

# **Beräkning av skärmningsegenskaperna hos armeringsbur**

## **Beräkning av skärmningsegenskaperna hos armeringsbur**

Publikationen har utarbetats av  
Sven Garmland, Emicon AB, Lund

Räddningsverkets kontaktpersoner:  
Lars Berg och Björn Ekengren, enheten för byggt teknik

2002 Räddningsverket, Karlstad  
Lednings- och teknikavdelningen

Beställningsnummer B54-225/02  
2002 års utgåva

## **Innehåll**

1. BAKGRUND .....	3
2. BERÄKNINGSMETOD.....	3
3. BERÄKNINGSPROGRAM .....	4
4. BERÄKNINGSRESULTAT .....	6
4.1 Allmänt.....	6
4.2 Frekvensområde .....	7
4.3 Dämpningens beroende av storleken.....	8
4.4 Maskstorlekens betydelse.....	10
4.5 Stångdiameters betydelse .....	12
4.6 Dubbel armering.....	13
4.7 Avståndet mellan burarna.....	14
4.8 Förskjuten armering .....	18
4.9 Skarvning av armeringsjärn .....	21
4.10 Sammanfogning av korsningspunkter .....	22
4.11 Sammankoppling av burar .....	24
4.12 Skärmningsegenskaper vid olika frekvenser.....	25
5. SLUTSATSER.....	33
6. REFERENSER .....	34

## Figurlista

Figur 1. Exempel på presentation av objekt i programmet Wire-MoM, uppbyggd av 192 st trådar.....	5
Figur 2. Exempel på definiering av trådar i programmet Wire-MoM.....	5
Figur 3. Nätbur för beräkning av skärmningens frekvensberoende .....	7
Figur 4. E-fältdämpningens frekvensberoende .....	7
Figur 5. Två olika burar för studie av skärmningens storleksberoende.....	8
Figur 6. Magnetfältdämpning som funktion av x för två olika stora metallburar enligt figur 5 .....	9
Figur 7. Magnetfältdämpning hos en metallbur med storleken 1,6m×1,6m×1,6m respektive 16m×16m×5m....	10
Figur 8. Metallbur för beräkning av maskstorleken betydelse .....	11
Figur 9. Magnetfältdämpningens beroende av maskstorleken. Beräkningsfrekvens: 10 MHz.....	11
Figur 10. Metallbur för beräkning av stångdiameters betydelse .....	12
Figur 11. Stångdiameters verkan på E-fältdämpningen.....	12
Figur 12. Utförande av dubbel metallbur .....	13
Figur 13. Magnetfältdämpning med enkel (röd) respektive dubbel (blå) bur. Beräkningsfrekvens: 10 MHz .....	14
Figur 14. En maskas avstånd mellan burarna.....	16
Figur 15. En halv maskas avstånd mellan burarna .....	16
Figur 16. Dämpning i de enskilda burarna .....	16
Figur 17. Totaldämpning i de fyra olika fallen. ....	17
Figur 18. Sidförskjutning av järnen i den inre buren. ....	18
Figur 19. Sidförskjutning av den inre buren .....	19
Figur 20. Magnetfältdämpning när den inre buren sidförskjuts utan att dess utseende ändras.....	19
Figur 21. Dämpning beräknad i punkter längs x-axeln, med icke förskjuten armering .....	20
Figur 22. Dämpning beräknad i punkter längs x-axeln, med förskjuten armering.....	20
Figur 23. Dämpning beräknad i punkter längs y-axeln, med icke förskjuten armering.....	20
Figur 24. Dämpning beräknad i punkter längs y-axeln, med förskjuten armering.....	20
Figur 25. Dämpning beräknad i punkter längs x-axeln, med icke förskjuten armering (svart) och med förskjuten armering (röd).....	21
Figur 26. Dämpning beräknad i punkter längs y-axeln, med icke förskjuten armering (svart) och med förskjuten armering (röd).....	21
Figur 27. Inducering av strömmar från infallande fält .....	21
Figur 28. Metallbur för studium av inverkan från maskornas sammankoppling .....	22
Figur 29. Uppställning för närfältsberäkning. De gula linjerna visar sammankopplade järn.....	23
Figur 30. Dämpning som funktion av x, då källan är 3 m från burens centrum. ....	24
Figur 31. Sammankopplade burar .....	25
Figur 32. Kub med en meters sida. Ø10mm järn. ....	26
Figur 33. Dämpning hos kuben i figur 31 ovan. ....	27
Figur 34. Bur för jämförelse mellan enkel och dubbel skärm.....	27
Figur 35. Lågfrekvensdämpning i 7 punkter på x-axeln, enkel respektive dubbel armering.....	28
Figur 36. Dämpningens beroende av permeabiliteten i järnet.....	29
Figur 37. Dubbel bur med en maskas avstånd mellan burarna, Maskstorlek 150 mm och Ø10-järn.....	30
Figur 38. Högfrekvensdämpning i 7 punkter längs x-axeln. Dubbel bur med en maskas avstånd mellan burarna, Maskstorlek 150 mm och Ø10-järn.....	31
Figur 39. Sammanfattning av skärmningens frekvensberoende hos armeringsskärm.....	32

## 1. Bakgrund

Räddningsverket har sedan många år utnyttjat byggnadsarmeringen som en del av skyddet mot elektromagnetisk påverkan i räddningscentraler. Källor för sådan påverkan kan exempelvis vara åska eller EMP, elektromagnetisk puls från kärnvapen. Mätningar på en rad olika räddningscentraler har visat att armeringen ger ett gott grundskydd men vissa frågor kring hur armeringens uppbyggnad påverkar skärmningseffektiviteten kvarstår. För att klarlägga erforderliga krav på uppbyggnaden av armeringen så att den ska kunna optimeras som elektromagnetisk skärm har därför Räddningsverket uppdragit åt Emicon att genomföra beräkningar av skärmningseffektiviteten på en armeringskonstruktion där utförandet varierats. I anslutning till projektet har också mätningar på en räddningscentral under uppbyggnad i Helsingborg genomförts, [1]. Föreliggande rapport är en redogörelse för resultaten från de genomförda beräkningarna.

## 2. Beräkningsmetod

Elektromagnetiska beräkningar är alltid komplicerade och en rad olika metoder har genom åren tagits fram. Ingen av dessa kan betraktas som optimal i alla sammanhang utan valet av metod bestäms bland annat av vilken typ av objekt man vill räkna på. Den metod som använts för nedan presenterade beräkningar kallas momentmetoden. Den går i det här fallet ut på att objektet modelleras med hjälp av metalltrådar. Genom att beräkna den ström som induceras från ett infallande fält i alla trådarna, får man en approximation till strömfördelningen i objektet. Antingen kan man approximera strömmen såsom konstant längs hela tråden eller dela upp tråden i flera element och beräkna strömmens fördelning längs tråden. När strömmarna i samtliga trådar är kända beräknar man det elektromagnetiska fält som de i sin tur ger upphov till, det s.k. spridda fältet, i en godtycklig punkt i rummet. Genom att addera det spridda fältet till det infallande fås resulterande totalfält. Om det spridda fältet beräknas inne i en struktur kan man jämföra resulterande totalfält med det infallande och får då den dämpning som strukturen ger i aktuell punkt. I idealfallet är det spridda fältet lika stort som det infallande, men motriktat. Man får då totalfältet lika med noll och dämpningen blir oändlig. Beräkningarna genomförs för ett värde på frekvensen i taget.

Att beräkna den inducerade strömmen i en tråd medför lösning av integralekvationer och kräver datorstöd. Strömberäkningarna är de som är mest tidskrävande och beräkningstiden och minnesåtgången ökar snabbt med ökande antal trådar. Detta medför att även med kraftfulla datorer är metoden användbar endast på relativt enkla objekt.

Vid beräkningarna har vi använt ett beräkningsprogram kallat ”Wire-MoM”, framtaget av Jan Carlsson på Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut. Programmet kan för övrigt laddas ner gratis från deras hemsida <http://www.sp.se>. En speciell fördel med detta program är att det har ett grafiskt gränssnitt där man relativt enkelt kan definiera geometrin för det av trådar uppbyggda objektet. Trots detta verktyg blir just uppbyggnaden av olika geometrier ofta ett tidskrävande arbete.

Eftersom en armeringskonstruktion är uppbyggd av stänger som kan beskrivas som trådar fann vi det mycket lämpligt att använda denna metod. Att simulera en komplett armeringskonstruktion är dock inte möjligt utan beräkningarna har fått utföras på relativt små konstruktioner.

Den största konstruktion som vi räknat på med den här metoden var en dubbel bur där varje sida i den yttre hade 11×11 maskor och i den inre 8×8 maskor. Genom att utnyttja symmetri-effekter och ersätta halva konstruktionen med ett jordplan begränsades antalet trådar till 1114 st. Detta ger 2801 obekanta i det ekvationssystem som måste lösas. På en PC med 750 MHz, PIII-processor och 256 MB ram tar en sådan beräkning 33 minuter per frekvens.

För att vi ska kunna uttala oss om hur storleken påverkar resultaten har vi kompletterat beräkningarna med en annan metod. Denna metod bygger på att man beräknar skärmens ytresistans ( $R_y$ ) och ytinduktans ( $L_y$ ). När dessa är kända kan man beräkna skärmningseffektiviteten. Under förutsättning att våglängden hos det infallande fältet är stor i förhållande till skärmens utsträckning kan den magnetiska skärmningseffektiviteten approximeras med nedanstående formel. Denna ger en god approximation så länge maskorna är små i förhållande till skärmens storlek.

$$SH = 1 + \frac{j\omega\mu_0 V}{A(R_y + j\omega L_y)}$$

$$\text{där } R_y = \frac{4a}{\pi d^2 \sigma} \text{ och } L_y = \frac{a\mu_0}{2\pi} \ln \left( \frac{1}{1 - e^{-\frac{\pi d}{a}}} \right)$$

SH = magnetiska skärmningseffektiviteten

$R_y$  = nätskärmens ytresistans

$L_y$  = nätskärmens ytinduktans

V = skärmas volym

A = nätskärmens area

d = trådens diameter

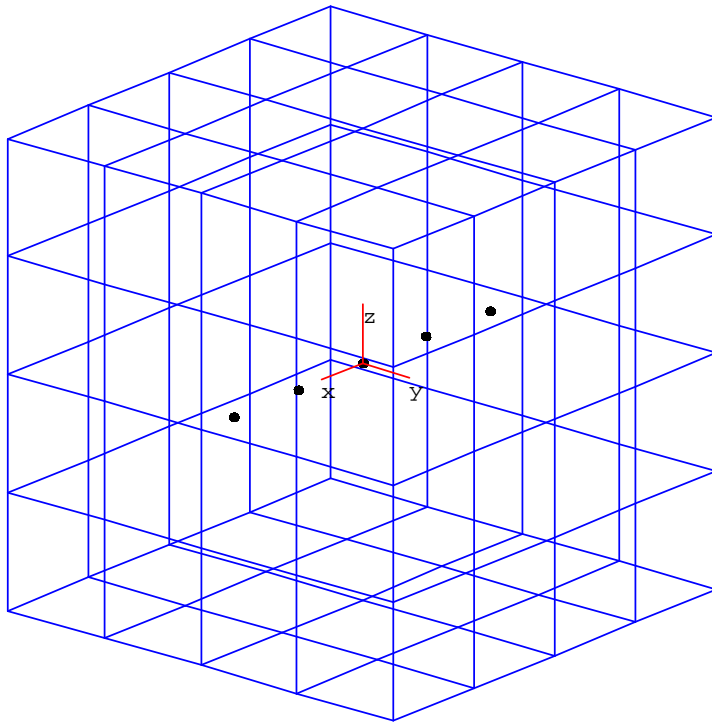
a = trådavstånd

$\mu_0$  = permeabiliteten i vakuum (H/m)

$\omega$  = vinkelfrekvensen (rad/s)

### 3. Beräkningsprogram

Varje tråd behöver inte definieras i beräkningsprogrammet utan man får hjälp med uppbyggnaden genom att man kan välja mellan ett antal enkla standardstrukturer som kan sammansättas till mer komplexa objekt. Varje tråd kan sedan modifieras enligt önskan tills objektet ser ut exakt som man vill. Figur 1 nedan visar hur programmet presenterar det definierade objektet. Figur 2 visar ett annat fönster i programmet där definitionen av varje tråd visas och det är också här eventuell redigering görs.



Figur 1. Exempel på presentation av objekt i programmet Wire-MoM, uppbyggd av 192 st trådar. De svarta prickarna visar de punkter där det spridda fältet ska beräknas.

Wire-MoM - C:\Program\EMEC\Verktyg\Wire\SRV\srvt47f.wip

File Wires Options Pages Help

Wire structure coordinates

Wire id.	x1 [m]	y1 [m]	z1 [m]	x2 [m]	y2 [m]	z2 [m]	Radius [m]	No. basis	Tag
1	0,2	0,3	0,1	0,2	0,3	0,3	0,005	1	Plate 1
2	0,2	0,5	0,1	0,2	0,5	0,3	0,005	1	Plate 1
3	0,2	0,7	0,1	0,2	0,7	0,3	0,005	1	Plate 1
4	0,2	0,9	0,1	0,2	0,9	0,3	0,005	1	Plate 1
5	0,2	1,1	0,1	0,2	1,1	0,3	0,005	1	Plate 1
6	0,2	1,3	0,1	0,2	1,3	0,3	0,005	1	Plate 1
7	0,2	0,3	0,3	0,2	0,3	0,5	0,005	1	Plate 1
8	0,2	0,5	0,3	0,2	0,5	0,5	0,005	1	Plate 1
9	0,2	0,7	0,3	0,2	0,7	0,5	0,005	1	Plate 1
10	0,2	0,9	0,3	0,2	0,9	0,5	0,005	1	Plate 1
11	0,2	1,1	0,3	0,2	1,1	0,5	0,005	1	Plate 1
12	0,2	1,3	0,3	0,2	1,3	0,5	0,005	1	Plate 1
13	0,2	0,3	0,1	0,2	0,5	0,1	0,005	1	Plate 1
14	0,2	0,3	0,3	0,2	0,5	0,3	0,005	1	Plate 1

Ground plane at z=0  
 m  cm  mm

Modified

Figur 2. Exempel på definiering av trådar i programmet Wire-MoM.

För att kunna göra beräkningar på en så stor struktur som möjligt har symmetrieffekter utnyttjats. Således har i de flesta beräkningar halva objektet ersatts med ett jordplan vilket avsevärt reducerar antalet obekanta i ekvationerna. Härigenom har beräkningar kunnat göras på större strukturer än vad som annars vore möjligt. Många beräkningar har dessutom genomförts enbart för en enda frekvens eftersom man vet att resultatet blir detsamma inom ett relativt brett frekvensområde. Dämpningen minskar på låga och höga frekvenser och är kraftigt frekvensberoende i det frekvensområde där strukturen är resonant. Väljer man en frekvens som inte är för låg eller för hög får man dock ett resultat som gäller för ett stort frekvensområde.

