

# **Mikrovågssimulering med fotonmappning**

**En analys av fotonmappningens användbarhet  
för simulering av mikrovågsspridning**

**Björn Karlsson**

## **Mikrovågssimulering med fotonmappning**

Examensrapport inlämnad av Björn Karlsson till Högskolan i Skövde, för Kandidatexamen (B.Sc.) vid Institutionen för kommunikation och information. Arbetet har handletts av Peter Sjöberg.

**2010-06-11**

Härmed intygas att allt material i denna rapport, vilket inte är mitt eget, har blivit tydligt identifierat och att inget material är inkluderat som tidigare använts för erhållande av annan examen.

Signerat: \_\_\_\_\_

# Mikrovågssimulering med fotonmappning

**Björn Karlsson**

**Handledare: Peter Sjöberg**

Student-email: a07bjoka@student.his.se

## Sammanfattning

Arbetet är ett samarbete med företaget Gisip AB. Företaget sysslar med värmesystem med fokus på mikrovågsteknik. De vill ha ett verktyg för att kunna simulera sin verksamhet och tillverkning. Detta arbete syftar till att utvärdera användbarheten av ljussättningstekniken fotonmappning som grund för att simulera mikrovågor. För att skala ned systemet valdes spridningen av mikrovågor som fokus för arbetet.

En applikation implementerades som genererar texturer för att visa spridningen av systemet. Dessa texturer visar var fotonerna från systemet har studsat mot väggarna i en simulerad metallåda med en mikrovågsgivare, magnetron, ansluten i en av metallådans sidor. Vidare genereras även antalet skärningar med ett antal sfärer som är utplacerade i lådan för att representera flaskor med vatten som användes vid analysen av ett liknade verkligt system.

Resultatet tyder på att fotonmappning är en bra teknik att jobba vidare med men det är väldigt mycket jobb att få ett komplett fungerande verktyg.

**Nyckelord:** Mikrovågor, Fotonmappning, Simulering

# Innehållsförteckning

<b>1</b>	<b>Introduktion .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Bakgrund.....</b>	<b>2</b>
2.1	Gisip AB.....	2
2.2	Mikrovågor.....	2
2.3	Fotonmappning.....	4
2.4	Ljussättningsteknik för att simulera vågrörelser.....	5
<b>3</b>	<b>Problemformulering.....</b>	<b>6</b>
3.1	Simulation .....	6
3.2	Fotonmappning.....	6
3.2.1	Modifiering.....	6
3.2.2	Texturgenerering.....	6
3.3	Metodbeskrivning.....	6
3.3.1	Plattform .....	6
3.3.2	Implementering.....	7
3.3.3	Analys.....	7
<b>4</b>	<b>Genomförande .....</b>	<b>8</b>
4.1	Det producerade systemet.....	8
4.1.1	Produkt.....	8
4.1.2	Process .....	10
4.2	Genomförda mätningar.....	13
4.2.1	Mätning av de fyra nedre hörnen .....	14
4.2.2	Mätning av tre centerpunkter .....	15
4.2.3	Mätning av tre motsatta punkter .....	15
4.2.4	Mätning av tre motsatta högt upphöjda punkter.....	16
4.3	Analys av mätningar.....	17
4.3.1	Analys av de fyra nedre hörnen .....	17
4.3.2	Analys av tre centerpunkter .....	18
4.3.3	Analys av tre motsatta punkter.....	18
4.3.4	Analys av tre motsatta högt upphöjda punkter.....	18
<b>5</b>	<b>Slutsatser .....</b>	<b>20</b>
5.1	Resultatsammanfattning .....	20
5.2	Diskussion .....	20
5.2.1	Problem.....	20
5.2.2	Användbarhet.....	21
5.3	Framtida arbete.....	22
5.3.1	Utveckling av teknik.....	22
5.3.2	Utveckling av verktyg.....	22
	Författarens tack .....	23
	<b>Referenser.....</b>	<b>24</b>

# 1 Introduktion

Detta examensarbete är ett samarbete med företaget Gisip AB som utvecklar system för torkning och värmning för en mängd olika industrier. Dessa system använder ofta en kombination av mikrovågsgivare, magnetroner, och luftbehandling.

Företaget ville ha hjälp med att få fram en simuleringsmiljö för deras system som använder mikrovågstekniker för att kunna visa upp dess funktion för kunder samt användas för att modellera och testa system för att få ned produktionskostnaden då alla prototyper idag görs i fysisk form.

Då arbetet att skapa ett simuleringsverktyg är för omfattande för ett examensarbete kapades simuleringen ned till att vara en analys av en möjlig teknik för att simulera mikrovågorna i systemet. Tekniken skulle kunna komma användas i en senare mjukvara.

Tekniken som skall analyseras är ljussättningstekniken fotonmappning. I denna teknik låter man partiklar, fotoner, emitteras från ljuskällan och kollidera med världen. Vid kollision uppkommer olika fall av reflektion, refraktion och absorption och resultatet av kollisionen sparas i en datamängd kallad fotonmapp. I fotonmappen lagras data från fotonernas kollisioner och den energipåverkan de medför i världen för att sedan användas när scenen skall renderas. Informationen från fotonerna agerar som små lokala ljuskällor för den punkt som skall renderas.

I applikationen kommer fotonmappningen modifieras så att den anpassas för mikrovågornas egenskaper och uppgiftens omfång. Resultat skall bli en mängd texturer, bilder, som skapas via en algoritm som läser in fotonmappens data från applikationen. Dessa texturer skall sedan användas för att texturera en låda i en uppvisningsmiljö för att visa upp spridningen av mikrovågorna i en 3D miljö.

Simulationen kommer analyseras mot verklig data som Gisip AB får fram från en testmiljö bestående av en mindre metalllåda med en mikrovågsgivare inkopplad. Gisip har även en annan elev, Simon Haggren, som gör examensarbete hos dem. Tillsammans med Simon kommer vissa moment utföras, speciellt mätningar på Gisip vidare kan vi komma att diskutera varandras resultat.

## 2 Bakgrund

Gisip AB är ett företag som utvecklar produkter för torkning och värmning inom industrin. Ofta rör det sig om större, 10-15 meter långa, ugnar med inbyggda rullband, där allt ifrån blåbär till trä torkas.

Mikrovågor är elektromagnetisk strålning utanför det synliga spektrumet och arbetar på en våglängd från några millimeter till några meter. I vardagen återfinns mikrovågor i till exempel trådlösa system och i mikrovågsugnar (Schmitz & Wenig, 2006, Alonso & Finn, 1992).

Fotonmappning är en ljussättningsteknik som utvecklades under 1993-1994 (Jensen & Christensen, 1994) och den första rapporten på tekniken kom i slutet av perioden. Tekniken bygger på idén av äldre ray tracing algoritmer men använder ljuskällan som utgångspunkt istället för kameran. Vid ljuskällan emitteras partiklar istället för strålar och deras kollision med scenen sparas i en så kallad fotonmapp.

Att använda ljussättningstekniker för att modellera och simulera mikrovågor har använts för att beskriva räckvidden av trådlösa nätverk (Schmitz & Wenig, 2006, Schmitz & Kobbelt, 2006). Man använde i detta fall en modifierad version av fotonmappning.

### 2.1 Gisip AB

Gisip AB är ett företag baserat i Skultorp, söder om Skövde. Företaget utvecklar lösningar för torkning och värmning inom industrin. Produkterna som tillverkas bygger ofta på en kombination av mikrovågstekniker och luftbehandling. Dessa lösningar används för att torka en stor mängd olika produkter världen över.

I mikrovågstorkarna används så kallade magnetroner, vilka är elementen som avger mikrovågor. Magnetronerna sprider ofta mikrovågor i systemet genom att använda perforerade plåtar framför elementet och själva elementet är placerade och vinklade i ett mönster för att få bra spridning och verkan i torkutrymmet. Torkarna har ofta på grund av detta en diskret mångsidig form.

