

Martine Draugedal Tonsiri
Martin Strand

Skanning og 3D-modellering av eldre trebygg

Utvikling av metode for skanning og 3D-modellering av eldre trebygg, med fokus på bestemmelse av materialmengde

Bacheloroppgave i Ingeniørfag - bygg

Veileder: Eskild Narum Bakken

Medveileder: Pasi Aalto

Mai 2021

Martine Draugedal Tonsiri
Martin Strand

Skanning og 3D-modellering av eldre trebygg

Utvikling av metode for skanning og 3D-modellering av eldre trebygg, med fokus på bestemmelse av materialmengde

Bacheloroppgave i Ingeniørfag - bygg
Veileder: Eskild Narum Bakken
Medveileder: Pasi Aalto
Mai 2021

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for vareproduksjon og byggteknikk



Kunnskap for en bedre verden

Oppgavens tittel:	Dato: 20.05.2021		
Skanning og 3D-modellering av eldre trebygg	Antall sider: 58		
	Masteroppgave:	Bacheloroppgave	x
Navn: Martine Draugedal Tonsiri, Martin Strand			
Veileder: Eskild Narum Bakken			
Eventuelle eksterne faglige kontakter/ veiledere: Pasi Aalto			

Sammendrag:

Denne bacheloroppgaven handler om hvordan man kan 3D-modellere et eldre trebygg, for å hente ut informasjon om materialmengder. Denne informasjonen kan da knyttes opp mot tanken om å kunne gjenbruke materialene og ha en oversikt over hvor mye materialer som er tilgjengelig.

Oppgaven presenterer en metode for hvordan man går fram for å lage en BIM-modell. Her gjennomgås manuelle målinger, skanningsprosesser og modelleringsprosesser. Det er tatt utgangspunkt i et eldre trebygg i Trondheim, Magasinbygget, som er eid av NTNU eiendom.

Som resultat av oppgaven vises det hvordan de ulike prosessene gjennomføres, samt at det vises til materialmengden som ble hentet ut av BIM-modellen av Magasinbygget. Denne metoden er tilpasset for studenter og andre med lite erfaring innen BIM. Det ble konkludert med at dette skulle være en enkel metode å gjennomføre.

Resultatene fra skanninger og modellering skal også kunne være tilgjengelig for andre som skulle ønske å utvikle modellen av Magasinbygget mer detaljert.

Stikkord:

Skanning
BIM
Trebygg
Ombruk av byggematerialer



Martine Draugedal Tonsiri



Martin Strand

Forord

Denne avsluttende bacheloroppgaven for studieretningen Byggingeniør er skrevet av Martine Draugedal Tonsiri og Martin Strand ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet på Gjøvik. Omfanget av bacheloroppgaven er 20 studiepoeng. Dette tilsvarer 2/3 fulltidsbelastning gjennom ett semester, dvs. 550-600 arbeidstimer for hver student.

Oppgaven ble valgt ut ifra interesse i bruk av digitale verktøy til ingeniørfaglig bruk. Det var også av interesse å se på hvordan man kan finne måter å gjøre byggeindustrien mer bærekraftig ved ombruk av materialer som allerede finnes i eksisterende bygninger. I løpet av arbeidet med oppgaven vokste også interessen for eldre bygninger og forståelsen av behovet for å ta vare på dem, samt det å lære om gamle byggeteknikker og tradisjons håndverk.

Det ønskes å gi en stor takk til Eskild Narum Bakken, veilederen vår, for gode konstruktive tilbakemeldinger og engasjement for oppgaven vår. Takknemlig for at han alltid var tilgjengelig når vi trengte det. Samtidig er vi takknemlige for all hjelp, rettleiding og inspirasjon fra Pasi Aalto, samt for et hyggelig møte i Trondheim. Også takknemlig for at han har vist stor interesse i vår oppgave, kommet med gode innspill og inspirert oss i temaet for oppgaven. Vil takk for at han var tilgjengelig for oss når vi trengte det, og hjalp oss med å komme i gang med oppgaven.

Gruppen er fornøyde med det vi har klart å legge frem, og synes oppgaven har vært spennende å jobbe med. Vi har jobbet godt i lag, på tross av at vi ikke har samarbeidet tidligere, store avstander og ulike studiehverdager, da Martin var campus-student og Martine var nettstudent. Vi har fordelt oppgaven godt og samarbeidet har fungert hele veien.

Abstract

This bachelor thesis is about how to make a 3D model from an old wooden building, to get the information about the amount of material in the building. This information can be useful about the idea on how to reuse material and have an overview on how much material there is available.

This thesis presents a method on how to proceed to make a BIM model. It will present how to do manual measurements, how to do the scanning process and how to do the modelling process. This method is made from the process on modelling an elderly wooden building in Trondheim, Magasinbygget, which is owed by NTNU.

As a result of this task, it is shown how different processes is done, and also shows the amount of material which is read from the BIM model of Magasinbygget. This method is made for students and others with little experience from BIM. It was concluded that this should be an easy method to use.

The result from the scanning and modelling should be available for others who may have an interest in developing the model of Magasinbygget more detailed.

Innholdsfortegnelse

Forord	ii
Abstract	iii
Innholdsfortegnelse	iv
Tabelliste	viii
1 Innledning.....	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Formål.....	3
1.3 Problemstilling.....	3
1.4 Avgrensing av bacheloroppgaven	4
2 Teori	5
2.1 Tidligere prosjekter.....	5
2.2 Ombruk av byggemateriale	6
2.3 Laserskanning	7
2.4 BIM.....	7
2.4.1 HBIM	8
2.5 Verktøy og programvare.....	9
2.5.1 FARO Focus 3D-scan	9
2.5.2 SCENE	10
2.5.3 ReCap.....	11
2.5.4 Revit	11
3 Magasinbygget	12
3.1 Bygningens utforming og kvalitet	12
3.2 Bygningens historie	18
4 Metode.....	20
4.1 Valg av metode.....	20
4.2 Registrering og oppmåling	21
4.2.1 Manuelle målinger.....	21
4.2.2 Skanninger og plassering av referansekuler.....	24
4.3 Prosessering av skanninger.....	27
4.4 Modellering	27

4.5	Beregning av materialmengder.....	32
4.5.1	Bestemmelser av nøyaktighetsgrad i oppmåling og modellering	33
5	Gjennomføring og resultater	34
5.1	Fra oppmåling til ferdig modellert bygg.....	34
5.1.1	Manuelle oppmålinger.....	35
5.1.2	Skanninger og punktsky	37
5.1.3	Modelleringer i Revit	38
5.1.4	Uthenting av materialmengder	39
5.2	Resultater av punktsky og modellering	40
5.3	Materialmengder.....	41
6	Diskusjon og analyse.....	44
6.1	Registrering og oppmåling	44
6.2	Punktskybehandling og modellering	45
6.2.1	Materialmengden.....	46
6.2.2	Nøyaktighetsgrad	47
6.3	Hva kan denne metoden brukes til	47
6.3.1	Hvem kan bruke denne metoden	48
7	Konklusjon	49
8	Litteraturliste	50
9	Vedlegg	52
9.1	Oppmåling av Rom 15 (Verksted).....	53
9.2	Oppmålinger av andre etasje	55
9.3	Registrering av uregelmessigheter i bygget.....	57

Figurliste

Figur 1 Oversiktsbilde over Trondheim, der bygningen er markert med oransje markering. Hentet fra kart.1881.no.....	2
Figur 2 Flytskjema, prosessen fra skanning til ferdig modellert bygg.....	9
Figur 3 Vertikal og horisontal rotasjon av skanneren. Hentet fra Faro Focus 3D-scan brukermanual.....	9
Figur 4 Oversiktsbilde over NTNU Kalvskinnet, Magasinbygget markert med rød ring. Hentet fra MazeMap	12
Figur 5 Byggets østside. Foto: privat	13
Figur 6 Byggets vestside. Foto: privat	13
Figur 7 Flyfoto fra sørsiden av bygget. Hentet fra Google Earth	14
Figur 8 Søyلة langs veggen. Foto: Privat	14
Figur 9 Bilde fra rom 15, verksted. Foto: privat	15
Figur 10 Bilde fra rom 10, innerpanelet er tatt av. Foto: privat	15
Figur 11 Konstruksjon i 2. etg. Hentet fra Revitmodell.....	16
Figur 12 Plantegning 1.etg	17
Figur 13 Plantegning 2.etg	17
Figur 14 Brannmuren sett fra innsiden i 2.etg. Foto: privat.....	17
Figur 15 Magasinbygget. Foto: Arne Rønning Opphavsrett: NTNU (Regjeringen, 2010)	18
Figur 16 Skisse Magasinbygget. Opphavsrett: NTNU Eiendom	20
Figur 17 Midtsøyلة, rom. 15. Foto: Privat.....	22
Figur 18 Manuelle målinger. Skjermklipp fra Excel.....	23
Figur 19 Plantegninger fra 1. etg og 2. etg med lokasjon av skanner, markert med kryss.	24
Figur 20 Bilder fra rom 10 og 11 hvor innerpanelet og noe av gulvet er revet. Foto: privat...	25
Figur 21 Fra skanneposisjon 4 i 2. etasje. Skjermklipp fra SCENE	26
Figur 22 Fra skanneposisjon 3 i rom 15, referansekulene markert med rød sirkel. Skjermklipp fra SCENE.....	26
Figur 23: Plantegning fra rom 15, modellering ut i fra punktsky. Hentet fra Revit.....	29
Figur 24 Tverrsnitt rom 15, plassering av avstivere. Hentet fra Revit, med punktsky	30
Figur 25 Lengdesnitt rom 15, plassering av avstivere. Hentet fra Revit, med punktsky	30
Figur 26 Bæresystem med brannmur i bakgrunn. Hentet fra Revit	31
Figur 27 Foto, oversiktsbilde verksted. Foto: Privat	34
Figur 28 Punktsky, oversiktsbilde verksted. Skjermklipp fra ReCap	35
Figur 29 Modell, oversiktsbilde verksted. Skjermklipp fra Revit.....	35
Figur 30 Gjennomføring av manuelle målinger, t.v. krype inn i ett hjørne, midten klatre opp på hanebjelkene, t.h. enklere mål av vindu. Foto: Privat	36
Figur 31 Modell av bygningen, sett fra nordøst. Hentet fra Revit	38
Figur 32 Modell av vindu. Hentet fra Revit	39
Figur 33 Bilde av vindu. Foto: privat	39
Figur 34 Modell av bygningen, sett fra sørøst. Hentet fra Revit.....	40
Figur 35 Prosentvis fordeling av byggets materialmengde, målt i volum m ³	43
Figur 36 Prosentvis fordeling av byggets materialmengde, målt i kg.....	43

Figur 37 Anslag for utregning av materialmengde av ringmur..... 46

Tabelliste

Tabell 1 Egenvekter i m ³ for materialer	32
Tabell 2 Utregninger av differansen på midtsøylen	33
Tabell 3 Oppsummering av materialmengder	41
Tabell 4 Fordeling av trematerialer i bygget	42

1 Innledning

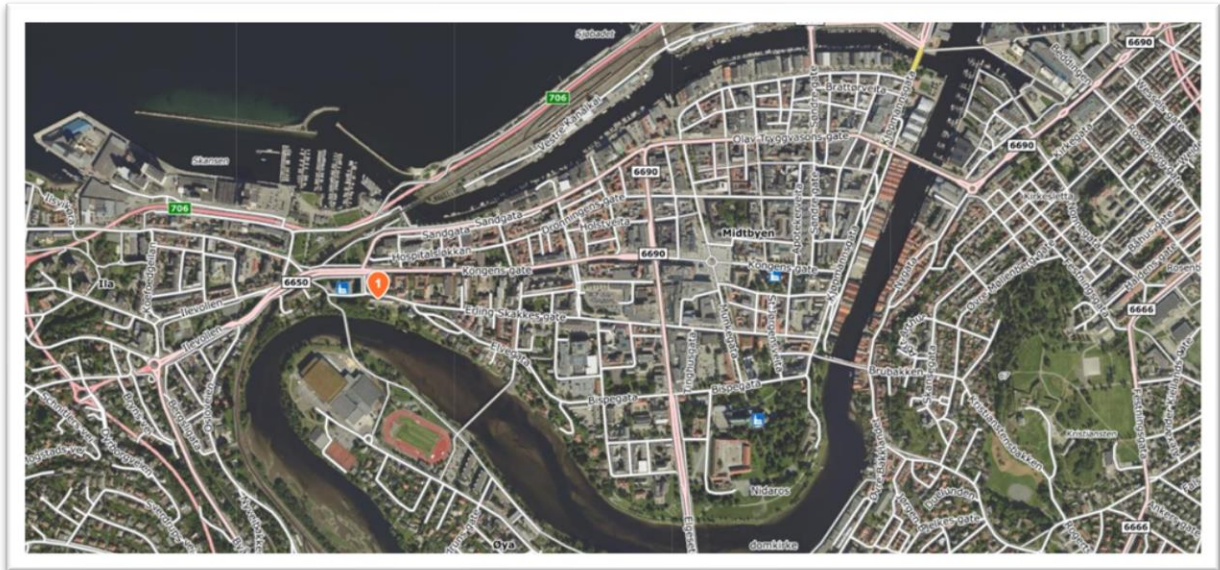
1.1 Bakgrunn

Det foreligger et forskningsinitiativ i Trondheim om å modellere ca. 1000 bygninger fra 1800-1997 for å etablere hvor mye og hva slags materiale som finnes til en fremtidig sirkulær økonomi. Dette prosjektet er et samarbeid mellom NTNU Wood, Industrial Ecology, NTNU Gjøvik og alle andre aktører som ønsker å bidra. Det er gjort 3 forskjellige prosjekter som kan knyttes til dette forskningsinitiativet fra før. Det første er et prosjekt som så på de generiske konstruksjonsmetodene som er brukt i Trondheim. På det andre prosjektet er det studenter fra 1-årig BIM-kurs ved NTNU Gjøvik, som har modellert om lag 40 bygninger. Det siste prosjektet, er en bacheloroppgave fra våren 2020, som tar for modellering og transformasjon av garasjer i Trondheim. Med bakgrunn i dette tok vi i slutten av desember kontakt med NTNU Wood og senterleder Pasi Aalto som er ansvarlig for dette forskningsprosjektet. NTNU Wood er en tverrfaglig katalysator for studieutvikling, forskning og innovasjonsprosjekter ved NTNU med sikte på å øke kunnskapen om hvordan vi bruker de norske og nordiske tre- og skogressursene mot et samfunn i tråd med FNs bærekraftsmål. Bærekraftsmålene er verdens felles arbeidsplan for å utrydde fattigdom, bekjempe ulikhet og stoppe klimaendringene innen 2030 (FN, 2021). NTNU Wood er finansiert av Norsk treindustri og oppfordrer til samarbeid mellom industri, akademikere og studenter ved NTNU. Det er for tiden om lag 50 personer som jobber for, eller samarbeider med, NTNU Wood på en eller annen måte. Dette er personer som jobber med tre eller har kompetanse innenfor tre som materiale.

