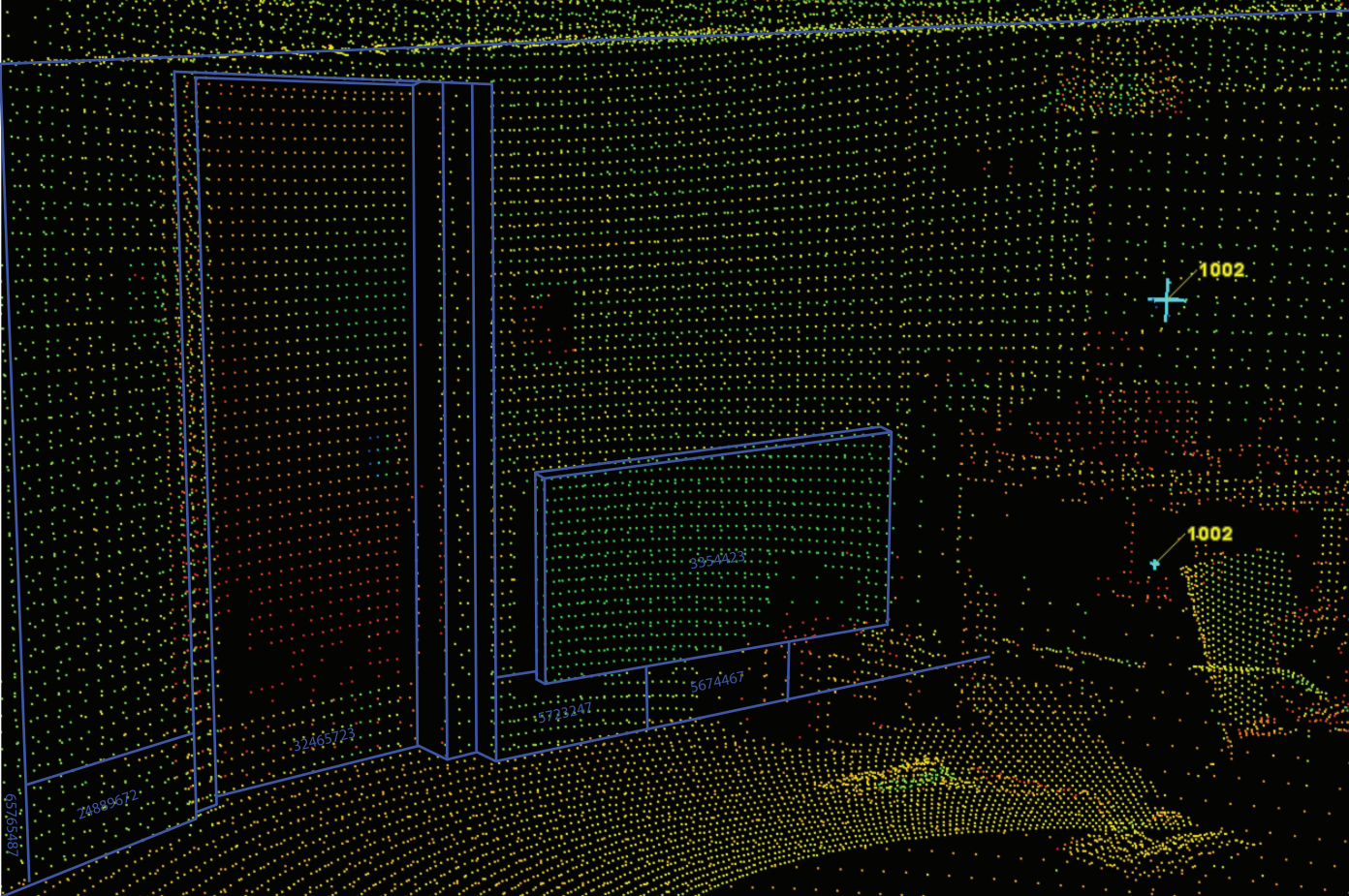


Automatisk Opdatering af BIM



Landinspektøruddannelsen, Measurement Science,
10. Semester, Afgangsprojekt, Aalborg Universitet

Aalborg Universitet

Institut for samfundsudvikling og planlægning
Landinspektøruddannelsens 10. semester
Fibigerstræde 11, 9220 Aalborg Ø

Titel: Automatisk Opdatering af BIM

Synopsis:

Dette afgangsprøveprojekt udspringer af en samtale med Neil Gyte fra ingeniørfirmaet WS Atkins & Partners Overseas i Dubai og behandler emnet automatisk opdatering af Bygnings Informations Modeller (BIM) ved hjælp af laserscanning og RFID tags. I projektet undersøges de to teknologier laserscanning og RFID tags, og der findes eksempler til, hvordan de kan benyttes til formålet.

Projektet beskæftiger sig hovedsagligt med opmålingsdelen af opdateringen. Der udføres et forsøg, der skal efterprøve om de teorier og metoder, som beskrives gennem projektet, kan anvendes til at løse problemformuleringen.

I projektet udarbejdes en metode, hvorved laserscanning og RFID tags kan anvendes til at kontrolmåle bygningselementer ved at sammenligne oplysningerne fra en bygnings information model med de observationer, der foretages med laserscanneren og RFID tags.

Periode: 2. februar – 10. juni 2009

Gruppe: L10MS-01

Anders Haugaard Thomsen

Martin Steenberg Hansen

Vejledere: Carsten Bech
Karsten Jensen

Oplagstal: 5
Sidetæl: 99
Bilag: 1 (DVD)
Afsluttet: 10. juni 2009

Aalborg University

Department of Community Development and Planning

Surveyor training 10th semester

Fibigerstræde 11, 9220 Aalborg Ø

Title: Automated Updating of BIM

Abstract:

This master thesis originates in a conversation with Neil Gyte from the engineering company WS Atkins & Partners Overseas, Dubai and concerns automatic updating of Building Information Models (BIM) by the means of laser scanning and RFID tags. In the project research into laser scanning and RFID tags is done, and examples of how they can be made useful to the purpose are given.

The thesis mainly focuses on the surveying part of the updating process. An experiment is made to examine if the theories and methods described through the project, can be used to solve the thesis statement.

In the project a method for using laser scanning and RFID tags for the control measurements of a building, by comparing the data from a building information model with the observations made with the laser scanner and RFID tags.

Period: February 2nd - June 10th 2009

Group: L10MS-01

Anders Haugaard Thomsen

Martin Steenberg Hansen

Supervisors: Carsten Bech
Karsten Jensen

Runs: 5
Pages: 99
Annex: 1 (DVD)
Completed: June 10th 2009

Forord

Dette afgangsprøjsjekt er et resultat af 10. semester på landinspektøruddannelsen ved Aalborg Universitet. Projektperioden strækker sig fra den 2. februar til den 10. juni 2009. Projektet er udfærdiget af Gruppe 1 på studiets specialeretning Measurement Science.

Kildehenvisninger i projektrapporten er angivet efter Harvard metoden således, at der i teksten er angivet forfatterens efternavn, udgivelsesår og sidetal, for eksempel [Eastman, 2008, s.87]. Den fulde kildehenvisning findes i kildelisten bagerst i rapporten. Hjemmesider er angivet med en forkortet udgave i teksten, mens det fulde link kan findes i kildelisten bagerst i rapporten. Der refereres til love og bekendtgørelser ved at skrive art, nummer samt paragraffen, der anvendes. Loven eller bekendtgørelsens fulde titel kan findes i kildelisten bagerst i rapporten.

Bilag til rapporten er vedlagt på den medfølgende bilags-DVD. Sidst i rapporten findes en mappeoversigt over bilags-DVD'en.

Rapporten henvender sig primært til personer med et vist kendskab til landmåling og de dertilhørende metoder.

I forbindelse med projektet har der været kontakt til erhvervs ph.d. studerende Kristian Birch Sørensen, som har været behjælpelig med oplysninger omkring RFID tags i byggeriet. Der rettes derfor en tak til ham. Desuden rettes en tak til studerende ved Byggeri og Anlæg, AAU, Sune Mejlsing Rasmussen og Jens Møller Vestergård for et godt samarbejde i projektets indledende faser.

1	Indledning	8
2	Projektopbygning	11
3	Definition af BIM.....	16
3.1	BuildingSMARTalliance.....	16
3.2	Tekla.....	16
3.3	Mortenson Construction	17
3.4	Opsamling på "Definition af BIM"	18
4	Foranalyse	20
4.1	Forklaring af initierende problem	20
4.1.1	Opmåling	22
4.1.2	Registrering	22
4.1.3	Opdatering	23
4.2	Metoder	23
4.2.1	Totalstation.....	24
4.2.2	GPS	26
4.2.3	Laserscanning.....	27
4.2.4	Fotogrammetri.....	30
4.2.5	Microchips	33
4.2.6	Software	35
4.3	Opsamling	35
5	Problemformulering.....	37
5.1	Besvarelse af underspørgsmål	38
5.1.1	Hvordan kan laserscanning og RFID tags kombineres?	38
5.1.2	Hvordan kan en RFID tag positionsbestemmes?	42
5.1.3	Hvilke typer elementer kan kontrolleres ved hjælp af laserscanning kombineret med RFID tags?	48
6	Problemafgrænsning	53
7	Problemløsning	54
7.1	Etablering og opmåling af fikspunkter	56
7.2	Modellering af elementer	57

7.2.1	Fejlbidrag	59
7.3	Laserscanning af elementer.....	60
7.3.1	Fejlbidrag	61
7.4	Registrering af RFID tags	62
7.5	Sammenligning af model, punktsky og RFID tags.....	62
7.5.1	Fase 1	63
7.5.2	Fase 2.....	67
7.6	Udførsel af beregninger	76
7.6.1	Fase 1	76
7.6.2	Fase 2.....	79
7.7	Resultater	85
7.7.1	Fase 1	85
7.7.2	Fase 2.....	86
8	Konklusion	91
9	Perspektivering	94
10	Kilder.....	96
10.1	Bøger.....	96
10.2	Hjemmesider	96
10.3	Bekendtgørelser.....	98
11	Bilag	99

1 Indledning

I en samtale med Neil Gyte fra Ingeniørfirmaet WS Atkins & Partners Overseas (Atkins) i Dubai blev nævnt et problem ved firmaets bygningsmodeller. Problemet er at kunne opdatere modellerne "As Built". Metoden, hvorpå dette foregår i dag, er ved traditionel landmåling med totalstation, hvorefter der skal være en medarbejder, der kan opdatere modellerne. Atkins vil gerne kunne løse denne opgave på en automatisk eller semiautomatisk måde, hvor et rum eventuelt laserscannes, og et program efterfølgende kan genkende de enkelte elementer i byggeriet og dermed kan opdatere modellen "As Built".

Også i Danmark arbejdes der med digitale bygningsmodeller. Informations- og kommunikationsteknologi skal hjælpe forskellige parter i et byggeri til at forstå hinanden og derved forhindre eventuelle problemer, der vil kunne opstå med versioneringen af de forskellige tegninger tilhørende byggeriet. Ifølge "Bekendtgørelse om krav til anvendelse af Informations- og Kommunikationsteknologi i byggeri" skal bygherren ved offentlige byggerier, hvor den anslåede entreprisesum overstiger 3 millioner kroner, tilstræbe en øget anvendelse af informations- og kommunikationsteknologi [BEK nr 1365, § 3].

Et værktøj, som kan anvendes i informations- og kommunikationsteknologi, er en bygningsmodel, som til forskel fra de traditionelle bygningstegninger vil være udført i 3 dimensioner. På den måde vil det ved opførelsen af bygningen være muligt for entreprenøren at udtegne en bestemt del af bygningen fra hvilken som helst synsvinkel for eventuelt bedre at kunne visualisere de enkelte delprocesser, der er i byggeriet. Samtidig vil det være muligt at se eventuelle ændringer i konstruktionen i sammenhæng med for eksempel andre etager eller andre strukturer. Dette vil kun være muligt, hvis der findes en komplet 3D model af bygningen.

En videreudvikling af den førnævnte bygningsmodel kan være at give de forskellige elementer i modellen egenskaber, for eksempel materiale, farve og levetid. Hvis det er muligt at give modellen egenskaber, vil modellen også selv kunne fortælle, hvornår det er tid til for eksempel at udskifte vinduerne eller, at der skal males i et rum, og der skal bruges en bestemt mængde maling, og malingen skal være af en bestemt type for at kunne hæfte på den gamle maling. Dermed er det nødvendigt at gøre modellen objektbaseret, det vil sige, at hvert element i byggeriet skal have et tilsvarende element i modellen. Dermed kan disse egenskaber tilføjes de enkelte elementer i modellen.

Det kunne desuden være fordelagtigt at tilføje tid som en fjerde dimension til modellen. Dermed vil det være muligt at følge bygningen gennem hele dens livscyklus både gennem design, konstruktion, vedligeholdelse til nedrivning. Dermed vil der gennem hele byggeriets levetid være en fuldt opdateret bygningsmodel. Dette vil dog kræve, at den mindste ændring i byggeriet, for eksempel en ny kabelføring, bliver registreret i modellen. Idet modellen er digital, vil det være muligt at opdatere og dele modellen på et netværk således, at alle parter i byggeriet altid har adgang til den sidste nye tegningsversion.

Begrebet BIM var i første omgang et akronym for "Bygnings Informations Model", men efterhånden som videnskaben omkring emnet er vokset, og der er opstået nye begreber og måder at forstå emnet på. BIM står nu for "Bygnings Informations Modellering", som skiller sig ud fra de traditionelle bygningstegninger, der er et produkt ved at være en proces, som er tiltænkt at foregå sideløbende med bygningens udvikling, hvad enten der sker tilbygninger, omstruktureringer i ledningsnettet eller andre ændringer i bygningen. I denne proces indgår bygnings informations modellen, som et fælles udgangspunkt for kommunikation mellem parterne. Bygnings informations modellen er en digital, rumlig bygningsmodel, hvortil der, som beskrevet ovenfor, er tilføjet informationer om de enkelte elementer, som byggeriet består af, for eksempel betonelementer eller vindueselementer. Dermed er der fremstillet en bygnings informations model, der kan beskrives som et produkt. I BIM indgår den førnævnte bygnings informations model som et værktøj, men hvor modellen er et produkt, er BIM en proces. Dermed er meningen med BIM, at den skal kunne følge bygningen gennem hele dens levetid, fra projekteringen gennem opbygningen og brugsfasen til den en dag skal rives ned igen. Informationerne skal være tilgængelige for alle relevante parter i byggefasen. Bygnings informations modellen skal være tilgængelig i hele bygningens levetid og skal derfor opdateres hver gang, der sker ændringer i bygningen.

BIM skal skabe det fælles grundlag, som arkitekter, ingeniører, entreprenører med flere kan anvende under byggeprocessen såvel som ved vedligeholdelsen herefter. Problemet med BIM er dog, at der ingen endegyldig definition er på, hvad en sådan skal indeholde [Eastman, 2008, s. 13]. Mange forskellige definitioner er udviklet af forskellige firmaer og organisationer, og derved kan det stadig være svært at anvende BIM som et fælles arbejdsgrundlag for udveksling af informationer om bygningen.

Som først nævnt har der i projektet start været kontakt med ingeniørfirmaet Atkins' afdeling i Dubai, der søger en metode til automatisk eller semiautomatisk at kontrollere og eventuelt opdatere deres bygnings informations model således, at de efter endt byggeri har en komplet og opdateret model af byggeriet. Gennem kontakten til Atkins blev det erfaret, at deres metode til opdateringen er at anvende traditionel landmåling til dataindsamlingen, hvorefter kontrollen af data foregår manuelt.

Dermed lyder den initierende problemstilling, som følger:

Hvordan kan det lade sig gøre at automatisere kontrollen af bygnings informations modeller efter endt byggeri?

2 Projektopbygning

I dette afsnit klarlægges projektrapportens opbygning for at give et overblik over projektets struktur og sammenhæng mellem de enkelte afsnit. Dette gøres ved en model, som illustrerer projektforsløbet fra start til slut.

Ifølge studievejledningen skal der på 10. semester arbejdes problemorienteret. Desuden skal problemet søges behandlet og løst med en metode, der inddrager de teoretiske såvel som empiriske undersøgelser, som findes nødvendige for at nå til en problemløsning. Dermed kan projektet deles op i fire grundelementer: [Studievejledningen, 2009]

- Problemformulering
- Teori
- Empiri
- Resultater/Konklusion

[Aunsborg, 2005, s.15]

Problemformulering

Problemformuleringen er hjørnesteinen i projektet og leder frem til det egentlige problem, der søges løst. Udgangspunktet herfor er en foranalyse, der belyser det initierende problem, hvorefter det egentlige problem formuleres. [Aunsborg, 2005, s.15]

Teori

Teorier dækker over tolkninger af virkeligheden. Forskellige teorier kan rumme forskellige opfattelser af virkeligheden uden, at de nødvendigvis er modstridende. Forskellen på forskellige teorier kan derfor blot være et udtryk for forskellige synsvinkler på det samme problem, eller blot om teorien er specifik eller generel. Anvendelsen af teori i det problemorienterede projektarbejde består af at udvikle en teori, der kan løse problemet, som fremgår af problemformuleringen. Det kan være allerede beskrevne teorier, men ofte skal disse teorier tilpasses eller videreudvikles for at kunne anvendes til løsning af problemet. En anden mulighed er at udvikle egne teorier fra bunden. Dermed er en stor del af projektarbejdet centreret omkring en afklaring af, hvorvidt der allerede findes brugbare teorier, der kan hjælpe til med at løse projektets problemstilling. [Aunsborg, 2005, s.17]

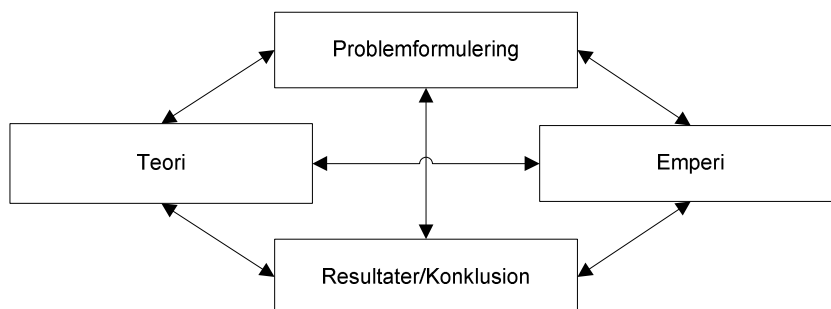
Empiri

Empiri er et værktøj til at få en større indsigt i virkeligheden gennem dataindsamling og -bearbejdning. Den empiriske del af projektet har derfor ikke noget selvstændigt formål i forhold til det problemorienterede arbejde, og begrundelsen for at gennemføre empiriske undersøgelser skal derfor findes på et teoretisk niveau. [Aunsborg, 2005, s.19]

Resultater/Konklusion

Resultaterne og konklusionen er svaret på det eller de spørgsmål, der stilles i problemformuleringen. Her præsenteres projektets hovedlinier og hovedresultater. Konklusionen skal altså afspejle den nye viden, der er opnået gennem projektarbejdet samt de begrænsninger, resultaterne er underlagt. Det skal dermed være muligt for læseren kun at læse problemformuleringen, som beskriver den uvidenhed, der ønskes belyst, og konklusionen, som skal præsentere den efterlyste viden. [Aunsborg, 2005, s.19]

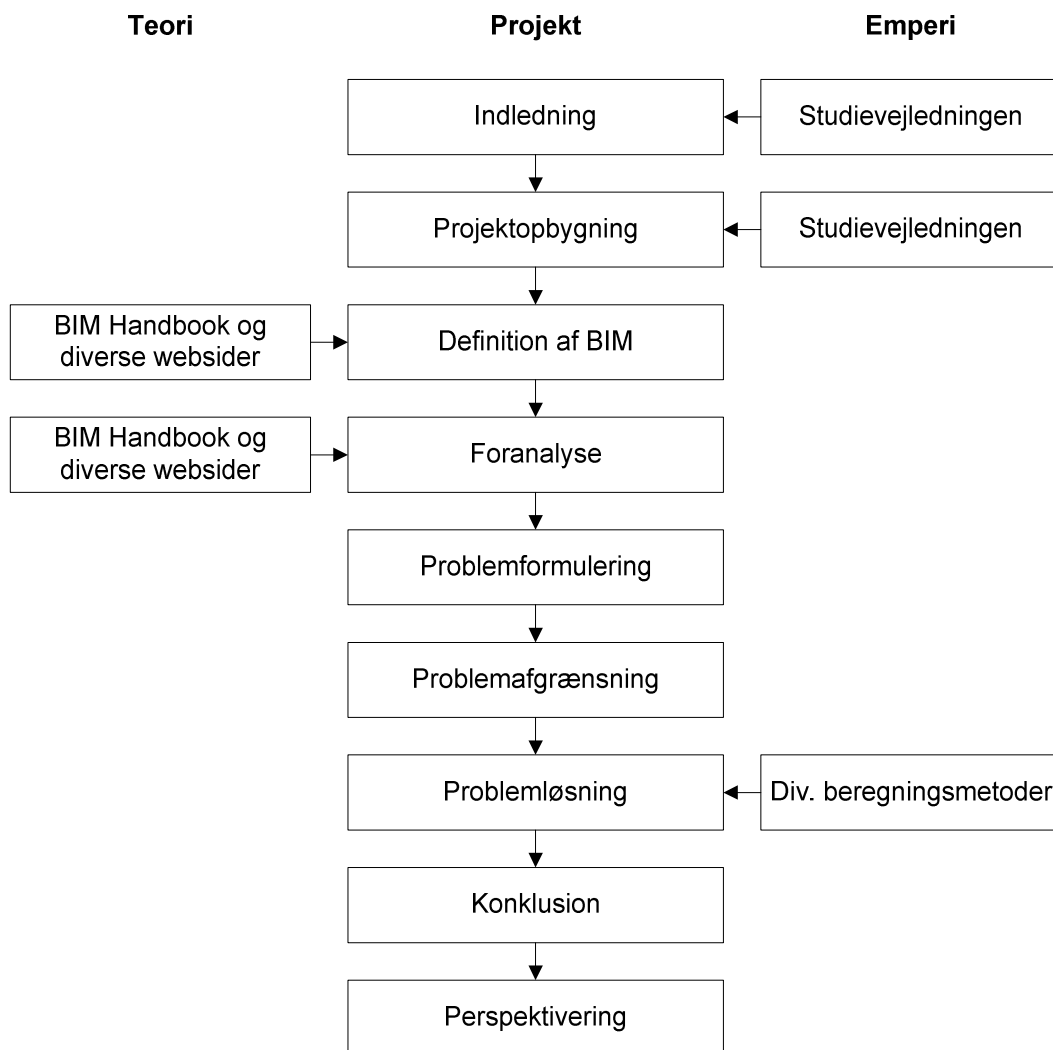
De fire grundelementer er knyttet sammen ved forskellige analyser, og deres sammenhæng er illustreret i Figur 1 nedenfor.



Figur 1: Projektarbejdets fire grundelementer

Figuren viser de fire grundelementer i projektforløbet, mens pilene illustrerer, at der er konstant bevægelse mellem elementerne. Figur 1 illustrerer altså, at et projekt er en iterativ proces hvor den viden, der opnås fra teori og empiri medfører, at projektets problem kan ændre form, ligesom det selvfølgelig påvirker den konklusion, der findes. På samme måde vil problemets karakter og de konklusioner, der opnås, påvirke hvilken form for viden, der skal indhentes. Alt i alt påvirker de fire grundelementer hinanden således, at der skal tages hensyn til de andre, når der arbejdes inden for et af begreberne. [Aunsborg, 2005, s.23]

I det følgende vil projektets opbygning blive beskrevet. Dette gøres ved hjælp af Figur 2, der viser hvilke afsnit, der udarbejdes i projektet. Figuren viser desuden hvilke teoretiske og empiriske input, der er anvendt til de forskellige afsnit. Desuden vil der til hvert afsnit efterfølgende være en kort beskrivelse, der forklarer, hvad afsnittet omhandler. Dette gøres for at give læseren et overblik over projektets opbygning.



Figur 2: Projektets opbygning

Indledning

Studievejledningen beskriver indgående projektforsløbet, den er dermed udgangspunktet for indledningen, der munder ud i et initierende problem, der ligger inden for semestertemaets rammer.

Projektopbygning

Kapitlet kortlægger og klargør, hvordan projektet og projektrapporten er opbygget, og hvorvidt det er ny teori eller empiri, som ligger til grund for arbejdet i den pågældende del af projektet.

Definition af BIM

Idet der ikke findes en internationalt anerkendt definition på BIM, er det nødvendigt at fastlægge, hvad der i dette projekt opfattes som BIM.

Foranalyse

Hertil benyttes det righoldige forskningsmateriale fra internettet om emnerne laserscanning, RFID tags og modelgenerering. Materialet fremgår af kildefortegnelsen.

Problemformulering

På baggrund af foranalysen udarbejdes problemformuleringen, som er det grundlag, resten af projektet tager udgangspunkt i.

Problemafgrænsning

I dette afsnit afgrænses, hvad det menes er relevant for kernen i projektet. Der vil dermed være emner, som dette projekt ikke behandler.

Problemløsning

På baggrund af foranalysen analyseres videre på problemformuleringen, og herudfra fremkommer et forslag til, hvordan problemet kan løses. Sidst i afsnittet præsenteres resultaterne.

Konklusion

I dette afsnit konkluderes på projektet. Der tages stilling til, om projektets problemformulering er blevet tilfredsstillende besvaret.

Perspektivering

Dette afsnit samler op på ”løse ender” i projektet og beskriver, hvordan analyser og forsøg kunne have været foretaget anderledes.

3 Definition af BIM

Idet der ikke findes én bestemt definition af BIM, som er anerkendt af alle firmaer og organisationer, startes med at beskrive en række definitioner, hvorefter det er muligt at udvælge den, der passer bedst til dette projekt.

I dette afsnit beskrives den definition af BIM, som vil blive anvendt i resten af projektet. Dette gøres for ikke at skabe nogen tvivl om, hvad BIM er og hvilke muligheder, der ligger bag udtrykket. Der tages udgangspunkt i tre forskellige definitioner.

- BuildingSMARTalliance
- Tekla
- Mortenson Construction

3.1 BuildingSMARTalliance

BuildingSMARTalliance definerer BIM som *"... en digital repræsentation af fysiske og funktionelle karakteristika for et anlæg... og en delt vidensressource for information omkring et anlæg, som skal forme en pålidelig base for beslutninger gennem dets livscyklus, defineret som værende fra de tidligste ideer, indtil nedrivning."* [www.buildingsmartalliance.org]

BuildingSMARTalliance er et underorgan i det amerikanske NIBS (National Institute of Building Sciences) og varetager blandt andet NBIMS (National BIM Standard). Instituttets hovedopgave er at gøre samarbejde mellem de forskellige parter i byggeriet lettere. Derfor beskæftiger buildingSMARTalliance sig med BIM, som de ser som et redskab, der kan lette kommunikationen ved et byggeri. Der præciseres i definitionen ikke, hvordan en BIM skal præsenteres, men der lægges mere vægt på informationsindholdet. Der lægges også vægt på, at en BIM for et projekt skal være tilgængelig i hele bygningens levetid.

