



CHALMERS



Augmented Reality för framtidens bergmaterialindustri

En kvalitativ studie om utveckling och implementering av augmented reality i ballastproduktion

Kandidatarbete inom Industriell Ekonomi och Maskinteknik

EMIL HEDLUND
MAX KAJSJÖ MIKKONEN
FRIDA OTTOSSON
FREDRIK RASMUSSEN
MARTIN SUNDQVIST
AXEL WESTBERG

INSTITUTIONEN FÖR INDUSTRI- OCH MATERIALVETENSKAP

KANDIDATARBETE 2021

**Augmented Reality för framtidens bergmaterialindustri
En kvalitativ studie om utveckling och implementering av
augmented reality i ballastproduktion**

EMIL HEDLUND
MAX KAJSJÖ MIKKONEN
FRIDA OTTOSSON
FREDRIK RASMUSSEN
MARTIN SUNDQVIST
AXEL WESTBERG



Institutionen för Industri-och materialvetenskap
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2021

Augmented Reality för framtidens bergmaterialindustri
En kvalitativ studie om utveckling och implementering av
augmented reality i ballastproduktion

©EMIL HEDLUND
©MAX KAJSJÖ MIKKONEN
©FRIDA OTTOSSON
©FREDRIK RASMUSSEN
©MARTIN SUNDQVIST
©AXEL WESTBERG

Handledare: Gauti Asbjörnsson, Institutionen för Industri-och materialvetenskap
Examinator: Magnus Evertsson, Institutionen för Industri-och materialvetenskap

Kandidatarbete 2021
Institutionen för Industri-och materialvetenskap
Chalmers tekniska högskola
SE-412 96 Göteborg
Telefonnummer +46 31 772 1000

Göteborg, Sverige 2021

Förord

Arbetet som redovisas är utfört under våren 2021 som en del av kandidatexamen för civilingenjörsutbildning vid Chalmers Tekniska Högskola. Arbetet har genomförts via institutionen för Industri- och Materialvetenskap.

Under arbetets gång har flertalet personer inom ballastindustrin och IT-branschen aktivt bidragit för att kunna föra arbetet framåt. De har tillfört både engagemang och tid genom att medverka i intervjuer, utvärderingar eller genom att tillhandahålla sin expertis när vi som mest behövt den. Ett stort tack till alla er.

Till sist vill vi visa stor tacksamhet till vår handledare Gauti Asbjörnsson som bistått oss genom projektet. Med stort engagemang och hjälpsamhet har han skapat goda förutsättningar för projektgruppen att kunna göra ett gediget arbete.

Sammanfattning

Idag kan en trend ses mot ökad digitalisering i all form av produktionsindustri. Många av de äldsta svenska industrierna präglas av äldre ineffektiva metoder och för att tillgodose framtida produktionsbehov samt förbli konkurrenskraftiga eftersträvar många industrier nu utökad implementering av moderna teknologier. Det här arbetet avser att undersöka användningsområden för Augmented Reality (AR) inom bergmaterialindustrin, eftersom tidigare forskning tydligt visat på att implementation av AR inom denna industri har potential att ge upphov till ökad lönsamhet. Genom intervjuer med yrkesaktiva inom ballastindustrin samlas information som används i interna idégenereringar för att utveckla teoretiska men konkreta potentiella implementationer av AR. Dessa presenteras för industrin, utvärderas och resulterar i nya intresseområden. Från dessa fastställs målet att minimera operatörernas behov av kontrollrum i sin verksamhet och resultatet presenterar de tre AR-kompatibla funktioner som bör implementeras för att möjliggöra detta: Stopp och larm, övervakning av processdata samt tillgång till maskindata. Tillhörande mjukvara utvecklas sedan i Unity för att demonstrera funktionerna som specificerats. I intervjuer med personal i branschen visas sedan ett stort intresse för funktionerna från industrin. Vidare forskning bör utveckla mjukvaran till en fungerande applikation samt undersöka och utvärdera hur funktionerna kan tillämpas i praktiken.

Abstract

A trend seen in the production industry in recent years is to make processes more digital. Many of the oldest Swedish industries are currently using old, ineffective methods in their processes. To meet future demand and stay competitive, industries are now aiming to implement more modern technologies. This report aims to investigate applications of Augmented Reality (AR) within the aggregates production industry, since previous research has shown that implementation of AR in these industries is a way to increase profitability. Information is gathered by interviewing people currently working in the industry and later processed in brainstorming sessions to develop theoretical but concrete ways to implement AR. These are then presented back to the interviewees so that the concepts can be evaluated and result in new areas of interest. From this, the goal of minimizing the operators need to usage of a control room is established. The solution to this problem manifests as three AR-compatible functions: Stops and alarms, monitoring of process data and monitoring of machine data. To demonstrate these functions, the necessary software is developed in Unity. From interviews following the demonstrations, a great interest of the developed functions is shown by personnel in the industry. Further research should aim to further develop the software towards a usable application and investigate and evaluate the practical implementation and potential of its functions.

Nyckelord: Augmented Reality, AR, bergmaterialindustrin, ballastindustrin, Unity, digitalisering

Innehåll

1 Inledning	1
1.1 Introduktion	1
1.2 Syfte	5
1.3 Avgränsningar	5
1.4 Precisering av frågeställningen	5
2 Teori och perspektiv	6
2.1 Ballastindustri	6
2.2 Augmented Reality	7
2.2.1 AR-enheter	10
2.2.2 AR-glasögon	10
2.3 Programmering	12
2.4 Tidigare forskning	13
2.4.1 AR-teknologi	13
2.4.2 Användargränssnitt	15
2.4.3 Digital utveckling inom gruvindustrin	15
3 Metod	16
3.1 Marknadsundersökning	16
3.2 Val av problem	17
3.3 Framtagning av koncept	17
3.4 Test och utvärdering	18
4 Analys av utvecklingsområde	20
4.1 Etablerade lösningar i industrin	20
4.2 Problemgenerering	20
4.3 Observationer från industrin	21
4.4 Idégenerering	22
4.5 Konceptvision	22
4.6 Kravspecifikation av koncept	23
5 Resultat	25
5.1 Konceptet	25
5.1.1 Stopp och larm	26
5.1.2 Processdata	27
5.1.3 Maskindata	28
5.1.4 Konceptets helhet	30
5.2 Test och utvärdering	31
6 Diskussion	33
6.1 Analys av utvecklingsområde	33
6.2 Koncept	34
6.3 Etiska och samhälleliga aspekter	35
7 Slutsatser	37

Referenser	39
Bilagor	41
A Intervjuer	41
B Problemgenerering	45
C Idégenerering	46
D Kod till huvudmenyn i applikationen	47
E Kod till stopp och larm	48
F Kod till att hämta data med hjälp av API	50

Ordlista och beteckningar

API - Förkortning av application programming interface, översätts till applikationsprogrammeringsgränssnitt. API är ett sätt att strukturera och kommunicera data med en programvara.

AR - Förkortning av augmented reality, översätts till förstärkt verklighet. Förstärker uppfattningen av verkligheten genom att implementera digitala objekt i det verkliga synfältet.

Ballast - Småstenar av grus eller makadam som kommer från bergs- eller grustäkter.

Binokulär enhet - AR-enhet som visar digitalt innehåll för användarens båda ögon.

Dagbrott - Plats där malm och bergmaterial bryts på jordytan.

Gruvbrott - Plats där malm och bergmaterial bryts under jord.

HHD - Förkortning av hand-held device. En skärm som man håller i handen som kan användas för att visa AR för användaren.

HMD - Förkortning av head mounted display. En bildskärm som bärs på huvudet och kan användas för att visa AR för användaren.

IDE - Förkortning av integrated development environment. Mjukvara som används av programmerare.

Industry 4.0 - Samlad term för teknologier och koncept inom automation, processindustriell IT och tillverkningsteknologier.

Mobil krossanläggning - En flyttbar krossanläggning innehållande en samling nödvändiga maskiner som används vid behov. Används vanligen vid dagbrott och gruvbrott som saknar en tillhörande stationär krossanläggning.

Molnet - Data och information lagrade på en extern server.

Rare-Earth Elements - Samlingsnamn för 17 stycken grundämnen som förekommer sparsamt i naturen.

SBMI - Förkortning av Sveriges bergmaterialindustri. Organisation som informerar och utbildar beslutsfattare i samhället, studerande och nyanställda inom bergmaterialindustrin.

Sensor - Apparat som mäter tillstånd i omgivningen och skickar vidare datan till annan utrustning.

Server - Datorsystem som tillhandager data till andra system som är kopplade till servern, ofta via ett datornätverk.

Täkt - Plats där bergsmassor sprängs och krossas. Specifikt namn för område där ballast produceras.

Three-tier architecture - Vanlig systemstruktur för mjukvaruprogram.

Unity - Spelmotor som bland annat används för att utveckla spel och hemsidor, och används av allt från hobbyprogrammerare till professionella spelutvecklare.

VR - Förkortning av virtual reality, simulerad digital miljö som är möjlig att interagera med.

Vuzix M4000 - Den modell av AR-kompatibla smarta glasögon som projektet tillhandahållits.

1 Inledning

I detta kapitel presenteras frågeställningen och syftet med arbetet. Även en introduktion till berörda områden ges för att erhålla ett gott underlag för vidare läsning.

1.1 Introduktion

All form av industri och deras processer är i behov av ständig teknisk utveckling för att kunna vara effektiva och konkurrenskraftiga. Hofmann och Rüsch (2017) beskriver en av de senaste stegen i utvecklingen som ”industry 4.0”, vilket först dagades i Tyskland under tidigt 2010-tal men som fått fäste världen över sedan dess. Termen innebär huvudsakligen att processer i högre grad är uppkopplade till gemensamma nätverk och möjliggör system som är mer autonoma. Någon form av molnlösning krävs också för att möjliggöra kommunikationen sinsemellan processerna. Vidare menar dem att det finns stort intresse för denna typ av utveckling, och att användningen så småningom kommer vara ett måste för de industrier som önskar vara konkurrenskraftiga.

En byggsten i utvecklingen av industry 4.0 är användningen av Augmented Reality (Förstärkt Verklighet), eller AR som det ofta benämns. Damiani et al. (2018) har undersökt hur intresset för AR har ändrats genom att granska antalet publikationer som behandlar och innefattar denna teknik under 2000-talet. Studien presenterar att ett få antal publikationer förlagts under åren 2000-2005. Antalet stagnerade vid år 2005 fram tills en markant ökning mellan åren 2014-2015. Detta kan tolkas betyda som att intresset för denna typ av teknik har ökat under de senaste åren och att tekniken antyds potentiellt ha kommersiell nytta. Viss potential har redan identifierats inom produktion, där AR har visat sig lämpligt vid montering samt vid kvalitetssäkring (Segovia et al., 2015). Även inom sjukvård har en studie visat att AR besitter potential. Exempelvis kan cancertumörer visualiseras inuti patienten innan och under operation och därmed underlätta och förbättra arbetet för kirurger (Gouveia et al., 2021). Trots de lovande resultaten som dessa två publikationer uttrycker beskrivs metoderna och tekniken vara i ett forsknings- eller utvecklingsstadium och används inte som vedertagna metoder. Detta styrker antagandet att tekniken fortfarande är outforskad men att AR-teknik besitter potential inom ett flertal områden och industrier.

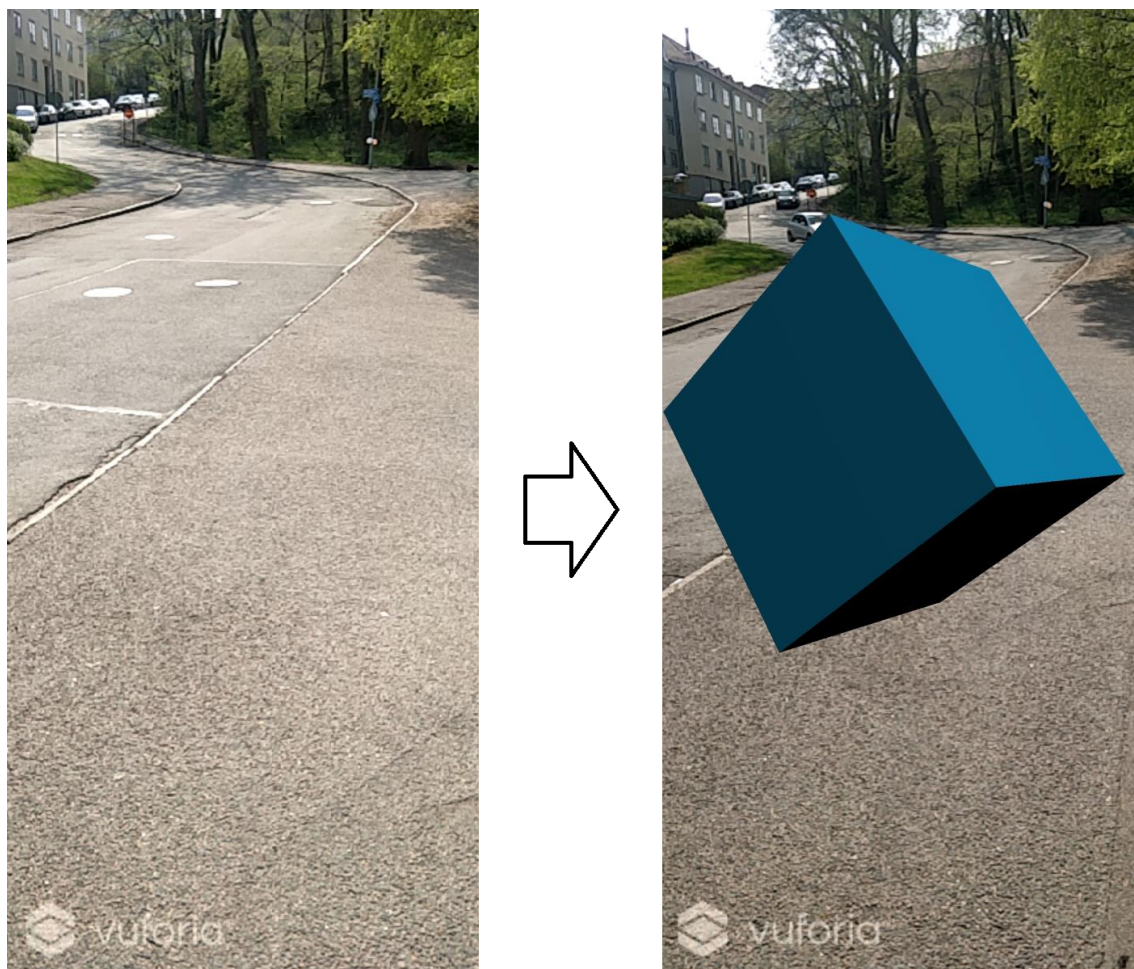
Gruvindustrin är uråldrig och väletablerad. Redan i de tidigaste civilisationerna var människor beroende av sten och mineraler och detta spelade stor roll i den tekniska utvecklingen. Numera har industrin fortfarande en central roll i samhället. Weihed (2006) visar att världsproduktionen av grundämnen såsom koppar, zink, bly, nickel, järn och guld har ökat markant från år 1950 till år 2000. Enligt studien finns det inte heller några tecken på att detta behov av metaller skulle minska och att behovet ökar i takt med befolkningsantal. Enligt Marimuthu et al. (2021) utgör exempelvis gruvindustrin i utvalda länder i Asien över 10% av deras totala GDP, vilket visar på gruvindustrins ekonomiska betydelse. Med dessa två faktorer i åtanke är det naturligt att industrin fortfarande erhåller stort fokus. En stor del i gruvindustrin som belysts under senare år är för produktion av ny teknik som kräver sällsynta metaller. Balaram (2019) hävdar att industrin i dagsläget står inför en stor utmaning när en uppsjö av nya produkter som använder sig av Rare-Earth Elements (REE) har introducerats på marknaden. Studien visar även att dessa mineraler blir dyrare i och med att de används och att behovet kommer öka i takt med det.

Ballastindustrin är liksom gruvindustrin idag en väletablerad industri. Människor har länge varit i behov av stora mängder grus, sand och sten till olika typer av byggnadsprojekt, och allteftersom kontinuerlig utbyggnad av samhället fortsätter finns likväl ett behov av fortsatt utökad ballastproduktion. En uppsjö av olika produkter utgörs av betydande del ballast, såsom asfaltsmakadam, betongballast och gjuterisand, och används exempelvis vid anläggning av vägar, järnvägar och byggandet av villor för att fylla ut mark och skapa en stabil markgrund att bygga på. För att bygga en kilometer motorväg krävs cirka 64 000 ton ballast, en kilometer järnväg cirka 48 000 ton ballast och för en normalstor villa krävs det cirka 100 ton (Sveriges Geologiska Undersökning [SGU], 2020). År 2019 förbrukades i genomsnitt 9,7 ton ballast per invånare i Sverige och är således Sveriges till vikt sätt enskilt mest utvunna råvara bortsett från vatten, till en produktion av cirka 100 miljoner ton per år och ett värde av cirka 10,5 miljarder kronor per år. SGU (2020) visar även att ballastproduktionen och behovet i Sverige ökat mellan åren 2009-2019 och belyser att dagens användande är rekordhøgt. Senast det svenska samhället var mer beroende av ballast var under 80-talet där stora nationella bygginnsatser var aktuella.

