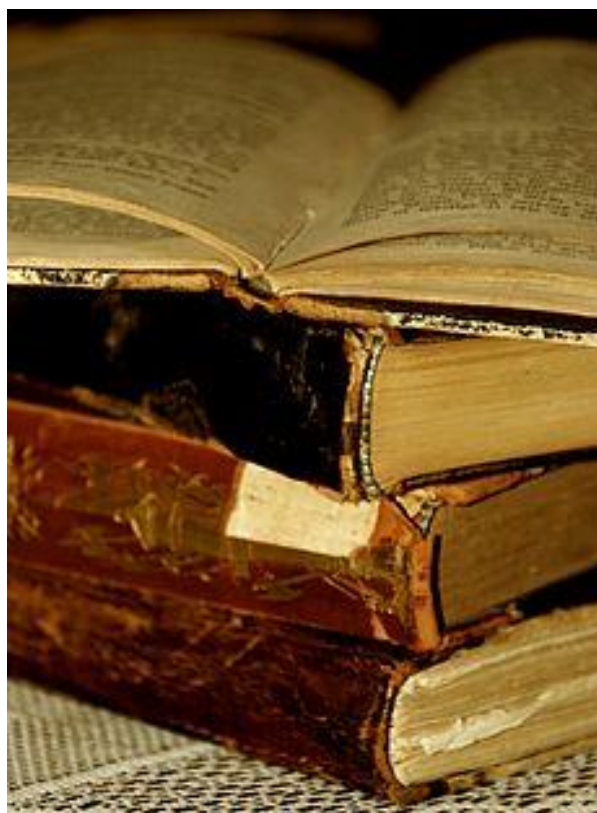


Matilde Reinholdt Belsvik

# Litteratursøk – Virtual Design and Construction

TBA4128 Prosjektledelse, videregående kurs og  
TBA4151 Anleggsteknikk, videregående kurs

Trondheim, 19.oktober, 2018



# Forord

I denne rapporten presenterer jeg gjennomføringen og resultatet av et litteratursøk innen temaet digitalisering av byggebransjen. Oppgaven er en del av fagene TBA4128 Prosjektledelse VK og TBA4151 Anleggsteknikk VK ved masterstudiet Bygg- og Miljøteknikk på NTNU, høsten 2018. I tillegg til litteratursøket ble det arbeidet med et personlig oppslagsverk for litteratur tilknyttet temaet VDC. Oppslagsverket, «Litteraturmatrisen», er lagt ved oppgaven og kan benyttes videre i arbeidet med min prosjektoppgave.

Jeg ønsker å rette en takk til veiledere Ola Lædre og Eilif Hjelseth ved NTNU for hjelp med å finne relevante publiseringskanaler og litteratur til litteratursøket. Jeg vil også takke Geir Hjerpaasen i BetonmastHæhre og Roar Fosse i Skanska for informasjon om VDC og hjelp med avgrensing av prosjektoppgaven. Dette har hatt betydning for litteratursøket, i form av hvilke kilder som ble ansett som relevante og viktige.

# Sammendrag

I litteratursøket vurderes kilder til en prosjektoppgave om digitalisering i byggebransjen, med spesifisering mot VDC. Prosjektoppgaven går i dybden av VDC i prosjekteringsfasen på caseprosjektet Drammen stasjon. Dette prosjektet er BetonmastHæhres første VDC-prosjekt, hvor de tar i bruk metodikker som Last Planner, ICE-møter, BIM-modell med modenhetsindeks (MMI) og metrics for måloppnåelse. Gjennom prosjektoppgaven skal det forsøkes å svare på hvilken effekt implementeringen av VDC har hatt på prosjektet. Det vil da være relevant i litteratursøket å se på alle metodikkene som har blitt implementert, i tillegg til tilstøtende emneområder som lean, for å skape et godt grunnlag for videre arbeid med prosjektoppgaven.

Metoder som er brukt i litteratursøket inkluderer å be om tips til kilder fra veiledere og sentrale kontaktpersoner, samt søk i ulike publiseringskanaler og søkemotorer. Særlig sentralt var søk i Engineering Village, Google Scholar og Oria, for å finne relevant temalitteratur og masteroppgaver, og skape en oversikt over viktige forfattere. Videre ble snowballing og mye brukt, der en ser i referanselistene til viktige og sentrale artikler for å finne flere kilder innen samme fagområde.

Evalueringen av kildene ble utført ved å se på om de hadde IMRaD-struktur samt ved TONE-prinsippet, som vurderer troverdighet, objektivitet, nøyaktighet og egnethet. Denne evalueringen resulterte i en oversikt over de 20 mest relevante kildene. Mye av litteraturen er artikler publisert gjennom Center for Integrated Facility Engineering (CIFE), i samarbeid med forfattere som har ledet an forskningen innen VDC. Særlig Martin Fischer og John Kunz går igjen som forfattere av litteraturen. I løpet av arbeidet med litteratursøket har det blitt tydelig at VDC er et veldig snevert fagfelt, med store muligheter for videre arbeid.

Litteratursøket har vært betydningsfullt for prosjektoppgaven, og bidratt til å skaffe en oversikt over relevant litteratur innen valgt tema. Kildene kan benyttes videre, til å sammenfatte teori, avgrense oppgaven og stille gode spørsmål til case-prosjekter og fagfolk. Som et resultat av dette litteratursøket er oppgaveskriver mer forberedt til å utføre en god prosjektoppgave, og etterhvert masteroppgave.

# Innhold

## Tabeller

<b>1</b>	<b>Introduksjon</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Metode</b>	<b>2</b>
2.1	Databaser og publiseringskanaler . . . . .	2
2.2	Snowballing . . . . .	2
2.3	Søkehistorie . . . . .	3
2.4	Evaluering . . . . .	4
2.5	Svakhet ved metoden . . . . .	5
<b>3</b>	<b>Litteratursøk</b>	<b>6</b>
3.1	Bøker . . . . .	6
3.2	Artikler . . . . .	8
3.3	Oppgaver . . . . .	15
<b>4</b>	<b>Konklusjon</b>	<b>19</b>
	<b>Bibliografi</b>	<b>20</b>
	<b>Vedlegg</b>	<b>22</b>

# Tabeller

2.1 Søkematrise . . . . . 4

\*

# 1. Introduksjon

Dette litteratursøket ble utført for å kartlegge og vurdere kilder til en prosjektoppgave om digitalisering i byggebransjen, mer spesifikt om Virtual Design and Construction (VDC). I oppgaven ble det gjennomgått litteratur innen tema for å finne de mest relevante kildene for prosjektet. Det er viktig i en slik oppgave å vise god kildekritikk, gjennom vurdering av kildenes relevans og vitenskapelige kvalitet. Litteratursøket er en del av fagene TBA4128 Prosjektledelse VK og TBA4151 Anleggsteknikk VK innen masterstudiet Bygg- og Miljøteknikk ved NTNU høsten 2018.

Virtual Design and Construction ble utviklet av Center for Integrated Facility Engineering (CIFE) ved Stanford University i 2001 (Kunz & Fischer 2012). VDC ble introdusert for å effektivisere byggeprosjektene, og er for tiden en voksende trend i den norske byggebransjen. Særlig Veidekke og Skanska har implementert VDC i mange av sine prosjekter. Rammeverket til VDC bygger på Lean, med integrerte prosesser og bakoverplanlegging, samt teknologi som verktøy og måling av prosjekt og prosess (Fosse, Ballard & Fischer 2017).

Prosjektoppgaven ser på implementeringen av VDC i prosjekteringsfasen hos casebedrift BetonmastHæhre. Drammen stasjon er deres første VDC-prosjekt, og gjennom innledende samtaler kom det fram at prosjektet benytter Last Planner, ICE-møter, BIM med modenhetsindeks (MMI) og målinger av møter (Metrics). Det har da vært nyttig å se på kilder knyttet opp mot disse konseptene, i tillegg til VDC generelt i litteratursøket. Litteratursøket har som hensikt å finne relevant litteratur for å svare på følgende problemstillinger:

- I Hvordan implementeres VDC på caseprosjektet Drammen stasjon?
- II Hva er erfaringene ved bruk av VDC på caseprosjektet?
- III Hvordan bør BetonmastHæhre implementere VDC ved senere prosjekter?

Oppgaven er bygd opp som en formell artikkel, med et metodekapittel etter introduksjonen. Resultatet av litteratursøket samt en diskusjon av kildenes relevans presenteres i samme kapittel, før oppgavens resultater oppsummeres i en konklusjon.

## 2. Metode

Metodekapittelet beskriver hvordan litteratursøket er utført. Først beskrives databaser og publiseringskanaler, samt ulike prosesser som er brukt for å oppdrive kilder, som «snowballing» og søkehistorier. Videre gjøres det rede for evalueringsprosessen, samt svakheter ved denne.

