



AALBORG UNIVERSITET

AUGMENTED REALITY I DRIFT & VEDLIGEHOLD

Med fokus på håndværkerens daglige arbejde





AALBORG UNIVERSITET

School of
Engineering and
Science
Thomas Manns Vej
23

Titel: Augmented Reality i Drift & Vedligehold

Undertitel: Med fokus på håndværkerens daglige arbejde

Uddannelsesinstitution Aalborg Universitet
Institut for Byggeri & Anlæg

Uddannelse: Bygningsinformatik

Opgave: Kandidatspeciale

Forfatter: Khayber Ebrahimi

Vejleder: Lektor Kjeld Svidt
Institut for Byggeri & Anlæg
Bygningsinformatik

Udgivelsesdato: 1. maj 2018

ECTS: 30

Sprog: Dansk

Oplæg: Digital Publicering

Khayber Ebrahimi

Anslag: 153.724 anslag med mellemrum
Antal sider: 64 sider 153.724/2400



FORORD

Denne speciale rapport udarbejdet som del af Cand.Tech i Bygningsinformatik uddannelsen, på Aalborg universitet.

Rapporten omhandler brugen, af Augmented Reality teknologi, i forbindelse med drift og vedligeholdelsesarbejde, med specifik fokus på håndværkeren arbejdsproces. For at sikre en veldokumenteret undersøgelse, er der gjort brug af en casestudie, i form af en driftsorganisation. Casestudiets arbejdsprocesser er blevet observeret på tæt hold, i forbindelse med identificering af hvor teknologien kan give værdig. For at fremlægge et løsningsforslag, som både er fagteoretisk og praktisk begrundende, er teknologien blevet afprøvet, med relevante personer fra casestudiet. Hertil er prototyper af Augmented Reality værktøjet, udarbejdet og evalueret. Fundne resultater har dannet grundlag for videreudvikling og illustrering af effekten ved brug af Augmented Reality, til at supplere håndværkerens daglige arbejdsgange.

I forbindelse med udarbejdelsen af rapporten, skal der siges tak til driftsorganisationen Campus Service, for Aalborg Universitet. For at stå rådighed, for interviews, observationer og afprøvning af Augmented Reality teknologien

Herudover skal der siges stort tak til min vejleder og lektor, på Aalborg Universitet Kjeld Svidt, som igennem rapportens forløb, har været behjælpelig med god rådgivning og udfordrende sparring



ABSTRACT

This Master's Thesis is developed, as part of Aalborg University's master degree, in Building Informatics.

The thesis is about, use of Augmented Reality technology, in building operation and maintenance work, with particular focus, on the craftsman's work process. The thesis is describing a development process, of an Augmented Reality application, for the craftmans work process. A case study has been used, to identify in which scenarios the technology can be used, and afterwards to carry out a test. Prototypes of the Augmented Reality application, has been developed, as a concept of different usability goals. This was to identify the usability of the technology, in the craftsman's work process.

The thesis ends up, by giving a recommendation, to optimize the current workflow in maintenance work. Found results has formed the basis, for further development of the application, to complement the craftsmen's daily workflows.



LÆSEVEJLEDNING

1. Indledende afsnit

Overordnet indledning som beskriver rapportens indhold, og herefter en introduktion for drift og vedligehold af byggerier, og Dalux Augmented reality applikation, for at give læseren en ide af, hvad det indebærer.

2. Problembeskrivende afsnit

Afsnittet introducerer casestudiet, og metode anvendelse til problemanalysen. I problemanalysen redegøres og analyseres der for feltundersøgelsens indsamlet empiri, via observationer og interviews, omkring casestudiets nuværende arbejdsproces. Dette blev gjort i forbindelse med at identificere hvor Augmented Reality kan give værdi i deres drift- og vedligeholdelsesarbejde. Afslutningsvis er der opstillet en række scenarier, som illustrerer hvor Augmented Reality kan give værdi, i deres nuværende arbejdsproces, samt hvilke forudsætninger og barrierer der eventuelt kan være i udviklingsprocessen af et Augmented Reality værktøj.

3. Redegørende og analytiske afsnit

Afsnittet omhandler en teoretisk og analytisk redegørelse af fundne relevante emner fra problemanalysen, som indebærer Augmented Reality, BIM, udarbejdelse af as-built modeller til brug i Augmented Reality.

4. Design- og udviklingsafsnit

Afsnittet beskriver udviklingsprocessen, med et Augmented Reality værktøj, til D&V. Afsnittet bygger på Interaction Designs 2 aktiviteter. Med udarbejdelsen af prototyper, til et Augmented Reality værktøj, og opstilling af evalueringsforløb.

5. Evaluerings- & løsningsafsnit

Fundne resultater fra evalueringsforløbet præsenteres, og anvendes til at fremlægge et løsningsforslag, til håndværkerens nye arbejdsproces, som indebærer brugen af Augmented Reality. Herudover præsenteres fundne behov fra evalueringsforløb til videre udvikling.



INDHOLDSFORTEGNELSE

I	INDLEDENDE AFSNIT	1
1	INDLEDNING	1
2	DRIFT OG VEDLIGEHOLD	3
3	DALUX – TWIN BIM	4
II	PROBLEMBESKRIVENDE AFSNIT	5
4	CASE INTRODUKTION - AAU CAMPUS SERVICE	5
4.1	AAU Campus Service organisering	7
5	PROBLEMANALYSE	9
5.1	Metode - Initerende	9
6	NUVÆRENDE ARBEJDSPROCES	16
6.1	Håndværkerens artefakter	17
6.2	kommunikation og opgavestyring	22
6.3	Håndværkerens enkelte handlinger	25
6.4	Identificering af hvor Augmented Reality kan anvendes i D&V	28
6.5	Kulturelle perspektiv	34
7	PROBLEMFORMULERING	37
8	METODE	37
8.1	Interviews og observationer	38
8.2	Test	39
8.3	Interaction Design	40
III	REDEGØRENDE & ANALYTISKE AFSNIT	44
9	BUILDING INFORMATION MODELLING	44
9.1	Parametrisk modellering	47
9.2	As-Built modellers udarbejdelse	48
10	VIRTUEL OG VIRKELIGHED	52
10.1	Augmented Reality:	54
IV	DESIGN- OG UDVIKLINGSAFSNIT	66



11	ALTERNATIVE SUPPLERENDE FUNKTIONER TIL AUGMENTED REALITY VÆRKTØJET	66
12	EVALUERINGSFORMÅL OG PROTOTYPER	69
12.1	evauleringsopstilling og udarbejdelse af prototyper	70
V	EVALUERINGS - & LØSNINGSAFSNIT	86
13	EVALUERINGSFORLØB OG RESULTATER	86
13.1	Resultater:	87
14	LØSNINGSAFSNIT	100
14.1	Fremtidig udvikling	100
14.2	Nøjagtige As-Built modeller	103
14.3	Håndværkerens optimerede arbejdsproces	104
15	KONKLUSION.....	107
VI	AFSLUTTENDE AFSNIT	110
16	FIGURLISTE.....	110
17	LITTERATURLISTE	112
18	BILAG.....	116



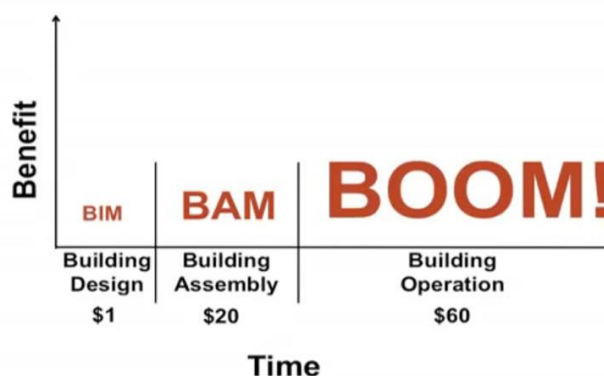
I INDLEDENDE AFSNIT

1 INDLEDNING

Bygge- og anlægsbranchen er et centralt element i samfundet, både for samfundet som helhed og for private borgere. Branchens kernekompetencer omhandler overordnet at ekspandere og vedligeholde bl.a. bygningsmængden og infrastrukturen, som "sammenlagt udgør næsten 80% af Danmarks nationalformue" (Dansk Byggeri 2016). Branchen leverer fysiske rammer for privat bolig, erhvervslivet og offentlige instanser, samt drift & vedligehold af disse. Dette betyder at branchen ikke kun skaber de fysiske rammer, men også sikrer drift & vedligehold (D&V) af opførte byggerier, og deres aktiviteter. Byggeprojekter er med tiden blevet mere komplekse, da den moderne forbrugere er blevet mere bevidste over sine muligheder og behov, som medfører øget omfang af D&V. Set i en totaløkonomisk sammenhæng, så udgør et byggeris drift- & vedligeholdelsesfase ca. 60-80 % af bygningens totaløkonomi. Hvilket betyder at projektering og udførelsen, udgør 20-40 %.

"Set i en totaløkonomisk sammenhæng er det driftsfasen, som udgør den tunge del - ca. 60-80 % af bygningens totaløkonomi (set over fx 50 års levetid)."
(Management Consulting 2009)

Dette støttes også op af Patrick MacLeamys BIM-BAM-BOOM! Akronym (se figur 1-1 til højre). Hvor han belyser, at der er størst potentialer i økonomiske besparelser, i byggeriets drift- og vedligeholdelsesfase. MacLeamy fortæller at set ude fra en totaløkonomisk perspektiv, så vil 1



Figur 1-1 BIM-BAM-BOOM! (Rosenfield
Side 1 af 123



dollars omkostninger i projekteringsfasen, svarer til 20 dollar i udførelsesfasen og 60 dollar i drift- og vedligeholdelsesfasen. Således fremhæver MacLeamy, de store potentialer til indhentning af økonomiske besparelser, i drift- og vedligeholdelsesfasen, da denne udgør tidsmæssigt den længste fase, og dermed også de fleste omkostninger (Rosenfield 2012).

Branchens anvendelse af digitale værktøjer og processer, er udviklet væsentligt, hvor nutidens byggeprojekter bliver mere og mere digitale. Dette omhandler eksempelvis, fra kun at anvende 2D tegninger, til også at anvende BIM modeller. BIM står for *Building Information Modelling*, og er en arbejdsmetode for alle parter involveret i et byggeprojekt. Metoden er understøttet af teknologi, til at genere bygningsgeometri og data. Bygningsmodellen er således en digital repræsentation, af den fysiske bygning. Teknologierne udvikling af Virtual Reality (VR) og Augmented Reality (AR) har muliggjort, det at befinde- og bevæge sig i virtuelle bygningsmodeller, eller at se modellerne i en 1:1 fuldskala "hologram". VR teknologien gør det muligt at se og bevæge sig rundt, i en virtuel bygningsmodel forud for udførelsen. AR giver mulighed for at se den virtuelle bygningsmodel overlejret med den fysiske bygning.

"Facility managers are often required to relate physical objects to database information. This makes AR a good candidate to aid facility managers with their routine tasks because their live view of a space could now be supplemented by the database information they need, all in one interface" (Gheisari & Irizarry 2016)

Den teknologiske udvikling i AR, og mulighederne for store økonomiske besparelser i driftsfasen, af et byggeprojekt, har dannet grundlag for specialets emne, som omhandler at drage nytte af bygningsmodeller og AR teknologien i forbindelse med D&V. Specialet undersøger hvordan et AR værktøj kan anvendes, i forbindelse med den daglige drift- og vedligeholdelsesarbejde, og hvilke funktioner denne skal have.



2 DRIFT OG VEDLIGEHOOLD

Drift og vedligeholdelsesfasen af et byggeprojekt, omhandler ibrugtagning, bygningsdriften og vedligeholdelsen af et opført byggeri. Dette kan være omfattende og komplekst, af hensyn til at byggerier bliver mere avancerede, og intelligente, eksempelvis pga. høje brugerkrav, energiforbrug, arbejdsmiljø og diverse tekniske installationer. I Danmark er der regler og vejledninger til mange af de opgaver, som indebærer D&V (Retsinformation 2011), dette er eksempelvis ved an- og bortskaffelse af materialer, forbyggende vedligehold af bygningsdele, installationer, udearealer samt forhold omkring arbejdsmiljø. En hensigtsmæssig D&V af byggerier, forbedrer kvaliteten og levetiden, af bygningerne og bygningsdelene, samt tilhørende installationer.

Formålet med D&V, er at forbedre og opretholde bygningskvalitetsniveau, værdi og levetid. Bygningsvedligehold sigter efter at opretholde den kvalitets- og standardniveau, som byggeriet havde ved ibrugtagning, efter opførelsen. Dette niveau skal forsøges vedligeholdes, fra ibrugtagnings- og klimamæssige påvirkninger, som byggeriet skal tilstå. Således at bygningsværdien ikke forringes drastisk, igennem dens levetid. Efterslæb opstår når vedligeholdelse af bygninger bliver forsømt, hvilket vil nødsagde renovering, for at genoprette kvalitets- og bygningsværdiniveauet. Der kan herudover også forekomme ændret krav og behov, til eksempelvis energiforbrug og funktionaliteten af bygningen, som også vil nødvendiggøre, ændret forhold og renovering eller tilbygning (Buur et al. 2010). Byggeriets drift skal sikre optimal og tilfredsstillende arbejdsmiljø- og ibrugtagningsforhold, herunder faciliteter, indeklima, samt ydelser & service. Dette kan eksempelvis være for et sygehus, uddannelsesinstitution, eller andet erhverv, hvor brugernes faciliteter og forholde er tilfredsstillende, så opgaver og selve arbejdet kan udføres hensigtsmæssigt.

Den digitale udvikling, har bl.a. også medført potentiale inden for D&V, hvor data fra 3D bygningsmodeller kan anvendes i BIM baseret Facilities Managements (FM) systemer¹. Dette betyder at data omkring D&V, af det færdige byggeri ved digital aflevering, i det omfang det er muligt og aftalt, udtrækkes fra bygningsmodellen, og benyttes i et FM system til bygningsdrift- og vedligehold (Eastman et al. 2011). Hvilket giver fordele for driftsorganisationen, ved at automatiserer en langsommelig og manuel proces, omkring indsamling og indtastning af D&V materiale i organisationens FM system. Således vil driftsorganisationen have et bedre overblik og driftsgrundlag, samt mulighed for nedbringelse af driftsomkostninger. Det vil have betydning for byggeriets fremtidige kvalitet og økonomi, som i sidste ende vil komme både bygherren og slutbrugerne til gavn.

3 DALUX – TWIN BIM

Den danske softwarevirksomhed Dalux ApS, har som de første i verden lanceret Augmented Reality til byggebranchen, kaldet TwinBIM (Hennecke Mikkelsen n.d.). AR funktionen er et supplement til deres Dalux Field applikation, til byggestyring, tilsyn, kvalitetssikring,



Link til billede: <http://ilk.dk/0q8qmb>

dokumentation mm. Med den supplerende funktion kan kvalitetssikring, tilsyn og montage i udførelsesfasen af et byggeri, foregå igennem AR. Bygningsmodellen bliver visualiseret som overlejret på den fysiske bygning igennem en

¹ IT-system som understøtter FM



mobiltelefon, i en fuldskala 1:1 model, som en blanding af den fysiske verden og den virtuelle model. Det er eksempelvis muligt at sammenligne placeringer af rørføringer og bygningsdele. AR funktionen i Dalux Fields applikationen, virker kun igennem smartphones som anvender Google Tango teknologien.

Hospitalsenheden Midt som består af hospitalerne i Skive, Viborg, Hammel og Silkeborg, er begyndt at anvende Dalux's nye teknologi, til kvalitetssikring af udført arbejde og montage, i forbindelse med ombygning af hospitalerne (CHM 2017). AR funktionen giver mulighed for at sikre, at det der bliver bygget, også stemmer overens med tegninger og bygningsmodellen, og således bliver fejl og mangler fundet meget hurtigere, samt rør og ledninger som er skjulte bag vægge eller lofter, kan visualiseres igennem applikationen, uden at der skal fjernes loftplader eller bankes huller.

II PROBLEMBESKRIVENDE AFSNIT

4 CASE INTRODUKTION - AAU CAMPUS SERVICE

Det overordnet emne for specialet er - anvendelsen af AR i drift- og vedligeholdelsesarbejde. I den forbindelse er der gjort brug af følgende driftsorganisation, som har stået til rådighed, som et casestudie: Aalborg Universitets (AAU) Campus Service (CS), campusområdet i Aalborg Øst. Casen vil blive anvendt igennem rapporten, for at belyse mulighederne for anvendelse af AR, i driftsorganisations- og håndværkernes arbejdsprocesser. Dette afsnit vil ikke analysere, men blot redegøre og introducerer for Campus Services ansvarsområder og organisering.

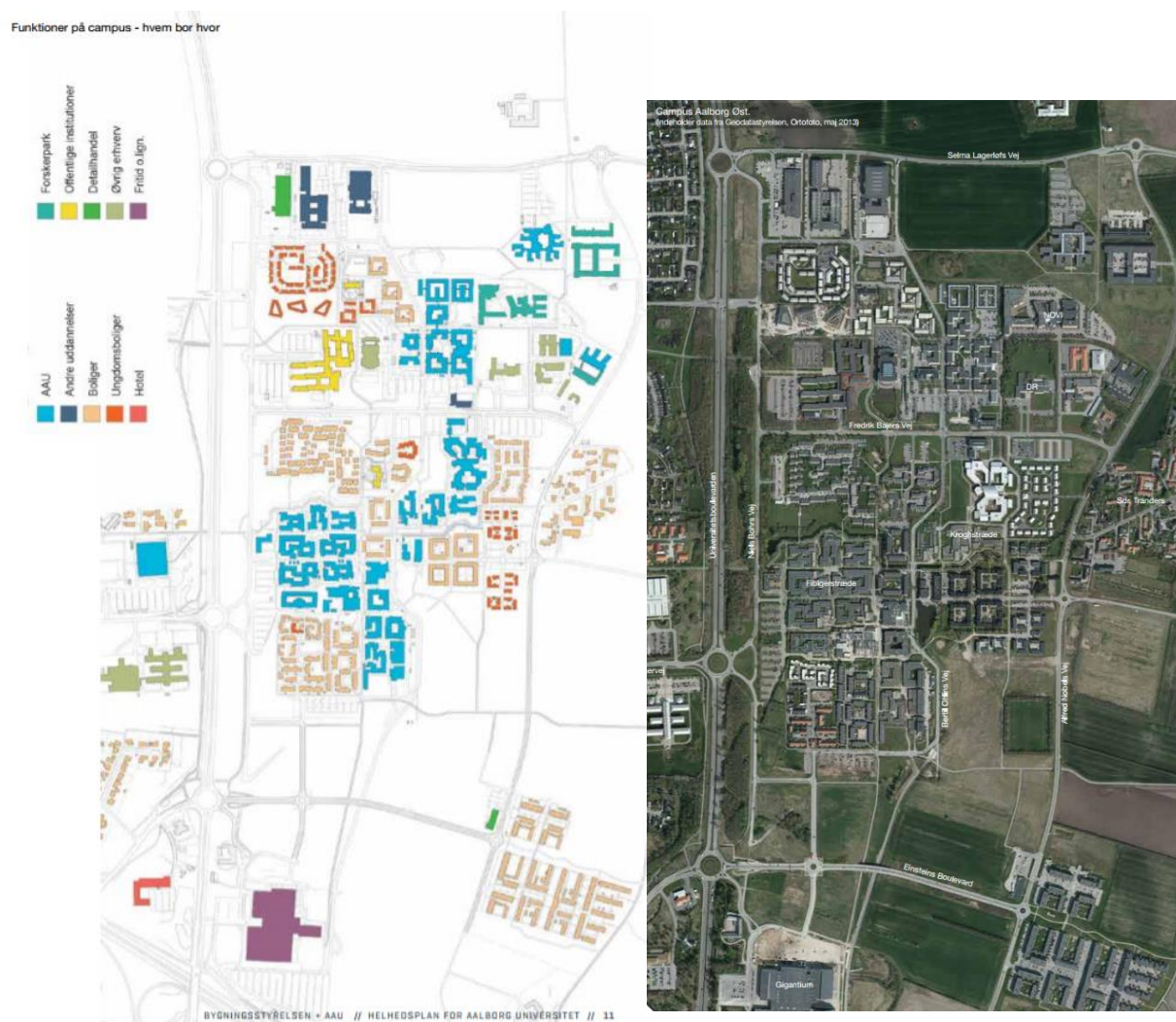
AAU er en forsknings- og uddannelsesinstitution med campusområder i Aalborg (Aalborg City, Aalborg Vest og hovedcampus i Øst), Esbjerg og København. Bygningsstyrelsen fungerer som statens ejendomsvirksomhed, og dermed er ansvarlig for sager om byggerier, som bl.a. vedrører universitetsbygninger.

Aalborg Universitets bestyrelse lejer bygningerne af Bygningsstyrelsen (Rasmussen 2016), samt eksterne bygningsejere, som dermed finansierer drift og vedligeholdelsesaktiviteterne. Bestyrelsen udlejer herefter bygningerne til CS som er driftsorganisationen i AAU, og i samarbejde med AAU's ledelse, er deres formål er at sikre de fysiske rammer, både indvendigt og udvendigt, for universitets forsknings-, undervisnings og serviceaktiviteter.

Samlet bruttoarealer fra 2015:

Aalborg Øst – ca. 170.000 m²

Aalborg City - 64.200 m²

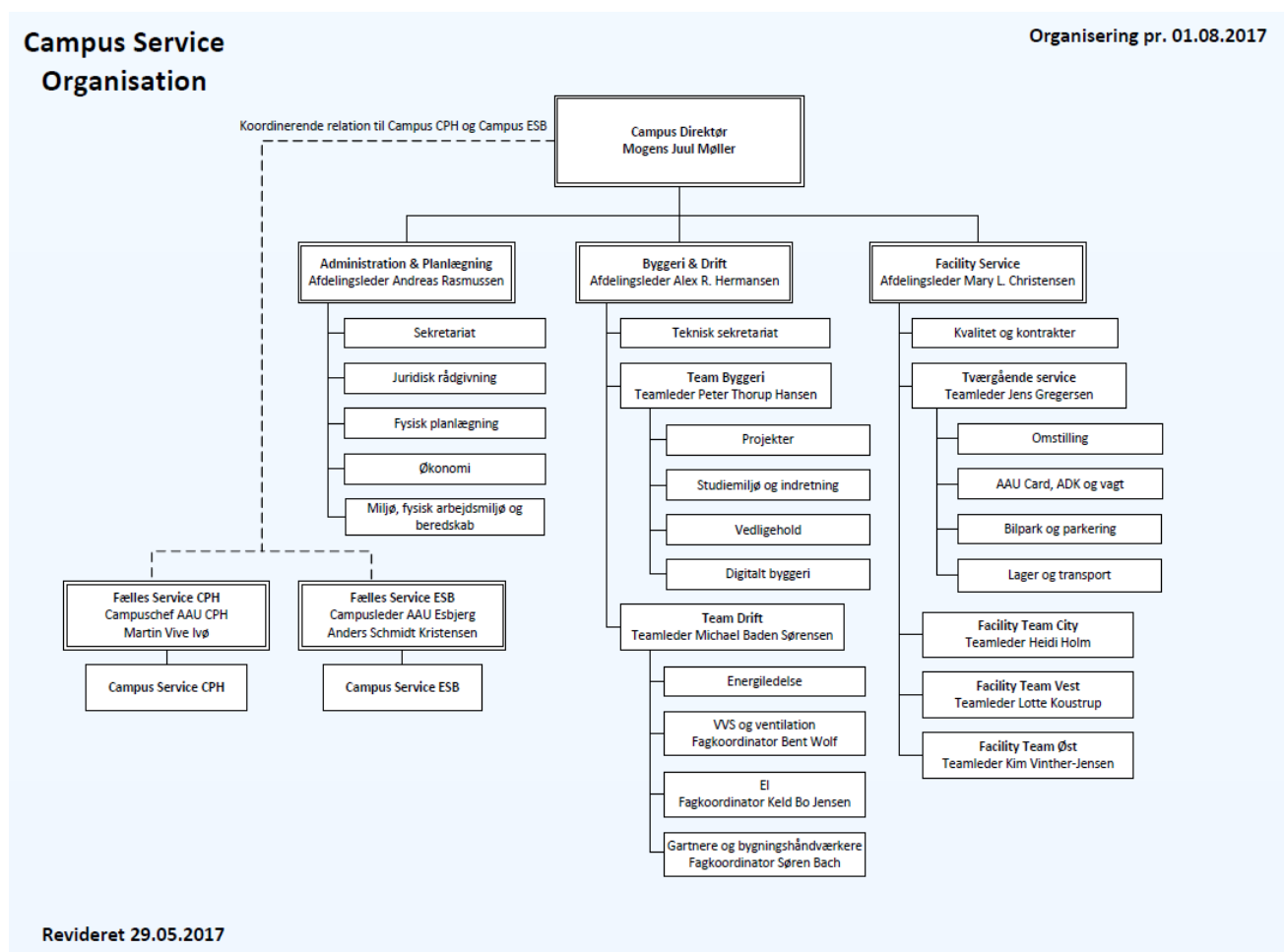


Figur 4-1 Oversigt af AAU Campusområde Øst (Bygningstyrelsen 2015)

4.1 AAU CAMPUS SERVICE ORGANISERING

Campus Service er opdelt i 3 hovedafdelinger (se nedenstående figur): (AAU n.d.)

- Administration & Planlægning
- Byggeri & Drift
- Facility Service



Figur 4-2 Campus Service organisationsdiagram – Link: <http://ilk.dk/sb7hta>

Administration & Planlægning:

Afdelingen som navnet angiver, varetager al administrerende arbejde og planlægning, heri følgende opgaver: (AAU n.d.)

- "Strategisk fysisk planlægning af campusområdernes udvikling



- Økonomistyring på AAU's bygningsomkostninger, administration af AAU's interne huslejemodel
- Kontraktstyring af lejemål og håndtering af juridiske spørgsmål
- Rådgivning af AAU's hovedområder angående miljø- og arbejdsmiljø (som en del af Arbejdsmiljøsektionen)
- Varetagelse af generel sekretariatsfunktion for Campus Service."

Byggeri & Drift:

Afdelingen er opdelt i to underafdelinger: Team Byggeri og Team Drift, som bl.a. består af arkitekter, bygningskonstruktører, tekniske designere og håndværkere.

- **Team Byggeris** hovedopgaver vedrører de fysiske rammer, indretning og studiemiljø til universitetets ansatte og studerende. De har således ansvaret for nybyggeri og ombygning. Afdelingen står for projektledelsen og planlægningen af disse. Ved beslutning om en om-, ny- eller tilbygning, bliver dette gjort i samarbejde med CS, som er med til at projektere og sørge for at byggeriet overholder de gældende regler. CS udarbejder eksempelvis projektforslag, prisoverslag og byggetilladelse, som herefter skal godkendes af AAU's bestyrelse, institutter, fakulteter og administration.
De har også ansvaret for indretningen af bygninger, flytning af lokaler, ommøblering og tilstandsvurdering af inventar og møbler, samt indkøb af disse.
- **Team Drift** sikrer driften af campusområdets bygninger samt udearealer, herudover har de ansvaret for systematisk vedligeholdelse, energiforbrug og opretholdelse af optimal indeklimate i lokaler. Indvendigt bygningsvedligehold omhandler bl.a. indvendige bygningsdele og installationer som vvs varme- og vand, armaturer, ventilation, el, belysning, brandforhold og at andre myndighedskrav bliver overholdt. Udvendigt bygningsvedligehold vedrører vinduer, yderdøre, ydervægge, tage, nedløb og udearealer.

Facility Service:

Afdelingens opgave er at servicere universitets ansatte og studerende indenfor bl.a. transport, parkering, rengøring, telefonomstilling, post, udlån af lokaler og bestilling af studie- og gæstekort.



Digitalt byggeri er en enhed, som også hører under afdelingen Byggeri og Drift, og denne løser opgaver vedrørende digitalt byggeri og afdelingens it-systemer. Enheden administrerer den løbende digitalisering, af tegningsmateriale og tilhørende dokumentation af områdets bygninger.

5 PROBLEMANALYSE

For at sikre et veldokumenteret undersøgelse, vil et tæt samarbejde med Aalborg Universitets (AAU) driftsorganisation, Campus Service (CS), benyttes som et casestudie (se afsnit 4), til at belyse mulighederne og afprøvning af teknologien.

Et indledende møde med CS har fundet sted, med to deltagere fra Team Byggeri og Team Drift. Til mødet blev driftsorganisationen kort introduceret, og efterfølgende blev AR teknologien præsenteret. For at få et større indblik, og indsamle nødvendig viden i den daglige arbejdsproces, blev hele dages observationer aftalt, med en håndværker både fra Team Byggeri og Team Drift. Formålet med observerer håndværkernes almindelige arbejdsgange, var for at identificerer hvor AR teknologien, kan give værdi.

5.1 METODE - INITERENDE

I forbindelse med analyse af CS nuværende arbejdsgang omkring D&V, vil Contextual Design metodens værktøjer anvendes. Først vil afsnittet redegøre for metoden og dens værktøjer, efterfølgende vil disse anvendes til analyse, af casestudiets nuværende arbejdsprocesser.

5.1.1 CONTEXTUAL DESIGN

Contextual Design er en brugercentreret designproces, til at skabe forbedret og innovative systemer og processer. Metoden fungerer som en skabelon, med



guidelines og værktøjer, som kan anvendes til udvikling, af både nye og eksisterende systemer/processer. Formålet er at inddrage brugerne i designprocessen, således at brugernes behov bliver opfyldt, så godt som muligt. Dette kan medfølge optimeret arbejdsgange/anvendelse, hvilket kan medfølge øget kvalitet og effektivitet, samt en fordel i en større økonomisk helhed.

“Contextual Design is a structured, well-defined user-centered design process that provides methods to collect data about users in the field, interpret and consolidate that data in a structured way, use the data to create and prototype product and service concepts, and iteratively test and refine those concepts with users.” (Beyer Hugh 2013)

Det er en iterativ designproces, indeholdende redegørelse, analyse og redesign, indtil et tilfredsstillende resultat er fundet. Herudover er det en fleksibelt metode, hvor den kan tilpasses efter behov, med mulighed for til- og fravalg af værktøjer.

Contextual Design består af følgende 9 faser: (Beyer Hugh 1998)

- **Contextual Inquiry:** Indsamling af data, vedrørende brugernes behov og tilgang til arbejdet, bl.a. igennem observation og interviews.
- **Interpretation sessions:** Evaluering og analyse af indsamlet data
- **Work model:** Udarbejdelse af modeller om arbejdsprocesser
- **Affinity diagram:** Organisering af data, samt tjek for mangler fra indsamlet data
- **Work model consolidation:** Konsolidering af modeller, uden at låse sig fast
- **Vision:** Design af nye arbejdsgange med udgangspunkt i opstillet modeller
- **Storyboards:** Udarbejdelse af afbildende sekvenser for nye arbejdsprocesser
- **User Environment design:** Design af brugermiljøet
- **Paper prototyping:** Udarbejdelse af prototype, som er baseret ude fra brugermiljøet og de nye arbejdsprocesser.

For korrekt bearbejdelse af de enkelte områder, indeholder metoden følgende 3 delområder:



- **Costumer Data:** Det første område handler om at indsamle og forstå alt væsentligt data omkring brugeren og dens behov. Dette område opsætter kravene/behovene, for systemet og vil dermed fungere som grundlag for det efterfølgende arbejde.
- **Design Thinking:** Området handler om at designe, som skal ske efter foregående område og de angivne faser. Der skal arbejdes efter tankegangen "*doing and reflecting*" eller efter agile metoden, hvor der arbejdes efter iterationer, så behovsopsamling og systemet/processen, løbende bliver evalueret og diskuteret.
- **Team & Organization:** Dette områder handler om at benytte organisationen og ressourcerne korrekt. Det er i forhold til udarbejdelse og implementering af nye arbejdsprocesser, da personerne i organisationen, skal benytte sig af de nye arbejdsprocesser, skal disse dermed også sammensættes korrekt, samt have den nødvendige, viden og kompetencer.

De ovenstående tre områder, udgør den overordnet proces i Contextual Design, og metodens guidelines og værktøjer som skal anvendes, i henhold til den givne opgave. Værktøjerne i metoden består herudover også, af Conceptual Modelling eller konceptuelle modeller. Modellerne anvendes til at visualisere og gengive et system eller arbejdsprocesser, for at forstå og skabe overblik.

Contextual Design og dens værktøjer, vil danne rammen for det problemafklarende afsnit i rapporten. Hvor metoden anvendes til at belyse og redegøre, for casestudiets nuværende arbejdsgange, med henblik på at synliggøre eksisterende udfordringer og muligheder. I det løsningsorienterede afsnit, vil metoden anvendes til at beskrive og visualisere de nye optimerede arbejdsgange.

5.1.1.1 Conceptual modelling



Konceptuelle modeller anvendes til at visualisere systemet og arbejdsprocesserne. Dette er bl.a. for at synliggøre, hvordan systemet er opbygget og hvordan der kommunikeres, hvor der ses på relationer og interaktioner.

Rapporten vil anvende konceptuelle modeller, til at belyse og skabe overblik over CS nuværende arbejdsgange, for at se på muligheder, for optimerede arbejdsgange i forbindelse med D&V.

Det indledende arbejde, med interviews og heldags observationer, har givet grundlag for at inddrage følgende modeller:

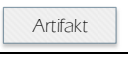
- **Workflow model** (Kommunikation og opgavestyring)
- **Artefakt model** (Driftsmedarbejderens artefakter)
- **Sekvensmodel** (Driftsmedarbejderens enkelte handlinger)
- **Kulturmodel** (Kulturelle perspektiv)

De efterfølgende afsnit, vil beskrive modellernes opbygning og anvendelse, og de har tilfælles at de kan benyttes til at redegøre og analysere CS nuværende arbejdsgange, i den efterfølgende problemafklarende afsnit.

5.1.1.1.1 Workflow model

Workflow modellen skaber overblik over, aktører og deres roller i en proces. Modellen anvendes til at belyse samarbejdet, kommunikationen og informationshåndteringen iblandt aktørerne involveret i processen. Hertil belyses også hvilke artefakter som anvendes, og hvordan de relateres til arbejdsprocessen. Formålet med inddragelse af workflow modellen, er at give et overblik over, de involverede aktørers samarbejde, arbejdets koordinering og artefakternes anvendelse, i forbindelse med analyse, af den nuværende arbejdsproces, hos CS.

Workflow models opbygning

	Cirkler indikerer aktør
	Blå cirkler indikerer virtuel aktør
	Firkanter indikerer artefakter
	Kommunikationen iblandt aktører, indikeres med stiplede pile
	Pull udveksling, når information/data trækkes fra aktører/artefakt
	Push udveksling, når information/data skubbes til aktører/artefakt

5.1.1.1.2 Artefaktmodel

En artefaktmodel visualiserer og beskriver, alle artefakter som anvendes af personer, i forbindelse med en opgave eller proces. Artefakter kan både være virtuelle og fysiske.

