

IEEE/EMC Sweden

Ludvika 2005-04-21

Lars-Erik Juhlin



FEMLAB-BERÄKNING AV SKÄRMNING I STORA BYGGNADER



Allmänna förutsättningar

- Ventiler med kommuteringskretsar, vilka emitterar de högsta frekvenserna är inbyggda i "EMC-säkra" inneslutningar.
- Övriga kretselement finns inuti en "konventionell" byggnad som utformas för att ha någorlunda bra skärmningsegenskaper.
- Aktuellt frekvensområde är 9 kHz till 30 MHz.
- EMC-åtgärder får ej äventyra byggnadens livslängd, dvs inte öka risken för korrosion.
- Mål: En jämnstark skärm som är tillräckligt bra.
- Fråga: Om/Hur skärmning kan förbättras.

Simuleringsvårigheter

- Byggnaden är ca 100 m lång, 30 m bred och 12 m hög.
- Plåt för väggbeklädnad ca 0,7 mm tjock.
- Plåten har en plastbeläggning ca 0,05 mm tjock
- Plåtarna är i längder som är ca 1 m breda.
- Golvet är armerad betong kompletterad med jordnät, maskstorlek 3x3 m.
- Ej rimligt simulera i skala – beräkningstider och minne

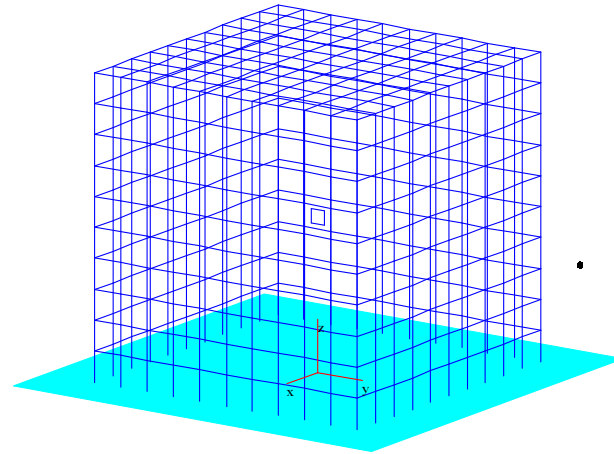
Specifika frågeställningar

- Är teorin för dämpning tillämpbar i vårt fall
 - Att förstå vilka faktorer som är viktiga
 - Hitta principlösningar
 - Hitta bra simuleringsmetodik
 - Dörrar och portar – ett stort problem i praktiken
 - Hur noga måste man vara
-
- **SLUTRESULTATET SKALL KUNNA OMSÄTTAS I RITNINGAR OCH FÖR BYGGARE BEGRIPLIGA INSTALLATIONSANVISNINGAR!**

Jämförelse med teori

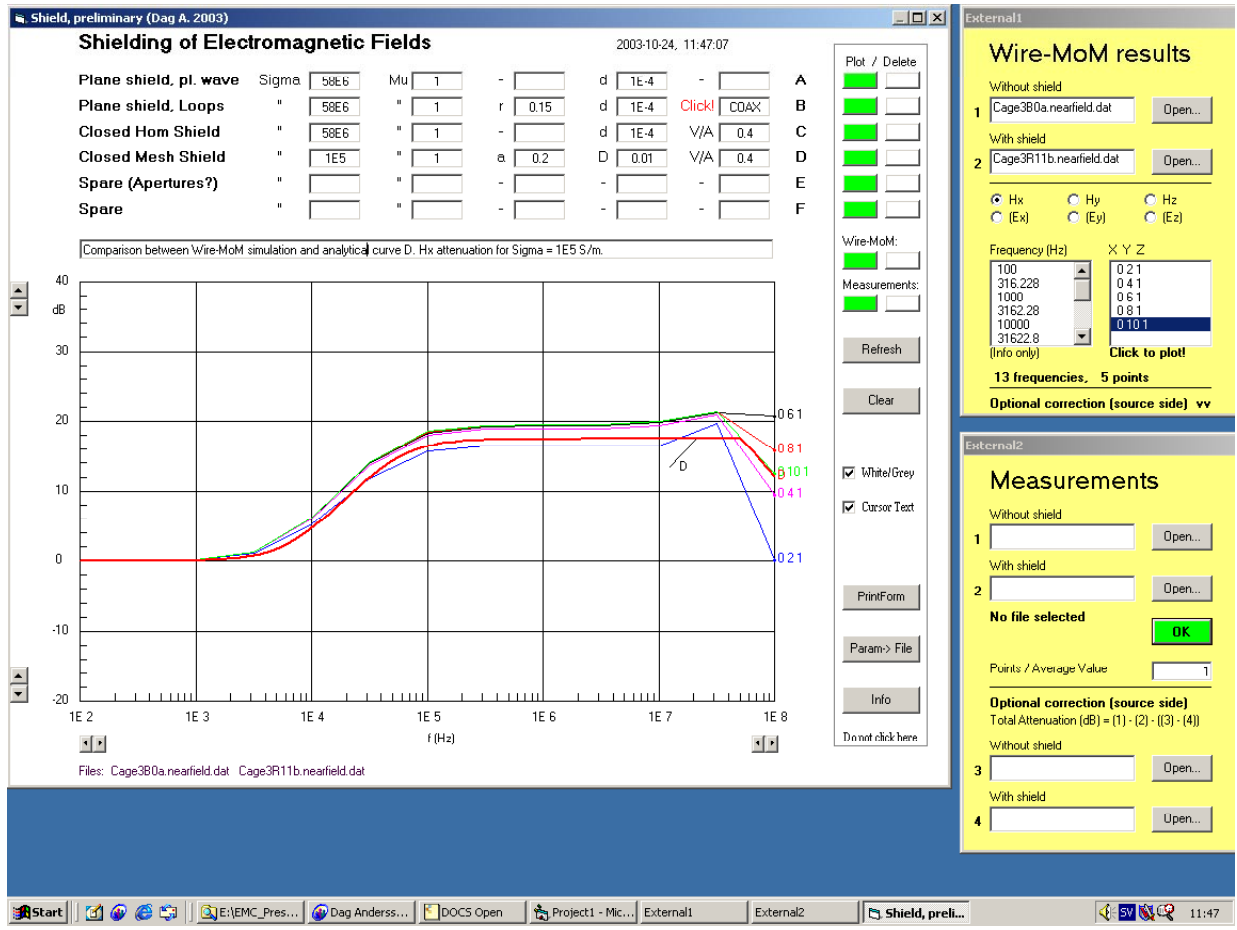
- Teorin utvecklad för dämpning inuti ett skärmat utrymme med en ganska enkel geometri för en plan infallande våg.
- Det fall vi har är en sändare inuti ett skärmat utrymme och vi är intresserade av dämpningen utanför skärmen.
- Beräkning med Wire-MoM (in->ut) jämförd med teoretisk dämpning (plan våg ut->in)
- Wire-MoM av Jan Carlsson SP

Wire-MoM Model



Example of a Wire-MoM model: The "standard" case.
Cage 2*2*2 m on a conducting ground plane. Magnetic dipole at center, near-field points at $Y = 2, 4, 6, \dots$ m
($X = 0, Z = 1$ m)

