



CHALMERS

Steg mot nollvisionen i gruvindustrin: Hörnreflektor och radarteknik som räddar liv

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet maskinteknik

Jesper Gonzales Rossel
Julia Hillén

INSTITUTIONEN FÖR INDUSTRI- OCH MATERIALVETENSKAP

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2024
www.chalmers.se

Förord

I denna rapport presenteras arbetsgången och resultatet från ett examensarbete på Chalmers tekniska högskola som motsvarar 15 högskolepoäng. Arbetet påbörjades våren 2024 som det avslutande projektet i utbildningen på maskinteknikprogrammet på 180 högskolepoäng.

Arbetet genomfördes med universitetslektor Göran Gustafsson som handledare och universitetslektor Peter Hammersberg som examinator.

Arbetet utfördes på uppdrag för företaget RadChat där doktorand Navid Amani och Lucas Crisp varit till stor hjälp under arbetets gång. Vi vill tacka Navid och Lucas för möjligheten att delta i detta spännande projekt. Vi vill även tacka forskningsingenjörerna Jan Bragé, Sven Ekered och Göran Stigler, samt tekniklektor Kjell Melkersson för all kunskap och stöttning med prototypbygget under arbetets gång.

Slutligen vill vi skänka ett stort tack till universitetslektor Göran Gustafsson för vägledningen genom detta projekt.

Abstract

Working in the mining industry is dangerous due to the risk of injury from machines used in the mines. Accidents involving these machines can lead to severe injuries or even fatalities. The project was conducted together with the company RadChat to increase safety in the mining industry. The company aims to achieve Vision zero in underground mines, meaning that no one should be seriously injured or die in mining operations. The company's solution uses a radar and a chip, that does not work well at longer ranges and therefore an improved version has been developed.

This bachelor thesis describes the process of improving a device designed to detect people and machines in mining environments. The project began with identifying and collecting requirements and requests from various parties involved. Ideas were then generated, different solutions were evaluated and tested. The less favorable options were eliminated until one concept remained. The device includes a corner reflector that reflects radio waves. It will also be possible to distinguish between different people and machines by rotating the corner reflector at different rotational frequencies using a motor. This solution is a big step towards achieving vision zero in the mining industry.

Sammanfattning

Att arbeta inom gruvindustrin är farligt på grund av risken för skador från maskinerna som används i gruvorna. Olyckor med dessa maskiner kan leda till allvarliga skador eller till och med dödsfall. Projektet genomfördes tillsammans med företaget RadChat som bland annat arbetar med att försöka öka säkerheten i gruvindustrin. Företaget vill uppnå nollvisionen i underjordiska gruvor vilket innebär att inga människor ska skadas allvarligt eller dö i gruvdrift. Företagets nuvarande lösning innefattar en radar och ett chip som inte fungerar bra på längre avstånd så en förbättrad variant har utvecklats.

Examensarbetet beskriver utvecklingen av en förbättrad anordning för att upptäcka människor och maskiner i gruvmiljöer. Projektet inleddes med att identifiera och samla in krav och önskemål från de olika intressenterna. Därefter genererades idéer, olika lösningar utvärderades och testades. De sämre alternativen eliminerades tills ett koncept återstod. Anordningen innefattar en hörnreflektor som reflekterar radiovågor. Man kommer även kunna urskilja olika människor och maskiner från varandra genom att rotera hörnreflektorn i olika varvfrekvenser med hjälp av en motor. Denna lösning är ett stort steg mot att uppnå nollvisionen i gruvindustrin.

Innehållsförteckning

1. Inledning	2
1.1 Syftet med examensarbetet	2
1.2 Radchats lösning	2
1.3 Precisering av frågeställningen	3
1.4 Avgränsningar	3
2. Metod	3
3. Krav och önskemål	4
4. Undersökning av problemet	6
5. Alternativa koncept	7
5.1 Idégenerering	7
5.1.1 Fri idégenerering	7
5.2 Patentsökning	11
5.2.1 Patent CN103630879A	11
5.2.2 Patent CN219201921U	11
5.2.3 Patent CN210572723U	12
5.2.4 Patent CN212569109U	12
5.2.5 Patent RU2101739C1	13
5.3 Konkurrenters lösningar	14
5.3.1 AeroScout RFID-system	14
5.3.2 Hexagon Mining - Mineprotect Personal Alert & Collision Avoidance System	14
5.4 Morfologisk matris	15
6. Utvärdering av alternativ	16
6.1 Test av hörnreflektorer	16
6.2 Test av skydd	21
6.3 Diskussion av resultat	22
6.4 Morfologisk matris efter testning	23
7. Beräkning av motor	24
8. Stabilisering av hörnreflektorn	25
9. Material	28
10. Resultat	28
11. Fortsatt arbete	28
Referenser	29
Bilagor	I
Bilaga 1-3	II
Bilaga 4-6	III

1. Inledning

I dagsläget är gruvor en farlig plats på grund av många anledningar, varav en av dem är att människor kan bli påkörda av maskiner. Radar kan användas i underjordiska gruvor för att detektera människor och objekt för att minska olycksrisken.

De nuvarande lösningarna i gruvindustrin har brister som till exempel räckvidden eller att det är för kostsamt.

Företaget RadChat arbetar i nuläget med att utveckla ett radarsystem som ska användas i gruvor för att öka säkerheten. Företaget vill hjälpa till med att uppnå nollvisionen i underjordiska gruvor, vilket innebär att inga människor ska skadas allvarligt eller dö i gruvdrift. Radarsystemet ska kunna detektera och avläsa information om omgivningen, som i sin tur kommer öka säkerheten.

1.1 Syftet med examensarbetet

Syftet med projektet är utveckla en anordning som är avsedd att öka säkerheten i gruvdrift genom användning av ett radarsystem. Genom att utforma och testa olika lösningar kan projektet komma att tillföra en pålitlig och preciserad lösning som kan detektera potentiella risker för påkörningsolyckor i gruvmiljöer i realtid.

1.2 Radchats lösning

Radchats radar skickar ut signaler och läser av positionen samt information om människor, maskiner och gruvornas utseende. Detta kan användas för att navigera i gruvorna och minska olycksrisken.

Företaget använder idag en radar. Radiovågorna tas emot av ett chip i kreditkortsstorlek som är placerade på exempelvis en människas hjälm eller på en maskin. På chipet finns information om objektet den är monterad på. Sitter den på en människa kan personen identifieras samt dess positionering i förhållande till radarn. Efter att radiovågorna läst av informationen på chipet så reflekteras de tillbaka till radarn.

Problemet med den befintliga lösningen är att den inte uppnår tillräckligt lång räckvidd och därför letar företaget nu efter alternativa lösningar.

Som lösning vill Radchat utveckla en ny typ av reflektor i form av en mekanisk anordning som ska fungera på längre avstånd.

1.3 Precisering av frågeställningen

RadChats nuvarande produkt kan bara avläsa information på ca 2 meters avstånd. En optimal lösning är en mekanisk anordning som kan reflektera tillbaka signalerna på minst 10 meters avstånd utan att störas av miljön runtomkring. Anordningen ska även göra det möjligt att identifiera vem eller vad den sitter på. Därav är frågeställningen, hur bör en mekanisk anordning utformas för att fungera optimalt från minst 10 meters avstånd i gruvmiljö för att öka säkerheten?

1.4 Avgränsningar

Förändringar på den befintliga radarn kommer inte att behandlas i detta arbete. Projektet kommer inte att resultera i en färdig produkt.

2. Metod

Projektet inleddes med att identifiera och samla in krav och önskemål från de olika intressenterna, vilka sedan sammanställdes i en kravspecifikation. Kravspecifikationen användes som grund under både idégenereringen och eliminering för att säkerställa att produkten uppfyller de angivna kraven. Därefter utfördes en funktionsanalys vilket illustrerades genom en funktionsmodell för att ge en djupare förståelse för hur de olika funktionerna samspelar. Flera idéer testades både internt inom projektgruppen och tillsammans med RadChat för att identifiera vilka lösningar som inte var ett tillräckligt bra alternativ och därmed kunde elimineras. En utvärdering av de kvarvarande alternativen genomfördes, där de granskades med avseende på funktionalitet, design samt hur väl de uppfyllde kraven. Efter en slutgiltig eliminering återstod ett alternativ för vidareutveckling och prototyp tillverkning.

3. Krav och önskemål

Genom dialoger med RadChat kunde projektgruppen få förståelse för kundernas behov och önskemål. Krav och önskemål sammanställdes i en tabell som användes kontinuerligt för att säkerställa att samtliga krav blev uppfyllda.

