

# XR-GRANSKNING AF INSTALLATIONER

Extended reality-teknologier til granskning, produktion samt kvalitetskontrol af tekniske installationer i byggeriet  
– et indledende scoping review

I forskning og på tværs af industrier er der bred enighed om, at extended reality (XR) – en paraplybetegnelse for virtual reality (VR), augmented reality (AR) og mixed reality (MR) – kan øge effektiviteten af arbejdsprocesser samt forbedre kvaliteten af produktionen generelt. Forskning inden for byggeindustrien indikerer, at denne industri ikke er nogen undtagelse. Frem til nu er teknologierne undersøgt ifm. sikkerhed, ledelse, visualisering, design, granskning, produktion, kvalitetskontrol mm. Disse undersøgelser omfavner dog en bred faglighed inden for byggeindustrien og giver derved ikke en særlig indsigt i anvendelsen af XR ifm. tekniske installationer. Formålet med denne undersøgelse er at afdække eksisterende litteratur inden for forskningsområdet. Ved et indledende scoping review afdækkes den videnskabelige litteratur gennem de seneste 10 år ved søgning i Scopus samt gennemgang af conferenceberetningen ConVR. Ved en statistisk gennemgang af 53 relevante artikler og efterfølgende en deskriptiv gennemgang af 14 heraf udvalgte, viser resultaterne, at XR har potentiale til at forbedre gransknings-, kontrol og produktionsprocesser. Desuden viser det sig, at eksisterende studier i høj grad mangler at blive afprøvet i praksis på aktuelle byggeprojekter, samt at disse studier i mindre grad fokuserer på tekniske installationer.

## FORFATTER

**Meinhardt Thorlund Haahr**, Energi- og miljøuddannelserne, UCN

## INTRODUKTION

Et byggeprojekt betragtes som vellykket, hvis byggeriet er udført til tiden, til aftalt pris og kvalitet samt opnår en høj grad af kundetilfredshed. Der ses desværre ofte eksempler på, at dette ikke opnås. Det skønnes, at udbedring af svigt, fejl og mangler udgør op til 10-12 % af de samlede omkostninger i byggesektoren.

Afvigelserne opstår hyppigt inden for tekniske installationer, hvilket medfører, at de ikke kan opretholde det ønskede indeklima, eller at de leverer det ønskede indeklima med et væsentligt højere energiforbrug end projekteret. Problemer med forsinkelser, fejl og mangler skyldes bl.a. øget kompleksitet og stigende krav til de tekniske installationer, indeklima og energipreformance (Haahr, Svidt og Jensen, 2019).

Design og udførelse af byggeri og dets tekniske installationer er en

kompleks proces, da byggerier er unika, og samarbejdspartnerne er mange og forskellige fra projekt til projekt. De nuværende design- og granskningsprocesser i designfasen kommunikerer overvejende via medier som Building Information Model (BIM), hvor gransknings-, produktions- og kontrolprocesser i udførelsesfasen i overvejende grad kommunikerer via medier såsom 2D-tegninger og beskrivelser samt i mindre grad 3D-modeller (Johansson og Roupé, 2019; Haahr, Svidt og

Jensen, 2019). Disse eksisterende medier stiller høje krav til den enkelte aktørs evne til at indkode og afkode informationer, hvilket resulterer i en højere kognitiv belastning for aktøren (Johansson and Roupé 2019; Kwiatek et al., 2019).

Extended reality (XR) giver en løsning på dette problem. XR er et fagudtryk, der henviser til alle virkelige og/eller virtuelle kombinerede miljøer og interaktioner mellem mennesker og maskiner genereret af computerteknologi og kropsbåren teknologi, hvor 'X' repræsenterer en variabel for enhver nuværende eller fremtidig rumlig computerteknologi. Det inkluderer repræsentative former som virtual reality (VR), augmented reality (AR), mixed reality (MR) og områderne interpoleret blandt dem. Ved brug af XR er det muligt at opnå en mere naturlig og intuitiv gennemgang i størrelsesforhold 1:1, svarende til den, der benyttes i opførte bygninger, se figur 1. Litteraturstudier viser, at XR kan fremme mange formål i byggebranchen, herunder bl.a. 1) granskning, 2) visualisering, 3) tværfagligt samarbejde 4) kvalitetskontrol og 5) beslutningsproces (Rankohi and Waugh, 2014; Alizadehsalehi, Hadavi og Huang, 2020; Wen og Gheisari, 2020). Granskning, produktion og kontrol af byggeri ved brug af VR (Zaker og Coloma, 2018; Wolfartsberger, 2019; Johansson og

Roupé, 2019), AR (Kwiatek et al., 2019) og MR (El Ammari og Hammad, 2019) er undersøgt i nævnte studier. XR kan afklare mange aspekter af designet, der er vanskelige at forstå gennem traditionelle designdokumenter, heriblandt kollisionskontrol og mangel på plads til tekniske installationer (Zaker og Coloma, 2018). Derudover viser det sig, at aktører med mindre erfaring med brug af informationsteknologi (IT) og BIM, hvilket ofte er tilfældet ved tekniske installationer, har en præference for at bruge XR, da det i højere grad afspejler det reelle arbejdsmiljø (Wolfartsberger, 2019). I stedet for at tale i abstraktioner giver teknologierne en mere håndgribelig referenceramme, hvilket formindsker forståelsesgab mellem aktørerne, herunder særligt for visuelle og ikke-visuelle tænkere (Johansson og Roupé, 2019).

Eksisterende studier argumenterer positivt for, at XR kan forbedre kommunikationen af informationer ved granskning, produktion og kontrol af et byggeri. Dog har forfatteren ikke fundet et litteraturstudie rettet specifikt mod tekniske installationer. Formålet med dette studie er derfor at afdække litteraturen inden for dette område.

#### METODE

Dette indledende litteraturstudie anvender en systematisk litteraturgennemgang, der er inspireret af

#### Forskningsspørgsmål (RQ):

*"Hvilken videnskabelig litteratur findes der inden for XR-understøttet granskning, produktion og kontrol i byggeindustrien, og hvordan anvendes XR til at forbedre tekniske installationer."*

scoping review (Arksey og O'Malley, 2005) til at afdække videnskabelig litteratur, hvor det ønskes at belyse state-of-the-art inden for området samt identificere og analysere videnskab. Fremgangsmåden er vist på figur 2 og indeholder fire trin: (1) identifikation, (2) udvælgelse, (3) kvalifikation og (4) inkluderet.

(1) Identifikation: Data kommer fra søgninger i forskningsdatabasen Scopus samt konferenceberetningen *Construction Applications of Virtual Reality (CONVR)*, jf. figur 2. Databasen favner globalt og har en faglig bredde, hvor konferenceberetningen er meget specifik inden for forskningsområderne XR og

Figur 1: (venstre) Håndholdt AR-enhed til fremvisning af BIM. (Højre) VR til fremvisning af BIM.