“Artifacts are the tangible things people create or use to help them get their work done” (Beyer Hugh 1998)

En computer er eksempelvis en fysisk artefakt, mens softwaren som et program, er en virtuel artefakt, og en funktion i programmet, som *søgefeltet* eller *menu knappen* er ligeledes også artefakter. Således kan artefaktmodellen anvendes til at nedbryde alle artefakter, involveret i en proces, for at give et overblik over hvad der anvendes, hvad de bruges til og hvordan de anvendes. I rapporten er artefaktmodellen inddraget, for at se nærmere på, de enkelte værktøjer forbundet med håndværkernes arbejde, hos CS.

5.1.1.1.3 Sekvensmodel

En sekvensmodel beskriver og visualiserer handlinger forbundet med en opgave i enkelte sekvenser. Arbejdsgange bliver nedbrudt i sekvenser, og opstilles i et diagram, der skal gengive arbejdet i en struktureret og detaljeret måde. Modellen repræsenterer således hver handling brugeren foretager sig, for at udføre arbejdet. Formålet med udarbejdelsen af modellen, er at foretage en



procesanalyse, for at dermed undersøge mulighederne for optimering af processen.

En sekvensmodel er en sammensætningen af følgende elementer:

- **Handlingen:** Handlingen foretaget af brugeren i et passende detaljeringsniveau.
- **Udløseren:** En situation som har en stor betydning for at løse opgaven, og nødvendiggøre brugeren til at foretage en handling.
- **Hensigten:** Brugers hensigt med en handling.

Inden modellen udarbejdes, skal der tages stilling til hvilket fokusområde, modellen skal omhandle, og i hvilket detaljeringsniveau, de enkelte sekvenser skal opstilles i.

Modellens fokus kan opdeles efter tre følgende områder:

- **Arbejdets handlinger:** Dette område anvendes til at forstå, formålet med de enkelte handlinger brugeren foretager sig, når en hensigt skal opnås (eksempelvis at brugeren indtaster kodeord)
- **User Interface handlinger:** Anvendes til at få et indblik i et værktøjs anvendelighed, hvor hvert klik brugeren foretager sig, bliver registreret (eksempelvis: brugeren klikkede på søgefunktionen, indtastede søgeordet, klikkede på søg mm.)
- **Proces handlinger:** Området bruges i situationer, hvor der skal defineres ansvarsfordeling i en proces.

I rapporten anvendes og udarbejdes sekvensmodellen, på arbejdets handlings detaljeringsniveau, for at analysere nuværende arbejdsproces, i det problemafklarende afsnit, forbindelse med D&V hos CS. Herefter anvendes den i



det efterfølgende løsningsorienterede afsnit, til at belyse de nye optimerede arbejdsgange. Modellens data indsamles gennem interviews, med relevante personer fra CS, og observationer af håndværkernes daglige arbejdsopgaver.

5.1.1.1.4 Kulturmodel

Modellen ser på de kulturelle aspekter, som eksempelvis kan være ift. samarbejde, anvendelse eller muligheder for optimering. Kulturmodellen ser på hvilke arbejdsgange, de relevante interessenter arbejder efter, og hvilke kulturelle konflikter/barrierer, der eventuelt kan opstå. Den giver således mulighed for, at forstå de enkelte interessenters holdninger, omkring emnet og hvordan disse påvirker eller skaber konflikt iblandt dem, samt processen og implementeringen. For at løsninger kan designes efter de rette behov, er det derfor vigtigt at forstå og skabe overblik over kulturen, da den påvirker de valg der foretages.

“The cultural context is to us like water to a fish-pervasive and inescapable, yet invisible and intangible”

(Beyer Hugh 1998)

Kultur er en usynlig men vigtig faktor, da den kan have betydning for udviklingsprocessen, hvor en proces eller et system eksempelvis kan være i konflikt med brugerens selv billede, eller underbygge værdier som er vigtige for den. Forståelsen af brugerens kultur og vaner kræver, at der tilbringes tid, så det er muligt at observere og interviewe brugeren. Kulturmodellen opstilles således at relevante interessenter, både interne og eksterne, med indflydelse anbringes i egne cirkler. Det kan eksempelvis være at en entreprenør og leverandør, anbringes i hver deres cirkel. Efterfølgende ses på interessenternes holdninger og meninger, både synlig og usynlige, hvor de usynlige kan afsløres eksempelvis gennem sprogbrug, kropssprog og adfærd. Pile i modellen med underbyggende tekst, repræsenterer påvirkningens retning, altså hvem der



påvirker hvem og hvordan. Konflikter mellem interessenter synliggøres med et lyn.

Modellen kan anvendes til give overblik, de steder hvor der opstår konflikter iblandt interessenter, som kan analyseres og udnyttes til at designe optimerede løsninger. Rapporten vil anvende modellen i den problemafklarende afsnit, til at analysere holdninger, vedrørende implementering og anvendelsen af AR, i forbindelse med drift- og vedligeholdelsesarbejde hos CS.

6 NUVÆRENDE ARBEJDSPROCES

Campus Services driftspersonale og håndværkernes nuværende arbejdsproces omkring D&V, er blevet observeret, for at undersøge mulighederne for anvendelsen af AR, og hvordan dette kan give værdi, i deres daglige arbejde. Feltarbejdet foregik som en åben deltagerobservation, hvor deltagerne var klar over formålet med undersøgelsen, og at alle havde mulighed for at stille løbende spørgsmål. Dette muliggjorde at der kunne observeres på tæt hold, og gennem åben dialog, bedre forholde mig til deltagernes holdninger, samt indleve og relaterer, til deres daglige arbejdsgange. Ude fra det indledende møde blev det aftalt, at observerer områdehåndværkerens og vvs håndværkerens arbejde. Herudover blev to dage sat af til, at interviewe FM teamlederen, og alle fagkoordinatorer fra Team Drift. Første dag blev FM teamlederen interviewet, og de efterfølgende to dage, var sat af til hver af de ovennævnte håndværkere. Til sidst blev forløbet afsluttet med et gruppeinterview, hvor Team Drifts teamleder og fagkoordinatorer for følgende fagdiscipliner var tilstede:

- Energiledelse
- EI
- VVS
- Ventilation
- Gartnere og bygningshåndværkere

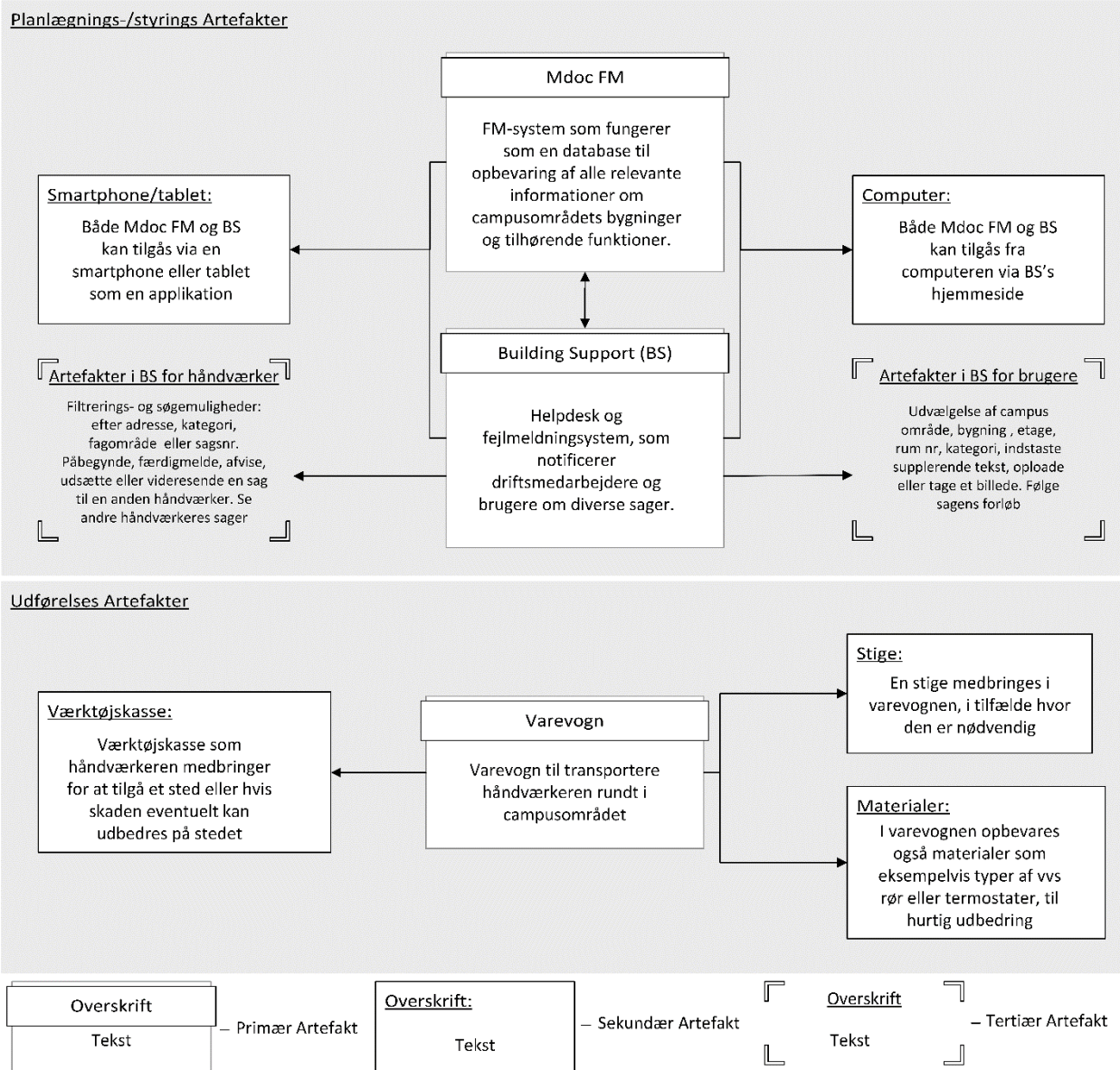


De efterfølgende afsnit vil redegøre og analysere, CS og deres nuværende arbejdsprocesser og digitale værktøjer, i forbindelse med D&V. Indsamlet empiri fra observationer og de supplerende kvalitative interviews, er anvendt i de efterfølgende afsnit, til analyse af den nuværende arbejdsproces hos CS. Processerne redegøres og analyseres ved hjælp af tidligere nævnte konceptuelle modeller. Afsnittet afsluttes med en række scenarier, som belyser hvor AR kan anvendes, samt en analyse af kulturelle problematikker, i forbindelse med dette.

6.1 HÅNDVÆRKERENS ARTEFAKTER

For at give læseren, en samlet forståelse af den nuværende arbejdsproces, vil håndværkerens værktøjer introduceres, ved hjælp af en Artefakt model (se Figur 6-1). Modellen er opdelt i to dele:

1. Planlægnings-/styrings artefakter 2. Udførelses artefakter



Figur 6-1 Artefakt model – Nuværende arbejdsproces

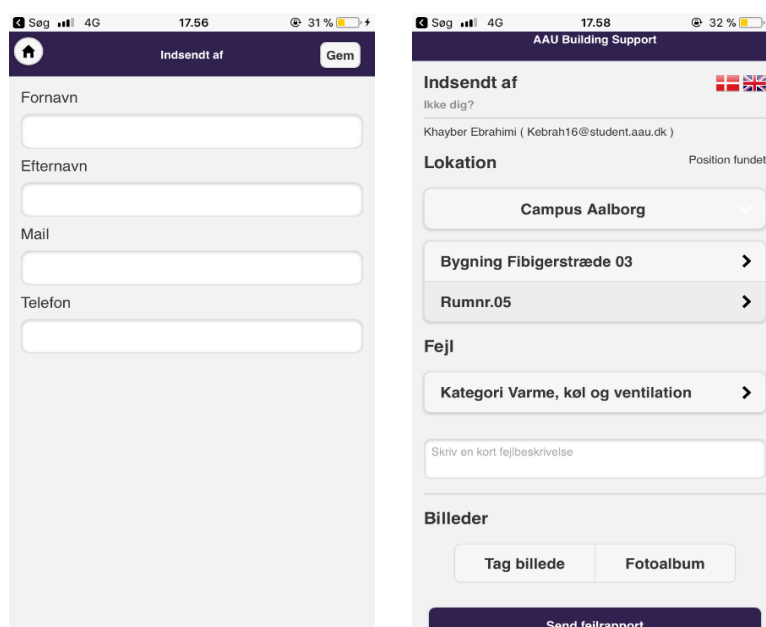
Modellens artefakter er præsenteret trinvist, fra primære- til tertiære artefakter, som visualiserer nedbrydningen af håndværkerens værktøjer.



Den **første del** af modellen, omhandler planlægnings-/styrings artefakter, her indgår Mdoc FM og BS. De er begge webbaseret digitale værktøjer, hvor de kan tilgås både fra computeren, smartphone og tablets.

CS anvender Mdoc FM som deres databasesystem, til behandling af bygningsdata og planlægning af drift & vedligeholdelsesopgaver. Mdoc FM er udviklet af NTI CADcenter A/S, som er et rådgivningsfirma og leverandør af teknologi- & konsulentytelser inden for byggeri, design og industri. Mdoc FM er et CAFM-system (Computer Aided Facility Management), og er et samlet fm system til håndtering af D&V's opgaver som eksempelvis Asset Management, Space Management, økonomistyring, energiforbrug, inventarregistrering, rengøring, samt at systemet også er BIM baseret, således at BIM modeller og tilhørende data kan importeres til systemet. Pilene mellem Mdoc FM og BS, er indsat da Mdoc FM er et åbent databasesystem, som giver mulighed for integration med andre systemer (NTI CADcenter n.d.), og CS har sammenkoblet Mdoc FM med BS.

BS er et elektronisk fejlmeldingssystem og helpdesk, hvor AAU's personale og studerende kan indrapporterer fejl og mangler, samt andre brugerrelaterede henvendelser, som f.eks. booking af lokaler. Brugernes fejlmeldinger og den efterfølgende kommunikation med CS, sker igennem BS. Ligeledes forgår tildeling af



Figur 6-2 Skærbilleder af BS fra egen telefon



opgaver og kommunikation imellem håndværker og driftspersonalet også igennem BS.

Procedure og muligheder i BS (AAU n.d.):

Når en bruger opdager en fejl, indrapporterer denne fejlen igennem BS. På Figur 6-2 Skærbilleder af BS fra egen telefon

Figur 6-3 Eksempel på håndværkerens skærbillede i BS via pc – modtaget ved observation
Figur 6-4 ses to skærbilleder af BS fra egen telefon. I første skærbillede indtastes egne oplysninger, som er muligt at gemme, således at det ikke er nødvendigt at genindtaste oplysningerne til en anden gang. Næste skærbillede omhandler selve fejlmeldingen, hvor lokationen først udvælges, igennem scroll-down menuerne for sted, bygning og rumnummer. Efterfølgende skal fejlen kategoriseres, hvor systemet har en række foruddefineret kategorier at vælge ud fra, som eksempelvis "varme, køl og ventilation". Her udvælges den kategori som bedst egner til fejlen, også vha. en scroll-down menu. Brugeren kan efterfølgende give en kort beskrivelse af fejlmeldingen og til sidst vedlægge et billede, enten ved at tage et nyt, eller udvælge et fra telefonens fotoalbum. Når fejlmeldingen udfyldes og sendes, modtager håndværkeren en notifikation om fejlen. Udefra udvalgt kategori modtager den retsmæssige fagdisciplins håndværker automatisk notifikationen. I mellemtiden bliver brugeren løbende informeret om sagens forløb, ved at modtage underretninger fra BS eller håndværkerne.

Håndværkeren modtager løbende notifikationer om sager igennem BS fra brugere og driftspersonalet. Håndværkeren anvender BS til at planlægge dagens rute, ved at gennemgå notifikationer. Hertil har de følgende funktionsmuligheder i BS (se nedestående Figur 6-5):

- Søgning og filtrering af sager, både egne og andre håndværkeres.



- Efter kategori, adresse eller sagsnr.
- Se status på sager, både sektions- og enkelte bygningssager
 - Hertil nye-, igangværende-, færdigmeldte- og tidligere sager i arkiv
 - Færdigmeldte sager som ikke bliver igangsat i løbet af to dage, bliver markeret rødt i håndværkerens skærbillede
- Påbegynde, færdigmeldte, afvise, videresende eller udsætte sager.
 - I situationer hvor fejlen ikke stemmer overens med valgte kategori, kan håndværkeren videresende sagen, til rette håndværker. Når materialer/udstyr ikke er tilstede, eller at en ekstern håndværker skal udføre arbejdet, kan håndværkeren udsætte sagen til en forventet dato for udbedring.
- Se og gennemgå planlagte drift- og vedligeholdelsesopgaver tildelt igennem Mdoc FM

AALBORG UNIVERSITET

Mine sager Sektionssager Bygningssager

Vis Vis Søg

Nye

Nr.	Status	Bygning	Beskrivelse	Medarbejder	Handlinger
146381	Ny / Forfalden	Fr.Bajersvej 07C	Thomas Bak (99408701, tba@es.aau.dk) - Fr.Bajersvej 07C, 1.106 - Campus Aalborg - Områdehåndværker Aalborg Bygning - inventar - Rullegardin i stykker Fejlmelding (Oprettet den: 11-08-2017 09:37)	Ingen	
146619	Ny / Forfalden	Niels Jernes Vej 14, NOVI 3-4	Henrik Bøggild (51417858, boggid@hst.aau.dk) - Niels Jernes Vej 14, NOVI 3-4, sydside, 1. sal - Campus Aalborg - Områdehåndværker Aalborg Det er for varmt - Varme - Der bliver meget varmt i sydveste lokaler når solen står på sydsiden af bygningen! Vi har tænkt om der ikke kan sættes varmeafvisende folie på de indvendige glasfacader til kontor- og mødelokaler (fra 3-222 til 3-210) for at mindske varmestråling? Fejlmelding (Oprettet den: 06-09-2017 12:28)	Ingen	
146783	Ny / Forfalden	Selma Lagerlöfs Vej 300	Jørgen Aarestrup (9473, jaa@its.aau.dk) - Selma Lagerlöfs Vej 300, 4.1.50 - Campus Aalborg - Områdehåndværker Aalborg Det er for varmt - Varme - Der bliver meget varmt i sydveste lokaler når solen står på sydsiden af bygningen! Vi har tænkt om der ikke kan sættes varmeafvisende folie på de indvendige glasfacader til kontor- og mødelokaler (fra 3-222 til 3-210) for at mindske varmestråling? Fejlmelding (Oprettet den: 15-09-2017 14:32)	Ingen	
146830	Ny / Forfalden	Fr.Bajersvej 07B.2	Claus Vestergaard Skipper (99408718, cv@es.aau.dk) - Fr.Bajersvej 07B.2, 5.108 - Campus Aalborg - Områdehåndværker Aalborg Bygning - inventar - Afdækning i vinduesfælde er faldet ned Fejlmelding (Oprettet den: 20-09-2017 08:43)	Ingen	
146915	Ny / Forfalden	Niels Jernes Vej 6B	Kim Kristensen (7540, kik@adm.aau.dk) - Niels Jernes Vej 6B, udenfor - Campus Aalborg - Områdehåndværker Aalborg Andre fejl - Metal lågen trænger til at blive justeret, den er svær at åbne Fejlmelding (Oprettet den: 27-09-2017 08:41)	Ingen	
146950	Ny / Forfalden	Fr.Bajersvej 07H	Kasper Skytte Andersen (50554332, ksa@bio.aau.dk) - Fr.Bajersvej 07H, 3.401 - Campus Aalborg - Områdehåndværker Aalborg Støjgener - Døren knirker! Fejlmelding (Oprettet den: 27-09-2017 14:59)	Ingen	
146965	Ny / Forfalden	Niels Jernes Vej 8A	Jan Hansen (21205691, jha@adm.aau.dk) - Niels Jernes Vej 8A, 0.07 - Campus Aalborg - Områdehåndværker Aalborg Andre fejl - Vand og afløb - Vand under vaskemaskine Fejlmelding (Oprettet den: 28-09-2017 12:39)	Ingen	
147016	Ny	Fr.Bajersvej 03B	Preben Sindalen (3977, psi@hst.aau.dk) - Fr.Bajersvej 03B, G1.104 - Campus Aalborg - Områdehåndværker Aalborg Andre fejl - Bygning - inventar - Gulvet (vinyl) revner lige inden for døren således der trænger vand ind under og det buler op Fejlmelding (Oprettet den: 03-10-2017 12:51)	Ingen	
147032	Ny	Fr.Bajersvej 07B.1	Claus Vestergaard Skipper (99408718, cv@es.aau.dk) - Fr.Bajersvej 07B.1, 3.107 - Campus Aalborg - Områdehåndværker Aalborg Andre fejl - Der drypper vand fra vinduesfuge i mellem bygning Fejlmelding (Oprettet den: 04-10-2017 12:28)	Ingen	

Første Forrige 1 Næste Sidste

Igang

Nr.	Status	Bygning	Beskrivelse	Medarbejder	Handlinger
144700	Igang /	Fr.Bajersvej 07H	Reinhard Wimmer (8518, rw@bio.aau.dk) - Fr.Bajersvej 07H, 1.514 - Campus Aalborg - Områdehåndværker Aalborg Det rummer mest vand fra indtæt - Vandet er afløb - Ved stærk regen rummer det fra indtæt nå at hurtigt start. Folk der kan udsætte! Reinhard Wimmer Christian Heit Malene Rønne Michael Overgaard	Jan Michael	

Figur 6-56-5 Eksempel på håndværkerens skærbillede i BS via pc – modtaget ved observation

BS giver således den enkelte håndværker, overblik over alle hans sager. Hertil kan håndværkeren foretage handlinger som igangsættelse- eller færdigmelding

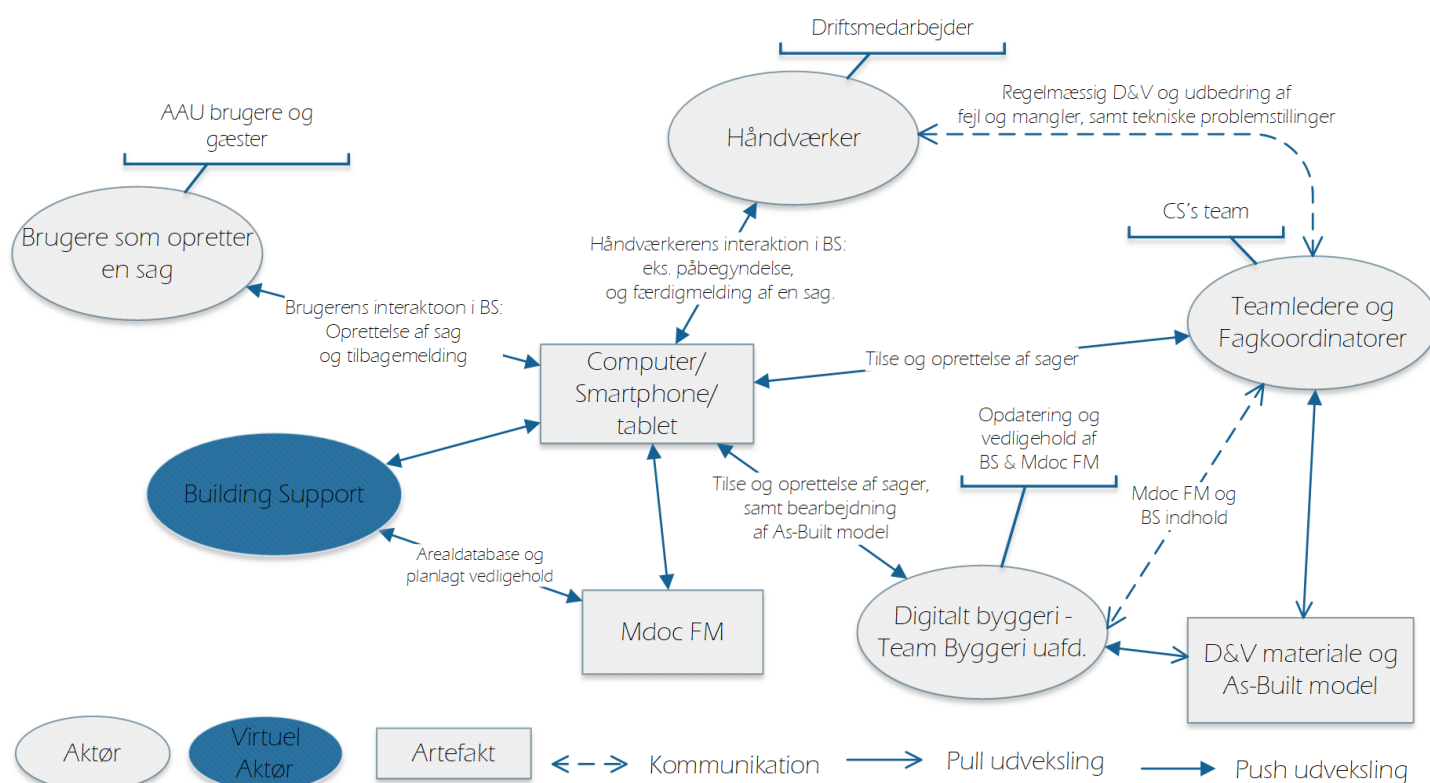


af en sag, direkte i BS enten via pc'en eller telefon. Nye sager bliver løbende opdateret i BS, hvilket er tidsbesparende for håndværkeren. Hvis han eksempelvis bliver færdig med en sag i et område, kan denne efterfølgende hurtigt via telefonen, tjekke op på nye sager, indberettet i samme område. Herudover kan notifikationer med vedhæftet billede, muliggør at håndværkeren på forhånd kan vide, hvilke reservedele, han skal medbringe. Således undgår håndværkeren flere ture, og fejlmeldinger bliver tidligere udbedret. De to håndværkere som jeg observerede, anvendte dog kun BS via pc'en, hvor de hertil planlagde deres rute, ved at nedskrive diverse sager på papir til gennemgang, og herefter færdigmelde dem igen via pc'en tilbage på kontoret.

Den **anden del** af Artefakt modellen, omhandler artefakter som anvendes af håndværkeren, i selve udførelsen/udbredelsen af sager. Håndværkeren bruger varevognen til transport mellem sager. Bag i varevognen, har håndværkeren forskellige værktøjer og maskiner, en værktøjskasse, en sammenfoldelig stige og materialer til hurtig udbedring. Herudover er ekstra materialer og udstyr/værktøjer tilstede i et opbevaringsrum, hvor håndværkeren kan hente de nødvendige materialer til dagens rute.

6.2 KOMMUNIKATION OG OPGAVESTYRING

I forbindelse med analyse af den nuværende arbejdsproces hos CS, er en workflow model udarbejdet (se nedenstående Figur 6-6). Formålet er at belyse roller, kommunikation og informationshåndtering vedrørende drift- og vedligeholdelsesopgaver. Modellen skaber et billede af samarbejdet og relationer mellem roller, samt anvendelsen af artefakter.



Figur 6-6-6 Workflow model - Nuværende arbejdsproces

Modellen består af følgende aktører og artefakter, som udgør en del af den nuværende arbejdsproces vedrørende daglig D&V:

- **Håndværkere og teknikere** er driftsmedarbejdere, som praktisk er ude for at foretage ejendomsdrift og vedligehold, samt udbedring af fejlmeldinger.
- **Brugerne** som dagligt anvender ejendommene, som bl.a. er studerende, AAU's ansatte og udefra kommende gæster.
- **Teamledere og fagkoordinatorer** er driftspersonale som bl.a. har ansvaret for at lede og planlægge systematisk vedligeholdelse, foretage bygningssyn, driftsbudgetter, energiforbrug, kontrollerer og koordinerer arbejdet, overholdelse af myndigheds- og arbejdsmiljøkrav mm. Heri indgår fagkoordinatorer for diverse fagdiscipliner, og teamledere for afdelingerne.
- **Digitalt byggeri** er en underafdeling til Team Byggeri, og sørger for alt arbejdet med digitalt byggeri. Hertil opdatering og vedligehold af BS, Mdoc



FM og As-Built materiale. Ændringer og opdateringer i As-Built modellerne, bliver foretaget her, som eksempelvis kan være sammensætning af to rum, eller ændring af et rums funktionalitet.

- **Virtuel Aktør – Building Support:** Automatisk tildeling af opgaver, til retmæssig håndværker, og tovejs kommunikation med både brugere og driftspersonalet.

Artefakter er de objekter og værktøjer, som aktørerne anvender i processen:

- **Mdoc FM:** Mdoc FM anvendes af CS som deres hovedserver/database, og er således en værktøjs artefakt som lagre informationer om bygningers D&V, planlægning og styring.
- **D&V materiale og As-Built model:** D&V materiale og As-Built modeller for campusområdets byggerier, som leveres ved afleveringsforretning.
- **Computer/smartphone:** Både BS og Mdoc FM kan tilgås via computeren, smartphones eller tablets.

Relationerne beskriver kommunikationen og vidensdelingen iblandt aktørerne, og hvordan artefakter bliver anvendt iblandt dem. Herudover giver det også et overblik over artefakternes sammenkobling:

- **Håndværker ↔ Teamledere og fagkoordinatorer og håndværker ↔ Brugere:** Som beskrevet i foregående afsnit, så foregår brugernes fejlmeldinger og efterfølgende kommunikation med håndværkerne igennem BS. Udover personlige henvendelser og telefonisk kommunikation, så foregår størstedelen af kommunikationen iblandt driftspersonalet og håndværkerne, vedrørende drift- og vedligeholdelsesopgaver, ligeledes også igennem BS. Dette betyder at BS fungere som et notifikationscenter iblandt alle brugere, håndværkere og driftspersonalet. Således er BS indsat som en virtuel aktør, da applikationen automatiserer processen med tildeling af opgaver,



til enkelte fagdiscipliner/håndværkere, og formidler tovejs kommunikation i form af notifikationer.

- **BS ↔ Mdoc FM:** Mdoc FM er integreret med BS, som både en arealdatabase og til tildeling af planlagte opgaver igennem BS. BS anvender bl.a. informationer om campusområdets adresser, arealer, rum numre, funktioner mm. både til fejlmeldinger og systematisk vedligehold. Det er tovejs samarbejde, da opgaver som bliver færdigmeldt igennem BS, bliver opdateret i Mdoc's opfølgning.
- **Digitalt byggeri ↔ Teamledere og fagkoordinatorer:** Underafdelingen digitalt byggeri sørger for, i samarbejde med teamledere og fagkoordinatorer, at opdaterer D&V materiale i Mdoc FM, heri også As-built modeller, samt service af både BS og Mdoc FM. Begge afdelinger har mulighed for at foretage ændringer i Mdoc FM og BS. Krav og behov til levering af D&V materiale og As-built modelleres indhold, i forbindelse med etablering af nye bygninger, sker også i samarbejde med hinanden.

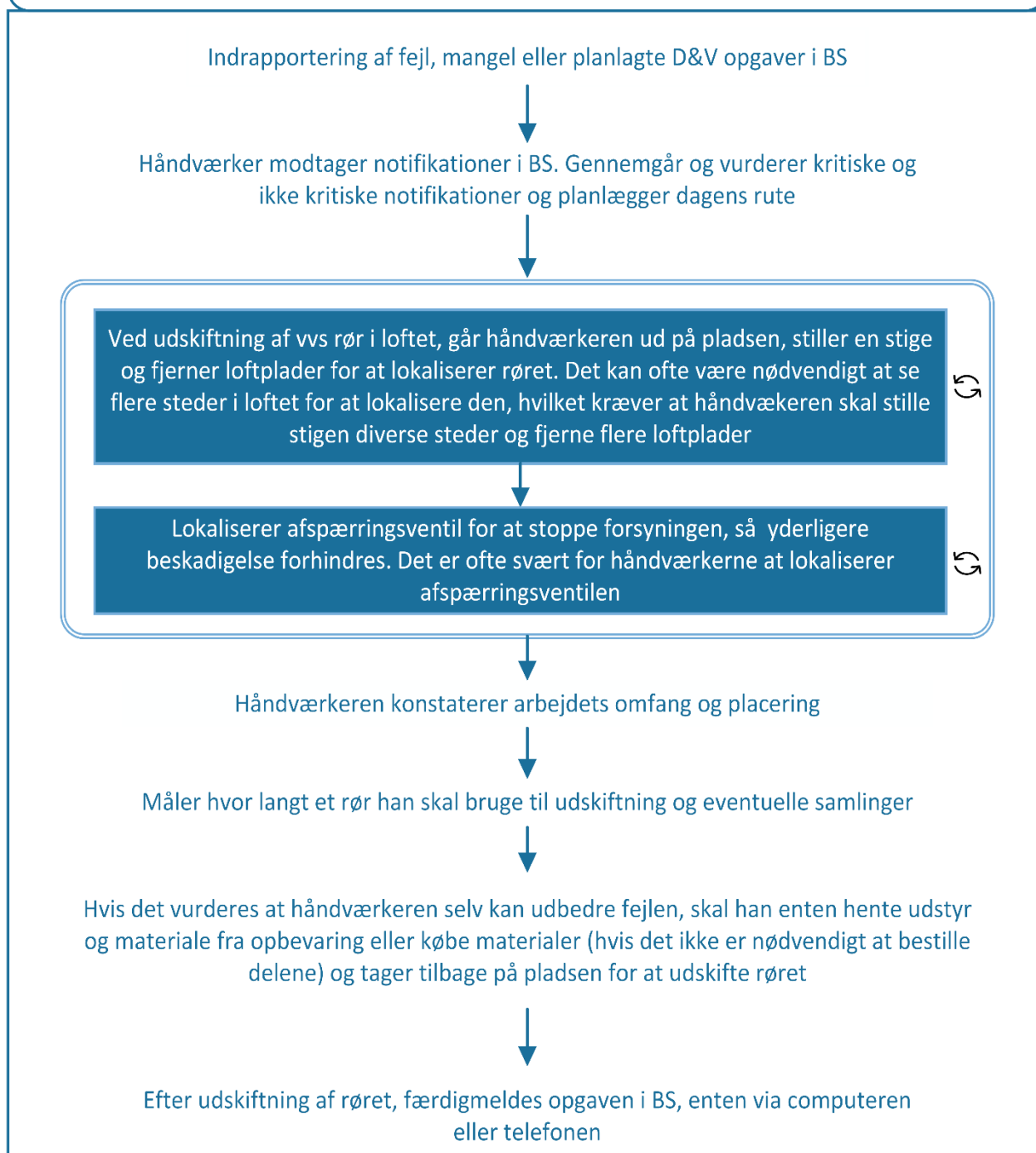
6.3 HÅNDVÆRKERENS ENKELTE HANDLINGER

For at analysere, og forsøge at ændre eller optimere en arbejdsproces, medfølger der først en forståelse af hvilke handlinger, den nuværende arbejdsproces indebærer. Herefter vil det være muligt, at opdage potentialer for om eventuelle handlinger kan ændres eller helt fjernes, mens den samlede proces stadig medvirker til samme formål, uden at forringe slutresultatet.