Beräkningsarbetet inleddes med en undersökande studie med avsikten att kontrollera att rimliga resultat erhöles. Härvid studerade vi inducerade strömmars storlek och fördelning i armeringen, vi gjorde jämförelser med olika polarisation och infallsriktning, vi varierade strukturens uppbyggnad, gjorde jämförelser med och utan jordplan m.m. Dessutom jämfördes resultatet med beräkning enligt den enklare approximativa formeln för en sfär.

För att ur det resulterande spridda fältet kunna beräkna erhållen dämpning skrev vi också några mindre program i Matlab.

## **4. Beräkningsresultat**

### **4.1 Allmänt**

Ett stort antal beräkningar ligger som underlag för de slutsatser och bedömningar som projektet resulterat i. I detta kapitel redovisas ett utdrag av dessa beräkningar för att illustrera slutsatserna. Om inget annat anges har det infallande fältet varit en plan våg med vertikal polarisation och en infallsriktning längs x-axeln.

Beräkningarna har syftat till att klargöra följande frågeställningar:

Hur påverkas skärmningseffektiviteten av:

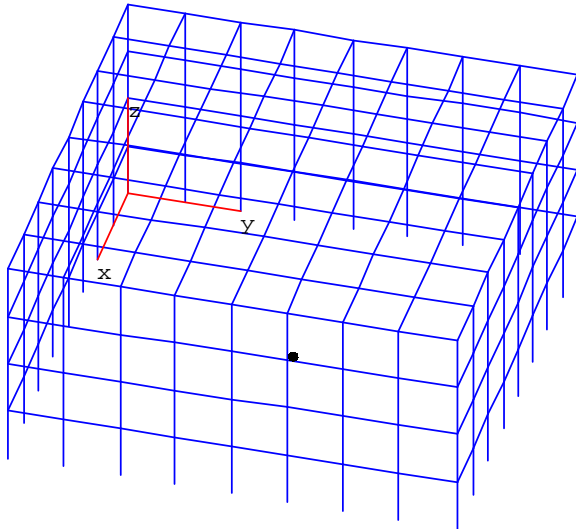
- armeringsjärnets diameter
- armeringens maskstorlek
- armeringsjärnets sammanfogning
- flera armeringslager
- sammankoppling av armeringslager
- avstånd mellan armeringslager
- skärmburens storlek.

Beräkningarna inleddes med en studie av frekvensberoendet, så att en lämplig beräkningsfrekvens skulle kunna väljas. I många fall genomfördes dock beräkningar för ett större frekvensområde.



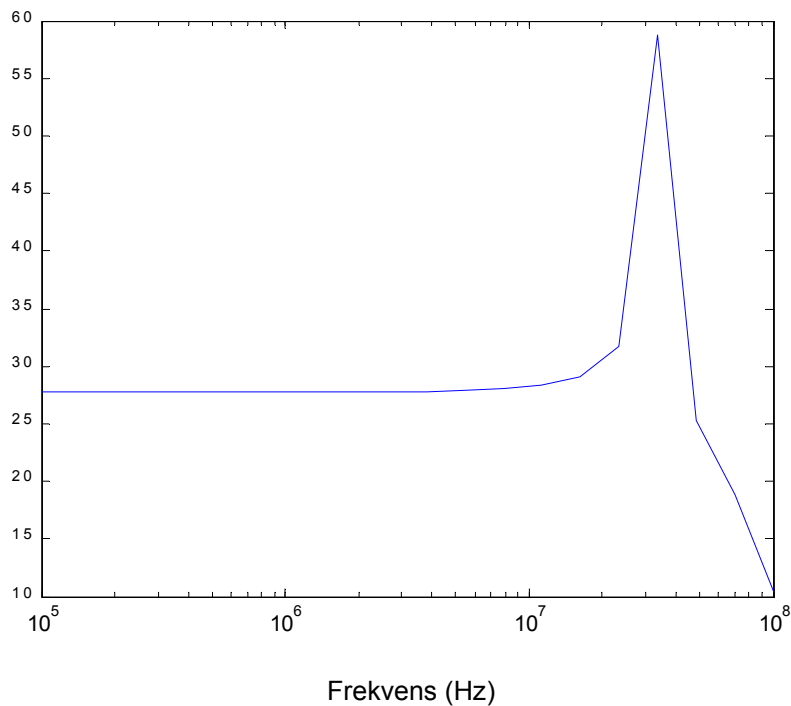
## 4.2 Frekvensområde

Nedanstående exempel är en beräkning av E-fältdämpningen hos en kub med 1,6 meters sida och 20 cm maskstorlek. Stångdiametern var 10 mm. Halva kuben ersattes med ett jordplan och dämpningen beräknades i centrum alldeles intill jordplanet. Fältet var vertikalt polariserat dvs. E-fältkomponenten riktad i z-led.



Figur 3. Nätbur för beräkning av skärmningens frekvensberoende

E-fältdämpning (dB)



Figur 4. E-fältdämpningens frekvensberoende

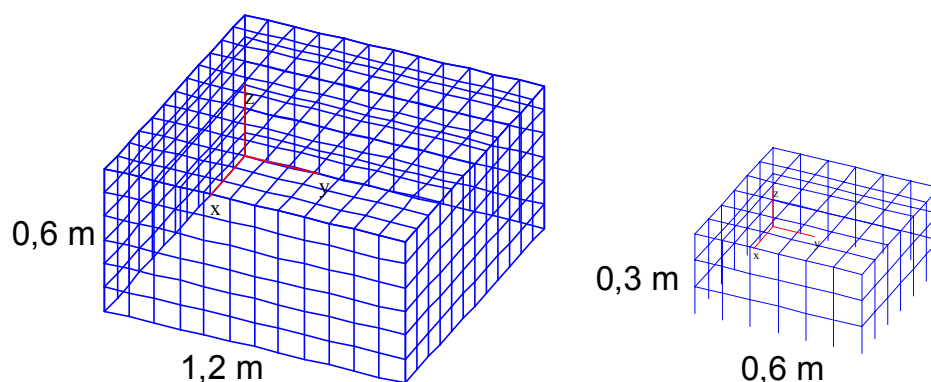
Vi kan konstatera att dämpningen är konstant upp till den första resonansen som inträffar vid ca 30 MHz, där dämpningen har ett maximum. Vi kan se att upp till ca 10 MHz är dämpningen frekvensoberoende för en struktur av denna storlek. Dämpningen på låga frekvenser tycks också konstant, men det beror dels på att vi i detta fall tittar på E-fältsdämpningen som är hög även på låga frekvenser och dessutom kommer den lågfrekventa dämpningsminskningen in först på ännu lägre frekvenser än de vi ser här. Vi kan således konstatera att så länge vi inte räknar på frekvenser högre än ca 10 MHz är resultaten giltiga för en stor del av det spektrum vi är intresserade av.

### 4.3 Dämpningens beroende av storleken

Skärmningseffektiviteten bestäms inte enbart av väggarnas konstruktion utan även strukturens geometri påverkar. Den högsta dämpningen för en plan våg får man när skärmväggen är plan och oändligt stor. Ju större skärm man har desto bättre dämpning kommer man alltså att få. Detta är viktigt att ha i åtanke när man jämför olika beräkningsresultat där man samtidigt varierat skärmens konstruktion och rummets storlek.

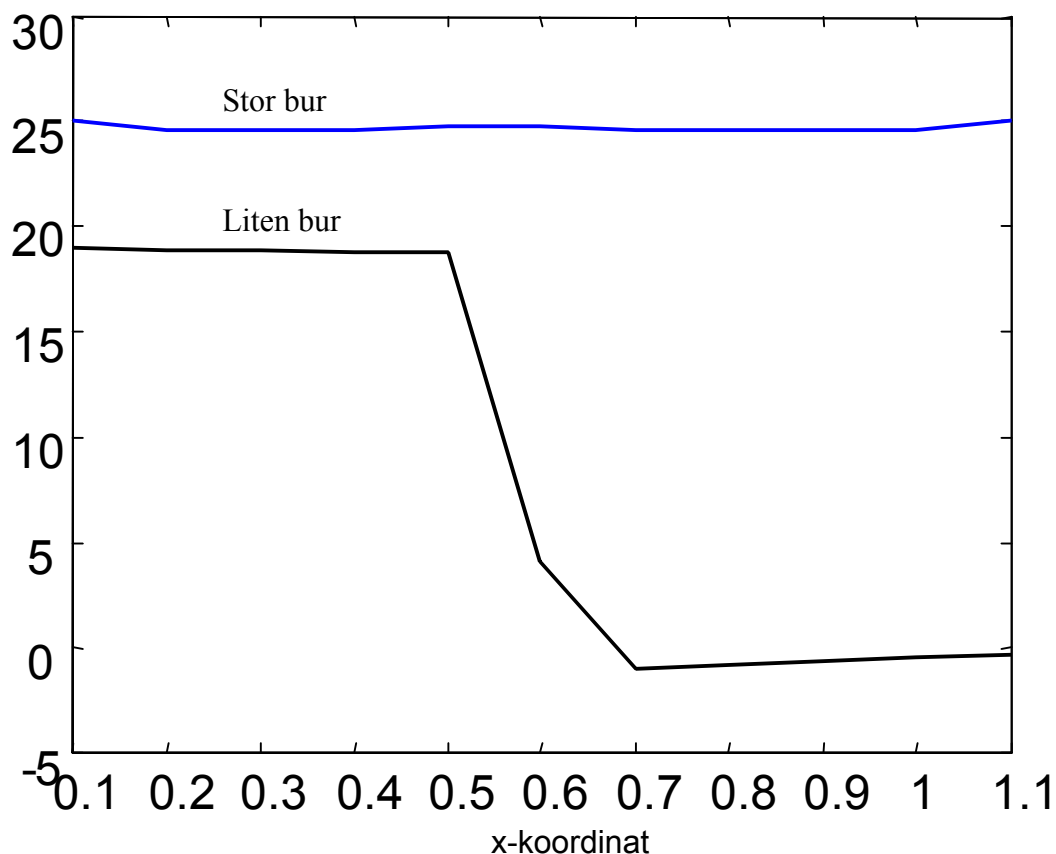
Med momentmetoden ökar beräkningstiden fort med ökande komplexitet hos skärmen. Det medför att beräkningarna i huvudsak genomförts på relativt små konstruktioner. Det är därför viktigt att kunna översätta resultaten till större skärmar. För att studera storleksberoendet har beräkningar genomförts på olika stora skärmar både med momentmetoden och med den approximativa formeln beskriven ovan.

I figuren nedan visas en beräkning av magnetfältsdämpningen på en linje parallell med x-axeln i burens centrum (på jordplanet) i två fall där den ena buren är dubbelt så stor som den andra. Beräkningsfrekvensen var 10 MHz.



Figur 5. Två olika burar för studie av skärmningens storleksberoende.

Magnetfältsdämpning (dB)



Figur 6. Magnetfältsdämpning som funktion av  $x$  för två olika stora metallburar enligt figur 5. Beräkningsfrekvens: 10 MHz.

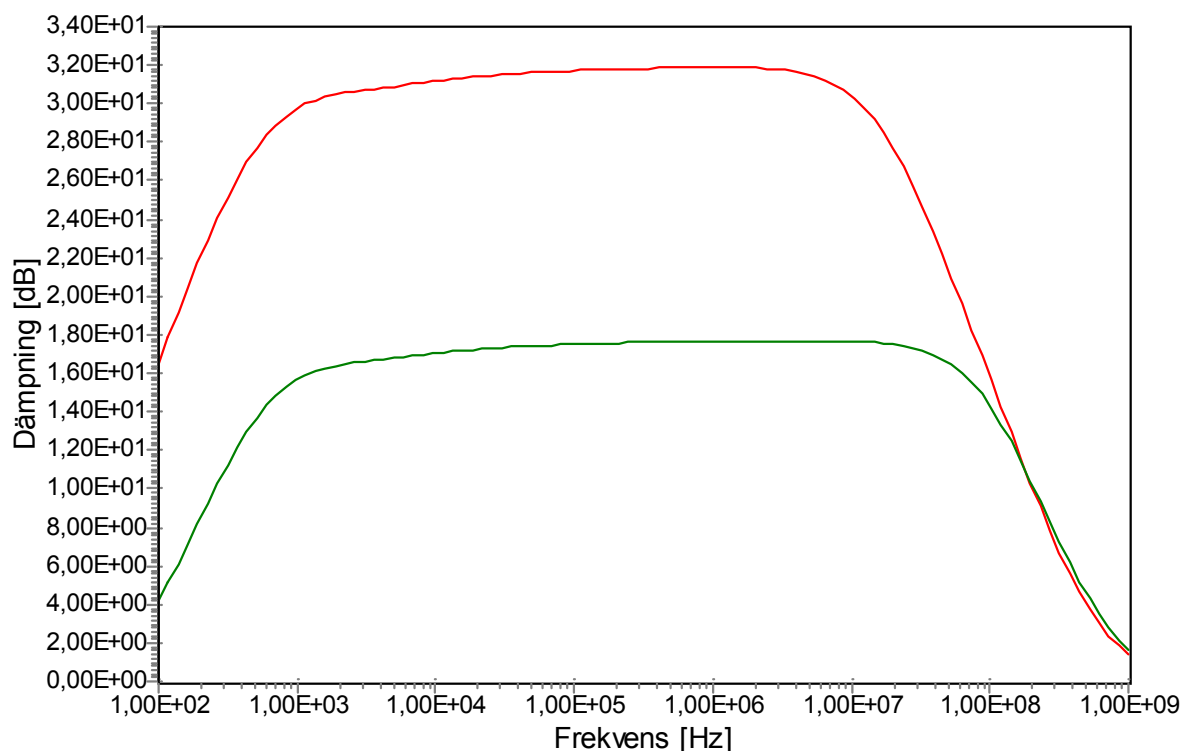
Vi kan se att dämpningen vid 10 MHz minskar 6 dB när skärmens storlek halveras. En minskning med 6 dB är detsamma som en halvering av dämpningen.

För att undersöka förhållandena vid större skärmar har vi utnyttjat den approximativa formeln för en sfärisk skärm och fick följande resultat vid 10 MHz:

<b>Ekvivalent diameter</b>	<b>Dämpning</b>
60 cm	15,2 dB
1,2 m	20,5 dB
12 m	37,4 dB
120 m	41 dB

Tabell 1. Dämpningens beroende av skärmens storlek. Beräkningsfrekvens: 10 MHz.

Vi kan konstatera att till en början ökar dämpningen proportionellt med storleken men sedan ökar inte dämpningen så mycket. Vi kan alltså inte säga att dämpningen är helt proportionell mot storleken. För att lättare se vad som händer har vi beräknat dämpningen för hela frekvensområdet för två olika storlekar. Nedan visas en jämförelse mellan en kub med 1,6 meters sida och en 16m×16m×5m stor bur med maskstorlek 150 mm och 10 mm järn, beräknat med den approximativa formeln för en sfär.



