

JAN-OLOF OUSBÄCK, ANNA POHL,  
NILS-KRISTER PERSSON, HANS KARIIS



FOI är en huvudsakligen uppdragsfinansierad myndighet under Förvarsdepartementet. Kärnverksamheten är forskning, metod- och teknikutveckling till nytta för försvar och säkerhet. Organisationen har cirka 1000 anställda varav ungefär 800 är forskare. Detta gör organisationen till Sveriges största forskningsinstitut. FOI ger kunderna tillgång till ledande expertis inom ett stort antal tillämpningsområden såsom säkerhetspolitiska studier och analyser inom försvar och säkerhet, bedömning av olika typer av hot, system för ledning och hantering av kriser, skydd mot och hantering av farliga ämnen, IT-säkerhet och nya sensorers möjligheter.

Jan-Olof Ousbäck, Anna Pohl, Nils-Krister  
Persson, Hans Kariis

# Mikrovågsmätningar på frekvensselektiva textila material

Titel	Mikrovågsmätningar på frekvensselektiva textila material
Title	Microwave measurements on frequency selective textiles
Rapportnr/Report no	FOI-R--3417--SE
Månad/Month	Mars
Utgivningsår/Year	2012
Antal sidor/Pages	32 p
ISSN	1650-1942
Kund/Customer	FM
FoT område	Sensorer och signaturanpassning
Projektnr/Project no	E54006
Godkänd av/Approved by	Jonas Palm
Ansvarig avdelning	Sensorer- och TK-system

Detta verk är skyddat enligt lagen (1960:729) om upphovsrätt till litterära och konstnärliga verk. All form av kopiering, översättning eller bearbetning utan medgivande är förbjuden.

This work is protected under the Act on Copyright in Literary and Artistic Works (SFS 1960:729). Any form of reproduction, translation or modification without permission is prohibited.

## **Sammanfattning**

Rapporten redovisar mikrovågsmätningar på några textila material. Transmissionsmätningar har gjorts på olika vävar med olika varp och väftfibrer. Vissa av vävarna har ledande fibrer i periodiska mönster som ger frekvensselektiva egenskaper.

Nyckelord: Signaturmaterial, avancerade textilier, kamouflage

## **Summary**

The report presents microwave measurements on some textile materials. Transmission measurements were made on different fabrics with different warp and weft fibers. Some of the fabrics have conducting fibers in periodic patterns that provide frequency selective properties.

Keywords: Signature materials, advanced textiles, camouflage

<b>Innehållsförteckning</b>	<b>Sida</b>
<b>1. INLEDNING</b>	<b>7</b>
<b>2. NÅGRA GRUNDLÄGGANDE DEFINITIONER</b>	<b>8</b>
2.1 Vävstermer	8
2.1.1 Varp och väft	8
2.1.2 Tuskaft	9
2.1.3 Satin	9
2.2 Mikrovågstermer	10
2.2.1 Elektromagnetiskt fält, frekvens och våglängd	10
2.2.2 Mättriiktning (polarisation)	11
2.2.3 Frekvensselektiva skikt	12
<b>3. MÄTMETOD</b>	<b>13</b>
<b>4. MÄTOBJEKT</b>	<b>14</b>
<b>5. RESULTAT</b>	<b>16</b>
5.1 Vävar med bomullsvarp	16
5.1.1 Kommentarer till mätresultaten	20
5.2 Vävar med varp av ull/polyamid	21
5.2.1 Kommentarer till mätresultaten	25
5.3 Vävar med varp av polypropen	26
5.3.1 Kommentarer till mätresultaten	31
<b>6. SLUTSATSER OCH REKOMENDATIONER</b>	<b>32</b>



# 1 Inledning

Textila material har blivit mer och mer högteknologiska. Ett exempel är Gore-Tex som där man genom att belägga en yta med ett membran av expanderad polytetrafluoretylen får en effekt där man släpper igenom gasmolekyler från insidan medan man effektivt blockerar vattendroppar från utsidan. Drivande i utvecklingen av funktionella textilier är också mycket riktigt sport och fritidsindustrin. Även läkemedelsindustrin står för en hel del av utvecklingen.

Det Vinnova finansierade konsortiet ”Smart Textiles” innefattar aktörer såsom Textilhögskolan och Ingenjörshögskolan i Borås, SP, Swerea IVF och ett antal småföretag i Boråsregionen. Utvecklingen inom smarta textilier har hittills drivits av det civila men många av tillämpningarna borde kunna vara av intresse även för försvaret.

Ett militärt problem är att soldaten får allt mer utrustning att bära på. Om man kan använda smarta textilier som någon slags multifunktionella material skulle man på sikt kunna integrera en del funktioner i uniformen och på så vis ge soldaten en ökad rörlighet och mindre vikt att bära på.

I denna rapport undersöks möjligheterna att tillverka ett textilt material som är frekvensselektivt. Vävarna har därför inslag av rostfritt stål, kolfibrer och en halvledande fiber, polyanilinbaserad för att få lämpliga ledande egenskaper.

På längre sikt syftar studien till att undersöka möjligheter att med avancerade textilier öka skyddet för enskilda soldater genom minskad elektromagnetisk signatur.

Detta är en begränsad rapport där några olika textiliers transmissionsegenskaper inom mikrovågsområdet har undersökts. Rapporten riktar sig främst till personer som arbetar med avancerad vävteknik eller signaturanpassning inom mikrovågsområdet.

Arbetet är ett samarbete mellan FOI och Textilhögskolan i Borås (Nils-Krister Persson). Textilierna framställs vid Textilhögskolan i Borås och FOI utför mätningar och analys.



## 2 NÅGRA GRUNDLÄGGANDE DEFINITIONER

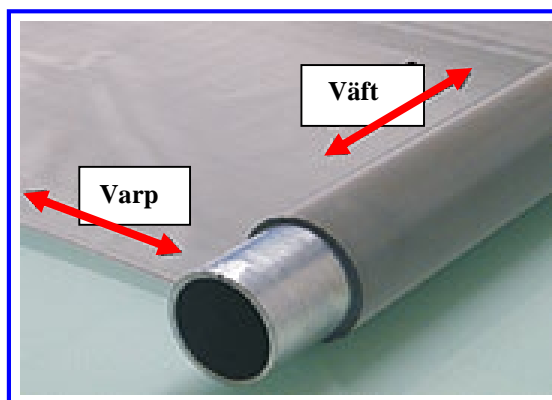
I detta kapitel definieras några grundläggande begrepp rörande vävteknik och mikrovågs-teknik. Det är inga heltäckande definitioner, utan syftet är att försöka ge en enkel förståelse för några av de termer som används.

### 2.1 Vävtermer

Vävning är en textil produktionsmetod som är mycket gammal. Den går ut på att fläta samman två vinkelräta trådsystem (varp och inslag, även kallad väft) för att åstadkomma tyg och vävnader av olika slag. Vävteknik är en urgammal konst som har utvecklat sin egen terminologi. De första beläggen för mänskligt framställd väv går tillbaka till 7000-5000 f.Kr. Det är i nuvarande Irak och Egypten som de första fynden har påträffats. Det finns inom vävtekniken ett stort antal vävbindningar som ger olika hållfasthet och struktur på väven. Man brukar definiera tre grundbindningar: tuskaft, kypert och satin. De i studien karakteriserade vävarna är av två olika vävbindningar, tuskaft och satin. Här nedan definieras några termer och begrepp.

#### 2.1.1 Varp och väft

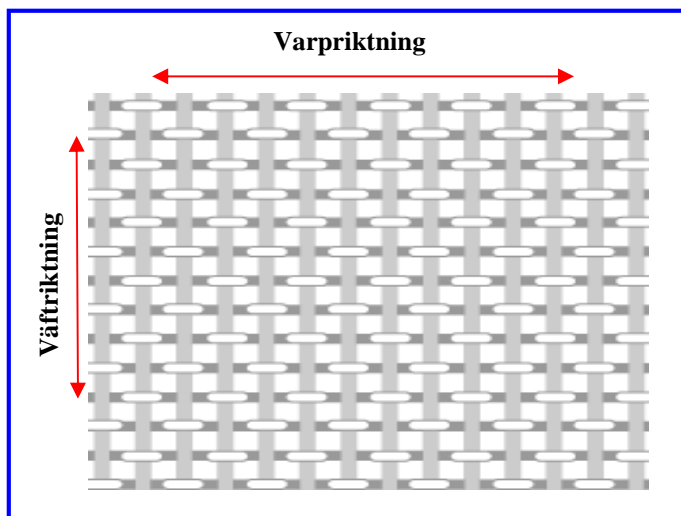
Varp och väft betecknar de trådar/fibrer som vid vävningen korsas, vanligtvis ortogonalt. Varpen spänns upp längs vävriktningen och väften (inslag) vävs vanligtvis ortogonalt mot varpen. Se figur 2.1.



Figur 2.1. Varp- och väftriktning relativt väven.

### 2.1.2 Tuskaft

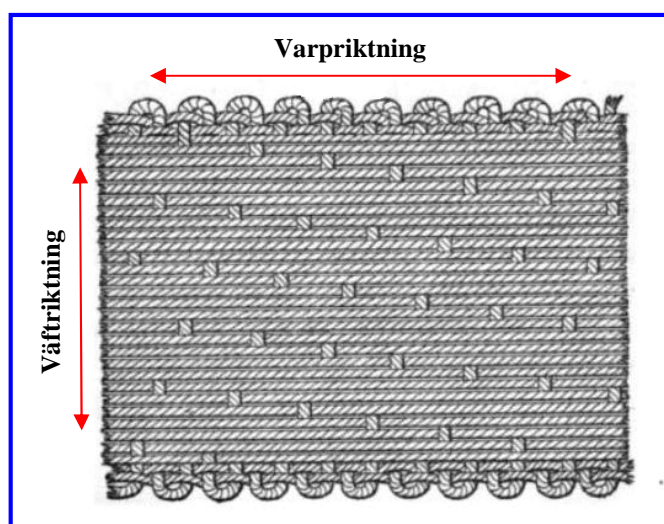
Tuskaft eller tvåskaft är den enklaste och mest använda vävbindningen där varp- och väftrådarna (inslag) korsar varandra omväxlande över och under. Se figur 2.2.



