

Beteckning: \_\_\_\_\_



**Akademien för teknik och miljö**

Användningen av datorgrafik i visualisering  
av historiska miljöer och föremål  
– en nulägesanalys

*Linda Sjödin*  
*Juni 2012*

Examensarbete för kandidatexamen/15 hp/C-nivå  
Datavetenskap

**Creative Computer Graphic/Examensarbete i datavetenskap**  
**Examinator Stefan Seipel/Handledare Torsten Jonsson**

# **Användningen av datorgrafik i visualisering av historiska miljöer och föremål – en nulägesanalys**

av

Linda Sjödin

Akademien för teknik och miljö  
Högskolan i Gävle

S-801 76 Gävle, Sweden

Email:

*elles83@msn.com*

## **Abstrakt**

Syftet med denna litteraturstudie är att identifiera exempel då datorgrafik har visualiserat historien och diskutera vilken effekt datorgrafik har på museum. Inledningen presenterar varierande hot från människa och natur mot arkeologiska lämningar och motivationen att bevara samt fördelar med att ha en 3D modell. Nästa kapitel ser tillbaka på uppkomsten av datorgrafik och bakgrunden till museer och vad besökare tycker samt är ute efter vid besök av dessa. Därefter redogörs metoderna med vilka denna studie bedrivits för att sedan skildra teknikerna genom hela arbetsprocessen för att öka förståelsen för icke sakkunniga. Den längre delen spaltar upp exempel på fullbordade projekt; vad som är unikt i varje fall och vilka lärdomar som framkommit. Kapitel därpå tar reda på vad datorgrafik har tillfört museum och dess besökare och vilka fördelar virtuella museer har. Summering följer innan diskussioner om vilka frågor arkeologi väcker inom datorgrafik samt om det finns etik och faror i den digitala tekniken. Studien avslutas med blickar mot framtida utmaningar.

Nyckelord: datorgrafik, historia, kulturarv, museum, virtuella museum

# Innehåll

1.	Inledning .....	1
1.1.	Syfte.....	2
1.2.	Frågeställningar .....	2
1.3.	Avgränsningar.....	2
2.	Bakgrund.....	3
2.1.	Datorgrafikens utveckling .....	3
2.2.	Bakgrund om museum.....	3
2.3.	Bakgrund för datorgrafik och arkeologi .....	4
3.	Metod .....	5
4.	Tekniker från datainsamling till presentation .....	5
4.1.	Laser skanner.....	6
4.2.	Fotogrammetri .....	6
4.3.	Polynom textur kartläggning (PTM) .....	7
4.4.	Modellering .....	7
4.5.	Texturering .....	7
4.6.	Vattenstämpel .....	8
4.7.	Presentation av objekt.....	8
5.	Exempel .....	9
6.	Presentation.....	16
6.1.	Fysiska museer .....	16
6.2.	Virtuella museer.....	17
7.	Diskussion.....	18
7.1.	Hur bra kan datorgrafik ersätta fysiska föremål?.....	18
7.2.	Fotorealism eller inte? .....	19
7.3.	Hur säkra kan vi vara på att vi vet vad som hänt i historien? .....	19
7.4.	Hur riktiga kan tidsmaskinerna bli?.....	19
7.5.	Faror med tekniken? .....	20
7.6.	Moral/Etik i datavärlden? .....	20
8.	Slutsats .....	21
9.	Framtida utmaningar .....	21
10.	Tack.....	22
11.	Litteraturförteckning .....	22

# 1. Inledning

Under julen 2011 visade public service kanalen SVT1 dokumentärfilmen ”Vasa 1628”, ett drama i två delar om regalskeppets konstruktion och exteriör under sin ytterst korta storhetstid innan det sjönk på sin jungfrufärd i Stockholms skärgård. Utan datorers hjälp hade man på sin höjd kunnat inbringa tillräckligt med medel för att bygga miniatyrer eller återskapa ett fåtal boningshus, men som det var nu kunde man åskådliggöra på några stenkasts håll såväl som fågelhöjd, hur Sveriges huvudstad såg ut och hur människorna bodde för nästan fyrahundra år sedan. Datorgenererade bilder är en åtkomlig tidsmaskin som kan vrida tiden än längre tillbaka. Naturhistoriska Riksmuseet har en utställning med titeln ”4 ½ miljarder år” där rekonstruerade skelett tillsammans med riklig information och skisser får de utdöda dinosaurierna att framträda. Det är dock först efter en vistelse på Cosmonova och filmerna där som man kan uppleva dinosaurierna i sin rätta miljö; rörliga med arbetande muskler som sträcks för att nå upp till de högsta grenarnas blad eller springande i flock på flykt undan större rovdjur. När modern teknik gör det möjligt att visuellt färdas bakåt i historien kan vi alla bli till upptäcktsresande i tidsrymden och utforska sedan länge utdöda djur eller förstörda civilisationer.

För ett informerat samhälle är det ovärderligt att bevara de fysiska lämningarna och biologiska arvet av mänsklig kultur såsom byggnader, tavlor, sång och litteratur så de inte försvinner ur minnet [1] för genom historien kan vi förstå samtiden och förutse framtiden [2]. UNESCO:s Världsarvslista innehåller mer än 850 utvalda platser viktiga att bevara till kommande generationer. Vissa av dem riskerar att utplånas trots sin status och uppmärksamhet bland vetenskapsmän [3]. Det ska inte antas att byggnader är tillfredsställande dokumenterade bara för att de är välkända [4]. Talrika databaser är inte sammanlänkade eller gör inte tillräckligt väsen av sig för att få någon större uppmärksamhet bland allmänheten vilket ibland resulterar i projekt som täcker nästan samma jobb på en utgrävningsplats trots knaper finansiering inom fältet. Risken med detta överlappande är finansieringsinstitut som inte kan bestämma om de ska avsätta pengar till ett tekniskt avancerat 3D projekt eller om de ska finansiera ett halvt dussin traditionellt utförda undersökningar [5]. Detta kan leda till att angelägna professionella på eget bevåg och med egna medel påbörjar projekt som inte anses ha tillräckligt stor genomslagkraft [2]. Viljan att bevara kan finnas men administrationens kvarnar mal sakta och under tiden ökar förfallet [6]. Om en rekonstruktion kommer på tal protesterar arkeologer eftersom de anser att bevaring ska ske i nuvarande tillstånd [7]. Ska man riskera upprörda känslor och flytta skatter inomhus när de sakta förstörs av regn eller ska det byggas skyddande tak över dem på plats?

Varför är vissa material mer utsatta och vad bygger upp motståndet? Grundlig forskning behövs för att avgöra vilka skiftande hot som finns och i vilket stadium ett material är för skadat för att användas i analyser och därmed hjälpa till i beslutsfattandet om i vilken ordning platser ska utgrävas. Ingen plats är isolerad utan måste ses inom sitt geologiska och topologiska sammanhang, eftersom händelser kilometer bort kan påverka grundvattnet som förs vidare. Trä kan ruttna i vatten men regalskeppet Vasa låg väl bevarad i 333 år eftersom det hela tiden strömmade till färskt vatten.

Luftföroreningars dramatiska ökning har fått forskare att undersöka hur struktur, kornstorlek, material och stenens egenskaper påverkas i Pentelisk marmor, kalksten från Portland och Baumberger sandsten, som i historien nyttjats flitigt vid större byggen. Industrier, kraftverk, värmeverk och fordon står för de stora utsläppen av svavel- och kvävedioxiderna samt kolväte vars halter regelbundet uppmäts för att kontrollera luftkvaliteten i museer. Stenen visade sig i testet förfalla snabbare i närheten av städer och industriens föroreningar som orsakar surt regn [8]. Stadsbebyggelse, klimatförändringar och dränering kan förvärra genom ändrad vattenhalt i jorden, pH och syresättning. Plogning, konstgödsel och insektsbekämpning genom jordbruk förändrar vattnets kemi [9]. Naturens förstörande krafter såsom eld, jordbävning, översvämning, erosion etc. [10] går sällan att förutse så hur agerar vi i kris?

Är bevarandet av kulturskatter en lyx långt ner på behovsstegen i efterskalven av krig och naturkatastrofer, eller en viktig handling för att stävja just de känslor av rotlöshet som tenderar att vara en konsekvens [11] [12] av de yttre oroligheterna? ICOM, en internationell organisation vars syfte är att utveckla och förbättra världens museer [13], har listat förstörda museer. I väpnade konflikter har ibland historiska monument avsiktligt förstörts vilket 1954 fördes in i Haagkonventionen varom UNESCO övervakar och arbetar aktivt för att upplysa militär personal. Endast existensen av denna rekommendation är dock inte nog för att skydda vilket framkommit i Sarajevo och kroatiska

Dubrovnik [14]. Det frågas hur museiansvariga ska agera inför överhängande hot eller efter skadan är skedd, och rådet ges att förvara en digital kopia (över inventarierna) utanför museets eller helst landets gränser.

Datorgenererad grafik har fördelar gentemot den fysiska eller penningtrytande världens begränsningar. 3D modeller skapade med information från historiker bildar kraftfulla verktyg inom flera aspekter [15]:

- Dokumentation av föremålets nuvarande tillstånd; teknik, byggestil, material och geometri, för att skapa ett korrekt register som bevaring inför framtiden [16] [17].
- Dokumentation inför restaureringar så ändringar kan spåras kronologiskt [18] [10] [4].
- Olika typer av information, i stora mängder, kan kopplas till objektet
- Få nya insikter genom mätning, visualisering, analys, manipulation och experiment som inte påverkar originalet [10]. Strukturella problem som höjer trycket och kan orsaka sprickor kan förutses [19]. En stor modell kan skalas ner för lättare överblick liksom små detaljer som texturer kan förstöras [20] [21]. Varierande ljus och färger eller olika nivåer av detaljer kan framkallas [22]. Föremål kan gestaltas i sin ursprungsmiljö för en helhetsbild [23] [24].
- Lättare att tolka än 2D byggritningar [18] [25] och kan ses från alla vinklar
- Utbilda allmänheten och på så sätt motverka fördomar om andra kulturer, speciellt de yngre kan lätt kan ta till sig [26] [10]
- Möjliggör global turism genom virtuella utställningar [10] [27] [28] [29]. Svåråtkomliga platser blir tillgängliga för allmänheten [3].
- Förstärker upplevelsen vid en historisk plats genom displayer som visar rekonstruktioner ovanpå de fysiska miljöerna.
- Virtuell återuppbyggnad när fysisk sådan av olika anledningar inte är genomförbar eller önskvärd eftersom de kemiska och fysiska förändringarna kan skada och är permanenta [30] [31][10] [32] [33].

Vad är det som lockar med historia? Dåtiden kan ses som ett främmande land som väntar på att utforskas [34]. Film och TV är bra transportsätt som överlåter lite åt fantasin men desto mer autenticitet finns att hämta hos museum. Det finns en längtan i möjligheten om ett förflutet som inte bara kan ge platt information om något förlorat, utan också som en levande plats att återvända till.

## 1.1. Syfte

Syftet med denna uppsats är att undersöka vilka trender och frågeställningar som arkeologi väcker inom datorgrafik och motsatt, samt ge en översikt på existerande visualiseringar. Studien kan öka förståelsen för datorgrafikens värde inom bevarandet av historiska kulturarv.

## 1.2. Frågeställningar

Vilka trender finns inom datorgrafik; vilka tekniker används, vilka visualiseringar har genomförts och vilka frågor väcker datorgrafik inom arkeologin?

Vad kan och har datorgrafik tillfört historiska visualiseringar?

Hur drar museer nytta av de nya teknikerna?

Vad kan förbättras till framtida visualiseringsprojekt?

## 1.3. Avgränsningar

Visualiseringar inom nöjesbranschen såsom spel- och filmindustrin har uteslutits då de inte alltid är historiskt korrekta eftersom deras huvudsyfte är underhållning. I avhandlingen har störst fokus lagts på 3D visualiseringar istället för 2D såsom målningar och fresker eftersom visualisering i 3D ger fler perspektiv och ofta är en större teknisk bedrift. Det kan nämnas att skanning i 3D numera även används för att underlätta i utarbetandet av korrekta ritningar som annars kan ta månader att slutföra [35], men det avhandlas inte i denna rapport. Forskning, tekniker och visualiseringar av

fortida natur, terräng och klimat har fått ge vika för allehanda konstruktioner skapade av människan. Företags namn på produkter eller dess specifikationer nämns inte då nya produkter ständigt dyker upp med förändrad prestanda. Tekniskt komplicerade lösningar har undvikits till förmån för redovisning utav nulägesexempel. I letandet efter lämpliga artiklar att lägga grund till forskningen skrevs söktermer på engelska varvid ingen rapport skriven på svenska förekommit i råmaterialet.

## 2. Bakgrund

### 2.1. Datorgrafikens utveckling

Från att ha varit ett svar på en fråga ingen ställt, är nu datorgrafik svaret på varje fråga [36]. Innan nyttjandet av datorgrafik inom nöjesbranschen utvecklades tekniken för att visualisera objekt som annars var för kostsamma, som flygsimulation för militären, eller inom områden som annars var omöjliga, som inom läkarvetenskapen för att med skiktröntgen se in i människokroppen utan att kirurgiskt behöva öppna den.

En av de tidiga att experimentera med datorgrafik var John Whitney [37] som under andra världskriget studerade målsökande vapens förmåga att beräkna banor och lånade dessa algoritmer för att i datorn kunna markera in prickar tills de bildade mönster. Av överskottsdelar från luftvärnets hårdvara konstruerade han en analog mekanisk dator som kunde förvandla informationen om prickarnas position till bilder. Därefter fortsatte han öka sin kunskap och teknik och tillämpade den i reklamslag och öppningssekvenser till filmer, däribland Alfred Hitchcocks då omtalade Vertigo. 1973 lanserades filmen Westworld, där Whitney var delaktig i att för första gången introducera datorgrafik i en rörlig film.

Ett decennium tidigare uppvisade Lee Harrison III Mr. Computer Image ABC som ett av de tidigare experimenten med datorgenererad karaktärsanimation [38]. Under 70-talet formulerades många av de grundläggande tekniker som en dator än idag använder för att omvandla algoritmer till en bild. Objekts skuggning och kantutjämning förbättrades och det laborerades med animation av gester och mimik i händer och ansikten. Videospelsmarknaden bidrog till att datorgrafik blev populärt, liksom den digitala spelindustrin två decennier senare hjälpte datorgrafik till ett uppsving i kvalitet, volym och jobbmöjligheter. Även om folk i visuella yrken långt tidigare höll ögonen på datorers användningsområden så blev datorer vanligt förekommande att införliva i industrin under 90-talet i takt med att deras pris sjönk och kapacitet ökade. Från 1985 och framåt fogade Disney in den digitala tekniken i sina animerade produktioner. En annan milstolpe i datorgrafik:s historia var år 1986 då John Lasseters dataanimerade Luxo Jr. blev en av de första helt tredimensionella kortfilmer och nästan ett decennium senare visades den första långfilmen, Toy Story, som kom att handla om ett gäng leksakers äventyr och blev väl mottagen av publiken. Som nämnts tidigare finns det dock fler områden än strikt underhållning där datorgrafik kan tillföra nytta, varav kulturarv är ämnet för denna studie.

### 2.2. Bakgrund om museum

Ordet kulturarv mer än bara antyder att det är ett arv från tidigare generationer, något vi lever i idag och är menat att föras vidare till framtida generationer [39]. Kulturarvet sträcker sig förbi historiska ruiner till dagens folkliga traditioner såsom musik, dans, språk, religion, mat och festivaler som alla kan spåras tillbaka till det förflutna. Förhållningssättet till historiskt arv som samhällets ansvar att förvalta, är ett relativt ungt koncept som härstammar från juridiska ändringar i lagen om äganderätt från en enskild person till en social institution eller en hel nation [13]. Finns det egentligen en gräns mellan länder eller när den skyddande intentionen internationellt?

När museum i Europa etablerades för några hundra år sedan var det med en distinkt överlägsen attityd om att öka allmänhetens förståelse och lära ut en förfinad känsla av smak. Runt mitten av förra århundradet gjordes dock en helomvändning där museets roll skiftade till en serviceinstitution för att bättre möta besökarnas behov och tillgodose förväntningar om historieberättande, uppväcka minnen och inspirera fantasin att upptäcka [40]. Sedan andra världskriget har etableringen av museum ökat även i länder med lång tradition av universitet som var bland de

första att öppna allmänna museer [41].