### 2.1 Databaser og publiseringskanaler

For å finne kilder i oppstartsfasen bidro veiledere Ola Lædre og Eilif Hjelseth med litteratur og publiseringskanaler. De anbefalte å se på International Group for Lean Construction (IGLC), som publiserer mye artikler innen lean og digitalisering. For VDC spesifikt anbefalte de å se på artikler publisert gjennom Center for Integrated Facility Engineering (CIFE), som drives av Stanford University.

Mye litteratur ble i starten av søket funnet gjennom søkemotoren Google Scholar, da denne ble anbefalt av foreleser i litteratursøk Jardar Lohne. I tillegg til å være god for søk etter artikler, er Google Scholar et nyttig hjelpemiddel for å lagre kilder og finne litteratur som er nært tilknyttet hverandre.

Engineering Village er en annen søkemotor som har vist seg nyttig, da den er mer utviklet for søk med filtrering av resultatene. Engineering Village er en søkemotor av Elsevier, et av verdens største forlag og rangert med nivå 1 i Register over vitenskapelige publiseringskanaler (Norsk senter for forskningsdata 2018). I løpet av arbeidet med oppgaven ble metoden for litteratursøk tilpasset og forbedret. Det viste seg mest nyttig å søke første runde i Engineering Village for å hente ut relevant litteratur. Deretter ble denne litteraturen søkt opp i Google Scholar for å finne tilknyttede artikler.

NTNU Universitetsbibliotek sin søkemotor oria.no ble også flittig brukt til å finne bøker og masteroppgaver innen relevant fagområde. Bøker er nyttige for å se på teori, men kan ofte være utdaterte i forhold til artikler som publiseres oftere. Masteroppgavene har som regel noen avsnitt om «videre arbeid» der de gjør rede for behov for videre studier samt eventuelle kunnskapsgap i litteraturen.

### 2.2 Snowballing

Mange av kildene er funnet gjennom «snowballing» ved å gå ut ifra referanselistene til gode og viktige artikler innen fagfeltet. I Google Scholar får en noe av den samme effekten av å trykke på «beslektede

artikler» under ønsket kilde. På den måten var det mulig å finne artikler som allerede hadde en tilknytning til sentral litteratur. Ulempen med snowballing er at en ofte ender opp med å se på stadig eldre artikler.

En annen mye brukt metode i dette litteratursøket var «forward snowballing». Da var målet å finne nyere artikler, ved å se på hvilke kilder som har sitert en spesifikk forfatter eller artikkel. I Google Scholar fungerer dette godt ved å trykke på «sitert av» under en relevant artikkel.

Masteroppgaver skrevet innen prosjektledelse eller anleggsteknikk på NTNU anses som svært troverdige, da de er kvalitetssikret av veiledere ved institutt for Bygg og Miljøteknikk (IBM). Forfatterene av disse masteroppgavene har vært gjennom et tilsvarende litteratursøk som i denne oppgaven. De har trolig kvalitetssikret egne kilder, og referanselistene vil dermed være nyttige for snowballing.

## 2.3 Søkehistorie

Søkehistorien har basert seg på søk med ulike søkeord i Google Scholar, Engineering Village og Oria. Dette har resultert i en søkematrise med oversikt over antall resultater per søk samt en mer detaljert litteraturmatrise (Vedlegg 1) der de mest relevante kildene ble presentert og gjennomgått.

Det ble først søkt på norsk i Google Scholar, men sammenlignet med resultater på engelsk er det veldig lite skrevet om VDC på norsk. På den annen side viste mange av de engelske søkeordene seg å gi veldig store mengder resultater. Det var da nødvendig å legge til flere søkeord for å kutte ned på antall resultater og oppnå en mer håndterbar mengde.

Ved søk i Engineering Village kunne resultatene bli filtrert til kun å gjelde treff i tittel/tema/abstrakt, og duplikater ble fjernet. Ved søk i Google Scholar derimot, var resultatene fra hele teksten. Tabell 2.1 viser hvordan filtrering ved de ulike søkemotorene påvirket antall treff.



Tabell 2.1: Søkematrise

Søkeord	Antall treff i Google Scholar	Antall treff i Engineering Village
VDC AND prosjektering	98	-
ICE AND prosjektering	303	-
"Virtual Design and Construction"	2060	68
VDC AND Construction	52500	213
VDC AND Construction AND CIFE	649	9
"Virtual Design and Construction" AND "Implementation"	1590	23
"Virtual Design and Construction" AND VDC AND Metrics	376	3
"Virtual Design and Construction" AND ICE	299	1
"Virtual Design and Construction" AND "Last Planner"	238	3
"Virtual Design and Construction" AND BIM	1640	56
"Last Planner"	4700	368
"Integrated Concurrent Engineering" AND ICE	331	16

Det ble valgt å bruke en kombinasjon av de filtrerte resultatene fra Engineering Village, samt generelle resultater fra Google Scholar og Oria. Det ble først gjort en vurdering av artiklenes titler og keywords, deretter abstrakt. Dersom alle disse virket relevante, ble litteraturen evaluert mer grundig. De 40 mest aktuelle kildene er presentert og vedlagt rapporten i en litteraturmatrise, som Vedlegg 1. Litteraturen markert i grønt i vedlegget kom med i litteratursøk-rapporten. Videre kan matrisen brukes for å arkivere, strukturere og se tilbake på nyttig litteratur under arbeidet med prosjektoppgaven.

## 2.4 Evaluering

Metodene for evaluering var å se på om artikkelen brukte IMRAD-struktur, og ved å vurdere kildene opp mot TONE-prinsippet. IMRaD står for «Introduction, Method, Result and Discussion» og er en akademisk struktur anbefalt av NTNU for vitenskapelige rapporter (NTNU nd). TONE-prinsippet går ut på å vurdere litteraturens kvalitet basert på fire nøkkelord: Troverdighet, objektivitet, nøyaktighet og egnethet (Overland 2017). Disse fire nøkkelordene etablerer punktene i presentasjonen av evalueringen, i tillegg til en kort konklusjon.

Når en vurderer kildens troverdighet, kan en se på forfatteren og publiseringskanalens pålitelighet.

Noen forfattere går igjen i mange kilder, og innen VDC kommer dette av at kun noen få personer står bak rammeverket. Eksempel på sentrale forfattere er Martin Fischer og John Kunz, som introduserte VDC gjennom CIFE i 2001. Innen Lean Construction er Glenn Ballard en særlig sentral fagperson. Dersom kilden er publisert gjennom CIFE eller IGLC vet en at den har gjennomgått en fagfellevurdering før publisering. Dette virker som en god kvalitetssikring.

I vurderingen av objektivitet ser en på forfatterens hensikt med å publisere artikkelen. Dersom forfatteren er veldig partisk eller lar være å belyse flere sider av en sak er kilden subjektiv. Nøyaktighet handler om hvor detaljert og presis kilden er, mens egnethet går på hvorvidt kilden passer til formålet med prosjektoppgaven (Overland 2017). Andre ting som ble vurdert var antall ganger kilden er sitert. Dersom litteraturen ble anbefalt av veiledere eller sentrale kontaktpersoner, har dette blitt vektlagt i prioritering av litteratur til oppgaven.

## **2.5 Svakheter ved metoden**

En av de største svakhetene ved metoden for litteratursøk vil være oppgaveskrivers begrensede erfaring og kunnskap. Dette vil påvirke søkeord, selektering av litteratur samt evaluering. I tillegg avhenger evalueringen av kildenes relevans av forståelse for problemstillingene.

En annen usikkerhet er knyttet opp mot avgrensninger gjort i søkemetoden. Et eksempel er de filtrerte søkene i Engineering Village der en kan gå glipp av noen sentrale resultater, dersom søkeordene befinner seg i teksten, ikke i tittelen, og likevel inneholder relevant informasjon. Det ble likevel valgt å anse litteratur der søkeordene var del av tittel eller abstrakt som de mest relevante, da disse tydelig tar for seg ønsket litteraturområde.

# 3. Litteratursøk

*Under følger vurdering av de 20 mest relevante kildene for prosjektoppgaven. Dette inkluderer 3 bøker, 12 artikler og 5 oppgaver (4 master og 1 PhD).*

## 3.1 Bøker

### 1. Integrating Project Delivery.

*(Fischer, Aschcraft, Reed & Khanzode 2017)*

**Troverdighet:** Boken er skrevet av Martin Fischer som er en av de fremste professorene fra Stanford University innen VDC, og er dermed svært troverdig.

**Objektivitet:** Belyser både fordeler og utfordringer ved IPD.

**Nøyaktighet:** Kilden går veldig grundig til verks for å beskrive IPD. Den ble publisert svært nylig, i 2017, og informasjonen er derfor godt oppdatert.