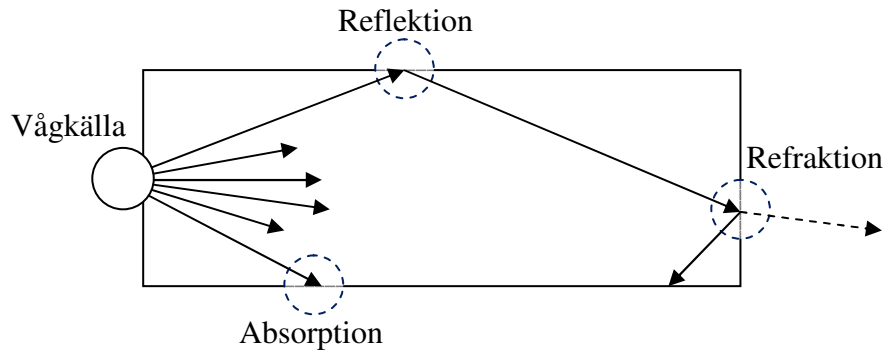
När man bygger dessa system bestående av många magnetroner blir det komplicerat att räkna ut vad systemet kommer ge för effekt. Då Gisip i nuläget saknar simulationsverktyg för detta byggs i dagsläget prototyper i olika skalor vilket både är dyrt och tidskrävande.

### 2.2 Mikrovågor

Många ämnen påverkas nästan inte alls av mikrovågor utan passerar ofta igenom ämnet utan problem eller effekt (Alonso & Finn, 1992). Dock så påverkar mikrovågor vatten och det utnyttjas i mikrovågsugnar. Vågorna passerar till exempel genom plast- och glasbehållare men värmer upp den vattenhaltiga maten som den innehåller.

Mikrovågorna driver alltså ut vattnet ur maten genom att vågornas energi övergår i värme vid kollisionen med vattenmolekylerna. Den uppvärmda maten kommer alltså innehålla mindre vatten än innan uppvärmningen.

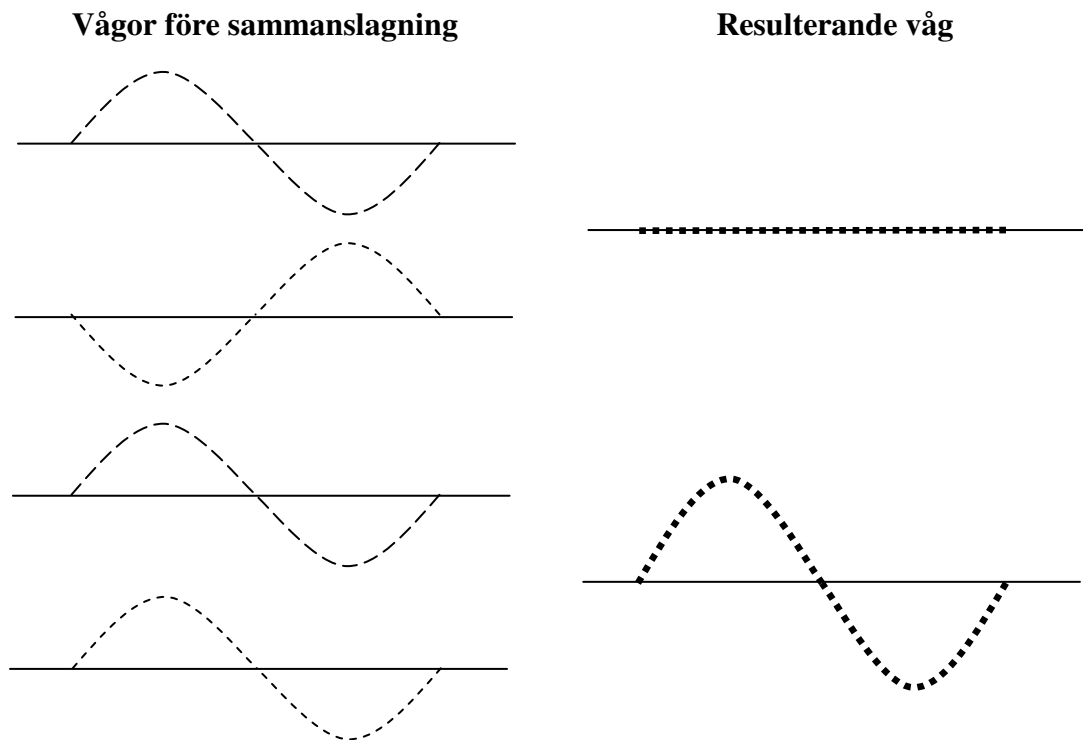
När vågorna kolliderar med objekt kan en rad olika utfall ske. I figur 1 visas några av de olika utfall som kan ske vid kollision och vågorna är representerade av pilar för att förenkla bilden.



**Figur 1 – Reflektion, Absorption & Refraktion**

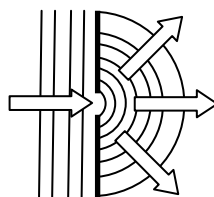
- **Reflektion:** Reflektion är när den inkommande vågen reflekteras, studsar, från kollisionssytan. Infallsvinkeln och utfallsvinkeln är lika stora vid reflektion. När hela vågen reflekteras sker så kallad totalreflektion.
- **Absorption:** Absorption sker när materialet som vågen kolliderar med tar upp energi av vågen. Energin övergår då i en ny form, oftast värme. Vågen kan avge delar av sin energi och reflekteras vidare eller absorberas helt.
- **Refraktion:** Refraktion är när en del av vågen bryts mot materialet och fortsätter igenom det med en ny vinkel. En del av vågen kan reflekteras och en del kan refrakteras som i figur 1.

Med mikrovågor måste man också beräkna dess effekt på varandra, så kallad interferens. Denna effekt kan ge kalla punkter vid skärningspunkterna av vågor på grund av att vågorna tar ut varandra (figur 2). På samma sätt kan vågorna förstärka varandra om båda vågornas amplitud är positiva. (Alonso & Finn, 1992)



**Figur 2 – Interferens**

När vågorna träffar objekt med öppningar eller springor uppkommer diffraktion (figur 3). På andra sidan öppningen kommer vågorna att fortsätta i en annan vinkel än sin inkommande från andra sidan. Diffraktion kan även ske runt hörn vilket ger effekten av att vågen böjer sig runt hörnet.



**Figur 3 – Diffraktion**

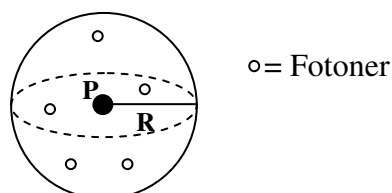
### 2.3 Fotonmappning

Fotonmappning togs upp som en teknik av Henrik Wann Jensen och Niels Jorgen Christensen (1994) i uppsatsen *Photon Maps in Bidirectional Monte Carlo Ray Tracing of Complex Objects*. Tekniken är en utveckling av ray tracing och bygger på de fysiska partiklarna av ljus, fotoner. Man utgår från ljuskällan och skickar ut en mängd av dessa partiklar i slumpmässiga riktningar inom ljuskällans spridning. Dessa partiklar interagerar med omgivningen genom reflektion, refraktion och absorption. Tekniken använder en tvåpass-struktur där första passet skapar en fotonmapp och andra passet renderar scenen med hjälp av data från mappen.

I första passet emitteras fotonerna ut och när fotonen kolliderar mot ett objekt kollas typen av ytan som kollisionen sker emot. De typer man använder är spekulära- och diffusa-ytor, där de spekulära ytorna reflekterar fotonen skalad med reflektionsindexet av ytan (Yu, Lowther & Shene, 2005). Den diffusa ytan kan reflektera och/eller absorbera fotonen och denna kollision lagras i fotonmappen.

Fotonmappen är en datamängd som ofta realiserar i en trädstruktur av kd-typ (Yu, Lowther & Shene, 2005). I mängden lagras anslagspunkten för fotonen, dvs x, y och z koordinaterna av kollisionen. Vidare lagras även annan viktig information som till exempel fotonens anslagsriktning och färgintensiteten.

I andra passet renderar man scenen utifrån den ljussättningsdata som finns i fotonmappen. Man kastar då strålar, rays, från kameran som går ut i scenen. När en stråle träffar en punkt P hämtas data från fotonmappen (figur 4). Sedan hämtas data från alla fotoner som ligger inom en sfär med centrum i P och radien R. Datan analyseras sedan och ger en sammanlagd ljussättning för punkten P. Detta upprepas tills scenen är färdigrenderad (Yu, Lowther & Shene, 2005 & Jensen, Jarosz & Donner, 2008).



**Figur 4 – Ljusberäkning vid fotonmappning**



## 2.4 Ljussättningsteknik för att simulera vågrörelser

Att simulera vågrörelser med ljus är en approximation som tas upp inom fysiken (Alonso & Finn, 1992) och har används för att ge en approximerad bild av spridningen av trådlösa nätverk som använder sig av mikrovågor (Schmitz & Wenig, 2006 & Schmitz & Kobbelt, 2006).