Chalmers		Dokumenttyp	Kravspecifikation				
		Projekt	Mekanisk anordning för radarsystem				
Utförare:			Skapad: 2024-03-21				
			Modifierad: 2024-09-03				
Kriterier	Målvärde	K/Ö	Vikt	Verifieringsmetod	Referens (kravställare)		
Funktioner							
	Modifera och reflektera radiovågor i ursprungsriktningen	K		Test	Kund		
1. Prestanda							
1.1	Produkten ska tåla fuktig miljö, vattenstänk och smuts	K		Test	Kund		
1.2	Produkten ska kunna tappas i marken från 1 meters höjd utan att den förstörs	K		Test	Kund		
1.3	Radiovågorna ska kunna reflekteras från minst 10 meters avstånd	K		Test	Kund		
1.4	Produkten ska kunna reflektera tillbaka radiovågor i ursprungsriktningen	K		Test	Kund		
2. Storlek							
2.1	Diameter x höjd på väggburen produkt	Max 10cm x 12cm	K		Test	Kund	
2.2	Diameter x höjd på väggburen produkt	Så liten diameter och höjd som möjligt	Ö	3	Test	Kund	
2.3	Diameter x höjd på mobil produkt	Max 8cm x 10cm	K		Test	Kund	
2.4	Diameter x höjd på mobil produkt	Så liten diameter och höjd som möjligt	Ö	3	Test	Kund	
3. Massa							
3.1	Väggmonterad produkt max 4kg		K		Beräkning mha CAD	Produktplanering	
3.2	Väggmonterad produkt så lätt som möjligt		Ö	5	Beräkning mha CAD	Produktplanering	
3.3	Mobil produkt max 0,5kg		K		Beräkning mha CAD	Produktplanering	
3.4	Mobil produkt så lätt som möjligt		Ö	5	Beräkning mha CAD	Produktplanering	
4. Miljö							
4.1	Produktens massa ska vara 85% återvinningsbar		K		Test	Produktplanering	
5. Livslängd							
5.1	Hyllivslängd	>5år	K		Utmattningsprov	Produktplanering	
5.2	Hyllivslängd	>7 år	Ö	1	Utmattningsprov	Produktplanering	
5.3	Brukningstidslängd	>2år	K		Utmattningsprov	Produktplanering	
5.4	Brukningstidslängd	>3år	Ö	1	Utmattningsprov	Produktplanering	
6. Underhåll							
6.1	Enkel att rengöra		K		Test	Produktplanering	
6.2	Drifttid (utan service)	≥4 timmar	K		Test	Produktplanering	
6.3	Drifttid (utan service)	8 timmar	Ö		Test	Produktplanering	

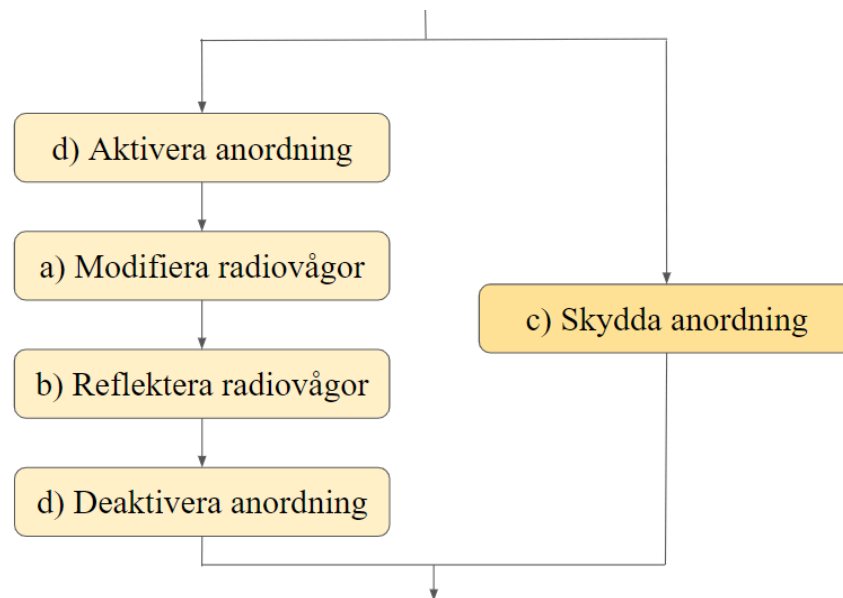
7.	Kvantitet					
	7.1	Antal prototyper	minst 2 st	K		Produktplanering
	7.2	Antal prototyper	≥3 st	Ö	3	Produktplanering
8.	Material					
	8.1	Materialet får inte vara skadligt för miljö eller användare		K		Test Produktplanering
10.	Tidsschema					
	10.1	Projektet klart V.40 2024		Ö	3	Redovisning & inlämning Produktplanering
11.	Säkerhet					
	11.1	Får inte orsaka personsador		K		Test Produktplanering
	11.2	Får inte störa något annat system		K		Test Produktplanering

4. Undersökning av problemet

För att förstå problemet genomfördes analyser av produktens nödvändiga funktioner. Dessa illustreras i en struktur.

4.1 Funktionsanalys

Figur 1 visar hur de olika funktionerna samverkar.



Figur 1: Funktionsanalys

Funktionsanalysen illustrerar de olika funktionerna från att anordningen aktiveras, till att den deaktiveras.

Modifiera radiovågor betyder att det ska gå att avläsa vem eller vad den mekaniska anordningen sitter på. Då måste det finnas något som modifierar signalerna innan de reflekteras.

Skydda anordningen betyder att de inre delarna som elektronik och mekaniska delar inte ska skada eller skadas av yttre faktorer. Skydda anordning sker parallellt med de resterande funktionerna.

5. Alternativa koncept

För att identifiera alternativa koncept genomfördes en idégenerering, patentsökning och undersökning av konkurrenters lösningar.

5.1 Idégenerering

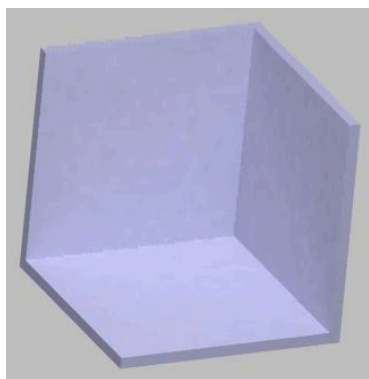
Genom fri idégenerering kunde olika lösningar till delfunktionerna tas fram. Tillsammans bildar delfunktionerna ett komplett koncept. Utöver detta genomfördes även en patentsökning och en analys av de befintliga produkter som finns på marknaden.

5.1.1 Fri idégenerering

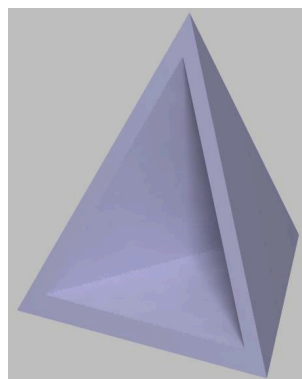
Nedan presenteras tänkbara lösningar till de olika delfunktionerna.

a) Modifiera radiovågor: Man kan till exempel använda sig av olika rotationshastigheter på den reflekterande delen så att man kan urskilja personer och maskiner från varandra. Ett alternativ är att delen som reflekterar radiovågorna roterar, så att rotationsfrekvensen identifierar objektet. Ett annat alternativ är att ha någonting som rör sig framför den reflekterande delen för att blockera signalen enligt olika mönster.

b) Reflektera radiovågor: De olika förslagen för detta var olika typer av hörnreflektorer, i form av en kvadratisk eller triangulär design. Den kvadratiske designen gavs som förslag av Radchat, se figur 2. Efter undersökning av befintliga hörnreflektorer så hittades även förslaget hörnreflektor i av en triangulär design, se figur 3.



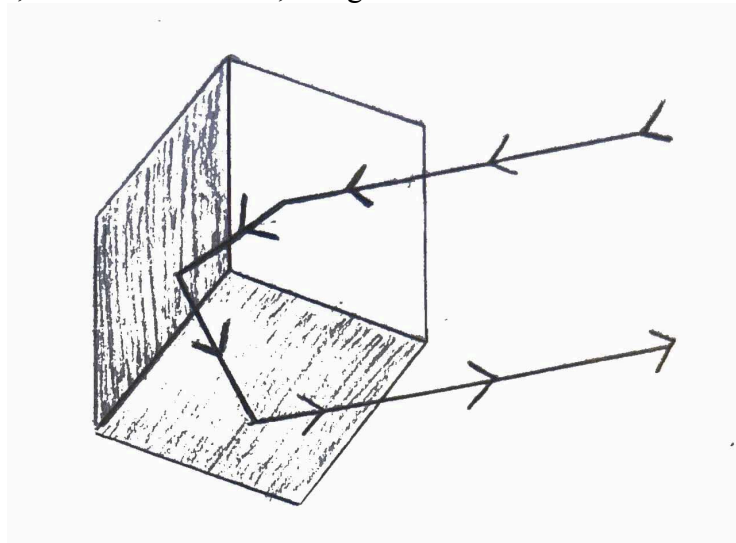
Figur 2: Kvadratisk hörnreflektor



Figur 3: Triangulär hörnreflektor

För att kunna reflektera radiosignaler så måste reflektorns yta vara elektriskt ledande.

En hörnreflektor är en anordning som används för att reflektera signaler, till exempel radiovågor, tillbaka mot deras ursprungliga källa. Den består av tre plana, reflekterande ytor som signalerna studsar på innan de reflekteras i en riktning som är parallell med den inkommande signalen, men åt motsatt håll, se figur 4.

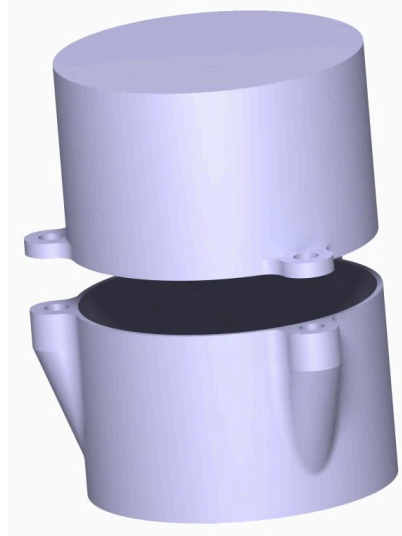


Figur 4: Signal som reflekteras av hörnreflektor

c) Skydda anordning: Brainstorming gav fyra lösningar.