Gemensamt kan gruv-, stenbrott- och ballastindustrin inkluderas under begreppet bergmaterialindustri som är en industri under utmaning inom hållbar och smart utveckling. Miljömässigt finns det fortfarande mycket att förbättra. Maskiner som kräver mycket energi och restprodukter som kan vara miljöfarliga är problemområden som pekas ut som viktiga delar som behöver ses över (Ranängen & Lindmand, 2019; Marimuthu et al., 2021). De betonar också att samhället har ställt sig allt mer kritiska till industrins metoder som helhet, främst på grund av dess problematiska historia med frågor som berör miljö och sociala aspekter, men även för det finns stora motstående intressen inom natur- och kulturvärlden. Detta medför att högre krav ställs och nya metoder och tankesätt måste appliceras för att kunna bemöta dessa. Ny teknik förutspås då vara en faktor i vad som krävs för att industrin ska kunna ta detta kliv in i ett bättre arbetssätt (Löw, 2019).

Begreppet Augmented Reality innebär att användaren ser en verklighet som är förändrad eller förstärkt. Detta innebär att tekniken tillsammans med verkligheten bygger upp en upplevd värld (Peddie, 2017). Områden där AR har använts och fått ett fäste är inom möbel- och designindustrin, spelindustrin och inom utbildning (de Belen, 2019). Huvudtanken med användningen i dessa bemärkelser är att det har varit fördelaktigt att plocka ut en viss del ur ett program och stoppa in det i verkligheten. Detta ger en uppfattning om hur programvaran ser ut i den verkliga världen utan att fysiskt existera. Masood och Eggen (2019) menar att AR-teknik i dagens läge behövs granskas kritiskt och att användningen är begränsad. Främst på grund av att teknik och bakomliggande system saknar ändamålsenlig anpassning. De påpekar att AR-teknik har sitt användningsområde men att ny användning ska granskas kritiskt innan en AR-baserad lösning skulle vara aktuell. En tolkning utifrån dessa påståenden är att AR besitter stor potential. Däremot så ställer sig vissa kritiska till att AR skulle vara lösningen på samtliga problem utan har istället ett utpräglat användningsområde.

För att kunna se den förstärkta verkligheten som AR-tekniken möjliggör måste användaren se verkligheten genom en monitor av något slag som bearbetar verkligheten och lägger till de AR-inslag som ska visas (Peddie, 2017). I figur 1 visas hur verkligheten förstärks genom AR-teknik, och hur tekniken interagerar med den verkliga världen genom att ha ett inslag placerat i rummet. Vanliga hjälpmedel för att erhålla en god AR-upplevelse är genom att använda en Hand-Held Device (HHD) eller en Head Mounted Display (HMD). En HHD innebär att användaren håller i en enhet som läser in verkligheten och lägger till AR-inslagen. Ett enkelt sätt att konkretisera detta är när man kollar på en kameras monitor, då ser man verkligheten fast genom en kamera, och på den monitorn syns inslagen. Head Mounted Display (HMD) innebär att enheten som man ser AR-inslagen genom kan monteras direkt på huvudet, ofta i form av glasögon (Peddie, 2017). Genom att använda en HMD istället för en HHD frigörs händerna då användaren inte behöver hålla i enheten för att se inslagen.



Figur 1: Till vänster ses en bild med verkligheten sedd genom en HHD utan inslag av AR. Till höger ses en bild med verkligheten sedd genom en HHD med inslag av AR, där en kub är utplacerad i rummet. Författarnas egna bild.

AR-tekniken är nära besläktad med en annan form av programmerad verklighet, Virtual Reality (Virtuell verklighet) förkortat VR som är en teknik som bygger på en programmerad virtuell upplevelse. Skillnaden dessa emellan är att VR-tekniken även innefattar att verkligheten och rummet som inslagen existerar i är skapad och digital (Britannica Academic, u.å.). Således interagerar AR-tekniken med den verkliga världen i högre utsträckning än vad VR-tekniken gör. AR implementeras därmed i situationer där användaren har behov av digitala inslag i sin reella omgivning, medan VR används för att skapa en upplevelse oberoende av verkligheten.

Teknisk utveckling krävs och kommer att fortsätta krävas inom bergmaterialindustrin för att effektivisera dess verksamhet och tillgodose allt hårdare krav som ställs. Eftersom det visats vara effektivt att använda AR som delösning inom andra industrier bör det även finnas potentiella användningsområden inom denna industri. Det finns alltså incitament till att försöka införa AR-teknik, en ung och potentiellt revolutionerande teknik, i bergmaterialindustrin, en väletablerad industri. Därmed är det av intresse att undersöka inom vilka områden implementation av AR kan lösa aktuella problem.

1.2 Syfte

Syftet med detta projekt är att utforska och identifiera möjliga användningsområden för AR-teknik inom bergmaterialindustrin. Efter att olika användningsområden definierats och sovrats ska ett problem formuleras och därefter ska koncept utvecklas som visar hur detta problem kan lösas. Slutligen ska detta koncept presenteras i sin helhet och utvalda delar demonstreras.

1.3 Avgränsningar

Gruppen har initialt tillhandahållits kontakter med två olika företag, ena var en krossanläggning med ballastproduktion i närheten av Göteborg och det andra företaget tillhandahöll denna anläggning digitala lösningar för att digitalisera anläggningen. Gruppen har därför valt att främst se till behoven och möjligheterna med och mellan dessa två företag.

Vid konceptutveckling kommer gruppen att utgå från att användaren kommer att använda sig av en HMD-lösning. Vid programmering och demoutveckling kommer gruppen anpassa användningen till AR-glasögonen Vuzix M4000 samt användning av mjukvaran Unity, Microsoft Visual Studios och programmeringsspråket C#.

1.4 Precisering av frågeställningen

Syftet kan preciseras med tre frågor som under projektets gång ska besvaras. Återkoppling till dessa frågor kommer ske i kapitel 7.

- Vilka användningsområden har AR i bergmaterialindustrin?
- Är det valda problemet relevant att lösa med hjälp av AR-teknik?
- Hur väl löser konceptet problemet?

2 Teori och perspektiv

Här fördjupas läsaren i den information som behövs för att kunna få en bättre förståelse om områden som berörs i rapporten.

2.1 Ballastindustri

Ballast definieras av Sveriges Geologiska Undersökning (2020) som stenmaterial som används för byggande. Ballastindustrin innehåller alltså alla processer som krävs för att kunna krossa ner stora bergsmassor till mindre stenar, kallat ballast.

På täkterna där ballasten utvinns finns den största delen av produktionskedjan. Produktionen börjar med att spränga loss bergsmassor från berggrund för att sedan krossas till arbetsbara storlekar och storlekssorteras inför försäljning och upphämtning. Första steget i bergutvinningsprocessen är att bryta loss material från berggrunden, oftast genom sprängning. Sedan transporteras sprängt material med dumprar inom anläggningen och tippas ner i en matarenhet till krossar som successivt krossar ner de stora stenblocken till mer finkornigt material och börjar därmed klassas som ballast. I och med stenmaterialets spröda egenskap, varierar ofta storleken på stenarna efter att de krossats. De krossade stenarna sorteras därför i olika storleksintervall med hjälp av siktar som fungerar som filter. När materialet krossats till önskvärd storlek, placeras de i högar inom anläggningen där de lagras inför försäljning (Sveriges Bergmaterial Industri [SBMI], 2021).

Krossanläggningar kan vara både fasta och mobila. Mobila krossanläggningar bygger på att maskiner och krossar transporteras till utsatt plats och anläggningen byggs upp temporärt på plats för att sedan monteras ned igen. I denna typ av anläggningar kan krossningsprocessen variera något i sin utformning. Ofta är produktionen mer sekvensiell än vad det är på fasta anläggningar, där produktion sker parallellt med utvinning. Först frigörs bergsmassa och det okrossade materialet sparas tills man under en period intensivt krossar materialet. På så vis skiljs de olika produktionsstegen åt tidsmässigt. Mobila anläggningar producerar material antingen under regelbundna intervall eller efter behov när extra produktion behövs (SBMI, 2021).

Äldre maskiner som förekommer på anläggningar är ofta manuella, där man med reglage reglerar dess effekt. Modernare maskiner är ofta självreglerande i större utsträckning och har inbyggda sensorer som ger tillgång till mer data. Dessa nyare maskiner är ofta kopplade till någon form av knypunkt som kan används för att reglera hela produktionen efter behov via signaler från datorerna. Syftet med att styra och reglera anläggningarna på detta sätt är att optimera och effektivisera produktionen (SBMI, 2021).

Täcker är en farlig miljö att arbeta på utan säkerhetsutrustning, SBMI (2021) har identifierat de vanligaste arbetsplatsolyckorna.

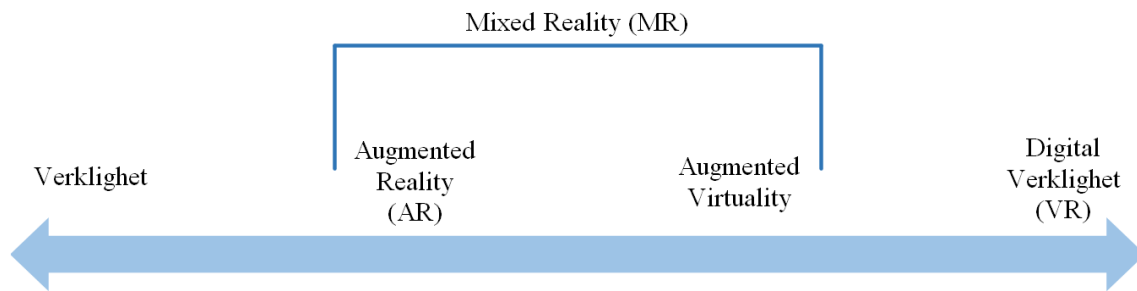
- **Skador i samband med aggressiv miljö:** Arbetarna utsätts dagligen för olika typer av damm och stoft. Dessa partiklar inandas kontinuerligt om inte tillräcklig ventilation finns, vilket ökar risken för ohälsa hos medarbetarna. Även vissa aggressiva ämnen används i arbetet vilka kan ge upphov till irritation, allergi och frätskador.
- **Olyckor i anläggningen:** Fallolyckor är vanliga vid arbete med olika nivåskillnader som på stegar eller arbetsplattformar. Även halkolyckor är vanliga på stegar och plattformar där ytorna lätt blir hala vid arbete utomhus.
- **Skador vid maskinhantering:** Det finns en risk för klämskador i närheten av krossar. Vid hantering av sålldukarna som storlekssorterar ballastmaterialet finns en risk för allvarliga skärsår då de tenderar att vara vassa. I underhållsarbetet finns ytterligare risker genom rörliga och osäkrade maskindelar eller smörjpunkter som kan vara svåråtkomliga.

2.2 Augmented Reality

AR-teknik visualiserar information digitalt inom synfältet för användarens verklighet. En vedertagen definition av AR är formulerad av Azuma (1997) och innefattar tre punkter:

- Kombinerar verkligt med virtuellt
- Interaktiv i realtid
- Registrerat i 3D

Den första punkten definierar var på verkligt-virtuellt-spektrat som AR befinner sig. Spektret brukar visualiseras enligt figur 2. Den andra punkten påtalar att det måste finnas en aspekt av interaktion med det digitala innehållet. Att visa en digital video tillsammans med verkligheten faller alltså inte under AR enligt denna definition. För att detta exempel ska gå under den här definitionen kan en funktion som startar och pausar videon läggas till som användaren har kontroll över. Den sista punkten säger att det digitala innehållet måste på något sätt registreras i 3D. Här tar Azuma (1997) upp som exempel att en 2D interaktiv video tillsammans med verkligheten inte går under den här definitionen. Att ha något registrerat i 3D skulle exempelvis kunna vara att lägga den interaktiva videon mot en verklig yta, som en vägg. Kollar man på en del av väggen ser man bara en del av videon, och kollar man bort försvinner den helt. Att strikt följa den här definitionen kan leda till ytterligare avgränsning av projektet som är oönskad. Den anses alltså viktig men ses som en riktlinje.

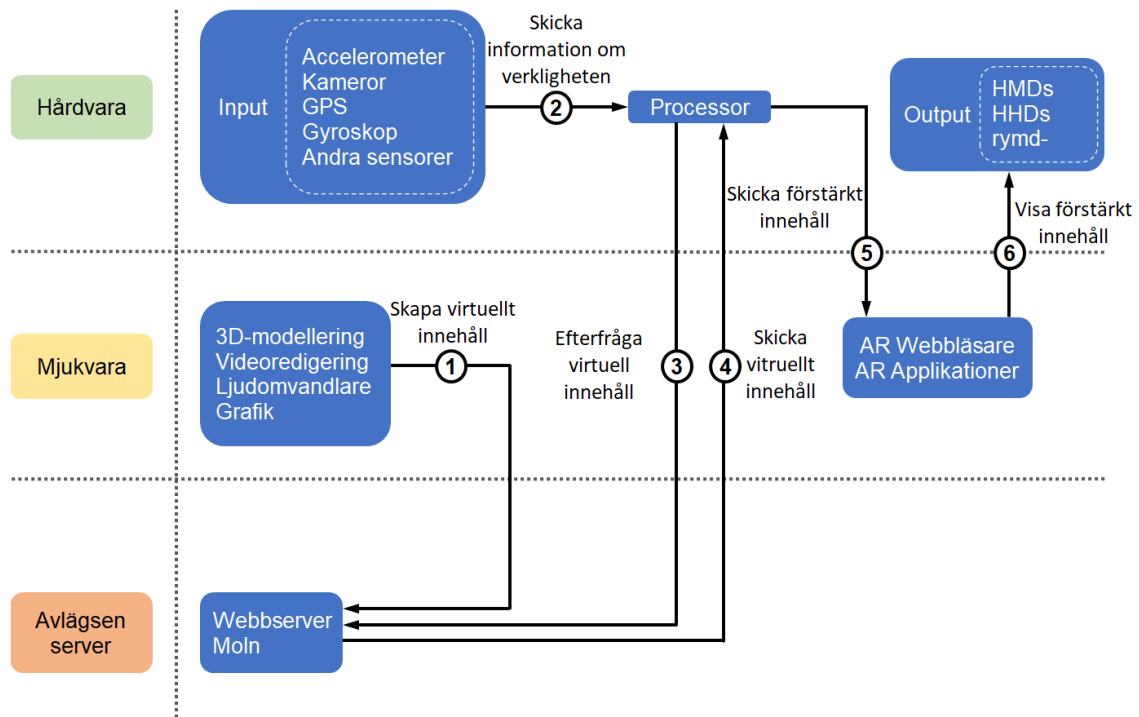


Figur 2: Skala med skillnader på verklighet, AR-, MR- och en VR-miljö

En mer bred definition av AR tas upp av Peddie (2017). Författaren skriver att tekniken visar information i realtid tillsammans med verkligheten. Detta innefattar bara den första punkten i definitionen av Azuma (1997). Vidare beskriver Peddie (2017) att informationen som ska visas genereras dels lokalt i enheten via processor och datakälla, men enheten är också uppkopplad mot en extern databas. Informationen kan på så vis förstärkas via avläsningar från sensorer som tar upp till exempel ljud, video eller position. Systemstrukturen för AR kan schematiskt beskrivas enligt figur 3. I schemat delas tekniken in i tre grundläggande områden:

- **Hårdvara:** Till exempel en HHD eller HMD.
- **Mjukvara:** Programmen som körs i hårdvaran.
- **Avlägsen server:** Molnlösningen som hårdvaran och mjukvaran tar information från.

Utifrån dessa tre områden kategoriseras komponenterna som bygger upp systemet och till sist beskrivs det hur dessa komponenter kommunicerar med varandra.



Figur 3: Schematisk beskrivning över systemstrukturen för AR. Till vänster finns tre grundläggande områden *hårdvara*, *mjukvara* och *avlägsen server*. Till höger om dessa finns de olika komponenterna som bygger upp systemet. Beroende på var komponenten ligger kan man avläsa under vilken kategori den tillhör. Pilarna mellan komponenterna beskriver i vilken ordning och hur de kommunicerar med varandra. Inspiration från (Baratta et al., 2018)

Systemstrukturen kan även delas in i en *three-tier architecture* (struktur med 3 nivåer). International Business Machines Corporation (IBM, 2020) beskriver strukturen på följande vis.