Figur 2.2. Schematisk bild på vävbindningen tuskaft (tvåskaft)

### 2.1.3 Satin

Satin är en speciell grundvävning, kännetecknande av att ytan blir högblank. Satinbindningen bygger på att bindepunkterna, till skillnad från tuskaft, knappt syns på tyget, vilket ger ett tätt, slätt men ändå smidigt tyg. Se figur 2.3.



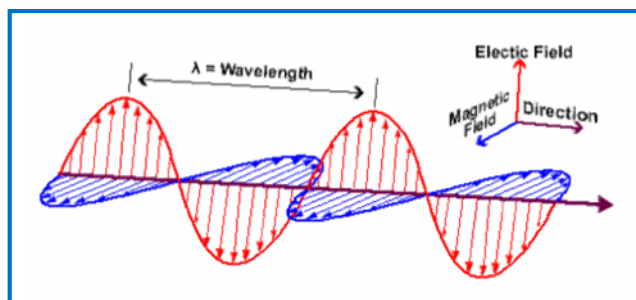
Figur 2.3. Schematisk bild på vävbindningen satin.

## 2.2 Definitioner av några mikrovågstermer

I detta avsnitt ges översiktligt definitioner av några grundläggande mikrovågstermer, som en introduktion för läsare utan djupare mikrovågskunskaper.

### 2.2.1 Elektromagnetiskt fält, frekvens och våglängd

Ett elektromagnetiskt fält som utbreder sig i rummet består av ett elektriskt fält ( $\vec{E}$ ) och ett magnetiskt fält ( $\vec{H}$ ), vinkelräta mot varandra och som också är vinkelräta mot utbredningsriktningen, se figur 2.4.



Figur 2.4 Definition av ett elektromagnetiskt fält

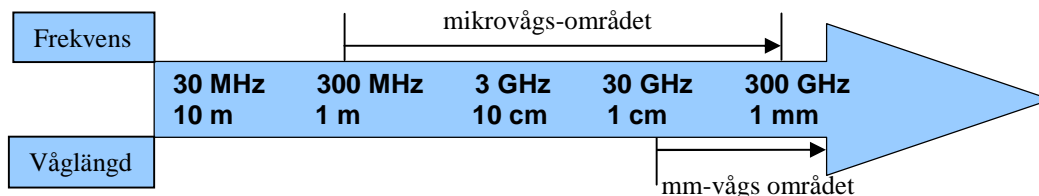
Det elektromagnetiska fältet utbreder sig med en hastighet,  $c$  (ljushastigheten) som i vakuum är  $c_0 \approx 3 \cdot 10^8$  m/s. I reella material är  $c \leq c_0$ .

Avståndet mellan två maxima (eller minima) på det elektriska eller magnetiska fältet bestämmer våglängden ( $\lambda$ ). Frekvensen ( $f$ ) bestämmer hur många våglängder per sekund som passerar ett plan vinkelrätt mot utbredningsriktningen. Frekvensen är konstant oberoende av i vilket material det elektromagnetiska fältet utbreder sig.

Följande samband finns mellan  $c$ ,  $f$  och  $\lambda$ :

$$c = f \cdot \lambda \quad (\text{ekv. 2.1})$$

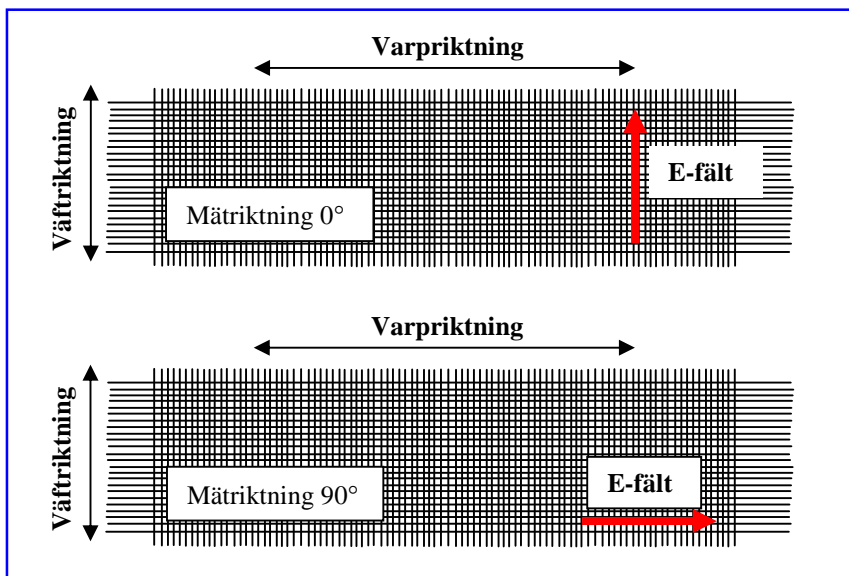
I figur 2.5 visas sambandet mellan frekvens och våglängd för ett elektromagnetiskt fält som utbreder sig i vakuum. Några konventionella frekvensområden definieras också i figuren.



Figur 2.5 Samband mellan frekvens och våglängd

## 2.2.2 Mättriiktning (polarisation)

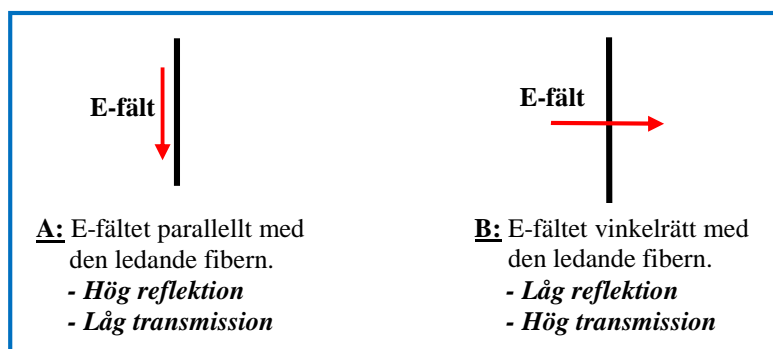
Mätningarna genomfördes med en fast linjär polarisation. Vävarna vreds i två olika ortogonala riktningar. Mättriiktning  $0^\circ$  motsvarar fallet då det elektriska fältet ( $\vec{E}$ ) är vinkelrätt mot varpriktningen och mättriiktning  $90^\circ$  motsvarar fallet då det elektriska fältet är parallellt med varpriktningen. Se figur 2.6.



Figur 2.6 Definition av mättriiktning.

Det elektriska fältets riktning relativt varp- eller väftrådarna påverkar transmissionen genom väven, speciellt om trådarna är av ledande material. Om E-fältet är parallellt med en ledande fiber induceras en elektrisk ström i fibern som i sin tur ger upphov till ett återstrålande elektromagnetiskt fält. Reflektionen blir hög och transmissionen liten.

Om E-fältet är vinkelrätt mot ledande fibrer induceras i princip ingen elektrisk ström i fibern och reflektionen blir liten och transmissionen hög. Se figur 2.7.



Figur 2.7.

### 2.2.3 Frekvensselektiva skikt

Frekvensselektiva material består av ett skikt eller en materialstruktur, vars transmissionsegenskaper varierar med frekvensen. Transmissionsegenskaperna är av filterkaraktär och kan i princip ha fyra olika frekvensegenskaper:

- A. Lågpas
- B. Högpas
- C. Bandpas
- D. Bandspärr

I diagram 2.1 visas transmissionsegenskaperna för de fyra olika principiella fallen.

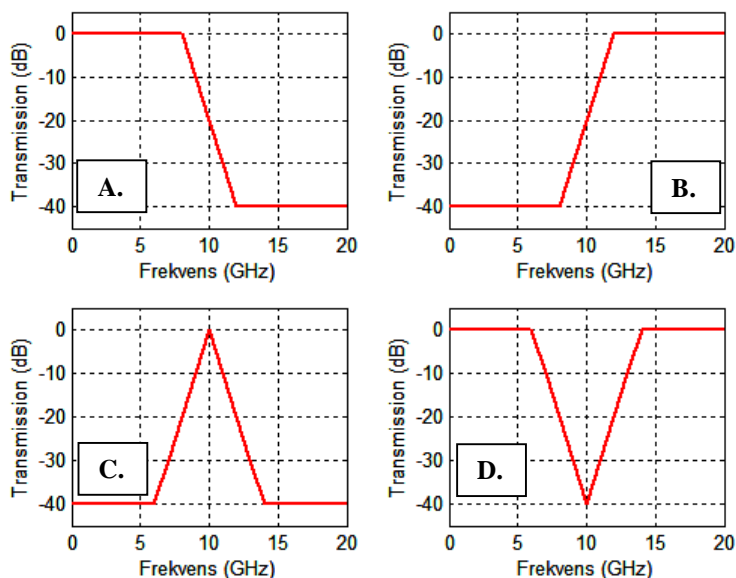
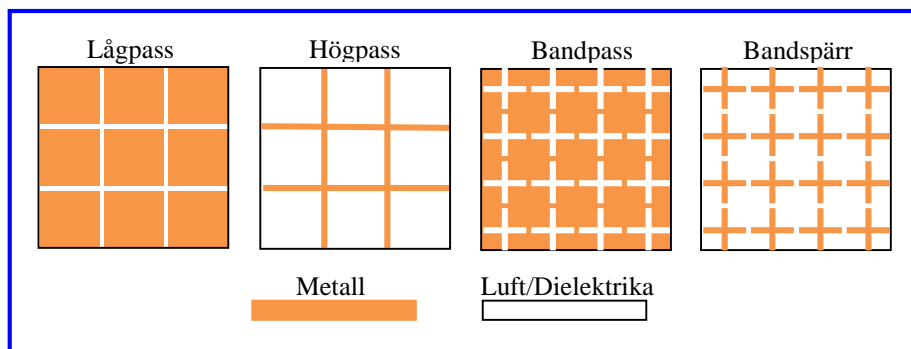


Diagram 2.1. Transmissionsegenskaper för fyra principiellt olika frekvensselektiva skikt. A: Lågpas, B: Högpas, C: Bandpas, D: Bandspärr.