**Tabel 1:** Oversigt over forskningsområder, søgeord og -strategi. (Udarbejdet af forfatteren.)

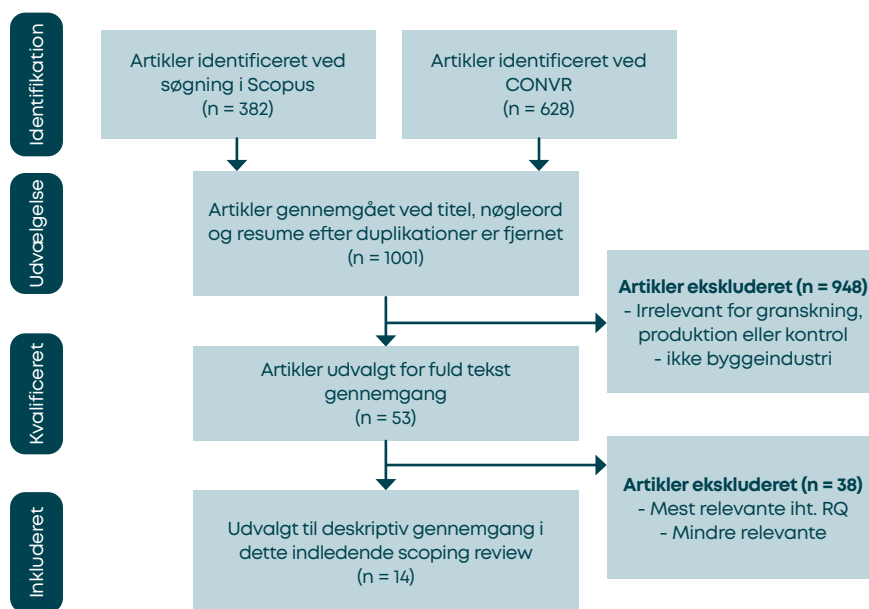
EXTENDED REALITY	AND	BYGGEINDUSTRIEN	AND ( )	TEKNISKE INSTALLATIONER	OR	GRANSKNING, PRO- DUKTION OG KONTROL
Extended reality Virtual reality Augmented reality Mixed reality		AEC Architect* Engineer* Construction BIM		Technical installations Building services HVAC MEP Plumbing Sanitary Ventilation		Design review Production Control Review Inspection Quality assurance Quality control Clash detection Fabrication Construction management

byggeindustrien. Undersøgelsen omfatter litteratur i perioden 2011 til og med 2020.

(2) *Udvælgelse:* For begge kilderne var det et krav, at artiklerne i deres titel, nøgleord eller resumé som minimum skulle indeholde søgeord inden for forskningsområderne XR, byggeindustrien og tekniske installationer eller granskning, produktion og kontrol. På tabel 1 ses en oversigt over søgestrategien. Der blev i alt fundet 1001 artikler, jf. figur 2.

(3) *Kvalifikation:* Af de i alt 1.001 artikler blev titler, nøgleord og resumé gennemgået. Artiklerne blev vurderet kvalificeret, hvis de blev vurderet som relevante for forskningsspørgsmålet. Kriterierne for ekskludering var artikler, der ikke var inden for forskningsområdet byggeindustrien, eller som ikke omhandlede granskning, produktion eller kontrol. Der blev fundet i alt 53 kvalificerede artikler, jf. figur 2. For at få et overblik af den eksisterende litteratur blev der foretaget en statistisk gennemgang af disse.

(4) *Inkluderet:* I dette indledende litteraturstudie blev der udvalgt 14 relevante artikler, jf. figur 2, der har til formål at belyse, hvilken viden der findes, og hvordan den kan understøtte processerne ved tekniske installationer. Kriterierne for udvælgelsen var, hvem der bedst kunne belyse granskning, produktion og kontrol samt relateret arbejde og teknologiens modenhed.

**Figur 2:** Flowdiagram af processen for valg af relevante og udvalgte artikler. (udarbejdet af forfatteren.)

## RESULTATER OG ANALYSE

Dette afsnit er todelt, hvor det første er statistisk gennemgang af de 53 kvalificerede artikler, og det andet er en deskriptiv gennemgang af 14 udvalgte artikler blandt dem.

### Statistisk gennemgang

Dette afsnit består af fem underafsnit, der statistisk gennemgår litteraturen, hvor artiklerne klassificeres efter landområde samt årgang, forskningsmetode, teknologi, målgruppe og fagområde. Underafsnitene sammenfatter de mest aktuelle resultater fra litteraturstudiet.

**Tabel 2:** Antal artikler efter land og år. (udarbejdet af forfatteren.)

	Total	%	2020	2019	2018	2017	2016	2015	2014	2013	2012	2011
Australia	1	1,9 %							1			
Austria	1	1,9 %		1								
Canada	10	18,9 %		3	1				2	3	1	
Brazil	1	1,9 %									1	
China	1	1,9 %					1					
Denmark	2	3,8 %		1		1						
France	1	1,9 %						1				
Germany	4	7,5 %			3						1	
Hong Kong	2	3,8 %	1								1	
Italy	1	1,9 %			1							
New Zealand	2	3,8 %					1					1
Portugal	1	1,9 %								1		
South Korea	3	5,7 %						1	1	1		
Spain	1	1,9 %			1							
Sweden	2	3,8 %		2								
Taiwan	3	5,7 %		1			1			1		
United kingdom	3	5,7 %	1						1			1
United States	14	26,4 %	5	2	3	1			1	1	1	
%		100 %	13,2 %	18,9 %	17 %	3,8 %	5,7 %	3,8 %	11,3 %	13,2 %	9,4 %	3,8 %
<b>Total</b>	<b>53</b>		<b>7</b>	<b>10</b>	<b>9</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>5</b>	<b>2</b>

### Landområde og årgang

Tabel 2 kortlægger data, der er opgivet af forfatterne til artiklerne. Det ses, at der blev publiceret flest artikler i året 2019 (n = 7, 18,9 %). Generelt er det i perioden 2018 til 2020, der er publiceret flest artikler, efterfulgt af perioden 2012 til 2014. Endvidere ses det, at landområde for første forfatter er højest i USA (n = 14, 26,4 %) efterfulgt af Canada (n = 10, 18,9 %). Samlet set står

Nordamerika for knap halvdelen af publikationerne (n = 28, 45,3 %). I de resterende lande er fordelingen nogenlunde jævn. I Europa består af godt en fjerdedel (n = 13, 24,5 %), hvorimod der i Skandinavien (n = 4, 7,5 %) tilsyneladende er få, der arbejder med området.

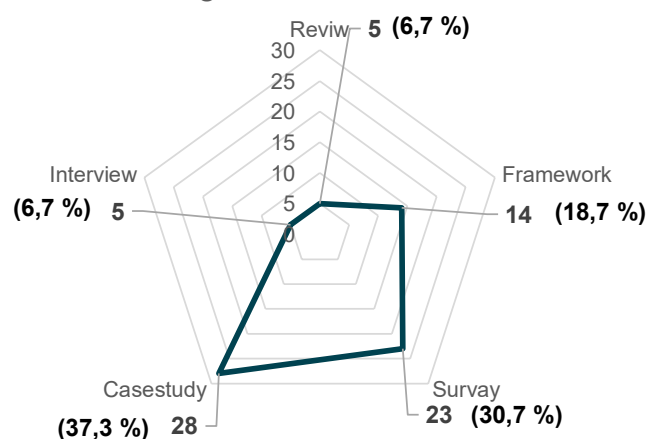
### Forskningsmetoder

I dette afsnit klassificeres artikler ud fra anvendt forskningsmetode,

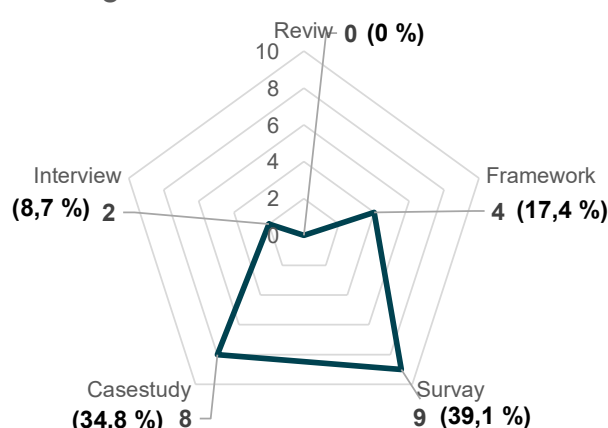
hvilket er opdelt i fem kategorier. I flere (n = 21) af tilfældene er det registreret, at artiklerne anvender to eller flere forskningsmetoder, hvor de resterende (n = 32) anvender en enkelt. Figur 3 viser et radardiagram, der beskriver andelen af artikler baseret på forskningsmetode(r). Det fremgår, at langt de fleste artikler er baseret på casestudier (n = 28, 37,3 %) samt surveys (n = 23, 30,7 %). På den anden side er der relativt få

**Figur 3:** Begge diagrammer viser andel af artikler fordelt iht. forskningsmetoder. (Venstre) inkluderer alle, hvor (højre) inkluderer tekniske installationer. (udarbejdet af forfatteren.)