- **Presentationsnivån:** Användargränssnitt
- **Tillämpningsnivån:** Bearbetning av data
- **Datanivån:** Lagring och hantering av data

Strukturen hålls fysiskt och logiskt separerad för att varje del ska kunna köras på det operativsystem och den plattform som är bäst lämpad. Ytterligare fördelar är att man kan utveckla delarna av strukturen parallellt vilket leder till snabbare utveckling. Strukturen har också fördelar med att systemet blir lätt att skala upp, göra pålitligt och lätt att utveckla med hög säkerhet.

För att AR-tekniken ska gå att tillämpa i bergmaterialindustrin finns några fundamentala problem som måste lösas. För att tekniken över huvud taget ska fungera krävs kommunikation mellan de tre grundläggande områdena som presenterades i figur 3. I detta projekt används en HMD-enhet och en förutsättning för användning är trådlös kommunikation över ett nätverk för att kunna få tillgång till data som ska visas. Om den information som AR-enheten ska använda sig av är beroende av data från en anläggning i realtid krävs det att denna anläggning redan i viss utsträckning är digitaliserad. För att AR-enheten ska kunna använda sig av aktuell data från exempelvis en maskin krävs det att denna maskin är utrustad med en eller flera sensorer och att datan från sensorerna kan skickas till den server som AR-enheten kommunicerar med. Miljön i vilken enheten vistas i ställer krav på framförallt hårdvara men även mjukvara. Hårdvaran måste vara tålig med avseende på bland annat stötar, damm och vatten. Mjukvaran i form av användargränssnittet måste vara simpelt och lätt att interagera med för att underlätta och inte hämma arbetet, mer om användargränssnitt i avsnitt 2.4.2.

2.2.1 AR-enheter

Det finns olika typer av enheter som är tänkta för AR och de kategoriseras baserat på dess egenskaper. Den bredaste kategorin är om enheten är bärbar eller inte. Bärbar i den här bemärkelsen innebär att man ska kunna bära den på kroppen som en accessoar. En bärbar enhet kan till exempel vara AR-glasögon (HMD) och hjälmar. Enheter som inte är bärbara innefattar både mobila och stationära enheter. En mobil enhet kan exempelvis vara en smartphone, och en stationär enhet kan vara exempelvis vara en PC. Beroende på ändamål passar enheter i de olika kategorierna olika bra. Till exempel kan en bärbar enhet som en HMD vara bra om man är i en miljö där man behöver båda händerna medan en stationär enhet kan vara en skärm som visar färddata i en bil (Peddie, 2017).

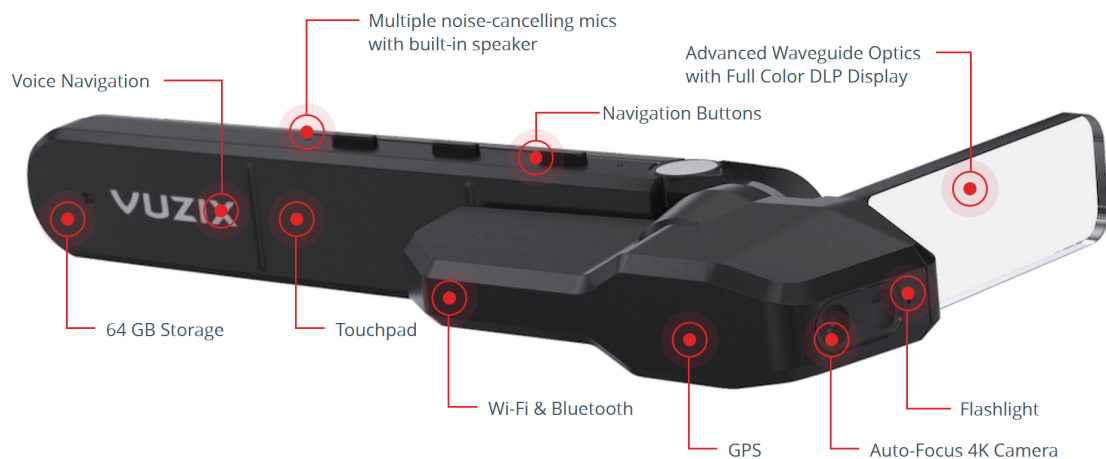
2.2.2 AR-glasögon

Enheten som har tillhandagivits till projektet är en HMD. Från stycket innan kan man se att enheten då kategoriseras som en bärbar enhet. I den här kategorin finns det framför allt två viktiga underkategorier: inomhus eller utomhus och binokulära eller monokulära. Enheter som är kategoriserade för utomhusanvändning måste ha en tillräckligt ljusstark skärm för att visa digitalt innehåll trots solljus. Eventuella sensorer som använder sig av ljusets våglängder måste även fungera med de våglängder som finns i utomhusmiljön. Fungerar en enhet inte i solljus blir den kategoriserad för inomhusanvändning. Vidare är en enhet binokulär om det visas digitalt innehåll för båda användarens ögon och monokulär om det istället bara visas för ett öga. Fördel med binokulära är att de generellt ger ett bredare digitalt synfält och en mer naturlig upplevelse med nackdel att de binokulära enheterna ofta är mer otympliga. Monokulära enheter är ofta smidigare med nackdel att de ger ett smalare digitalt synfält och det är större risk att användaren känner illamående vid användning under lång tid (Peddie, 2017).

Den enhet som används i projektet kategoriseras som en bärbar, monokulär enhet ämnad för utomhusanvändning, se figur 4. I figuren finns en del av enhetens tekniska specifikationer och de viktigaste som saknas nämns nedan.

- Operativsystem: Android
- Processor: 8 Core 2.52Ghz Qualcomm XR1
- RAM: 6GB
- Skärmupplösning: 854x480 pixlar

Enhetens dator använder sig av ett androidbaserat operativsystem och fungerar likt en smartphone. Applikationer till enheten utvecklas på en PC och överförs sedan till glasögonen där de kan visas på den genomskinliga skärmen (Vuzix, 2021).

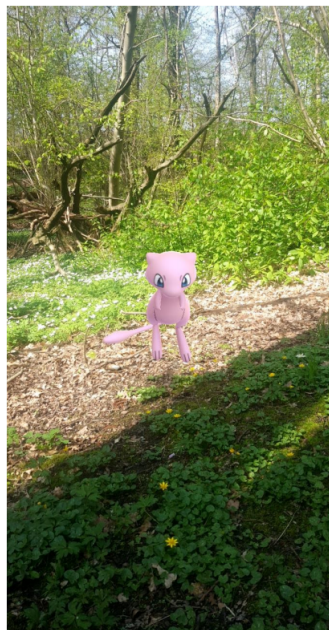


Figur 4: Förklarande bild om uppbyggnaden av Vuzix M4000. Från Vuzix (<https://www.vuzix.com/products/m4000-smart-glasses>)

2.3 Programmering

Vuzix M4000 smarta glasögon är kompatibla med Android-applikationer och konceptets applikation behöver därför vara anpassad i detta syfte. I projektet används utvecklingsplattformen Unity som möjliggör programmering till både Android och iOS-enheter i en tredimensionell AR-miljö.

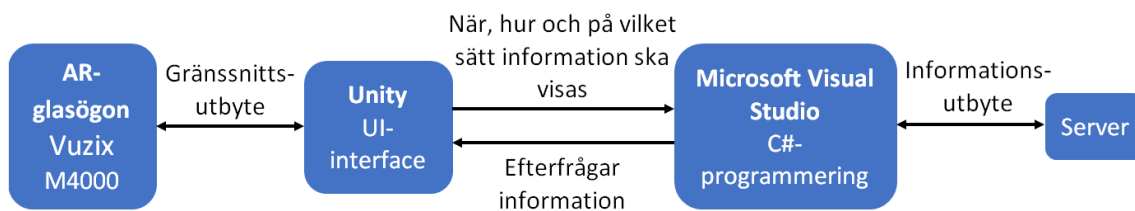
Unity är en IDE (Integrated Development Environment) som möjliggör för utvecklaren att skapa miljöer i olika scener och manipulera dem i programmet. I Unity kan man även välja i vilket program man vill skriva kod till sin applikation. Unity används idag ofta för spelutveckling. Ett exempel är *Pokémon GO*, som använder AR-teknik för att visualisera pokémon-figurer i den verkliga miljön, se figur 5.



Figur 5: Skärmdump från spelet *Pokémon GO*

För att få in aktuell information i scener som framställs i Unity behöver även en del programmering utföras. För detta ändamål kan man använda sig av ett flertal olika IDE:er och programmeringsspråk. I projektets fall användes Microsoft Visual Studio för att programmera i det objektbaserade programmeringsspråket C#.

För att visa aktuell information och flödesdata behöver skript skrivas som hämtar aktuell information från en server. Informationen kan hämtas med hjälp av ett API (applikationsprogrammeringsgränssnitt) som kopplar applikationen med servern.



Figur 6: Koppling mellan Vuzix, Unity och Microsoft Visual Studio

2.4 Tidigare forskning

I det här avsnittet presenteras slutsatser och resultat från betydande tidigare forskning. Denna forskning har projektet haft som grund att utgå från.

2.4.1 AR-teknologi

I en undersökning av Dukhan et al. (2020) ansågs fyra områden inom bergmaterialindustrin som relevanta för AR: *logistik, säkerhet, kompetent arbetskraft* och *underhåll*. Undersökningen är ett tidigare kandidatarbete inom samma område och ansågs därmed relevant som utgångspunkt. Det är fyra övergripande områden som andra mer specifika områden skulle kunna kategoriseras under. Sådana specifika områden presenteras av Asbjörnsson et al. (2020). Dessa är fem områden som behandlade visualisering och kommunikation, säkerhetsövervakning och respons vid nödsituationer och möjligheten att få experthjälp på distans. De mer konkreta områdena har kategoriserats under de mer övergripande områdena och kan ses i tabell 1.

Tabell 1: Identifierade områden med möjlighet att implementera AR.

Övergripande område	Specifikt område
Logistik	Ökad visualisering och kommunikation om design och planering Visualisering av data i realtid
Säkerhet	Förbättrad säkerhetsövervakning Förbättrad respons vid nödsituationer
Kompetent arbetskraft	Experthjälp på distans
Underhåll	Experthjälp på distans

Gong et al. (2021) har undersökt specifika fall där AR används och i synnerhet hur man implementerar och arbetar med AR-teknologi. I studien poängteras AR-teknikens inverkan på användaren. Vid första intryck upplevs ofta AR som en framtidsvision, vilket gör att många har en positiv utgångspunkt som riskerar att påverka undersökningar.

Studien innehåller sex tester varav ett undersöker AR-instruktioner vid reparation och underhåll i produktion och ett annat undersöker montering med hjälp av AR-instruktioner. Gemensamt för resultatet av dessa två är att AR-teknik är främmande för användaren, vilket också beskrivs som det största hindret i implementering av AR-system. I ett test där bärbara enheter används, visar resultaten att AR används mer effektivt i takt med att användaren blir mer bekant med teknologin. I ett annat test visas hur användning av enheter som kategoriseras som icke bärbara skapar ett bättre testresultat än bärbara enheter. Anledningen anses bero på att icke bärbara enheter och specifikt pekplattor är bekant teknologi i större utsträckning än bärbara enheter. Ett tredje test visar hur AR kan användas vid upplärning och träning av produktmontering. En intressant iakttagelse är att tidigare erfarenhet av monteringsarbete inte påverkar resultatet. Däremot återkommer studien till bekantskap och erfarenhet av teknologi och större bekantskap med AR-tekniken korrelerar med bättre testresultat.

Studien visar även att användaren behöver längre tid att byta fokus mellan verkligheten och de digitala instruktionerna än förväntat, och textbaserade instruktioner förbises i stor utsträckning. Både testresultatet och testpersonernas upplevelse hade positiv effekt när de textbaserade instruktionerna ersattes med bildgivande symboler. Anledningen uppskattas vara att den textbaserade informationen upplevs mer överväldigande när den projiceras digitalt än i fysiskt format på papper.

Segovia et al. (2015) undersökte hur AR kan användas för att övervaka och utvärdera processer inom produktionsindustrin. De testade tre olika metoder med olika grad AR för att utvärdera likformighet hos produkter som bearbetats i en maskin. De fann att interaktionen med mjukvaran tar längre tid än förväntat när AR är en del av den. Lösningen innehållande högst antal AR-inslag visar en snabbare och lättare kontakt med datan som mäts i flödet. Användarna tenderar även till att fokusera mer på datan i sig och inte mjukvaran som presenterar den. En följd av detta är enligt studien att användaren är mer kritisk i sitt tänkande mot datan.

2.4.2 Användargränssnitt

Wu et al. (2016) har undersökt relationen mellan komplexiteten på ett användargränssnitt och användarens tidigare erfarenhet. Studien visar med hjälp av ögonspårning hur lång tid det tar för testpersonerna att fixera blicken vid ett önskat element och hur många fixeringar som sker innan personen fixerar på det önskade elementet. Testpersonerna fick även svara på ett subjektivt frågeformulär om upplevelsen av användargränssnitt. Grad av komplexitet i användargränssnitt definieras utefter hur många element som finns i gränssnittet, elementens densitet och slutligen förhållandet i avstånd mellan elementen. Komplexiteten kategoriseras i tre kategorier: hög, medel, och låg komplexitet. Ytterligare en nyckelvariabel i undersökningen är testpersonernas tidigare bakgrund och erfarenheter. Testgruppen delades in i två kategorier baserat på tidigare erfarenhet: noviser och experter. Personer utan erfarenhet av uppgiften och mindre än ett års tjänst inom företaget klassas som noviser och personer med erfarenhet av uppgiften och längre än ett års tjänst klassas som experter. Slutsatsen blev att både komplexiteten på användargränssnittet och tidigare erfarenheter av uppgiften är avgörande i hur snabbt personerna fixerar vid önskat element. Även hur testpersonerna känner inför komplexiteten mellan användargränssnitt korrelerar med testresultatet.

2.4.3 Digital utveckling inom gruvindustrin

Barnewold och Lottermosser (2020) har med hjälp av text mining och nätverksanalyser identifierat vilka digitala teknologier som är mest relevanta för gruvföretag. Undersökningen analyserar tidskrifter inom gruvindustrin, rapporter från ledande konsultbyråer och annan media för att hitta de mest omtalade teknologierna inom gruvindustrin. Resultaten visar att *Automation*, *Robotics*, *Internet of things*, *Big data*, *real-time data*, *machine learning*, *artificial intelligence* och *3D-printing* är nyckelteknologier för gruvindustrin. Studien visar även att implementeringen av digitala teknologier är kopplade till produktionsstorlek. Produktion av större storlek implementerar nödvändig digital teknik för att uppfylla deras behov medan mindre produktioner inte tillämpar digitala verktyg och hårdvaruteknologi i samma utsträckning.

3 Metod

I kommande avsnitt beskrivs den metodik som gruppen tillämpat. Metodiken har tillämpats för att ta fram, bearbeta och utvärdera information, och utifrån det kunna ta väl grundade beslut.

3.1 Marknadsundersökning

Det lades stor tyngd i att ha en gedigen grund att stå på för att ta fram en demonstration som tydligt visar AR-teknikens fördelar i bergmaterialindustrin. För att samla information om möjligheterna att kombinera AR-teknik med bergmaterialindustrin, utfördes en marknadsundersökning. Undersökningen utfördes som en kvalitativ studie, i form av anpassade intervjuer. De anpassade intervjuerna förbereddes genom att först fastställa ett tydligt mål för att få ut relevant information, och ett antal intervjufrågor utformades som en grund för intervjun att utgå ifrån. För att iaktta hur produktionsprocesser i teorin överensstämmer med verkligheten besöktes även ett platsnära dagbrott. Informanterna som deltog i undersökningen har olika bakgrund och perspektiv till arbetet vid gruva, dagbrott eller täkt och inkluderar forskare, personer inom ledning, systemutvecklare av digital datasamling samt förmän och operatörer på den besökta täkten.

Syftet till att flera arbetsroller från olika företag intervjuas i undersökningen är för att se problem ur flera perspektiv. Det är viktigt att ha i åtanke de olika förhållningssätt som informanter i olika roller kan ha gentemot produktionen, och hur det kan påverka deras svar. Ett ytterligare syfte är att iaktta alla moment inom bergmaterialindustrin, från planering till utförande. Informanternas gemensamma erfarenheter förväntas skapa ett brett perspektiv över hur relevant samtliga steg är under en arbetsprocess. På så sätt bedöms det att enighet i svar från samtliga kan skapa en objektiv bedömning i en större utsträckning.