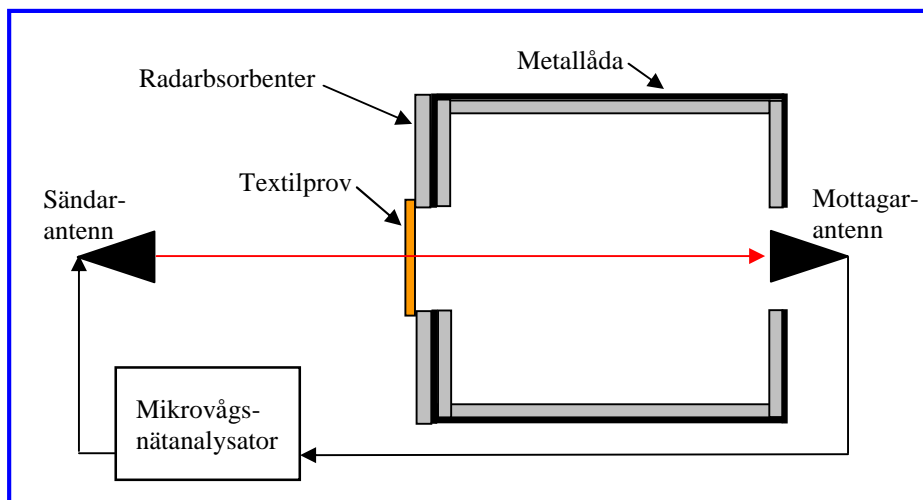
Önskade transmissionsegenskaper kan fås antingen med slitsar i ett metallskikt, eller med metallstrukturer på ett bärrmaterial av något dielektrika. Se figur 2.8.



Figur 2.8. Schematiska frekvensselektiva skikt.

### 3 MÄTMETOD

Transmissionen mäts med en mätuppställning som schematiskt visas i figur 3.1.



Figur 3.1. Schematisk skiss på mätuppställningen.

Mätuppställningen består primärt av en mikrovågs-nätanalysator (ANA), som fungerar som sändare och mottagare. ANA:n är kopplad till en sändarantenn och en mottagarantenn. Antennerna är placerade på var sin sida om en metalllåda, som är klädd med radarabsorbenter. Textilprovet placeras på lådans framsida och den transmitterade signalen igenom provet mäts. Metallådans funktion är att minska överhörningen mellan sändar- och mottagarantennen, d.v.s. den signal som passerar vid sidan om provet och inte passerar igenom provet.

Innan mätningen på provet, kalibreras utrustningen genom att göra en mätning utan något prov i lådans öppning. Denna mätning definierar full transmission ( $T_{max}$ ).

Sedan görs en mätning med en metallplatta i öppningen. Denna mätning definierar ingen transmission ( $T_{min}$ ).  $T_{min}$  är ett mått på bakgrunds-nivån, d.v.s. den lägsta transmission som går att mäta.

Eftersom transmissionen ( $T$ ) kan variera mycket med frekvensen (flera 10-potenser) presenteras mätresultaten med en logaritmisk skala (dB) och relateras till transmissionen utan mätobjekt ( $T_{max}$ ) enligt ekv 3.1.

$$T_{dB} = 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{T_{max}}{T_{väv}} \right) \quad (\text{ekv. 3.1})$$

I tabell 3.1 visas relationen mellan transmissionen med linjär resp. logaritmisk skala.

Skala	Transmission							
dB	0	-3	-5	-10	-20	-30	-40	-50
linjär	1	0.5	0.32	0.1	0.01	0.001	0.0001	0.00001

Tabell 3.1 Relationen mellan transmission med linjär resp. logaritmisk skala

## 4 MÄTOBJEKT

26 olika typer av vävar med olika typ av varp- och väftfibrer har studerats.

Varpen hos vävarna bestod av tre olika fibrer:

1. Bomull (BW)
2. Ull/Polyamid (WO)
3. Polypropen (PP)

Ur mikrovågssynpunkt har varpfibrerna i de studerade vävarna liten betydelse, eftersom de är tunna och av icke ledande material.

Väften i vävarna bestod av 6 olika fibrer:

1. Samma fibrer som i varpen
2. Rostfri ståltråd (0.1 mm)
3. Kolfiberblandning
4. Polyanilinbaserad fiber (halvledande)

Två olika vävbindningstyper, tuskaft och satin, har använts vid vävningen.

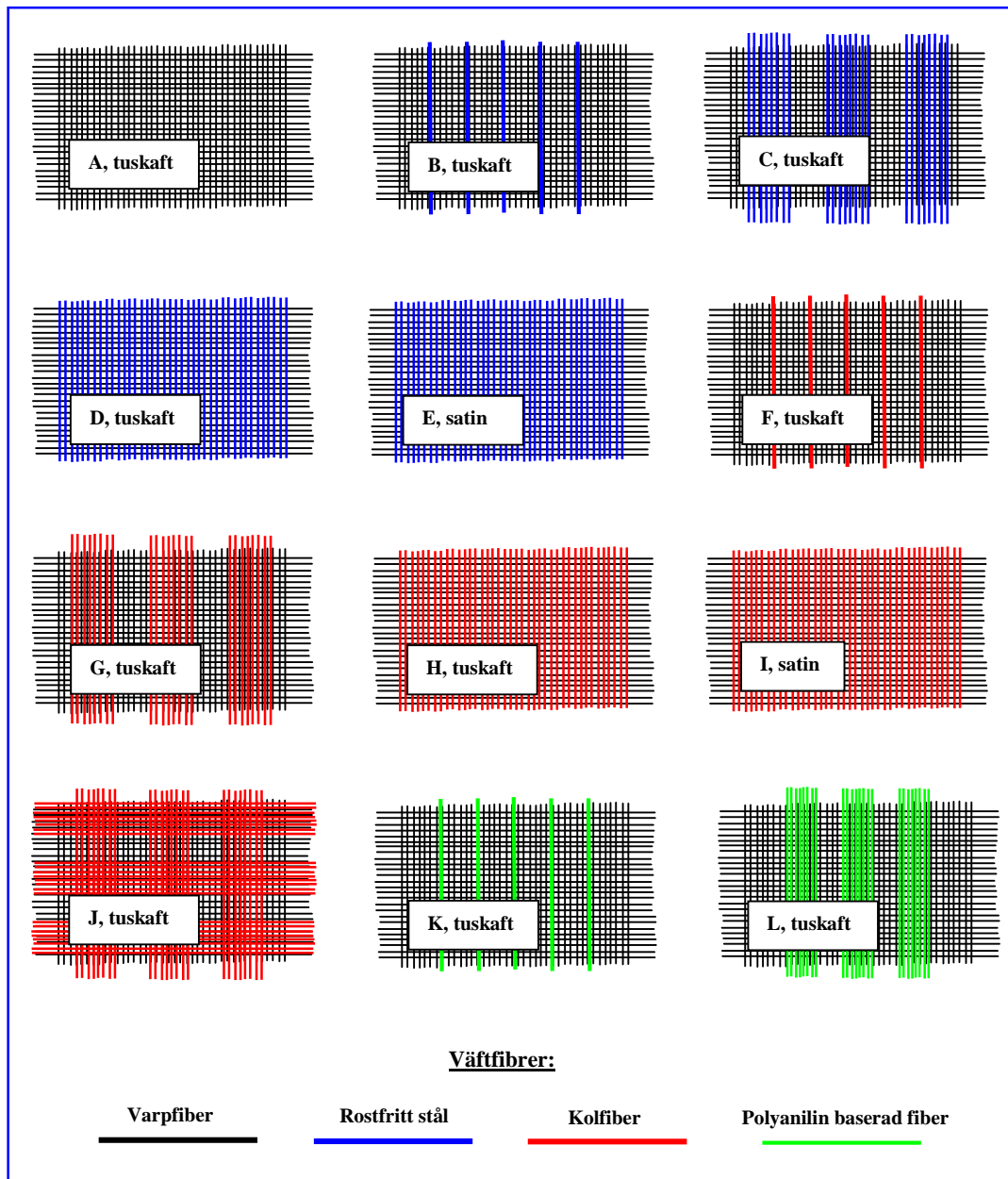
De olika vävarna betecknas med ett nummer (varpfiber 1-3) och en bokstav (A-L)

beroende på väftfiber och vävbindningstyp. Alla kombinationer har inte tillverkats.

De olika vävarna definieras i tabell 4.1 och i figur 4.1 visas schematiskt vävarna A-L.

Väft	1 varp BW	2 varp WO	3 varp PP
A samma som varp	1A - tuskaft	2A - tuskaft	3A - tuskaft
B samma som varp + rostfritt stål. <i>3 cm periodicitet</i>	1B - tuskaft	2B - tuskaft	3B - tuskaft
C samma som varp + rostfritt stål. <i>3 + 3 cm</i>	1C - tuskaft	2C - tuskaft	3C - tuskaft
D rostfritt stål	1D - tuskaft	2D - tuskaft	3D - tuskaft
E rostfritt stål			3E - satin
F samma som varp + kolfiberblandning <i>3 cm periodicitet</i>	1F - tuskaft	2F - tuskaft	3F - tuskaft
G samma som varp + kolfiberblandning <i>3 + 3 cm</i>	1G - tuskaft	2G - tuskaft	3G - tuskaft
H kolfiberblandning	1H - tuskaft	2H - tuskaft	3H - tuskaft
I kolfiberblandning			3I - satin
J samma som varp + kolfiberblandning <i>rutig 3 + 3 cm</i>			3J - tuskaft
K samma som varp + polyanilinbaserad <i>3 cm periodicitet</i>	1K - tuskaft		
L samma som varp + polyanilinbaserad <i>2 + 2 cm</i>	1L - tuskaft		

Tabell 4.1. Definition av de olika vävarna



Figur 4.1. Schematisk bild över de olika vävarna A-L med olika vätfibrer.

Vissa av vävarna har olika varpfibrer. Bokstavsbezeichnungar enligt tabell 4.1.



## 5 RESULTAT

Resultatet av transmissionsmätningarna visas i diagram 5.2 – 5.27. Diagrammen visar transmissionen som funktion av frekvensen för de två olika mätriktningarna  $0^\circ$  (blå kurva) och  $90^\circ$  (grön kurva).

### 5.1 Vävar med bomullsvarp

Diagram 5.1 – 5.9 visar transmissionsegenskaperna för vävarna med bomullsvarp (BW).