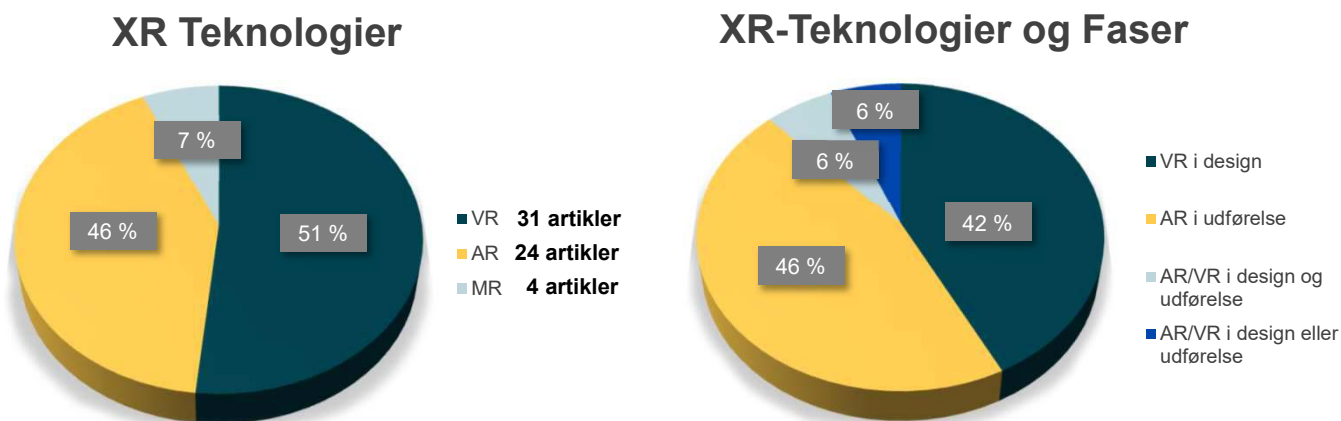
### Forskningsmetode for alle artikler



### Forskningsmetode for tekniske installationer



**Figur 4:** (Venstre) Andel af artikler fordelt iht. XR-teknologier. (Højre) andelen af artikler fordelt efter XR-teknologier og byggeriets faser. (udarbejdet af forfatteren.)



artikler, der er baseret på litteraturstudier ( $n = 5$ , 6,7 %) eller interview ( $n = 5$ , 6,7 %). For artikler, der omhandler tekniske installationer, er det bemærkelsesværdigt, at ingen artikler anvender litteraturstudier ( $n = 0,0$  %).

#### Teknologier

I dette afsnit klassificeres artikler efter anvendte XR-teknologier, hvilke opdeles i tre kategorier; VR, AR og MR. Hertil skal tilføjes, at seks artikler undersøger mere end en teknologi. På figur 4 (venstre) ses, at de fleste artikler undersøger VR ( $n = 31,52$  %) efterfulgt af AR ( $n = 24,41$  %). Yderligere kan det til højre ses, at

når byggeriets faser krydses med anvendt teknologi, er det entydigt, at VR bliver anvendt i designfasen og AR i udførelsesfasen.

#### Målgruppe

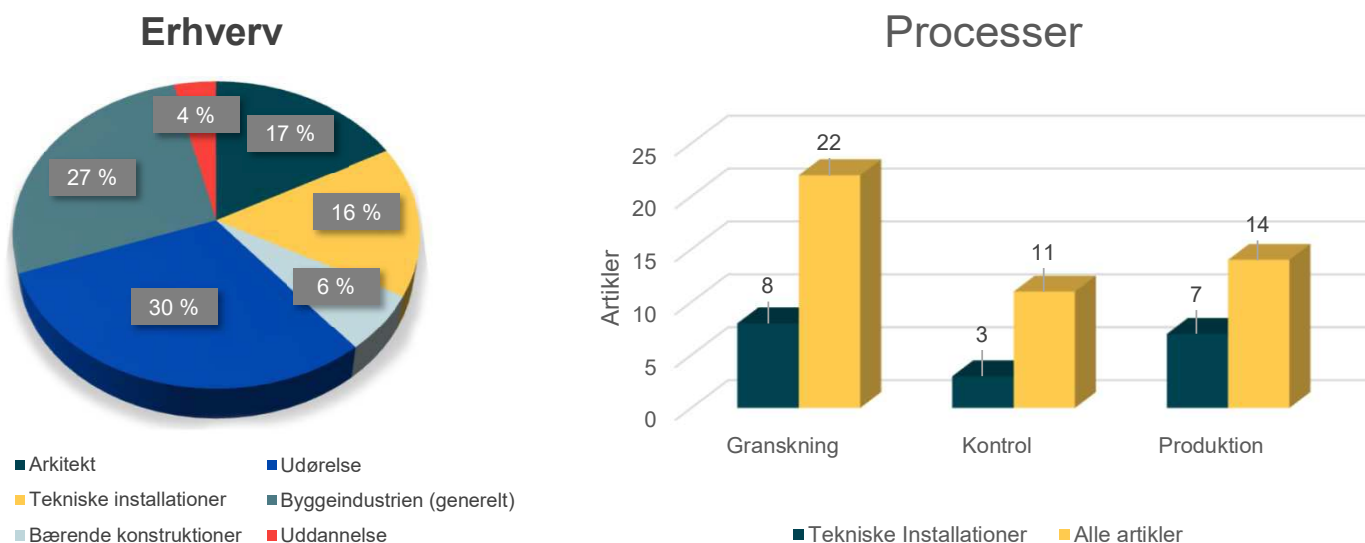
I dette afsnit klassificeres artikler ud fra deres målgruppe, hvilke opdeles i de seks kategorier: arkitekt, bygningsinstallationer, bærende konstruktioner, udførelse, byggeri generelt og uddannelse inden for byggeri. Her skal det bemærkes, at artiklerne kan være målrettet flere erhverv. På figur 5 (venstre) ses det, at der i majoriteten af artikler undersøgeres udførelse ( $n = 25$ , 30 %) samt byggeri generelt ( $n = 22,27$  %), hvor der

i et mindre omfang arbejdes med tekniske installationer ( $n = 13$ , 16 %).

#### Fagområde

I dette afsnit klassificeres artikler ud fra de tre undersøgte processer. Her skal det bemærkes, at flere artikler undersøger mere end et fagområde. Når alle artikler betragtes samlet, jf. figur 5 (højre) ses det, at flest artikler undersøger granskning ( $n = 22$ ), efterfulgt af produktion ( $n = 14$ ) og kontrol ( $n = 11$ ). Ses der på artikler målrettet tekniske installationer, ses at flest artikler undersøger granskning ( $n = 8$ ) og produktion ( $n = 7$ ), efterfulgt af kontrol ( $n = 3$ )

**Figur 5:** (Venstre) Artikler fordelt iht. erhverv. (Højre) Fordeling af kvalificerede artikler – samt artikler, der undersøger tekniske installationer iht. processer. (udarbejdet af forfatteren.)