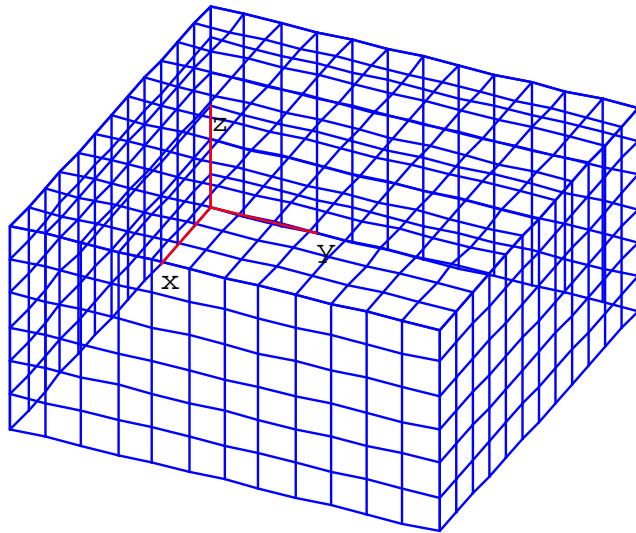
Figur 7. Magnetfältsdämpning hos en metallbur med storleken  $1,6m \times 1,6m \times 1,6m$  respektive  $16m \times 16m \times 5m$ , beräknat med den approximativa formeln.

Vi kan här tydligt se att den storleksberoende dämpningen inte gäller på högre frekvenser. Det läckage (dämpningsminskning) som man får pga. hålen i skärmen begränsar dämpningen. När skärmens storlek ökar stiger dämpningen proportionellt för hela frekvensområdet under den övre brytpunkten. Denna brytpunkt kommer alltså att flyttas neråt i frekvens när skärmens storlek ökas. Detta är förklaringen till effekten i tabellen ovan. Vi måste komma ihåg att den approximativa formeln förutsätter att skärmen är liten i förhållande till våglängden så att i verkligheten får man inte riktigt detta resultat på höga frekvenser. Mer om detta frekvensområde längre fram.

De beräknade värdena stämmer väl överens med resultat från skärmningsmätningar på anläggningar.

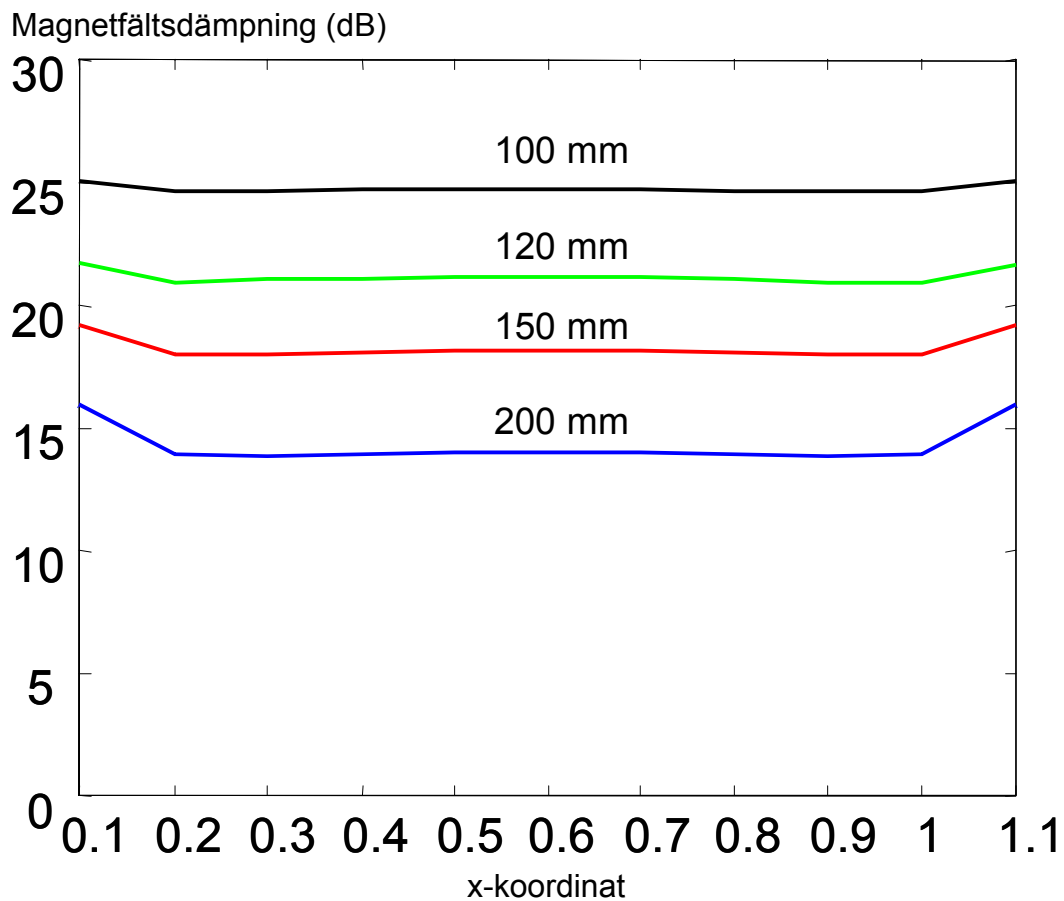
#### 4.4 Maskstorlekens betydelse

En nätskräms maskor ger ju hål i skärmen som på högre frekvenser ger ett läckage. När frekvensen blir tillräckligt hög blir läckaget totalt. På lägre frekvenser begränsas dämpningen av skärmens ledningsförmåga och eftersom hål i skärmen ger mindre metall per ytenhet minskar ledningsförmågan. Härigenom ger hål i skärmen sämre dämpning även på låga frekvenser. Hur stor inverkan maskstorleken har illustreras av nedanstående beräkning som är genomförd vid 10 MHz och alltså gäller det plana området av dämpningskurvan.



Maskstorlek 100, 120, 150  
och 200 mm  
1,2m×1,2m×0,6m  
Frekvens: 10 MHz

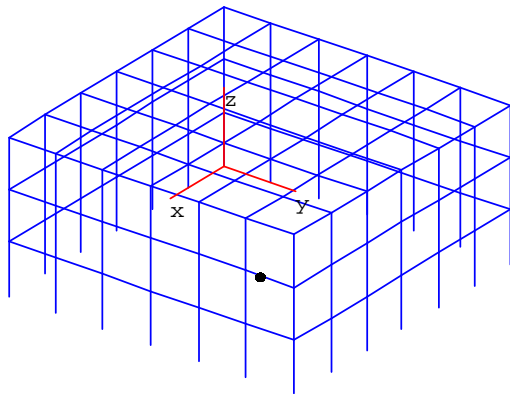
Figur 8. Metallbur för beräkning av maskstorleken betydelse



Figur 9. Magnetfältsdämpningens beroende av maskstorleken. Beräkningsfrekvens: 10 MHz.

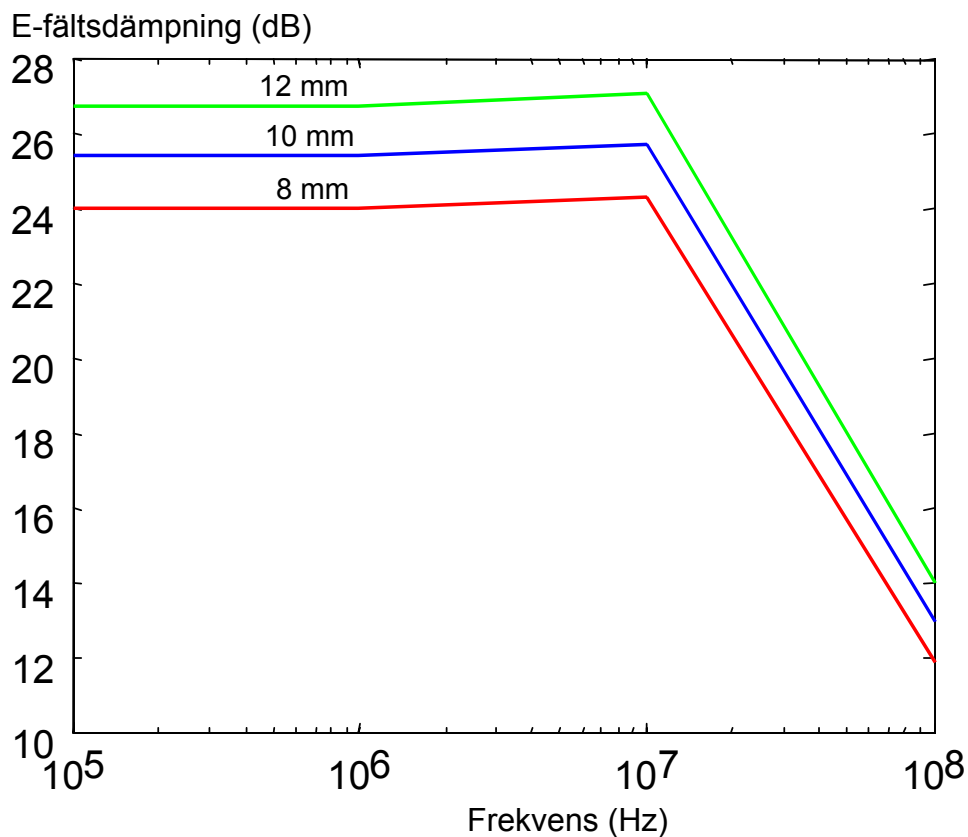
## 4.5 Stångdiameters betydelse

Liksom maskstorleken påverkar stångdiametern skärmningen. Ju grövre stång desto bättre skärmning får man. Nedanstående beräkning har genomförts på en 1,2 m×1,2 m×0,6 m stor bur med maskstorleken 20 cm. Stångdiametern har varierats mellan 8, 10 och 12 mm. Beräkningen avser E-fältsdämpningen och har genomförts vid frekvenserna 100 kHz, 1 MHz, 10 MHz och 100 MHz. På grund av det begränsade antalet frekvenspunkter kan kurvscharan betraktas som något generaliserad. Med högre frekvensupplösning skulle strukturens resonanser framträda.



Maskstorlek 20 cm  
1,2m×1,2m×0,6m  
Stångdiameter: 8, 10 och 12 mm

Figur 10. Metallbur för beräkning av stångdiameters betydelse

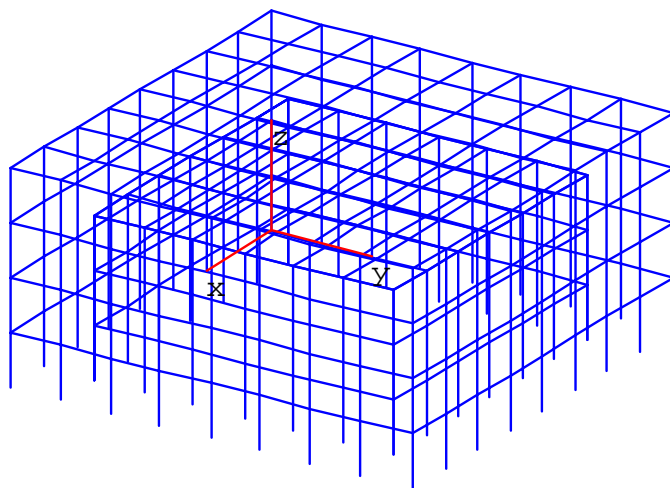


Figur 11. Stångdiameters verkan på E-fältsdämpningen.

Av kurvskaran ovan kan vi se att stångdiametern påverkar i stort sett hela frekvensområdet lika mycket och eftersom skillnaden i stångdiameter är ganska liten blir skillnaden mellan de olika resultaten ganska marginell. Dämpningen förändras bara några enstaka dB.

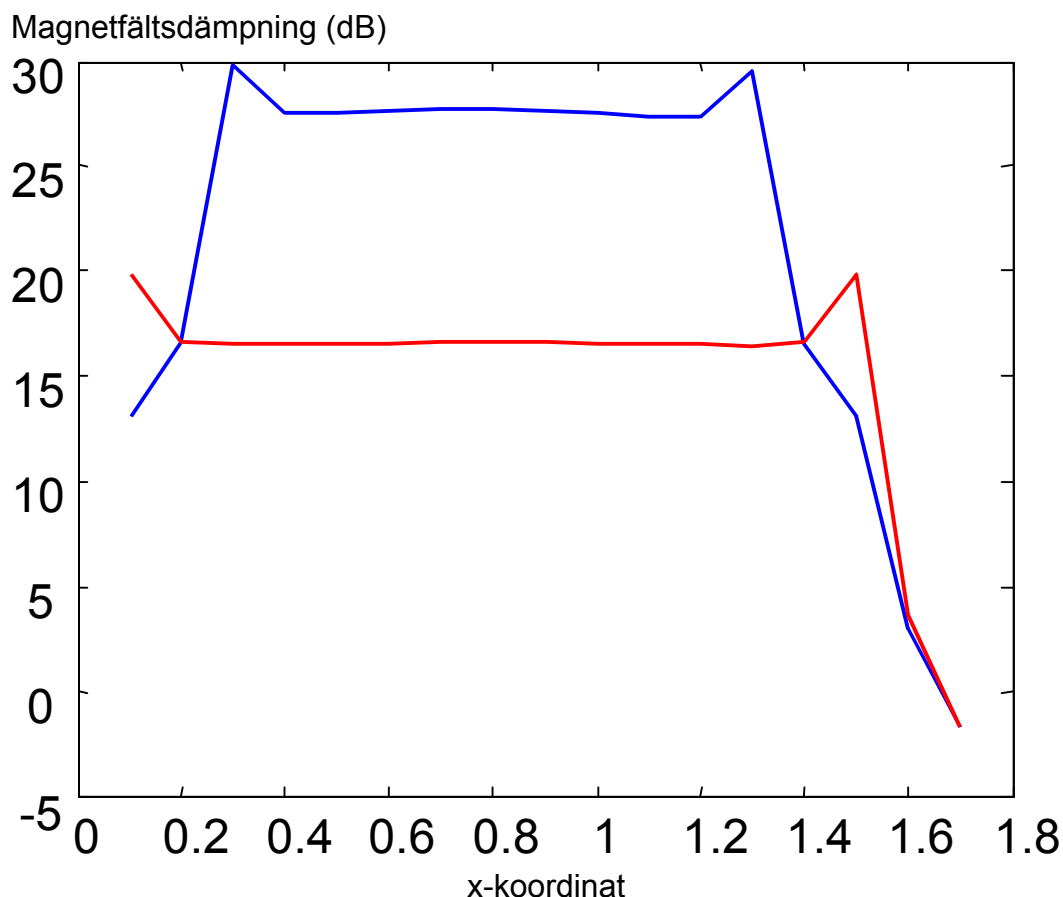
#### 4.6 Dubbel armering

Eftersom det ofta finns två lager armering i en byggnad är det av intresse att veta hur mycket nytta man kan ha av detta extra lager. Buren ovan har i följande exempel kompletterats med en inre bur. Den inre buren har samma typ av armering men är två maskor mindre i varje riktning. Den har således 1,2 meters sida och mellanrummet blir 20 cm, dvs. en maskstorlek. I detta fall liksom i de följande har magnetfältdämpningen beräknats i stället för E-fältdämpningen. Den är i allmänhet det intressantaste måttet på skärmens effektivitet. I figuren visas både dämpningen i den yttre buren och den totala dämpningen med två burar.