I forbindelse med at undersøge om AR kan give værdi i drift- & vedligeholdelsesarbejde, er en sekvensmodel udarbejdet, for at kortlægge et scenarie af håndværkerens nuværende arbejdsproces. Processen med udskiftning af et vvs rør, er medtaget som et eksempel (se nedenstående Figur 6-7). Modellen belyser hvordan håndværkeren praktisk udfører arbejdet, og hvilke handlinger der foretages igennem processen, for at illustrerer mulighederne for anvendelse af AR.

Modellen er udarbejdet på baggrund af observationer, samt dialog med håndværkerne, og afspejler således håndværkernes erfaringer.

Hensigt: Håndværkerens proces i udskiftning af et vvs rør



Figur 6-7 Sekvensmodel - Nuværende arbejdsproces - Udskiftning af vvs rør



Arbejdsprocessen starter ud med, at der i BS bliver indrapporteret fejl, mangel eller planlagte vedligeholdelsesopgaver. Håndværkeren modtager notifikationer i BS, hvorefter han gennemgår dem, hertil kritiske og ikke kritiske, for at planlægge dagens rute. Det er forskelligt fra den enkelte håndværker, om rutens lokationer og opgaver bliver nedskrevet på papir eller om BS bliver anvendt via telefonen. Igennem observationsdagene, nedskrev håndværkerne ruten på papir, som blev anvendt som en tjekliste, og blev efterfølgende op fulgt i BS via computeren.

Udløserne igennem arbejdsprocessens handlinger, er markeret med blå, som indikerer en vigtig handling for processen, og hvor der foretages gentagelser. **Den første** opstår når håndværkeren står på pladsen, og skal lokalisere røret, i loftet. Dette sker ved, at håndværkeren stiller en stige, og fjerner loftplader, hvor det ofte er nødvendigt, at se flere steder. Det medfører at håndværkeren skal bruge tid på, at stille stigen diverse steder, og fjerne loftpladerne, indtil røret er fundet.

Før det er muligt at udskifte røret, er det nødvendigt at stoppe forsyningen som kræver, at afspærringsventilen skal lokaliseres. Her påbegynder den **anden udløser**, da håndværkerne har tilkendegivet at afspærringsventilen ofte er svær at finde, da der ofte er placeret få af dem i bygningen. Håndværkerne bruger en del tid på at finde afspærringsventilen, og samtidig sikre at det er den korrekte, da ventilerne er zonefordelt. Herudover skal der tages forbehold til om den specifikke zone, ikke indebærer kritiske rum som eksempelvis et laboratorium.

Herefter konstaterer håndværkeren arbejdets omfang og placering. Opmåler hvor lang et rør der skal bruges, og om eventuelle samlinger eller bæringer skal anvendes. Hvis det vurderes at håndværkeren selv kan udføre arbejdet, og i tilfælde af at der ikke behøves at bestille materialer og udstyr, afhentes disse fra opbevaring. Tilbage på pladsen, bliver røret udskiftet, diverse loftplader ophænges igen, og arbejdet færdigmeldes i BS.

I begge ovenstående situationer, hvor håndværkeren skal lokalisere et specifikt objekt, kan AR anvendes, og muliggøre at objekterne hurtigere bliver fundet, og dermed spare håndværkeren tid og besvær. Det kan eksempelvis være, at objekterne bliver fremhævet i AR og derefter dirigerer håndværkeren frem. I forbindelse med afspærringsventil, vil det være en fordel for håndværkeren, udover at lokalisere denne, men derefter få belyst ventilens zoneinddeling, og zonernes rumkategorier.

6.4 IDENTIFICERING AF HVOR AUGMENTED REALITY KAN ANVENDES I D&V

Det var en stor fordel at områdehåndværkeren har en bred ekspertise, inden for flere fagdiscipliner, som eksempelvis ventilation, vvs og el. Dette gav mulighed for dialog om anvendelsen af AR, i forhold til flere fagområder. Områdehåndværkeren er den ansvarlige, og det er derfor op til ham, at sørge for at de nødvendige midler og ressourcer er tilstede, for de enkelte håndværkere. Herudover var det en fordel, at VVS håndværkeren fysisk arbejder med, at udbedre fejl og servicere bygningerne dagligt. Udefra egne observationer, samt dialog med håndværkere og driftspersonale, er følgende scenarier opstillet, som mulige eksempler på hvor AR kan anvendes, i forbindelse med D&V hos CS, ud over arbejdsprocessen fra forrige afsnit 6.3:

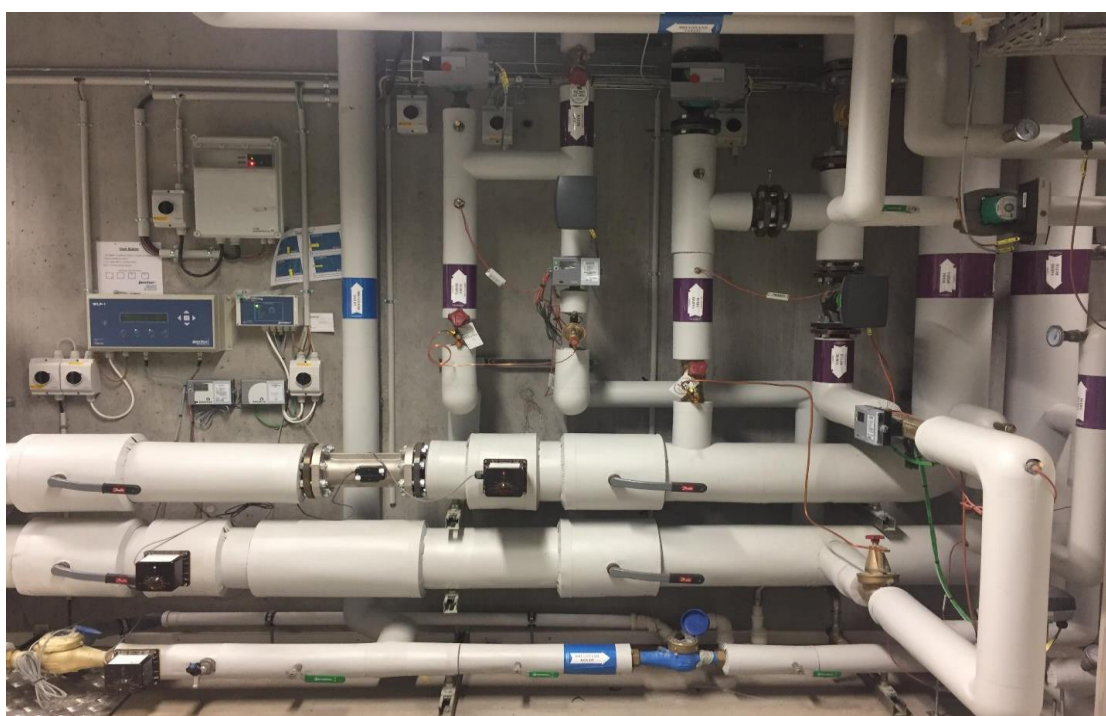
- 1. Scenarie:** Der havde været en stor vandskade, i en af de ældre bygninger, hvor en varmeplade i ventilationsaggregatet var sprunget. Siden det er en ældre bygning, blev skaden opdaget sent. Det var nødvendigt at nedrive diverse skadesramte bygningsdele (både vægge, lofter og vinduer) og tekniske installationer (se Figur 6-10). AR kunne i dette tilfælde



Figur 6-10 Fjernet loftplader og nedrevet indervægge ved udbedring af vandskade. Billede taget ved observation

anvendes, til at se hvad der skjulte sig bag nedhængte lofter, inden loftpladerne blev fjernet, eller til at se skjulte rør og ledninger i vægge, inden de blev nedrevet. Hertil kan der også fremvises diverse bygningsdeles materievalg, dimensioner og type, ved bestilling eller afhentning af nyt materiale.

2. **Scenarie:** Det er ofte svært for håndværkerne at lokalisere placering af brandspjæld på ventilationsrør. De skal testes hver uge, og de skal tilses fysisk en gang om året. Det samme gælder hvis den ugentlig test forglemmes, eller der opstår fejl igennem testen. Hertil kan AR også anvendes til at finde ventilations varme- og køleflader, samt kende placering af befugter/dampspyd på en ventilationskanal.
3. **Scenarie:** Både omkring ventilation og vvs, kan AR anvendes til at visualisering af rørføringen og forsyningsretningen, om det er oppe- eller nede fra eller fra rummene ved siden af. Håndværkerne har brug for at vide luftstrømmens- (udsugning eller indblæsning) og vandforsyningsretning, samt hvor og hvad de enkelte rør forsyner, da det er svært at vide hvor og hvad de enkelte rør og ledninger fører til, fra rummet de opholder sig i (se eksemplet fra Figur 6-11, fra et teknikrum).



Figur 6-11 Teknikrum, billede taget ved observation

Det kan eksempelvis være til et laboratorium, hvor det kan være kritisk, at slukke for forsyningen. Det gælder også hvis et rør skal omplaceres. Årsagen kan f.eks. være, at rummet skal have en anden funktion, og det derfor skal forsynes, fra et andet sted.

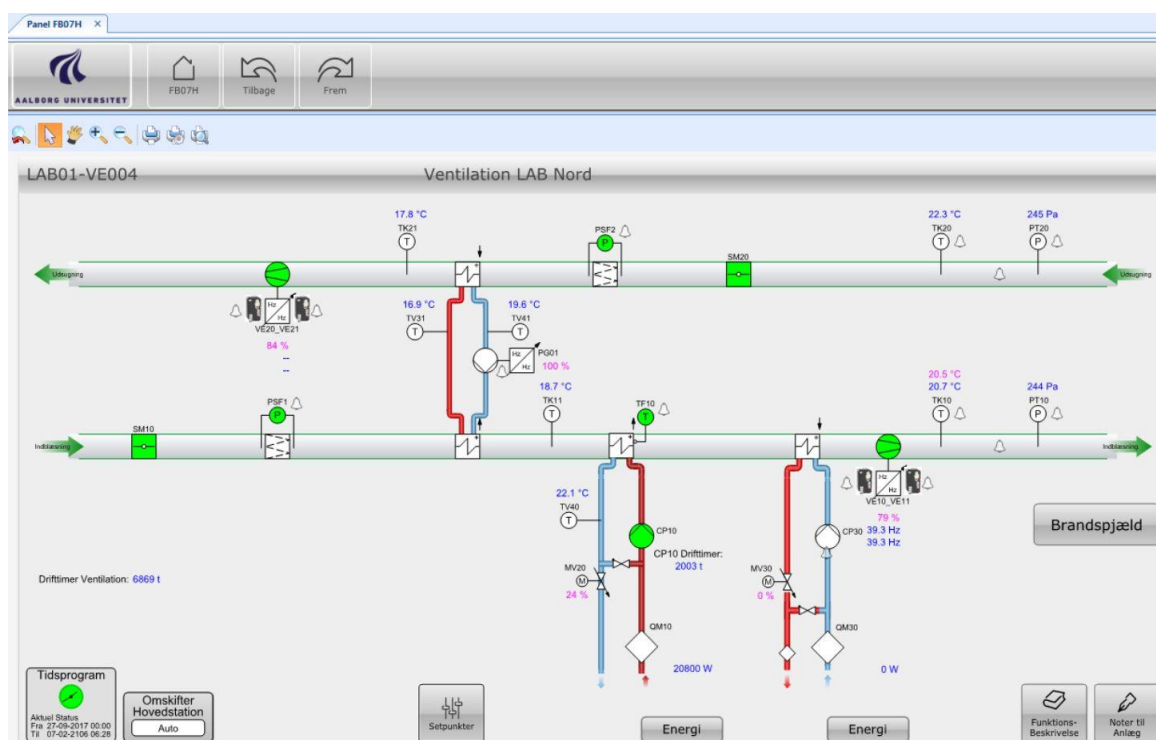
De fysiske rør og ledninger i byggerier, er markeret med små mærkater som indikere forsyningsretningen, med farvede pile og tilhørende tekst (se Figur 6-12).



Figur 6-12 Indikation af forsyningsretning. Billeder taget ved observation

4. **Scenarie:** Afspærringsventil som slukker for byggeriets enten varme- eller vandforsyning, er tit svært at lokalisere, da der oftest kun er placeret enten én eller få i bygningen, og de er herudover også zone fordelt. Dette bruger håndværkerne en del tid på at lokalisere, eksempelvis inden udskiftning af et rør eller en radiator.

- 5. Scenarie:** Tekniske installationers rørføring og komponenter, kan blive visualiseret igennem diagrammer. Et eksempel er ventilationsaggregaters rørføring og live drifts status, som bliver visualiseret med ventilationsdiagrammer, via et eksternt program (se venstre billede i Figur 6-13). Fremvisning af disse diagrammer i AR, vil hjælpe håndværkeren med service og driftsopgaver, da de bliver anvendt som styringsværktøjer, og til lokalisering af installationer. Styrings-/blandesløjfe kræver service og justering, og fremvisning af diagrammet kan forenkle denne proces. I ældre bygninger, går håndværkerne ofte ud fra hukommelse og erfaring, til at lokalisere denne. I nye byggerier som håndværkerne endnu ikke er bekendte med, anvendes 2D tegninger. På højre side i Figur 6-13 ses en blandesløjfe fra et teknikrum, denne kan også være placeret i loftet.



Figur 6-13 Venstre: Ventilationsdiagram - Højre: Blandesløjfe i teknikrum. Billeder taget ved observation



6. **Scenarie:** Sprinklere skal fysisk serviceres hvert kvartal, og AR kan anvendes til at lokalisere føringsvejene i nedhængt loft.
7. **Scenarie:** Omkring kloak og spuling af rør, kan AR anvendes til at visualiserer afløbet, fra eksempelvis toilettet og ud til samlebrønd, for at vide hvor slamsugeren skal stå.
8. **Scenarie:** Udefra kommende teknikere, håndværkere eller servicemedarbejdere, som ikke er bekendte med byggerierne, vil hurtigere kunne skabe overblik, bl.a. over installationers placering og omfang.
9. **Scenarie:** AR til gennemgang for fejl og mangler af CS personale, ved afleveringsforretning af nye etablerede byggerier. Applikationen kan eksempelvis anvendes til at vide, om det rette antal stikkontakter er placeret, som det blev bedt om ved projekteringsfasen. Dette vil være muligt, ved en sammenligning af bygningsmodellen med den fysiske bygning, igennem AR.
10. **Scenarie:** CS kan anvende AR til undersøge om et rum kan have en bestemt funktionalitet. Igennem applikationen kan de have mulighed for, at forhåndsviser møbler og inventarer i et rum, for at visualisere om rummet passer til formålet, og hvordan det eventuelt kan indrettes.

De ovenstående scenarier, danner grundlag til følgende 3 grundlæggende funktioner, ved udvikling af AR værktøjet:

1. Visualisere installationernes og bygningsdeles placering, for at skabe overblik
2. Gøre det nemmere at lokalisere specifikke installationer, ved at fremhæve installationer efter behov



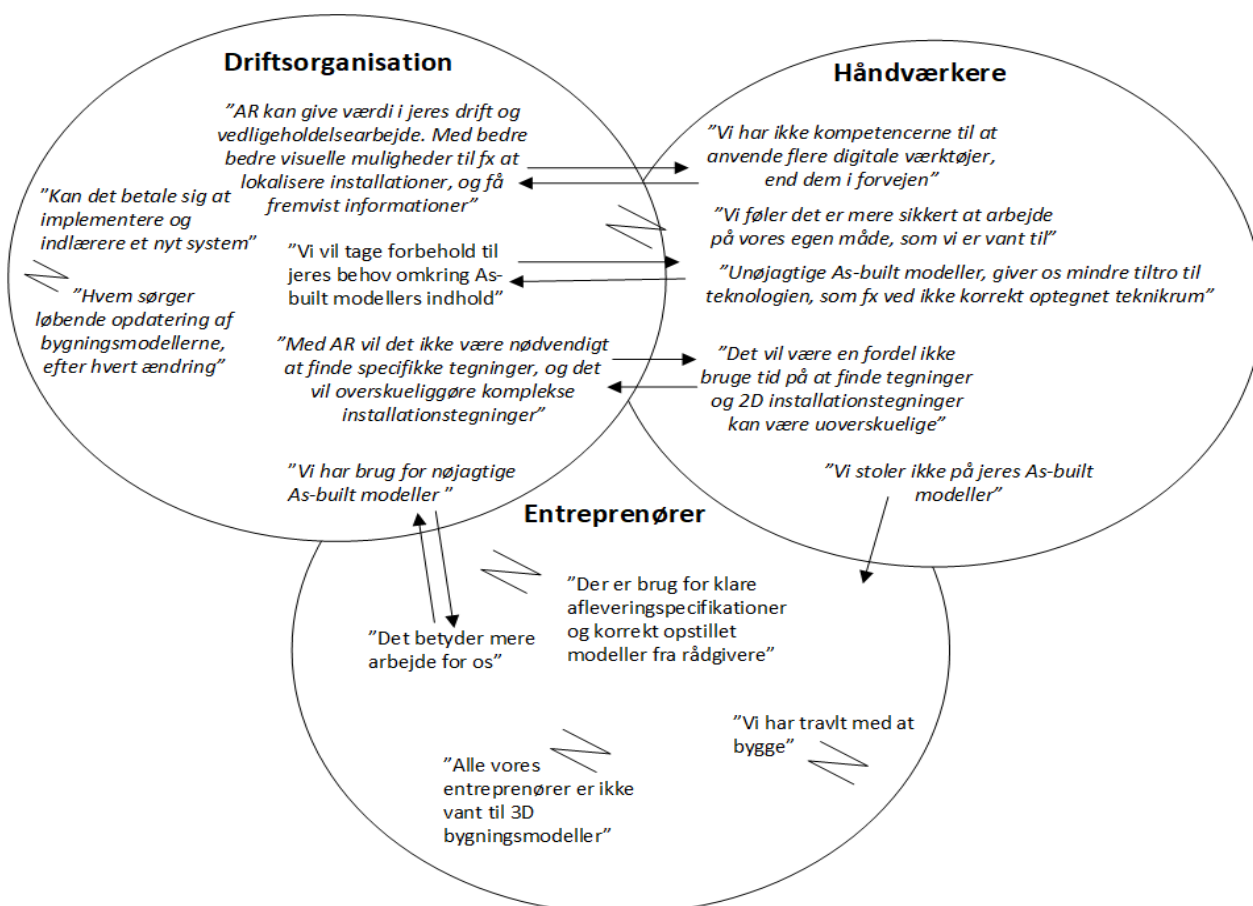
3. Tilgængeliggøre relevante byggetekniske informationer for håndværkeren

2D tegninger gør det vanskeligt at præsentere de rumlige forhold og placering af bygningsdele- og installationer. Første funktion omhandler visualisering af bygningsmodellens- installationer og bygningsdele. For at give overblik, over rørføringer og placering af komponenter.

Anden funktion er udvalgt, da håndværkeren ofte har svært ved at lokalisere specifikke tekniske installationskomponenter, som f.eks. brandspjæld, blandesløjfer og ventiler. Det vil derfor være en fordel, at fremhæve specifikke installationer, efter behov.

Håndværkerne gør brug af information fra forskellige fagområder, og når der skal findes informationer om specifikke elementer, skal de ud fra et stort antal dokumenter og tegninger, finde de oplysninger. Tredje funktion drager således nytte af data fra bygningsmodellerne, og supplere håndværkerens synsfelt med relevante data tilknyttet installationsobjekter, om eksempelvis dimension, type og fabrikant.

6.5 KULTURELLE PERSPEKTIV



Figur 6-14 Kulturmodel

Afsnittet omhandler de kulturelle perspektiver i henhold til anvendelsen og implementeringen af AR, hos CS. Modellen tager udgangspunkt i følgende aktører:

- Håndværkere
- Entreprenører
- Driftsorganisation

I modellen er CS placeret som driftsorganisation, der fungerer som en driftsherrefunktion, og hertil repræsenterer også de interviewede driftspersonale, som dagligt arbejder med D&V, Mdoc-FM og BS. Ligeledes er



håndværkere de observerede personer, som tidligere nævnt i rapporten. Dog er entreprenører ikke fastsatte firmaer eller personer, da de kan varierer fra projekt til projekt, og modellen ser således på et generelt samarbejde, omkring As-built materiale.

Konflikter i ovenstående kultur model (se ovenstående Figur 6-14) omhandler As-built modellers indhold, løbende opdatering og vedligehold af modellerne til AR, samt håndværkernes it kompetencer og arbejdsvaner.

Foregående afsnits scenarier, beskrev hvordan AR kan anvendes, i forbindelse med D&V. Men før at AR kan anvendes og give værdi som et supplerende værktøj, er det en forudsætning, at As-built modeller er nøjagtige og fyldestgørende. Igennem observationsdagene og interviews med driftspersonalet, blev As-built modellers indhold ofte omtalt:

”... Jamen de As-built modeller er ikke nøjagtige... Vi har oplevet af at visse ting ikke er tegnet ind, og omvendt at visse ting er tilstede i bygning, men ikke i tegningerne...” Anonym deltager

Både driftspersonalet og håndværkerne har ofte oplevet, at As-Built modeller ikke altid passer med det virkelige, og omvendt hvor noget ikke altid findes i modellerne. Det er eksempelvis teknikrummet, som ikke er opbygget efter modellen, afspærringsventiler som enten ikke er modelleret eller ikke stemmer overens med modellens placering. Disse typer af problemstillinger vanskeliggøre deres planlægning og tidsforbrug af aktiviteter, samt skaber mistillid til modellerne.

CS gør en stort indsats, på at specificere bygningsmodellers indhold, D&V's materiale, samt filtrering og strukturering af informationer. CS oplister hvilke parametre, de enkelte bygningsdele i modellerne skal indeholde. Rådgivere skal eksempelvis indtaste bygningsdeles brandklassifikationer, u-værdier, bæreevner



mm. Alle oplyste parametre af CS, er ønsket navngivet først "AAU_" og efterfølgende parameternavnet- som eksempelvis for en bygningsdels u-værdi: AAU_U_Value. Det giver således CS mulighed for, at udpege alle informationer, de selv har efterspurgt, så de efterfølgende er nemmere at identificere.

Entreprenører får udleveret et D&V skema i et Excel format, med punkter som CS har oplyst. Dem skal entreprenørerne udfylde, samt tilføje andre relevante informationer. Udfyldte skemaer bliver vurderet af CS, og relevante informationer om D&V, som skal indtastes i FM systemet bliver udvalgt. Således muliggør CS at filtrere og strukturere D&V materialet til FM systemet. Samtidig sørger de for at entreprenørerne på forhånd ved, hvilke informationer de skal have klargjort ved aflevering. Udvalgte punkter fra skemaerne bliver herefter oprettet i Mdoc FM, manuelt af CS, og efterfølgende giver entreprenørerne begrænset adgang i systemet, til at udfylde resterende data som f.eks. enheder, stykpriser, levetid og eventuelle beskrivelser.

Ud over konflikter omkring As-built modeller, er der også bekymringer omkring løbende vedligeholdelse og opdatering af modeller, efter hver ændring. Hvis AR skal anvendes i D&V, vil det betyde at modeller hele tiden skal opdateres for hver ændring, som kræver meget tid, ressourcer og en stærk selvdisciplin. Eksempelvis ved omplacering af et rør, eller udskiftning af armatur og komponenter, kræves det at bygningsmodellen og komponenters informationer bliver opdateret. På nuværende tidspunkt, er der kun én person hos CS, som opdaterer modellerens indhold.

Visionen om implementering af AR, vil betyde for nogle medarbejdere at stifte bekendtskab, med noget de ikke har benyttet før, hverken på arbejdet eller privat. Alle medarbejdere er forskellige, med forskellige kompetencer inden for brugen af it, der skal derfor gøres opmærksom på at:

- Teknologien er ikke bedre, end de brugere der anvender den.



- Visse ældre håndværkere, er rigtig dygtige til deres håndværk, men har muligvis ikke mange it-kompetencer.

Håndværkere som ikke ofte anvender digitale værktøjer, kan det være en relativ stor ændring i deres arbejdsproces. De observerede håndværkere, benytter eksempelvis ikke telefonen til at gennemse eller færdigmelde sager i BS. Dette bliver gjort ved at nedskrive dagens rute på papir, som bliver anvendt som en tjekliste, i stedet for at bruge BS. Selvom de begge kunne se fordele, i at BS ville forenkle deres arbejdsproces, så var de mere trygge, ved at gøre det på deres egen måde. Teknologiens udvikling og implementering, skal således ske i tæt samarbejde med brugerne (håndværkere og driftspersonale), for at skabe tillid og viljen til at anvende teknologien.

7 PROBLEMFORMULERING

På baggrund af det indledende- og problembeskrivende afsnit, omkring den teknologiske udvikling og potentialer i økonomiske besparelser i driftsfasen, af et byggeri, og identificerede scenarier for brugen af AR i forbindelse med D&V. Så undersøger specialet mulighederne, for at anvende AR, i forbindelse med håndværkerens arbejdsproces, og hertil er følgende problemformulering opstillet.

Hvordan kan Augmented Reality supplere håndværkerens arbejdsproces, til drift- og vedligeholdelsesarbejde?

8 METODE

I specialet anvendes både kvalitative- og kvantitative data. Primære data indsamles ved brugen af den kvalitative metode, med det formål at indsamle ikke-målbare informationer, omkring teknologiens muligheder, via interviews, observationer og test. Specialets sekundær datakilder, vil bestå af videnskabelige litteraturstudier, som skal udgøre det teoretiske grundlag, og



give læseren et grundlæggende indblik i underemner, relateret til hovedproblemstillingen.

8.1 INTERVIEWS OG OBSERVATIONER

Med udgangspunkt i valgte casestudie, vil data om arbejdsprocesser, holdninger og potentialer for at anvende AR i driftsfasen, blive indsamlet og bearbejdet i form af interviews og observationer. Interviews samt dele af observationer bliver lydoptaget, så det senere er muligt at analysere.

Specialet gør brug af personlige interviews, hvor deltagere er afklaret med formålet samt undersøgelsen. Hertil vil den åbne interviewmetode anvendes, det er kendetegnet ved at bruge en temaramme, som udgangspunkt til interviewsene. Interviewerne skal i denne form for interviews, løbende sørge for både at lytte og fortolke de givne svar, og efterfølgende stille uddybende spørgsmål. Informanter vil være relevante personer, involveret i casestudiet, og forløbet vil foregå i en ikke-formel og åben dialog. Et antal ledende spørgsmål, inden for det givne tema, vil være forberedt på forhånd, og informanterne vil således igennem deres svar styre interviewet, med mulighed for at stille uddybende spørgsmål.

"Find the work issues behind design ideas" (Beyer Hugh 1998)

For at indsamle tilstrækkelige data omkring, de nuværende arbejdsprocesser i casestudiet, anvendes observationsmetoden, som en del af den tidligere beskrevet brugercentreret designproces - Contextual Design (afsnit **Fejl! Henvisningskilde ikke fundet.**). I samarbejde med casestudiet, vil relevante deltagere blive identificeret til hele dages observationer, og dermed relatere og indleve mig i dagligdagens arbejde. Ligeledes med interviews, vil en række ledende spørgsmål, inden for det oplyste tema være forberedt, og deltagerne vil således via deres svar styre forløbet. Observationer vil foregå i en ikke-formel



og åben dialog, for at skabe en rolig stemning, så holdninger frit kan udtrykkes. Deltagere vil være afklaret med formålet, hvor en grundlæggende introduktion af emnet vil finde sted, og efterfølgende mulighed til at stille spørgsmål. Igennem observationer vil det være muligt, at få et indblik i hvordan deltagerne arbejder, tale om arbejdet, udvikle en fælles forståelse om vigtige aspekter af arbejdets tilgang, med fokus på eget formål, og dermed identificere optimeringspotentialer med AR.

Planlægning og styring af D&V, samt de mere tekniske områder omkring samarbejdet og informationshåndtering, vil blive belyst via interviews. Hvor observationer vil give et indblik i hvordan, D&V praktisk bliver udført. Således kan optimeringsmuligheder og barrierer blive vurderet fra forskellige synsvinkler og perspektiver. Indsamlet materiale fra både interviews og observationer, i form af noter, billeder, lyd- og videooptagelser, vil blive anvendt til at understøtte analysearbejdet og de konklusioner der udtrages.

8.2 TEST

For at sikre en veldokumenteret undersøgelse, vil en test med AR blive foretaget, med henblik på at identificerede hvordan teknologien kan supplere håndværkernes deres daglige arbejdsgange. Hertil vil der udarbejdes prototyper, baseret på fundne behov fra feltundersøgelsen, og disse vil evalueres med relevante testpersoner fra casestudiet. Dette vil danne basis for bud på, hvordan arbejdsprocesserne omkring D&V kan optimeres, ved at implementerer AR, som et supplement til håndværkerens værktøjer.

For at få et virkelighedsnært billede, af hvordan AR kan anvendes i driftsfasen, tager specialets testforløb, udgangspunkt i et af casestudiets egne byggerier. Testforløbet bliver udarbejdet på baggrund Interaction Designs retningslinjer for udarbejdelse af prototyper og evalueringsformer. Næste afsnit 8.3 beskriver teorien bag Interaction Design.

Anvendelse af casestudie samt udarbejdelse af tests, vil muliggøre at komme med løsningsforslag, som er både fagteoretisk og praktisk begrundende



Forløbet vil blive videooptaget, til indsamling af kvalitative data, til den efterfølgende analyse, og præsentation af resultater.

8.3 INTERACTION DESIGN

Dette afsnit er baseret på bogen: Interaction Design: Beyond Human-Computer Interaction, 4th Edition retningslinjer (Preece et al. 2015)

Interaction Design er en betegnelse for udvikling af interaktive systemer eller produkter:

“Designing interactive products to support the way people communicate and interact in their everyday and working lives.” (Preece et al. 2015)

Designprocessen består overordnet af 4 iterative aktiviteter:

1. Behov og krav afklaring med brugere
2. Design af alternativer
3. Udarbejdelse af prototyper
4. Afprøvning og evaluering af prototyper

Designprocessen er brugercentreret, og involverer brugerne af systemet fra start til slut, og således er processen også karakteriseret via følgende 3 principper:

1. Brugere bør være involveret igennem hele udviklingsprocessen
2. Specifikke Usability goals, bør være identificeret, klart dokumenteret og aftalt ved opstart
3. Gentagende og iterativ tilgang, til de ovennævnte 4 aktiviteter, er uundgåeligt

Interaction Design fremlægger nogle retningslinjer, hvor hovedformålet er at undersøge hvordan brugernes interaktion med systemet optimeres, så det understøtter brugernes aktiviteter på effektive og brugbare måder. Dette gøres



ved at have undersøge, hvordan brugerne udføre en specifik opgave med systemet, og derved identificerer effektivitet og oplevelsen af systemet. Effektivitet og oplevelsen af systemer beskrives som usability- og user experience goals, på dansk bliver dette betegnet som mål for brugeroplevelsen. Den danske it-brugervenligheds specialist, Jakob Nielsens definition på brugeroplevelses mål eller usability goals (Nielsen 1993), er i Interaction Design bogen redefineret således:

- “Effective to use (effectiveness)
- Efficient to use (efficiency)
- Safe to use (safety)
- Having good utility (utility)
- Easy to learn (learnability)
- Easy to remember how to use (memorability).” (Preece et al. 2015)

Identificering af behov:

Første aktivitets formål er at identificere og analysere, hvem brugerne er, og hvad er deres behov, krav og forventninger til systemet. For at tilpasse design af systemet til brugernes arbejdsprocesser, og identificerer hvilke funktioner systemet skal indeholde.

“Users’ tasks and goals are the driving force behind the development”

Her er følgende elementer som en udvikler bør tage betragtning i til at forstå brugerne:

- Tage hensyn til hvad brugerne er gode og dårlige til, ved at observerer og lytte til behov, og involverer dem i udviklingsprocessen.
- Overveje hvilke funktioner, som kan hjælpe brugerne nuværende arbejdsproces
- Undersøge hvordan der kan gives høj kvalitet af brugeroplevelser med systemet
- Bruge afprøvede og brugerbaseret teknikker under designprocessen.



Design af alternativer:

Hovedaktiviteten af processen om handler design, som er opdelt i 2 dele: konceptuel design og fysisk design. Konceptuel design af systemet, belyser hvilke funktioner systemets skal have, for at opnå de fundne usability goals fra forrige aktivitet. Fysisk design vedrører om systemets detaljer, som eksempelvis udseende og udformning af brugergrænsefladens funktioner.

Udarbejdelse af prototyper:

I dette aktivitet udarbejdes interaktive prototyper, som skal afprøves og evalueres af brugerne i en efterfølgende aktivitet:

"A prototype is one manifestation of a design that allows stakeholders to interact with it and to explore its suitability" (Preece et al. 2015)

Afhængigt af hvor langt systemet er i designprocessen, kan der udarbejdes forskellige typer. Prototyper bliver defineret som high- og low-fidelity, som beskriver nøjagtigheden af prototype, i forhold til det endelige resultat system. Low-fidelity prototyper er langt fra resultatet, og som skal illustrerer systemets funktioner på koncept niveau. Disse former for prototyper er nødvendige, tidligt i designprocessen, for fleksibelt at udforske ideer med brugerne. High-fidelity prototyper kræver en større arbejdsindsats, og ligner det endelige resultat af systemet. Disse prototyper kan eksempelvis, udarbejdes ved at gør brug af eksisterende software eller hardware, og modificerer disse til eget formål.