Stort fokus inom historia har legat på de privilegierades slott och katedraler men allt mer acceptans förekommer kring vanliga bönder, fiskare och fabriksarbetare. [42]. Museer kan göra mer än fira historiens triumfer, de kan lindra smärtan och försöka förstå nederlag. Genom att objektivt skildra myntets båda sidor har museum kommit att bli ett moraliskt neutralt ingenmansland [40]. Ett skifte kan märkas från att enbart visa upp föremåls visuella, till berättelsen de när inom sig [43]. Inför fysiska objekt vare sig det är en runsten, en nedsmält kungastörtande knapp eller en äkta Carl Larsson målning, så reagerar vi annorlunda än inför fotografier, film eller en muntlig berättelse om tinget i fråga. Regalskeppet Vasa är mer än förmultnat virke; det är ett minne över Svea rikes storhetstid, en äventyrsberättelse om en dykares envisa letande, det har en makt som förs över till åskådaren. Det diskuteras inom forskarvärlden huruvida man går till museum för att lära sig nytt genom en genomtänkt utplacering av föremål och upplysningar, eller om man främst vill bekräfta sin egen erfarenhet och världsordning, men säkert är att museer kan fungera som ett stillsamt utbyte för människor av varierande bakgrund [40].

Gällande förbättringar som museer kan göra för att underlätta för besökare, har en studie strukturerat upp förslag: utmärkt navigation genom lokalerna med tydliga skyltar som hänvisar till café samt toalett och informationsdisk efterfrågas tillsammans med en museisida tillgänglig hemifrån för att kunna planera sin utflykt. Vidare får museum gärna spela en mer aktiv roll när det gäller guidning av annars passiva besökare. De intervjuade tycktes se positivt på möjligheterna till interaktiv multimedia teknik för informationssökning och filmvisning. Vid ett besök var folk i allmänhet ute efter kunskap, sökte inspiration eller var intresserade och ville ha nöje [44]. Det sistnämnda återspeglas i att turistresor vars syfte är att besöka historiska platser är en av de största och snabbast växande grenarna inom turistnäringen, speciellt i utvecklingsländer där det ses som ett viktigt sätt att lindra fattigdom och förbättra samhällsekonomin. Forskning måste dock till så inte kommersialism gör att konserveringsarbete får stå tillbaka [42] och utvecklingen av snabbare och mångfunktionell teknik är ett steg i den riktningen.

### **2.3. Bakgrund för datorgrafik och arkeologi**

Att på plats analysera en arkeologisk struktur är förenat med svårigheter såsom otillgängligt, skymmande växtlighet och krävande väder. Utrustningen som brukades för att avtäcka lämningarna kunde också komma att skada dem. Detta gjorde att vetenskapsmän sökte nya sätt för arkeologisk analys som innebar granskning från luften och fjärrstyrda sensorer liksom databasduklighet och 3D grafik [39]. Databaser som samlar information om utgrävningar har kommit långt från att bara tillhandahålla rena textrapporter. Tidiga modelleringsprogram i datorn tycks nu löjeväckande men fascinerade på sin tid även om de till en början bara var kapabla att uppvisa en begränsad del av en utgrävning. En tidig rekonstruktion var tempelområdet kring Roman Bath som förverkligades genom ett textinmatnings system som mödosamt definierade alla 2300 digitala byggklossar som behövdes. När CAD, programverktyg för att göra byggnadsritningar och som även används för att dokumentera utgrävningar, implementerades i visualiseringsprocessen så hade tekniken kommit inom räckhåll för arkeologer [45]. I mitten av '90-talet dök de första webbapplikationer för arkeologi upp och åren därpå skapades de första historiska visualiseringarna [39].

### 3. Metod

För att vara säker på att ha tillräcklig tid för att gå in på djupet så begränsas denna rapport till biblioteksbaserad studie utan att inkludera experiment. Med teknikens hjälp skedde sökning efter lämpligt material i databaser på internet och inte i fysiska bibliotek. Det ingår också ”Historisk forskning” där observation och tolkning av historien inkluderas. Andra forskares avhandlingar och artiklar från vetenskapliga tidskrifter har lagt grund för denna litteraturbaserade översikt. Genom Högskolan i Gävles prenumeration, vilket ger fulltextstillgång till forskaravhandlingar från universitet över hela världen, på online databaser, varav de mest produktiva visade sig vara Science Direct och IEEE Xplore, insamlades 216 dokument till ett antal av 2317 sidor. Så här i efterhand kommer insikten att utrensningen borde ha varit hårdare från början men markering av intressanta stycken resulterade i 17 % av det ursprungliga antalet sidor. Det utlagda schemat visade sig ha varit en alltför positivt överskattad planering till genomläsning vilket lämnade kortare tid än önskad till skrivning.

Studiens upplägg här efter skildrar några tillgängliga tekniker genom hela arbetsprocessen från datainsamling till visualisering för att öka förståelsen för icke sakkunniga. Den längre delen spaltar upp exempel på fullbordade projekt; vad som är unikt i varje fall och vilka lärdomar som framkommit. Nästa kapitel tar reda på vad datorgrafik har tillfört museum och dess besökare och vilka fördelar virtuella museer har. Där på följer diskussioner om vilka frågor arkeologi väcker inom datorgrafik. Rapporten avslutas med slutsatser och blickar mot framtiden.

### 4. Tekniker från datainsamling till presentation

När vinstdrivande företag pumpar in pengar till film- och spelindustrin som kan generera intäkter, tar även mindre gynnade vetenskapliga områden till vara på den tekniska utvecklingen som framställs. Forskare liksom spelutvecklare drar nytta av att den tekniska ribban höjs och smartare algoritmer som kan användas inom flera områden, utvecklas [46]. Mer än andra områden kan dock arkeologi ställa högre krav på exakthet. Vid dokumenteringen utav en arkeologisk utgrävning eller funnet objekt, är det viktigt att noggrant dokumentera upptäckterna. Detta kan göras manuellt med enkla redskap såsom lod, pålar och måttband, och traditionella metoder [17] såsom att dela in utgrävningsplatsen i rutnät och dokumentera avstånd och vinklar med kamera och ritningar [47], som kan komplettera varandra och fånga geometriska djup som den andra metoden inte kan. Fotografier inkluderar mer detaljerad information om materialets yta och nuvarande tillstånd vilket är svårare och mer tidskrävande att dokumentera med en teckning. Nackdelen är ljusreflexer och skuggor som kan ge svårtolkade intryck [48]. För att få ytterligare en dimension till dessa tvådimensionella metoder kan man använda topografi, fotogrammetri, ekolod, kombinerad metod av elektroniska och optiska undersökningsinstrument och skanning [49]. Undersökningsmetoder som minimerar skada och kontakt och inkluderar precisa vetenskapliga analyser för att bestämma ett tings nuvarande egenskaper och förfall, är högt värderade bland konservatorer och restaurerare [6].

Innan man bestämmer sig för en metod ska man ta i beräkning vilken information man vill få fram om föremålets karaktär; dess geometriska kontur, material, hur reflekterande ytan är [50], struktur för att få fram utsatta ytor [6], och hur stor budget samt tid som finns disponibel [17]. Tidigare frågade man sig hur man skulle gå tillväga för att mäta så exakt som möjligt men med dagens teknik kan frågan ändras till hur exakt behöver man mäta i det aktuella projektet, eftersom för mycket information kan bli svårhanterligt [48]. Den fysiska kontakten med de ovärderliga föremålen måste hållas till ett minimum och kräver att man hanterar skannern säkert. Kanske befinner man sig i ett trångt museum eller en klippskrevla, utan tillåtelse att förflytta objektet eller ens lämna kvar utrustning efter arbetsdagens slut. Då uppskattar man redskapens kompaktitet och snabba montering och tar i beaktning sensorernas lätthet att placeras ut på lagom avståndet till och runt om föremålet [48]. Flertalet forskare är dock eniga om att bästa resultat uppnås genom en kombination av tekniker [19]. Tekniskt avancerade metoder tar längre tid att lära sig men därefter går insamlingen och bearbetningen snabbare och uppnår högre kvalitet och säkerhet, något som man inte alltid har i minnet när ett projekt ska påbörjas och man utan vidare väljer den teknik man alltid använt sig av, vare sig den är optimal för



ändamålet eller inte [48].

Arbetsuppgifter består av följande steg [51]: insamling av data, kalibrering, registrering, reducering av brus, modellering, rendering och presentation. Både innan och under processen behöver utrustningen kalibreras för att säkerställa korrekta värdena. Från skanningen får man fram ett moln av mätpunkter med det inbördes avstånd man bestämt i förväg. Mer detaljerad upplösning får man med mindre avstånd mellan punkterna. Om flera skanningar har krävts för att täcka in hela objektet så behöver de olika punktmolnen sättas ihop till ett enhetligt. På marknaden finns flera mjukvaruprogram för efterbehandling av den insamlade data som med olika algoritmer reducerar oönskad och störande information för att man slutligen ska kunna skapa en 3D modell. Med en digitalkamera monterad på skannern kan även färginformation fångas in för att användas vid texturering av modellen om man inte väljer att applicera rena färger eller mönster skapade i datorn eller tagna foton.

#### 4.1. Laser skanner

Mätning med laserskanner producerar stor mängder data så det är viktigt att ställa in rätt nivå av korrekthet och inte skanna på en högre nivå än vad som krävs då mycket data kan bli mödosamt att arbeta med [52]. Den största nackdelen är annars den höga kostnaden [17] som även om den går nedåt, ännu hämmar många teknikinköp inom kulturbevarande institutioner. Dessa institutioner inser inte heller än teknikens fulla potential [53]. För dokumentering av invecklade och större former är dock en modern skanner att föredra [50]. Markskanner "Terrestrial Laser Scanner" (TLS) kallas så för den mäter från marken. "Light Detection And Ranging" (LiDAR), som bygger på TLS teknikern, är en optisk fjärranalys teknik som kan integreras i flygplan och då mäta från luften [54]. Räckvidden varierar mellan mm upp till km. Varje punkt mäts i intensitet och kan även registrera färgkoordinaterna Röd, Grön, Blå, genom en extern eller intern digitalkamera fäst på skannern [18], vilket resulterar i ett än mer korrekt återgivet föremål. TLS delas in i triangulation, time-of-flight (ToF) eller fasbaserad. Triangulations skanner lyser upp objektet med ett mönster, utnyttjar en kamera för att se laserns projektion på objektet och räknar ut objektets geometri genom triangulation [54]. ToF skanner läser av föremåls längd, bredd och djup genom att beräkna tiden det tar för laser pulserna att studsas mot föremålet och tillbaka. Med hjälp av fasskifts teknik kan en time-of-flight laserstråle som vanligtvis känner av tusen punkter per sekund öka antalet, men detta leder även till att nivån med brus höjs vilket gjort att tillverkare ofta inkluderar inställningsbar mjukvara i tekniken som kan reducera brusets redan vid upptagningen [55]. Mer brusreducering kan om man så önskar göras i ett efterbearbetningsprogram i datorn efter insamlandet. Fasbaserad skanner är också en tidsräkning av laser men justerar kraften i strålen och mäter skillnaden i de skickade och återkommande vågorna [54].

#### 4.2. Fotogrammetri

Fotogrammetri återskapa en geometrisk struktur från flera fotografier genom triangulering [54]. Med support från UNESCO och ICOMO har tekniken spridits internationellt [19]. Den hävdas vara den mest använda tekniken för dokumentation av kulturskatter [18] eftersom föremålet inte behöver vidröras. Informationsinsamlingen kräver lite tid jämfört med skanners [48] och digitalkameror är billiga [55], lätta att kalibrera och de tagna fotografierna efter modellering kan användas för texturering [54]. Nackdelar med fotogrammetri är att den fungerar bäst på väl definierade geometriska former, gärna plana ytor såsom tavlor [56] [55] och att det inte finns en helt automatisk lösning med tillfredsställande resultat vid mycket brus eller icke texturerade bilder [54]. I vissa fall kan tekniken inte användas alls men det är ofta bara lyckade försök som blir omskrivna [14]. Kamerorna är portabla och kan fästas vid obemannade drakar eller ballonger som kan styras från marken med fjärrkontroll och kommer därmed åt även där människor har svårt att ta sig. Fotogrammetri behöver hjälp av topografisk mätning för att få reda på det verkliga avståndet mellan några få punkter som syns på fotot för att kunna använda dessa värden i övriga mät- och skalningsberäkningar för att på så sätt räkna ut resterande punkters avstånd [19]. Genom ta det bästa från båda världarna av TLS och fotogrammetri får man högre exakthet och upplösning i 3D modellens textur med fotorealistiska resultat [54][10]. Om punkten vars avstånd är känt, inte är synlig i bilden så går det ofta inte att hämta 3D koordinater

utifrån bilden eller så blir det mycket osäkert. Detta har överkommit i en rapport men är tidsödande och forskare bestämde sig för att vidareutveckla metoden. Kamerans position och 3D koordinaterna fastställs genom en fotogrammetrisk samjustering där kalibrering fungerar men inte är nödvändig. Utan antaganden om objektets form kan högre geometrisk säkerhet uppnås [10].

### 4.3. Polynom textur kartläggning (PTM)

Genom en digitalkamera med konstant exponering och varierande ljus tas bilder och genom att bearbeta reflektionerna blir fina ytdetaljer synliga. PTM kan fånga förändringar i ljus, färg och mönster som uppstår när man ser på en yta ur olika vinklar, en information som laserskannern inte fångar och tills nyligen varit förunnad de som är i direkt närhet med det studerade tinget. PTM [57] är billig och snabb och det finns inget hinder för att använda i kombination med andra tekniker. Hittills finns dokumenterade tester på föremål av trä och metall liksom väggmålningar och denna teknik kan vid presentation av föremål öka interaktiviteten och bana väg för nya tolkningar. En studie som bevisade effektiviteten av PTM gjordes tillsammans med röntgentopografi vilket resulterade i att man kunde läsa dubbelt så många bokstäver och bättre förstå funktionen av Antikythera Mekanismen, en mekanisk dator innan Jesu födelse. PTM användes även för att få fram färgen vid olika ljusförhållanden på ett stenhuvud som blev bevarat när vulkanen Vesuvius fick utbrott år 79. Tekniken kan även få framgång med kilskrift, symboler på mynt, grottmålningar och sarkofager [57].

### 4.4. Modellering

Utifrån ett skannat punktmoln kan en polygonal 3D modell byggas upp vars struktur kan liknas vid fiskenät med triangulära hål [55] [18]. Dessa hål kan fyllas till en yta och textureras. I högre grad än andra områden kräver den vetenskapliga tillämpningen precision och noggrannhet; den visuella representationen som visas upp måste matcha det informationsflöde som matades in [46]. Således måste man innan modellering genomförs försäkra sig om att all nödvändig information finns tillgänglig [4]. Problem kan uppstå när:

- ritningar inte täcker alla vyer eller är svårtolkade
- de olika typerna av information inte är kompatibla och sammansmältningen riskerar oriktigheter
- flygfoton behövs för att komplettera befintlig information

Ofta är det företag som utvecklar datorprogram som vänder sig till arkeologer, inte tvärt om [58] vilket kan göra att programmen inte uppfyller alla önskemål inom fältet. I en artikel beskrivs utvecklingen av mjukvara för 3D modellering speciellt för arkeologi som ska inkludera de mätsystem som yrkesgruppen är van vid och kunna hantera stora datamängder. ArcTron:s ”ArchaeoCAD” och ”Cavalieri” ges som exempel [59]. ”Archaeo Viz” är ett annat program i en spelliknande miljö, utvecklat speciellt för historiska visualiseringar [60].

En automatisk förenklingsmetod för att minska storleken på modeller men ändå bevara utseendet och färger presenteras av Apaza-Aguero et al. [61].

### 4.5. Texturering

Om t.ex. en målad vas fotograferas så ser målningen på vasen förvräng ut p.g.a. form och perspektiv. Colombo et al. skriver i artikeln ”Shape reconstruction from a single photograph for 3d object retrieval and visualization”, om en metod som utvecklats för att korrigera förvrängningen av målningen så fotot kan användas som textur på 3D modeller. Denna teknik utvinns tillräcklig information när bara ett foto på ett föremål från en vinkel finns tillgänglig [62].