*Yttre bur: 1,6m×1,6m×0,8m  
Inre bur: 1,2m×1,2m×0,6m  
Stångdiameter: 10 mm  
Maskstorlek: 200 mm  
Frekvens: 10 MHz*

*Figur 12. Utförande av dubbel metallbur*



Figur 13. Magnetfältsdämpning med enkel (röd) respektive dubbel (blå) bur. Beräkningsfrekvens: 10 MHz

Resultatet visar att dämpningen kan höjas avsevärt genom att utnyttja två lager armering. Hur avståndet mellan armeringarna påverkar dämpningen visas nedan.

#### 4.7 Avståndet mellan burarna

Om man fördubblar armeringen, så att man får två skikt, skulle man kunna tänka sig att man får en total dämpning som är summan av dämpningen i varje skikt. Det förutsätter att skikten ej påverkar varandra och man kan därför anta att dämpningen kommer att bero av avståndet mellan skikten. Vi vet ju också att i extremfallet, då de två skikten ligger så nära varandra att de kan betraktas som ett skikt, får vi en fördubbling av dämpningen i större delen av frekvensområdet. En fördubbling är samma sak som en ökning med 6 dB.

Eftersom beräkningar endast kan göras på relativt små burar är det lite svårt att variera avståndet mellan burarna utan att samtidigt påtagligt variera någon annan parameter, exempelvis storleken eller maskstorleken. En rad olika beräkningsfall har genomförts för att skapa en känsla för vad som händer när avståndet varieras.

En första beräkningsserie genomfördes på en konstruktion där den yttre buren var en kub med 1,65 m sida och 150 mm maskstorlek. Storleken på den inre buren varierades, resulterande i olika avstånd mellan burarna. Maskstorleken hos den inre buren var 200 mm. Dämpningen



beräknades dels på varje bur för sig och dels på den dubbla konstruktionen. Beräkningsfrekvensen var 10 MHz.

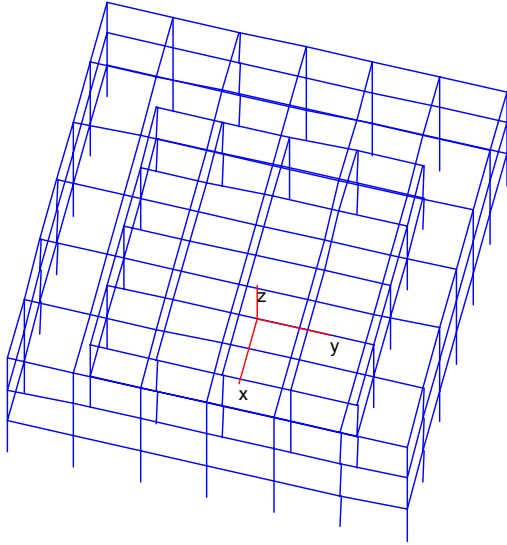
Bur	Antal maskor	Storlek	Maskstorlek	Dämpning	Total dämpning
Yttre	11*5,5	1,65	15 cm	19,7 dB	
Inre	8*4	1,6	20 cm	18 dB	
Totalt	2,5 cm mellanrum				25,9 dB
Yttre	10*5	1,5	15 cm	19,5 dB	
Inre	6*3	1,2	20 cm	14,5 dB	
Totalt	15 cm mellanrum				29,4 dB
Yttre bur	11*5,5	1,65m	15 cm	19,7 dB	
Inre bur	6*3	1,2m	20 cm	14,5 dB	
Totalt	22,5 cm mellanrum				31 dB
Yttre	11*5,5	1,65	15 cm	19,5 dB	
Inre	5*2,5	1,0	20 cm	13,9 dB	
Totalt	32,5 cm mellanrum				31,9 dB

Tabell 2. Dämpningens beroende av avståndet mellan yttre och inre bur. Beräkningsfrekvens: 10 MHz.

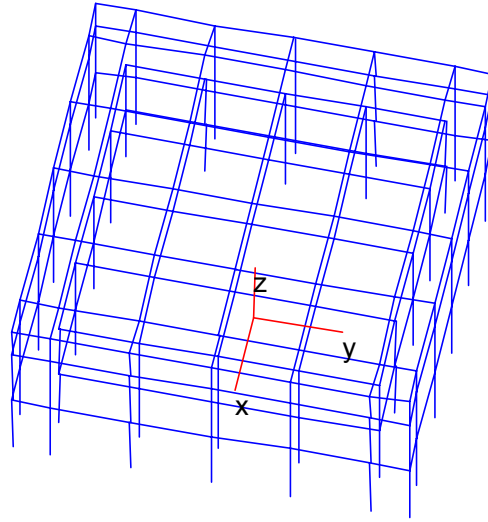
Vi kan konstatera att i det första fallet när avståndet är endast 2,5 cm ger dubbleringen av armeringen ungefär en fördubbling av dämpningen (6 dB). Vid avståndet 32,5 cm får vi i stort sett en sammanlagring av vardera skiktets dämpning.

Ovanstående beräkning genomfördes på endast en frekvens, 10 MHz, i den del av frekvensområdet där dämpningen uppvisar ett relativt konstant utseende. Vad händer då vid andra frekvenser? Det går inte att bara välja en högre frekvens och göra en jämförelse där, eftersom en liten förändring i storleken på buren kan innebära att någon resonans flyttar sig och tittar man bara på en frekvens är det stor risk för feltolkning av resultaten. Beräkningar genomfördes därför först på enkla burar över ett brett frekvensområde för att ge en känsla för vad som händer på höga frekvenser när storleken ändras.

Inledningsvis genomfördes beräkningar med dubbel bur där avståndet mellan burarna varierades genom att förflytta burarna i förhållande till varandra, men eftersom det innebär att avståndet mellan dem blir olika på olika sidor blev resultaten svårtolkade. Därför genomfördes slutligen en serie beräkningar där kravet på att hålla storleken på burarna oförändrad övergavs. Beräkningar genomfördes då där den inre buren hela tiden var oförändrad och storleken på den yttre varierades genom att förändra maskstorleken enbart i hörnen. Maskstorleken var för övrigt 150 mm i båda burarna och armeringsjärnen var Ø10 mm. Den inre buren hade måtten 60 cm×60 cm×30 cm.

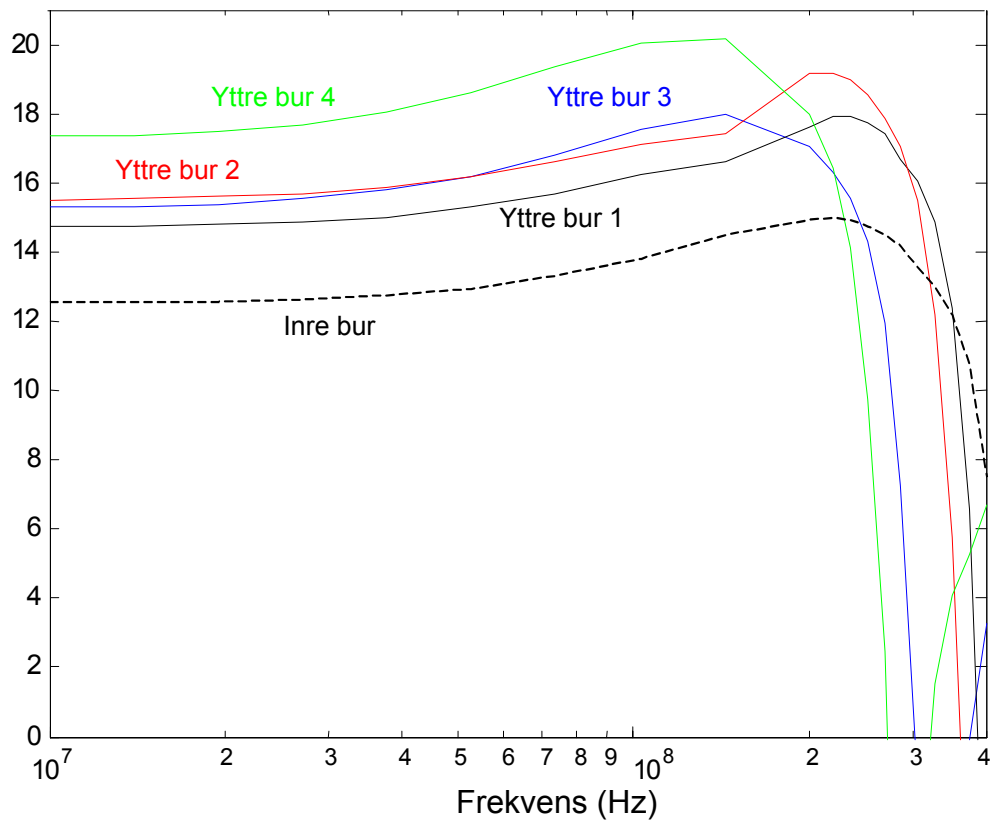


Figur 14. En maskas avstånd mellan burarna



Figur 15. En halv maskas avstånd mellan burarna

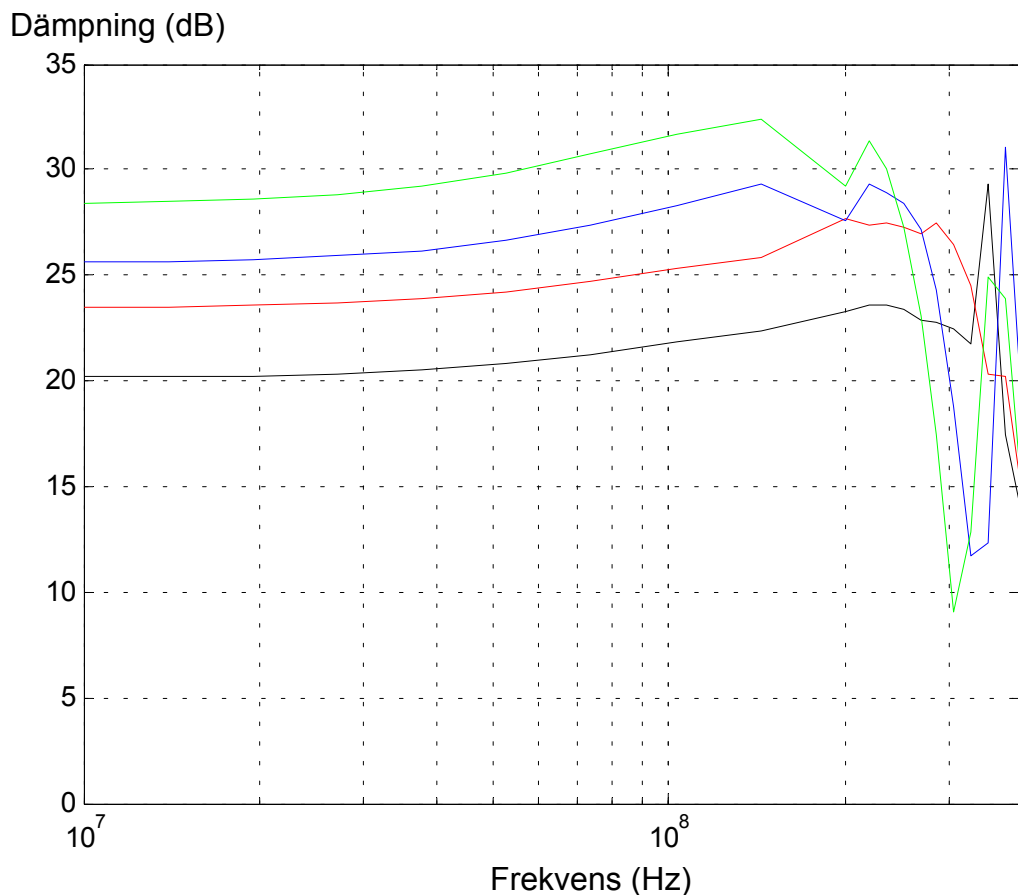
Magnetfältsdämpning (dB)



Figur 16. Dämpning i de enskilda burarna

I figuren ovan kan vi se en abrupt dämpningsminskning strax över 200 MHz. Detta beror på en resonans där dämpningen blir mycket låg. Frekvensen för denna resonans varierar med burens storlek och stora skillnader i dämpning erhålles därför i detta frekvensområde.

I nedanstående figur visas beräknad dämpning i de dubbla burarna. Vi kan här se att förhållandena vid låga frekvenser bibehålls åtminstone upp till en bit över 100 MHz. Vid ännu högre frekvenser blir resonanserna så dominerande att avståndsberoendet inte kan avgöras.



Figur 17. Totaldämpning i de fyra olika fallen.

I nedanstående tabell har dämpningsresultaten vid 10 MHz sammanställts.

Avstånd (cm)	Inre bur (dB)	Yttre bur (dB)	Summa inre+yttre (dB)	Totalt (dB)	Avvikelse (dB)
4	12,5	14,5	33	20,5	-12,5
7,5	12,5	15,5	28	23	-5
15	12,5	15,3	27,8	25,5	-2,3
22,5	12,5	17,3	29,8	28	-1,8

Tabell 3. Resulterande dämpning vid olika avstånd mellan burarna

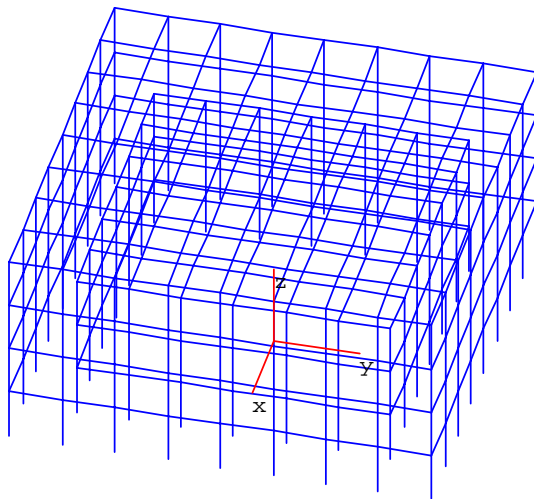
Vi kan konstatera att när avståndet mellan burarna är 1 maskstorlek får vi en total dämpning som är ganska nära summan av de två (inom 3 dB). En ökning av avståndet ger enbart en marginell förbättring. Vi kan också konstatera att redan ett avstånd på ½ maskstorlek ger en klar förbättring.