3.2 Tekla

Software producenten Teklas definition på BIM lyder, som følger: "Processen med modellering og kommunikere strukturen af en bygning i detaljer til gavn for hele bygningens livscyklus. BIM letter udveksling og anvendelse af bygningens informationer i digitalt format." [www.tekla.com]

Som et firma, der producerer software løsninger til blandt andet byggeri- og konstruktionsbranchen, har Tekla selv formuleret en definition af begrebet BIM. BIM er ifølge Tekla et redskab til at udveksle informationer omkring et bygværk. Selvom det ikke står udtrykkeligt i definitionen, må det formodes, at Teklas ideer

omkring BIM indbefatter 3D-CAD tegninger som en base for informationerne. Denne formodning hænger sammen med, at Tekla blandt andet udvikler software til behandling af 3D-CAD.

Tekla lægger desuden vægt på at BIM er en proces, og betydningen af forkortelsen bliver derfor overlagt til modellering, frem for at der blot er tale om en statisk bygningsmodel.

3.3 Mortenson Construction

Mortenson Construction definerer BIM som ”en intelligent simulering af arkitektur” og tilføjer en række hovedkarakteristika:

- Digital
- Rumlig (3D)
- Målbar
- Udtømmende
- Tilgængelig
- Varig (skal kunne bruges i alle faser af byggeriets livscyklus)
- [Eastman, 2008, s. 13]

Mortenson Construction fatter sig i korthed med deres definition af BIM, men til gengæld tilføjer de en række karakteristika, som underbygger denne. Nedenfor er disse karakteristika uddybet nærmere:

- At modellen skal være digital gør, at den er let at dele mellem de forskellige parter.
- En rumlig model i et 3D-CAD system kan være visuelt bedre forklarende end en 2D-plantegning af byggeriet og kan derved hjælpe til forståelsen mellem de forskellige parter i byggeriet.
- En målbar model gør, at alt vil have samme skala, så der ikke vil ske misforståelser omkring størrelser på de forskellige objekter og elementer. Samtidigt stiller det krav til, at bygningen skal opmåles for at målene i modellen passer med målene i virkeligheden.
- At modellen skal være udtømmende gør, at den bliver fuldstændig i forhold til de objekter, den er specificeret til at indeholde.
- Tilgængeligheden af modellen er vigtig i forhold til kommunikationen i byggeriet. Modellen skal derved være tilgængelig for alle parter. Til at forøge tilgængeligheden af modellen kan internettet anvendes. Ligger modellen på en server med adgang til internettet, kan alle parter se den på et hvilket som helst tidspunkt.

- At modellen er varig vil sige, at den løbende bliver opdateret, så den svarer til bygningens virkelige udseende. Varigheden gør desuden, at der ikke skal laves en ny model, når der for eksempel skal foretages vedligeholdelse.

3.4 Opsamling på "Definition af BIM"

Der er altså ingen international standard for, hvad BIM er, hvordan den opbygges, og hvad den skal indeholde. Hvert firma eller enhver organisation kan derved selv bestemme, hvordan de vil opbygge et system til kommunikation mellem parterne i et byggeri. At der er mange forskellige definitioner kan tolkes som en manglende ISO standard, som kan klarlægge, hvad BIM skal indeholde. Men da det kan tage lang tid at udvikle en fælles standard, og da BIM begrebet ikke har været særligt udbredt og anvendt i særlig lang tid, er der altså stadig ingen fælles standard, der anvendes af alle firmaer.

Den definition, der anvendes i "BIM Handbook" er udviklet af entreprenørfirmaet M. A. Mortenson. Firmaet definerer BIM ved en række karakteristika inden for både topologi, teknik og indhold. Det er interessant i forhold til et Measurement Science projekt, at definitionen omtaler, at BIM skal være rumlig og målelig [Eastman, 2008, s. 13-14]. Ifølge andre definitioner behøver BIM ikke at indeholde geometri, eller det kan være en 2D eller 3D præsentation af bygningsværket [Kiviniemi, s. 8].

Som grundlag for det følgende arbejde med BIM vælges der derfor at støtte sig til Mortensons definition. Denne definition giver mulighed for at kombinere et fysisk måleligt objekt med den database information, som skal tilføjes modellen for, at systemet kan betegnes som BIM. Den rumlige præsentation gør samtidigt, at det bliver let for parterne at navigere i og finde de oplysninger, der søges. Dette kræver, at alle parter i byggeriet skal have adgang til de programmer, hvori der kan arbejdes med BIM. Programmet skal kunne håndtere både 3D-CAD og de informationer, der knytter sig til hvert element samtidig med, at der skal være et fælles udvekslingsformat, som skal kunne læses af diverse programmer, som anvendes i arkitekt- og entreprenørindustrien.

Der kan ikke laves en standard for hvilke attributter, der skal tilknyttes hvert element i BIM, da hvert byggeri som regel er unikt og ikke altid anvender de samme informationer. Det kan derimod være en fordel at definere, hvordan informationerne skal organiseres. En standardisering som denne kan indeholde hvilke formater, der skal anvendes, og hvordan databasens opbygning skal være.

En metode til at holde styr på byggeriets elementer kan være at identificere hvert enkelt med et ID nummer, der er unikt for hvert element. Alle elementer kan derved organiseres i et databasesystem, hvor der til hvert ID kan knyttes informationer som produktionsserie, produktionsdato, materiale, geografisk placering, placering i forhold til andre elementer, monteringsdato med flere. Disse oplysninger kan udtrækkes af databasen af de forskellige parter og anvendes i opførslen eller vedligeholdelsen af byggeriet.

Netop kravet om, at BIM skal kunne være tilgængelig for de parter, der skal vedligeholde bygningen, gør, at modellen skal opdateres løbende hver gang, der foretages ændringer på bygningen således, at de informationer, der ligger i databasen, er tilsvarende de fysiske forhold til enhver tid. Det vil sige, at enhver ændring i bygningens fysiske forhold skal indføres i modellen.

I teorien skal alt, hvad bygningen indeholder, kunne indlægges i modellen. Det vil sige alt fra ledninger og rør til betonelementer. Alle systemer i bygningen skal kunne udtrækkes fra modellen, så der kan laves en statusrapport omkring for eksempel bygningens elektricitetsinstallationer.

4 Foranalyse

I dette afsnit præsenteres de ideer, som menes at have potentiale til at blive anvendt til automatisk opdatering af en bygnings informations model. Dette gøres ved først at stille en række krav for, hvad systemet skal kunne præstere med hensyn til nøjagtighed samt hvilke faser, databehandlingen skal igennem. Dernæst analyseres de enkelte faser yderligere, hvorefter den endelige problemformulering kan stilles op.

4.1 Forklaring af initierende problem

For at sikre en tidssvarende model skal der foretages opmålinger af bygningen, så modellen repræsenterer bygningen "As Built". Dette kan dog give nogle problemer for firmaerne, idet opmålingsdelen og opdateringen kan være en lang og tidskrævende proces. Dette skyldes, at de bygningsværker, der kræver BIM, kan være så komplekse og omfangsrige, at de normale opmålingsmetoder kan være for tidskrævende, og der kan derfor blive brug for at tænke i ukonventionelle metoder.

Ifølge ingeniørfirmaet Atkins' afdeling i Dubai er opmåling med totalstation den normale metode til "As Built" opmålingerne. Der skal dog skelnes mellem målinger, der skal foretages til kontrol af bygningen og de opmålinger, der skal foretages for at opdatere bygnings informations modellen. Målingerne, der foretages under opbygningen, kan ikke nødvendigvis anvendes til at opdatere modellen, idet opmålingerne er tilsigtet andre anvendelser og derfor ikke er planlagt, så de tilgodeser formålet med BIM. Til opmålinger, som anvendes til kontrol og afsætning af bygningen, anvendes ofte totalstation. Opmåling med totalstation kræver et omfattende manuelt arbejde, som er tidskrævende og økonomisk omkostningsfuldt. Hvis den manuelle arbejdsmængde kan nedsættes, kan omkostningerne for opmålingerne nedbringes. For at sænke det manuelle arbejde kan der indføres en automatisering eller semiautomatisering af målearbejdet såvel som kontrollen af byggeriet.

For at kunne analysere yderligere på den initierende problemstilling er det nødvendigt at finde ud af hvilke faser, der skal udføres for at kunne forestå opdateringen. Her kan nævnes tre forskellige dele, der skal udføres for at opdatere bygnings informations modellen:

- Opmåling
- Registrering
- Opdatering

De følgende afsnit uddyber disse tre punkter.

Opmålingen

For at kunne opdatere 3D-modellen skal der foretages opmålinger af bygningens fysiske forhold. Egentlig er opmålingsmetoden underordnet, så længe den kan overføres til et digitalt format, så der kan tilknyttes en digital database.

Registrering

De informationer, der skal tilføjes til BIM, skal registreres og gemmes i en database, der gør, at oplysningerne kan trækkes ud både af modellen og skal kunne udlæses på stedet. Derfor skal der på hvert element være en form for unik kode, som kun kan aflæses på dette ene element.

Opdatering

Selve opdateringen af modellen og databasen skal sammenknytte de nye opmålinger og informationerne om elementerne med 3D-tegningen. Dette skal kunne gøres i et dertil designet program, der kan håndtere både 3D-CAD og informationer, der er præsenteret i databaseform.

Til hvert af disse tre punkter findes nogle redskaber eller instrumenter, der kan anvendes og kombineres på forskellig vis for at opnå det ønskede resultat.

Det vælges at gå i dybden med nogle forskellige løsningsforslag, som kan kombineres på forskellige måder for at opnå det ønskede resultat.

- Opmåling
 - o Totalstation
 - o GPS
 - o Laserscanning
 - o Fotogrammetri
- Registrering
 - o Stregkoder
 - o Cirkelkoder
 - o Mikrochips
- Opdatering
 - o Software

4.1.1 Opmåling

Totalstation

Den hidtil anvendte metode til måleopgaverne har været totalstation, som ved god måleomhu kan opnå en høj nøjagtighed. Metoden er dog svær at automatisere, idet instrumentet skal betjenes, og det data, der indsamles ved en opmåling, som regel kun er det, der skal anvendes til den givne opgave. Totalstationer med servomotorer kan anvendes til at monitorere faste punkter, hvor der er fare for deformation, hvis totalstationen er fastmonteret og måler punkterne med faste tidsintervaller. Dette kan dog ikke overføres til "As Built" opmålinger, da der ikke er tale om, at de samme punkter skal opmåles til forskellige epoker, og der ikke måles på fastsiddende prismer eller targets.

GPS

Med GPS kan der hurtigt opmåles på et område, idet der ikke kræves et etableret fikspunktsnet forinden. Desværre er GPS ikke hensigtsmæssigt til opmålinger inden døre, da de er afhængige af frit udsyn til satellitterne.

Laserscanning

Laserscanning kan med sin store punktmængde anvendes til at modellere 3D-modellen til BIM. Med laserscanning måles ikke på bestemte punkter men derimod en punktmængde, hvorfra forskellige geometriske former kan modelleres. Laserscanning kan derfor give et problem med hensyn til opdatering af bygnings informations modellen, idet der i bygningen kan være mange flader, som skal modelleres, inden de kan anvendes i BIM. I modsætning til GPS kræver laserscanning, at der oprettes et fikspunktsnet, hvis de forskellige scanninger skal sættes sammen i et overordnet system.

Fotogrammetri

Med terrestrisk fotogrammetri kan selve dataindsamlingen for en bygning udføres på kort tid i forhold til de forrige opmålemetoder. Hvis der anvendes kodetargets til sammenknytningspunkter, kan en del af sammenknytningen ske automatisk. Med fotogrammetri kan der opnås meget høj nøjagtighed afhængigt af blandt andet kameraet og afstand til objektet.

4.1.2 Registrering

Stregkoder

Som identitetsmærke for hvert element, der skal have informationer tilknyttet, kan stregkoder anvendes. Den unikke kode kan aflæses med en stregkodescanner, hvorefter koden kan tilknyttes en database, hvor de relevante informationer om

elementet ligger. Databasen skal ligge eksternt, idet der ikke kan lægges data direkte ned i stregkoden.

Cirkelkoder

Cirkelkoder er en slags targets, der kan genkendes i en fotogrammetrisk opmåling. Koderne er konstrueret således, at de af et program til fotogrammetrisk opmåling kan identificeres uden, at der manuelt skal udpeges punkter. Cirkelkoderne kan ligesom stregkoderne ikke lagre data, men til gengæld vil det data, der registreres, blive stedbestedt, hvis cirkelkodens unikke identifikationsnummer sammenkobles med en database.

Mikrochips

De såkaldte RFID (Radio Frekvens IDentifikation) tags er små mikrochips, der kan have et identifikationsnummer lagret elektronisk. Chippen kan aflæses ved hjælp af radiobølger, som udsendes og modtages af en RFID-aflæser. Tags findes som passive, semipassiv og aktive. De passive reflekterer et signal, der udsendes af en sender/modtager enhed. De semipassiv tags indeholder et batteri, der giver energi til en øget hukommelse, men ikke til at forstærke signalet, der reflekteres fra tagget. Aktive tags har et batteri, der anvendes til at transmittere et signal. Dette signal kan herved blive kraftigere end et reflekteret signal fra et passivt tag. Da semipassiv og aktive tags anvender batterier, som kan løbe tør for energi, har de en begrænset levetid.

Ud over identifikationsnummeret kan tagget, hvis den indbyggede hukommelse er tilstrækkelig stor, også indeholde andre informationer. Dette medfører, at mikrochippen kan indeholde informationsdatabasen, så de ønskede informationer kan aflæses og opdateres direkte i bygningen.

4.1.3 Opdatering

For at få de forskellige instrumenter og sensorer til at fungere sammen i et samarbejde med en bygnings informations model er det nødvendigt at udvikle nogle beregnings og konverterings værktøjer, som gør det muligt at sammenligne modellen med den virkelige verden. Som følge af tidligere erfaringer anvendes programmeringssproget bag Matlab til dette formål.

4.2 Metoder

Dette afsnit vil indeholde en mere indgående analyse af de metoder, der er præsenteret i afsnit 4 Foranalyse. Dette gøres for at få et bedre kendskab til metoderne og for at finde ud af om og hvordan, de kan kombineres.

4.2.1 Totalstation

Totalstationen er stadig det mest anvendte instrument til opmåling og afsætning af enkeltpunkter. Dermed rækker brugsområdet for en totalstation fra afsætning af huse over opmåling af tekniske kort til afsætning og kontrolmåling på større og mindre byggepladser.

Som før nævnt har den tidligere metode for opmåling "As Built" været manuel ved brug af totalstation. Denne opmåling har været udført af en landmåler med hjælp fra en landmåler assistent. Dermed er denne metode meget ressourcekrævende med hensyn til arbejdskraft. Foruden opmålingsdelen er det også nødvendigt at have en landinspektør til at kontrollere de indmålte data og eventuelt opdatere modellen, hvis det er nødvendigt.

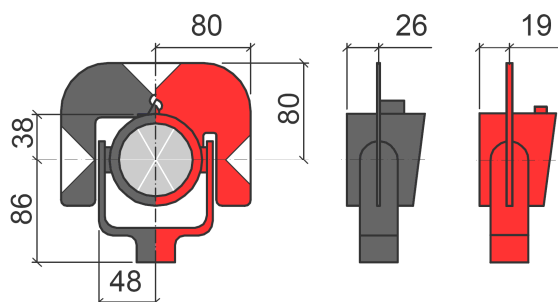
For at kunne automatisere opmålingprocessen er det nødvendigt, at totalstationen selv kan finde og genkende de prismer, der skal måles. Samtidig er det nødvendigt, at de prismer, der skal findes, kan sættes fast på det emne, der skal indmåles, helst allerede fra fabrikken således, at grove fejl kan minimeres.

Anvendes der nyere totalstationer, vil det her være muligt at udføre en målsøgning, hvor totalstationen automatisk kan gennemsøge et forudbestemt område for at finde et prisme. Når prismet er fundet, vil det være muligt at indmåle punktet og ved hjælp af infrarødt lys finde ud af hvilket prisme, der bliver målt.

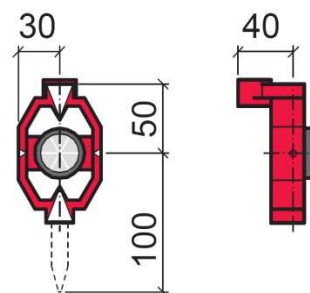
Prismer

For at få et brugbart resultat er det nødvendigt at anvende et prisme ved måling med totalstation. Der findes her mange forskellige prismer at vælge imellem, hver med sine fordele og ulemper.

Et prisme, som er meget brugt på Aalborg Universitet, er Leicas "cirkular prism". Dette prisme har dog en forholdsvis stor størrelse, som gør, at det kan være svært at placere i positioner, der er snævre. I disse situationer bliver Leicas "mini prism" anvendt. Som navnet antyder, er miniprismet mindre end det cirkulære prisme, hvilket blandt andet betyder, at det er lettere at centrere over et fikspunkt, men også at det er lettere for landmåleren at finde centrum på prismet, specielt på korte afstande, hvorimod det cirkulære prisme har sine fordele over længere afstande. I figurerne nedenfor ses de to nævnte prismer.



Figur 3: Circular prism [www.leica-geosystems.com 1]

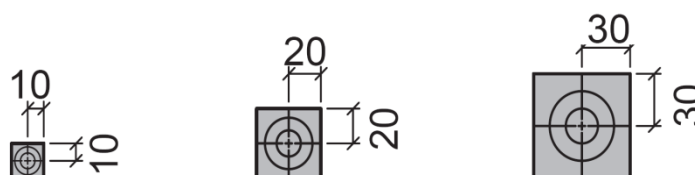


Figur 4: Mini prism [www.leica-geosystems.com 1]

Begge typer af prismer har problemområder. Først og fremmest er det nødvendigt at flytte prismet fra punkt til punkt eller sætte flere prismer op på forudbestemte bolte indsat i de enkelte elementer. På den måde vil det være muligt at indmåle og kontrollere, om virkeligheden stemmer overens med modellen og eventuelt opdatere den, hvis dette ikke er tilfældet.

Det er ved anvendelse af cirkulær eller miniprisme ikke muligt at give hvert element et serienummer fra fabrikken, som kan læses og registreres af totalstationen, da det er det samme prisme, som skal anvendes flere steder og på flere elementer. Dermed kan der let opstå fejl i registreringen, når elementets serienummer og indmålingen af elementet skal udføres over to omgange og med to forskellige instrumenter.

En løsning på disse problemer kunne være at anvende en anden slags prismer. I Leicas udvalg af prismer findes et produkt, der kaldes "Reflective tape", og som navnet antyder, er det et lille stykke tape med refleks på forsiden. På den måde vil det være muligt allerede fra fabrikken at montere tape på for eksempel tre foruddefinerede punkter. Det kunne eventuelt være muligt at indoperere en kode i tapen i form af en mikrochip eller ændre i refleksionen af IR laseren, som kan læses af totalstationen. På den måde vil det være muligt at give hvert element et serienummer allerede fra fabrikken. I Figur 5 nedenfor vises Leicas "Reflective tape".



Figur 5: Reflective tape [<http://www.leica-geosystems.com> 1]

Der ligger en ulempe i at anvende Reflective tape, idet det påklistres elementet, inden dette monteres. Dette betyder, at tapen kan blive beskadiget eller helt forsvinde under transport eller montering. Derudover kan tapen blive beskidt, så den reflektive evne nedsættes, og mærket ikke længere er anvendeligt.

4.2.2 GPS

Som tidligere nævnt er der nødvendigt at kende tre punkter på et element for at kunne orientere det i et koordinatsystem. I kombination med et serienummer på hver GPS modtager vil det være muligt at finde frem til hvert elements placering, orientering og serienummer.

Monteringen af GPS modtagere på elementerne vil kunne foregå på flere forskellige måder med hvert sit resultat. Den mest åbenbare metode vil være at montere tre GPS-modtagere, som normalt ville blive anvendt til landmåling. Modtagerne skulle placeres på bolte, som er støbt ind i elementet på kendte punkter. Dermed vil det være muligt at montere modtagerne og afmontere dem igen efter endt brug. Her vil der dog opstå nogle problemer med hensyn til god geometri, multipath og signalstyrke. Derudover vil det heller ikke være en holdbar løsning, hvis systemet skal være automatisk eller bare semiautomatisk, da det vil være meget tidskrævende at skulle montere antennerne, modtage signalet fra satellitten, initialisere signalet, foretage måling og sidenhen afmontere antennerne igen, frem for at stille sin totalstation op og kunne tage mange elementer på samme tid ved terrestrisk landmåling.

I stedet for at montere GPS-antennerne på bolte, som er støbt fast i elementet, kunne det være muligt at støbe selve antennen ind i elementet. På den måde kunne det være muligt at overføre alle data trådløst fra modtageren til en bærbar PC. Der vil dog stadig være barrierer, som skal overvindes, inden det kan lade sig gøre at anvende GPS på denne måde i byggeriet. Enkelte af disse barrierer nævnes nedenfor.

- Størrelsen af modtager
- Signalstyrke
- Batterilevetid

Hvis modtageren skal støbes ind i elementerne er det vigtigt, at de ikke er for store for ikke at svække elementerne unødigt. Dette problem har firmaerne Epson og Infineon løst med det, de kalder: "Next Generation Single-Chip GPS Receiver". Det er dog ikke kun størrelsen, der er en fordel for denne GPS-modtager. Ifølge Epson skulle den kun bruge halvdelen af strøm i forhold til andre modtagere, der nærmer sig denne størrelse. Desuden er følsomheden blevet forbedret. I Figur 6 ses chippen i forhold til en tændstik. [www.epson.co.jp]



Figur 6: Epsons nye GPS-modtager [gear.comon.dk]

Det anses dog ikke at være en mulighed at indstøbe GPS-modtagere i betonelementer. Det, der anses at være det største problem, er, at følsomheden ikke er god nok. Selvom den er bedre end andre modtagere, er der meget beton, signalet skal igennem, hvilket kan give forvrængninger i signalet eller bevirke, at signalet slet ikke kan nå frem til modtageren. Desuden vil der være et problem med at få modtagerne placeret rigtigt i forhold til elementet. Dette kunne let blive et problem meget tidligt i byggefasen.

Endnu et problem med GPS målinger er, at for at få en nøjagtig position er det nødvendigt at anvende GPS-signalernes fase frem for koden. Det har ikke været muligt at finde ud af, om den nye modtager kan måle på faserne, men ud fra dens beskrivelse antages, at den kun kan måle på koden og derfor ikke kan anvendes til landmåling med de nøjagtigheder, som kræves.

Selvom GPS-modtagere med tiden er blevet mindre og modtageevnen og batterilevetiden bedre, er opfattelsen ikke, at GPS teknologien endnu er på et stadie, der gør det muligt at anvende den i dette projekt på den beskrevne måde.

4.2.3 Laserscanning

Ved laserscanning måles der en punktmængde, hvor punkterne måles i et forudbestemt grid med en brugerdefineret punkttæthed. Det vil sige, at der ikke måles bestemte punkter, for eksempel hjørnepunkter. Til gengæld kan de indmålte punkter anvendes til at modellere hjørnepunktet.

En laserscanner fungerer på samme måde som en totalstation ved at måle en horisontalretning, en zenitdistance og en afstand til et punkt, men her hører ligheden også op. Hvor totalstationen måler bestemte punkter, der ofte er

defineret ved et prisme, måler laserscanneren mange punkter, som senere kan sættes sammen til for eksempel en 3D model af det indmålte objekt. Dermed er laserscanneren ikke anvendelig, hvor enkeltpunkter skal måles meget nøjagtigt. Til gengæld viser laserscanneren sig anvendelig på en lang række andre områder, som eksempelvis kan omfatte:

- Objekter/overflader med mange detaljer
- Utilgængelige/svært tilgængelige områder, for eksempel småt eller højt oppe
- Steder/pladser der er i konstant brug
- Skrøbelige overflader
- Ulykkesområder
- Områder, der er usikre at færdes på
- Hurtig målsøgning af fikspunkter
- Objekter, som skal modelleres i 3D

Af disse punkter vil det primært være de to sidste punkter, der har interesse for dette projekt.

En stor fordel ved laserscanneren frem for den mere traditionelle totalstation er dens egenskab til at indsamle en stor punktmængde på forholdsvis kort tid. Hvis der tages udgangspunkt i den laserscanner, som er til rådighed ved Aalborg Universitet (Leica HDS3000) kan den måle op til 1.800 punkter i sekundet med en nøjagtighed på 6 mm. Ved landmåling er en nøjagtighed på 6 mm ikke særlig godt, men da der bliver indsamlet en stor punktmængde, vil det være muligt at modellere en figur med en nøjagtighed på 2 mm, hvilket mere end tilstrækkeligt for dette projekt. [leica.loyola.com] Hvis det er nødvendigt, at opmålingen skal foregå hurtigere, kan der anvendes Leicas HDS4500, som kan måle op til 500.000 punkter i sekundet. Det store antal punkter kommer dog også med en bagside, idet nøjagtigheden bliver dårligere. [leica.loyola.com]

Den store punktmængde gør også, at laserscanneren hurtigt kan grovscanne et rum, hvorefter den i form af targets kan finde de fikspunkter, som er sat op for at georeferere målingen. Laserscanneren kan genkende den reflekterede laserstråles intensitet, hvorefter det er muligt at finscanne targets for at få en bedre nøjagtighed. Idet laserscanneren kender dimensionerne på targets, er det muligt at bestemme dets centrum inden for 1,5 mm. [leica.loyola.com]

Laserscanning kan med sin store punktmængde anvendes til at modellere 3D-modellen til BIM. Med laserscanning måles ikke på bestemte punkter, men derimod en punktmængde, hvorfra forskellige geometriske former kan modelleres. Laserscanning kan derfor give et problem med hensyn til opdatering

af BIM, idet der i bygningen kan være mange flader, som skal modelleres for at opnå en anvendelig model. I modsætning til GPS kræver laserscanning, at der oprettes et fikspunktsnet, hvis de forskellige scanninger skal sættes sammen i et overordnet koordinat system.