I en intervju med en person i en ledande roll utformades ett material med avseende på att ledningen arbetar mer strategiskt än operativt och är därför relativt avlägsen produktionen. Samtidigt iakttogs ett värde av att fråga om specifika processer ur perspektivet utifrån en ledande roll. Det förberedande arbetet inför intervjun med en förman genomfördes på ett liknande sätt. I detta fall är perspektivet närmre produktionen än det hos ledningen. Operatören i sin tur är den roll som har närmst kontakt med produktionen och svar om produktionsprocesser antas vara mest i enlighet med det praktiska utförandet. Rollerna som förman och operatör antas även ha flest överlappande arbetsområden och därför mest likvärdiga perspektiv.

Till skillnad från rollerna inom ledning, förman eller operatör, utformades intervjun med en systemutvecklare med hänsyn till en svag koppling till produktionen. Förväntningarna blev istället ett perspektiv med större fokus på digitala teknologier och dess tillämpbarhet på industrin.

3.2 Val av problem

Första steget i att utveckla ett koncept är att välja vilket problem konceptet ska lösa. För att kunna välja problem krävdes beslutsunderlag, vilket marknadsundersökningen var en del av. Utöver marknadsundersökningen utförde gruppen en problemgenerering med syfte att identifiera flera olika problem. Inför denna problemgenerering hade varje deltagande satt sig in i ämnet genom att söka information. Ramen för problemgenereringen sattes upp med olika huvudkategorier som identifierats, samma huvudområden som från tabell 1 i avsnitt 2.4.1. Därefter fick alla deltagande tre minuter på sig att hitta möjliga problem inom varje kategori. När alla kategorier behandlats diskuterades de individuella inslagen för att sedan sammanfattas till gemensamma problem. Syftet med att först tänka individuellt är att få många olika perspektiv genom att utnyttja deltagarnas egna erfarenheter. De olika perspektiven gav många problemformuleringar som i sin tur gav en bra grund för att ta projektet vidare. Till sist sammanfattades de individuella inslagen för att göra den framtagna informationen mer överskådlig.

Med ett flertal definierade problem ansåg gruppen att det saknades underlag för att endast välja ett av problemen. Problemen saknade i detta skede koppling till AR, vilket inledde nästa del i processen som innefattade att skapa lösningar till problemen. Denna process utformades på ett liknande sätt som problemgenereringen men med en idégenerering som istället var lösningsorienterad. Med ett antal problem och tillhörande lösningsförslag kunde ett problem väljas med hänsyn till både relevans och möjlighet att lösa med AR.

Med ett identifierat och formulerat problem togs en kravspecifikation fram. Kravspecifikationen ställer upp funktioner och kategoriserar de som krav eller önskemål. Krav är funktioner som anses kritiska för att lösa problemet och önskemål är funktioner som inte är kritiska men som anses fördelaktiga. Syftet med kravspecifikationen i detta stadie var att ge en överblick på problemet och underlätta framtagning av konceptet.

3.3 Framtagning av koncept

Med ett definierat problem gick processen vidare med att hitta ett koncept som kunde lösa detta problem. Detta gjordes genom att utveckla den sista delen i processen som påbörjades i föregående avsnitt.

Eftersom en del av konceptet skulle demonstreras (se avsnitt 1.2) analyserades de funktioner som togs upp i utförandet av kravspecifikationen från föregående avsnitt. Analysen gick ut på att identifiera de funktioner som går att utveckla med hjälp av AR-teknik och att förutsättningarna i form av digitalisering finns ute i industrin. Analysen gav underlag för att ytterligare specificera kravspecifikationen. De funktioner som tidigare var satta som krav men som enligt analysen inte var relevanta för AR kunde ändras till önskemål. Den nya kravspecifikationen är den som det slutgiltiga konceptet kunde baseras på.

I detta stadie utformades ett flödesschema och en systemstruktur för konceptet. Flödesschemat visar vilka funktioner som användaren har tillgång till, med tillhörande tidsförlopp för vad som sker när användaren utför handlingar inom dessa funktioner. Systemstrukturen visar kopplingar mellan hårdvara och mjukvara och görs baserat på den systemstruktur som beskrevs i figur 3 avsnitt 2.2. Utformningen av dessa användes sedan som underlag för gruppen att bygga upp mjukvaran ifrån och för att förtydliga processer. Flödesschema och systemstruktur fyller dessutom ytterligare ett syfte: att kommunicera och visualisera för externa intressenter hur konceptet fungerar. Flödesschemat gör det genom att beskriva hur användare och koncept interagerar med varandra. Systemstrukturen gör det genom att visa hur mjukvara och hårdvara är sammankopplade.

3.4 Test och utvärdering

Under projektets gång har två utvärderingstillfällen hållits med intressenter från industrin. Den första utvärderingen verifierade huruvida det valda problemet var något som industrin ansåg som relevant och den andra verifierade om det framtagna konceptet löste detta problem på ett bra sätt.

Den första utvärderingen gjordes i samband med att problemet valts och utfördes genom att presentera problemet för en platschef och operatör inom industrin. I syfte att utvärdera den framtagna problemformuleringen fick intressenterna bedöma och beskriva hur en lösning skulle kunna förändra arbetsprocessen. Med utvärderingen som underlag bearbetades problemet för att besluta om möjliga förändringar för att fortsätta utvecklingen av konceptet.

Den andra utvärderingen utfördes då konceptet var utformat mer i detalj och demonstrationerna var redo för att visas upp. Målet var nu att förtydliga styrkor och svagheter i hur konceptet fungerar. Den här utvärderingen utfördes på liknande sätt som den tidigare. Eftersom det inte finns kvantitativa mätvärden för att utvärdera hur väl konceptet löser problemet läggs istället tyngd på hur väl intressenterna anser att konceptet hade fungerat i praktiken.

Med färdiga demonstrationer för konceptet gjordes tester som var baserade på demonstrationernas syften. Testerna skulle undersöka de grundläggande principerna för konceptets funktioner. Det var inte av intresse att göra utförliga tester eftersom demonstrationerna inte skapades med syfte att lösa problemet som helhet, utan visa på specifikt utvalda styrkor hos HMD-enheter och AR-tekniken. De tester som utfördes syftade till att utvärdera användarvänligheten för den givna HMD-enheten och de AR-funktioner som finns att tillgå i Unity. En del av testerna utfördes endast i en mobiltelefon eftersom det i vissa fall var enklare att få applikationen att fungera i en mobiltelefon istället för i HMD-enheten. Att testa AR-funktioner i mobiltelefonen istället för HMD-enheten anses fortfarande vara ett bra test eftersom det inte är någon skillnad i hur applikationen fungerar mellan de två enheterna.

Till sist utvärderas konceptet genom att göra en övergripande kundvärdesanalys där man ställer *tillfredsställelse av behov* mot *förbrukning av resurser*. Hur väl konceptet tillfredsställer behov utgår från de två utvärderingarna ovan och förbrukning av resurser uppskattas tillsammans med information från marknadsundersökningen och tidigare insamlad information. Genom att ta upp många olika aspekter för kundvärdet är förhoppningen att visa på konceptets styrkor och svagheter på ett tydligt sätt.

4 Analys av utvecklingsområde

I detta kapitel analyseras processen som ligger till grund och leder upp till framställning av konceptet. Resultat och delresultat som skapats och bearbetats från tidigare forskning, marknadsundersökning och interna processer redovisas och leder fram till kapitel 5, där det slutgiltiga konceptet sedan presenteras. Sammanfattningar för de intervjuer som nämns finns i bilaga A.

4.1 Etablerade lösningar i industrin

Informationen som hämtas från de två första intervjuerna visar två olika användbara områden med AR. En av intervjuerna hölls med en docent med lång erfarenhet inom gruvindustrin och en hölls med en systemutvecklare av digital datainsamling. Intervjun med docenten visar att AR kan användas som ett hjälpmedel inom gruvindustrin under process för provtagning. Pandemin Covid-19 har i det här fallet skapat en situation som innebär att externa parter har svårt att resa och besöka gruvor. För att på bästa sätt ersätta fysiska provtagningar av experter låter man istället en arbetare på plats vägledas av en expert på distans med hjälp av AR-teknologi. Detta möjliggör att kvalitativa provtagningar kan utföras trots att experten inte är fysiskt närvarande. Från denna intervju identifierades att kommunikation med extern part med hjälp av AR även är applicerbart inom andra arbetsområden.

Enligt docenten är det viktigt att användaren ska behöva interagera minimalt med mjukvaran. I de fall då interaktion mellan mjukvara och användare är oundviklig är det viktigt att utforma interaktionen efter den miljö och omständigheter som användaren upplever på sin arbetsplats. Framför allt finns här två aspekter som är viktiga att ta hänsyn till, nämligen den höga ljudnivån och användningen av handskar. Den höga ljudnivån gör att det är svårt att basera interaktionen på ljud och röstkommandon. Handskar gör att det är svårt att klicka på knappar på AR-enheten.

Systemutvecklaren arbetar med digitala lagringstjänster vid en ballastproduktion. Under intervjun med systemutvecklaren framkom att en digitalisering aktivt fortskrider inom övervakning och andra produktionsprocesser. De tjänster som tagits fram skapar verktyg för att analysera produktionen både historiskt och i realtid. Den digitala lagringstjänsten förflyttar lokal data till en molnlagring som gör datan externt tillgänglig.

4.2 Problemgenerering

I tabell 1 i avsnitt 2.4.1 presenterades fyra områden där AR har potential: *Logistik, Säkerhet, Kompetent arbetskraft och Underhåll*. Det visades också att AR kan användas för att visualisera instruktioner vid montering. Möjligheten att illustrera, visualisera och interagera med AR vid montering ger upphov till det femte utvecklingsområdet, *Undervisning*. Denna tidigare forskning, i kombination med de två första intervjuerna, gav fem potentiella utvecklingsområden där AR kan implementeras.

Utifrån dessa områden formulerades möjliga problem inom bergmaterialindustrin, fördelade över de fem områdena. Resultatet finns som en tabell i bilaga **B**. Med problem formulerade kunde vissa likheter mellan problem inom olika områden identifieras. Det var däremot inget som gav tillräckligt underlag för att gå vidare med endast ett av dessa problem och således fortsatte marknadsundersökningen.

4.3 Observationer från industrin

Ur marknadsundersökningen går det att urskilja informanternas gemensamma åsikter om implementerbara områden för AR-teknik. Från en operatör, platschef och ledning visas tydliga incitament att utveckla arbetsprocesserna i produktionen med digitala hjälpmedel. De ser potential att med hjälp av digital förstärkning underlätta processerna kring kommunikation, övervakning, underhåll och undervisning. Ur områdena är de specifika uppgifter och problem som alla tre informanter gemensamt anser har störst potential följande:

- **Processövervakning:** att göra det möjligt för operatörer och platschefer att ta del av viktig processinformation på annan plats än i kontrollrummet.
- **Instruktioner:** ge direktiv och visuella hjälpmedel vid reparation och underhåll av maskiner och komponenter i produktionen.
- **Utveckla stopp- och larmsystem:** informera om stopp och larm i produktionen och tillgodose användaren med information om dessa.
- **Hjälp till maskinförare:** ge realtidsinformation om produktionen i syfte att underlätta planering och utföring av maskinförarens arbete.

Personen inom ledning informerade specifikt att det för tillfället saknas en bra lösning att ta del av processdata och flöden i realtid utanför kontrollrum. Det betyder att operatörer måste befinna sig i ett kontrollrum för att styra och övervaka anläggningen, vilket i sin tur leder till att operatören blir inaktiv vid de tillfällen produktionen fungerar utan problem. Både platschefen och operatören instämmer med informationen och förklarar ytterligare nackdelar med att tillgängligheten av processdatan är kopplad till ett kontrollrum. Exempelvis uppstår ett problem när operatören *inte* befinner sig i kontrollrummet. Vid oväntat maskinstopp måste operatören först förlytta sig till kontrollrummet för att identifiera vilken process som stannat, för att därefter åtgärda. Efter att stoppet är åtgärdat måste operatören återvända till kontrollrummet för att starta processen som stannat. Hela denna process anses vara tidskrävande och ineffektiv.

Att implementera digital visualisering med hjälp av AR för att vägleda användaren vid reparation och underhållsarbeten upplevs lovande bland informanterna. Produktionen är uppbyggd med många delar som regelbundet måste underhållas och i vissa fall repareras. Det krävs erfarenhet och ibland specifik expertis för utföra dessa arbeten. Informanter i produktionsnära arbetsroller uppskattar att tider för inläring av process för underhåll och reparation kan minska, såväl för erfarna som oerfarna arbetare. Införandet av AR och digitala instruktioner samt möjligheten att koppla dessa till reservdelslager och inköpsprocesser ses som ett potentiellt tillvägagångssätt.

På den tåkt som observerats arbetar utöver operatörer även maskinförare, som arbetar med att framföra tunga fordon. Ur intervjuerna urskiljs ett intresse att utveckla arbetet och informationshanteringen även för dessa. Maskinförare på tåkten använder sig av analoga hjälpmedel i sitt arbete och potentialen med digitala motsvarigheter uppskattas effektivisera arbetet. De analoga varianterna delar en begränsad mängd information och möjligheten med att visualisera processdata och annan information genom AR-teknologi anses vara en tänkbar förbättring. Bara genom att ta del av informationen i kontrollrummet, som i situationen med operatören ovan, uppskattar informanterna att maskinförarens planering och arbete kan bli mer effektivt.

4.4 Idégenerering

Inför idégenereringen etableras nya problemområden baserade på resultatet från problemgenereringen, se avsnitt 4.2, och observationerna från industrin, se avsnitt 4.3. I bilaga C presenteras de framtagna problemområden och tillhörande lösningsförslag som till skillnad från problemgenereringen presenterar konceptuella lösningar med hänsyn till AR-teknik.

De specifika problemområden som användes för att generera lösningar var, *Stopp och Larm*, *Experthjälp på distans*, *Reparationer och Underhåll*, *Undervisning*, *Identifiera komponenter* och *Flödesinformation*.

Lösningförslagen som skapas visar till stor del en gemensam funktion inom olika problemområden. De flesta tänkbara lösningar handlar om att på något sätt visualisera information och till viss mån göra det möjligt för användaren att interagera med digitala element. Det blev då tydligt att flera olika problem kan åtgärdas med liknande lösningar.

4.5 Konceptvision

Från de resultat som hittills presenterats i kapitel 4, identifieras potentiella utvecklingsområden för AR-teknik inom bergmaterialindustrin. Att driftinformation är knuten till ett kontrollrum har starka förbindelser till processövervakning och stopp- och larmsystem. Att en av tre operatörer spenderar sin arbetsdag i kontrollrummet för att övervaka och styra anläggningen kan tolkas som ett bevis att kontrollrummets funktion är kritisk för produktionen. Samtidigt betyder det att arbetskraft måste avvaras i förebyggande syfte för eventuella osäkerheter i produktionen och den arbetstid som spenderas i kontrollrummet när produktionen är driftsäker försummas. I intervjuer antyder alla med koppling till produktionen att utveckling av övervakning och processstyrning är av intresse. Inom andra utvecklingsområden har informanterna en mer blandad åsikt om problem och lösningar med AR. Med hänsyn till den redan befintliga systemutvecklingen av molntjänster och digitala lösningar, anses övervakning och processstyrning som det mest intressanta området för att implementera AR. Även möjligheten att använda lösningen för att effektivisera maskinförarens arbete beaktas och stärker beslutet.

En vision skapas i form av att tillgodose samma funktioner som kontrollrummet erbjuder, för att helt eller delvis frigöra operatören från kontrollrummet. Det innebär att presentera driftinformation och möjligheten att styra processer i produktionen. På så sätt kan lösningen hantera stopp- och larmsystem, flödesinformation och till viss del utveckla befintliga arbetsprocesser, tre av de identifierade problemen presenteras i avsnitt 4.4.

4.6 Kravspecifikation av koncept

För att verifiera möjligheten med visionen inleds en process att hitta möjliga lösningar som leder till ett koncept. För att kunna frigöra operatören delvis eller helt från kontrollrummet måste först de kritiska funktionerna identifieras. Dessa funktioner måste konceptet innehålla för att framgångsrikt kunna ersätta kontrollrummets uppgift. Utöver att konceptet måste kunna utföra dessa funktioner, ska lösningen inte förhindra användaren att utföra övriga arbetsuppgifter ute på anläggningen.

För att bekräfta potentialen och intresset med visionen och för att identifiera de funktioner som krävs i syfte att ersätta kontrollrummet, utfördes en återkoppling med intressenter. Dessa intressenter var den platschef och operatör som tidigare presenterats. Platschefen och operatören bekräftar att ett stort intresse finns att skapa en lösning som möjliggör kontrollrummets uppgift via en mobil AR-enhet. De förklarar hur kontrollrummets uppgifter är utformade och vilka delar som är kritiska. De kritiska funktioner som identifieras samlas i en kravspecifikation och presenteras i tabell 2. De nämner även en funktion som inte är kritisk men som underlättar arbetet, den är benämnd som önskemål i tabellen.