## 4.8 Förskjuten armering

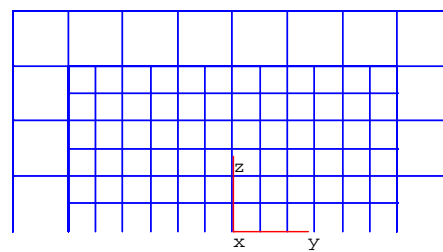
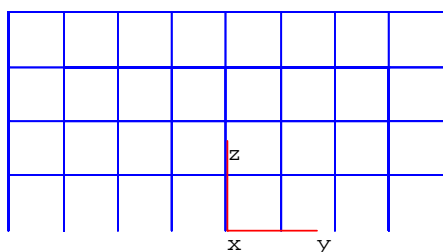
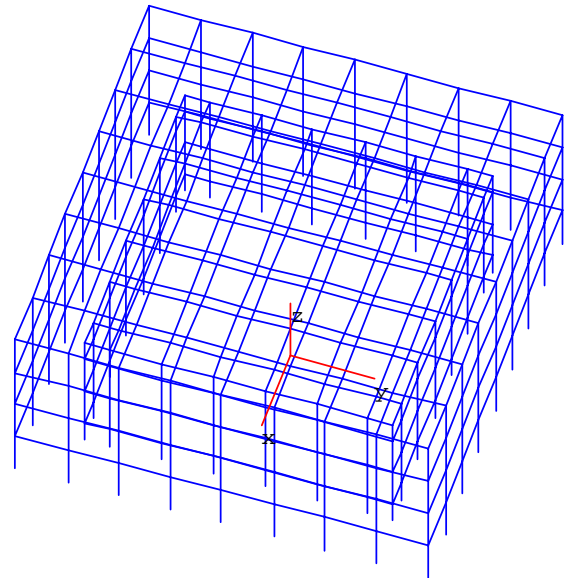
Dämpningen på höga frekvenser bestäms till stor del av maskstorleken. Om maskstorleken halveras erhålls en fördubbling av den gränshänsyn vid vilken dämpningen sjunkit till 0 dB. I en enkelbur avtar dämpningen i höghänsynområdet proportionellt med frekvensökningen. Detta innebär att dämpningen här fördubblas om maskstorleken halveras. Om man har en dubbel bur skulle man då kunna tänka sig att man genom att förskjuta den ena armeringen i sidled skulle få en liknande effekt. En serie beräkningar genomfördes för att utreda om så är fallet.

I figuren nedan visas en jämförelse där den inre burens förskjutits  $\frac{1}{2}$  maska i sid- och höjdd. Dämpningen beräknades vid 10 MHz.

*Rak armering*



*Förskjuten armering*



**Total dämpning: 27,8 dB**

**Total dämpning: 28,3 dB**

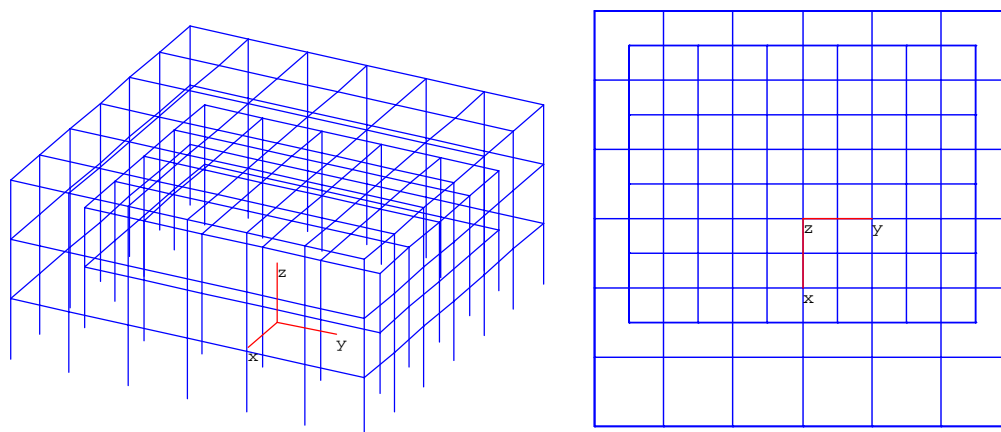
Inre bur 1, 120*120*60, 10 mm järn, 20 cm maska	14,6 dB
Inre bur 2, 120*120*60, 10 mm järn, 20 cm maska	15,7 dB
Yttre bur, 160*160*80, 10 mm järn, 20 cm maska	16,7 dB
Frekvens: 10 MHz	

*Figur 18. Sidförskjutning av järnen i den inre burens.*

Inre bur 2 har ca 1 dB högre dämpning pga. mindre maskstorlek i hörnen. Med dubbel armering är skillnaden endast 0,5 dB. Förskjutningen av armeringen har alltså ingen positiv verkan på skärmningen.

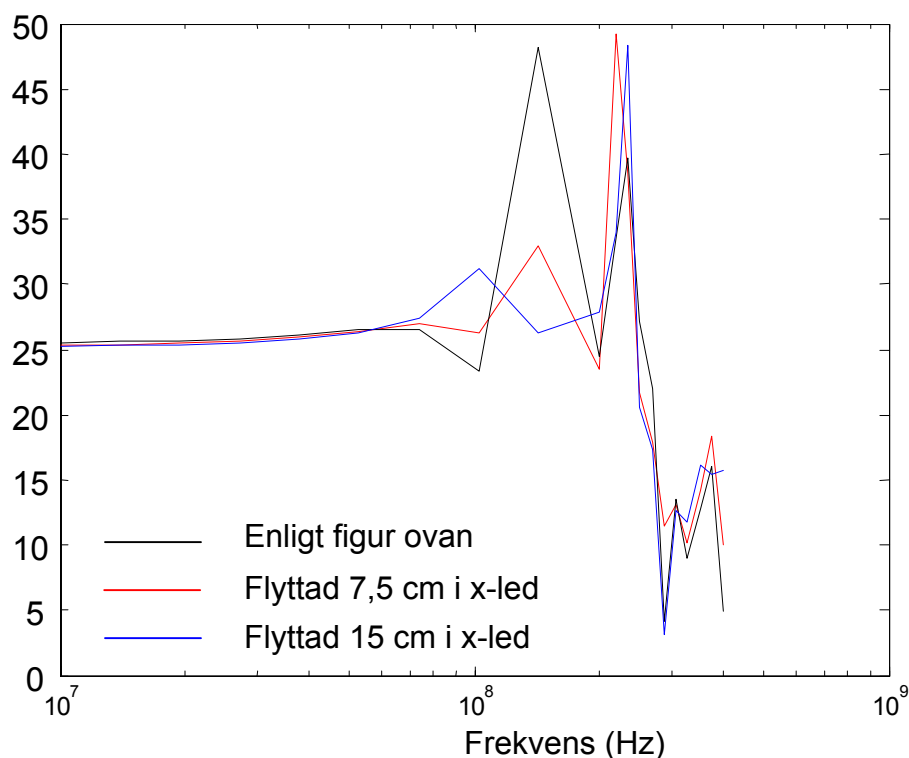
För att studera förhållandena på högre frekvenser genomfördes följande beräkningsserie:

För att inte förändra någon av burarnas utseende flyttades den inre buren längs x-axeln så att maskorna antingen låg i linje eller sidförskjutna  $\frac{1}{2}$  maskstorlek. Buren flyttades i positiv x-riktning, först 7,5 cm och sedan ytterligare 7,5 cm. Beräkningspunkten flyttades med så att den låg på samma ställe relativt den inre buren. Erhållen dämpning framgår av figur 20 nedan.



Figur 19. Sidförskjutning av den inre buren

Dämpning (dB)

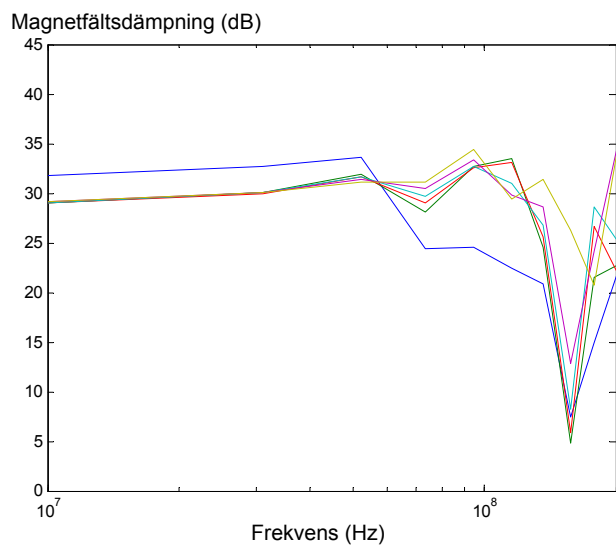


Figur 20. Magnetfältsdämpning när den inre buren sidförskjuts utan att dess utseende ändras.

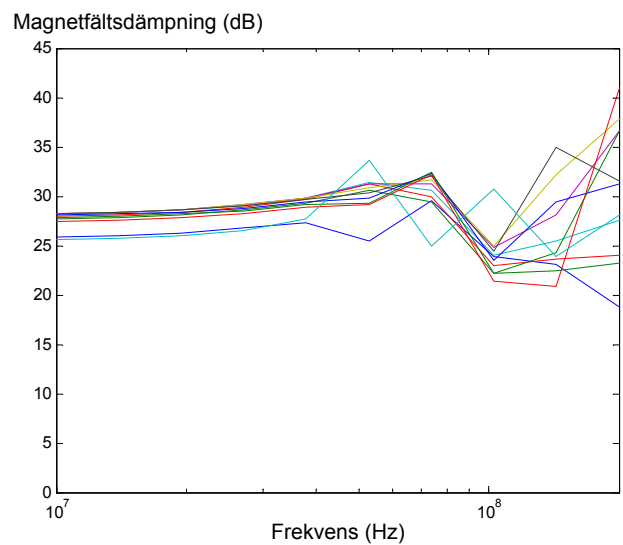
Vi kan konstatera att den enda påverkan man får är att resonanserna ändras, vilket mycket väl kan bero på själva flyttningen av buren istället för på järnens läge i förhållande till varandra.

Uppenbarligen påverkas lågfrekvensområdet inte alls. Detta är inte så förvånande och ska vi kunna se någon påverkan måste vi koncentrera oss på högfrekvensområdet.

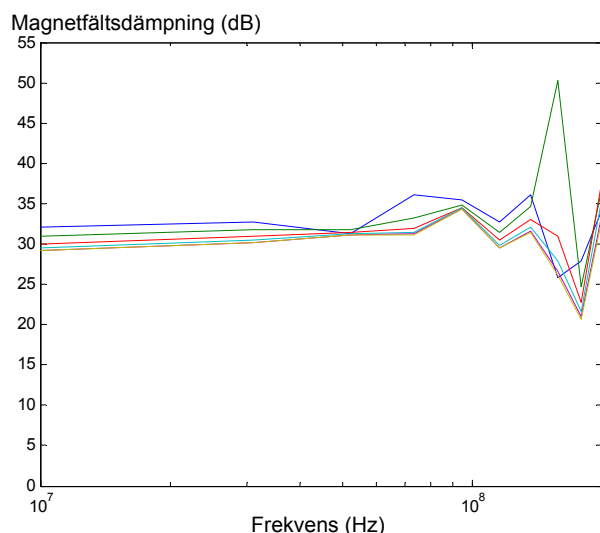
Resultaten på höga frekvenser är dock svårare att utvärdera eftersom man får stora variationer beroende på beräkningspunktens läge och burarnas utseende. Det går ju inte att enbart förskjuta en av burarna utan att även andra egenskaper samtidigt ändras. För att illustrera vad som händer i högfrekvensområdet redovisas nedan en typisk beräkningsserie gjord på burarna i figur 18 ovan. Magnetfältsdämpningen har beräknats i punkter längs x-axeln och längs y-axeln på jordplanet.



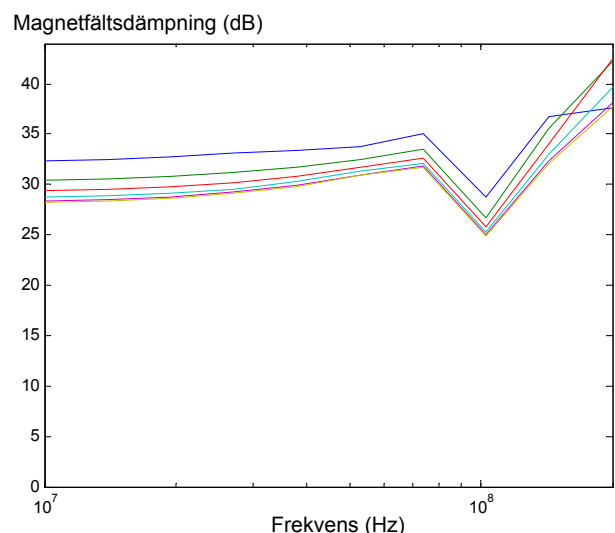
Figur 21. Dämpning beräknad i punkter längs x-axeln, med icke förskjuten armering



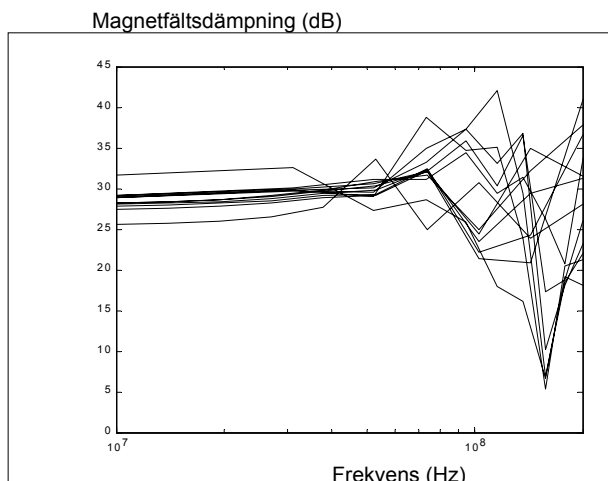
Figur 22. Dämpning beräknad i punkter längs x-axeln, med förskjuten armering



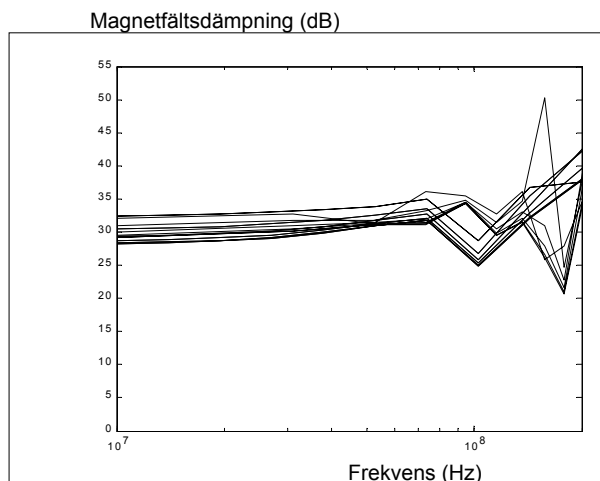
Figur 23. Dämpning beräknad i punkter längs y-axeln, med icke förskjuten armering



Figur 24. Dämpning beräknad i punkter längs y-axeln, med förskjuten armering



Figur 25. Dämpning beräknad i punkter längs x-axeln, med icke förskjuten armering (svart) och med förskjuten armering (röd)



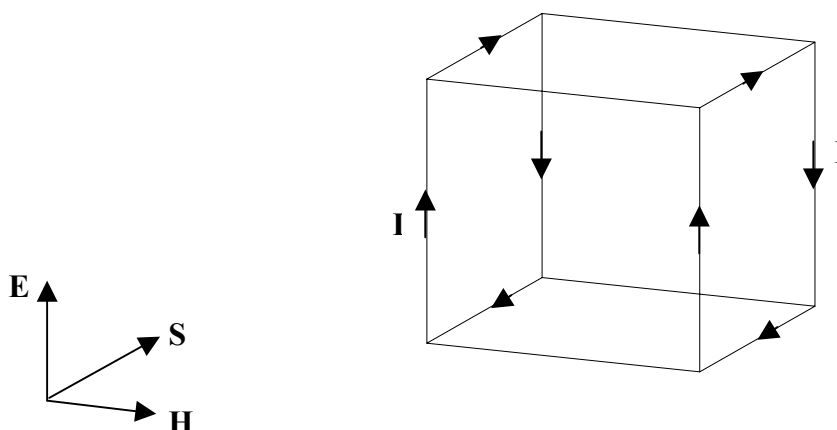
Figur 26. Dämpning beräknad i punkter längs y-axeln, med icke förskjuten armering (svart) och med förskjuten armering (röd)

Vi kan konstatera att dämpningen varierar längs både x- och y-axlarna och kring 100 MHz är dämpningen lägre med förskjuten armering men uppåt 200 MHz är dämpningen i vissa fall istället högre. Detta gäller för en bur av aktuell storlek och man kan förvänta att förhållandena blir annorlunda vid andra storlekar. Det går alltså inte att entydigt säga att en förskjutning av armeringen höjer dämpningen.