Dellösning "skydd med öron":

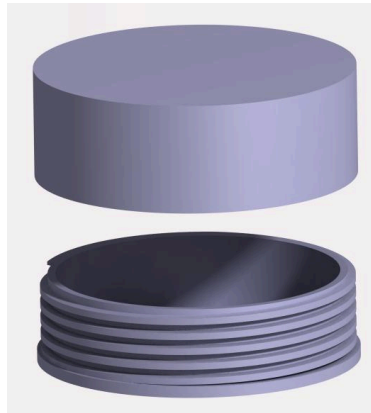
En dellösning för skydda anordning är "skydd med öron". Den innebär ett skydd där skruvar används för att montera ihop delarna med varandra, se figur 5.



Figur 5: Dellösning "skydd med öron"

Dellösning “skydd med gängor”:

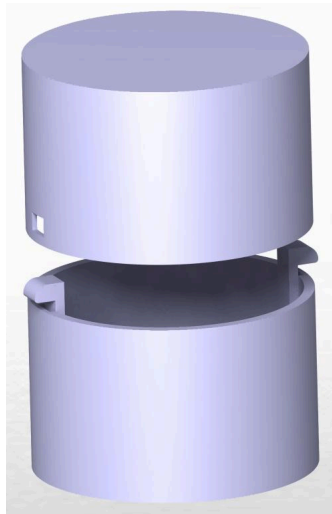
I figur 6 illustreras en dellösning med gängor. Locket har en invändig gänga och bottendelen har en utvändig gänga för att kunna stänga och öppna skyddet.



Figur 6: Dellösning med gängor

Dellösning “klickfunktion”:

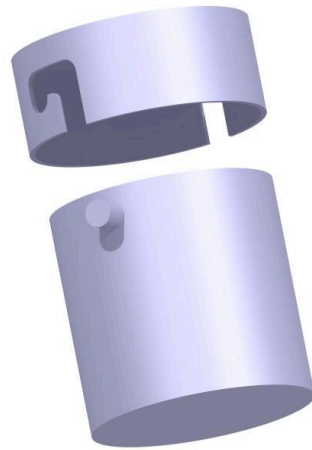
I figur 7 illustreras dellösningen “klickfunktion”. Lösningen innebär en del som har armar som vid stängning av skyddet ska låsas fast i hålen i locket.



Figur 7: Dellösning med klickfunktion

Dellösning “bajonettfattning”:

I figur 8 illustreras ett skydd med en bajonettfattning. Det består av två slitsar, två tapparna, en hylsa och en fjäder. För att låsa skyddet trycks tapparna in, sedan vrids locket och därefter släpps tapparna.



Figur 8: Dellösning med bajonettfattning

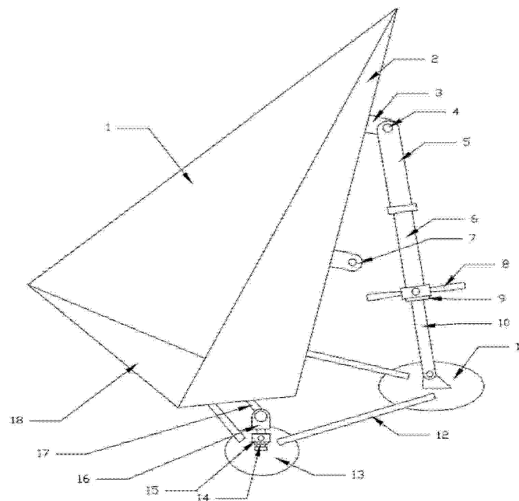
d) Aktivera och deaktivera anordningen: Det krävs ett drivsystem för att rotera anordningen. Detta behövs för att det krävs rörelse för att modifiera radiovågorna och därmed är strömbrytare en lösning.

5.2 Patentsökning

En patentsökning utfördes. De lösningar som hittades var roterande plattor och hörnreflektorer.

5.2.1 Patent CN103630879A

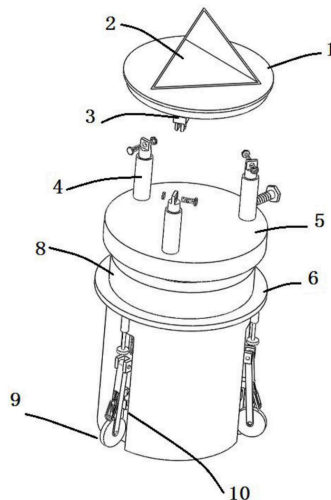
Patentet innefattar en triangulär konformad hörnreflektor. Den är monterad på en triangulär piedestal som sitter på en cirkulär roterande skiva. Anordningen används för att få en stabil och justerbar, roterande hörnreflektor.



Figur 9: Patent CN103630879A

5.2.2 Patent CN219201921U

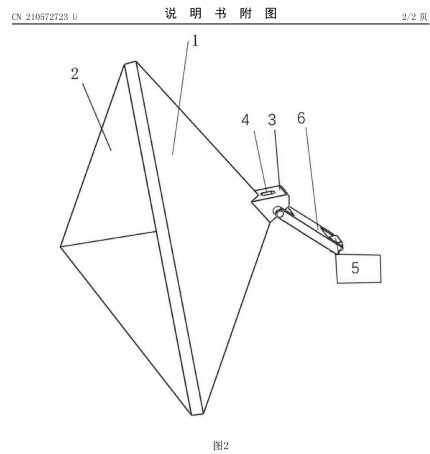
I detta patent finns en triangulär hörnreflektor monterad på en roterande platta. Plattan sitter i sin tur på tre armar som kan användas för att justera positionen av plattan och hörnreflektorn. Benen på konstruktionen innefattar en bajonettfunktion och glidblock.



Figur 10: Patent CN219201921U

5.2.3 Patent CN210572723U

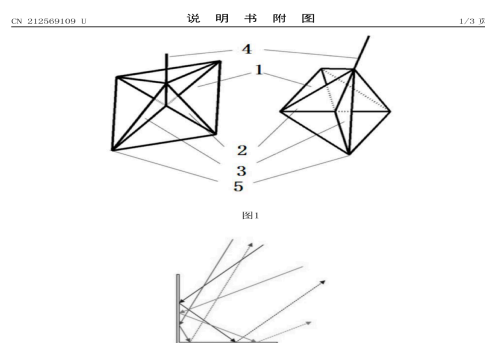
I det här patentet används en trihedrisk hörnreflektor för att reflektera radiovågor till en sändare. Konstruktionen består av 3 rätvinkliga delar där två ytor är reflekterande.



Figur 11: Patent CN210572723U

5.2.4 Patent CN212569109U

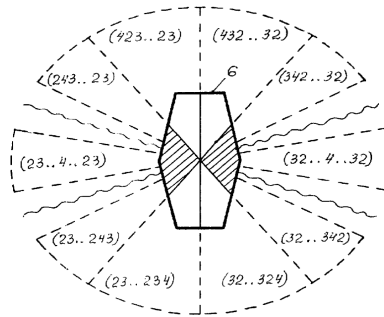
Patentet omfattar en fyrkantig hörnreflektor av metallplattor som tar emot signaler som sedan speglas tillbaka i ursprungsriktningen.



Figur 12: Patent CN212569109U

5.2.5 Patent RU2101739C1

I ett patent användes vinklade ytor för att kunna reflektera ljus. Produkten består av en triangulär hörnreflektor.



Фиг.2.

Figur 13: Patent RU2101739C1

5.3 Konkurrenters lösningar

En undersökning gjordes för att hitta vilka konkurrentprodukter som finns på marknaden.

5.3.1 AeroScout RFID-system

AeroScout [2] är ett företag som har utvecklat världens första RFID-system som specifikt tillämpas inom gruvindustrin. RFID står för Radio Frequency IDentification som fungerar med hjälp av en läsare och transponder. Läsaren innehåller information och skickar vidare informationen till ett datorprogram via en transponder. Systemet samverkar med olika WiFi-åtkomstpunkter som är monterade på gruvväggar. Systemet har lång räckvidd och har en pålitlig trådlös kommunikation som skickar signaler till ett datasystem som läser av position och information om omgivningen. För att undvika störningsmoment och säkerställa kontinuerlig identifiering av gruvarbetare är systemet inbyggt i personalens hjälmlampor. Systemet möjliggör identifiering av maskiner, verktyg och personal för att aktivt förebygga olyckor och faror inom gruvdriftsmiljön. RFID-lösningen användes inte i projektet eftersom projektet avser en mekanisk anordning.

5.3.2 Hexagon Mining - Mineprotect Personal Alert & Collision Avoidance System

Hexagon Mining är ett svenskt teknikföretag som utvecklar digitala lösningar inom olika industriområden. Företaget har flera lösningar inom gruvindustrin för att säkerställa och minska risken för olyckor. Ett av dessa är HxGN Mineprotect Personal Alert [3]. Systemet övervakar personalens position, larmar om farliga situationer och har ett nödsignalsystem. All information som samlas in av systemet överförs till en central webbapplikation för realtidsövervakning och analys. Systemen är integrerade i fordon och maskiner. Personalen bär även med sig enheter som kommunicerar med omgivande maskiner och snabbt kan larma med ljud och vibrationer. Systemet har en batteritid på 16 timmar. Denna lösning visade sig inte vara lämplig för projektet.