## 4.6. Vattenstämpel

I och med uppsvinget av 3D modeller kommer frågan upp om hur dessa kan skyddas genom att i verken matematiskt lagra osynlig information om ägaren till upphovsrätten. Framsteg har gjorts inom skyddandet av bild, ljud och video men det är mer komplicerat med 3D modellens fisknätsliknande struktur (mesh). Om man vill ha bort vattenstämpeln så kan man som med bilder, beskära, rotera, skala om, tillsätta brus så den inte syns eller i 3D göra modellen enklare eller mer förfinad med fler maskor (subdivisions) och göra om topologin. Vattenmärkningen ska helst inte synas för att inte minska den visuella upplevelsen för användaren vilket gör det svårt eftersom 3D innebär synlighet från alla håll. Inom kulturbevarande sänker dessutom vattenstämpeln exaktheten. Tre olika algoritmer nämns men avfärdas eftersom de inte kan stå emot rekonstruktion av meshen. Ett förslag skulle kunna vara att låta vattenmärkningen försiktigt deformera hela strukturen vilket gör att man inte har någon orörd yta att jämföra med. Efter flera bearbetnings steg uppnås en vattenstämplad kopia väldigt lik originalet [63]. En annan hypotes går ut på att dela meshen och i varje bit gömma en vattenstämpel som vid förenkling eller beskärning måste tas fram. En artikel föreslog att alla knutar i nätet buntas ihop i grupper som sen märks som upphöjningar beroende på det genomsnittliga avståndet. En knut från varje kulle i meshen ska sen matcha upphöjningarna i vattenstämplingsmeshen och fastställa den erkända positionen av meshen utan att referera till meshen själv. Slutligen ritas stabila delningsgränser ut och algoritmen för vattenstämpling är färdig. Vid försök gavs godkända resultat vid transformation, slumpmässigt brus och beskärning [64].

## 4.7. Presentation av objekt

Vid uppvisning via internet måste tunga detaljerade representationer vägas mot interaktivitetsförmåga [65]. Här redovisas tekniker som ämnar lösa problemet och därigenom möjliggöra eller förstärka virtuella museers existens.

”Level Of Details” (LOD). De många trianglar som en modells struktur består av kräver hög grafik- och överföringskapacitet vid webbapplikationer och lösningen på det kan vara en teknik som sänker detaljnivån på de områden eller föremål i en miljö som är mindre viktiga eller långt borta. Resultatet blir jämnare flyt vid hantering av modellen. Att bestämma detaljnivå kan vara svårt och tekniken kan få bilden att se konstig ut vid skift mellan hög och låg detaljnivå [66].

”Rysk docka” kallas en bildarkitektur som möjliggör smidigare visning av högupplösta bilder eftersom flera storlekar av bilden lagras i en fil. JPEG2000 klarar av det men har dessutom lånat förmågan att inkludera metadata från bildformatet FlashPix och dessutom skyddar innehållet [67].

Web3D är en populär teknik för realtids kommunikation och visualisering på nätet och inkluderar verktyg som Virtual Reality Modeling Language (VRML) och X3D. Det sistnämnda filformatet tillhandahåller öppen arkitektur för hämtning, lagring och uppspelning i realtid för applikationers grafiska material [68]. VRML är omtyckt för sitt stöd i flertalet webbläsare och tillgängliga plug-in [69] [70]. Det är ett plattformsoberoende format för att kombinera 3D och 2D material på 3D nätsidor. Den kan hantera ljus, dimma, animation, texturer m.m. som skapas i dagens 3D modelleringsprogram. Vyn kan vridas 360 grader sidledes och zooma in. QuickTime Virtual Reality (QTVR) hävdas vara ett alternativ till VRML som är billigare och snabbare och kan länka till andra filer. COLLABorative Design Activity (COLLADA) med öppen standard XML schema möjliggör byte mellan grafiska program vars filformat annars inte skulle vara kompatibla. OSG ger mer kraft i interaktiviteten genom sammansmältningen av text, ljud, video och 3D material till en enda 3D fil. Den är plattformsoberoende och har öppen källkod men med nackdelen att programmeringskunskaper behövs och att den inte stödjer handdatorer eller 3G mobiler.

Drivkraften att kunna dela med sig av kunskap och 3D material till andra gör att många användare utvecklar nya effektivare plattformar som fokuserar på de viktiga aspekterna som hög överföringskvalité och samtidigt skydda materialet. En grupp forskare har skapat en ny plattform där individer kan dela stora 3D filer utan att behöva ladda ner dem till datorn [67]. Ett nytt arbete syftar till att underlätta arbetet med att dela visualiseringar så andra kan analysera och förändra dem över nätet och kommunicera synpunkter. Plattformen gjordes i samråd med och utvärderades av konservatorer. Systemet består av tre delar: lagring av data, manipulation i realtid, konsultation och hantering av data

mellan de två andra delarna. I framtiden planerar utvecklarna att automatisera delar av processen [71].

Virtuell verklighet (VR) är en datasimulerad interaktiv miljö som kan ses bl.a. genom hjälmar med displayer eller 3D glasögon [2] [67]. En annan lösning är ett CAVE; ett litet rum där väggar och golv projiceras med datorgenererade bilder som kan ses genom 3D glasögon [67].

Användningsområden är bl.a. fantasivärldar i spel eller simulering av flygplans start och landning för piloters träning. För känsel kan haptiska tekniker användas. Genom kollisionstest i det haptiskt gränssnittet simuleras tryck genom datorhandskar så deltagaren upplever informationen från den digitala modellen som ett fast föremål [72].

Utökad verklighet (AR) kallas det när realistiska datorgenererade 2D eller 3D *bilder* visas ovanpå verkligheten så de gränslöst smälter samman [43]. Tekniken kräver rendering i realtid [73]. AR ersätter inte verkligheten utan kompletterar den. Bilder på t.ex. en nyss invigd kyrka kan visas framför dagens kvarvarande ruin så besökaren på plats får ta del av de båda tillfällena i tiden.

Mixad verklighet (MR) är en blandning mellan VR, AR och verkligheten vilket kräver samkörning av flera tekniker [67] [74]. Till skillnad från AR inkluderar MR 3D modeller vilka kan manipuleras till beskådning från alla vinklar. För båda teknikerna är det ofta nödvändigt med visuella markeringspunkter så datorn kan fastställa vart objektet ska placeras.

De uppräknade teknikerna från datainsamling till presentation har utnyttjats i de exempel som följer.

## 5. Exempel

Hur framgångsrika har projekten varit där datorgrafiker och arkeologer samarbetat, vad ville de ha ut av kombinationen och vad klassas som framgångsrikt? Framställer kulturarv [75] unika utmaningar? World Trade Center i New York nämns som ett projekt värt att bevara [5] men denna studie ger i första hand exempel som går längre tillbaka i historien än så. Visualiseringar av värdefulla kulturskatter varierar från keramik av brasilianska indianer [76] och traditionell japansk dans [17] till hindutempel i Vietnam [77] och frihetstorg i Serbien [78]. Inget föremål är för litet, ingen byggnad för stor och ingen tavla för platt. Ambitionerna varierar från enstaka modeller till att skapa ett digitalt bibliotek av Buddhastatyer från flera länder [79]. Teknikerna är skiftande och kombineras. Problem uppstår och inget fall är det andra likt.

### Etruskernas liv i 3D

Medelhavsmuseet i Stockholm har en tillfällig utställning där det antika folket etruskernas liv visas i 3D. I maj månad 2012 besökte undertecknad utställningen. Besökare får låna speciella glasögon och en ljudguide som ger fördjupad information. I lilla ankomsthallen bläddrar två TV-apparater mellan keramik, teckningar och målningar med människomotiv, miniatyrmodell av en tempedel och 3D modeller över en by. Undertecknad funderar ifall ansvariga fick rekommendationer hur utställningen borde sättas upp? En TV-skärm har inte tillräckligt med utrymme framför vilket gör att man inte kan backa långt nog för att stereobilderna skall smälta samman. I det första större rummet projiceras en bild över ett fält med 30 etruskiska gravar som grävts ut och fotograferats med laserskanner men nu är stängda p.g.a. erosionsrisken. Med navigering via en datamus går det att göra interaktiva besök 360 grader runt om i kamrarna för att beskåda de målningar som finns bevarade. Ytterligare information finns tillgänglig genom att klicka och i vissa gravar kan man få 3D effekt. Uppsatta på väggarna finns det flera 3D bilder som uppvisar djup men ändå gärna hade kunnat vara aningen ljusare i den något skumma belysning som råder i lokalen. I nästa lokal flyter ljusreflektioner av bokstäver runt på golvet och flera projicerade filmer och stillbilder utforskar gravar. Alla bilder i en film tycks inte ha samma tänkta åskådaravstånd vilket gör en del bilder skarpa och djupa men andra suddiga dubletter. Utställningen har några votivgåvor, kroppsdelar utformade i lera som grävdes ner till dyrkan av gudarna med önskan om eller tack för tillfriskning. De är permanenta föremål som skänktes till Medelhavsmuseet då dessa har massproducerats. Andra små artefakter såsom smycken, spel och vardagsredskap uppvisas i montrar. En uppskattad del utav museet var museibutiken med fina glas och keramikföremål bl.a. från Egypten. Det var parfymflaskor och sandaletter tillsammans med midjebälten för magdansöser och böcker för vidareutbildning. I butiken är det acceptabelt att plocka upp och vidröra objekten som knyter an till utställningarnas tema utan att upplevas som turistfällor.

### **Haptisk teknik**

I de flesta fall får skulpturer inte vidröras men det vill "Museum of Pure Form" ändra på genom sitt VR system vars första enhet finns i "Perceptual Robotics Laboratory" i Pisa, Italien. Deltagaren får ha på sig en robotarm som skickar tryck så personen upplever det som om hen rör längs med skulpturens form. Genom ett tredimensionellt grafiskt användargränssnitt tillförs bilder så användaren kan lokalisera vilken del av statyn som vidrörs. Eftersom trycket baseras på en digital modell av skulpturen är det möjligt att förstora intressanta detaljer och även importera nya skulpturer från andra museum [72]. I södra Italien har ett annat portabelt haptiskt system provats på Sedile palatset [80]. På Sri Lanka kan deltagare med haptisk teknik känna på historiska lämningar som utifrån bilder arbetas fram till 2.5 D modeller [81]. Hemudu, en plats i sydöstra Kina för 7000 år sedan som då hade halvtropiskt klimat, har återskapats med haptisk interaktivitet. Designen fick ske utifrån arkeologiska experters berättelser eftersom platsen inte längre finns. Halvtropiskt klimat rådde och terrängen var våtmark så hus stod på stolpar. De haptiska handskarnas position och individens blick spåras så deltagaren kan harpunera fisk till middagen [82].

### **Regalskeppet Vasa**

Vasaskeppets nuvarande tillstånd har tidigare skannats in från 350 vinklar och utifrån det skulle (som ett examensarbete vid Högskolan i Gävle 2011) en skalenlig modell skapas så som skeppet såg ut när det var nybyggt, inklusive korrekta färger, vilket hade varit svårt om inte redan grundlig forskning genomförts och en miniatyr fanns till hands. Bra balans mellan förmåga att animera och exakthet i detaljer krävdes. Punktmolnet visade sig dock sakna för mycket information för att tillfredsställande återge alla detaljer så miniatyren fick användas som referens men en optimerad modell för animering lyckades ändå byggas [51].

### **Forntida ljussättning**

Gator är inte utan smuts och glas är inte alltid nypolerat lika säkert som solen inte alltid skiner [83]. För att öka autenticiteten, komma bort från sterila intryck och för att kunna uppfatta miljöerna så som de såg ut vid den aktuella tidpunkten är det viktigt att ha korrekta ljusförhållanden [23]. När solen skiner in genom fönster kan dammpartiklar uppfattas och dessa detaljer är också viktiga att inkludera [83]. Föroreningar, klimat, material och omgivande byggnader påverkar också ljusets egenskaper. Innan elektriciteten uppfanns utnyttjades dagsljuset och inomhus eller på kvällen fanns eldstad och oljelampor. Ljusets intensitet och färg ändras beroende på brännmaterial och tillsatser. I Egypten på sextioalet monterades Kalabshatemplet ner för att rädda det undan de stigande vattenmassorna från Nassersjön. Vid rekonstruktionen beslöts det att ljussätta templet på sin ursprungliga plats där det byggd för 2000 år sedan. I visualiseringen utav den muslimska förorten Sinhaya runt tusentalet, tillåts åskådaren välja årstid och vilken tid på dygnet som önskas samt moln eller blå himmel [84]. Även i det Virtuella Hindu Templet kan tid väljas och effekter såsom damm, reflekterande ljus och skuggor [85]. Vid ljussättning på medeltida keramik i ett korsvirkeshus i Southampton upptäcktes det att starka färger var nödvändiga på keramiken för att kunna lokalisera dem i den skumma inomhusbelysningen [84]. Bysantinska Jesusikoner jämfördes i simulerat elektriskt ljus och stearinljus. Författaren hävdar att ljussättningen på den tiden noggrant justerades så ikonerna skulle fylla åskådaren med en religiös upplevelse. Det diskuteras att vi aldrig exakt kan få veta hur en forntida miljö ljussattes eftersom, förutom bevis, har vi förutfattade meningar och vår kulturella bakgrund utgör hinder. Ändå kan tolkningsförmågan och engagemanget öka i takt med att autenticiteten ökar. Vid realistiska visualiseringar är det konstigt att inte korrekt ljussättning används oftare, skriver författarna vidare. Kanske är metoderna ännu för kostsamma sett till beräkningstiden eller så blir skillnaden i slutresultatet [84] inte tillräckligt stor för att motivera?

### **Lärande spel**

Spel med en blandning av kunskapsutläring och nöje är på uppgång med inblandning av flera tekniker såsom berättarkonst, visuell presentation av information och interaktivitet. En rapport beskriver hur levande guider placeras in i en datorgenererad modell av Den Heliga Treenighetens Kyrka, som förstördes i krig 1992 och var en religiöst och kulturellt viktig symbol i Bosnien och Hercegovina. Inför projektet blev kyrkan invändigt som utvändigt återskapt komplett med högupplösta panoramabilder som bakgrundsmiljö. Studiens forskare påbörjade arbetet efter en undersökning visat

att levande guider är att föredra framför datorgenererade. En viktig fas i projektet var att optimera för internet eftersom författarna skriver att tillgänglighet och hastighet inte är stabila i landet. X3D valdes bort till fördel för Flash eftersom ingen extra plug-in behöver installeras av användarna, vilket även drog ner datastorleken, gav möjlighet till offline läge samt bättre bild. En nackdel blev viss restriktion när det gällde navigation i en del utav de förutbestämda vyerna men det ansågs ändå som mindre viktigt [86]. Peranakan härstammar från kinesiska invandrare på den indonesiska ögruppen Nusantara under 1600-talet. De spelade en viktig roll i Malaysias och Singapores självständighet. Ett virtuellt museum inklusive en virtuell Peranakanguide har byggts upp för att visa deras speciella traditioner och föremål. Den animerade guiden är klädd i en traditionsenlig dräkt och deltagare kommunicerar med spelet genom att skriva enkla tecken med en kinesisk kalligrafipensel [87]. Ett lyckat projekt som dragit blickarna till sig från UNESCO är ett spel för att locka yngre publik; ett virtuellt Notre Dame med historiska karaktärer som guider att ställa frågor till [5]. "Digital Songlines" är ett mjukvarusystem inklusive spelmotor för flera användare som skapar en virtuell miljö där klimat liksom tid och växtlighet kan styras, allehanda ljud importeras från en databas och användarna kan delge varandra historiskt värdefull kunskap. I "The River City Project" får grundskoleelever med dagens kunskap och teknik i bagaget åka tillbaka och hjälpa invånarna i ett samhälle på 1800-talet att förstå vad som orsakar sjukdom och vad de kan göra i förebyggande syfte. Eleverna lär sig samarbeta för att skapa hypoteser som de testar i kampen för att stoppa epidemier [39].

