäthet uppmättes 34  $\mu\text{T}$ , medelvärdet var 1,9 och medianvärdet 1,1  $\mu\text{T}$ , expo-neringen uppgick till 15  $\mu\text{Th}$  (tabell B3).



Figur 14: Magnetisk flödestäthet, B, i ett Rc5-lok under arbetspass S2, förkortningar se figur 12.

Gemensamt för alla diagram är de iögonfallande stora fluktuationer i flödestätheten, som till stor del beror på "gaspådraget". Mellan topparna rullar tågen på tomgång eller står stilla. En del av topparna under rangeringen kan också bero på att lokföraren närmar sig olika fältkällor t ex då han passerar maskinrummet.

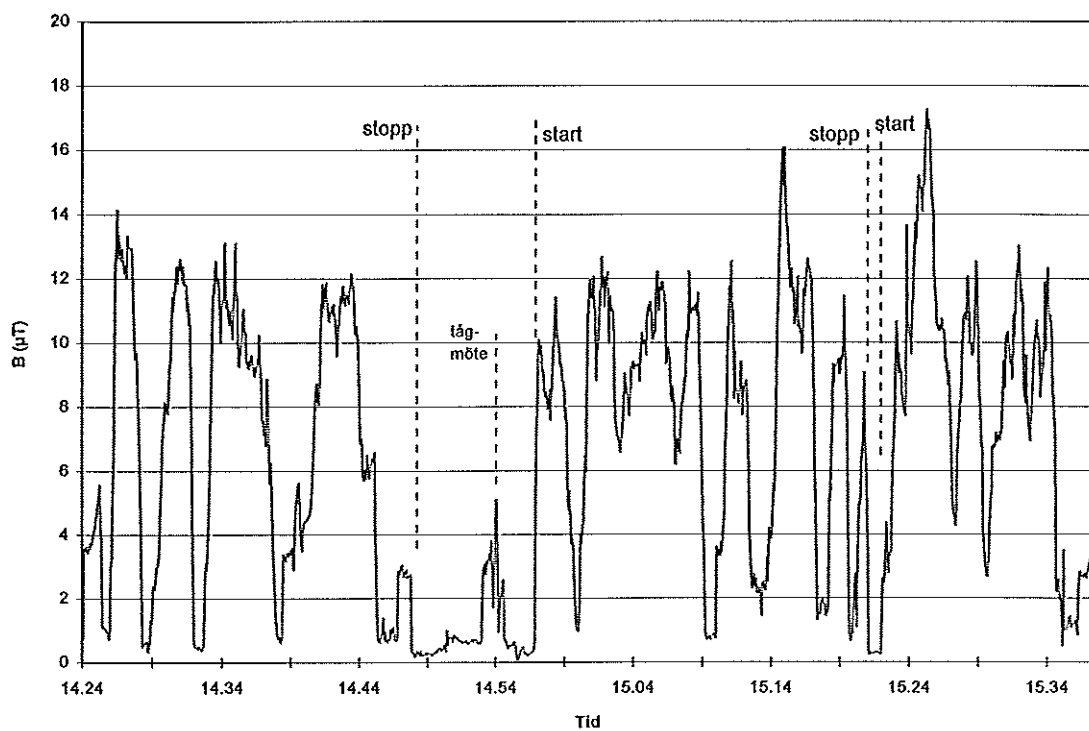
#### 4.1.2 Mätningar vid körning längs enkelspår

Mätresultaten från körningar längs enkelspår redovisas för en loktyp i tåget. I tabellerna i bilagan finns uppgifter om magnetfältens medelvärde, medianvärde, 75% percentil och högsta uppmätta värde vid varje körning med de olika loket.

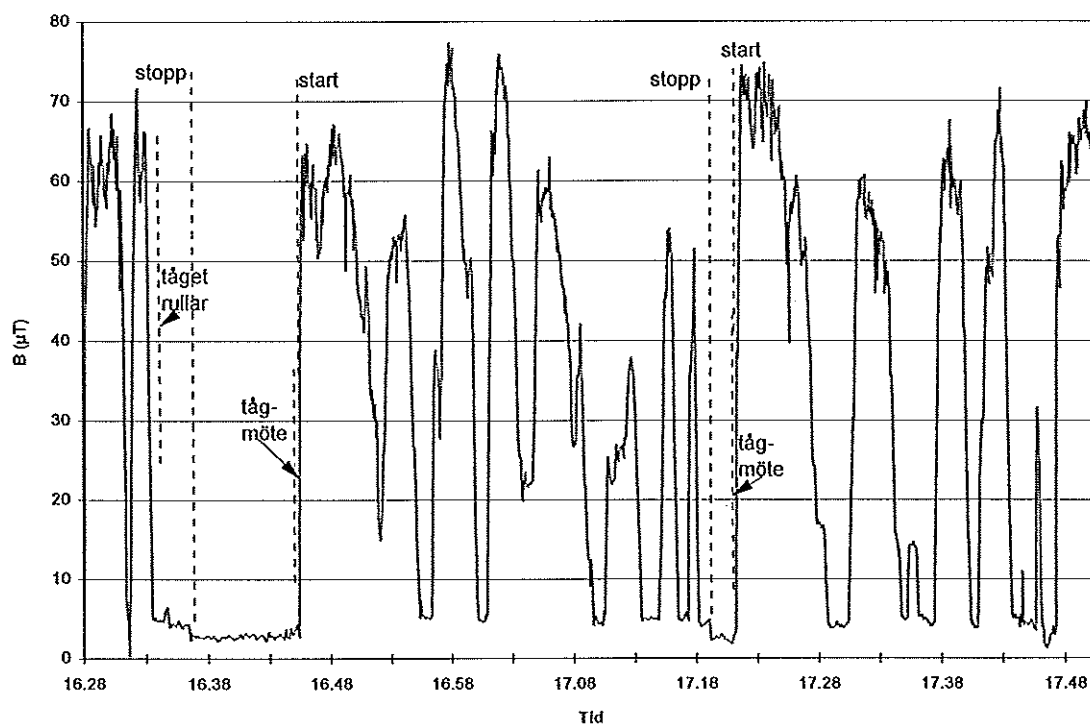
##### Mätresultat för Da-lok

Resultaten från fyra Emdex Lite mätningar i Da-loket vid körning längs enkelspår är delar av Stockholmsarbetspassen S3 och S4 och presenteras i bilagans tabell B4.1. Två typiska tidsdiagram (från arbetspass S4) för B- och A-hytten återges i figur 15 respektive 16. (Obs! Olika skalor på B-axeln: 0-20  $\mu\text{T}$  i figur 15, och 0-80  $\mu\text{T}$  i figur 16).

Det framgår att det fanns påtagliga skillnader mellan magnetfälten i Da-lokets A- och B-hytt. I A-hytten var maxvärdet mellan 70 och 80  $\mu\text{T}$ , i B-hytten ca 17  $\mu\text{T}$ . Även medel- och medianvärdena samt 75%-percentilen var 4 - 5 gånger högre i A-hytten än i B-hytten. I A-hytten var både medel- och medianvärdena ca 30 - 40  $\mu\text{T}$ , i B-hytten däremot 7 - 9  $\mu\text{T}$ . 75%-percentilerna var 50 - 60  $\mu\text{T}$  i A-hytten och 10 - 12  $\mu\text{T}$  i B-hytten. Dessa skillnader blir något mindre om mätvärden, då tågen stod stilla på sidospår, inkluderas, se tabell B4.1.



Figur 15: Magnetisk flödestäthet,  $B$ , i Da-lokets B-hytt vid körning längs enkelspår.



Figur 16: Magnetisk flödestäthet,  $B$ , i Da-lokets A-hytt vid körning längs enkelspår, (Obs! Inte samma skala på B-axeln som i figur 15).



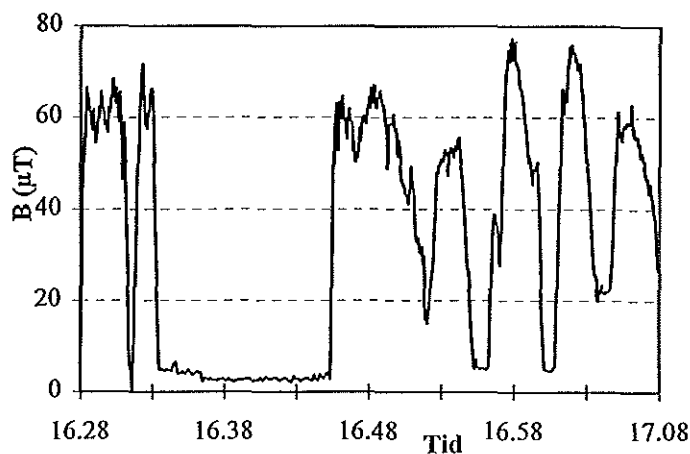
Samtidiga mätningar med Emdex Lite och MFM10 och BMM3 visar att magnetfälten i Da-loket var lägre vid bordet till höger om förarpulpeten än vid lokförarens plats, se tabell B4.2 och figur 17. Skillnaderna var särskilt påtagliga i A-hytten, där det uppmättes ungefär 2-3 gånger starkare fält med det lokförarburna Emdex Lite instrumentet än med MFM10 och BMM3 ca 1,2-1,4 m på bordet bredvid. Mätningar med MFM10 på lokförarplatsen gav däremot samma resultat som Emdex-mätningar. Även i B-hytten fanns en motsvarande differens, men den var inte lika stor. Samma observation gjordes också vid flera andra mätningar under kortare tidsperioder, som dock inte återges i tabellen.

#### Mätresultat för Rc2-lok

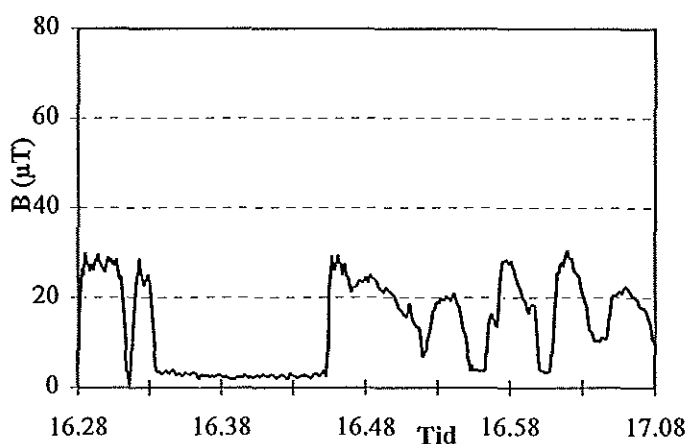
Ungefär lika starka magnetfält som i Da-loket registrerades också i Rc2-loken. I figur 18 visas ett typiskt tidsdiagram från mätningar i A-hytten i det främsta av två Rc2-lok under körning N5. Loken drog vid detta tillfälle ett tåg på 2216 ton. Flödestäthetens högsta mätvärde låg på 97  $\mu\text{T}$ , medianvärdet var 4,5  $\mu\text{T}$  och medelvärdet 22  $\mu\text{T}$ , vilket ger 77  $\mu\text{T}$ h under den 3 ½ timmar långa färden, se tabell B5.

Av tabellen framgår också att magnetfälten varierade mycket kraftigt i de olika Rc2-loken. Medelvärdena vid de 16 olika körningarna varierade mellan 5 och 37  $\mu\text{T}$  och medianvärdena mellan 1 och 15  $\mu\text{T}$ . Standardavvikelsen låg mellan 9 och 39  $\mu\text{T}$  och var mycket större än för de övriga Rc-loken. Medianvärdena skiljer sig inte avsevärt från de i de andra loken, samtidigt som medelvärdena och 75% percentilerna ligger betydligt högre i Rc2-loken. I Rc2-lok påträffades också de starkaste fälten. På lokförarens plats mättes kortvarigt fält på minst 100  $\mu\text{T}$  vid sju av de 16 körningarna med Rc2-lok. Eftersom varje mätpole i Emdex Lite instrumentet har en övre gräns på 70  $\mu\text{T}$  kan de verkliga värdena för flödestätheten ligga ännu högre än de uppmätta. Anledningen till dessa extrema noteringar kunde inte fastställas. Några lokförare hade dock inte placerat instrumentet i bröstfickan utan på bältet eller i bakfickan.

Alla Rc2-lok i undersökningen, utom nr 1136, var försedda med roterande omformare placerade bakom väggen till A-hytten. Med Radians Innova BMM3 proben tryckt mot en viss punkt på den bakre väggen i hytten av ett sådant lok uppmättes värden över 2 mT. Det kan också noteras att maxvärdet i Rc2-lok 1136 (41  $\mu\text{T}$ ) var lägre än i de övriga Rc2-loken.