5.4 Morfologisk matris

Genom den fria idégenereringen samt tidigare lösningar kunde en morfologisk matris skapas för att få fram så många fullständiga koncept som möjligt. Kolumnerna representerar de olika delfunktioner och dellösningar till dem som har identifierats i tidigare kapitel för att sedan skapa helhetslösningar.

Tabell 1: Morfologisk matris

Delfunktion	Dellösning	Dellösning	Dellösning	Dellösning
Aktivera/deaktivera anordning	Strömbrytare			
Modifiera radiovågor	Roterande reflektor	Del som rör sig runt reflektorn		
Reflektera radiovågor	Kvadratisk hörnreflektor	Triangulär hörnreflektor		
Öppna/stäng skydd	Bajonettfattning	Gångor	Klickfunktion	Skydd med öron

I tabell 1 kan man avläsa $1 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 4 = 16$ stycken olika helhetslösningar. Varje helhetslösning är en kombination av en dellösning till varje delfunktion.

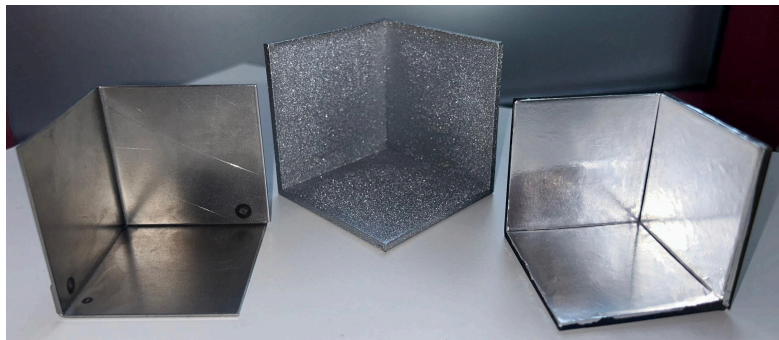
6. Utvärdering av alternativ

I det här kapitlet presenteras testerna som genomfördes på de olika delösningarna. För att eliminera och minska antalet lösningar utvärderades och testades varje delösning var för sig. Ett test innefattade att testa hörnreflektorerna tillsammans med RadChats radar. Testet genomfördes genom att placera hörnreflektorerna på en motor på 1,5m avstånd från radarn och avläsa reflektionen.

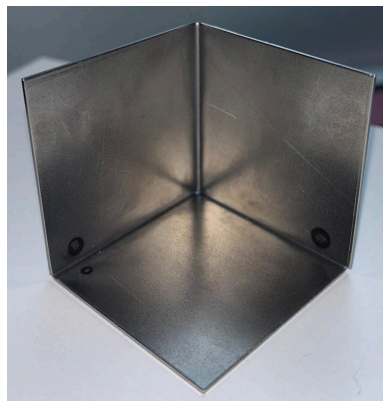
6.1 Test av hörnreflektorer

Sex olika kvadratiske hörnreflektorer i samma storlek men av olika material och former testades och utvärderades med avseende på reflektionsförmåga och massa. Storleken är viktig på grund av att en större yta bidrar till en högre reflektionsförmåga på långt avstånd.

I figur 14 visas hörnreflektorer där den i mitten har måtten 60x60 mm och de två andra är 50x50 mm.

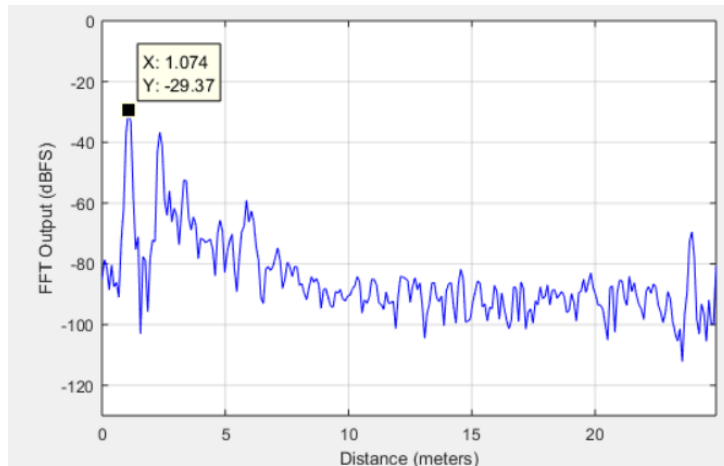


Figur 14: Kvadratiske hörnreflektorer skapade med olika metoder



Figur 15: Kvadratisk hörnreflektor i stål

Figur 15 visar en hörnreflektor av stål.



Figur 16: Resultatet för hörnreflektor av stål

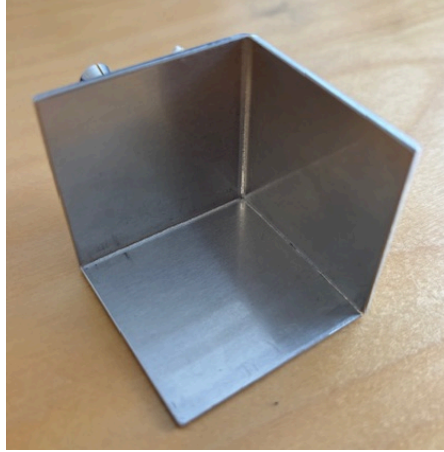
Figur 16 illustrerar resultatet från testet av hörnreflektorn av stål. Linjediagrammet visar reflektionen hos hörnreflektorn. För att jämföra hörnreflektorer så var det endast värdena på den högsta toppen i linjediagrammen som var relevanta i det här arbetet. Ju högre dB-värde desto mindre dämpning av signalen och alltså bättre reflektion. Y-axeln är i logaritmisk skala och därmed innebär till exempel en minskning på 3dB en hälften så bra reflektion då $10 \times \log(2) = 3,01$. I linjediagrammet för hörnreflektorn av stål i figur 15 observeras en dB på max -29,37.



Figur 17: 3D-utskrivna hörnreflektor med aluminiumfolie

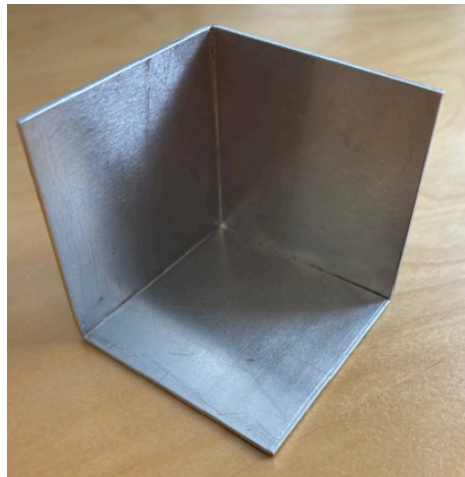
I figur 17 visas en 3D-utskrivna kvadratisk hörnreflektor. För att göra hörnreflektorn reflekterande limmades aluminiumfolie på ytorna. Materialet plast ger en lägre massa än hos hörnreflektor av metall.

Hos testet av den 3D-utskrivna hörnreflektorn observerades det att aluminiumfolien gav en relativt fin yta, men den presterade inte lika bra som hörnreflektorn i stål. Resultatet av hörnreflektorn med aluminiumfolie visade en minskning på $(-29,37) - (-32,91) = 3,54$ [dB]. Alltså är reflektionen hälften så bra som hos hörnreflektorn av stål.



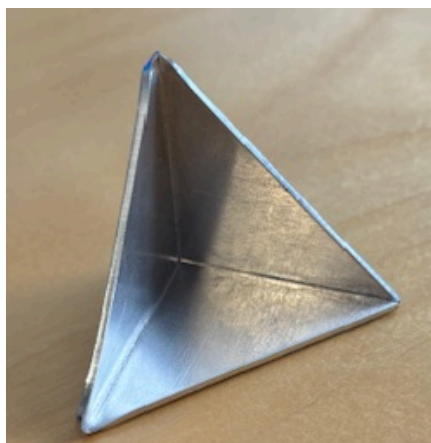
Figur 18: Hörnreflektor av aluminium 40x40 [mm]

Hörnreflektorn i aluminium som var 40x40 mm presterade ungefär lika bra som hörnreflektorn med aluminiumfolie som var 50x50 mm.



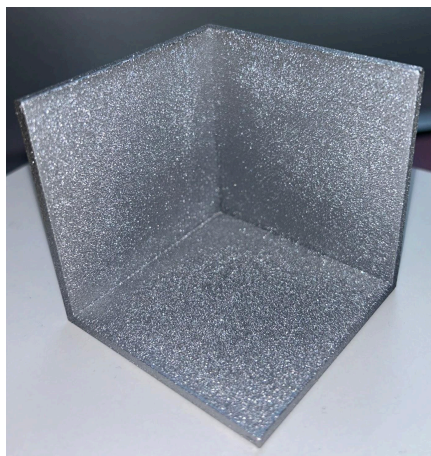
Figur 19: Hörnreflektor av aluminium 60x60 [mm]

Hörnreflektorn i aluminium som var 60x60 mm presterade ungefär lika bra som hörnreflektorn i stål som var 50x50 mm. Den presterar alltså väldigt bra men den är också väldigt stor.