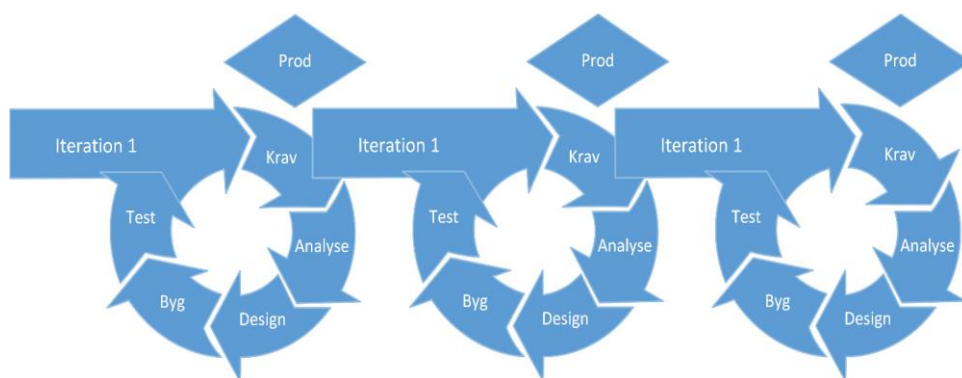
Afprøvning og evaluering af prototyper:

Evalueringen har til formål, at afprøve prototype af designforslag med brugere, og identificerer nye behov. Dette aktivitet evaluere, de udarbejdede prototyper med brugerne, i forhold til at undersøge opstillede kriterier af designforslagets funktioner eller usability goals og brugervenlighed. Evaluering med brugerne er nødvendigt, for at identificer optimeringsmuligheder for funktioner og

brugervenligheden, da systemet skal udvikles til disse, og således øger chancerne for at systemet bliver anvendt. Kriterierne kan evalueres på forskellige måder, som eksempelvis efter hvor mange fejl brugerne begår, eller hvordan brugerne løser en given opgave. Afhængigt af hvad der skal der afprøves, så er der 3 forskellige evalueringsformer:

1. **“Controlled settings involving users** (examples are laboratories and living labs): users’ activities are controlled in order to test hypotheses and measure or observe certain behaviors. The main methods are usability testing and experiments.
2. **Natural settings involving users** (examples are online communities and products that are used in public places): there is little or no control of users’ activities in order to determine how the product would be used in the real world. The main method used is field studies.
3. **Any settings not involving users:** consultants and researchers critique, predict, and model aspects of the interface in order to identify the most obvious usability problems. The range of methods includes inspections, heuristics, walkthroughs, models, and analytics” (Preece et al. 2015)

De 4 overordnet aktiviteter i Interaction Design, er således en iterativ fremgangsmåde, også kaldt agile fremgangsmåde. Denne fremgangsmåde er relevant, fordi at brugernes behov skal forsøges opfyldt, samtidig med at designere skal identificere alternative funktioner, baseret på behov. Hvilket kræver at nye løsninger skal afprøves gentagende gange, indtil tilfredsstillende og opnåelig resultat er fundet, som illustreret i Figur 8-1.





Anvendelsen af denne fremgangsmåde, giver designer/udviklere evnen til hurtigt at lave om på designet, ved at gøre brug af hurtige feedbacks fra brugerne. De kan dermed løbende vurderer og evaluerer forløbet, og behovsopsamle efter hvert iteration. Designere bliver igennem hele forløbet inspireret og dirigeret på rette spor, samt at resultatet giver mere værdig for brugerne.

III REDEGØRENDE & ANALYTISKE AFSNIT

Rapportens undersøgelse omhandler, udvikling af et AR værktøj, til håndværkerens daglige arbejdsgange, ved brug bygningsmodeller og AR teknologien.

Med udgangspunkt i forgående problemanalyse, er der fundet følgende emner, relaterede til hovedproblemstillingen. For at sikre en strukturel tilgang til hovedproblemet, og en optimeret løsningsforslag

Således vil første afsnit, redegøre for teorien omkring BIM, for at give læseren en dybere forståelse af 3D bygningsmodeller, som skal anvendes i AR værktøjet. Dernæst omhandler afsnittet, om problemstillinger vedrørende As-Built modellers udarbejdelse, identificeret i afsnit 6.5. Da nøjagtige As-built er en forudsætning for at AR kan tages i brug til D&V. Afsnittet afsluttes med en redegørelse af Augmented Reality teknologien og dens anvendelsesmuligheder i forbindelse med D&V, hertil fundne displayformer til afprøvning med testpersoner.

9 BUILDING INFORMATION MODELLING

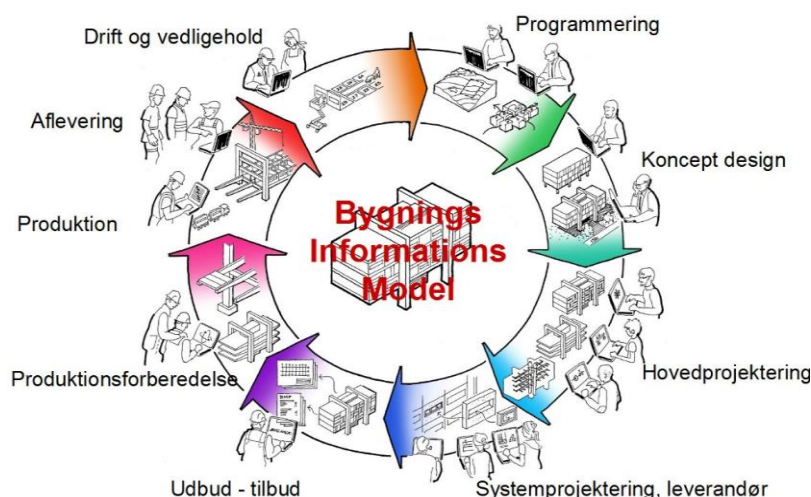
I en mere digitaliseret verden, er det meste af dataudvekslingen overgået til computere, som anvendes nu flere arbejdsgange. I byggebranchen kan der arbejdes ud fra 3D bygningsmodeller, hvor aktører uploader eller downloader data iblandt dem. Dataudvekslingen har til formål at sikre, at alle aktører

involveret i byggeprojektet, har de nødvendige data tilgængeligt, på de rette tidspunkter.

I de senere år er branchen gået fra kun at anvende geometriske modeller, i deres arbejdsprocesser, over til mere BIM orienteret fremgangsmåde:

“Building Information Modelling (BIM) is a digital representation of physical and functional characteristics of a facility. A building information model is a shared knowledge resource for information about a facility forming a reliable basis for decisions during its life-cycle; defined as existing from earliest conception to demolition.” (buildingSMART 2018)

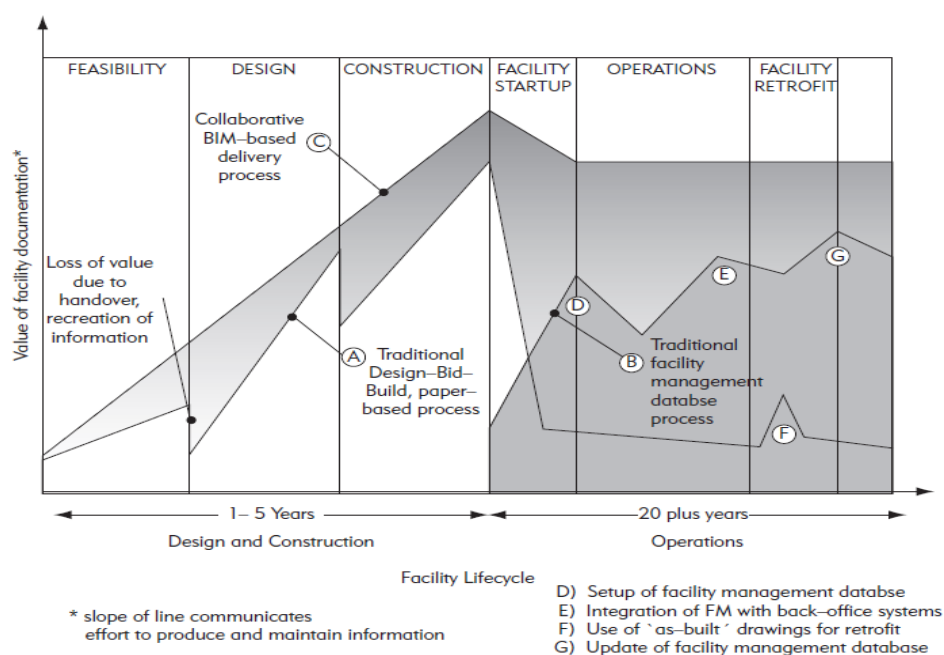
Metoden sigter efter at dataudvekslingen, iblandt aktørerne på et byggeprojekt, sker igennem BIM modeller (fremover i rapporten kaldt bygningsmodeller), som anvendes igennem alle byggeriets faser, fra programmering og koncept til ibrugtagning og efterfølgende renovering



Figur 9-1 Illustration af BIM orienteret proces – Link til billede: <http://ilk.dk/cilt15>

eller nedrivning af bygningen (se illustration på figur 9-1). Det kan bl.a. være med til at nedbringe risikoen for fejl og mangler, undgåelse af spildtid og forsinkelser, samt forbedre kommunikationen og informationshåndteringen, for at gå misforståelser, og danne et bedre beslutningsgrundlag for projektets aktører igennem hele byggeriets livscyklus (Eastman et al. 2011).

BIM udgøre ikke blot en 3D model, men det er en arbejdsmetode. Det centrale i BIM er at gøre informationer mere tilgængeligt for alle involveret i byggeprojektet, via intelligente objekter deres egenskabsdata, således at redundante data og processer undgås. Arbejdsmetoden forsøger at få projektets aktører til at arbejde tættere sammen, og at udveksling af informationer sker uden store tab, ved overgang fra fase til fase og mellem aktører. Metoden forandre således måden på aktørerne samarbejder, og udveksler informationer på (Eastman et al. 2011). Figur 9.2 illustrerer hvordan en BIM orienteret arbejdsproces ser ud, i forhold til traditionelle tegningsbaseret og "over væggen" arbejdsprocesser. BIM orienteret arbejdsproces, sørger for at informationer og geometri, som løbende bliver generet, er tilgængelige og opdaterede for alle parter, så der arbejdes efter samme grundlag, og dobbeltarbejde undgås. Dette giver mulighed for at opnå en større værdi, af de



Figur 9-2 BIM orienteret arbejdsproces vs. traditionelle arbejdsprocesser (Eastman et al. 2011)

data og informationer som løbende bliver generet, igennem byggeriets projekterings- og udførelsesfase, til den efterfølgende drift og vedligehold, af

byggerier. Hvor As-built (som udført) projektdata og geometri vil være klar, og opdaterede ved aflevering, til at blive anvendt i et BIM baseret FM-system, til den efterfølgende D&V (Eastman et al. 2011).

9.1 PARAMETRISK MODELLERING

Til BIM orienteret arbejdsproces, tilføres bygningsmodellen intelligente bygningsdelsobjekter, som ikke kun består af præcise geometrier, men objekterne tilføjes også adfærd og relationer til andre objekter. Bygningsdelsobjekterne består af et sæt foruddefinerede "regler" eller parametre, således at objekterne automatisk, relaterer sig til andre objekter (Eastman et al. 2011). I parametrisk modellering, udvælges objekter ud fra kategorier, som enten er *class* eller *family*. Dette kan eksempelvis være en bygningsdelsobjekt, for en vindue eller væg. For en *family* kategori f.eks. for vindue, vil der inden for det *family*, være generet en række forskellige typer af vinduer. Hvert kategori består af parametriske geometrier, som definere objekternes væremåde, således at objekterne relaterer sig til hinanden. Hvis et vindues objekt, bliver placeret i en væg, vil der automatisk skabes en vindueshul i væggen, og hvis væggens placering ændres, så vil vinduet automatisk flytte med. Dette vil sige at ændringer fortaget et sted, går automatisk igennem til andre berørte objekter.

"A major improvement allows the parameters defining one shape to be linked through rules to the parameters of another shape. Because shapes may be related in different ways, the system has to automatically determine the update sequence. This is considered full parametric modeling, or Parametric Object Modeling" (Eastman et al. 2011)

Herudover kan hvert objekt, tilknyttes egenskabsdata, f.eks. for en væg i et byggeprojekt, kan objektet indeholde data om placering, opbygning, bærevne, brandklasse, u-værdi mm. Objekterne består således af geometri, parametre og objektdata, og produktet af arbejdsmetoden, vil være en virtuel repræsentation,



af den fysiske bygning, i form af en informationsmodel, bestående af projektspecifikke- og byggetekniske data. Dette giver aktørerne potentiale i at udnytte disse, til bl.a. til byggetekniske analyser, simuleringer og kollisionskontrol i projekteringsfasen, forud for udførelse. Herudover kan præcise geometrier af byggeriet, samt relevante driftsdata, om eksempelvis tekniske installationers dimensioner, installationstype, materiale, fabrikant og tekniske værdier, benyttes i et FM system, til at understøtte bygningsdrift- og vedligehold.

9.2 AS-BUILT MODELLERS UDARBEJDELSE

En As-Built model, er en nøjagtig efterligning, af afleveret byggeri efter udførelse, og fremstår således "som udført". As-Built modellen indeholder projektspecifikke geometrier og data, som er blevet generet, fra opstart af byggeprojektet, til aflevering. Det blev i problemanalysens afsnit 6.5, identificeret at CS ikke altid modtager, nøjagtige As-Built modeller. Siden at bygningsmodellen skal anvendes, til brug i Augmented Reality, i forbindelse med D&V, er det således relevant at undersøge metoder, til hvordan disse kan udarbejdes nøjagtige.

Igennem IKT bekendtgørelsen paragraf 10 (Retsinformation 2013), kan bygherren i samråd med driftsherre, stille nøjagtige krav til digitale leverancer, ved byggeriets aflevering. Afsnit 6.5 fra problemanalysen, belyser at CS stiller både krav, til udarbejdelsen af As-Built modeller, og strukturering af informationer. Men modtaget As-Built modellers nøjagtighed, er stadig et problem både for driftspersonale og håndværkerne. Hvor modellernes indhold ikke stemmer overens, med placeringer af eksempelvis installationer, eller udformning af teknikrum. På nuværende tidspunkt, kan det vurderes, at problemet bl.a. kan skyldes, mangelfuld opfølgning og ajourføring af bygningsmodeller, i forhold til reelle placeringer og montering af fysiske bygningsdele og installationer, i udførelsesfasen. For at imødekomme problemet, er der taget udgangspunkt, i at anvende laserscanninger, til at udarbejde nøjagtige As-Built modeller. Da denne metode, sørger bl.a. for at



bygherre og driftsorganisation, ikke er afhængige af entreprenørernes opfølgning, samt af menneskelige faktorer, eksempelvis i form af opfangning af fejl, misforståelser eller tastefejl:

“...Note that even when a project team creates an accurate model, human error during installation remains a possibility... New surveying techniques, based on laser scanning and point clouds, offer a valuable new technique to capture as-built conditions...” (Eastman et al. 2011)

Efterfølgende afsnit vil for, hvad laserscanning omhandler, og hvordan scanninger dannes til 3D bygningsdelsobjekter.

9.2.1 LASERSCANNING

Laserscanning er en teknologi, og bruges til at rekonstruere, fysiske objekter til 3D objekter, og som anvendes i Reverse Engineering – omvendt konstruktion (Barazzetti 2016). I byggebranchen anvendes laserscanninger, bl.a. til renoverings- og tilbygningsprojekter, af ældre byggerier som ikke er modelleret i 3D, og for at sikre at det nye design, passer til det eksisterende byggeri (Rambøll 2018). Der findes forskellige typer af teknologier til at fortage forskellige former for scanninger, og udvælgelsen af disse, afhænger af opgavens formål, størrelse og kompleksitet.

9.2.1.1 Scanningsproces:

Første trin omhandler, indsamling af data, via scanninger. Disse foretages ved brug af et scanningsapparat, hvor dele af det fysiske byggeri, f.eks. et rum, gradvist laserscannes fra forskellige vinkler. Se eksempel på et stående scannings apparat i figur 9-1, og håndholdt scannings apparat i figur 9-3. Ved scanninger udarbejdes en punktmængde, betegnet som en punktsky, også kaldet point cloud. En punktsky består af mængdevise punkter, som bliver



Figur 9-4 Eksempel på en laserscanner: Leica ScanStation C5. Link - <http://ilk.dk/357q8h>

indsamlet af fysiske objekters overfladegeometri i 3D (Autodesk Inc 2015). Scanningsapparatet består af en lasersensor, som udsender pulserende infrarøde laserstråler, til at indsamle punkter fra det fysiske objekts overflade, og måle afstanden fra apparat til fysiske objekt, bl.a. igennem time-of-flight princippet (Cadalyt 2001). Til dette bedømmer scanningsapparatet tidsforskelle, fra når laserstråler transporteres fra apparat til objekt, og tilbage igen, og dermed kan vurderer afstande og dybde. Laserscanninger kan kende nøjagtigheden, af objekters udformning og placering, i millimeter mål (Jung et al. 2014).



Figur 9-3 FARO Scanner Freestyle3D - Håndholdt scanner. Links til billeder: <http://ilk.dk/mgxf49> og <http://ilk.dk/famg4d>

Følgende video illustrerer, en scanningsproces, med et stående apparat: <https://youtu.be/fqoNXUymGko>, og følgende video for scanningsproces med håndholdt apparat fra figur 9-3: <https://youtu.be/nYRGqiFH6NU>

9.2.1.2 Efterbehandling af indsamlet data fra scanning:

Resultatet udgøres som en store mængde data i form af punktskyer, af det scannede område, se eksempel i figur 9-2. Fra punktskyerne generes en mesh model, Autodesk Revit kan bl.a. aflæse og præsenterer indsamlet punktskyer som en mesh model (Barazzetti 2016):



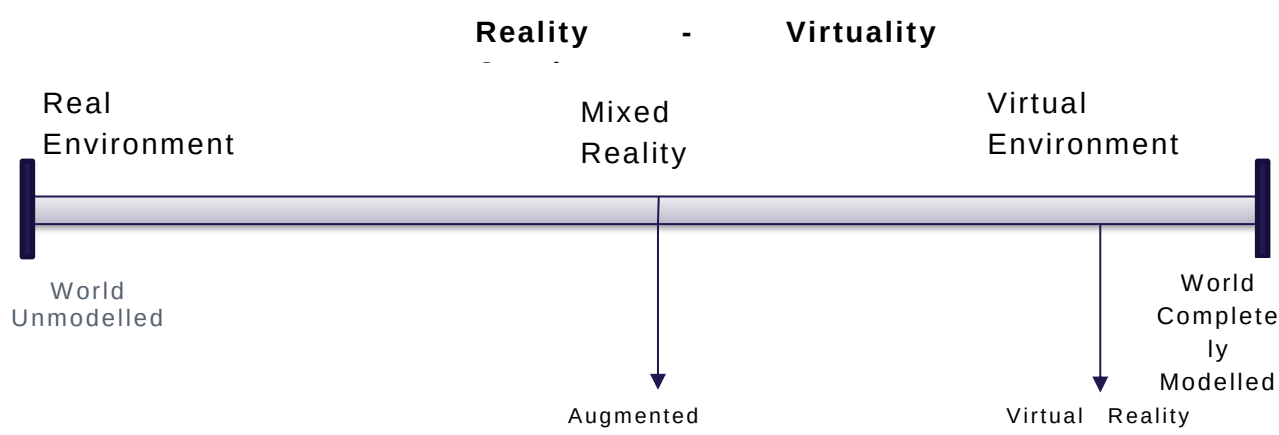
Figur 9-5 Punktskyer af scannet rum med installationer – Billede fra internet: Link- <http://ilk.dk/75qe6x>

“Point clouds enable production of a polygonal mesh model of the object and provide it in CAD data formats.” (Jung et al. 2014)

Siden at bygningsmodeller arbejder med parametriske objekter, er det derfor nødvendigt, at rekonstruere mesh modellen, til ligeledes at indeholde parametriske objekter, da en mesh model kun består af polygoner til at definerer statiske 3D former (Barazzetti 2016). Det er en længere varende- og manuel proces, da enkelte objekter skal udpeges og defineres som parametriske bygningsdelsobjekter (Eastman et al. 2011). I processen til at generer parametriske objekter, skal mesh modellen først ryddes, for unødvendige målinger, så enkelte objekter fra scanning kan separeres, og derefter rekonstrueres som 3D objekter. Efter alle objekter er identificeret og konstrueret, skal objekterne også tildeles projektspecifikke parametre, som f.eks. i form af driftsdata. Ved scanning af små områder af bygningen, som f.eks. et teknikskakt, vha. en håndholdt scanner, skal denne del sammenflettes, med den allerede udarbejdet bygningsmodel.

10 VIRTUEL OG VIRKELIGHED

Der er taget udgangspunkt i Paul Milgrams (fremover Milgram) skala over den virkelige- og virtuelle verden, som er kaldet "Reality-Virtuality Continuum", se figur 10-1. Milgram beskriver denne som en kontinuerlig skala, som spænder mellem 2 poler: En komplet virtuel verden, hvor er alt er modelleret (computer



Figur 10-1 Virkelig & virtuel kontinuum – modificeret (Milgram & Colquhoun Jr 1995)
generet), til den virkelige verden, som vi kender den.

Ifølge Milgram, eksisterer både den virkelige- og virtuelle verden, og i stedet for kun at se dem som, modsatte poler af en kontinuerlig skala, kan de have mulige kombinationer af både det virkelige og virtuelle, således at det ene ikke behøver, at udelukke det andet. Således er alt imellem de to poler, kaldt "Mixed Reality", altså blandet virkelighed, hvori Augmented- og Virtual Reality er placeret (Milgram & Colquhoun Jr 1995). Dette koncept relateres til, hvordan vi kommunikerer, interagerer og ser verdenen. Milgrams skala blevet udbredt, i områder som computer- & ingeniørvidenskab, kommunikation, antropologi mm. Det er eksempelvis omkring hvor meget vi er omringet teknologi og hvordan det påvirker måden på vi arbejder og interagerer med hinanden.

I den virkelige verden, bliver vi mødt med begrænsninger, som eksempelvis fysiske (mennesker ikke kan flyve), biologiske (vi kan ikke trække vejret under vand) eller bare praktiske (Sandor et al. 2015). Men med en komplet virtuel-



eller en kombination af den virkelige- og virtuelle verden, er det kun vores fantasi som sætter grænser, til oplevelser, underholdning og nye måder at kommunikerer og intereagerer med hinanden på.

VR betegnes som en bruger, der er omringet af computergeneret-/modelleret grafik, og befinder sig således i en virtuel verden, og dermed er udelukket fra omverdenen. VR er ikke komplet virtuelt, da indholdet ses igennem hovedmonteret skærm, og interaktionen kan bl.a. foregå med en controller. Således er det valgt, at placerer VR næsten moden enden, til den virtuelle verden, i skalaen. VR gør det virtuelt muligt, at befinde sig i en computergeneret verden, som eksempelvis inde i et computerspil, på månen eller under vand. I byggebranchen, er der mulighed for at visualiserer designløsninger af byggeriet i VR, ved at bruge 3D bygningsmodellen, så brugeren kan afprøve byggeriet, inden det bliver opført. Brugeren vil befinde sig i en virtuel 1:1 fuldskala 3D model, af byggeriet, og kan i forløbet give udtryk for ændringer i udformning, funktion, og hertil kan de projekterende have mulighed for at opdage både erkendte- og ikke erkendte behov, fra brugerne. Det medfører potentialer for en langt bedre fælles forståelse af byggeriet, og ændringer behøves kun at blive fortaget i bygningsmodellen, som endnu ikke er bygget, hvilket er meget billigere og hurtigere end f.eks. at lave mockup modeller eller lignende, og dermed minimere risici for at ombygge. Herudover kan imødekomme af brugernes behov, såsom drifts- eller rengøringspersonalet, om eksempelvis placering af, tekniske maskiner eller rumstørrelser, medfører en billigere og mere effektiv driftsforløb (Alsdorf et al. 2012).

Specialets fokus er på AR, hvorfor denne teknologi beskrives nærmere. For at give læseren, en indblik i AR, beskriver følgende afsnit en teoretisk og analytisk gennemgang af teknologien, hvilke anvendelsesmuligheder der er og eventuelle begrænsninger der gør sig gældende.



10.1 AUGMENTED REALITY:

Augmented Reality er den virkelige, som er delvis modelleret, hvilket vil sige at det virtuelle, er kombineret med virkelighedens verden, så brugerens synsfelt er udvidet (augmenteret) med virtuelle objekter. Teknologien er således placeret i midten af skalaen over virkelige- og virtuelle verdener fra figur xx, hvorfor det også ofte bliver kaldt "Mixed Reality".

Azuma beskrev først AR, som kun en kombination af den virkelige- og virtuelle verden:

"...AR allows the user to see the real world, with virtual objects superimposed upon or composited with the real world. Therefore, AR supplements reality, rather than completely replacing it. Ideally, it would appear to the user that the virtual and real objects coexisted in the same space..." (Azuma 1997)

Men omdefinerede det senere til, at et ethvert system der kan: (Azuma 1997)

- 1- Kombinerer det virkelige og virtuelle
- 2- Er interaktiv i realtime
- 3- Registrerer i 3 dimensioner

Dette var for at AR ikke kun skulle begrænses til en specifik display enhed, som f.eks. hovedmonteret display.

AR er interessant, da denne kan supplere eller udvide, den virkelige verden, med overlejring af virtuelle informationer og objekter, og kan således anvendes som et værktøj, til at hjælpe brugeren, i at gøre en opgave lettere. Virtuelle objekter kan vise oplysninger, som brugeren ikke kan identificere, eller opdage med egne sanser (Azuma 1997).

AR muliggøre at supplere opfattelsen af verdenen, på nye måder, ved at integrerer interaktive computergenerede objekter og data, visualiseret til brugerens udsyn og dermed hjælpe med at forbedre forståelsen af en given opgave. Disse computergenerede data kan visualiseres og simuleres til forskellige formål, som eksempel i sundhedsbranchen:

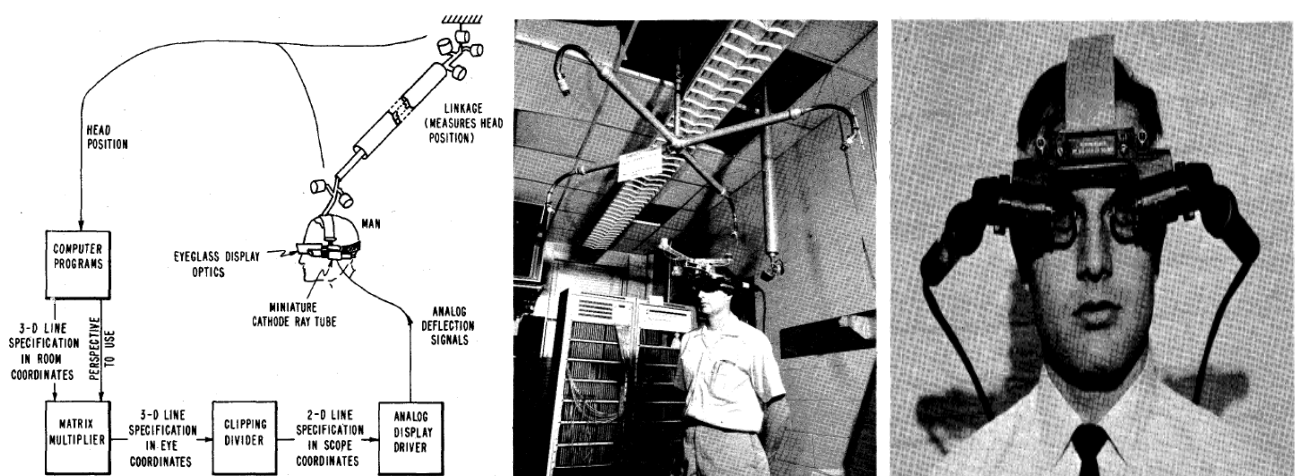
“The augmented reality view allows surgeons to perceive the anatomy under the visible surface. In neurovascular surgery in particular, AR may allow the surgeon to better understand the topology and angioarchitecture of the vessels, their location, and the type of vessels (arteries or veins) lying below the cortical surface of the patient. This type of visualization can aid in clinical decision-making, may reduce surgical time, and may increase surgical precision.” (Kersten-Oertel et al. 2015)



Figur 10-2 Eksempel på AR anvendt af kirurger – Link til billede: <http://ilk.dk/bp8wl1>

10.1.1 AUGMENTED REALITY DISPLAYFORMER

Det første forsøg på at udvikle AR, var af Ivan E. Sutherland, som udviklede en stereoskopisk hovedmonteret enhed, forbundet med to katodestrålerør (se nedenstående figur 10-3). Det ene rør registrerede brugerens position og



Figur 10-3 HMD til AR af Ivan E. Sutherland (Sutherland 1968)



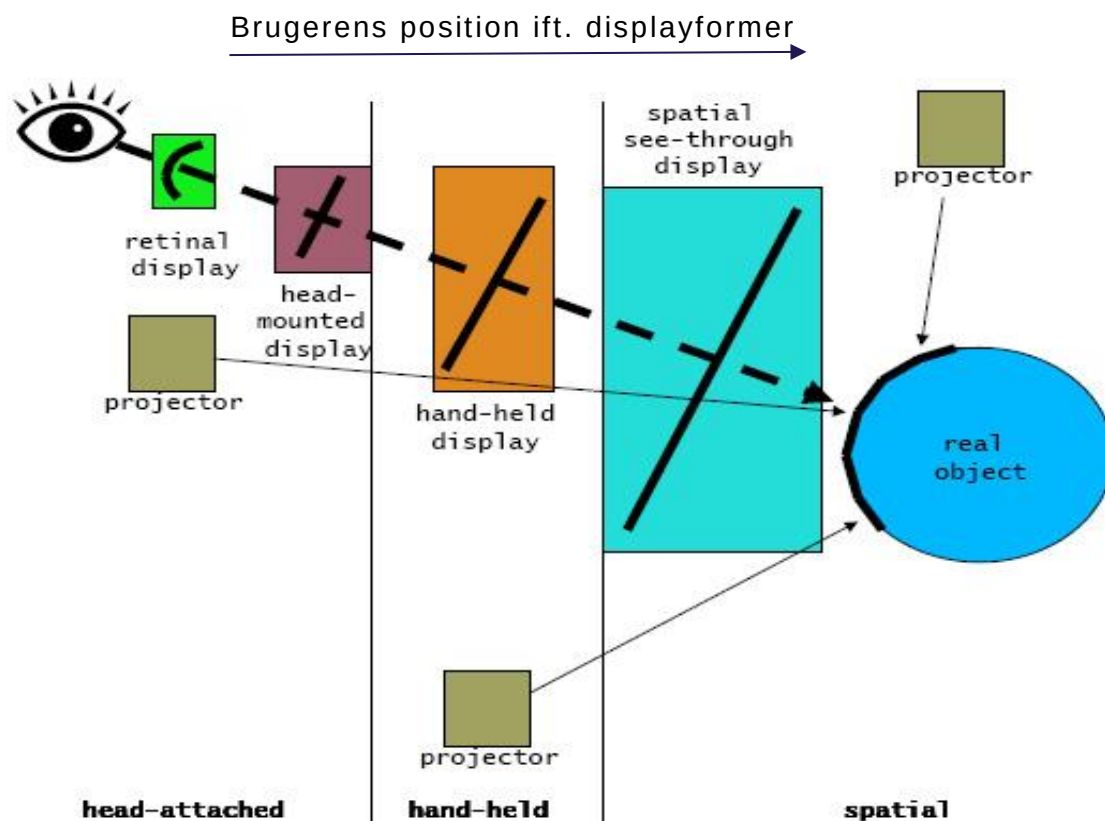
orientering, og via det andet rør, kunne han samtidig vise simple computergenererede objekter, i brugerens fysiske miljø. (Sutherland 1968)

Et display er *"mindre rude eller felt hvorpå man kan aflæse informationer eller beregninger fra et apparat, en maskine el.lign."*

<http://ordnet.dk/ddo/ordbog?query=display>

Her anses displays som billeddannende systemer, som bl.a. anvender optiske, elektroniske eller mekaniske komponenter, til generering af billeder til AR oplevelsen. Overordnet kan AR indholdet blive fremvist via 4 følgende former for displays (Bimber & Raskar 2006):

1. Virtual Retinal Display (VRD) - Virtuel nethinde display
2. Head-Mounted Display (HMD) - Hovedmonteret display.
3. Hand-Held Display (HHD) – Håndholdt display
4. Spatial Augmented Reality (SAR) – Rumlig display
5. Spatial Augmented Reality (SAR) – Rumlig display

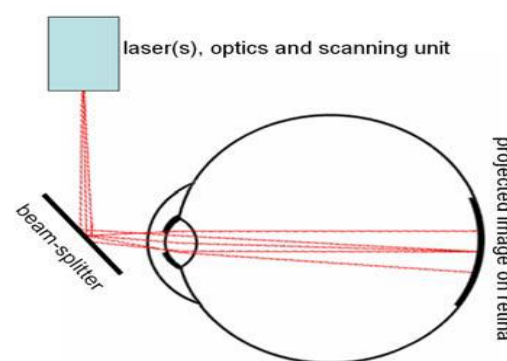


Figur 10-4 Modificeret figur –Modificeret - Illustration af billede genereringsmetoder til AR (Bimber & Raskar 2006)

Ovenstående figur 10-4 illustrerer de tre nævnte displayformers billede genereringsmetoder, anvendt til AR, og placering af displayene i forhold til brugeren og det virkelige objekt. De forskellige displayformer bliver i følgende afsnit redegjort for, og udvalgte displayformer til evaluering præsenteres.

10.1.1.1 Retinal Display

Illustreringerne på ovenstående figur 10-4 og figur 10-5, er det første displayform tættest på brugeren synsfelt og længst væk fra det virkelige objekt, kaldt Retinal Display – på dansk nethinde display, også kendt som Virtual Retinal Display (VRD). Displayet fungerer ved at generer billeder, direkte på øjnenes nethinde, ved hjælp af svage laserstråler (Bimber & Raskar 2006). Metoden giver store

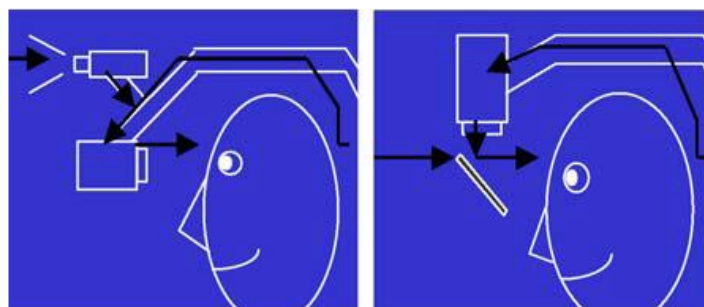


Figur 10-5 Simpel illustration af Retinal Display
(Bimber & Raskar 2006)

konkurrencedygtige fordele, sammenlignet med andre displayformer, i forbindelse med et bredere synsfelt (field of view – FOV), meget højere gennemsigtighed, opløsning, kontrast og lavt energiforbrug (Jang et al. 2017). Herudover har undersøgelser vist at displayformen er sikkert at anvende både i normal driftstilstand og ved fejltilstand (Viirre et al. 1997). Hvis metoden i fremtiden udvikles endnu mere, kan displayformen ideelt bare være et par briller, hvor brugeren ikke engang bemærker at have dem på. På nuværende tidspunkt, er displayet kun udviklet som prototyper af firmaet: *Microvision Inc*, og er dermed ikke tilgængelig på markedet endnu, grunden manglende udvikling i blå og grønne lasere (Azuma et al. 2001).