Vi kan således konstatera att inget tyder på att en förskjutning av maskorna i de två lagren har någon signifikant påverkan av skärmningsegenskaperna vare sig på låga eller höga frekvenser.

#### 4.9 Skarvning av armeringsjärn

Armeringsburens skärmande verkan kan förklaras genom att det infallande magnetfältet inducerar strömmar i slingor.



Figur 27. Inducering av strömmar från infallande fält

I bilden visas en plan våg som faller in mot en kub. Vågen är vertikalpolariserad, vilket innebär att den elektriska fältkomponenten är vertikalt riktad. För en plan våg är den magnetiska komponenten alltid vinkelrät mot den elektriska och båda i sin tur vinkelräta mot utbredningsriktningen,  $S = \text{Pointings vektor}$ . I de slingor som genomkorsas av magnetfältet induceras ström. Denna ström ger i sin tur upphov till ett magnetfält som är motriktat det infallande och som därför reducerar det totala fältet inne i buren.

Så länge magnetfältets våglängd är lång i förhållande till slingornas storlek gäller att om slingorna inte är slutna så induceras ingen ström och ingen skärmverkan erhålles.

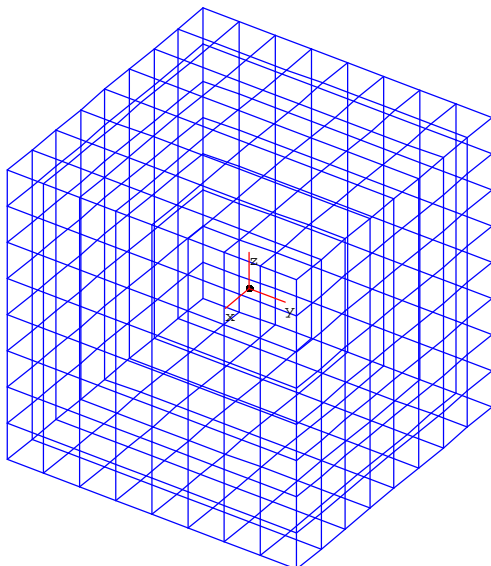
Det finns alltså all anledning att befara att ofullständiga slingor i en armeringsbur inte bidrar till skärmningen. För att undersöka detta genomfördes en serie beräkningar på en bur där en vägg successivt byggdes upp med lösa armeringsjärn som sammanfogades. Buren var en kub med sidan 1,6 m och maskstorleken 200 mm. Järnens diameter var 10 mm.

Beräkningsserien inleddes med att hela väggen mot det infallande fältet var öppen. I det fallet erhöles en dämpning vid 10 MHz på 9,4 dB. Beräkningar genomfördes sedan med allt fler järn monterade men inte förrän en hel ny slinga bildats ökade dämpningen. Med ett helt järn placerat vertikalt i centrum över den öppna väggen erhöles 12,5 dB dämpning. Horisontella järn påverkade inte dämpningen alls, även om de var kompletta slingor. När hela väggen försetts med järn med samma täthet som övriga väggar och endast mittre slingan uppbruten erhöles 16,6 dB och slutligen ökade dämpningen till 17,5 dB då alla slingor slutits.

Vi kan alltså konstatera att järnen ska sammanfogas så att de bildar slingor för att bidra till dämpningen. I praktiken har det visat sig att när armeringen gjuts in i betong fås i allmänhet en elektrisk sammanfogning pga. betongens närvaro.

#### 4.10 Sammanfogning av korsningspunkter

Man kan tänka sig att om armeringsjärnen kopplas samman i korsningspunkterna skulle strömfördelningen ändras och viss förbättring av skärmningen fås. En serie beräkningar har genomförts med avsikten att studera detta. Beräkningarna genomfördes på en kub enligt figuren nedan.



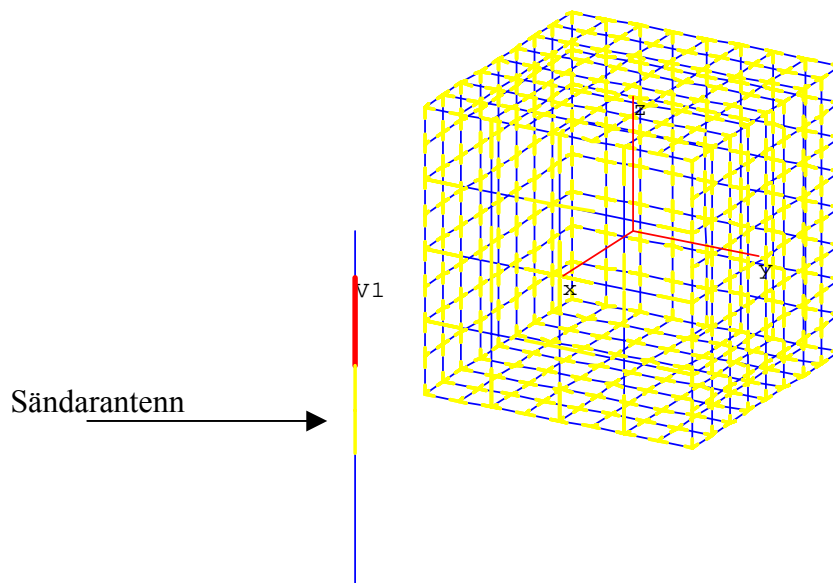
Figur 28. Metallbur för studium av inverkan från maskornas sammankoppling



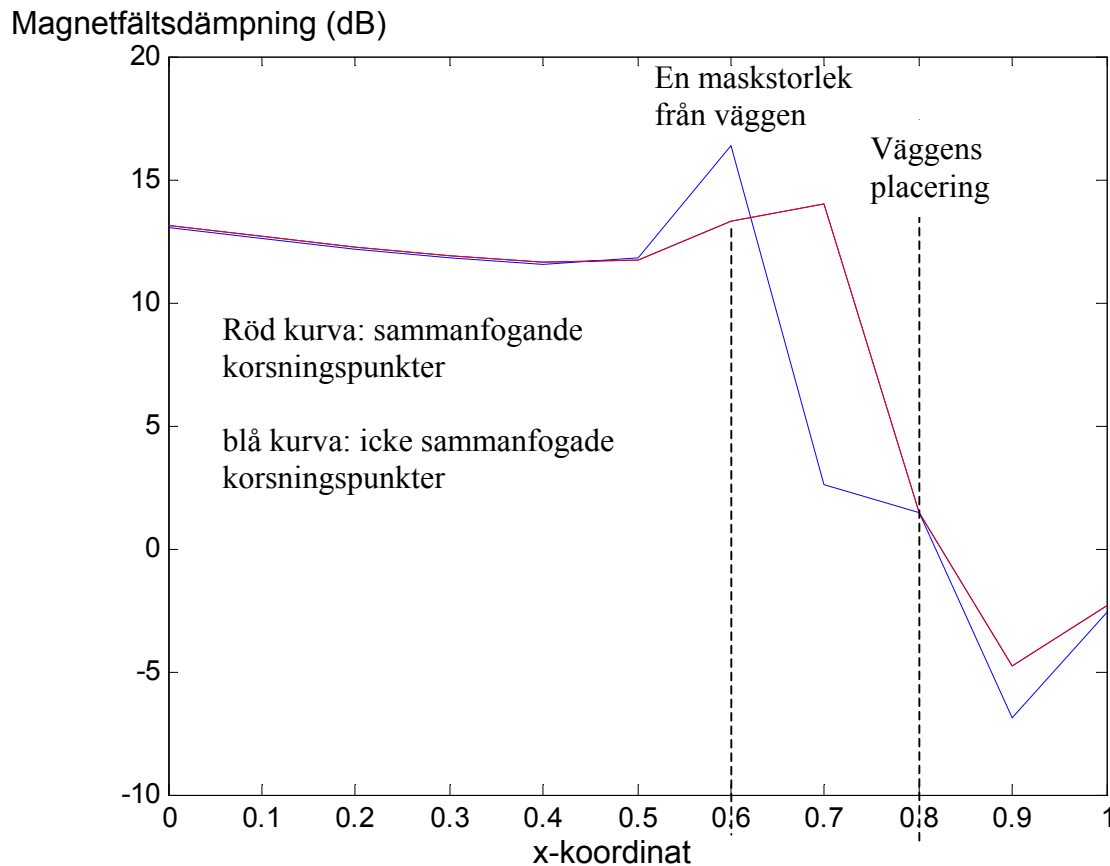
Kubens sida var 1,6 m med maskstorleken 200 mm. Järnens diameter var 10 mm. Beräkningarna genomfördes i huvudsak i kubens centrum och vid frekvensen 10 MHz. Dels lossades sammanfogningen i olika antal korsningspunkter och dels genomfördes beräkningar där en hel vägg togs bort och stegvis byggdes upp så att öppningens storlek successivt halverades tills maskstorleken i denna vägg var 400 mm. Jämförelser gjordes med och utan sammankopplade korsningspunkter. För att strömmar skulle induceras i både vertikala och horisontella järn ansattes ett infallande fält med 45 graders polarisation.

Inte i något fall kunde vi se att dämpningen påverkades av korsningspunkternas sammankoppling. Samma resultat erhöles alltså oavsett om järnen sammankopplades eller ej. I det fall väggen var uppbyggd av 400 mm maskor genomfördes beräkningar även på högre frekvenser, 70 MHz och 94 MHz, där resonanser i maskorna kan förväntas. Inte heller vid dessa frekvenser påverkades dämpningen av sammankopplingen. Vissa beräkningar genomfördes även i andra punkter än centrum. Ej heller här påverkades dämpningen av korsningspunkternas sammankoppling.

Man kan misstänka att sammankopplingen av korsningspunkterna är viktigare om infallande fältet inte är en plan våg utan en sfärisk, från en närbelägen källa. För att undersöka detta genomfördes skärmningsberäkningar där källan var en närbelägen vertikal dipol. Se figur 28 nedan. De gulmarkerade linjerna visar sammankoppling av järn och den röda linjen visar källans belägenhet. Sändarantennen bestod av en 2 meter lång dipolantenn matad med en 1 volts spänningskälla. Beräkningar gjordes med olika avstånd mellan källan och burens centrum. Nedan redovisas resultaten vid 3 m avstånd.



Figur 29. Uppställning för närfältsberäkning. De gula linjerna visar sammankopplade järn.



Figur 30. Dämpning som funktion av  $x$ , då källan är 3 m från burens centrum.

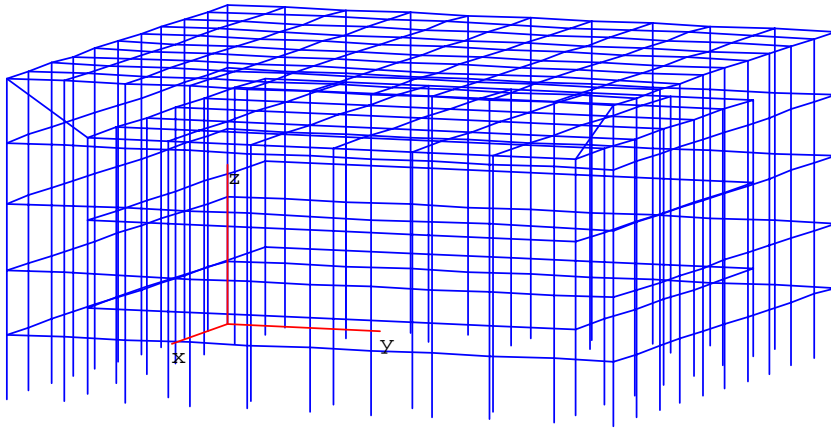
Vi kan se att så länge vi befinner oss drygt 1 maskvidd från väggen är dämpningen oberoende av sammanfogningen. Nära väggen har den dock en betydelse. Samma förhållanden gällde när sändarantennen var placerad 10 meter från origo. Ej heller med antennen lutad 45 grader, för att åstadkomma både horisontellt och vertikalt fält, erhöles någon signifikant skillnad.

Beräkningar genomfördes förutom i burens centrum även längs  $y$ -axeln. Någon skillnad beroende på sammanfogningen kunde inte heller ses i dessa punkter.

#### 4.11 Sammankoppling av burar

Ett sätt att öka skärmningseffektiviteten är att använda dubbel bur som tidigare redovisats. En frågeställning i det sammanhanget är huruvida de två burarna ska kopplas ihop eller ej. Följande beräkning har genomförts för att studera detta:

Beräkningen gjordes på en dubbel bur på ett jordplan enligt figuren nedan. Den inre buren hade 200 mm maskstorlek och var  $1,2 \text{ m} \times 0,6 \text{ m}$ . Den yttre hade 150 mm maskor och måtten  $1,5 \text{ m} \times 0,75 \text{ m}$ . Järnens diameter var 10 mm. Dessa mått ger ett avstånd mellan burarna på 150 mm.



Figur 31. Sammankopplade burar

En jämförelse med burarna isolerade från varandra respektive sammankopplade i de övre hörnen visade en dämpning vid på 29,4 dB vid 10 MHz i båda fallen oberoende av fältets infallsriktning.

Det har alltså ingen betydelse för skärmningsverkan om burarna sammankopplas eller ej.