Comparison of results



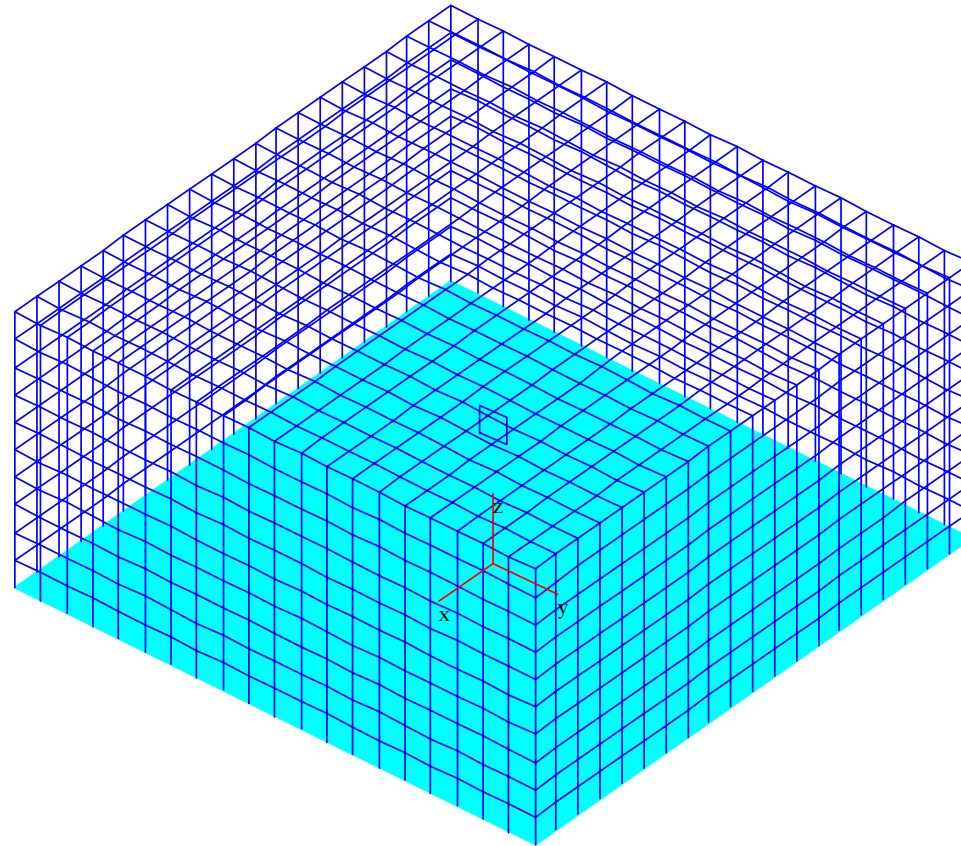
Comparison of analytical attenuations and those obtained from simulations. Y=2, 4, 6, 8 and 10 m. Comparison with field level without a screen.



Dämpning beroende på byggnadsstruktur

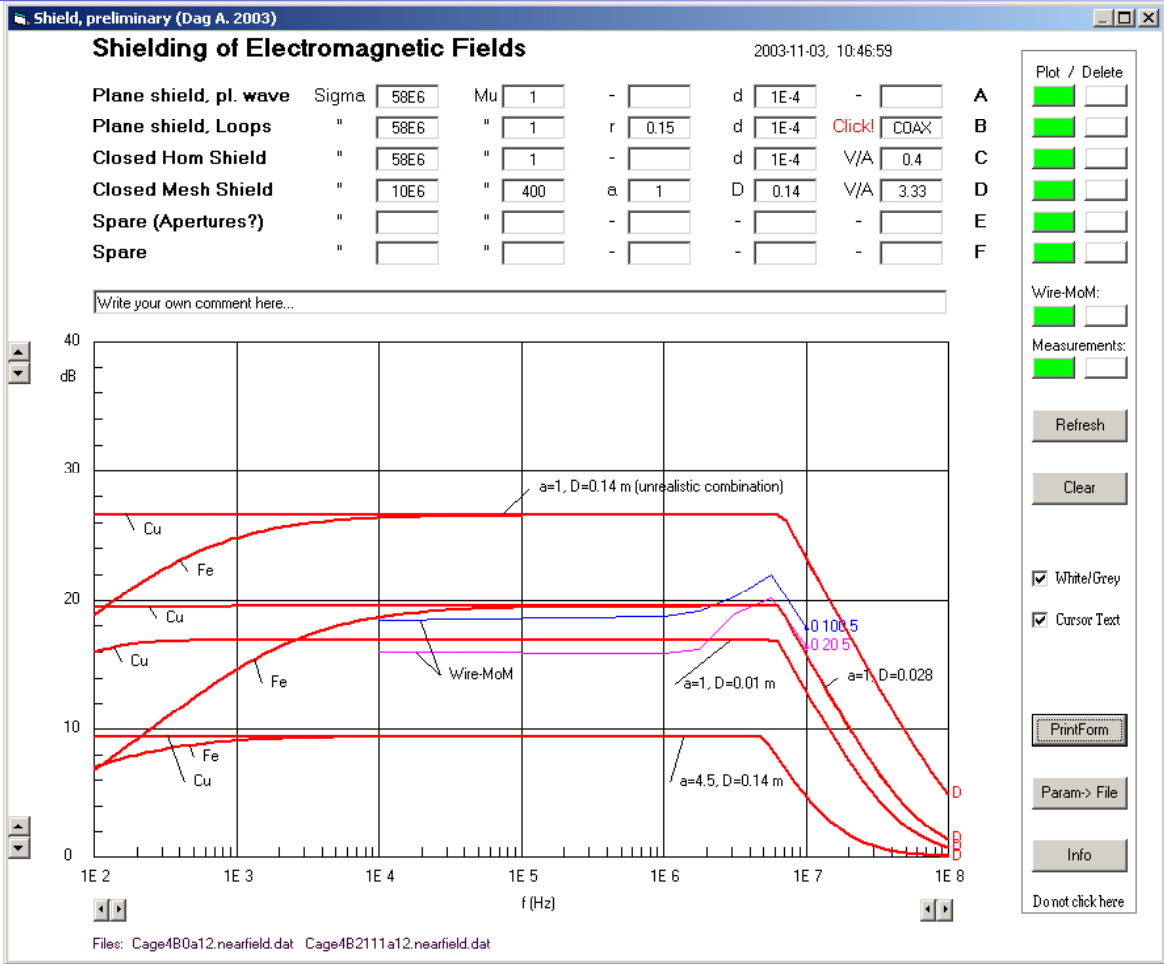
- Vertikala stålstolpar, c-c 4,5 m, arean motsvarar en diameter på 14 cm.
- Horisontellt fackverk c-c 1,2 m, arean motsvarar en diameter på 2,8 cm. (modellerat c-c 1,0 m, Diam 1,0 cm)
- Principiell byggnad mått 20x20x10 m.
- Väggbeklädnad isolerad stålplåt, ej simulerad.
- Uppmätt total dämpning var 40 dB.

Wire-MoM model of converter building



Full scale model (20 * 20 * 10 m) with mesh size 1 * 1 m, requiring “only” 540 MB free RAM and 1.5 h computation time per frequency (2,8 GHz). Wire diameter 1.0 cm.

Calculated attenuation for steel structure



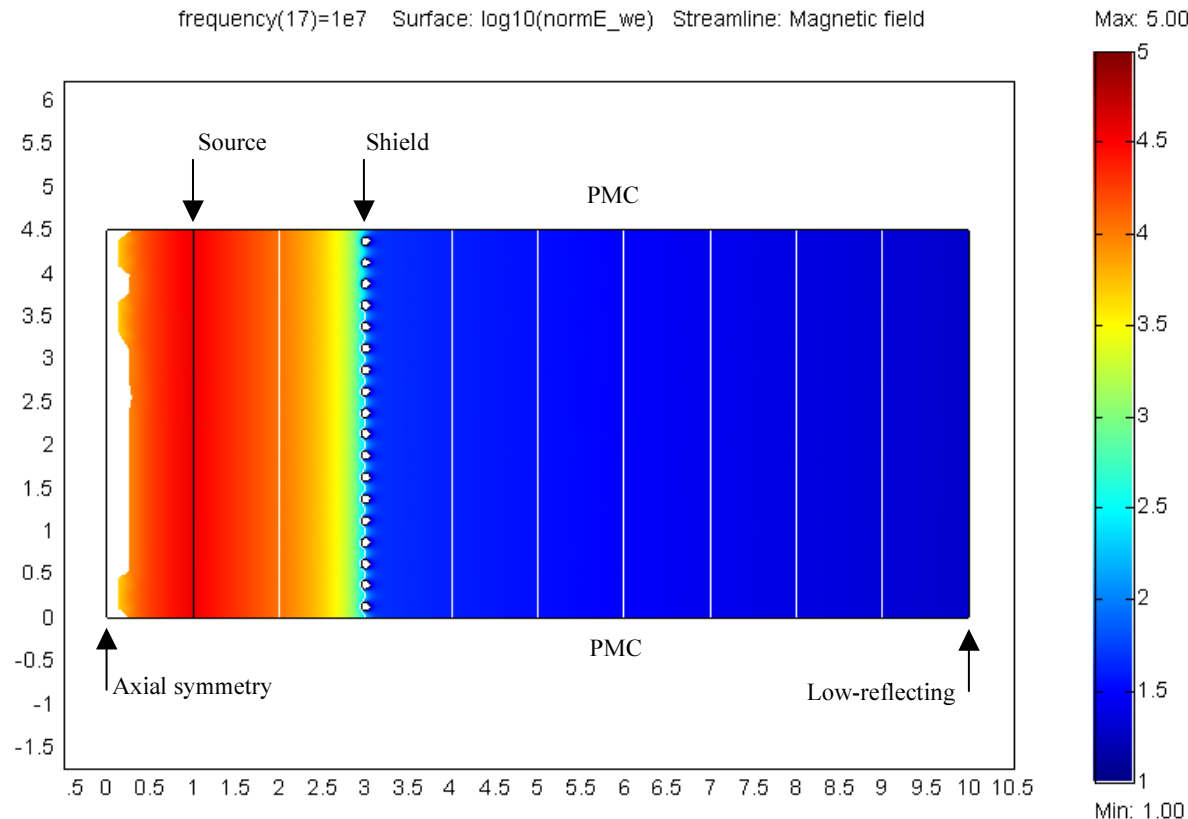
Comparison between Wire-MoM simulation results (Y = 20 and 100 m) and an analytical curve for the cage and with analytical curves for the building framework.