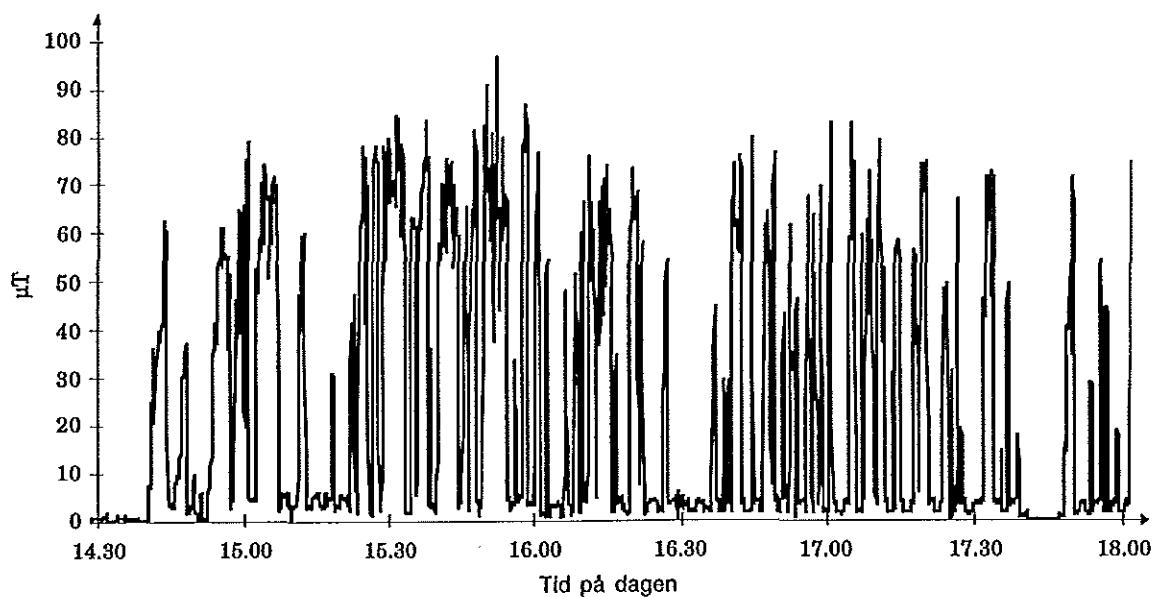


a: vid lokförarplatsen, mätt med Emdex Lite



b: vid bordet bredvid förarplatsen, mätt med MFM10

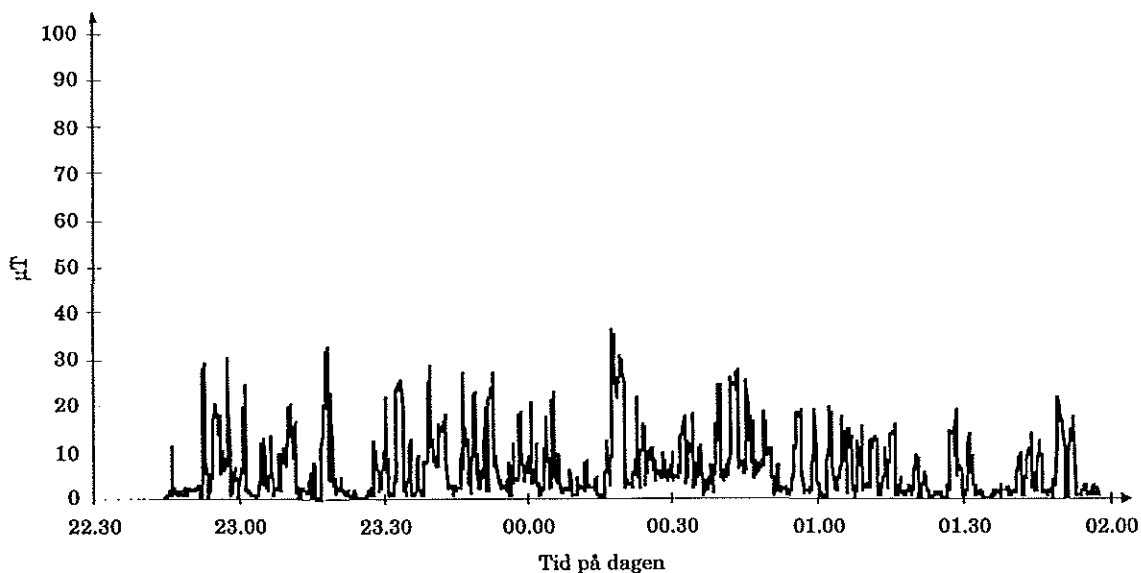
Figure 17: Magnetfält vid olika platser i Da-lokets A-hytt.



**Figur 18:** Magnetisk flödestäthet ( $\mu\text{T}$ ) i A-hytten till Rc2-loket 1126.

#### Mätresultat för Rc4-lok

I figur 19 återges ett typiskt tidsdiagram från mätningar i A-hytten i det främre av två Rc4-lok vid körning N7. Flödestäthetens maxvärde uppmättes till  $37 \mu\text{T}$ , medianvärdet var  $4,2 \mu\text{T}$  och medelvärdet låg på  $6,8 \mu\text{T}$ , vilket ger en exponering på  $22 \mu\text{T}\cdot\text{h}$  för lokföraren under den ca 3 timmar och 15 minuter långa färden, se tab B6.

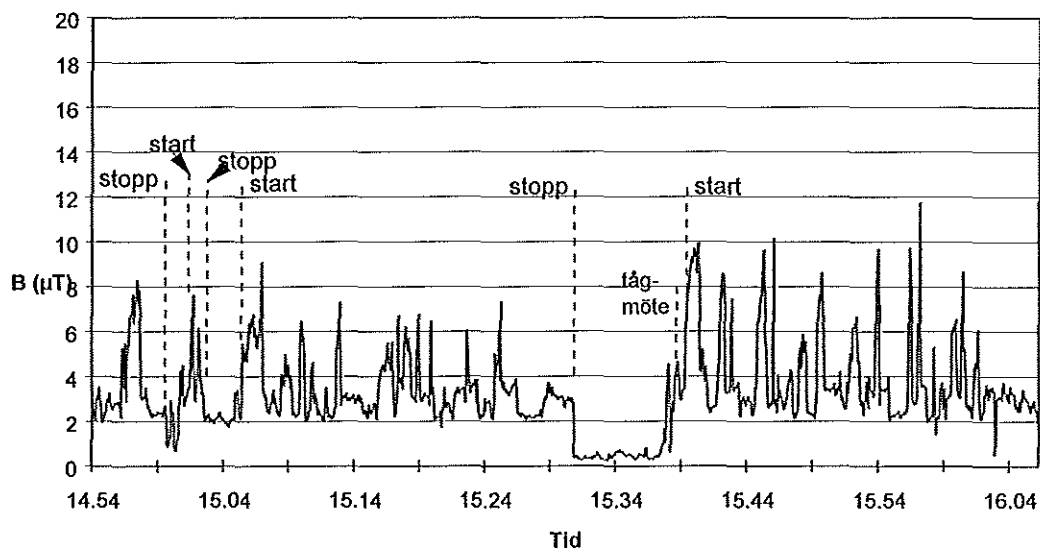


**Figur 19:** Magnetisk flödestäthet ( $\mu\text{T}$ ) i A-hytten till Rc4-loket 1138.

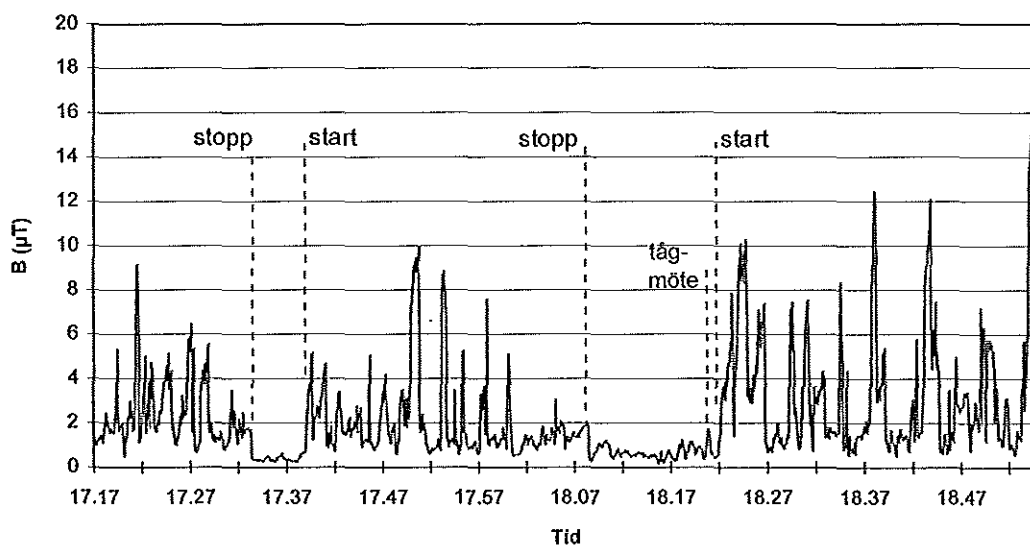
I bilagans tabell B6 finns en sammanställning av resultaten från alla mätningar vid de tio olika körningarna i Rc4-loken. Det framgår tydligt att magnetfälten var lägre i Rc4-loken än i Rc2- och Da-loken. Medelvärdena för flödestätheten varierade mellan  $1,6$  och  $6,8 \mu\text{T}$ , medianvärdena mellan  $1,1$  och  $6,2 \mu\text{T}$ . De högsta mätvärdena låg i de flesta fall mellan  $14$  och  $37 \mu\text{T}$ , vid två körningar registrerades dock  $89 \mu\text{T}$ .

### Mätresultat för Rc5-lok

Det gjordes tre körningar med Rc5-lok längs enkelspår, varav två med lokföraren i B-hyten och en i A-hyten. Mätresultaten visas i tabell B7.1, och typiska tidsdiagram för fältregistreringar i A- och B-hyten återges i figur 20 och 21. I diagrammen har också markerats när tåget stannade vid stoppsignaler eller på sidospår för att invänta mötande tåg.



Figur 20: Magnetisk flödestäthet, B, i B-hyten till Rc5-loket 1334 under körning S2.

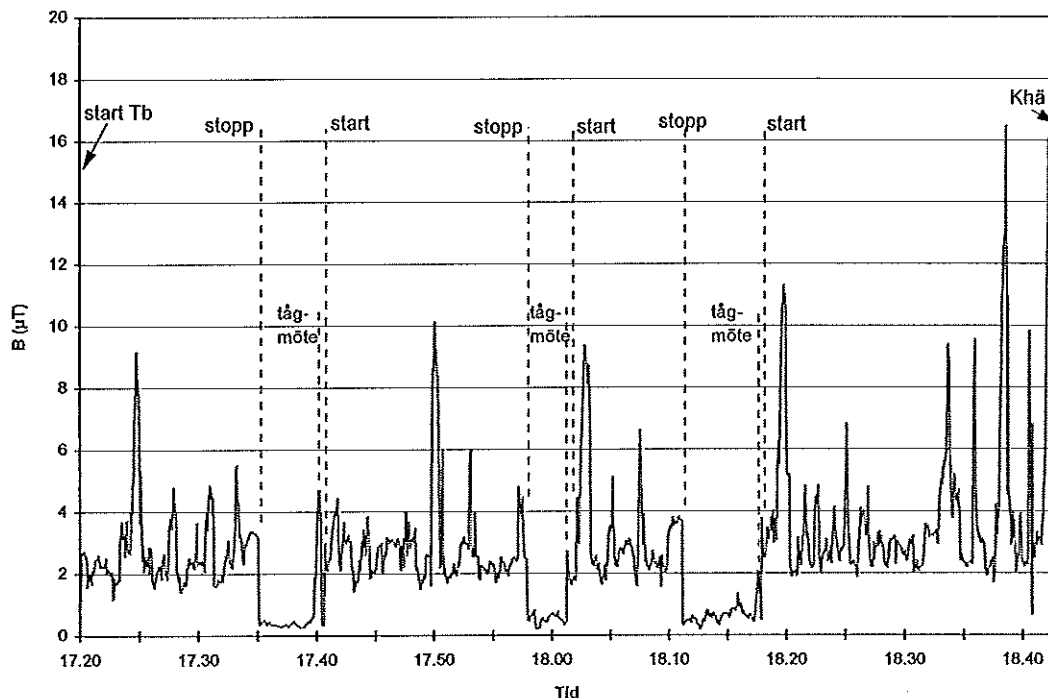


Figur 21: Magnetisk flödestäthet, B, i A-hyten till Rc5-loket 1334 under körning S2.

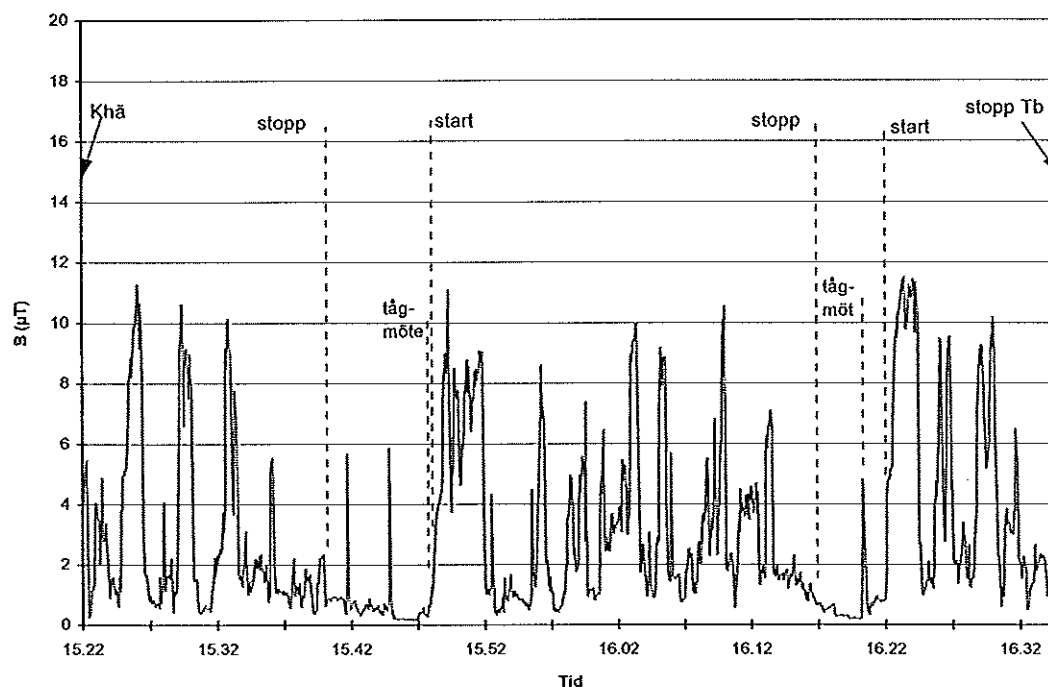
Magnetfälten i Rc5-loken var lägre än i Rc4-loken (Obs! Annan skala på B-axeln i figur 19 än i figur 20 och 21). Flödestäthetens medel- och medianvärdena varierade mellan ca 2 och 4  $\mu\text{T}$  vid dessa tre mätserier. 75%-percentilerna låg mellan 3 - 4  $\mu\text{T}$  och de största uppmätta fälten var 12 - 18  $\mu\text{T}$ . Det var inte någon skillnad mellan fälten i A- och B-hyten vid dessa mätningar. Magnetfälten på lokförarens plats skilde sig inte heller från dem på bordet bredvid, se tabell B7.2. Ytterligare mätningar med de olika instrumenten, som ej redovisas i tabellen, gav liknande resultat.

### Mätresultat för Rc6-lok

För Rc6-loken finns det mätvärden från sex körningar längs enkelspår, tre i vardera A- och B-hytten, och i fem olika lok. Mätresultaten visas i tabell B8.1. Representativa tidsdiagram med markeringar för stopp och tågmöten finns i figur 22 och 23.