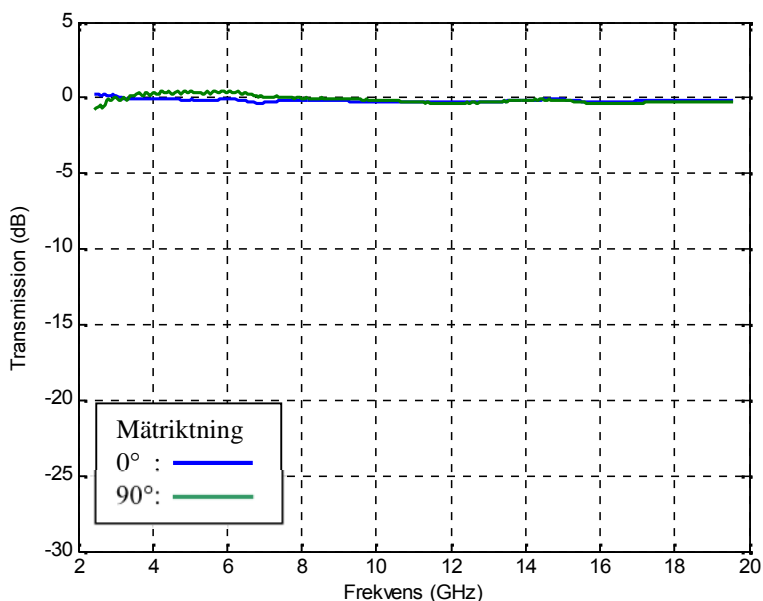


Diagram 5.1. Transmission för väv 1A. Bomullsvarp och bomullsvävt.

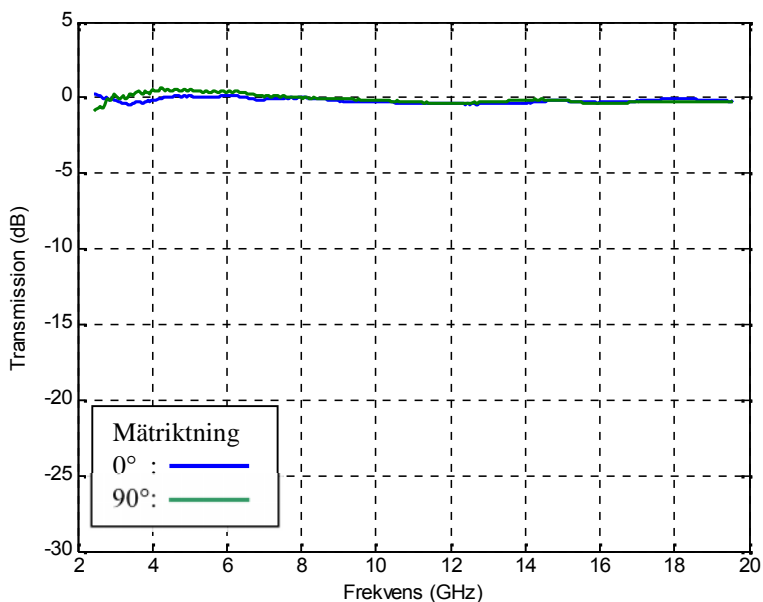


Diagram 5.2. Transmission för väv 1B. Bomullsvarp och bomullsvävt med glesst inslag av rostfritt stål.

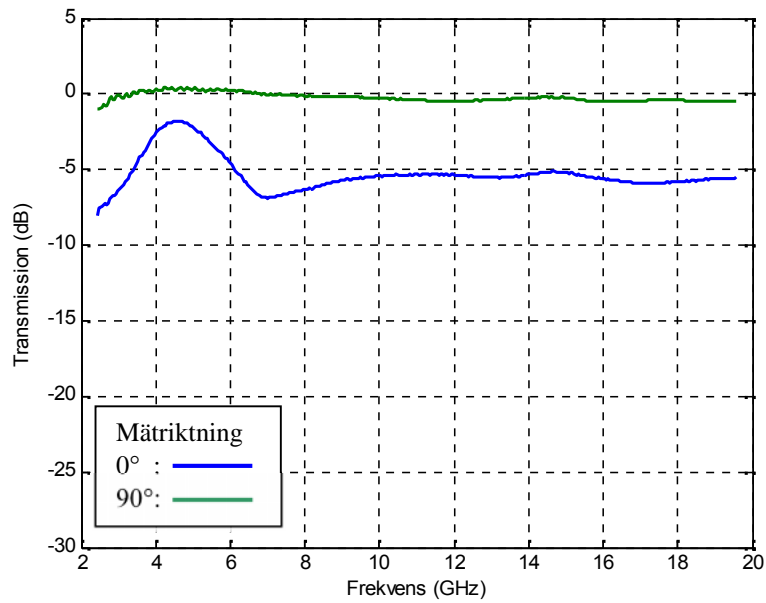


Diagram 5.3. Transmission för väv 1C. Bomullsvarp och bomullsvävt med 3cm breda band av rostfritt stål (periodicitet 3 cm).

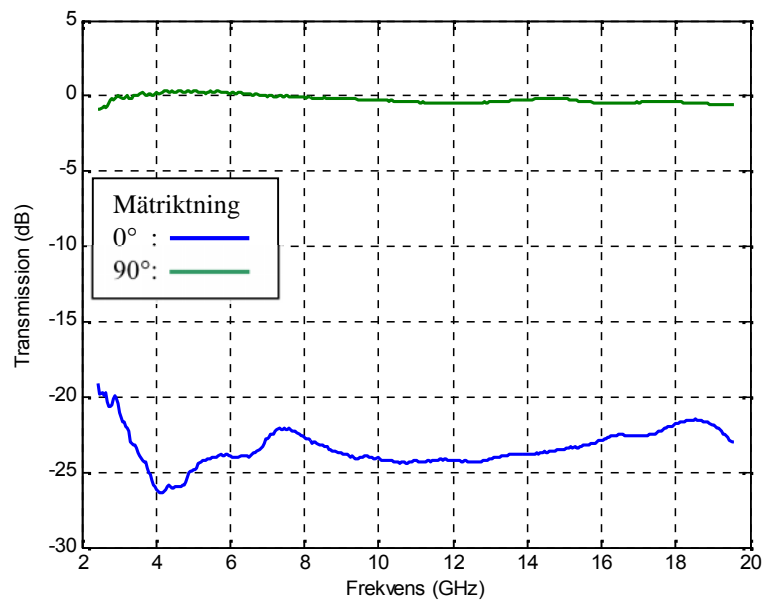


Diagram 5.4. Transmission för väv 1D. Bomullsvarp och vävt av rostfritt stål.

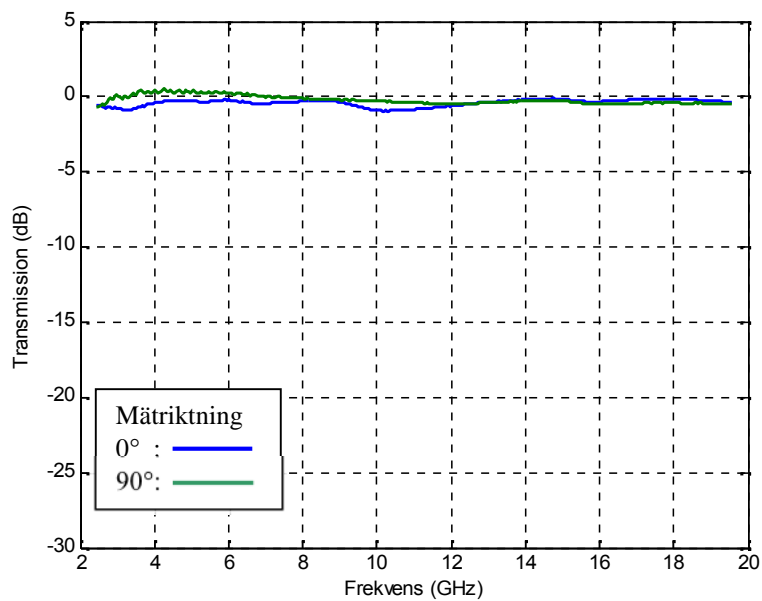


Diagram 5.5. Transmission för väv 1F. Bomullsvarp och väft av bomull med glest inslag av kolfiber.

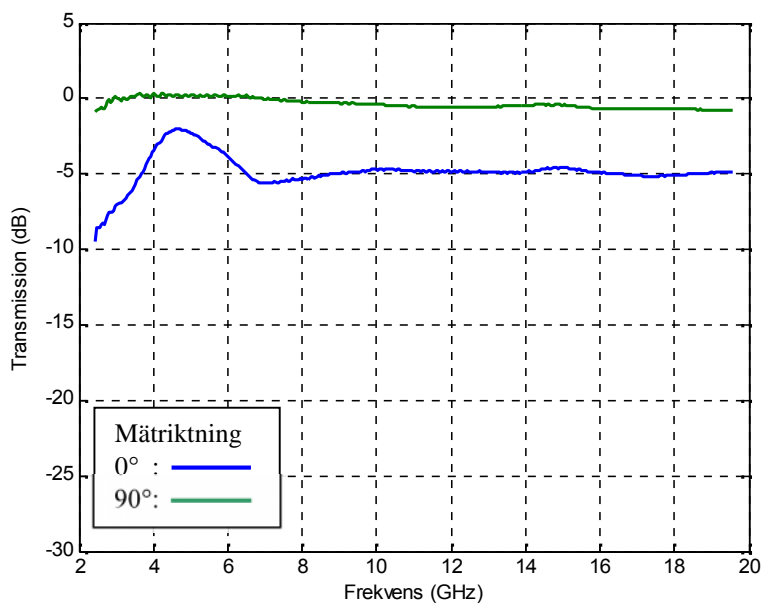


Diagram 5.6. Transmission för väv 1G. Bomullsvarp med väft av bomull med 3 cm breda band av kolfiber (periodicitet 3 cm).