FEMLAB 2D SIMULERING

- + Kortare beräkningstider
 - + Enklare att modellera
 - Endast en mod i taget; TE eller TM
 - Randvillkoren kritiska, kräver eftertanke
 - Källorna svåra att relatera till verkliga källor
-
- ❑ Dämpning är fältet integrerat över högra ytan, utan och med skärm.
 - ❑ FEMLAB från Comsol

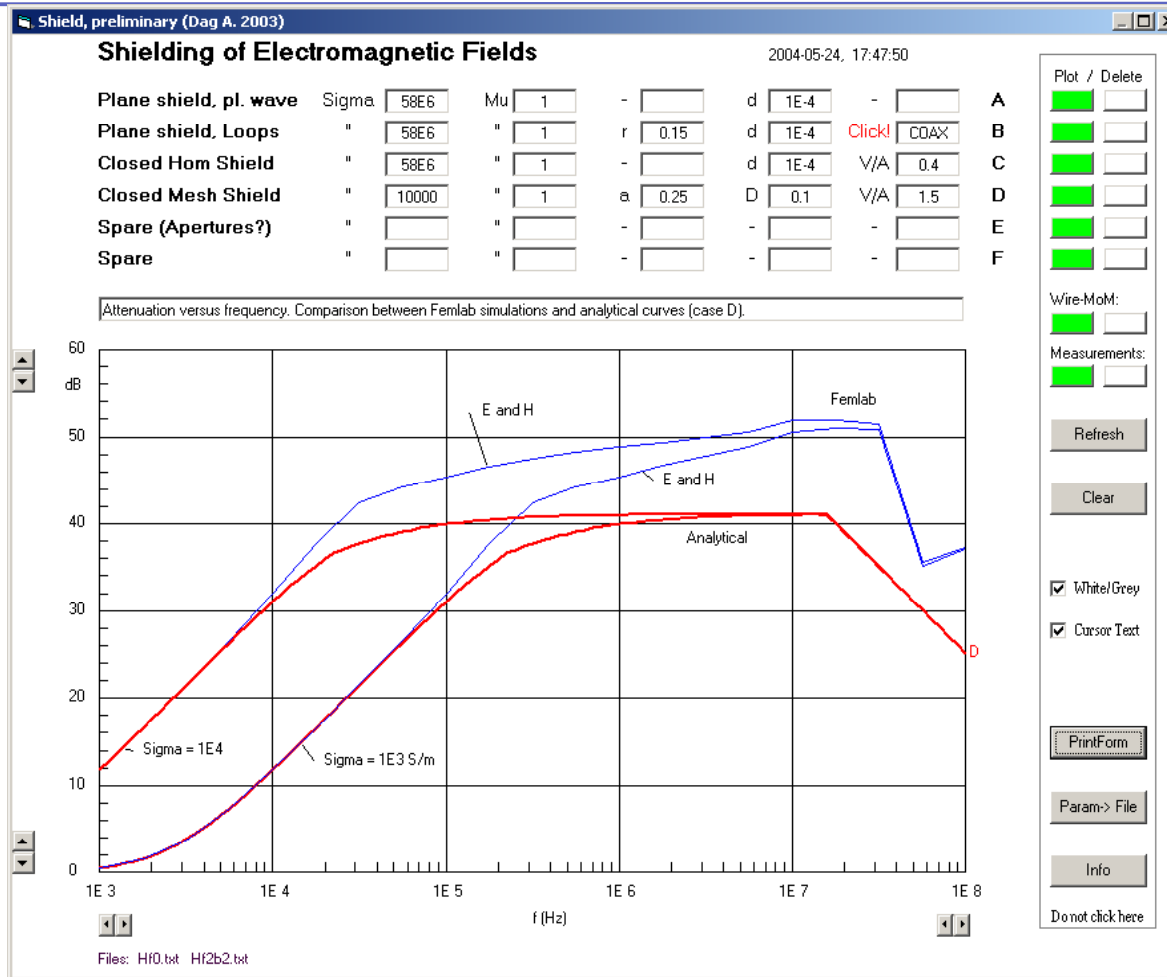
Disk, top/bottom Perfect Magnetic Conductor



2D model of an axisymmetric wire mesh shield with a source. Due to the Perfect Magnetic Conductor boundary conditions at $z = 0$ and 4.5 m, a cylinder of infinite axial extension is represented with a volume to area ratio $V/A = 1.5$ m. TE mode at 10 MHz with $\sigma = 1000$ S/m in the shield, and $\mu = 1$, $\epsilon = 1$ in the whole region.



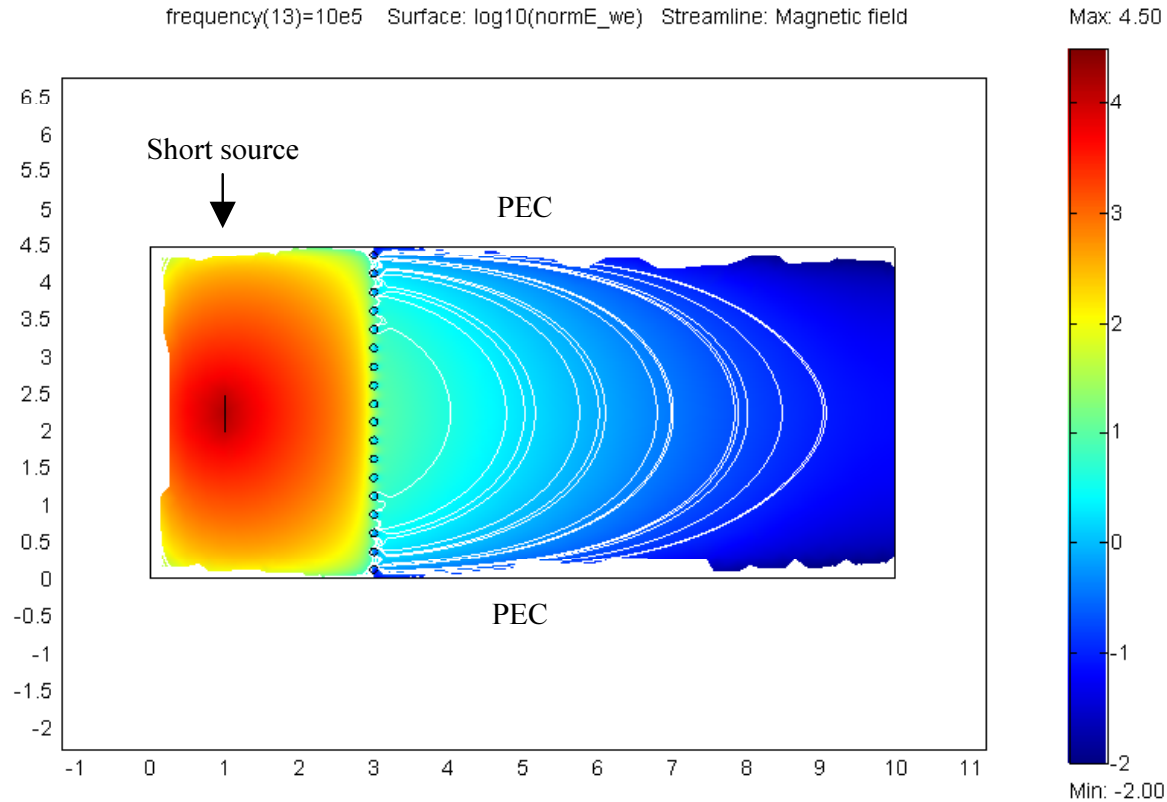
Comparison with theoretical attenuation



Comparison between attenuation versus frequency according to Femlab simulations in previous figure and analytical expressions for an external plane wave. The Femlab attenuation is based on integrals of $|E|$ and $|H|$ at $r = 10$ m with and without the mesh shield.