Figur 22: Magnetisk flödestäthet, B, i A-hytten till Rc6-loket 1395 under körning S1.



Figur 23: Magnetisk flödestäthet, B, i B-hytten till Rc6-loket 1395 under körning S1.

Magnetfälten i Rc6-lokens båda förarhytter var av samma storleksordning som i Rc5-loken. Flödestäthetens medel- och medianvärdena varierade mellan ca 2 och 5  $\mu\text{T}$  och 75%-

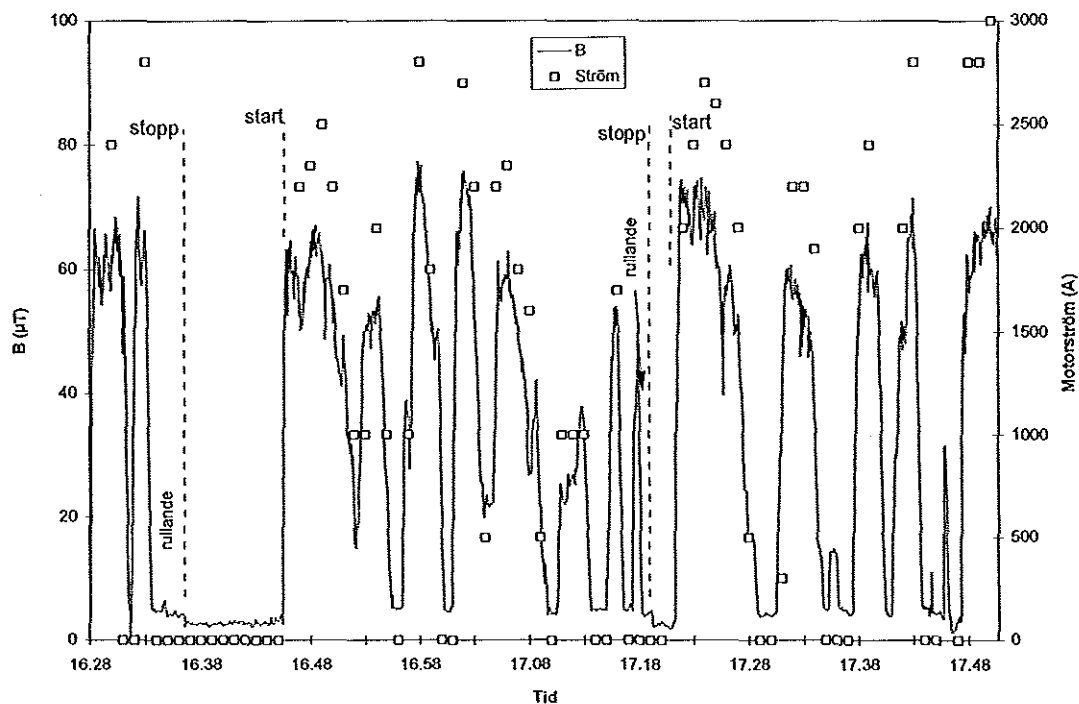
percentilerna mellan 3 och 5  $\mu\text{T}$ . De största fälten som uppmättes på Rc6-lokens förarplats var 11-20  $\mu\text{T}$ , vid ett tillfälle registrerades dock fält på 32  $\mu\text{T}$ . Även i Rc6-loken fanns det inte någon skillnad mellan fälten på förarens plats och fälten på bordet bredvid, se tabell B8.2.

#### 4.1.3 Mätningar vid körningar längs dubbelspår

Vid arbetspassen i Stockholmstrakten var det också möjligt att ta fram mätvärden från körningar i Da-, Rc5- och Rc6-lok längs dubbelspår. Mätresultaten återges i tabell B9. En jämförelse med resultaten i tabell B4.1, B7.1, och B8.1 visar att magnetfälten vid körning längs dubbelspår inte avvek påtagligt från fälten vid körningar längs enkelspår. I Da-lokets A-hytt var dock maxvärdena och 75%-percentilerna något lägre vid körning längs dubbelspår än vid körningar längs enkelspår. Flera hastighetsbegränsningar och större trafiktäthet i samband med pendeltågstrafik kan ha bidragit till att lokförarens pådrag inte var lika intensiva och långvariga som vid körning längs enkelspår. Mätperioderna för körningarna längs dubbelspår var också mycket kortare än för körningarna längs enkelspår, vilket försvårar en jämförelse.

#### 4.1.4 Magnetfältvariationer och motorström

Vid några Stockholmsmätningarna avlästes motorströmmen på lokförarens instrumentpanel en gång i minuten. Tidsanpassningen mellan de glesa anteckningar om motorströmmen och registreringarna var 4:e sekund av magnetfälten vid förarplatsen är behäftade med en osäkerhet av några tiotals sekunder. Anteckningarna om motorströmmen var inte heller tillräckligt täta för att följa de relativt snabba magnetfältsväxlingarna. Under den tid som tågen bromsades in vid stoppsignaler eller mötesplatser för att stanna kunde kortvariga gaspådrag förekomma, som återspeglades i magnetfältvariationer, men där anteckningar om motorströmmen saknades. Ett tydligt samband mellan motorström och magnetfält märktes dock då tåget startade efter ett kortare uppehåll. I figur 24 visas ett exempel där de avlästa värden för motorströmmen har lagts in i tidsdiagrammet för magnetfälten efteråt. Det framgår av figuren att ökande motorström gav upphov till starkare magnetfält.



Figur 24: Magnetfält och motorström i Da-lokets i A-hytt vid körning S4.

## 4.1.5 Magnetfält från källor längs banvallen, ej kontakt- och återledningar

### Sugtransformatorer och omformarstationer

Vid flera körningar gjordes försök att avgöra om lokförarens magnetfältsexponering påverkades när loken passerade sugtransformatorer. Magnetfälten i loken varierade kraftigt under färden samtidigt som sugtransformatorerna vanligtvis passerades mycket snabbt. Varken vid observationer under färden eller vid granskning av tidsdiagrammen i efterhand kunde uppmätta fält relateras till sugtransformatorerna. Det finns t ex inga signaler som uppträder med regelbundna tidsintervall som skulle kunna motsvara en upprepad passage av transformatorer längs sträckan.

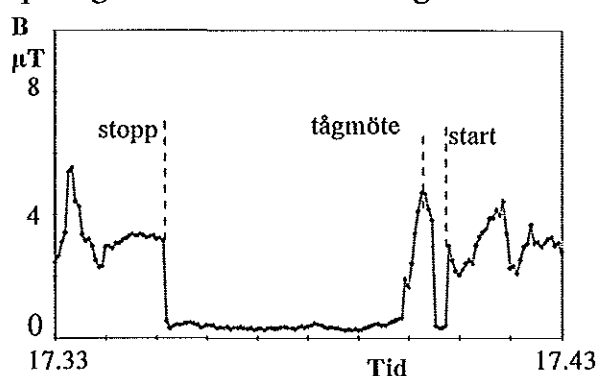
Omformarstationernas placering längs banvallen kan tänkas inverka på fälten i loken beroende på om strömmatning sker framifrån eller bakifrån loken. Av mätningarna i denna undersökningen kunde sådana skillnader dock inte avläsas, se vidare under avsnitt 5.

### Mötande tåg

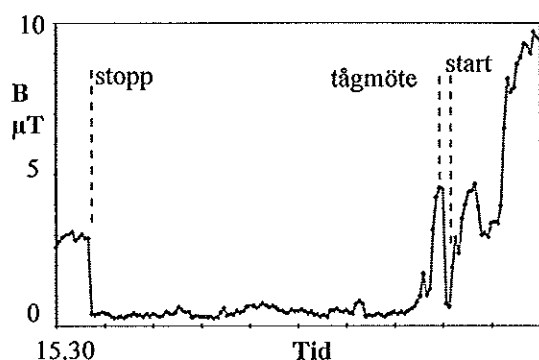
Vid flera tillfällen var det möjligt att studera om mötande eller passerande tåg på sidospår, eller andra tåg på samma spår, bidrog till magnetfälten vid lokförarens plats. I figurerna 15, 16 och 20-23 har tågmöten markerats; figur 25a och b visar expanderade urklipp från några av dessa tidsdiagram. Eftersom Emdex Lite saknade möjlighet att göra tidsmarkeringar är tågmötenas placering på tidsaxeln behäftad med en osäkerhet av ett tiotal sekunder. Registrerade magnetfältstoppar kunde endast relateras till tågmöten då det egna tåget stod stilla, dvs när motorströmmen var noll. Fälten ökade då kortvarigt till 2-5  $\mu\text{T}$  för att sedan återgå till mindre än 0,5-1  $\mu\text{T}$ . I figur 25c visas en kortvarig höjning av fälten i ett Rc5-lok, som stod på bangården i Tillberga för rangeringen, när ett tåg på ett intilliggande spår passerade. Liknande observationer gjordes också vid körningar längs dubbelspår i Stockholmsområdet. Då Da-loket till exempel under arbetspass S4 stod en längre tid utanför Jakobsbergs station, ökade magnetfälten i loket kortvarigt till 4-5  $\mu\text{T}$  varje gång ett pendeltåg startade från stationen.

## 4.2 Korttidsmätningar

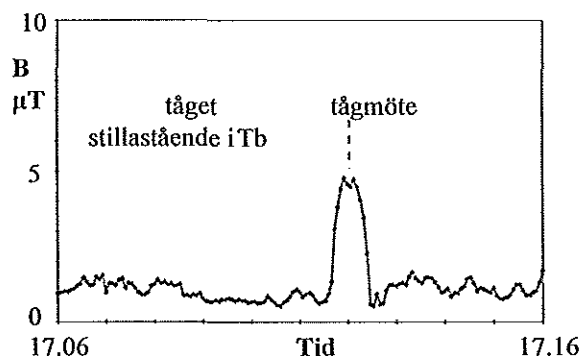
Korttidsmätningar gjordes vid olika tidpunkter med hjälp av magnetfältsmetrarna BMM3 och MFM10 för att kunna studera kurvform och frekvensinnehåll i magnetfältssignalen. Vid dessa mätningar användes endast en mätspole i taget, varför resultaten också kan utnyttjas för att få upplysningar om magnetfältens riktningar vid mätplatsen i lokens förarhytt.



a: Rc6-lok 1395, B-hytt, körning S1



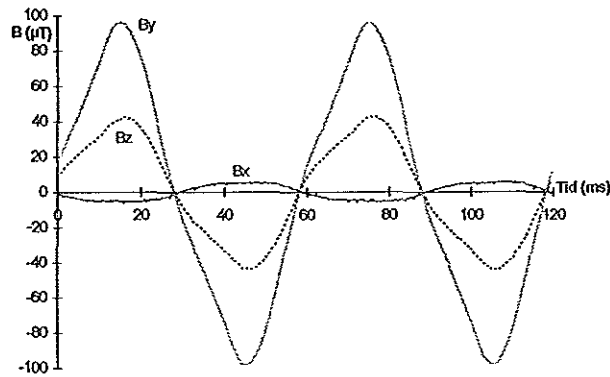
b: Rc5-lok 1334, B-hytt, körning S2



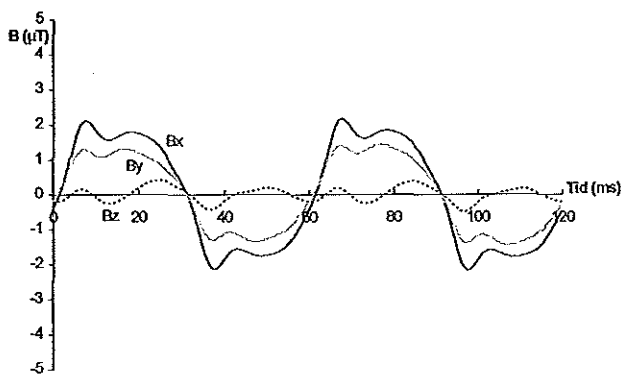
c: Rc5-lok 1334, A-hytt, arbetspass S2

Figur 25: Magnetfält i olika lok vid tågmöten.

#### 4.2.1 Kurvform och frekvensanalys av magnetfälten



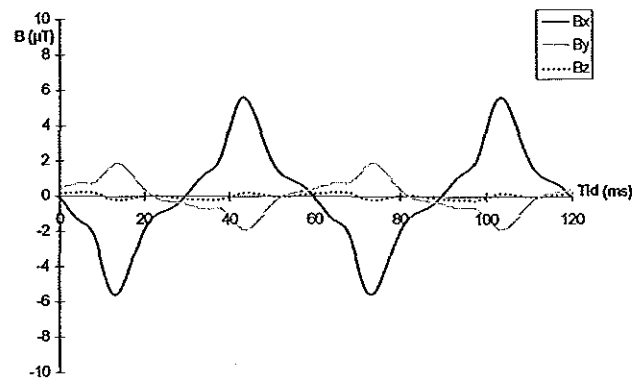
a: i A-hydden, motorström 3000 A



b: i B-hydden, motorström 1400 A

**Figur 26:** Kurvform av magnetfält i Da-loket vid körning S4.

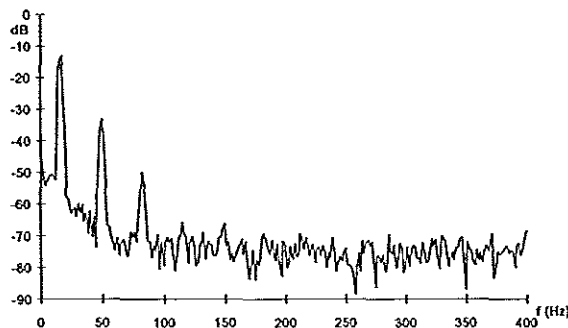
Exempel på er för magnetfältens kurvform i olika lok visas i figurerna 26-27. Det framgår att den uppmätta flödestätheten inte var en ren sinusformad signal. Dessa observationer bekräftades också av frekvensanalyser som gjordes vid olika tidpunkter med LeCroy-oscilloskopet och dataloggern Picolog (tillsammans med programmet Picoscope), se figurerna 28 och 29. Vid Da-loket fanns det toppar upp till sjunde övertonen (ca 117 Hz). I Rc5- och Rc6-loken förekom det övertoner upp till ca 184 Hz (11. överton), och dess-



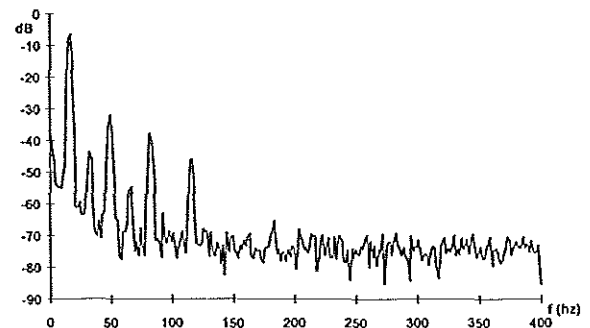
**Figur 27:** Kurvform av magnetfält i Rc5-lok 1334. B-hytt, motorström 100 A, körning S2.

utom svagare signaler vid ca 260 och ca 370 Hz.