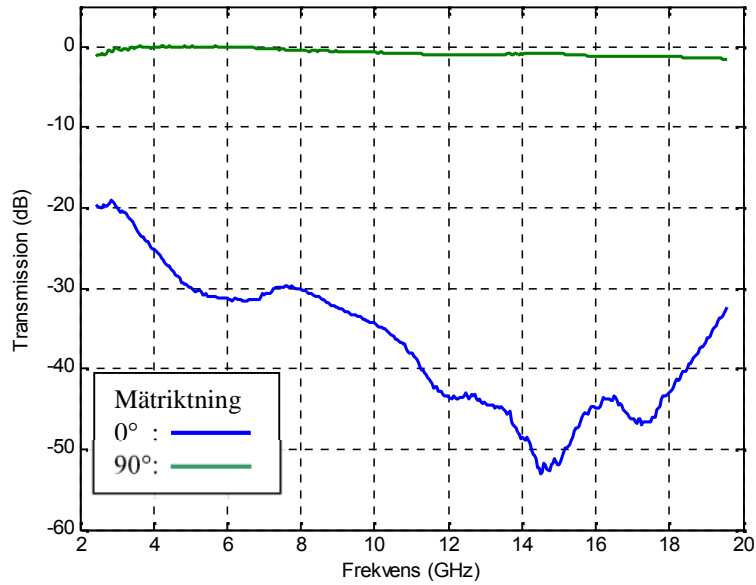


Diagram 5.7. Transmission för väv 1H. Bomullsvarp med väft av kolfiber.

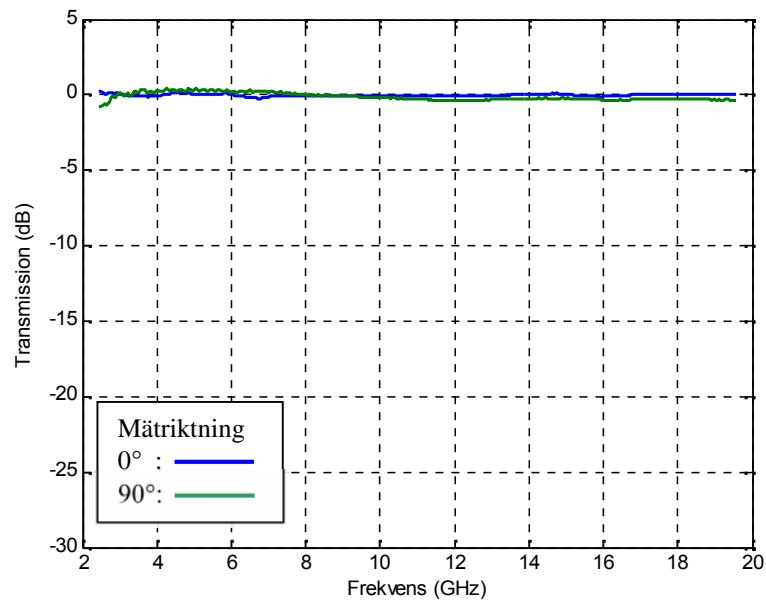


Diagram 5.8. Transmission för väv 1K. Bomullsvarp med väft av bomull med glest inslag av polyanilinbaserad fiber.

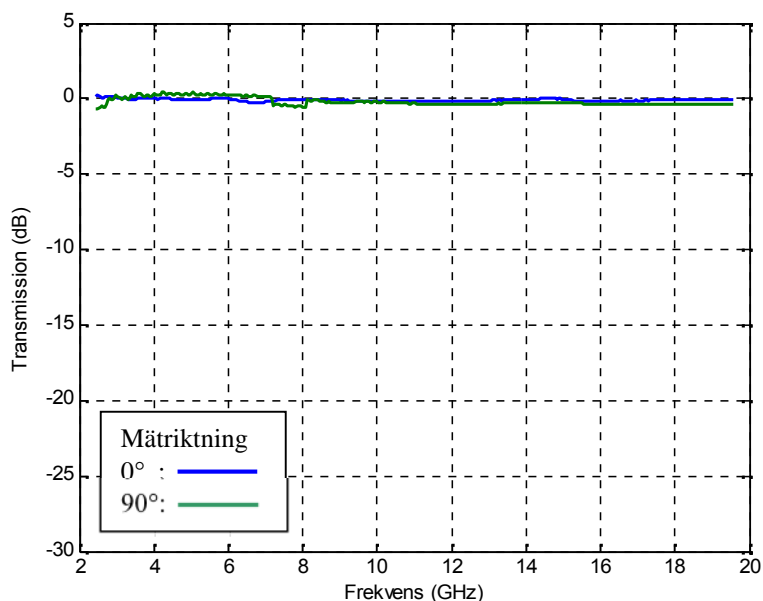


Diagram 5.9. Transmission för väv 1L. Bomullsvarp med väft av bomull med 3 cm breda band av polyanilinbaserad fiber. (periodicitet 3 cm).

### 5.1.1 Kommentarer till mätresultaten

Dessa vävar, 1A, 1B, 1C, 1D, 1F, 1G, 1H, 1K och 1L har varptrådar av bomull som inte påverkar mikrovågstransmissionen (icke ledande).

**Väv 1A** (Diagram 5.1): Har väft av bomull och transmissionen blir därför hög i bägge mätriktningarna eftersom bomull är icke ledande.

**Väv 1B** (Diagram 5.2): Har väft av bomull med glest inslag av rostfritt stål (periodicitet 3 cm). P.g.a att det är så glest mellan stålfibrerna blir transmissionen hög för bägge mätriktningarna.

**Väv 1C** (Diagram 5.3): Har väft av bomull med inslag av 3 cm breda band av rostfritt stål (periodicitet 3 cm). Väven uppvisar hög transmission för mätriktning 90° (E-fältet vinkelrätt mot stålfibrerna). För mätriktning 0° fås en lägre transmission, ca -5 dB med en resonant topp runt 5 GHz. Detta beror på att när E-fältet är parallellt med stålfibrerna fås en reflektion som beror på hur stor del av totalytan som stålfibrerna täcker. Den resonanta toppen beror på att mellanrummet mellan de områdena som täcks av stålfibrer motsvarar  $\frac{1}{2}$  våglängd och därmed blir resonant.

**Väv 1D** (Diagram 5.4): har väft av stålfibrer. För mätriktning 0° fås mycket låg transmission beroende på att reflektionen blir hög när E-fältet är parallellt med stålfibrerna. För mätriktning 90° blir transmissionen hög eftersom E-fältet är vinkelrätt mot stålfibrerna.

**Väv 1F** (Diagram 5.5): har väft av bomull med glest inslag av kolfibrer. Väven uppvisar hög transmission för bägge mätriktningarna. Kolfiber har god ledningsförmåga men liksom väv 1B är det glest mellan fibrerna.

- Väv 1G** (Diagram 5.6): är samma som väv 1C men kolfibrer istället för rostfritt stål.  
Väven uppvisar samma transmissionsegenskaper som väv 1C.
- Väv 1H** (Diagram 5.7): är samma som väv 1D men med kolfibrer istället för stålfibrer.  
Väven uppvisar ungefär samma transmissionsegenskaper som väv 1D. Kolfiber har lite sämre ledningsförmåga jämfört med stål, därför blir transmissionen något högre vid mätriktning 0°.
- Väv 1K** (Diagram 5.8): är samma som väv 1B och 1F men med halvledande fibrer istället för stål resp. kolfibrer. Liksom för väv 1B och 1F blir transmissionen hög för bägge mätriktningarna.
- Väv 1L** (Diagram 5.9): är samma som väv 1C och väv 1G. Väven har dock hög transmission för bägge mätriktningarna, vilket troligen beror på att ledningsförmågan hos de halvledande fibrerna är för låg.

## 5.2 Vävar med varp av ull/polyamid

Diagram 5.10 – 5.16 visar transmissionsegenskaperna för vävarna med ull/polyamidvarp (WO).

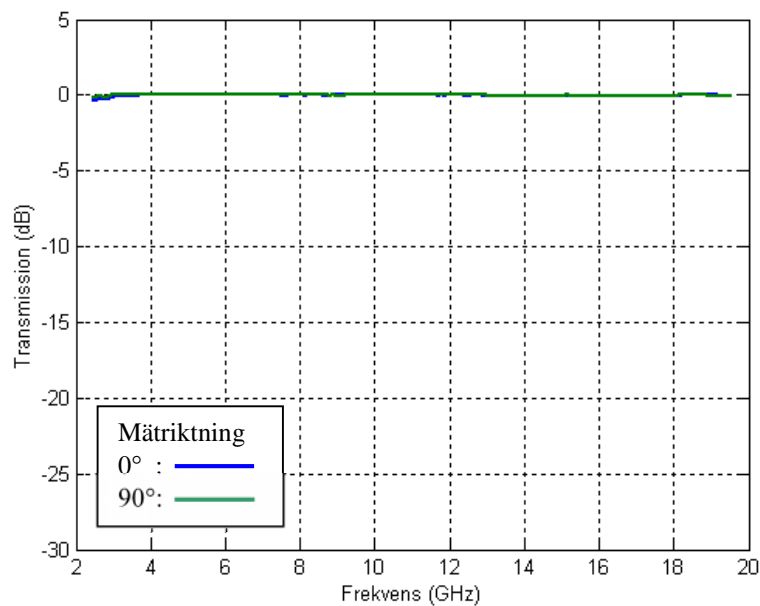


Diagram 5.10. Transmission för väv 2A. Varp och väft av WO.

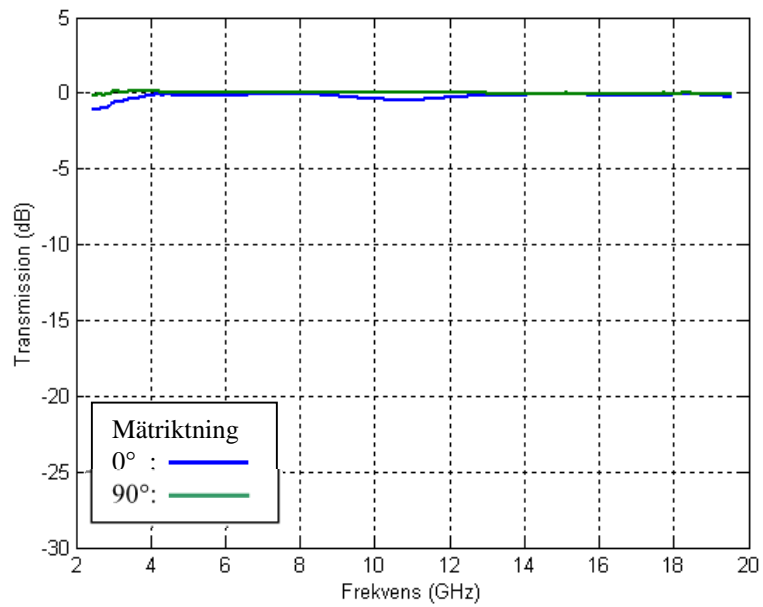


Diagram 5.11. Transmission för väv 2B. Varp av WO och väft av WO med glest inslag av kolfiber.