Disk, top/bottom Perfect Electric Conductor



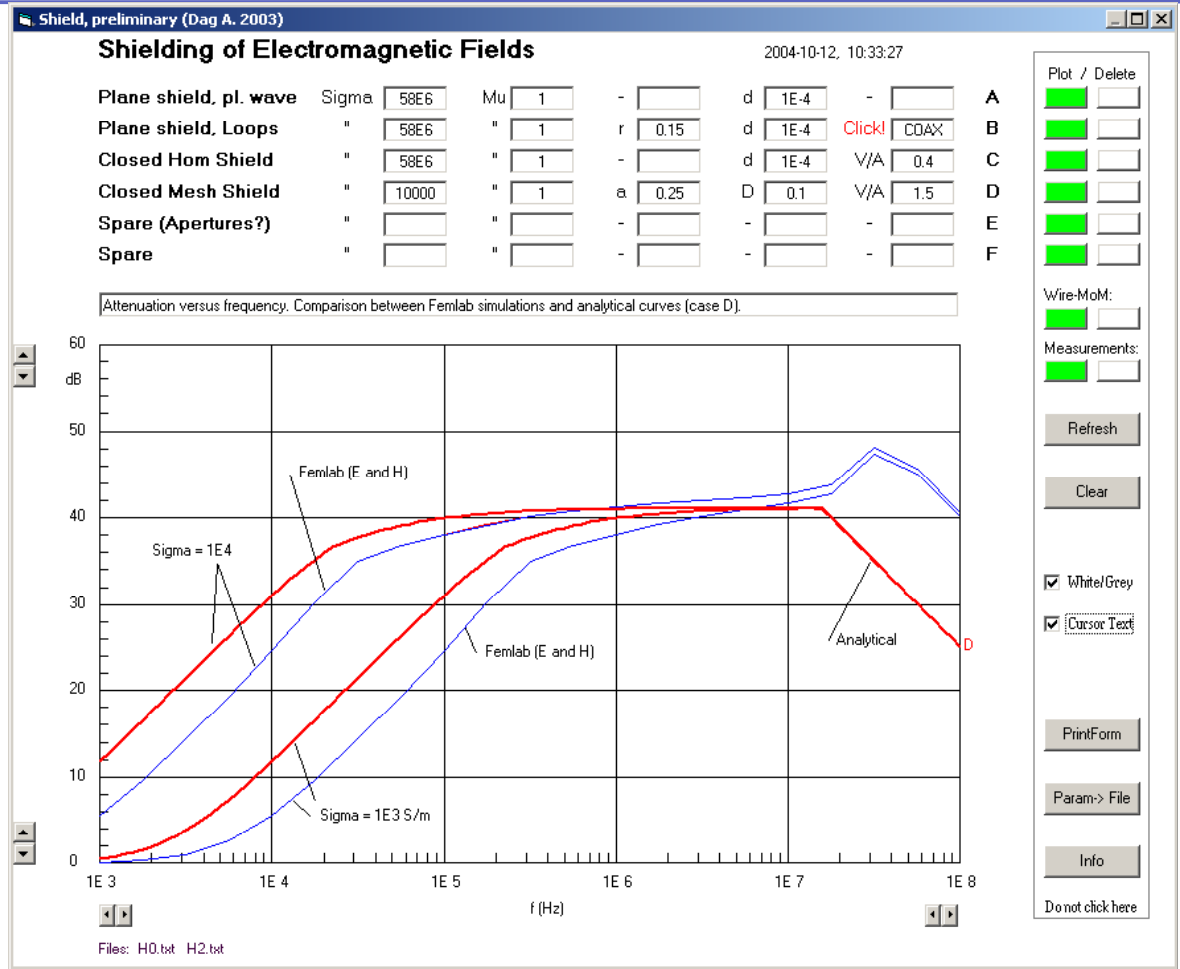
As previous case, but with a shorter source and PEC boundaries at $z = 0$ and 4.5 m representing an axially confined geometry.

$V/A = 1.5$ or 0.9 m, depending on how A is defined.

TE mode at 1 MHz with $\sigma = 1000$ S/m.



Comparison with theoretical attenuation

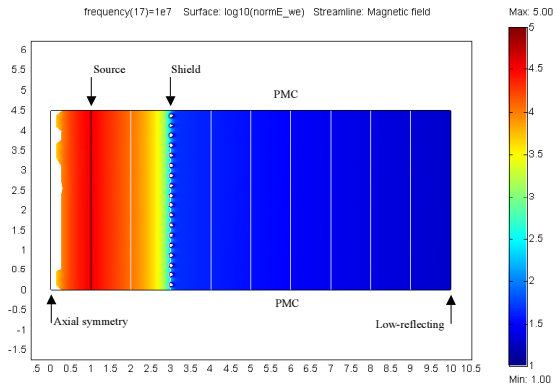
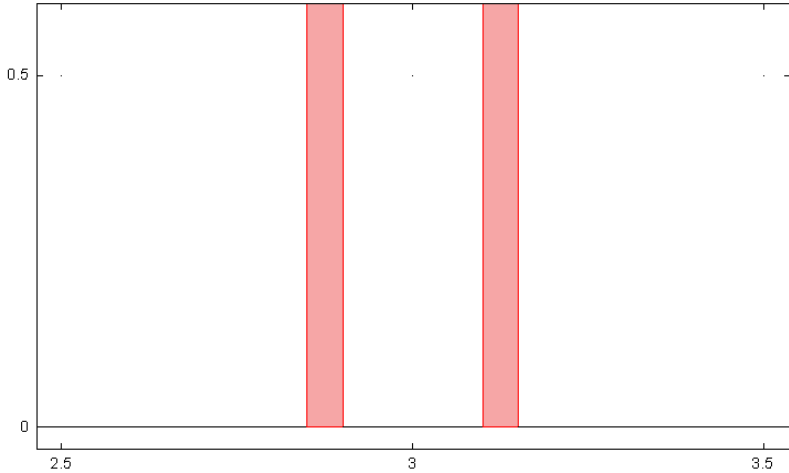
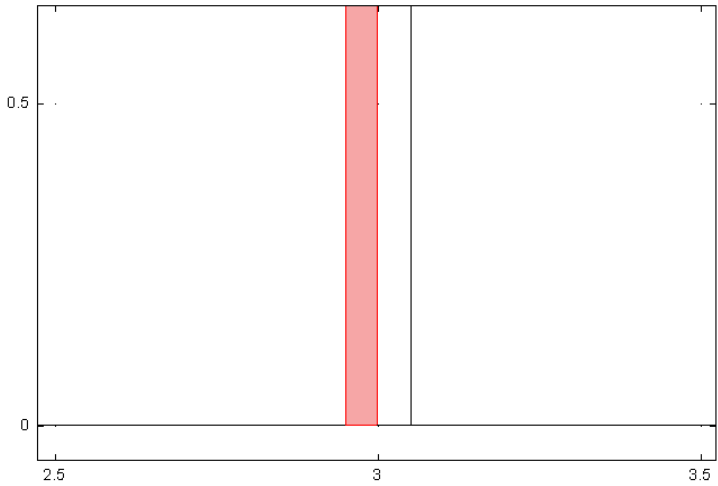


Comparison between attenuation versus frequency according to FeMLab simulations in previous figure and analytical expressions for an external plane wave. The comparison is based on $V/A = 1.5$ m.