I fallet för trådlösa nätverk som presenteras av Schmitz och Wenig (2006) och Schmitz och Kobbelt (2006) använde man en modifierad version av tekniken fotonmappning, som de har döpt till Photon Path Mapping. Denna teknik tar även med fotonens spridning i beräkningen och får då en volym av fotonmappningen som beskriver fotonernas utbredning som sedan kan översättas i det trådlösa nätets räckvidd.

Denna modell av fotonmappning togs fram då befintliga modeller ansågs undermåliga och komplexa (Schmitz & Kobbelt, 2006). Fotonmappningen jämfördes med empiriska och deterministiska modeller där en empirisk modell var väldigt bra för simulering i urban miljö på grund av beräkningen av multipel diffraktion mot hustak. Men den empiriska modellen saknade modellering av reflektion vilket gjorde den olämplig för inomhus miljöer. De deterministiska modellerna baseras på ray tracing algoritmer för att beräkna vågornas väg och många av dem fungerar ganska bra. Dock är de ofta väldigt komplexa och ofta skapade för antingen utom- eller inomhus miljö.

Fotonmappningsalgoritmen som togs fram är mindre komplex samt är flexibel nog att klara både utom- eller inomhus miljöer, delvis på grund av stödet för reflektion.

## **3 Problemformulering**

Problemet är att analysera och modifiera ljussättningstekniken fotonmappning för att simulera spridningen av mikrovågor från en magnetron i ett stängt system i formen av en metallåda.

### **3.1 Simulation**

Hela arbetet skall mynna ut i en simulationsapplikation som beskriver spridningen av mikrovågor i ett stängt system. Simulationen syftar till att modellera det verkliga resultatet så nära som möjligt utan att gå in på allt för avancerade teorier och formler inom mikrovågsbeteende.

Fotonmappningen är bra teknik att utgå från då den ger en mer komplex och detaljerad ljussättning än vanlig ray tracing och har redan används för mikrovågssimulering med gott resultat (Schmitz & Wenig, 2006 & Schmitz & Kobbelt, 2006).

Simulationen skall också hållas tillräckligt okomplicerad så att en normal standard PC kan köra programmet inom en rimlig tid.

### **3.2 Fotonmappning**

Till systemet skall en modifierad och troligtvis förenklad version av fotonmappning implementeras. Olika lösningar av fotonmappning måste studeras och troligtvis implementeras för att sedan stegvis ändras och förenklas för att passa mikrovågor.

#### **3.2.1 Modifiering**

Vid implementeringen av fotonmappen kommer ändringar av systemet att behöva göras för att passa mikrovågor. En förenkling är till exempel att det bara kommer behöva köras ett pass mot det normal med två pass (Jensen, Jarosz & Donner, 2008). Det andra passet i fotonmappning används för att globalt ljussätta scenen men är i detta fall inte intressant då det endast är kollisionspunkterna från fotonerna som är intressanta och algoritmen skall inte rendera en scen.

#### **3.2.2 Texturgenerering**

För att generera ett resultat av fotonmappningen kommer en algoritm för att generera texturer användas. Denna algoritm skapar ett antal texturer, en för varje sida i metallådan, över mängden kollisionspunkter i fotonmappen. Dessa texturer skall sedan användas för att texturera en låda i en uppvisningsmiljö vilket ger en visuell representation av mikrovågsspridningen i lådan.

## **3.3 Metodbeskrivning**

### **3.3.1 Plattform**

Körningen av den implementerade applikationen skall ske på en normal standard PC.

Systemet testas primärt på en laptop enligt specifikationen:

Operativsystem: Windows 7 Professional 64-bit

Processor: Intel Mobile Core 2 Duo P8600, 2.40 GHz, 2 kärnor, 3MB Cache

Grafikkort: ATI Radeon Mobility 4570, 512 MB

Minne: 4 GB DDR2-RAM, 400 MHz

### **3.3.2 Implementering**

Systemet kommer byggas stegvis där ett uppvisningssystem för texturerna och texturgenerering kommer först. Delar av detta kan lösas utanför huvudsystemet och kommer inte vara direkt kopplat till analysen av fotonmappning.

Fotonmappningen kommer implementeras stegvis där ett första system endast är till för ljussättning, för att sedan gradvis utvecklas och anpassas mer mot mikrovågor. Systemet kommer också under hela implementeringen förenklas och optimeras där det finns utrymme respektive är nödvändigt. Detta för att snabba systemet utan att göra resultatet sämre då det är ett verkligt resultat som är viktigast.

### **3.3.3 Analys**

Analysen av applikationen kommer ske likt analysen av fotonmappningen av trådlösa nätverk (Schmitz & Kobbelt, 2006). Resultatet presenterades i en grafisk representation i form av en färgbild där färgen speglade intensiteten i signalstyrkan i nätet. Den genererade datan jämfördes med verklig data över samma miljö och man kunde på så sätt påvisa likheter och avvikelser dem emellan.

Under analysen kommer systemet att genomföras mot en verklig testkörning av ett liknande system utfört av företagskontakten Gisip AB.

Med en analys mot detta verkliga test får man en bra indikation om det simulerade systemet ger ett verkligt resultat eller i möjligaste mån en bra approximation av verkligheten. Detta kommer ske genom att de placerar vattenbehållare i en metallåda med en magnetron och kör sedan systemet för att till sist mäta temperaturökningen i vattnet. Från temperaturökningen kan man få ut effekten vid behållarens position vilket sedan kan jämföras med resultatet av simulationen.

Dessa mätningar kommer, som tidigare nämnt, ske i samarbete med Simon Haggren som också gör ett examensarbete för Gisip AB.

För att få en bättre grund att jämföra med än bara texturernas spridningsbild, kommer enkla flaskor implementeras i programmet och placeras ut i miljön och sedan kolla hur många gånger dessa beskärs vid körning.

## 4 Genomförande

Vid genomförandet skapades ett system baserat på teorierna om fotonmappning. I korthet skapar systemet sex stycken texturer, en för varje insida av en simulerad metallåda, som utgör världen. Texturerna visar spridningen av mikrovågor i systemet i en svartvit skala där svart är en okolliderad yta och kritvitt är den yta där fotonerna kolliderat som mest. De genererade texturerna visas sedan upp i en visningsapplikation baserad på OpenGL.

### 4.1 Det producerade systemet

Under arbetet producerades ett simulationssystem, en texturgenerator, och en enkel visningsapplikation. I visningsapplikationen fanns möjligheten att visa färdiga bilder istället för att generera dem i realtid, vilket är den funktionalitet som används för visningen av detta arbete.

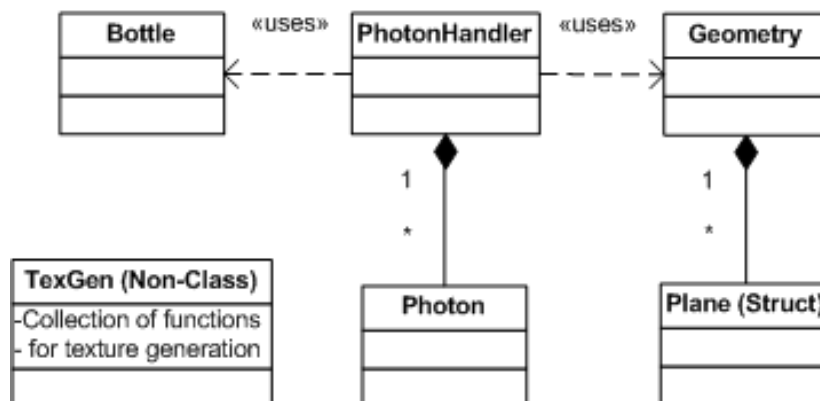
Den förstnämnda applikationen är den som utgör själva produkten och är som nämnt en texturgenerator. Applikationen arbetar utan grafik och ger feedback i kommandokonsolen under programmets exekvering.

Vidare representerar sex stycken plan, vilka bildar formen av en kub, den verkliga testmiljöns metallåda och varje plan bildar en textur efter exekvering. Magnetronen, mikrovågsemittern, representeras av en punkt i centrum i en av sidorna likt det verkliga systemet.

De texturer som genereras har ett färgvärde mellan svart och vit. Vit betyder att antalet kollisioner i den punkten är lika med eller större än precisionsvärdet, ett gränsvärde, vilket ligger på 255 som standard. Med fler fotoner och mer energi i fotonerna kan man öka precisionsvärdet för att behålla en balanserad bild av spridningen. Är precisionsvärdet för högt visas endast de kollisionspunkterna med väldigt många träffar och är det lågt blir större delen av texturen helvit.