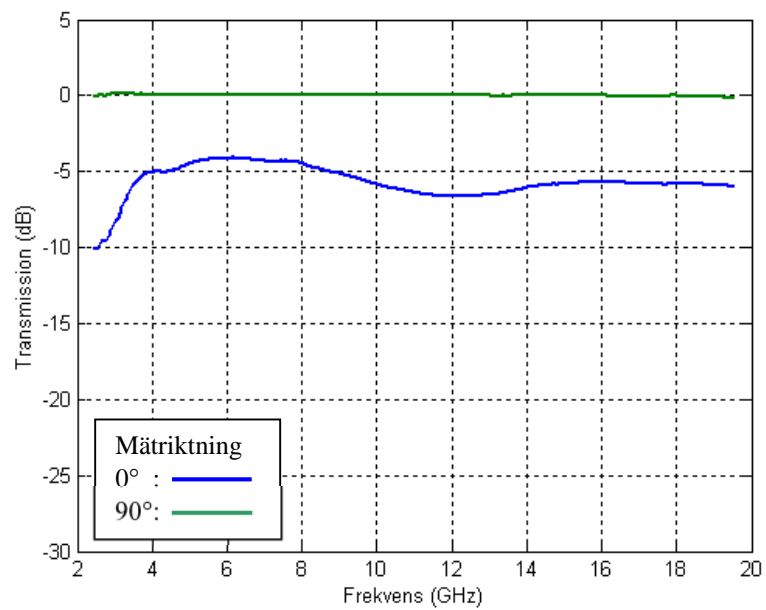


Diagram 5.12. Transmission för väv 2C. Varp av WO och väft av WO med 3 cm breda band av rostfritt stål (periodicitet 3 cm).

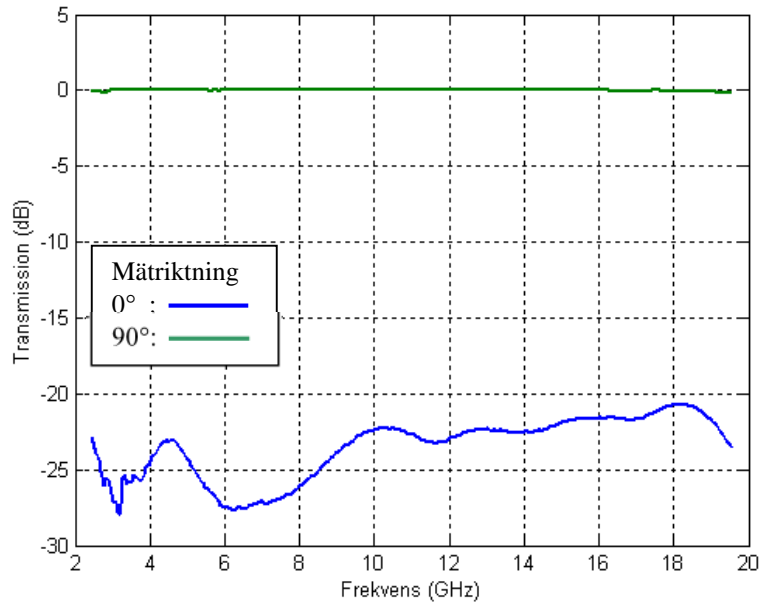


Diagram 5.13. Transmission för väv 2D. Varp av WO och väft av rostfritt stål.

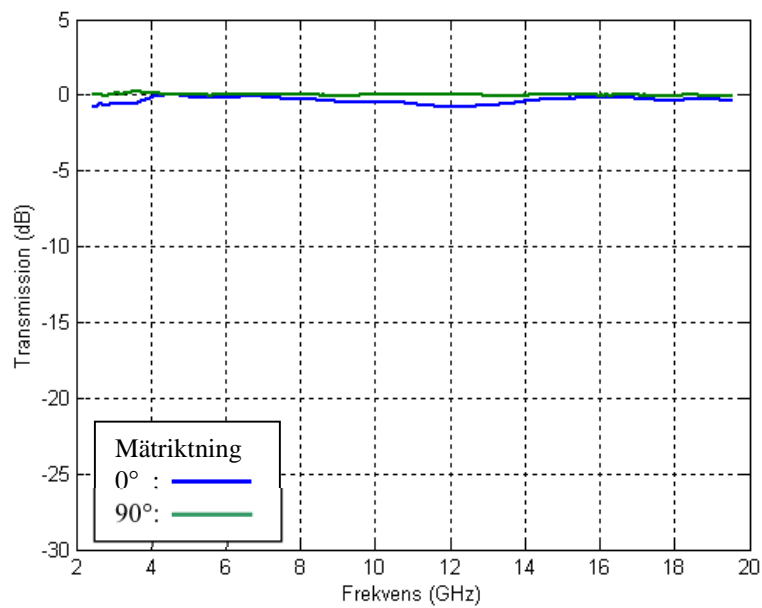


Diagram 5.14. Transmission för väv 2F. Varp av WO och väft av WO med gleslåg av kolfiberer.



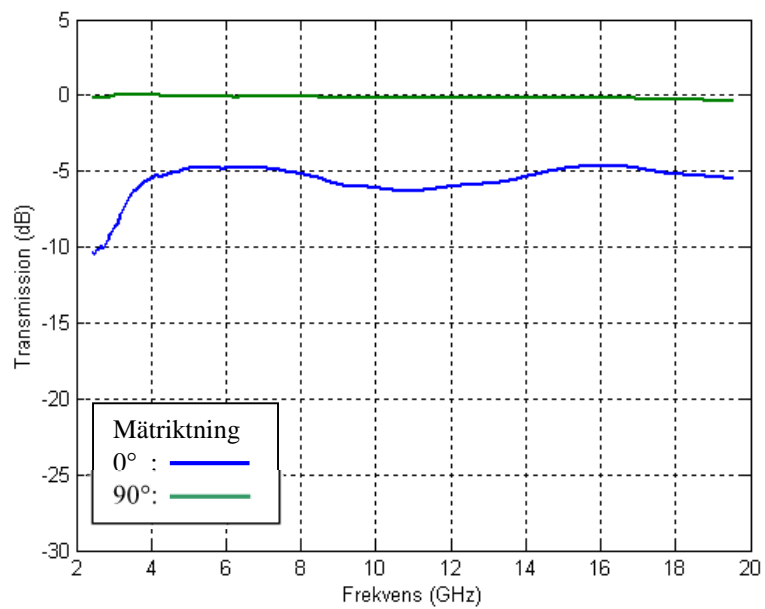


Diagram 5.15. Transmission för väv 2G. Varp av WO och väft av WO med 3 cm breda band av kolfiber (periodicitet 3 cm).

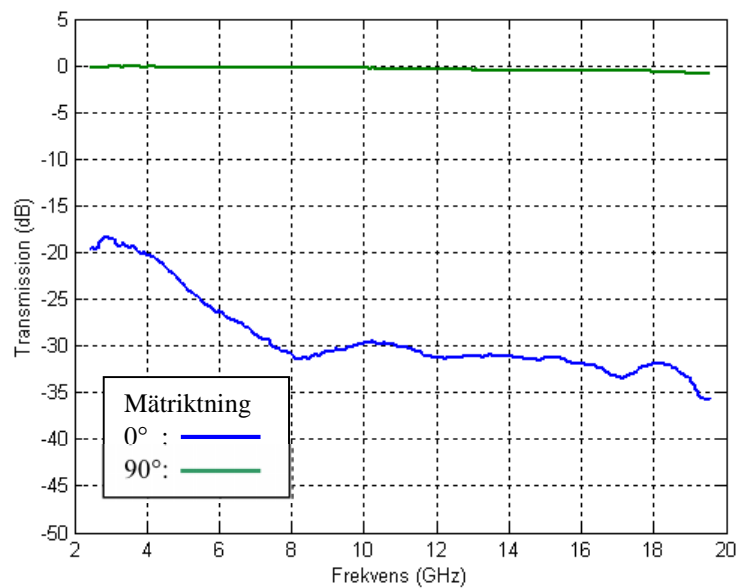


Diagram 5.16. Transmission för väv 2H. Varp av WO och väft av kolfiber.

### 5.2.1 Kommentarer till mätresultaten

Dessa vävar, 2A, 2B, 2C, 2D, 2F, 2G, 2H har varptrådar av ull/polyamid (WO) som inte påverkar mikrovågstransmissionen (icke ledande).

**Väv 2A** (Diagram 5.10): har väft av WO och transmissionen blir därför hög i bägge mätriktningarna.

**Väv 2B** (Diagram 5.11): har väft av WO med glest inslag av rostfritt stål (periodicitet 3 cm). P.g.a att det är så glest mellan stålfibrerna, blir transmissionen hög för bägge mätriktningarna.

**Väv 2C** (Diagram 5.12): har väft av WO med inslag av 3 cm breda band av rostfritt stål (periodicitet 3 cm). Väven uppvisar hög transmission för mätriktning 90° (E-fältet vinkelrätt mot stålfibrerna). För mätriktning 0° fås en lägre transmission, ca -5 dB med en resonant topp runt 5 GHz. Detta beror på att när E-fältet är parallellt med stålfibrerna fås en reflektion som beror på hur stor del av totalytan som stålfibrerna täcker. Den resonanta toppen beror på att mellanrummet mellan de områdena som täcks av stålfibrer motsvarar  $\frac{1}{2}$  våglängd och därmed blir resonant.

**Väv 2D** (Diagram 5.13): har väft av stålfibrer. För mätriktning 0° fås mycket låg transmission beroende på att reflektionen blir hög när E-fältet är parallellt med stålfibrerna. För mätriktning 90° blir transmissionen hög eftersom E-fältet är vinkelrätt mot stålfibrerna.

**Väv 2F** (Diagram 5.14): har väft av bomull med glest inslag av kolfibrer. Väven uppvisar hög transmission för bägge mätriktningarna. Kolfiber har god ledningsförmåga men liksom väv 2B är det glest mellan fibrerna.

**Väv 2G** (Diagram 5.15): är samma som väv 2C men kolfibrer istället för rostfritt stål. Väven uppvisar samma transmissionsegenskaper som väv 2C.