Med bakgrunn i dette forskningsinitiativet er man interessert i å finne en mer effektiv måte, både å modellere og kartlegge bygninger som kan bidra til mer ombruk av byggematerialer. I denne oppgaven ønsker vi å jobbe med 3D laserskanning av bygg da dette er relevant med tanke på rehabilitering av eksisterende bygg, i motsetning til å jobbe ut ifra utdaterte plantegninger. Vi ønsker å ta for oss et eldre bygg der ikke alt var symmetrisk og bygd slik det ville vært i dag. Dette for å kunne belyse utfordringer knyttet til dette. Sammen med bi-

veileder Pasi Aalto kom vi frem til et eldre trebygg som ligger på Kalvskinnet i Trondheim. Bygningen er oppført i 1826 og det er NTNU Eiendom som nå eier bygget.

Vår ambisjon er at funnene i denne bacheloroppgaven vil kunne bidra til en mer effektiv måte å modellere eksisterende bygg, som igjen vil være med å belyse hvor mye og hva slags materialer som finnes i eldre trebygg.



Figur 1 Oversiktsbilde over Trondheim, der bygningen er markert med oransje markering. Hentet fra kart.1881.no

1.2 Formål

Formålet med oppgaven er å finne en effektiv metode for hvordan man kan hente ut materialmengder av et eldre trebygg ved hjelp av skanninger og BIM. Dette skal være en metode som kan brukes av studenter eller andre med lite erfaring innenfor BIM. Hensikten med å utvikle en slik metode er å overflødiggjøre behov for konsulentbistand til denne type prosjekter.

Hensikten med å innhente informasjon om materialmengder i eldre trebygg er å undersøke muligheter for gjenbruk. Dette omfatter både gjenbruk av bygningsdeler i nye bygg og gjenvinning i form av materialeresirkulering eller energiproduksjon.

1.3 Problemstilling

Den overordnede problemstillingen er å utarbeide og utprøve en effektiv metode for å fremstille en bygningsinformasjonsmodell (BIM) av et eldre trebygg, som grunnlag for beregninger av materialmengder.

Problemstillingen kan operasjonaliseres i spesifikke spørsmål:

- Hvordan gjennomføre skanning og måling?
- Hvordan etablere punktsky og fremstille en modell (BIM) ut fra registreringene?
- Hvordan fremstille materialmengder så det kan være til nytte for ombruk?
- Hvor stor grenseverdi for nøyaktighet kan tolereres?
- Hvordan kan modellen eventuelt brukes videre i prosessen?

1.4 Avgrensning av bacheloroppgaven

Oppgaven er avgrenset til de registreringer og operasjoner som er nødvendige for å spesifikt besvare problemstillingen. Et bygg er stilt til disposisjon av NTNU, søk etter egnet objekt er ikke påkrevd. Anerkjent og godt egnet teknisk utstyr og programvarer er valgt ut fra tilgjengelighet ved NTNU, og det er valgt bort å se på sammenligning av ulike verktøy og programvarer.

Det er valgt å se vekk fra bygningsdetaljer som har marginal betydning for den totale materialmengden i bygningen, da dette blir fort tidkrevende og lite relevant for vårt formål. Tanken er at denne metoden skal være enkel å bruke av folk med lite erfaring innen BIM, og da vil fokus på detaljer være tid- og ressurskrevende og unødvendig.

Metoden som blir presentert er laget for eldre trebygg. Nyere bygg har standardiserte mål og dimensjoner, og man vil derfor ikke møte de samme utfordringene knyttet til oppmåling som i oppgavens eksempelbygg bygg fra 1826.

2 Teori

For å svare på problemstillingen har vi valgt å studere andre prosjekter både i Norge og ellers i verden. Dette er ikke et nytt fenomen, men det gjøres ofte med fokus på detaljer, krever høy kompetanse innenfor faget og kan være tidkrevende. Hensikten vår er primært å lage en metode som kan bidra til en effektiv metode for produksjon av BIM av eldre bygg, med tanke på kartlegging av materialmengder.

2.1 Tidligere prosjekter

I 2009 ble det foretatt en laserskanning av Urnes stavkirke (Gustavsson, 2009). Kirken er datert til rundt 1130 og er på UNESCOs verdensarvliste. Laserskanningsprosjektet på Urnes har gitt meget gode resultater. Målet med dette prosjektet var å demonstrere og teste laserskanning som dokumentasjonsmetode for bygninger generelt og stavkirker spesielt. Datasettene fra dette prosjektet fungerer også som en digital sikkerhets kopi av kirken. I dette prosjektet var det et høye krav til nøyaktighet, da det var mye utskjæringer og detaljer som skulle dokumenteres.

I 2020 ble det publisert en studie der de skannet Guimarães slott i Portugal, ett slott som også er på UNESCOs verdensarvliste. (Mol *et al.*, 2020). Det er et steinslott der taket er bygget opp med tømmerstokker. Disse stokkene var alle forskjellige, fordi de ble saget for hånd, men også på grunn av råte og insekter som hadde spist på treverket. I dette prosjektet ble både Faro Focus laserskanner brukt, samt CloudCompare og Revit 2018. I dette prosjektet var disse tømmerstokkene sammenlignet med en skanning fra 2014, for å se på hvor mye disse hadde endret seg over tid. På denne måten kunne de planlegge videre restaurering ut ifra hvor mye stokkene endret seg. I tillegg ble det sett på hvor gode BIM-verktøyene som finnes i dag er for å rekonstruere historiske bygninger.

Ved NTNU i Trondheim er det produsert en bachelor om oppmåling og modellering av ulike garasjer i Trondheim, for å se om det ville være mulig å transformere disse til studentboliger (Rese og Råheim, 2020). Her ble det gjennomført kun manuelle oppmålinger, og alle

garasjene ble modellert opp i ArchiCad. Videre så de på muligheten til å gjøre om disse garasjene til studentboliger. De kom fram til at det var stort potensiale for transformering.

2.2 Ombruk av byggemateriale

På oppdrag for direktoratet for byggkvalitet (DiBK) har firmaene Resirqel, Skanska & So-La skrevet en rapport om forsvarlig ombruk av byggevarer. (Kilvær *et al.*, 2019a). Det er gjort en litteraturstudie og et FoU-prosjekt. Her kommer det fram at ombruk av treverk ikke er så utbredt i dag, da det å kjøpe nytt er mer kostnadseffektivt. Det ble likevel vist til noen elementer som egner seg direkte til ombruk. Her nevnes bl.a. hele lengder av konstruksjonsvirke, som søyler, bjelker og dragere. Resterende treverk som er vanskelig å gjenbruke anbefales da å energigjenvinne (Kilvær *et al.*, 2019b)

I deres oppsummering sier de:

Vi har i denne rapporten redegjort for og vist til beregninger og eksempler på hvorfor treverk er egnet for ombruk, og har et betydelig potensial for ombruk, og dernest at alt restmateriale som av ulike årsaker ikke er egnet for ombruk bør vurderes materialgjenvunnet, dernest som siste utvei energigjenvinnes. (Kilvær *et al.*, 2019b)

Dermed er det av interesse å finne ut hvor mye materialer som kan gjenvinnes og brukes om igjen.

Grunnen til at det har vært ønskelig å se på dette er fordi dagens byggenæring bruker mye råvarer, samt at de har en høy andel med byggavfall. Byggenæringen i dag og dens regelverk har utgangspunkt i en lineær tidslinje, der man bruker nye materialer og kaster dem etter bygningens levetid. Denne måten å drive byggenæring på, ønskes nå å forandres. Det er et ønske å bli mer miljøvennlig og bruke materialer mer sirkulært. Ved å bruke om materialer kan man da unngå råvaremangel, avfallsproblemer og redusere klimagassutslipp.

DiBK skrev en artikkel på nettsiden byggogbevar.no (DiBK, 2021) i mars 2021 om at de søkte etter hjelp til å lage en god veileder for ombruk av byggevarer. Det er tydelig at DiBK har ett fokus på dette, og ønsker å få mer informasjon og gjøre dette mer tilgjengelig.

2.3 Laserskanning

Light Detection And Ranging (LiDAR), eller laserskanning, bruker lys for å bestemme avstanden til et objekt. Dette er en fjernmålingsteknikk som blir for oppmåling og kartlegging av jordkloden, men som også kan benyttes til oppmåling av menneskeskapte objekter, som bygninger (Grinderud og Haavik-Nilsen, 2016, s.60).

De to vanligste metodene laserskannere bruker for å måle punkter, er pulsbasert- og fasebasertmetode. Pulsmålesystem også kalt «Time-of-flight», fungerer ved at man sender ut en enkelt puls fra laserskanneren og bestemmer avstanden til målepunktet ved at man måler tiden det tar for lyset å reflekteres tilbake til laserskanneren. Fasebasert målesystem sender også ut pulser fra laserskanneren, men i denne metoden moduleres lysets intensitet med spesifikke bølgeformer. Refleksjonen av intensitetsmønstrene forskyves av påvirkningen på måleobjektets overflate. Måling av forskyvningen mellom utsendt og mottatt lasersignal gir en presis avstandsberging. Vanligvis er laserskannere som bruker faseforskyvningssystemer nøyaktige, raske og gir data med høy oppløsning (Faro, 2020a).

Laserskanneren brukt i dette prosjektet er Faro Focus 3D, denne er fasebasert. Det er beskrevet mer i kapittel 2.5.1 *FARO Focus 3D-scan*.

2.4 BIM

BIM står for Bygnings Informasjons Modellering. BIM er digitale modeller av bygg, og kan inneholde all informasjon som trengs om bygningen. En BIM kan modellere ett bygg helt opp til 8D. Der 2D står for tegninger, 3D er tegningen med geometrien, 4D står for tid, 5D er kostnader, 6D er drift og vedlikehold, 7D er bærekraft og 8D er sikkerhet. På denne måten får man inn flere sider ved en bygning. (Linge)

Det finnes forskjellige BIM for hvert enkelt fagfelt i byggebransjen, som arkitekter, bygg, elektro, VVS osv. Alt dette kan så samles i en felles tverrfaglig BIM. Gjennom samhandling på tvers av fagfelt er det mye enklere å rette opp eventuelle feil som kan oppstå i en BIM før de begynner å bygge, enn i den fysiske byggeprosessen.

Det finnes flere forskjellige programvarer som kan lage BIM. De ulike programvarene passer til de ulike fagfeltene, men bør alle lagres i samme IFC-fil, så man får en åpen-BIM som kan brukes overalt, av alle fagområder.

2.4.1 HBIM

Historiske bygnings informasjons modeller (HBIM) er et uttrykk som går inn under BIM, og ble nevnt første gang i 2009. (Murphy, McGovern og Pavia, 2009). En HBIM lager et ekstra bibliotek med ulike historiske elementer, ved hjelp av skanninger og bilder. Siden de fleste historiske bygninger ikke er standardisert, trengs det ekstra bruk av ulike komponenter i modellen, som gjør dette til en HBIM. (Mol *et al.*, 2020). HBIM er likevel ikke veldig utbredt, og det trengs fortsatt mer arbeid innen dette for å gjøre biblioteket større. I metoden vi presenter i denne oppgaven er det ikke tatt hensyn til dette, da hensikten er å finne materialmengder og ikke lage en detaljert BIM.

2.5 Verktøy og programvare

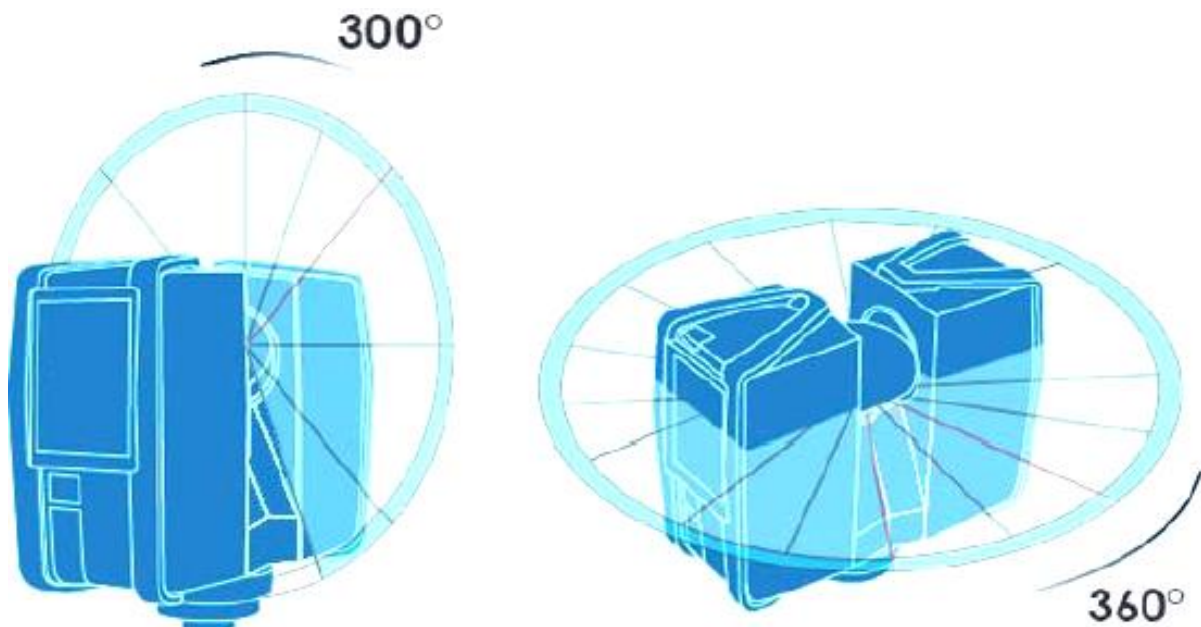
Utarbeidelse av en 3D-modell av en bygning, er en arbeidsprosess som involverer flere trinn og verktøy. Flytskjemaet nedenfor illustrerer prosessen og de ulike verktøy/programvarene som er anvendt i denne oppgaven.



Figur 2 Flytskjema, prosessen fra skanning til ferdig modellert bygg

2.5.1 FARO Focus 3D-scan

FARO Focus 3D-scan er en mobil laser skanner fra det amerikanske selskapet FARO. (FARO, 2020b). Skanneren er et anerkjent verktøy til å skanne bygninger i detalj. Flere større prosjekter velger å bruke nettopp denne skanneren.



Figur 3 Vertikal og horisontal rotasjon av skanneren. Hentet fra Faro Focus 3D-scan brukermanual.

Skanneren fungerer på den måten at den sender ut en laserstråle som treffer en speilflate, og dermed blir skutt ut i rommet. Denne speilflaten spinner rundt og rundt, som gjør at laserstrålen treffer flere ulike punkter. Laseren går rundt seg selv, på denne måten klarer skanneren å få punkter i alle retninger horisontalt, og 300° i den vertikale retningen, se figur 2 på forrige side. Etter endt skanning går også skanneren rundt og tar bilder, så man får fargeinformasjon for hvert punkt. På denne måten får man punkter som man kan sette sammen til en helhetlig punktsky, samt bilder man kan ta målinger av i tilnærmet korrekt størrelse. I tillegg så måler den distanse på en avstand fra 0,6 til 120m, med en feilmargin på ± 2 mm.(FARO, 2015)

I tillegg følger det med referansekuler som kan settes opp i rommene man skal skanne. Disse er magnetiske og kan henges i magnetiske elementer i bygg. Når disse kulene blir sett i flere ulike skanninger, kan man sette skanningene sammen, og lage en helhetlig punktsky.

Skanneren er lett håndterlig med touch screen. En kan stille inn på den funksjonen man ønsker, ut ifra om man skal skanne inne eller ute, for så å trykke på en knapp og skanningen starter. Dette tar bare noen minutter. Når skanningen er ferdig, kommer bildene av skanningen på skjermen.