Nedenfor ses Leicas HDS3000 laserscanner. Scanneren er en såkaldt panoramascanner, hvilket betyder, at den kan dreje om vertikalaksen således, at den kan scanne 360 grader horisontalt. Desuden kan den ved hjælp af topvinduet måle 270 grader vertikalt. Dermed er det muligt at stille scannere op midt i et rum og scanne hele rummet. [leica.loyola.com]



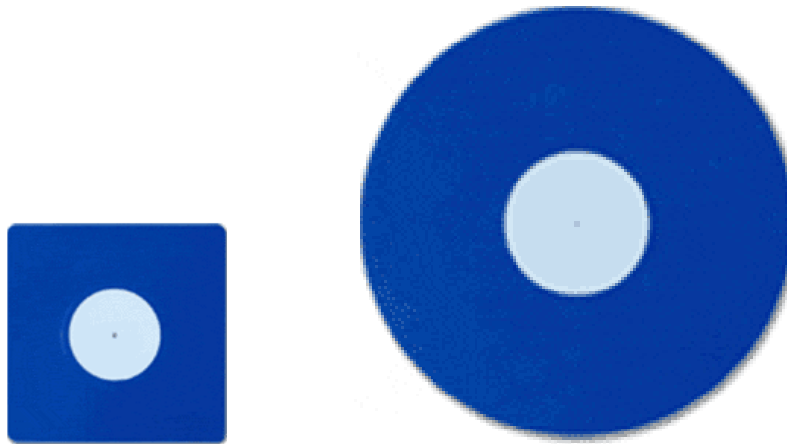
Figur 7: Leica HDS3000 laserscanner. [www.leica-geosystems.com 2]

For at anvende laserscanning er det nødvendigt, ligesom ved måling med totalstation, at oprette et fikspunktsnet. Dette kan skabe problemer ved større byggerier med mange etager. Men da nettet som regel allerede er oprettet til brug ved placering af nye elementer, vil dette ikke medføre noget merarbejde udover, at der skal stilles targets op over fikspunkterne.

Targets

Når et scan skal orienteres i et koordinatsystem, eller når flere scans skal knyttes sammen, anvendes targets. Targets er ofte skiver af retrorefleksivt materiale, som reflekterer laserstrålen godt. Targets har standarddimensioner, som laserscanneren kan genkende således, at disse bliver opmålt med god

nøjagtighed, og koordinaten til centrum af et target kan udregnes med meget høj nøjagtighed. Leicas targets har standardmål, hvor sidelængden er 3" for kvadratiske targets, mens diameteren er 6" for cirkulære targets. Disse to størrelser har forskellige fordele i forhold til placering, afstand, punkttæthed mv. [www.leica-geosystems.com 3]



Figur 8: Leica HDS-targets 3" kvadratisk target til venstre og 6" cirkulært target til højre. [www.leica-geosystems.com 3]

Ud over de reflektive skiver anvender Leica også sfæretargets. Sfæretargets er halvkugleformede og har en diameter på 6". Laserscannerens brugerflade Cyclone kan ud fra et finscan af sfæretargetet og den oplyste diameter på target på 6" beregne centrumskoordinaten hertil. Koordinatsættet til sfærens centrum kan nu anvendes til at orientere scannet.

4.2.4 Fotogrammetri

Fotogrammetriske opmålingsmetoder er meget anvendt til kortlægning. Fotogrammetri kan også anvendes til mere detaljerede opgaver med mindre måleemner. Her er der tale om terrestrisk fotogrammetri, som kan foretages med mindre og mere håndterbare kameraer end dem, der anvendes til kortlægning. Med terrestrisk fotogrammetri kan der opnås en så høj nøjagtighed, at der kan opmåles bygninger og endnu mere detaljerede objekter. Der findes forskellige programmer til at orientere billederne og udføre målinger. Heriblandt kan nævnes programmerne iWitness og Australis, som arbejder med udjævning af strålebundter. I Figur 9 ses en opmåling, der er foretaget i billeder taget med et almindeligt kompakt digitalkamera, der er kalibreret i programmet Australis. Selve orienteringen af billederne og opmålingen er foretaget manuelt i programmet iWitness.



Figur 9: Bygning opmålt ved hjælp af fotogrammetri i programmet iWitness

For at muliggøre en automatisering af bygningsopmålingen med fotogrammetri skal der anvendes sammenknytningspunkter, som et program kan genkende. Disse genkendelige sammenknytningspunkter er en slags targets, som indeholder en kode i form af prikker, der er placeret i et geometrisk mønster. Dette betyder, at et program til fotogrammetrisk opmåling kan aflæse det som et unikt target.



Figur 10: Eksempel på terrestrisk fotogrammetri, hvor kodetargets er anvendt på en bildør.

De kodede targets kan kun anvendes til at orientere billederne, så selve opmålingen skal stadig foretages manuelt i billederne. Derfor vil der stadig skulle laves en del efterarbejde før en bygningsmodel kan opdateres ved hjælp af fotogrammetri.

Derudover kan der opsættes små targets af retrorefleksivt materiale, som programmet også kan genkende.



Figur 11: Fotogrammetrisk target til automatisk genkendelse

Fotogrammetriske targets kan placeres forskellige steder i et rum, som skal opmåles. Targets som disse kan bestemmes med brøkdele af en millimeter, når der tages billeder med høj opløsning i den rette belysning med forholdsvis kort afstand. Det kan dog være svært at placere et target i et hjørne af et rum, og anvendelse af disse til at angive kanter og hjørner i et rum er derfor vanskelig. Det vil sige, at hjørnerne af et rum vil skulle opmåles manuelt, hvilket er en tidskrævende opgave.

Med fotogrammetri kan dataindsamlingen til opmålingen forestås på kort tid, såfremt der er foregået et grundigt forarbejde. Til gengæld er efterbehandlingen en længere proces, hvor billederne først skal orienteres, og herefter kan selve opmålingen foretages. Til gengæld kan der opnås en meget nøjagtig opmåling under de rette forhold. Desværre er disse præcise punkter ikke nødvendigvis dem, der ønskes opmålt, idet de selvklæbende targets ikke kan placeres i hjørner og på kanter. Derudover kan targets blive malet over under renovation af bygningen, og de bliver derved ubrugelige til efterfølgende opmålinger.

4.2.5 Microchips

Som tidligere nævnt er det de såkaldte RFID tags, der er interessante i forhold til dette projekt. RFID står for "Radio Frekvens IDentifikation", og er en fællesbetegnelse for alle de teknologier, der anvender radiobølger til at identificere objekter, mennesker eller dyr. Det er for eksempel RFID tags, der anvendes som betalingskort ved flere forskellige skisportssteder. Det er også RFID tags, der bliver anvendt i de ID kort, der giver adgang til Aalborg Universitet uden for åbningstid.

RFID har store potentialer for forbrugeren. Med en RFID tag placeret i for eksempel en mælkekarton vil man let kunne få oplysninger om produktionsdato og sidste holdbarhed, men også data som for eksempel temperatur under transporten og ved opbevaringen i supermarkedet kan være en nyttig viden for forbrugeren. Det er selvfølgelig ikke kun i mælk, hvor RFID tags kan bruges på denne måde. Også i byggeindustrien vil det være muligt at anvende RFID tags.

RFID lab ved University of Nebraska, Lincoln har udført en række forsøg med at få RFID til at fungere på byggepladser. Forsøget gik i store træk ud på at kunne spore byggematerialer og maskiner rundt på byggepladsen, så der hele tiden var kontrol på hvor på pladsen, de befandt sig, og om materialerne var blevet leveret. I forbindelse med dette forsøg fandt de studerende på universitetet ud af hvilke problemstillinger, der var i forbindelse med sporingen med RFID tags. Blandt problemstillingerne var sand, støv og vejret, men også faktorer som armeringsstål i bygningselementerne kunne have en indvirkning på, om forsøget virkede. [www.engineering.unl.edu]

Også lande som Danmark har forskning inden for dette felt. Senest er der på Aalborg Universitet lavet projekter i samarbejde med Rambøll og MT Højgaard. Der er blevet lavet et projekt, hvor opførelsen af bygningen, som skal rumme den nye tinglysning i Hobro, er blevet anvendt til at udføre forsøg med RFID tags i byggeriet. Her var formålet at kunne genkende det enkelte element gennem alle byggeriets faser. De anvendte RFID tags var kreditkortlignende plastikkort med et påtrykt serienummer. Læseren var en mobiltelefon, som var linket til en database. På den måde var det muligt at aflæse tags ved at føre mobiltelefonen hen i nærheden af et tag. Kristian Birch Sørensen har arbejdet med RFID tags i bygningselementer og er tilknyttet projektet gennem en erhvervs ph.d. i Byggeri og Anlæg. Ph.d. projektet er et samarbejde mellem Aalborg Universitet og Rambøll.

Informationerne på en RFID tag kan have mange forskellige formater, eksempelvis tekst, tal, lys eller film. Det kommer således an på størrelsen af RFID taggets hukommelse, hvilken slags data og hvilken mængde, der kan lagres på chippen. For at kunne læse data, som er lagret på chippen, er det nødvendigt at have en RFID tag læser. Disse fås i mange udformninger og med mange forskellige egenskaber.

For at registrering skal kunne foregå automatisk eller semiautomatisk skal det være muligt at læse RFID tagget samtidig med opmålingen af elementet. Hvis det sker i to faser, hvor for eksempel først opmålingen foretages og siden registreringen, vil der let kunne opstå problemer, idet de to sæt data sidenhen skal knyttes sammen manuelt, og hvis det ikke gøres korrekt, vil der opstå fejl.

Dette begrundes med, at hvis et rum med fire sider er bygget op af fire betonelementer med hver sit tag, vil den "normale" RFID læser opfange signaler fra alle fire tags på én gang. Dermed vil det ikke være muligt at stedbestemme det enkelte tag. Det er derfor nødvendigt at have en retningsbestemt modtager, hvis der skal anvendes RFID tags til dette projekt. Med en retningsbestemt modtager vil det være muligt at læse RFID tags i den retning, hvor der måles.

4.2.6 Software

For at få de forskellige instrumenter og sensorer til at fungere sammen i et samarbejde med en bygnings informations model er det nødvendigt at udvikle nogle beregnings- og konverteringsværktøjer, som gør det muligt at sammenligne modellen med den virkelige verden. Til dette formål anvendes programmeringssproget bag Matlab.

4.3 Opsamling

På baggrund af foranalysen redegøres i dette afsnit for de metoder, der arbejdes videre med. Afsnittet leder samtidig frem til problemformuleringen.

For at kunne udvælge den kombination af metoder, der arbejdes videre med, er det nødvendigt at kunne sammenligne de forskellige metoder. Nedenfor følger en liste, som beskriver de forskellige kombinationsmuligheder fra analyserne ovenfor.

Mulige kombinationer:

- Laserscanning
 - Stregkoder
 - Microchips
- Totalstation
 - Stregkoder
 - Microchips
 - Genkendelige prismer
- GPS
 - Microchips
- Fotogrammetri
 - Stregkoder
 - Kodede targets

Det vælges at anvende laserscanning, da dette anses for at være den bedste metode til formålet. Til at støtte laserscanneren anvendes desuden RFID tags i det videre projektarbejde. Dermed skal der findes en metode, der kan sørge for, at det er den rigtige RFID tag, der bliver sat sammen med det rigtige element, eventuelt ved fastmontering af læseren på laserscanneren. Sidst skal der udvikles software, der kan sammenligne de enkelte elementer fra bygnings informations modellen med de enkelte elementer fra punktskyen.

5 Problemformulering

Som følge af foranalysens konklusioner og opsamlinger, hvor laserscanning og RFID tags er valgt som metode, opstilles hermed en problemformulering. Problemformuleringen skal beskrive det endelige problem, der skal bearbejdes i resten af projektet. Udover selve problemformuleringen stilles en række underspørgsmål, som skal understøtte besvarelsen af selve problemformuleringen.

Problemformuleringen udspringer af det initierende problem, som gennem foranalysens processer er opdelt i forskellige delproblemer. Analyser af disse processer har indikeret, at det er ønskværdigt at arbejde videre med laserscanning som opmålingsmetode og RFID tags som registreringsmetode. Derudover vil det være nødvendigt at udvikle software, der kan kombinere data fra model, laserscanner og RFID tags.

Dermed kommer problemformuleringen til at lyde, som følger:

Hvordan kan laserscanning og RFID tags anvendes til kontrolopmåling af, hvorvidt en færdigbygget bygning stemmer overens med bygningsmodellen fra en BIM?

For at besvare denne problemformulering skal der undersøges en række underspørgsmål:

- Hvordan kan laserscanning og RFID tags kombineres?
- Hvordan kan en RFID tag positionsbestemmes?
- Hvilke typer elementer kan kontrolleres ved hjælp af laserscanning?

Primært vil muligheden for at kombinere laserscanning og RFID tags blive undersøgt, så der kan udvikles et system til opdatering af bygnings informations modeller. Ideen er i første omgang at finde ud af, om der kan laves et system, der kan udnytte fordelene fra de to teknologier. Dette kan gøres ved en yderligere analyse af, hvordan de to systemer kan kombineres, så der kan opmåles samtidig med, at tagget registreres.

En analyse af hvilke dele af bygningen, der kan betale sig at kontrollere ved opmåling, foretages. Analysen skal finde frem til, om der er elementer eller systemer, der ikke kan måles med laserscanning, eller måske endda ikke er relevante at måle med laserscanning.

Derudover skal der bestemmes hvilken nøjagtighed, der skal opnås for at kunne udskille et enkelt element i en punktsky. Dette har indflydelse på hvor tæt, der skal scannes for at være sikker på, at hvert enkelt element kan identificeres i punktskyen.

Der foretages en analyse af, hvordan en RFID tag kan positionsbestemmes. Denne analyse vil belyse de teknikker, der kan stedfæste tagget i elementet samt undersøge om det kan lade sig gøre at placere tagget et bestemt sted i elementet fra fabrikkens side.

Først forsøges, at besvare alle underspørgsmålene. Herefter findes et grundlag for at vide hvilke data, der skal indsamles og hvilke processer, der skal udføres for at kunne svare på problemformuleringen.

5.1 Besvarelse af underspørgsmål

De underspørgsmål, som er stillet for at besvare problemformuleringen, vil i dette afsnit blive uddybet og besvaret enkeltvis. Spørgsmålene besvares ved yderligere undersøgelser af emnerne i disse. De enkelte spørgsmål kan afføde yderligere underspørgsmål, som er relevante for besvarelsen af problemformuleringen. Derudover forsøges det at udvikle nye metoder til at besvare nogle af underspørgsmålene. Som et led i besvarelsen af spørgsmålene undersøges forskellige begreber, og der konkluderes på hvilke metoder, der findes mest anvendelige til de givne opgaver. I afsnittet følger delkonklusioner til hvert underspørgsmål. Delkonklusionerne samles slutteligt i en hovedkonklusion, der anviser en metode, der kan besvare problemformuleringen.

5.1.1 Hvordan kan laserscanning og RFID tags kombineres?

Idet laserscanning fungerer ved hjælp af lys, må der ikke være forhindringer i vejen for det, der skal måles. Det er også det, der kaldes "Line Of Sight". Det vil sige, at hvis det ikke kan ses, kan det ikke måles.

Som tidligere nævnt virker RFID tags ved hjælp af radiobølger. Idet radiobølger har den egenskab at kunne gå gennem ting, som for eksempel murværk og træ, alt afhængig af frekvensen, er det ikke nødvendigt at være i "line of sight". Dermed burde det kunne lade sig gøre at læse RFID tags gennem de byggematerialer og bygningsdele, der befinder sig på en byggeplads. Selvfølgelig er der begrænsninger for hvor meget materiale, signalet kan gå gennem.

I princippet er der ikke så stor forskel på radiobølger og lysbølger. Som det antydes er begge fænomener elektromagnetiske bølger. Den eneste forskel er bølgelængden eller frekvensen. Frekvensområdet for synligt lys er 790 – 405 THz, uden for dette interval bliver det enten ultraviolet eller infrarødt lys. Leicas

laserscanner HDS 3000 anvender en grøn laser, så her vil frekvensen ligge omkring 580 – 530 THz. Radiobølger ligger i spektret fra 3 Hz (subHertz) til 30 THz (TeraHertz), hvor blandt andet de signaler, som kan modtages på en almindelig radio og TV ligger i det frekvensbånd, der hedder VHF eller Very High Frequency (30 – 300 MHz). Idet hvert frekvensområde har forskellige egenskaber, vil der ved anvendelse af RFID tags blive anvendt bestemte frekvenser til hvert enkelt formål. Generelt kan det siges, at jo højere frekvens desto længere rækkevidde, men det betyder også, at det bliver sværere at trænge igennem materialer som for eksempel jern og beton. I skemaet nedenfor ses de forskellige typiske frekvensområder samt deres fordele og ulemper.

Frekvensbånd	Low Frequency (LF)	High Frequency (HF)	Ultra High Frequency (UHF)	Microwave
Frekvens-område	30 - 300 KHz	3 - 30 MHz	300 MHz - 3 GHz	2 - 30 GHz
Typisk RFID frekvens	125 - 135 KHz	13,56 MHz	433 MHz 865 - 956 MHz	2,45 GHz
Læseafstand	Under 0,5 m	Op til 1,5 m	433 MHz = ca. 100 m 865 - 956 MHz = 0,5 - 5 m	Op til 10 m
Data overførsels-hastighed	Mindre end 1 kbit/s	Omkring 25 kbit/s	Omkring 30 kbit/s	Op til 100 kbit/s
Positive karakteristika	• Læsbare gennem de fleste materialer • Ingen refleksioner eller absorbering • Ingen problemer med stråling • Billige	• Højere læseafstand end LF-tags • Kan læses gennem metal og væsker • Standardiserede • Gennemtestet teknologi	• Aflæser mange objekter samtidig • Større læseafstand • Større læsehastighed	• Lang læseafstand • Høj hastighed i dataoverførsel
Negative karakteristika	• Lav læseafstand • Lav læsehastighed	• Lav læseafstand • Lav læsehastighed	• Dårlig læsbarhed • Kan ikke virke gennem væsker og metal • Dyre RFID læsere	• Dårlig læsbarhed • Kan ikke læses gennem væsker og metal • Offentlig holdning og frygt ifbm. stråling
Typiske anvendelser	• Mærkning af dyr	• Smarte og intelligente etiketter • Adgangs- og sikkerhedskort	• Logistik på palle niveau • Item-level • Spotting af dyr/kvæg og helt unikke dyrearter	• Asset tracking • Betalingssystemer på motorveje, f.eks. Bro Bizz

[www.rfidvidensbank.dk 1]

Idet laserscanning og RFID teknologien har to forskellige virkemåder, er det nødvendigt at have forskellige instrumenter til de to teknologier. Det vil sige, at en laserscanner ikke kan læse RFID tags, og RFID læsere ikke kan anvendes som en laserscanner.

RFID-læsere fås i mange afskygninger. Det er dog vigtigt at anvende den rigtige læser til opgaven og til tagget. For at kunne knytte RFID tags sammen med laserscanningen menes det at være en stor fordel at kunne stedbestemme tags. Med en almindelig RFID læser er det ikke muligt at stedbestemme hvert enkelt tag, dog kan man med en håndholdt læser bestemme hvilket element, tagget er placeret i ved hjælp af manuel aflæsning. Denne fremgangsmåde menes dog ikke at være holdbar. Dette begrundes med, at der let vil opstå fejl i registreringen, hvis denne udføres manuelt. Disse fejl kan opstå, idet koblingen mellem laserscannerens punktsky og RFID tagget vil komme til at foregå manuelt.

Forskellen på aktive og passive tags er beskrevet tidligere i denne rapport, men uddybes i det følgende.

Aktive tags udsender en radiobølge, som kan modtages af en RFID læser ligesom de passive tags. Det, der gør de aktive tags forskellige fra de passive er, at tagget indeholder sin egen strømforsyning typisk i form af et litiumbatteri. Hermed er det muligt at læse tagget på en afstand op til 200 meter afhængig af hvilken tag, der tages udgangspunkt i. Den store aflæsningsradius kan anvendes til positionering, som det vil fremgå af det senere afsnit "Hvordan kan en RFID tag positionsbestemmes?". Ydermere kan den rumme en større datamængde, eksempelvis data om det element eller objekt, som tagget referer til. En stor ulempe ved de aktive tags er dog, at de på et tidspunkt vil løbe tør for strøm, og når dette sker, er det ikke længere muligt at læse tagget. Strømforbruget er selvfølgelig afhængigt af hvilke impulser, der bliver udsendt og med hvilken frekvens, de bliver udsendt. En ulempe ved de aktive tags er prisen. Aktive tags er større og mere komplekse end passive tags, hvilket påvirker placeringsmulighederne for det enkelte tag. En hurtig søgning på internettet viser, at priserne på aktive tags typisk ligger på omkring 100 kr. pr. styk. Prisen på aktive tags gør, at de ikke så ofte bliver indstøbt i betonelementer. [www.rfidvidensbank.dk 2]

De passive tags indeholder til forskel fra de aktive tags ingen egen strømforsyning. De modtager derimod deres energi i form af elektromagnetiske bølger. Disse bølger bliver omsat til strøm, som igen bliver anvendt til at udsende en radiobølge. Den store fordel ved passive tags frem for de aktive er, at de aldrig vil løbe tør for strøm, da strømmen kommer udefra. Udover levetiden er en anden stor fordel ved de passive tags, at de er billige at fremstille. Dette skyldes, at de er

mindre i omfang, og at de er mindre komplekse end de aktive. Til forskel fra aktive tags er passive tags billige at producere, fordi de ofte består af simple kredsløb. Priserne på passive RFID tags kan købes til under en krone. Med de billige tags er der større sandsynlighed for se en øget anvendelse af disse i betonelementer. I dag er placeringen af RFID tags i betonelementer kun på forsøgsbasis i Danmark, så der kun placeres et tag i hvert element. Men det kunne tænkes, at det i fremtiden vil være muligt at placere flere tags i elementerne, hvilket kan skabe nogle nye muligheder. Der er dog ikke kun fordele ved de passive tags. Rækkevidden vil typisk være reduceret til nogle få meter, idet signalet, der bliver udsendt, er meget svagt. Derudover kan de ikke indeholde den samme mængde data som de aktive, men vil i stedet typisk indeholde et serienummer, som kan refereres til en database. [www.rfidvidensbank.dk 3]

Udover de aktive og passive tags findes også semipassive tags. De fungerer i princippet på samme måde som de passive tags, dog med den forskel, at de har et lille batteri. Dette batteri bliver brugt til at drive selve kredsløbet i tagget, mens strømmen fra den elektromagnetiske bølge bliver kun anvendt til at afsende et nyt signal. Dette betyder, at rækkevidden bliver væsentligt forøget i forhold til de passive tags samtidig med, at den holder længere strøm end de aktive tags [www.rfidvidensbank.dk 4].

Opsamling

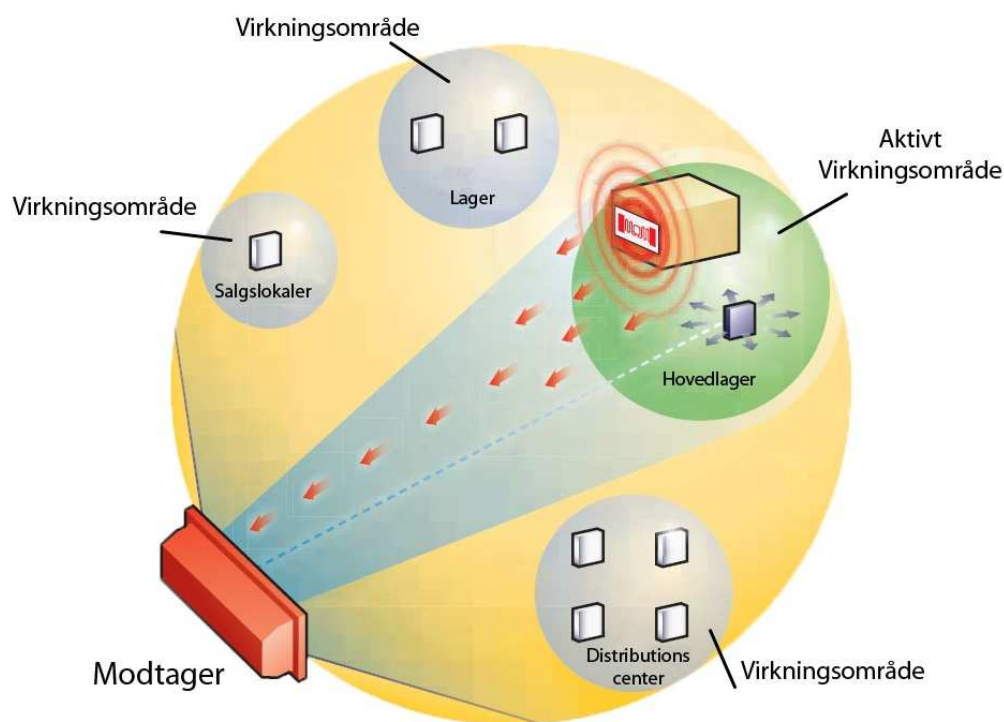
Det kunne være fordelagtigt, hvis der blev lavet et forsøg, hvor der både blev anvendt aktive og passive tags. På den måde kan fordelene fra begge typer af tags udnyttes. De aktive tags kan udnyttes med deres kraftigere signal inden deres batteri løber tør for strøm, mens de passive tags kan anvendes til vedligeholdelsesfasen, idet de ikke løber tør for strøm og derfor vil kunne findes i hele bygningens levetid. De forskellige typer af tags kan herved få forskellige anvendelser, da de kraftige signaler fra aktive tags kan anvendes til forskellige former for positionering af bygningens elementer. Ved en kombination af aktive og passive tags kan elementerne stadig identificeres, når de aktive tags løber tør for strøm. Resten af bygningens levetid vil de passive tags kunne aflæses. Selvom de ikke har en lang rækkevidde, vil det ikke have den store betydning, da de i vedligeholdelsesfasen skal virke som reference mellem det enkelte element og en database. I denne fase er det underordnet, hvilken afstand tagget kan aflæses i, da aflæsningen af det enkelte tag vil blive udført manuelt.

Det vil ikke være muligt at anvende laserscanning og RFID direkte ved betjening af kun ét instrument. Med de to teknologier er det nødvendigt først at finde de anvendte RFID tags og sidenhen laserscanne området, eller omvendt. Dermed er det nødvendigt at finde en metode, hvormed RFID tags kan positionsbestemmes i

det samme koordinatsystem som den laserscannede punktsky. For på den måde at kunne kombinere de to teknologier.