**Väv 2H** (Diagram 5.16): är samma som väv 2D men med kolfibrer istället för stålfibrer. Väven uppvisar ungefär samma transmissionsegenskaper som väv 2D. Kolfiber har lite sämre ledningsförmåga jämfört med stål, därför blir transmissionen något högre vid mätriktning 0°.

### 5.3 Vävar med varp av polypropen

Diagram 5.17 – 5.26 visar transmissionsegenskaperna för vävarna med polypropenvarp (PP).

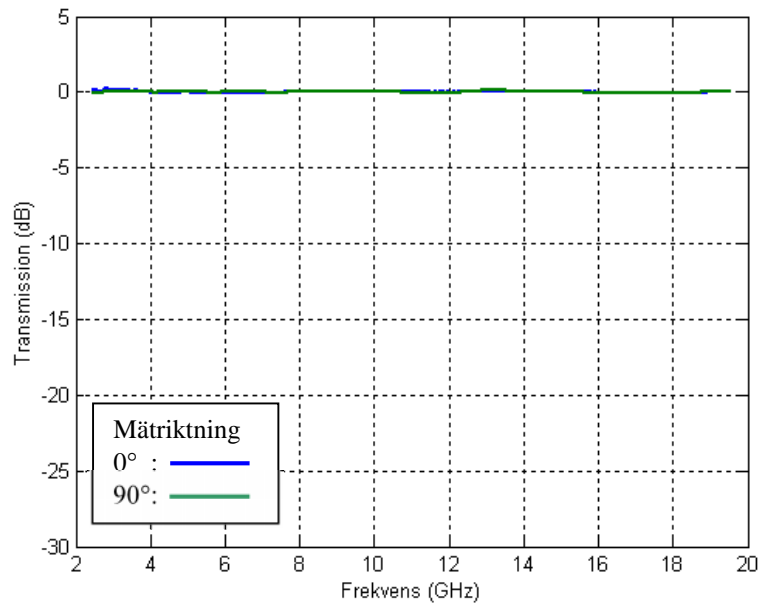


Diagram 5.17. Transmission för väv 3A. Varp och väft av PP.

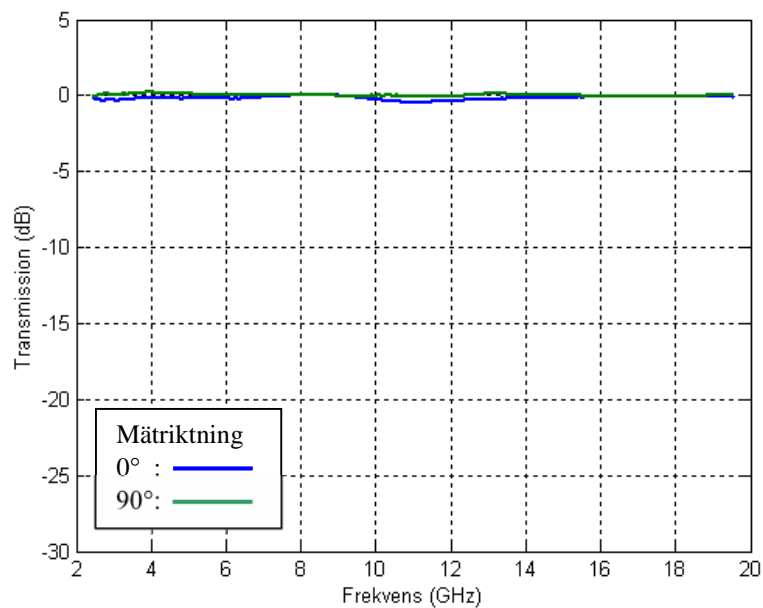


Diagram 5.18. Transmission för väv 3B. Varp av PP och väft av PP med glest inslag av rostfritt stål.

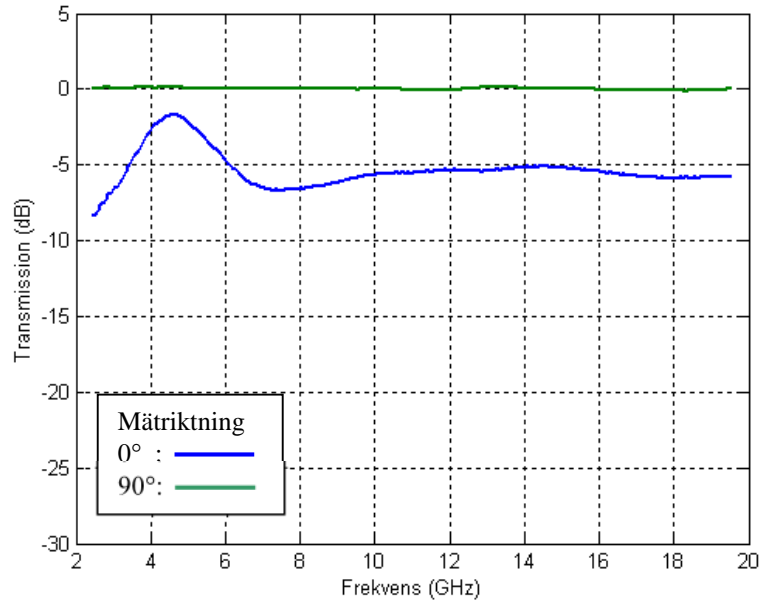


Diagram 5.19. Transmission för väv 3C. Varp av PP och väft av PP med 3 cm breda band av rostfritt stål (periodicitet 3 cm).

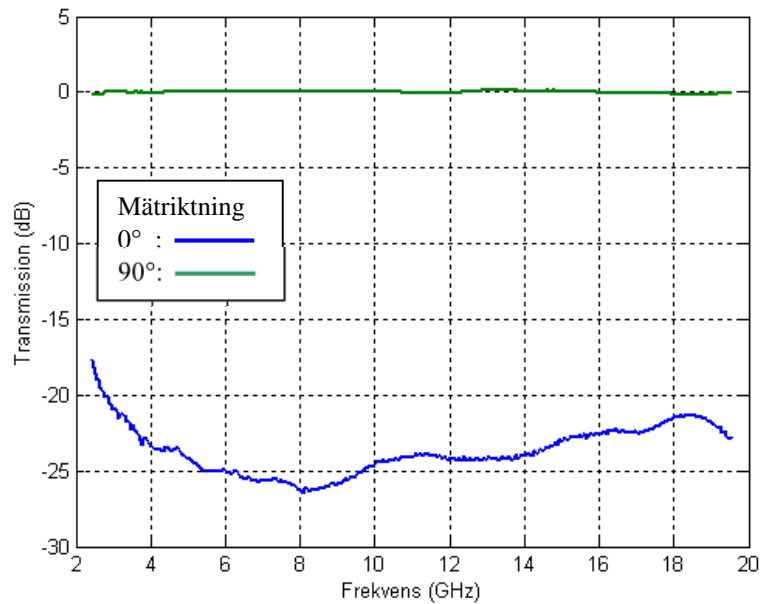


Diagram 5.20. Transmission för väv 3D. Varp av PP och väft av rostfritt stål.

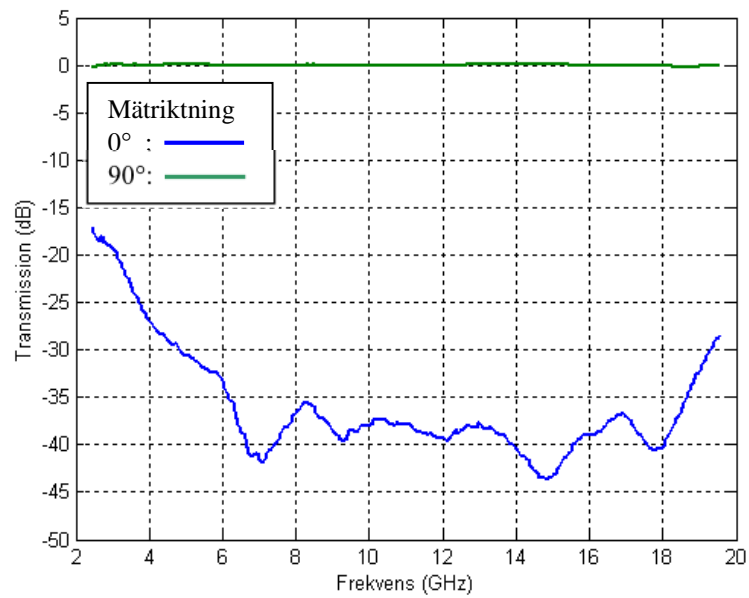


Diagram 5.21. Transmission för väv 3E. Varp av PP och väft av rostfritt stål. Vävteknik satin.

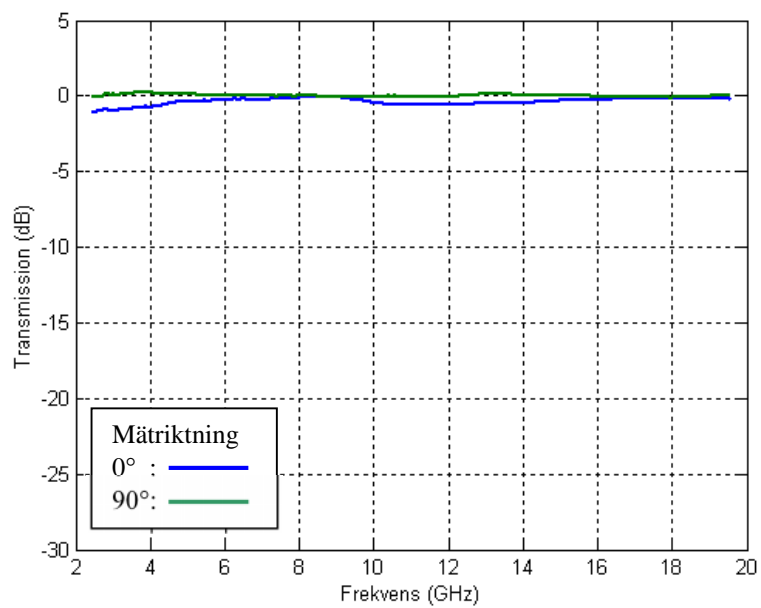


Diagram 5.22. Transmission för väv 3F. Varp av PP och väft av PP med glest inslag av kolfiber.