Även en jämförelse av samtidiga långtidmätningar med Emdex Lite och ML1 pekar på skillnader mellan Da-loket å ena sidan och Rc5- och Rc6-loken å andra sidan beträffande övertonernas bidrag till magnetfälten. Det senare instrumentet, som placerades vid några körningar intill Emdex-Lite, mätte pga sitt mera begränsade frekvensområde huvudsakligen magnetfältens

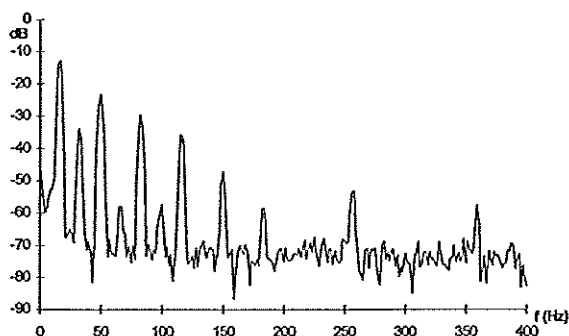


a: Komponent  $B_y$ , A-hytt, motorström 2200 A

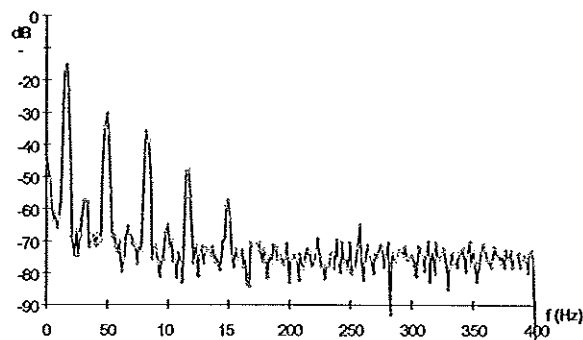


b: Komponent  $B_x$ , B-hytt, motorström 1500 A

**Figur 28:** Frekvensanalys av magnetfält i Da-lok



a: Komponent  $B_x$ , A-hytt, motorström 1000 A



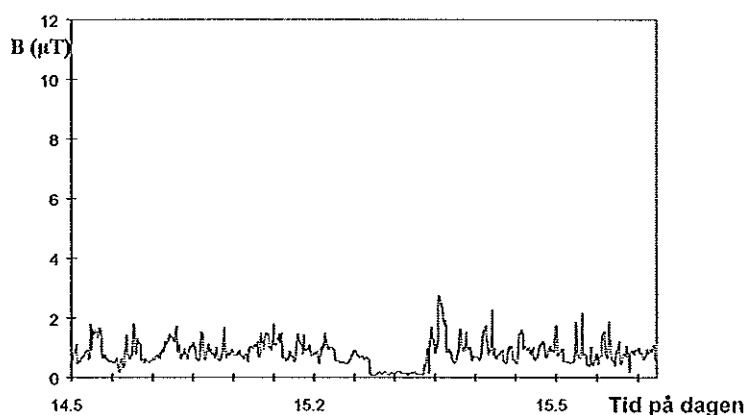
b: Komponent  $B_y$ , A-hytt, motorström 0 A

**Figur 29:** Frekvensanalys av magnetfält i Rc5-lok.

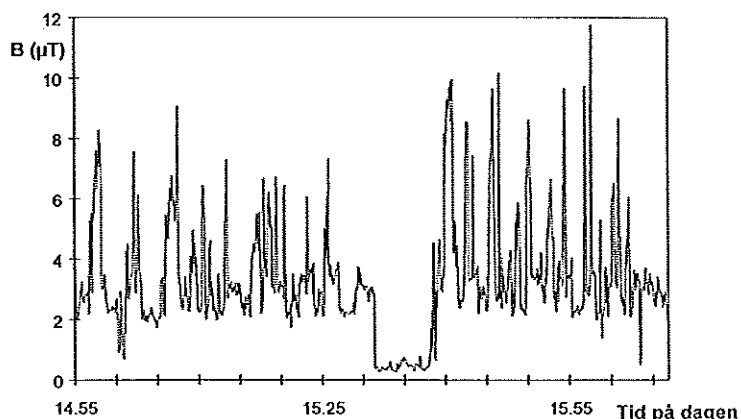
övertoner. I figur 30 visas exempel på tidsdiagram registrerade med de båda mätinstrumenten. Av tabell B10 i bilagan framgår att kvoten mellan Emdex Lite- och ML1-mätvärdena var 4-5 i Da-loket och 3-4 i Rc5- och Rc6-loken, vilket tyder på en större andel övertoner i Rc5- och Rc6-loken.

#### 4.2.2 Riktning av magnetfälten

Både de personburna och de stationärt placerade mätinstrumenten innehöll tre mot varandra vinkelräta mätspolar, som medgav mätning av magnetfält i tre riktningar. Det var dock endast de stationära instrumentens (BMM3 och MFM10) mätspolar som var reproducerbart orienterade i förhållandet till tågets färdriktning. Vid Stockholmsmätningarna fixerades de på bordet på sådant sätt att den ena spolens (x-spole) längsaxel hamnade i ett horisontellt plan vinkelrät mot färdriktning. Den andra spolens (y-spole) längsaxel låg då i ett vertikalt plan och den tredje spolens (z-spole) axel blev således orienterad i ett horisontellt plan parallellt med färdriktningen. Mätspolarna i Emdex-Lite instrumentet hade endast samma orientering relaterad till färdriktningen om lokföraren satt på förarplatsen med knäppt kavaj och med överkroppen exakt vinkelrätt mot färdriktningen. Emdex-Lite registrerade de tre magnetfältskomponenterna under hela tiden den var påslagen. Med BMM3



a: Mätning med ML1



b: Mätning med Emdex Lite

**Figur 30:** Magnetfält i Rc5-lok, mätt samtidigt med ML1 (a) och Emdex Lite (b).



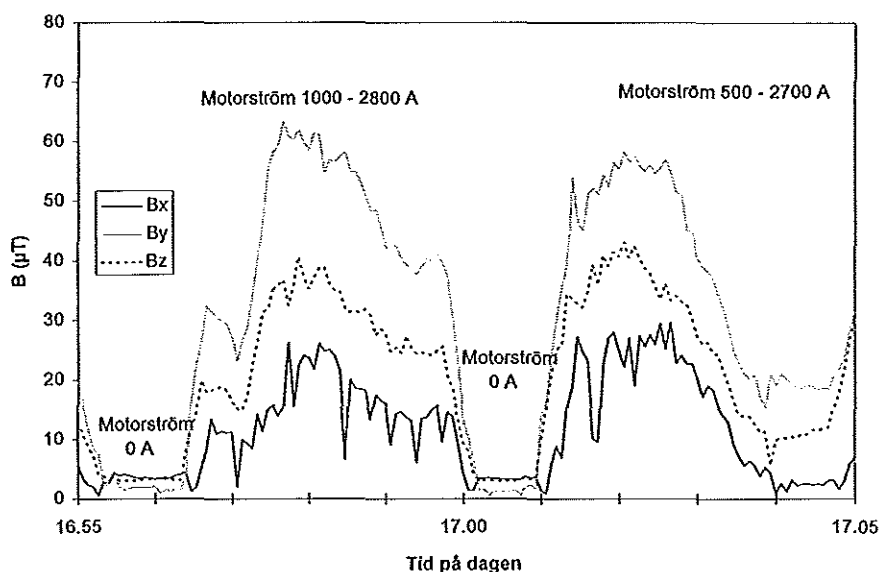
och MFM10 gjordes endast ögonblicksmätningar av komponenterna vid ett antal tidpunkter under några körningar.

### Magnetfältets riktning i Da-loket

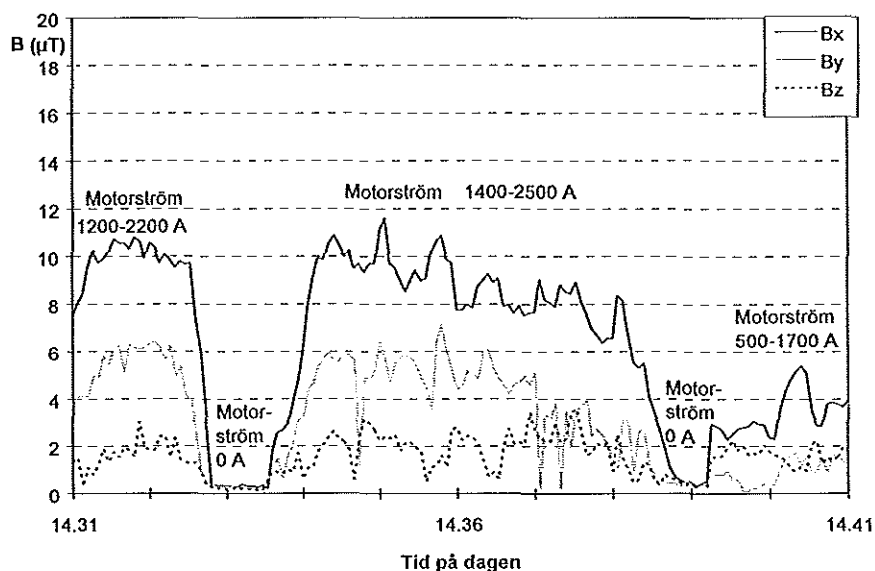
I figur 31 visas typiska tidsdiagram av de tre magnetfältskomponenterna i Da-loket. I diagrammen finns också noteringar om motorströmmen. I tabell B11 återges detaljerade resultat för magnetfältskomponenterna. De härstammar från samma Emdex-registreringar, som har redovisats tidigare i tabell B4.1 för körningar S3-S4. I tabellen har registreringar under stopptiden på mötesplatserna inte tagits med i beräkningen av storheterna i de olika kolumnerna. Detta för att inskränka utvärderingen av registreringar till förhållanden i förarens vanliga arbetsställning vid förarplatsen.

Figurerna och tabellen tyder på att det fanns skillnader mellan Da-lokets A- och B-hytt: I A-hyten var fältets y-komponent under färden som starkast och dess x-komponent som svagast. När motorströmmen var 0 A, dvs. när tåget stod stilla eller enbart rullade utan gaspådrag, var förhållandet dock annorlunda: En noggrannare analys av samtliga Emdex-mätdata från Da-loket visar att y-komponenten vid dessa tillfällen alltid var mindre än x- och z-komponenterna. I B-hyten däremot kom det största bidraget från x-komponenten och det minsta bidraget från z-komponenten. Dessutom var alla tre komponenter ungefär lika starka när motorströmmen var 0 A.

Dessa iakttagelser gjordes också vid många av de ca 40 mätningarna med MFM10 och BMM3 på bordet bredvid förarplatsen vid körningarna med Da-loket. Ett exempel på dessa mätningar visas i figur 26a och b.



a: A-hytt



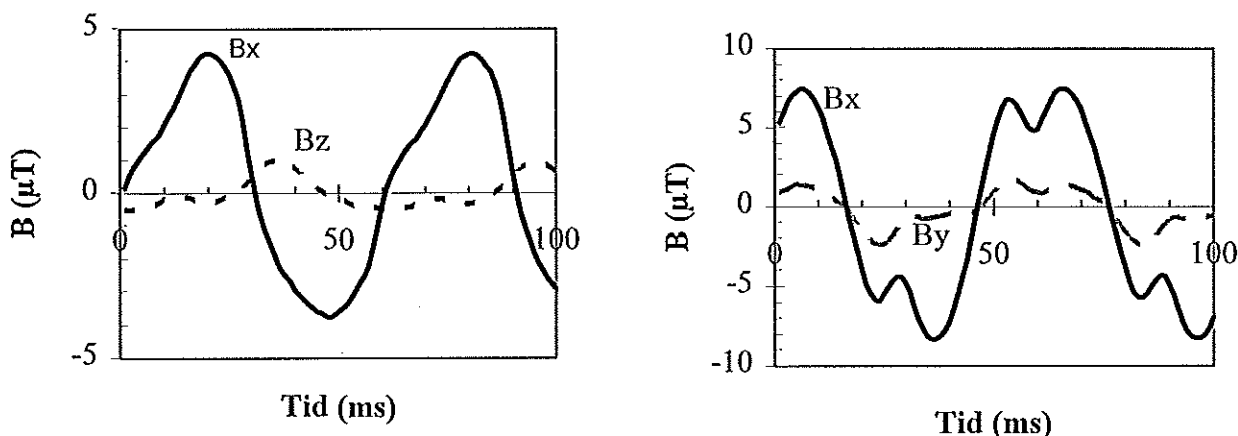
b: B-hytt (Obs! Inte samma skala på B-axeln som vid a)

Figur 31: Magnetfältskomponenter i Da-loket, mätt med Emdex Lite.

### Magnetfältens riktning i Rc5- och Rc6-lok

Det största bidraget på Rc5-lokets förarplats, mätt med Emdex Lite, kom från x-spolen, dvs den spole vars längsaxel var horisontell och vinkelrät mot färdriktningen, medan y-spolens bidrag var något starkare än z-spolens, se tabell B12 i bilagan. Under arbetspass S2 gjordes också ett 20-tal mätningar med BMM3 och MFM10 placerade på bordet bredvid förarplatsen; ett exempel visas i figur 27. Vid dessa tillfällen observerades samma styrkeförhållanden mellan de tre magnetfältskomponenterna som med Emdex-instrumentet.