## GENNEMGANG AF EKISTERENDE VIDEN

Dette afsnit er en deskriptiv gennemgang af 14 udvalgte artikler og tager udgangspunkt i tabel 6.

### Granskning

Følgende seks udvalgte artikler undersøger XR-understøttede granskningsprocesser (Haahr, Svidt og Jensen, 2019; Johansson og Roupé, 2019; Windham og Liu, 2018; Zaker og Coloma, 2018; Wolfartsberger, 2019; Riexinger et al., 2018).

Haahr m.fl. (2019) har undersøgt 1) omfang og 2) årsag til fejl og mangler af tekniske installationer i byggeriet endvidere, 3) hvordan dette traditionelt løses ved granskning samt 4) potentialet ved at anvende VR og AR understøttede granskningsprocesser. Ved komplekse bygninger øges risiko for fejl og mangler, hvilket særligt gør sig gældende for tekniske installationer. Her opstår problemer med teknikrum, føringsveje og skakke samt ved nedhængte lofter. Fejl og mangler skyldes ofte manglende tværfagligt samarbejde mellem parterne i byggeprojektet samt manglende tværfagligt samarbejde mellem de forskellige discipliner inden for de tekniske installationer. Traditionelt set løses problemer i designfasen i 3D med udgangspunkt i BIM og i udførelsesfasen med udgangspunkt i 2D-tegninger. Haahr m.fl. konkluderer, at særligt AR vurderes at have værdi ved granskning af tekniske installationer i udførelsesfasen, hvor VR kan fungere som et godt supplement til eksisterende granskning i BIM, når der er tale om indretning samt bygbarhed.

En af de største fordele med VR er, at aktører kan granske bygningsdesignet i 1:1. Målet er, at teknologien vil resultere i, at aktører kommer frem til de samme konklusioner, som de ville ved en granskning i den virkelige verden. I et studie (Windham og Liu, 2018) granskes bygningens funktionalitet, hvor

processen afprøves og sammenlignes i VR-miljø samt i den virkelige verden. De erfarer, at VR i høj grad giver 1) en tydelig forståelse af rum, 2) mulighed for at forstå potentielle problemer og 3) opfattelse af funktionalitet.

Wolfartsberger (2019) undersøger brugen af VR til tværfaglig granskning af tekniske installationer i et industrielt byggeri. Resultaterne indikerer, at en VR-understøttet granskning giver aktørerne mulighed for at opdage flere fejl i udførelsesfasen sammenlignet med en CAD-softwarebaseret tilgang. Ifølge Wolfartsberger (2019) er VR's største fordel dens positive effekt på kommunikationen blandt granskingsholdet, da den reducerer risikoen for udelukkelse af visse faggrupper fra processen, herunder særligt aktører med ikke-teknisk baggrund.

I fem store og komplekse byggeprojekter har Johansson og Roupé (2019) undersøgt værdien af, at aktører inden for tekniske installationer bruger VR på byggepladskonkretet. De erfarer, at VR giver en fælles referenceramme i 1:1, hvilket giver erfarne aktører fra byggebranchen en bedre mulighed for 1) at forstå byggeriet som helhed, 2) at afkode tåltænkte design sammenlignet med traditionelle 2D-tegninger og 3D-modeller i BIM samt 3) at opdage kollisioner og designfejl inden påbegyndt arbejde.

I et tværfagligt granskningsmøde blandt designere og udførende af de tekniske installationer i et aktuelt byggeprojekt dokumenterer Zaker og Coloma (2018) aktørernes erfaringer med VR ved observationer og et spørgeskema. De erfarer, at møder understøttet af VR giver gode forudsætninger for at granske tilgængelighed. F.eks. ved drift og vedligehold af tekniske installationer, hvor tilgængeligheden er yderst vigtig, da den har betydning for reparation og udskiftning af komponenter. Generelt vurderer aktørerne også, at VR-understøttet

granskning er meget brugbart ved både intern såvel som ekstern tværfaglig granskning.

### Produktion

Følgende tre udvalgte artikler undersøger XR understøttet produktionsprocesser (Johansson og Roupé, 2019; Riexinger et al., 2018; Kwiatek et al., 2019).

Ved observation og en spørgeskemaundersøgelse undersøger Johansson og Roupé (2019) også VR som en støtte til produktionen af tekniske installationer på byggepladsen. Ved sammenligning af traditionelle metoder, der i høj grad består af 2D-tegninger og i mindre grad af 3D-modeller i BIM, oplever de, at de byggefaglige respondenter kommer med forskellige tilbagemeldinger. På den positive side ytres der, at VR giver god mulighed for at forstå planlægning og koordination af nuværende eller nært forestående arbejde, hvilket resulterer i, at de oplever, at produktionen går hurtigere. Samtidig ser respondenter, der har god erfaring med BIM, ikke en bemærkelsesværdig forbedring sammenlignet med BIM.

Kwiatek m.fl. (2019) undersøger, om brugen af AR-understøttet produktionsproces kan forbedre produktiviteten ved samling af rør. Dette ved, at AR kan skanne de samlede rør og automatisk sammenligne dem med det tåltænkte design. Analysen blev brudt ned i fire delstykker, hvor følgende undersøges: 1) forskellen i produktivitet mellem en traditionel samleproces og AR-understøttet proces, 2) betydningen af AR-understøttet afkodning af information, 3) effekten af AR ved forståelse af evt. omarbejde samt 4) effekten af AR ved færdiggørelse af omarbejdet. Kwiatek (2019) konkluderer, at visualisering og kontrol af samlingsprocessen har en væsentlig betydning for respondenterne, både for ingeniører og montører, hvilket også kan ses af tabel 3.

**Tabel 3:** Viser anvendt tid af respondenter til at fuldføre angivne aktiviteter – uddrag fra Kwiatek (2019).

	Montør (21 deltagere)		Ingeniører (40 deltagere)	
	Traditionel	AR	Traditionel	AR
1) produktivitet	3 h : 12 m : 18 s	0 h : 30 m : 43 s	5 h : 51 m : 53 s	0 h : 59 m : 53 s
2) afkode information	11 m : 49 s	05 m : 36 s	14 m : 03 s	11 m : 43 s
3) forstå omarbejde	08 m : 56 s	01 m : 01 s	04 m : 17s	04 m : 49 s
4) færdiggøre omarbejde	01 m : 33 s	02 m : 46 s	08 m : 54 s	03 m : 42s

### Kontrol

Følgende fire udvalgte artikler undersøger XR-understøttede kontrolprocesser (El Ammari og Hammad, 2019; Riexinger et al., 2018; Rost, Jahn og Friedewald, 2018; Dudhee og Vukovic, 2020).

Som en del af projektet INSITER præsenterer Riexinger m.fl. (2018) fire demonstrationer af AR-, MR- og VR-tilgange inden for byggeri. En af demonstrationerne har til formål at udvikle et håndfri hovedmonteret display (HMD) AR-applikation til kontrol på byggepladsen. Appen overlejrer udvalgte BIM-komponenter, såsom ventilationsrør, spjæld, armatur og aggregater oven på den virkelige verden. Derved er det muligt at foretage en 1:1 visuel sammenligning imellem design og virkelighed. Derved kan bl.a. projektledere effektivt og på enkel vis kontrollere, om de tekniske installationer er korrekt installeret. Riexinger m.fl. (2018) oplever også udfordringer med HMD, da de tilgængelige enheder har begrænset levetid og synsfelt og er tunge og stressende, hvis de bæres i lang tid. Lette HMD er også tilgængelige, men de giver en ringere indlevende oplevelse

eller skal være tilsluttet en PC. De forudser dog, at fremtidige hardwareløsninger forventes at løse disse problematikker.