Tabell 2: Kravspecifikation över de funktioner som identifierats i kontrollrummet.

Funktion	Krav/Önskemål
Starta och stoppa delar av anläggningen	K
Övervaka aktuell flödesdata	K
Få information om stopp och larm	K
Justera driften av maskiner	K
Videofeed på viktiga maskiner	Ö

En intern utvärdering genomförs vidare i syfte att definiera vilka funktioner som är realiserbara med hjälp av AR. I samband med en observation om hur nuvarande funktioner fungerar och kommunicerar tydliggörs komplexiteten i vissa styrfunktioner. Styrfunktionerna på den observerade tåkten sker via lokal signalöverföring och möjligheten att trådlöst styra produktionen kräver ytterligare implementering av molnbaserade funktioner. I syfte att kunna vidareutveckla ett koncept som är applicerbart med nuvarande förutsättningar sattes begränsningar i problemformuleringen. Konceptet avser att använda sig av de funktioner som hanterar data i befintliga molntjänster. Kravspecifikationen förändrades i enlighet med de nya funktionskraven och presenteras i tabell 3.

Tabell 3: Kravspecifikation med uppdaterade krav från den som presenterades i 2.

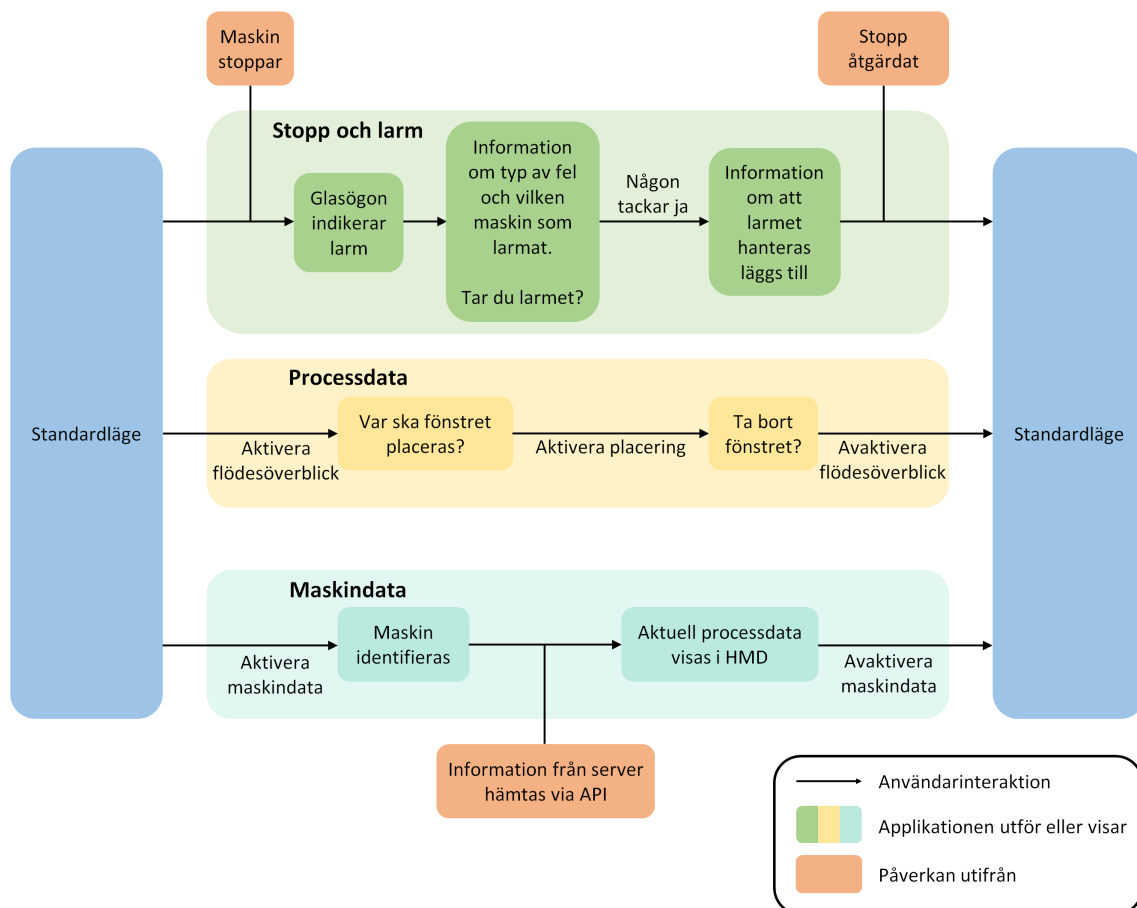
Funktion	Krav/Önskemål
Starta och stoppa delar av anläggningen	Ö
Övervaka aktuell flödesdata	K
Få information om stopp och larm	K
Justera driften av maskiner	Ö
Videofeed på viktiga maskiner	Ö

5 Resultat

Detta kapitel är uppdelat i två avsnitt. Det första presenterar koncept och dess funktioner. Det andra avsnittet presenterar resultat från de tester och utvärderingar som gjordes på konceptet.

5.1 Konceptet

I detta avsnitt kommer konceptet beskrivas i detalj. Först beskrivs de funktioner som bygger upp konceptet tillsammans med hur demonstrationerna för dessa funktioner fungerar. Därefter sätts funktionerna i kontext mot konceptets systemstruktur och konceptet ställs mot den kravspecifikation som presenterades i tabell 3 i avsnitt 4.6. Till sist presenteras resultat från de tester och utvärderingar som utförts. Konceptet är en applikation till Vuzix-enheten och består av tre funktioner med benämningarna: *stopp och larm*, *processdata* och *maskindata*, se figur 7.



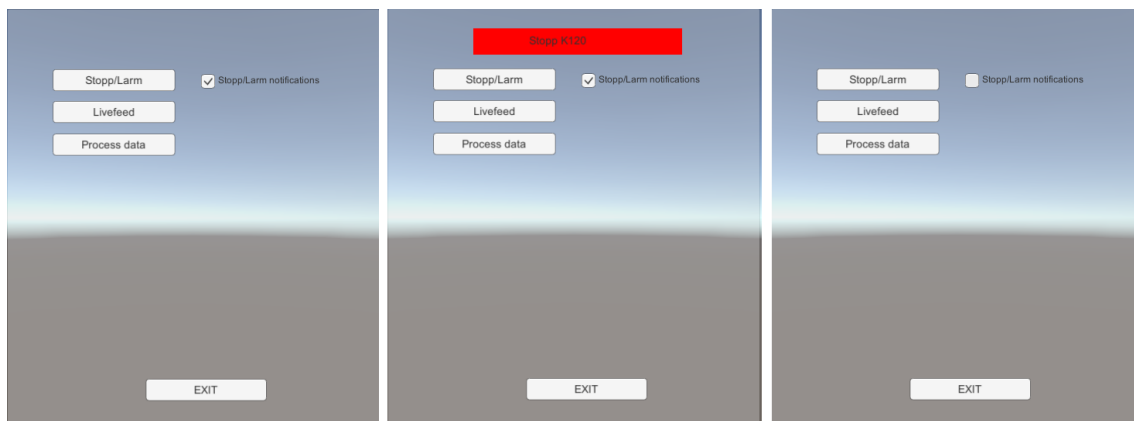
Figur 7: Flödesschema över konceptet. Schemat beskriver interaktionen mellan användaren och konceptet för de tre olika funktionerna. Varje funktion beskrivs enskilt, men i praktiken finns det inget som hindrar användaren från att interagera mellan funktionerna.

5.1.1 Stopp och larm

Den här funktionen uppmärksammar användaren när det har skett ett stopp i processen som utlöser ett larm. Användaren får då chansen att ta till sig den information som finns om stoppet, och därefter möjligheten att meddela applikationen att man tar på sig att åtgärda problemet. Väljer användaren att ta på sig larmet uppdateras samtliga enheter att någon har tagit på sig att försöka åtgärda problemet. Det ska även finnas en möjlighet att stänga av den här funktionen om det inte anses relevant att få information om stopp och larm.

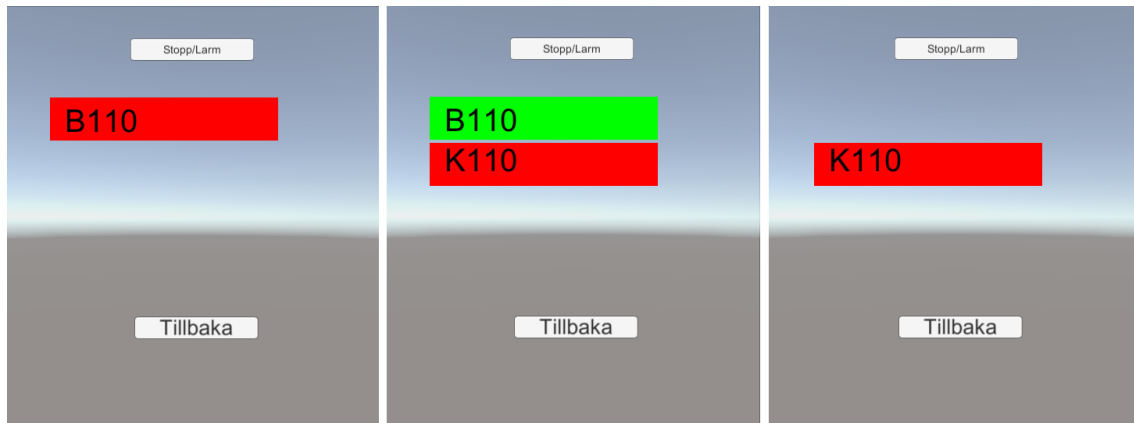
Tanken med *stopp och larm* är att användaren ska känna sig trygg i att den alltid kommer få reda på om det uppstår något stopp på anläggningen. Funktionen bygger på samma idé som i en mobiltelefon där applikationer skickar notiser med meddelanden. Eftersom den här funktionen är tänkt att alltid vara igång är det viktigt att den inte stör eller visar information i onödan i enlighet med resonemang om användargränssnitt som tagits upp i olika delar av rapporten. Med detta i åtanke ska det inte visas något så länge det inte är något stopp på anläggningen. När ett stopp uppstår och information ska presenteras för användaren är tanken att detta ska göras med tydliga symboler och färgkodning i den utsträckning som är möjlig. De olika maskintyperna som till exempel kross och sikt kan ha varsin symbol med endast maskinnummer utskrivet i text. Om anläggningen har möjlighet att visa olika typer av stopp på samma maskin borde detta också presenteras med symboler snarare än i text.

I demonstrationen för den här funktionen visas hur information om stopp och larm kan visas i användarens synfält. Demonstrationen visar figurer med tillhörande text som dyker upp och försvinner efter en specifik tid. I Unity har en huvudmeny utformats för att visa hur informationen om stopp kan visas som en notisfunktion om användaren använder Vuzix-enheten till något annat. Denna huvudmeny har även en knapp för att stänga av och sätta på notisfunktionen, se figur 8.



Figur 8: Huvudmeny för konceptet. I den vänstra bilden visas att notifikationsfunktionen är aktiv. I mittenbilden kan man se hur en notis kan se ut. I den högra bilden visas att notifikationsfunktionen är inaktiv.

I huvudmenyn försvinner notifikationerna efter en viss tid. Därför skapades en egen sida för *stopp och larm* där stoppmeddelanden endast försvinner då de åtgärdats, se figur 9. Om det finns ytterligare information om stoppet kan det presenteras här, det skulle till exempel kunna vara ett videoflöde på den maskin som stoppat. De skript som använts för den här demonstrationen går att se i bilaga D och bilaga E.

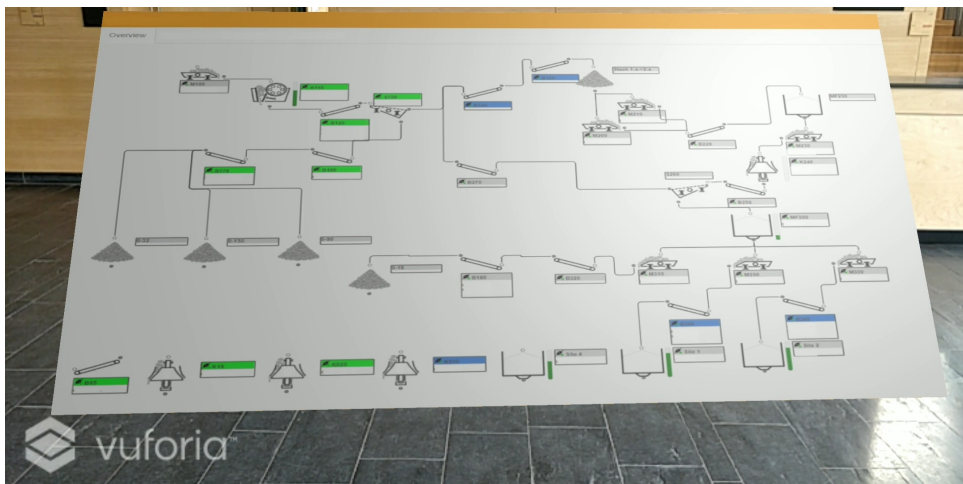


Figur 9: Sidan för *stopp och larm*. Till vänster visas att maskin B110 stoppat. I mitten kan man se hur stoppet i B110 åtgärdats men att nu maskin K110 stoppat. Till höger visas att informationen om det åtgärdade stoppet försvinner efter viss tid.

5.1.2 Processdata

I funktionen processdata ska användaren kunna få en överblick över processerna i anläggningen. Man ska kunna se vilka processer som är aktiva och aktuell processdata för alla maskiner. Till applikationen skapas en sida där hela anläggningen ritas upp. På denna sida syns namnen på maskinerna och hur material flödar mellan dem. Vidare sammankopplas sidan med aktuell processdata för maskinerna. För att se sidan placerar användaren ut den i sin omgivning, se figur 10. Med resonemang om användarvänlighet som förts i rapporten är det mycket information som visas i den här funktionen. Tanken är att det inte blir överflödigt eftersom användaren kan vrida på huvudet och gå närmare eller längre bort för att se olika delar av sidan och fokusera på det den är intresserad av. Utöver detta kan man även välja att kolla bort från sidan eftersom den är fixt placerad i sin omgivning. Om man till exempel står och övervakar en maskin kan man ha den här sidan placerad bredvid sig och kolla på den när man har behovet.

För att aktivera funktionen indikerar användaren detta för HMD-enheten, till exempel genom en handgest framför kameran. Då får användaren förfrågan om var fönstret med processdata ska placeras och på liknande sätt indikerar användaren sitt val för detta. För att ta bort fönstret indikerar användaren på liknande sätt igen, se figur 7.



Figur 10: Sidan för processdata utplacerad i en verklig omgivning.

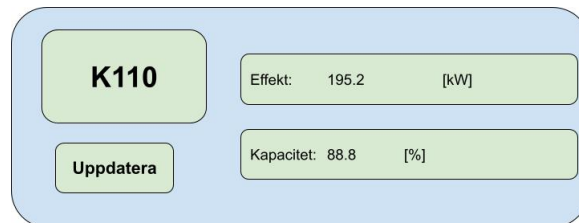
Demonstrationen för den här funktionen visar hur ett fönster med en sida som den beskrivna ovan kan placeras ut. Demonstrationen har alltså ingen koppling till den data som uppdateras utan är en statiskt bild som placeras ut, se figur 10. Denna demonstration använder endast Unity eftersom det finns inbyggda funktioner som identifierar ytor och placerar ut objekt. Med hjälp av dessa inbyggda funktioner kunde fönstret placeras ut i en fysisk miljö. Hade fönstret som ska visas uppdaterats kontinuerligt med ny data hade även ett skript som hanterar detta behövts.

5.1.3 Maskindata

Den här funktionen ska ge användaren möjlighet att få aktuell processdata och information om en specifik maskin. Skillnaden mellan denna funktion och funktionen *processdata* är att man här har mer frihet i hur datan ska presenteras när den inte är grupperad med resten av anläggningen. Utöver att visa samma information som finns i funktionen *processdata* finns det här möjlighet att lägga in mer utförlig information. Det skulle till exempel kunna vara grafik som visar hur väl maskinen arbetar jämfört med historisk processdata och även historik om underhåll för maskinen. Detta kan ge användaren möjlighet att bättre planera sitt arbete och optimera driften på maskinerna.

Användaren ska enkelt kunna få den här informationen när det passar den. Detta är tänkt att uppnås genom att applikationen kan aktiveras på flera olika sätt. Till exempel genom QR-koder som är utplacerade, bildigenkänning av maskiner, geografisk identifiering av användaren eller en meny. Om en meny används skulle den kunna placeras ut likt fönstret som beskrivs i funktionen *processdata* och genom att göra en handgest väljer man en av knapparna i menyn. När maskinen är vald eller identifierad hämtas informationen om maskinen som sedan visas för användaren, se figur 7. Även informationen som visas kan placeras ut i rummet om det är för mycket information för att direkt visas i HMD-enheten. Hur man väljer att presentera information för användaren bör återigen vara förankrat i resonemanget om användargränssnitt som tidigare förts.