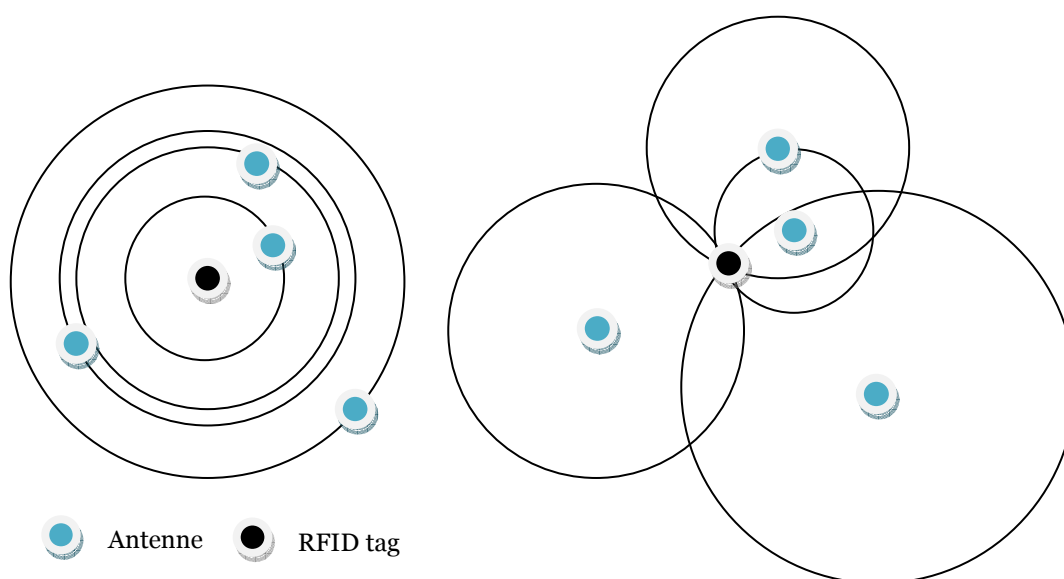
5.1.2 Hvordan kan en RFID tag positionsbestemmes?

Det vil være fordelagtigt at kunne stedbestemme hvert enkelt tag. På den måde er det muligt at koble den laserscannede punktsky sammen med dataene fra RFID tags. Dette problem har firmaet Mojix løst. Ikke alene kan de læse tags på lang afstand, men de påstår også at kunne stedbestemme dem. Firmaet anvender passive tags, der har den store fordel, at de ikke anvender batterier for at kunne fungere. Grunden til at Mojixs system kan læse tags på lang afstand, op til 200 meter, er, at de anvender forskellige afsendere og modtagere. Det vil sige, at den aktiverende elektromagnetiske bølge ikke bliver udsendt fra samme sted, som det udsendte signal fra tagget bliver modtaget. På den måde er det muligt at lave en modtager, der er mere følsom end tagget og dermed øge læseafstanden. Det har ikke været muligt at afklare, hvordan den enkelte tags rumlige placering er identificeret, men Mojix mener at kunne bestemme de enkelte tags inden for en meter. I Figur 12 kan det ses hvordan Mojixs system er opbygget. [www.mojix.com 1]



Figur 12: Principskitse for Mojixs system [www.mojix.com 2]

Et andet firma, der påstår at kunne stedbestede RFID tags er "Multispectral Solutions, Inc.®", hvor der anvendes aktive tags. Firmaet har selv udviklet en type tags, som udsender meget korte impulser, hvilket har flere positive virkninger. Idet impulserne er så korte – typisk mellem få hundrededele af et picosekund (10^{-12}) til få nanosekunder (10^{-9}), er det muligt at anvende så lidt strøm selv ved udsending af signal en gang i sekundet, at der i et batteri er nok strøm til en levetid på op til 5 år. Endnu en fordel ved den korte impuls er, at man undgår multipath. Multipath er et udtryk for, at en impuls rammer et objekt og på den måde ændrer retning og afstand fra tag til modtager. Idet impulsen er så kort, når modtageren at opfange hele det korrekte signal, inden der eventuelt følger et signal med multipath. "Multispectral Solutions, Inc.®" kalder deres produkt for "Sapphire DART". Idet systemet anvender aktive tags, er det muligt at læse tags på op til 200 meter uden ekstra foranstaltninger. Ved hjælp af samme metode til at beregne afstande, som anvendes ved GPS, er det desuden muligt at positionere tags. Her anvendes time-of-flight til flere modtagere, og på den måde er det muligt at beregne taggets position ved hjælp af bueskæring. "Multispectral Solutions, Inc.®" mener at kunne positionere tags i Real Time med 30 cm nøjagtighed og 10 cm, hvis der anvendes udjævning. Positioneringen af de RFID tags, der fra producentens side påstås at kunne stedfæstes med en nøjagtighed af 30 cm, bygger på bueskæring. [www.multispectral.com]



Figur 13: RFID tagget udsender signalet, og afstanden mellem tagget og modtagerne beregnes ved hjælp af time of flight. Herefter kan taggets position beregnes ved hjælp af bueskæring.

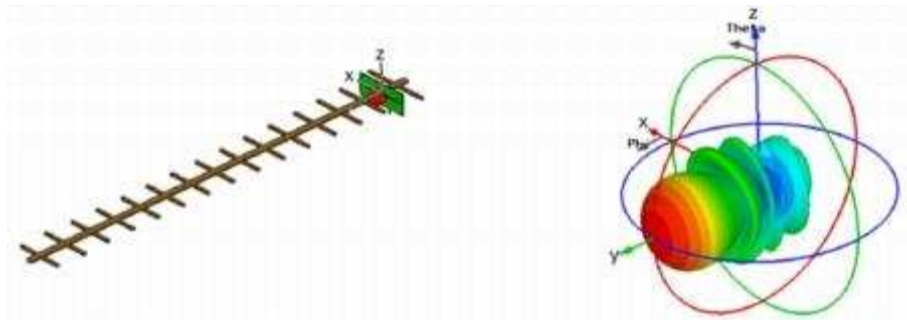
Bueskæringen foregår ved hjælp af et aktivt RFID tag, som udsender et kort signal, der indeholder en tidsinformation. Signalet opfanges af et netværk af fastmonterede modtagende antenner, hvortil koordinaterne er kendt. Ved hjælp af time of flight beregnes afstanden til hver enkelt modtager. Ved hjælp af de relative afstande mellem tagget og hver enkelt modtager kan den absolutte position af tagget bestemmes. [www.multispectral.com]

Som udgangspunkt må der stoles på, at producenten af systemet taler sandt, og at systemet kan anvendes med de nøjagtigheder, der præsenteres. Producenten påstår, at et tag kan positioneres med 30 centimeters nøjagtighed. Hertil kan knyttes en kommentar om de ændringer på byggepladsen, der forstyrrer signalet fra tagget. Hvis der under byggeriet monteres en armeret betonvæg mellem tagget og modtageren, vil signalet forringes, så der kan opstå forkerte målinger. Dette vil trods firmaets påstand om, at der kan foretages opmålinger gennem flere forhindringer, resultere i, at positioneringen af tagget med høj sandsynlighed forringes, når der foretages målinger gennem objekter.

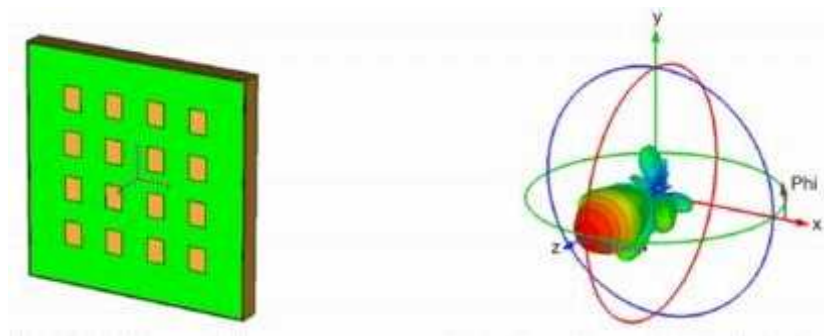
De to systemer, der påstås at kunne stedbestemme tags, er interessante i forhold til projektets problemstilling. Disse metoder kan anvendes til at positionere tags med, i forhold til landmåling, lav nøjagtighed. Nøjagtigheden er god nok til at kunne bestemme, om elementerne er placeret på det korrekte sted. Derudover er der gennem projektarbejdet fremkommet en yderligere metode til stedbestemmelse af RFID tags. Metoden anvender en retningsbestemt antenne til at bestemme en retning til signalet fra et tag, og derefter udføres en fremskæring for at positionere tagget. Nøjagtigheden af metoden kendes ikke, men der er mulighed for at udføre udjævning og derved forbedre positionen, såfremt der er nok opstillinger med antennen. Metoden afhænger desuden i høj grad af hvor meget, der kan skelnes mellem vinklerne i pejlingen. Dette spørgsmål er ikke blevet besvaret gennem projektarbejdet, og metoden kan derfor ikke vælges som grundlag for resten af projektet.

Retningsbestemt RFID tag læser

Gennem en samtale med Kristian Birch Sørensen, Ph.d. studerende ved Byggeri og Anlæg, Aalborg Universitet, kom emnet retningsbestemte RFID tag læsere op. Der blev talt om, at det er muligt at konstruere en antenne, der hovedsageligt modtager radiosignaler i en afgrænset vinkel. Rent radioteknisk kan det lade sig gøre at konstruere en antenne, der er retningsbestemt således, at den er mere følsom i en bestemt vinkel. Ved hjælp af forskellige antennedesigns kan modtagelsen af radiosignaler ensrettes således, at signalerne opfanges fra en afgrænset vinkel. I Figur 14 og Figur 15 ses to eksempler på retningsbestemte antenner og deres modtageområde. [www.cisco.com]

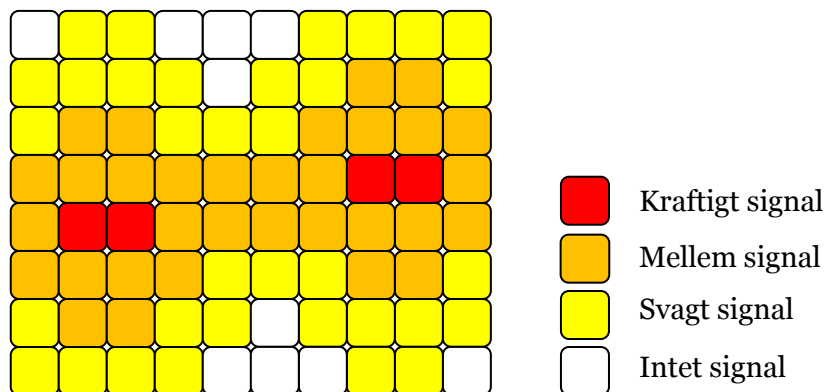


Figur 14: En Yagi antenne er et eksempel på en retningsbestemt antenne
[www.cisco.com]



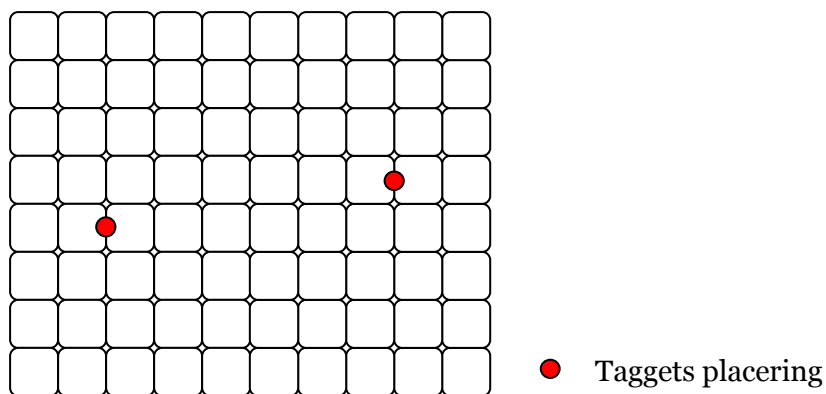
Figur 15: En Patch Array antenne er et eksempel på en retningsbestemt antenne
[www.cisco.com]

Dette burde kunne anvendes til positionering af RFID tags, hvis der konstrueres et instrument, hvor retningen registreres samtidig med, at der modtages et radiosignal. Hvis der samtidig laves en registrering af hvor kraftigt signalet, der modtages er, burde det være muligt at kunne få en pejling af, hvor et tag sidder i en opmåling. Instrumentet, som skal måle retningen på pejlingen, kan være en totalstation eller andet instrument, som kan refereres i forhold til et koordinatsystem. Herved kan signalet kortlægges og resultatet kan blive som på skitsen i Figur 16. I figuren ses en signalstyrkepejling af et element, hvor der er placeret to tags.



Figur 16: Retningsbestemt pejling af signalstyrken til et element med to RFID tags

Ved hjælp af pejlingen kan det blive muligt at beregne retningen til de tags, der findes i et element. Resultatet af en pejling bør se ud, som det ses i Figur 17. Til at beregne placeringen udføres en udjævning for at finde det sted, som efter beregningerne giver det stærkeste signal. I denne udjævning vægtes observationerne efter signalstyrke således, at de punkter, som giver det kraftigste signal, tildeles den største vægt. Retningen kan herefter projiceres ind på elementet, og en position kan bestemmes på elementets forside. Positionen på elementets forside er ikke taggets absolutte placering, men en tilnærmelse af hvor i elementet det befinder sig. Tags, der registreres på andre måder, kan positioneres med en nøjagtighed på cirka 30 cm, hvilket betyder, at de heller ikke med sikkerhed vil blive registreret inden i elementet.



Figur 17: De udjævnede retninger er her projiceret ind på elementets flade

Metoden hæmmes af de passive tags' rækkevidde, som gør, at de kun kan aflæses inden for få meter. Herved skal antennen stadig forholdsvis tæt på tagget, inden der kan opfanges et signal. Dette vil sige, at hvis der skal kunne skelnes mellem signalstyrken for de forskellige vinkler, skal antennen placeres endnu tættere på

tagget. Aktive tags, der kan aflæses på en afstand op til 200 meter, bør derimod kunne aflæses i en afstand, der gør det muligt at stille antennen op midt i et rum og udføre en pejling, hvor alle tags i rummet opfanges. En bivirkning ved den lange rækkevidde er dog, at det ikke kun vil være de tags, der hører til det enkelte element i rummet, der bliver opfanget. Tags, der hører til andre rum og derved andre laserscanninger, vil også blive registreret. Dette kan dog modvirkes i dette tilfælde, da der samtidig med registreringen af RFID tags vil foregå en laserscanning af det samme område, og hvis laserscanningens punktsky sammenholdes med RFID registreringerne, vil det være muligt at udvælge de rigtige tags.

Nøjagtigheden af lokaliseringen af tags afhænger således af, hvor snæver en vinkel antennen kan modtage signalet fra RFID tagget fra, og hvor meget der kan skelnes mellem signalstyrken for de forskellige vinkler. De to eksempler på retningsbestemte antenner, som er vist i Figur 14 og Figur 15, har henholdsvis en vinkel på hovedkeglen på cirka 60 grader for Yagi antennen og cirka 50 grader for Patch Array antennen.

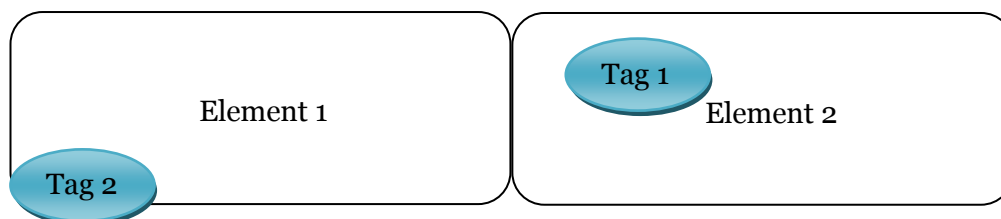
Som beskrevet vil der ved anvendelse af denne metode kun blive registreret to retninger (horisontalretning og zenitdistance) til hvert tag. Med to retninger er det ikke muligt at positionsbestemme et objekt i tre dimensioner. Her vil det enten være nødvendigt at anvende fremskæring og dermed flere opstillinger, eller også skal der registreres en afstand til hvert tag således, at der bliver registreret to vinkler og en afstand til hvert tag. En måde, hvorpå det vil være muligt at bestemme afstanden til hvert tag, er ved at måle den tid, det tager for signalet at komme fra tagget og til modtageren. Dette princip er set før i for eksempel GPS teknologien. Der vil dog være væsentlige forskelle, idet der vil blive problemer med blandt andet urfejlen.

Det vurderes, at det ikke er nødvendigt at udvikle en ny metode til at lokalisere RFID tags, når dette ikke er projektets hovedformål, og der allerede findes systemer, der kan positionere tags. Derfor vælges det at stole på de færdigudviklede systemer. Firmaet Multispectral Solutions, Inc.® hævder, at deres produkt Sapphire DART kan positionere aktive RFID tags inden for 30 cm. Det er denne løsning, der vælges at stole på, og der vil ikke udføres yderligere undersøgelser af produktet.

Opsamling

Selvom det understreges, at systemet ikke er afprøvet og vurderet i projektet, vil der i det følgende projektarbejde forudsættes, at tags kan positioneres med 30 cm nøjagtighed. Med en nøjagtighed på 30 cm kan den topologiske placering af elementer med en vis størrelse kontrolleres. Det vil sige, at der ved en

sammenligning mellem koordinaterne til de enkelte elementer kan foretages en analyse af, om de står korrekt indbyrdes. Denne kontrol kan afklare, om elementerne er monteret korrekt. I det tilfælde et element er monteret forkert, kan det vurderes, om fejlen kan ignoreres, eller om der skal ændres noget i bygningen. I Figur 18 ses et eksempel på, hvordan det kan se ud, hvis to elementer er blevet forbyttet. Koordinaterne til de to elements tags vil i denne situation afsløre, at elementerne er placeret forkert.



Figur 18: Eksempel på, at der er byttet om på to elementer

Denne undersøgelse må nødvendigvis foretages af mennesker, idet der kan være elementer, som ser ens ud, men som har forskellige egenskaber. Eksempelvis kan det forekomme, at der byttes om på to elementer, et element med hul til at føre ledninger eller rør igennem og et med samme udformning bortset fra hullet. Derved vil hullet ikke være der, hvor det skulle ifølge planen. Her skal det undersøges, om elementerne skal byttes om, eller om der skal bores et nyt hul i det element, der er placeret der, hvor hullet skulle have været.

Konklusionen er, at det mest nøjagtige system af de to allerede udviklede systemer skal bruges til at stedbestemme elementerne. Firmaet bag systemet Sapphire DART lover at kunne positionere tags med en nøjagtighed på 30 cm. Derfor bør det være en kombination mellem dette system og laserscanning, der arbejdes videre med til opdatering af bygningsmodellen.

5.1.3 Hvilke typer elementer kan kontrolleres ved hjælp af laserscanning kombineret med RFID tags?

I en bygning findes der mange forskellige elementer i mange forskellige former med mange forskellige egenskaber og med mange forskellige virkemåder. Dermed er det umuligt at stedbestemme dem alle ved hjælp af én metode. I dette afsnit fokuseres på en række af almindelige elementer i et byggeri. Disse elementer vil blive gennemgået med hensyn til hvordan de kan anvendes i sammenhæng med RFID tags og laserscanning. En liste over elementerne kan ses nedenfor.

- Betonelementer
- Døre
- Vinduer
- Jernbjælker
- Ledninger

Betonelementer

Betonelementer har som regel dimensioner, der tillader, at der indstøbes tags, og der indstøbes allerede i dag RFID tags i betonelementer. Tags der er på størrelse med et kreditkort og klipses fast på armeringsstålet inden selve støbningen. Her er oplagt at anvende disse tags til registreringen af hvilket element, der er blevet målt. Betonelementer kan have forskellige udformninger, og det er derfor ikke let at bestemme en måde, hvorpå tagget kan placeres ens i alle elementer.

Betonelementer er forholdsvis lette at laserscanne, da deres naturlige farve tillader, at tilstrækkeligt lys reflekteres på overfladen. Er elementerne derimod malet med en mørk farve, vil meget af laserlyset blive absorberet, og opmålingen vil derved blive forringet.

Den relativt nemme måde at placere tags i betonelementer og de gode muligheder for at opmåle de rå elementer med laserscanning gør, at betonelementer er oplagte at kontrollere med RFID tags og laserscanning. Mange elementer har samtidig en overfladestørrelse, der gør, at der tillades mange laserscanningspunkter selv, når der scannes med en rimelig stor afstand mellem punkterne.

Ofte er betonelementer produceret i en simpel geometrisk form. Derved er de enkle at modellere ud fra punktskyen, hvilket kan være en fordel i forhold til den senere sammenligning mellem modellen og punktskyen.

Døre

Der findes forskellige måder at konstruere døre på. Materialet kan være træ, stål, glas eller andet. Afhængigt af materialet er konstruktionen forskellig, og dette medfører, at tags skal placeres forskelligt i forskellige døre. I modsætning til betonelementer, hvor tags kan monteres på armeringsstål inden støbning, skal der for at montere et tag inden i en dør, udføres et ekstra stykke arbejde, da der ikke er nogle oplagte steder at placere det. Det vil gøre, at døre med tags ikke kun påføres den yderligere udgift, som tagget koster, men også prisen for yderligere bearbejdning. Døre kan have forskellige egenskaber, de kan være højre- og venstrehængte, og monteres den forkerte dør i en døråbning, kan det være, at den ikke kan lukkes eller åbnes.

Forskellige døre har forskellige farver, og de vil derfor ikke reflektere laserlyset ens. Nogle døre er lavet af glas, og lyset vil derfor gå direkte igennem. Her vil der blive målt noget helt andet end selve døren. Hvis tagget til døren registreres som et af punkterne i laserscanningen, vil der i denne situation ske fejl, da punktet kan ligge et helt andet sted end på døren. Et andet problem, der kan opstå, er, at døren slet ikke bliver registreret i scanningen, hvis alle målingerne går gennem glasset. Derudover kan der være problemer med malede døre med meget mørke farver, hvor laseren i ringe grad vil reflekteres. I disse tilfælde vil der blive udført meget få brugbare målinger, og der er derfor et meget lille grundlag for en sammenligning mellem scanningen og modellen.

De mange forskellige måder døre kan være udformet på og de mange forskellige materialer gør, at der ikke kan udvikles en metode, der kan anvendes til alle typer døre. Nogle døre ville være glimrende til at blive kontrolleret ved hjælp af RFID tags og laserscanning, mens andre kan give udfordringer både med hensyn til placering af tags og indmåling med laserscanner. Døre er derfor ikke et godt emne til at udvikle en metode til kontrolmåling ved hjælp af RFID tags og laserscanning for. Derudover kan det være svært at kontrollere, om døren åbner den rigtige vej med netop RFID tags og laserscanning, en kontrol der ellers ville være essentiel for dørens funktionalitet.

Vinduer

For vinduer gælder mange af de samme egenskaber som for døre. Det vil sige, at de kan være lavet af forskellige materialer, og at der skal udføres et yderligere stykke arbejde for at få tagget monteret. Derudover er hovedformålet med vinduet, at der er monteret en eller flere ruder i rammen. Det vil sige, at tagget skal indsættes et sted i rammen. Dermed vil tagget blive monteret i yderkanten af et vindue, og derved kan vinduerne forveksles med hinanden, hvis de monteres tæt på hinanden.

Ruden i vinduet kan ikke reflektere laserlyset, så en del af de målinger, der skal bruges til sammenligningen mellem modellen og scanningen, vil ikke kunne findes i punktskyen. Derimod vil de målinger, som foretages på rammen, kunne anvendes, forudsat arealet på rammen er tilstrækkeligt stort til, at der kan udføres en fornuftig opmåling.

De problemer vinduer giver med både RFID tags og laserscanning gør, at de ikke er oplagte emner til en kontrol med netop denne kombination. Kontrollen ville kunne gøres mere effektivt med andre metoder.

Stålbjælker

Støbte Stålbjælker er ofte helstøbte og i formen I, H, T eller L, og der er derfor få muligheder for at få anbragt tags heri uden at de skal fæstnes udenpå med en fæstningsmetode som for eksempel tape eller strips. Dette øger risikoen for, at tags forsvinder under transport eller under monteringen.

Opmålingen af bjælkerne med laserscanner kan udmærket lade sig gøre, men da bjælkerne i nogle tilfælde kun scannes fra den ene side, så profilen på de forskellige bjælker ikke kan ses i scannet, kan det for eksempel blive svært at se forskel på en L og en T profil, hvis de kun måles fra en side.

At placeringen af tags er svær på bjælker gør, at det ikke er et godt emne at kontrollere med RFID tags og laserscanning. Til gengæld kan en stålbjælke scannes uden problemer, men da det er kombinationen mellem de to teknologier, der er formålet med projektet, er stålbjælker ikke et emne, der arbejdes videre med.

Ledninger

RFID tagging af små objekter som ledninger giver ikke mening i forhold til opdatering af bygnings informations modellen og vil højst sandsynligt ikke komme på tale. At positionere en ledning vil ikke afsløre, hvor enderne af en sådan er, og at have en enkelt position på et langt og bøjeligt objekt er meningsløst, og der vil kun kunne konstateres, at det befinder sig i bygningen.

Med laserscanneren er det næsten en uoverkommelig opgave at skulle opmåle en hel bygning med så tæt et grid, at blotlagte ledninger bliver opmålt og kan identificeres. Ledninger, der ligger i kabelskinner, vil ikke være enkeltvis identificerbare, men til gengæld kan selve skinnen blive målt og kontrolleret i forhold til modellen. Nogle ledninger er gemt helt inde i vægge og lignende og er ikke synlige for det blotte øje og kan derfor heller ikke opmåles med laserscanner. Ledninger er altså ikke et oplagt emne at kontrollere med RFID tags og laserscanning, og der vil være metoder, der er mere effektive til dette.

Opsamling

For at kunne anvende RFID tags i samarbejde med en laserscanner er det nødvendigt at kunne stedbestemme de enkelte tags. På den måde vides det, hvor i byggeriet hvert element er placeret. Men som tidligere nævnt er det kun muligt at positionere et tag med en nøjagtighed på 30 cm, men det skal måles bedre ind for at kunne bruge metoden som en kontrol af bygnings informations modellen. Når elementer skal kunne kontrolleres med RFID tags og laserscanning, er det nødvendigt at begge opmålingsteknikker kan anvendes for elementerne. Det eneste af de beskrevne elementer, der kan drage fuld udnyttelse af begge teknikker, er betonelementer, som der derfor arbejdes videre med i projektet.

6 Problemafgrænsning

For at løse problemet med at anvende Laserscanning og RFID tags til opdatering af bygningsmodellen til en BIM ønskes det at anvende de metoder, der ifølge afsnit 5.1 Besvarelse af underspørgsmål er de bedste til opgaven. RFID tags kan med Sapphire DART systemet anvendes til at positionere elementer med en nøjagtighed på cirka 30 cm. Derved kan systemet anvendes til at kontrollere, om elementerne er placeret på de rigtige pladser ved at anvende både positionsbestemmelsen og elementets unikke identifikationsnummer. Desværre råder Aalborg Universitet ikke over et Sapphire DART system, og der kan derfor ikke laves undersøgelser af systemet i praksis. I stedet må der stoles på, at de specifikationer der oplyses fra producenten er korrekte, og på baggrund af dette laves et sæt syntetiske data, der modsvarer systemets ydeevne. Som en del af problemløsningen ønskes det at lave en programbid, der kan kontrollere om en mængde elementer er placeret korrekt i forhold til en model.