Dudhee og Vukovic (2020) undersøger og afprøver kommercielt tilgængelige AR-HDM- og BIM-AR-applikationer, der kan overlejrer virtuelle modeller oven på virkeligheden. På tabel 4 ses deres resultater, der bl.a. viser at *trial and error* er den langsomste overlejringsmetode (15-20 min.), efterfulgt af *reference point* og *QR-code* (5-10 min.). Den hurtigste metode er *Landmark* (~2 min.). Ved vellykket overlejrning af model ved enhver enhed eller applikation, observerer de ikke væsentlig forskel i billedkvalitet. Dog, som den eneste applikation, understøtter 3D-Viewer Beta ikke BIM, hvilket medfører tab af mange væsentlige informationer ved kontrol, såvel som granskning og produktion af byggeri. Sidst, men ikke mindst, vurderer Dudhee og Vukovic (2020), at positioneringsteknikkerne er for ineffektive og unøjagtige til virkelig brug. Dog forventes dette at blive løst ved fremtidige enheder og applikationer.

Rost m.fl. (2018) har udviklet en

AR-applikation til tablets, der integrerer building collaboration format (BCF) med overlejrning af virtuelle BIM-komponenter oven på virkeligheden, svarende til den, der er udviklet af Riexinger m.fl. (2018). BCF er et struktureret filformat, der anvendes til at kommunikere modelbaserede problemer blandt aktører ved at registrere informationer såsom placering, billeder, afsender, modtager m.m. Samlet set finder Rost m.fl. (2018), at AR-applikationen giver aktører fra byggeriet mulighed for at foretage en intuitiv, gennemsigtig og sporbar kontrol af et design samtidigt. I studiet viser de, at AR-applikationen har potentiale til at medvirke til en mere tidsbesparende og effektiv kontrolproces i udførelsesfasen af et byggeri.

El Ammari og Hammad (2019) har udviklet en MR-baseret samarbejdstilgang; i det her tilfælde en kombination af AR og VR, til kontrol af drift og vedligeholdelsesopgaver. Tilgangen integrerer informationer fra BIM-modeller, inspektionsplan, placeringen af feltarbejder, visualiserer inspektions- og vedligeholdelsesoperationer og understøtter

**Tabel 4:** Afprøvede, kommercielt tilgængelige AR-HDM- og AR-applikationer, der understøtter BIM og overgearing – uddrag fra Dudhee og Vukovic (2020).

AR-HMD	BIM-AR-Applikation	Overlejringsmetode
Microsoft HoloLens 1 Development Edition	3D Viewer Beta * BIM Holoview HoloLive	T T, R T, QR, R
Dagri Smart Glasses	Model-BIM	QR, L

\* Understøtter ikke BIM, TE = trial and error, R = reference point, QR = QR-code, L = landmark Method

**Tabel 5:** Angiver litteraturstudier samt deres undersøgte teknologier og fokusområde. (udarbejdet af forfatteren.)

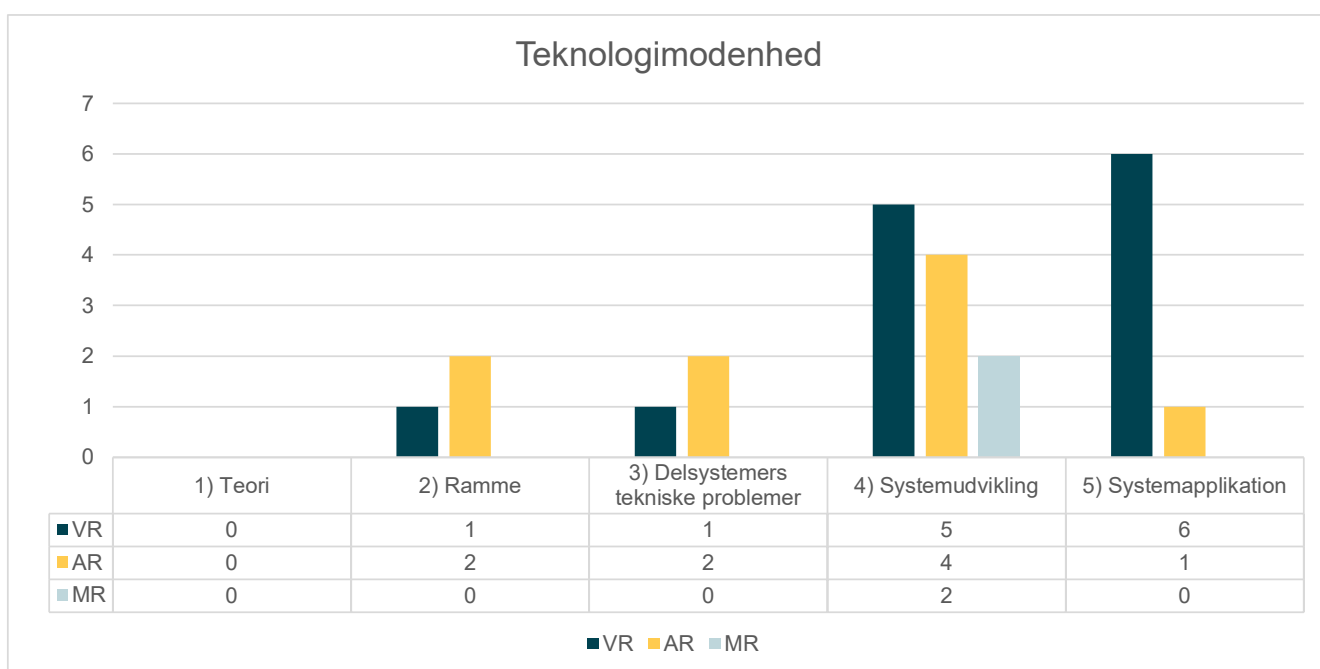
Reference	AR	VR	MR	Periode	Fokusområde	Artikler
(Alizadehsalehi, Hadavi og Huang, 2020)	x	x	x	2010-2019	Byggeindustri- en generelt og BIM	30
(Wen og Gheisari, 2020)		x		2004-2019	Byggeindustri- en generelt og kommunikation	41
(Rankohi og Waugh, 2014)		x		1999-2012	Byggeindustri- en generelt	259
(Rankohi og Waugh, 2013)	x			1999-2012	Byggeindustri- en generelt	133

visuel og verbal kommunikation mellem feltarbejder og eksperten på kontoret. Eksperten på kontoret bruger en VR-applikation, der med udgangspunkt i BIM-modeller samt position, verbal og visuel feedback fra feltet giver ham bedre mulighed for at forstå opgaven og derved give en bedre støtte til feltarbejderen. Feltarbejderen bruger en AR-applikation ude i felten, hvor han får vist udvalgte virtuelle komponenter fra BIM-modellen oven på virkelighedens. Endvidere har aktørerne mulighed for at

interagere med hinanden i form af animationer, såsom farvekodede pile og cirkler, hvilket beriger kommunikationen. El Ammari og Hammad (2019) finder frem til, at MR-tilgangen reducerede tiden til arbejdsopgaver med op til 85 %, samt at antallet af fejl reduceres med 62 %. Derudover var alle deltagere enige om, at virtuel overlejring på virkeligheden samt virtuel interaktion i et MR-miljø er ekstremt nyttigt i kommunikationen mellem feltarbejder og ekspert.