Två skärmar bättre än en dubbelt så tjock

- Rotationssymmetrisk geometri, TE-mod
- Skärm på 3 m från centrum
- Tre alternativ studerade med $\sigma = 1000 \text{ S/m}$
- En enkel homogen skärm 5 cm tjock
- En enkel homogen skärm 10 cm tjock
- Två homogena skärmar 5 cm tjocka på avstånd 5 cm, 10 cm, 20 cm, 40 cm och 80 cm från varandra (dvs spaltens tjocklek)

Modelling of a double screen

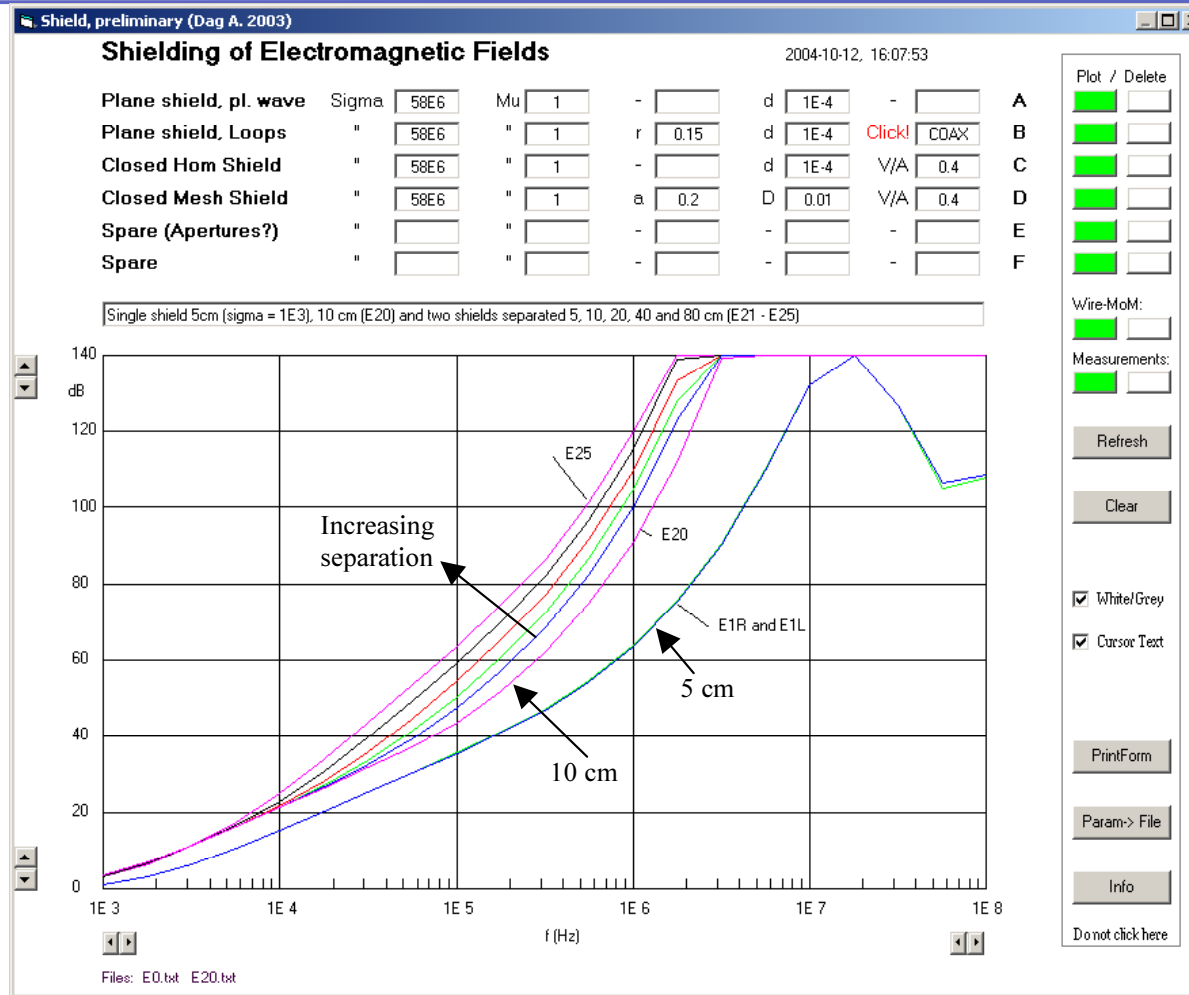


Geometry (detail) for a 5 or 10 cm homogeneous shield, left, and for a double shield where the two 5 cm slabs are moved apart symmetrically around $r = 3$ m, right.

Base case, but the shield is replaced.



Attenuation with single and double shields



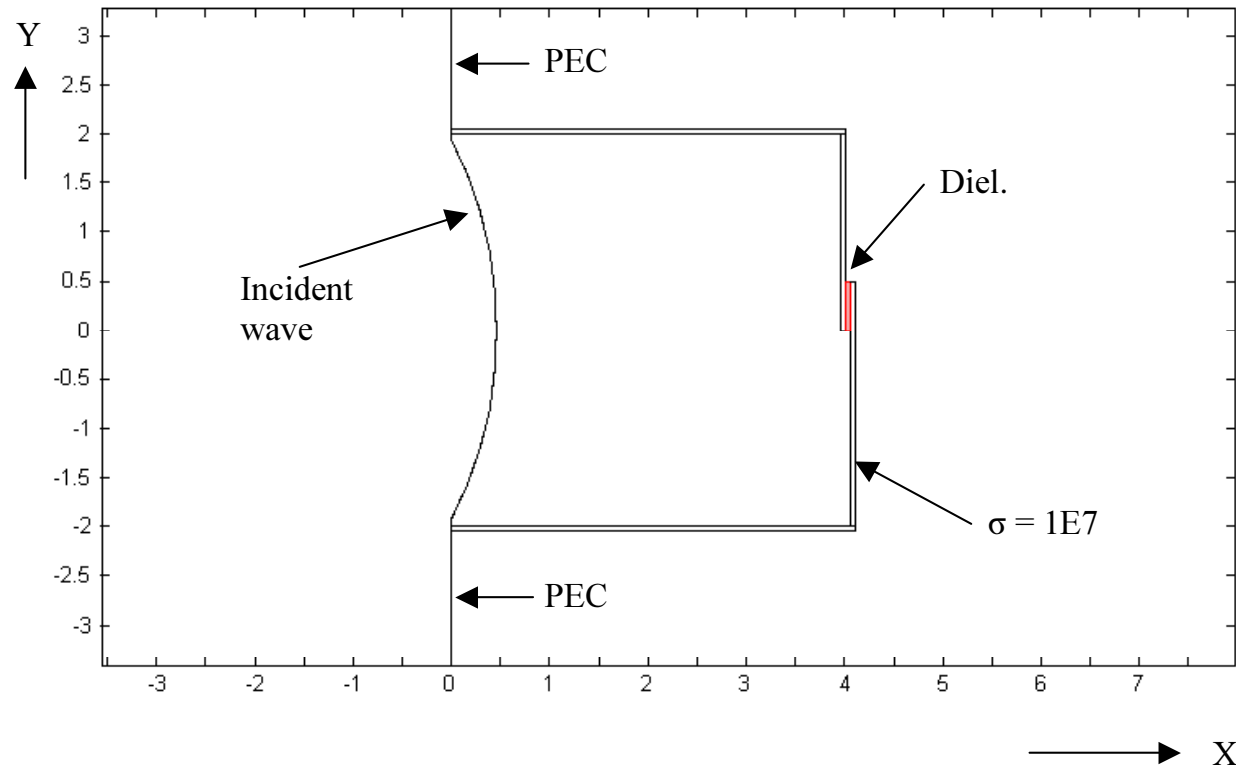
Attenuations (E plotted, H almost identical) versus frequency for single shields (5 and 10 cm) and double shields where the two parts are separated symmetrically as in previous figure (right). $\sigma = 1000$ S/m



Överlappande plåtar

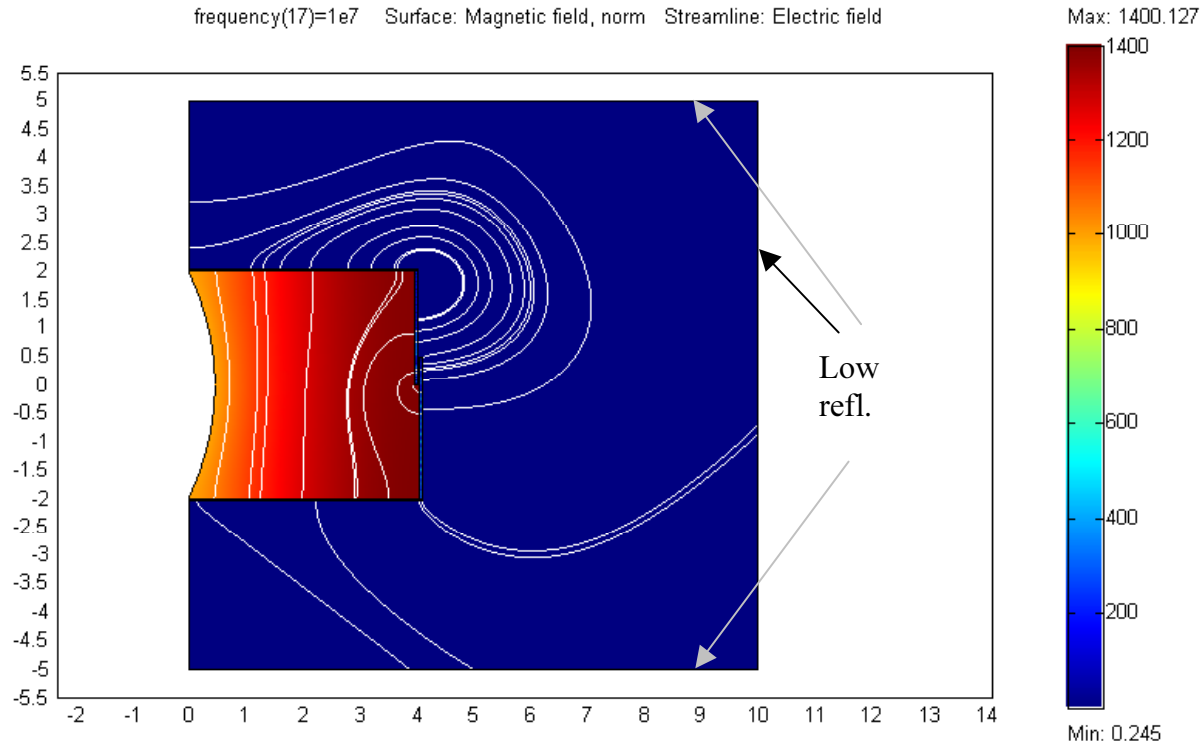
- Det är byggnadstekniskt ganska enkelt att lägga plåtarna om lott vilket ger ett överlapp på ca 0,5 m. plåtarna är 1 m breda.
- Detta ger en ganska stor kapacitiv koppling, men vad innebär det i dämpning.
- Simulerat i FEMLAB 2D.
- Kapacitiva kopplingen simulerat med stort ϵ , eftersom minsta praktiska spalt är ca 5 cm simuleringstekniskt.
- Resistiv koppling via skruvar förbättrar.