**Egnethet:** Kilden går mer i dybden av Integrated Prosjekt Delivery(IPD), enn den spesifikt beskriver VDC. Den gir relevant bakgrunnskunnskap om integrerte prosjekter, der samhandling og samkjøring er viktig. Boken ble anbefalt av veileder Ola Lædre og er ansett som relevant da IPD er en sentral del av rammeverket for ICE-møter innen VDC.

**Konklusjon:** Denne boken har ganske høy relevans. Det er en lang bok, så det har ikke vært mulig å studere hele i litteratursøket, og alt vil ikke være relevant for prosjektoppgaven. Den er likevel tatt med i litteratursøket da den kan være nyttig å gå tilbake til underveis i arbeidet med prosjektoppgaven, og eventuelt masteroppgaven.

### 2. Technology, Design and Process Innovation in the Built Environment. Kapittel 16: Virtual Design and Construction.

*(Fischer & Drogemuller 2009)*

**Troverdighet:** Skrevet blant annet av Martin Fischer, som er professor og direktør ved Stanford-instituttet Center for Integrated Facility Engineering (CIFE). Det er ved CIFE at VDC er utarbeidet, og kapitlet i boka anses derfor som svært troverdig.

**Objektivitet:** Presenterer studier knyttet opp mot VDC med både fordeler og begrensninger av metodikken. Informasjonen samsvarer i stor grad med annen etablert informasjon. Viser også kvantitative resultater.

**Nøyaktighet:** Teksten er presist skrevet, og bruker kilder aktivt.

**Egnethet:** Teorien, samt begrensninger ved VDC er relevant for prosjektoppgaven. Viser elementer som kan måles i prosjektene for å se på effekten av VDC-implementering. Tar opp andre tema som 3D/4D-modeller og Integrated Concurrent Engineering (ICE).

**Konklusjon:** Relevant og svært troverdig bok. Nyttig å se på annen forskning og deres resultater for å utføre prosjektoppgaven godt.

### **3. BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors.**

*(Eastman, Teicholz, Sacks & Liston 2008)*

**Troverdighet:** Forfatterene av boka er alle anerkjente spesialister innen BIM. Den er sitert over 4000 ganger og anses som svært troverdig.

**Objektivitet:** Gir et helhetlig bilde av bruk av BIM i byggeprosesser, samt utfordringer ved BIM med et bedrift- og organisasjonsperspektiv.

**Nøyaktighet:** En grundig beskrivelse av BIM.

**Egnethet:** Nyttig å forstå BIM i prosjektoppgaven. BIM er i boka også knyttet opp mot lean og integrerte prosesser, noe som videre er relevant for prosjektoppgaven.

**Konklusjon:** Relevant og svært troverdig bok. Nyttig å trekke ut sentral teori om BIM knyttet opp mot prosjekteringsprosessen og prosjekteringsledelse.

## 3.2 Artikler

### 1. Implementing virtual design and construction (VDC) in Veidekke -using simple metrics to improve the design management process.

*(Knotten & Svalestuen 2014)*

**Troverdighet:** Artikkelen ble skrevet i 2014, da forfatterene Vegard Knotten og Fredrik Svalestuen begge var PhD-kandidater ved NTNU. De var begge en del av prosjektet Integrert metodikk for prosjekteringsledelse i regi av Prosjekt Norge, og i samarbeid med NTNU, Universitetet i Agder og forskjellige industripartnere. I tillegg ble artikkelen fagfellevurdert og publisert i forbindelse med IGLC-konferansen i 2014.

**Objektivitet:** Artikkelen virker å være skrevet med en tro om at VDC er et nyttig rammeverk, men resultatene er presentert på en objektiv måte.

**Nøyaktighet:** Forfatterene er tydelige med å oppgi kildene sine. Teksten er skrevet med IMRaD-struktur, men metodedelen er noe snever.

**Egnethet:** Artikkelen tar opp flere elementer som er relevante for prosjektoppgaven, som Metrics i VDC-prosjekter. I tillegg fokuserer artikkelen på prosjekteringsfasen på norske byggeprosjekter (Veidekke). Dette er samme fokus og kontekst som prosjektoppgaven vil ha.

**Konklusjon:** Svært relevant og troverdig artikkel.

### 2. Benefits and lessons learned of implementing Building Virtual Design and Construction (VDC) technologies for coordination of Mechanical, Electrical, and Plumbing (MEP) systems on a large Healthcare project.

*(Khanzode, Fischer & Reed 2008)*

**Troverdighet:** Forfatteren av artikkelen er Atul Khanzode som var PhD ved CIFE, og som nå jobber med VDC og Lean i DPR Constructions. Medforfattere var Martin Fischer fra CIFE og Dean Reed som er Lean-koordinator ved DPR. Alle tre har gjort mye forskning knyttet opp mot lean, VDC og integrerte prosesser og anses derfor som troverdige. Kilden er sitert 235 ganger i Google Scholar, og er en av artikkelene som har blitt nevnt i flest referanselister til andre artikler og masteroppgaver om VDC.

**Objektivitet:** Artikkelen belyser både ting som gikk bra og dårlig ved implementeringen av VDC på et stort sykehusprosjekt.

**Nøyaktighet:** Grundig presentasjon av erfaringer med implementeringen for alle rollene i prosjektet. Lang referanseliste, og god kildebruk. Noe eldre kilde, men mange av resultatene er fortsatt relevante.

**Egnethet:** Fokuserer på de tekniske fagene, og er relevant for forståelsen av hvordan implementeringen av VDC påvirker koordineringen av disse fagene.

**Konklusjon:** Relevant og troverdig artikkel.

### **3. Virtual Design and Construction: Aligning BIM and Lean in practice.**

*(Fosse et al. 2017).*

**Troverdighet:** Artikkelen ble publisert gjennom International Group for Lean Construction (IGLC) i 2017, og er da gjennomgått på høyt nivå. Videre ble artikkelen skrevet i samarbeid med både Glenn Ballard og Martin Fischer som er anerkjente fagpersoner innen henholdsvis Lean og VDC.

**Objektivitet:** Bruker empiriske funn til å vise hvordan Lean og BIM kan implementeres på en integrert måte. Artikkelen er skrevet med et nyansert og objektivt språk.

**Nøyaktighet:** Artikkelen er skrevet kortfattet og letteselig, noe som gjør den til en god artikkel i begynnelsen av litteratursøket. Benytter IMRaD-struktur, med mindre fokus på metoden. Artikkelen ble publisert i 2017 og bidrar med svært oppdatert forskning.

**Egnethet:** Artikkelen er en relevant introduksjon til bruk av VDC på norske byggeplasser, gjennom beskrivelse av teorien samt eksempler fra noen av Skanska sine prosjekter. Den fremstiller temaet med en norsk synsvinkel og med norske utfordringer og erfaringer. Dette vil være relevant for prosjektoppgaven, som også skal vurdere en case fra Norge. Det ble anbefalt å lese denne artikkelen før videre fordypning innen VDC, etter en veiledningssamtale med en av forfatterene, Roar Fosse fra Skanska.

**Konklusjon:** Relevant og svært troverdig artikkel.

#### **4. Virtual Design and Construction: Themes, Case Studies and Implementation Suggestions.**

*(Kunz & Fischer 2012)*

**Troverdighet:** Denne artikkelen anses som troverdig, da den er skrevet av professorene ved Stanford Universitet som først introduserte VDC ved Center of Integrated Facility Engineering i 2001, John Kunz og Martin Fischer, og er sitert 202 ganger (per 02.10.18). Forfatterene har bidratt med mye forskning rundt VDC opp gjennom årene, og lagt grunnlaget for VDC-sertifisering.

**Objektivitet:** Viser både fordeler ved VDC og begrensninger. Objektiv og nøytral artikkel.

**Nøyaktighet:** Artikkelen inneholder relativt oppdatert informasjon, og er detaljert skrevet. Den har en lang referanseliste, og mange av kildene er nyttige for snowballing, for å finne mer relevant litteratur.

**Egnethet:** Artikkelen beskriver bakgrunnen for VDC og teori som står sentralt i rammeverket. Forfatterene har studert flere caser, og kommer med implementeringsstrategier til de som ønsker å ta i bruk VDC ved deres prosjekter. Videre diskuterer de integrerte POP-modeller (Produkt, Organisasjon og Prosess), som er et av de sentrale elementene ved VDC. Dette vil det være hensiktsmessig å se på videre i prosjektoppgaven.