### Relateret arbejde

Af de udvalgte artikler er der fire litteraturstudier. Af tabel 5 fremgår, at to af studierne er over syv år gamle og inkluderer mange artikler, hvor de to andre studier fra 2020 inkluderer væsentligt færre artikler. Alle studierne har til fælles, at de afdækker byggeindustrien generelt, hvor studierne fra 2020 undersøger byggeindustrien i forhold til BIM eller kommunikation. Til sidst ses, at litteraturstudierne i høj grad beskæftiger sig med VR.

**figur 6:** Angiver modenhed af teknologi, der er undersøgt i de udvalgte artikler (jf. tabel 6). (udarbejdet af forfatteren.)



### Teknologier og Modenhed

Modenheden af teknologier kan vurderes efter fem stadier: 1) *teori*, 2) *ramme*, 3) *delsystemers tekniske problemer*, 4) *systemudvikling* og 5) *systemapplikation* (Rankohi og Waugh, 2013). På figur 6 ses, at de fleste artikler, der anvender VR, AR og MR befinder sig i systemudviklingsstadiet, hvilket bl.a. betyder, at teknologierne i høj grad bliver udviklet til konkrete formål, såsom understøttelse af granskning, produktion og/eller kontrol. Endvidere fremgår, at særligt VR også befinder sig systemapplikationsstadiet, hvilket bl.a. betyder, at den bliver afprøvet i et afgrænset eller virkelighedsnært scenarie.

### DISKUSSION

Dette indledende litteraturstudie forsøger at afdække eksisterende vedrørende XR-understøttet granskning, produktion og kontrol inden for byggeindustrien, herunder med særlig fokus på bygningens tekniske installationer. Resultaterne viser, at kun 16 % (n = 13) af artiklerne fokuserer på tekniske installationer, jf. figur 5 (venstre), hvor (højre) viser fordelingen mellem granskning, produktion og kontrol. Overordnet viser resultaterne, at XR-understøttet granskning, produktion og kontrol af tekniske installationer i byggeriet i lavt omfang er undersøgt. Dette underbygger generelt behovet for flere studier inden for forskningsområdet.

Af de 53 relevante artikler blev der i alt fundet fem artikler, der udarbejder litteraturstudier. Tre af dem blev udgivet i perioden 2012-2014, og de andre to i året 2020. Kendetegnet ved dem er, at de er målrettet den generelle byggeindustri. Jf. figur 3 (højre) blev der ikke fundet litteraturstudier, der undersøger fagområdet tekniske installationer samt granskning, produktion og kontrol heraf. Dette underbygger behovet for et litteraturstudie svarende til dette.

Ved gennemgang af karakteristika ses det, jf. tabel 2, at der over de

seneste 10 år har været en stigende interesse i forskning af anvendelsen af AR og VR inden for byggeindustrien, hvilket også understøttes af andre forskere (Alizadehsalehi, Hadavi og Huang 2020; Wen og Gheisari, 2020). Ser man yderligere 10 år tilbage, ser man ligeledes samme tendens (Rankohi og Waugh, 2013; 2014). Dette hænger også sammen med, at teknologierne er blevet mere udbredt og accepteret, samt at byggeindustrien globalt set har accepteret teknologien som forretningsværktøj (Alizadehsalehi, Hadavi og Huang, 2020).

Modenheden af VR ligger i overvejende grad på niveauet *systemudvikling og systemapplikation*, jf. figur 6. I fire aktuelle byggeprojekter har Johnsson og Roupé (2019) afprøvet VR, hvor professionelle aktører fra byggebranchen oplevede byggeriet i det virtuelle miljø. Dette svarer til en modenhed mellem *systemudvikling og systemapplikation*. Undersøgelsen demonstrerede, at teknologien fungerede i praksis, og aktørerne var meget positivt stemt over for den værdi, VR potentielt kan skabe. Imidlertid skaber teknologien ikke værdi i sig selv, da dette kræver yderligere forståelse imellem teknologien, mennesket, opgaven og organisationen. Andre studier undersøger teknologien i granskningssessioner, dog i afgrænset laboratorie-setup, hvor fokus er på at evaluere teknologien alene (Zaker og Coloma, 2018; Wolfartsberger, 2019).

Modenheden af AR er lidt bagud for VR, jf. figur 6, hvor det fremgår, at teknologien er nået til stadiet *delsystemers tekniske problemer*. Her er kendetegnet ved studierne, at de undersøger præcision af teknologien (Dudhee og Vukovic, 2020), samt at de bliver afprøvet i lukkede miljøer (Kwiattek et al., 2019; El Ammari og Hammad, 2019). Afprøvning og brug i aktuelle byggeprojekter er endnu ikke undersøgt. Ligesom ved VR har

disse studier fokus på teknologien og er ikke afprøvet i virkeligheds situationer.

Det er en generel opfattelse blandt mange forskere, at der mangler studier, der undersøger XR-virkelige situationer i byggeindustrien (Zaker og Coloma, 2018; Haahr, Svidt og Jensen 2019; Riexinger et al., 2018; Kwiatek et al., 2019), da det kan give mere omsættelige resultater (Wolfartsberger, 2019). Dette kræver andre forskningstilgange, såsom *explanatory research*, der kan anvendes til at udforske teknologien i virkelig praksis ved kvalitative tilgange, såsom interviews, observationer m.m. Som det fremgår af figur 2 (venstre), viser resultaterne, at relativt få studier (n = 5, 6,7 %), der anvender interview. Desuden er der ingen af de udvalgte studier, der udforsker interaktionen mellem teknologien, mennesket, opgaven og organisationen.

Resultaterne, jf. figur 4 (højre) viser, at der er en stærk sammenhæng mellem anvendelsen af VR i designfasen samt AR i udførelsesfasen, hvilket også fremgår i et tidligere studie af forfatteren m.fl. (Haahr, Svidt og Jensen 2019). VR giver byggeriets aktører mulighed for at opleve en 3D-model af bygningen i størrelsesforhold 1:1, længe inden byggeriet igangsættes (Rankohi og Waugh, 2014). AR er en tilsvarende teknologi, der overlejrer virtuelle modeller og informationer oven på den fysiske verden. Dette giver helt nye muligheder for at vise, hvor og hvordan de tekniske installationer skal placeres i råhuset (Rankohi og Waugh, 2013). Traditionelt set afholdes regelmæssige koordinations-, granskings- og kontrolmøder, hvor bl.a. de tekniske installationer granskes og kontrolleres. I deres undersøgelse argumenterer Haahr m.fl., at VR og AR kan indtræffe her (Haahr, Svidt og Jensen, 2019).

Selvom mange studier viser, at XR giver stor værdi ved granskning, produktion og kontrol i

byggeindustrien, påpeger Wolfartsberger (2019), at de teknologierne ikke kan erstatte eksisterende processer, men skal ses som en tilføjelse. F.eks. kan eksisterende BIM-software anvendes til automatisk lokation af kollisioner, hvor XR kan give værdi, når der er tale om bygbarhed (Haahr, Svidt og Jensen, 2019) og tilgængelighed (Zaker og Coloma, 2018). Særligt ved store og komplekse byggeprojekter kan XR give mere værdi (Rankohi og Waugh 2013).

Det der er særligt for VR er, at det giver en fordybet oplevelse af et virtuelt miljø for den enkelte bruger, hvis mange fordele er nævnt i denne artikel. Udfordringen er dog, at granskning, produktion og kontrol i byggeindustrien i særlig grad er et tværfagligt samarbejde blandt mange aktører. Wolfartsberger (2019) påpeger et behov for funktioner, der gør andre aktører synlige i et virtuelt miljø.