*OBS Viktigt! Vid genomföringar (kablar, metallrör m.m.) måste anslutning ske till båda burarna. I annat fall kortsluts skärmen och ström leds mellan in- och utsida istället för att ledas ut på den. Härigenom blir skärmen avsevärt försvagad.*

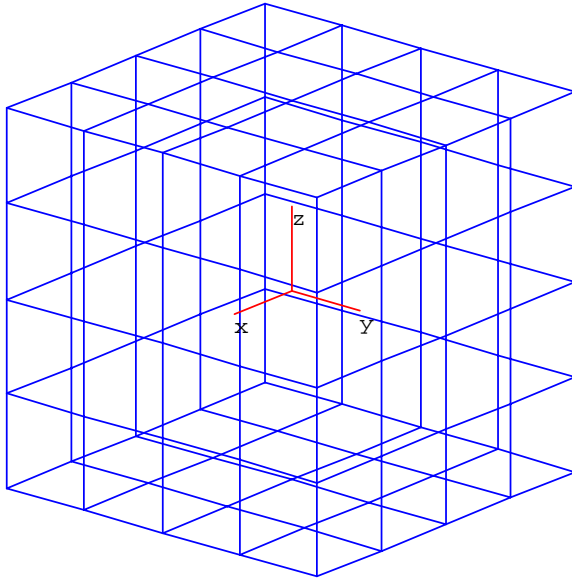
## 4.12 Skärmningsegenskaper vid olika frekvenser

### 4.12.1 Allmänt

För EMP är dämpningen intressantast för relativt höga frekvenser, varför de flesta beräkningarna i detta projekt genomförts vid frekvenser vid 10 MHz och högre. Det är ändå av intresse att känna till egenskaperna vid lägre frekvenser så att man vet hur långt ner erhållna resultat kan förväntas vara giltiga. Detta kan också vara av intresse för vissa andra källor, exempelvis åska.

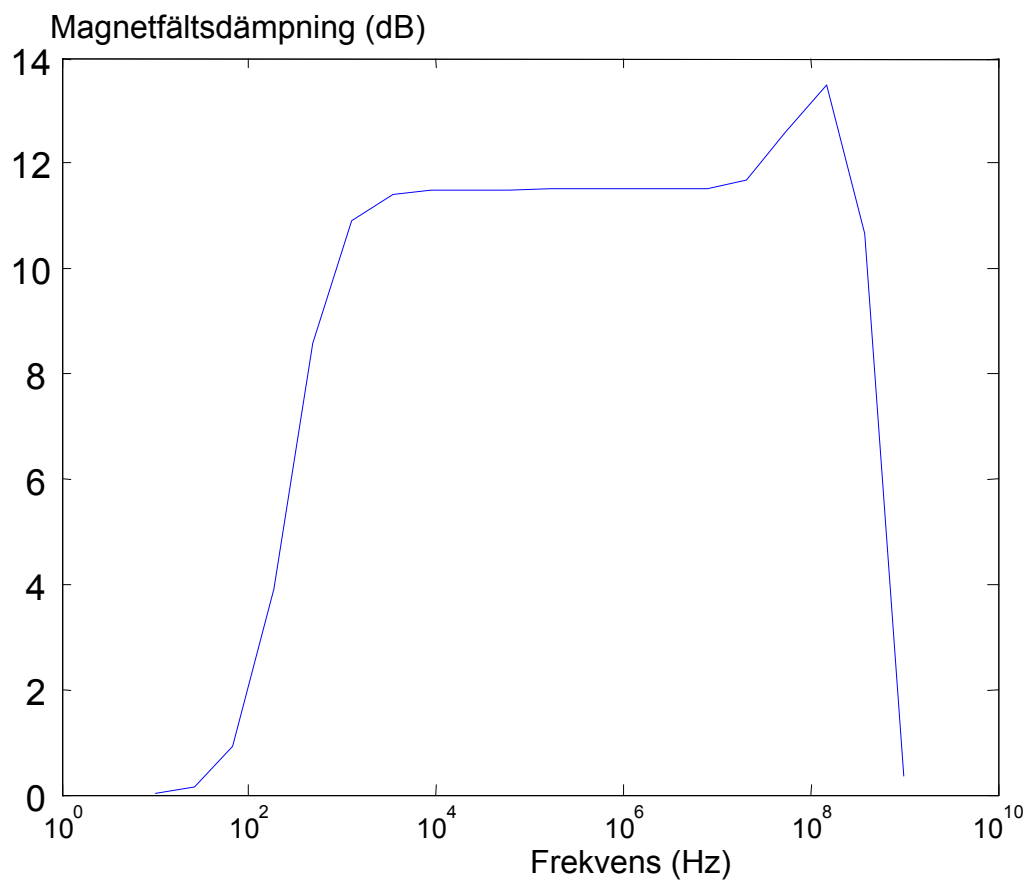
För större delen av frekvensområdet kan järnens ledningsförmåga antas vara oändlig. För de lägre frekvenserna fungerar dock den approximationen inte. För att kunna se skärmningens lågfrekvenssegenskaper måste hänsyn tas till järnens begränsade ledningsförmåga. Beräkningsprogrammet modifierades något för att detta skulle vara möjligt.

Låt oss först titta på hela det intressanta frekvensområdet. För att kunna genomföra en beräkning över hela frekvensområdet krävs att buren är relativt liten så att inte beräkningstiden blir alltför lång. För de höga frekvenserna måste man ta hänsyn till att strömmen i järnen inte är konstant längs hela maskan och alltså använda flera basfunktioner.



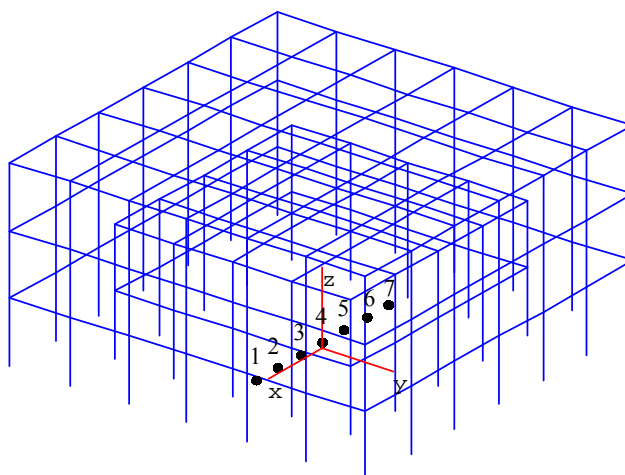
Figur 32. Kub med en meters sida.  $\varnothing 10\text{mm}$  järn.

Figur 33 nedan visar beräknad dämpning över frekvensområdet 10 Hz - 1 GHz. Vi kan här se att dämpning saknas för mycket låga frekvenser. När frekvensen ökas får vi en dämpning som ökar proportionellt med frekvensökningen tills vi når ett mellanområde där dämpningen är frekvensoberoende. När frekvensen ökar ytterligare når vi ett område där buren är resonant och dämpningen blir något svårbeskriven. Slutligen avtar sedan dämpningen när frekvensen blir tillräckligt hög. Vi ska i det följande titta lite närmare på de olika frekvensområdena. Vi koncentrerar oss först på lågfrekvensområdet och studerar enkel respektive dubbel bur.



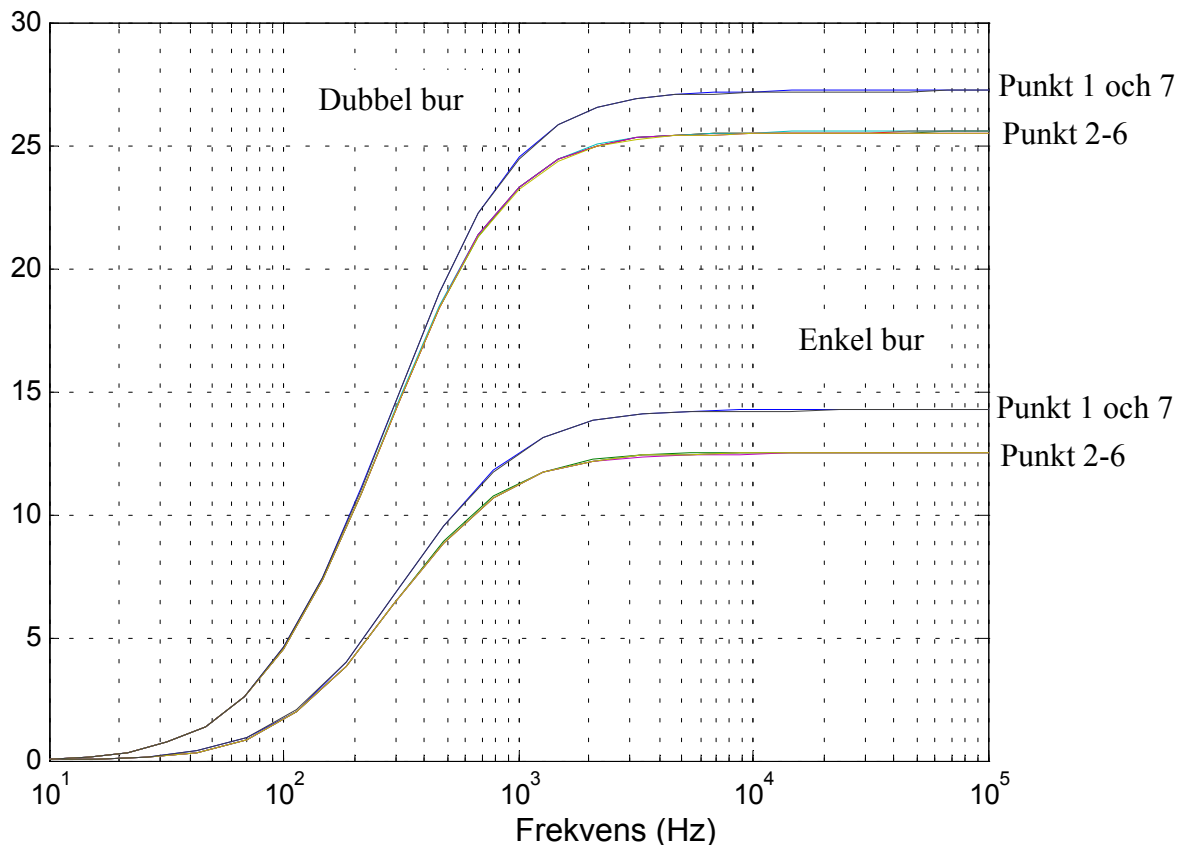
Figur 33. Dämpning hos kuben i figur 31 ovan.

#### 4.12.2 Låga frekvenser



Figur 34. Bur för jämförelse mellan enkel och dubbel skärm.

## Magnetfältsdämpning (dB)



Figur 35. Lågfrekvensdämpning i 7 punkter på x-axeln, enkel respektive dubbel armering.

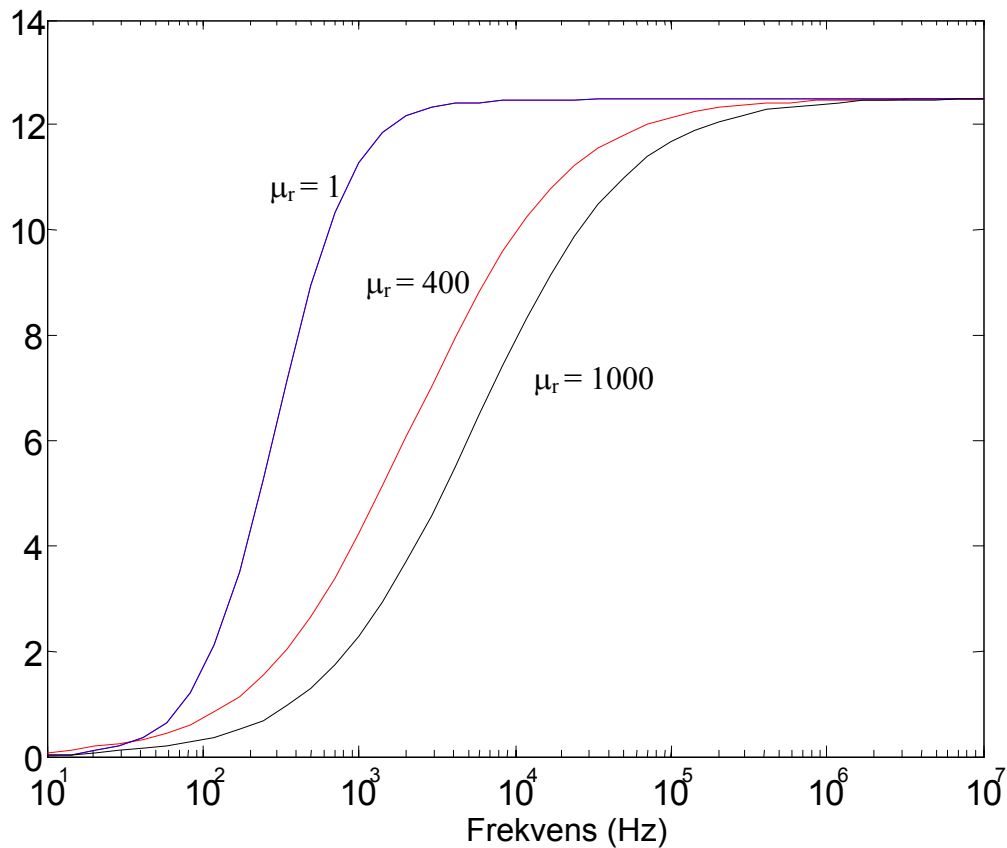
Vi kan se att när man för in ytterligare ett skikt armering ökar dämpningen, speciellt på den plana delen av kurvan medan den undre gränshänsen ligger kvar på samma frekvens. Detta medför att dämpningskurvas lutning blir kraftigare vid dubbel armering. Att använda två skikt medför alltså klar skärmningsförbättring även för frekvenser under den undre gränshänsen.

Vi kan vidare se att dämpningen i de två ytterpunkterna, punkt 1 och 7, som ligger alldeles intill ett järn, är något högre än i övriga punkter.

### 4.12.3 Permeabilitetens betydelse

I de flesta redovisade beräkningarna har ledningsförmågan i järnet satts till oändlig. Detta ger en god approximation förutom i det lågfrekventa området. På låga frekvenser har också järnets permeabilitet en påverkan på dämpningen. I programmets standardversion förutsätts att den relativa permeabiliteten är 1. För att kunna undersöka permeabilitetens inverkan modifierades programmet dock något så att godtycklig permeabilitet kunde användas.

## Magnetfältsdämpning (dB)



Figur 36. Dämpningens beroende av permeabiliteten i järnet

Vi kan se att permeabiliteten i det här fallet påverkar dämpningen endast under ca 1 MHz och tvärtom vad många tror blir dämpningen sämre med ökande permeabilitet. Permeabiliteten medför att dämpningskurvas lutning blir svagare. Det är först på ännu lägre frekvenser permeabiliteten har någon gynnsam verkan, om än ytterst måttlig. Denna effekt kommer dock inte med i den använda beräkningsmetoden.