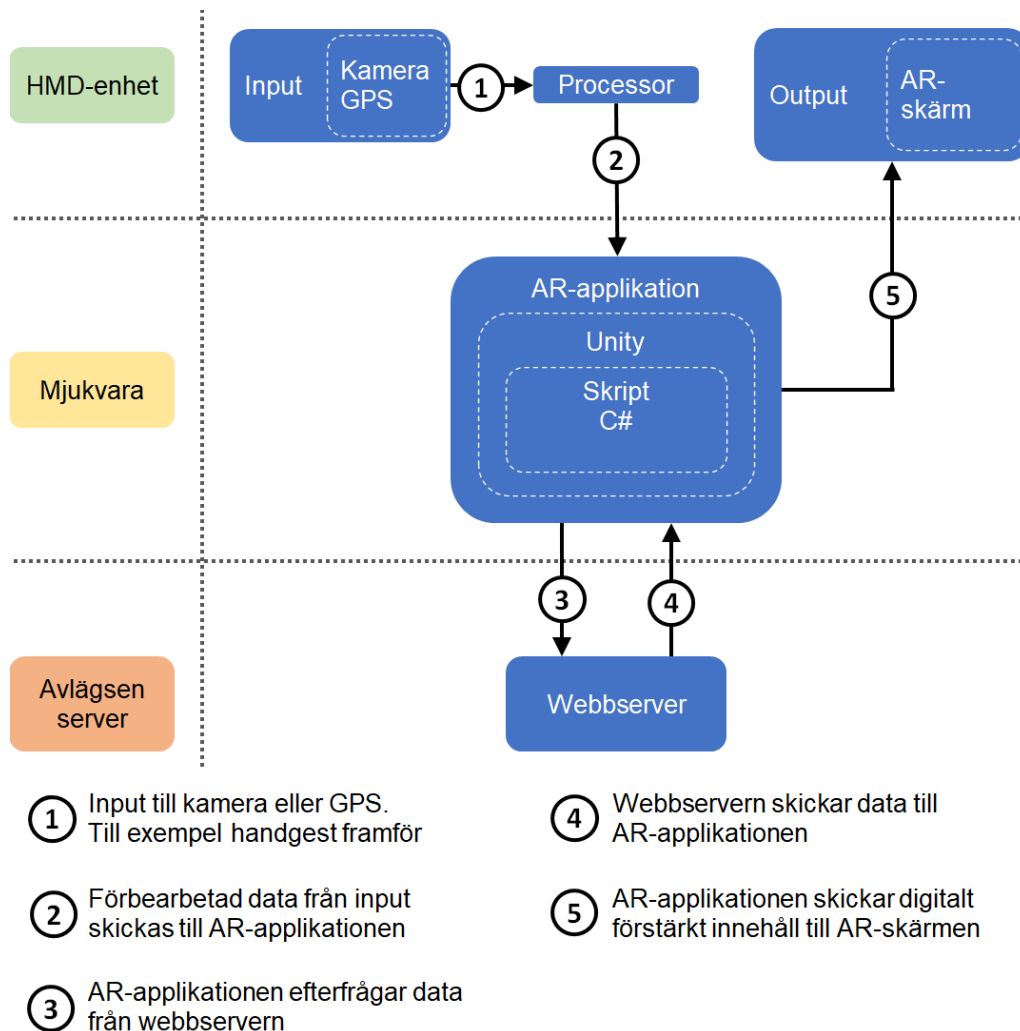
Demonstrationen för den här funktionen visar hur applikationen hade kunnat kopplas ihop med ett API. Den här demonstrationen har visualiserats enligt figur 11. I figuren finns en knapp för att uppdatera datan om man observerar under längre tid. Vid vidareutveckling skulle denna tas bort och istället ersättas med att datan istället uppdateras automatiskt. Den kod som skrevs för den här demonstrationen blev aldrig färdigställd, men den går att se i bilaga F.



Figur 11: K110 är beteckningen för en den specifika krossen man efterfrågat data om. Effekt och kapaciteten visar den aktuella datan. Uppdatera knappen är där för att kunna uppdatera datan om man observerar under en längre tid.

5.1.4 Konceptets helhet

Funktionerna som presenterats ingår alla tre i en systemstruktur likt den generella som presenterats i figur 3 i avsnitt 2.2. Konceptets systemstruktur stämmer till viss del överens med den generella och skapades med utgångspunkt från denna, se figur 12.



Figur 12: Systemstruktur över konceptet. Det visar hur hårdvara, mjukvara och data interagerar med varandra för att till slut visas för användaren. Vad som händer i dessa interaktioner är beskrivet som konkreta exempel.

I figuren går input i form av information från kamera eller GPS in i HMD-enhetens processor. I nästa steg går denna information över från hårdvara till mjukvara i form av den AR-applikation som skapats för konceptet. Som beskrivits i kap 2.3 utförs datahanteringen, i form av sortering och beräkning i C# och därefter används Unity för att bestämma hur datan och gränssnittet ska presenteras. Dessa två delar bygger upp AR-applikationen som i sin tur använder sig av den avlägsna servern för att få data i realtid. I servern finns data från maskiner som är insamlad med olika sensorer och mätare ute på anläggningen. Från AR-applikationen i mjukvaran går sedan informationen tillbaka in i hårdvaran som output. I output visas applikationen på HMD-enhetens skärm.

Nedan följer ett exempel som beskriver flödet kopplat till figur 12 för funktionen *stopp och larm*. Denna funktion efterfrågar kontinuerligt data från den avlägsna servern för att få information om det har skett ett stopp som utlöst ett larm. Sker ett sådant stopp bearbetas detta på ett förutbestämt sätt i AR-applikationen och visas därefter för användaren. Det som visas i detta fall är en förfrågan om användaren har möjlighet att åtgärda stoppet. Användaren svarar exempelvis genom att göra en handgest framför kameran och detta blir input till processorn som via AR-applikationen tolkar gesten på ett förutbestämt sätt. Samtidigt fortsätter applikationen att kontinuerligt efterfråga data eftersom den också ska visa när ett stopp har åtgärdats. Då ett stopp åtgärdas visas detta också för användaren via AR-applikationen och output.

5.2 Test och utvärdering

Demonstrationerna för funktionerna *stopp och larm* och *processdata* kunde i viss mån testas praktiskt. Funktionen *maskindata* blev aldrig klar för test. Testet för *stopp och larm* ämnade till att undersöka hur notifikationer kan behandlas i en HMD-enhet på ett användarvänligt sätt, medan testet för *processdata* utvärderade hur väl tekniken med att placera ut ett objekt i det fysiska rummet fungerade. Utöver testerna utfördes en utvärdering av konceptets funktioner samt en grundläggande kundvärdesanalys.

För att testa *stopp och larm* utvecklades ett skal till en applikation med olika sidor. För att undersöka hur notifikationer kan visas för användaren sattes dessa till att visas efter förutbestämda tidsintervall. Applikationen installerades och användes därefter i Vuzix-enheten. Som helhet ansågs testet lyckat, det visade att notifikationer är ett bra sätt att uppmärksamma användaren. Applikationens layout och design behöver förbättras för att öka användarvänligheten.

Testet för *processdata* lyckades endast att utföras i en mobiltelefon. Testet gick ut på att placera ut ett fönster i rummet och interagera med det. Fönstret bestod av större figurer med tillhörande mindre text och siffror. Interaktionen gick ut på att kolla bort från fönstret och tillbaka för att se om det var kvar på samma ställe, och även att gå närmare för att se delar av fönstret i detalj och längre ifrån för att se en överblick av fönstret. Testet visade att detta tillvägagångssätt fungerade bra. Genom att vara nära fönstret kunde text och siffror lätt utläsas och genom att vara längre ifrån kunde figurerna fortfarande tydligt tolkas. Testet lyckades inte att utföras i Vuzix-enheten då den inte registrerade rummet på samma sätt som mobiltelfonen. Det är alltså inte fastställt om tillvägagångssättet med att placera ut ett fönster för att läsa och interagera är bra med en HMD-enhet.

Konceptet och demonstrationerna presenterades för den platschef som nämns i avsnitt 4.6 och sammanfattning av detta möte kan ses i bilaga A. Detta blev som en fortsättning av den utvärdering av valt problem som presenterades i avsnitt 4.6 men med mer fokus på att utvärdera funktionerna som ska lösa problemet. Återigen bekräftade platschefen att konceptet är intressant och att fokus ligger på rätt områden. Det blev däremot tydligt att det konceptet fortfarande är i ett för tidigt stadie för att få återkoppling på mer specifika områden än helheten. Platschefen var intresserad av hårdvaran och dess potential och det är tydligt att Vuzix-enheten inte uppfyller de krav som hade ställts på en anläggning idag. Vidare resonemang kring hårdvara och dess framtid kan finnas i avsnitt 6.2.

Slutligen utfördes en övergripande kundvärdesanalys. Konceptet anses ha hög potential till *tillfredsställelse av behov* på grund av de utvärderingar som nämndes tidigare. Både problemet som konceptet är ämnat att lösa anses ytterst relevant och även det tillvägagångssätt som konceptet löser det på anses ha rätt fokus. Konceptets fokus är att minska *förbrukning av resurser* genom att öka effektiviteten på anläggningen. Vid implementering av ett nytt system finns alltid en risk för att öka *förbrukningen av resursen*. Denna risk anses som låg eftersom det finns mycket resurser att spara genom att göra en anläggning mer driftsäker och minska tider vid stopp.

6 Diskussion

I detta kapitel kommer resultatet att diskuteras och utvärderas samt hur arbetsprocessen kan ha påverkat arbetet.

6.1 Analys av utvecklingsområde

De intervjuer som utförts i marknadsundersökningen och tidigare forskning inom området har varit det huvudsakliga beslutsunderlag till val av utvecklingsområde. Synnerligen har intervjuerna en stark inverkan på tolkningen av AR-teknikens potential inom olika utvecklingsområden. Det är därför viktigt att förhålla sig till intervjusvar ur ett objektiva perspektiv. Framförallt med hänsyn till att informantens svar alltid bygger på individuella erfarenheter och känslor. En proaktiv åtgärd för att minimera partiskhet och för att informationen ska återspegla ett bredare perspektiv, är att samla information från flera arbetsroller. Det finns dock utrymme för ytterligare arbete i syfte att förebygga partiskhet som kan stärka validiteten i marknadsundersökningen. I detta fall arbetar de informanter från bergmaterialindustrin som deltagit i marknadsundersökningen på samma företag, vilket kan påverka validiteten i svarstolkningen. Det hade därför varit av intresse att utföra intervjuer med anställda på andra företag med motsvarande befattningar för att stärka validiteten i den information som erhållits. Ännu ett tillvägagångssätt att motverka detta är att utföra intervjuer med fler personer som har samma arbetsroll. Enskilda resultat kan på så sätt jämföras med varandra och bidra till en ökad objektivitet. Det valda problemområdet kan således vara ett obefintligt och mindre problem på andra täkter, vilket minskar konceptets potential.

En annan potentiell felkälla till att området kan vara felaktigt identifierat är problemgenereringen som omnämns i avsnitt [4.2](#). De områden som problemgenereringen behandlar baseras på tidigare forskning, vilket ställer höga krav på forskningens validitet. En stor del av den forskning som studerats om AR-teknik inom bergmaterialindustrin handlar om att utforska möjligheter snarare än att utvärdera och validera metoder som visat sig adekvata. Det är därför av betydelse att granska forskning om AR inom andra industrier för att maximera möjligheten att inspireras av nya upptäckter. Resultat som behandlar andra arbetsområden och arbetsförhållanden bör därför i vissa fall prövas i relation till bergmaterialindustrin.

Brainstorming används i både problemgenereringen och idégenereringen i syfte att skapa en bred bedömning med hjälp av gruppmedlemmarnas olika erfarenheter. Olika erfarenhet kan i det här fallet påverka resultatet både negativt och positivt. Det är ett bra sätt att samla idéer och kunskap från flera källor och hjälper resultatet att bli mer heltäckande. Samtidigt kan den skiftande kunskapnivån orsaka missuppfattningar vid utförandet. Med tanke på att sessionerna i det här fallet beaktar AR, en till synes komplex teknologi, är det lätt att lösningarna blir otillräckliga eller blir omöjliga att genomföra.

I relation till marknadsundersökningen går det att identifiera kopplingar mellan intervjuvar, problemgenereringen och idégenereringen. Det ökar chansen till att konceptet behandlar ett mer övergripande behov som innefattar flera problem och lösningar. Med tanke på att visionen är att ersätta redan befintliga funktioner, anses det inte vara aktuellt att utföra metodik som enskilt analyserar dessa problem och lösningar. Man ska dock inte förringa att sådana metoder kan bidra till alternativa lösningar och områden där AR kan ta plats inom industrin.

6.2 Koncept

I enlighet med syftet att frigöra operatörer från kontrollrummet, tar AR-konceptet endast strikt hänsyn till kontrollrummets redan befintliga funktioner. Det finns därför utrymme att vidare utvärdera funktionerna i sig, för att identifiera om det finns alternativa lösningar eller kompletterade funktioner som förbättrar uppgiften. AR-teknikens mjukvarustruktur kan skilja sig från motsvarigheten i datorer och således kan det finnas möjliga förändringar som förbises. Den huvudsakliga anledningen till varför de inte behandlas i produktkonceptet är på grund av att de befintliga system som finns på tåken inte är skräddarsydda för AR. Skulle systemen specifikt skapas eller förändras för AR identifieras inga övriga svårigheter som hindrar utveckling av flera AR-lösningar. Flertalet potentiella funktioner har identifierats och analyserats under arbetet. Det finns också en stor möjlighet att med samma enhet utnyttja AR-teknologin inom dessa arbetsområden. Antingen genom att implementera ytterligare funktioner i samma AR-applikation som presenteras i avsnitt 5.1 eller genom att skapa flera separata applikationer.

Hårdvaran har i sin tur en roll i utvecklingen av mjukvaran. Avsnitt 2.2 presenterar olika typer av enheter för att visa AR-inslagen. Egenskaperna hos dessa enheter kan vara avgörande i utvecklingen av mjukvaran och bör utvärderas beroende på enhetens ändamål. Det kan därför vara viktigt att etablera val av enhet tidigt i utvecklingen genom att förutspå vissa kriterier. Storleken på enhetens synfält kan exempelvis påverka användargränssnittets uppbyggnad. Ett mindre synfält begränsar mängden information som kan visas utan att påverka gränssnittets komplexitet, i överensstämmelse med forskning som presenteras i avsnitt 2.4.2. Enheter som ska bäras av en operatör inom bergmaterialindustrin bör rimligen vara bärbara, tåliga, fungera smidigt tillsammans med övrig operatörsutrustning och skapa en naturlig upplevelse. I dagsläget finns det ingen enhet som uppfyller dessa fyra kriterier. En monokulär enhet beskrivs som portabel och smidig, med risk för illamående om de används under längre perioder. En binokulär enhet skapar i sin tur en mer naturlig upplevelse och är bättre anpassade för att brukas under en längre period. De är ofta större än monokulära enheter och blir därför mer komplicerade att använda tillsammans med annan utrustning. Val av enhet i dagsläget innebär därför en avvägning om vilket kriterium av de fyra som nämnts som är mest kritisk för funktionaliteten.

I avsaknad av testresultat som påvisar hur konceptet fungerar i en tänkt arbetsmiljö, kan det föreligga utmaningar som påverkar applikationens funktion i sin helhet. Delar av konceptet som fungerar i teorin eller i testmiljöer kan behövas rekonstrueras eller tas bort. Det kan därför krävas att man utförligt testar produkten och observerar hur den fungerar ur flera avseenden. Exempelvis hur interaktionen mellan användare och hårdvara etableras och om det orsakar någon oönskad effekt på användaren eller arbetet (Peddie, 2017).

Eftersom bergmaterialindustrin ofta har en arbetsmiljö som ställer höga krav på utrustningens hållbarhet, kan det vara kritiskt att även utvärdera olika hårdvaror i den tänkta arbetsmiljön. Bergmaterialproduktionen producerar stora mängder damm och krossmaterial och kan orsaka skada på ömtålig utrustning. Ett sätt att säkerställa att hårdvaran klarar att användas i en dammig miljö kan vara att följa vedertagna kapslingsklassifikationer och specifikt IP-klassificering för partikelskydd och vattentäthet (International Electrotechnical Commission [IEC], 2013).