Til kontrolopmåling med laserscanner ønskes det at udvikle en metode, hvor fladerne fra modellen kan sammenlignes med de planer, der kan modelleres af punktskyen. Ifølge specifikationerne for Leica HDS 3000 har en plan, der modelleres af et laserscan, en nøjagtighed på omkring 2 mm. Elementets flade er derved korrekt placeret, hvis en sammenligning mellem fladerne ikke overstiger en spredning på 2 mm. De flader, der kan kontrolleres ved metoden med fladesammenligning, er de blotlagte hovedflader på elementerne, hvilket vil sige, at små flader på elementernes hjørner ikke bliver sammenlignet i forsøget. Forsøget ønskes udført i Fibigerstræde 11, Aalborg Universitet, hvor et element udvælges som testelement. Det vælges at arbejde med et rektangulært element for at få en simpel figur at sammenligne i testen.

7 Problemløsning

I dette afsnit redegøres for fremgangsmåden i udførelsen af beregningerne, der skal udføres og forberedelserne hertil. Problemløsningen vil blive udført for at finde ud af om de metoder, som er identificeret i analysen fungerer i praksis. Forsøget er delt op i fem faser for at kunne repræsentere modellerings og opmålingsarbejdet. De fem faser er, som følger:

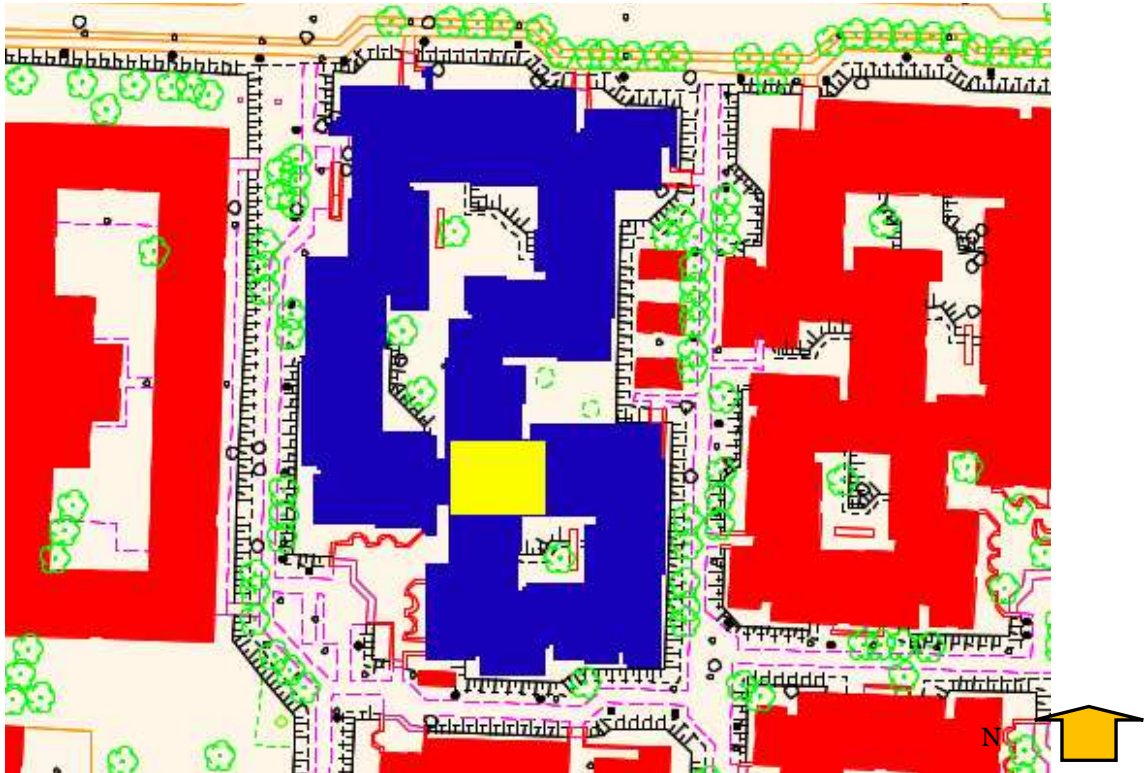
- Etablering og opmåling af fikspunkter
- Modellering af elementer
- Laserscanning af elementer
- Registrering af RFID tags
- Sammenligning af model, punktsky og RFID tags

Desuden vil der til sidst i afsnittet være et forslag til, hvordan beregningerne kan udføres, jævnfør de fem ovenstående punkter.

Først og fremmest er det dog nødvendigt at finde et passende område, der kan anvendes til de forskellige målinger, som beskrevet ovenfor. Der er opstillet en række krav til området, som skal være opfyldt for, at det valgte område kan anvendes i dette projekt. Kravene er, som følger:

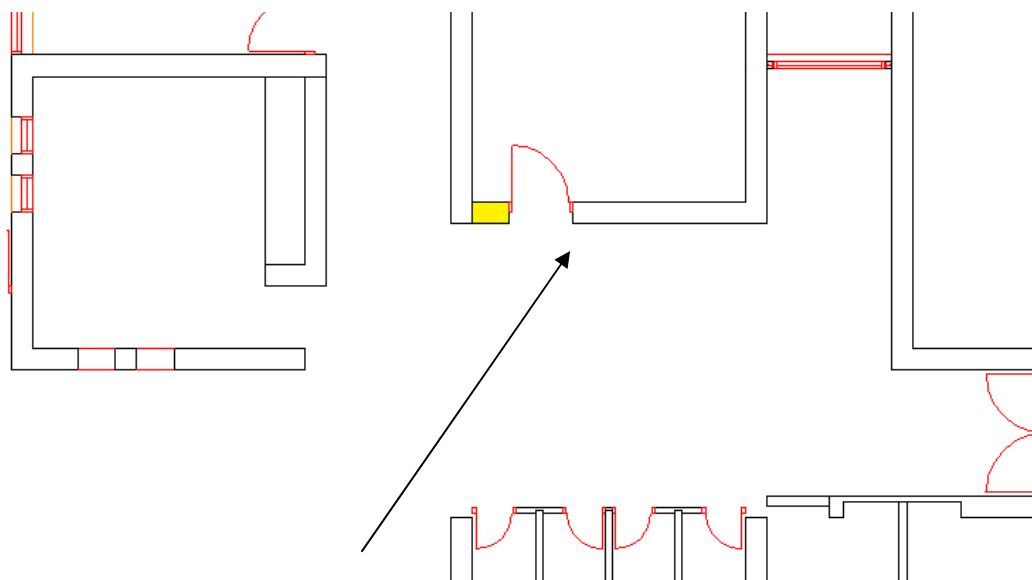
- Skal indeholde elementer
- Skal kunne se mindst et element fra to sider
- Skal kunne laserscannes
- Skal kunne modelleres

I Figur 19 ses det område, som er valgt til forsøget. Området ligger i Aalborg Universitets bygning på Fibigerstræde 11 og er i figuren markeret med blå, mens den del af bygningen, som vil blive anvendt, er markeret med gult.



Figur 19: Kort over Fibigerstræde 11 (blå bygning). Det gule felt markerer modelleringsområdet.

Da det ikke findes nødvendigt at modellere hele området, er der udvalgt et enkelt element til modellering. Dette element befinder sig i områdets nordlige del. Det er fra to opstillinger muligt at se, og dermed også opmåle, modellere og laserscanne to af siderne på elementet. Selve elementet kan ses i Figur 20.

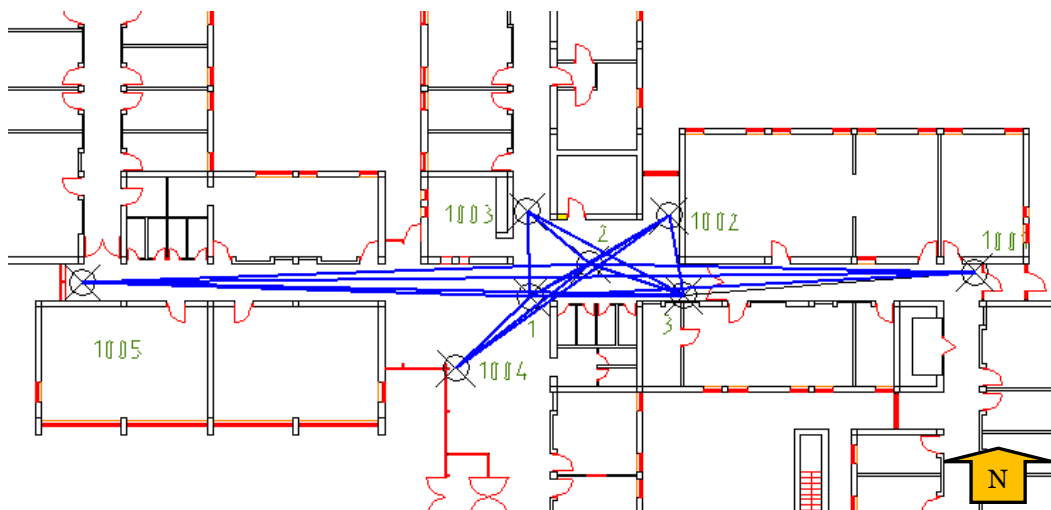


Figur 20: Det indmålte element

Der vil nedenfor komme en gennemgang af de førstnævnte fem punkter, som skal udføres for at udføre forsøget.

7.1 Etablering og opmåling af fikspunkter

For at kunne referere de forskellige målinger i det samme koordinatsystem er det nødvendigt at oprette et fikspunktnet. I dette tilfælde er det bestående af 8 punkter, som er fastgjort til gulvet omkring hallen ved hovedindgangen til Fibigerstræde 11. Punkterne er målt ind ved 8 opstillinger, og det er således muligt at udføre en udjævning af punkterne for at opnå en god indbyrdes nøjagtighed. Punkterne har fået koordinater i forhold til et lokalt koordinatsystem. Koordinatsystemet er konstrueret således, at der ikke opstår negative koordinater, da dette kan give problemer i beregningerne.



Figur 21: Fikspunktsnet

Som før nævnt er fikspunktsmålingerne foretaget i 8 punkter, hvor der fra hvert punkt blev målt til de af de andre punkter, som var i line of sight. I Figur 21 ses en netskitse, hvor baggrundsbilledet er omridset af bygningen. Idet der er mange overbestemmelser i nettet, er det muligt at lave en udjævning af målingerne. Denne del er foretaget i programmet Leica Geo Office. Resultaterne herfra samt en netskitse i høj opløsning er vedlagt som bilag.

Dermed er der fremstillet en koordinatliste til fikspunkterne, der ser ud, som følger:

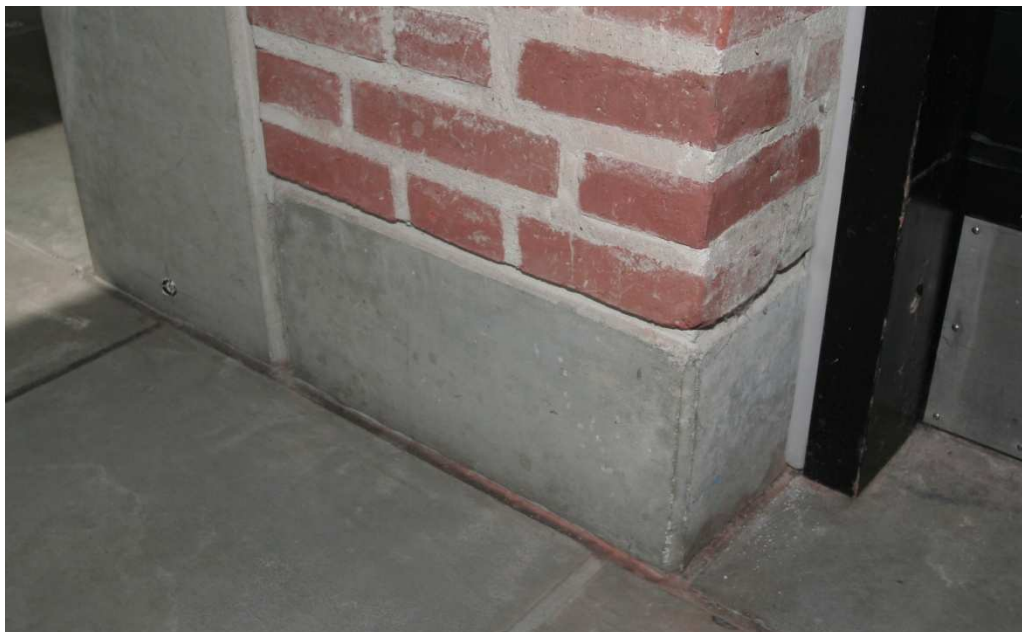
Punkt nr.	Y - koordinat	X - koordinat	Z - koordinat
1	98.332	125.127	1.015
2	100.000	121.163	0.999
3	98.898	116.103	1.006
1001	100.002	99.999	1.001
1002	103.228	116.968	1.010
1003	103.202	124.568	1.004
1004	94.745	128.210	1.003
1005	98.836	149.057	0.997

7.2 Modellering af elementer

For at udføre et eksperiment med sammenligning mellem en 3D-model og en punktsky fra laserscanning skal begge dele forefindes. Derfor er fremstillet en model af en del af universitetets bygning Fibigerstræde 11. Denne model skal repræsentere den bygnings informations model, som bygningen i sin tid blev bygget efter. De attributter, der er hæftet til "informations", vælges det dog at se bort fra, da disse ikke er nødvendige, for at kunne sammenligne modellens fysiske

dimensioner med en punktsky. Desuden modelleres kun et element, da dette er tilstrækkeligt for at kunne udføre de tiltænkte beregninger.

Det er nødvendigt, at modellen bliver refereret i det samme koordinatsystem som den senere laserscanning. Til opmålingen blev der derfor anvendt frie opstillinger, som alle havde frit sigte til mindst 5 fikspunkter, og på den måde vil der være en tilstrækkelig overbestemmelse til at kunne sammenligne modellen med en laserscannet punktsky på et senere tidspunkt. Et billede af det indmålte element kan ses i Figur 22.



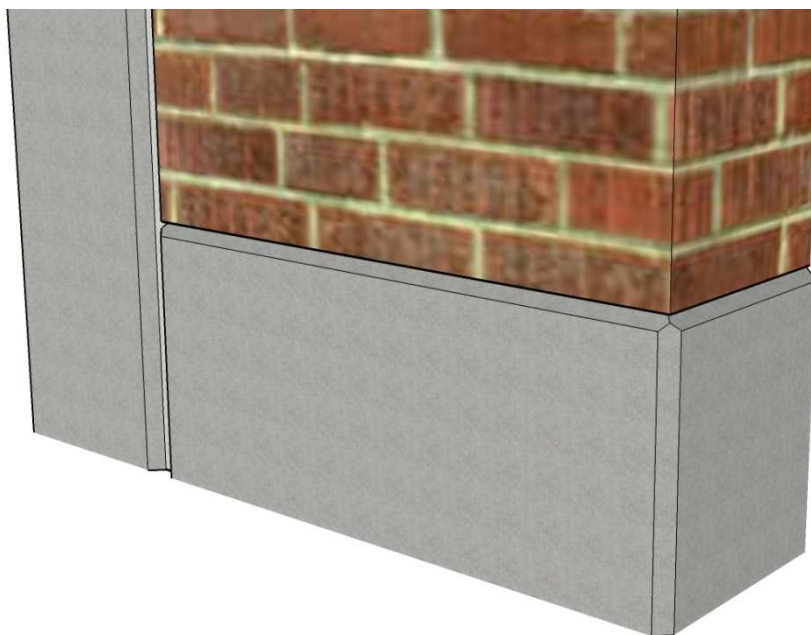
Figur 22: Det indmålte element

Efter indmålingen af elementet er elementet modelleret i AutoCAD. I forbindelse med modelleringen blev der konstateret problemer, idet det er umuligt at genskabe de oprindelige mål på elementet. Dermed blev nogle af siderne på elementet en smule skæve. Som følge heraf besluttes det at fremstille en ny model, dog med de samme mål og koordinater tilnærmet de indmålte. Formålet med den nye model er at få alle flader til at være enten vinkelrette på hinanden eller være parallelle. Dermed fremstilles en model, der tilsvarende den, som bygningen er fremstillet efter i stedet for at have en model, der er fremstillet på baggrund af bygningen.

For at kunne beskrive en models fysiske dimensioner er det nødvendigt at undersøge, hvordan det er muligt at gøre dette entydigt. Udvekslingsformatet for bygning informations modeller hedder IFC (Industry Foundation Classes) og er et

standardiseret udvekslingsformat, som er udviklet af International Alliance for Interoperability (IAI) i samarbejde med nogle af verdens førende softwareleverandører til byggebranchen [iai-forum.teknologisk.dk]. Det har ikke været muligt at finde frem til filopbygningen således, at det er muligt at anvende dette format i samarbejde med Matlab. Det er derfor nødvendigt at finde frem til et format, som entydigt kan beskrive elementer i 3D. Dette format beskrives senere i afsnit 7.6.2 Fase 2. Modellen til elementet i Figur 22 kan ses i

Figur 23.



Figur 23: Model til det indmålte element

7.2.1 Fejlbidrag

Til beregning af punktspredningen og spredningen på højden anvendes et Matlab script, der er udviklet på 4. Semester, `spred_pol.m`. Dette kan beregne en forventet punktspredning på baggrund af afstanden til fikspunkterne samt afstanden til det indmålte detailpunkt. Der skal som input specificeres parametre for totalstationen. Disse er vedlagt i bilag sammen med resultaterne fra beregningerne. Desuden skal det specificeres, hvor godt det er muligt at centrere prismet. Her tages i betragtning, at det er et miniprisme, og vurderingen er, at dette kan gøres inden for 0,001 meter.

Resultatet for beregningen giver en punktspredning, σ_P , på 0,001 meter og en spredning på højden, σ_H , på 0,001 meter. Disse to spredninger er henholdsvis en

2D og en 1D spredning, men for at kunne sammensætte disse fejlbidrag med fejlbidraget fra laserscanneren er det nødvendigt at konvertere disse til en 3D spredning. Dette kan gøres med følgende formel:

$$\sigma_{Tot} = \sqrt{\sigma_X^2 + \sigma_Y^2 + \sigma_Z^2}$$

hvor, σ_X , σ_Y og σ_Z er henholdsvis spredningen i X, Y og Z retningen.

Da det ikke kan siges om punktet er bedre bestemt i X frem for Y retningen er:

$$\sigma_X = \sigma_Y = \sigma_P$$

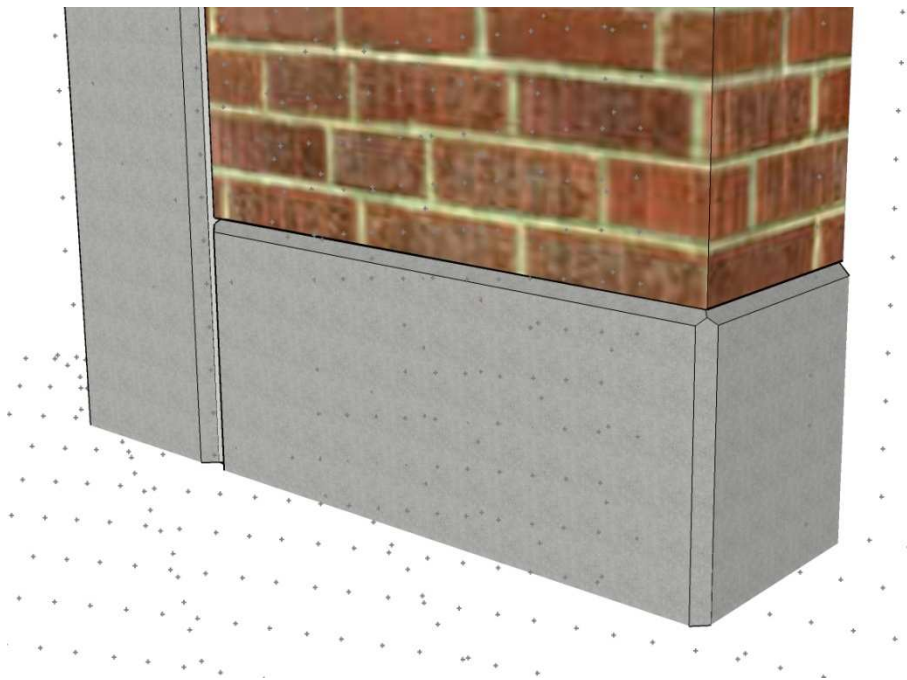
Dette bevirker, at den samlede spredning for totalstationens fejlbidrag kommer til at se ud, som følger:

$$\sigma_{Ts} = \sqrt{2 \cdot \sigma_P^2 + \sigma_H^2} = \underline{0,002 \text{ m}}$$

7.3 Laserscanning af elementer

Som tidligere nævnt er der på Aalborg Universitet adgang til Leicas laserscannere HDS 2500 og HDS 3000. Det er valgt at anvende HDS 3000, hvilket begrundes med, at dette er en panoramascanner. Dette betyder, at laserscanneren kan rotere 360 grader omkring sin egen vertikaleakse og vippe 270 grader over horisontalaksen, mens HDS 2500 er en såkaldt kamerascanner og derfor kun kan scanne et begrænset vindue.

Laserscanneren er blevet positioneret i det samme lokale koordinatsystem, som det elementerne er modelleret i. Dette gøres ved hjælp af cirkeltargets, som stilles op i de før indmålte fikspunkter. Targets skal registreres i laserscannerens software med koordinat og punktnummer. Her er det vigtigt samtidig at registrere target højderne til hvert enkelt target. På den måde er det muligt ved hjælp af programmet Cyclone at transformere den laserscannede punktsky over i det samme lokale koordinatsystem, som elementet er modelleret i. Nedenfor ses i Figur 24 den førnævnte model sammen med den laserscannede punktsky.



Figur 24: Model af det indmålte element og den laserscannede punktsky

Det er muligt at indstille laserscanneren til at måle punkter med forskellige gridstørrelse. Med det menes, at det er muligt manuelt at bestemme hvor langt, der skal være mellem de punkter, der måles. Det vælges at måle området med to forskellige gridstørrelser, ét med 5 mm og ét med 5 cm mellem punkterne. Begge gridstørrelser er taget fra to opstillinger for at være sikker på, at elementet var målt fra begge sider. De to opstillinger kan efter endt måling transformeres sammen i det samme koordinatsystem ved hjælp af targets, som i dette tilfælde også bliver anvendt til at orientere målingerne i det lokale koordinatsystem. Gridstørrelsen i Figur 24 er 5 cm.

De indscannede punkter kan sidenhen eksporteres til en ascii fil, som kan læses af programmet Matlab til sammenligningen mellem model, punktsky og RFID tags.

7.3.1 Fejlbidrag

Laserscanneren er opstillet i en fri opstilling. I første omgang måler laserscanneren punktskyen op i et lokalt koordinatsystem med origo i laserscannerens centrum. Herefter kan punktskyen transformeres over i et globalt eller et andet lokalt koordinatsystem. For at kunne finde en samlet spredning for en modelleret flade er det nødvendigt at kunne bestemme spredningen på denne transformation. Ved transformationen i Cicolne beregnes

samtidig en spredning på vægtenheden Resultaterne fra Cyklone kan ses i bilag. I dette tilfælde er spredningen:

$$\sigma_{0XYZ} = 0,003 \text{ m}$$

Som før nævnt specificerer Leica selv, at med deres laserscanner er det muligt at modellere flader med en nøjagtighed på 0,002 meter. Det vælges at kalde denne for fladespredningen eller σ_f :

$$\sigma_f = 0,002 \text{ m}$$

Herefter skal de to spredninger sammensættes til en samlet spredning for laserscanneren:

$$\sigma_{Las} = \sqrt{\sigma_{0XYZ}^2 + \sigma_f^2} = \underline{0,004 \text{ m}}$$

7.4 Registrering af RFID tags

Ved forsøget til dette projekt anvendes ikke RFID tags. Dette begrundes med, at bygningen, der bliver anvendt til forsøget, allerede er opført og dermed er elementerne allerede støbt og placeret i byggeriet. En mulighed kunne dog være at klistre tags på ydersiden af elementerne. Men da der til projektet ikke er adgang til det nødvendige udstyr, er dette ikke en mulighed.

Dermed vil registreringen af RFID tags ske ved en simulering. Efter laserscanningen kan et virtuelt tag placeres i en database med koordinater refererende til det lokale koordinatsystem.

Her er det nødvendigt at lave to databaser, én der skal simulere de indmålte tags i væggen samt én, der indeholder de samme tags, men med koordinater til de punkter, hvor tagget burde være placeret.

7.5 Sammenligning af model, punktsky og RFID tags

Selve problemløsningen, jævnfør problemformuleringen, foregår i to faser, hvilket begrundes med, at der anvendes to forskellige instrumenter, som ikke behøver at være koblet sammen for at fungere korrekt. Desuden er det ikke nødvendigt at foretage målingerne på samme tid.

Opmålingen af RFID tags kan sammenlignes med en grovopmåling af elementerne, der støtter sig til en database over alle RFID tags i byggeriet, mens laserscanningen er en præcisionsmåling af byggeriet, der lægges til grund for den endelige dokumentation af byggeriet. Laserscanningen vil i sammenhæng med RFID aflæsningen have bygnings informations modellen som grundlag.

Et andet formål med opdelingen af problemløsningen i to faser er at understrege, at registreringen af RFID tags og opmålingen med laserscanner ikke nødvendigvis behøver at blive udført på samme tid. For eksempel kan det være en fordel at registrere RFID tags i det øjeblik eller lige efter, det enkelte element er placeret i byggeriet. På den måde vil eventuelle fejl blive registreret meget hurtigt, og det vil være relativt let at rette fejlen. Opmålingen med laserscanner kan dog vente med at blive foretaget, til hele rummet eller etagen er opført. På den måde vil det være muligt at måle en stor mængde elementer på én gang og derved spare tid.

7.5.1 Fase 1

Fase 1 udføres for at finde ud af, om det rigtige element er placeret på det rigtige sted. Med dette menes, at hvis to elementer med samme ydre dimensioner, men er der eksempelvis boret et hul i det ene, og de ved en fejl bliver forbyttet i byggefasen, ville dette være nemt at opdage med en RFID tag aflæsning.

Problemets fase 1 kan deles op i flere underproblemer, som hver skal løses for at få et brugbart resultat. Underproblemerne er herunder opstillet på listeform, hvorefter der vil blive gået i dybden med hvert enkelt punkt.

- Hvordan og hvor nøjagtigt bliver RFID tags placeret i elementerne, og hvor nøjagtigt kan de herefter stedbestemmes?
- Hvordan findes der ud af, om placeringen er korrekt?
- Kan der være flere elementer med samme serienummer?
- Kan et element blive placeret flere forskellige steder?