Systemet kan också generera laborations resultat. Med detta menas att applikationen under körning även kontrollerar beskärning mot ett antal sfärer, från klassen *Bottle*, och ger tillbaka resultatet av antalet skärningar per sfär som resultat. Dessa värden kommer användas för jämföring med det verkliga systemets vattenfyllda flaskor under analysen.

#### 4.1.1 Produkt



Figur 5 – Klassdiagram

Ovan (figur 5) syns de ingående klasserna i det producerade systemet. Huvudsystemet består av komponenterna *PhotonHandler*, *Photon*, *Bottle*, *Geometry*, strukten *Plane*, *TexGen* samt *Main*. Till systemet användes också en representation av en tredimensionell vektor för lagring av punkter, riktningar samt för uträkningar.

- *PhotonHandler*

Är komponenten i systemet som hanterar fotonerna, vilka den lagrar i en lista. Komponenterna hanterar även fotonmappen, vilken består av fotonernas kollisionpunkter i lådan. Kollisionerna beräknas i komponenten *Geometry* och resultatet skickas tillbaka till *PhotonHandler* för lagring i fotonmappen.

Komponenten tar emot parametrar för hur många fotoner som skall emitteras och hur mycket energi de har vardera. Emitteringen startas därefter med ett funktionskall. I systemet är emittern, magnetronen, centrerad till en punkt mitt i ett av planen i lådan. Efter emitteringen startas en uppdateringsloop där alla fotoner varje uppdatering utför en kollision och får en ny riktning med reflektion. Vid varje kollision förlorar fotonen energi och loopen slutar då alla fotoner har slut på energi.

Efter emitteringen och uppdateringen är klar kan man hämta ut fotonmappen och skicka den vidare till funktionerna för texturgenerering. Sist så kallas en funktion för att deallokerar fotonerna.

- *Photon*

Denna komponent representerar själva fotonen i systemet. Den består av en nuvarande position, en riktning och en mängd energi. Vid skapandet av fotonen så får den dessa värden av *PhotonHandler*. När fotonen kolliderar med kubens väggar minskas energin och kollisionpunkten lagras. Energin kan liknas vid fotonens hälsa och när den når noll dör fotonen ut.

- *Geometry*

Representerar det verkliga testsystemets metalllåda och består av sex stycken plan, vilka representeras av strukten *Plane*, som tillsammans bildar en kub med origo i centrum. Komponenterna håller även funktionerna för kollisionshantering vilket i detta fall är mer frågan om att skärningshantering, det vill säga räkna ut vart kollisionen inträffar, skär planet, och inte om kollisionen sker. Genomgång av hur skärningen fungerar beskrivs vidare i *4.1.2 Process, Planskärning & Reflektion*.

- *Plane*

Är en strukt som representerar en sida i den simulerade metalllådan. Sidan representeras av ett plan som består av en referenspunkt, normalen för planet samt fyra stycken gränsvärden som representerar sidans hörn. Storleken på sidorna av planen är fyra gånger mikrovågens våglängd, vilket ger en sida av 48.96 cm.

- *Bottle*

Klassen representerar de flaskor med vatten som skall användas vid analysen av det verkliga systemet. Klassen tar emot en position och en radie, vilket bildar en sfär. Vidare kollar klassen om fotoner skär denna sfär och lagrar antalet beskärningar, vilka sedan kan komma åt och användas vid analysen.

- *TexGen*

Består av en samling funktioner för att läsa fotonmappen, generera färgvärden samt skapa själva texturfilen. Huvudfunktionen i komponenten tar fotonmappen och vilket plan som skall genereras till textur samt texturens filnamn som parameter. Efter detta följer funktionen som skalar kollisionsvärdena mellan svart och vitt beroende på den valda precisionen, som ställs via en funktionsparameter.

Precisionen är det värde som anger hur många kollisioner en punkt måste ha för att vara helt vit och skalar alla värden under efter detta max värde. Sist sparas TGA specifika inställningar tillsammans med rådatafältet för texturen till en TGA-bildfil.

- *Main*

Är huvudfunktionen som har en instans av *PhotonHandler* och *TexGen*. Funktionen tar fem stycken parametrar: antal fotoner, energi per foton, texturens precisionsvärde, om spridningen använda en fast slumpföljd och om laborationsresultaten från flaskorna från *Bottle* skall genereras. Dessa parametrar fås som argument till själva applikationen vid exekvering. Om argumenten saknas körs applikationen med fördefinierade standardvärden.

#### 4.1.2 Process

För att få en bra överblick och god kunskap inom de olika problemen skapades ett antal mindre projekt med snävt avgränsade mål för att slutligen sammanfogas till den slutgiltiga applikationen. Denna process gjorde att arbetet snabbt kom igång och fokuset på att lösa mindre uppgifter gav större fokus på varje delsteg i applikationen. Dock tog sammanslagningen till en applikation lite extra tid än beräknat men det extra fokus man får är värt den tiden.

Då spridningen valdes som fokus i studien modifierades fotonmappning ganska lite överskådligt sett. Den stora skillnaden är att andra steget, renderingen, generera texturer av sidorna i metallådan istället för att ljussätta en 3D-miljö. Vidare så är första steget nedbantat då spridningen bara beror på reflektion i detta totalt reflekterande system. Själva fotonmappen är också bantad och lagrar bara kollisionspunkter jämfört mot att till exempel innehålla färgvärden etc.

De projekt som gjordes var *Texturgenerering*, *Planskärning & Reflektion*, *Bufferhantering* samt *Slutsystemet*.

- *Texturgenerering*

Detta delprojekt syftade till att få texturgenereringen att fungera med ett multidimensionellt fält. Formatet som valdes var TGA då det fanns algoritmer tillgänglig för modifiering samt att formatet går att spara från rådata utan att behöva komprimeras. Formatet användes alltså på grund av enkelhet och tillgänglighet.

Delprojektet började med ett enkeldimensionellt fält men ändrades mot slutet till ett flerdimensionellt då det skulle underlätta steget från fotonmapp, tre dimensioner, till textur, två dimensioner, skulle bli lättare. Tillslut valdes ett system med tre dimensioner, där de två yttre är för koordinaterna i texturen och den tredje dimensionen för de tre färgvärdena.

Genom att ha kvar RGB-skalan finns möjligheten att utöka till en större färgskala i applikationen.

- *Planskärning & Reflektion*

I detta delprojekt testades beräkningar för att hitta beskärningspunkten i ett plan samt beräkningen av den nya riktningen från reflektionen. Det system som valdes kollar stegvis igenom ett antal kriterier för att effektivisera.

Första kollen är om planet är parallellt med riktningen av fotonen, då de i så fall aldrig kommer träffa varandra och kan då börja beräkna mot ett annat plan istället. Vidare kontrolleras också att positionen av fotonen inte ligger i det plan som kontrolleras för beskärning.

Om alla kontroller går igenom, det vill säga riktningen av fotonen inte är parallell med planet för skärning samt att punkten för fotonen inte ligger i planet för skärning, beräknas längden till skärningspunkten med hjälp av planets normal, fotonens position och riktning, en arbiträr referenspunkt i planet samt längden till planet. Längden kollas så att dess absolutbelopp är större än noll och mindre eller lika med 70, då diagonalen i metallådan ligger strax under 70 cm.

Om denna koll går igenom beräknas sedan själva skärningspunkten ut och jämförs mot planets gränsvärden så att den ligger inom planet. Om detta lyckas så sparas resultatet i en lista.

Efter att alla plan har gått igenom, kollas denna lista igenom för att hitta den närmaste skärningen för fotonen. När den med kortast avstånd har hittats, flyttas fotonen till denna punkt och den nya riktningen från reflektionen beräknas med planets normal och den inkommande riktningen.