Olika tester har utförts för att kunna verifiera de funktioner som är tänkta att demonstreras. Däremot innefattar inte dessa tester användning i en bergmaterialsproduktion, vilket är den tänkta användningsmiljön. Detta innebär att osäkerheter gällande den tillhandahållna AR-enheten uppstår i form av frågor om den kan komma att gå sönder snabbt eller inte fungera av andra skäl. Demonstrationsversionen lyckades inte heller att upprätta kritiska kommunikationsvägar mellan server och lokal databas, vilket ökar osäkerheten ytterligare. På grund av detta är det svårt att avgöra hur lösningen hade fungerat i praktiken.

6.3 Etiska och samhällseliga aspekter

Den huvudsakliga etiska diskussionen som är relevant att föra är att denna typ av teknik kan resultera i en större eller mindre integritetskränkning hos användaren. Ett utökat användande av HMDs och HHDs i arbetet innebär att användaren i större mån är uppkopplad mot interna och externa nätverk för att kunna använda applikationerna till dess fulla potential. På grund av den ständiga uppkopplingen går det lätt att spåra användaren i realtid. Vid användning av specifikt AR krävs det även att enheterna som används är utrustade med kamera och ofta även mikrofoner. På så vis kan det finnas intresse från arbetsgivarens sida att införa denna typ av teknik för att kunna spåra och övervaka sina anställda utan tillåtelse. Denna typ av beteende har stor chans att resultera i en sämre arbetsmiljö och skada relationen mellan arbetsgivare och anställd.

Inte bara arbetsgivare kan vara intresserade av denna information. Säkerhet mot dataintrång måste utvärderas när det är en lösning som kan vara integritetskränkande. Om nätverket som lösningen är uppkopplad mot inte är säkert kan externa parter få tillgång till hemlig eller känslig information. Det räcker inte med att applikationen i sig är välfungerande utan även de system som den är uppkopplad till, exempelvis molnlösningar. Den enskilda arbetaren har också sitt ansvar för att produkten i sig används på ett säkert sätt. För att förebygga att produkten används på fel sätt är det viktigt att föra dialog med samtliga parter som kommer att komma i kontakt med systemet. Främst ska den tänkta slutanvändaren redan i utvecklingen av produkten inkluderas och således kunna få bra indikationer på vad de är bekväma med, för att undvika integritetskränkningar.

Ju mer denna typ av teknik implementeras, desto viktigare är det att den är tillförlitlig. I samband med att man använder teknik i större utbredning måste man alltså se till att tekniken är säker. Om man är beroende av teknik som inte är tillförlitlig kan det leda till störningar och potentiellt farliga situationer, exempelvis om ett larm eller säkerhetsvarning inte dyker upp på en skärm när det borde. Därför måste tekniken implementeras och användas med viss försiktighet.

Konceptet anses vara etiskt försvarbart eftersom det leder till att arbetsmiljön förbättras. Förbättringen sker i form av att användaren har med sig informationen och kan bevakna processerna ständigt ute i fält och inte behöver känna stress över att behöva lämna kontrollrummet om det skulle behövas. Även att jobbet inte behöver utföras stillasittande resulterar i en bättre arbetsmiljö. Ergonomin i monotona upprepade rörelser när man sitter framför en dator är dålig och konceptet minskar detta. Vid olyckor kan det även vara positivt att vara uppkopplad i högre grad för att snabbt kunna meddela att fara kan uppstå eller har uppstått.

Då ett system av denna typ ska tas i bruk kan det vara fördelaktigt att grundligt granska hur det ska användas. Främst på grund av det till exempel kan användas i ett integritetskränkande syfte som nämndes ovan. Det är relevant att ta reda på för vilket ändamål systemet är tänkt att användas till och bedöma lämpligheten utifrån det.

7 Slutsatser

I överensstämmelse med syftet har ett utvecklingsområde identifierats, ett koncept utvecklats och specifika delar demonstrerats.

Projektet har genomförts i nära kontakt med en anläggning som producerar ballast samt ett företag som erbjuder tjänster inom datahantering och datalagring. Både användningsområdet och det koncept som framtagits uppfattas relevant för industrin och intressenterna bekräftar att det är av intresse att implementera tekniken i praktiken. Utöver de funktioner som konceptet är tänkt att tillfredsställa ser de även ett stort intresse i att utforska och utveckla ytterligare funktioner inom andra användningsområden. I enlighet med resultat som presenteras i kapitel 4 och observation av de funktioner som kontrollrummet erbjuder, begränsar befintlig datahantering möjligheten att ersätta styrfunktioner med AR-teknologi. Det är därför inte en självklarhet att AR-teknologi är bäst lämpad att ersätta styrsystemet i kontrollrummet och möjligheten att ersätta funktionen bör utvärderas med hänsyn till lösningar med annan teknologi.

Det är även avgörande att identifiera vilken data som finns att tillgå i potentiella användningsområden. En kritisk del i systemstrukturen för AR-applikationer är en extern databas, beskrivet i avsnitt 2.2 och möjliggör interaktion med omgivningen. Om en AR-applikation ska hantera information med någon form av koppling till den verkliga världen krävs en databas som skapar tillgång till relevant information. Ska processflöden illustreras krävs data som kan lagras och hämtas från en databas. Det är därför av intresse att behandla redan befintliga mätfunktioner och databaser när man utforskar möjligheterna med AR inom ett användningsområde eller för en viss anläggning. En anläggning som redan har en välutvecklad och digitaliserad process med tillgång till relevant data behöver därför en lägre investering för implementera AR. I och med att anläggningar går till att blir mer digitala kommer en potentiell implementering av AR bli mindre komplicerad.

Problematiken som uppstår i samband med att tillgången av processinformation enbart är åtkomlig i ett kontrollrum kan teoretiskt åtgärdas med det framtagna konceptet. Möjligheten att operatörer ska bli oberoende av kontrollrummet kräver att samtliga av kontrollrummets funktioner är tillgängliga i den ersättande applikationen. Projektet fokuserar på att möjliggöra övervakning av produktionen med en AR-applikation och hur man kan förbättra processen runt vissa specifika problem. Den process som påbörjas när kontrollrummet är obemannat och produktionen stannar, som förklaras i avsnitt 4.3, kan förbättras genom att erbjuda lättillgänglig information vid tillfället. Processinformation om anläggningen finns i kontrollrummet och om produktionen har stannat måste operatören förflytta sig dit för att ta del av kritisk information. Att erbjuda samma information utan att behöva besöka kontrollrummet eliminerar transportmomentet i processen för stillestånd och kan på så sätt påverka tiden det tar innan en åtgärd är utförd. För att bekräfta hur en sådan lösning påverkar befintliga arbetsprocesser och om resultatet är en mer effektiv process skulle kräva ytterligare utvärdering och fysiska tester.

AR anses alltså ha många användningsområden inom bergmaterialindustrin. Ett bra användningsområde innebär att det finns data att tillgå och att det finns fördelar med att visa datan med hjälp av AR. Det problem som valdes har varit relevant eftersom det var baserat på tillgången av molnbaserad data på anläggningen. Konceptet har under projektets gång blivit uppfattat som relevant även av parter utanför projektgruppen. Utifrån de tester som gjorts anses konceptet vara på god väg att lösa problemet men ytterligare utveckling och därefter även utförligare tester krävs för att lösa problemet fullt ut.

Referenser

Asbjörnsson, G., Getz, M., Evertsson, M., Clausen, E., (2020). Opportunities for the Application of Augmented Reality in Mining and Minerals Processing. <https://research.chalmers.se/publication/519533>

Azuma, R. T. (1997). *A Survey of Augmented Reality*. Vol. 6, No. 4, ss. 355-385. Presence.

Balaram, V. (2019). Rare earth elements: A review of applications, occurrence, exploration, analysis, recycling, and environmental impact. *Geoscience Frontiers*, 10(4), 1285-1303. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2018.12.005>

Baratta, A., Finucci, F., Magarò, A. (2018). Regenerating Regeneration: augmented reality and new models of minor architectural heritage reuse. *VITRUVIO - International Journal of Architectural Technology and Sustainability*, 3(2), 1-14. <https://doi.org/10.4995/vitruvio-ijats.2018.10884>

Barnewold, L & Lottermoser, B. G. (2020). Identification of digital technologies and digitalisation trends in the mining industry. *International Journal of Mining Science and Technology*, 30(6), 747-757. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2020.07.003>

de Belen, R. A., Nguyen, H., Filonik, D., Del Favero, D., Bednarz, T. (2019). A systematic review of the current state of collaborative mixed reality technologies: 2013–2018. *AIMS Electronics and Electrical Engineering*, 3(2), 181-223. <https://doi.org/10.3934/ElectrEng.2019.2.181>

Britannica Academic. (u.å.). Virtual reality (VR). | *Encyclopædia Britannica*. Hämtad 11 maj, 2021, från <https://academic-eb-com.eu1.proxy.openathens.net/levels/collegiate/article/virtual-reality/1382>

Damiani, L., Demartini, M., Guizzi, G., Revetria, R., Tonelli, F. Augmented and virtual reality applications in industrial systems: A qualitative review towards the industry 4.0 era. *IFAC-PapersOnLine*, 51(11), 624-630. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.388>

Dukhan, R. Eide, K. Gremeaux, L. Mirzai, A. Oldaeus, O. Torell, S. (2020). Investigation of the potential of Augmented Reality technology for sustainable mines of the future. <https://hdl.handle.net/20.500.12380/301022>

Gong, L., Fast-Berglund, Å., Johansson, B. (2021). A Framework for Extended Reality System Development in Manufacturing. <http://dx.doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3056752>

Gouveia, F. P., Costa, J., Morgado, P., Kates, R., Pinto, D., Mavioso, C., Anacleto, J., Martinho, M., Simões Lopes, D., Ferreira, R. A., Vavourakis, V., Hadjicharalambous, M., Silva, A. M., Papanikolaou, M., Alves, C., Cardoso, F., João Cardoso, M. (2021). Breast cancer surgery with augmented reality. *The Breast*, 56, 14-17. <https://doi.org/10.1016/j.breast.2021.01.004>

Hofmann, E & Rüsç, M. (2017). Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. *Computers in Industry*, 89, 23-34.

<https://doi.org/10.1016/j.compind.2017.04.002>

International Business Machines Corporation, IBM. (2021 31 maj). *Three-Tier Architecture*. <https://www.ibm.com/cloud/learn/three-tier-architecture>

Löow, J., Abrahamsson, L., Johansson, J. (2019). Mining 4.0—the Impact of New Technology from a Work Place Perspective. *Mining, Metallurgy & Exploration*, 36, 701–707.

<https://doi.org/10.1007/s42461-019-00104-9>

Marimuthu, R., Sankaranarayanan, B., Ali, S. M., de Sousa Jabbour, A. B. L., Karuppi-ah, K. (2021). Assessment of key socio-economic and environmental challenges in the mining industry: Implications for resource policies in emerging economies. *Sustainable Production and Consumption*, 27, 814-830. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.02.005>

Masood, T & Egger, J. (2019). Augmented reality in support of Industry 4.0—Implementation challenges and success factors. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 58, 181-195. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2019.02.003>

Peddie, J. (2017). *Augmented Reality: Where We Will All Live*. Springer International Publishing.

<https://doi.org/10.1007/978-3-319-54502-8>

Ranängen, H & Lindman, Å. (2017). A path towards sustainability for the Nordic mining industry. *Journal of Cleaner Production*, 151, 43-52. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.047>

Segovia, D., Mendoza, M., Mendoza, E., González. (2015). Augmented Reality as a Tool for Production and Quality Monitoring. *Procedia Computer Science*, 75, 291-300. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.12.250>

Sveriges Bergmaterial Industri. (2021). *Arbetsmiljö och risker*.

<https://www.sverigesbergmaterialindustri.se/dokumentbank/arbetsmiljo>

Sveriges Geologiska Undersökning. (2020). Grus, sand och krossberg 2019. *Periodiska publikationer 2020:2*.

<https://resource.sgu.se/dokument/publikation/pp/pp202002rapport/pp2020-2-rapport.pdf>

Vuzix. (2021). Vuzix M4000 [Illustration av Vuzix M4000 med utvalda specifikationer].

<https://www.vuzix.com/products/m4000-smart-glasses>

Weihed, P. (2006). Människans behov av metaller. *Geologiskt Forum*, 51, 24-31.

Wu, L., Zhu, Z., Cao, H., Li, B. (2016). Influence of information overload on operator's user experience of human-machine interface in LED manufacturing systems. *Cognition, Technology & Work*. 18. <https://doi.org/10.1007/s10111-015-0352-0>

Bilagor

A Intervjuer

I denna bilaga finns sammanfattningar från de anpassade intervjuer som hållits under projektets gång.

Workshop med docent

I en intervju med en docent presenteras ett problem inom gruvindustrin där AR var lösningen. På grund av Covid-19 kunde docenten och docentens kollegor inte närvara i gruvor för att tillhandahålla olika typer av experthjälp. Genom att livestreama video från kameran i en HMD och kommunikation via den inbyggda mikrofonen och ett par externa högtalare kunde experterna ge bra hjälp i realtid utan att befinna sig på plats. Något som var viktigt för den här lösningen var att den som är operatör och har på sig glasögonen inte ska behöva använda sina händer för att trycka på knappar och navigera i mjukvara såväl som hårdvara, utan detta ska personen som sitter på distans kunna sköta helt själv. Den här typen av lösning är inte beroende av specifikt AR utan här kan AR underlätta kommunikationen mellan parterna genom olika visualiseringar.

Intervju med systemutvecklare

Systemutvecklaren arbetar på ett företag som erbjuder insamling, hantering, lagring och visualisering av data på en ballast-anläggning. Vissa delar av datahanteringen har även skapats i en molnbaserad lösning, där data presenteras både i realtid och över tid för övervakning och analyser. Syftet är att fler delar av datan ska kunna presenteras utanför det lokala kontrollrummet och information om exempelvis magnetlarm ska införas i molntjänsten.

Den datan som hanteras och presenteras är främst ton per tidsenhet på band, effekt på maskiner, vilka delar som i produktionen som är igång eller avstängda. Han uppskattar att platschefer har mer nytta av historisk analytisk data som exempelvis ton per tidsenhet på band över ett tidsspänn, för att skapa effektivitetsanalyser, investeringskalkyler och göra dagsrapporter. Medan operatörer har nytta av realtidsdata för att kunna manövrera anläggningen genom att justera matare och liknande.

Han nämner utvecklingspotentialen med datahanteringen i form av skapa algoritmer för utnyttjandegrad och trender av flöden, eller data om stillestånd, som i dagsläget saknas.

Intervju med platschef

Vid besök på ett stenbrott ställdes frågor till platschefen på anläggningen om deras arbetsprocesser och hur väl AR-teknik som använts i andra områden är applicerbara inom bergmaterialindustrin. Inställningen till digitalisering och i det här fallet AR-teknik är mycket positiv och flera områden anses ha utvecklingspotential. Digitala hjälpmedel uttrycks ofta vara bra investeringar och med tanke på att produktionen hanterar och genererar stora summor anses priset på AR-glasögon vara en liten investering i jämförelse. Däremot framförs kritik mot hållbarheten och användarvänligheten av just glasögon. Istället uppstår en diskussion kring varianter av HMD som gör det möjligt att fälla glasets och som är integrerade i en hjälm.

I svaren återkommer informanten till några specifika problemområden eller intressanta utvecklingsområden. Att personalen ska kunna kommunicera med varandra genom både ljud och videoflöde. Men även med externa parter i form av leverantörer och experter i syfte att rådgiva personalen med specifika åtgärder eller problem. Ett annat område är reparation och servicenivå, inom vilket hjälp med reparation med sammankoppling till reservdelslager eller visualisering av servicestatus och en maskins innehållsförteckning är förslag på utvecklingsområden. Ytterligare ett område är undervisning och hur man med hjälp av AR kan snabba på inlärningsprocessen på anläggningen. Genom att visualisera delar av anläggningen eller annan information på löpande fot, samtidigt som en interaktiv utbildning sker i verkligheten. Slutligen handlar det sista området om stopp, larm och effektivisering av flödet. Nästan uteslutet sker all övervakning och manövrering av anläggningen via ett kontrollrum. Det innebär att en av tre operatörer måste finnas på plats i kontrollrummet för att ta emot information om produktionsvariabler (ton per tidsenhet på band eller effekter på krossar och siktar), stopp eller larm. Potentialen med att ta del av samma information med hjälp av AR-teknik framträder och upplevs som ett potentiellt utvecklingsområde.

Intervju med ledning

Informanten på en ledningsposition är en person inom bergmaterialindustrin som arbetar med att skapa och förbättra produktionsprocesser och med kunskapsspridning. Informanten uttrycker att AR-implementation hade kunnat vara aktuellt inom ett flertal av möjliga problem- och utvecklingsområden. Dessa inkluderar bland annat övervakning av anläggningen, för att exempelvis snabbare kunna lösa driftstopp, samt digitala lösningar som ger maskinförare information och överblick om produktionen. Informanten påpekar även att projicering av en 3D-modell av tåkten i sitt synfält hade varit av nytta i syfte att effektivisera förhandling eller planering, i och med att det skapar möjligheter till tydligare visualisering och påtaglighet. Av samtliga områden uppskattar informanten att processövervakning är det område med störst potential av implementering av AR-teknik.