Selvom forskning har påvist mange af XR's fordele, er der forhindringer for en bred anvendelse i byggeindustrien, herunder investering i ny teknologi samt generel modstand for ibrugtagning nye teknologier (Zaker og Coloma, 2018). XR har sine teknologiske udfordringer, såsom opretholdelse af nøjagtig position (Dudhee og Vukovic 2020) og okklusion af bevægende objekter (El Ammari og Hammad, 2019). Endvidere er levetid og synsfelt begrænset, og enhederne er tunge og stressende, når de bæres i længere tid (Riexinger et al., 2018). Alligevel forventes det, at de teknologiske udfordringer ophæves inden for overskuelig fremtid, i takt med den hurtigt accelererende udvikling (Wolfartsberger, 2019; Dudhee og Vukovic, 2020).

## KONKLUSION

Formålet med denne undersøgelse er at afdække eksisterende litteratur, der undersøger XR-understøttet granskning, produktion og kontrol inden for byggeri, med særligt fokus

på tekniske installationer. Undersøgelsen er baseret på en systematisk gennemgang af videnskabelig litteratur i forskningsdatabasen Scopus samt konferenceberetningen ConVR. De vigtigste fund er:

- *Litteraturstudie:* Der er foretaget fem litteraturstudier igennem de seneste 10 år, hvor to af disse er udarbejdet i 2020, og de andre tre er syv eller flere år gamle. Desuden er de alle målrettet byggeindustrien generelt, hvor ingen af dem er specifikt rettet imod tekniske installationer samt granskning, produktion og kontrol heraf.
- *Værdiskabelse:* Eksisterende studier argumenterer positivt for, at XR kan forbedre granskning, produktion og kontrol af et byggeri. Dog er litteraturen mangelfuld, når det gælder tekniske installationer, i et tværfagligt samarbejde samt i et aktuelt byggeprojekt.
- *Anvendelse:* Der er en tydelig sammenhæng mellem anvendt teknologi og byggeriets faser. Det ses, at VR i høj grad anvendes i designfasen, hvor AR i høj grad anvendes i udførelsesfasen. Desuden er der gode argumenter for, at XR kan anvendes som en tilføjelse til eksisterende processer og kan indtræffes i de traditionelle og regelmæssige koordinations-, granskings- og kontrolmøder.
- *Modenhed:* VR's modenhed placeres imellem stadierne *systemudvikling og systemapplikation*, og AR's modenhed placeres på stadiet *delsystemers tekniske problemer*. Eksisterende forskning har meget fokus på teknologien, hvor der undersøges præcision af teknologien, samtidig med at de afprøves i lukkede miljøer.
- *Forskningshuller:* Nuværende forskning opfordrer til at undersøge XR-teknologier i virkelige miljøer med flere aktører i et tværfagligt miljø, da det vil give

mere omsættelige resultater.

Endvidere har eksisterende studier fokus på teknologien, frem for på interaktionen mellem teknologien, mennesket, opgaven og organisationen.

## Begrænsninger

Denne undersøgelse er et afgrænset litteraturstudie, der tager udgangspunkt i søgninger i forskningsdatabasen Scopus og konferenceberetningen CONVR, hvilket i forskningsverden anses som relativt afgrænset. Studiet består af en statistisk gennemgang af 53 kvalificerede artikler og en deskriptiv gennemgang af 14 udvalgte artikler. De kvalificerede artikler er publiceret ved 16 forskellige publikationsområder, hvoraf syv er tidsskrifter, og ni er konferenceberetninger. Af de relevante artikler er 15 artikler fra tidsskrifter, og 38 artikler fra konferenceberetninger. Dataene i dette studie er derved i høj grad repræsenteret af konferenceberetninger, hvilket ofte har en lavere forskningsmæssig tyngde end dem i tidsskrifter. På den anden side er konferenceberetninger det sted, hvor selvsamme forskere kommer for at berette om deres igangværende forskning. Alt i alt kan dette studie derved anses som indikator for de globale forskningsmæssige tendenser.

## Fremtidig indsats

Dette studie kom til verden som en del af en større indsats, der har til formål at udvikle professioner samt disses relaterede uddannelser inden for byggeri. Dette studie skal ses som et indledende litteraturstudie, der ved udvidelse kan sige noget mere endegyldigt om XR-teknologier, granskning, produktion og kontrolprocesser af tekniske installationer i byggeriet. Ambitionen er at afprøve teknologierne og processerne i aktuelle byggeprojekter og dermed være med til udvikling og øgning af værdiskabelse i byggeindustrien.

**Table 6:** Systematisk gennemgang af artikler. Modenhed kategoriseres efter: 1) teori, 2) ramme, 3) delsystemers tekniske problemer, 4) systemudvikling og 5) systemapplikation. (udarbejdet af forfatteren.)

Titel	Forfatter(e)	År	Lokation	Undersøelses-gruppe	Formål	Metodologi	Anvendelse	Relevante resultater	Modenhed
From BIM to extended reality in AEC industry	Alizadehsalehi, Sepehr Hadavi, Ahmad Huang, Joseph Chuenhuei	2020	USA	Review (2010-2020) spørgeskema og interview 40 fra erhvervslivet	at identificere fordele og ulemper samt mulighederne for at anvende VR-, AR- og MR-teknologier i byggeriet	Kortfattet litteraturstudie af eksisterende litteratur samt interview/spørge-skema og observation ved et casestudie	MR-, VR-, AR- arbejdsgang	XR vs. BIM XR vs. 2D mockup trends	4
Remote interactive collaboration in facilities management using BIM-based mixed reality	El Ammari, Khaled Hammad, Amin	2019	CAN	Spørge-skema 30 deltagere fra erhvervslivet	at diskutere udviklingen af en MR-understøttet samarbejdsplatform, der har til formål at understøtte drift og vedligeholdelsesopgaver i feltet.	evaluerer anvendeligheden af den foreslåede fremgangsmåde ved et casestudie samt spørgeundersøgelse	MR-, VR-, AR- inspektion og samarbejde	Inspektion produktion kommunikation samarbejde	4 5
How can Virtual Reality and Augmented Reality support the design review of building services	Haahr, Meinhardt Thorlund Svidt, Kjeld Jensen, Rasmus Lund	2019	DK	Interview 5 fra erhvervslivet	at identificere, hvordan AR og VR kan understøtte gennemgang af tekniske installationer	Semistruktureret interview med personer fra erhvervslivet	VR- og AR- granskning	Tværfaglighed granskning kommunikation mockup	2
BIM and Virtual Reality (VR) at the construction site	Johansson, Mikael Roupé, Mattias	2019	SE	Spørge-skema 28 fra erhvervslivet	at afprøve en brugervenligt VR-understøttet applikation i udførelsesfasen af et byggeri	Ved observation og spørgeskema at evaluere anvendeligheden af den foreslåede fremgangsmåde ved et casestudie	VR- granskning og produktion i udførelsesfasen	VR vs. BIM XR vs. 2D bygbarhed modenhed	4 5
Impact of augmented reality and spatial cognition on assembly in construction	Kwiatek, C. Sharif, M. Li, S. Haas, C. Walbridge, S.	2019	CAN	Spørge-skema 21 vvs-montører 40 ingeniør-studerende	at undersøge, hvilken effekt AR har på rekognition ved samling af rør	Evaluerer effekten af forslået AR- applikation ved et afgrænset laboratorieforsøg	AR- installation og inspektion	Produktion effektivitet omarbejde inspektion	2 3
Review and analysis of augmented reality literature for construction industry	Rankohi, Sara Waugh, Lloyd	2013	CAN	Review (1999-2012) 8 tidsskrifter 133 artikler	at give et udvidet fundament for fremtidig forskning ved statistisk gennemgang af AR-teknologi i byggeindustrien	Systematisk litteraturstudie af 8 tidsskrifter	AR- byggepladsbesøg, kontrol, inspektion, planlægning og samarbejde træning	AR i udførelsesfasen ARtrends Gab i forskning	-
Virtual reality in the AEC industry: a literature review	Sara Rankohi Lloyd Waugh	2014	CAN	Review (2000-2012) 4 tidsskrifter 259 artikler	at give et udvidet fundament for fremtidig forskning ved statistisk gennemgang af VR-teknologi i byggeindustrien	Systematisk litteraturstudie af 4 tidsskrifter	VR- byggepladsbesøg, kontrol, inspektion, design, planlægning og samarbejde	Designteam teknologi modenhe VR-trends	-