Figur 20: Triangulär hörnreflektor

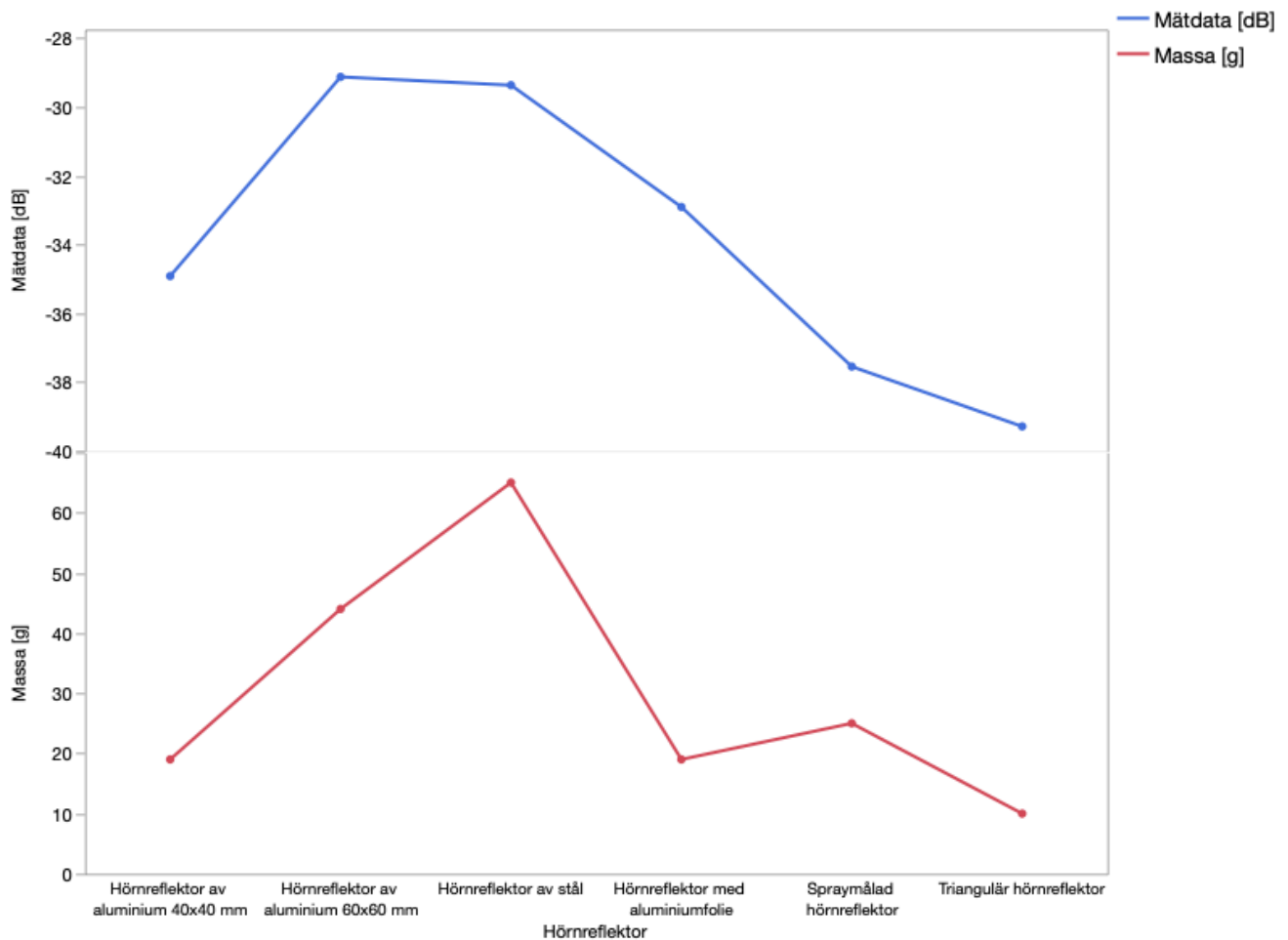
Den triangulära hörnreflektorn presterade dåligt i testet med en dB på -39,29. Detta beror troligen på den lilla storleken då de längsta sidorna är endast 40 mm.



Figur 21: Spraymålad, 3D-utskriften hörnreflektor

Slutligen testades en 60x60 mm 3D-utskriften hörnreflektor med en yta av metallisk sprayfärg, se figur 21. Färgen visade sig ha en kornig konsistens och gav därmed en ojämn yta trots förarbete med slipning. En jämn yta är viktig för att reflektionen ska fungera optimalt och därmed sågs detta som en nackdel.

I testet av den spraymålade hörnreflektorn observerades resultatet -37,55dB.



Figur 22: Mätdata på reflektion och massa

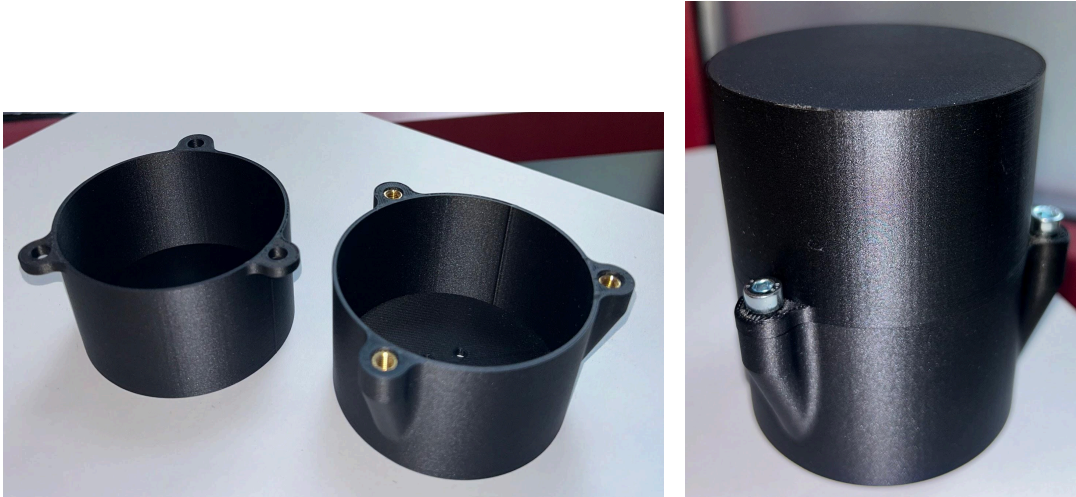
Figur 22 visar mätdata där den blå linjen representerar reflektion och den röda linjen representerar massan. Utifrån resultatet kan det observeras att hörnreflektorn av stål är en av de bättre på att reflektera, men det framgår också att den har störst massa.

Det observeras även att hörnreflektorerna av aluminium är bra på att reflektera och har en lägre massa. Den 3D-utskrivna hörnreflektorn med aluminiumfolie presterar också väldigt bra med en ännu lägre massa.

6.2 Test av skydd

Samtliga dellösningar för skydd undersöktes genom att 3D-utskrivs och testas.

Dellösning “skydd med öron” innebar att gängor fästes i ett 3D-utskrivet skydd som därefter kunde användas för att skruva fast de två delarna med varandra, se figur 23. Lösningen fungerade väldigt bra med avseende på effektivitet vid öppning och stängning av skyddet.



Figur 23: Skydd med öron

Dellösningen “skydd med gängor” 3D-skrevs ut för testning, se figur 24. Locket kunde inte skruvas hela vägen på grund av skräp från utskriften som inte gick att ta bort. En ny prototyp skrevs därför ut och fungerade som tänkt.



Figur 24: Skydd med gängor

Dellösningen “klickfunktion” 3D-skrevs ut och det observerades direkt två problem med funktionen. Trots noggrann modellering i Catia V5 så hade ena armen fastnat i skalets vägg under utskrift och gick därmed inte att använda som tänkt. När stödmaterialet avlägsnades så gick även en del av armen av, se figur 25.



Figur 25: Bild på en hel arm och knäckt arm

6.3 Diskussion av resultat

Efter testerna av hörnreflektorer sållades hörnreflektorn av stål bort på grund av att den var för tung. Den triangulära hörnreflektorn sållades bort på grund av att den hade en dålig reflektion. Den spraymålade hörnreflektorn hade en för ojämn yta och sållades då också bort. Prototypen för skydd med klickfunktion visade sig vara väldigt skör och därför inget bra alternativ i en miljö som i en gruva där den kan komma att ta emot en del stötar.

Klickfunktionen är även ett sämre alternativ på grund av att den över tid kommer att slitas ut snabbare än till exempel skyddet med gängor. Det baseras på att armarna kommer böjas flera gånger dagligen vilket till slut kommer leda till brott. Av de anledningarna sållas skydd med klickfunktion bort.

Problemet med hörnreflektorn med aluminiumfolie är att limmet för att fästa aluminiumfolien inte är speciellt starkt. Det starkare limmet på marknaden som testades gav en ojämn yta och var svårt att hantera och därmed sållades även det alternativet bort.

Skydd med öron tar längre tid att stänga/öppna än vad skydd med gängor gör, och att skydd med gängor försluter tätare än skydd med öron. Att skyddet håller tätt är viktigt för att de inre delarna av anordningen ska hållas så skyddade som möjligt för att inte skadas av yttre faktorer som till exempel fukt. Därför sållades skydd med öron bort.

Kvar är alltså skydd med gängor samt kvadratisk hörnreflektor av aluminium i olika storlekar.

Tabell 2: Resultat från testning

Test av:					
Hörnreflektor	Av stål	Av aluminium	Aluminiumfolie	Spraymålad	Triangulär
Skydd	Med gängor	Med öron	Klickfunktion		

Tabell 2 visar resultatet av testerna. De rödmarkerade dellösningarna sällades bort efter testerna, medan de gröna är de kvarvarande dellösningarna.