Alle bildene og målepunktene blir lagret på et SD-kort og de kan enkelt overføres til en datamaskin for videre bearbeiding med egnet programvare.

2.5.2 SCENE

FARO har laget et eget program, SCENE. Dette er et programvareverktøy for 3D-prosessering og registrering av punktskyer. En punktsky er mange punkter som sammen former en 3D-modell av ett objekt. Her kan man også måle opp avstander og se skanningen i 3D. SCENE er et velegnet program å bruke i ettertid av skanningen for å kontrollmåle punkter, samt se resultatet av skanningen (Faro, 2020c). Programmet er kompatibelt med Faro Focus 3D-scan og er brukervennlig ved bearbeiding av skanninger.

2.5.3 ReCap

Autodesk ReCap står for “Reality Capture” og er et program for å jobbe med punktskyer fra laserskanninger. ReCap er et program som lar deg åpne punktskyfiler, filtrere data du ikke trenger, samt jobbe med filene i en mer håndterbar størrelse. Prosjekter lagret i ReCap kan importeres direkte inn i Revit som en punktsky. (Coppinger, 2020)

2.5.4 Revit

Revit er også et program fra Autodesk. Revit er et BIM-verktøy som kan brukes på tvers av fagfelt innen arkitektur, ingeniørfag, konstruksjon, VVS og elektro, og er anerkjent i alle fagfelt. Med Revit kan man lage 3D-modeller av bygg innen ulike fag. (Autodesk, 2021) Programmet er kompatibelt med Autodesk ReCap og kan brukes sammen uten tilpasninger.

I Revit kan man modellere bygg med både struktur, arkitektur eller system. Samt at man kan lage egne komponenter, kalt *families* i Revit. Her kan man lage vinduer, dører, håndtak, møbler og andre ting. Det finnes allerede mange ferdige families som kan lastes ned og bruke inn i Revitprosjekter. Jobber man med et HBIM prosjekt må mange families lages. Siden historiske bygg er unike og uregelmessige finnes det ikke mye elementer for dem som kan lastes ned.

3 Magasinbygget

3.1 Bygningens utforming og kvalitet

Bygningen som skal modelleres er Magasinbygget i Erlings Skakkes gate 59. Det hører til NTNU Kalvskinnet. Bygningen er i dag brukt av NTNU som lager, og en del er brukt som verksted for tradisjonshåndverk.



Figur 4 Oversiktsbilde over NTNU Kalvskinnet, Magasinbygget markert med rød ring. Hentet fra MazeMap

Bygning er et eldre bygg på 712 m², som ble oppført i 1826. Bygget består av to etasjer som er delt inn i ulike rom. Bygget har saltak med skiferplater, og stående kledning. På byggets sørside har den elleve vinduer og seks dører. På byggets nordside er det elleve vinduer og tre dører. På østsiden av bygget er det en port i første etasje, og en dør med ett vindu på hver sin side av døren i andre etasje, samt et lite vindu over døren. På vestsiden har bygget en rampe opp til andre etasje. Der er det en enkel dør med ett vindu på hver sin side av døren, samt et lite vindu over døren.



Figur 5 Byggets østside. Foto: privat

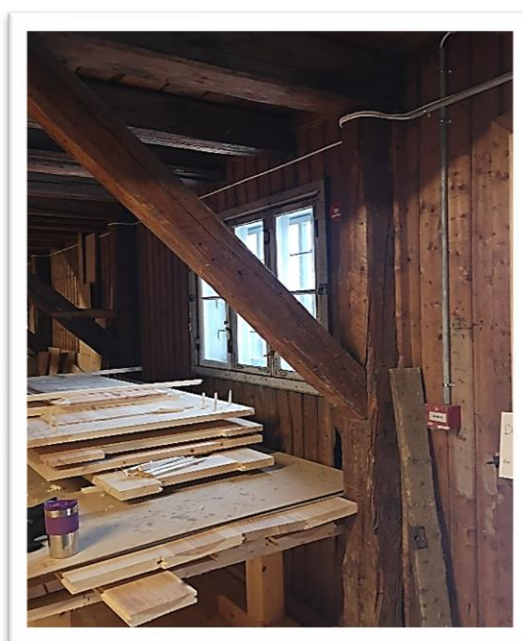


Figur 6 Byggets vestside. Foto: privat

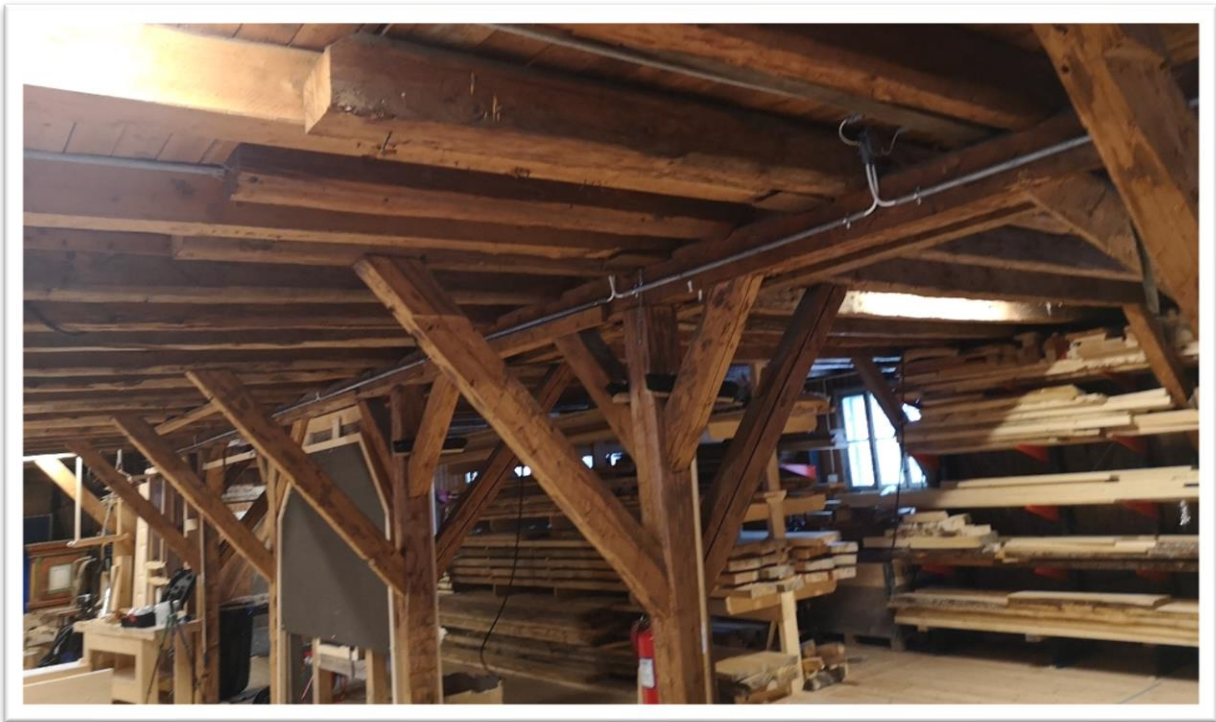


Figur 7 Flyfoto fra sørsiden av bygget. Hentet fra Google Earth

Ytterveggene er bygd opp av bindingsverk og kledd med enkel panelkledning på innsiden og utsiden. Det finnes ingen isolasjon i veggene. Bærekonstruksjonen består av søyler som står langs veggen på innsiden av bygget, med avstivere som går opp til bærebjelkene i etasjeskilleren mellom første og andre etasje. Midt i bygget er det søyler med avstivere på alle fire sider av søylen. I etasjeskilleren mellom første og andre etasje er det gjentakende bærebjelker som går på tvers av bygningens lengderetning.



Figur 8 Søyle langs veggen. Foto: Privat

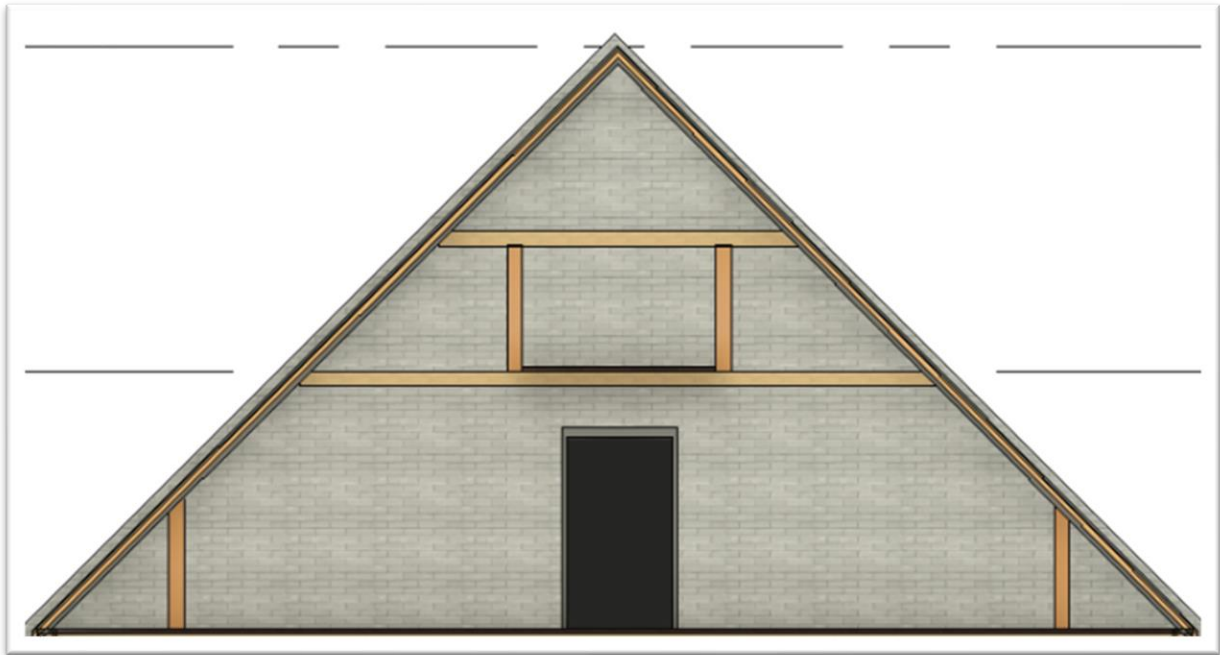


Figur 9 Bilde fra rom 15, verksted. Foto: privat



Figur 10 Bilde fra rom 10, innerpanelet er tatt av. Foto: privat

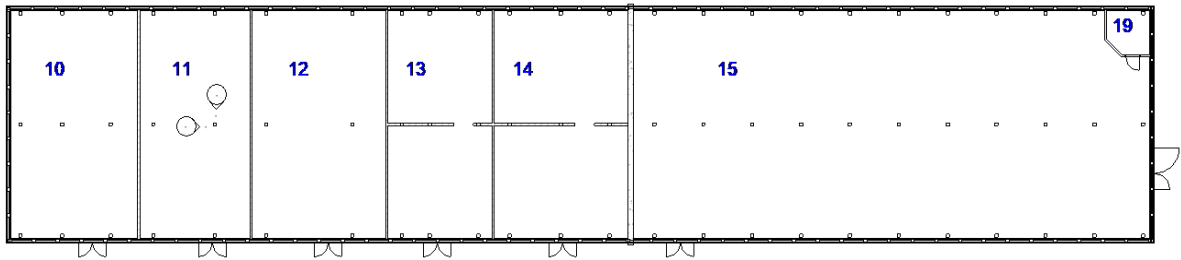
Under vår registrering av bygget var det påbegynt et restaureringsprosjekt i den vestre enden av første etasje. Her var panelet på innerveggen revet av, samt noe av gulvet. Dermed kunne vi anslå hvordan bindingsverket i ytterveggene var bygget opp, samt avstanden mellom gulvbjelkene.



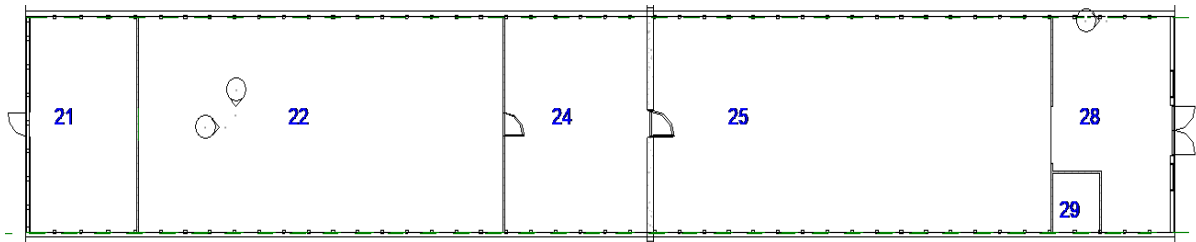
Figur 11 Konstruksjon i 2. etg. Hentet fra Revitmodell

Konstruksjonen i andre etasje består av 45 A-takstoler med dobbel hanebjelke, skjematisk vist i figur 11. Avstanden mellom hver takstol er i gjennomsnitt 110 cm. Det er også bygget hyller for oppbevaring under den nederste hanebjelken i to nivåer. Samt at det er laget hyller langs sidestolpene.

I dag brukes bygningen av NTNU. Bygningens første etasje består av seks ulike rom, se plantegninger på neste side. Rom nummer 10 og 11 er helt vest i bygget, og det er her de har påbegynt restaureringen. Rom 12, 13 og 14 er i dag brukt som lager for NTNU. Rom 15 er et verksted for de som studerer bachelor i tradisjonelt håndverk. Rom 19 er et lite kontor. Bygningens andre etasje består av fem rom, som alle brukes til lager. Ankomsten til andre etasjen er via en låvebro inn til rom 21 på vestsiden av bygget. Romnumrene er hentet fra eksisterende dokumentasjon.



Figur 12 Plantegning 1.etg



Figur 13 Plantegning 2.etg



Midt i bygningen finnes det en brannmur som er bygget opp av teglstein, med murpuss. Denne går vertikalt gjennom hele bygget og 30 cm ut fra vegger og tak. Se figur 7, flyfoto av bygget.