Hvordan og hvor nøjagtigt bliver RFID tags placeret i elementerne og hvor nøjagtigt kan de herefter stedbestemmes?

I forbindelse med konstruktionen af den nye bygning, der skal rumme tinglysningen i Hobro, har der i bygningsselementerne været indstøbt passive RFID tags. Dette foregik ved, at der i støbeprocessen af elementer blev fastgjort en RFID tag til armeringsstålet inden selve betonstøbningen. Kristian Birch Sørensen mener, at det er muligt uden den store indmåling at kunne placere hver RFID tag inden for en "træskobredde". Det har ikke været muligt at finde en definition på en "træskobredde", men det antages, at en træsko er ca. 10 cm bred. Dermed antages, at det er muligt uden den store indmåling at kunne placere en RFID tag med en spredning på 10 cm i et betonelement.

Tidligere i rapporten i afsnit 5.1 Besvarelse af underspørgsmål findes frem til et firma, der har et produkt til aflæsning af aktive RFID tags, der ikke alene kan aflæse de data, der er lagret i RFID tags. Firmaet hævder, at det med deres produkt er muligt at stedfæste de enkelte tags inden for 30 cm i real time.

Desuden kan produktet stedbestemme RFID tags inden for 10 cm, hvis der bliver anvendt udjævning. Dette kræver dog også mere tid, og dermed er det ikke muligt at kontrollere byggeriet samtidig med opførelsen.

Hvordan findes der ud af om placeringen er korrekt?

Når det er muligt at placere et RFID tag med en spredning på 10 cm, og den derefter kan indmåles med en spredning på 10 cm, kan der stilles en ligning op for den samlede spredning:

$$\sigma = \sqrt{\sigma_p^2 + \sigma_m^2}$$

hvor, σ_p er spredningen på placeringen af de enkelte RFID tags.

σ_m er spredningen på indmålingen af de enkelte RFID tags.

Dermed kan den samlede spredning beregnes til:

$$\sqrt{0,1^2 + 0,1^2} = \underline{0,141 \text{ m}}$$

Dette tal skal igen ganges med tre for at finde den afstand, der udgør konfidensintervallet på 99,7 %. Det antages, at hvis hver enkelt RFID tag ligger inden for 0,424 m af, hvor det burde, ligger det godt nok, og det kan antages, at elementet er placeret korrekt.

Dermed antages, at hvis en RFID tag ved indmålingen ligger længere væk end 0,424 m, er elementet fejlplaceret, og der skal en manuel vurdering til for at kunne bestemme det videre forløb. Denne kontrol af RFID taggets placering skal foregå som en af de første faser i processen med kontrol af byggeriets elementer for at have et grundlag for den videre proces med kontrol af punktskyen.

Kan der være flere elementer med samme serienummer?

I projektet med opførelsen af den nye tinglysningsbygning i Hobro har elementer, der var ens, haft det samme serienummer lagret i RFID tags. Dette giver nogle fordele, idet det på den måde ikke er nødvendigt at registrere, eller rettere ikke muligt at registrere attributter omhandlende hvert enkelt element. Dette kan skabe et problem i forhold til, når der sker ændringer i attributterne for et enkelt af elementerne, men ikke for de andre.

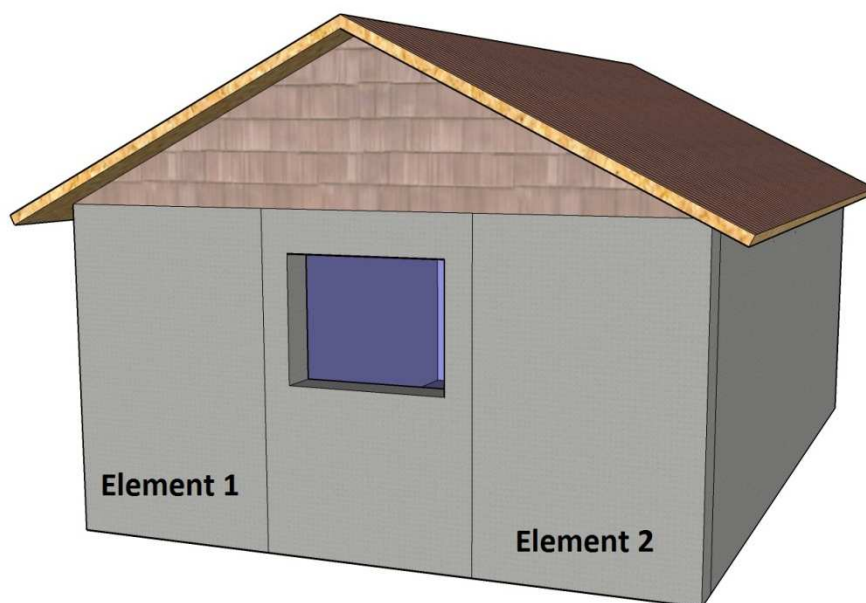
Det andet scenarie er, at hvert element har et unikt serienummer, hvorved det er muligt at registrere hvert element for sig. Samtidig vil det være muligt at kunne datomærke elementerne. Sammen med datoen kan det samtidig registreres hvilken betonblanding, der anvendes. Denne oplysning kan være anvendelig i den

efterfølgende vedligeholdelse af bygningen, hvis det for eksempel viser sig, at der har været en fejl i den ene blanding. På den måde er det let at finde frem til de elementer, der er berørt. Det er dog ikke kun ved betonelementer, disse oplysninger kan være en fordel. Også ved andre elementer som vinduer og døre, der mange gange er fremstillet af træ, kan det være nyttigt at kende de enkelte elements oprindelse.

Med denne begrundelse vurderes, at den bedste løsning med serienumrene er, at hvert enkelt element skal have sit eget unikke serienummer, hvorved der kan udtrækkes og lagres informationer om hvert element for sig. Dette vil også være den eneste mulighed for at få det enkelte element positioneret ved hjælp af RFID tags, da der ellers vil være flere positioner til hvert serienummer.

Kan et element blive placeret flere forskellige steder?

I nogle tilfælde vil det være muligt at placere elementer, som har samme ydre dimensioner på flere forskellige steder i byggeriet. Selvom elementet måske, ifølge modellen er tænkt placeret ét sted, kan det være muligt at placere det et andet, da elementerne er fuldstændig ens. I Figur 25 ses en illustration af, hvordan dette kan se ud. Element 1 og element 2 er ens, således det her er muligt at forveksle dem.



Figur 25: Illustration af ens elementer

Der vil være to muligheder for placering af ens elementer:

- Kun én mulig placering for hvert element
- Ens elementer kan byttes rundt

Kun én placering for hvert element

Her vil det ifølge registreringen kun være muligt at placere hvert element ét sted i byggeriet. Dette vil give en let registrering af elementerne, da det her kun er muligt at placere elementerne på ét sted. Dermed skal hvert tag også kun have tildelt ét sæt koordinater.

Der ankommer måske ti ens elementer til byggepladsen på samme tid. Dermed vil det med denne løsning være nødvendigt at sortere elementerne efter, hvornår man i øjeblikket tror, de skal placeres i byggeriet. Der kan således opstå problemer, hvis man har sorteret elementerne forkert og dermed skal lede længe efter det rigtige element, selvom der måske står ti elementer foran, der kunne passe i stedet.

Ens elementer kan byttes rundt

Hvis det er muligt at bytte rundt på ens elementer, vil de ovenstående problemer ikke opstå, idet alle ti elementer vil passe ind i det samme hul. Dog vil der opstå problemer med registreringen af elementerne. Da hvert serienummer kan have flere forskellige placeringer, skal dette også være registreret i databasen. På den måde skal hvert element testes for flere forskellige placeringer, og den endelige placering skal sidenhen registreres således, at det rigtige element kan genfindes på et senere tidspunkt.

Opsamling på Fase 1

Den første fase i problemløsningen vil blive en koordinatsammenligning med en efterfølgende opdatering af databasen for at få den korrekte placering af elementerne eller RFID tags registreret til den senere vedligeholdelse af bygningerne. Koordinaterne til tagget skal for, at elementet er placeret korrekt, ligge inden for de fejlgrænser, der tillades af nøjagtigheden af opmålingsmetoden, der anvendes til positioneringen af tags.

Desuden skal det være muligt at placere elementer, som er ens på forskellige steder i byggeriet, selvfølgelig ikke tilfældige steder, men de steder hvor alle de ens elementer passer. Dette vil lette det rent logistiske ved, at det enkelte element ikke skal placeres på netop én position og derfor skal findes frem på et bestemt tidspunkt, når der står et andet element klar, der kan monteres på samme sted.

Det skal desuden være muligt at opdatere tagdatabasen således, at det heraf fremgår hvilket element, der står på hvilken placering. Den opdaterede database skal herefter anvendes i fase 2 af sammenligningen.

7.5.2 Fase 2

Fase 2 udføres for at finde ud af, om nøjagtigheden af placeringen af det enkelte element er god nok, hvor det i fase 1 i stedet var den indbyrdes placering af elementerne, der blev fokuseret på. I fase 2 tages udgangspunkt i det enkelte element og dets absolutte nøjagtighed i forhold til bygnings informations modellen.

Ligesom ved fase 1 kan problemets fase 2 også opdeles i en række underproblemer, som hver skal løses for at opnå et brugbart resultat. De erfarne underproblemer er listet op herunder, og efterfølgende uddybes hvert enkelt problem.

- Hvordan er det muligt entydigt at beskrive et 3 dimensionalt element?
- Hvordan kan punktskyen sammenlignes med modellen af elementet?
- Hvordan er det muligt at finde frem til den rigtige flade på elementet?
- Er der forskel på, om det er en stor eller lille flade, der skal tilpasses?
- Vil der opstå problemer, hvis to parallelle flader støder op til hinanden?

Hvordan er det muligt entydigt at beskrive et 3 dimensionalt element?

Dette afsnit beskriver, hvordan et element kan være bygget op og hvilke fordele eller ulemper, der er ved de forskellige måder at beskrive elementet på. Et element kan beskrives ved hjælp af punkter, liniestykker eller flader. Ud fra punkterne kan desuden beregnes et mesh.

Den enkleste måde at beskrive modellen af et element på er ved hjælp af de afgrænsende punkter. Eksempelvis er en kubisk kasse på denne måde beskrevet ved otte koordinatsæt, et sæt til hvert hjørne. Ulempen ved blot at have punkterne som beskrivelse af elementet er, at der ikke findes information om, hvordan de skal kombineres. Dette bevirker, at det kan blive svært at sammenligne modellen med en punktsky.

Ved hjælp af liniestykker kan elementet afgrænses. Linierne giver desuden et bedre billede af, hvordan figuren på elementet er, da linierne vil løbe langs elementets kant og ikke gennem det. For at konstruere en kubisk kasse ved hjælp af linier, skal der anvendes 12 ligninger for linierne samt informationer om, hvor linierne skal ende. Linierne kan ikke give informationer om, hvad der er inden i elementet, og hvad der er udenfor.

Med planer kan et element afgrænses helt. Planerne vil følge elementets kant og vil derfor ikke gå gennem det. Defineres planerne i et punkt og med en normalvektor, kan det bestemmes, hvilken side planen et andet objekt befinder sig på. En kubisk kasse vil kunne defineres med 6 koordinatsæt og 6 normalvektorer samt informationerne om, hvor planerne skal ende. Normalvektoren gør, at der kan beregnes, hvad der er inden i, og hvad der er uden på elementet.

Et mesh består af flere trekantede flader, hvis tre hjørnepunkter befinder sig på elementet. Mesh kræver derfor, at der findes et antal punkter på elementets overflade. Når der beregnes et mesh ud fra punkterne på elementet, tages der ikke højde for kanter og hjørner, som derfor ikke nødvendigvis kan genfindes i modellen. Et mesh dannes således, at fladens omskrevne sfære kun indeholder netop de tre punkter, der danner fladen. Uheldigvis kan der i et mesh kobles punkter sammen, som ikke ligger på samme flade, hvis de alligevel ligger tæt på hinanden, eksempelvis kan to parallelle planer, der ligger tæt, knyttes sammen som et mesh på tværs af mellemrummet mellem dem.

Hvordan kan punktskyen sammenlignes med modellen af elementet?

Når der forefindes en model af elementet, kan den brydes op i punkter, linier eller flader. Punktskyen kan anvendes, som den er med de punkter, den indeholder, eller der kan laves et mesh. En tredje mulighed er at modellere flader og andre geometriske figurer af punkterne. Disse kan kombineres på forskellige måder og kan herefter sammenlignes. Det følgende beskriver nogle af disse sammenligninger.

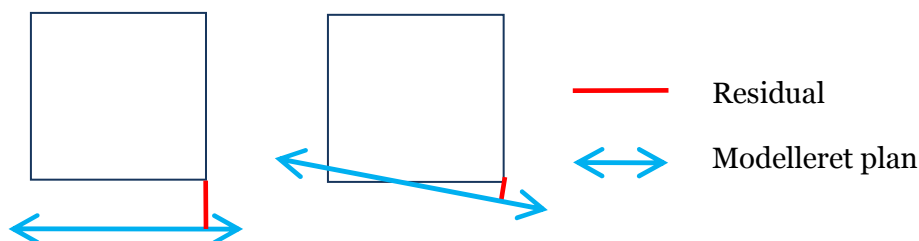
Elementet som punkter sammenlignet med mesh af punktskyen

Hvis der dannes et mesh af punktskyen kan dette sammenlignes med modellens hjørnepunkter ved at finde den mindste afstand fra punktet til fladerne i meshet. Det er vigtigt, at der findes en afstand mellem punktet og et punkt, som ligger inden for en af trekanterne og ikke blot den plan, som trekanten udspænder, da her kan findes en afstand, der ikke afbilleder afstanden mellem punktskyen og modellen. Denne sammenligning giver ligeledes problemer med hensyn til punkttæthed. Hvis punkttætheden ikke er tilstrækkelig høj, vil hjørnerne blive "skåret over" og vil derfor ikke blive sammenlignet med modellens hjørner.

Elementet som punkter sammenlignet med modellerede flader af punktskyen

Når der modelleres en flade af punktskyen, og sammenligning af denne med punkterne i modellen kan foregå ved den ortogonale afstand, da der ikke er afgrænsning på fladen. Metoden er sårbar over for, at elementer er drejet i forhold til den planlagte placering. Ved en forskydning kan det ses ved en stor afstand mellem fladen og punktet på elementet. Derimod vil der ved en drejning

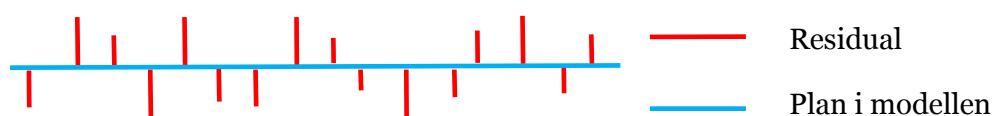
ikke beregnes en stor afstand, idet den ortogonale afstand ikke bliver stor, selvom elementet og punktskyen er vidt forskellige.



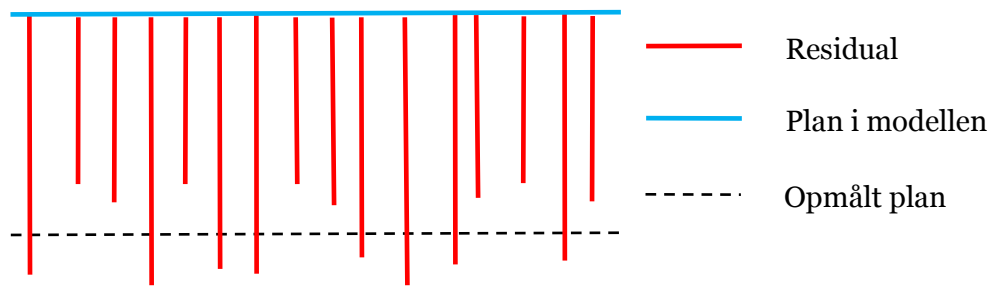
Desuden kan der af de forskellige flader, der er modelleret af modellen, beregnes skæringspunkter, som vil kunne sammenlignes med punktet i modellen.

Elementet i flader sammenlignet med de enkelte punkter i punktskyen

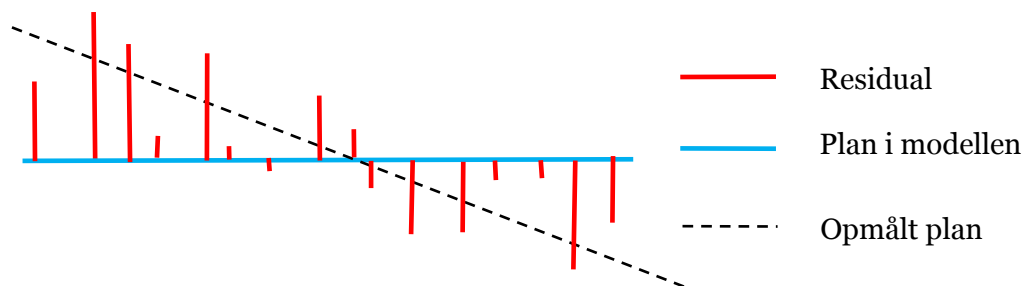
Hvis der udvælges en punktmængde i punktskyen, der ligger på en bestemt flade af elementet, kan hvert enkelt punkt projiceres ind på fladen, og afstanden mellem punkterne og planen kan beregnes. Passer punkterne til elementets flade således, at afstandene er normalfordelt med fladen som middel og med en fornuftig spredning, er elementet placeret korrekt. Da der ved sammenligningen sker mange sammenligninger, kan der foretages en analyse, der klarlægger, om der er områder, hvor fladen og punktskyen passer dårligere sammen end andre. Derved kan det kontrolleres, om elementet er drejet i forhold til det oprindelige plan. I Figur 27 og Figur 28 ses tre eksempler på, hvordan det ser ud, når punkterne fra en laserscanning sammenlignes med henholdsvis et element, der er korrekt placeret, et element, der er fejlplaceret og et element, der står drejet i forhold til modellen.



Figur 26: Sammenligning, hvor laserscanningen af elementet passer godt sammen med modellen



Figur 27: Sammenligning, hvor elementet er forskubbet i forhold til modellen



Figur 28: Sammenligning, hvor elementet er roteret i forhold til modellen

I eksemplet fra Figur 27

Figur 26 er residualerne tilsvarende laserscannerens målenøjagtighed og normalfordelte omkring fladen fra modellen. I eksemplet fra Figur 27 er residualerne store og ensidige og er derfor ikke normalfordelte omkring modellens flade. I eksemplet fra Figur 28 er residualerne normalfordelt omkring modellens flade, nogle punkter vil svare til laserscannerens målenøjagtighed, mens andre vil være større.

Elementet i flader sammenlignet med mesh af punktskyen

Sammenligningen mellem fladerne og meshet kan foregå ved at beregne afstanden mellem disse i fladens normalvektors retning. Sammenligningen kan ske i et net med en bestemt maskestørrelse. Resultatet vil i nogen grad ligne det, der fremkommer ved sammenligningen mellem elementets flader og de enkelte punkter i punktskyen. Forskellen er, at hvert residual kommer til at afhænge af tre punkter.

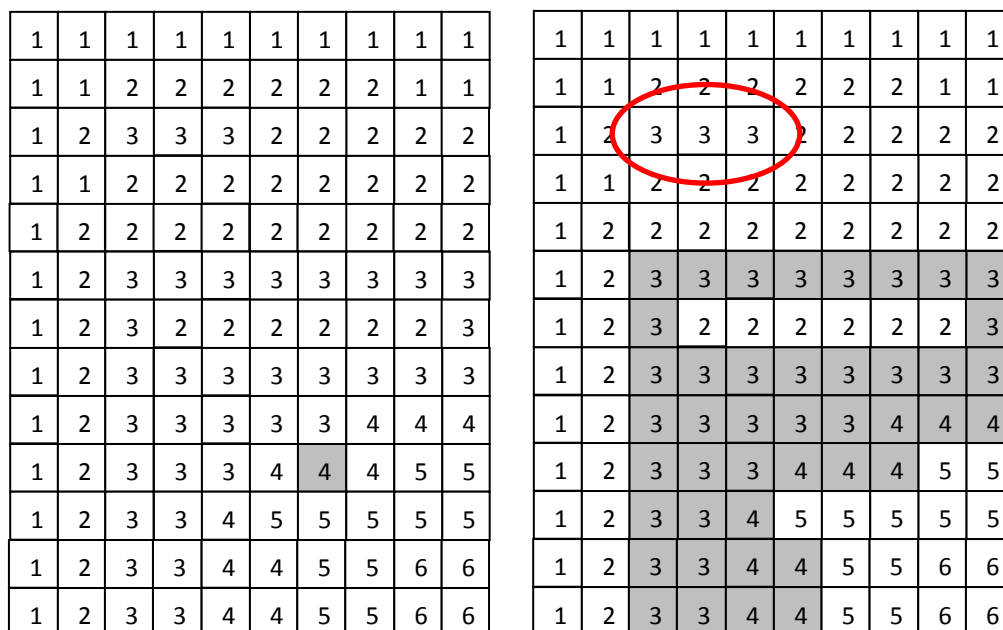
Elementet i flader sammenlignet med modellerede flader af punktskyen

Denne sammenligning kan foretages ved at måle afstanden mellem de to planer i den enes normalvektors retning i et forudbestemt net. Den modellerede flade er et produkt af alle de opmålte punkter, så alle punkter har i princippet indflydelse på resultatet. Derfor vil grove fejl have lige så stor indflydelse på modelleringen som punkter, der ligger inden for fejlgrænserne. En flade kan i programmet Cyclone modelleres med en nøjagtighed på 2 mm, så hvis der ved sammenligningen findes residualer, der er større end 2 mm, vil det sige, at elementet er fejlplaceret. Udover at der kan beregnes residualer, kan den maksimale vinkel mellem de to planer beregnes og på den måde vurderes, om den ligger over en fejlgrænse, der er kritisk.

Ud af de beskrevne sammenligningsmetoder virker metoden, som sammenligner hjørnepunkterne i modellen med de modellerede flader og metoden, som sammenligner planer for både modellen og punktskyen som oplagte valg til videre bearbejdning, da der her kan modelleres en plan, der er mere nøjagtig end hvert enkelt punkt.

Hvordan er det muligt at finde frem til den rigtige flade på elementet?

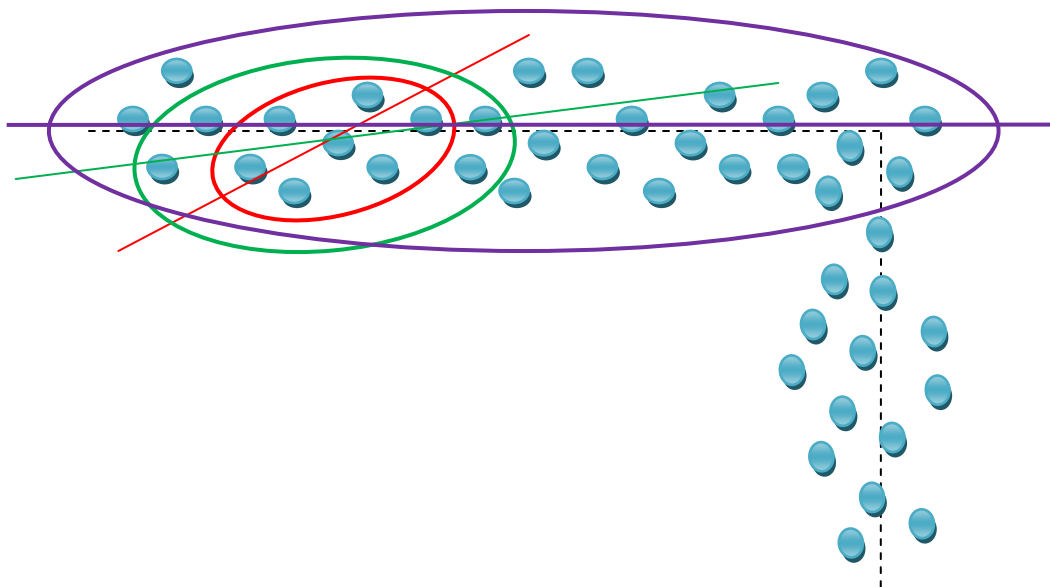
For at kunne lave en plan af en punktsky udvælges et eller flere punkter, som ligger på den flade, der ønskes beregnet en plan for. Punkterne kan udvælges manuelt, men dette betyder, at der skal menneskelig indblanding i processen. Samtidigt betyder det, at der er kontrol med, at punkterne kun stammer fra den flade, der ønskes modelleret. En automatisk måde at udvælge punkter, der ligger på en plan, er region growing. Metoden er udviklet til at opdele billeder i underklasser. En underklasseopdeling kan eksempelvis være at dele billedet op i intervaller på gråtoneskalaen. Der gives et start pixel, et seed, som evalueres efter, om det indgår i et givent interval. Dernæst evalueres, hvorvidt nabopixels tilhører samme interval, og således breder regionen sig til, der ikke er flere pixels, der ligger i det interval, der berører de pixels, der er en del af regionen. [www.cse.unr.edu]



Figur 29: Region growing på intervallet 3-4 med et seed i regionen. Det ses, at pixels, der ligger i intervallet, men ikke er i direkte kontakt med regionen, ikke findes i region growing

Ved hjælp af region growing kan en flade bestemmes ved at udvælge en lille mængde punkter i et laserscan som seed og danne en plan af disse. Nabopunkterne til seedet bliver herefter evalueret i forhold til planen, og ligger de inden for et afstandsinterval, eksempelvis spredningen på laserscannerens afstandsmåleenhed, indlemmes de i regionen, og der beregnes en ny plan ud fra den nye punktmængde. Når regionen når kanten af objektet, vil afstanden til de nye punkter blive for stor til, at de kan blive en del af regionen og vil derfor blive afvist til en genberegning af planen.

Der kan opstå et problem i region growing, hvis elementet delvist er skjult bag et rør eller andet. Region growing vil i disse tilfælde ikke kunne modellere elementets flade ud fra alle punkter, der er opmålt på elementet. I eksemplet fra Figur 29 ses det, at barrierer ikke kan brydes, selvom der er celler på den anden side, der indeholdes i intervallet. Hvis et rør eller en anden forhindring ligger mellem laserscanneren og elementet, vil de punkter, der måles på røret, komme til at virke som en barriere, som region growing ikke kan bryde.



Figur 30: Principskitse af region growing til beregning af plan

Figur 30 viser region growing, hvor punkterne i den røde markering er de punkter, som bliver seedet til første beregning af planen. I den grønne markering er nabopunkterne til seedet tilføjet regionen, og et nyt plan beregnes. Efter flere beregninger og flere punkter indgår i beregningen, er alle punkterne i den lilla markering inddraget i beregningen af planen. De punkter, der ligger på elementets anden kant, vil ikke blive inddraget i beregningen, da de vil ligge for langt fra planen til at blive udvalgt til at indgå i regionen. Punkterne, der ligger på elementets hjørne, vil dog komme til at indgå i beregningen af alle planer, som støder op til hjørnet. Dette bør ikke skabe problemer, da der i beregningen af hvert plan kun tages punkter med, som ligger inden for afstandsintervallet. De få punkter, der inddrages fra de forkerte flader, vil derfor ikke have den store indflydelse på planens udseende. Når der ikke tilføjes flere punkter til beregningen, er planen færdigberegnet og kan nu anvendes til sammenligninger med bygningsmodellen.