Vidare beaktas risker och nackdelar med AR-tekniken och digital visualisering i glasögon. Skulle information presenteras vid oönskade tillfällen finns risk för att uppmärksamheten försämrats av användaren. Detta är framförallt viktigt när operatörer kör tunga maskiner; förarna måste vara konstant uppmärksamma för att undvika person- och materialskador. Andra nackdelar med smarta glasögonen inkluderar risken för otydlighet vid för mycket information samt långa och många, eventuellt osäkra kommunikationsvägar. Om en säkerhetsfunktion implementeras i glasögonen, vad är då risken om denna funktion inte fungerar en dag?

Nya processer och produkter beskrivs som svåra att implementera i denna industri. Informanten menar på att det ofta krävs en tydlig positiv effekt på det dagliga arbetet, säkerheten eller tydlig effektivisering av processer i kombination med en flack inlärningskurva för att operatörer ska godkänna nya arbetssätt. För just implementationen av AR-lösningar är det också viktigt att beakta om och hur de skapar mervärde jämfört med andra lösningar, annars är det ingen fördel att använda sig av just AR. Just dessa två aspekter, mottaglighet och mervärde, anser informanten vara två särskilt viktiga aspekter vid beslut kring investering.

Utvärdering av problem med platschef och operatör

De arbetsuppgifter som utförs i kontrollrummet är att starta och stoppa och övervaka anläggningen, ta emot information om larm och justera effekten på krossar, band och siktar för att bufferzoner ska fyllas på men inte bli överfulla. Att starta och stoppa anläggningen innefattar hela anläggningen vid öppning och stängning eller enstaka stycken band, siktar och krossar. För att flödesstyra buffertzonerna justeras matare via kontrollrummet för att uppnå vissa mål på band och siktar i flödet.

Det finns varningssystem för larm på anläggningen i form av en lampa som lyser, och för uppstart av anläggningen i form av en siren som låter. Kameraövervakning finns som säkerhet, både för opålitliga givare i buffertzoner och för att säkerställa att band inte går tomma. Oavsett varningssystem och extra övervakning kräver stopp eller larm att man måste besöka bandet, krossen, sikten fysiskt för att se vad problemet är och utföra en lämplig åtgärd.

Uppfattningen hos informanterna är att det inte krävs någon större mängd information av varken flöden, stopp eller larm i deras dagliga arbetsprocesser. Med tanke på att problem som uppstår måste identifieras på plats vid felet är det tillräckligt att ha tillgång till information om aktuella flöden över anläggningen för att göra egna bedömningar. I vissa fall kan det underlätta att veta vad som utlöst ett larm och om delar av anläggningen står tomma när de inte ska vara tomma.

Operatörernas säkerhetsutrustning är omfattande och de har nästan alltid grova handskar, ögonskydd, hjälm, hörselskydd och mask. Trots att mask inte krävs över hela anläggningen används den nästan alltid på grund av den dammiga miljön och ett par AR-glasögoners hållbarhet ifrågasätts med tanke på den tuffa miljön. De manövrerar inga tunga maskiner och om lösningen bidrar med information när man inte vill ha det ses det därför inte som någon löper risk för fara. Däremot påpekas vikten av att kunna välja själv när man vill att lösningen ska ge information eller inte.

Konceptpresentation för platschef

Under konceptpresentationen demonstrerades prototyper på de tre funktioner som är framtagna för att lösa den identifierade uppgiften. Informanterna bekräftar återigen att syftet med att erbjuda kontrollrummets funktioner i en mobil lösning är en ytterst intressant för industrin. Fortsättningsvis framförs ett starkt intresse att fortsätta utveckla lösningen efter att detta projekt är slut.

Informanterna är förstående att kompatibiliteten för alla kontrollrummets funktioner inte är mest lämpade att ersätta med AR-teknik. Istället ges förslag på vad som kan vara intressant att ytterligare införa i en AR-lösning. Förslagsvis att en implementation av en maskinlogg där man bland annat kan se reparations- och underhållshistorik.

Vidare är platschefen kritisk till det befintliga marknadsutbudet av HMD-enheter. Framförallt bör enheterna vara tillräckligt hållbara för den arbetsmiljö som bergmaterialindustrin skapar. De ska även gå att använda tillsammans med den befintliga utrustningen. Operatörerna i produktionen uppfattas till större del vara benägna att acceptera teknologin och användning av HMD-enheter. Däremot förklaras vikten av att implementera ny teknik stegvis med försiktighet, för att på så sätt skapa en vana att arbeta med tekniken. Informanterna förklarar att teknisk utveckling är oundvikligt om företaget önskar fortsätta vara konkurrenskraftigt i framtiden och förutsättningarna för ny teknik blir bara bättre med tiden.

B Problemgenerering

Här presenteras den problemgenerering som utfördes under projektet.

Logistik	Ineffektiv transport på banden
	Väntetid mellan krossteg
	Köbildning mellan maskiner
	Tomma transportband
	Väntetider tills lastbilar kommer
	Inte hitta rätt grushög
	Svårt att veta var det är mycket att göra i kedjan ev. bottleneck
	Veta var alla maskiner är och vad de gör
	Svårt att bedöma när något är fullt
	Materialflöden inte optimala
	"Dagsplanering"
	Visa lagerkapacitet
	Nuvarande checklistor
	Visa flöden
	Kommunikation mellan avdelningar/platser
	Effektivisera anläggningen
	Se att maskinerna funkar som de ska
Säkerhet	Sänkt hörsel när man jobbar i bullrig miljö och därmed "tappar" ett sinne
	Begränsad syn i stora maskiner
	Potentiella rasrisker
	Kolliderande maskiner
	Sprängningar
	Störningar i flödet
	Samlingspunkter
	Inte höra startsignaler när man är i närhet
	Kan vara farligt att gå i trafik
	Nödstopp
	Identifiera fotgångare/maskiner vid användning
	Säkerhetsprocedurer
	Farliga områden, där man bör vara extra vaksam
	Nödsituationer, utrymning osv
	Se att maskiner fungerar som de ska
	Procedurer när man arbetar i maskinerna, stopp etc.
	Se att saker stannat när man stängt av
Kompetent arbetskraft	Långa reselider för externa experter
	Svårt att nå ut till alla anställda samtidigt vid akuta medelanden
	Stor rullians på personal innebär att man måste utbilda många
	Kan vara svårt att hitta relevant (skräddarsydd) undervisning
	Felkällor i undervisningen
	Man klarar inte av att ta beslut om tåkten
	Man klarar inte av att laga en maskin
	Man behöver grundläggande undervisning för att kunna arbeta på tåkten
	Experthjälp på distans
	Genomgång av maskiner av leverantör
	Svårt att få in rätt personal vid rätt tidpunkt
	Saknas kunskaper om vissa områden
	Dyrt att anlita extrem hjälp, kringkostnader bl.a.
	Dyrt att lära upp nya, framförallt om de är många som ska undervisas
Underhåll	Svårt att veta vart problem uppstått/varför anläggningen stoppat
	Saknar kompetens att reparera en maskin
	Vet ej vart delar sitter
	Svårt att felsöka om komplexa maskiner
	Svårt att förutsäga när delar går sönder
	Dåligt underhåll kan orsaka längre och fler stopp
	Veta när maskiner fått service och förslag till nästa service
	Laga maskiner
	Identifiera avvikelser och hindra att något gör sönder
	Företag som sålt maskinen kan hjälpa till på distans istället för att ha anställda som jobbar med att bara åka runt till olika tåkter
	Identifiera om något måste underhållas
	Veta på plats vilka delar som ska underhållas
	Veta när något ska underhållas
	Veta hur något ska underhållas
	När man utför underhållsarbete, veta om man gjort rätt, t.ex. om man skruvat skruvar med rätt moment, ställt in rätt värden på saker osv.
	Testa utrustning efter att den blivit underhållen
	Ledtid på delar
Undervisning	Saknar kompetens att utföra arbete
	Befintlig personal behöver gå ifrån sina huvudsakliga uppgifter för uppläring
	Svårt att få tag i rätt person
	Svårt få ihop en tid
	Långa transport/förflyttningstider
	Digital hjälp hur maskiner fungerar
	Visar hur anläggningen fungerar riktat mot extraarbetare
	Genomgång av dagsordning
	Information om varje maskin/arbetsstation
	Använda rätt material när man gör saker, manualer etc.
	Följa olika guider, t.ex. samband mellan en variabel och en annan
	Fortsättning på förra, men kanske interna material som man ska lära sig innan olika moment
	Hjälpa varandra inom företaget
	Facit, har man lärt sig och gjort rätt

C Idégenerering

Här presenteras den Idégenerering som utfördes under projektet.

	Förslag på lösning/funktion	Lösningkombinationer och tilläggfunktioner
Stopp och Larm	Ljud- + visuell signal	Få varning, se videofeed och sen kunna markera vilken allvarlighetsgrad med interaktion, exempelvis en handgest
	Få upp videofeed	Få varning, gps-position visar var felet ligger och eventuell allvarlighetsgrad
	Vägledning till platsen	Få varning, inklusive ljud och bild, och sen en eventuell utrymningsväg
	Möjlighet att meddela att man tar på sig larmet/uppgiften	
	Symboler för att meddela typen av larm, text vid behov	
	Speciell symbol (typ röd) vid fara	
Experthjälp på distans	Skicka information till användaren	Funktion som tillåter video feed till expert som kan snacka och rita i AR - onlinelösning
	Ge direktiv till användaren med exempelvis pilar	Kunna ta kort på problemet och få en skräddarsydd lösning/inskruktion/checklista - offlinelösning
	Ta bild, skicka iväg och få tillbaka en diagnos, instruktion	
	Lysa upp objekt för operatören. Inscannad från CAD-ritning till exempel	
Reparation och Underhåll	Identifiera komponenter	Uppdatera lagersaldo på reservdelar genom att identifiera komponenter
	Visa lagersaldo på reservdelar	Avisera behörig vid låga lagersaldon
	Visa sensorvärden i syfte att avgöra underhållsbehov	
	Någon slags reparationsguide för vanliga problem kanske med symboler för att göra tydligare	
	Meddela andra att underhåll eller reparation ska genomföras	
	Scanna QR på maskin för att få serviceinformation	
	Visualisera vart komponenter är monterade	
	Förinställda instruktioner för underhållsarbeten och reparationsutföranden	
Undervisning	Visualisera anläggningen	"Tutorial-mode", identifiera en maskin som startar en illustration om hur den fungerar
	Skylta områden och maskiner av intresse	Simulering/video där man kan följa flödet från och till en maskin, kunna visa hur ett stopp påverkar andra flöden i
	Digital visualisering av flöden	Identifiera maskin, ge information om maskindata, illustration om hur den fungerar
	Kunna sätta på/stänga av "tutorial-mode"	
	Digital karta över anläggning som visar hur produktionsflödet ser ut	
	Digitala manualer och instruktioner	
	Interaktiv kurs i arbetsprocesser	
	Identifiera matrielet i ett arbetssteg, vart det kommer ifrån och vart det är på väg	
	Illustrera hur flödet påverkas av stopp och förhinder	
Utveckling av arbetsprocesser	Visuell feed på att man blivit tilldelad en arbetsuppgift	Bekräfta utförd arbetsuppgift med bildigenkänning
	Digital checklista	Digital checklista, visa närliggande arbetsuppgifter
	Visa närliggande arbetsuppgifter	Digital checklista, visa närliggande arbetsuppgifter, visa tilldelade arbetsuppgifter
	Maskinspecifika ärenden vid identifiering av maskin	
Identifiera komponenter	Identifiera komponent	
	Identifiera avvikelser med monterade komponenter	
Flödesinformation	Visualisera processflöde	Visualisera processflöde, indikera dålig prestanda/effekt
	Indikera dålig prestanda/effekt	Visualisera processflöde, indikera dålig prestanda/effekt, indikera stopp och larm
	Styra flöden i produktionen	Visualisera processflöde, styra flöden i produktionen
	Starta/stoppa produktionen	

D Kod till huvudmenyn i applikationen

Koden till den huvudmeny som användes i demonstrationen för funktionen *stopp och larm*.

```
using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;
using UnityEngine.SceneManagement;
using UnityEngine.UI;

public class MainMenu : MonoBehaviour
{

    public void PlayGame() // För att byta scen till stopp & larm
    {
        SceneManager.LoadScene(SceneManager.GetActiveScene().buildIndex + 1);
    }

    public void Tillbaka() // för att byta tillbaka till huvudmenyn
    {
        SceneManager.LoadScene(SceneManager.GetActiveScene().buildIndex - 1);
    }

    public void QuitGame() // stänger av applikationen
    {
        Debug.Log("Quit App");
        Application.Quit();
    }

}
```

E Kod till stopp och larm

Koden till menyn för funktionen *stopp och larm* som användes funktionens demonstration.

```
using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;
using UnityEngine.UI;
using UnityEngine.SceneManagement;
public class bytafarg : MonoBehaviour
{
    // här skapar man objekt som interagerar med i unity
    public Image image;
    public GameObject picture;
    public GameObject TextObj;
    public GameObject TextObj2;
    public Image image2;
    public GameObject picture2;
    // Start is called before the first frame update
    void Start()
    {
        StartCoroutine(ColorChange()); // startar en delprocess
    }

    public IEnumerator ColorChange() // här väljer man vilken färg som rutorna ska
    ändras till och efter vilken tid 10f är samma sak som 10 sekunder

    {
        yield return new WaitForSeconds(0f);
        image2.color = Color.red;
        image.color = Color.red;
        yield return new WaitForSeconds(10f);
        image.color = Color.green;

        yield return new WaitForSeconds(10f);
        image2.color = Color.green;
    }

    float TmStart;
    float TmLen = 10f;

    // Use this for initialization
    void Stop()
    {
        TmStart = Time.time;
    }

    // Update is called once per frame
    void Update() // här bestämmer man när objekt skall dyka upp och när de
    ska försvinna, genom att sätta false eller true
    {
        if (Time.time > 15f)
        {
            TextObj.SetActive(true);
        }
    }
}
```

```

        picture.SetActive(true);

    if(Time.time> 2.5*TmLen)
    {
        TextObj2.SetActive(true);
        picture2.SetActive(true);
    }

    }

    if (Time.time>2.75*TmLen)
    {
        TextObj.SetActive(false);
        picture.SetActive(false);

    }
    if (Time.time>3.5*TmLen)
    {
        TextObj2.SetActive(false);
        picture2.SetActive(false);
    }
    }
}

```

F Kod till att hämta data med hjälp av API

Denna kod blev aldrig färdigställd men dess syfte är att hämta data från ett moln med hjälp av API.

```
using System.Collections;
using System;
using System.Diagnostics;
using RestSharp;
using RestSharp.Authenticators;
using SimpleJSON;
using UnityEngine;
using UnityEngine.UI;
using UnityEngine.Events;
using UnityEngine.Networking;
using TMPro;
using Debug = System.Diagnostics.Debug;

public class API : MonoBehaviour
{
    private string content;
    public string API_key;
    public TextMeshProUGUI maskinName, maskinUnit;
    public TextMeshProUGUI[] maskinEffektArray;

    public void Start()
    {
        var client = new RestClient(url here);
        client.Timeout = -1;

        var request = new RestRequest(Method.GET);
        request.AddHeader("Authorization", token here);
        IRestResponse response = client.Execute(request);
        Console.WriteLine(response.Content);

        var content = new {response.Content};

        GetTimeData();
    }

    public void GetTimeData(UnityAction <List< TimeData>> callback)
    {
        StartCoroutine(GetTimeDataRoutine(callback));
    }
    IEnumerator GetTimeDataRoutine(UnityAction<List<TimeData>> callback)
    {
        UnityWebRequest request = UnityWebRequest.Get(content);
        yield return request.SendWebRequest();

        if (request.isNetworkError)
        {
            Debug.Log("Network Error");
        }
        else
    }
```

```

{
    callback(ParseData(request.downloadHandler.text));
}
JSONNode maskinInfo = JSON.Parse(request.downloadHandler.text);

string maskinName = maskinInfo["machine_name"];
string maskinUnit = maskinInfo["datatype_unit"];


UnityWebRequest maskinRequest = UnityWebRequestTexture.GetTexture(content);

yield return maskinRequest.SendWebRequest();

if (maskinRequest.isNetworkError){
    System.Diagnostics.Debug.LogError(maskinRequest.error);
    yield break
}
}

void ParseData(string data)
{
    //Debug.Log(data);
}

}

```

INSTITUTIONEN FÖR INDUSTRI- OCH
MATERIALVETENSKAP
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2021
www.chalmers.se



CHALMERS