Figur 14 Brannmuren sett fra innsiden i 2.etg.
Foto: privat

3.2 Bygningens historie



Figur 15 Magasinbygget. Foto: Arne Rønning Opphavsrett: NTNU (Regjeringen, 2010)

Magasinbygget er et fredet bygg. Ifølge Trondheim byleksikon står det at magasinbygget ble oppført i 1826 med bindingsverk, med saltak med fasettskifer (Bratberg, 1996). Magasinbygget ble benyttet av artilleriregimet nr. 3 frem til 1995, og NTNU overtok bygget i 1997. Bygget har vært administrativt fredet siden 1934, og har en verneklasseverdi 1. Bygget er registrert i fortidsminners årbok i 1933 og 1934. I forskriften om fredning av statens kulturhistoriske eiendommer, kapittel 9, vedlegg 12, står det hva formålet med fredningen er:

Formålet med fredning er å sikre bygningen som har nasjonal kulturhistorisk verdi som forsvarshistorisk magasinbygning. Formålet med fredningen er videre å sikre hovedstrukturen i det arkitektoniske uttrykket og detaljeringen så som fasadeløsning, opprinnelige og eldre deler som dører og vinduer, samt materialbruk og overflater. (Forskrift om kulturhistoriske eiendommer, 2011)

I dokumentet kompleks 9900495 Kalvskinnet fra NTNU sies det også at fredningen er viktig selv om bygningen- og brukshistorien ikke fullt ut er kartlagt. (Regjeringen, 2010)

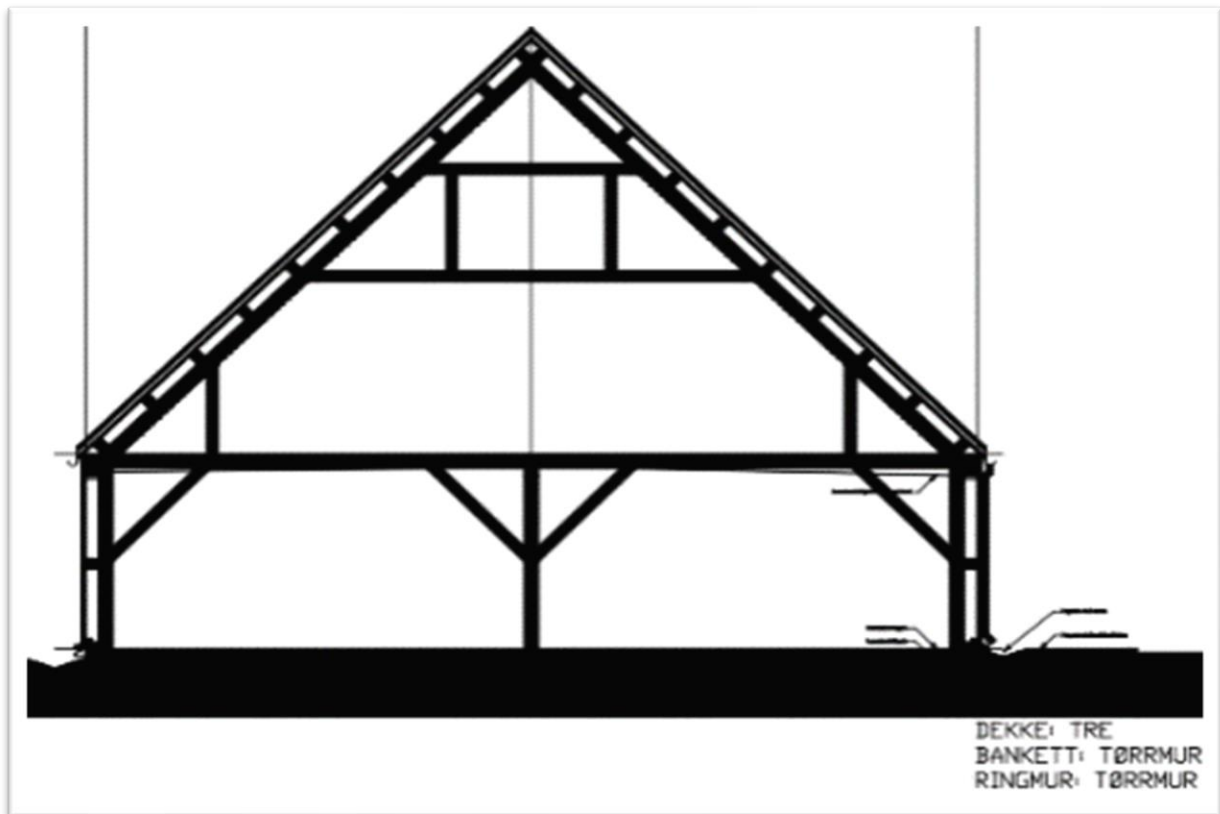
I 2019 ble rom 15 i byggets første etasje restaurert for å kunne bli brukt som verksted for bachelorstudiet, tradisjonshåndverk. Da ble det lagt nytt gulv, satt inn nye vinduer og nye dører innenfor de originale, og satt inn ny belysning. Arbeidet ble utført av Prosjektutvikling Midt-Norge AS. Resterende deler av bygget blir i dag brukt som lager for ulike fagområder på NTNU. (Lusparken, 2019)

4 Metode

4.1 Valg av metode

For å hente informasjon til oppgaven har vi gjort forberedende søk og informasjonshenting på nett, samt registrering og oppmåling på stedet.

Vi innhentet plantegninger av bygget fra NTNU Eiendom. Dette var enkle skisser, men vi fikk et inntrykk av hvordan bygningen var oppbygd.



Figur 16 Skisse Magasinbygget. Opphavsrett: NTNU Eiendom

Det ble gjort søk hos byantikvaren og fortidsminneforeningen for å få informasjon om bygget og hvorfor det var fredet. Det ble også gjort litteraturstudie på andre prosjekter hvor de har brukt laserskanning for å produsere BIM av historiske bygninger.

For å kunne lage en kunnskapsbase om hvordan de ulike programvarene kan brukes har blant annet instruksjonsvideoer på YouTube, som *Balkan Architect* (Architect), blitt studert. I tillegg har det også blitt tatt kontakt med bekjente som har kunnskap om de ulike programvarene.

4.2 Registrering og oppmåling

Det ble gjennomført en tur til Trondheim i februar 2021 for å registrere og måle opp Magasinbygget.

Under oppmålingen valgte vi å gjøre målinger på to forskjellige måter, manuelle oppmålinger og 3D-skanning. Manuelle oppmålinger ble brukt fordi ikke alle rom ble skannet, samt at vi får håndfaste resultater med en gang fra de manuelle målingene. Ved skanning treng filene litt tid på å bearbeides før en kan starte å modellere etter punktskyen. De manuelle målingene ble kvalitetssikret opp mot punktskyene i de rommene som ble skannet.

4.2.1 Manuelle målinger

Ved de manuelle målingene ble det brukt lasermåler og tommestokk. Alle resultatene fra oppmålingene ble lagret i notater på Excel eller i notatbok. Lasermåleren ble brukt for avstandsmål, mens tommestokken ble brukt for å måle enkeltkomponenter. Når det gjelder valg av måleverktøy er det viktig å vurdere hvilke verktøy som tilfredsstiller nøyaktigheten som dette prosjektet krever. Lasermåleren som ble brukt under dette prosjektet er av merket Bosch GLM 80. Denne er oppgitt til å ha en rekkevidde på 80 meter og en nøyaktighet på +/- 1,5 millimeter. Ifølge en produkttest gjort av Dinside er de største avvikene når det kommer til nøyaktighet knyttet til menneskelige faktorer. Som at man slurver med å holde måleren stødig når man skal måle (Blix, 2016). For å minske risikoen for feilmålinger med lasermåleren, målte vi begge, identiske avstander for å sammenligne måleresultatet.

Bæresystemet i første etasje består av rammer som holder bjelkelaget i andre etasje, der ingen bjelker eller søyler er helt like, alt er høvlet for hånd. Disse rammene er gjentakende gjennom hele etasjen. I andre etasje er det gjentakende A-takstoler som bærer taket. Av den grunn bestemte vi oss for å ta flere mål av de ulike elementene i bæresystemet, for så å modellere etter et gjennomsnittsmål av disse. Gjennom utregninger fant vi en differanse på omtrent 1%

mellom gjennomsnittet og realiteten, dette vurderes som tilstrekkelig presist med tanke på uthenting av materialmengde. Dette er forklart nærmere i kapittel 4.5.1.



Figur 17 Midtsøyle, rom. 15. Foto: Privat

Måling av konstruksjonsdeler:						
Søyle midt i rommet (Mål i cm)			hl1	l1	h	L
x	y	h				
17,5	17,5	232,5	119	129	170,5	64
17	16		118	121,5	168	59
18	18		116	124	169	62
17	17,5		118	125	169	61
17	17,5		118	125,5	168,5	62
17	16,5		118,5	126,5	167	58
17	18		115	127	171,5	60
18,5	17		118	125	168	60,86
17,43	17,21		117,56	125	168,9375	
				125,39		

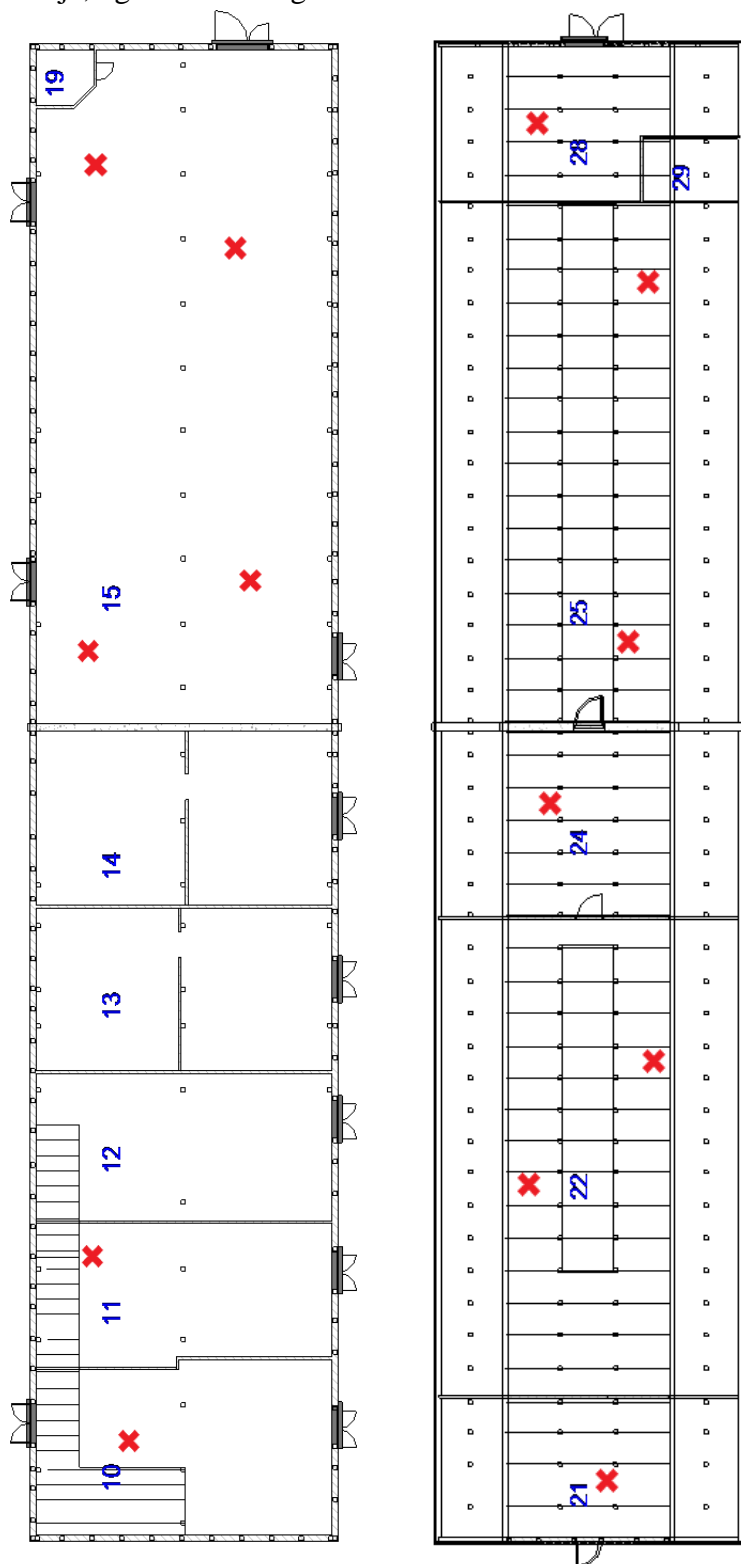
Figur 18 Manuelle målinger. Skjermklipp fra Excel

Det ble tatt 8-12 målinger for de ulike elementene i konstruksjonen i romnummer 15, samt avstandsmål mellom søylene og bjelkene.

På figur 17 på forrige side, ser man en av midtsøylene med avstivere som står i verkstedet, totalt elleve midtsøylere i dette rommet. Det ble tatt et x- og y-mål av hver enkelt del, samt forskjellige lengdemål som man kan se på figuren og skjermklippet fra Excel, fra figur 18.

4.2.2 Skanninger og plassering av referansekuler

Den neste målemetoden var skanning, ved hjelp av FARO Focus 3D skanner. Det ble totalt gjort 17 skanninger av bygningen. Seks skanninger i første etasje, syv skanninger i andre etasje, og fire skanninger av fasaden ute.



Figur 19 Plantegninger fra 1. etg og 2. etg med lokasjon av skanner, markert med kryss.

I første etasje ble det gjennomført fire skanninger i rom 15 sammen med bi-veileder Pasi Aalto, som hadde god kjennskap til prosessen. Deretter gjennomførte vi to skanninger i rom 10 og 11. Vi valgte å ikke skanne rom 12, 13 og 14 i denne etasjen, da konstruksjonene var mye gjentakende fra rom 15, samt at det ville vært vanskelig å få gode skanninger her, fordi det var mye rot. Disse rommene ble dokumentert ved manuelle oppmålinger og bilder av uregelmessigheter. Grunnen til at vi valgte å skanne rom 10 og 11, var på grunn av at her var noe av veggpanelet på innsiden og gulvet revet. Vi fikk dermed et innblikk i hvordan bæresystemet så ut inne i veggene, se figur 20 nedenfor. Vi tok utgangspunkt fra disse skanningene for å modellere bindingsverket i veggene i bygget, samt bærebjelken under gulvet.



Figur 20 Bilder fra rom 10 og 11 hvor innerpanelet og noe av gulvet er revet. Foto: privat

I andre etasje ble det gjort syv skanninger for å dekke hele etasjen. Her var det nødvendig med mer planlegging av hvor skanneren skulle plasseres, for å få skanningene til å overlappe hverandre.



Figur 21 Fra skanneposisjon 4 i 2. etasje. Skjermklipp fra SCENE

For å kunne sette sammen skanningene til en punktsky, var det viktig å få tilfredsstillende resultater fra de ulike skanningene. Dette ble gjort ved hjelp av referansekulere som settes opp ulike steder i rommet. Plasseringen av disse må planlegges, da det er viktig å få med minst tre like referansekulere fra et skann til det neste skannet, samt at det ikke må flyttes på kuler som kan sees i begge skanningene til en ny plass. Om referansekulene er flyttet på vil programmet SCENE bli forvirret, og det vil skape problemer ved sammensetting av skanninger til en punktsky.



Figur 22 Fra skanneposisjon 3 i rom 15, referansekulene markert med rød sirkel. Skjermklipp fra SCENE

På utsiden ble det foretatt fire skanninger, ett skann på hver fasadeside. Her ble det valgt å ikke bruke referansekuler, da disse skanningene kun er ment for kontrollmål av fasaden, og dokumentasjon av bygningen.

4.3 Prosessering av skanninger

For å sette sammen skanningene til en punktsky, ble programmet SCENE brukt. Det ble laget punktsky for rom 15 og for hele andre etasje. Disse ble satt sammen ved hjelp av metoden, *målbasert registrering*. Denne metoden går ut på å sette sammen skanninger ved hjelp av lett gjenkjennelige objekter der skanningene overlapper hverandre. Her ble referansekulene brukt for gjenkjenning og sammensetting av skanningene.

Videre ble punktskyen kontrollert for å visualisere at skanningene lå riktig i forhold til hverandre og på samme nivå. Deretter ble ferdig prosessert punktsky importert inn i programmet ReCap. Her ble punkter som lå utenfor selve bygget klippet bort, før ferdig punktskyfil, .rcp, ble importert inn i Revitprosjektet.