Region growing kan være en god ide at anvende til at finde fladen, som ønskes modelleret, idet metoden finder de punkter, der ligger på fladen og ikke medregner punkter, som ligger på andre flader. For at beregningsmetoden skal kunne anvendes på et element, der er laserscannet, skal der være frit udsyn til hele elementet, da region growing ikke kan beregne flader over grænser, som dem

der opstår, når der står eller hænger noget i vejen for en opmåling af et element. Derfor er region growing ikke et oplagt valg til modelleringen i projektet.

Er der forskel på, om det er en stor eller lille flade, der skal tilpasses?

Et element vil ofte bestå af forskellige størrelser flader. Nogle vil være så små, at der vil være et meget begrænset sammenligningsgrundlag, som kan laves mellem modellen og punktskyen. Grundet punktskyens grid kan der være flader, der ikke bliver scannet tilstrækkeligt til, at der kan foretages en sammenligning eller, at fladen slet ikke bliver scannet. Dette vil sige, at punkttætheden i laserscanningen derfor skal tilpasses afhængig af, hvor små de mindste flader i bygningen er eller, at der skal defineres en nedre grænse for hvor små flader, der kan sammenlignes. At justere punkttætheden for at kunne få tilstrækkeligt mange punkter på de mindste flader vil betyde, at de store flader vil få en enorm punktmasse tilknyttet. Derved vil tiden for et scan blive væsentlig forøget og afhængig af hvor små, de mindste flader er, kan scannet blive helt uoverskueligt. Hvis der derimod defineres en nedre grænse for små flader, der skal kunne sammenlignes med punktskyen, kan punktskyen scannes med en fornuftig punkttæthed, så scannet kan foretages på kort tid og er håndterligt i et CAD system. Der kan tales for at undgå at prøve at sammenligne små flader ved at argumentere for, at når de store flade på et element bliver sammenlignet, vil de små flader sandsynligvis have nogenlunde de samme fejl, og derved giver de små flader ikke meget ny information om, hvordan modellen og punktskyen passer sammen. Modsat kan der være elementer, der hovedsageligt består af små flader. Her kan der foretages en vurdering af, om de er egnede til en sammenligning mellem de enkelte flader og punktskyen.

Det vælges, at der kun arbejdes videre med de flader på elementerne, der har en størrelse, der gør, at de kan modelleres ud fra et scan med en punkttæthed, der tillader, at det kan udføres på en fornuftig tid.

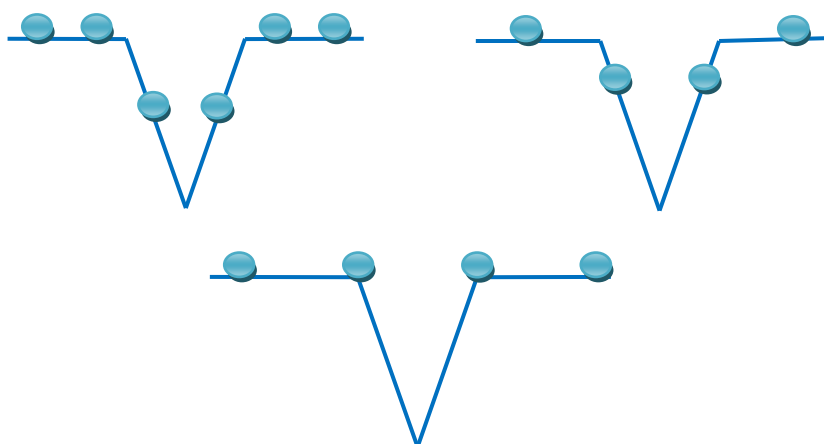
Vil der opstå problemer, hvis to parallelle flader støder op til hinanden?

Når to væg- eller loftselementer støder op til hinanden i en bygning, vil deres flader være om end ikke parallelle så meget nær. I disse situationer kan samlingen mellem elementerne være en bred, synlig fuge eller en smal, næsten usynlig fuge. Med laserscanneren kan den smalle fuge ikke registreres, idet der ikke kan måles så små ujævnheder. Den lidt bredere fuge vil kun kunne registreres, hvis der scannes med en punkttæthed, der er tilstrækkelig høj.

I situationer hvor parallelle elementer støder op til hinanden, kan en region growing ikke skelne mellem de forskellige elementer, og der vil dannes ét plan af en hel væg, selvom den kan bestå af flere elementer. Selv når der er en adskillende fuge mellem elementerne, bliver de ikke nødvendigvis fundet ved

region growing, da fugen skal være væsentligt dybere end fejlgrænserne for laserscannerens afstandsmåleenhed og mindst dobbelt så bred som punkttætheden. Dette skyldes, at det ikke er sikkert, at der er punkter, der netop rammer fugen og chancen for, at der er punkter, der rammer fugens bund er lille, og derved er der risiko for, at punkterne, der ligger i fugen, bliver opfattet som en del af planen, fordi de ikke ligger langt nok derfra. I disse tilfælde vil planen blive modelleret forkert.

Figur 31 ses tre eksempler på den dårligste placering af punkter ved forskellig punkttæthed. I eksemplet ses punkttæthed $1/2$, $3/4$ og $1/1$ i forhold til fugebredde.



Figur 31: Eksempler på, hvor punkterne vil kunne lægge sig i en fuge

Ud fra Figur 31 kan det ses, at der ved en punkttæthed på $1/2$ i forhold til fugen kan ske en bedre bestemmelse af fugen end ved de mindre tætte eksempler. Derved er der større sandsynlighed for, at en region growing vil stoppe ved fugen. Derudover afhænger antallet af punkter i fugen, og hvor dybt de ligger, af laserstrålens indfaldsvinkel.

Mange af fugerne mellem elementerne i Aalborg Universitets bygning, Fibigerstræde 11, har en bredde på under 3 cm, hvilket vil sige, at de skal scannes med 1,5 cm grid eller mindre. Et scan, hvor alle fuger bliver ramt med et grid på højst 1,5 cm, vil kræve et meget fintmasket net, da gridstørrelsen udvider sig med afstanden fra laserscanneren. Et scan med denne punkttæthed er tidskrævende og vil ikke kunne hjælpe til en enklere opmålingsproces til opdatering af bygningsmodellen.

Dermed kan det konkluderes, at laserscanning i teorien bør kunne anvendes til opmåling af parallelle elementer, der støder op til hinanden, så længe de er

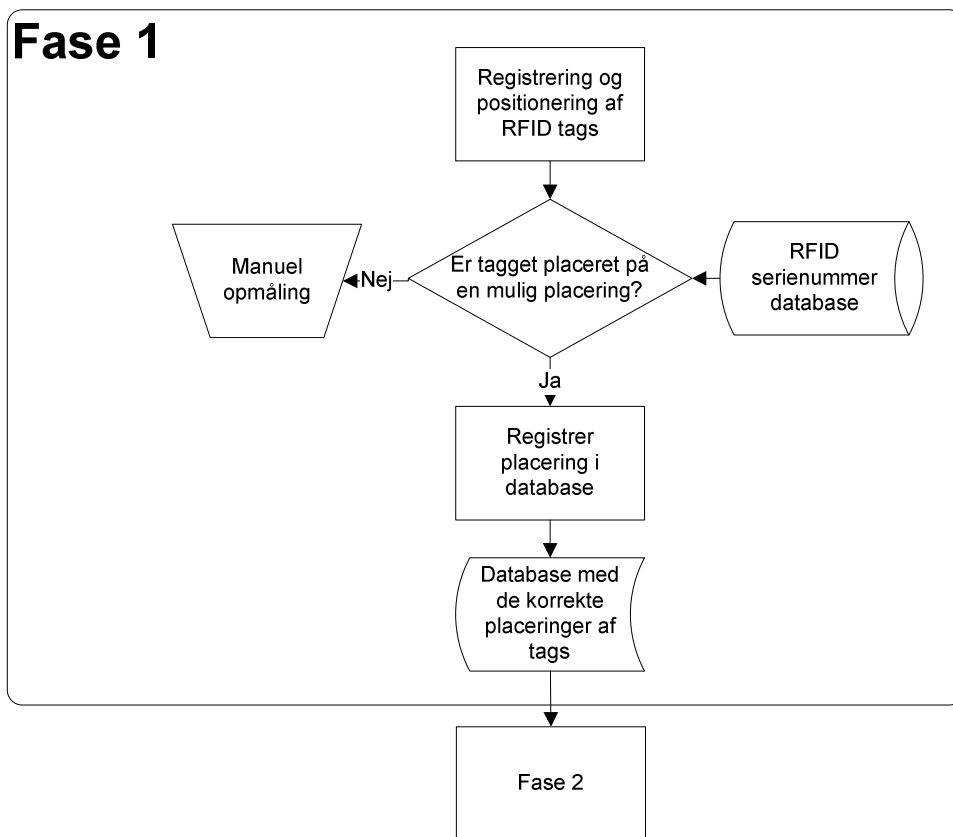
adskilt af en fuge. I praksis er det dog ikke rentabelt at anvende laserscanning i en opmåling, hvor der skal skelnes mellem de enkelte elementer, når der findes parallelle elementer, der støder op til hinanden. Derfor arbejdes ikke videre med elementer, der er placeret på denne måde.

7.6 Udførsel af beregninger

I dette afsnit redegøres for de arbejdsgange og metoder, der anvendes til kontrollen af bygnings informations modellen. Afsnittet vil på samme måde som forrige afsnit være delt op i to faser. Dette gøres, da også beregningerne vil være delt op i to faser. Der vil til hvert afsnit være tilknyttet et diagram over de arbejdsgange og rutiner, hver fase indeholder. Der vil i bilagene være et samlet diagram over både fase 1 og 2.

7.6.1 Fase 1

For at give et bedre overblik over processerne i fase 1 fremstilles et diagram over de processer og forskellige input data, der skal være til stede for at kunne fungere. Diagrammet er vist i Figur 32.



Figur 32: Diagram over beregningernes fase 1

I det efterfølgende gennemgås de forskellige processer i fase 1. Dette vil gøres ved at beskrive hver kasse hver for sig, for på den måde at lette overblikket over beregningsgangene.

Registrering og positionering af RFID tags

Som tidligere nævnt har det ikke været muligt at anvende rigtige RFID tags i elementer, der indgår i beregningerne, derfor anvendes en fiktiv registrering. Til beregningerne vil denne registrering være repræsenteret ved en tabel i en txt fil.

Inputfilen for de registrerede tags skal navngives 'tagind.txt' og skal indeholde serienumre og koordinatsæt til de registrerede tags. Filen skal opbygges, som følger, hvor den første linie ikke skal indgå i filen:

Serienummer	X-koordinat	Y-koordinat	Z-koordinat
65489	45.458	45.489	0.458
48596	57.485	65.845	0.356

RFID serienummer database

Denne database er ligeledes en fiktiv database, dog med en vis sammenhæng til de førnævnte registreringer, for at kunne teste om det udviklede script fungerer efter hensigten.

Inputfilen for serienummerdatabasen skal navngives 'tags.csv' og skal være en komma separeret fil, der skal indeholde serienumre til ens elementer, alle de mulige placeringer samt en indikation af, at der ikke hører flere mulige placeringer til de ens elementer. Hver linie i filen skal startes med et tal, der bestemmer, hvad linien indeholder. Filen skal se ud, som følger:

Liniekode 1: Serienummer på ens elementer
Liniekode 2: Mulige koordinater til ens elementer
Liniekode 3: Afslutning på ens elementer

```
1, 56498, 156448
2, 98.483, 19.576, 0.767
2, 46.879, 27.657, 1.201
3,
```

Er tagget placeret på en mulig placering

Til dette punkt skal der laves en rutine, der først og fremmest kan gennemsege RFID serienummerdatabasen efter linier med liniekoden 1. Disse linier indeholder serienumre til de elementer, der er ens. Findes serienummeret skal de efterfølgende linier med liniekoden 2 gennemses for at finde ud af, om der her er et koordinat, der kan passe sammen med det, der er registreret og positioneret.

Det er her ikke muligt at finde et koordinat, som passer 100 % sammen med det fra det indmålte tag. Derfor søges på koordinater, som ligger inden for 0,424 meter af det indmålte tags koordinat. Forklaringen på dette kan ses i afsnit 7.5 Sammenligning af model, punktsky og RFID tags.

Manuel opmåling

Hvis serienummeret ikke kan findes i databasen, vil serienummer og koordinatsæt i stedet blive registreret i outputfilen 'fejltag.txt'. Det samme vil ske, hvis serienummeret bliver fundet, men ingen af koordinaterne passer sammen, og der derfor manuelt skal tages en beslutning for det videre forløb.

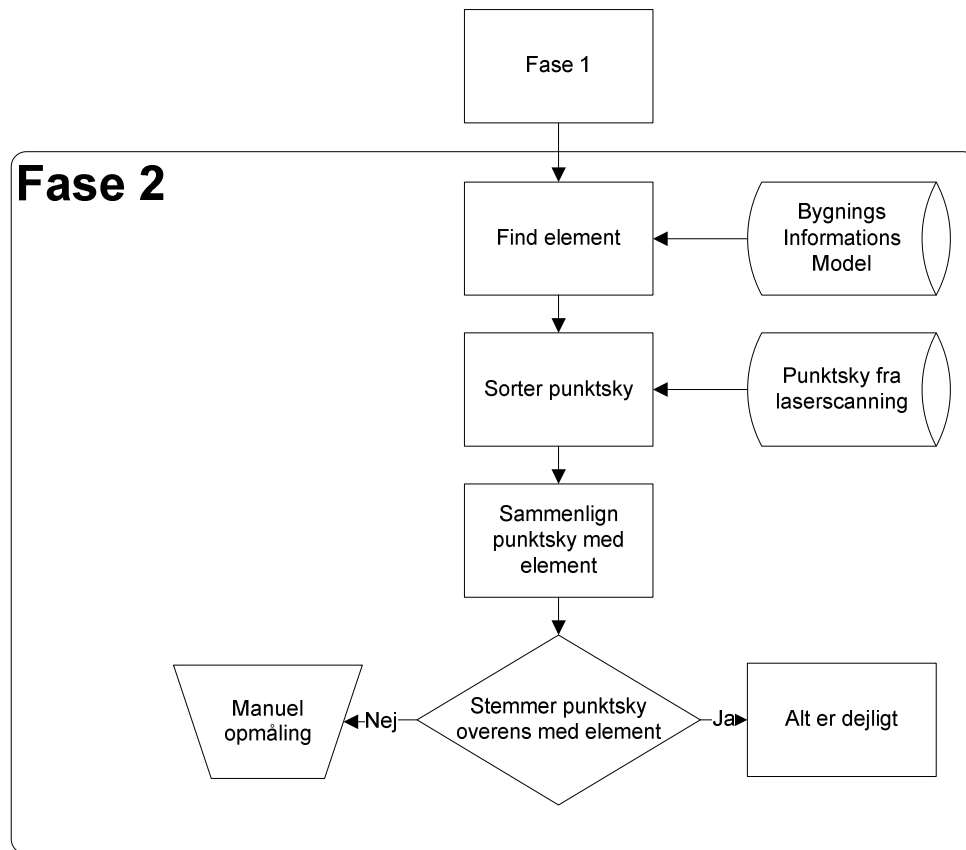
Registrer placering i database

Findes der her et koordinatsæt, der passer, antages det, at tagget er korrekt placeret, og serienummer og koordinatsæt registreres i outputfilen 'oktag.txt'.

'oktag.txt' kan herefter overføres til fase 2 som de elementer, der er korrekt placeret.

7.6.2 Fase 2

Til beregningernes fase 2 er der ligesom ved fase 1 fremstillet et diagram over, hvordan beregningerne tænkes udført. Diagrammet skal ses som en efterfølger til diagrammet fra fase 1 og kan ses i Figur 33. Diagrammet er vedlagt som bilag. Her kan der dannes et samlet overblik over processerne.



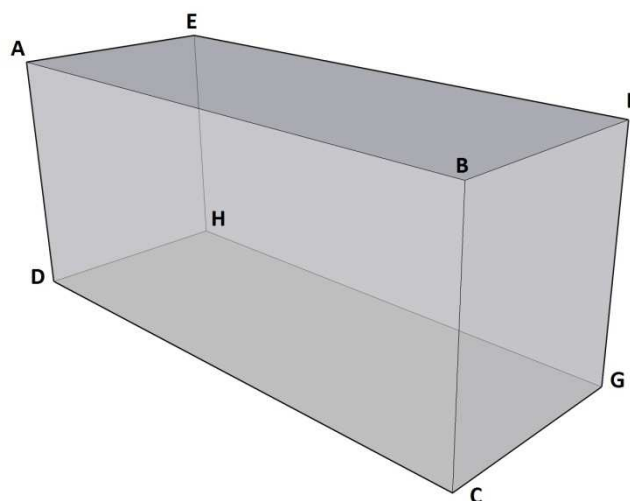
Figur 33: Diagram over beregningernes fase 2

Bygnings Informations Model

Her bliver bygnings informations modellen hentet. I den virkelige verden ville modellen ligge i IFC formatet, men som tidligere beskrevet anvendes ICF formatet ikke i dette projekt, da det er meget tidskrævende at afkode filen.

Derfor vil bygnings informations modellen her blive repræsenteret af en inputfil, der indeholder koordinaterne til hjørnerne af elementet. Det er dog kun koordinaterne til punkterne A-B-C-D, der ligger i filen, da de fire punkter repræsenterer den flade på elementet, som er blevet laserscannet med flest punkter og derfor er bedre bestemt. Punkterne ligger i den nævnte rækkefølge for

på den måde at kunne definere en omløbsretning. Elementet og dets hjørnepunkter er vist i Figur 34.



Figur 34: Element med punkt ID

Input filen skal i dette tilfælde hedde ABCD.txt og skal opbygges efter følgende metode:

X-koordinat	Y-koordinat	Z-koordinat
102.697	123.099	1.221
102.707	122.632	1.221
102.707	122.632	1.018
102.697	123.099	1.018

Find Element (ikke implementeret)

Idet inputfilen her kun indeholder en flade til et element, vil dette punkt ikke blive behandlet i dette projekt, men det er meningen, at outputfilen fra fase 1 med de godkendte elementer skal loades. Herefter skal hvert enkelt tag findes i Bygnings Information Modellen. På den måde skal der være en løkke, der kan gennemløbe alle tags, og dermed vil alle de godkendte elementer fra fase 1 blive kontrolleret i punktskyen.

Punktsky fra laserscanning

Den laserscannede punktsky bliver her loadet. Her skal det bemærkes, at punktskyen allerede er blevet transformeret over i det samme koordinatsystem, hvor modellen befinder sig. Det er her meningen, at hele punktskyen skal hentes, hvorefter den kan sorteres på et senere tidspunkt.

Inputfilen til punktskyen skal hedde punktsky.txt og skal være opbygget efter følgende metode:

X-koordinat	Y-koordinat	Z-koordinat
102.712	122.983	1.204
102.703	123.061	1.055
102.704	123.021	1.062

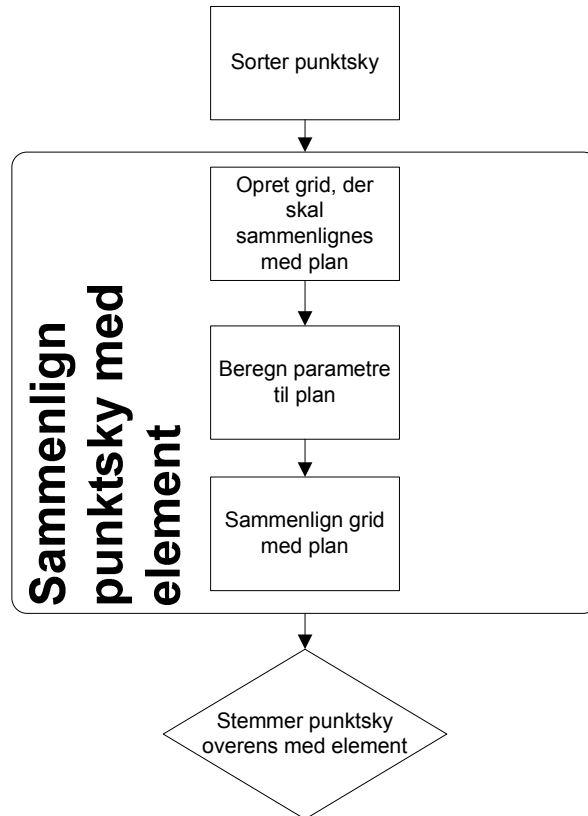
Sorter punktsky (ikke implementeret)

For at kunne udvælge de rigtige punkter til sammenligningen er det nødvendigt at udføre en sortering af punktskyen således, at der kun er punkter, som er indmålt på den enkelte flade på det enkelte element, der indgår i punktskyen. I dette projekt er dette punkt udeladt, da dette vurderes som et meget omfattende emne samt en udprioritering af den egentlige sammenligning.

Dermed har det været nødvendigt at lave denne sortering manuelt i programmet AutoCAD. Dette betyder, at den førnævnte punktsky kun indeholder punkter, der er indmålt på den pågældende flade (A-B-C-D).

Sammenlign punktsky med element

Dette trin i fase 2 er det, der indeholder de egentlige beregninger til sammenligningen af modellen og punktskyen. Beregningerne foregår i tre trin og afspejles i afsnittet, idet det vil være delt op i tre dele. Et diagram over trinnet ses i Figur 35.



Figur 35: sammenligning mellem punktsky og element

Opret grid, der skal sammenlignes med plan

Der oprettes et grid med en punktafstand på 2 cm på fladen, der udspændes af punkterne A-B-C-D. Der er i projektet udviklet en metode til at udføre denne rutine. Denne metode virker dog kun, hvis siderne på elementet er rektangulære. Eventuelt findes der en standard Matlab funktion til at løse denne problemstilling, men det er ikke undersøgt nærmere, da der i projektafgrænsningen er specificeret, at der tages udgangspunkt i en rektangulær kasse.

Beregn parametre til plan

Her oprettes en plan på baggrund af den sorterede punktsky, hvortil anvendes en funktion, som er fremstillet af Lektor ved Aalborg Universitet Peter Cederholm. Denne funktion anvender "Generel Mindste Kvadraters Princip" til at finde parametrene til det bedste plan gennem en 3D punktmængde, hvor planens ligning er givet ved:

$$z = a \cdot x + b \cdot y + c$$

Hvor planens normalvektor er givet ved $n = \begin{bmatrix} a \\ b \\ -1 \end{bmatrix}$

Dermed er input til denne funktion en matrice, der indeholder x, y og z koordinater til en punktmængde samt en kofaktormatrix for punkterne, men idet præcisionen på de laserscannede punkter er den samme på alle sammen, sættes denne værdi til 1, da det ikke gør nogen forskel, hvis tallet er det samme hele vejen igennem. Funktionens output består blandt andet af en løsningsvektor med koefficienterne a, b og c og en matrice, der indeholder residualer til alle de punkter, der har indgået i udjævningen.

Et problem ved funktionen "planfit.m" er dog, at den indeholder en kontrol af punkterne, der stopper funktionen og leverer kun tomme vektorer. Dette sker, hvis planen vil komme til at ligge lodret eller tilnærmet lodret. Idet de fleste planer på en væg vil komme til at ligge lodret eller tilnærmet lodret, er det ikke muligt at anvende denne funktion. Det har derfor været nødvendigt at fjerne denne kontrol af punkterne. For at kunne køre det udarbejdede script er det desuden nødvendigt at anvende funktionen planfit09, som ligger på bilagscd'en.

Sammenlign grid med plan

Sammenligningen mellem gridpunkterne og det beregnede plan foregår ved at beregne afstanden mellem hvert enkelt punkt. Denne afstand er et udtryk for, hvor godt de laserscannede punkter passer sammen med modellen.

Der anvendes følgende formel til at beregne afstanden:

$$dist = \frac{|a \cdot x - b \cdot y + c \cdot z + d|}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2}}$$

hvor a, b, c og d er parametrene til planen beskrevet ved:

$$a \cdot x + b \cdot y + c \cdot z + d = 0$$

Dermed er det nødvendigt at omskrive planens ligning til denne form. I denne beskrivelse af planen er det vektoren a, b, c, der beskriver normalvektoren, mens d kan beskrives ved:

$$d = -a \cdot x_0 - b \cdot y_0 - c \cdot z_0$$

hvor x_0, y_0, z_0 er et punkt på planen

a, b, c er den før nævnte normalvektor

I forbindelse med beregningen af afstanden skal nævneren i brøken, jævnfør ligningen, være den absolutte værdi af udtrykket, og afstanden vil dermed altid være positiv. Det findes dog fordelagtigt at vide, om det er et plus eller minus residual, hvorfor det her undlades at tage den absolutte værdi, således det kan bestemmes, om residualerne alle ligger normalfordelt omkring planen, eller om planen er forskudt.

Stemmer punktsky overens med element?

For at kunne se om planen er sammenfaldende med det genererede grid, kan der laves en normalfordeling. Hvis residualerne er normalfordelte omkring nul, kan det antages, at der ikke er nogen forskydning i planen. Selvom residualerne er normalfordelte omkring nul, kan der stadig være fejl i byggeriet. Det vil sige, at der er en mulighed for, at planen ligger skævt i forhold til griddet. Dette kan kontrolleres ved at lave et residualplot, der med farver kan indikere, hvordan planen er placeret i forhold til griddet. Dette er dog kun en metode til at udføre kontrollen manuelt.

Skal kontrollen udføres automatisk kan dette gøres ved at analysere på max residualet. Max residualet må ikke overstige tre gange spredningen på målingerne. Hvis de alligevel gør dette, skal der en manuel vurdering til for at bestemme, om elementet er korrekt placeret.

For at finde ud af hvor godt det kan forventes, at en flade modelleret på baggrund af punktskyen er bestemt i forhold til det modellerede element, skal fejlbidraget fra begge målinger tages i betragtning. Disse fejlbidrag blev beregnet i afsnittene 7.2 Modellering af elementer og 7.3 Laserscanning af elementer.

For at finde den samlede spredning for en flade modelleret på baggrund af punktskyen i forhold til det modellerede element, er det nødvendigt at finde den samlede spredning for den modellerede flade og totalstationens indmålte detailpunkter.