6.4 Morfologisk matris efter testning

Efter att ha utvärderat resultaten av testerna så skapades en ny morfologisk matris för att illustrera de kvarvarande dellösningarna.

Tabell 3: Morfologisk matris

Delfunktion	Dellösning	Dellösning
Aktivera/deaktivera anordning	Strömbrytare	
Modifiera radiovågor	Roterande reflektor	Del som rör sig runt reflektorn
Reflektera radiovågor	Kvadratisk hörnreflektor	
Öppna/stäng skydd	Bajonettfattning	Gängor

Från tabell 3 sällades därefter dellösningar bort som inte ansågs uppfylla kriterierna för projektet. Dellösning "Del som rör sig runt reflektorn" eliminerades eftersom den inte uppfyller kravet att ta emot radiovågor från olika håll.

Även bajonettfattningen sällades bort efter analys av dellösningens ingående delar. Den har en mer komplicerad funktion att få till med tillkommande delar som exempelvis en fjäder.

Efter den slutgiltiga sällningen återstod den resulterande lösningen som består av en strömbrytare, roterande kvadratisk hörnreflektor och ett skal med gängor.

7. Beräkning av motor

Som tidigare nämnt så behövs en motor för att rotera hörnreflektorn.

Projektet kommer inte att omfatta exakta beräkningar av en motor. Genomförandet är övergripande och enklare beräkningar som presenteras nedan. Motorn kommer att användas för att rotera hörnreflektorn så att man kan modifiera radiovågorna. Företaget Radchat har som krav att produkten skall fungera i fyra till åtta timmar för att den ska hålla ett helt arbetspass, alternativt halva arbetsskiftet.

Testet av motorn innebar att jämföra prestandan genom att montera hörnreflektorn på motorn och mäta effekten, samt mäta motorns effekt utan hörnreflektorn. Under testerna hölls spänningen konstant för att sedan mäta strömmen och beräkna den effekt som krävdes för att rotera hörnreflektorn. Varvfrekvensen var konstant i alla tester.

Med en konstant spänning på 7,31 volt kunde strömmen avläsas med en multimeter, vilket gjorde det möjligt att beräkna effekten. Skillnaden i effekt med och utan hörnreflektorn motsvarar den effekt som krävs för att rotera hörnreflektorn

Strömmen som uppmättes för en trefasmotor med hörnreflektor var 2,33 A, vilket gav en effekt på 17,03 watt. I tomgång uppmättes strömmen till 0,91 A och effekten till 6,65 watt. Den effekt som krävs för att driva hörnreflektorns rotation är alltså 10,38 watt.

Testresultaten indikerar att det uppstod kraftiga vibrationer under rotationen, vilket orsakade betydande effektförluster. För att minimera dessa vibrationer och effektförluster behövde projektgruppen balansera hörnreflektorn. En likströmsmotor var ett bättre alternativ eftersom varvfrekvensen och effekten är lägre. Det är också svårare att reglera varvtalfrekvens hos en trefasmotor.

8. Stabilisering av hörnreflektorn

CAD-beräkningar möjliggjorde stabilisering av hörnreflektorn.

För att minimera vibrationer och effektförluster placerades motorn längs en av hörnreflektorns huvudtröghetsaxlar och balanserades statiskt [5]. För att säkerställa att beräkningen är korrekt genomfördes ytterligare tester med samma trefasmotor för att sedan jämföra effektförluster med den stabiliserade hörnreflektorn.



Figur 26: Stabiliserad hörnreflektor

Tabell 4: Ström vid tomgång

Varvfrekvens [rad/s]	Ström [A]
647,22	0,39
1022,90	0,62
1210,02	0,75
1354,94	0,85
1474,53	0,94

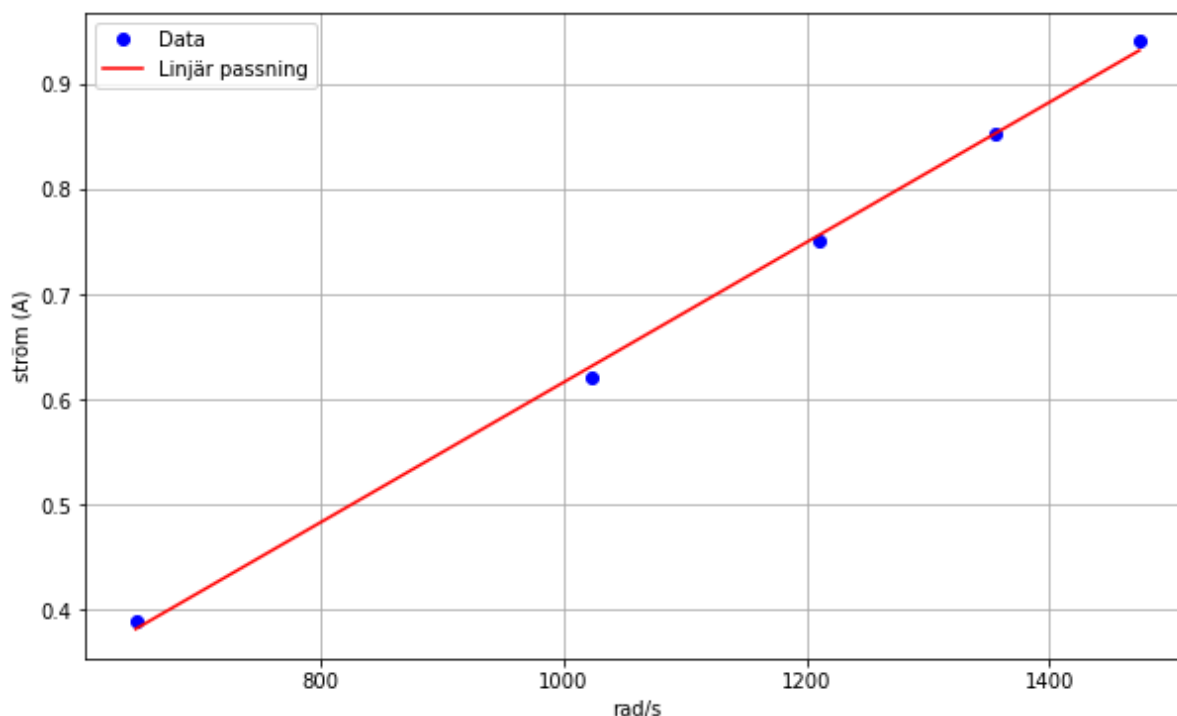
Tabell 4 visar motorns varvfrekvens och ström i tomgång. Spänningen uppmättes till 7,3V och var konstant under testet.

Tabell 5: Ström med hörnreflektor

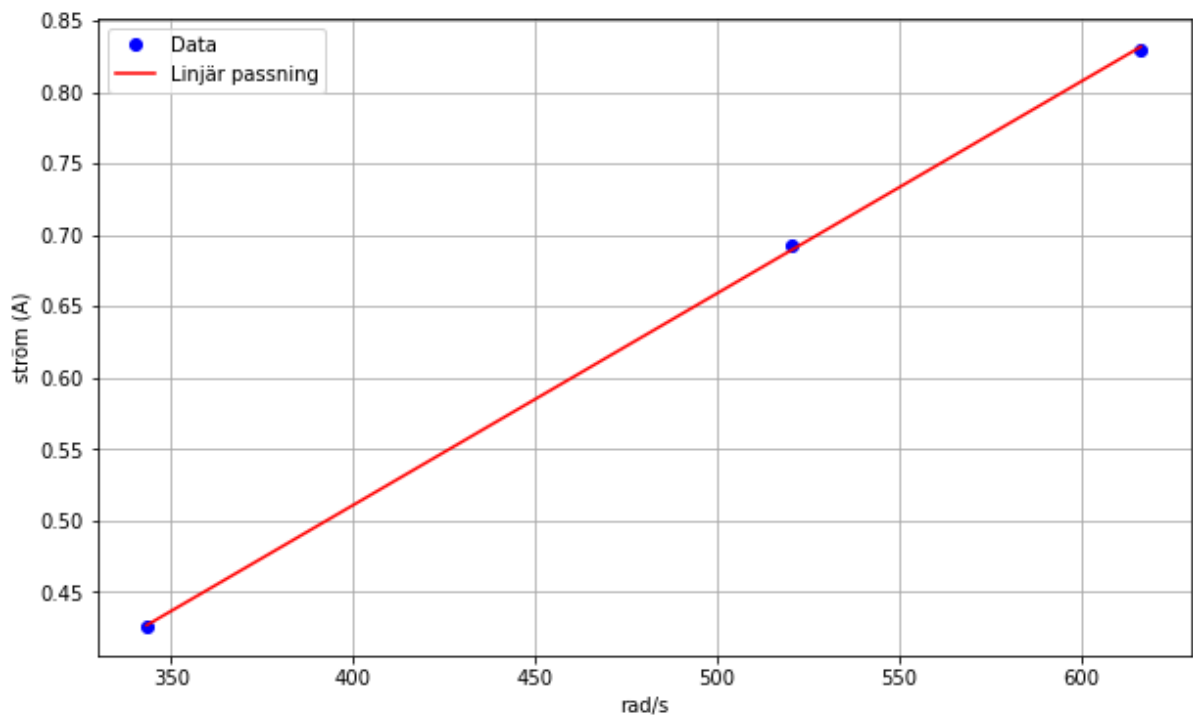
Varvfrekvens [rad/s]	Ström [A]
343,30	0,426
520,60	0,692
616,30	0,83

Tabell 5 visar motorns varvfrekvens och ström med hörnreflektorn monterad på motorn. Här var spänningen konstant under genomförandet. Resultatet visar en stor förbättring där vibrationerna och effektförlusterna minimerades till acceptabla nivåer. Av den anledningen ansågs det att dynamisk stabilisering inte behövde genomföras.