4.4 Modellering

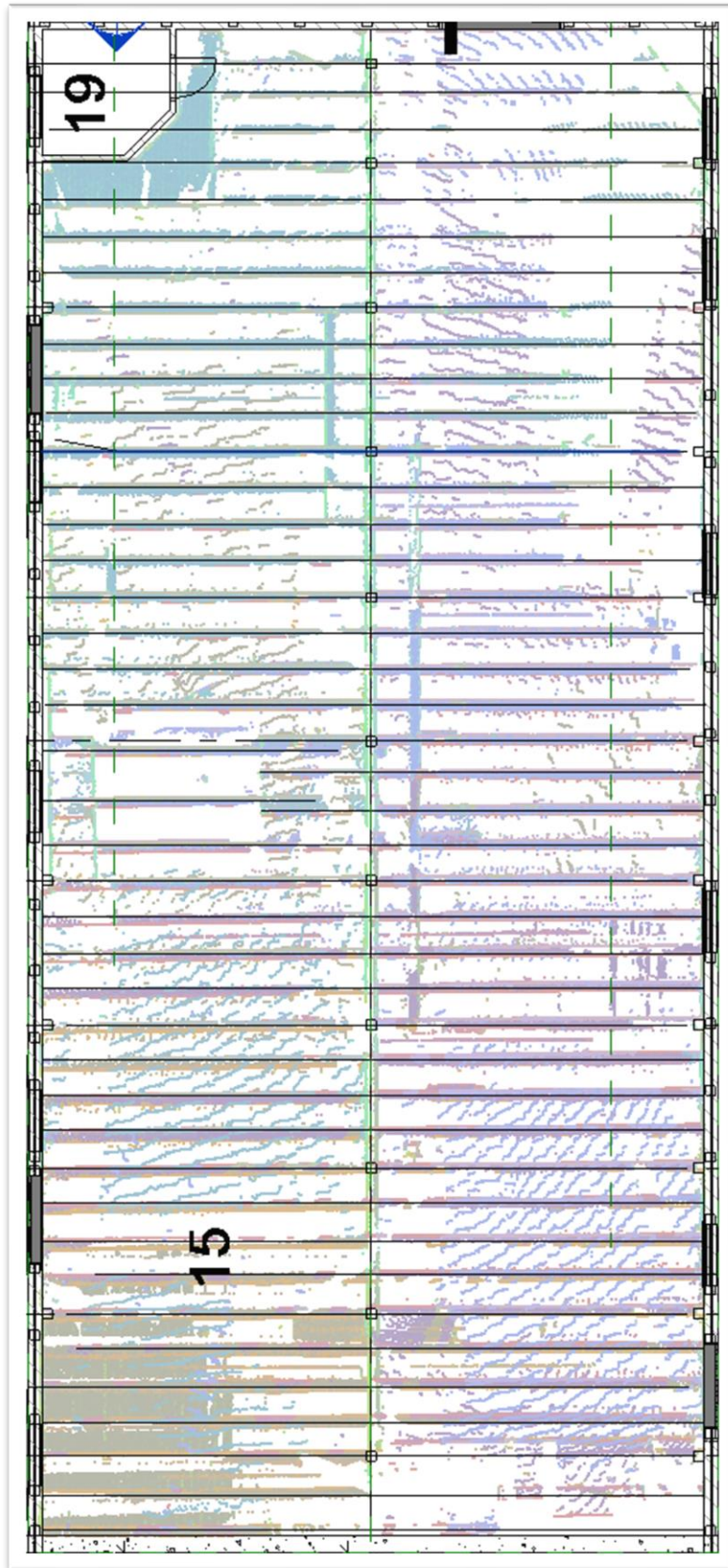
Bygningen ble modellert etter punktsky og manuelle målinger der alle uregelmessigheter er registret. Det ble besluttet å starte modelleringen mens vi var i Trondheim, da det var enklere å oppdage eventuelle mål som manglet underveis.

Det første vi startet med var å kartlegge dimensjonene på alle konstruksjonsdelene i bygget. Dette ble gjort ut i ifra de manuelle oppmålingene, se vedlegg 9.1 og 9.2 for liste over konstruksjonsdeler. Vi forenklet modelleringsprosessen noe, siden alle konstruksjonsdeler er høvlet for hånd og målene på samme type konstruksjonsdel kan variere med inntil 3 cm. Det ble derfor tatt et gjennomsnittsmål fra hver enkelt konstruksjonsdel som ble modellert inn i Revit.

Deretter importerte vi inn enkle plantegninger av bygget fra NTNU Eiendom. Dette er tegninger som viser omrisset av bygget, samt rominndeling. Disse tegningen stemte godt overens med de manuelle målingene og skanningen.

Så ble de ferdige punkttsky-filene fra verkstedet og hele andre etasje importert inn i Revitprosjektet. Her er det viktig å rotere og flytte på punkttskyen slik at den ligger riktig i forhold til plantegningen.

Etter å ha kontrollert at de to punkttskyene ligger riktig, ble modelleringen av hovedkonstruksjonen i verkstedet etter punkttskyen startet. Først ble alle søyler i rommet plassert riktig i forhold til punkttskyen. Deretter ble drageren som hviler på toppen av søylene midt i rommet modellert. Denne går langs hele rommet. Til slutt ble bærebjelkene mellom første og andre etasje plassert på riktig sted. På figuren nedenfor vises plantegning med punkttsky fra rom 15, med plassering av søyler og bærebjelker ut ifra denne.



Figur 23: Plantegning fra rom 15, modellering ut i fra punktsky.
Hentet fra Revit

Etter å ha modellert inn søyler og bjelker på riktig plass, ble avstiverne mellom søyle og bærebjelker lagt inn. Ut ifra gjennomsnittet av de manuelle målingene var det noen centimeter forskjell på hvor høyt disse var plassert på søylene i forhold til punktskya. Derfor ble avstiverne modellert etter punktskyen, da dette var mer korrekt.



Figur 24 Tverrsnitt rom 15, plassering av avstivere. Hentet fra Revit, med punktsky



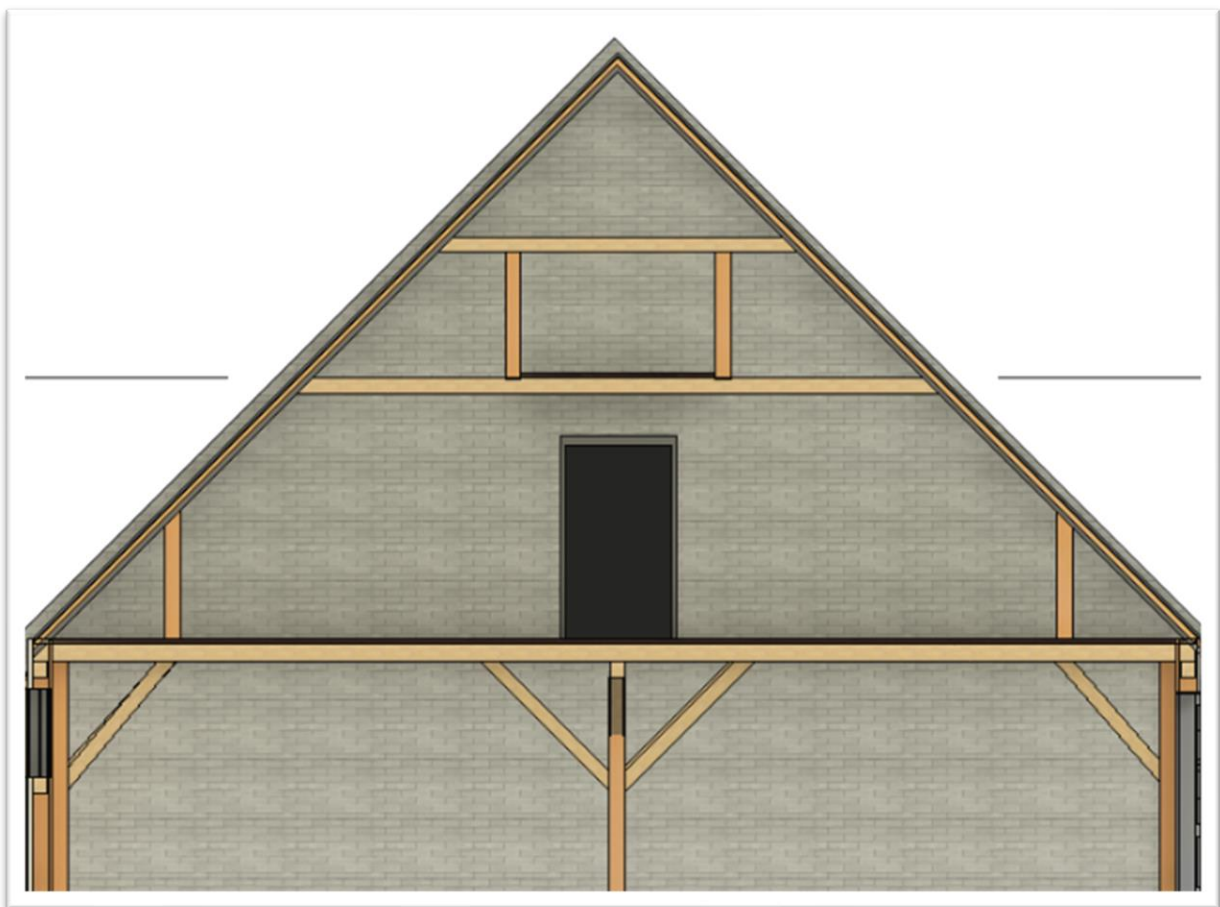
Figur 25 Lengdesnitt rom 15, plassering av avstivere. Hentet fra Revit, med punktsky

I resten av første etasje ble det modellert etter de manuelle målingene. Bindingsverket i ytterveggene ble modellert etter skanningene helt vest i bygget, som forklart tidligere i oppgaven. Her ble alle stendere, losholter, samt topp- og bunnsvill lagt inn manuelt, en etter en. Senteravstanden mellom stenderne ble ca. 1 meter, med unntak av mellom dører og vinduer. Vinduene og dørene ble plassert etter de manuelle målingene.

Modelleringen av vinduer og dører ble gjort ved å lage en *Revit Family*. Her måtte tykkelsen på veggen avgjøres før modelleringen, så de passet modellen. Så ble alle elementene modellert etter de manuelle målingene, og kontrollmål fra skanningen av fasaden.

I andre etasje ble hele etasjen skannet. Prosedyren her er mye lik det som ble gjort i verkstedet. Konstruksjonen i denne etasjen, er beskrevet i kapittel 3.1 *Bygningens utforming og kvalitet*. Det ble valgt å modellere hele bæresystemet i etasjen som en gruppe, se figur 26, da dette var gjentakende i hele etasjen. Deretter ble gruppen med disse konstruksjonsdelene plassert ut ifra punktskyen.

Taket ble modellert ut ifra punktskyen, med skiferheller på 20 mm, samt undertak og lekter.



Figur 26 Bæresystem med brannmur i bakgrunn. Hentet fra Revit

4.5 Beregning av materialmengder

Når bygget var ferdig modellert, ble det hentet ut materialmengder fra modellen i Revit, sortert etter ulike materialtyper. Deretter ble dette eksportert inn i Excel. Her ble de ulike bygningsdelene sortert ut ifra den informasjonen som var ønsket å få ut. Vi valgte å ta ut volum og areal, dette gir et godt bilde av hva som er i bygget. Det var ett ønske om å finne ut hvor mange kilogram hver materialtype utgjorde. For å finne dette, multipliseres mengden materiale med egenvekten til materialet. De antatte egenvektene er hentet fra *Byggforskserien 471.031 Egenlaster for bygningsmaterialer, byggevarer og bygningsdeler (Byggforsk., 2013)*, se tabellen nedenfor. Det ble gjort en antagelse om hvordan bindingsverket i ytterveggene var bygd opp med bakgrunn av innerveggen helt vest i første etasje. Det ble også gjort et anslag for ringmuren rundt bygget og betongstøpen under tregulvet i romnummer 15.

*Tabell 1
Egenvekter i m³ for materialer*

Materiale	Egenvekt kg/m³
Tre	500
Betong	2 400
Teglstein	2 150
Skifer	2 800
Glass	2 500
Stål	7 700

4.5.1 Bestemmelser av nøyaktighetsgrad i oppmåling og modellering

For å avgjøre nøyaktigheten under oppmålingene valgte vi å ta flere mål av ulike elementer som hadde omtrentlig samme størrelse. Vi fant da ut at forskjellene var på noen cm. I første etasje var f.eks. midtsøylen gjentakende i hele bygget. Vi tok sju målinger av de elleve som var i rom 15. I tabellen under viser vi til hvor stor differanse vi fikk mellom eksakte målinger og utregnet gjennomsnitt, for søylen midt i rommet. Dette ble gjort på alle elementer, og det viser seg at i noen tilfeller gir gjennomsnittsmålet større mengder enn eksakte målinger, mens i andre tilfeller, mindre. For noen elementer ble differansen målt til å være under 1% og andre var over, samlet sett lå det på rundt 1% differanse.

Tabell 2
Utregninger av differansen på midtsøylen

Søyle midt i rommet (Mål i cm)			
x	y	h	Volum
17,5	17,5	232,5	71203,1 cm ³
17	16	232,5	63240,0 cm ³
18	18	232,5	75330,0 cm ³
17	17,5	232,5	69168,8 cm ³
17	16,5	232,5	65216,3 cm ³
17	18	232,5	71145,0 cm ³
18,5	17	232,5	73121,3 cm ³
17,4	17,2	232,5	69582,6 cm³