Nedan följer beräkningarna i de olika stegen:

1. Om skalärprodukten mellan normalen för planet och riktningen för fotonen är lika med noll är planet och riktningen parallellt och planet kommer inte beskäras.

$$\text{normalPlan} \cdot \text{riktningFoton} = 0 \Rightarrow \text{Parallell}$$

2. Om skalärprodukten mellan normalen för planet och skillnaden mellan positionen för fotonen och referenspunkten i planet ger positiva värden ligger fotonens position i planet för skärning.

$$\text{normalPlan} \cdot (\text{positionFoton} - \text{referensPunkt}) > 0 \Rightarrow \text{I planet}$$

3. Längden från fotonens position till planet kan räknas ut via uträkningen:

$$\frac{\text{normalPlan} \cdot (\text{referensPunkt} - \text{positionFoton})}{\text{normalPlan} \cdot (\text{positionFoton} - \text{referensPunkt}) - \text{positionFoton}} \\ = \text{Längd till skärningspunkt}$$

4. Punkten i planet fås genom att multiplicera längden från förra uträkningen med riktningen av fotonen och addera detta till positionen av fotonen.

$$\text{positionFoton} + \text{riktningFoton} * \text{längdTillSkärningspunkt} = \text{Skärningspunkt}$$

5. Reflektionen fås från normalen av planet man skall reflektera mot samt den inkommande riktningen.

$$\text{riktningFoton} - 2 * \text{normalPlanet} * (\text{riktningFoton} \cdot \text{normalPlan})$$

- *Bufferhantering*

Under testkörning av slutsystemet upptäcktes att systemet i sig är väldigt minneskrävande när antalet kollisioner som lagrats går över miljarder i kombination med högt antal fotoner. Problemet är inget fel men om man har en dator med liten mängd internminne stryper det precisionen av systemet.

För att komma runt skapades en komponent, *SwapStorage*, som buffrar undan kollisionerna till en fil på hårddisken. Denna komponent kombinerades med en lista som automatiskt buffrade när dess antal element gick över ett gränsvärde.

Buffertsystemet testades i iterationer med ökande komplexitet, först lagrades endast flyttal, floats, för att gå över till hela vektorer. Systemet fungerade bra för mindre mängder och integrationen med listan fungerade bra.

Dock fungerade inte systemet vid sammanslagningen med slutsystemet och för de stora mängderna data. Den icke-buffrade versionen prioriterades för att komma vidare med själva problemställningen. Buffert versionen blir färdigställd i mån av tid.

- *Slutsystemet*

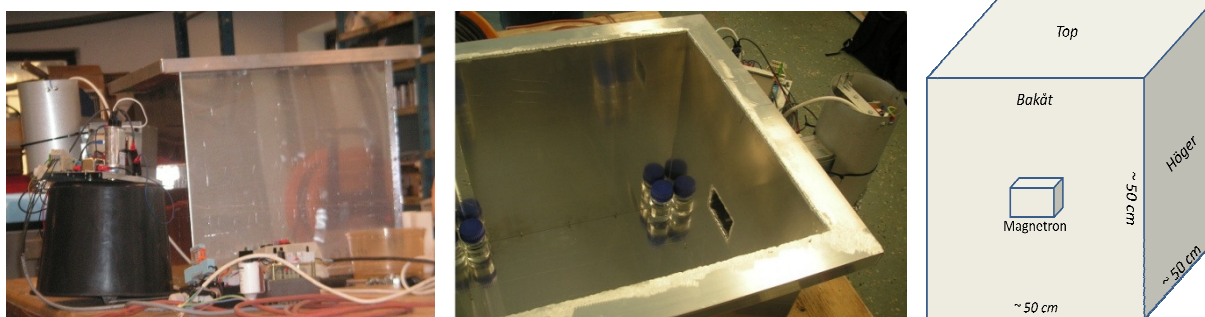
I det slutliga systemet lades delarna ihop och formade applikationen som beskrivs i *4.1.1 Produkt*. Bufferhanteringssystemet finns inte med i applikationen på grund av prioriteringar mot problemställningen.

De stora ändringarna av systemet har mest varit informationsrelaterade och handlat om vilken information som skall skrivas ut under exekveringen . Dock tillkom *Bottle* klassen senare under utveckling då den inte ingick i något av de mindre projekten.

Ett val som gjorde stor skillnad var att lägga ut argument i *Main*-funktionen. Detta gav ett smidigt gränssnitt för att ändra antalet fotoner, energi per foton, texturens precision om spridningen skall vara helt random eller ge samma värden vid vare körning samt om laborationsresultat för analysen skall genereras med hjälp av sfärerna från *Bottle*. Man kan nu skapa enkla bat-filer med fördefinierade körningar eller specificera själv i kommandokonsolen om man startar applikationen den vägen. Om man inte anger några värden körs applikationen med fördefinierade standardvärden.



## 4.2 Genomförda mätningar



**Figur 6 – Bilder av metalllådan, utanpå, inuti och schematisk**

Som nämnt tidigare har mätningar i en verklig miljö skapats bestående av en metalllåda med en magnetron kopplad i sidan av lådan och sprider strålarna med riktning mot den motsatta sidan (figur 6). Inuti lådan placerades små förslutna glasflaskor med vatten, på olika höjd med hjälp av plaststavar.

Mätningarna är indelade i laborationer där varje laboration motsvarar en specifik placering av flaskorna inuti lådan. Varje laboration består i sin tur av tre tester av systemet. Vid ett test kördes systemet i två minuter och sedan mätes temperaturen upp i vattnet för var och en av flaskorna som ingick i den nuvarande laborationen.

Alla laborationer upprepas alltså i tre tester utom en, laboration fyra, som gjordes två gånger. Detta på grund av att vattnet inuti flaskorna blev väldigt varmt och en av flaskorna kokade vilket bildade ett övertryck i flaskan. Detta övertryck gjorde det farligt att öppna den då trycket pressade ut kokande vatten ut ur flaskan tillsammans med varm ånga.

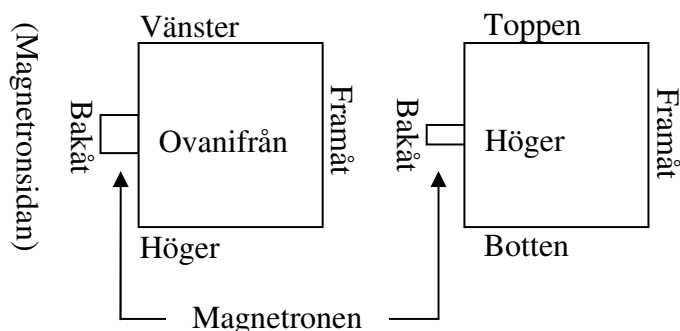
I alla laborationer användes 100 g +/- 1 g vatten i flaskorna. Denna mängd vatten täckte en volym av ungefärlig sfär till formen. Detta då flaskorna har en lätt rundad botten och en bit upp är avrundade mot halsen av flaskan (figur 7). Flaskan har på mitten en största diameter på 5 cm.



**Figur 7 – Bild av glasflaska och sfär**

I simulationen som implementerades placerades sfärer ut på samma platser som flaskorna i de verkliga laborationerna. Sfärernas placering och storlek eftersträvar alltså det som gjorts i verkligheten (figur 7). Att beräkna beskärning med en sfär var också betydligt enklare än andra mer komplexa former.

Simuleringen kördes två gånger med 180 000 fotoner med 100 energi vardera. Första gången är gjord med fast slumpföljd på spridningen och den andra är gjord med en variabel slumpföljd. På samma sätt kördes två simuleringar med 1,8 miljoner fotoner med tio energi vardera. Detta för att få data på många fotoner med lite energi jämfört med det omvända. I tabellerna (tabell 2,4,6 & 8) nedan benämns första fallet, få fotoner med mycket energi, med 1 och andra fallet, många fotoner med lite energi med 2. Varje upprepning av fallen ges en bokstav och i tabellerna finns då testen 1a, 1b, 2a och 2b.



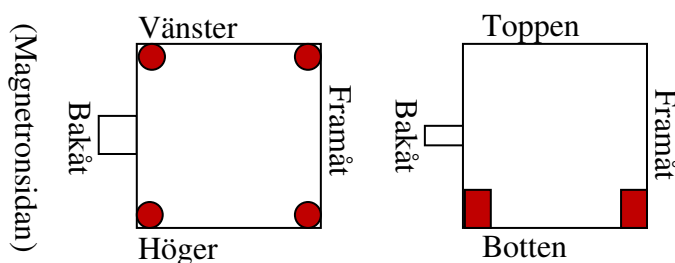
**Figur 8 – Beskrivning av flaskplacering**

För att beskriva placeringen av glasflaskorna visas en schematisk bild med en vy sedd rakt ovanifrån, inuti, metallådan och en från höger sida. Vidare benämns sidan som är motstående magnetronen framåt, den sida med magnetronen bakåt, höger är benämningen på den sida som är till höger om magnetronen, dvs till höger om baksidan, och vänster är till vänster om baksidan. Locket är benämnt toppen och botten är botten (figur 8).

Alla mätningarna presenteras i tabellform där temperatur ökningen och procent av den totala temperatur ökningen presenteras för varje flaska i det verkliga systemet. I simulationen mäts antalet beskärningar av sfärerna, hur många procent detta är av det totala antalet kollisioner i systemet samt hur många procent det är av summan av sfärernas skärningar som ingår i laborationen. Det tredje värde är alltså det som överensstämmer bäst med procentsatsen från det verkliga systemet.