**Konklusjon:** Relevant og troverdig artikkel.

#### **5. A Guide to Applying the Principles of Virtual Design & Construction (VDC) to the Lean Project Delivery Process.**

*(Khanzode, Fischer, Reed & Ballard 2006)*

**Troverdighet:** Denne artikkelen har bidragsytere både fra VDC- og Lean-miljøene. Artikkelen er publisert gjennom CIFE, og forfatterene går igjen i mange av kildene i dette litteratursøket. Både Glenn Ballard og Martin Fischer er forfattere med stor troverdighet.

**Objektivitet:** Artikkelen knytter implementering av VDC opp mot Lean i byggeprosjekter på en nyansert måte. I tillegg til å gi en beskrivelse av både VDC og Lean diskuterer forfatterene fordeler og utfordringer knyttet opp mot implementeringen av VDC der et prosjekt allerede benyttet lean prinsipper. Dette gir en god forståelse av teorigrunnlaget og hvordan VDC og Lean kan knyttes opp mot hverandre.

**Nøyaktighet:** Artikkelen virker vitenskapelig god og nøye gjennomgått, men er noe mangelfull på metodedelen. Artikkelen som er fra 2006 er noe eldre enn de fleste andre kildene i litteratursøket, men er likevel relevant for prosjektoppgaven da den viser hvordan VDC kan aktivere Lean i et prosjekt, gjennom sine verktøy og metodikker. Resultatene kan likevel være noe avvikende da dagens metoder har utviklet seg.

**Egnethet:** Artikkelen diskuterer effekter og metoder for implementering av VDC, som også er temaet i prosjektoppgaven. Dette gjør den svært egnet til egne studier av VDC-implementering.

**Konklusjon:** Svært troverdig og relevant.

## **6. Interaction of Lean and Building Information Modeling in Construction.**

*(Sacks, Koskela, Dave & Owen 2010)*

**Troverdighet:** Forfatterene har stor troverdighet. Rafael Sacks er anerkjent innen BIM og Lean og er blant annet medforfatter av BIM-håndboka, mens Lauri Koskela er kjent for å ha publisert mye innen Lean og prosjektledelse. Artikkelen ble publisert gjennom Journal of Construction Engineering and Management, og er sitert 371 ganger.

**Objektivitet:** Teksten formidler funnene i studien på en nøytral og objektiv måte.

**Nøyaktighet:** Godt strukturert tekst, vitenskapelig språk og nøyaktig kildebruk. Artikkelen inkluderer en omfattende referanseliste som kan benyttes til snowballing om BIM.

**Egnethet:** Relevant for prosjektoppgavens del som ser på BIM i VDC, da artikkelen knytter BIM opp mot Lean. Lean er også et viktig grunnlag for å forstå formålet med implementeringen av VDC.

**Konklusjon:** Relevant og troverdig i vinklingen mot BIM og Lean.

## **7. Building a project ontology with extreme collaboration and virtual design and construction.**

*(Garcia, Kunz, Ekstrom & Kiviniemi 2004)*

**Troverdighet:** Artikkelen ble publisert gjennom Elsevier, av forfattere tilknyttet CIFE ved Stanford University. Den er dermed fagfellevurdert og har stor troverdighet. Artikkelen er referert til i flere sentrale artikler.



**Objektivitet:** Profesjonelt og objektivt skrevet.

**Nøyaktighet:** Vitenskapelig tekst med en noe lignende IMRaD-struktur. Den er skrevet i 2004 og sånn sett litt gammel og potensielt noe utdatert, men viser noen av de opprinnelige ideene bak VDC. Denne artikkelen er dermed nyttig for å forstå utviklingen av VDC, og kunne vurdere nye metoder opp mot gamle.

**Egnethet:** Artikkelen viser hvordan en kan kombinere VDC med modeller for nedbrytning av POP (produkt, organisasjon og prosess) og XC (Extreme Collaboration) i en «tripod» metode for mer effektiv prosjektering. XC, som er utviklet av NASA, er senere tilpasset byggebransjen, og fått det nye navnet ICE (Integrated Concurrent Engineering). Forståelse av ICE-metodikken er relevant for prosjektoppgaven.

**Konklusjon:** Relevant for å forstå bakgrunnen for ICE, og svært troverdig.

## **8. The VDC Scorecard: Formulation and Validation.**

*(Kam, Senaratna, McKinney, Xiao & Song 2013)*

**Troverdighet:** Artikkelen er fagfellevurdert og publisert gjennom CIFE, som står bak VDC-rammeverket. Det er da fagfellevurdert.

**Objektivitet:** Forfatterene har utarbeidet et rammeverk for å vurdere et prosjekts implementering av VDC, som skal kunne benyttes på alle typer prosjekter. De har basert studien sin på 108 prosjekter og presenterer rammeverket på en nøytral og profesjonell måte.

**Nøyaktighet:** Detaljert presentasjon av resultatene, vitenskapelig skrevet og med god kildebruk. Relativt oppdatert informasjon da rammeverket er fra 2013. Likevel er casene som er studert i artikkelen noe eldre.

**Egnethet:** Artikkelen er en av få artikler som diskuterer VDC knyttet opp mot Metrics, som er svært relevant for prosjektoppgaven. Rammeverket som er presentert i artikkelen kan brukes videre i masteroppgaven, om det blir relevant å vurdere VDC-prosjektene opp mot et allerede utarbeidet rammeverk.

**Konklusjon:** Svært troverdig og relevant for å se på rammeverk for vurdering av VDC-prosjekter.

## 9. An Integrated, Virtual Design and Construction and Lean (IVL) Method for Coordination of MEP.

*(Khanzode 2010)*

(MEP står her for Mechanical, Electrical og Plumbing, altså prosjektering knyttet opp mot de tekniske fagene.)

**Troverdighet:** Rapporten er skrevet ved CIFE, men ikke publisert. Forfatteren, Atul Khanzode skrev denne rapporten som en del av sin PhD og var også medforfatter i boken Integrating Project Delivery som er nevnt tidligere i litteratursøket. Han anses å ha mye kunnskap om VDC, Lean og IPD, og er dermed troverdig.

**Objektivitet:** Forfatteren viser evne til å vurdere ulike situasjoner, ved å studere fire ulike caser, som enten har benyttet både VDC og Lean, kun én av metodikkene, eller ingen av dem. Resultatet er objektiv metode for å koordinere de tekniske fagene med konsekvente resultater.

**Nøyaktighet:** Kilden, som er en upublisert rapport, er noe mindre strukturert enn andre artikler gjennom CIFE. Den viser likevel en nøyaktighet i innsamling og presentasjon av resultater, samt kildebruk.

**Egnethet:** Rapporten er relevant med tanke på prosjekteringsfasen, spesifikt mot de tekniske fagene, og hvordan de bør integreres og koordineres i prosjekter gjennom VDC og Lean.

**Konklusjon:** Relevant og troverdig, særlig om oppgaven skal vinkles mot de tekniske fagene. Likevel bidrar artikkelen til en bedre forståelse under intervjuene med tekniske aktører i arbeidet med prosjektoppgaven.

## 10. The Lean Project Delivery System: An Update.

*(Ballard 2008)*

**Troverdighet:** Glenn Ballard er forfatter av artikkelen, og er ledende innen lean. Artikkelen er fagfellekvurdert og publisert gjennom Lean Construction Journal.

**Objektivitet:** Skrevet med et profesjonelt språk, og viser både fordeler og mangler ved Lean Construction.

**Nøyaktighet:** Artikkelen presenterer Lean, slik rammeverket var i bransjen i 2008. Det er en

oppdatering sett i år 2008, men dette er 10 år siden og kan være noe utdatert igjen. Likevel en grundig gjennomgang av teorien bak lean.

**Egnethet:** Lean er relevant for å forstå de integrerte metodene og bakgrunnen for VDC i prosjektoppgaven.

**Konklusjon:** Ganske relevant og svært troverdig, men ikke den nyeste informasjonen.

## **11. Lean design management in practice with the Last Planner system.**

*(Fosse & Ballard 2016)*

**Troverdighet:** Forfattere er Roar Fosse fra Skanska og Glenn Ballard fra IGLC. Begge anses som svært troverdige. Fosse har skrevet masteroppgave ved NTNU om lean, og er nå BIM- og VDC-sjef i skanska, mens Ballard er ledende innen lean hos IGLC. Artikkelen er fagfellevurdert og publisert gjennom IGLC.

**Objektivitet:** Presenterer nyanserte resultater, men med en vinkling mot fordelene av Last Planner og hvordan Last Planner benytter seg av Lean-prinsipper.

**Nøyaktighet:** IMRaD-struktur med metode inkludert i presentasjonen av resultatene. Publisert i 2016 og dermed ganske oppdatert informasjon.

**Egnethet:** Egnet for å forstå implementering av Last Planner, som er et av elementene i problemstillingene i prosjektoppgaven. Tar opp Last Planner i et prosjekterings-perspektiv, i motsetning til mye annen litteratur som har mer fokus på produksjonen.