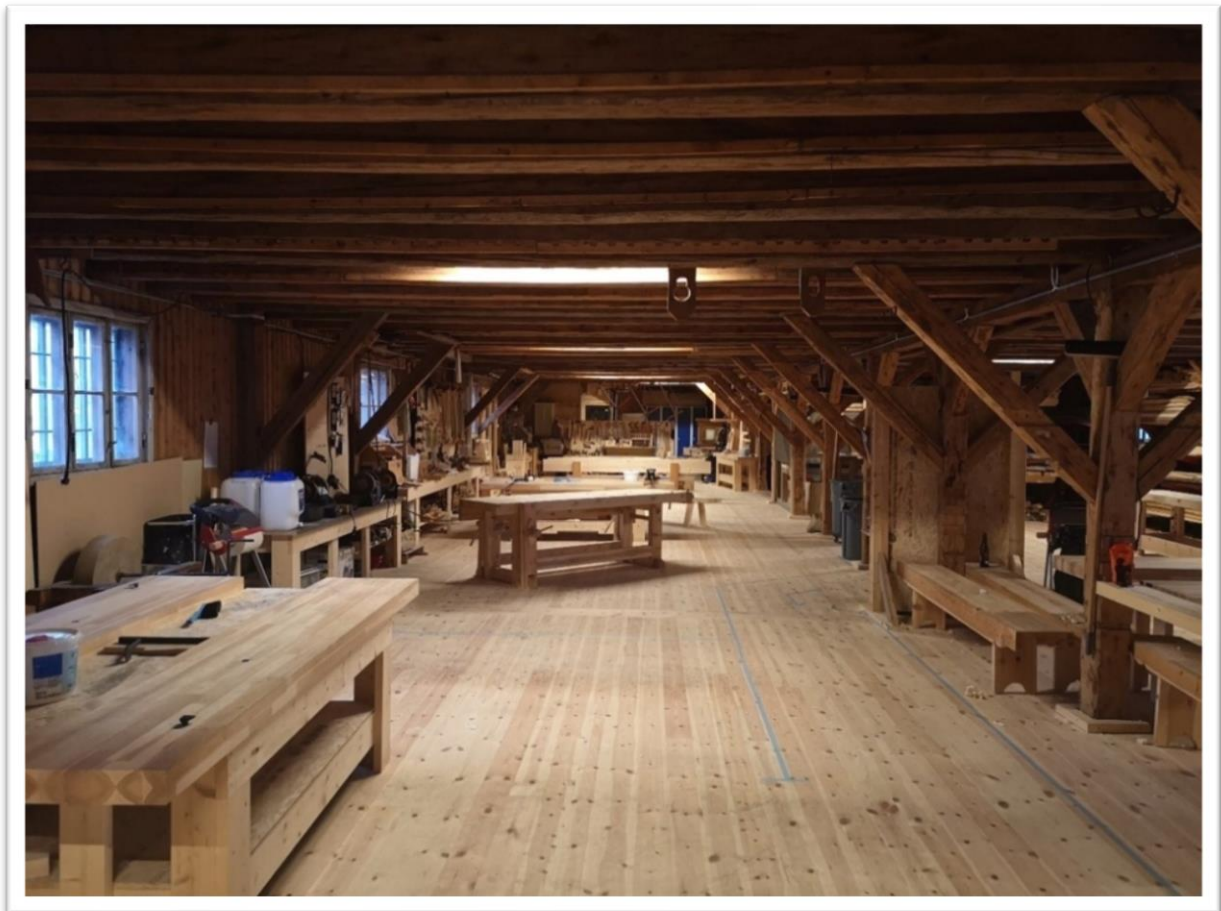
Realitet sum volum	488424,4 cm ³
gjennomsnitt volum*7	487078,2 cm ³
differanse	1346,2 cm ³
differansen i m ³	0,0013 m ³
differansen i kg	0,67 kg
differansen i %	0,3 %

5 Gjennomføring og resultater

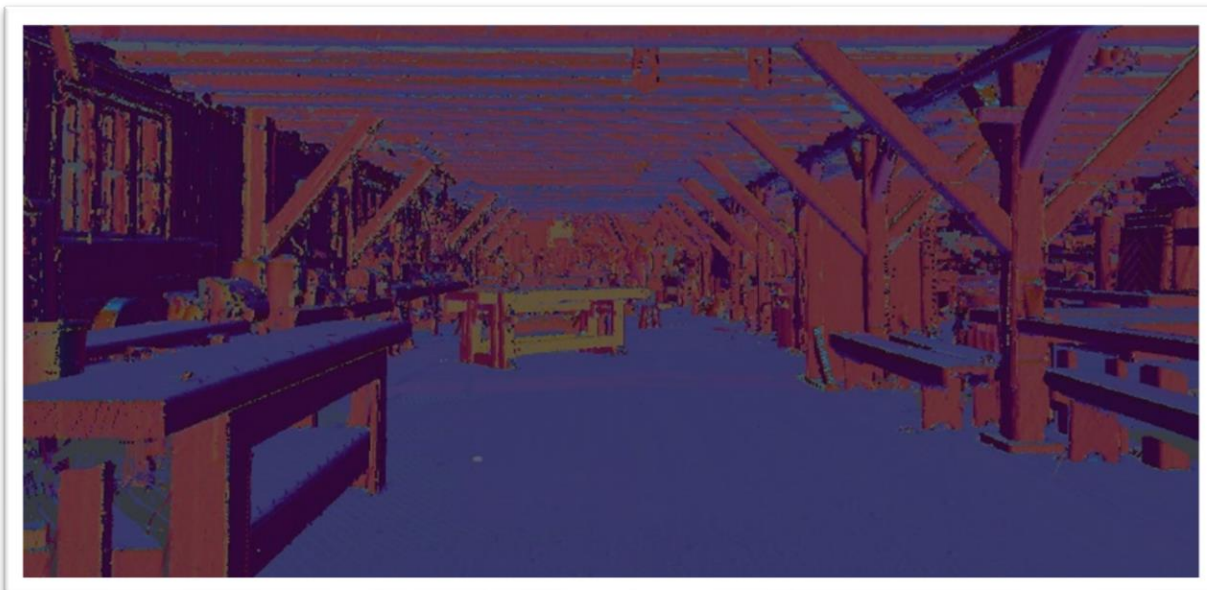
5.1 Fra oppmåling til ferdig modellert bygg

Her vil prosessen om hvordan man kan finne materialmengde av et eldre trebygg ved hjelp av laserskanning og modellering av en BIM, bli presentert her. Dette vil være metoden vi presenterer for videre bruk.

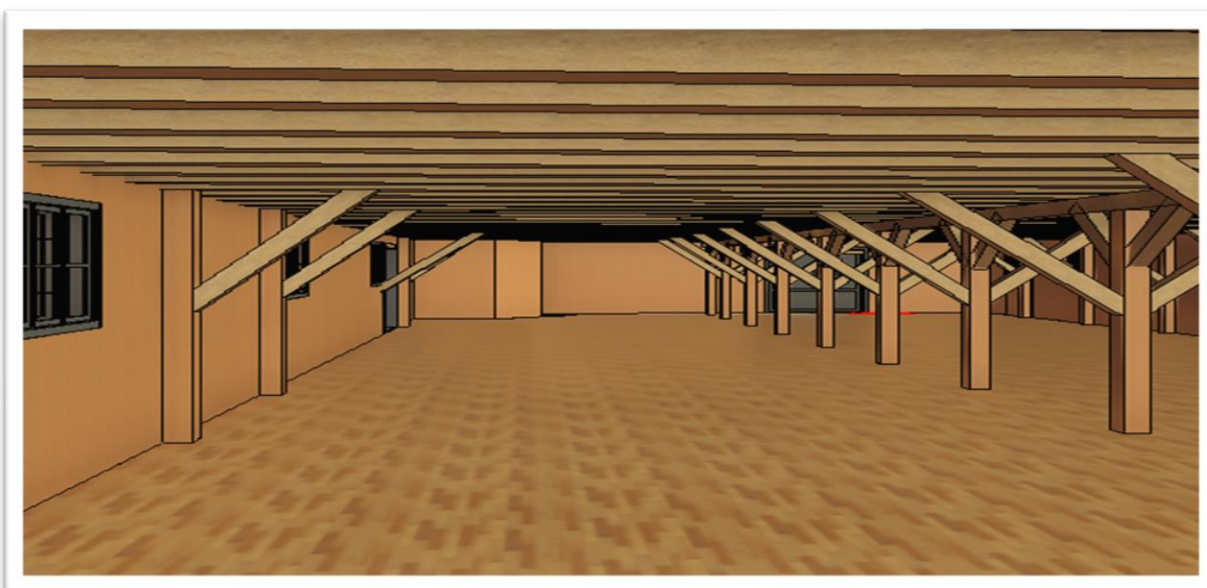
Kompleksiteten i prosessen fra informasjonsinnhenting til ferdig modellert bygg er avhengig av hvor nøyaktig man trenger å gå til verks. I dette kapitlet blir metoden presenter i ulike punkter som skal være lett å følge. Nøyaktighetsgraden som beskrives her er rettet mot nødvendig informasjon for beregning av materialmengder. Figurene under viser prosessen fra bilde, til punktsky, og til ferdig modell i Revit.



Figur 27 Foto, oversiktsbilde verksted. Foto: Privat



Figur 28 Punktsky, oversiktsbilde verksted. Skjermklipp fra ReCap



Figur 29 Modell, oversiktsbilde verksted. Skjermklipp fra Revit

5.1.1 Manuelle oppmålinger

Ved gjennomføring av manuelle oppmålinger til denne type formål har vi erfart noen strategiske, metodiske momenter som er som er viktige å huske på.

1. Ta flere mål enn du tenker er nødvendig, og dokumenter alt du måler opp med bilder. Det kan og være nyttig å lage skisser av hva man måler opp, for å strukturere målingene.

2. Gjennomfør alltid kontrollmål. Målingene kan fort bli feil, og en enkel måling kan skape usikkerhet.
3. Start med å måle opp de store elementene, så videre ned mot detaljer.
4. Noter alt, enten i Excel og/eller notatbok.
5. Begynn modelleringen gjerne samtidig, eller rett etter oppmålingene, for å se om man har de nødvendige målingene. Man har som oftest glemt noen mål man ikke ser før man begynner å modellere.
6. For å avgjøre nøyaktighetsgraden bør minst fire elementer måles opp, gjerne flere. Er det store forskjeller i målingene, bør det tas flere målinger. Regn ut summen av målingene, og finn differansen til gjennomsnittet. Dette vil si noe om hvilken differanse som er akseptert. I store bygg bør prosenten være lav, mens i mindre bygg kan det aksepteres høyere prosent differanse.



Figur 30 Gjennomføring av manuell målinger, t.v. krype inn i ett hjørne, midten klatre opp på hanebjelkene, t.h. enklere mål av vindu. Foto: Privat

5.1.2 Skanninger og punktsky

Her viser vi til en stegvis gjennomføring av behandling av skanninger som vi erfarte at fungerte.

1. Sett ut 3-5 referansekuler for hver skanning, slik at 3D-skanneren skal ha noe å referere ut ifra og det skal bli mulig å sette sammen skanningene til en punktsky.
2. Deretter prosesser datasettene i SCENE. Her går punktskyene gjennom en automatisk støyreduksjon/rensing. Videre blir skanningene satt sammen ved hjelp av punktsky- til punktsky-registrering.
3. Sett så sammen skanningene ved hjelp av målbasert registrering. Det vil si at man registrerer det samme objektet på de skanningene der de overlapper hverandre. Her blir referansekulene brukt for registrering, da disse er lett gjenkjennelige objekter. Man kan også bruke andre gjenstander som overlapper hverandre på to skanninger.
4. Til slutt står du igjen med en samlet punktsky. Det finnes flere valg av eksporteringsformater, men vi har valgt E57-formatet på grunnlag av at de fleste programvarer støtter denne filtypen.
5. Siden Revit 2021 kun støtter filformater som rcs.- og rcp.-formater, må punktskyene fra SCENE behandles i Autodesk ReCap. Etter behandlingen er E57-filen nå eksportert til en rcp.-fil som kan eksporteres inn Revit. I Autodesk ReCap blir punkter som ligger utenfor selve bygget klippet bort, slik at man kun står igjen med punktsky som gjelder for selve bygget.

5.1.3 Modelleringer i Revit

For å modellere er man avhengig av å ha all informasjon på plass.

1. Kartlegg dimensjonene på alle elementer i bygningen.
2. Importer eventuelle plantegninger, og bruk dette som utgangspunkt hvis disse stemmer godt overens med realiteten. Eventuelt modeller kun etter egne målinger.
3. Importer punktskyen, og plasser den korrekt, i forhold til de eventuelle plantegningene.
4. Modeller hovedkonstruksjonen etter punktskyen.
5. Modeller resterende elementer etter punktskyen eller de manuelle målingene.
6. Husk å registrere alle elementer med korrekt materiale, dette er avgjørende for beregning av materialmengden til slutt.

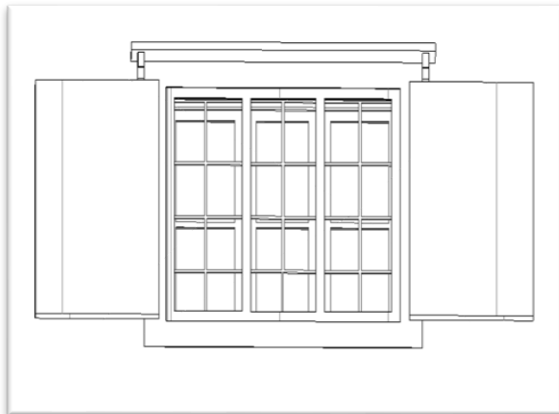


Figur 31 Modell av bygningen, sett fra nordøst. Hentet fra Revit

Her beskrives en metode for å lage detaljer som dører og vinduer i Revit.

1. Åpne Revit Family tempeleten *Metric Door* og *Metric Window*. Disse skal være modeller av en vegg med et tomt hull til en dør eller vindu. Her kan man modellere alle elementene som finnes i dører og vinduer.

2. Avgjør tykkelsen på veggen, slik at ferdig modellert dør eller vindu passer inn i veggen av modellert bygning.
3. Modeller alle nødvendige detaljer. Her bestemmes nøyaktighetsgraden av hvor stor sjansje det er for disse elementene å bli brukt om igjen.
4. Pass på å få inn riktige materialer, da dette har noe å si for utregnet materialmengde til slutt.



Figur 32 Modell av vindu. Hentet fra Revit



Figur 33 Bilde av vindu. Foto: privat

5.1.4 Uthenting av materialmengder

1. Ut ifra funksjoner i Revit kan man hente ut materialmengder fra modellen. Her kan man velge hvilke mengder man ønsker å hente ut etter hvilke interesser man har.
2. Sorter informasjonen etter hensikt, f.eks. prosentandel av materialer eller vekt av bygningsdeler, eller det som er nyttig å vite.
3. Disse mengdene kan omgjøres til vekt om man ønsker å finne ut hvor mye masse det er i bygningen.
4. Til eventuelt gjenbruk av materialer vil det være en fordel å sortere de ulike bygningsdelene hver for seg. På denne måte vil man få oversikt over hvilke mengder man har av ulike elementer.

5.2 Resultater av punktsky og modellering

Gjennom modellering i Revit framstilles en 3D-modell som kan betraktes fra alle vinkler, innvendig og utvendig. Ulike materialer og bygningsdeler kan flyttes eller fjernes for å betrakte detaljer. Dette gir svært god oversikt over bygningens ulike materialtyper og konstruksjoner, og gir grunnlag for både beregning av materialmengder og vurdering/planlegging av ulike gjenbruksalternativer.



Figur 34 Modell av bygningen, sett fra sørøst. Hentet fra Revit

Alle figurer som er hentet fra Revit, er ett resultat av modellen som ble laget ut ifra oppmålingene og punktskyene.

5.3 Materialmengder

Det er hentet ut materialmengder fra modellen. Dette kan gi et grunnlag for å anslå materialmengden i lignende bygg fra samme tidsperiode. Dette er et trebygg, som resulterer i at mesteparten av areal og volum er tre. Bindingsverket i bygget er som beskrevet tidligere, modellert etter antagelsen av det vi så i rom 10 og 11. I rom 15, hvor Tradisjonshåndverk holder til, er det støpt med betong under tregulvet. Det er vanskelig å si noe om tykkelsen på denne støpen, men vi har gjort et anslag og sagt at denne er 12 cm. Det var vanskelig å få eksakte mål av ringmuren rundt bygget, da den er 35 cm i den østre enden av bygget, mens det ikke var noe ringmur vest i bygget. Tabell 1 og 2 viser fordelingen av materialmengdene totalt i hele bygget både i volum og areal. Det er også laget en tabell som viser fordelingen av materialer i hver bygningsdel.