10.1.1.2 Head Mounted Display

Hovedmonteret display er den form som mest anvendes, til at fremvise AR indhold, når der skal være en helhedsfølelse af, at det virtuelle eksisterer i samme rum som brugeren. Displayet kræver at



Figur 10-6 Video see-through (venstre) optisk see-through (højre) (Bimber & Raskar 2006)

brugeren bærer det på hovedet, som gør at displayet altid er foran brugerens synsfelt, lige meget hvilken retninger brugeren orienterer sig, så følger displayet brugerens hovedbevægelser. Der findes to former for billeddannelse displays: video display og optisk display (se figur 10-6).

Video display benytter et kamera, som er monteret på HMD, som gengiver live video til brugeren, inden for en lukket skærm. Metoden har en fordel omkring præcision, da den blokerer brugeren fra syn fra den virkelige verden, for i stedet at kombinerer af det virkelige og virtuelle, bliver sammenkoblet via live video, og dermed fremstår mere overbevisende på displayet. Begrænsninger omhandler det visuelle kvalitet, da det afhænger af kameraets billede kvalitet, samt at brugeren bliver udelukket fra omverdenen og dialogen, fordi displayet er ikke transparent.

Med et **optisk display** ser brugeren den virkelige verden, via et halvtransparent spejl, som bruges til at afspejle det virtuelle fra projektoren, og således kombinerer det virkelige og virtuelle (Rolland et al. 1995). Begrænsninger omkring optiske displays omhandler utilstrækkelig opløsning, snævret synsfelt, samt lysstyrke og kontrast til at blande det virkelige og virtuelle med hinanden (Azuma et al. 2001).

Generelle problematikker ved brug af hovedmonteret displays, omhandler system latency, altså registreringers forsinkelse eller responstid. Siden at displayet er placeret, så tæt på brugerens synsfelt, kan de mindste forsinkelse resulterer i unøjagtigheder. Ifølge Richard L. Holloway vil 1 millisekunds forsinkelse, medfører 1 millimeters unøjagtighed i bevægelse og placering af virtuelle objekter (Holloway 1997), hvilket stiller høje krav til tracking systemet. Forsinkelser i responstid, kan skabe ubehag i øjnene, og brugeren kan blive køresyg.

10.1.1.3 Hand-Held Display

Håndholdte displays er den mest anvendte displayform, da det kun kræver en håndholdt enhed som f.eks. en smartphone eller tablets, som de fleste mennesker i dag, enten gør brug af eller har kendskab til. Fordelen ved håndholdte display, er at der anvendes allerede tilgængeligt teknologi som eksempelvis hukommelse, displayskærm, kamera, processor, GPS og internet

forbindelse (enten via mobildata eller Wi-Fi), samlet i en enhed. Hermed bliver udviklingen billigere og når hurtigere ud til brugerne, ved at udvikle dem som applikationer. Håndholdte displays anvender samme metode som video displays, hvor enhedens skærm og kamera, benyttes til at gengive live video til brugeren (Bimber & Raskar 2006). (Zhou et al. 2008) mener at håndholdte displays er et godt alternativ til HMD, da håndholdte display som smartphones er minimalt forstyrrende, bl.a. fordi brugeren selv kan bestemme, hvornår denne vil have displayet placeret foran synsfeltet, ift. HMD hvor displayet altid er foran brugerens synsfelt. Herudover er de socialt acceptable og meget mobile, da f.eks. smartphone er så udbredt, og at det er noget personer altid kan have på sig, først og fremmest pga. formålet med at have en smartphone, og herefter størrelsen og de tidligere nævnte tilgængelige teknologier i smartphones.

Håndholdt displays begrænsning, vedrører at brugeren ikke oplever, en fordybende oplevelse, ligesom hovedmonteret displayformen. Da enheden har et lille display, som medføre at brugeren ikke oplever en rumlig- og afstands fornemmelse.

10.1.1.4 Spatial Display

I modsætning til forrige nævnte displayformer, er rumlig/spatial display ikke krops knyttet, men interageret i rummet, og dermed er løsnet fysisk fra brugeren. Displayet er fysisk placeret i et sted i den virkelige verden, og det augmented indhold kan visualiseres enten via optisk- og video display, eller via direkte augmentering på et objekts overflade, kaldet projective display. Rumlig displays følger ikke brugerens bevægelser, det augmented er tilpasset det fysiske, så brugeren frit kan bevæge sig omkring, og har begrænset interaktion med det virtuelle.



Figur 10-7 Optisk spatial AR - Bils forrude (Blume et al. 2013)

I forbindelse med optisk- og video display, fungerer det på samme måde som beskrevet tidligere, dog forgår visualisering via fysisk fastsatte displays, som f.eks. et Head-Up Display (Bimber & Raskar 2006) (Krevelen & Poelman 2010).

Et Head-Up Display kan eksempelvis være, et display på en bils forrude, til at fremvise navigation, fart eller andet information, således at føreren ikke



behøver se ned på instrumentbrættet (se figur 10-7). Ved direkte augmentering, bliver det virtuelle visualiseret igennem projektorer, direkte på den virkelige objekts overflade, et eksempel er firmaet Nike. De anvender teknologien til at fremvise deres sko i en butik (se figur 10-8), via en SAR fastsat stander, hvor forbrugere kan placerer forskellige Nike sko, og få visualiseret diverse farvevalg til det specifikke designtyper af skoene.

Figur 10-8 Nikes SAR stander – link til billede:

Spatial displayform vil ikke blive nærmere omtalt i specialet, da displayformen ikke vil være anvendeligt til D&V af byggerier, hvor brugeren har brug for at displayet er mobilt og ikke fysisk fastmonteret eller placeret i den virkelige verden, som i spatial display.

10.1.2 TRACKING

Før AR kan anvendes i praksis, er det nødvendigt at teknologien registrerer, brugerens/displayets bevægelser. Herudover skal displayet, registrerer den virkelige verden, som brugeren befinder sig i og kalibrerer 3D indholdet, for korrekt overlejring af det virtuelle og den virkelige miljø. Brugerens/displayets bevægelser registreres, i Six Degrees of Freedom (6DOF), hvilket betyder at både position og orientering registreres og afspejles (Krevelen & Poelman 2010)

Position:

- X-aksen: venstre og højre
- Y-aksen: op og ned
- Z-aksen: frem og tilbage

Orientering:

- Hældning
- Drejning
- Rulning

Forskellige metoder anvendes til registrering af bevægelser, og registrering af det virkelige miljø for kalibrering, til at kende placering af 3D objekters overlejring. Afhængigt af om AR skal anvendes til ind- eller udendørs brug, anvendes metoder som bl.a. GPS signaler, accelerometer (måler acceleration), gyroskoper (bedømmelse af orientering), internet forbindelse enten via Wi-Fi eller mobildata. samt algoritmer som SLAM til løbende visuelle registrering og kortlægning af det augmented indhold (Bostanci et al. 2013):

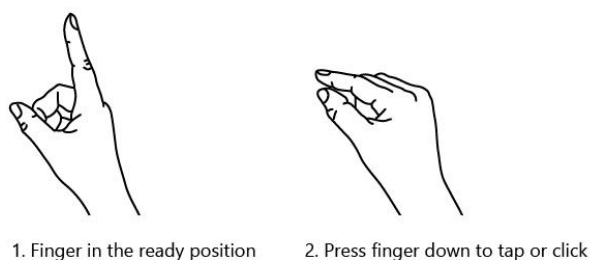
“Algorithms known as Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) have been developed to localize a robot based on the map which it creates by observing its environment.” (Bostanci et al. 2013)

Nærmere beskrivelse om tracking, bliver redegjort ved præsentation, af udvalgte displayformer, i efterfølgende afsnit 10.1.4.

10.1.3 INTERAKTION

Interaktion med traditionelle enheder som en computers brugergrænseflade/User Interface(UI), er kaldt WIMP (windows, icons, menus and pointing), og som de fleste kender til. Dette består af en skærm, ikoner/menuer, mus og tastatur (Krevelen 2007). Denne form for interaktion gælder ikke for alle AR displays, da teknologien først og fremmest skal registrerer brugerens bevægelser.

Interaktionen i håndholdte displays, forgår ved brug af en touch skærm som er genkendeligt, samt mere håndgribeligt. Interaktion med touch skærme, er meget udbredt da den minder om WIMP brugergrænsefladen, udover at udvælgelse eller



Figur 10-9 illustration af Microsoft HoloLens klikfunktion via håndbevægelse

pointing sker ved, at trykke det specifikke sted på skærmen, med fingeren. Dette er også en af grundene, til at håndholdte displayformer er den mest anvendte til AR. En udfordring i HMD, er den generelle brugergrænseflade princip redefineret, hvor positionering, udvælgelse, tekstindtastning og rotering af virtuelle objekter foregår via brugerens hånd- og hovedbevægelser, som displayet registrere via sensorer og kamera. I et hovedmonteret display, som Microsoft Hololens, foregår interaktionen således (beskrivelse af Microsoft Hololens følger i afsnit 10.1.4.2): Augmenteret mus markør er visualiseret, som et lille rundt ikon, og følger brugerens hovedbevægelser. Klikfunktionen og udvælgelse, foregår via håndbevægelser kaldet *air tap*, som illustreret i figur 10-9. Herudover kan interaktionen også foregå via stemmeinteraktion med foruddefinerede kommandoer. Følgende videoer illustrere interaktion med Microsoft Hololens: https://youtu.be/kwn9Lh0E_vU

10.1.4 UDVALGTE DISPLAYFORMER

Fra forgående afsnits beskrivelse, af forskellige displayformer til AR, er håndholdt- og hovedmonteret displayform udvalgt til afprøvning. Siden at nethinde display ikke er ude på markedet endnu, og spatial displayform er fastsatte projektorer, og dermed ikke er egnet til D&V, da det ikke er mobilt. Til håndholdt displayform er en Dalux Field – TwinBIM teknologien anvendt via en smartphone, og til hovedmonteret displayform er Microsoft Hololens briller anvendt.

10.1.4.1 HHD – Google Tango

AR funktionen i Dalux Fields applikationen, virker kun igennem smartphones som anvender Google Tango teknologien. På nuværende tidspunkt er det telefonerne Lenovo Phab 2 Pro og Asus Zenfone AR, som er compatible med Dalux's applikation. Til afprøvning af



Figur 10-10 Lenovo Phab 2 Pro
- Link til billede:
<http://ilk.dk/fe2nqu>



første nævnte telefon anvendt (se billede i Figur 10-10)

Google Tango er en platform, der anvender computervision, hvilket betyder at den give enheder mulighed til at forstå, deres lokalisering i forhold til omverdenen.

En Google Tango enhed består af følgende:

“A Tango-enabled device is an Android device with a wide-angle camera, a depth sensing camera, accurate sensor timestamping, and a software stack that enables application developers to use motion tracking, area learning and depth sensing” (Developers 2017)

Motion tracking eller bevægelsesføleren foregår i realtime, så den konstant følger enhedens placering og lokalisering. Teknologien reager på brugerens og enhedens fysiske bevægelser i 3D via x, y og z aksens position. Depth sensing eller dybdeføler, er en 3D sensor der registrerer overfladers afstande, og derefter giver en visuel bedømmelse af afstandene og niveauet. Registreringerne sker ved hjælp af infrarødt lys, hvor afstande bliver målt bl.a. igennem time-of-flight måling. Dybdeføleren giver enheden et 3D kort over omkringliggende overflader, som muliggøre at foretage målinger af afstande, og placerer 3D objekter i den korrekt afstand, som f.eks. på et fysisk bord eller gulv. Afstandsmålinger er også vigtige i forhold til at bestemme, om overflader skal vises bag eller foran virtuelle 3D objekter. Area Learning omhandler rumlig hukommelse eller områdeindlæring, hvilket betyder at enheden forsøger at genkende, de steder den har været før. Denne hukommelse gør det muligt at 3D objekter, forbliver i det tildelte sted, og uden denne egenskab ville enheden tro, at den opholder sig i et helt nyt sted, for hver gang enheden flyttes fra et sted til et andet, eller når enheden genstartes (Lee 2017).

10.1.4.2 HMD - Microsoft Hololens

Der er begrænset litteratur, om Microsoft Hololens tekniske informationer, dette kan skyldes at Microsoft holder det hemmeligt. Derfor består afsnittet, ikke af en detaljeret gennemgang af brillernes tracking metode.

Microsoft Hololens brillerne kan vurderes som, det mest avancerede hovedmonteret AR display, på markedet på nuværende tidspunkt. Dette er fordi at brillen kombinerer flere teknologier, til en samlet enhed, og brillen er helt mobil, så der kræves ingen ledninger, eller eksterne enheder til brug. Enheden består af en komplet indbygget computer, som er baseret på Microsoft Windows 10 styresystem. enheden vejer 579g, har 2GB ram og 64GB flash harddisk (Microsoft Corporation 2018). Brillen gør brug af et optisk display, til at fremvise brugeren, det augmented indhold.



Figur 10-11 Microsoft Hololens – Link til billede: <http://ilk.dk/xfhtqe>

- *“Fast and accurate spatial mapping, via an IR “depth” camera and visible light cameras.*
- *Dual HD translucent display.*
- *Integrated unit for untethered operation: no cables or support hardware required.*
- *Gesture and voice command recognition.”* (Hockett & Ingleby 2016)

Følgende specifikationer er fundet fra Microsoft hjemmeside: (Microsoft Corporation 2018)

Specifikationer:

- 1 IMU – Inertial Measurement Unit, en sensor til at registrere brugerens hovedbevægelser, bl.a. via accelerometer, gyroskop og:
 - 4 miljø forstående kameraer
 - 1 dybde kamera
- 1 2MP foto / HD video kamera
- Mixed reality capture
- 4 mikrofoner
- Indbygget højttaler
- Wi-Fi
- Bluetooth
- 1 lysføler sensor
- “See-through holographic lenses (waveguides)
- 2 HD 16:9 light engines
- Automatic pupillary distance calibration
- Holographic Resolution: 2.3M total light points
- Holographic Density: >2.5k radiants (light points per radian)” (Microsoft Corporation 2018)



Brillerne består herudover, af en Holographic Processing Unit (HPU), som er en form for processor, der kan samarbejde med brillernes GPU – Graphic Processing Unit, til at skabe det augmented indhold. GPU chippen er en processor, som er med til at transformere, grafisk data ved hjælp af pixels.

Priser: <https://www.microsoft.com/da-dk/store/collections/hololens>

- Microsoft Development Edition: kr. 24.899
- Microsoft HoloLens Commercial Suite: kr. 41.499

Forskellen mellem disse to versioner af HoloLens briller, er primært at erhvervsudgaven er beregnet til organisationer, med ekstra funktioner som sikkerhed og styring, hvor udviklingsudgaven er ideel til individuelle udviklere

IV DESIGN- OG UDVIKLINGSAFSNIT

Afsnittet beskriver udviklingsprocessen, med et AR værktøj til D&V, og bygger på Interaction Design bogens fire aktiviteter (Preece et al. 2015), hvor dette afsnit omhandler 2. og 3. aktivitet, og efterfølgende afsnit 13, omhandler 4. aktivitet, med evalueringsforløb og resultater:

1. Etablering af behov og krav
- 2. Designe alternative funktioner**
- 3. Udarbejdelse af prototyper**
4. Evaluering af prototyper

11 ALTERNATIVE SUPPLERENDE FUNKTIONER TIL AUGMENTED REALITY VÆRKTØJET

3 funktioner blev identificeret i problemanalysens afsnit 6.4, med opstillede scenarier, for brugen af AR, i drift- og vedligeholdelsesarbejde hos CS. Herudover er supplerende alternative funktioner, identificeret efter en

grundigere undersøgelse, af mulighederne med Augmented Reality, sammenholdt med den nuværende arbejdsproces.

1. AR værktøjet integreret med FM systemet og helpdesk. Håndværkerens rute kan opstilles og visualiseres som en to-do liste. Løbende igangsættelse eller færdigmelding af sager, kan forgå heri.

Denne funktion tillader at håndværkeren, også kan anvende værktøjet, som et planlægnings- og kommunikationsværktøj.

2. Dirigering til specifikke sager/objekter. Håndværkeren kan blive dirigeret til specifikke objekter, fra udvalgt sag, som visuelt fremhæves automatisk.

Anden funktion vil muliggøre, at håndværkeren spare tid på at lokalisere specifikke installationer. Udvalgte fejlmeldingers placering af elementer, vil automatisk blive visualiseret igennem AR, og håndværkeren vil derefter blive dirigeret frem. Funktionen vil sætte store krav til både værktøjet og ved indberetning af fejlmeldinger og planlagt vedligehold, da installationsobjekterne først skal udpeges, til hvert sag.

3. Fjernhjælp via live videoopkald i Augmented Reality, med interaktive skærm duplikering: se eksempel i følgende video: <https://youtu.be/1QFMPo5k6p0>



Fjernhjælps funktion kan supplere håndværkerens arbejdsproces, i de situationer hvor håndværkeren er har brug teknisk hjælp. I stedet for at, få

forklaret problemet over telefon, eller at teknikeren fysisk møder op, så kan en problemet blive afklaret ved live videoopkald, hvor det er muligt at dele live

Figur 11-1 Illustration af fjernhjælp - skærm-billede fra video: <https://youtu.be/1QFMPo5k6p0>

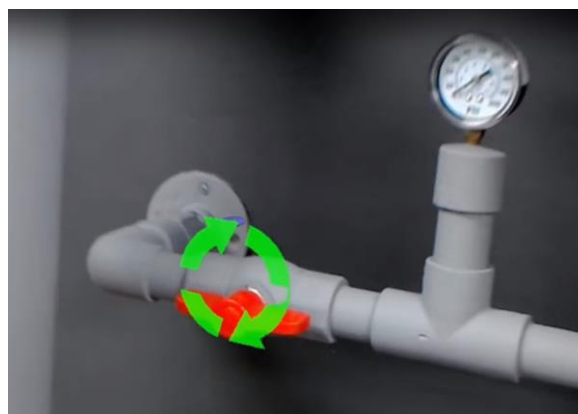
interaktive skærbilleder med hinanden, for hurtigere udbedring. Således kan teknikeren fra leverandør, fortælle og visuelt dirigere håndværkeren. Håndværkeren kan også anvende funktionen, til kommunikation med andre kollegaer som f.eks. fagkoordinator, for en mere målrettet tilgang til vejledning og løsning af opgaver.

4. Fremvisning af realtime driftsstatus og diagramoversigt. Eksempelvis ved udpegning af ventilationsrør, fremvises ventilationsdiagram, med drift status, og placering af udvalgte rør ift. diagram.

Håndværkeren er vant til, at anvende diagrammer og symboler, når der arbejdes med tekniske installationer, således bør disse diagrammer også anvendes i AR, så håndværkeren har noget genkendeligt at gå ud fra. Realtime driftsstatus af tekniske installationer, fremvist via AR, betyder at håndværkeren kan få visualiseret status af forskellige elementer on demand, imens han er på pladsen. Dette kan effektiviserer hans arbejdsproces, ved at tilgængeliggøre informationer om elementers status, direkte relateret til de fysiske elementer, og dermed understøtte beslutninger.

5. Trinvis visuel guide og instruktionsvejledninger i Augmented Reality, som sideløbende kan visualiseres, til at hjælpe håndværkeren med at løse komplekse opgaver. Se eksempel i følgende video: <https://youtu.be/QTuKcm8s4QQ>

Til komplekse opgaver, som eksempelvis maskinel arbejde, kan håndværkeren få suppleret sit arbejde, med instruktionsvejledninger. Således undgår han at begå fejl, og processen kan effektiviseres, ved at han bliver



Figur 11-2 Illustration af instruktionsguide i AR - skærbillede af video: <https://youtu.be/QTuKcm8s4QQ>



vejledet til, hvad han skal fortage, ved hvert handling.

12 EVALUERINGSFORMÅL OG PROTOTYPER

For at opstille og klarlægge evalueringsforløbet, er DECIDE metoden anvendt. Denne metode er også omtalt i Interaction Design bogen. DECIDE metoden er en guide til evaluering af prototyper, efter seks trin:

1. Determine the overall goals that the evaluation addresses.
2. Explore the specific questions to be answered.
3. Choose the evaluation paradigm and techniques to answer the questions.
4. Identify the practical issues that must be addressed, such as selecting participants.
5. Decide how to deal with the ethical issues.
6. Evaluate, interpret, and present the data.” (Preece et al. 2015)

Metodens seks trin, er løbende blevet vurderet, igennem udarbejdelsen af prototyperne, og opstillede testscenarier, for at skabe overensstemmelse med opstilling af evalueringsformen og prototyperne. Dette afsnit vil redegøre for trin 1 og 2:

Formålet med evalueringen er, at undersøge om AR reelt kan anvendes i forbindelse med D&V arbejde, og hvordan dette kan tilføre værdi i håndværkerens nuværende arbejdsprocesser. Evalueringen undersøger hvilke funktioner værktøjet skal have, for at håndværkeren kan udføre hans arbejde, uden at værktøjet komplicerer det daglige arbejde. På nuværende tidspunkt, er der opstillet, følgende 3 usability goals for prototyperne, ud fra den indledende problemanalyse (se afsnit 6.4):

1. Visualisere installationernes og bygningsdeles placering, for at skabe overblik



2. Gøre det nemmere at lokalisere specifikke installationer, ved at fremhæve installationer efter behov
3. Tilgængeliggøre relevante byggetekniske informationer for håndværkeren

De supplerende alternative funktioner, beskrevet i forgående afsnit xx, er ikke medtaget til udarbejdelse af prototyper, disse vil blot blive præsenteret i evalueringsforløbet. I det redegørende afsnit, blev displayformerne; håndholdt- og hovedmonteret displays, udvalgt til afprøvning. Prototyper bliver således udarbejdet for begge displayformerne, så testpersoner kan sammenligne og vurderer forskelle, til håndværkerens daglige arbejdsgange. Herudover vil der også lægges fokus på sammenligning af bygningsmodellens indhold, med den fysiske bygning, for at testpersoner kan vurdere validitet, af det argumenteret indhold.

Efterfølgende afsnit 12.1, vil omhandle trin 3 omkring evalueringsformen. Dernæst afsnit 12.1.1 (opstillingen) og afsnit 12.1.2 og afsnit 12.1.3 vil beskrive trin 4 og 5, om hvordan evalueringsforløbet praktisk blev opstillet, hvorfor testpersoner blev udvalgt, dataindsamlingsmetoder og den praktiske del ved udarbejdelse af prototyperne. .

12.1 EVALUERINGSOPSTILLING OG UDARBEJDELSE AF PROTOTYPER

I 3. aktivitet fra Interaction Design, udarbejdes interaktive prototyper, som skal afprøves i næste aktivitet, med udvalgte personer fra casestudiet. Prototyperne er en videre bearbejdelse af fundne scenarier og funktioner fra 1. og 2. aktivitet. Prototyperne er udarbejdet i high-fidelity (høj nøjagtighed), da eksisterende teknologi og applikationer er anvendt og modificeret. Illustrering af fundne usability goals, er udarbejdet på konceptniveau. For at identificere om funktionerne, reelt har værdi for håndværkerne, og fordi at udvikling af disse vil kræve en meget større arbejdsindsats, med softwareprogrammering. Prototyperne er udarbejdet på egen hånd, ved brug af udleveret Autodesk Revit modeller, af følgende bygning:

Augmented Reality teknologien kræver, at brugeren fysisk skal befinde sig det sted, som det augmented indhold er lavet til. Det er valgt at evalueringen skal udføres i et af campusområdets byggerier – Aalborg



Figur 12-1 Aalborg Universitets Institut for Byggeri- & Anlæg. Link til billede: <http://ilk.dk/sa4tlq>

Universitets Institut for Byggeri & Anlæg: Det er en forsknings- og undervisningsbygning, på 9000 m², placeret i AAU's store campusområde i Aalborg Øst (se figur 12-1). Bygningen består af fire etager, som bl.a. skal rumme studerende, professorer, ph.d. forskere mv. indenfor bygge- & anlægsbranchen. Dele af bygningen er taget i brug siden juli 2016, men står endnu ikke færdig pga. fejl og mangler (AAU 2017).

Valgte bygning indgår i casestudiets ejendomsportefølje, og evalueringen er således udformet som en feltundersøgelse, hvor testpersonerne vil befinde sig i deres naturlige omgivelser. Dette vil give et virkelighedsnært billede, i brugen af værktøjet, i forbindelse med deres arbejdsgang. Hertil give følelsen af genkendelige og trygge omgivelser, hvilket kan betyde at testpersonerne vil være mere åbne for dialog. Evalueringstypen - naturlige omgivelser, anvendes primært til at:



“(i) help identify opportunities for new technology; (ii) establish the requirements for a new design; and (iii) facilitate the introduction of technology, or inform deployment of existing technology in new contexts” (Preece et al. 2015)

Hvilket er relevant i dette tilfælde, da evaluering af prototyperne skal undersøge mulighederne i eksisterende teknologi, i sammenhæng med D&V, og identificerer testpersonernes behov til videreudvikling af værktøjet. Det er valgt at testpersonerne vil blive delvist kontrolleret, som tillader at der kan skabes dialog om behov og potentialer i udvikling af værktøjet. Evaluering af prototyper, i de omgivelser som værktøjet er beregnet til, vil give et billede af hvordan testpersoner vil tænke og interagerer, med værktøjet i dagligdagens brug. Dermed kan testpersoner bedre forstå, i hvilken relation det skal anvendes, og udviklere kan få en bedre fornemmelse, om værktøjet reelt er brugbart.

12.1.1 OPSTILLINGEN

Lokation	Deltagere
Thomas Manns Vej 23 9220 Aalborg Ø Mødelokale 1.339	I alt 5 personer 1. Vejleder Testpersoner fra Campus Service: 2. FM teamleder 3. Områdehåndværkeren Gæster: 4. Gæst fra UCN 5. Indkaldt en ven, til at hjælpe med at opstille testen, og optage forløbet med et håndholdt kamera.



Årsag til udvalgte testpersoner: Områdehåndværkerens ekspertise i flere fagdiscipliner, giver en fordel, da opsatte scenarier ikke kun vedrører en specifik fagdisciplin. FM teamlederen blev medtaget, for at han kunne vurdere krav til detaljeringsniveauet i bygningsmodellen. Eftersom han er med til at stille krav, i forbindelse med afleveringsspecifikationer, ved etablering af nye byggerier.

Til forløbet fik de fortalt, hvad evalueringen præcis omhandlede, hvordan forløbet ville foregå, hvad der blev fokuseret på, og hvordan dataindsamling foregik. Der blev taget forbehold til om testpersoner gerne ville være anonyme. Herudover fik de også mulighed for at modtage den færdigbehandlet rapport.

Udstyr	Software
• Egen bærbar: Lenovo Y50-70 • TV i mødelokalet: til præsentation af PowerPoint • Lenovo Phab 2 Pro telefon • Microsoft HoloLens briller • Digitalt kamera • Stativ til kamera, i mødelokale • Egen iPhone 6, til internetdeling (mere om dette i efterfølgende afsnit xx)	• Autodesk Revit 2017 • Dalux Field – TwinBIM • BIM Holoview • Microsoft HoloLens kompagnon applikation, installeret på bærbar • Mobizen Screen Recorder: til at optage telefonens skærbillede • VLC media player: til at optage skærbillede af bærbar • Stemmeoptager, Microsoft Windows tilbehørs program: anvendt til at optage lyden på bærbar, sammen med skærbilledet fra BIM Holoview.



Dataindsamlingsteknik:

Dataindsamling igennem evalueringsforløb, har været af kvalitative data, i form af:

- Skærmoptagelse med lyd, af begge displayformer i brug
- Videoptagelse med et håndholdt digitalt kamera (opereret af medhjælper)
- Anvendelsen af "Think aloud" (tænke højlydt) teknikken fra (Preece et al. 2015)

Der blev valgt at videoptage forløbet, hvilket har de fordele, at det kan hjælpe med at fange testpersoners tale, adfærd og interaktion med prototyperne, til senere analyse og præsentation af resultater. Herudover blev testpersoner bedt om at "tænke højt", som er en velkendt metode, i systemudvikling og design (Preece et al. 2015). Dette var for at identificere brugervenligheden af displayformerne, og for at indsamle så meget data som muligt. Vedrørende deres generelle holdninger til prototyperne, og hvordan disse kunne have fremtid i håndværkerens daglige arbejde.

Opstillede scenarier til afprøvning:

I et forsøg på at opnå tidligere nævnte usability goals (fra afsnit xx), omhandler scenarierne, om lokalisering af specifikke installationer, som er fremhævet, samt tilgå informationer om enkelte installationer, for at give et billede af hvordan AR kan yde værdi. Der blev i problemanalysen, identificeret en række scenarier, hvor AR kan anvendes. Følgende opstilling af scenarier til evaluering, er baseret ud fra disse, for at testpersoner skal afprøve værktøjet, i forbindelse med virkelige problemstillinger. Første scenarie vedrører problemstillinger omkring installationers placering i en teknikskakt. Andet scenarie bygger på sekvensmodellen, fra problemanalysen, omkring udskiftningen af et vvs rør, samt lokalisering af afspærringsventil, som håndværkerne ofte har svært ved at finde. Tredje scenarie er baseret delvis, udefra, 6. scenarie fra problemanalysen, omkring service og justering af tekniske komponenter.



Første scenarie: Sammenligning af installationer i teknikskakt

1. Gå hen til teknikskakten over for grupperum 303
2. Se ind til skakten og sammenlign 3D modellen med den fysiske bygning
3. Stemmer de tekniske installationers rørføring overens med modellen og de fysiske bygninger?
4. Hvis nej:
 - Hvis der mangler nogle rørføringer, er det så i modellen eller den fysiske bygning?
 - Er der stor variation i kalibreringen?

Andet scenarie: Udskiftning af et vand rør - lokalisering af rør og afspærringsventil

1. Lokaliser røret i loftet ved toiletterne
2. Fjern loftpladen ved fremhævet rør
3. Stemmer placeringen overens med modellen og det fysiske rør?
4. Hvis nej:
 - Mangler røret i modellen eller den fysiske bygning?
 - Er der stor variation i kalibreringen?
5. Lokaliser afspærringsventilen i loftet over for grupperum 303
6. Fjern loftpladen ved fremhævet afspærringsventil
7. Stemmer placeringen overens med modellen og den fysiske ventil?
8. Hvis nej:
 - Mangler ventilen i modellen eller den fysiske bygning?
 - Er der stor variation i kalibreringen?

Tredje scenarie: Service af volumenstrømsregulator

1. Tag hen til en af følgende grupperum 309, 311 eller 315
2. Lokaliserer volumenstrømsregulatoren i loftet



3. Fjern loftpladen ved fremhævet volumenstrømsregulator
4. Stemmer placeringen overens med modellen og det fysiske rør?
5. Hvis nej:
 - Mangler volumenstrømsregulatoren i modellen eller den fysiske bygning?
 - Er der stor variation i kalibreringen?

For at udarbejde prototyper i AR, blev følgende Revit modeller, af bygningen anvendt og bearbejdet:

- Arkitektmodel fra september 2017 på 101 MB
- Ventilationsmodel fra april 2016 på 99,5 MB
 - Ventilationsmodellen indebærer også VVS og afløb.

Efterfølgende afsnit, beskriver hvordan bygningsmodellerne blev bearbejdet, til at opstille prototyper af værktøjet, både til håndholdt- og hovedmonteret displays.

12.1.2 FORBEREDELSE AF BYGNINGSMODEL TIL DALUX FIELD – TWINBIM

Til håndholdt displayform, er Dalux Field's TwinBIM teknologi anvendt, med en Lenovo Phab 2 Pro telefon. Dette var for at applikationen, muliggøre at gennemse objektdata fra bygningsmodellerne. Siden at Dalux er som de første i verden til at lancerer et AR værktøj til byggebranchen, var det oplagt at anvende deres software. Dalux har stået til rådighed, for afprøvning af deres nye AR, TwinBIM teknologi, ved at give adgang til Dalux Field applikationen, ved at oprette mig som bruger, samt at oprette et fiktivt byggeprojekt. Applikationen kan både bruges via deres webside, eller downloades til en telefon eller tablet. Følgende video med procedure for upload af Revit modellerne, til Dalux Field applikationen, er anvendt: <https://youtu.be/02Ir1HXG1uo>

Procedure for upload af Revit model til Dalux Field:

1. Oprette en bygning

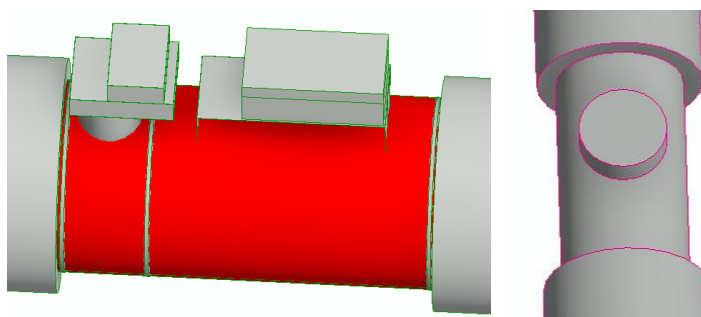


2. Installer Revit plugin kaldet "*DaluxBIM*", som bruges til at uploade Revit modeller til byggeprojekter i Dalux Field. Dette plugin samarbejder direkte med applikationen, og kræver samme login.
3. Åben Revit model, klik på Add-Ins knappen på værktøjslinjen i Revit, og klik på upload plugin ikonet
4. Ved upload udvælges først byggeprojektet, den oprettede bygning, og dernæst udvælges hvilket indhold der skal uploades fra Revit modellen. Første upload kræver at basis indhold skal medtages, hvilket er rum og 3D view. Der blev også udvalgt sheets, så det er muligt at vedhæfte 2D tegninger til byggeprojektet.
5. Udvalg af 3D indhold: kun synlig geometri fra udvalgt 3D view medtages. Der blev også udvalgt sheets, så det er muligt at vedhæfte 2D tegninger til byggeprojektet.
6. I næste trin kan der vælges om tegningerne i applikationen, skal fremstå med nummer eller navn, eller begge dele. Herudover kan navigering i tegningerne opstilles, f.eks. at det skal være muligt, at gå fra stueetagen til 1. sal.
7. Herefter gives der mulighed for, at tildele navne til de enkelte niveauer/etager i bygningen.
8. Klikkes på export, og der bliver efterfølgende, fremvist indhold af upload. I applikationens hjemmeside, kan upload processen følges, og få forhåndsvist det uploadet geometri og data.
9. Efter upload skal den importerede bygning, publiceres før den kan ses af andre involveret i projektet. Hertil at den kan tilgås fra andre enheder, som f.eks. en telefon eller tablet.

10. Andre fagmodeller som eksempelvis konstruktions- og installationsmodeller, skal uploades via samme procedure, dog skal de uploades til samme bygning. Applikationen skaber derefter en fællesmodel, som både kan tilgås i 3D view og i AR.