Under arbetspasset S1 i Rc6-loket uppmättes det största bidraget på förarplatsen med Emdex-instrumentets z-spole och det minsta bidrag med dess x-spole, se tabell B13 i bilagan. Registreringarna står dock i motsats till de mätningarna som gjordes med BMM3 och MFM10 vid 22 olika tillfällen på bordet bredvid förarplatsen. Vid dessa mätningar uppmättes de starkaste fälten med x-spolen och de svagaste fälten med z-spolen, se figur 33. Dessa motstridiga observationer kan bero på att lokföraren inte hade knäppt kavajen under arbetspass S1. Emdex-instrumentet hamnade då på hans vänstra sida vilket gjorde att instrumentets x- och z-spole hade bytt plats i förhållandet till färdriktningen.



a: A-hytt, motorström 500 A

b: B-hytt, motorström 400 A

Figur 32: Magnetfält i Rc6-loket 1395.

## 5. DISKUSSION

Magnetfälten i lokens förarhytter härrör från två olika typer av källor. Det ena bidraget orsakas av flera lokala källor ombord på loket, medan det andra bidraget genereras av strömmarna i kontakt- och återledningar samt rälar. Fälten är svåra att beskriva generellt eftersom de varierar beroende på loktyp och samtidigt uppvisar stora fluktuationer bl a pga ”gaspådraget”.

I lokens maskinrum finns ett stort antal olika källor, men endast de som ligger närmast förarhytten ger ett märkbart bidrag till fälten vid förarplatsen. Bland de dominerande källorna märks huvudtransformatorn, traktionsmotorerna, roterande omformare (där sådana fortfarande används) och andra motorer till hjälpmaskiner. Kännetecknande för den typen av magnetfältskällor är att fälten minskar i stort sett med kuben på avståndet. De borde därför också ge upphov till en mer inhomogen fältfördelning i förarhytten. Traktionsmotorerna - var och en av dem kan dra upp till 3000 A i Da-loket och 1000 A i Rc-loken - är placerade under maskinrummets golv. Den främre av Rc-lokens fyra traktionsmotorer ligger under golvet till förarhyttens bakre ände och skulle kunna ge ett större bidrag till magnetfälten vid förarplatsen. Detta antagandet borde testas vid förnyade mätningar, särskilt i Rc2-lok, genom att man stänger av den motor som är närmast förarhytten.

Det andra bidraget till fälten i loket alstras av strömmar upp till ca 300 A i kontakt- och återledningar samt rälen. Fält alstrade av källor av detta slag brukar inte minska lika snabbt med avståndet och man kan därför förvänta sig att detta bidrag leder till en mera homogen fältfördelning i förarhytten. Fältstyrkan beror också på fördelningen av strömmarna i kontakt- och återledningen, s-rälen och marken. Dessa är i sin tur avhängiga av var lokets strömuttag från kontaktledningen sker i relation till läget för inmatningen från omformarstationen, förbindningen mellan s-räl och återledning och läget för sugtransformatorerna. Olika typfall av strömbanor har beskrivits i Banverkets modellberäkningar av magnetisk flödestäthet för kontaktledningssystem med sugtransformatorer och separat återledning vid enkelspår (Banverket 1994). 1,5 m mitt ovanför rälen anges värden på ca 5 - 30  $\mu\text{T}$  för de olika typfallen vid en inmatning av 200 A. På vilka sätt magnetfälten i loken påverkades av var lokens strömuttag skedde, kunde dock inte utredas i denna undersökning. I sammanhanget kan också nämnas att det inte fanns några tydliga skillnader mellan magnetfälten i loken vid körningar i Stockholmstrakten längs enkelspår eller vid körningar längs dubbelspår med parallella kontaktledningar.

Förutom kontakt- och återledningssystem finns det ytterligare källor utanför loken som kan tänkas ge tillskott till fälten i loken, t ex sugtransformatorer, hjälpkraftinstallationer, andra tåg på linjen eller korsande högspänningsledningar. Eventuella bidrag till fälten från dessa källor var antagligen för svaga för att kunna urskiljas från fältregistreringarna under körningarna. Det gällde dock inte passerande tåg och tåg på samma linje, som kunde ge mätbara tillskott på 3-6  $\mu\text{T}$  till fälten i de stillastående loken där mätningarna utfördes.

I figur 33 a och b ges en sammanställning av resultaten från alla mätningar vid de 39 körningarna. Vid varje körning mättes magnetfälten vid förarplatsen var fjärde sekund. Den kortaste körningen varade ca en timme; för var och en av körningarna finns det således minst ca 900 mätvärden. I figur 33 a visas median- och medelvärdena för var och en av körningarna; felstaplarna utgörs av standardavvikelsen. I figur 33 b visas motsvarande diagram för 75%-percentilen och det största uppmätta värdet av flödestätheten.

Av figurerna framgår en tydlig skillnad mellan Da-lok och Rc-lok. Endast i Da-loket skilde sig fälten i A- och B-hytten avsevärt från varandra. Både medel- och medianvärdena var 2-3 gånger högre i A-hytten än i B-hytten (24 och 32  $\mu\text{T}$  respektive 15 och 31  $\mu\text{T}$  i A-hytten; och 6,5 och 8,2  $\mu\text{T}$  respektive 7,0 och 8,8  $\mu\text{T}$  i B-hytten). Differensen blir ännu större om tidsperioder då

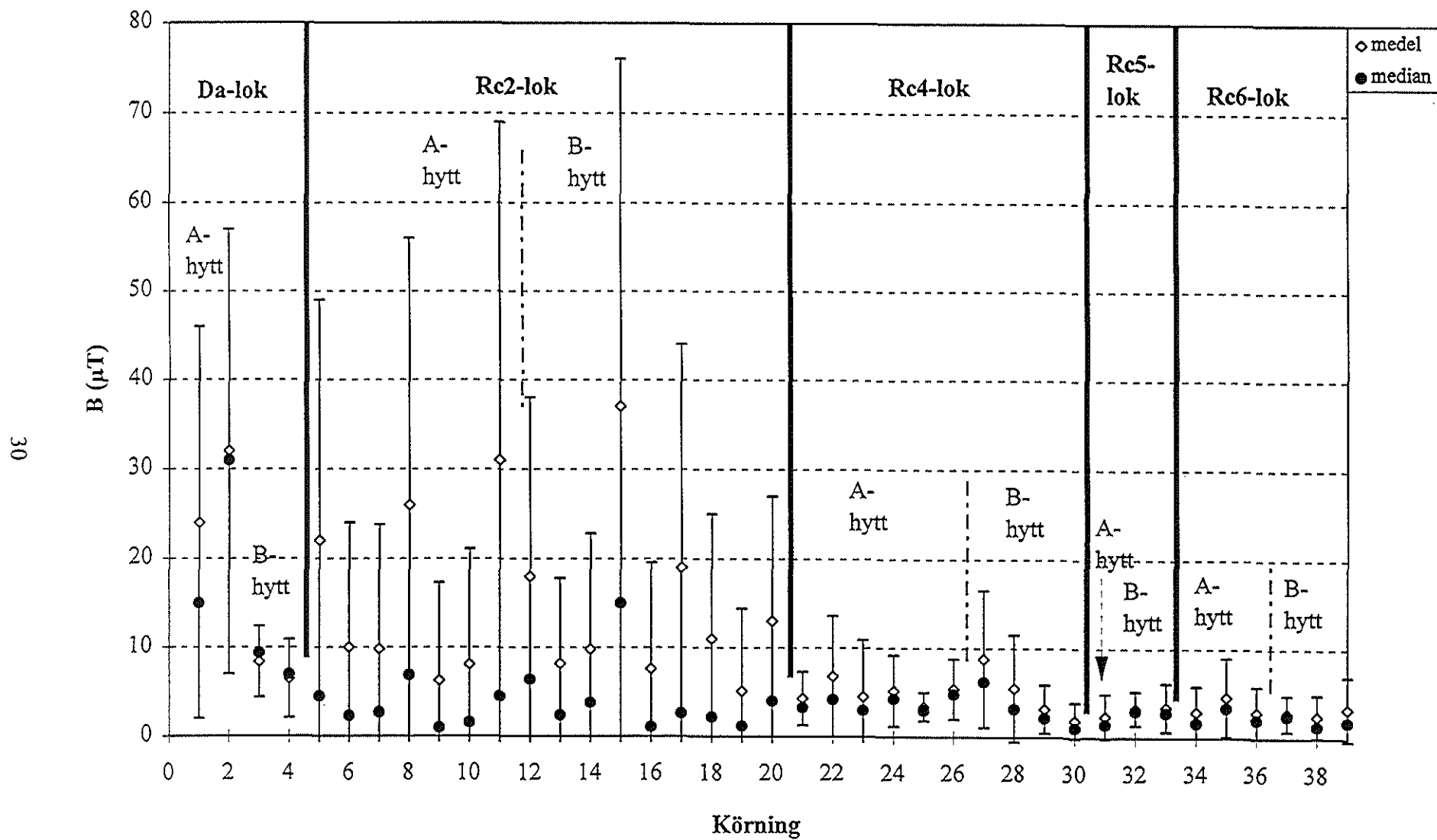
tågen stod stilla inte inkluderas i beräkningarna av medel- och medianvärdena (tabell B4.1). Även flödestäthetens maxvärden var betydligt högre i A-hytten (71 och 77  $\mu\text{T}$ ) än i B-hytten (17  $\mu\text{T}$ ). I Rc-loken verkade det däremot inte finnas några signifikanta skillnader mellan fälten i A- och B-hytten.

Det observerades ytterligare några skillnader mellan fälten i Da-lokets A- och B-hytt. I B-hytten kom det största bidraget från fältets x-komponent, dvs den horisontella komponenten, som var vinkelrät mot färdriktningen, medan bidraget från  $B_z$ -komponenten (horisontell komponent parallell med färdriktning) var lägst. I Da-lokets A-hytt var däremot  $B_y$ -komponenten (vertikal mot färdriktning) som starkast och  $B_x$ -komponenten som svagast. I A-hytten var också fälten på förarplatsen ca 2,3-2,6 gånger starkare än fälten på bordet bredvid, medan motsvarande förhållande i B-hytten endast var 1,2-1,5. Vid flera tillfällen observerades också att fälten vid A-hyttens förarplats uppgick till 3 - 5  $\mu\text{T}$  när tåget stod stilla och en ventilator i maskinrummet bakom hyttens vägg var påslagen, men att fälten gick ner till mindre än 1  $\mu\text{T}$  när ventilatorn stängdes av. Fältfördelningen var tydligen mera inhomogen i Da-lokets A-hytt än i dess B-hytt. Med alla dessa observationer ligger det nära till hands att anta att det dominerande bidraget till magnetfälten i Da-lokets A-hytt härrörde från lokala källor på loket, främst från huvudtransformatorn (och tillhörande strömförande komponenter), som fanns mycket närmare A-hytten än B-hytten. I B-hytten däremot orsakades det största bidraget till fälten av strömmar i kontakt- och återledningssystemet. Hur stor andel av fälten som orsakades av olika lokala källor, och hur stor del som kunde hänföras till kontaktledningar och rälen kunde dock inte avgöras.

De starkaste fälten, beträffande medel- och medianvärden, påträffades i Da-lokets A-hytt. Men även Rc2-lok skiljer sig markant från nyare modeller av Rc-lok. Vid några körningar med Rc2-loken uppnåddes lika höga medelvärden som i Da-lokets A-hytt, medan medelvärdena i övriga Rc-lok var avsevärt lägre. Rc2-loken utmärker sig också genom att det förekom mycket större magnetfältsfluktuationer i denna loktyp. Flödestäthetens medelvärden varierade mellan 5 och 37  $\mu\text{T}$  vid de olika körningarna i Rc2-loken. Även de största skillnaderna mellan medel- och medianvärdena och de kraftigaste standardavvikelserna uppmättes i Rc2-loken. Dessutom låg de starkaste fälten vid lokförarplatsen i Rc2-loken alltid över 40  $\mu\text{T}$ , ett värde som bara överträffades i Da-lokets A-hytt och vid två körningar i Rc4-lok. Endast i Rc2-loken påträffades för övrigt vid några tillfällen under körningen maxvärden för flödestätheten på över 100  $\mu\text{T}$ . Maxvärden i samma nivå har rapporterats av Minder et al (1993) vid förarplatsen, i brösthöjd, i några loktyper som var vanliga i Schweiz under 1950- och 1960-talen.