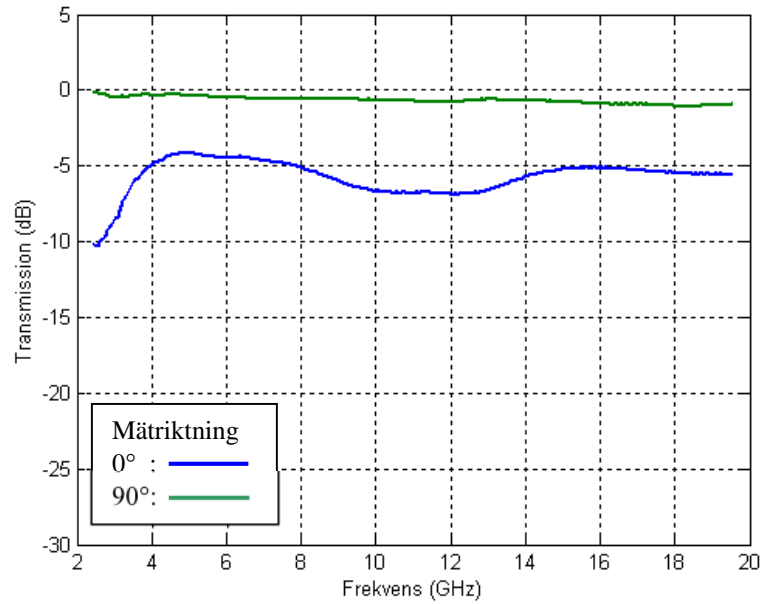


Diagram 5.23. Transmission för väv 3G. Varp av PP och väft av PP med 3 cm breda band av kolfiber (periodicitet 3 cm).

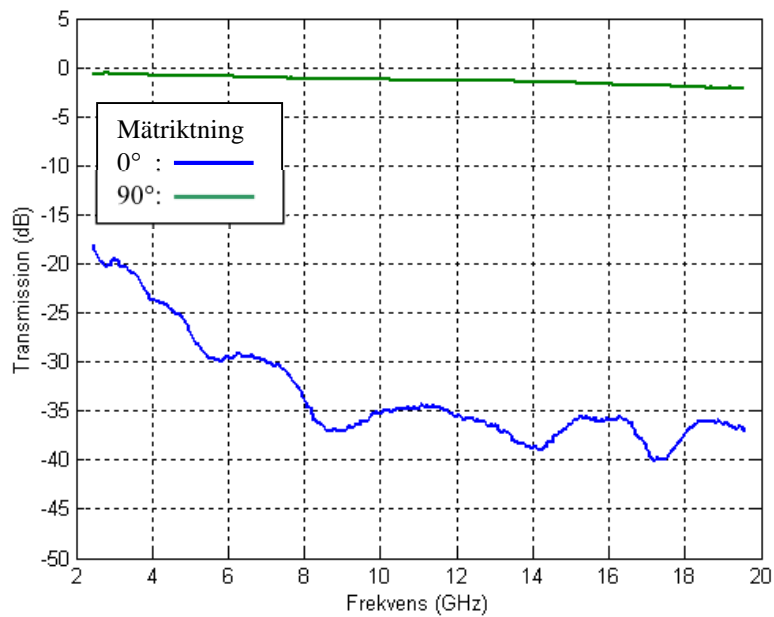


Diagram 5.24. Transmission för väv 3H. Varp av PP och väft av kolfiber.

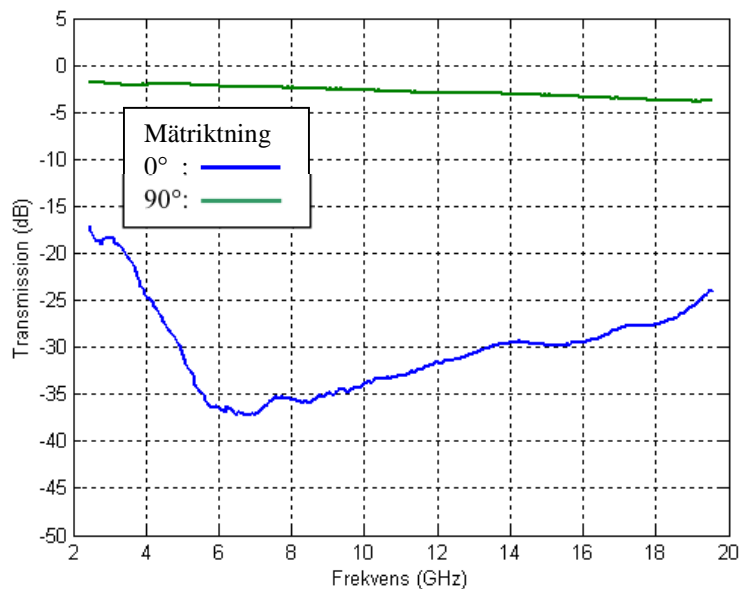


Diagram 5.25. Transmission för väv 3I. Varp av PP och väft av kolfiber. Vävteknik satin.

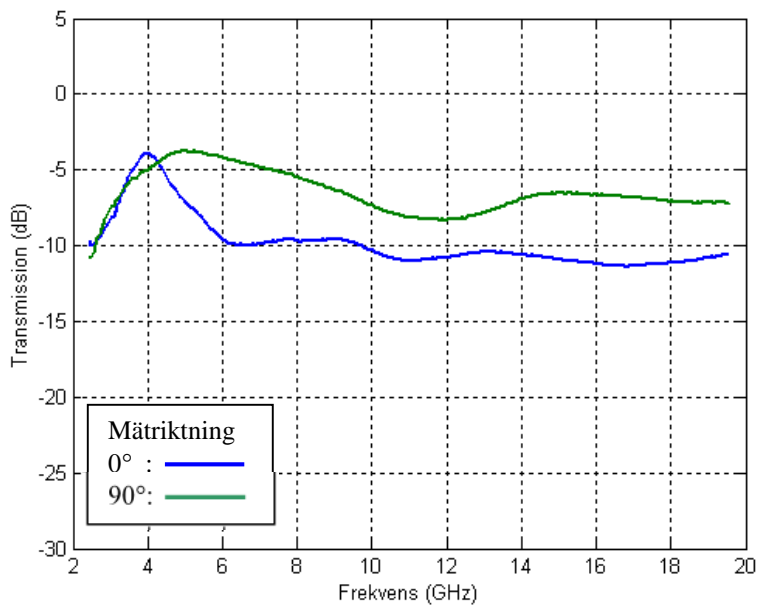


Diagram 5.26. Transmission för väv 3J. Varp av PP och väft av 3 cm korsade band av kolfiber (periodicitet 3 cm).

### 5.3.1 Kommentarer till mätresultaten

Dessa vävar, 3A, 3B, 3C, 3D, 3E, 3F, 3G, 3H, 3I, 3J har varptrådar av polypropen (PP) som inte påverkar mikrovågstransmissionen (icke ledande).

**Väv 3A, 3B, 3C, 3D:** är samma som vävarna 1A-1D och 2A-2D men med grundväft av polypropen. Vävarna uppvisar samma transmissionsegenskaper. (Diagram 5.17-5.20)

**Väv 3E** (Diagram 5.21): är samma som väv 3D men väven är satin istället för tuskaft. Väv 3E uppvisar liknande egenskaper som väv 3D.

**Väv 3F, 3G och 3H:** är samma som väv 1F-1H och 2F-2H, men med grundväft av PP och inslag av kolfibrer. Vävarna uppvisar ungefär samma transmissionsegenskaper. (Diagram 5.22-5.24)

**Väv 3I** (Diagram 5.25): är en satinväv med väft av kolfibrer. Väven uppvisar ungefär samma egenskaper som väv 3H.

**Väv 3J** (Diagram 5.26): väft av PP med inslag av, vinkelrätt korsade, 3 cm breda band av kolfibrer (periodicitet 3 cm). Väven uppvisar relativt låg transmission för bägge mätriktningarna. Transmissionen är ca -5 – -10dB med en resonant topp runt 5 GHz. Det är samma effekt som för vävarna 1G och 2G, men eftersom kolfiberbanden är korsade fås ungefär samma transmission för båda mätriktningarna.



## 6 SLUTSATSER OCH REKOMENDATIONER

Vävar med olika material på varpen har undersökts: bomull, ull/polyamid och polypropen. Dessutom har olika vävnadstekniker använts: tuskaft och satin. Dock konstateras att detta inte har någon inverkan på mätresultaten.

Vidare konstateras att ett glest inslag av ledande fibrer (rostfritt stål och kolfiber) eller halvledande fibrer (polyanilinbaserad) inte har någon effekt. Om man däremot har en väft som helt består av ledande material som i 1D, 2D, 3D, 3E (rostfritt stål) och 1H, 2H, 3H, 3I (kolfiber) ser man en polarisationseffekt. Detta beror på att reflektionen är hög när det elektriska fältet är parallellt med väften och transmissionen blir därmed låg. Om det elektriska fältet däremot är vinkelrätt mot väften, är reflektionen liten och transmissionen blir därmed hög.

I vävarna 1C, 2C, 3C (rostfritt stål) och 1G, 2G, 3G (kolfiber) har man en periodisk struktur med 3 cm breda band. Detta ger upphov till en svag resonanstopp i diagrammen vid ca 5 GHz, d.v.s. ökad transmission. Vid 5 GHz är halva våglängden 3 cm. Generellt ger ett lager textil inte speciellt mycket frekvensselektivitet, men om man designar en materialstruktur uppbyggd av flera skikt kan väsentligt bättre egenskaper uppnås.

Väv 3J har korslagda band av kolfiber. Man bör få två identiska kurvor för de olika polarisationsriktningarna. Att detta inte är fallet, beror troligtvis på svårigheten att placera in mätobjektet identiskt för de två olika mätningarna eller att vävarna inte var helt symmetriska.

Vidare kan man konstatera att för att få frekvensselektivitet behövs ett ledande material som stål eller kolfiberblandning. Polyanilinbaserad fiber (väv 1 I och 1 K) verkar inte ge någon effekt alls, vilket troligtvis beror på att ledningsförmågan är för låg.

En fortsättning på studien kommer att genomföras under 2012. Då kommer vävar med olika periodiska mönster att studeras för att se om resonanstoppens läge kommer att förändras. Om så blir fallet kommer elastiska vävar att tillverkas för att se om man kan förändra resonanstoppens läge genom att sträcka ut väven. Detta skulle innebära att man kan tillverka styrbara frekvensselektiva vävar.