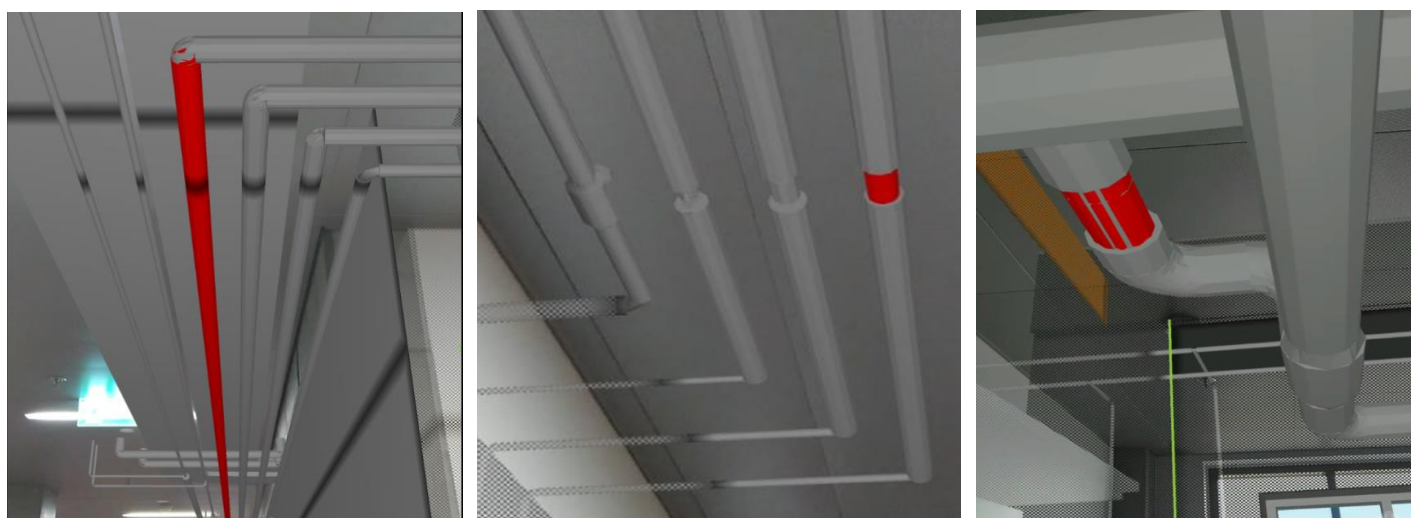
Fremhævnning af objekter i AR via Dalux Field:

Fremhævnning af objekter, blev visualiseret ved først at prøve at farvelægge objekters materiale i Revit. Dette krævede at objekternes *family* skulle redigeres, da installationsobjekter er modelleret generiske. I frygt for at ændre på samtlige objekter i modellen, inden for det *family*, blev det valgt at farvelægge isoleringen. En ny type isolering blev oprettet under *family* for "Pipe Insulation", og isoleringen blev tildelt materiale. Default materialet blev udvalgt til isoleringstypen, hvor det bare var en rød farve (se billede til højre i figur 12-2). Samme røde farve, blev ikke visualiseret i



Figur 12-2 Udklip af skærbilleder fra Revit. Venstre - volumenstrømsregulator og højre - afspærringsventil

Revit, ved tildeling af samme type isolering, til afspærringsventilen og vvs røret, men inde i Dalux Fields AR funktion, så det korrekt ud, som vist i nedenstående billeder, i figur 12-3:



Figur 12-3 Fremhævnning af objekter, i AR med Dalux Field – TwinBIM. Venstre – vvs rør, i midten – afspærringsventil og til højre – volumenstrømsregulator. Udklip af skærbillede fra telefon.

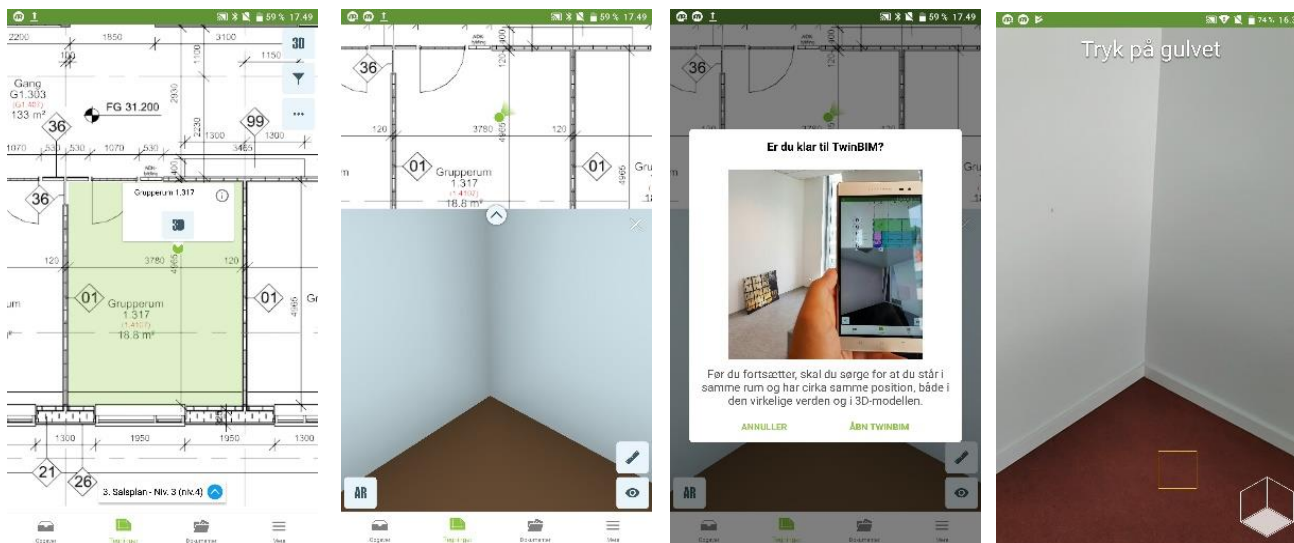
Kalibreringsproces med Dalux Field – TwinBIM:

Dalux Fields AR funktion, er baseret på Google Tango teknologien, som beskrevet tidligere i rapporten. Når applikationen skal overlevere 3D bygningsmodellen, oven på den fysiske bygning, skal den vide hvor i bygningen, den befinder sig. Herefter skal kalibreringen forgå via tre referenceoverflader, ved et hjørne af et rum: gulv og to vægge (se billeder i nedenstående figur 12-4). Derfor skal brugeren først udpege, sin placering i bygningen via plantegningen, derefter klikkes på 3D ikonet. Inde i 3D skal brugeren, vende sig mod et hjørne af rummet, og positionerer sig nogenlunde på samme måde, både i 3D viewet og den virkelige verden. Der trykkes på AR ikonet, og live video feed fra telefonens kamera bliver fremvist, her skal brugeren først udpege gulvet, dernæst væggene. Det er vigtigt at brugeren befinder sig samme sted, som den udvalgte placering, og holder telefonen oppe, så skærbilledet ligner hjørnet fra 3D viewet. Da applikationen anvender overfladerne som referencepunkter, og placerer 3D modellen således, når den augmenteres.

1

2

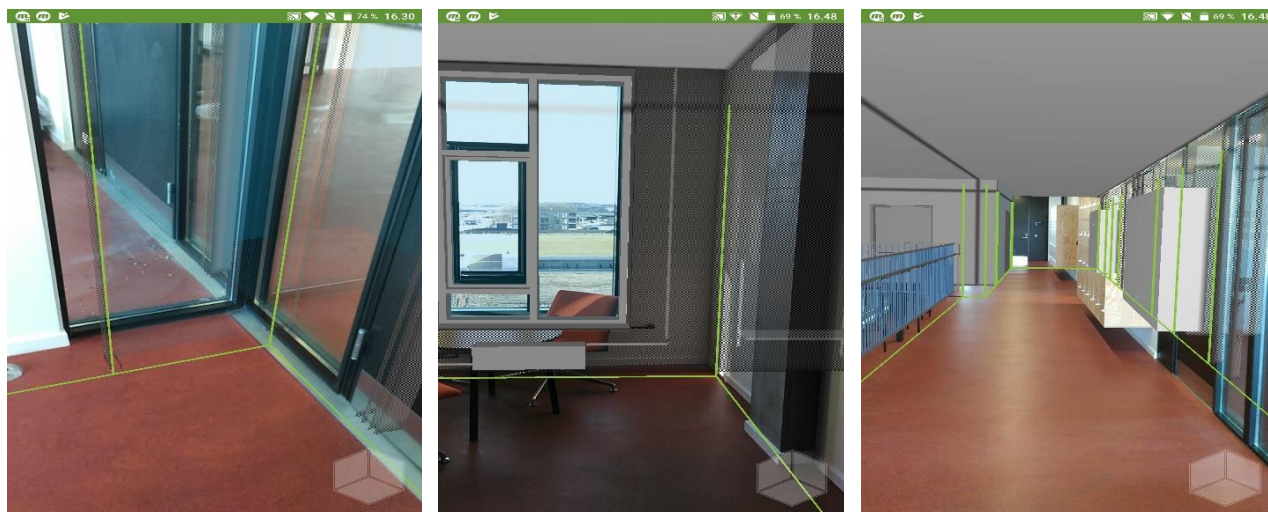
3



Figur 12-4 Skærbilleder af kalibreringsproces med Dalux Field - TwinBIM

Problematikker med kalibreringsprocessen:

Igennem forberedelsen af Revit modellerne til Dalux Field, opstod forskellige problemstillinger med kalibreringen. I første omgang, blev hele byggeriets Revit model uploadet, som medførte, at enten telefonen eller applikationen, havde svært ved at følge med, hvor det blev ved med at blive afbrudt. Det blev valgt kun at importere 3. sal af bygningen, hvor resterende af 3D modellen blev skjult i det aktive view vha. *Section Box* funktion i Revit. Dette blev gjort for



Figur 12-5 Skærbilleder med Dalux Field - TwinBIM



begge Revit modeller, hvilket hjalp på problemet. Men kalibreringen af 3D modellen var stadig problematisk, da modellen ikke blev korrekt overlejret, som det kan ses på billederne i nedenstående figur 12-5.

Det vides ikke hvorfor problemstillinger opstod, men det kan tyde på, måden modellerne blev uploadet på, ikke var rigtigt, da samme modeller i BIM Holoview, blev korrekt overlejret. Leverandøren blev kontaktet, og de havde ikke hørt om tilsvarende problemer før. De mente at det kunne have noget med modellen at gøre. Det lykkedes ikke at løse problemet, inden for projektets tidsramme.

Der blev besluttet alligevel at medtage applikationen til evalueringsforløbet, da applikationen muliggør at tilgå indtastet objektdata, fra Revit modeller. Dette er ikke muligt med BIM Holoview, så testpersoner blev bedt om at se bort fra problemstillingerne, omkring kalibrering med Dalux TwinBIM. Herudover er telefonen relevant, da evalueringen også omhandler sammenligning af displayformerne.

12.1.3 FORBEREDELSE AF BYGNINGSMODEL TIL BIM HOLOVIEW

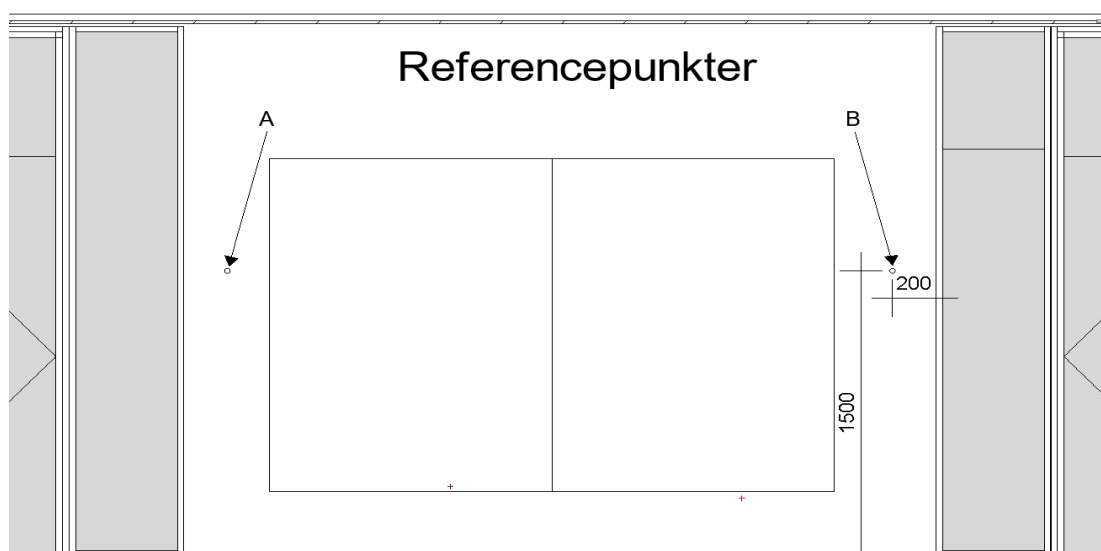
Til hovedmonteret displayform, har Aalborg Universitet, Institutet for Byggeri & anlæg, stillet Microsoft Hololens briller til rådighed for afprøvning, og BIM Holoview applikationen anvendt til disse. Firmaet BIM Holoview har i samarbejde med softwarefirmaerne Microsoft, Autodesk og RedCrater, udviklet en Augmented Reality applikation til byggebranchen. Applikationen er primært blevet udviklet til udførelsesfasen af et byggeprojekt, for at kvalitetssikre arbejdet og hjælpe med beslutningstagning, for at undgå dyre omkostninger, forbundet med ombygning ved fejl og mangler (BIM Holoview Ltd 2018a). Årsagen til valgte applikation til hovedmonteret displayet, er at den er beregnet til byggebranchen og samarbejder med Autodesk Revit. BIM Holoview kan tilgås via deres webside, men applikationen er kun tilgængelig for download til Microsoft Hololens, via Microsoft Store, da den beregnet til enheden. På deres hjemmeside, giver de mulighed for at afprøve applikationen i en 14 dages

prøveperiode, med upload begrænsning på kun 3 filer. Der blev taget kontakt til dem, og de har været meget behjælpelige med at genstarte upload begrænsningen, tre gange.

Procedure for upload af Revit model til BIM Holoview:

Først skal Revit modellen indeholde 2 referencepunkter, der er udviklet som 3D objekter. Revit modellen kan kun blive augmenteret via disse referencepunkter i BIM Holoview. Referencepunkterne kan downloades fra BIM Holoviews hjemmeside, og skal importeres til Revit via *Load Family* under *indsæt*. Referencepunkterne skal placeres således, i Revit modellen (BIM Holoview Ltd 2018b):

- På en plan overflade, helst en væg.
- Placeringen skal være let tilgængelig, hvor der er god belysning, da de skal tilgås via Hololens brillerne.
- Punkterne skal minimum være en meter fra hinanden, og mindst en halv meter fra et hjørne.



Figur 12-6 Placering af referencepunkter i Revit til BIM Holoview. Udklip af skærm-billede fra Revit



Til prototypen er referencepunkterne, placeret i bygningens gangareal, nær området med de fremhævede objekter, som indgår i testscenarierne (se figur 12-6). Punkternes placering blev afmærket, med et kryds i den fysiske bygningen, for punkt A og B.

Upload af Revit modeller sker igennem BIM Holoviews hjemmeside, med tildelte login. Før modellen uploades, skal denne være i et FBX filformat, som er et udviklingsformat af Autodesk, specielt til 3D dataoverførsel (Autodesk Inc 2016).

Følgende video er anvendt, til både placering af referencepunkter, og export af Revit model til FBX filformatet: <https://youtu.be/6UB-70T3xvc>

BIM Holoview opretter ikke selv en fællesmodel i applikationen, derfor var det nødvendigt først at linke ventilationsmodellen til arkitektmodellen som indeholder referencepunkterne.

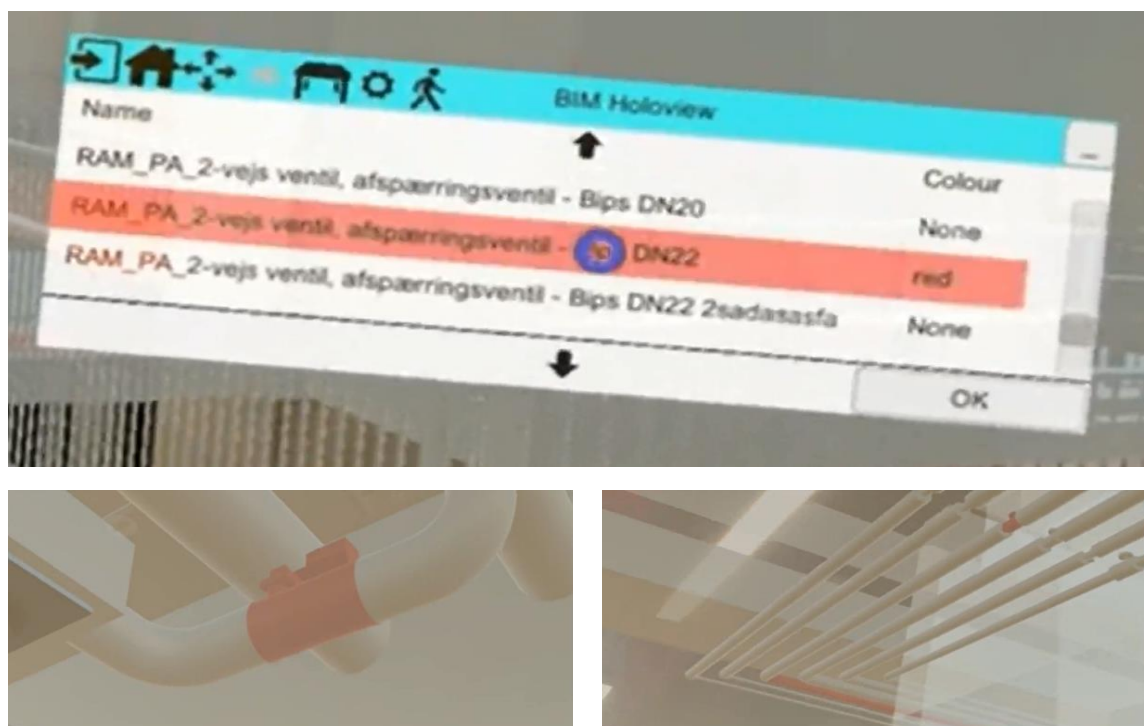
FBX filen skal uploades igennem deres hjemmeside, derefter anvendes samme login, i applikationen fra Microsoft HoloLens, for at downloade modellen til brug i applikationen.

Fremhævning af objekter i BIM Holoview:

Hele Revit modellen fremstår grålig, når den augmenteres i BIM Holoview. Det blev først forsøgt at bruge samme proces som tidligere beskrevet, til Dalux – TwinBIM med at farvelægge isoleringen, men objekterne fremstod stadig grålige.

Forskellige metoder blev afprøvet, til at farvelægge selve objekterne, men mislykkedes da installationsobjekterne er modelleret generiske, hvilket gav problemer. Hertil at tilføje materialer til objekterne, eller ændre i eksisterende materiale og farvelægge disse. Ved upload af modellen, er der mulighed for at afkrydse feltet "Automatic Color Rendering" for at medtage samme farvevalg fra Revit modellen. Men de garanterer ikke at farverne stemmer overens, og henviser derfor til at importere FBX filen til Autodesk 3DS Max og derefter manuelt farvelægge objekterne, hvilket er en længere varende proces og blev derfor undladt. 3DS Max er en modellerings- og renderingsoftware, som ofte bliver anvendt i spil- og animationsbranchen. Til sidst blev problemet løst, da

BIM Holoview tillader at tildele objekter forskellige farver under "Colors" i menuen. I applikationen er det muligt, at farvelægge objekt typer, herudover kan



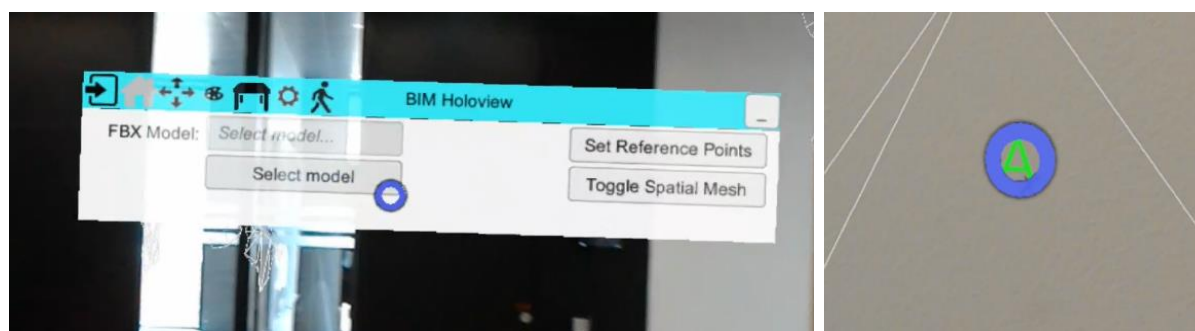
Figur 12-7 BIM Holoview – Color menu og fremhævede objekter. Udklip af skærbilleder

de også skjules og gøres transparente. Applikationen farvelægger objekt typen som er anvendt i hele modellen, derfor var det nødvendigt at duplikere de specifikke objekter fra scenarierne, i Revit modellen, og angive andre navne, for kun at farvelægge disse (se nedenstående figur 12-7 for resultat).

Kalibreringsproces og funktioner med BIM Holoview:

Kalibrering af 3D bygningsmodellen med den fysiske bygning, sker via ovennævnte referencepunkter. BIM Holoview brugergrænseflade udgør en pop up menu, som hele tiden følger brugerens hovedbevægelser og synsfelt. Menuen kan minimeres og fremkaldes igen ved at klikke et hvilket som helst sted i brugergrænsefladen. Bygningsmodellen skal først downloades til applikation, via login og download af bygningsmodellen, som nævnt tidligere. Derefter navigeres der til startside, hvor downloadet model udvælges, og

derefter klikkes på "Set Reference Points" som vist i nedenstående billede i figur 12-8. Herefter skal brugeren fysisk bevæge sig hen til placering af referencepunkterne, og afmærke punkterne A og B. Når referencepunkt B er afmærket, begynder applikationen automatisk at overlejlre 3D bygningsmodellen. Hvis den augmentedede bygningsmodellen, ikke stemmerovens med den fysiske bygning, er det via menuen også muligt, at ændre på placeringen, med funktioner som "Forward", "Height" og "Rotation".



Figur 12-8 Skærbilleder af kalibreringsproces med BIM Holoview

Skærmdeling med Microsoft Hololens:

Et problem med afprøvning af Microsoft Hololens brillerne er, at andre personer ikke kan se skærbilledet, og dermed vil det besværliggøre evalueringsforløbet og dialogen. Hololens har en ledsager applikation til Windows computere, som kan hentes fra Windows Store. Denne applikation tillader at forbinde Hololens brillerne, og bl.a. se livestream af skærbilledet, fjernstyre brillernes programmer, tage billeder og videooptagelser. Ledsager applikationen gav problemer med at forbinde til brillerne. Det sig at problemet omhandlede Wi-Fi forbindelsen. Applikation og brillerne skal forbindes via brillens IP adresse, hvilket gav udfordringer. Skolens Wi-Fi forbindelse er lukket, og forbindelsen har sin egen firewall, som blokerede for forbindelse. For at løse problemet, blev min egen telefons internetdeling, anvendt til både min computer og brillerne. Herefter var det muligt, at live streame brillernes skærbillede, så alle testdeltagere kunne se med. Det er ikke muligt at live streame til computeren,



og på samme tid, videooptage via brillerne. Det var vigtigt at dele skærbilledet med alle deltagere til evalueringen, hvor det blev i stedet for valgt, at videooptage computerens skærbillede. Til evalueringen af scenarierne med brillerne, blev min computer og telefon, placeret på et rullebord, for nemmere at transportere dem rundt.

V EVALUERINGS - & LØSNINGSAFSNIT

Dette afsnit udgør rapportens sidste del, som omhandler afprøvning af AR værktøjet, med testpersoner fra casestudiet. Derefter en række anbefalinger til videreudvikling, samt effekten af AR værktøjet, i håndværkerens daglige arbejdsgange, med henblik på at besvare, undersøgelsens centrale problem:

Hvordan kan Augmented Reality supplere håndværkerens arbejdsproces, til drift- og vedligeholdelsesarbejde?

13 EVALUERINGSFORLØB OG RESULTATER

I dette afsnit vil evalueringsforløbet og resultater blive præsenteret og redegjort for.

Til evalueringsforløbet blev et PowerPoint slideshow forberedt, til at præsenterer deltagerne for følgende: *PowerPoint er vedlagt som bilag 1*

- Formål
- Forløb og dataindsamlingsteknikker
- Hvad der ønskes af testpersoner og hvad de skal fokusere på
- Præsentation af displayformerne, deres interaktion, kalibreringsproces, og anvendte applikationer til at visualiserer AR indholdet. Et minuts videoer af begge enheders kalibreringsproces



og interaktion blev fremvist, så testpersonerne fik en bedre forståelse.

- Evalueringens fysiske afgrænsning og placering af kalibreringsmuligheder med begge displays
- Redegørelse af opstillede 3 scenarier
- Opsummering af forløb
- Fremtidsmuligheder – præsentation af alternative funktioner

Præsentationen blev stoppet, efter de blev informeret om scenarierne, hvorefter selve afprøvningen blev igangsat. Efter afprøvning med begge displayformer, blev forløbet opsummeret tilbage i mødelokalet, hvor de også blev præsenteret for de supplerende funktioner til AR værktøjet, identificeret fra afsnit 11. Først blev scenarierne gennemgået med Lenovo telefonen og derefter Hololens brillerne.

Afvielser fra testscenarier:

På dagen viste det sig at det ikke var muligt at fjerne loftpladerne, da bygningen officielt ikke er afleveret endnu, til Aalborg Universitet og Campus Service. Det var derfor ikke muligt at sammenligne placering installationer for 2. og 3. testscenarier. Sammenligning af 3D modellen med den fysiske bygning, blev derfor kun vurderet i 1. scenarie vedrørende teknikskakten. Der blev i stedet valgt, at sætte fokus på funktionalitet og brugbarheden af værktøjet, i 2. og 3. scenarier.

13.1 RESULTATER:

Afsnittet vil først præsentere, alle resultater opsummeret samlet, fra alle tre testscenarier med begge displayformer. Derefter beskrives sammenligningen af 3D modellen og den fysiske bygning, samt testpersonernes holdninger ved præsentation af supplerende funktioner. Sidste afsnit vil redegøre for sammenligning af displayformer. Citater af testpersonernes udtalelser, er løbende medtaget, fra evalueringsforløbets videooptagelserne.



Begge testpersoner udtrykte begejstring for muligheder med Augmented Reality teknologien, hvor de løbende fortalte, at det giver et godt overblik over installationers placeringer og føringsveje. Taget i betragtning af, at prototyperne var udarbejdet på koncept niveau, så kunne testpersonerne godt relatere sig til, hvordan det ville kunne anvendes af håndværkeren, og løbende udtrykte forslag til forbedringer. Nedenstående figur 13-1, er opstillet for at give et samlet overblik, over fundne resultater fra evalueringsforløbet. Resultater er opstillet som krav og behov, og er udarbejdet på baggrund af, testpersoners udtalelser og observation af adfærd, omkring brugen af værktøjet.

Opsummering af evaluering med krav og behov til videreudvikling

Krav og funktioner til værktøjets Funktionalitet, brugergrænseflade og interaktion

Grundlæggende krav baseret ude fra udtalelser og adfærd

Nøjagtig As-built model.
Realistisk opbygget
bygningsmodel er afgørende

Kræver stabil internet
forbindelse

Håndværkeren skal fysisk
befinde sig i bygningen

Intuitiv interaktionsform og
brugergrænseflade

Nem og overskuelig
kalibreringsproces

Realtime data visualisering

Tydeligere skelning mellem
overlejret 3D model og fysiske
bygning

Behov ifølge testpersoners udtalelser

Interaktiv augmentedede
bygningsmodel, hvor
driftsinformationer om objekter
skal kunne fremvises

Visuel identificering af
installationstype og
forsyningsretning af
installationers føringsveje og
komponenter, via signature fra
tegningsprincipper. Heri
komponenter som ventiler, kule
haner, målere, pumper,
afbrydere, spjæld mv.

Filtreringsmuligheder efter
fagdisciplin, og specifikke
objekttyper

Behov af informationer:
Udover standard oplysninger
som type, dimension, materiale
mv. Så skal realtime
informationer vedr.
installationers instillinger og
justeringer være tilgængelige:
Fx armatures indregulering
luftmængder

Måltrettet fremvisning af
komponenter, tilknyttet udvalgt
installation. Eksempelvis
afspærringsventil til udvalgt vvs
rør.

Instillinger til
visualiseringsmuligheder, fx
konfigurering af objekters
transparenthed og visnings
afstanden

Figur 13-1 Oversigt af krav og behov til AR værktøjet – Identificeret under
evalueringsforløbet.

13.1.1 BEHOV FOR VISUALISERINGS MULIGHEDER:

Den augmentedede 3D model, visualiserer alle installationer og føringsveje, men det er ikke muligt at skelne mellem installationstyper. Alle installationer bliver augmentedede, med samme grålige farve (se billede til højre, figur 13-2), hvilket gør det svært at vide, hvilket der eksempelvis er varmt- eller



Figur 13-2 Ensartet grålig visualisering - Skærbillede fra evalueringsforløb

koldtvandsrør. Dette kan ikke tydes med det samme, da røret først skal udpeges, hvorefter informationer om røret bliver synliggjort. Håndværkeren fortalte at visuel synliggørelse af installationers rørføring og komponenter, eventuelt kan visualiseres ved at gøre brug af signaturforklaringer, ude fra branchens tegningsprincipper. Dette kan eksempelvis være for en afspærringsventil eller et vandrør (se figur 13-3):

Benævnelse	Signatur forklaring/symbol
2-vejs ventil, afspærringsventil	
Brugsvand, koldt	

Figur 13-3 Tegningsprincip for 2-vejs ventil, afspærringsventil. Kilde Bips C213 Tegningsstandarder, del 1 – Generelt fra 2012-12-19 og del 5 – VVS og ventilation fra 2015-09-03, revision 1. Link: <http://ilk.dk/xscnoz> og <http://ilk.dk/zx3p61>.

Det blev fortalt af håndværkeren, at han ikke er så interesseret i rørføringen, som placeringen af justerbare komponenter. På nuværende tidspunkt, indeholder anvendt bygningsmodel, vvs fagområdets rørføring og visse ventiler, som eksempelvis afspærringsventil. Det er relevant for håndværkeren at se placering af komponenter som kule haner, ventiler, målere, pumper, afbrydere



mv. da disse komponenter skal justeres og aflæses. Efter vvs røret blev identificeret i 2. scenarie, spurgte håndværkeren:

"... Hvis nu jeg ved at det er det her varmerør for eksempel, så vil jeg gerne vide hvor ventilen for at lukke for det er henne?..." Områdehåndværkeren

Selvom afspærringsventilen var fremhævet med en rød farve, var det stadig nødvendigt at dirigere testpersonerne til den omkringliggende placering af ventilen. Afspærringsventilen var nemlig placeret, i gangarealet ved siden, og selvom væggene var transparente, var det stadig svært at kende placeringen. Det kan derfor være nødvendigt, med følgende funktion: til udførelse af en given opgave, bør målrettet fremvisning af tilknyttet komponenter, til udvalgt installation være muligt, og komponenter med en længere afstand, skal fremvises tydeligere.

Samlet visualisering af flere fagmodeller, kan skabe forvirring for håndværkeren, at se for meget 3D indhold på en gang. Det blev derfor omtalt, at der bør være funktioner til filtrerings- visualiseringsindstillinger. Faghåndværkere skal således selv kunne afgøre, hvilke fagmodeller han vil se, for at udføre arbejdet inden for eget fagområde. Herudover skal det være muligt, at vælge indstillinger for eksempelvis transparens, af bygningsdele og installationer. Håndværkeren kan således selv kan afgøre, om det eksempelvis er nødvendigt, at se igennem til næste rum eller etage, for at kende til føringsveje, eller eventuelt at fremhæve alle brandspjæld, med en bestemt farve, for at skabe overblik.

Det er meget relevant for håndværkeren, at kunne se informationer tilknyttet 3D modellens objekter.

"... Dimensionen er meget vigtig, det er faktisk en rigtig stor hjælp, fordi den kan man jo ikke se, når der er isolering på, og det gætter man sig altid til..."
Områdehåndværkeren

Ud over standard informationer om enkelte installationers dimensioner, type, materialevalg, fabrikant mv. så var testpersonerne meget interesseret i at se de enkelte komponenter og armaturers driftsdata. Vedrørende volumenstrømregulatorens, skal det bl.a. være muligt at se, indregulering af luftmængder og tryk. Fremvisning af driftsdata og drift status på installationer i realtime, vil spare håndværkeren tid og besvær, da han fysisk ikke behøver at tilse armaturet. Dette kan visualiseres via værktøjet, og håndværkeren kan derefter afgøre, om det er nødvendigt at fortage justeringer.

Ovenstående behov kræver, et interaktivt Augmented Reality værktøj som kan anvende FM-systemets driftsdata. Samarbejdet er nødvendigt for at tilgængeliggøre realtime driftsdata. Hertil visualisering af 3D modellen i realtime, således at løbende ændringer i geometri, automatisk bliver ajourført.

13.1.2 SAMMENLIGNING AF 3D MODEL OG DEN FYSISKE BYGNING



Figur 13-4 Sammenligning af teknikskakt – Skærbilleder fra videooptagelser af display og digitalt kamera



I 1. scenarie vedrørende sammenligning af teknikskakten, var det svært at tyde forskellen, på 3D modellen og fysiske installationer. For meget overvejring af 3D modellen, kan blokerer håndværkerens synsfelt, for at skelne mellem virkelige og virtuelle objekter. Herudover kan blokering af synsfeltet sætte håndværkeren i farlige og skadelige situationer, eksempelvis højder eller ved maskinel arbejde. Der kan derfor vurderes, at tydeligere skilning med forskellen mellem overlejret 3D model og fysiske bygning er vigtigt, således at 3D modellen ikke overdøver den fysiske bygning og installationer.

Sammenligningen af teknikskakten, kan ses i ovenstående skærbillede 3 fra figur 13-4, fra 1. testscenarie. Alle deltager havde svært ved at skelne mellem, overlejret 3D indhold og de faktiske installationer. De grønne streger er fra applikationens skærbillede, indikerer afgrænsninger af byggeriets udformning fra bygningsmodellen. Stregerne er forkerte på skærbilledet, grunden tidligere nævnte problematikker med kalibreringen (afsnit 12.1.2). Herudover stemte de modellerede installationsobjekter, ikke overens med teknikskakten. Et eksempel på dette er vist med varmeveksleren: pil D, peger mod den fysisk placeret varmeveksler, og pil E: henviser til den modellerede varmeveksler. Antallet af rørføringer og varmeveksler var korrekte, men rørføringer var modelleret tværgående, og uden isoleringer, som kan ses på skærbillede 2, pil C fra ovenstående figur 13-4. Skærbillede 2 illustrerer også mangel på ajourføringen af bygningsmodellen, da hele teknikskakten fysisk er placeret, ca. en halv meter til venstre, i udførelsesfasen ift. modellen - pil A: fysiske dørhåndtag og pil B: overlejret dørhåndtag.