Genom dessa värden kunde projektgruppen approximera strömmen för högre och lägre varvfrekvenser och importera resultaten till Python. Då sambandet visade sig vara linjärt, möjliggjorde detta en linjär anpassning som användes för att beräkna strömmen vid olika varvfrekvenser.



Figur 27: Ström som funktion av varvfrekvens vid tomgång



Figur 28: Ström som funktion av varvfrekvens med hörnreflektor

9. Material

För att radiovågorna ska kunna ta sig igenom skyddet på anordningen så krävs det att materialet har en låg dielektrisk konstant.

Eftersom anordningen skulle vara så lätt som möjligt, samt att många plaster har en låg dielektrisk konstant och att anordningen ska klara av fuktiga miljöer utan att rosta, så var plast ett tänkbart material. Många plaster är även billiga och lätta att forma.

PC/PTFE, PP och FEP var de mest aktuella plasterna. Efter samtal med professorn i konstruktionsmaterial, Antal Boldizar, så visade det sig att FEP har relativt goda förutsättningar för problemfri 3D-skrivning, till skillnad från till exempel PC/PTFE som kan vara svår att använda i 3D-skrivare.

10. Resultat

Våra tester resulterade i ett slutgiltigt koncept som kan utföras i två varianter, en handhållen och en väggburen anordning. Båda består av skydd med gängor gjorda av FEP, en likströmsmotor med batteri samt en hörnreflektor av aluminium. Varianterna skiljer sig åt genom att de har olika fästen, samt att den väggburna kommer kunna vara större än den handhållna. Ju större hörnreflektor desto bättre reflektion. Det kan även vara möjligt att dra el-kablar till den väggburna istället för att använda batterier som behöver bytas/laddas.

11. Fortsatt arbete

Den här anordningen kan vidareutvecklas på olika sätt. Man kan undersöka hur skalet påverkar radiosignalerna. Därefter kan man göra tester på den slutgiltiga prototypen vid det avstånd på 10 meter som anges i frågeställningen, för att avgöra om den fungerar tillräckligt bra.

För att beräkna vilken motor och vilket batteri som krävs för konceptet måste varvfrekvensspannet fastställas, så att radarn kan särskilja personer och maskiner. Hörnreflektorn kan balanseras dynamiskt för att ytterligare minska vibrationerna.

Referenser

1: Burghofer, K . (2023) *Vad betyder RFID.*

<https://www.evify.se/elbilsordlista/rfid/>

2: Swedberg, C . (2009) *RFID Is Golden to Nevada Mine.*

<https://www.rfidjournal.com/rfid-is-golden-to-nevada-mine>

3: Hexagon AB (2024). *HxGN MineProtect Personal Alert.*

<https://hexagon.com/products/hxgn-mineprotect-personal-alert>

4: Hexagon AB (2024). *HxGN MineProtect Collision Avoidance System.*

<https://hexagon.com/products/hxgn-mineprotect-collision-avoidance-system>

5: Maskinelement (Mägi m.fl. , 2017)

Bilagor

Patent

Patent 1:

Guogang, Y., Shouqing, Z., Haibin, C., Kun, L., Jun, H. (2014). *Corner reflector* (CN103630879A).

<https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/050212130/publication/CN103630879A?q=pn%3DCN103630879A>

Patent 2:

Chen, S., Liu, H. (2023). *INSAR corner reflector* (CN219201921U).

<https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/086713508/publication/CN219201921U?q=pn%3DCN219201921U>

Patent 3:

Xin, J., Haibo, C., Dejun, L., Xiaofeng, L. (2020). *Trihedral corner reflector* (CN210572723U).

<https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/070636044/publication/CN210572723U?q=pn%3DCN210572723U>

Patent 4:

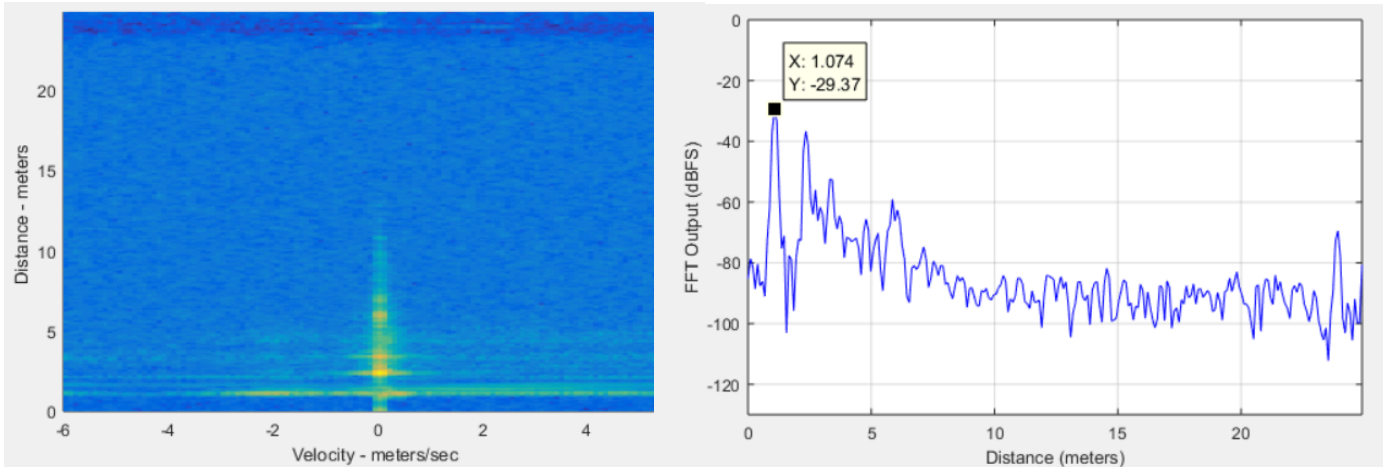
Peng, L., Guoyang, W., Zhenhong, L., Houjie, W., Shenglong, L. (2021). *inSar corner reflector* (CN212569109U).

<https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/074624356/publication/CN212569109U?q=pn%3DCN212569109U>

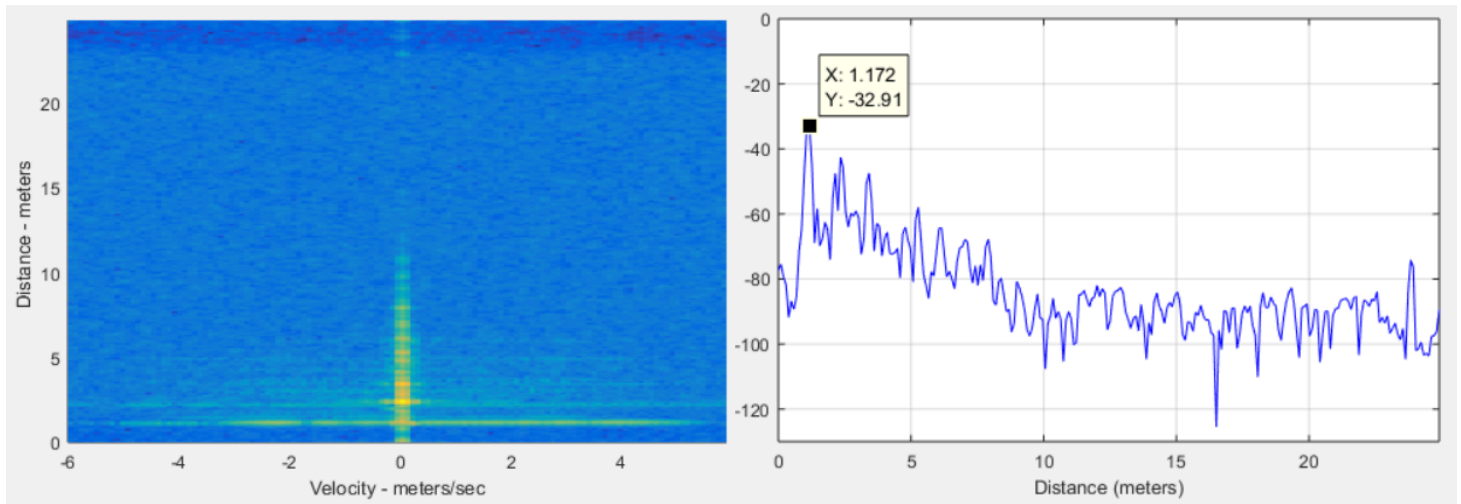
Patent 5:

Dmitrievich, T. (1998). *Prismatic corner reflector* (RU2101739C1).