### Utökad verklighet

"The Archeoguide" smälter samman det som finns kvar av kulturskatter med visuella konstruktioner så besökare på plats, med hjälp av en huvudburen display, kan se hur platsen såg ut förr i tiden. Batteritid och vikt som med tiden kommer förbättras, fick vara sekundära faktorer när prestandan ansågs vara det viktiga. Systemet består av en kontroll, videobehandlare och renderare. Kontrollen lokaliserar var individen befinner sig och samordnar disponibelt bild-, video- och ljudmaterial. Informationen skickas vidare till renderaren som skapar varierande bilder utifrån tid på dygnet och året. Videobehandlaren beräknar så att grafiken, som hittills bara är 2D, smälter ihop med omgivningen. Tekniken kan visa idrottare delta i spel på Olympia stadion i Grekland. Systemet är designat att vara lättanvänt både för tonåringar och seniorer med knappar på den huvudburna displayen. Sedan 2001 finns en prototyp men de första erfarenheterna visade att systemet ännu är obekvämt att bära, hårdvaran är kostsam och inte vädertålig samt att användaren är begränsad till vissa förutbestämda vyer [7].

### Stadsdelar

En grupp arkitekter, datorgrafiker och historiker samarbetade för att visualisera femton viktiga byggnader i Sao Paulo i Brasilien i början av förra århundradet då befolkningen fyrdubblades. Denna studie undertogs för att vidare kunna analysera förhållanden utanför forskarnas egen expertis såsom politik, ekonomi, kultur och filosofiska intryck bland invånarna. Med hjälp av X3D-standard kunde arkitekterna och historikerna över internet granska modellerna i 3D vy genom hela processen vilket säkrade kvalitén och sparade renderingstid. Dessvärre behövdes ändå översiktsrapporter skrivas eftersom X3D webbsidan som skapades inte tillhandahöll kommentarsfält. Tillräckliga detaljer och realistiska texturer på byggnaderna för att tåla en nära granskning, tillsammans med ljudbibliotek för att förstärka VR upplevelsen av tidsandan, ansågs viktiga element när slutresultatet visades upp i en CAVE [68].

I norra Taiwan ligger Beipu distriktet som kan spåras tillbaka till Ching Dynastin och vars gatnät är planerat enligt kinesisk Fengshui. Staden växte i popularitet efter att flera andra viktiga turistattraktioner förstördes i en massiv jordbävning år 1999. I digitaliseringen gjordes först en översiktlig skanning av ett kvarter för att sen kompletteras med närmare skanningar för att fånga detaljer. Detta samtidigt som man skulle undvika att få med de talrika invånarna. En time-of-flight-skanner med räckvidd på 300 m användes på 97 utvalda platser under de 19 dagar det tog att dokumentera. Främst koncentrerade man sig på sju byggnader för att visa deras nuvarande tillstånd liksom under och efter renovering. Det upptäcktes att två hus felaktigt smält samman med tre meter i digitaliseringen när ett fönster misstagits tillhöra det andra huset. Orsaken var överanvändning av "kopiera och klistra in"-funktionen i programmet. Vid jämförelse med en skanning som genomfördes två år tidigare visades att minst två butiker hade omvandlats till lagerbyggnader. En fullständig och en

reducerad modell renderades för att tillgodose de icke förenliga behoven om exakt bevarande för professionella och stadig åtkomst via internet för intresserade. Forskarna var så nöjda med projektet att de rekommenderar laserskanning i bevaringssyfte och VR presentation för reklam [69]. Ett annat projekt av liknande storlek är när stadsbilden av Taxila i Pakistan 3D digitaliserade 12 historiska byggnader [88].

### **Block och Sten Relief (BSR)**

En speciell konstform i gränslandet mellan målning och relief i sten kallas BSR och användes som minnesutsmyckning i Kina både före och efter den kristna tideräkningens början. Genom att i fuktigt tillstånd pressa handgjort rispapper mot relieferna och försiktigt gnugga med bläck över, kunde kineserna i början av 1700-talet kopiera hantverket. En nutida undersökande studie visar hur det är möjligt att genom 3D och ändrad synvinkel och ljusförhållanden öka interaktiviteten så publiken kan återse spruckna eller förlorade reliefmålningar. Från en enda gnuggbild uppskattas och beräknas automatiskt information om djup genom ledtrådar såsom storlek, skuggning, förvanskning och hur objektet bleknar. Helt korrekt återgivning av originalen kan inte säkerställas eftersom rispapperskopiorna i sig själva är att anses vara hantverk med de skillnader som tillkommer i framställningen och för att rispapper inte kommer åt i skarpa hörn utav en relief. Den föreslagna tekniken är dock inte begränsad till BSR utan kan med gott resultat användas även på fotografier [89].

### **Mona Lisa**

En tysk musei- och kulturforskare beskriver sin frustration när tillträde till da Vincis ”Den sista nattvarden” var begränsad p.g.a. byråkratiska och konservatoriska omsorger. Små grupper i taget fick åskåda tavlan en kort tid. Via webbsidor gavs större tidsfrihet och närmare granskning genom inzoomning, något som varit ouppnåeligt på galleriet [90]. Kanske var det två av många anledningar som fick forskare att skanna Mona Lisa. Samtidigt som tavlan skulle flyttas till en ny lokal, företogs den hittills största vetenskapliga undersökningen där digital modellering ingick [91]. Tavlor som ska arkiveras digitalt ska ha minst 20 pixlar/mm för att godkännas av museum [92] men det ansåg inte de ledande forskarna var nog. Istället för befintlig teknik så monterade de ihop en egen högupplöst polykromatisk laserskanner för att få en 333 miljoner polygon färg/vertex modell. Eftersom en sådan modell är för stor för de flesta privata datorer så användes LOD teknik för bättre prestanda. För att kunna uppskatta tavlan projicerades en högupplöst delbild inuti en större lågupplöst bild på en väggsärm så detaljer kan studeras samtidigt som betraktaren kan lokalisera var på bilden hon befinner sig. Unika utmaningar för den tredimensionella tekniken bestod i bildens platta yta med avsaknad av penseldrag och viss genomskinlighet, samt begränsad tidsåtkomst vilket krävde noggrann planering. Sektioner i taget skannades av för att kalkylera ytans färg i perfekt förhållande till geometriska mätningar. Genom skanningen och modelleringen av Mona Lisa kunde färgen digitalt tas bort för att tydliggöra fysiska former belysta av olika artificiella ljus. Som exempel syntes över hela tavlan krackelering vilket kan uppkomma vid deformation av spännråmen, olämplig målteknik (något som borde kunna avfärdas i detta fall) eller vanlig tidsnötning. Vidare kan Leonardos teknik vid tillkomsten av tavlan analyseras genom tjockheten på varje färglager och tidigare restaureringar samt maskhål kan granskas. Myten om att Mona Lisa hade skurits ur spännråmen vid ett rån 1911, kunde avfärdas. Författarna menar att tavlor inte längre kan anses platta utan färdas in i den tredje dimensionen när tillräckligt hög detaljupplösning finns tillgänglig [91] [93].

### **Michelangelos David**

Även i digitaliseringen utav Davidstatyn utsattes 3D modellen för diverse analyser för att bestämma vilka delar av statyn som tagit mest skada av fallvinklar från föroreningar såsom regn, dimma eller damm innan en restaurering tog vid. Sprickor vid anklarna bekymrade konservatorerna om statyns tyngd orsakade ojämnt tryck på ytorna vilket antyddes av historiska rapporter om en olämplig bas vilket fick David att lätt lutas framåt. Ett högupplöst lasertrianguleringssystem monterades på ett specialbyggt mekaniskt stativ och användes tillsammans med en time-of-flight sensor med lång räckvidd [94]. Den stora mängd data som samlades in borde komma till nytta inför utveckling av den metod som brukades, hävdar forskarna [50]. Datorgrafikerna beskriver hur de vid sin inledande delaktighet upplevde en viss motvilja från de andra forskarna som dock övergick när de insåg att denna nya teknik kunde ge dem inte bara fina bilder utan också användbara vardagsredskap [94].

## **Inuit eskimåer**

Studier visar att emotionell närhet till föremål är lika viktig i den virtuella världen som i den fysiska, och att historieberättande ökar åhörarens engagemang inom aktiviteter. Forskare tog fasta på detta och skapade en portabel videovägg, en CAVE och ett spel av kanadensiska eskimåers historia. En myt från Inuit eskimåerna utforskas i det lärande skattjaktsspelet som involverar skannade Inuit sniderier. På 1300-talet migrerade Thule, som är förfäder till Inuit, från Alaska och byggde hyddor av valben i brist på trä. Ett projekt visar först hur ett hus strukturellt byggs upp för att sedan visa insidan komplett med diverse vardagsföremål och redskap som användaren kan interagera med genom att klicka på för att se en förstoring och få djupare information [95]. För att öka känslan av realism har man lagt till sotpartiklar från rök i luften och simulering av ljus från oljelampor som kan få betraktaren att tänka över hur familjerna skötte sina sysslor i boningshusets tidvis knappa belysning. Projekt nr. 2 återskapar ett traditionellt Siglit-Inuvialuit Igluryuaq, grästkähus, från en europeisk upptäcktsresandes teckning. Även här får besökaren se boningens insida men när redskapen markeras så demonstreras hur de användes. Vinden viner, fåglar hörs vissla och trummor spelas tillsammans med andra vanliga bakgrundsljud i denna virtuella värld. Slutresultatet upplevdes av några Inuit Äldre som är bland de sista att flytta in till moderna bostäder och bekymrade vid tanken på att historien går förlorad om man inte lyckas engagera de yngre. De var alla positivt inställda till det visuella och eniga om att tekniken var rätt sätt att locka barn och barnbarn till att lära sig gamla traditioner. Maori folket på Nya Zeeland har gjort samma resa när de adopterat ny teknik för att bevara och föra vidare sitt kulturarv. Den portabla videoväggen planerar forskarna framledes att transportera närmare Inuit samhällena men de virtuella världarna har också gjorts tillgängligt via webben [95].

## **Avgjutning av borgare**

”Borgarna i Calais” är en staty utav franske skulptören Auguste Rodin som också gjorde ”Tänkaren.” Den förstnämnda baseras på historien om hur sex män för att rädda invånarna i staden Calais, frivilligt offrade livet i kriget mot England 1347. Rodin hävdades ha en uppsättning avgjutningar för att kunna återanvända till andra arbeten och två utav borgarnas händer är misstänkt lika varandra. Efter inskanning kunde en linjeringsalgoritm placera de två händerna intill varandra och övertygande bevis bekräftade ryktet om avgjutning [29].

## **Agrikultur**

Under romarrikets storhetstid fanns på landsbygden i Portugal en bondgård kallad Casal da Freiria som två millennier senare kommit till liv genom en spelmotor. Först modellerades terrängen så de återstående stenarna i husgrunden kunde placeras korrekt in. Den topografiska rapport som visade höjden på väggarna hade inte tagit i beräkning de ändringar som blev följden utav den arkeologiska utgrävningen så den visuella modellen behövde justeras. Den förenklades även för lättare manipulation utan att den vetenskapliga precisionen tumrades på. Fokus lades på spannmålmagasinet som var gårdens centrala mittpunkt med bäst möjligheter till rekonstruktion. En tidigare studie indikerade att magasinets volym hade utökats genom förflyttning av en vägg och det beslöts att ändringen fick indikera modellens tidsperiod. De västra parallella väggarna som tillät ventilation hade gått förlorade och golvet var högre, vilket gav idén att det var ingången. Tak och murverk antogs ha gjort av lättförgämligt material eftersom inget kvarstod. Litteraturstudier och dialog fördes med arkeologerna för att ge den tredimensionella modellen en stadig grund. Det ledde fram till en idé hur terrängen kan ha sett ut samt att huset skapades med trästruktur klädd med halm och halmtak. 3D gestaltningen importerades till en spelmotor som är utrustad med hög grafisk och fysisk motor samt AI i realtid, vilket gör att avatrar efter viss programmering självständigt kan gå omkring i världen eller utföra enkla sysslor. Även dialog kan implementeras. Ett rikt bibliotek av färdigt texturerade och animerade träd och buskar finns att välja mellan inkluderade i mjukvaran från början. Användaren kan interaktivt utforska omgivningen med alla dess element. Författarna tyckte projektet vann kvalitet på att experter inom områden som arkitektur, byggnadsteknik, animation och 3D modellering deltog. Det diskuterades huruvida entrén till spannmålmagasinet var korrekt lokaliserat men ingen säker slutsats drogs även om visualiseringen underlättade tankegångarna [2]. Som ett led i bevarandet av viktiga agrikulturella monument, har väderkvarnar visualiserat i Spanien [96].



### **Bysantinska ansikten**

Bysantinsk konst är unik eftersom den inte försöker härma korrekta proportioner i människans ansikte. Genom att matematiskt fastställa de typiska dragen i Bysantinska karaktärer kunde vetenskapsmän skapa en algoritm för att beräkna hur skadade konstverk har sett ut så kunskapen kan föras vidare till konservatorer innan oåterkallelig förändring utförs. Ett bibliotek med 3D ansikten skannades in för att markeras med lokaliseringpunkter som kunde ändras för att matcha karaktärsdrag. Varje unikt drag som registrerades från litteraturstudier utgjorde en ny regel i bibliotekets katalog som genomgick tester för att lära sig känna igen platta Bysantinska ansikten. Genom att lokalisera 68 punkter i den oförstörda delen utav ansiktet byggs den 3D modell upp som vid projicering på 2D bilden, bäst matchar formen av jämförelsepunkterna. Drygt fyra minuter behövs för att fastställa punkterna och ungefär en minut för att beräkna restaureringsbilden. Tekniken kan användas på skadade roterade ansikten eftersom all beräkning är utförd på 3D representation som är oberoende av synvinkel. En utökning av regler gör det möjligt att restaurera helkroppshelgon från Bysantinska ikoner. Från en röntgenbild lyckades metoden framgångsrikt skapa ett fullt tredimensionellt bäcken som exempel på användning inom andra ämnen än kulturarv [97]. I Voutounos och Lanitis studie [98] diskuteras för- och nackdelar med fotorealism och abstrakt form av Bysantinsk konst i ett virtuellt museum.

### **3D skrivare**

I Bosnia-Hercegovina är medeltida gravstenar, Stećaks, värdefulla monument med meddelanden om den begravdes identitet, status och religiös tillhörighet liksom mystiska symboler. En av de mest berömda, Stećak från Donja Zgošća, med mångfaldig utsmyckning återfinns i Nationalmuseets botaniska trädgård i Sarajevo. En vanlig skanner fångade ett så massivt punktmoln att endast en femprocentig kvalitetsmodell lyckades överföras till mjukvaran och ändå var representationen svårhanterlig och uppvisade stora brister i ytan. Forskarna hade tre ytåterskapande algoritmer att prova varav den sista som var mindre känslig för brus, gav ett tillfredsställande resultat. Undersökningen visade att verkliga föremål är mer krävande än labbprover och helautomatisk rekonstruktion ännu är en bit bort. Den visuella gravstenen presenterades som en utav många föremål i den virtuella botaniska trädgård som ingår i en permanent utställning om Stećaks. Den ingår också som del i det Virtuella Sarajevo projektet, online i VRML format och genom 3D skrivare som souvenir [99]. I en japanskt studie skannades ett norskt träsnideri av en man på häst. Det tog en 3D skrivare 18 h att skicka en vaxmodell som man med gips skapade ett negativt avtryck utav. Formen användes av eleverna för att gjuta silversmycken i [100].

### **Artificiell Intelligens (AI)**

Den flaviska amfiteatern i Rom, mer känd under namnet Colosseum, beräknas ha plats för mellan 45-75 tusen åskådare, något som en undersökande studie med AI ifrågasätter med tanke på arenans entréer, branta trappor och smala passager. Kejsar Vespasian ämnade bygga Colosseum för att tillhandahålla de romerskt kulturellt viktiga gladiatorspelen tillsammans med andra aktiviteter som avrättning av fångar och djurjakt. En tidigare 3D modell, enklare till slaget för realtids tester, saknade viktiga delar som trappor, dörrar och passager som först behövde skapas innan den egentliga undersökningen kunde tas vid. Till skillnad från flera andra tester inom kulturarv så använde forskarna en fundamentalsats som går ut på att reglera en uppsättning lagar och studera vad som händer, vars motsatsteknik är att låta målet diktera uppträdandet. Upprepade opartiska tester kan genomföras eftersom utgången inte kan förutses. Målet var att testa möjliga flaskhalsar i byggnaden genom ett AI system bestående utav talrika agenter med inlärande intelligens, ett bestämt mål i sikte och uppfattning om den aktuella miljön vilket gör att de kan gå självständigt och ta egna beslut. De bästa platserna för de socialt högt stående åskådarna var lätt tillgängliga genom välupplysta korridorer medan det omvända gällde för de oansenliga i publiken. På restriktion av minne så fick projektets problem skalas ner till att gälla åtta tusen syntetiska aktörer som går genom sin socialt korrekta ingång till sin förutbestämda plats. Åtskilliga hypoteser behöver testas innan säkra slutsatser kan dras men testet avslöjade ändå flera förutsedda flaskhalsar. Det är tveksamt att alla människor anlände på en gång eftersom evenemangen höll på hela dagen, men desto mer sannolikt att alla gick när det var slut. Framtida försök kan involvera full population av agenter med variationer såsom gånghastighet och sammanslutna i grupper [101]. Kombinationen av VR och AI öppnar lovande nya dörrar inom utforskningen av historia. Ett manuellt modellerat 3D Colosseum syns även i ett större

visualiseringsprojekt av forntida Rom med fler än sjutusen datorgenererade byggnader [102].