Screening by overlapping plates



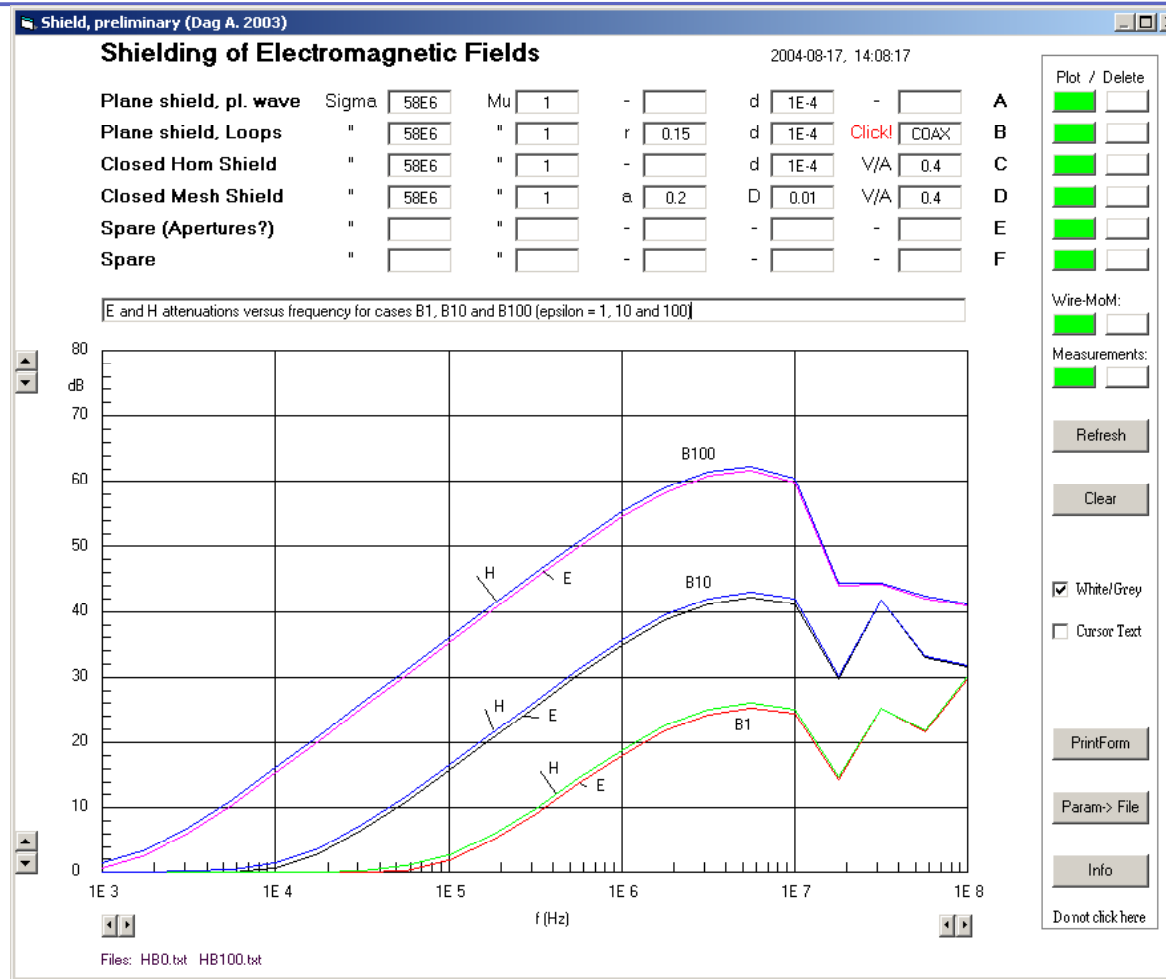
2D rectangular TM model (detail) with an incident wave ($H_z = 1000 \text{ A/m}$) shielded by overlapping plates with a conductivity of $1E7 \text{ S/m}$ separated by a 5 cm dielectric material. The overlap is 0.5 m.

Field figure at overlapping plates



Case B100, $\epsilon = 100$, at 10 MHz. Magnetic field $\text{abs}(H)$, color, and electric field lines. Low-reflecting boundaries are used at $x = 10$ m and at $y = -5$ and $+5$ m.

Attenuation at overlapping plates



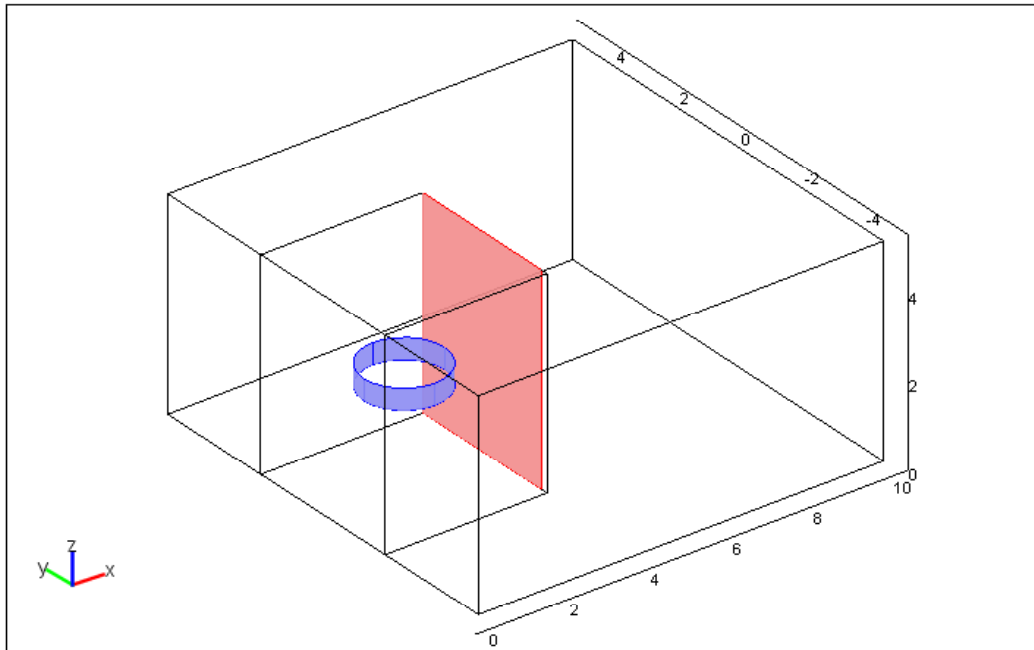
Attenuation versus frequency (E and H) for three values of the dielectric constant ($\epsilon = 1, 10$ and 100), corresponding to a gap of 50, 5 and 0.5 mm.



Dörrar och portar – skärmens svaga punkt

- Passage för tunga transporter under montage, stora.
- Persontransport för underhåll, används ibland ofta.
- Livstid och korrosionsskydd.
- Säkerhetsföreskrifter ger en, allt två jordlitsar per dörr på gångjärnssidan.
- Hur noga måste vi vara?