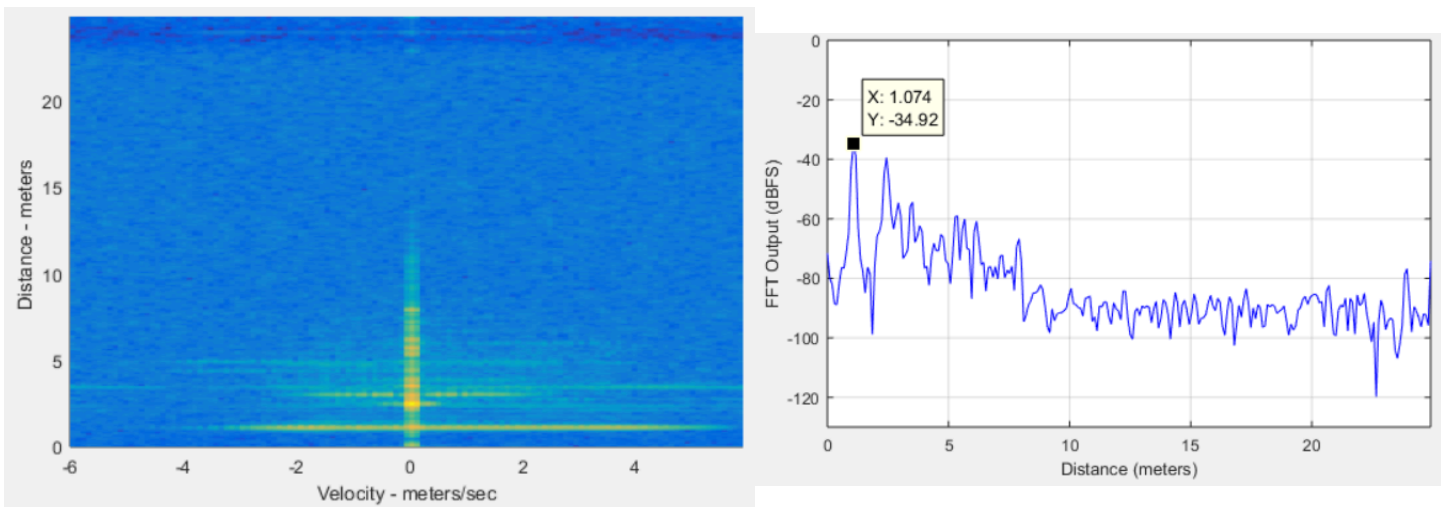
<https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/021565146/publication/RU2101739C1?q=pn%3DRU2101739C1>



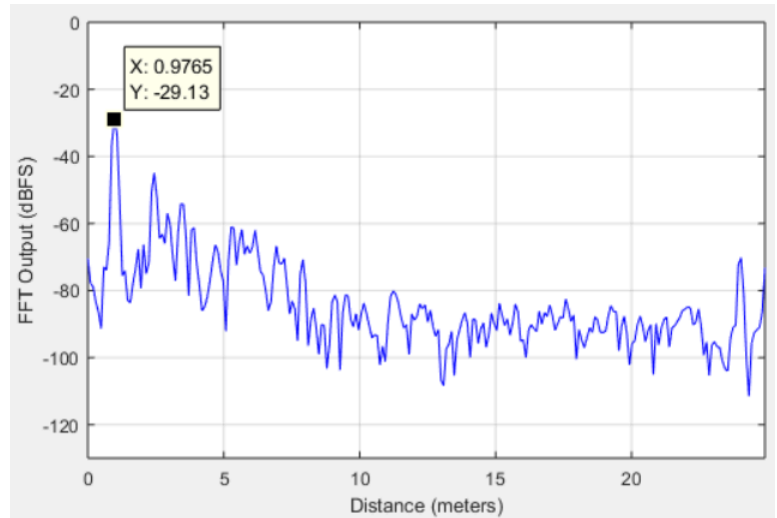
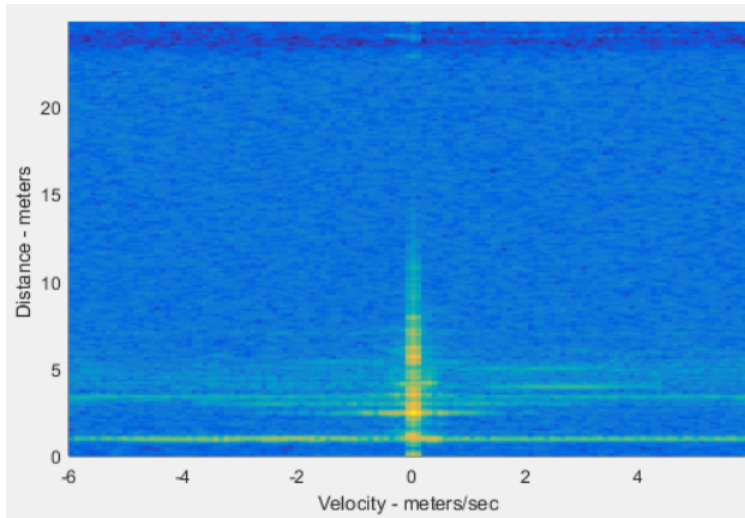
Bilaga 1: Reflektionen för hörnreflektor av stål



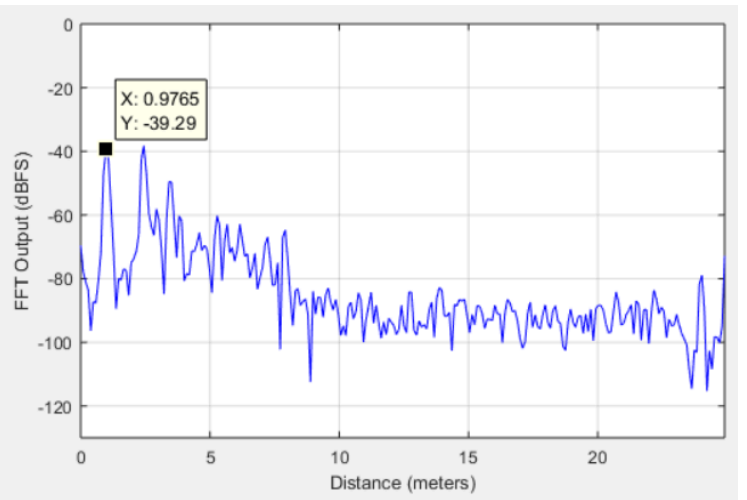
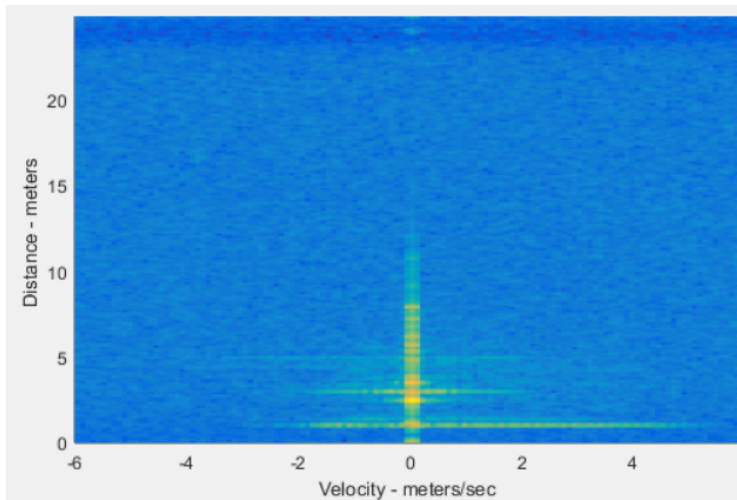
Bilaga 2: Reflektionen för 3D-utskrivnen hörnreflektor med aluminiumfolie



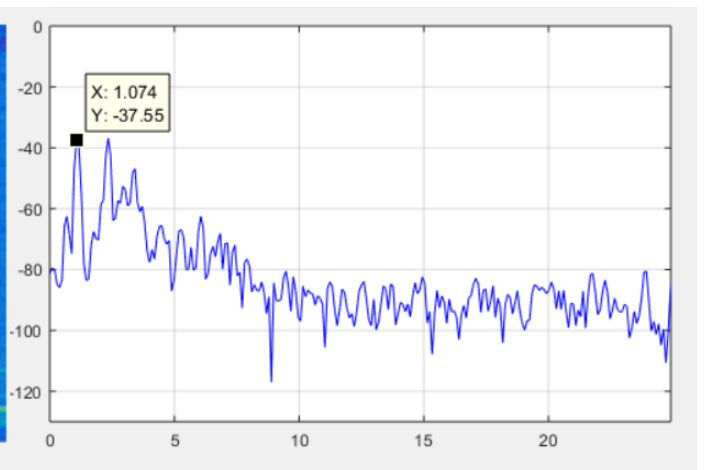
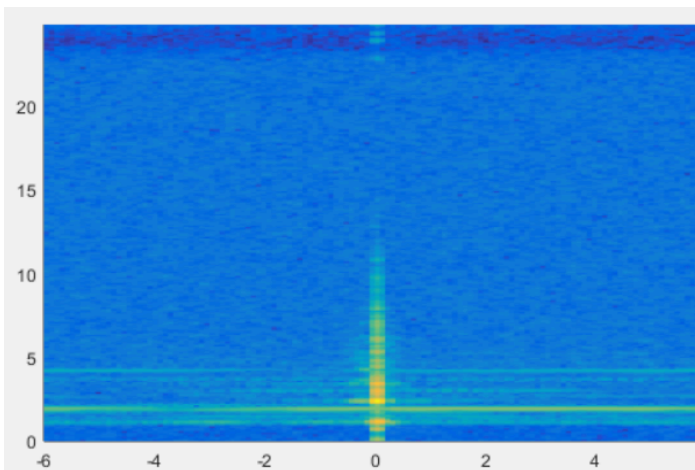
Bilaga 3: Reflektionen för hörnreflektorn av aluminium 40x40 [mm]



Bilaga 4: Reflektionen för hörnreflektorn av aluminium 60x60 [mm]



Bilaga 5: Reflektionen för triangulär hörnreflektor



Bilaga 6: Reflektionen för sprayfärgad 3D-utskriven hörnreflektor



CHALMERS