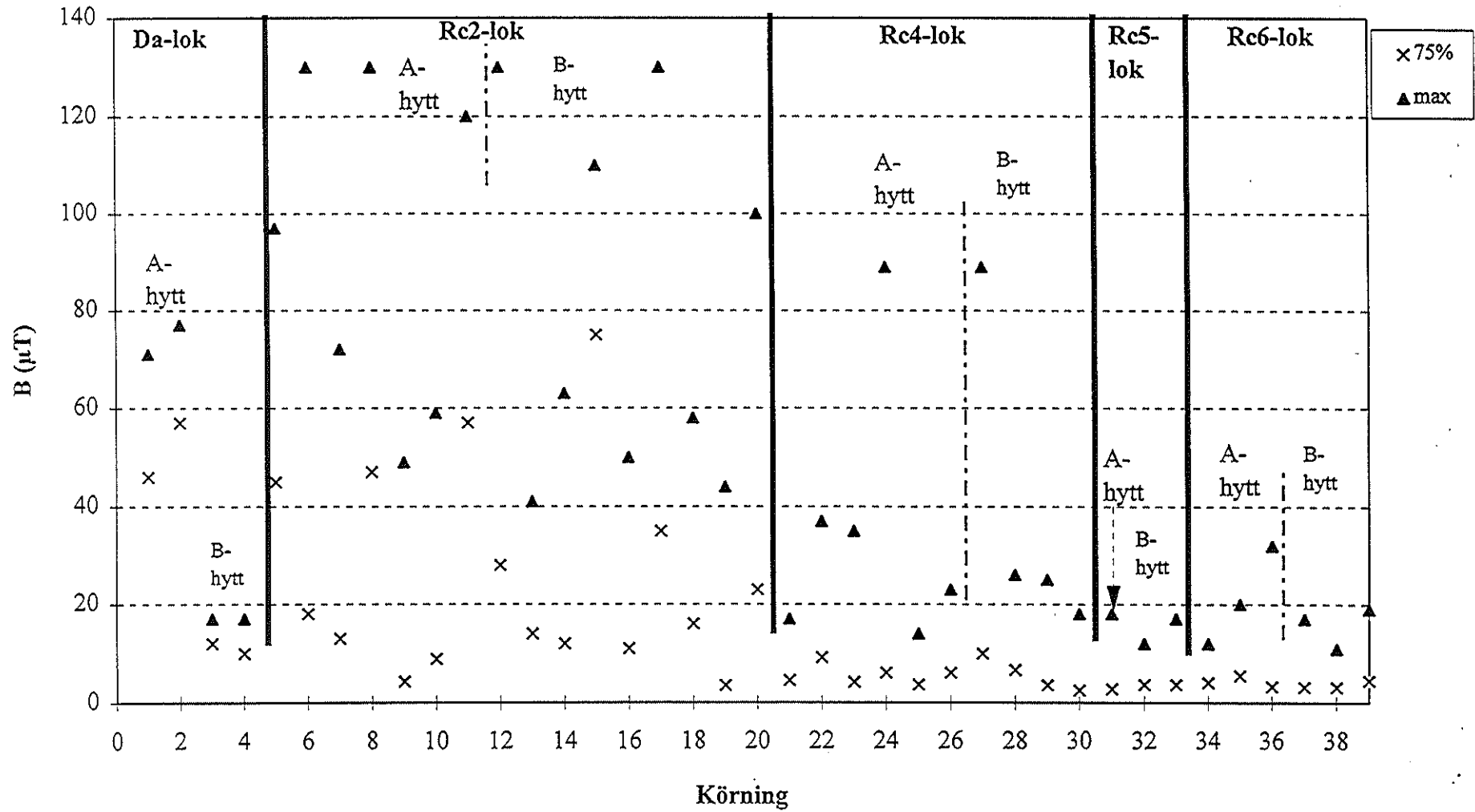
Anledningen till de avvikande fälten i Rc2-lokens förarhytter kunde inte klarläggas. Det var ingen signifikant skillnad mellan fälten i Rc2-lokens A- och B-hytter. Något tydligt samband mellan tågvikt och flödestäthetens medel-, median- eller maxvärden kunde inte heller fastställas. Enstaka punktmätningar på olika platser i förarhytten tydde på kraftiga fältgradients i denna loktyp. Alla Rc2-lok i denna undersökning, utom ett (nr 1136), var utrustade med roterande omformare för att förse hjälpmaskinerna med 380 V trefassspänning. Omformaren var placerad intill ventilatorn till traktionsmotorn närmast A-hytten. I Rc2-lok nr 1136, i Rc4-, Rc5- och Rc6-lok används statiska omriktare istället för omformare. Mätvärden i lok nr 1136 (körning 13 i figur 33 a, b) skilde sig dock inte anmärkningsvärt från dem i övriga Rc2-lok annat än att maxvärdet på 41  $\mu\text{T}$  var det lägsta för alla Rc2-lok.

I de övriga Rc-loken var magnetfälten svagare än i Rc2-loken. I Rc4-loken varierade flödestäthetens medelvärden mellan 2 och 9  $\mu\text{T}$ , och medianvärden mellan 1 och 6  $\mu\text{T}$ . I Rc5- och Rc6-



Figur 33: Magnetfält i lok vid samtliga 39 körningar. a: Flödestäthetens medianvärde, medelvärde och standardavvikelse





Figur 33: Magnetfält i lok vid samtliga 39 körningar. b: Flödestäthetens 75%-percentil och maxvärde

loken var mätvärdena ytterligare något lägre; medelvärdena varierade mellan 2 och 4  $\mu\text{T}$ , medianvärdena mellan 1 och 3  $\mu\text{T}$ . Det förekom inte heller lika många markeringar från starka magnetfält som i Rc2-loken, vilket syns tydligt i figur 34 b. Medan 75 %-percentilerna låg över 10  $\mu\text{T}$  vid de allra flesta körningarna med Rc2-loken, så var dessa mellan 3 och 10  $\mu\text{T}$  i Rc4-loken och lägre än 5  $\mu\text{T}$  i Rc5- och Rc6-loken. De starkaste fälten som uppmättes i dessa lok var lägre än 30-40  $\mu\text{T}$ , med undantag för två körningar i Rc4-loken då på 89  $\mu\text{T}$  registrerades.

Fälten i Rc5- och Rc6-loken skilde sig i ytterligare några hänseenden från fälten i Da-loken. Det största bidraget till fälten kom i båda förarhytterna från x-komponenten, dvs den horisontella komponenten vinkelrätt mot färdriktningen. Fälten vid förarplatsen avvek inte heller från fälten på bordet till höger om förarpulpeten, vilket var fallet vid Da-loket. Det tyder på en mer homogen fältfördelning i Rc5- och Rc6-loken, och en eventuell inverkan från lokala fältkällor verkar vara mindre påfallande. De uppmätta maxvärdena på 15-40  $\mu\text{T}$  låg också i nivå med de beräkningar av flödestätheten från strömmar i kontakt- och återledningssystemet som Banverket presenterat (Banverket 1994). Från opublicerade mätningar av magnetfält (Anger 1996) vid ett antal tågresor framgår att fälten i olika vagnar var på samma nivå som i Rc5- och Rc6-loken. Sammanlagt leder dessa observationer till antagandet att det största bidraget till fälten i Rc5- och Rc6-lokens förarhytter härrör från strömmar i kontakt- och återledningssystemet och inte från lokala fältkällor på loken. Några liknande uppgifter om fälten i Rc2- och Rc4-lokens förarhytter finns inte, därför är det svårare att göra några antaganden om fältens härkomst. Det kan också vara värt att notera att mätresultaten från Rc5- och Rc6-loken i Norrland inte skilde sig från Stockholmsmätningarna, även om större tågvikter förekom i Norrland.

Da-lok och Rc-lok skilde sig även åt när det gällde magnetfältens frekvensinnehåll. Fälten i förarhytten innehöll många olika frekvenskomponenter, dels grundtonen på 16 2/3 Hz, dels övertonerna 33 1/3, 50 Hz, 66 2/3 och så vidare upp till över 200 Hz. Frekvensinnehållet varierade hela tiden beroende på den momentana belastningen på de olika magnetfältskällorna. När motorerna gick på tomgång dominerade grundfrekvensen. När traktionsmotorerna var maximalt belastade fanns hela spektrat av frekvenser upp till ca 260 Hz i Rc-loken och upp till ca 120 Hz i Da-loket. Bidragen från övertoner var något mindre i Da-loket än i de övriga loken.

Det bör också noteras att Stockholmsmätningarna genomfördes annorlunda i vissa avseenden än mätningarna i Norrland, vilket kan ha påverkat mätresultaten. Mätningar i Stockholmstrakten gjordes i tre olika lok längs samma körsträcka och med tågvikter mellan 350 och 612 ton. I Norrland användes 23 olika lok som framfördes längs några olika bansträckor och där tågvikten varierade mellan 350 och 2200 ton. Vid Norrlandsmätningarna var det personburna Emdex Lite instrumentet inte alltid på samma plats. En del lokförare fäste instrumentet i bältet eller förvarade det i bakfickan istället för i vänstra bröstfickan som vid Stockholmsmätningarna. Det kan vara av betydelse i Rc2-loken, där enstaka spotmätningar på andra platser i förarhytten tydde på stora fältgradienter i förarens närmaste omgivning. Från Stockholmsmätningarna finns det också mera detaljerade anteckningar från olika arbetsmoment under arbetspassen, som gjorde det möjligt att skilja tidsperioder åt då tågen framfördes längs spåren, eller då tågen stod stilla under längre tid på stationer, vid mötesplatser, vid stoppsignaler eller då rangeringsarbete pågick. Från Norrlandsmätningarna finns det t ex inga anteckningar om några särskilda omständigheter vid toppmarkeringarna upp emot 130  $\mu\text{T}$  i Rc2-loken, t ex om lokföraren befunnit sig i maskinrummet eller dylikt.



## 6. SAMMANFATTNING

Under de senaste åren har det i några epidemiologiska studier undersökts om det finns ett samband mellan yrkesmässig magnetfältsexponering och en ökad risk för cancersjukdomar bland lokförare. Mätningar av magnetfält i svenska lok har hittills endast gjorts i mycket begränsad omfattning. Denna undersökning syftade till att mäta magnetfälten vid förarplatsen i olika typer av elektriska lok, både i äldre elektromekaniska Da-lok och i nyare tyristorstyrda Rc-lok.

Svenska järnvägar drivs med 16 kV 16 2/3 Hz enfas växelström, som överförs från omformarstationer via kontaktledningar och strömvtagare till loken. Strömmen, som kan uppgå till 300 A, återförs från loken via hjulen, rälen och återledning till omformaren. Ombord på loken transformeras spänningen ner för att försörja traktionsmotorerna och övriga elektriska maskiner och installationer med den erforderliga spänningen.

Da-lok är koppelstångslok som har tillverkats sedan början av 1950-talet i 93 exemplar, men som sedan 1994 inte används längre i regelbunden trafik. En liknande loktyp på malmbanan är dock fortfarande i drift. Da-lokets två växelströmsmotorer regleras genom att man via kontaktorer kopplar in olika uttag på huvudtransformatorn. Rc-lok, som introducerades i mitten av 1960-talet och som tillverkats i sex serier, Rc1-6, utgör idag med sammanlagt 353 exemplar stommen i SJ:s lokpark. Rc-lok är boggilok med fyra traktionsmotorer, som drivs med pulserande likström och vars effekt steglöst regleras med hjälp av tyristorer.

Magnetfältsmätningar gjordes i 26 Da-, Rc2-, Rc4-, Rc5- och Rc6-lok i reguljär godstrafik vid 39 tillfällen längs olika bansträckor i Stockholmstrakten, i Norrbottens län och i Västerbottens län. Varje lok hade två förarhytter, A och B. Vid mätningarna bar lokförarna en loggande magnetfältsmeter. Den var försedd med tre ortogonalt placerade mätpolar och registrerade flödestäthetens effektivvärde var fjärde sekund. Varje spole hade ett mätområde på 0 -70  $\mu$ T, och instrumentet arbetade i frekvensområdet 10 - 1000 Hz. Som resultat för varje enskild körning redovisas flödestäthetens tidsdiagram, medel-, median- och maxvärde, standardavvikelse samt 75%-percentil. Ytterligare mätinstrument placerades på ett bord till höger om lokföraren för att undersöka magnetfältens kurvform och frekvensinnehåll.

Karakteristisk för magnetfälten i lokens förarhytter var stora fluktuationer från 0,5  $\mu$ T till över 100  $\mu$ T under loppet av ett tiotal sekunder beroende bl a på loktyp och körförhållanden (gaspådrag, inbromsning, motorström). De starkastefälten uppmättes i de äldsta loken, dvs i Da-loket och i Rc2-loken. I Da-loket var fälten avsevärt starkare i A-hyppen än i B-hyppen; medel- och medianvärden låg mellan 30 och 40  $\mu$ T i A-hyppen, och mellan 7 och 9  $\mu$ T i B-hyppen. Motsvarande maxvärden för flödestätheten låg på ca 75  $\mu$ T respektive 17  $\mu$ T. I A-hyppen var fältfördelningen också mera inhomogen än i B-hyppen.

I Rc2-loken fanns det ingen signifikant skillnad mellan fälten i A- och B-hyppen. Samtidigt var magnetfältvariationerna betydligt större än i övriga loktyper. Vid olika körningar i Rc2-loken varierade flödestäthetens medelvärden mellan 5 och 37  $\mu$ T. Maxvärdena låg alltid över 40  $\mu$ T, vid några tillfällen även över 100  $\mu$ T, vilket var högre än i de övriga Rc-loken. Rc2-loken skiljer sig från de övriga Rc-loken bl a genom att de är utrustade med roterande omformare istället för statiska omriktare. Orsaken till de avvikande fälten i Rc2-lokens förarhytter kunde dock inte klarläggas.

Även i de övriga Rc-loken fanns det inte någon skillnad mellan fälten i A- och B-hyppen, men fälten var svagare än i Rc2-loken. I Rc4-loken varierade medelvärdena vid de olika körningar mellan 2 och 9  $\mu$ T, och i Rc5- och Rc6-loken mellan 2 och 4  $\mu$ T. 75%-percentilerna och

maxvärdena var 3-10  $\mu\text{T}$  respektive 14-89  $\mu\text{T}$  i Rc4-loken och lägre än 5  $\mu\text{T}$  respektive 11-32  $\mu\text{T}$  i de övriga två loktyperna.

Vid både Da- och Rc-loken dominerade magnetfältssignaler av 16 2/3 Hz med tydliga bidrag från övertonssignaler. I Rc-loken förekom övertoner upp till ca 185 Hz, i Da-loket upp till ca 120 Hz.

Magnetfälten i lokens förarhytter orsakas av två slags källor. Det ena bidraget härrör från transformatorer, motorer, och annan elektrisk utrustning ombord på loket. Det andra bidraget alstras av strömmar i kontakt- och återledningar och rälen och andra källor utanför loken. Fälten från den första typen av källor minskar i stort sett med kuben på avståndet medan fälten från kontakt- och återledningsströmmar inte minskar lika snabbt med avståndet. Hur stor andel av fälten i förarhytten som orsakades av de olika källorna kunde inte avgöras. Resultaten i undersökningen tyder dock på att det dominerande bidraget i Da-lokets A-hytt alstrades av källor i loket medan fälten i B-hytten och i Rc5- och Rc6-lokens förarhytter till större del genererades av strömmar i kontakt- och återledningar.

## 7. SUMMARY

During recent years epidemiological studies have suggested that occupational exposure to magnetic fields might increase the risk of cancer incidence among railway engine drivers. So far measurements of magnetic fields in Swedish locomotives has been done only on a small scale. This study intended to measure ELF magnetic fields at the driver's place in different types of electrical locomotives, both in the older electromagnetic ones of Da-type and in the newer thyristor controlled ones of Rc-type.

The Swedish railway system runs with one phase alternating current of up to 300 A at 16 kV and 16 2/3 Hz. The current is transmitted from transformer sub-stations through contact lines and pantographs to the locomotives, and it is led back to sub-stations via engine wheels, tracks and return conductors. On board the locomotive the high voltage is transformed in order to supply traction motors, and other electrical machines and equipment with appropriate voltage.