### 4.12.4 Höga frekvenser

En nätkonstruktion har begränsad dämpning på högre frekvenser. Så länge frekvensen är låg, och därmed våglängden lång, märks inte hålen i nätet utan skärmningen blir i princip densamma som om metallen smetats ut till en jämn, tunn plåt. Om våglängden däremot inte är avsevärt längre än maskstorleken kommer infallande fält att tränga in genom hålen. Bli frekvensen tillräckligt hög blir inträngningen total och man får ingen dämpning alls. Denna frekvens kan beräknas med formeln:

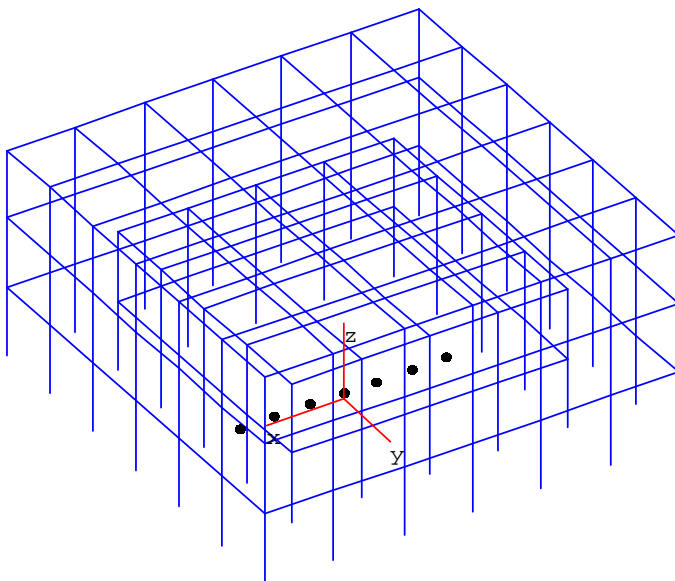
$$f_0 = \frac{Z_0}{4\pi L_y}, \text{ där } Z_0 \text{ är rymdens vågimpedans } (=377 \Omega) \text{ och } L_y \text{ är skärmens ytimpedans}$$

$$L_y = \frac{a\mu_0}{2\pi} \ln\left(\frac{1}{1 - e^{-\frac{\pi d}{a}}}\right), \text{ där } d = \text{järnens diameter och } a = \text{maskstorleken}$$

För en konstruktion med  $d=10$  mm och  $a=150$  mm blir  $f_0 = 600$  MHz. Upp till denna frekvens kommer dämpningen att följa ett avtagande som, för en enkel bur, är proportionellt mot frekvensen, från den plana delen ner till 0 vid  $f_0$ . Var avtagandet startar beror alltså på hur hög dämpningen är i mellanfrekvensområdet. Ovanför  $f_0$  får man alltså ingen dämpning.

För att klargöra vad som gäller vid dubbel bur har ett antal beräkningar genomförts.

Resultaten blir lite mer svårtolkade på höga frekvenser. Det inträngande fältet kommer att reflekteras i väggarna och ge upphov till stående vågor med rums- och frekvensberoende bukar och noder. Dämpningen blir då också kraftigt rums- och frekvensberoende. Detta blir speciellt tydligt i ett tomt utrymme där ingen energi absorberas inne i volymen. Nedan redovisas ett exempel på en beräkning i ett antal punkter längs x-axeln, som sammanfaller med infallsriktningen.



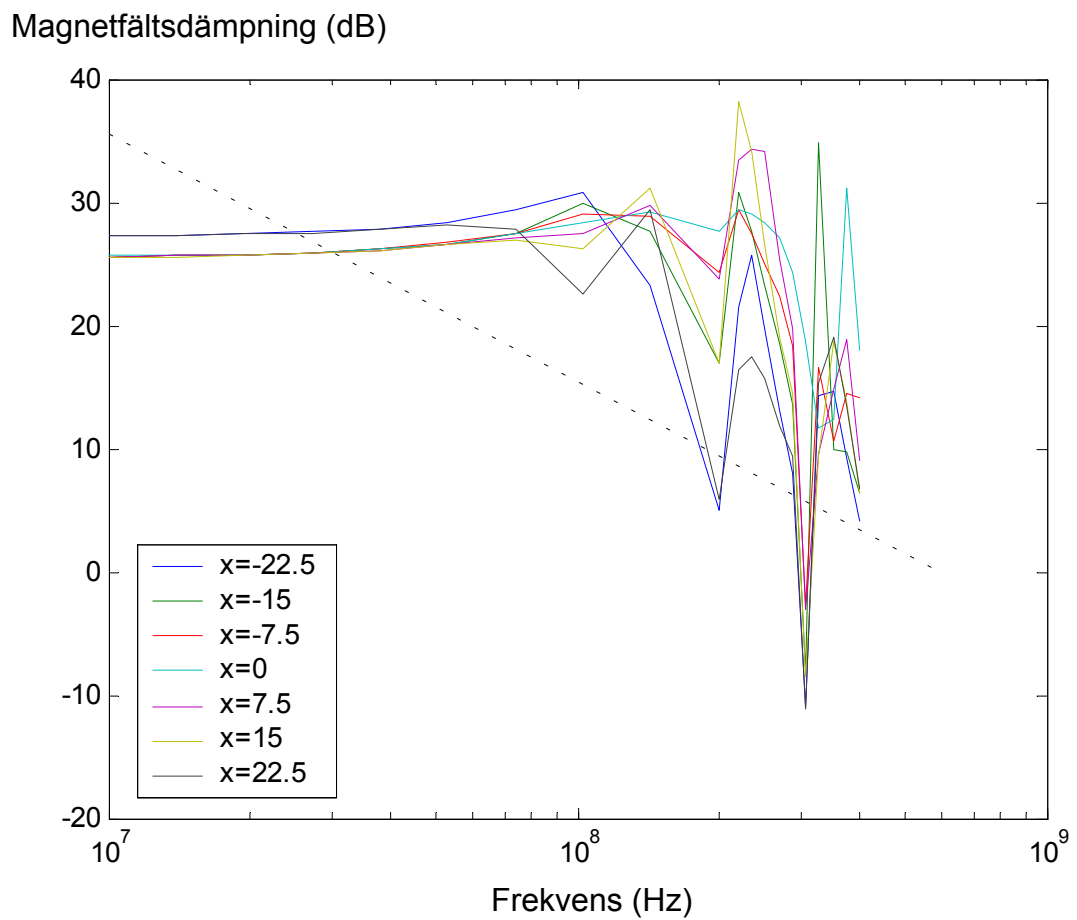
Figur 37. Dubbel bur med en maskas avstånd mellan burarna, Maskstorlek 150 mm och Ø10-järn.

Nedanstående figur visar erhållen dämpning i de olika punkterna jämfört med det teoretiska avtagandet för en enkelbur (streckat). Vi kan här se att den dubbla burens dämpningsökning i mellanfrekvensområdet fortsätter ovanför den frekvens då den enkla burens dämpning börjar avta.

Ur EMP-skyddssynpunkt är detta speciellt intressant, eftersom det innebär att den dubbla burens ger en klar dämpningsökning inom ett frekvensområde som har visat sig vara speciellt viktigt i verkliga anläggningar. Den resulterande EMP-miljön har där till stor del bestämts av inkopplingen i frekvensområdet kring 100 MHz.

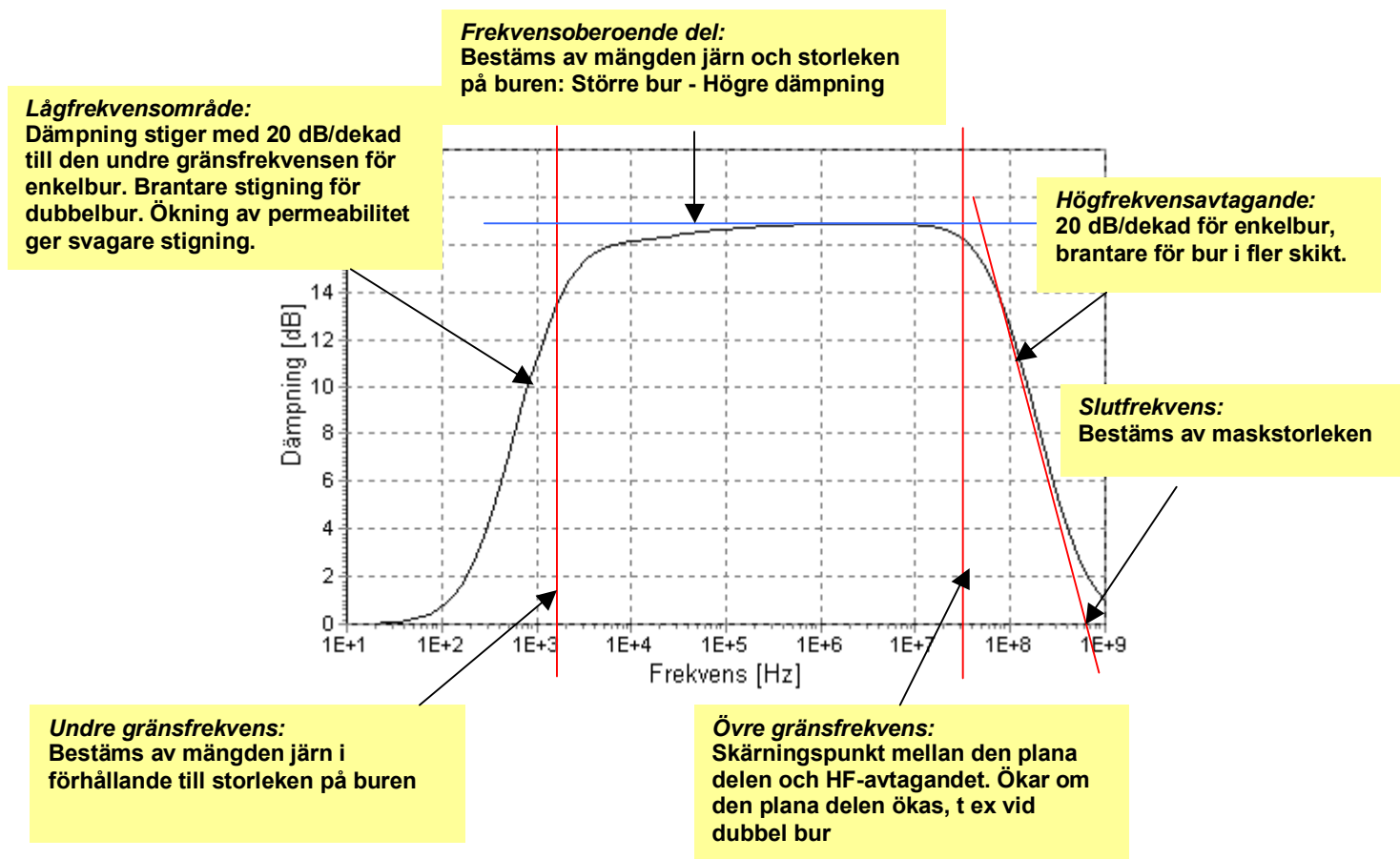


Gränsfrekvensen där dämpningen är noll påverkas ej av dubbleringen av skärmen, vilket innebär att avtagandet blir brantare än för en enkelbur.



Figur 38. Högfrekvensdämpning i 7 punkter längs x-axeln. Dubbel bur med en maskas avstånd mellan burarna, Maskstorlek 150 mm och Ø10-järn.

I nedanstående figur sammanfattas skärmningens frekvensberoende:



Figur 39. Sammanfattning av skärmningens frekvensberoende hos armeringskärm

## 5. Slutsatser

Dämpningens frekvensberoende hos en armeringsbur kan beskrivas på följande sätt:

Vid låg frekvens är dämpningen låg. När frekvensen stiger ökar dämpningen tills den når en i stort sett frekvensoberoende nivå. För en enkelbur, sker ökningen proportionellt med frekvensen, 20 dB/dekad. En dekad innebär att frekvensen ändras en faktor 10. Detta gäller oberoende av ledningsförmåga och med relativa permeabiliteten lika med 1. Försämring av ledningsförmågan medför att den undre gränsfrekvensen stiger. Gränsfrekvensen är omvänt proportionell mot ledningsförmågan. Ökning av permeabilitet medför att dämpningsökningen blir svagare än 20 dB/dekad. När frekvensen ökat tillräckligt avtar återigen dämpningen ner till noll.

Lågfrekvensområdet och den frekvens vid vilken dämpning börjar erhållas bestäms av mängden metall i skärmen, ledningsförmågan och permeabiliteten. Den frekvens vid vilken dämpningen når sin frekvensoberoende nivå är för en enkel armering med Ø10-järn och 150 mm maskstorlek ca 1 kHz om  $\mu_r = 1$ , men stiger till ca 1 MHz om  $\mu_r = 1000$ .

Nivån på den frekvensoberoende delen av dämpningen bestäms dels av burens storlek och dels av mängden metall i konstruktionen. Dämpningen är i stort sett proportionell mot  $V/A$ , där  $V$  är burens volym och  $A$  är total väggyta. Vidare är dämpningen proportionell mot mängden järn, men om järnen delas upp i två skikt kan ytterligare dämpning åstadkommas.

När frekvensen blir tillräckligt hög kommer öppningarna i maskorna att ge läckage som reducerar dämpningen. För höga frekvenser gäller, för en enkel nätskärm, att dämpningen avtar proportionellt med frekvensen. Till slut når man en frekvens där ingen dämpning erhålls. För 150 mm maskstorlek ligger denna frekvens på 600 MHz. Den frekvens vid vilken avtagandet startar beror på hur högt den plana delen ligger. Ju högre denna ligger desto lägre blir gränsfrekvensen.

Om buren har två skikt ökar den plana delen av dämpningskurvan. Är avståndet mellan skikten tillräckligt, cirka en maskstorlek, adderas skiktets dämpning. Ligger skikten alldeles intill varandra begränsas dämpningsökningen till 6 dB. Den frekvens där dämpningen gått ner till noll påverkas inte av att det är två skikt och eftersom den plana delen av kurvan höjs samtidigt som den övre gränsfrekvensen i stort ligger kvar får man ett brantare högfrekvensavtagande och en dämpningsökning även ovanför den plana delen av kurvan.

Ovanstående principer kompliceras i verkligheten av att den elektromagnetiska vågen studsar i väggarna och ger upphov till stående vågor med rums- och frekvensberoende resonanser som följd.

Armeringsjärnets diameter påverkar dämpningen ganska marginellt. En ökning med 20% ger en dämpningsökning på ca 2 dB över hela frekvensområdet.

Avgörande för god skärmning är att armeringsjärnen är sammanfogade så att de bildar slingor runt den skärmade volymen. Däremot är det inte nödvändigt att maskornas korsningspunkter sammankopplas. Ej heller behöver man sammankoppla de två skikten om man har en dubbel armering. Sammankoppling skall dock alltid göras vid genomföringar.

## **6. Referenser**

- [1] Armering som EMP-skärm - Mätning på RC Helsingborg, Räddningsverket rapport B54-224/02, juli 2002.
- [2] Marchner M: EMP-Memo 913 – Skyddsrumсарmering som EMP-skärm, FOA Rapport C 30548-4.2, oktober 1989.
- [3] Utvärdering av EMP-skydd i RC Åmål, Emicon rapport MTR-9218, februari 1992.
- [4] Verifiering av EMP- och åskskydd i RC Bromölla, Emicon rapport MTR-9705, november 1997.
- [5] Verifiering av EMP-skydd i RC Perstorp, Emicon rapport MTR-0003, juni 2000.



**Räddningsverket, 651 80 Karlstad**  
**Telefon 054-13 50 00, telefax 054-13 56 00**

Beställningsnummer B54-225/02. Telefax 054-13 56 05, telefon 054-13 57 10