**Konklusjon:** Både troverdig og relevant, gir ekstra for forståelsen av Last Planner i praksis prosjekteringsfasen.

## **12. The VDC Scorecard: Evaluation of AEC Projects and Industry Trends.**

*(Kam, Senaratna, Xiao & McKinney 2013)*

**Troverdighet:** Artikkelen er publisert av PhD Calvin Kam, i samarbeid med hans forskningsassistenter, gjennom CIFE og dermed ansett som troverdig. Denne artikkelen bygger på artikkelen «The VDC Scorecard: Formulation and Validation» av de samme forfatterene.

**Objektivitet:** Presenterer fordeler og ulemper ved VDC gjennom en evaluering av «The VDC Scorecard».

**Nøyaktighet:** IMRaD-struktur og en profesjonell og grundig evaluering av hvordan rammeverket ble benyttet på de 108 forskjellige caseprosjektene.

**Egnethet:** Artikkelen viser en detaljert evaluering av VDC-prosjekter, samtidig som den går til verks for å definere VDC og forklare faktorer som er kritiske for prosjektets suksess med VDC-implementeringen. Disse tematikkene er svært relevante for prosjektoppgaven.

**Konklusjon:** Troverdig og svært relevant artikkel.

### 3.3 Oppgaver

#### 1. Tilrettelegging for god ICE-prosjektering.

*(Jovik 2012)*

**Troverdighet:** Forfatter var masterstudent ved Bygg- og Miljøteknikk på NTNU i Trondheim. Oppgaven ble veiledet av Frode Drevland ved NTNU, som har god kompetanse innen Lean, og anses derfor som troverdig. Den ble også skrevet i samarbeid med Veidekke, som er ledende innen implementering av VDC i Norge.

**Objektivitet:** Objektiv fremstilling av fordeler og ulemper ved bruken av ICE ved et av Veidekkes VDC-prosjekter. Hensikten med oppgaven var å finne svar på hva som skal til for å tilrettelegge for god ICE-prosjektering i VDC-prosjekter. Presenterer resultatene med bakgrunn i teori som stemmer overens med teorien i de sentrale artiklene nevnt over.

**Nøyaktighet:** Skrevet med IMRaD-struktur med nøye beskrivelse av metode for utførelse av oppgaven. Masteroppgaven går godt i dybden av teori om ICE og VDC.

**Egnethet:** Oppgaven ser på VDC og ICE med en vinkling fra prosjekteringsfasen. Dette er samme fase som skal vurderes i prosjektoppgaven. Masteroppgaven ble skrevet med utgangspunkt i en prosjektoppgave om «Utfordringer i VDC-prosjektering» fra høsten 2011. Jovik kartla utfordringer i VDC-prosjektering i Veidekke, slik prosjektoppgaven er tenkt utført i samarbeid med BetonmastHæhre. Det kan virke noe repetitivt å ha det samme fokuset, men da de er to ulike bedrifter med to potensielt ulike metoder for implementering av VDC, kan mange av funnene bli

ulike.

**Konklusjon:** Relevant og troverdig oppgave. Det kan være nyttig å bruke masteroppgaven til Jovik til å finne idéer til videre avgrensning og fokus på oppgaven, samt snowballing.

## **2. Effektivisering av prosjekteringsprosessen.**

*(Olsen 2015)*

**Troverdighet:** Masteroppgave ved Institutt for Bygg- og Miljøteknikk ved NTNU, under veiledning av Olav Torp.

**Objektivitet:** Ser på muligheter for å effektivisere prosjekteringsprosesser med implementering av BIM, lean og VDC. Svarer på forskningsspørsmål basert på kvalitative resultater, som er subjektive, samt objektiv teori.

**Nøyaktighet:** Grundig gjennomgang av metode samt IMRaD-struktur. Lang referanseliste som kan benyttes til snowballing for å finne mer relevant teori og viktige artikler.

**Egnethet:** Relevant for å se på VDC i prosjekteringsfasen. Ser på sammenhengen mellom VDC, lean (mer spesifikt last planner) og BIM. Både Last Planner og BIM er sentrale deler av BMHEs implementering av VDC, og dermed relevant for prosjektoppgaven.

**Konklusjon:** Relevant og troverdig masteroppgave.

## **3. Virtual Design and Construction i prosjekteringsprosessen.**

*(Husby 2017)*

**Troverdighet:** Oppgaven er skrevet ved NTNU og veiledet av Olav Torp, som gir den stor troverdighet.

**Objektivitet:** Presenterer en objektiv drøfting av resultater. Hensikten med oppgaven virker å være å informere om effekter av VDC på en nøytral måte.

**Nøyaktighet:** IMRaD-struktur med detaljert metodekapittel. God og variert kildebruk. Informasjon i samsvar med kjent informasjon, og med nylige resultater fra 2017.

**Egnethet:** Svært egnet, da prosjektoppgaven trolig skal være et lignende studie om VDC i

prosjekteringsfasen. Trekker inn både ICE-møter, involverende planlegging, BIM og målinger. Kan være nyttig å se på kapittelet om videre arbeider, og forsøke å finne nye områder det ikke er forsket så mye på. Kildene er nyttige for snowballing.

**Konklusjon:** Troverdig og svært relevant.

#### 4. Virtual Design and Construction - Implementering og effekter.

*(Grindland 2017)*

**Troverdighet:** Masteroppgaven er skrevet ved NTNU og veiledet av Frode Drevland, og anses dermed som troverdig. Frode Drevland har relevant kunnskap og erfaring med lean og prosjektledelse.

**Objektivitet:** Presenterer resultater basert på informasjon som i stor del er kjent fra teorigrunnlaget og andre relevante kilder. Metoden er kvalitativ, og resultatene er til dels subjektive.

**Nøyaktighet:** Saklig informasjon, med IMRaD-struktur og grundig beskrivelse av metode samt kildebruk.

**Egnethet:** Effekter av VDC-implementering er relevant for prosjektoppgaven, i tillegg teorigrunnlaget om VDC fra CIFE som Grindland presenterer.

**Konklusjon:** Relevant og troverdig masteroppgave.

#### 5. The Last Planner System of Production Control.

*(Ballard 2000)*

**Troverdighet:** Kilden er Glenn Ballards PhD-avhandling hos Faculty of Engineering ved The University of Birmingham. Glenn Ballard er trolig den mest sentrale fagpersonen innen Lean Construction, og har publisert mange artikler om lean og prosjektledelse. Han er regnet som «the father of the Last Planner System» (Lean construction institute Finland 2018).

**Objektivitet:** Ballard har utarbeidet Last Planner i sin doktorgrad, og publisert flere artikler både i forkant og etterkant av PhD-avhandlingen. Hensikten med Last Planner er å sikre god arbeidsflyt (eng: work flow), mens hensikten med avhandlingen er å presentere metoden. Dette er gjort på en vitenskapelig måte, basert på det allerede etablerte Lean Construction rammeverket til Koskela.

**Nøyaktighet:** Grundig gjennomgang av Last Planner. PhD-avhandling, med IMRaD-struktur.

**Egnethet:** Denne artikkelen anses som en av de mest sentrale artiklene om Last Planner metodikken. Den er sitert av over 1300 artikler og referert til av mange av masteroppgavene om VDC ved NTNU, noe som tyder på at Last Planner er relevant for studier som omhandler VDC.

**Konklusjon:** Svært troverdig og relevant om Last Planner.

## 4. Konklusjon

Gjennom litteratursøket har det blitt tydelig at VDC er et ganske snevert forskningsområde. Mye av litteraturen er publisert av de samme forfatterene, gjennom den samme publiseringskanalen. Siden VDC grenser mot mange andre fagområder, slik som Lean Construction, har det vært relevant å trekke inn litteratur fra disse områdene, for å skape et mer nyansert bilde. Videre finnes det mer litteratur innen noen av metodikkene som benyttes i VDC, som Last Planner, Integrated Concurrent Engineering (ICE) og BIM. Likevel er det tydelig at mye av den såkalte «State of the art» er publisert av et begrenset antall forfattere, og det er vanskelig å finne en bred tyngde i litteraturen.

Dette tyder på at det er behov for mer forskning innen temaet VDC. Det finnes flere områder i litteraturen der det er skrevet lite og forskningen har vært fraværende, såkalte kunnskapsgap. Det er skrevet ganske lite om målinger i VDC, og hvordan disse bør utføres i praksis. Videre er det skrevet lite om hvilken effekt VDC i prosjektering har for produksjonsfasen, der mye av pengene i realiteten ligger. Selv innen de temaene som flere har skrevet om er det ytterligere behov for litteratur og forskning.