Den samlede spredning for en flade modelleret på baggrund af punktskyen i forhold til det modellerede element kan beregnes på følgende måde:

$$\sigma_{samlet} = \sqrt{\sigma_{Las}^2 + \sigma_{Ts}^2} = \underline{0,004 \text{ m}}$$

Dermed skal der en manuel vurdering til, hvis max residualet overstiger:

$$\pm 3 \cdot \sigma_{samlet} = \underline{\underline{\pm 0,012 \text{ m}}}$$

Nej - Manuel opmåling

Hvis max residualet overstiger de $\pm 0,012\text{ m}$ vil elementets serienummer blive registreret i en outputfil. Alle de elementer, der er registreret i denne fil, skal igennem en manuel vurdering og eventuelt en genopmåling for at kunne konstatere, om elementet er placeret korrekt, og om der eventuelt skal udføres yderligere for at rette op på problemet.

Ja - flade godkendes

Hvis max residualet ikke overstiger de $\pm 0,012\text{ m}$ kan det antages, at elementet er placeret korrekt i forhold til modellen, og dette registreres i elementdatabasen.

7.7 Resultater

I dette afsnit præsenteres resultaterne fra de udarbejdede beregninger, der som tidligere nævnt er udført i programmet Matlab, hvor der er fremstillet to scripts, der skal repræsentere henholdsvis fase 1 og fase 2, hvorfor der også er fremkommet to sæt resultater. Derfor vælges at dele dette afsnit op i to faser på lige fod med de tidligere afsnit.

7.7.1 Fase 1

Som tidligere nævnt har datagrundlaget for dette afsnit været fiktive data, og det har således ikke været muligt at teste scriptet med data fra den virkelige verden.

Som inputfil "tagind.txt" anvendes følgende data:

Tag ID	X-koordinat	Y-koordinat	z-koordinat
47893	78.629	47.457	4.358
56498	98.443	19.276	0.667
56487	84.565	95.657	0.323
56481	84.565	95.657	0.323

Som inputfil "tags.csv" anvendes følgende data:

```
1, 45686, 47893, 48793, 54879
2, 54.547, 78.215, 0.586
2, 78.459, 47.589, 0.157
2, 21.456, 45.654, 0.478
2, 57.489, 46.768, 6.758
3
1, 56487
2, 84.564, 95.654, 0.324
3
1, 56498, 56448
2, 98.483, 19.576, 0.767
2, 46.879, 27.657, 1.201
3
```

Her er det meningen, at scriptet skal finde tag nr. 56498 og 56487 og markere dem som tags, der er placeret korrekt og dernæst læse den ind i en outputfil, der hedder "oktag.txt". Herefter skal den markere tag nr. 47893 og 56481, hvor den ene er placeret forkert, og den anden slet ikke findes i databasen.

Hvis scriptet køres med de to nævnte inputfiler, kan det ses, at der fremkommer to outputfiler. Filen ved navn "oktag.txt" indeholder tag ID og koordinat til de to tags med ID 56498 og 56487, mens filen ved navn "hmpftag.txt" indeholder tag ID og koordinat til de to tags med ID 47893 og 56481.

Ud fra denne test af scriptet fungerer det efter hensigten ved at sortere tag ID efter, om de er placeret korrekt, eller om der er en eller anden form for fejl enten i registreringen, opmålingen eller placeringen af det enkelte tag.

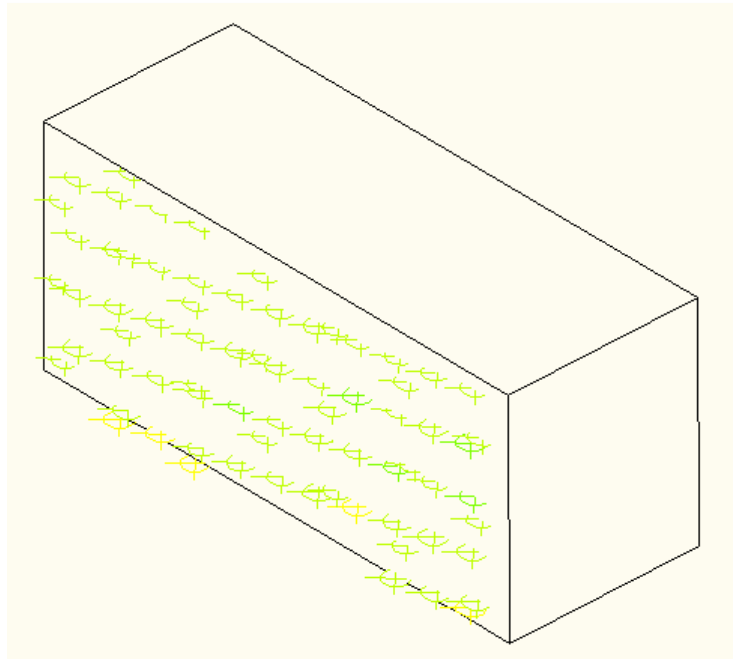
7.7.2 Fase 2

Til beregningernes fase 2 er der anvendt indmålt data for et betonelement i Aalborg Universitets bygning på Fibigerstræde 11. Dette element er først modelleret ud fra en opmåling med totalstation, hvorefter det har indgået i beregningerne for at se, om der er forskel mellem dette og en laserscannet punktsky.

Som input til beregningernes fase 2 er konstrueret et element i AutoCAD ud fra målinger med totalstation. Inputfilen indeholder koordinater til elementets forside og ser ud, som følger:

X-koordinat	Y-koordinat	Z-koordinat
102.6968	123.0988	1.221
102.7071	122.6321	1.221
102.7071	122.6321	1.018
102.6968	123.0988	1.018

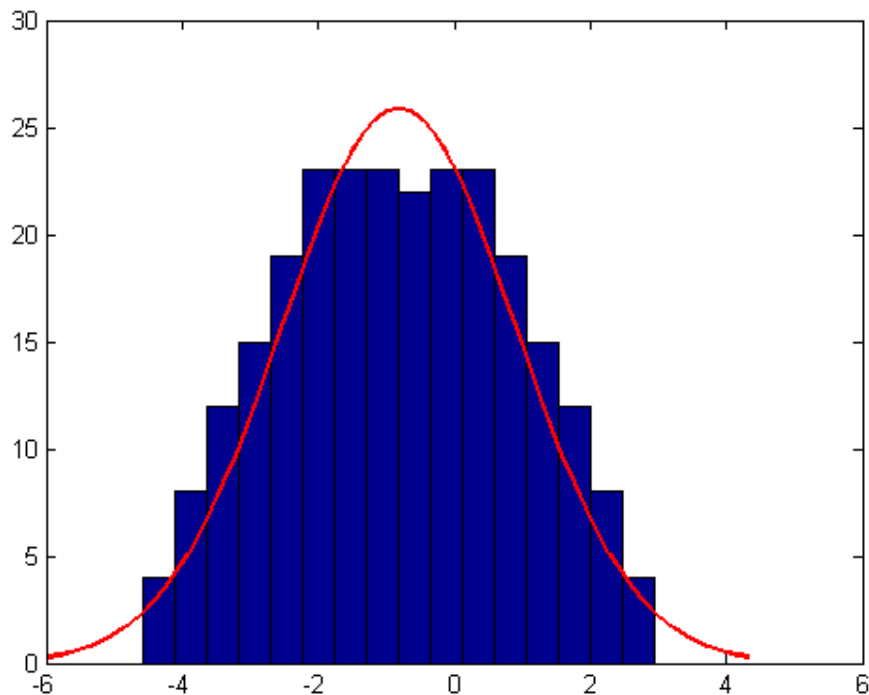
Som det andet input til scriptet til fase 2 indeholder filen den laserscannede punktsky. Denne punktsky er blevet sorteret manuelt i AutoCAD for at kunne fokusere på den egentlige sammenligning. Filen indeholder 70 3D punkter, som skal udjævnes til en flade. I Figur 36 ses punktskyen i forhold til elementet, punkterne er nogle steder markeret som halve punkter for at give figuren dybde. På den måde er det muligt at se, hvor punktet er placeret i forhold til elementet.



Figur 36: Element med laserscannede punkter

Som det kan ses af Figur 36 passer punkterne forholdsvis godt sammen med elementet. Der skal dog beregninger til for at kunne analysere, om punkterne ligger godt nok i forhold til elementet. Til dette er det vigtigt at huske på, at sammenligningen ikke er direkte mellem de laserscannede punkter og elementets flader, men mellem punkter, der er dannet på elementets overflade og en flade, der er dannet på baggrund af den laserscannede punktsky.

Først og fremmest bør residualerne være normalfordelte omkring 0. Dette vil betyde, at punktskyens flade skærer elementets flade et sted, og jo flere residualer, der nærmer sig nul jo bedre. Et diagram, der viser fordelingen af residualer i dette tilfælde, kan ses i Figur 37. Her ses det, at gennemsnittet af residualerne ligger omkring 1 mm, mens fordelingen af residualerne tilnærmer sig en normalfordeling.



Figur 37: Residualfordeling

I figuren kan det ses det at gennemsnittet af residualerne ligger på omkring -1 mm, idet både modellen og punktskyen er blevet indmålt specielt til dette projekt, og idet elementet ikke har flyttet sig i mellemtiden. Samtidig er målingerne udført på de samme fikspunkter. Dette er alle faktorer, der taler for, at middelværdien af residualerne er 0. Det må betyde, at der er en systematisk fejl i laserscannerens afstandsmålinger således, at der skal trækkes 1 mm fra alle laserscannerens afstandsmålinger.

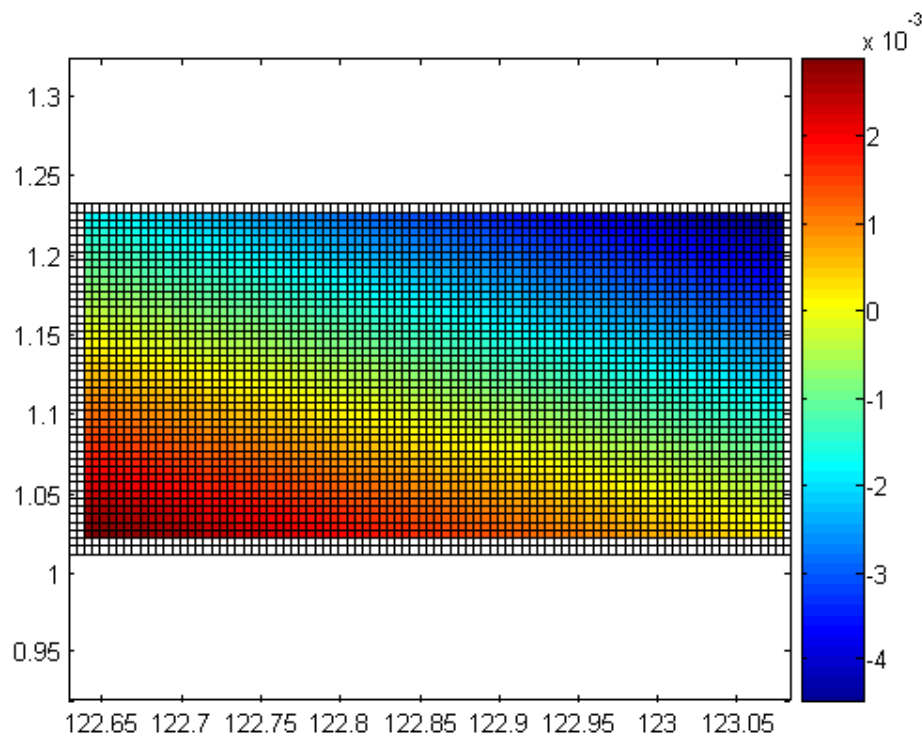
Et tidligere projekt på Aalborg Universitet omhandler laserscanning og de forskellige fejlfaktorer, der spiller ind. Her undersøges hvilken indflydelse, farver og materialer har på punktskyen. Resultatet er store afvigelser, alt efter hvad der scannes. Derfor menes der i dette projekt også, at den systematiske fejl på 1 mm i den laserscannede punktsky kan skyldes materialet og farven på det element, der blev scannet. Der vil som følge heraf ikke gøres yderligere ved den systematiske fejl end blot at bemærke den.

Som det også kan ses af figuren, følger residualerne fint normalfordelingskurven.

Det vides dog stadig ikke, om max residualet overskrider den tilladte grænse. Som tidligere nævnt må max residualet ikke overskride $\pm 3 \cdot \sigma_{samlet}$, som er beregnet til $\pm 0,012 \text{ m}$. I dette tilfælde er max residualet beregnet til $-0,005 \text{ m}$, hvilket er acceptabelt.

Dermed kan denne flade i elementet godkendes, og den næste flade kan gennemløbe løkken. Når hele elementet er godkendt, skal scriptet starte forfra på det næste element. Bliver elementet ikke godkendt, registreres det til en efterfølgende manuel vurdering.

For at få et billede af, hvordan fladen ligger i forhold til elementet, laves et residualplot af punkterne, der beregnes på overfladen af elementet. Residualplottet kan ses i Figur 38, hvor 1. aksen repræsenterer det lokale koordinatsystems y-akse, mens 2. aksen repræsenterer det lokale koordinatsystems z-akse. Farven indikerer, hvor stort residualet er i det enkelte punkt.



Figur 38: Residualplot

Residualernes størrelse ændrer sig over fladen, da de tilfældige fejl påvirker modelleringen af planen. Havde dette været en sammenligning mellem en rigtig model og en modelleret plan, kunne der måske være tale om en drejning af planen i forhold til modellen. I tilfældet her kan der ikke være tale om en drejning, idet de to dele der her anvendes begge er indmålt på det samme element.

8 Konklusion

Ingeniørfirmaet WS Atkins & Partners Overseas, Dubai, kontaktede projektgruppen inden projektperioden for at få automatiseret den opmåling af bygninger, der skal udføres for at deres bygnings informations modeller kan opdateres. Kontaktpersonen ville gerne automatisk eller semiautomatisk kunne opdatere deres bygnings informations modeller. Først og fremmest gjaldt det hvilke instrumenter, der kunne anvendes, men det var også nødvendigt at anvende nye metoder og teknologier for at kunne løse problemet.

Desværre har det ikke været muligt at løse hele det problem, Atkins ønskede besvaret. Gennem analyser er det undersøgt, om problemet kan løses, og derved er dele af problemet blevet løst, og yderligere målemetoder er blevet føjet til projektet. I særhed bør RFID tags nævnes, da der her ligger et landmålingsmæssigt område, der endnu ikke er udforsket på Aalborg Universitet.

Såfremt produktet Sapphire DART fra firmaet Multispectral Solutions, Inc.® lever op til de specifikationer, der præsenteres på firmaets hjemmeside, kan produktet anvendes til at kontrollere, om de enkelte elementer er placeret på den rigtige plads. Systemet kan ikke anvendes til kontrolmålinger af elementernes præcise position, da de gerne skulle positioneres med en nøjagtighed, der er bedre end 30 cm. Derfor er laserscanning blevet inddraget for at få en nøjagtig opmåling af elementerne, der kan sammenlignes med 3D-modellen fra en BIM. Heraf udspringer problemformuleringen, som også er at finde tidligere i projektet:

Hvordan kan laserscanning og RFID tags anvendes til kontrolopmåling af, hvorvidt en færdigbygget bygning stemmer overens med bygningsmodellen fra en BIM?

Sammenligningen er først blevet foretaget ved hjælp af RFID tags, hvor det dog ikke har været muligt at fremskaffe det nødvendige udstyr. Sammenligningen er derfor foretaget med et fiktivt datasæt. Det vurderes dog stadig, at denne sammenligning kan anvendes i forhold til besvarelsen af problemformuleringen, da det data, der er fremstillet vil svare til nøjagtigheden af det, der kan observeres af Sapphire DART. Det er muligt at fremstille et script, der kan sortere tags i forhold til, om de er placeret korrekt i byggeriet, eller om der skal foretages en manuel vurdering. Denne kontrol kan dog kun udføres med en nøjagtighed på cirka 41 cm. Derfor er det nødvendigt at finde endnu en metode, der gør det muligt at kontrollere elementer mere nøjagtigt.

For at kunne automatisere den nøjagtige kontrol af byggeriet vælges at anvende laserscanning. Med denne metode er det muligt at scanne et helt rum 360 grader rundt, hvormed der opstår en punktsky, hvoraf hvert enkelt element i byggeriet kan kontrolleres, i dette tilfælde med en spredning på 4 mm. Sammenligningen foretages ved at modellere en plan af punktskyen. Denne plan er bedre bestemt end det enkelte punkt, da det er beregnet ved udjævning af alle punkterne på fladen. Planen, der beregnes, har en nøjagtighed, der er tilstrækkelig høj til at kontrollere, hvor præcist elementerne i bygningen er placeret. Til selve kontrollen mellem elementet og punktskyen udvikles et script, der først og fremmest kan sammenligne en flade i elementet med en sorteret punktsky. Denne sammenligning foregår som forventet og viste ikke tegn på fejl.

Der er i projektet fundet en metode igennem analyser af forskellige registrerings- og opmålingsmetoder, som vurderes bedre end de andre. Denne metode indebærer placering af RFID tags i betonelementer, som på den måde kan registreres og kontrolleres for om de er placeret korrekt i forhold til en database over alle RFID tags i byggeriet. Her er det desuden muligt at placere ens elementer på flere forskellige placeringer, hvorefter deres korrekte placering registreres i en database. På den måde er det muligt på et senere tidspunkt at genfinde det enkelte element.

Som en yderligere kontrol af den mere nøjagtige placering af det enkelte element automatisk vælges i dette projekt at anvende laserscanning, der er en forholdsvis automatisk opmålingsmetode. Der skal dog efterfølgende foretages en del sorteringer af punktskyen, hvorefter den egentlige sammenligning kan foretages. Det vælges i dette projekt at undlade disse sorteringer for på den måde at kunne fokusere på sammenligningen mellem element og punktsky. Til sammenligningen modelleres en flade på baggrund af den laserscannede punktsky, som kan sammenlignes med et grid dannet på overfladen af elementet.

Det vurderes, at begge metoder er brugbare i den virkelige verden. Dog er første fase, hvor registreringen af elementerne foretages ved hjælp af RFID tags, mere relevant. Dette skyldes, at kontrollen, der i projektet udføres med laserscanning, allerede foretages under byggeriet, dog med totalstation. Derfor kunne anden fase undlades, mens der stadig er den samme kontrol af byggeriet.

I dette projekt er det vigtigt, at huske på, at denne kontrol af byggeriet og Bygnings informations modellen er ingeniørfirmaets kontrol. Selve afsætningen og den efterfølgende kontrolmåling vil typisk blive udført af entreprenøren, som også skal udarbejde dokumentation for, at byggeriet ligger inden for ingeniørfirmaets krav. Dermed vil der allerede ligge dokumentation for hvert element i byggeriet. Dette projekt beskriver en metode, hvormed denne dokumentation kan kontrolleres.

9 Perspektivering

Som opfølgning til projektet kan det være interessant at teste de forskellige måder at positionere RFID tags. Da det fra starten af projektperioden ikke var klart hvilke metoder, der skulle anvendes til opdateringen af bygnings informations modeller, opdages det at der kan blive tale om at positionere tags for sent til, at der kan bestilles systemer hjem til test. Producenten oplyser om produktets nøjagtighed, og det kan være spændende at udføre en test af systemets præstationer under forskellige forhold. Det kan ligeledes være spændende at teste, om det er muligt at positionere tags med en retningsbestemt antenne, som er præsenteret i projektet. Der er givet et forslag til, hvordan det kan lade sig gøre at anvende en retningsbestemt antenne til positionering, men der er ikke udført tests af, om det rent praktisk kan lade sig gøre. En test som denne kan afsløre, om der er ide i at lave et instrument, der netop kan læse RFID tags og måle vinkler.

I projektet udføres eksperimenter med et element, der har plane sider og rette vinkler, altså en rektangulær kasse. Det kan være interessant at udvikle metoder, der kan sammenligne andre figurer som for eksempel cylindre, sfærer eller måske endda helt irregulære former. På 7. semester var projektgruppens medlemmer med i en større gruppe, der arbejdede med deformationsanalyse af objekter, der ikke simpelt kunne beskrives matematisk. [Thomsen, 2008] Hvis matematikken fra projektet anvendes til sammenligningen af punktskyen og et element, der er modelleret ud fra en kompleks matematisk formel, kan disse også kontrolleres.

I projektet identificeres en metode til at finde frem til, hvilken placering et givent element skal have. Ses der omvendt på et sæt koordinater, som opmåles, hvor der mangles et element, kan der laves et omvendt script, der kan fortælle hvilke elementer, der kan monteres her, og hvor de er på det givne tidspunkt. På den måde kan byggeprocessen optimeres, da tegningerne over bygningen ikke skal undersøges, inden et nyt element kan monteres. Dette giver dog et problem, idet der i et stort eller langt element kan være langt fra det punkt, der måles til det punkt, hvor tagget sidder, når elementet er monteret, og et søg i databasen for et sådant punkt vil svare, at der ikke skal monteres et element på den givne placering. Er der til gengæld registreret i databasen, at et rum skal fyldes ud af et element, kan der måles et punkt inden i det tomme rum, der ønskes et element til, og derved kan der findes et element til placeringen.

En anden metode til at finde ud af hvilket element, der skal monteres et sted, er at scanne tagget i et allerede monteret element. Herefter kan de elementer, der kan støde op til elementet, blive oplistet. Herved kan for eksempel en bjælke, der skal monteres på en eller flere søjler, findes frem.

I projektet er de punkter, der er anvendt til modellering af planene, udvalgt manuelt. Hvis der i stedet anvendes region growing, vil udvælgelse af de punkter, som ligger på en plan eller kendt overflade, kunne sortere punkter tilhørende en bestemt flade automatisk. Denne metode er kendt fra automatisk modellering af 3D bymodeller. Der vil dog være risiko for, at fladen modelleres forkert, idet der ikke i alle tilfælde vil være en naturlig grænse mellem byggeriets elementer. Her kan det være en mulighed at tage bygningsmodeller i betragtning for at kunne udføre en mere præcis sortering af punktskyen.

Hvis hele modellen til en BIM opdateres ved en kontrolmåling som den, der udføres i projektet, kan der uddrages nøjagtige mål af modellen til brug ved vedligeholdelse, som for eksempel udskiftning af rørsystemer og ventilationskanaler. Herved kan der spares tid, da der ikke skal laves en opmåling af bygningen på ny.

Hvis projektet igen deles op i to faser, vil projektets fase 1 blive udført, imens bygningen bliver opført og er derfor en løbende kontrol af elementernes indbyrdes placering, mens fase 2 kontrollerer den absolutte placering af de enkelte elementer.

Fase 1 kan derfor med fordel anvendes af ingeniørfirmaet såvel som entreprenøren til en løbende kontrol, hvor fase 2 eventuelt kan udskiftes med den kontrol, der under alle omstændigheder udføres af entreprenørens landmåler ved at tage en stikprøvekontrol og anvende metoderne beskrevet i projektets fase 2.

10 Kilder

10.1 Bøger

[Aunsborg, 2005]

Aunsborg, Christian (2005):
Projektarbejdets teori og metode,
Aalborg Universitet.

[Eastman, 2008]

Eastman, Chuck; Teicholz, Paul; Sacks, Rafael; Liston, Kathleen (2008):
BIM Handbook,
John Wiley & sons.

[Kiviniemi, 2008]

Kiviniemi, Arto; Tarandi, Väino; Karlshøj, Jan; Bell, Håvard; Karud, Ole Jørgen
(2008):
Review of the Development and Implementation of IFC compatible BIM,
ERABUILD.

[Studievejledningen, 2009]

Studievejledning Afgangprojekt/Langt afgangprojekt (2009)
Aalborg Universitet

[Thomsen, 2008]

Thomsen, Anders Haugaard; Jacobsen, Carsten Bundgaard; Hansen, Martin
Steenberg; Johannesen, Søren (2008):
Deformationsanalyse med laserscanning,
Aalborg Universitet.

10.2 Hjemmesider

Alle hjemmesider er kontrolleret for indhold torsdag den 4. juni 2009.

[gear.common.dk]

http://gear.comon.dk/news/epson.laver.mini.gps.modtager_16946.html

[iai-forum.teknologisk.dk]

<http://iai-forum.teknologisk.dk/5134>

[leica.loyola.com]

http://leica.loyola.com/products/hds/pdf/HDS_Family_Brochure.pdf

[www.buildingsmartalliance.org]

<http://www.buildingsmartalliance.org/nbims/about.php>

[www.cisco.com]

http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/wireless/ps7183/ps469/prod_white_papero900aecd806a1a3e.html

[www.cse.unr.edu]

<http://www.cse.unr.edu/~bebis/CS791E/Notes/RegionGrowing.pdf>

[www.engineering.unl.edu]

<http://www.engineering.unl.edu/research/RFIDLab/videopages/rfidconstruction.shtml>

[www.epson.co.jp]

http://www.epson.co.jp/e/newsroom/2009/news_20090212.htm

[www.leica-geosystems.com 1]

<http://www.leica-geosystems.com/common/shared/downloads/inc/downloader.asp?id=5736>

[www.leica-geosystems.com 2]

http://www.leica-geosystems.com/ca/en/lgs_56320.htm?id=1247

[www.leica-geosystems.com 3]

http://www.leica-geosystems.com/corporate/en/HDS-Accessories-Targets_19143.htm

[www.mojix.com 1]

<http://www.mojix.com/products/elocation.php>

[www.mojix.com 2]

http://www.mojix.com/products/documents/Mojix_STAR_System.pdf

[www.multispectral.com]

http://www.multispectral.com/pdf/Sapphire_Revolution.pdf

[www.rfidvidensbank.dk 1]

<http://www.rfidvidensbank.dk/sw18810.asp>

[www.rfidvidensbank.dk 2]

<http://www.rfidvidensbank.dk/sw22915.asp>

[www.rfidvidensbank.dk 3]

<http://www.rfidvidensbank.dk/sw23062.asp>

[www.rfidvidensbank.dk 4]

<http://www.rfidvidensbank.dk/sw22974.asp>

[www.tekla.com]

<http://www.tekla.com/international/solutions/building-construction/Pages/basic-concepts.aspx>

10.3 Bekendtgørelser

[BEK nr. 1365]

Økonomi- og Erhvervsministeriet; Bekendtgørelse om krav til anvendelse af Informations- og kommunikationsteknologi i byggeri; 2006

11 Bilag

Indhold

-  Fejlbidrag Laserscanner
 -  resultatafraformation.txt
-  Fejlbidrag Totalstation
 -  spred_pol.m
 -  spred_pol.txt
-  LGO Resultater
 -  LGO Netskitse.pdf
 -  LGO Resultat.pdf
-  Matlab
 -  Fase 1
 -  fase1.m
 -  tags.csv
 -  tagind.txt
 -  Fase 2
 -  fase2.m
 -  ABCD.txt
 -  punktsky.txt
 -  planfit09.m
-  Diagram for beregninger.pdf
-  Appendix I - Miniprismets prismekonstant.docx
-  Samlet Rapport.pdf