Since 1952 a total number of 93 engines rod drive Da-locomotives has been delivered, but they are not used in regular traffic since 1994. A similar kind of engine is still in use at the ore railway in the northern part of Sweden. The two traction motors of the Da-locomotive are controlled by means of contactors which are connected to different outlets of the main transformer. Rc-locomotives were introduced in the mid of the nineteen-sixties and have been manufactured in a series of six models, Rc1-6. A total number of 353 Rc-engines form today the base of the engine park of the Swedish railway. Rc-engines are bogie drive locomotives containing four traction motors operated with pulsating direct current and provided with variable speed transmission by means of thyristors.

Magnetic fields were measured in 26 Da-, Rc2-, Rc4-, Rc5-, and Rc6-locomotives. They were driven with regular goods trains at 39 occasions along different railway lines near Stockholm and in the northern part of Sweden. Each engine had two driver cabins, A and B. During measurements the engine drivers carried a logging field meter. It was provided with three orthogonal measuring coils and took one sample of the magnetic field at each fourth second. The measurement range of each coil was 0 - 70  $\mu\text{T}$ , and the frequency range of the field meter was 10- 1000 Hz. For each driving results are presented as time diagram of the rms-value of the flux density, its mean and median value, standarddeviation, 75%-percentile, and maximum. In order

to find out the time domain signal of the magnetic field and its frequency content additional measurement instruments were placed on a table on the right side of the motorman.

Typical magnetic fields in driver's cabins of the locomotives showed great fluctuations from 0.5  $\mu\text{T}$  to more than 100  $\mu\text{T}$  within ten seconds or so depending on type of engine and driving conditions (working at full speed, braking, motor current). The strongest fields were found in the oldest engines, i.e. in Da- and Rc2-locomotives. In Da-engines the field was much stronger in A-cabins than in B-cabins. The mean and median values were 30 - 40  $\mu\text{T}$  in A-cabins, and 7 - 9  $\mu\text{T}$  in B-cabins. The maximum values of the flux density were about 75  $\mu\text{T}$  and 17  $\mu\text{T}$ , respectively. Furthermore the field distribution was more nonuniform in A- than in B-cabins.

There was no significant difference between fields in A-and B-cabins of Rc2-locomotives. However, the magnetic field varied much more in that kind of engine than in all the other ones. At different drivings with Rc2-engines mean values of the flux density were spread from 5 to 37  $\mu\text{T}$ . The maximum values always exceeded 40  $\mu\text{T}$ , which was higher than in all the other Rc-engines. Furthermore Rc2-locomotives were the only engines where maximum values exceeding 100  $\mu\text{T}$  have been measured. There are some constructional differences between Rc2-engines and other Rc-locomotives, for instance are Rc2-engines supplied with rotary converters instead of static ones. The reasons why the fields in Rc2-engines differed that much from those in other Rc-engines could not be elucidated, however.

There was no difference between fields in A- and B-cabins in other Rc-locomotives either, but the fields were weaker in these engines than in the Rc2 ones. The mean values were 2 - 9  $\mu\text{T}$  at different drivings in Rc4-engines, and 2 - 4  $\mu\text{T}$  in Rc5- and Rc6-locomotives. The 75%-percentiles and maximum values were 3 - 10  $\mu\text{T}$  and 14 - 89  $\mu\text{T}$  in Rc4-engines and less than 5  $\mu\text{T}$  and 11 - 32  $\mu\text{T}$  in Rc5-and Rc6-engines, respectively.

In both the Da- and Rc-locomotives the strongest magnetic field signal was at a frequency of 16 2/3 Hz but there were obvious contributions from higher harmonics. In Rc-engines there were distinct harmonic frequencies up to 185 Hz and in Da-engines up to about 120 Hz.

Magnetic fields in driver's cabins of locomotives arise generally from two kind of sources. One contribution is generated by transformers, motors, and other electric equipment on board the locomotives. The other contribution is caused by currents in contact lines, return conductors and rails and other sources along the railway line. Fields of the first type of sources typically decrease with the third power of distance while fields caused by the contact and return current system decrease more slightly. In this study it was not possible to quantify the different contributions to fields at the engine driver's place. There is, however, some indication that the main contributions to fields in the A-cabin of the Da-engine originate from local sources on board the locomotive while a greater part of the fields in its B-cabin as well as in Rc5- and Rc6-locomotives was derived from currents in the contact and return line system.



## 8. REFERENSER

- Alfredsson L, Hammar N, Karlehagen S (1996): Cancer incidence among railway engine-drivers and conductors in Sweden, 1976-90. *Cancer Causes and Control* 7: 377-381.
- Anger G (1996): Opublicerade mätningar.
- Banverket (1993): Vägen av stål. Banverket, Borlänge.
- Banverket (1994): Elektromagnetisk miljö utmed elektrifierad järnväg i Sverige. Banverkets tekniska rapporter No 1994:3.
- Diehl U, Nilsson L (1969-1994): Svenska lok och motorvagnar 1969,1971, 1973, 1976, 1979, 1982, 1985, 1988, 1991, 1994. Svenska Järnvägsklubbens skriftserie.
- Floderus B, Törnqvist S, Stenlund C (1994): Incidens av cancersjukdomar 1961-79 bland anställda vid järnvägen. *Arbete och hälsa vetenskaplig skriftserie* 1994:35.
- Hardell L, Holmberg B, Malker H, Paulsson L-E (1995): Exposure to extremely low frequency electromagnetic fields and the risk of malignant diseases. - An evaluation of epidemiological and experimental findings. *Europ J Cancer Prevention* 4 (Supp 1): 3-107.
- Kheifets L I, Afifi A A, Buffler P A, Zhang Z W (1995): Occupational electric and magnetic field exposure and brain cancer: a meta-analysis. *J Occup Environ Med* 37 (12): 1327-41
- Minder Ch E, Pfluger D H (1993): Extremely low frequency electromagnetic field measurements (ELF-EMF) in Swiss railway engines. *Rad Protection Dos* 48 (4): 351-354.
- SJS (1982): Handhavande av lok littera Da. Kompendium DA SJS 333.18
- Sjöborg. Ch (1995) SJ-skolan, fordonsbeskrivning lok litt Rc. SJ-skolan Mjölby.
- Stenlund C, Lindh T, Floderus B, Knave B, Sellman B (1989): Mätning av magnetfält på tåg. Arbetsmiljöinstitutet Undersökningsrapport 1989:10, Solna.
- Wretman L (1989): Boken om D-lokens historia. Text&Bild-Förlaget.

## 9. ERKÄNNANDE

Författarna tackar SJ, som stött projektet positivt och tillåtit mätningarna i loken. Ett särskilt tack till SJ:s skyddsingenjör Anders Ekelin, som med stort intresse följde arbetet och själv deltog i två mätningar i Stockholm.

Ett varmt tack också till alla lokförare som ställde upp och bar instrumenten på sig. Särskilt bör lokförare Yngve Carlsson nämnas som inom ett projektarbete i sin skyddsingenjörutbildning på Arbetskyddsstyrelsen engagerade sig med stor energi i undersökningen och också bidrog med värdefulla upplysningar.

Inte att förglömma är Thomas Linde, som hjälpte till med insamling och bearbetning av mätvärden i Norrland innan han lämnade Arbetslivsinstitutet.

Uppskattning förtjänar också Viktor Paulsson och Per Anger som såg till att bilderna till rapporten blev scannade.



## BILAGA

**Tabell B1: Översikt över arbetspass i Stockholmstrakten**

Arbetspass						Tåg	Lok			
Nr.	Datum	Klocka	t.min	Sträcka	Mom. <sup>2</sup>	Nr	Typ	Nr	Hytt	Avt. <sup>1</sup>
S1	950213	12.04-19.01	6.57	Hgl-Tb	r, k	•	Da	896	A,B	2
							Rc6	1395	A,B	2
S2	950217	12.31-20.27	7.56	Hgl-Tb	r, k	•	Rc5	1334	A,B	2
S3	950220	13.28-18.25	4.57	Hgl-Tb	r, k	•	Da	896	A,B	2
S4	950222	13.30-20.25	6.55	Hgl-Tb	r, k	•	Da	896	A,B	2

**Tabell B2: Översikt över körningar i Norrlandstrakten**

Körning		Tåg	Lok			
Nr.	Datum	Nr.	Typ	Nr	Hytt	Avt. <sup>1</sup>
N1	941201	•	Rc4	1278	•	•
N2	941201	•	Rc4	1305	B	•
N3	950118	•	Rc2, Rc2	1070*, 1030	B	1
N4	950118	•	Rc2	1136	B	2
N5	950207	9105	Rc2, Rc2	1126*, 1113	A	1, 4
N6	950207	978	Rc6	1401	B	2
N7	950509	5087	Rc4, Rc4	1138*, 1204	A	1, 4
N8	950510	902	Rc2	1042	A	2
N9	950510	5073	Rc4, Rc4	1286*, 1288	B	1, 4
N10	950511	4921	Rc4	1255	B	2
N11	950511	5704	Rc2, Rc2	1104*, 1110	A	1, 4
N12	950512	45943	Rc2	1035	B	2
N13	950513	9105	Rc4	1196	A	•
N14	950513	4002	Rc6	1355	B	2
N15	950515	9150	Rc4	1153	A	2
N16	950515	9153	Rc4	1153	A	2
N17	950516	9154	Rc2	1077	A	2
N18	950516	9154	Rc2	1077	B	2
N19	950516	9157	Rc2	1077	B	2
N20	950516	9153	Rc2	1077	A	2
N21	950517	9157	Rc2	1077	A	2
N22	950517	9150	Rc2	1077	B	2
N23	950517	971	Rc6	1398	A	2
N24	950517	5708	Rc4, Rc4	1148*, 1269	A	1, 4
N25	950519	902	Rc6	1360	A	2
N26	950519	5082	Rc2, Rc2	1105*, 1028	B	1, 4
N27	950519	5082	Rc2, Rc2	1028*, 1105	B	1, 4
N28	950521	4007	Rc4	1305	B	2
N29	950522	902	Rc2	1035	A	2
N30	950602	971	Rc5	1329	B	2
N31	950602	902	Rc2	1045	A	2

<sup>1</sup>: Uppfällda strömavtagare:

1: Främre i första

1: främre i första lok.

2: bakre i första loket

4: bakre i andra loket

0: avtagare finns ej

<sup>2</sup>: Arbetsmoment:

k: körning,

r: rängering

\*: Tåget drogs av två lok:

Föraren befann sig i

det markerade lok.

•: Uppgift saknas

**Tabell B3: Magnetfält under hela arbetspass vid Stockholmsmätningarna**

Arb.-pass	Tid (t.min)	Lok			Resultande B ( $\mu\text{T}$ )						
		Typ	nr.	Hytt	medel	std	min	50%	75%	max	( $\mu\text{Th}$ )
S3	4.57	Da	896	A,B	14	18	0,23	5,3	16	120 <sup>1</sup>	70
S4	6.55 <sup>2</sup>	Da	896	A,B	12	18	0,01	3,9	10	77	81
S2	7.56	Rc5	1334	A,B	1,9	2,1	0,10	1,1	2,6	34	15
S1	6.57 <sup>3</sup>	Rc6	1395	A,B	3,6	6,9	0,01	2,1	3,7	75	25
		Da	89	A,B							

- 1: Sammanlagt två registreringar under en 20 s, där B översteg 70  $\mu\text{T}$ , när lokföraren befann sig i maskinrummet för att återställa ATC-utrustningen.
- 2: 6 timmar drogs tåget av Da-loket. Efter fel i Da-loket drogs tåget under 55 minuter av ett Rc5-lok. Lokföraren som bar Emdex Lite stannade dock kvar i Da-loket.
- 3: 1.16 timmar i Da-loket, 5.41 timmar i Rc6-loket.



**Tabell B4.1: Magnetfält i Da-loket 896 vid körning längs enkelspår, mätt med Emdex-Lite**

Körning	Körtid (t.min)	Tågvikt (ton)	Lokhytt	Resultande B (μT)					
				medel	std	min	50%	75%	max
S3.2	1.30 <sup>1</sup>	385	A	24	22	0,96	15	46	71
	1.09 <sup>2</sup>			31	22	1,5	32	52	71
S4.2	1.23 <sup>1</sup>	600	A	32	25	0,28	31	57	77
	1.11 <sup>2</sup>			37	24	0,28	41	59	77
S3.1	1.12 <sup>1</sup>	612	B	8,2	7,0	0,25	8,8	11	120 <sup>3</sup>
	1.01 <sup>2</sup>			8,4	4,1	0,41	9,4	12	17
S4.1	1.13 <sup>1</sup>	349	B	6,5	4,4	0,09	7,0	10	17
	1.03 <sup>2</sup>			7,4	4,0	0,25	8,3	11	17

**Tabell B4.2: Magnetfält i Da-loket 896 vid körning längs enkelspår, mätt med olika mätinstrument**

Körning	Körtid (t.min)	Lokhytt	Mätinstr.	Mät-position.	Resultande B (μT)					
					medel	std	min	50%	75%	max
S3.2	1.30 <sup>1</sup>	A	Emdex	förare	24	22	0,96	15	46	71
			MFM10	bord <sup>4</sup>	11	8,4	0,38	7,2	18	29
	1.09 <sup>2</sup>		Emdex	förare	31	22	1,5	32	52	71
			MFM10	bord <sup>4</sup>	13	8,0	0,38	14	20	29
S4.2	0.40	A	Emdex	förare	33	26	0,28	37	58	77
			MFM10	bord <sup>4</sup>	14	9,6	0,44	15	22	31
S4.2	0.08	A	Emdex	förare	19	15	4,1	16	27	54
			MFM10	vägg <sup>5</sup>	16	11	4,0	13	23	43
			BMM3	bord <sup>4</sup>	8,1	4,9	2,7	7,6	11	19
S4.2	0.09	A	Emdex	förare	35	27	1,3	46	62	72
			MFM10	förare <sup>6</sup>	39	29	2,5	49	67	76
			BMM3	bord <sup>4</sup>	16	10	2,1	18	26	30
S3.1	1.08 <sup>1</sup>	B	Emdex	förare	8,3	7,1	0,24	8,8	12	120 <sup>3</sup>
			MFM10	bord <sup>4</sup>	5,4	3,2	0,18	5,7	7,8	14
	0.57 <sup>2</sup>		Emdex	förare	8,5	4,1	0,73	9,5	12	17
			MFM10	bord <sup>4</sup>	6,1	3,0	0,41	6,3	8,1	14
S4.1	0,35	B	Emdex	förare	8,1	3,9	0,24	9,0	11	17
			MFM10	bord <sup>4</sup>	6,1	2,9	0,22	6,6	8,1	14