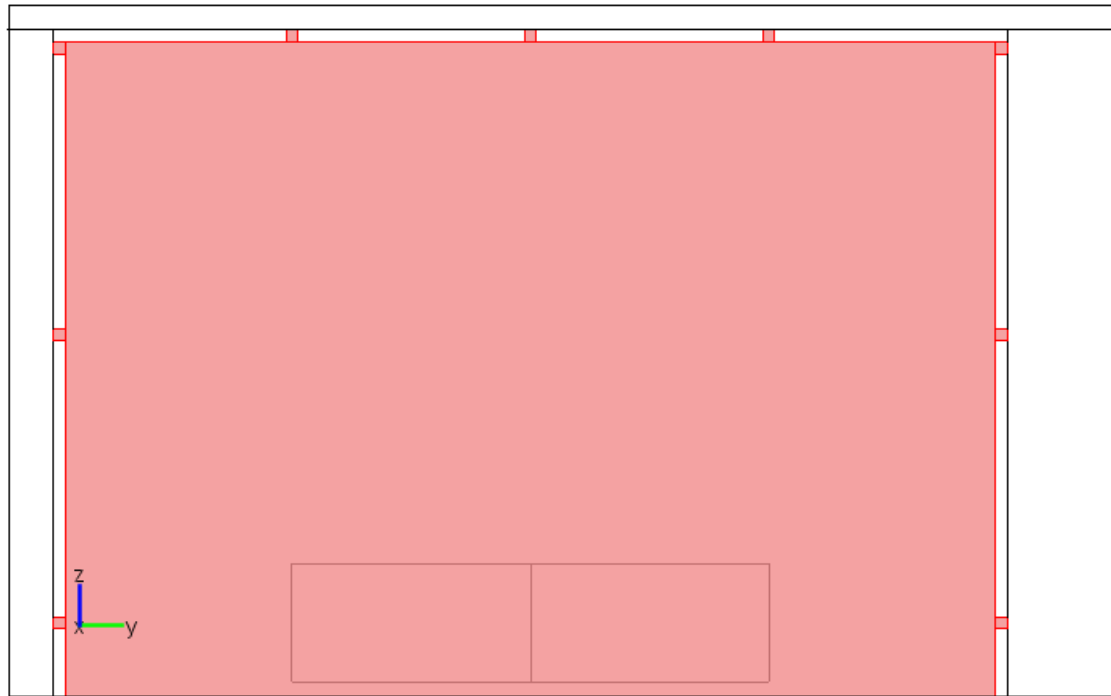
Model for simulation of leaking doors



Current loop (blue) shielded by a 4*4*5 m box of PEC (perfect electric conductor) surfaces except for a leak at the door (red) at $X = 4$ m. Surfaces outside this box are low reflecting except at $X = 0$ (PEC). E and H fields are integrated on the surface $X = 10$ m.

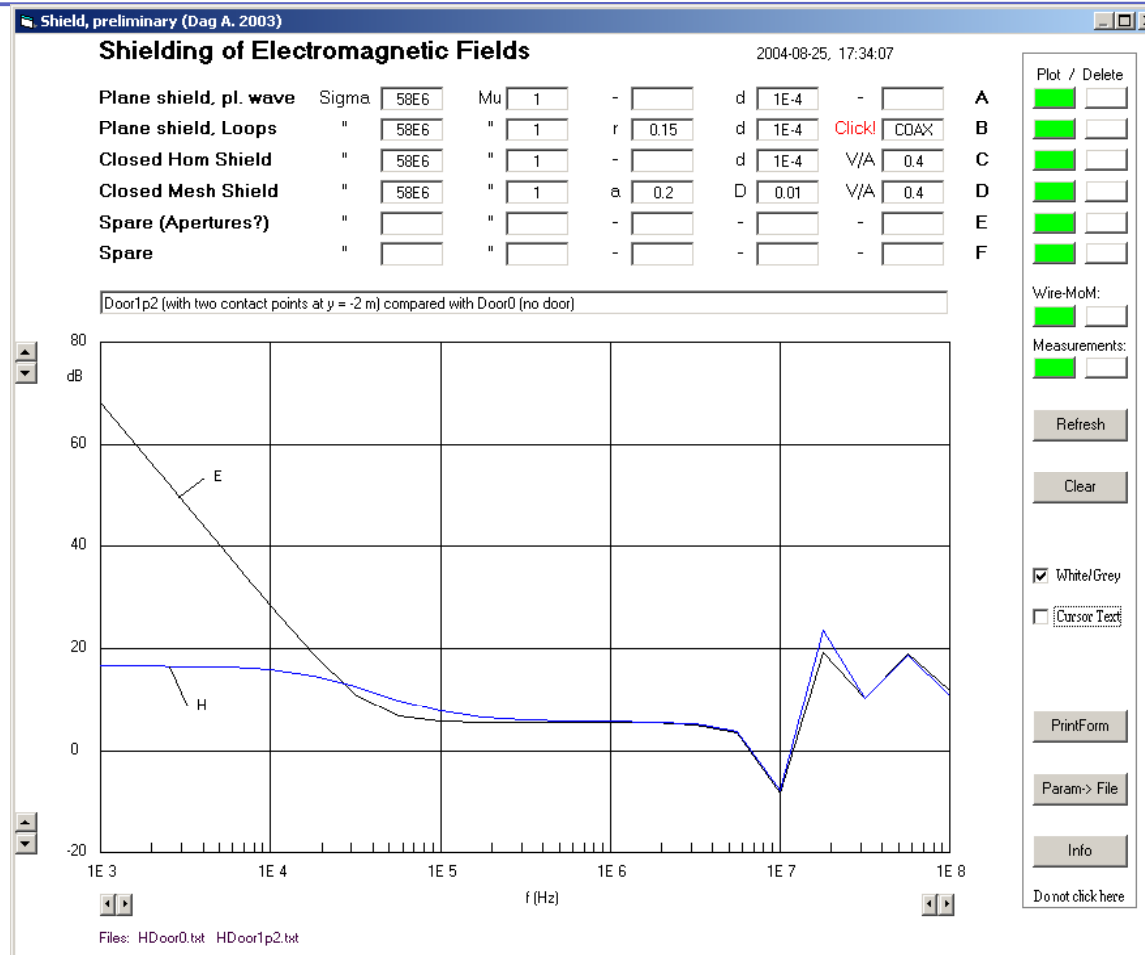


Model of a door with contact points



Door with a 5 cm leak around the perimeter interrupted by 5*5 cm PEC surfaces (the number of these has been varied; 16 in this example). Only upper half of the door shown. Periphery $4*4 = 16$ m.