Placering af installationer og føringsveje, bliver ofte gjort på forskellige måder i udførelsesfasen, afhængig af håndværkere:

"... Der er ligeså mange måder at lave det, som der er håndværkere. Så man kan ikke lave en standard der hedder: sådan bygger vi det her (teknikskakt). Det kan være den nedenunder er bygget på en anden måde, fordi det er en anden mand der har lavet det..." Områdehåndværker



Dette nødvendiggøre i udførselsfasen, hele tiden at kvalitetssikre og ajourføre bygningsmodellen, med det der reelt bliver bygget. Siden at prototyperne ikke var udarbejdet på baggrund af nøjagtige As-Built modeller, endte dialogen ofte i, hvorvidt modellen og den fysiske bygning stemmeroverens. Hvor forskellige metoder blev omtalt, til udarbejdelse af nøjagtige As-built modeller. Da disse er afgørende for, at håndværkeren kan anvende AR værktøjet

13.1.3 TESTPERSONERS HOLDNINGER TIL SUPPLERENDE FUNKTIONER:

Efter opsummering af evalueringsforløbet, blev testpersonerne præsenteret for følgende supplerende funktioner, som kunne forestilles implementeret, i AR værktøjet. De supplerende funktioner som blev præsenteret for testpersonerne, er følgende:

1. Augmented Reality værktøjet integreret med FM systemet og helpdesk. Håndværkerens rute kan opstilles og visualiseres som en to-do liste. Løbende igangsættelse eller færdigmelding af sager, kan forgå heri.
2. Dirigering til specifikke sager/objekter. Håndværkeren kan blive dirigeret til specifikke objekter, fra udvalgt sag, som visuelt fremhæves automatisk.
3. Fjernhjælp via live videoopkald i Augmented Reality, med interaktive skærm duplikering: se eksempel i følgende video: <https://youtu.be/1QFMPo5k6p0>
4. Fremvisning af realtime driftsstatus og diagramoversigt. Eksempelvis ved udpegning af ventilationsrør, fremvises ventilationsdiagram, med drift status, og placering af udvalgte rør ift. diagram.
5. Trinvis visuel guide og instruktionsvideoer i Augmented Reality, som sideløbende kan visualiseres, til at hjælpe håndværkeren med at løse komplekse opgaver. Se eksempel i følgende video: <https://youtu.be/QTuKcm8s4QQ>



Der blev givet udtryk for, at de første to funktioner, ikke vil være nødvendige for håndværkerne, da de er vant til deres arbejde, og er bekendte med bygningerne. Det vil dog være relevant for, udefra kommende håndværkere, at blive dirigeret til specifikke objekter, da disse ikke er bekendte med området. Herudover kan funktionerne have for meget kontrol over håndværkerens arbejdsproces, hvilket kan resultere i, at værktøjet ikke bliver anvendt:

“If the cognitive load is too high for the user, then the device may be too stressful to use. On the other hand, if the product has too much control and is too inflexible, then it may not be used at all.” (Preece et al. 2015)

De sidste tre funktioner blev taget bedre imod, da fjernhjælpsfunktionen vil gøre det nemmere for håndværkeren, at forklare problemet, til eventuel en leverandør eller tekniker. Således vil det være tidsbesparende, både i forhold til at afklare problemet, og at det kan resultere i, at en tekniker ikke behøver at møde op. Fjerde funktion blev også identificeret i løbet af afprøvning, som beskrevet i forrige afsnit. Visuel fremvisning af installationstyper via tegningsprincipper og diagram symboler, og tilgængeliggørelse af realtime driftsdata- og status på installations armaturer, er meget relevante for håndværkeren, da det kan resultere i en mere effektiv arbejdsproces. Til sidste funktion, vedrørende en trinvis visuel guide i Augmented Reality, blev der rejst spørgsmål om, hvornår det reelt er nødvendigt at anvende denne funktion. Eftersom håndværkeren er uddannet inden for faget, eventuelt med flere års erfaring, og derfor afhænger det af opgavens kompleksitet og hyppighed. Områdehåndværkeren fortalte at funktionen rent visuelt, kan bruges til maskinel arbejde, som f.eks. kølemaskiner der skal nulstilles, da betjeningspanelerne hele tiden bliver svære at finde rundt i.

13.1.4 SAMMENLIGNING AF DISPLAYFORMER:

Det blev valgt at testpersonerne ikke skulle afprøve, kalibreringsprocessen med Hololens brillerne, pga. begrænset tid. Testpersonerne brugte brillerne, kun som et visualiseringsværktøj. Det er således svært, på nuværende tidspunkt at vurdere, sammenligning af displayformerne, da testpersonerne ikke fik afprøvet



den nye interaktionsmetode, med Hololens brillerne. Til evalueringsforløbet udtrykte testpersonerne, mest begejstring over Microsoft Hololens brillerne:

"... Det kunne blive et stykke værktøj, ligesom ens telefon efterhånden er blevet... Der vil jeg klart fortrække brillen, fordi oplevelsen var meget bedre... allerede nu er brillerne meget mere behagelige at have på, end det var for et år siden... synsfeltet må godt være bredere, men det er ikke noget der var generende" Områdehåndværker

"... Det kan også gå hen og blive så småt med telefonen, at så skal man op og have en stor Phab telefon, før at man for det rigtige overblik..." FM teamleder

Årsagen til at testpersonerne begejstring over brillerne, kan eventuelt skyldes den nye og fordybende oplevelse af Augmented Reality, som hovedmonteret displayformer medfører.

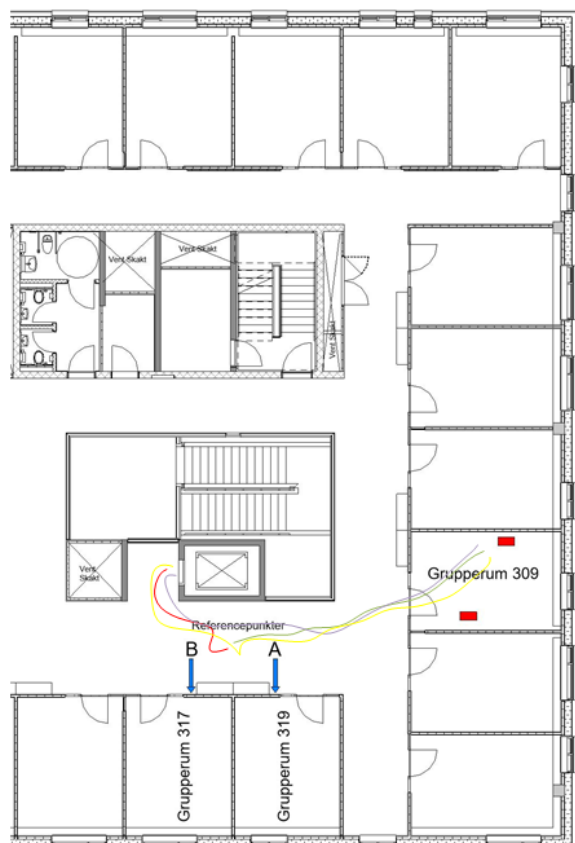
På grund af begrænset tid til evalueringsforløbet, vil en sammenligning af displayformerne, derfor blive udarbejdet både på baggrund af testpersoners holdninger, og egne erfaringer igennem forløbet, med udarbejdelse af prototyper.

13.1.4.1 Fysiske faktorer ved brug af displayformer

Til formålet med sammenligning af displayformerne, er fysiske modeller opstillet, fra Contextual Designs, konceptuelle modeller (Beyer Hugh 1998). Modellerne belyser forskellen, på de fysiske forhold og illustrerer hvordan håndværkeren ville arbejde med displayformerne. Til begge displayformer, er der opstillet forskellige brugsscenarier, for at illustrere håndværkerens handlinger med forskellige farvede spor, tilknyttet hvert handling.

Til modellerne skal der tages forbehold til, at der er om dagen, kan være meget aktivitet i bygningen, fra studerende og medarbejdere. Grupperummene kan ligeledes også være optaget af studerende der arbejder.

Fysiske forhold ved brug af hovedmonteret display:



→ Placering af referencepunkter på væggen

■ Placering af Ventilationsarmatur i loftet

Arbejdsproces for service af ventilationsarmatur med brillerne:

- 1: Først kalibreres modellen ved referencepunkter i gangarealet
- 2: Håndværkeren lokaliserer korrekte ventilationsarmatur i loftet
- 3: Flytter brillerne væk fra synsfeltet ved at skubbe dem op. Fjerner loftplade og udfører arbejdet
- 4: I forbindelse med arbejdet, har håndværkeren brug for at tilse noget i ventilationsanlægget, placeret i teknikrummet, i kælderen
- 5: Modellen skal kalibreres igen i kælderen ved opsatte referencepunkter, som håndværkeren på forhånd skal vide placeringen af disse. Bruger AR til at lokalisere den korrekte ventilationsaggregat
- 6: Skal tilbage op til grupperummet og færdiggøre arbejdet, men modellen skal kalibreres igen

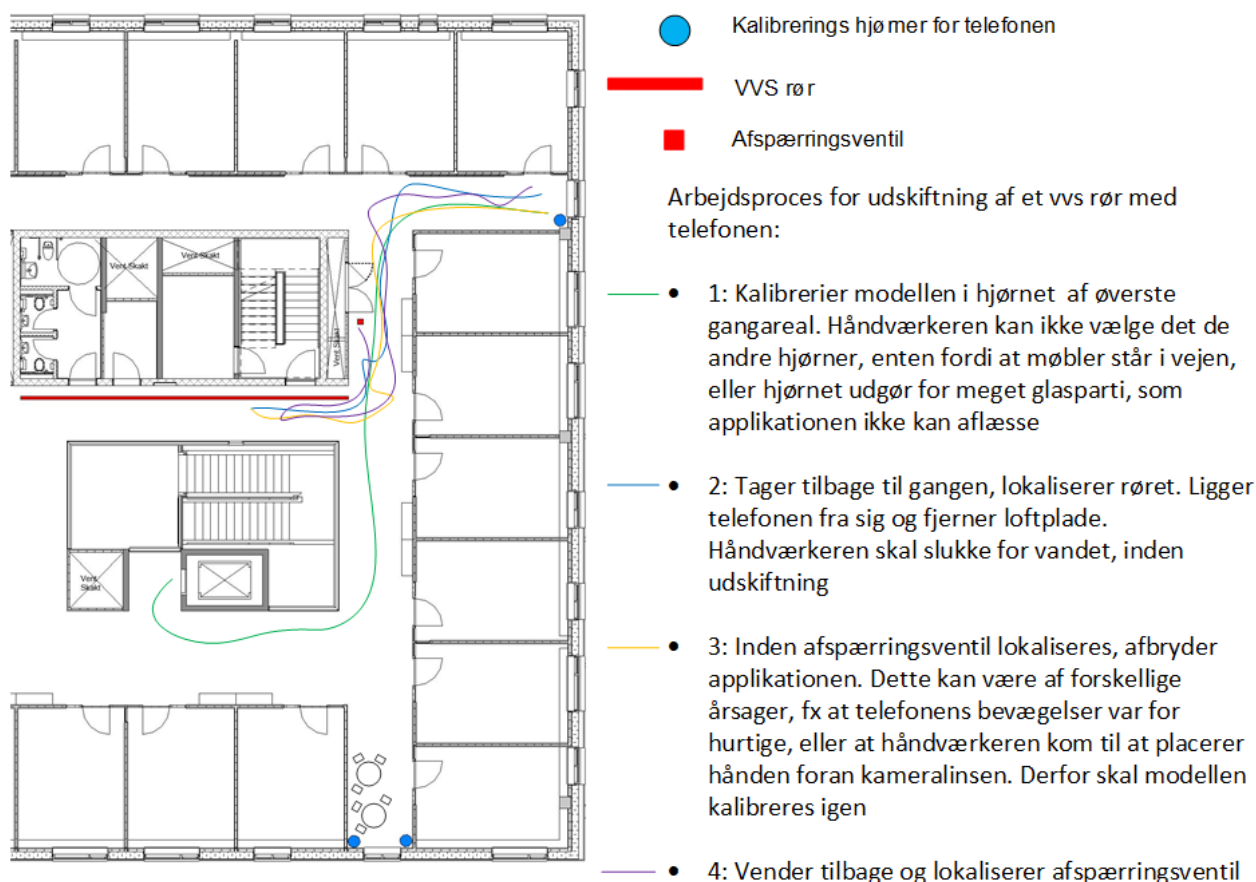
Forstyrrelser med kalibreringen, sker når håndværkeren går fra den etage til anden

Figur 13-5 Fysiske model – Hovedmonteret display

- Brillerne er et ekstra sæt "værktøj" som håndværkeren skal medbringe
- Håndværkeren har hænderne fri ved brug, og behøver derfor ikke at lægge brillerne fra sig imens han er i gang med arbejdet. Brillerne kan også skubbes op og væk fra synsfeltet
- Kalibreringens referencepunkter er fastsatte, som begrænser håndværkeren
- Displayet udelukker håndværkeren delvist fra omverdenen, men kan give et bedre overblik

- Der er tendens til at for at få ondt i hovedet, øjnene og nakken ved brug af brillerne over en længere periode.
- Interaktionsmetoden er ny og besværlig, og kan medfører træthed i arme, hænder og hoved

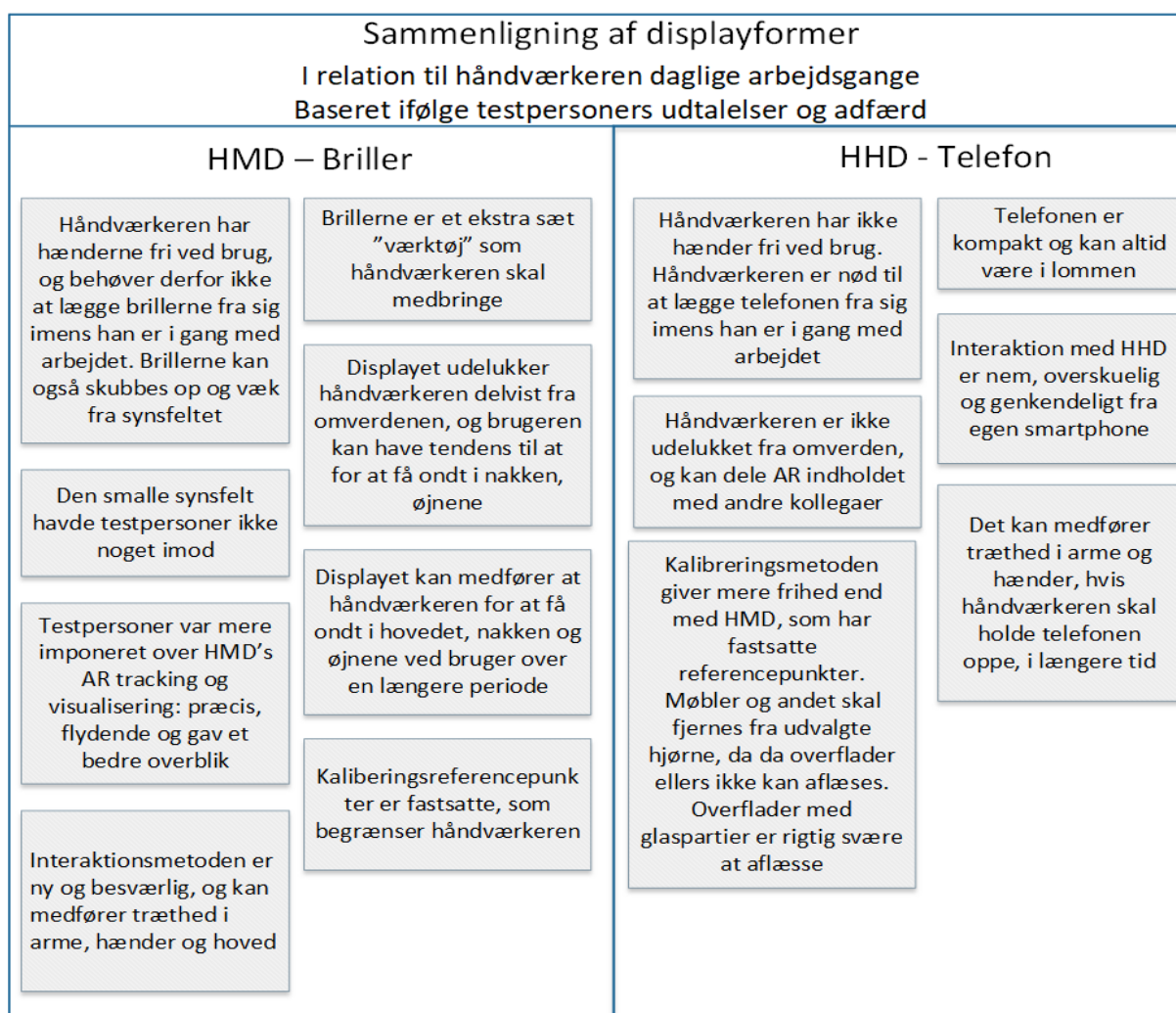
Fysiske forhold ved brug af håndholdt display:



Figur 13-6 Fysiske model – Håndholdt display

- Telefonen er kompakt og kan altid medbringes i lommen
- Inden kalibrering, skal hjørnet ryddes for møbler og andet der står i vejen, da applikationen ellers ikke kan aflæse overflader.

- Overflader med glaspartier, eller optegnet som *curtain wall* i Revit, har applikationen rigtig svært ved at aflæse
- Håndværkeren har ikke hænderne fri ved brug. Han er derfor nød til at lægge telefonen fra sig, imens han er i gang med arbejdet
- Håndværkeren er ikke udelukket fra omverden, og kan dele AR indholdet med andre kollegaer



Figur 13-7 Sammenligning af displayformer - Baseret både på evalueringsforløb og egne erfaringer



Beskrivne faktorer fra ovenstående figur 13-7, og de fysiske modeller, for både brillerne og telefonen (figur 13-5 og figur 13-6), belyser de fysiske begrænsninger ved brug af displayformerne. Sammenligning illustrerer at telefonens genkendelighed af brugergrænsefladen og interaktionsmetoden, vil være en fordel for håndværkeren, som allerede er bekendt med disse fra egen smartphone. Telefonens gentagende kalibreringsproces, begrænser håndværkeren, da denne ofte er nødt til at stoppe arbejdet, og finde et hjørne i bygningen for at kalibrerer. Brillerne giver overordnede et bedre overblik, samt en bedre forståelse for installationers placering, via den fordybende visualisering. Brillernes kalibreringsproces, begrænser håndværkeren for hver gang, denne går fra etage til etage. Brillernes nye interaktionsmetode kan medvirke som en irritationsfaktor, da denne kræver både hånd-, hoved- og krop bevægelser, og vurderes således som ikke håndgribelig og en mere besværlig interaktion. Herudover kan ibrugtagning over en længere periode, medfører træt- og ømhed i øjne, nakke, hoved og arme.

14 LØSNINGSAFSNIT

Generelt er udvikling- eller videre udviklingen af eksisterende systemer og applikationer, en længerevarende og omfattende proces. Systemudvikling er en iterativ proces, hvor løbende evalueringer skal give feedback på videreudvikling. Evalueringen fra forrige afsnit 13, er således blot en af de mange, som kræves i en udviklingsproces. Efterfølgende afsnit anvender fundne behov fra evalueringen, til fremtidig udvikling. Sidste afsnit belyser, hvordan et færdigudviklet og implementeret AR værktøj, kan optimerer håndværkerens daglige arbejdsproces.

14.1 FREMTIDIG UDVIKLING

Augmented Reality teknologien er hele tiden under udvikling og forbedring. Dette er både vedrørende kalibrering og tracking, af overlejet 3D model og



brugerens fysiske bevægelser, samt den grafiske visualisering. Teknologiske problematikker vedrørende tracking og kalibrering, vurderes derfor ikke værende begrænsende i den nærmere fremtid. Til videreudvikling, bør der fokuseres på teknologiens funktionalitet i forhold til, håndværkernes daglige arbejdsgange, at den benyttede displayforms og tilhørende interaktionsform, ikke må være til gene eller komplicerer, håndværkerens udførelse af arbejdet.

AR værktøjet kræver videre udvikling, med en fokusgruppe, bestående af håndværkere og andre driftsmedarbejdere involveret. Således at værktøjet effektivt, kan integreres i driftsorganisationen og håndværkernes, daglige arbejdsgange. De grundlæggende krav, er nødvendige før værktøjet kan anvendes, som bl.a. omhandler: Nøjagtig As-Built modeller og stabil internet forbindelse, til download eller streame 3D bygningsmodeller, samt at håndværkeren fysisk skal befinde sig i bygningen. Herudover bør der i udviklingen, fokuseres på de fundne behov, udtrykt af testpersonerne, fra evalueringsforløbet, til videre udvikling. Den fremtidig udvikling skal således undersøge følgende ustabilt goals:

- **Linke eller integrering** af AR værktøjet, til driftsorganisationens FM system for:
 - Realtime visualisering af driftsdata, således at samme opdaterede driftsdata fra FM systemet, bliver visualiseret til håndværkeren. Der skal undersøges hvilke informationer, håndværkerne skal bruge, om de enkelte installationer og komponenter, og hvordan disse skal tilgængeliggøres i værktøjet. Ud over de fundne behov for informationer, fra evalueringsforløbet (se Figur 13-1).
 - Realtime visualisering af bygningsmodeller, således at løbende ændringer i geometri, til FM systemet, automatisk bliver ajourført.
- Om **visuel identificering** af installationstyper og komponenter, eventuelt kan illustreres via branchens tegningsprincipper. Således



at håndværkeren ikke behøver at udpege enkelte objekter, for derefter at identificerer installationstypen via tilknyttede informationer.

- **Fremhævning** af objekter, som håndværkeren selv kan søge eller filtrerer efter. Da evalueringsforløbet identificerede at selvom installationer var fremhævede, så var det nødvendigt at dirigere håndværkeren, til den omkringliggende placering. Skal fremhævning af objekter, tydeligere fra lang afstand, så håndværkeren nemmer kan blive **dirigeret** til udvalgt installation.
- **Målrettet fremvisning** af komponenter, tilknyttet udvalgt installation, som eksempelvis fremvisning af afspærringsventil til udvalgt vandrør.
- **Tydeligere skilning** mellem overlejret bygningsmodel og den fysiske bygning.

I den nuværende arbejdsproces, blev det identificeret, at visse håndværkere ikke anvender telefonen, til at igangsætte eller færdigmelde sager i BS (se afsnit 6.1 og afsnit 6.5. Håndværkerne nedskriver dagens rute på papir, og efterfølgende færdigmelder disse via pc'en, tilbage på kontoret. Således vil personer som kommer til at anvende værktøjet, ikke nødvendigvis har mange it – kompetencer. Derfor bør følgende mål udvikling og design af brugeroplevelsen, af AR værktøjet blive bearbejdet, for at minimere risici, for modstand ved implementeringsproces:

- Værktøjet skal være overskuelig og nem at lære. Det bør ikke kræve en lang læringskurve, hvor håndværkerne skal deltager til kurser eller en hel dags undervisning. Dette kan medfører, at håndværkerne ikke gider at lære det.
- Så snart håndværkerne har lært værktøjets brugergrænseflade og funktioner at kende, skal det være effektivt at anvende.



Brugergrensefladen og funktioner bør være genkendelig, modsat nem at huske, til tider hvor håndværkerne ikke anvender den, over længere perioder.

- Værktøjet skal ikke komplicere håndværkerens arbejdsprocesser, ved at der opstår for mange fejl, som f.eks. at displayet fryser fast, eller at systemet ikke kan følge med. Dette kan medføre, at håndværkeren kan blive irriteret og ikke vil anvende det.
- Effektivitet og den overordnede brugeroplevelse af værktøjet, skal være så højt og tilfredsstillende, at håndværkerne selv fortrækker at anvende det. Håndværkeren skal af egen fri vilje, supplerer sin nuværende arbejdsprocesser med værktøjet. Således at det ikke ender med, at blive tilsidesat, som i den nuværende tilgang, til at anvende BS, via telefonen.

14.2 NØJAGTIGE AS-BUILT MODELLER

I problemanalysens afsnit 6.5 blev det identificeret, at udleveret As-Built modeller ikke altid stemmer overens, med de fysiske bygninger. Før driftsorganisationen og håndværkerne kan gøre nytte af AR værktøjet, kræver det nøjagtige As-built modeller. Tydelige og specifikke krav i opstartsfasen af et byggeprojekt, kan stilles via afleveringsspecifikationer. Dette er både i forhold til modellers nøjagtighed og omfang. Eftersom bygherren er den overordnede beslutningstager, kan denne i samarbejde med driftsorganisationen, stille krav om hyppigheden af ajourføring, af bygningsmodeller i udførelsesfasen. Redegjorte metoder fra afsnit 9.2.1, kan supplerer de opstillede krav i afleveringsspecifikationerne, til at udarbejde As-built modeller. Igennem undersøgelsen, blev fejl om bygningers udformning ikke meget omtalt. Unøjagtigheden omhandlede primært, placering og omfang af tekniske installationer. 3D laserscanninger, kan foretages i komplekse steder af byggeriet,



med mange installationer, som f.eks. teknikrum og lofter. Således kan metoden med 3D laserscanninger, supplerer de allerede udarbejdet bygningsmodeller, til at stemme overens med, hvad der reelt bliver bygget. Håndværkernes mistillid til As-Built modellers indhold, kan skabe problematikker i implementeringsprocessen. Da problemanalysens afsnit 6.5 og evalueringsafsnit 13.1.4 identificerede, at både håndværkere og driftspersonale, havde bekymringer omkring As-Built modellers nøjagtighed. Bearbejdning og løsning til nøjagtige modeller, spiller således en vigtig faktor, i forhold til at skabe tillid, ved implementering af værktøjet. Det er herudover også nødvendigt, at bearbejde problematikker, vedrørende løbende opdatering og vedligehold af bygningsmodeller (se afsnit 6.5), ved ibrugtagning af AR værktøjet.

14.3 HÅNDVÆRKERENS OPTIMEREDE ARBEJDSPROCES

Afsnittet belyser, hvordan et færdigudviklet og implementeret AR værktøj, kan optimerer håndværkerens daglige arbejdsproces. Udarbejdet løsningsforslag forudsætter at fundne behov er dækket, fra evalueringsafsnit 13.1 (resultater), og opstillede punkter fra forrige afsnit 14.1, vedrørende fremtidig udvikling.

Augmented Reality giver mulighed for, at håndværkeren får en bedre overblik, af både synlige og skjulte installationer. Dette kan resulterer i en dybere forståelse, og en hurtigere og mere præcis arbejdsproces, ved udførelse af en given opgave og de berørte installationer. Dermed suppleres håndværkerens arbejdsproces, til en mere effektiv og målrettet tilgang, til at udføre sit arbejde. Teknologien muliggøre også, at udefrakommende håndværkere, der er ikke er bekendte med bygningerne, får mulighed for at skabe en overblik, over omfang og placering, af den givne opgaves installationer.

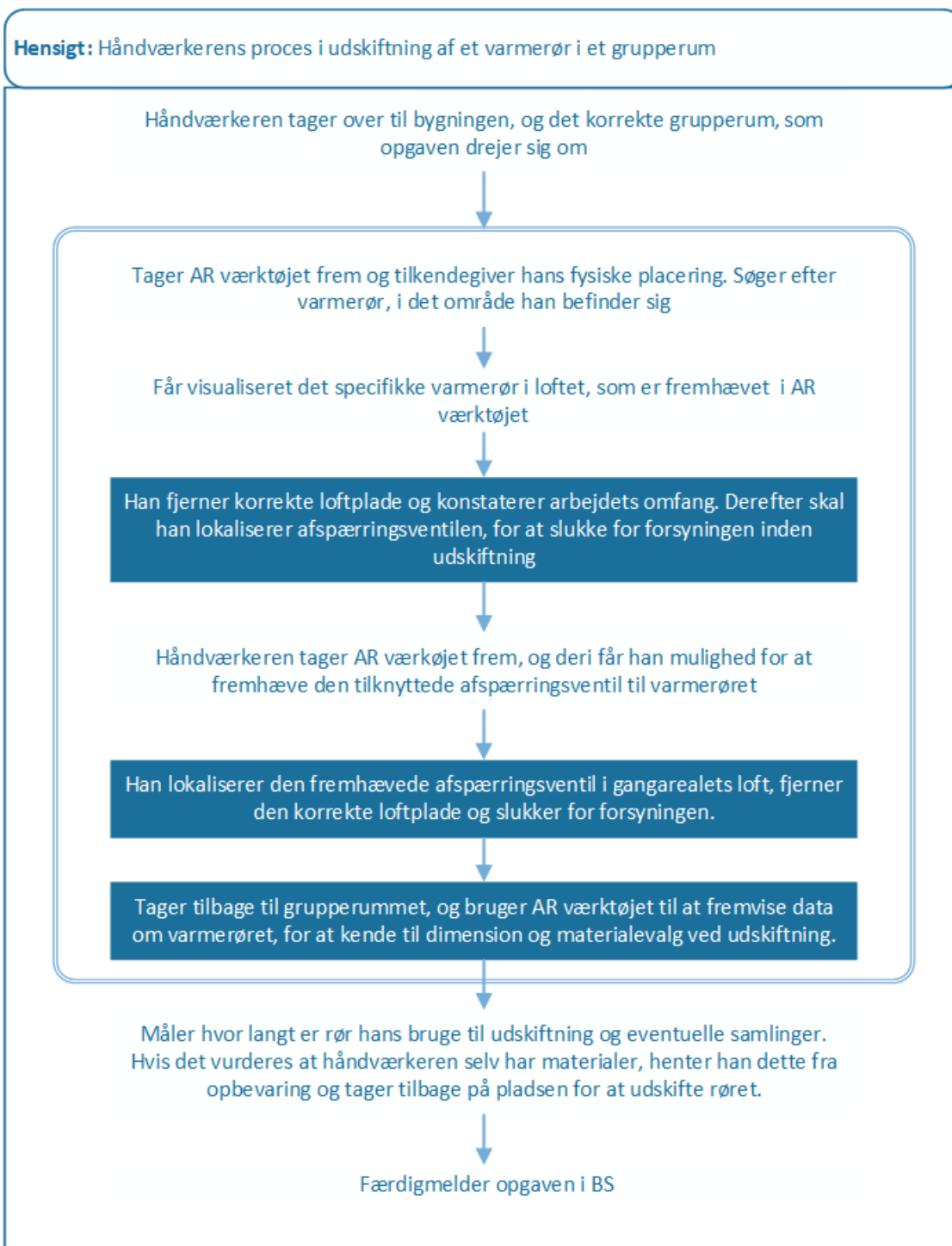
Håndværkeren kan via AR værktøjet, således supplerer sit udsyn, ved fremvisning af overlejret, interaktiv 3D geometri og relevante driftsdata, i realtime og on-demand, til at drift- og vedligeholdelses opgaver som:



- Forbyggende og planlagte vedligeholdelses opgaver, som eksempelvis:
 - o Tilsyn og inspektion af bygningsdele og installationer
 - o Tekniske vurderinger
- Afhjælpende vedligehold, ved udbedring af skader, fejl og mangler

For at give en bedre illustration, af hvilken effekt Augmented Reality, kan have på håndværkerens daglig arbejdsgange, er en ny optimeret sekvensmodel udarbejdet (se Figur 14-1). Modellen tager udgangspunkt i samme arbejdsproces fra afsnit 6.3, omkring udskiftning af et vvs rør, og lokalisering af en afspærringsventil. I den nuværende arbejdsproces, var der to udløsere, omhandlende gentagelser ved lokalisering, af både vvs rør og afspærringsventil. Håndværkeren skulle placerer stigen, adskillige steder og fjerne loftplader, for at lokalisere de tekniske installationer, i loftet. I ældre bygninger, går håndværkerne ofte ud fra hukommelse og erfaring til at finde installationers placering. I nye bygninger, hvor håndværkerne endnu ikke er bekendte med bygningerne, bliver 2D tegninger anvendt. Den nye sekvensmodel indebærer ingen gentagelser, ved lokalisering af begge tekniske installationer, og det kræver heller ikke, at vurderer placeringen ud fra en 2D tegning. AR værktøjet i den optimerede arbejdsproces, muliggør at håndværkeren kan lokalisere de tekniske installationer på første forsøg, og bliver visualiseret i 3D, som giver et bedre overblik. Dermed undgår håndværkeren en besværlig og tidskrævende proces, ved fysisk at se ind til loftet flere steder, før installationerne lokaliseres.

Herudover bliver AR værktøjet anvendt til sidst i arbejdsprocessen, til at tilse data om varmerørets dimension og rørtype, inden afhentning af røret fra opbevaring. Den nye arbejdsproces, er således mere målrettet og effektiv, som medfører at håndværkeren, både spare tid og besvær, ved at undgå gentagelser, samt gennemse 2D tegninger og driftsmateriale, for at identificere placering og informationer om installationer.



Figur 14-1 Optimerede sekvensmodel – Illustration af optimeret arbejdsproces



15 KONKLUSION

Den teknologiske udvikling i Augmented Reality (AR) teknologien, og mulighederne for store økonomiske besparelser i driftsfasen, af et byggeprojekt, har dannet grundlag for speciale rapportens emne. Rapporten har gennem feltundersøgelser og videnskabelige litteratur, undersøgt og analyseret mulighederne, for at anvende AR, i forbindelse med drift- og vedligeholdelsesarbejde. For at sikre en veldokumenteret undersøgelse, er der gjort brug af en casestudie, i form af en driftsorganisation. Casestudiets arbejdsprocesser er blevet observeret på tæt hold, i forbindelse med den indledende problemanalyse. Analyse af driftspersonale og håndværkernes, daglige arbejdsgange, har identificeret hvor teknologien kan give værdig. Dette har givet anledning til følgende problemformulering:

Hvordan kan Augmented Reality, supplerer håndværkerens arbejdsproces, til drift- og vedligeholdelsesarbejde?