- 1: Inklusive stopptid på sidospår för att invänta mötande tåg
- 2: Exklusive stopptid på sidospår för att invänta mötande tåg
- 3: Se kommentar 1 vid tabell B3
- 4: På bordet 1,2-1,4 m till höger om förarplatsen
- 5: Vid hyttens bakre vägg, ca 1 m snett bakom lokföraren
- 6: Vid lokförarens högra sida ca 1,1 m ovanför golvet

**Tabell B5: Magnetfält i Rc2-lok vid körning längs enkelspår, mätt med Emdex-Lite**

Körning	Tågvikt (ton)	Lok		Resultande B (µT)					
		nr.	Hytt	medel	std	min	50%	75%	max
N5	2216	1126*, 1113	A	22	27	0,2	4,5	45	97
N8	595	1042	A	10	14	0,4	2,3	18	130
N11	1236	1104*, 1110	A	9,8	14	0,3	2,7	13	72
N17	825	1077	A	26	30	0,5	6,9	47	130
N20	1193	1077	A	6,3	11	0	0,98	4,3	49
N21	1118	1077	A	8,1	13	0,1	1,6	8,9	59
N29	715	1035	A	31	38	0,4	4,5	57	120
N31	625	1045	A	18	20	0,3	6,4	28	130
N4	350	1136 <sup>1</sup>	B	8,2	9,6	0,3	2,4	14	41
N3	1234	1070*, 1030	B	9,8	13	0,3	3,8	12	63
N12	853	1035	B	37	39	0,2	15	75	110
N18	843	1077	B	7,6	12	0,2	1,12	11	50
N19	1118	1077	B	19	25	0,2	2,58	35	130
N22	882	1077	B	11	14	0,2	2,15	16	58
N26	1664	1105*, 1028	B	5,1	9,3	0	1,22	3,5	44
N27	1803	1028*, 1105	B	13	14	0,1	4,04	23	100

**Tabell B6: Magnetfält i Rc4-lok vid körning längs enkelspår, mätt med Emdex Lite**

Körning	Tågvikt (ton)	Lok		Resultande B (µT)					
		nr.	Hytt	medel	std	min	50%	75%	max
N1	562	1278	•	4,3	3,0	0,3	3,3	4,5	17
N7	1527	1138*, 1204	A	6,8	6,8	0,1	4,2	9,2	37
N13	2200	1196	A	4,5	6,4	0,2	3,0	4,2	35
N16	1106	1153	A	5,2	4,0	0,1	4,3	6,1	89
N15	305	1153	A	3,4	1,6	0,2	3,0	3,7	14
N24	1158	1148*, 1269	A	5,4	3,4	0,4	4,8	6,1	23
N2	2211	1305	B	8,8	7,7	0	6,2	10	89
N9	•	1286*, 1288	B	5,5	6,0	0,2	3,2	6,7	26
N10	717	1255	B	3,2	2,7	0,3	2,2	3,6	25
N29	279	1305	B	1,9	2,0	0	1,1	2,5	18

1: Loket utrustat med omriktare istället för roterande omformare

\*: Tåget drogs av två lok. Mätningar gjordes med lokföraren i det markerade loket.

•: Uppgift saknas

**Tabell B7.1: Magnetfält i Rc5-lok vid körning längs enkelspår, mätt med Emdex-Lite**

Körning	Tid (t.min)	Tågvikt (ton)	Lok		Resultande B (µT)					
			nr.	Hytt	medel	std	min	50%	75%	max
S2.2	1.46 <sup>1</sup>	•	1334	A	2,4	2,5	0,17	1,5	2,8	18
	1.30 <sup>2</sup>				2,8	2,7	0,47	1,7	3,4	18
S2.1	1.11 <sup>1</sup>	384	1334	B	3,3	1,9	0,28	3,0	3,7	12
	0.58 <sup>2</sup>				3,7	1,7	0,41	3,2	4,1	12
N31	•	515	1329	B	3,4	2,7	0	2,8	3,7	17

**Tabell B7.2: Magnetfält i Rc5-lok vid körning längs enkelspår, mätt med olika instrument**

Körning	Lok		Tid (t.min)	Mät-instrum.	Mät-posit.	Resultande B (µT)					
	nr.	Hytt				medel	std	min	50%	75%	max
S2.2	1334	A	1.46 <sup>1</sup>	Emdex	förare	2,4	2,5	0,17	1,5	2,8	18
				MFM10	bord <sup>3</sup>	2,3	2,4	0,13	1,4	3,4	15
			1.30 <sup>2</sup>	Emdex	förare	2,8	2,7	0,47	1,7	3,4	18
				MFM10	bord <sup>3</sup>	2,8	2,5	0,32	1,7	3,3	15
S2.1	1334	B	1.11 <sup>1</sup>	Emdex	förare	3,3	1,9	0,28	3,0	3,7	12
				MFM10	bord <sup>3</sup>	3,4	1,9	0,18	3,1	4,0	11
			0.58 <sup>2</sup>	Emdex	förare	3,7	1,7	0,41	3,2	4,1	12
				MFM10	bord <sup>3</sup>	3,9	1,8	0,31	3,4	4,2	11

**Tabell B8.1: Magnetfält i Rc6-lok vid körning längs enkelspår, mätt med Emdex-Lite**

Körning	Tid (t.min)	Tågv. (ton)	Lok		Resultande B (µT)					
			nr.	Hytt	medel	std	min	50%	75%	max
S1.1	1.13 <sup>1</sup>	461	1395	A	2,9	2,9	0,16	1,7	4,1	12
	1.04 <sup>2</sup>				3,2	2,9	0,25	2,0	4,5	12
N23	•	609	1398	A	4,6	4,4	0	3,4	5,5	20
N25	•	432	1360	A	2,9	2,9	0	2,1	3,3	32
S1.2	1.23 <sup>1</sup>	382	1395	B	2,8	2,0	0,20	2,5	3,2	17
	1.06 <sup>2</sup>				3,2	1,9	0,33	2,7	3,4	17
N6	•	564	1401	B	2,5	2,4	0,1	1,4	3,2	11
N14	•	842	1355	B	3,3	3,6	0	1,8	4,6	19

**Tabell B8.2: Magnetfält i Rc6-lok vid körning längs enkelspår, mätt med olika instrument**

Körning	Lok		Tid (t.min)	Mät-instr.	Mät-posit.	Resultande B (µT)					
	nr.	Hytt				medel	std	min	50%	75%	max
S1.1	1395	A	0.36	Emdex	förare	2,6	2,8	0,15	1,2	3,5	11
				MFM10	bord <sup>3</sup>	2,9	3,2	0,16	1,4	3,9	13
				BMM3	bord <sup>3</sup>	2,8	3,2	0,10	1,4	3,8	13
S1.2	1395	B	1.23 <sup>1</sup>	Emdex	förare	2,8	2,0	0,20	2,5	3,4	17
				MFM10	bord <sup>3</sup>	3,1	2,4	0,27	2,7	3,7	17

1: Inklusive stopptid på sidospår för att invänta mötande tåg

2: Exklusive stopptid på sidospår för att invänta mötande tåg

3: På bordet 1,2 - 1,4 m till höger om förarplatsen

•: Uppgift saknas

**Tabell B9: Magnetfält i olika lok vid körning längs dubbelspår, mätt med Emdex-Lite**

Körning	Tid (t.min)	Lok			Resultterande B (µT)					
		Typ	nr.	Hytt	medel	std	min	50%	75%	max
S3.3	0.12	Da	896	A	27	16	2,4	30	39	54
S3.3	0.20	Da	896	A	30	20	2,9	30	49	65
S4.3	0.19	Da	896	A	19	17	0,28	16	32	58
S1.3	0.09	Da	896	B	7,3	5,7	0,03	9,4	12	18
S3.4	0.14	Da	896	B	8,1	2,9	0,51	8,2	9,8	14
S4.4	0.16	Da	896	B	8,4	2,7	0,63	8,4	10	15
S2.3	0.09	Rc5	1334	A	2,1	1,4	0,20	2,4	2,7	9,9
S2.3	0.16	Rc5	1334	A	3,6	3,0	0,47	2,5	5,1	18
S2.4	0.18	Rc5	1334	B	3,4	1,8	0,27	2,9	3,9	12
S2.4	0.17	Rc5	1334	B	2,7	1,1	0,44	2,5	3,1	13
S1.4	0.11	Rc6	1395	A	3,6	3,4	0,58	2,3	5,0	15
S1.5	0.17	Rc6	1395	B	4,0	1,7	0,44	3,6	4,9	11

**Tabell B10: Jämförelse mellan långtidsmätningar med Emdex-Lite och ML1**

Körning	Lok			Tid (t.min)	Mät-instr.	Resultterande B (µT)					
	Typ	nr.	Hytt			medel	std	min	50%	75%	max
S3.1	Da	896	B	1.01 <sup>1</sup>	Emdex	8,4	4,1	0,41	9,4	12	17
					ML1	1,6	0,72	0,19	1,8	2,2	3,3
S4.1	Da	896	B	0.43 <sup>1</sup>	Emdex	7,3	4,0	0,31	8,2	11	16
					ML1	1,5	0,72	0,12	1,6	2,1	3,2
S2.1	Rc5	1334	B	0.58 <sup>1</sup>	Emdex	3,7	1,7	0,41	3,2	4,1	12
					ML1	0,92	0,36	0,16	0,85	1,1	2,8
S1.1	Rc6	1395	A	1.04 <sup>1</sup>	Emdex	3,2	2,9	0,25	2,0	4,5	12
					ML1	0,99	0,76	0,16	0,69	1,4	3,3
S1.2	Rc6	1395	B	1.06 <sup>1</sup>	Emdex	3,2	1,9	0,33	2,7	3,4	17
					ML1	1,1	0,65	0,14	0,97	1,3	4,3

1: Exklusive stopptid på sidospår för att invänta mötande tåg

**Tabell B11: Magnetfältskomponenter i Da-loket 896, mätt med Emdex-Lite**

Körning	Tid (t.min)	Lokhytt	B (μT)						
			komp	medel	std	min	50%	75%	max
S3.2	1.09 <sup>1</sup>	A	Bx	8,4	6,4	0,06	5,8	14	27
			By	23	18	0,26	25	40	58
			Bz	17	12	0,02	18	28	41
			Bres	31	22	1,5	32	52	71
S4.2	1.11 <sup>1</sup>	A	Bx	12	8,8	0,08	9,9	18	39
			By	29	20	0,26	32	46	64
			Bz	19	12	0,01	21	30	44
			Bres	37	24	0,28	41	59	77
S3.1	1.01 <sup>1</sup>	B	Bx	6,7	3,5	0,16	7,5	9,4	15
			By	4,5	2,5	0,10	4,8	6,6	11
			Bz	1,5	1,1	0,09	1,2	2,0	6,7
			Bres	8,4	4,1	0,41	9,4	12	17
S4.1	1.03 <sup>1</sup>	B	Bx	6,2	3,5	0,16	7,0	9,0	15
			By	3,4	2,3	0,06	3,5	5,1	11
			Bz	1,5	0,9	0	1,5	2,2	5,0
			Bres	7,4	4,0	0,25	8,3	11	17

**Tabell B12: Magnetfältskomponenter i Rc5-loket 1334, mätt med Emdex-Lite**

Körning	Tid (t.min)	Lokhytt	B (μT)						
			komp	medel	std	min	50%	75%	max
S2.2	1.30 <sup>1</sup>	A	Bx	2,4	2,6	0,08	1,4	2,7	18
			By	1,0	1,0	0,13	0,65	1,2	6,6
			Bz	0,72	0,49	0,15	0,57	0,79	4,2
			Bres	2,8	2,7	0,47	1,7	3,4	18
S2.1	0.58 <sup>1</sup>	B	Bx	2,9	1,7	0,24	2,5	3,2	11
			By	1,5	0,97	0,14	1,3	1,8	5,8
			Bz	1,4	0,41	0,01	1,4	1,6	2,9
			Bres	3,7	1,7	0,41	3,2	4,1	12

**Tabell B13: Magnetfältskomponenter i Rc6-loket 1395, mätt med Emdex-Lite**

Körning	Tid (t.min)	Hytt	B						
			komp	medel	std	min	50%	75%	max
S1.1	1.04 <sup>1</sup>	A	Bx	0,78	0,79	0,12	0,53	0,83	5,7
			By	1,5	1,2	0,07	1,1	2,3	5,9
			Bz	2,6	2,7	0,06	1,4	3,6	11
			Bres	3,2	2,9	0,25	2,0	4,5	12
S1.2	1.06 <sup>1</sup>	B	Bx	1,0	0,69	0,05	0,87	1,2	6,7
			By	1,2	0,74	0,14	1,0	1,3	5,9
			Bz	2,7	1,8	0,21	2,3	3,0	16
			Bres	3,2	1,9	0,33	2,7	3,4	17

1: Exklusive stopptid på sidospår för att invänta mötande tåg



---

# SSI-rapporter

---

**97:01 Utvärdering av radonavsiljare -  
-Effekt på radon i dricksvatten från bergbor-  
rade brunnar**  
*Anders Lindén* 100 kr

**97:02 Mätningar av  $^{137}\text{Cs}$  och  $^{90}\text{Sr}$  i kon-  
sumtionsmjölk mellan 1991 och 1996**  
*Miljöövervakning och Mätning* 40 kr

**97:03 Radiation Protection in connection  
with the Decommissioning of Nuclear  
Plants**  
*Div. of Occupational and Medical Exposure, Div.  
of Waste Management and Environmental Pro-  
tection* 40 kr

**97:04 Magnetfält i elektriska lok**  
*Gert Anger SSI, André Berglund, Kjell Hansson-  
Mild, Arbetslivsinstitutet, Umeå* 60 kr