Litteratursøket kan bli utvidet videre i arbeid med prosjekt- og masteroppgave. Litteraturmatrisen i Vedlegg 1 er et godt utgangspunkt, men det vil i arbeidet med oppgavene være nødvendig å jevnlig kartlegge og evaluere litteratur innen fagområdet.



# Bibliografi

- Ballard, G. (2008), 'The lean project delivery system: An update.', *Lean Construction Journal* .
- Ballard, H. G. (2000), The last planner system of production control, PhD thesis, University of Birmingham.
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R. & Liston, K. (2008), *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*, Wiley Publishing.
- Fischer, M., Aschcraft, H., Reed, D. & Khanzode, A. (2017), *Integrating project delivery*, John Wiley & Sons, Inc.
- Fischer, M. & Drogemuller, R. (2009), '16 virtual design and construction', *Technology, design and process innovation in the built environment* **10**, 293.
- Fosse, R. & Ballard, G. (2016), Lean design management in practice with the last planner system, in 'Proceedings of the 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Boston, EE. UU'.
- Fosse, R., Ballard, G. & Fischer, M. (2017), 'Virtual design and construction: Aligning bim and lean in practice', *International Group for Lean Construction (IGLC)* .
- Garcia, A. C. B., Kunz, J., Ekstrom, M. & Kiviniemi, A. (2004), 'Building a project ontology with extreme collaboration and virtual design and construction', *Advanced Engineering Informatics* **18**(2), 71–83.
- Grindland, O. (2017), 'Virtual design and construction - implementering og effekter'.  
**URL:** <http://hdl.handle.net/11250/2452279>
- Husby, H. (2017), 'Virtual design and construction i prosjekteringsprosessen - videreutvikling og forbedring'.  
**URL:** <http://hdl.handle.net/11250/2457816>
- Jovik, L. T. (2012), 'Tilrettelegging for god ice-prosjektering'.  
**URL:** <http://hdl.handle.net/11250/232181>
- Kam, C., Senaratna, D., McKinney, B., Xiao, Y. & Song, M. (2013), 'The vdc scorecard: Formulation and validation', *Center for Integrated Facility Engineering: Stanford University* .

- Kam, C., Senaratna, D., Xiao, Y. & McKinney, B. (2013), 'The vdc scorecard: Evaluation of aec projects and industry trends', *CIFE, Maharashtra, India* .
- Khanzode, A. (2010), 'An integrated, virtual design and construction and lean (ivl) method for coordination of mep', *Unpublished Technical Report* **187**.
- Khanzode, A., Fischer, M. & Reed, D. (2008), 'Benefits and lessons learned of implementing building virtual design and construction (vdc) technologies for coordination of mechanical, electrical, and plumbing (mep) systems on a large healthcare project', *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)* **13**(22), 324–342.
- Khanzode, A., Fischer, M., Reed, D. & Ballard, G. (2006), 'A guide to applying the principles of virtual design & construction (vdc) to the lean project delivery process', *CIFE, Stanford University, Palo Alto, CA* .
- Knotten, V. & Svaalestuen, F. (2014), 'Implementing virtual design and construction (vdc) in veidekke—using simple metrics to improve the design management process'.
- Kunz, J. & Fischer, M. (2012), 'Virtual design and construction: themes, case studies and implementation suggestions', *Center for Integrated Facility Engineering (CIFE), Stanford University, Stanford, California, United States* .
- Lean construction institute Finland (2018), 'Glenn ballard: The future of lean construction is in managing networks'. (Hentet 16.10.18).  
**URL:** <http://lci.fi/blog/glenn-ballard/>
- Norsk senter for forskningsdata (2018), 'Elsevier'.  
**URL:** <https://dbh.nsd.uib.no/publiseringskanaler/KanalForlagInfo.action?id=18173&bibsys=false>
- NTNU (nd), 'Imrad - how to structure your text'. (Hentet 12.10.2018).  
**URL:** <https://www.ntnu.edu/sekom/imrad>
- Olsen, T. L. A. (2015), 'Effektivisering av prosjekteringsprosessen'.  
**URL:** <https://brage.bibsys.no/xmlui/handle/11250/2349903>
- Overland, J.-A. (2017), 'Kildekritikk'. (Hentet 12.10.2018).  
**URL:** <https://ndla.no/nb/node/169741?fag=156500>
- Sacks, R., Koskela, L., Dave, B. A. & Owen, R. (2010), 'Interaction of lean and building information modeling in construction', *Journal of construction engineering and management* **136**(9), 968–980.

# Vedlegg

Vedlegg 1 - Litteratormatrise

Nr	Søkeord/Metode	Antall treff	Søkemotor	Tittel	Abstrakt/Sammendrag	Forfatter	År	Stikkord	Kvalitetsvurdering	Antall ganger sitert (Google Scholar)	Type litteratur
1	"Virtual Design and Construction	68	Engineering Village	Implementing virtual design and construction using BIM: Current and future practices	Implementing Virtual Design and Construction using BIM outlines the team structure, software and production ecosystem needed for an effective Virtual Design and Construction (VDC) process through current real world case studies of projects both in development and under construction. It provides the reader with a better understanding of the successful implementation of VDC and Building Information Modeling (BIM), and the benefits to the project team throughout the design and construction process. For readers already familiar with VDC, the book will provide invaluable examples of best practices and real world solutions. Richly illustrated in color with actual VDC documentation, visualizations, and statistics, the reader is shown the real processes undertaken and outputs generated when working on high profile building information models. Online animations, interviews with practitioners, and downloadable templates, forms and files make this an interactive and highly engaging way to learn a crucial set of skills. While keeping up with current industry practice is a minimum requirement, this book goes further by helping you prepare for the next level of virtual design and construction. This is essential reading for project managers, construction managers, architects, design managers, and anybody with a role in BIM or virtual construction.	Andersson, L., Farrell, K., Moshkovich, O., & Cranbourne, C.	2016	BIM, VDC	Får ikke tak i	1	Bok
2				Modeling Virtual Design and Construction Implementation Strategies Considering Lean Management Impacts	Virtual design and construction (VDC) implementation remains a challenge as companies lack understanding of their implementation strategies and their relation with other important improvement efforts such as lean management. This article presents a performance modeling methodology that allows companies to assess VDC implementation strategies, including lean management as a moderator. The methodology is based on a conceptual model of the implementation variables that influence project performance and a mathematical method that uses partial least squares to explain the relationships among the multiple variables. The methodology was tested using data from an existing survey to identify the variables and quantify the relationships. A significant finding is that using lean as a moderator strengthens the connection between strategies and allows a better performance on companies. The results are exploratory but provide interesting insights into VDC implementation strategies and provide evidence of the methodology's power	Mandujano, M. G., Mourgues, C., Alarcón, L. F., & Kunz, J.	2017	Lean, VDC, Strategier for implementering	Lean	3	Artikkel (Journal)
3				Implementing virtual design and construction (VDC) in veidekke -using simple metrics to improve the design management process	The productivity in the AEC industry in Norway has had a decline since the 80'ies and Veidekke has sought out new approaches to deal with the issue. One of the approaches has been to work with Stanford University and CIFE to improve efficiency of the design phase, by using Virtual Design and Construction (VDC). Through a certificate course in VDC the participants got an introduction to the use of VDC and in the following year implemented VDC in their projects. Metrics is a key part of VDC, and by using simple metrics the participants discovered how to increase the efficiency of the design phase and how to improve the control of the design phase, including changing the processes that did not work well. The aim of this paper is to present some of the course participants' experiences in implementing VDC in their projects and to show how simple metrics can document their efforts. The following main findings were reported: • The time spent with quantity take off (QTO) can be reduced dramatically. • The PPC (Per cent Planned Complete) can be increased by using the 6 prerequisites of a healthy design process to determine the root cause of uncompleted tasks.	Knotten, V., & Svaalestuen, F.	2014	Metrics, VDC, Design management, Constraint analysis, Improvement	Publisert gjennom IGLC. Ble referert til i flere norske masteroppgaver. Veidekke har erfaring med VDC i Norge.	5	Artikkel (Konferanse)
4				Rethinking project management and exploring virtual design and construction as a potential solution	The construction sector is facing widespread criticism of its low efficiency and poor performance. This has led to a rethink of contemporary project management (PM). However, current critical perspectives have failed to diagnose the practical problems existing in PM, and as a consequence, no promising solutions have been proposed. In this research, a combination of critical literature review, field works, case studies, open debates and interviews revealed five fundamentally problematic aspects of contemporary PM: (1) using artificial tools and methods; (2) cannot try before build; (3) discontinuity in construction processes; (4) ineffective information and knowledge management; and (5) creeping managerialism. These problems were then scrutinized by referring them to Virtual Design and Construction (VDC) as a potential solution. Strengths of VDC are explored, and hurdles that prevent it from gaining momentum are also evaluated. It is found that the problems of contemporary PM can largely be alleviated by the use of VDC although its many hurdles are yet to be overcome. This research provides new insights	Li, H., Lu, W., & Huang, T.	2009	Project management, virtual design and construction.		47	Artikkel (Journal)
5				Benefits and lessons learned of implementing Building Virtual Design and Construction (VDC) technologies for coordination of Mechanical, Electrical, and Plumbing (MEP) systems on a large Healthcare project	Coordination of Mechanical, Electrical and Plumbing (MEP) systems is a huge challenge for many technical projects such as Healthcare projects, Bio-tech projects and projects in the area of Advanced Technology. The use of Building Information Modeling (BIM) or Virtual Design and Construction (VDC) tools and processes promises to address the challenges of the MEP coordination process. This case study presents the use of BIM / VDC tools and processes for the coordination of MEP systems on a \$96.9M healthcare project in Northern California, USA. discuss the challenges project team members faced in implementing the BIM / VDC tools and processes for MEP coordination, the specific quantitative and qualitative benefits from the use of BIM / VDC tools and processes that each project team member recognized and the lessons that the project team learned by implementing BIM / VDC tools and processes for the coordination of MEP systems. Some of the challenges we discuss include the creation and organization of the MEP coordination process using BIM / VDC tools, creation of the guidelines for the most efficient use of BIM / VDC tools for the process of conflict identification and resolution between the MEP subcontractors, and aligning the contractual interests of the coordination team to meet the overall project schedule. Some of the benefits that the project team achieved by using the BIM / VDC tools and processes for the coordination of the MEP systems include labor savings ranging from 20 to 30 % for all the MEP subcontractors, 100% pre-fabrication for the plumbing contractor, only one recorded injury throughout the installation of MEP systems over a 250,000 square feet project area, less than 0.2% rework for the whole project for the mechanical subcontractor, zero conflicts in the field installation of the systems and only a handful of requests for information for the coordination of the MEP systems between contractors and the designers, and 6 months' savings on the schedule and about \$9M savings in cost for the overall project. The lessons the team learned include the level and type of details team members need to include to achieve benefits from the use of BIM / VDC tools for the coordination of MEP systems.	Khanzode, A., Fischer, M., Reed, D.	2007	3D-CAD, BIM, endringsmeldinger, MEP, VDC, prefab	Forfattere inkluderer både Martin Fischer og Deen Reed, som er hovedpersoner innen VDC-miljøet.	234	Artikkel (Journal)
6				Virtual Design and Construction: Aligning BIM and lean in practice	The construction industry has experienced many inspiring improvements. Especially two movements have introduced innovative design and construction practices: The advancement of lean thinking and tools and maturity in applying BIM and related concepts and technologies. Although Lean and BIM often thrive in the same culture, have many similar properties and strong potential synergies, they are often considered separate initiatives and unfortunately provide only partial benefits when applied on their own. Based on empirical findings of a general contractor, this paper shows how collaborative lean methods and BIM-related technologies can be implemented in an integrated way in practice.	Fosse, R., Ballard, G., Fischer, M.	2017	VDC, BIM, Last Planner, ICE, Big Room, metrics	Publisert gjennom CIFE, i samarbeid med Glenn Ballard og Martin Fischer som er sentrale innen Lean og VDC. Tar opp bruk av VDC i et norsk perspektiv.	0	Artikkel