### **Stora projiceringar**

”Qingming högtiden vid flodstranden” är en tavla målad för tusen år sedan i Gongbi stil vilket betyder att den är pedantisk i sin detaljrikedom. Med sina 500x25 cm innehåller den mer än 500 människor och ger betraktaren ett fågelperspektiv på den blomstrande huvudstaden i Songdynastin. Tavlan målades upp på nytt av inbjudna konstnärer samtidigt som en berättelse om olika scenarion i tavlan utarbetades. Tavlan projiceras på flera välvda väggskärmar och folk, båtar, fordon och hästar animeras och synkroniseras med musik så berättelsen upplevs levande. Med spårningsteknik kan betraktare vinka och få svar från de simulerade människorna men det är den enda interaktion som finns, vilket forskarna planerar att utöka i framtiden [103]. Ett nära relaterat projekt lär ut historien om Kinas stora Jing-Hang kanal genom praktiskt utförande av sysslor såsom skeppa lagom mycket spannmål (annars välter båten) från Hangzhou till Beijing och samtidigt manövrera båten genom slussar [104]. En förebild när det gäller kreativa sätt att väcka uppmärksamhet för den digitala slutprodukten är ARCH Foundation när de under en flera veckor lång kulturfestival projicerade en 120 m bred bild på bergsväggen ovanför staden Salzburg [5].

### **Panorama**

I visualiseringen utav Charles kyrkan i Plymouth och poeten Charles Causley hem så stod videopanorama i fokus tillsammans med lärande spel. Videopanorama har fördelen jämnt emot 3D genererat material, att världen presenteras så som den ser ut, anser författarna. En sfärisk videokamera med sex linser är kapabel att spela in på mer än 75 % av sfärens yta. Charles kyrkan bombades 1941 och har inte återuppbyggts förrän virtuellt nu till detta projekt. Gamla foton samlades in men viss artistisk frihet fick användas då interiör saknade referenser. Kyrkan modellerades och datorgenererad panorama nyttjades som bakgrund till en historia om ett par som viger sig i kyrkan dagen innan den förstörs. Filmat videopanorama användes för att visa det nu åttioåriga paret i kyrkan så som den ser ut idag. För att uppleva skillnaderna kan besökaren skifta mellan panoramorna. Det finns många hänvisningar i dikterna till Causleys stad, hus och dess föremål. En kamera monterades på en hjälm men också på en elektrisk rullstol för att underlätta videofilmandet. Saker från huset skannades in i 3D och placerades i panoramat. I varje virtuellt rum finns ett föremål gömt och besökaren måste hitta det med poetens verser som ledtrådar för att ta sig till nästa rum. När alla uppgifter är lösta och nyckeln till utgången är hittad, kan besökaren utforska staden i olika videopanoraman [105].

### **Fota från luften**

En billig kameraplattform monterades på en ballong för att fotografera den romerska staden Clunia och den keltiska bosättningen Las Cogotas i Spanien. Tekniken valdes eftersom den är icke-destruktiv och fångar geometri och texturer även om platser är otillgängliga eller vidsträckta. Systemet är enkelt men kräver en person som hanterar manövrering av ballongen och en som kontrollerar kameran. Uppblåsning av ballongen och montering av kameran tog knappt en timme. Metoden är kostnadseffektiv ju större område som ska täckas och fotograferas ungefär 3 ha/h. En framtida utmaning anser vetenskapsmännen vore att integrera ultraviolett och infrarött ljus till kameramodulen så mer information om terrängen kan infångas [106].

### **Tryckanalys av bro**

Medeltida valvbrogar är rikligt förekommande i nordvästra Spanien p.g.a. dess ojämna terräng och vida utspridda bosättningar. Många av broarna är fortfarande i bruk och det motiverade en studie att skapa en 3D visualisering av Cernadela bron i analysyfte. Denna bro är daterad till 1400-talet och troligen byggd ovanpå en tidigare romersk bro. Strukturen av bron analyserades utifrån erhållna punktmoln för kunskap om vart trycket ligger på varje båge och hur mycket vikt bron klarar. Begynnande sprickor lokaliserades på den modellerade och fototexturerade bron. En visualisering underlättade analyserna då punkten för tryck inte alltid går att förutse när broarnas bågar är oregelbundna och stenarna har ojämn form [107].

## 6. Presentation

### 6.1. Fysiska museer

Idag finns fler antal museer än tidigare i världshistorien men hur ska de anpassa sig till minskade anslag och förändrade sedvänjor, tar de till sig den nya tekniken [41] och vad händer om de vägrar? Är kommersialism en väg att gå eller är den oförenlig med bevarandet [138] av kulturarv? Kommer museivärlden för alltid att förändras [108] och vad vill besökarna ha? Email har fått Posten att omvärdera sin verksamhet men än finns marknaden kvar, böcker och tidningar likaså, internet till trots. Museernas främsta uppgifter är att bevara och ordna utställningar för att främja lärande [109]. Dessa uppgifter kommer finnas kvar och även om de sker virtuellt så blir personalen inte överflödig utan byter arbetsuppgifter [41]. P.g.a. dagens flöde av information konsulterar den övervägande delen av nyfikna i första hand internet i jakt på kunskap och museer behöver inse det och se till att ta sin plats [110]. Sen internet slog igenom har många museer dubblat besöksantalen trots att många förutsåg det motsatta [111]. En studie nämnde ett museum i Florence som sommaren efter lanseringen av sin internetsida fått 40 % fler besökare varav många angav att sidan fått dem till att besöka museet. 70 % anser det är mer sannolikt att besöka museet efter en titt på hemsidan, hävdar en annan undersökning [67]. Ingen undersökning visar om det bara är välbesökta städers mindre kända museum som får den effekten [108]. Liksom sidor på nätet kan museer i verkligheten öka samarbetet emellan och 'länka' till varandra [41]. De kan dela utställningar och sällsynta föremål kan visas upp utan lång väntelista och kostsamma transporter från andra sidan klotet. Föremål som är för sköra att hantera [112] och trånga lokaler behöver inte längre hindra museum från att visa upp hela sin lokala, unika, ovärderliga [113] kollektion med dagens nätverksteknik och dela den med nära invånare såväl som internationella.

Tekniken har sett framsteg sedan man på museum kunde låna ljudguider på kassettband eller CD. Nu vill forskarna få fram effektivare sätt genom att låta besökarna utnyttja sina medhavda mobiltelefoner och handdatorer [114]. Med VR, AR, MR och haptisk teknik kan museum hitta nya sätt att besvara besökarnas frågor [67] [43] [22] [72]. Museiansvariga som är framåtsträvande inser vilka publikmagneter datorsimuleringar kan vara och införlivar tekniken i museets vanliga presentationsmetoder [22]. Det är viktigt att utställningarna görs relevanta för dagens behov [41]. Genom sociala möten och spendera tiden i en behagligt givande miljö vill besökarna aktivt delta för att insupa nya kunskapsupplevelser som leder till ökad förståelse. Så länge museum tillgodoser och höjer besökarnas förväntan har de chansen att existera [115] [116].

Digitaliseringsprocessen skapar fler frågor hos museum än för bibliotek eftersom bibliotek inte långt när har lika många unika föremål. Museer har dessutom både 2D och 3D objekt som täcker områden som vetenskap, konst, arkitektur och kultur [1]. Ingen av dem kan dock fungera och tillfredsställande anses vara virtuella destinationer förrän långtidsbevaringen av digital data har lösts. I främjandet av digital bevaring öronmärkte kongressen i USA vid millennieskiftet några hundra miljoner dollar. Under programmet Informations Samhällets Tekniker (IST) har också EU initierat flera forskningsprojekt men det uppskattas att arkiv av varierande slag endast till en procent har digitaliserats hittills. Frågor de möter är om det överhuvudtaget är möjligt eller värt att bevara och vem ska avgöra och vem ska genomföra? Administrativa likväl finansiella aspekter och upphovsrätt måste överkommas. Teknikens framfart gör att digitalt bevarad data inom en snar framtid kanske inte är kompatibla med mjukvaran [110]. I sin artikel "Ensuring the Longevity of Digital Information" [108] proklamerar Jeff Rothenberg:

*"Digital information varar för evigt – eller 5 år, vilket som kommer först." (Översatt från engelska).*

Stora mängder minnesutrymme går åt till att digitalt dokumentera kulturskatter eftersom minsta detalj kan vara viktig i framtida analyser [20]. Begränsad kapacitet när det gäller datorer och internet kan tvinga fram val mellan antingen hög kvalitet eller att användarna ska kunna navigera i visualiseringarna [32]. Det gör att det kan finnas broar av förståelse som behöver byggas mellan konservatorer med historisk information och datorgrafiker med teknisk kunskap [117] för att skapa lyckade resultat.

## 6.2. Virtuella museer

Ett virtuellt museum kan finnas på nätet eller vara en del av ett fysiskt museum genom interaktiva mediabås eller väggstora skärmar som kan dela samma digitala föremål oändligt antal gånger om till lika många personer, endast begränsad av uppkopplingskostnad, hastighet och infrastruktur [108] [118]. Besökare som upplever varierande begränsningar såsom geografiska eller i kropp, sinne och språk ser möjligheter [44]. Det virtuella museet har gemensamma nämnare med både bibliotek och mediasändningar; de är alla tre för nöjes skull liksom för att undervisa och informera, de berättar historier och argumenterar [67]. Virtuella museer kan fylla flera av de fysiska museers funktioner men de varken syftar till eller kan ersätta dem [67] [118]. De kan ses som reflektioner, en förlängning.

För bästa användbarhet ska ett virtuellt museum uppvisa en icke förnimbar gräns mellan designen och materialet, väl fungerande struktur, ett tydligt identifierat mål, bra balans mellan inläring och nöje utan tunga stycken av text [27]. Användarna har samma krav som inför vanliga museibesök, nöje och kunskap, men här uppskattas också estetiskt tilltalande utseende [119]. I designen av gränssnittet och kvalitén av mjukvaran ska orden "lättanvänt" och "användbart" malas in [111]. Informationen som ska förmedlas får inte dränkas av den nya teknikens förföriska men ibland alltför dramatiskt visuella framtoning som kan göra den ovana besökaren förvirrad [120]. Tydligare än både muntlig och skriven form hävdas bilden vara, men för den som är ovan att tolka historiska artefakter och behandlar ett digitalt museum på samma sätt som TV:n: genom att zappa runt, behövs komplementär information och chans till strukturerade guidningar för att inhämta kunskap [27] [110]. Svårigheten att förmedla service över nätet är betydlig men inte ett giltigt skäl för att föra den vidare till användaren som kan bestå av både professionella forskare och minderåriga, alla användare kan ha viktig återkoppling som regelbundet behöver hör [121] [67]. När varje föremål kan ha obegränsad information, bilder, ljud och videoklipp länkade till sig, kommer sökmotorer bli lika viktiga som innehållet för användare som kan skraddarsy besök efter behov och önskemål [108] [122]. Än finns begränsningen med dataskärmarnas storlek [108] men det kommer säkert förändras när familjens splittrade mediautrustning och -mottagning kopplas ihop till en central. Ett ICOM (internationell museiorganisation) stött internet register är "Virtual Library museums pages" (VLmp) som för statistik över antalet besökare till anslutna sidor men det är oklart huruvida det är enkla informationsidor eller även virtuella museum. VLmp framhåller vikten av sidors kompatibilitet med varierande webbläsare och datorskärmars upplösningar och anser vidare att speciella insticksprogram ska hållas till ett minimum [123].

Finns det nog interaktivitet i de virtuella kulturskatterna [124] för att attrahera besökare? Interaktivitet är en möjlighet och aktivt deltagande leder till större inläring [66]. I virtuella museer kan besökaren få frihet att designa sina egna turer, vilka föremål som ska inkluderas från vilket tema och hur mycket information som ska förmedlas [67]. Utifrån den informationen skapas sedan ett virtuellt rum vars storlek och antal föremål bestäms av de tidigare nämnda variablerna [124]. Även i interaktiva skärmupplevelser är kontakten mellan människor viktig och än finns tekniska restriktioner för att flera användare tillsammans ska kunna delta [108]. Detta är ett problem som vissa lärande spel har överkommit.

Tester har utförts på skolelever i skiftande ålder för att utröna om de lättare förstår tidsrymden genom virtuella 3D miljöer, som om de åkte i en tidsmaskin. Första testet beskrev en uppbyggd planetens historia som platser i tiden för att alla högskolestudenter skulle vara på samma kunskapsnivå. De presterade bättre än efter endast en uppritad tidslinje. Dock visade tre andra tester där jordens historia beskrevs, att optimismen om ett nytt läromedel hade varit överdrivet. Kanske hade de utvalda historiska händelserna inte varit tillräckligt lockande eller testtiden inte lång nog. Lärande spel kanske inbjuder till längre tidsengagemang. Elever från grundskolan svarade oftare rätt efter tecknad tidslinje än efter både VR och 2D presentations program på datorn [125].

Som del utav en nationell tio års plan i Singapore ville forskare analysera hur användningen av interaktiva och digitala medieredskap kunde främja lärandet. Bilder, ljud och text användes av tonåringar i skapandet utav skolprojektet MUSE, en utökad virtuell miljö som skulle beskriva unga människors kulturella liv samtidigt som eleverna utvecklade sin fantasi, tekniska och kreativa förmåga. 16 olika gallerier skapades varav en projicerade lokala turistattraktioner i 3D över en fysisk karta i klassrummet. Elevernas nyfikenhet stimulerades, de arbetade bra i grupper och även om inte

alla elever uppvisade en ökad medvetenhet kring teknikernas inverkan så var det ändå uppmuntrande resultat [126].

MOSAIC är ett projekt som vill undersöka hur europeiskt kulturarv kan synliggöras i en nätverksstruktur som är finansiellt självförsörjande. Museum har möjlighet att ta ut avgifter för nedladdning och informationsåtkomst [114] eller efter skapandet av en korrekt 3D artefakt kan den säljas vidare [127]. På så sätt kan museum få igen investeringen i teknik och utbildning som krävs för att bygga upp ett virtuellt museum. En filformat standard ska utarbetas för smidigare datautbyte mellan olika platser som ska kunna ge varierande information beroende på om användaren kollar över nätet eller internt på museet [114].

Virtual Inspector fokuserar på ett lätthanterligt och -förståligt sätt att skapa virtuella utställningar för museipersonal. Systemet satsar på maximal prestanda och naturlig interaktion när det gäller hämtning och manipulering av högupplösta filer i LOD teknik, via nätet eller internt. På 3D modellerna kan markeringspunkter fästas som länkar till andra typer av information, åtkomliga via webbläsare [128].

Ytterligare en metod presenteras i artikeln om Utökad Representation av Kulturhistoriska Objekt, "ARCO". På bara några minuter kan en besöksgruppsanpassad utställning tillämpas för visning över internet eller via mediabås med pekskärm [112]. Passiva åskådare förvandlas till aktiva deltagare när de bläddrar i en fysisk bok med lokaliseringpunkter på varje blad. Samtidigt som de bläddrar filmar en webbkamera och visar upp boken i realtid på en datorskärm vars ARCO webbläsare placerar 3D föremål ovanpå. Varje artefakt kan ses från skiftande vinklar. Till vilken nivå deltagarna förlorade koll på tiden utvärderades tillsammans med deras egen uppskattning av hur väl de lyckades i försöket. Kontroll över navigation var viktigt för användarna som även föredrog instruktionsvideo än den ursprungliga i skriven form full med tekniska termer. Museipersonalen såg gärna skydd för artefakterna liksom för användarnas personinformation och mot otillåtet systemintrång. Arbetet med ARCO visade att deltagarnas upplevelser inte hade samband med tidigare datorvana och därmed öppnas den virtuella museidörren även för nyfikna nybörjare [43].