#### 4.2.1 Mätning av de fyra nedre hörnen

I denna mätning sattes fyra stycken flaskor i vardera av de nedre hörnen (figur 9). I tabellerna nedan visas resultaten från laborationen och simulationen (tabell 1 & 2).



**Figur 9 – Placering av flaskor i lab 1, sett från ovan respektive höger**

Lab 1	Bakre Högra hörnet		Bakre Vänstra Hörnet		Främre Vänstra Hörnet		Främre Högra Hörnet	
	Ökning Temp	% Temp	Ökning Temp	% Temp	Ökning Temp	% Temp	Ökning Temp	% Temp
1	21	20,4	22,5	21,8	24	23,3	35,5	34,5
2	20	19,4	23,5	22,8	23	22,3	36,5	35,4
3	17,5	17,2	23	22,7	23	22,7	38	37,4

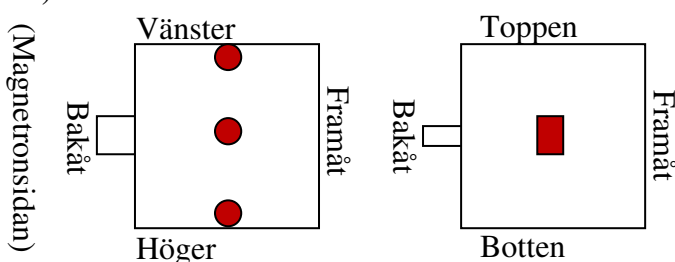
**Tabell 1 – Resultat från laboration 1**

Lab 1	Bakre Högra hörnet			Bakre Vänstra Hörnet			Främre Vänstra Hörnet			Främre Högra Hörnet		
	Skärningar	% i systemet	% av lab	Skärningar	% i systemet	% av lab	Skärningar	% i system	% av lab	Skärningar	% i systemet	% av lab
1a	52365	0,3	17,9	51763	0,3	17,7	91033	0,5	31,1	97963	0,5	33,4
1b	54172	0,3	18,6	51517	0,3	17,7	93042	0,5	32,0	91912	0,5	31,6
2a	38136	0,2	15,6	38170	0,2	15,6	83124	0,5	33,9	85522	0,5	34,9
2b	38250	0,2	15,6	38117	0,2	15,6	84343	0,5	34,4	84362	0,5	34,4

**Tabell 2 – Resultat från simulationen av laboration 1**

#### 4.2.2 Mätning av tre centerpunkter

I denna mätning placerades tre stycken flaskor mittemellan bak- och framsidan. En mot höger respektive vänster sida samt en i mitten. Alla flaskor höjdes upp till mitten av höjden i lådan (figur 10). Resultaten från laborationen och simulationen visas nedan (tabell 3 & 4)



**Figur 10 – Placering av flaskor i lab 2, sett från ovan respektive höger**

Lab 2	Höger		Mitten		Vänster	
	Ökning Temp	% Temp	Ökning Temp	% Temp	Ökning Temp	% Temp
1	33	27,0	56	45,9	33	27,0
2	34	25,4	61,5	45,9	38,5	28,7
3	32,5	24,2	57,5	42,8	44,5	33,1

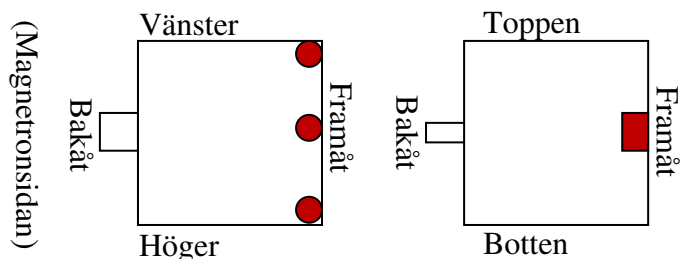
**Tabell 3 – Resultaten från laboration 2**

Lab 2	Höger			Mitten			Vänster		
	Skärningar	% i systemet	% av lab	Skärningar	% i systemet	% av lab	Skärningar	% i systemet	% av lab
1a	78995	0,4	16,0	335800	1,9	68,0	78792	0,4	16,0
1b	78666	0,4	15,8	345437	1,9	69,2	74860	0,4	15,0
2a	75667	0,4	14,7	363565	2,0	70,6	75534	0,4	14,7
2b	74836	0,4	14,6	364416	2,0	70,9	74978	0,4	14,6

**Tabell 4 – Simulationen av laboration 2**

#### 4.2.3 Mätning av tre motsatta punkter

Likt laboration två placeras tre stycken flaskor i mitten av höjden, en till höger, vänster samt mitten. Denna gång stå flaskorna dock mot framsidan, dvs mot motsatta sidan från magnetronen (figur 11). Resultaten från laborationen visas i två tabeller (tabell 5 & 6).



Figur 11 – Placering av flaskor i lab 3, sett från ovan respektive höger

Lab 3	Höger		Mitten		Vänster	
	Ökning Temp	% Temp	Ökning Temp	% Temp	Ökning Temp	% Temp
1	48	32,1	61	40,8	40,5	27,1
2	46	29,9	60	39,0	48	31,2
3	47,5	30,7	58	37,5	49	31,7

Tabell 5 – Resultaten från laboration 3

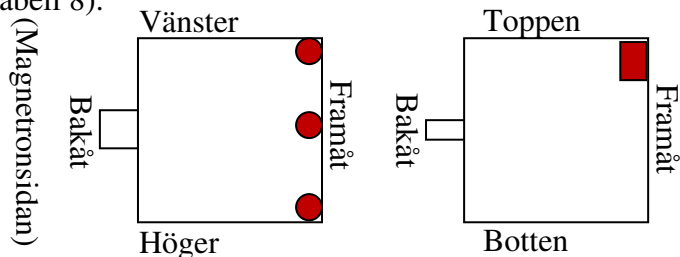
Lab 3	Höger			Mitten			Vänster		
	Skärningar	% i systemet	% av lab	Skärningar	% i systemet	% av lab	Skärningar	% i systemet	% av lab
1a	100160	0,6	22,5	245901	1,4	55,3	98216	0,5	22,1
1b	99573	0,6	22,3	248598	1,4	55,8	97681	0,5	21,9
2a	94329	0,5	20,1	279782	1,6	59,7	94203	0,5	20,1
2b	95858	0,5	20,3	281070	1,6	59,6	94438	0,5	20,0

Tabell 6 – Simulationsresultaten av laboration 3

#### 4.2.4 Mätning av tre motsatta högt upphöjda punkter

I denna mätning görs ovanstående laboration om, men med skillnaden att flaskorna nu står nästan precis under locket. I testet finns alltså tre stycken flaskor på höger, vänster sida samt mitten (figur 12).

Resultatet från de verkliga mätningarna visas nedan (tabell 7), som nämnt innan gjordes också bara två tester på denna laboration på grund av överhettningen. Värt att notera är att begynnelse temperaturen är ungefär åtta grader lägre i andra testet, dock kokade båda testerna. I tabellen under mätningsresultaten visas värdena från simulationen (tabell 8).



Figur 12 – Placering av flaskor i lab 4, sett från ovan respektive höger

Lab 4	Höger		Mitten		Vänster	
	Ökning Temp	% Temp	Ökning Temp	% Temp	Ökning Temp	% Temp
1	49	30,0	76	46,4	38,5	23,5
2	52	25,3	84,5	41,1	69	33,6

Tabell 7 – Resultat av laboration 4, endast 2 tester

Lab 4	Höger			Mitten			Vänster		
	Skärningar	% i	% av	Skärningar	% i	% av	Skärningar	% i	% av
		systemet	lab		systemet	lab		systemet	lab
1a	98043	0,5	32,0	108167	0,6	35,3	99852	0,6	32,6
1b	95434	0,5	31,9	107195	0,6	35,8	96622	0,5	32,3
2a	90141	0,5	30,7	111059	0,6	37,9	92179	0,5	31,4
2b	89271	0,5	30,4	111890	0,6	38,2	92015	0,5	31,4

**Tabell 8 – Värden från simulationen av laboration 4**

### 4.3 Analys av mätningar

Nedan följer slutsatser mellan de olika mätresultaten emellan med skillnader och likheter samt var det kan bero på. Gemensamt för alla analyser är att den verkliga testmiljön inte är precisionstillverkad och på grund av detta inte har helt uniforma mått och kan ha vissa skillnader, som till exempel att allt sidorna inte är lika långa och magnetronen sitter inte precis i centrum. Sedan är boxen nästan helt slät inuti likt simulering förutom att det i främre högra hörnet ligger en bit plåt omlott, detta då det gjorts lådans vertikala sidor av ett stycke plåt som har bockats. Fogen sitter alltså i detta hörn. Botten har också popnitats fast runt kanten i botten vilket gör att små nitar in i kuben.