7				VDC and the engineering continuum	<i>In this paper, we provide a brief overview of the historical underpinnings of the design-construction industry and the development of design engineering and construction engineering as independent but related subdisciplines of civil engineering. The effects of the first and second generation of computer tools on design engineering are identified. The complementary and evolving definitions of construction engineering and design engineering are examined, specifically in the context of structural design engineering activities and deliverables and the corresponding construction engineering activities and deliverables. The concept of an engineering continuum is introduced, and the process is recast in light of that concept. Several case studies are used to examine the promise of third generation design-construction computing technologies such as virtual design and construction and their potential beneficial impact on the cost and schedule of the typical design-construction project. Refinements to the definitions of construction and design engineering that have the potential to maximize the benefits of third generation technology are proposed with an eye toward the form of fourth generation computing technologies that are on the horizon.</i>	Luth, G.P.	2011	VDC; Integration; Detailed construction model; Simulation	Mulige effekter ved bruk av VDC	15	Artikkel
8	"Virtual Design and Construction" AND "implementation"	1590	Google Scholar	Virtual design and construction: Themes, case studies and implementation suggestions	<i>Virtual Design and Construction (VDC) is the use of integrated multi-disciplinary performance models of design-construction projects to support explicit and public business objectives. This paper describes the theory and methods of VDC, and it includes specific examples of models and precise objectives as well as detailed suggestions on how to implement VDC in practice. VDC models are virtual because they show computer-based descriptions of the project. The VDC project model emphasizes those aspects of the project that can be designed and managed, i.e., the product (typically a building or plant), the organization that will define, design, construct and operate it, and the process that the organization teams will follow. These models are logically integrated in the sense that they all can access shared data, and if a user highlights or changes an aspect of one, the integrated models can highlight or change the dependent aspects of related models. The models are multi-disciplinary in the sense that they represent the Architect, Engineering, Contractor (AEC) and Owner of the project, as well as relevant sub disciplines. The models are performance models in the sense that they predict some aspects of project performance, track many that are relevant, and can show predicted and measured performance in relationship to stated project performance objectives. Some companies now practice the first steps of VDC modeling, and they consistently find that they improve business performance by doing so.</i>	Kunz, J., Fischer, M.	2009	VDC, implementering	CIFE, Martin Fischer og John Kunz	202	Artikkel
9				Building Information Modeling (BIM): A New Paradigm for Visual Interactive Modeling and Simulation for Construction Projects	<i>The Architecture, Engineering and Construction (AEC) industries have long sought techniques to decrease project cost, increase productivity and quality, and reduce project delivery time. Building Information Modeling (BIM) offers the potential to achieve these objectives. BIM represents the development and use of computer-generated n-dimensional (n-D) models to simulate the planning, design, construction and operation of a facility. It helps architects, engineers and constructors to visualize what is to be built in simulated environment and to identify potential design, construction or operational issues. BIM represents a new paradigm within AEC, one that encourages integration of the roles of all stakeholders on a project. It has the potential to bring about great efficiency as well as harmony among players who all too often in the past saw themselves as adversaries. In this paper, the benefits of Building Information Modeling (BIM) for the AEC industries are discussed with the help of two case studies. These case studies illustrate the various tangible and intangible benefits achieved by all stakeholders by implementing BIM in their projects. At the end, light is thrown on various BIM related risks and future challenges for the AEC industries.</i>	Azhar, S., Nadeem, A., Mok, J. Y., & Leung, B. H.	2008	Building Information Modeling (BIM), Virtual Design and Construction (VDC), n-Dimensional Modeling, Parametric Modeling, Facilities Management (FM)	Beskriver mange fordeler ved BIM, kanskje noe subjektivt.	218	Artikkel (konferanse)
10				3D AND 4D MODELING FOR DESIGN AND CONSTRUCTION COORDINATION: ISSUES AND LESSONS LEARNED	<i>3D and 4D modeling tools have been available in the marketplace for some time. The past few years has seen a growing interest from the design and construction community to adopt these tools. As many project teams are realizing, implementing 3D and 4D modeling on an actual project is a complicated process that requires a coordinated effort. No guidelines currently exist on using these tools in a multi-disciplinary and multi-organizational environment and project teams are forced to figure this out on their own in real time as the project progresses. This paper addresses this shortcoming by providing guidelines that describe how to overcome the technical, procedural and organizational issues confronted by project teams as they undertake this new way of working. Specifically, the paper describes different approaches for assembling a project team to leverage these technologies, the modeling requirements for implementing 3D and 4D projects, the 3D and 4D modeling processes, the benefits and shortcomings of the process and technologies, the effect of these technologies on the project's outcome, and the lessons learned. This paper is intended for industry professionals interested in pursuing this type of innovative project delivery. This paper will also be of interest to researchers as it illustrates the limitations of emerging 3D and 4D technologies.</i>	Staub-French, S., & Khanzode, A.	2007	3D model, 4D model, computer aided design (CAD), virtual design and construction, virtual building technologies, design coordination, MEP coordination, construction scheduling.	En av forfatterene tilknyttet CIFE. Publisert gjennom Journal of Information Technology in Construction. Prosjekteringskoordinering kan være relevant å se på, men skal ikke skrive spesifikt om 4D i BIM. Litt utenfor det mest relevante området for prosjektoppgaven.	174	Artikkel (Konferanse)
11				A Guide to Applying the Principles of Virtual Design & Construction (VDC) to the Lean Project Delivery Process	<i>The objective of this paper is to introduce the concepts of Virtual Design and Construction (VDC) and explain how these concepts could be applied to the Lean Project Delivery Process. The Lean Project Delivery Process has been developed by the Lean Construction Institute and is based on the principles of applying the theory of Lean Production to construction projects. VDC has been developed by CIFE, Stanford University, and is the use of multi-disciplinary performance models for the design and construction of capital facilities. This paper presents a guide to practitioners on how to use the tools and principles of Virtual Design and Construction in the Lean Project Delivery Process. A short background of both the principles of VDC and the Lean Project Delivery Process is presented. This is followed by a discussion about the benefits and challenges of applying VDC during the Lean Project Delivery process. Some of the key findings of this study include: • VDC tools like product, process, and organization modeling tools can be applied very effectively to accomplish the objectives of the LPDS. • Product modeling tools like 3D modeling can be effectively applied to the Project Definition, Lean Design and Lean Assembly phases of the LPDS. • Product and process modeling tools like 4D models can be applied during the Lean Supply and Lean Assembly phases of the LPDS. • Product, organization and process modeling tools such as the POP method can be used to analyze the tradeoffs between product, organization and process during the Lean Design phase of the LPDS.</i>	Khanzode, A., Fischer, M., Reed, D., & Ballard, G.	2006	VDC, Lean	CIFE, Glenn Ballard (Lean),	69	Artikkel
12				Interaction of Lean and Building Information Modeling in Construction	<i>Lean construction and building information modeling ,BIM are quite different initiatives, but both are having profound impacts on the construction industry. A rigorous analysis of the myriad specific interactions between them indicates that a synergy exists which, if properly understood in theoretical terms, can be exploited to improve construction processes beyond the degree to which it might be improved by application of either of these paradigms independently. Using a matrix that juxtaposes BIM functionalities with prescriptive lean construction principles, 56 interactions have been identified, all but four of which represent constructive interaction. Although evidence for the majority of these has been found, the matrix is not considered complete but rather a framework for research to explore the degree of validity of the interactions. Construction executives, managers, designers, and developers of information technology systems for construction can also benefit from the framework as an aid to recognizing the potential synergies when planning their lean and BIM adoption strategies.</i>	Sacks, R., Koskela, L., Dave, B. A., & Owen, R.	2010	Computer aided design; Construction management; Information technology; Lean construction	Koskela, ser på sammenheng mellom lean og BIM, JOURNAL OF CONSTRUCTION ENGINEERING AND MANAGEMENT	371	Artikkel
13	"Virtual Design and Construction" AND metrics	593	Google Scholar	Technology, Design and Process Innovation in the Built Environment, Kapittel 16: Virtual Design and Construction		Martin Fischer and Robin Drogemuller	2009	VDC	Teorigrunnlag for VDC, Fischer	9	Kapittel i bok