Tabell 3
Oppsummering av materialmengder

Materialer	Volum m ³	Fordeling	Vekt kg	Fordeling	Areal m ²
Tre	293,09	77,59 %	146 544	41,64 %	7215,51
Teglstein	20,70	5,48 %	44 505	12,65 %	69,00
Skifer	20,16	5,34 %	56 448	16,04 %	1007,79
Glass	0,17	0,04 %	415	0,12 %	79,78
Stål	0,17	0,05 %	1 324	0,38 %	15,21
Ringmur, Stein	6,21	1,64 %	13 352	3,79 %	32,15
Betong	37,24	9,86 %	89 366	25,39 %	310,30
Totalt:	377,73		351 954		8729,74

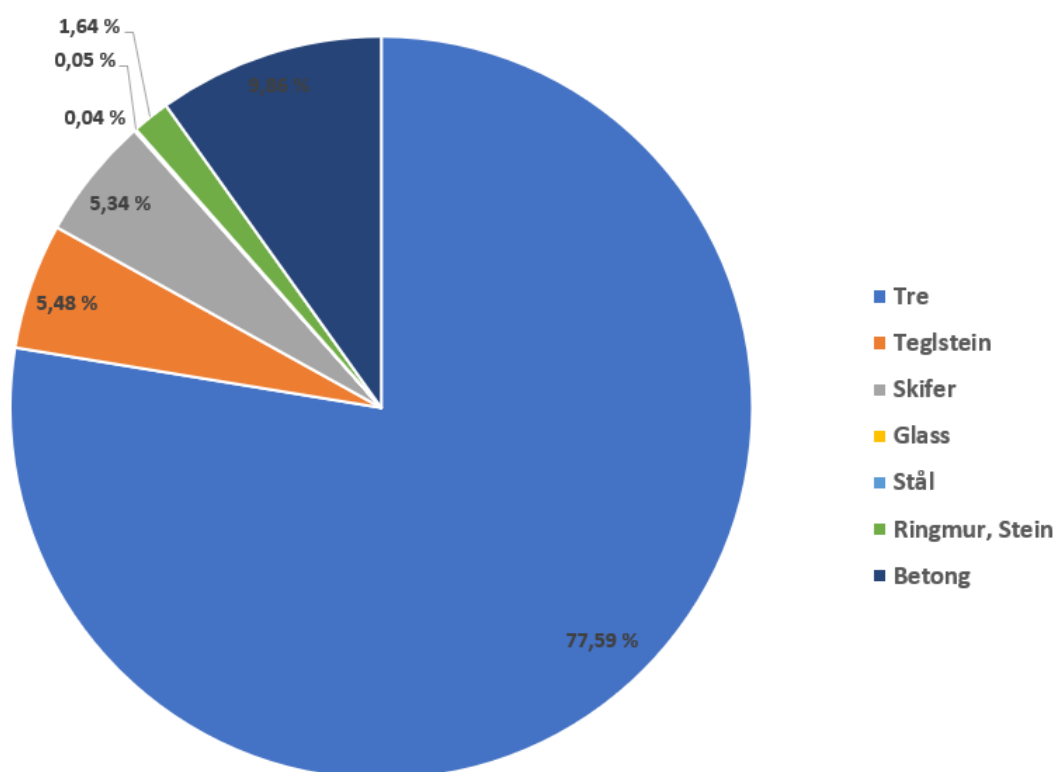
- Som man kan se utgjør tre det største volumet med 77,6 %. Dette stemmer godt overens med at med at hele konstruksjonen og kledningen er i tre. Hvis man sammenligner det med diagrammet målt i kilogram synker det til 46,4 % da tre har lavere egenvekt enn andre materialer i bygget
- 9,7 % av bygget målt i volum er betong, ut ifra anslaget om at tykkelsen på betongen er 12 cm. Betong utgjør betydelig mer om man sammenligner materialmengden målt i kilogram, med 25,4 %.

- Skiferen på taket har vi anslått til å være 20 mm tykk og utgjør da 5,3 % av volumet. Dette kommer av at takflaten er 1008 m².
- Teglstein fra brannmuren utgjør 5,5 % av volumet. Brannmuren går vertikalt gjennom hele bygget og 30 cm over taket. Tykkelsen på muren er 30 cm og utgjør derfor 69 m².
- Glass og stål kommer fra vinduene og døra. Glasset utgjør 80 m², og stålet kommer av gitteret i vinduene og ståldøra i 2. etasje. Dette utgjør ca. 15 m² og 0,05 % av volumet.
- Ringmuren som består av stein som er pusset i etterkant, utgjør 6,2 m³ som er 1,6 % av det totale volumet etter anslaget vi har gjort.

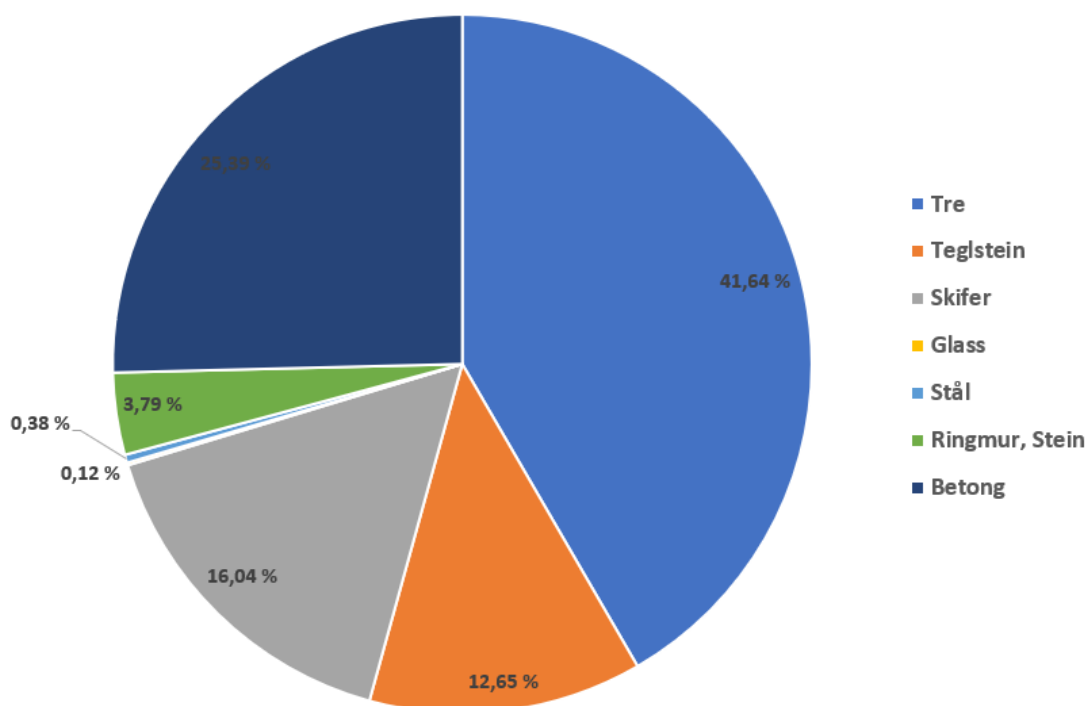
I tabellen under er det vist til hvor mye materialer det er i de forskjellige bygningsdelene. Dette kan være nyttig å vite dersom man ønsker å gjenbruke materialer, da det er forskjell på egenskapene til en vegg i motsetning til ei søyle.

*Tabell 4
Fordeling av trematerialer i bygget*

Fordeling av trematerialer i bygget			
Bygningsdeler	Volum m³	Materiale	Areal m²
Bæresystem 1. etg	55,39	Tre	1323,40
Bindingsverk yttervegg	21,36	Tre	543,06
Bæresystem 2. etg	17,02	Tre	460,92
Gulv	58,4	Tre	1339,92
Vegger	66,7	Tre	1125,57
Tak	50,39	Tre	1007,79
Dør/Vindu	2,402	Tre	369,81
Totalt	271,66	Tre	6170,47



Figur 35 Prosentvis fordeling av byggets materialmengde, målt i volum m^3



Figur 36 Prosentvis fordeling av byggets materialmengde, målt i kg

6 Diskusjon og analyse

I dette kapittelet vil vi diskutere og drøfte metoden som er laget for modellering av bygningen. Vi vil og analysere hvordan informasjonen som er hentet ut kan brukes. Samt se hvilken målgruppe denne metoden kan fungere for.

6.1 Registrering og oppmåling

Før registrering og oppmåling ble det innhentet så mye informasjon om bygget som mulig. På forhånd ble det laget en plan for hva som er viktig, med tanke på registrering og oppmåling. Fra dette prosjektet erfarte vi at dokumentasjon under oppmålingen var viktig. Det å ta mange mål av ulike konstruksjonsdeler for å kunne beregne et representerende gjennomsnitt, som har noe å si for uthenting av en realistisk materialmengde. Det ble også viktig med mye bilder og notater fra hva som fantes i bygget og uregelmessighetene.

Det ble startet å modellere bygningen mens vi holdt på med registrering og oppmåling. Dette bidrar til en bedre oversikt over hvilke mål man trenger og hva som mangler. Siden man fortsatt er i bygget, kunne disse målingene tas. Vi erfarte ved dette prosjektet nytten av 3D-skanningen, da vi i ettertid har sett at det var noen målinger som manglet. Her ble da skanningene brukt for å måle opp dette.

Vi brukte til sammen to og en halv dag på registreringen av bygningen. Vi brukte en dag på å skanne, samt en og en halv dag på manuelle oppmålinger. Siden vi ikke holder til i Trondheim, hadde vi ikke mulighet til å reise tilbake om det var noen målinger vi manglet. Det var derfor avgjørende å finne frem til en metode for komplett registrering.

Grunnen til at det er mer fornuftig å registrere bygningen og gjøre skanninger, mot å modellere bygget ut fra gamle tegninger, er at man da kan få med uregelmessigheter. Hadde en laget en modell der alt var helt «perfekt», der alle stolper hadde vært helt like og plassert helt symmetrisk, ville estimert materialmengde kunne fått betydelige avvik fra realiteten. I gamle bygg finnes det mange uregelmessigheter, som en stolpe som mangles her og en stakk ekstra der, som er nødvendig å få med for at materialmengden skal bli tilsvarende realiteten. I

magasinbygget var det mye som var uregelmessig i rom 10 til 14. Mange steder manglet det avstivere og søyler.

6.2 Punktskybehandling og modellering

Det at vi er to bygningsingeniørstudenter med lite erfaring med bruk av skannere og ulike BIM-programvarer, fikk vi en førstehåndserfaring av alle prosessene, fra oppmåling til bruk av ulike BIM-verktøy. Dette gjenspeiler seg i at det har blitt brukt noe mer tid på å lage denne modellen, enn hva som ville vært tilfelle med erfaring.

Men selv med lite erfaring med modellering etter punktsky tok det ikke mye tid å lære seg hvordan dette gjøres. Så lenge man legger denne inn korrekt etter eventuelle eksisterende plantegninger, var dette en enkel prosess.

Det ble registrert noen terskler i bruk av Revit. For det første opplevde vi noen utfordringer knyttet til samhandling i Revit-filen, og det var vanskelig for oss å endre modellen fra hver vår datamaskin. Dette ble løst ved å laste opp stadig nye modeller i en felles database.

Et annet problem var å få med egne innlagte bilder av materialer når vi gjorde modellen om til en IFC-fil. For å få modellen mer realistisk, måtte det legges inn egne bilder av materialet. Disse kom ikke med når vi skulle gjøre om filen. Dette fant vi ingen løsning på, så her trengs det noe mer informasjon til videre arbeid.

Det er vanskelig å lage helt detaljerte modeller av de forskjellige konstruksjonsdelene, da dimensjonen på de forskjellige konstruksjonsdelene kunne variere i lengderetningen til hver del. Det trengs mer tid å gjøre dette detaljert, noe som ikke er nødvendig. Derfor fant vi ut at det er bedre å finne gjennomsnittsmål, og modellere etter det. Denne metoden skal være overkommelig uten å måtte bruke for mye tid på å lage detaljer, som ikke vil gi mye utslag i materialmengden.

Undervisningsvideoer og annet fagstoff knyttet til Revit, gjorde jobben noe enklere. Vi anslår at hele prosessen kan gjennomføres med høy grad av effektivitet etter 2-3 forsøk. Under modellering av f.eks. vinduer måtte dette gjøres om igjen flere ganger, da noe manglet for å få det korrekt. I starten ble det brukt over en uke på å modellere ett vindu, mens når man hadde forstått hvordan det skulle gjøres, ble det kun brukt en time på samme prosess.

6.2.1 Materialmengden

Materialmengdene som man får ut ifra modellen stemte med et avvik på omtrent 1%. Dette er akseptable avvik med tanke på gjenbruk av bygningsmaterialer. Et større avvik kan være akseptabelt ved materialsirkulering. Det ble gjort et anslag for bindingsverket i ytterveggene etter det vi så helt vest i bygget i første etasje. Likevel kan det være noe usikkerhet knyttet til hvordan bindingsverket er bygd opp i resten av bygningen.

Det ble også gjort et anslag for ringmuren til bygget, på grunn av vanskeligheter ved måling av ringmuren. Vi tok et mål fra den høyeste enden. I den andre enden var ringmuren nesten borte. Derfor valgte vi å beregne materialmengden som at muren skulle vært en rettvinklet trekant, som visualisert på figuren under. Med høyden 0 cm helt vest i bygget og 35 cm helt øst i bygget. Om dette ville vise den korrekte mengden av ringmur er dog noe usikkert.



Figur 37 Anslag for utregning av materialmengde av ringmur

Sett i et praktisk perspektiv med tanke på gjenbruk, vil det kanskje være mer fornuftig å finne den minste dimensjonen og den korteste lengden ved mange gjentakende bygningselementer, heller enn å finne gjennomsnittsmål som vi har gjort i vår metode. Ved å finne den minste dimensjonen kan man beregne bæreevne og dimensjonere ut ifra det.

6.2.2 Nøyaktighetsgrad

Bestemmelse av nøyaktighetsgrad er noe som har blitt nevnt flere ganger i oppgaven. Grunnen til at dette er viktig er fordi dette er noe som spiller inn på materialmengden. Dessuten krever det mer tid, jo mer nøyaktig man er.

Ett av premissene for hvor nøyaktig man bør være, er størrelsen på bygningen. Desto større bygningen er, jo mer nøyaktig bør man være. Mengden av uregelmessigheter vil være større i store bygg, noe som igjen vil gi større feil i materialmengden. Magasinbygget er et relativt stort bygg. Her ble det likevel valgt å finne gjennomsnittsmål av de gjentakende elementene. Utreignet differanse mellom gjennomsnittsmålinger og eksakte målinger er på rundt 1%. Ut ifra dette, betyr det at fra det totale volumet på $377,77 \text{ m}^3$, er $3,77 \text{ m}^3$ feil. Dette er grunnen til at man vil ha så lite avvik som mulig i store bygg.

Ett annet premiss er også å anslå hvor mye av materialet i bygningen som er mulig å gjenbruke, hvor mye som kan resirkuleres eller deponeres. Har man få elementer som kan gjenbrukes, trenger ikke nøyaktighetsgraden under modelleringen å være så stor. Er det derimot mye som kan gjenbrukes, må dette ses ut ifra bruksverdien.

For å bestemme grenseverdien på detaljene, må man se på bygningen i sin helhet. Hva er mulig å bruke om igjen og hva kan standardiseres. I Magasinbygget var fortsatt vinduer og en stor del av dørene godt intakt, og kunne vært mulig å bruke om i sin helhet. Det ble besluttet å modellere dem såpass nøye at man kan få ett inntrykk av hvordan de ser ut. Mens målet ved modellering av søyler, bærebjelker og dragere var å finne mengden, og ikke hvordan disse ville sett ut i detalj ved ombruk.