Enligt Gisip skall dock nitarna inte påverka resultatet och skarven minimalt. Vidare sitter inte magnetronen helt i centrum på grund av sin infästning i sidan och igen, det är inte precisionsbyggt. Vidare får också magnetronen och dess spridare troligtvis en viss lutning uppåt på grund av dess tyngd. Detta innebär att spridningen borde vara lite starkare högre upp i lådan än längre ned. Dock hur mycket det påverkar systemet och spridningen är osäkert.

#### 4.3.1 Analys av de fyra nedre hörnen

I denna laboration kan man i det verkliga scenariot förvänta sig en något högre effekt i de flaskor som står vi framsidan, dvs mitt emot magnetronen. Detta är till viss del fallet då de högsta temperaturerna samt det högsta snittet finns vid denna sida. Dock så har den högra av de främre högre temperatur, ofta runt 10 grader och runt 10-12 procentenheter mer. Liknade blir det i bak där den vänstra är dominant dock inte med lika mycket, bara ett fåtal grader och några procentenheter.

Detta grundar sig i, som nämnt ovan, att systemet inte är helt symmetriskt och till viss del kan det ha funnits mindre skillnader i starttemperaturen. Dock är det ganska konstant att de två främre är varmast, dock är den främre vänstra och främre högra väldigt lika i temperatur.

I simulationen ser man ett liknande resultat som dock är mer uniformt och med påtagligt mer effekt i de främre jämfört med de bakre flaskorna. Det beror på skillnaderna i verklighet/simulation, dvs precisionen i vilket det utförs. Dock är fortfarande resultaten hyfsat lika och pekar grovt åt samma håll. Skillnaden mellan 100 energi och 10 syns också att den lägre energin ger mer resultat på de främre flaskorna. Detta beror på de färre reflektionerna som kan ta sig bakåt i lådan men också på grund av den större mängden fotoner, vilket gör att motstående sidan blir mer beskjuden.

### 4.3.2 Analys av tre centerpunkter

Under denna laboration förväntade man sig höga resultat, speciellt i mitten då dessa flaskor nu stod mer eller mindre mitt i spridningen av magnetronen. Och högre blev det, i alla fall en bit. Mitten var självklart den som fick mest effekt i laborationen med nästan hälften av all effekt i testet. I de första testen var höger och vänster ganska lika men i senare tester visade vänster en större ökning. Detta kan, igen bero på precisionen i apparaturen men har nog troligare mer med att det blivit en högre starttemperatur i någon av flaskorna på grund av tidigare tester. Flaskan värmer helt enkelt det nya vattnet. Troligt kan det var en kombination som skapar de divergerande värde. För att dra ner denna felkälla började flaskorna kylas till en liknande temperatur vid senare laborationer.

Simulation visar på likande resultat men med större effekt på flaskan i mitten och en väldigt jämn effekt spridning på höger och vänster. Skillnaden ligger som sagt i precisionen i systemet samt att simulationen inte tar hänsyn till refraktion mot vattnet. Sedan är beskärning och uppvärmning inte samma, dock påvisar båda att den i mitten blir varmest. Antalet fotoner och energi gjorde inte stor skillnad här och det beror främst på att de står i centrum av metallådan och spridningen.

### 4.3.3 Analys av tre motsatta punkter

I laboration tre flyttades laboration två fram till framsidan, dvs motstående sidan från magnetronen. Resultatet var likt det föregående resultatet som kom fram i laboration två men med lite mer effekt, främst i vänster och höger flaskorna. Mitten var ganska likt föregående värden med lite mer stabila och mindre skillnad. Att det är så här jämnt är inte så konstigt med tanke på att spridningen når alla flaskor på detta avstånd, med visst fokus på den i mitten. En del av den extra effekt som kommer märks i mitten flaskan kan också komma från reflekterade vågor från höger och vänster sidan i boxen och inte direkt strålning från mikrovågen.

Testerna i simulationen visar upp likande värden med jämna höger och vänster och en högre effekt i mitten samt en något högre effekt än tidigare laboration. Likt tidigare beror skillnaderna i effekt mellan simulationen och verkligheten dels på precision för systemen men också att simulationen inte emitterar kontinuerligt med mikrovågor samt att de inte absorberas av vattnet i simulationen. Mängden energi och fotoner gjorde viss skillnad, med större effekt i mitten och sänkte de yttre vid många fotoner och låg energi. Detta beror ju på den högre mängd fotoner som emitteras mot motstående sidan.

### 4.3.4 Analys av tre motsatta högt upphöjda punkter

Denna laboration var det som gav stört effekt av alla tester i det verkliga systemet. I laboration gjordes laboration tre om fast flaskorna ställdes uppe vid locket, nästan så att flaskorna tog i toppen av lådan. Under körning blev det väldigt stor temperatur ökning i alla flaskor men extremt i den mittersta. Under båda två körningarna kokade vattnet i mitten flaskan och vid mätning låg den i båda fall vid 98 grader. På grund av övertrycket som blev i flaskan då det kokade blev det bara två test då det ansågs farligt, då trycket pressade ut det kokande vattnet när flaskan öppnades och sprejade det i sin omgivning.

Att det blev så högt tryck här är troligt på grund av att magnetronen kan ha haft en viss lutning bakåt på grund av sin tyngd och spridningen blev då troligen riktad något uppåt. Det kan också bero på reflektioner på grund av lådans form och mått.

Simuleringen hade betydligt mindre spektakulära resultat med en mer jämn fördelning över alla tre flaskor med något mer effekt i den mittersta. Detta stämmer bra överens med övriga resultat från simulationen med en spridning riktad mot mitten på motstående sidan. Resultaten för höger respektive vänster flaska är likande med resultatet från laborationen ett, de nedre hörnen. Detta tyder på en uniform spridning mot den motstående sidan. Mängden fotoner och energi gjorde bara en liten skillnad med något svagt starkare i mitten och lite svagare vid sidorna, dock fortfarande uniformt.

Skillnaden mot det verkliga systemet blir alltså precisionen, att det verkliga systemets mått och spridnings riktning inte riktigt går att simulera då många små skillnader antagligen ger olika resultat. Detta gäller nog främst magnetronens placering och dess spridningsriktning.

## 5 Slutsatser

### 5.1 Resultatsammanfattning

Under projektet har studier kring mikrovågor och fotonmappning utförts för att få en grund till implementeringen. Under implementering skapades en applikation för att generera texturer som representerade mikrovågornas spridning och utbredning i systemet. Systemet genererar även skärningsdata från ett antal sfärer som beskärs vid olika positioner för att skapa data att jämföra med verkliga laborationer. Analysen gav att simulationen och verkligheten ger en hyfsad lika bild, dock finns det skillnader i uppbyggnad av systemen där det verkliga systemet inte har lika hög precision i konstruktionen samt simulationen bara redovisar spridningen av mikrovågorna.

### 5.2 Diskussion

#### 5.2.1 Problem

Som redan nämnt finns det skillnader mellan simulation och det verkliga testsystemet. Det som omnämns ofta i analysen är skillnader i måttprecision, den verkliga lådan är inte gjord med större precision och även med hög precision är det svårt att matcha den precision som finns i simulationen. Vidare beräknar simulationen endast spridningen och inte energi och värme i den verkliga benämningen.

Trots den ganska begränsade simulationen och precisionsskillnader kommer de båda varandra väldigt nära ändå och det verkar vara mest magnetronens spridningsriktning som avgör hur resultatet blir. Måtten på lådan verkar vara mindre avgörande i detta sammanhang och företaget, Gisip, har vid tillfällen nämnt att avstånd inom inte är så känsligt med viss marginal, till exempel +/- 10 mm.

En annan skillnad är även att systemet har en rektangulär spridare jämfört med punkt spridaren i simulationen. Dock verkar detta inte skilja sig mycket åt utan båda ger en liknande spridning på 120 grader vilket även Gisip har sagt.

Vidare verkar ett högre fotonantal med mindre energi ge mer lika resultat än tvärt om. Detta beror på att det bättre simulerar en kontinuerlig emittering som sker i det verkliga systemet. Just denna aspekt kunde man kunnat titta närmare på och räknat på energi mängden som tillförs till metallådan under de två minuterna emitteringen sker. Detta skulle kanske kunna göra simulationen ännu bättre, dock finns det problem i att försöka ta reda på en vågs del av den totala energin och hur stor den är. Om man tog hänsyn till energin och absorption mer skulle det nog vara en intressant väg att gå.