Titel	Forfatter(e)	År	Loka-tion	Under-søgelses-gruppe	Formål	Metodologi	Anvendelse	Relevante resultater	Moden-hed
Using virtual reality to facilitate communication in the AEC domain: a systematic review	Wen, J. Gheisari, M.	2020	USA	Review (2004-2019) 41 artikler	at undersøge, hvordan VR er blevet anvendt, samt hvad den fremtidige forskningstrend inden for kommunikationsformål er	Systematisk litteraturstudie	VR- byggeplads-besøg, kontrol, inspektion, design, planlægning og samarbejde	VR-inspektion drift og vedligehold undervisning træning design granskning VR-trends	-
Analyzing the potential of virtual reality for engineering design review	Wolfarts-berger, Josef	2019	AT	72 studerende 16 fra erhvervslivet	at evaluere et VR-baseret værktøj til understøttelse granskning af komplekse installationer i produktionsindustrien.	værktøjet evalueres i to casestudies. 1) afgrænset studiemiljø 2) ægte industrielt miljø i en rigtig granskningsproces	VR-granskning	Bygbarhed granskning inspektion kommunikation	4 5
Virtual reality-integrated workflow in BIM-enabled projects collaboration and design review: a case study	Reza Zaker Eloi Coloma	2018	ES	9 fra erhvervslivet	at undersøge anvendelsen af en VR-baseret arbejdsgang i et rigtigt projekt	via interviews og observationer undersøges VR-baseret arbejdsgang i en casestudy	VR-granskning, designfasen	Tværfaglighed granskning kommunikation opmåling 1:1	5
Mixed Reality for On-Site Self-Instruction and Self-Inspection with Building Information Models	Riexinger, Günther Kluth, Andreas Olbrich, Manuel Braun, Jan Derrick Bauern-hansl, Thomas	2018	DE	4 demonstra-tioner	at demonstrere AR-understøttede planlægningsprocesser, produktions- og installationsprocesser	Proof-of-concept af 4 demonstrationsprojekter	AR-inspektion, planlægning, produktion og installation	Inspektion kontrol 4D	4
Smart inspection: Documenting issues in 3D With augmented reality	Rost, Robert Jahn, Niklas Friedewald, Dr.-Ing. Axel	2018	DE	1 demonstration	at undersøge potentialet ved AR-understøttet inspektion	Proof-of-concept af demonstrationsprojekt	AR-Inspektion	Inspektion BCF kontrol	4
Comparing Perceptions of Occupant low and space functionality in virtual reality and an actual space	Windham, Andrew Liu, Fangxiao	2018	USA	56 studerende	at undersøge potentialet ved VRunderstøttet gennemgang	Spørgeskemaundersøgelse	VR-granskning	Funktionalitet granskning slutbruger	4 5
Superimposing building information models in augmented reality	Dudhee, Vishak Vukovic, Vladimir	2020	UK	2 AR- HMD 4 AR-applikationer	at undersøge eksisterende, kommercielt tilgængeligt AR-HMD og -applikationer til ovelejring af BIM	Afprøvning i en casestudy, hvor opsætningstid og nøjagtighed måles, og virtuel oplevelse sammenlignes	AR-inspektion	Overlejring af informationer nøjagtighed ved ovelejring kontrol	4

---

**Litteraturliste**

- Alizadehsalehi, Sepehr, Ahmad Hadavi og Joseph Chuenhuei Huang, 2020. "From BIM to Extended Reality in AEC Industry." *Automation in Construction* 116 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103254>.
- Ammari, Khaled El, and Amin Hammad. 2019. "Remote Interactive Collaboration in Facilities Management Using BIM-Based Mixed Reality." *Automation in Construction* 107 (January): 102940. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102940>.
- Arksey, Hilary og Lisa O'Malley, 2005. "Scoping Studies: Towards a Methodological Framework." *International Journal of Social Research Methodology: Theory and Practice* 8 (1): 19–32. <https://doi.org/10.1080/1364557032000119616>.
- Dudhee, Vishak og Vladimir Vukovic, 2020. "SUPERIMPOSING BUILDING INFORMATION MODELS IN AUGMENTED REALITY." In 20th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality, 11–18.
- Haahr, Meinhardt Thorlund, Kjeld Svdt og Rasmus Lund Jensen, 2019. "How Can Virtual Reality and Augmented Reality Support the Design Review of Building Services." In *Proceedings of the 19th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality (CONVR2019)*, 19:84–93. <http://convr2019.com/PROCEEDINGS-CONVR19.pdf>.
- Johansson, Mikael og Mattias Roupé, 2019. "BIM and Virtual Reality (VR) at the Construction Site." *Proceedings of the 19th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality*, no. November 2019: 1–10.
- Kwiatek, C., M. Sharif, S. Li, C. Haas og S. Walbridge, 2019. "Impact of Augmented Reality and Spatial Cognition on Assembly in Construction." *Automation in Construction* 108 (November). <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102935>.
- Rankohi, Sara og Lloyd Waugh, 2013. "Review and Analysis of Augmented Reality Literature for Construction Industry." *Visualization in Engineering* 1 (1): 1–18. <https://doi.org/10.1186/2213-7459-1-9>.
- Rankohi, Sara og Lloyd M. Waugh, 2014. "VIRTUAL REALITY IN THE AEC INDUSTRY: A LITERATURE REVIEW." In *Proceedings of the 14th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality*.
- Riexinger, Günther, Andreas Kluth, Manuel Olbrich, Jan Derrik Braun og Thomas Bauernhansl, 2018. "Mixed Reality for On-Site Self-Instruction and Self-Inspection with Building Information Models." *Procedia CIRP* 72: 1124–29. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.160>.
- Rost, Robert, Niklas Jahn og Dr.-Ing. Axel Friedewald. 2018. "Smart Inspection: Documenting Issues in 3d With Augmented Reality." In 18th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality, 311–20.
- Wen, J., and M. Gheisari, 2020. "Using Virtual Reality to Facilitate Communication in the AEC Domain: A Systematic Review." *Construction Innovation* 20 (3): 509–42. <https://doi.org/10.1108/CI-11-2019-0122>.
- Windham, Andrew og Fangxiao Liu, 2018. "Comparing Perceptions of Occupant Low and Space Functionality in Virtual Reality and an Actual Space." In 18th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality, 266–74.
- Wolfartsberger, Josef, 2019. "Analyzing the Potential of Virtual Reality for Engineering Design Review." *Automation in Construction* 104: 27–37. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.03.018>.
- Zaker, Reza og Eloi Coloma, 2018. "Virtual Reality-Integrated Workflow in BIM-Enabled Projects Collaboration and Design Review: A Case Study." *Visualization in Engineering* 6 (1). <https://doi.org/10.1186/s40327-018-0065-6>.