6.3 Hva kan denne metoden brukes til

Tanken er at denne metoden skal brukes for å få en oversikt over hvor mye og hvilke materialer som finnes i ett bygg. Selv om Magasinbygget er vernet, finnes det lignende bygg som ikke er vernet, der man kan gjenbruke bygningsdeler.

Med tanke på å gjenbruke materialer som er i bygget, er det vist i rapporten gjort for DiBK av Resirqel at søyler, bærebjelker, dragere og lignende av tre er godt mulig å bruke om igjen. (Kilvær *et al.*, 2019a). Siden mye av materialene i Magasinbygget består av nettopp dette, vil vi tenke at det er ønskelig å finne en metode for å anslå hvor mye materialer man har tilgjengelig i bygget. Det er brukt lite med spiker, bolter og skruer, så det skal være enkelt å ombruke. Magasinbygget er jo som nevnt fredet, og man kan ikke bruke dette treverket her til noe annet, men denne metoden er tenkt for andre lignende bygg av tre fra samme tidsperiode uten verneverdi. Man vil tenke at bygg fra denne tidsperioden er bygget på noe lignende måter.

Dessuten er det modellert svært få bygg som dette, så denne modellen vil bidra til å utvide biblioteket av slike typer bygg.

6.3.1 Hvem kan bruke denne metoden

Tanken er å gjøre metoden så enkel at studenter eller andre med lite erfaring skal kunne gjennomføre en modellering av et eldre trebygg uten å måtte leie inn konsulenter utenfra. Som sagt så vil det kunne være ønskelig å ha oversikt over hvor mye materialer som finnes i et bygg, og vi mener denne metoden vil være til hjelp for å finne den informasjonen.

DiBK etterspør også mer informasjon om nettopp gjenbruk, og det vil tenkes at denne oppgaven kan kanskje være med å hjelpe dem i dere arbeid på å gjøre byggeplassen mer sirkulær. (DiBK, 2021)

7 Konklusjon

Formålet med denne oppgaven var å utarbeide og utprøve en effektiv metode for å produsere en BIM av et eldre trebygg, hvor man ønsker å få ut en tilnærmet realistisk materialmengde.

Vi har kommet frem til at måle- og skanneprosessene var viktige å planlegge godt, resultatene fra disse prosessene er avgjørende for videre modellering.

Punktsky og modelleringen er overkommelig å lære seg, men det var en fordel å ikke lage en for detaljert modell. Detaljer tar tid å lage, og vil ikke være vesentlig for utregning av materialmengden.

Det er blitt konkludert at påkrevd nøyaktighetsgrad for registrering og modellering ikke kan settes som ett enkelt tall, men at dette må ses i helhet med hele bygningen, da alle bygg er ulike.

Det ble valgt å gjøre en grundig prosess av målinger og skanninger, så dette kan brukes videre dersom noen skulle ha behov for dette. Modellen som er laget i denne oppgaven er modellert ut ifra problemstilling om å hente materialmengde, men det er mulig å videreutvikle modellen til annen bruk om ønskelig. Siden skanninger allerede er gjort, har man et godt utgangspunkt til videre dokumentasjon av Magasinbygget.

I utgangspunktet kunne dette se ut som en vanskelig oppgave å finne ut av, siden vi ikke har så mye erfaring med BIM. Vi fant ut at dette likevel kunne gjennomføres med vårt kunnskapsnivå. Dermed har vi en tro på at denne metoden kan brukes av studenter og andre som ikke har så mye erfaring med BIM.

8 Litteraturliste

- Architect, B. *Balkan Architect Videoer*. Tilgjengelig fra: <https://www.youtube.com/channel/UCapzEjUWYv7H4GtPQrQyBTQ/videos> (2021).
- Autodesk (2021) *Revit*. Tilgjengelig fra: https://www.autodesk.com/products/revit/overview?_ga=2.174352806.528395200.1616588413-360689857.1611568601&term=1-YEAR (Hentet: 24.02 2021).
- Blix, B. (2016) *Bosch GLM 80 + R60*. Tilgjengelig fra: <https://dinside.dagbladet.no/bolig/bosch-glm-80--r60/61591572>.
- Bratberg, T. T. V. (1996) *Trondheim byleksikon*. Kunnskapsforl.
- Byggforsk., S. (2013) *471.031 Egenlaster for bygningsmaterialer, byggevarer og bygningsdeler*. Tilgjengelig fra: https://www.byggforsk.no/dokument/215/egenlaster_for_bygningsmaterialer_byggevarer_og_bygningsdeler (Hentet: 10.05 2021).
- Coppinger, J. (2020) *Autodesk ReCap*. Tilgjengelig fra: <https://www.lifewire.com/autodesk-recap-485205>.
- DiBK (2021) *Hjelp til med å lage en god veileder for ombruk av byggevarer*. Tilgjengelig fra: <https://www.byggogbevar.no/arkiv/hjelp-til-med-aa-lage-en-veileder> (Hentet: 15.05 2021).
- FARO (2015) *FARO LASER SCANNER FOCUS3D X 130*. Tilgjengelig fra: <https://faro.app.box.com/s/r45cyjqengc8vnh5kawemgsvdfxt81>.
- Faro (2020a) *Understanding Laser Scanners*. Tilgjengelig fra: <https://www.faro.com/en/Resource-Library/Article/understanding-laser-scanners>.
- FARO (2020b) *FARO Focus Laser Scanner*. Tilgjengelig fra: <https://www.faro.com/en/Products/Hardware/Focus-Laser-Scanners> (Hentet: 24.03.2021 2021).
- Faro (2020c) *SCENE User Manual*. Tilgjengelig fra: <https://downloads.faro.com/index.php/s/CJpAZrodfrR4q5?dir=undefined&openfile=37311> (Hentet: 29.04 2021).
- FN (2021) *FNs bærekraftsmål*. Tilgjengelig fra: <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal> (Hentet: 22.04 2021).
- Forskrift om kulturhistoriske eiendommer (2011) *Forskrift om fredning av statens kulturhistoriske eiendommer kapittel 9 vedlegg 12*. Tilgjengelig fra: <https://lovdata.no/static/SF/sf-20111109-1088-k9-12-01.pdf> (Hentet: 24.03.2021 2021).
- Grinderud, K. og Haavik-Nilsen, A. C. (2016) *GIS : geografiens språk i vår tidsalder*. 2. utg. Bergen: Fagbokforl.
- Gustavsson, L. (2009) *Laserskanning av Urnes stavkirke*. Tilgjengelig fra: <https://niku.brage.unit.no/niku-xmlui/bitstream/handle/11250/2505632/Rapport.pdf?sequence=2&isAllowed=y> (Hentet: 03.05.2021).
- Kilvær, L. et al. (2019a) *Forsvarlig ombruk av byggevarer del 1 Litteraturstudie*. (Rapport for Direktoratet for Byggkvalitet (DiBK) 2019). Direktoratet for Byggkvalitet: DiBK. Tilgjengelig fra: <https://dibk.no/globalassets/02.-om-oss/rapporter-og-publikasjoner/litteraturstudie---forsvarlig-ombruk.pdf> (Hentet: 07.05.2021).
- Kilvær, L. et al. (2019b) *Forsvarlig ombruk av byggevarer*. (FoU-prosjekt, for Direktoratet for byggkvalitet (DiBK) 2019). Direktoratet for byggkvalitet: DiBK. Tilgjengelig fra:

- https://dibk.no/globalassets/02.-om-oss/rapporter-og-publikasjoner/forsvarlig-ombruk-av-byggevarer_resirgel-2019.pdf (Hentet: 07.05.2021).
- Linge, G. N. Hva er egentlig... BIM. Tilgjengelig fra: <https://relasjon.skanska.no/hva-er-egentlig-bim/>.
- Lusparken (2019) *NTNU AD MAGASINBYGGET*. Tilgjengelig fra: https://lusparken.no/wp-content/uploads/prosjekter/NTNU_magasinbygg/prosjektark/NTNU-Magasinbygget.pdf (Hentet: 27.03.2021 2021).
- Mol, A. *et al.* (2020) HBIM for storing life-cycle data regarding decay and damage in existing timber structures, *Automation in construction*, 117, s. 103262.
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103262>
- Murphy, M., McGovern, E. og Pavia, S. (2009) Historic building information modelling (HBIM), *Structural Survey*.
- Regjeringen, B.-o. e. (2010) *KOMPLEKS 9900495 Kalvskinnet*. Tilgjengelig fra: https://www.regjeringen.no/globalassets/upload/kd/hoeringsdok/2010/201001140/ntnu_kalvskinnet.pdf (Hentet: 24.03.2021 2021).
- Rese, K. og Råheim, Å. F. (2020) *Modellering av eksisterende garasjer og deres potensiale for transformasjon*, NTNU.

9 Vedlegg

9.1 Oppmåling av Rom 15 (Verksted)



Søyle midt i rommet (Mål i cm)		
x	y	h
17,5	17,5	232,5
17	16	232,5
18	18	232,5
17	17,5	232,5
17	16,5	232,5
17	18	232,5
18,5	17	232,5
17,4	17,2	232,5

h1	L1	h	L
119	129	170,5	64
118	121,5	168	59
116	124	169	62
118	125	169	61
118	125,5	168,5	62
118,5	126,5	167	58
115	127	171,5	60
118	125	168	60,9
117,6	125	168,9	
	125,4		

Kort avstivning 1		Kort avstivning 2	
x	y	x	y
15	13,5	15,5	13
14,5	14	14	14
13,5	13	13	14
12,5	15	11	15,5
14	13,5	12,5	14,5
12	17,5	11,5	16
12	15,5	12,5	15,5
12,5	16	12	15
13,3	14,8	12,8	14,7

Lang avstivning 1		Lang avstivning 2	
x	y	x	y
11,5	14	12	13,5
12	15	12	14,5
12	15	12	15
11	15,5	11,5	16
11,5	15	10,5	17,5
12,5	14,5	11,5	15
12	15	11,5	16
13	15	13	14
11,9	14,9	11,8	15,2

Bærebjelke	
x	y
16	16,5
16,5	18
14,5	18,5
15	18
16,5	18
16,5	18
16	17
13,5	17
16	16,5
15	18
17	18
15,7	17,6

Drager	
x	y
15	18
15	17
	16,5
15	17,2

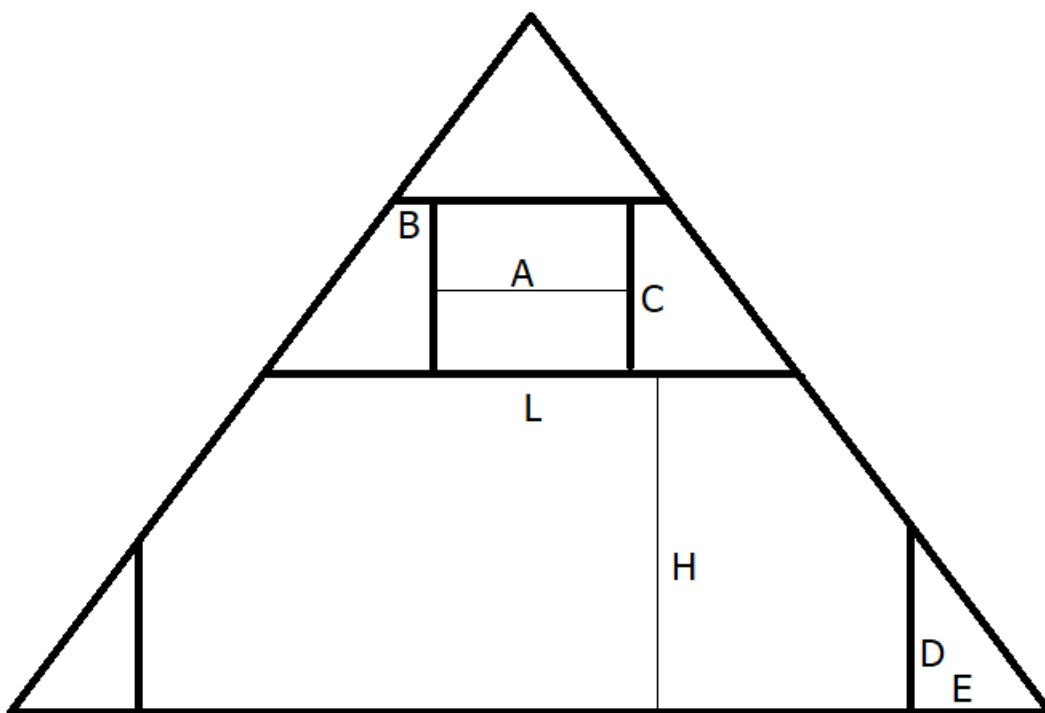
Måling avstander:

Avstand Midtsøyle-Vegg
568
572
573
571
571

Avstand mellom bjelker
44,5
47,5
47
47
47,5
47,7
48
44
46,5
47
46
48,5
46,8

Avstand mellom søyler
234
234,9
227
232
240
230
233,0

9.2 Oppmålinger av andre etasje



A	B	C	D	H	L
202,7	21	137,6	112	244,7	599,2
200,4	23	137		244,4	600
203,4	23	138	E	245,9	
202,6	22	136,5	112	244,9	
201,7	24	137,275		244,975	
202,16	25				
	26				
	24				
	188				

Dimensjon bjelke	
X	Y
15	14,5
14,5	16
14,5	18
15	16
15,5	16
14,9	16,1
Dør innest	153*217
Vindu innerst	120*125

Avstand mellom stendere
112,7
111
110,8
112,9
103,3
112,2
113,2
114
105,7
110,6

Rom	Antall takbjelker per rom	Avstand vegg øst	Avstand vegg vest	
Rom nr 28	4	95	105	x
Rom nr 25	17	0	0	x
Rom nr 24	6	82	0	x
Rom nr 22	14	105	105	x
Rom nr 21	4	0	115	
Sum	45,00			

9.3 Registrering av uregelmessigheter i bygget

Rom 15 (verksted)		
Nordside	Sørside	Midten
1. bjelke u avstiver		
2. Bjelke m avstiver		
3. rar avstiver		
4. bjelke m avstiver		
5. mangler		
6. bjelke m avstiver		
7. bjelke m avstiver		
8. bjelke m avstiver		

Rom 14		
Nordside	Sørside	Midten
1. vindu	1. bjelke m avstiver	1. søyle u avstiver mot nord
2. vindu	2. vindu	2. søyle
3. bjelke uten avstiver	3. dør	3. søyle
	4. vindu	
	5. bjelke m avstiver	

Rom 13		
Nordside	Sørside	Midten
	1. bjelke u avstiver	1. søyle u avstiver mot sør
	2. dør	2. søyle u avstiver mot sør
	3. vindu	3. søyle u avstiver mot sør
	4. bjelke m avstiver	

Rom 12		
Nordside	Sørside	Midten
1. bjelke m avstiver	1. dør	1. søyle
2. vindu	2. bjelke m avstiver	2. søyle u avstiver mot sør
	3. vindu	

Rom 11		
Nordside	Sørside	Midten
1. bjelke m avstiver	1. dør	1. søyle u avstiver mot øst
2. vindu	2. vindu	2. søyle u avstiver mot sør og nord
3. bjelke u avstiver		

Rom 10		
Nordside	Sørside	Midten
1. dør	1. dør	1. søyle
2. bjelke m avstiver	2. vindu	2. søyle
3. vindu		3. søyle