## 7. Diskussion

### 7.1. Hur bra kan datorgrafik ersätta fysiska föremål?

Är originalet eller känslan av autenticitet viktigast? Autentiska ting är bevis, en fysisk länk från svunna tider och frågan är hur mycket av sin aura av äkthet de kan överföra till digitala kopior som ofta anses vara temporära och ofrånkomligt moderna. Maorifolket på Nya Zeeland anser datorgrafik vara lika livaktigt som originalobjekten [95]. Så fort ett föremål visas upp av museum som är medbestämmande i vad som ska bevaras, så får föremålet en helig, lite mystisk aura kring sig [27]. Originalet för historien om dess ursprung vidare till och genom kopian och ger den därmed värde. En visualisering utan historia väcker inte intresse. Lika viktig som den historiska dimensionen är tekniken i sig själv, visar en studie som säger att "3D" och "virtuell verklighet" väcker viss förväntan hos besökaren [83]. Kanske har den digitala tidsåldern tagit något av glansen [27] från fysiska objekt? Filmen "Sagan om ringen" suddar ut gränsen mellan datorgenererad och fysisk natur och ändå vallfärdar turister till Nya Zeeland för att uppleva det 'autentiska' Midgård. Samma känslor framkallas av verklighet som uppdiktad. Det värdefullaste upplevdes i att fysiskt vara på platsen där sammansmältningen mellan myt och verklighet skett:

*"att jag kan gå på dessa fält är magiskt eftersom jag fortsätter vända mig om letandes efter Gandalf eller Frodo eller någon. Och samtidigt kan jag böja mig ner och röra vid gräset."* (Översatt från engelska) [129].

All kunskap och erfarenhet en människa har bildar en komplex värdering av vad autenticitet är, men det gör det inte mindre äkta. Om en påhittad saga i en datorgrafisk värld kan åsamka starka känslor borde det än mer vara sant för t.ex. en 3D visualisering av ett tempel i Grekland, det kan man besöka, det är verkligt, eller fanns förr i tiden. Så länge ingen information går förlorad i överföringen kanske frågan om hur äkta en digital kopia kan bli, [27] inte är så relevant?

## 7.2. Fotorealism eller inte?

Tidigare fanns det s.k. syntetiska utseendet inom datorgrafik men nu är det omöjligt för ett otränat öga att urskilja vad som är verkligt eller datorgenererat i en visualisering [39]. Det har lett till frågan om fotorealism ska användas till historiska visualiseringar där osäkerheten är stor. En alltför fotolikhande representation kan felaktigt ge betraktaren illusionen att vetenskapen vet mer än den faktiskt gör, just eftersom bilden är så detaljerad. Filosofiska paralleller kan dras till Platons grotta där människor ser skuggbilder som verkliga istället för representation av verkligheten [67]. Fotorealism är tilltalande för ögat men en enklare bild med neutrala färger kan tjäna sitt syfte mer som en representation av hur historien kan ha sett ut och därifrån får var och en dra slutsatser i sin upptäckt efter sanningen [83]. Samtidigt får förenklingen utav bilden inte ta bort de detaljer som är avgörande för autenticiteten [4]. Datorgrafikern tillsammans med arkeologen måste vara medvetna om vad färger samt texturer kan utstråla och försiktigt skapa en bild utifrån den begränsade information som finns. Ena sidan tycker det borde vara en uppenbar visuell skillnad i bilden mellan vad som är bevisat och spekulationer [130] medan andra hävdar att själva upplevelsen blir lidande av denna medvetenhet. Att datorgrafiker vill visa upp nya dramatiska tekniker [131] [45] på bekostnad av arkeologisk riktighet [130], hoppas undertecknad tillhör datorgrafikens barndom men även om maffiga effekterna uppfyller en del av sitt syfte med publik tillströmning [67] får ingen konstnärlig frihet tillåtas tumma på faktagrunden [132].

## 7.3. Hur säkra kan vi vara på att vi vet vad som hänt i historien?

Spekulationer kan uppstå bland historiker när fragment från artefakter saknas, symboler är suddiga, objektets användningsområde är svårtytt eller nedtecknade vittnesuppgifter går isär. Misstag eller skenande fantasi kan leda till att personliga tolkningar förs vidare [67]. Historisk kunskap härstammar från eget och andras minne, skriven historia och bevisföremål. Ögonvitnesskildringar färgas alltid av personens tidigare erfarenheter och åsikter och minnen kan blekna och förvrängas såsom föremål går sönder och försvinner. Historien kan inte bevisas, bara tolkas. Om simuleringar tar bort byggnader, en aldrig sinande ström av bilar och störande trafikskyltar som skymmer sikten framför en kyrka, och därigenom skapar en bild av kyrkan så som betraktarna i verkligheten omöjligt kan se den, ska det då anses som en historieförvrängning? När vi inte med säkerhet vet hur en byggnad såg ut kan en kompromiss vara att modellera grå klossar som historiskt korrekt antyder att det fanns en struktur på platsen, även om det kan sänka upplevelsen [83] [45]. En del forskare har framfört teorin att ingen arkeologisk artefakt fullt ut kan förstås om den tas från omgivningen där den hittades [28] men med datorns hjälp kan objektet simuleras tillsammans med sin omgivning. När hypoteser har dubbelkollats och jämförts med liknande fall kan de hävdas vara fakta eller en hypotes med mer eller mindre säkerhet [130]. I historieforskningen inför filmningen av "Titanic" säger sig James Cameron ha insett att även de berömdaste ögonblicken som bäst är en uppskattning [34].

## 7.4. Hur riktiga kan tidsmaskinerna bli?

VR är en del av konsten och som sådan är den en tolkningsfråga som folk från olika kulturer och historia tolkar olika och ger olika innebörd [27]. Även om detta alltid kommer vara sant och folk därmed är olika mottagliga så utvecklas tekniken framåt för allt starkare sinnesintryck. Visuell Tids Transport (VTT) kan bli verklighet och flera människor kan tillsammans återupptäcka forntiden och sen är det bara fantasin som sätter gränser för användningen inom forskning och kunskapsinläring.

Psykologisk nedsänkning kallas det när böcker eller film transporterar betraktaren in i en annan värld så till den grad att man är mer där än här. Närvaron blir intensivare ju fler sinnen som stimuleras varefter interaktivitet gärna implementeras. Samma känsla av luftgropar i flygplan kan erhållas på bio när vi följer hjälten över stupet och intrycket förstärks i 3D miljöer. När virtuella objekt känns lika sinnliga som faktiska objekt och man inte längre kan avgöra om man är i den fysiska eller skapta världen, har man uppnått den närvaro som eftersträvas och är motivationen inom VR. En studie har visat att kontakt är viktigt för känslan av närvaro. Spel upplevdes intensivare om man fick spela mot en annan människa, gärna flera stycken. För vissa är upplevelsen i den gemensamma VR världen

så stark att vänskapen jämförelsevis eller anses bättre än de fysiska vännerna [39]. Eftersom känslan av kontakt är så viktig är det konstigt att inte fler visuella rekonstruktioner innehåller självreagerande agenter för att popularisera platserna för vad är en värld utan liv? Artificiell Intelligens härmar mänsklig intelligens och gör de simulerade agenter kapabla att umgås och forma grupper och nätverk. Neurala Nätverk är en AI teknik som simulerar hjärnans tankegångar. Genetiska Algoritmer utvecklar slutledningsförmåga, Regelbaserad AI lär logik och Bayesianska Tekniker räknar sannolikhet. Artificiellt Liv simulerar varierande livsformer för att härma sina fysiska ursprung. De är kapabla att växa, fortplanta sig, anpassa, konkurrera och utvecklas. Beteenden hos fiskar, fåglar, träd och skiftande klimat har det redan skrivits fungerande algoritmer för.

Redan på femtiotalet demonstrerades ”Sensorama” en virtuell cykeltur i New York som vid förutbestämda punkter lutar cykeln, utlöser doft och fläktande vind och är utrustad med stereoljud. En VR miljö som avger doft och strålar ut värme har utvecklats som träningsprogram för brandmän. Det finns apparater som spårar en person innan den skjuter ut doft med en luftkanon precis på näsan. Realtids blandning av dofter har också utvecklats. Som tidigare nämnts finns haptiska robohandskar som utövar tryck som uppfattas som fysiska former.

Experimentell arkeologi ger fakta om historiska föremåls material genom det praktiska byggandet med användning av då tillgängliga tekniker. Empirisk VTT som kan få större genomslag i framtiden, handlar om att vinna historisk erfarenhet genom interaktiva upplevelser [39] såsom att segla med vikingar, åka i första vasaloppet eller vara delaktig i försvaret av Gotlands ringmur. I framtiden när alla fem sinnen samtidigt kan stimuleras, vilket än har tekniska begränsningar, kan VTT överträffa den fysiska historieplatsen i och med att förhistoriska växter och intelligenta djur och människoliknande agenter kan simuleras så de ser, lukar, låter och känns riktiga.

## 7.5. Faror med tekniken?

Inte än, men i framtiden när det inte går att skilja verklighet från virtuell miljö, hur ska vi då förhålla oss? När tekniken kommit så långt är det försent att stoppa stenens rullning. I en artikel diskuterar M. Cranford [133] om drömda scenarion där VR används för att framkalla hallucinationer liknande droger. Hur kommer den mänskliga naturen förändras? En utmärkt varning finns i jämförelsen med TV:s inflytande över människors liv och tid. Det finns människor som vet mer om karaktärer i såpor än de vet om sina grannar. Det finns människor som har närmare relation till TV:n än de har till sina vänner. Människan söker efter metoder för djupare nedsänkning och VR lovar att bli något vi på teknisk väg inte upplevt tidigare. Det var år sedan datorer slutade vara enbart administrativa lagerlokaler och gränssnitten utvecklas för att kännas naturliga och att sudda ut gränsen mellan användaren och datorn. Människan ska inte se bilden *på* skärmen utan ska se *genom* skärmen till illusionens värld.

*”Vår kärleksaffär med datorer, datorgrafik, och datornätverk går djupare än estetisk fascination och djupare än att sätta känslorna i spinn. Vi letar efter ett hem för sinnet och hjärtat.” (Översatt från engelska)[133].*

Så länge människan fortsätter spendera miljarder på tekniskt avancerade nöjen så kommer vinstdrivande företag följa en teknik med intensiva och känslomässigt engagerande visuella effekter som tilltalar användarens lust att konsumera. Även VR tillämpningar vars huvudsyfte ligger utanför underhållningsbranschen är för deltagaren en källa till nöje. När skillnaden mellan världarna blir transparent kan människor finna den skapta bättre och mer tid tillbringas där än i verkliga livet. Men vem är det som bestämmer vad som räknas som riktigt [133] och viktigt för en annan människa?

## 7.6. Moral/Etik i datavärlden?

I och med de nya möjligheterna som teknikerna presenterar kommer oro för att de kan åstadkomma oförutsedda problem [67]. Som barn var vi tvungna att acceptera världens fysiska begränsningar och det lockar oss att utforska en virtuell värld där dessa restriktioner kan upphävas och vi är fria att välja

vem vi vill vara och vilka egenskaper vi ska ha. Spel som inkluderar gränser tappar sin attraktionskraft och regler och konsekvenser bör sänkas till den lägsta nivå som behövs för att upprätthålla den virtuella världens struktur. Användaren måste tillåtas att göra misstag utan att spelet omedelbart avslutas. Men om ingenting finns att förlora, vad är det som stoppar spelaren från att behandla andra individer okänsligt? Detta beteende kan bli en vana som överförs till verkligheten och risken ökar ju verkligare händelsen låter, ser ut och känns i den virtuella världen. Om möjligheten finns att leva ut gömda fantasier kanske det motsatta händer, att det anses tillräckligt [133] och blir ett hälsosamt sätt att ventilerar dessa känslor?

## 8. Slutsats

I studien har de skiftande hoten mot historiska lämningar beskrivits. De kommer från naturligt sönderfall men också klimat och människan själv. Med lärdomar från historien kan mänskligheten ta framgångsrika beslut i framtiden och motverka fördomar mot andra kulturer [134] och det motiverar bevaring av artefakter. Vad kan och har datorgrafik tillfört historiska visualiseringar? Fördelar 3D modeller har gentemot originalen radades upp. De är inte bara ett modernt sätt att visa upp fynd från arkeologiska utgrävningar; 3D modeller går att testa önskat antal arbetshypoteser på, de kan spridas över världen till människoantal stora som telefonnummer, de utsätts inte för slitage. Kort sagt är 3D modeller ett nytt sätt att se på historien [2]. Läsaren gavs en kort översikt av datorgrafikens och museers uppkomst. Vilka tekniker används? Varierande metoder för datainsamling, modellering, texturering och presentation avhandlades. Flera branscher jobbar på olika håll mot samma mål: att ta fram verktyg som får illusionen att suddas ut gränsen för vad vi känner är verklighet [65]. Tekniken har nu kommit tillräckligt långt för att tillfredsställa konservatorns behov av dokumentation, historikerns behov av tolkning och allmänhetens önskan efter fotorealism [135]. Trenden går mot automatisering och tekniker som inte fysiskt behöver vidröra föremål. Vilka visualiseringar har genomförts? Svaret presenterade en nyanserad bild av existerande visualiseringar genomförda med olika metoder, omfång och resultat. Hur drar museer nytta av de nya teknikerna? De kan visa upp fler unika och sköra föremål. Internationella turister lockas via internet och besökare på plats får uppleva nya dimensioner och ges ytterligare information via de nya teknikerna. Vilka frågor väcker datorgrafik inom arkeologin? Det diskuterades om 3D-modeller kan ersätta föremål och om fotorealism ska användas. Osäkerhet är en säkerhet inom arkeologi [2] men arkeologer kan testa sina hypoteser på 3D modeller för att uppnå ny säkerhet och som bevaring för framtiden.

## 9. Framtida utmaningar

Vad kan förbättras till framtida visualiseringsprojekt? Flera forskare har från experiment dragit samma slutsats: system som i större utsträckning kan agera självständigt genom hela arbetsprocessen utan inblandning av människor är nödvändigt för vidare utbredning av tekniken [91] [69] [10] [77]. Andra områden som kan förbättras inkluderar:

- Högre riktighet från mätningialgoritmer i skanners så samma precision utförs med mindre brus med följden att datamängden minskas [52].
- Automatisk identifiering och separering från enhetligt punktmoln till geometriskt intressanta former såsom hatt från huvud eller gatunät från stad [69].
- För att öka upplevelsen och blåsa liv i framtida visualiseringar utav sterila föremål och kala byggnader kan det vara önskvärt att integrera fler simulerade människor.
- VR tekniker utnyttjas inte till fullo idag även om tekniken är vida känd. Inom ämnet finns fler möjligheter att utforska [68] [82] [136].
- För att kunna inhämta kunskap från större delen av de metoder som beskrivits i denna avhandling krävs en viss nivå av datorvana vilket automatiskt utesluter en del människor [67]. I utvecklingen av teknik görs emellertid ständigt åtgärder för att öka förståelsen och underlätta användning såsom studier av instinktiva gränssnitt i kontakten mellan människa och dator.