I forbindelse med løsning af problemstillingen, har undersøgelsen fokuseret på, at udvikle et AR værktøj, til at supplerer håndværkerens daglige arbejdsgange. Baseret på fundne behov, og identificerede scenarier, for brugen af AR, er følgende 3 usability goals opstillet:

1. Visualisere installationernes og bygningsdeles placering, for at skabe overblik
2. Gøre det nemmere at lokalisere specifikke installationer, ved at fremhæve installationer efter behov
3. Tilgængeliggøre relevante byggetekniske informationer for håndværkeren

For at fremlægge et løsningsforslag, som både er fagteoretisk og praktisk begrundende, er teknologien blevet afprøvet, med relevante personer fra



casestudiet. Hertil er prototyper af AR værktøjet, udarbejdet og evalueret. Evalueringen har undersøgt, håndværkernes behov for funktioner til værktøjet, så denne kan optimere sit arbejde. Evalueringen er blevet foretaget som en feltundersøgelse, i et af casestudiets egne byggerier. Hertil er testscenarier opstillet, fra virkelige problemstillinger, identificeret i problemanalysen. Dette var for at give et virkelighedsnært oplevelse, i brugen af værktøjet, i forbindelse med deres arbejdsgange. Herudover blev prototyper udarbejdet, for både en håndholdt- og hovedmonteret displayform, for at testpersoner kunne sammenligne disse, i forhold håndværkerens arbejdsgange

Baseret på evaluering, af udarbejdet prototyper, til et AR værktøj, kan følgende konkluderes:

Et færdigudviklet AR værktøj, kan supplere håndværkerens arbejdsproces, ved fremvisning af overlejret, interaktiv 3D geometri og relevante driftsdata, i realtime og on-demand, til at drift- og vedligeholdelses opgaver. Ved at drage nytte af bygningsmodeller og teknologien, til at supplere håndværkerens synsfelt, med visualisering af installationer, overlejret med den fysiske bygning, samt relevante byggetekniske data. Dette vil medføre at håndværkeren, får et overblik, af både synlige og skjulte installationer, og således får en dybere forståelse, for en given opgaves udførelse, og de berørte installationer. Det resulterer i at arbejdsprocessen effektiviseres, og håndværkeren vil have en mere målrettet tilgang, til at udføre arbejdet. Figur xx illustrerer en optimeret arbejdsproces, som indebærer brugen af AR værktøjet. Til den optimeret arbejdsproces, skal håndværkeren ikke prøve, at lokalisere installationer i loftet, ved fysisk at fjerne loftplader diverse steder. Igennem AR kan han få visualiseret, og fremhævet den specifikke installation, og dermed identificere placering af denne, på første forsøg. Herudover giver AR mulighed for at tilgængeliggøre data om installationers dimension og rørtype, inden afhentning af materiale fra opbevaring. Således undgår håndværkeren, en besværlig og tidskrævende proces, ved fysisk at se ind til loftet flere steder, før installationerne lokaliseres. Til udefra kommende håndværkere, som ikke er



bekendte med bygningerne, muliggøre AR værktøjet, at han selvstændigt, kan skabe overblik over installationers omfang og placering.

Evalueringsforløbet har identificeret, nye usability goals til videre udvikling af værktøjet, og disse indebærer:

- Integrering af AR værktøjet, med driftsorganisationens FM system, for at tilgængeliggøre realtime geometri og driftsdata, som automatisk opdateres med FM systemets indhold.
- Visuel identificering af installationstyper og komponenter, kan illustreres via branchens tegningsprincipper. Eksempelvis symbol fra varmvandsrør, overlejret ved 3D røret, for at identificerer type af rør.
- Fremhævning af objekter, efter håndværkerens behov, således at han selv kan søge efter en specifik installation, som skal fremhæves.
- Målrettet fremvisning af komponenter, tilknyttet udvalgt installation, som eksempelvis fremvisning af afspærringsventil til udvalgt vandværk.
- Der er brug for tydeligere skilning, mellem overlejret bygningsmodel og den fysiske bygning. Da det var svært at afgøre, placering af virtuelle- og fysiske installationer, herudover for ikke blokerer håndværkeren synsfelt, i farlige og skadelige situationer, som eksempelvis maskinel arbejde.

Før værktøjet kan anvendes, kræver det:

- At nøjagtige As-Built modeller, er tilstede
- At Værktøjet har nem og overskuelig kalibreringsproces, ved overlejring af bygningsmodel, med den fysiske bygning.
- At værktøjet har en intuitiv interaktionsform og brugergrænseflade. Det er blevet identificeret i problemanalysen, at visse ældre håndværkere, er dygtige til deres fag, men ikke nødvendigvis besidder stærke it kompetencer.
- Stabil internet forbindelse, til download eller streaming, af bygningsmodeller



Problemanalysen har identificeret, at driftsorganisation ikke altid, modtager nøjagtige As-Built modeller. Til løsning af problemstillingen, er et alternativ forslag anbefalet. Forslaget indebærer at gøre brug af 3D laserscanninger, i komplekse steder af byggeriet, med mange installationer, som f.eks. teknikrum og lofter. For at supplere de allerede udarbejdet bygningsmodeller, til at stemme overens med, hvad der reelt bliver bygget.

Undersøgelsens resultater, kan anvendes som en skabelon, til fremtidig udvikling af AR værktøjet, i forbindelse med drift og vedligehold af byggerier.

VI AFSLUTTENDE AFSNIT

16 FIGURLISTE

Figur 1-1 BIM-BAM-BOOM! (Rosenfield 2012)	1
Figur 4-1 Oversigt af AAU Campusområde Øst (Bygningstyrelsen 2015)	6
Figur 4-2 Campus Service organisationsdiagram – Link: http://ilk.dk/sb7hta	7
Figur 6-1 Artefakt model – Nuværende arbejdsproces	18
Figur 6-2 Skærbilleder af BS fra egen telefon	19
Figur 6-3 Eksempel på håndværkerens skærbillede i BS via pc – modtaget ved observation	
Figur 6-4 Skærbilleder af BS fra egen telefon	19
Figur 6-5 Eksempel på håndværkerens skærbillede i BS via pc – modtaget ved observation	21
Figur 6-6 Workflow model - Nuværende arbejdsproces	23
Figur 6-7 Sekvensmodel - Nuværende arbejdsproces - Udskiftning af vvs rør ..	26
Figur 6-8 Fjernet loftplader og nedrevet indervægge ved udbedring af vandskade. Billede taget ved observation	
Figur 6-9 Sekvensmodel - Nuværende arbejdsproces - Udskiftning af vvs rør	26
Figur 6-10 Fjernet loftplader og nedrevet indervægge ved udbedring af vandskade. Billede taget ved observation	28
Figur 6-11 Teknikrum, billede taget ved observation	29
Figur 6-12 Indikation af forsyningsretning. Billeder taget ved observation	30



Figur 6-13 Venstre: Ventilationsdiagram - Højre: Blandesløjfe i teknikrum. Billeder taget ved observation	31
Figur 6-14 Kulturmodel	34
Figur 8-1 Illustration af Agile fremgangsmåde	43
Figur 9-1 Illustration af BIM orienteret proces – Link til billede: http://ilk.dk/cjltl5	45
Figur 9-2 BIM orienteret arbejdsproces vs. traditionelle arbejdsprocesser (Eastman et al. 2011)	46
Figur 9-3 FARO Scanner Freestyle3D - Håndholdt scanner. Links til billeder: http://ilk.dk/mgxf49 og http://ilk.dk/famg4d	50
Figur 9-1 Eksempel på en laserscanner: Leica ScanStation C5. Link - http://ilk.dk/357g8h	50
Figur 9-2 Punktskyer af scannet rum med installationer – Billede fra internet: Link- http://ilk.dk/75qe6x	51
Figur 10-1 Virkelig & virtuel kontinuum – modificeret (Milgram & Colquhoun Jr 1995)	52
Figur 10-2 Eksempel på AR anvendt af kirurger – Link til billede: http://ilk.dk/bp8wl1	55
Figur 10-3 HMD til AR af Ivan E. Sutherland (Sutherland 1968)	55
Figur 10-4 Modificeret figur –Modificeret - Illustration af billede genereringsmetoder til AR (Bimber & Raskar 2006)	57
Figur 10-5 Simpel illustration af Retinal Display	58
Figur 10-6 Video see-through (venstre) optisk see.through (højre) (Bimber & Raskar 2006)	58
Figur 10-7 Optisk spatial AR - Bils forrude (Blume et al. 2013)	60
Figur 10-8 Nikes SAR stander – link til billede: http://ilk.dk/pgddud	61
Figur 10-9 illustration af Microsoft Hololens klikfunktion via håndbevægelse ..	62
Figur 10-10 Lenovo Phab 2 Pro - Link til billede: http://ilk.dk/fe2nqu	63
Figur 10-11 Microsoft Hololens – Link til billede: http://ilk.dk/xfhtqe	65
Figur 1-1 Illustration af fjernhjælp - skærbillede fra video: https://youtu.be/1QFMPo5k6p0	67
Figur 1-2 Illustration af instruktionsguide i AR - skærbillede af video: https://youtu.be/QTuKcm8s4QQ	68
Figur 12-1 Aalborg Universitets Institut for Byggeri- & Anlæg. Link til billede: http://ilk.dk/sa4tlq	71
Figur 12-2 Udklip af skærbilleder fra Revit. Venstre - volumenstrømsregulator og højre - afspærringsventil	78



Figur 12-3 Fremhævning af objekter, i AR med Dalux Field – TwinBIM. Venstre – vvs rør, i midten – afspærringsventil og til højre – volumenstrømsregulator. Udklip af skærbillede fra telefon.	79
Figur 12-4 Skærbillede af kalibreringsproces med Dalux Field - TwinBIM	80
Figur 12-5 Skærbillede med Dalux Field - TwinBIM	80
Figur 12-6 Placering af referencepunkter i Revit til BIM Holoview. Udklip af skærbillede fra Revit	82
Figur 12-7 BIM Holoview – Color menu og fremhævede objekter. Udklip af skærbillede	84
Figur 12-8 Skærbillede af kalibreringsproces med BIM Holoview.....	85
Figur 13-1 Oversigt af krav og behov til AR værktøjet – Identificeret under evalueringsforløbet.....	89
Figur 13-2 Ensartet grålig visualisering - Skærbillede fra evalueringsforløb ..	90
Figur 13-3 Tegningsprincip for 2-vejs ventil, afspærringsventil. Kilde Bips C213 Tegningsstandarder, del 1 – Generelt fra 2012-12-19 og del 5 – VVS og ventilation fra 2015-09-03, revision 1. Link: http://ilk.dk/xscnoz og http://ilk.dk/zx3p61	90
Figur 13-4 Sammenligning af teknikskakt – Skærbillede fra videooptagelser af display og digitalt kamera	92
Figur 13-5 Fysiske model – Hovedmonteret display.....	97
Figur 13-6 Fysiske model – Håndholdt display.....	98
Figur 13-7 Sammenligning af displayformer - Baseret både på evalueringsforløb og egne erfaringer.....	99
Figur 14-1 Optimerede sekvensmodel – Illustration af optimeret arbejdsproces	106

17 LITTERATURLISTE

Alsdorf, M. et al., 2012. *VIC-MET*.

Autodesk Inc, 2016. About Importing and Exporting FBX Files. Available at: <https://knowledge.autodesk.com/support/autocad/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2017/ENU/AutoCAD-Core/files/GUID-AE2B5A3E-2068-4706-AE83-926C26C6EE9C-htm.html>.

Autodesk Inc, 2015. About Working With Point Clouds. Available at: <https://knowledge.autodesk.com/support/autocad/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2016/ENU/AutoCAD-Core/files/GUID-C0C610D0-9784-4E87-A857-F17F1F7FEEBE-htm.html>.

Azuma, R. et al., 2001. Recent Advances in Augmented Reality. Available at: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=963459> [Accessed October 30, 2017].



- Azuma, R.T., 1997. A Survey of Augmented Reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 6(4), pp.355–385. Available at: <http://www.cs.unc.edu/~azuma> [Accessed October 19, 2017].
- Barazzetti, L., 2016. Parametric as-built model generation of complex shapes from point clouds. *Advanced Engineering Informatics*, 30(3), pp.298–311. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aei.2016.03.005>.
- Beyer Hugh, H.K., 2013. Contextual Design. In *The Encyclopedia of Human-Computer Interaction, 2nd Ed.* Interaction Design Foundation. Available at: <https://www.interaction-design.org/literature/book/the-encyclopedia-of-human-computer-interaction-2nd-ed/contextual-design>.
- Beyer Hugh, H.K., 1998. *Contextual Design - Defining Customer-Centered Systems*, MORGAN KAUFMANN PUBLISHERS.
- BIM Holoview Ltd, 2018a. BIM Holoview - About. Available at: <http://www.bimholoview.com/About>.
- BIM Holoview Ltd, 2018b. How to prepare your model in Revit. Available at: <http://www.bimholoview.com/Instructions/Revit>.
- Bimber, O. & Raskar, R., 2006. Modern approaches to augmented reality. *ACM SIGGRAPH 2006 Courses*, p.86. Available at: <http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=1185657.1185796%5Cnhttp://dl.acm.org/citation.cfm?id=1185796>.
- Blume, J., Alexander Kern, T. & Richter, P., 2013. NEXT-GEN HEAD-UP DISPLAY WITH AUGMENTED REALITY. *Auto Tech Review*, 2(9), pp.42–45. Available at: <https://link-springer-com.zorac.aub.aau.dk/content/pdf/10.1365%2Fs40112-013-0415-7.pdf>.
- Bostanci, E. et al., 2013. User Tracking Methods for Augmented Reality. *International Journal of Computer Theory and Engineering*, (January 2016), pp.93–98. Available at: <http://www.ijcte.org/show-46-589-1.html>.
- buildingSMART, 2018. Technical Vision. Available at: <https://www.buildingsmart.org/standards/technical-vision/>.
- Buur, K. et al., 2010. *Dansk Byggeri - Konsekvensanalyse af kommunalt bygningsvedligehold*, Available at: <https://www.danskbyggeri.dk/media/3692/ramboell-rapport.pdf> [Accessed November 1, 2017].
- Cadalyt, 2001. Callidus laser system. *ProQuest*.
- CHM, 2017. Dalux lancerer verdens første Augmented Reality til byggebranchen. *Installator*. Available at: <http://installator.dk/dalux-lancerer-verdens-første-augmented-reality-til-byggebranchen> [Accessed December 18, 2017].
- Dansk Byggeri, 2016. Sammen bygger vi Danmark. , pp.1–24.
- Developers, G., 2017. Tango Developer Overview. *Google*, p.2. Available at: <https://developers.google.com/tango/developer-overview> [Accessed December 18, 2017].
- Eastman, C. et al., 2011. *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors* 2nd Editio.,
- Gheisari, M. & Irizarry, J., 2016. Investigating human and technological requirements for successful implementation of a BIM-based mobile



- augmented reality environment in facility management practices. , 34(1/2), pp.69–84. Available at: <http://www.emeraldinsight.com/zorac.aub.aau.dk/doi/pdfplus/10.1108/F-04-2014-0040> [Accessed September 22, 2017].
- Hennecke Mikkelsen, C., Dalux lancerer verdens første Augmented Reality til byggebranchen | Installatør. *Horisont Gruppen A/S*. Available at: <http://installator.dk/dalux-lancerer-verdens-første-augmented-reality-til-byggebranchen> [Accessed November 7, 2017].
- Hockett, P. & Ingleby, T., 2016. Augmented Reality with Hololens: Experiential Architectures Embedded in the Real World. , pp.1–10. Available at: <http://arxiv.org/abs/1610.04281>.
- Holloway, R.L., 1997. Registration Error Analysis for Augmented Reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, p.25. Available at: <http://www.mitpressjournals.org/doi/10.1162/pres.1997.6.4.413>.
- Jang, C. et al., 2017. Retinal 3D - Augmented Reality Near-Eye Display Via Pupil-Tracked Light Field Projection on Retina. *ACM Transactions on Graphics*, 36(6), pp.1–13. Available at: <http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=3130800.3130889>.
- Johnson, L.F. et al., 2010. Key Emerging Technologies for Elementary and Secondary Education. *Horizon Report 2010: K-12 Edition*, 76(1), pp.36–40. Available at: <http://www.eddigest.com/sub.php?page=contents>.
- Jung, J. et al., 2014. Productive modeling for development of as-built BIM of existing indoor structures. *Automation in Construction*, 42, pp.68–77. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2014.02.021>.
- Kersten-Oertel, M. et al., 2015. Augmented reality in neurovascular surgery: feasibility and first uses in the operating room. *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, 10(11), pp.1823–1836. Available at: <http://dx.doi.org/10.1007/s11548-015-1163-8>.
- Krevelen, D.W.F. van, 2007. Augmented Reality: Technologies , Applications , and Limitations. *Institute for Public Health and the Environment (RIVM)*, (April 2007), pp.1–25. Available at: https://www.researchgate.net/profile/Rick_Van_Krevelen2/publication/292150312_Augmented_Reality_Technologies_Applications_and_Limitations/links/56ab2b4108aed5a01359c113.pdf.
- Krevelen, D.W.F. Van & Poelman, R., 2010. A Survey of Augmented Reality Technologies, Applications and Limitations. *The International Journal of Virtual Reality*, 9(2), pp.1–20. Available at: <http://kjcomps.6te.net/upload/paper1.pdf>.
- Lee, J., 2017. Mobile AR in Your Pocket with Google Tango. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 48, pp.17–18. Available at: doi.wiley.com/10.1002/sdtp.11563.
- Management Consulting, R., 2009. Bedste Praksis-manual om totaløkonomi. Available at: <https://www.bygst.dk/media/22293/Bedste-praksis-manual.pdf> [Accessed October 10, 2017].
- Microsoft Corporation, 2018. HoloLens hardware details. Available at: <https://docs.microsoft.com/da-dk/windows/mixed-reality/hololens-hardware-details>.



- Milgram, P. & Colquhoun Jr, H., 1995. A Taxonomy of Real and Virtual World Display Integration. , p.26. Available at: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.32.6230&rep=rep1&type=pdf> [Accessed October 10, 2017].
- Nielsen, J., 1993. *Usability Engineering*, Available at: <http://www.useit.com/jakob/useengbook.html>.
- NTI CADcenter, Mdoc FM brochure. , p.4. Available at: <http://mdocfm.dk/?ddownload=550>.
- Preece, J., Sharp, H. & Rogers, Y., 2015. *Interaction Design: Beyond Human-Computer Interaction, 4th Edition* 4th ed., Wiley. Available at: <https://bookshelf.vitalsource.com/books/9781119088790>.
- Rambøll, 2018. 3D-laserscanning & opmåling. Available at: <http://www.ramboll.dk/ydelser-og-sektorer/energi/tekniske-kompetencer/3d-laserscanning-og-opmaling>.
- Rasmussen, M.B., 2016. *Improving the architectural process of new public university buildings in Denmark*, Aalborg.
- Retsinformation, 2011. Bekendtgørelse om bygningsdrift. *Retsinformation*, (770), p.2. Available at: <https://www.retsinformation.dk/eli/lta/2011/770>.
- Retsinformation, 2013. Bekendtgørelse om anvendelse af informations- og kommunikationsteknologi (IKT) i offentligt byggeri. *Retsinformation*. Available at: <https://www.retsinformation.dk/Forms/R0710.aspx?id=144517>.
- Rolland, J.P., Holloway, R.L. & Fuchs, H., 1995. A comparison of optical and video see-through, head mounted displays. *Telemanipulator and Telepresence Technologies*, pp.293–307. Available at: <http://proceedings.spiedigitallibrary.org/proceeding.aspx?articleid=981546>.
- Rosenfield, K., 2012. The Future of the Building Industry: BIM-BAM-BOOM! *Archdaily*. Available at: <https://www.archdaily.com/262008/the-future-of-the-building-industry-bim-bam-boom>.
- Sandor, C. et al., 2015. Breaking the Barriers to True Augmented Reality. , pp.1–13. Available at: <http://arxiv.org/abs/1512.05471>.
- Sutherland, I.E., 1968. A head-mounted three dimensional display. *The University of Utah Salt Lake City, Utah*, pp.757–764. Available at: <http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=1476589.1476686>.
- Viirre, E. et al., 1997. Laser safety analysis of a retinal scanning display system. *Journal of Laser Applications*, 9(5), pp.253–260. Available at: <http://scitation.aip.org/content/lia/journal/jla/9/5/10.2351/1.4745467>.
- Zhou, F., Been-Lirn Duh, H. & Billingham, M., 2008. Trends in AR Tracking, Interaction and Display: A Review of Ten Years of ISMAR. , pp.193–202. Available at: <https://ubalt-illiad-oclc-org.proxy-ub.researchport.umd.edu/illiad/BAL/illiad.dll?Action=10&Form=75&Value=106460>.
- AAU, 2017. STADIG MASSIVE PROBLEMER I NY BYGNING TIL BYGGERI OG ANLÆG. *AAU Inside*. Available at: <http://www.inside.aau.dk/nyheder/vis-alle-nyheder/stadig-massive-problemer-i-ny-bygning-til-byggeri-og-anlaeg.cid326910>.
- AAU, C.S., Administration & planlægning. Available at: <http://www.campuservice.aau.dk/om/administration-planlaegning/>



[Accessed October 26, 2017a].

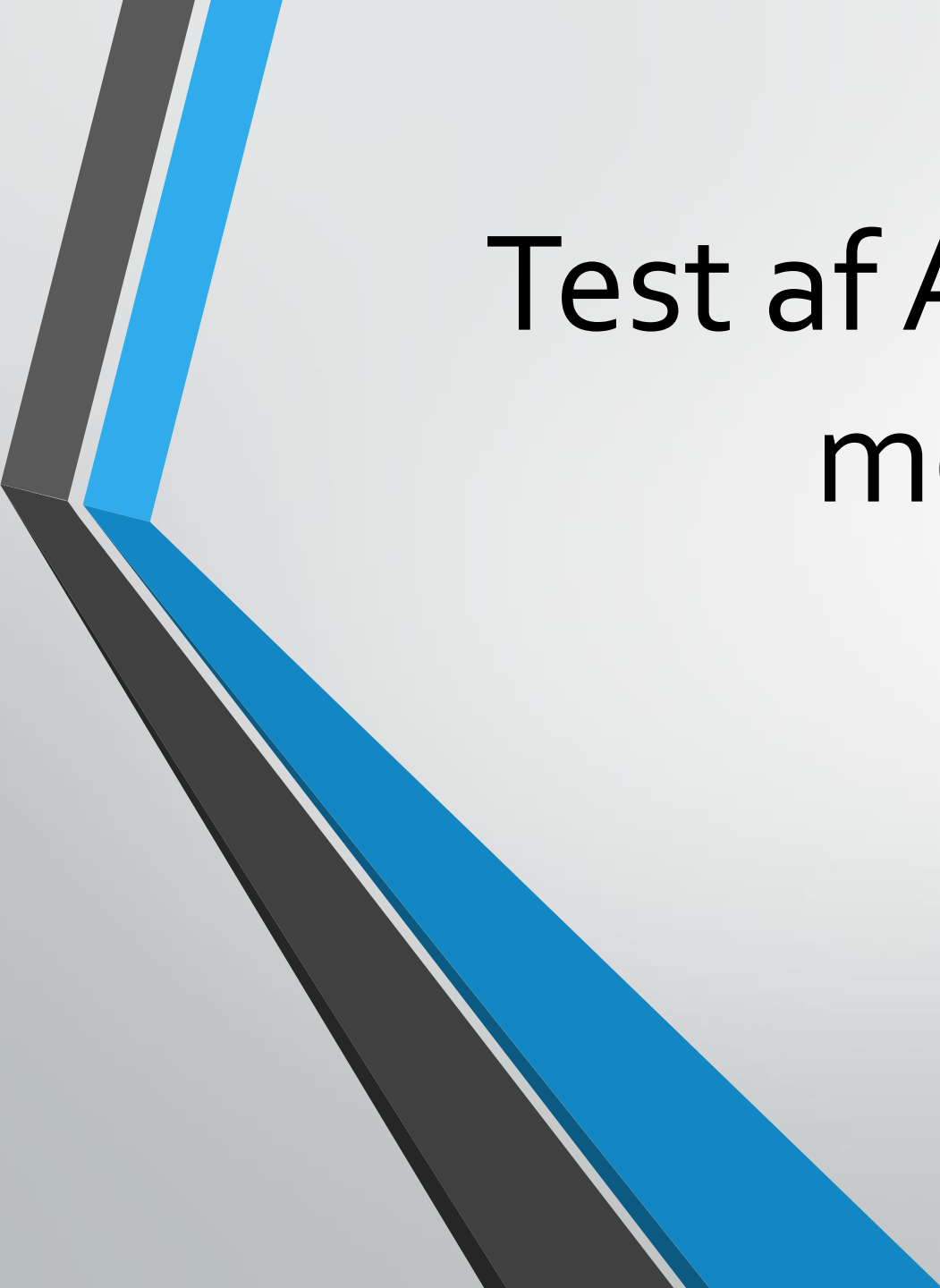
AAU, C.S., Brugervejledning til fejlmeldingssystemet Building Support. Available at:

http://www.campusservice.aau.dk/digitalAssets/268/268654_brugervejledning_2017-01-26.pdf [Accessed October 24, 2017b].

AAU, C.S., Om Campus Service. Available at:
<http://www.campusservice.aau.dk/om/> [Accessed October 24, 2017c].

18 BILAG

Bilag 1: PowerPoint til evalueringsforløb



Test af Augmented Reality med Campus Service

Til drift & vedligehold af byggerier, med fokus på
håndværkerens daglige arbejdsproces

Dato: 13.04.2018

Lokation: Thomas Manns Vej 23, 9220 Aalborg

Formål

Undersøge om Augmented Reality kan give værdig i drift- & vedligeholdelsesarbejde, med fokus på håndværkerens daglige arbejdsproces.

Augmented Reality afprøves i 2 forskellige displayformer: Lenovo telefon og Hololens briller

Vi skal:

- Lokalisere specifikke installationer og se om de reelt er tilstede
 - Installationer er fremhævet med en rød farve i 3D modellen
 - Ved lokalisering, fjernes loftplade under fremhævet installation, for at identificere installationen
 - Monterer loftplade igen
- Sammenligne hvor meget installationerne afviger fra den fysiske bygning og 3D modellen, og om dette er på et acceptabelt niveau?
- Sammenligne displayformerne
- Undersøge hvilket displayform, er mest optimalt at anvende af håndværkeren og hvorfor?

Forløbet skal anses som et koncept af et udviklingsprojekt, da applikationerne ikke er udarbejdet specifikt til drift- og vedligeholdelsesarbejde

Forløb

Forløbet vil blive videooptaget af min medhjælper – *Pradeep Rasiah*, og der vil løbende blive taget billeder

Begge enheders skærm billede optages

Citater i rapporten kan efter ønske være anonyme, men det er ikke så nemt med billeder og video?

3 testscenarier er opstillet for begge displayformer

De omhandler samme installationstyper, men med forskellige placeringer, udover 1. scenarie

Først gennemgås alle 3 scenarier med telefonen, og efterfølgende med brillerne

I vil blive vejledet igennem applikationernes og enhedernes interaktion og brugergrænseflade.

Forløbet opsummeres tilbage i lokalet med dialog om muligheder, begrænsninger og fremtidig udvikling

Hvad skal i som testpersoner?

- I må meget gerne "tænke højt", altså fortælle hvad i løbende gør og hvorfor
- Vurder løbende de 2 displayformers brugervenlighed og generelle funktionalitet
- Afslutningsvis opsummeres teknologiens brugbarhed i drift og vedligeholdelsesarbejde

Displayformer

- Håndholdt display: Lenovo Phab 2 Pro
- Hovedmonteret display: Microsoft Hololens



Interaktion og brugergrænseflade

- Lenovo Phab 2 Pro
 - Applikation: Dalux Field-TwinBIM
 - Interaktion via touch skærm og registrering af telefonens bevægelser
 - Kalibreringen skal ske i et hjørne af bygningen



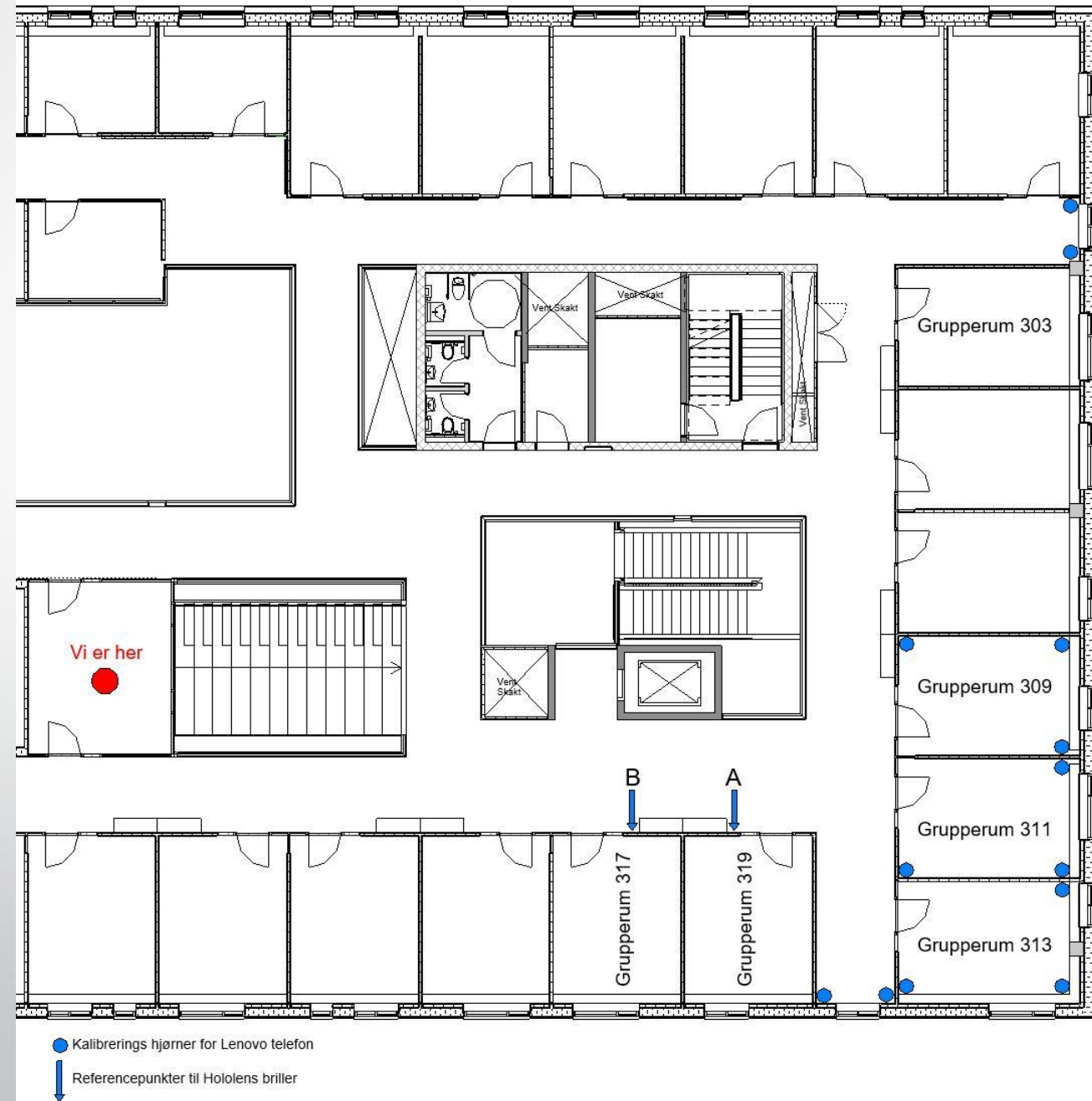
Interaktion og brugergrænseflade

Microsoft Hololens

- Applikation: BIM Holoview
- Interaktion via krop-, hånd- og hovedbevægelser
- Kalibreringen skal ske via referencepunkter A og B, placeret i gangarealet



● Kalibrerings hjørner for Lenovo telefon
↓
Referencepunkter til Hololens briller



1. scenarie

Sammenligning af installationer i teknikskakt

1. Gå hen til ventilationsskakten over for grupperum 303
2. Se ind til ventilationsskakt
3. Stemmer de tekniske installationers rørføring overens med modellen og de fysiske?
4. Hvis nej:
 - Hvis der mangler nogle rørføringer, er det så i modellen eller det fysiske?
 - Er der stor variation i kalibrering?

2. scenarie

Udskiftning af et vand rør - Lokalisering af rør og afspærringsventil

Varmt brugsvand for telefon

Koldt brugsvand for briller

1. Lokaliserer røret i loftet ved toiletterne
2. Fjern loftpladen ved fremhævet rør
3. Stemmer placeringen overens med modellen og det fysiske rør?
4. Hvis nej:
 - Mangler røret i modellen eller det fysiske?
 - Er der stor variation i kalibrering?
5. Lokaliserer afspærringsventilen i loftet overfor grupperum 303
6. Fjern loftpladen ved fremhævet afspærringsventil
7. Stemmer placeringen overens med modellen og den fysiske ventil?
8. Hvis nej:
 - Mangler ventilen i modellen eller det fysiske?
 - Er der stor variation i kalibrering?

3. scenarie

Service af volumenstrømsregulator

1. Tag hen til en af følgende grupperum 309, 311 eller 315
2. Lokaliserer volumenstrømsregulatoren i loftet
3. Fjern loftpladen ved fremhævet volumenstrømsregulator
4. Stemmer placeringen overens med modellen og det fysiske rør?
5. Hvis nej:
 - Mangler volumenstrømsregulatoren i modellen eller det fysiske?
 - Er der stor variation i kalibrering?

Opsummering

- Hvad er jeres holdninger til Augmented Reality generelt?
- Hvilke fordele og ulemper har de 2 displayformer?
- Hvilket displayform egner sig bedst til håndværkerens arbejdsproces?
- Hvordan var forskellen på brugervenligheden og interaktionen mellem displayformerne
- Ser i en fremtid i at teknologien kan give værdig i jeres arbejde, med fokus på håndværkerens dagligdag?

Fremtidsmuligheder

1. Augmented Reality værktøjet integreret med FM systemet og helpdesk. Håndværkerens rute kan opstilles og visualiseres som en to-do liste. Løbende igangsættelse eller færdigmelding af sager, kan forgå heri.
2. Dirigering til specifikke sager/objekter. Håndværkeren kan blive dirigeret til specifikke objekter, fra udvalgt sag, som visuelt fremhæves automatisk.
3. Fjernhjælp via videoopkald i Augmented Reality, med interaktive skærm duplikering.
4. Fremvisning af datablad, driftsstatus og diagramoversigt. Eksempelvis ved udpegning af ventilationsrør, fremvises ventilationsdiagram, med drift status af ventilationsanlæg, og placering ift. diagram.
5. Trinvis visuel guide og instruktionsvideoer i Augmented Reality, som sideløbende kan visualiseres, til at hjælpe håndværkeren med at løse komplekse opgaver.

Note til læser:

Videoer af eksempler på 2. og 4. funktion er linket til billederne

Links: <https://youtu.be/QTuKcm8s4QQ> og <https://youtu.be/1QFMPosk6po>