Under utveckling av denna fanns även problem med minnesallokeringen vilket satte begränsningar på programmet, då internminnet tog slut vid riktigt stora körningar. Att byta ut nuvarande datastrukturer mot mer minnessnåla strukturer, till exempel en enkel länkad lista, hade varit en lösning. Detta då random access inte är aktuellt, utan endast sekventiell läsning, i nuläget. En länkad lista kräver inte sammanhängande minnesblock vilket skulle underlätta lagringen.

Dock skulle det vara intressant att fortsätta utvecklingen av en datastruktur som lagras i fil på hårddisken då mängden internminne varierar kraftigt. Om sedan tekniken utvecklas mer kommer även minnesmängden växa, vilket kommer göra hårddisklagringen mer och mer attraktivt. Detta är nog den mest hållbara förbättringen av systemet för dess användnings område.



Systemet som nämnt simulerar spridningen vilket var målet med arbetet för att testa fotonmappningstekniken. Dock medför detta att den utvecklade applikationen gjordes med fokus på att testa tekniken och utveckla testerna av den. Därför valdes det enkla gränssnittet av kommandokonsolen samt parametrar. Det var en enkel miljö att växa i och utveckla testet vidare. Detta medför dock att användbarheten drogs ned då gränssnittet inte är lika användarvänligt som ett grafiskt. Men valet att göra det enklare i denna aspekt gjorde att fokuset hölls kvar vid testet av tekniken. Att utveckla gränssnitt kan lätt ta allt för mycket fokus. En annan anledning till att gränssnitt inte prioriterats är att applikationen antagligen behöver vidareutvecklas för att kunna ge resultat som går att använda i produktion.

I efterhand skulle också ett större fokus på energiöverföringen i flaskornas vatten vara mer intressant. Dock upptäcktes detta inte direkt samt att spridningen var målet med arbetet. Vidare är även spridningen det första steget att utveckla, men prioriteringen skulle kunna lagts mer på energin än att kartlägga spridningen. Dock är det svårt att uppskatta tiden att studera värmeöverföring och att få till rätt antal fotoner med rätt mängd energi för att simulera den tillförda energin i det verkliga testsystemet.

### **5.2.2 Användbarhet**

Då det finns likheter i ljus och mikrovågor antogs försöket med denna teknik då den bygger på just ljus. Analysen påvisar att tekniken fungerar bra och gav ett intressant resultat med jämn spridning inom den 120 gradiga riktningen. Vidare fungerar tekniken bra med att lagra data i fotonen viktig för omgivning och analys. I denna simulation rörde det sig endast om riktning, position och energi, antal studsar. Det kan dock expanderas när modellen skall öka sitt omfång och precision.

Att tekniken påvisas som bra och att den går att utveckla visades även i arbetet av Schmitz och Kobbelt (2006) med deras fotonmappningsversion kallad Photon Path Mapping. Tekniken hade här utvecklas mer mot mikrovågor och diffraktion var en del som prioriterats.

Vidare fungerade även fotonmappen bra, vilket i denna simulation bara lagrade reflektionspunkterna. Även detta kan utvecklas och hålla mer information om kollisionen, till exempel material, värmeöverföring etc.

Tekniken fungerade bra för ändamålet även om tekniken skurits ned för simulationen då mycket var överflödigt vid spridningsberäkningen. Tekniken visar också tendenser på stor potential att utvecklas mer och mer mot mikrovågor för större precision i beräkningarna.

Även om exekveringstiden inte var ett krav så är det värt att nämna att systemet inte är snabbt, definitivt inte ämnat för realtidsapplikationer. Tiden för en standardkörning, 180000 fotoner med 100 energi vardera, tar runt minuten att exekvera. Skall man på detta generera laborations värden, dvs de värden som användes vid analysen, tar det med en gång några extra minuter. Detta då 13 stycken sfärer skall kollas för beskärning med fotonens riktning.

Simon Haggren, den andra eleven hos Gisip, genomförde en liknande simulering fast med krav på realtid med ray tracing. Hans resultat visar på en mer homogen spridning i metallådan där hans fyra nedre hörn har nästan lika fördelning av skärningar. Detta beror troligtvis på spridningen. En annan stor skillnad är det lägre antalet strålar som systemet har för att klara realtidskravet. Simons system har alltså en lägre precision än den simulation som jag producerat och då tiden för mitt system endast är några minuter kan man argumentera att den extra tiden är värt det om man ser till

användnings området. Tanken är ju att tekniken skall hjälpa företaget att producera mindre prototyper i fysisk form och då är just precisionen viktig.

## **5.3 Framtida arbete**

### **5.3.1 Utveckling av teknik**

Som nämnt tror jag att fotonmappning är en bra teknik att bygga vidare på för att simulera mikrovågor. Det finns stort utrymme att modifiera strukturen och datan som lagras hos både fotoner och fotonmappen. Till exempel skulle start och reflektionspunkt båda lagras från föregående reflektion för att sedan kolla med linje-linje beskärning om interferens uppstår och räkna på hur energi fördelning ser ut inuti 3D volymen.

Denna volym skulle kunna byggas upp av en mängd små kuber inuti den stora lådan och varje liten kub representerar effekten i denna delvolym. Ju större antal delkuber man har ju större precision får man på volymen men det ökar komplexiteten och exekveringstiden.

Det negativa med tekniken är att den inte är allt för snabb. Den går att effektivisera mer med bättre lagringsstrukturer och möjligtvis välja andra formler. Tekniken blir inte snabbare när man lägger in mer data att beräkna. Dock handlar det fortfarande om minuter och det är ändå inte mycket för generera data av den här mängden.

Summan är att tekniken känns lovande och har stor potential att utvecklas vidare med större fokus mot mikrovågor.

### **5.3.2 Utveckling av verktyg**

Företagets, Gisips, originalidé var att skapa ett verktyg för att simulera mikrovågsemittering i deras produkter. Då detta var ett allt för stort projekt för detta kandidatarbete valdes som tidigare nämnt att fokusera på att utvärdera denna teknik genom att kolla på spridningen.

Ett verktyg skulle kunna skapas i till exempel WinForms från .NET eller annan enkelt gränssnitt för att skapa fönsterapplikationer. Sedan behövdes fotonmappningen utvecklas mer enligt ovan. Vidare hade också fotonmappningen behövt integrera med mer komplexa modeller. En bra lösning hade varit att använda redan befintliga CAD modeller över torkarna och ugnarna.

En utveckling skulle kunna delas in i tre större projekt, GUI, fotonmappning och CAD-modellshanteringen. GUI't kan som sagt utvecklas i .NET miljön för att det dels är enkelt men har stöd för många olika bra visningsverktyg som till exempel grafer. DirectX applikationer kan även visas upp inuti programmet för att kunna upp visa CAD-modellerna. Fotonmappningen skulle kunna fortsätta utvecklas i C++ och bilda ett bibliotek för att ta in CAD-modeller som in data. Att hantera CAD-modellerna för verktyget kan bli svårt beroende på hur filstrukturen ser ut och hur vida det är ett öppet filformat med dokumentation.

Verktyget kan mycket väl realiseras men det är ett stort projekt och det skulle även behövas större expertis inom mikrovågor och värmeöverföring för att göra det till en bra och effektiv simulering.

## **Författarens tack**

Tack till Gisip AB för jag fick utföra detta arbete i samarbete med dem.

Speciellt tack till Ulf Rudberg & Mikael Svensson för handledning kring testmiljön och informativa möten.

## Referenser

Rappaport, T (1996), *Wireless Communications – Principles & Practice*, Prentice Hall PTR

Alonso, M. & Finn E. J. (1992), *Physics*, Addison-Wesley

Jensen, H. W. & Christensen, N. J. (1994), *Photon Maps in Bidirectional Monte Carlo Ray Tracing of Complex Objects*, ACM

Jensen, H. W., Jarosz, W. & Donner, D. (2008), *Advanced global Illumination using photon mapping*, ACM

Schmitz, A. & Kobbelt, L. (2006), *Wave propagation using photon path map*, ACM

Schmitz, A. & Wenig, M. (2006), *The effect of the radio wave propagation model in mobile ad hoc networks*, ACM

Yu, T-T., Lowther, J. & Shene, C-K. (2005), *Photon Mapping Made Easy*, ACM