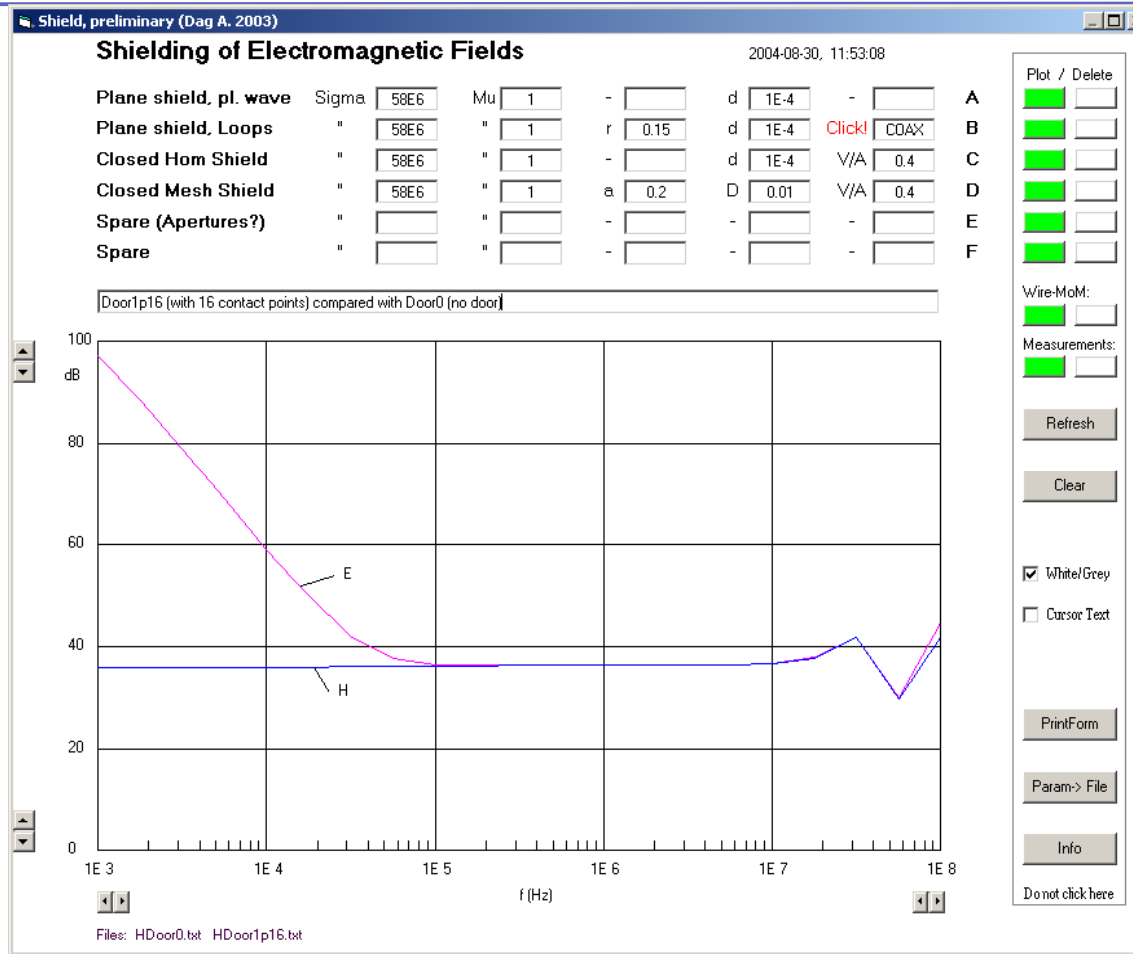
Door earthed at the hinges



The case in previous figure but with only two bridges, one in each corner at $y = -2$ m, the hinge side.

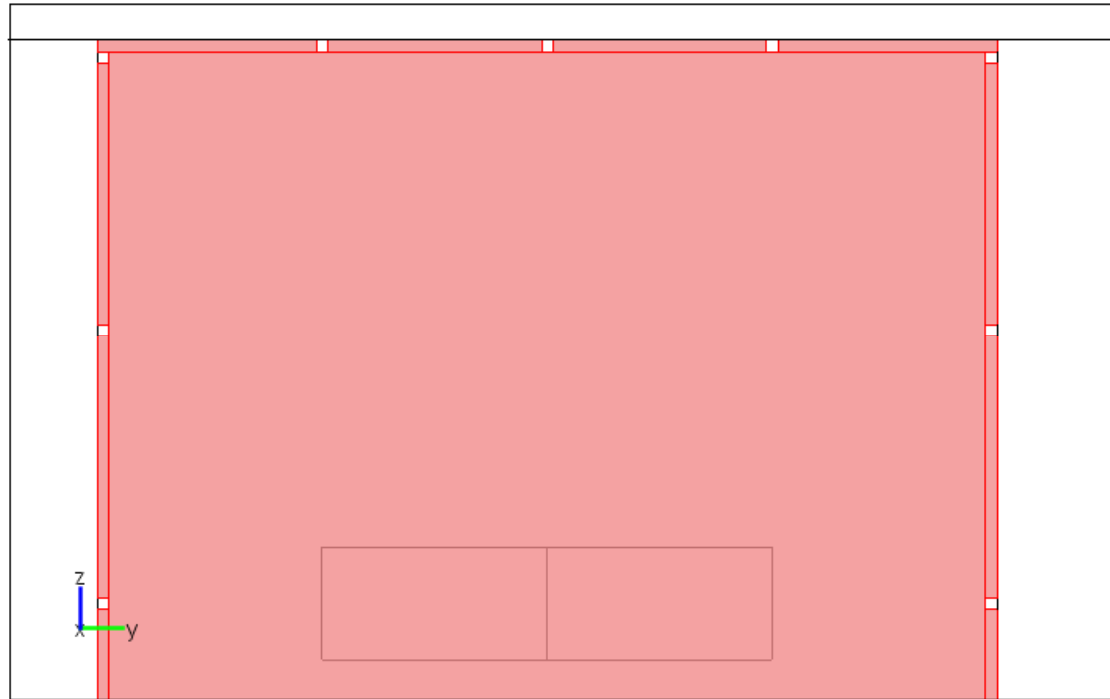


Attenuation with 16 contact points



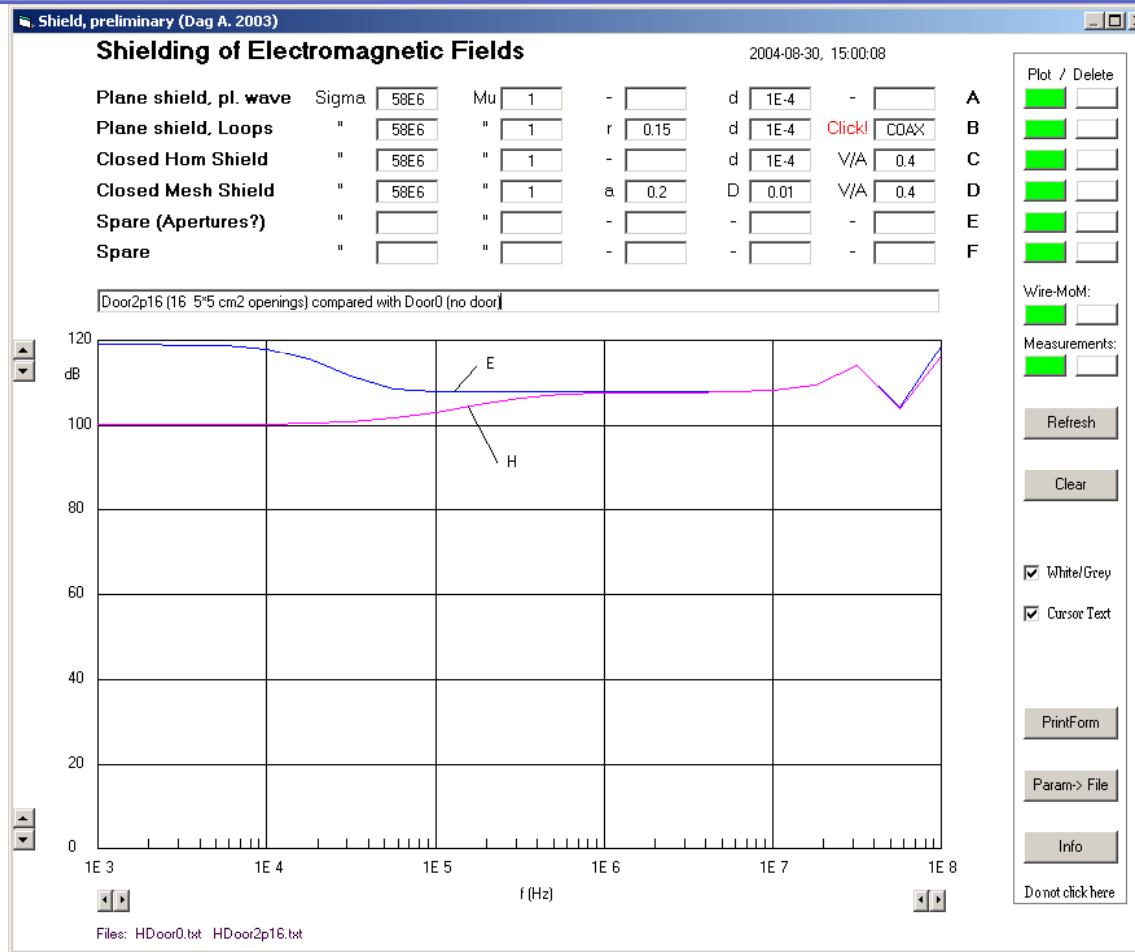
The case in figure 23 but with 16 bridges.

Door with good connection at the perimeter



Door with with 5*5 cm leaks around the perimeter. The number of these has been varied; 16 in this example. Only upper half of the door shown.

Attenuation of a door with good connection



The case in previous figure with 16 5*5 cm openings.



Sammanfattning

- Normala beräkningsmodeller för skärmverkan gäller med acceptabel noggrannhet även då strålningskällan finns inuti skärmburen.
- Modellering kräver eftertanke speciellt i 2D för att få relevanta resultat.
- Den stora spännvidden i fysiska dimensioner gör att det inte går att göra en fullständig beräkning med för oss rimliga insatser.
- Beräkningar ger mycket bättre förståelse.
- Beräkningar värdefulla för principlösningar och detaljanalys.

A B B