## 10. Tack

Stefan Seipel som varit examinerare,  
Totte Jonsson som har varit handledare,  
Caroline, Cama och Annica som bidragit med diskussion och uppmuntran,  
Mina föräldrar för all hjälp och stöd,  
Fruntimmersamfundets Stiftelse på Gotland,  
Anna & Allon de Jounges stiftelse,  
Gävle Kommun för IT stipendium,  
Högskolan i Gävle,  
Gud för sol och värme

## 11 Litteraturförteckning

- [1] Y. Tonta, "Libraries and museums in the flat world: Are they becoming virtual destinations?", *Library Collections, Acquisitions, and Technical Services*, vol. 32, nr 1, pp. 1-9, 2008.
- [2] H. Rua och P. Alvito, "Living the past: 3D models, virtual reality and game engines as tools for supporting archaeology and the reconstruction of cultural heritage - the case-study of the Roman villa of Casal de Freiria", *Journal of Archaeological Science*, vol. 38, nr 12, pp. 3296-3308, 2011.
- [3] S. Tillit, "Preserving the Past", *Computer Graphics World*, vol. 31, pp. 8-9, 2008.
- [4] D. Worthing och J. Counsell, "Issues arising from computer-based recording of heritage sites", *Structural Survey*, vol. 17, pp. 200-210, 1999.
- [5] A. C. Addison, "Virtual heritage: technology in the service of culture", i *Proceedings of the 2001 conference on Virtual reality, archeology, and cultural heritage*, New York, NY, USA, 2001, pp. 343-354.
- [6] P. Arias, J. Armesto, D. Di-Capua, R. Gonzalez-Drigo, H. Lorenzo och V. Pérez-Gracia, "Digital photogrammetry, GPR and computational analysis of structural damages in a mediaeval bridge", *Engineering Failure Analysis*, vol. 14, nr 8, pp. 1444-1457, 2007.
- [7] P. Dähne och J. N. Karigiannis, "Archeoguide: System Architecture of a Mobile Outdoor Augmented Reality System", i *Proceedings. International Symposium on Mixed and Augmented Reality, 2002. ISMAR 2002*, 2002, pp. 263-264.
- [8] E. Metaxa, T. Agelakopoulou, I. Bassiotis, C. Karagianni och F. Roubani-Kalantzopoulou, "Gas chromatographic study of degradation phenomena concerning building and cultural heritage materials", *Journal of Hazardous Materials*, vol. 164, nr 2-3, pp. 592-599, 2009.
- [9] J. Holden, L. J. West, A. J. Howard, E. Maxfield, I. Panter och J. Oxley, "Hydrological controls of in situ preservation of waterlogged archaeological deposits", *Earth-Science Reviews*, vol. 78, nr 1-2, pp. 59-83, 2006.
- [10] S. F. El-Hakim, J.-A. Beraldin, M. Picard och G. Godin, "Detailed 3D Reconstruction of Large-Scale Heritage Sites with Integrated Techniques", *Computer Graphics and Applications, IEEE*, vol. 24, pp. 21-29, 2004.
- [11] N. Stanley-Price, "Preventive Measures and Recovery", *Museum Management and Curatorship*, vol. 16, nr 2, pp. 155-159, 1997.
- [12] R. Helmick, "Virtues of verisimilitude in design and art", *Computers & Graphics*, vol. 19, nr 4, pp. 505-507, 1995.
- [13] S. ICOM, *Svenska ICOM*.
- [14] C. L. Ogleby, "Advances in the digital recording of cultural monuments", *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 50, pp. 8-19, 1995.
- [15] A. Chalmers och H. Rushmeier, "Computer Graphics in Art History and Archaeology", *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 22, pp. 22-23, 2002.
- [16] P. Allen, S. Feiner, L. Meskell, K. Ross, A. Troccoli, B. Smith, H. Benko, E. Ishak och J. Conlon, "Digitally Modeling, Visualizing and Preserving Archaeological Sites", *Digital Libraries, Joint Conference on*, vol. 0, pp. 389-389, 2004.

- [17] K. Hisatomi, K. Tomiyama, M. Katayama och Y. Iwadate, "Method of 3D Reconstruction Using Graph Cuts, and its Application to Preserving Intangible Cultural Heritage", i *Computer Vision Workshops (ICCV Workshops), 2009 IEEE 12th International Conference on*, 2009, pp. 923-930.
- [18] A. N. Andrés, F. B. Pozuelo, J. R. Marimon och A. de Mesa Gisbert, "Generation of virtual models of cultural heritage", *Journal of Cultural Heritage*, vol. 13, nr 1, pp. 103-106, 2012.
- [19] P. Arias, J. Herraéz, H. Lorenzo och C. Ordonez, "Control of structural problems in cultural heritage monuments using close-range photogrammetry and computer methods", *Computers & Structures*, vol. 83, nr 21-22, pp. 1754-1766, 2005.
- [20] G. Godin, J.-A. Beraldin, J. Taylor, L. Cournoyer, M. Rioux, S. El-Hakim, R. Baribeau, F. Blais, P. Boulanger, J. Domey och M. Picard, "Active optical 3D imaging for heritage applications", *Computer Graphics and Applications, IEEE*, vol. 22, nr 5, pp. 24-35, sep/oct 2002.
- [21] F. Bruno, S. Bruno, G. D. Sensi, M.-L. Luchi, S. Mancuso och M. Muzzupappa, "From 3D reconstruction to virtual reality: A complete methodology for digital archaeological exhibition", *Journal of Cultural Heritage*, vol. 11, nr 1, pp. 42-49, 2010.
- [22] E. Berndt och J. C. Teixeira, "Cultural Heritage in the Mature Era of Computer Graphics", *Computer Graphics and Applications, IEEE*, vol. 20, pp. 36-37, 2000.
- [23] J. Happa, M. Williams, G. Turley, G. Earl, P. Dubla, G. Beale, G. Gibbons, K. Debattista och A. Chalmers, "Virtual relighting of a Roman statue head from Herculaneum: a case study", i *Proceedings of the 6th International Conference on Computer Graphics, Virtual Reality, Visualisation and Interaction in Africa*, New York, NY, USA, 2009, pp. 5-12.
- [24] F. I. Apollonio, M. Gaiani och B. Benedetti, "3D reality-based artefact models for the management of archaeological sites using 3D Gis: a framework starting from the case study of the Pompeii Archaeological area", *Journal of Archaeological Science*, vol. 39, nr 5, pp. 1271-1287, 2012.
- [25] G. Boyd, "Why the arts need cybernetics for our long-term viability", *Kybernetes*, vol. 40, pp. 976-983, 2011.
- [26] M. L. R. D. Robles-Ortega, F. R. Feito, J. J. Jiménez och R. J. Segura, "Web technologies applied to virtual heritage: An example of an Iberian Art Museum", *Journal of Cultural Heritage*, nr 0, pp. - , 2011.
- [27] M.-C. Tang, "Representational practices in digital museums: A case study of the National Digital Museum Project of Taiwan", *The International Information & Library Review*, vol. 37, nr 1, pp. 51-60, 2005.
- [28] D. Kaimaris, S. Sylaiou, O. Georgoula och P. Patias, "GIS of landmarks management", *Journal of Cultural Heritage*, vol. 12, nr 1, pp. 65-73, 2011.
- [29] D. Miyazaki, M. Kamakura, T. Higo, Y. Okamoto, R. Kawakami, T. Shiratori, A. Ikari, S. Ono, Y. Sato, M. Oya, M. Tanaka, K. Ikeuchi och M. Aoyagi, "3D Digital Archive of the Burghers of Calais", i *VSM '06 Proceedings of the 12th international conference on Interactive Technologies and Sociotechnical Systems*, 2006, pp. 399-407.
- [30] L. Moltedo, G. Mortelliti, O. Salvetti och D. Vitulano, "Computer aided analysis of the buildings", *Journal of Cultural Heritage*, vol. 1, nr 1, pp. 59-67, 2000.
- [31] H. S. Moon, T. You, H. W. Yoo, M. H. Sohn och D. S. Jang, "A recovery system of broken relics using least squares fitting and vector similarity techniques", *Expert Systems with Applications*, vol. 28, nr 3, pp. 469-481, 2005.
- [32] A. Lanitis och G. Stylianou, "e-Restoration of Faces Appearing In Cultural Heritage Artefacts", i *Virtual Systems and Multimedia, 2009. VSM '09. 15th International Conference on*, 2009, pp. 15-20.
- [33] Y. A. Petrova, I. V. Tsimbal, T. V. Laska och S. V. Golubkov, "Practice of using virtual reconstruction in the restoration of monumental painting of the Church of the Transfiguration of Our Saviour on Nereditsa Hill", i *Information Visualisation (IV), 2011 15th International Conference on*, 2011, pp. 389-394.
- [34] F. Terry-Chandler, "Vanished Circumstance: Titanic, heritage, and film", *International Journal of Heritage Studies*, vol. 6, pp. 67-76, 2000.
- [35] M. Callieri, P. Cignoni, R. Scopigno, G. Gori och M. Risaliti, "Beyond manual drafting: a restoration-oriented system", *Journal of Cultural Heritage*, vol. 7, nr 3, pp. 214-226, 2006.
- [36] C. Machover, "Springing into the fifth decade of computer graphics: where we've been and where we're going!", i *Proceedings of the 23rd annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, New York, NY, USA, 1996, pp. 513-514.
- [37] J. Krasner, *Motion Graphic Design*, P. Temme, Red., Elsevier Inc., 2008, pp. 16-17.
- [38] I. Kerlow, *The Art of 3D Computer Animation and Effects*, 4 red., I. Kerlow, Red., John Wiley & Sons, Inc., 2009, pp. 4-36.

- [39] E. Ch'ng, "Experiential archaeology: Is virtual time travel possible?", *Journal of Cultural Heritage*, vol. 10, nr 4, pp. 458-470, 2009.
- [40] S. E. Weil, "The Museum and the Public", *Museum Management and Curatorship*, vol. 16, pp. 257-271, 1997.
- [41] P. J. Boylan, "Universities and Museums: Past, Present and Future", *Museum Management and Curatorship*, vol. 18, nr 1, pp. 43-56, 1999.
- [42] K. Nerngchamnong, S. Kaviya och Y. Fujii, "World Heritage City Surveillance System by a Smart CCTV System", i *2nd International Science, Social Science, Engineering and Energy Conference 2010: Engineering Science and Management*, 2011, pp. 321-327.
- [43] S. Sylaiou, K. Mania, A. Karoulis och M. White, "Exploring the relationship between presence and enjoyment in a virtual museum", *International Journal of Human-Computer Studies*, vol. 68, nr 5, pp. 243-253, 2010.
- [44] B. Booth, "Understanding the Information Needs of Visitors to Museums", *Museum Management and Curatorship*, vol. 17, nr 2, pp. 139-157, 1998.
- [45] J. D. Richards, "Recent Trends in Computer Applications in Archaeology", *Journal of Archaeological Research*, vol. 6, pp. 331-382, 1998.
- [46] J. J. LaViola och D. F. Keefe, "3D spatial interaction: applications for art, design, and science", i *ACM SIGGRAPH 2011 Courses*, New York, NY, USA, 2011, pp. 1-75.
- [47] R. Li, T. Luo, H. Zha och W. Lu, "Computer-Assisted Archaeological Line Drawing", *Computer*, vol. 44, pp. 62-65, 2011.
- [48] N. A. Haddad, "From ground surveying to 3D laser scanner: A review of techniques used for spatial documentation of historic sites", *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, vol. 23, nr 2, pp. 109-118, 2011.
- [49] A. P. Spring, C. Peters och T. Minns, "Using Mid-Range Laser Scanners to Digitize Cultural-Heritage Sites", *Computer Graphics and Applications, IEEE*, vol. 30, pp. 15-19, 2010.
- [50] F. Bernardini, H. Rushmeier, I. M. Martin, J. Mittleman och G. Taubin, "Building a Digital Model of Michelangelo's Florentine Pietà", *Computer Graphics and Applications, IEEE*, vol. 22, pp. 59-67, 2002.
- [51] H. Carlsson, "Modeling method to visually reconstruct the Historical Vasa Ship with the help of a 3D scanned point cloud", 2011.
- [52] B. Ergun, "A novel 3D geometric object filtering function for application in indoor area with terrestrial laser scanning data", *Optics & Laser Technology*, vol. 42, nr 5, pp. 799-804, 2010.
- [53] R. Fontana, M. Greco, M. Materazzi, E. Pampaloni, L. Pezzati, C. Rocchini och R. Scopigno, "Three-dimensional modelling of statues: the Minerva of Arezzo", *Journal of Cultural Heritage*, vol. 3, nr 4, pp. 325-331, 2002.
- [54] J. C. T. L. Lerma, S. Navarro, M. Cabrelles och V. Villaverde, "Terrestrial laser scanning and close range photogrammetry for 3D archaeological documentation: the Upper Palaeolithic Cave of Parpalló as a case study", *Journal of Archaeological Science*, vol. 37, nr 3, pp. 499-507, 2010.
- [55] P. M. Leronés, J. L. Fernández, Á. M. Gil, J. G. Garcia-Bermejo och E. Z. Casanova, "A practical approach to making accurate 3D layouts of interesting cultural heritage sites through digital models", *Journal of Cultural Heritage*, vol. 11, nr 1, pp. 1-9, 2010.
- [56] A. Balsamo, A. Chimienti, P. Grattoni, R. Nerino, G. Pettiti, M. L. Rastello och M. Spertino, "Active vision applications to cultural heritage acquisition and monitoring", *Journal of Cultural Heritage*, vol. 7, nr 2, pp. 98-109, 2006.
- [57] G. Earl, K. Martinez och T. Malzbender, "Archaeological applications of polynomial texture mapping: analysis, conservation and representation", *Journal of Archaeological Science*, vol. 37, nr 8, pp. 2040-2050, 2010.
- [58] É. Meyer, P. Grussenmeyer, J.-P. Perrin, A. Durand och P. Drap, "A web information system for the management and the dissemination of Cultural Heritage data", *Journal of Cultural Heritage*, vol. 8, nr 4, pp. 396-411, 2007.
- [59] C. Ozmen och S. Balcisoy, "Bi-manual Interactive Tools for Cultural Heritage Researchers", i *2008 International Conference on Cyberworlds*, 2008, pp. 439-446.
- [60] I. Paliokas, V. Buda och I. A. Robert, "ARCHAEO VIZ: A 3D Explorative Learning Environment of Reconstructed Archaeological Sites and Cultural Artefacts", i *Proceedings of the 2010 International Conference on Signal Processing and Multimedia Applications (SIGMAP)*, 2010, pp. 211-214.

- [61] K. Apaza-Agüero, L. Silva och O. P. Bellon, "Parameterization and appearance preserving on cubic cells for 3D digital preservation of cultural heritage", i *Image Processing (ICIP), 2011 18th IEEE International Conference on*, 2011, pp. 2593-2596.
- [62] C. Colombo, A. D. Bimbo och F. Pemicci, "Shape reconstruction from a single photograph for 3d object retrieval and visualization", i *Multimedia and Expo, 2002. ICME '02. Proceedings. 2002 IEEE International Conference on*, 2002, pp. 897-900.
- [63] M. Corsini, M. Barni, F. Bartolini, R. Caldelli, V. Cappellini och A. Piva, "Towards 3D watermarking technology", i *EUROCON 2003. Computer as a Tool. The IEEE Region 8*, 2003, pp. 393-396.
- [64] Z. Yao, L. Chen, R. Pan, S. Yang och K. Curran, "Improved Blind Watermarking of 3D Objects Based on Partition", i *Natural Computation, 2009. ICNC '09. Fifth International Conference on*, 2009, pp. 307-311.
- [65] R. Lauria, "In Love with our Technology: Virtual Reality", *Convergence: The International Journal of Research into New Media Technologies*, vol. 7, nr 4, pp. 30-51, 2001.
- [66] Z. Du, D. Zhou och L. Zhang, "VR-Orientated 3D Modeling and Visualization of Pseudo-Classic Building Complex", i *Artificial Reality and Telexistence--Workshops, 2006. ICAT '06. 16th International Conference on*, 2006, pp. 485-490.
- [67] S. Styliani, L. Fotis, K. Kostas och P. Petros, "Virtual museums, a survey and some issues for consideration", *Journal of Cultural Heritage*, vol. 10, nr 4, pp. 520-528, 2009.
- [68] M. Cabral, M. Zuffo, S. Ghirelli, O. Belloc, L. Nomura, M. Nagamura, F. Andrade, R. Faria och L. Ferraz, "An experience using X3D for virtual cultural heritage", i *Proceedings of the twelfth international conference on 3D web technology*, New York, NY, USA, 2007, pp. 161-164.
- [69] N.-J. Shih, C.-Y. Lee, S.-W. Jhan, G.-S. Wang och Y.-F. Jhao, "Digital preservation of a Taiwanese historical settlement: Using 3D post-construction scan to develop an application framework and reference for Beipu Township", *Cities*, vol. 28, nr 2, pp. 193-205, 2011.
- [70] D. Abate, R. Ciavarella, G. Furini, G. Guarnieri, S. Migliori och S. Pierattini, "3D modeling and remote rendering technique of a high definition cultural heritage artefact", *Procedia Computer Science*, vol. 3, nr 0, pp. 848-852, 2011.
- [71] L. D. Luca, C. Busayarat, C. Stefani, P. Véron och M. Florenzano, "A semantic-based platform for the digital analysis of architectural heritage", *Computers & Graphics*, vol. 35, nr 2, pp. 227-241, 2011.
- [72] M. Bergamasco, A. Frisoli och F. Barbagli, "Haptics Technologies and Cultural Heritage Applications", i *Computer Animation, 2002. Proceedings of*, 2002, pp. 25-32.
- [73] A. Brogni, C. Avizzano, C. Evangelista och M. Bergamasco, "Technological Approach for Cultural Heritage: Augmented Reality", i *Robot and Human Interaction, 1999. RO-MAN '99. 8th IEEE International Workshop on*, 1999, pp. 206-212.
- [74] D. F. Abawi och R. Dörner, "Creating mixed reality content: problems, concepts and solutions", i *Proceedings Computer Graphics International, 2004*, 2004, pp. 444-451.
- [75] D. Arnold, A. Chalmers, H. Rushmeier, K. Ikeuchi, R. Scopigno och M. Mudge, "Cultural heritage and computer graphics: what are the issues?", i *ACM SIGGRAPH 2004 Panels*, New York, NY, USA, 2004, p. 5.
- [76] B. T. Andrade, O. R. P. Bellon, L. Silva och A. Vrabel, "Digital preservation of Brazilian indigenous artworks: Generating high quality textures for 3D models", *Journal of Cultural Heritage*, vol. 13, nr 1, pp. 28-39, 2012.
- [77] L. Barazzetti, L. Binda, M. Scaioni och P. Taranto, "Photogrammetric survey of complex geometries with low-cost software: Application to the 'G1' temple in Myson, Vietnam", *Journal of Cultural Heritage*, vol. 12, nr 3, pp. 253-262, 2011.
- [78] V. Stojakovic och B. Tepavcevic, "Image-based modeling approach in creating 3D morphogenetic reconstruction of Liberty Square in Novi Sad", *Journal of Cultural Heritage*, vol. 12, nr 1, pp. 105-110, 2011.
- [79] K. Ikeuchi, A. Nakazawa, K. Hasegawa och T. Ohishi, "The Great Buddha Project: Modeling Cultural Heritage for VR Systems through Observation", i *Mixed and Augmented Reality, 2003. Proceedings. The Second IEEE and ACM International Symposium on*, 2003, p. 7.
- [80] F. D. Felice, T. Gramegna, F. Renna, G. Attolico och A. Distante, "A Portable System to Build 3D Models of Cultural Heritage and to Allow Their Exploration by Blind People", i *Haptic Audio Visual Environments and their Applications, 2005. IEEE International Workshop on*, 2005, p. 6.
- [81] R. J. Rajapakse, Y. Tokuyama och R. Somadeva, "Virtual Reconstruction and Visualization of Pre and Proto Historic Landscapes in Sri Lanka", i *Biometrics and Kansei Engineering (ICBAKE), 2011*

- International Conference on*, 2011, pp. 198-203.
- [82] L. Zhao och X. DuanQing, "Immersive Display and Interactive Techniques for the Modeling and Rendering of Virtual Heritage Environments", i *Information Management and Engineering, 2009. ICIME '09. International Conference on*, 2009, pp. 601-606.
- [83] L. Mosaker, "Visualising historical knowledge using virtual reality technology", *Digital Creativity*, vol. 12, pp. 15-25, 2001.
- [84] J. Happa, M. Mudge, K. Debattista, A. Artusi, A. Goncalves och A. Chalmers, "Illuminating the past: state of the art", *Virtual Reality*, vol. 14, pp. 155-182, 2010.
- [85] C. Cruz-Neira, "Computational Humanities: The New Challenge for VR", *Computer Graphics and Applications, IEEE*, vol. 23, pp. 10-13, 2003.
- [86] V. Hulusic och S. Rizvic, "The use of live virtual guides in educational applications", i *2011 Third International Conference on Games and Virtual Worlds for Serious Applications (VS-GAMES)*, 2011, pp. 92-97.
- [87] M. Song, T. Elias, W. Müller-Wittig och T. K. Chan, "Using Virtual Reality to bring Singaporean Heritage to Life", i *Computer Graphics International, 2003. Proceedings*, 2003, pp. 240-243.
- [88] A. Mehmood och A. M. Shahid, "Digital reconstruction of Buddhist historical sites (6th B.C-2nd A.D) at Taxila, Pakistan (UNESCO, world heritage site)", i *Virtual Systems and Multimedia, 2001. Proceedings. Seventh International Conference on*, 2001, pp. 177-182.
- [89] Z. Li, S. Wang, J. Yu och K.-L. Ma, "Restoration of Brick and Stone Relief from Single Rubbing Images", *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 18, pp. 177-187, 2012.
- [90] N. Kotler, "New Ways of Experiencing Culture: the Role of Museums and Marketing Implications", *Museum Management and Curatorship*, vol. 19, nr 4, pp. 417-425, 2001.
- [91] L. Borgeat, G. Godin, P. Massicotte, G. Poirier, F. Blais och J.-A. Beraldin, "Visualizing and Analyzing the Mona Lisa", *Computer Graphics and Applications, IEEE*, vol. 27, pp. 60-68, 2007.
- [92] M. Ben-Ezra, "A Digital Gigapixel Large-Format Tile-Scan Camera", *Computer Graphics and Applications, IEEE*, vol. 31, nr 1, pp. 49-61, jan.-feb. 2011.
- [93] L. Borgeat, G. Poirier, A. Beraldin, G. Godin, P. Massicotte och M. Picard, "A framework for the registration of color images with 3d models", i *Image Processing (ICIP), 2009 16th IEEE International Conference on*, 2009, pp. 69-72.
- [94] M. Callieri, P. Cignoni, F. Ganovelli, G. Impoco, C. Montani, P. Pingi, F. Ponchio och R. Scopigno, "Visualization and 3D Data Processing in the David Restoration", *Computer Graphics and Applications, IEEE*, vol. 24, pp. 16-21, 2004.
- [95] P. Dawson, R. Levy och N. Lyons, "'Breaking the fourth wall': 3D virtual worlds as tools for knowledge repatriation in archaeology", *Journal of Social Archaeology*, vol. 11, nr 3, pp. 387-402, 2011.
- [96] E. Pérez-Martin, T. R. Herrero-Tejedor, M. Á. Gómez-Elvira, J. I. Rojas-Sola och M. Á. Conejo-Martin, "Graphic study and geovisualization of the old windmills of La Mancha (Spain)", *Applied Geography*, vol. 31, nr 3, pp. 941-949, 2011.
- [97] A. Lanitis, G. Stylianou och C. Voutounos, "Virtual restoration of faces appearing in byzantine icons", *Journal of Cultural Heritage*, nr 0, pp. - , 2012.
- [98] C. Voutounos och A. Lanitis, "On the presentation of Byzantine Art in virtual environments", i *Games and Virtual Worlds for Serious Applications (VS-GAMES), 2011 Third International Conference on*, 2011, pp. 176-177.
- [99] V. Domiter, B. Repnik, B. Žalik, A. Sadžak och S. Rizvic, "Surface Reconstruction Algorithms in Cultural Heritage Digital Representation", i *Information, Communication and Automation Technologies, 2009. ICAT 2009. XXII International Symposium on*, 2009, pp. 1-5.
- [100] T. Vilbrandt, C. Vilbrandt, G. I. Pasko, C. Stamm och A. Pasko, "Digitally Interpreting Traditional Folk Crafts", *Computer Graphics and Applications, IEEE*, vol. 31, pp. 12-18, 2011.
- [101] D. Gutierrez, B. Frischer, E. Cerezo, A. Gomez och F. Seron, "AI and virtual crowds: Populating the Colosseum", *Journal of Cultural Heritage*, vol. 8, nr 2, pp. 176-185, 2007.
- [102] C. A. Vanegas, D. G. Aliaga, P. Wonka, P. Müller, P. Waddell och B. Watson, "Modelling the Appearance and Behaviour of Urban Spaces", *Computer Graphics Forum*, vol. 29, nr 1, pp. 25-42, 2010.
- [103] Z. Pan, R. Jiang, G. Liu och C. Shen, "Animating and Interacting with Ancient Chinese Painting - Qingming Festival by the Riverside", i *Culture and Computing (Culture Computing), 2011 Second International Conference on*, 2011, pp. 3-6.

- [104] W. Chen, M. Zhang, Z. Pan, G. a. S. H. Liu, S. Chen och Y. Liu, "Animations, Games, and Virtual Reality for the Jing-Hang Grand Canal", *Computer Graphics and Applications, IEEE*, vol. 30, pp. 84-88, 2010.
- [105] K. Kwiatek och M. Woolner, "Embedding Interactive Storytelling within Still and Video Panoramas for Cultural Heritage Sites", i *Virtual Systems and Multimedia, 2009. VSMM '09. 15th International Conference on*, 2009, pp. 197-202.
- [106] J. Gomez-Lahoz och D. Gonzalez-Aguilera, "Recovering traditions in the digital era: the use of blimps for modelling the archaeological cultural heritage", *Journal of Archaeological Science*, vol. 36, nr 1, pp. 100-109, 2009.
- [107] B. Riveiro, J. Caamañó, P. Arias och E. Sanz, "Photogrammetric 3D modelling and mechanical analysis of masonry arches: An approach based on a discontinuous model of voussoirs", *Automation in Construction*, vol. 20, nr 4, pp. 380-388, 2011.
- [108] S. Keene, "Becoming digital", *Museum Management and Curatorship*, vol. 15, nr 3, pp. 299-313, 1996.
- [109] A. M. Ronchi, "Real Virtuality: use of hypermedia and VR in the field of Education and Cultural Heritage", i *Industrial Electronics, 1997. ISIE '97., Proceedings of the IEEE International Symposium on*, 1997, pp. 244-249.
- [110] R. Davies, "Overcoming Barriers to Visiting: Raising Awareness Of, and Providing Orientation and Navigation To, A Museum and its Collections Through New Technologies", *Museum Management and Curatorship*, vol. 19, nr 3, pp. 283-295, 2001.
- [111] M. Cipolla-Ficarra och F. Cipolla-Ficarra, "Guidelines of Quality for Industrial Online Tourism", i *HCI'07 Proceedings of the 12th international conference on Human-computer interaction: applications and services*, 2007, pp. 12-21.
- [112] K. Walczak, W. Cellary och M. White, "Virtual Museum Exhibitions", *Computer*, vol. 39, pp. 93-95, 2006.
- [113] A. L. Maroso, "Innovative training solutions for digitization", i *Proceedings of the 5th ACM/IEEE-CS joint conference on Digital libraries*, New York, NY, USA, 2005, p. 390.
- [114] N. Ioannidis, V. Vlahakis, J. Karigiannis, A. Demiris, D. Stricker och T. Glue, "Hybrid image processing techniques for the reconstruction of lost worlds and the revival of ancient life", i *2002 14th International Conference on Digital Signal Processing, 2002. DSP 2002.*, 2002, pp. 107-110.
- [115] C.-W. Sheng och M.-C. Chen, "A study of experience expectations of museum visitors", *Tourism Management*, vol. 33, nr 1, pp. 53-60, 2012.
- [116] A. J. Beeho och R. C. Prentice, "Conceptualizing the experiences of heritage tourists, A case study of New Lanark World Heritage Village", *Tourism Management*, vol. 18, pp. 75-87, 1997.
- [117] L. Pecchioli, M. Carrozzino, F. Mohamed, M. Bergamasco och T. H. Kolbe, "ISEE: Information access through the navigation of a 3D interactive environment", *Journal of Cultural Heritage*, vol. 12, nr 3, pp. 287-294, 2011.
- [118] M. A. Fopp, "The implications of emerging technologies for museums and galleries", *Museum Management and Curatorship*, vol. 16, nr 2, pp. 143-153, 1997.
- [119] Q. Jingyan, G. Yan och L. Xiaobo, "Research on the Interaction Design Methods of Digital Cultural Heritage", i *Computer-Aided Industrial Design & Conceptual Design, 2009. CAID & CD 2009. IEEE 10th International Conference on*, 2009, pp. 1452-1454.
- [120] P. Cannon-Brookes, "An Earth-shattering experience", *Museum Management and Curatorship*, vol. 15, nr 3, pp. 318-322, 1996.
- [121] L. R. Norberg, K. Vassiliadis, J. Ferguson och N. Smith, "Sustainable design for multiple audiences. The usability study and iterative redesign of the Documenting the American South digital library", *OCLC Systems & Services*, vol. 21, pp. 285-299, 2005.
- [122] C. Patra, "Digital repository in ceramics: a metadata study", *Electronic Library, The*, vol. 26, pp. 561-581, 2008.
- [123] J. P. Bowen, "Weaving the museum web: the Virtual Library museums pages", *Program: electronic library and information systems*, vol. 36, pp. 236-252, 2002.
- [124] P. Mazzoleni, E. Bertino, S. Valtolina, E. Ferrari och C. Boeri, "ViRdB: integrating virtual reality and multimedia databases for customized visualization of cultural heritage", i *ACM SIGGRAPH 2003 Sketches & Applications*, New York, NY, USA, 2003, p. 1.
- [125] N. Foreman, S. Boyd-Davis, M. Moar, L. Korralo och E. Chappell, "Can virtual environments enhance the learning of historical chronology?", *Instructional Science*, vol. 36, pp. 155-172, 2007.
- [126] C. M. Ho, M. E. Nelson och W. Müller-Wittig, "Design and implementation of a student-generated virtual

- museum in a language curriculum to enhance collaborative multimodal meaning-making”, *Computers & Education*, vol. 57, nr 1, pp. 1083-1097, 2011.
- [127] F. Pozzi, ”Comparison of 3D Measurement Techniques in Cultural Heritage Application: User Point of View”, i *3D Data Processing Visualization and Transmission, 2002. Proceedings. First International Symposium on*, 2002, pp. 762-765.
- [128] M. Callieri, F. Ponchio, P. Cignoni och R. Scopigno, ”Virtual Inspector: A Flexible Visualizer for Dense 3D Scanned Models”, *Computer Graphics and Applications, IEEE*, vol. 28, pp. 44-54, 2008.
- [129] A. Buchmann, K. Moore och D. Fisher, ”EXPERIENCING FILM TOURISM: Authenticity and Fellowship”, *Annals of Tourism Research*, vol. 37, nr 1, pp. 229-248, 2010.
- [130] A. Almagro, ”Preserving the Architectural Heritage of al-Andalus. From Restoration to Virtual Reconstruction”, *Al-Masaq*, vol. 19, nr 2, pp. 155-175, 2007.
- [131] P. Gouzouasis, ”Technology as Arts-Based Education: Does the Desktop Reflect the Arts?”, *Arts Education Policy Review*, vol. 107, nr 5, pp. 3-9, 2006.
- [132] A. F. Marcos, ”Digital Art: When Artistic and Cultural Muse Merges with Computer Technology”, *Computer Graphics and Applications, IEEE*, vol. 27, pp. 98-103, 2007.
- [133] M. Cranford, ”The social trajectory of virtual reality: Substantive ethics in a world without constraints”, *Technology in Society*, vol. 18, nr 1, pp. 79-92, 1996.
- [134] E. A. Politou, G. P. Pavlidis och C. Chamzas, ”JPEG2000 and Dissemination of Cultural Heritage Over the Internet”, *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 13, pp. 293-301, 2004.
- [135] A. C. Addison, ”Emerging trends in virtual heritage”, *Multimedia, IEEE*, vol. 7, pp. 22-25, 2000.
- [136] M. Roussou, G. Drettakis, N. Tsingos, A. Reche och E. Gallo, ”A User-Centered Approach on Combining Realism and Interactivity in Virtual Environments”, i *Proceedings. IEEE Virtual Reality, 2004.*, 2004, pp. 251-252.
- [137] G. Karauguz, Ö. Corumluoglu, I. Kalayci och I. Asri, ”3D Photogrammetric model of Eflatunpinar monument at the age of Hittite empire in Anatolia”, *Journal of Cultural Heritage*, vol. 10, nr 2, pp. 269-274, 2009.
- [138] P. Arias, C. Ordóñez, H. Lorenzo och J. Herraéz, ”Methods for documenting historical agro-industrial buildings: a comparative study and a simple photogrammetric method”, *Journal of Cultural Heritage*, vol. 7, nr 4, pp. 350-354, 2006.
- [139] M. Featherstone, ”Archiving cultures”, *British Journal of Sociology*, vol. 5, pp. 161-184, 2000.
- [140] J. Rothenberg, ”Ensuring the Longevity of Digital Information”, *Scientific American*, vol. 272, nr 1, pp. 42-47, Januari 1995.