14	VDC AND Construction AND CIFE	649	Google Scholar	Building a project ontology with extreme collaboration and virtual design and construction	<i>This paper defines the concept of the ‘tripod’ method of design that uses VDC modeling(multi-disciplinary performance-based virtual design and construction modeling), an integrated POP model (a formal and integrated model of Product, Organization and Process of the project) and Extreme Collaboration (a very rapid concurrent and technologically enabled social process of design). The paper focuses in particular on the generic ontology of the POP model, which specifies the related functional requirements, designed forms and predicted, observed and desired behaviors of the defined POP elements. With collateral drawings, models, analyses and explanations, the project specific POP model becomes the schematic and initial detailed design for the project. We describe use of the tripod method for the preliminary design of a large commercial building project. While large generic building project ontologies exist, e.g. the Industry Foundation Classes, we find that our ontology is so simple that teams using any design tools and methods can use it today, and it is helpful. We interpret our results as early evidence that the Tripod engineering process of VDC, Extreme Collaboration and use of a generic POP ontology together enable a design team to build a new integrated multidisciplinary project design model very rapidly. It can then be used to support downstream detailed design and construction planning and also reuse in other engineering projects.</i>	Garcia, A. C. B., Kunz, J., Ekstrom, M., & Kiviniemi, A	2004	Tripod engineering process model, POP ontology, VDC, Virtual design and construction, XC, Extreme collaboration	XC er forgjenger til ICE, CIFE, John Kunz	112	Artikkel
15				The VDC Scorecard: Formulation and Validation	<i>Recent success of virtual design and construction (VDC) can be attributed to the wider adoption of product modeling or building information modeling (BIM) in the AEC industry. Despite this fact, the development of methodologies to assess the maturity of VDC implementation is lagging compared with other innovations in the AEC industry, such as green building assessment frameworks. This is evidenced by the fact that the existing methodologies for assessing the maturity of VDC have been applied to a limited number of projects for short time scales, and that hence the methodologies have been intermittent or static. Most of the methodologies also pay attention to only technical aspects, overlooking social collaboration in assessment. To address this problem, researchers at Stanford University’s Center for Integrated Facility Engineering (CIFE) have drawn from existing research and observations of professional practice to formulate the VDC Scorecard with the goal of making an assessment methodology adaptive, quantifiable, holistic, and practical. The VDC Scorecard assesses the maturity of the VDC implementation of a project across 4 Areas, 10 Divisions, and 56 Measures, and deploys the Confidence Level measured by 7 factors to indicate the accuracy of scores. To keep up with the rapid change of technologies, it aims to build an adaptive scoring system based on evolving industry norms instead of prefixed norms valid for a short period. However, since the industry norms of 4 Areas, 10 Divisions, and 56 Measures could not be compiled at the beginning of the research, the definitions of the percentile of the five tiers of practice (conventional practice, typical practice, advanced practice, best practice, and innovative practice) were drawn from subject matter experts’ opinions. These experts’ percentile for each measure was then calibrated based on the actual sample percentile collected from 108 projects. A correlation test was also done between individual measures and the overall score, in 2 which measures that were found to correlate poorly were revisited for review and revision. The data sets came from 2 countries in North America, 5 in Europe, 4 in Asia, and 1 in Oceania. They cover 11 facility types, 5 delivery methods, and 5 project phases, making the scorecard holistic. The research process also involved the development of a manual, a web interface, and lite version to facilitate communication and understanding, making the scorecard practical. The initial goal of developing the VDC Scorecard was to make it adaptive, quantifiable, holistic, and practical, and the results and practitioners’ feedback from the research have proven these characteristics.</i>	Kam, C., Senaratna, D., McKinney, B., Xiao, Y., & Song, M.	2013	building information models, assessment, evaluation, project management	Evaluering av VDC-prosjekter, CIFE	24	Artikkel
16				An Integrated, Virtual Design and Construction and Lean (IVL) Method for Coordination of MEP		Atul Khanzode	2010	tekniske fag, koordinering, vdc, lean	CIFE, VDC med fokus på tekniske fag, Khanzode er PhD	36	Chapter from PhD-thesis, unpublished technical report
17	Forward snowballing med "A Guide to Applying the Principles of Virtual Design & Construction (VDC) to the Lean Project Delivery Process" som utgangspunkt	69	Google Scholar	LEAN DESIGN MANAGEMENT IN PRACTICE WITH THE LAST PLANNER SYSTEM	<i>Although mostly applied to planning of construction work, projects have also benefitted from adopting the Last Planner System® (LPS) to the design phase. This paper investigates how LPS applies lean principles in design management by presenting a case study of a project changing from traditional planning of the design process to using LPS. Before the transition, the project struggled with several common challenges in design and was in danger of not submitting the design proposal on time. After implementing LPS, performance significantly improved, with the design proposal not just submitted on time, but also performing very well in terms of customer requirements regarding cost and quality. It was clearly stated from the design team that they benefitted significantly from LPS. Better team alignment, clearer task description, better sequencing and increased process transparency were some effects, as well as potential problems better identified and solved in time through a weekly plan “check, correct and lookahead”-routine in design meetings. The aim of this paper is to contribute to the practical understanding of how LPS can be applied to design and what outcomes can be achieved. Previous research has established LPS’ potential to counter common challenges in the design process, and the authors hope this paper further strengthens this notion by contributing with additional empirical findings.</i>	Roar Fosse and Glenn Ballard	2016	Last Planner System, Lean Design, pull planning, PPC.	IGLC, Glenn Ballard, mer om last planner i prosjektering	9	Artikkel
18				USE OF VIRTUAL DESIGN AND CONSTRUCTION, AND ITS INEFFICIENCIES, FROM A LEAN THINKING PERSPECTIVE	In recent years, the Architecture, Engineering and Construction (AEC) industry has broadly expanded the use of Virtual Design and Construction (VDC), particularly Building Information Modeling (BIM). However, this use is not always well planned and defined by the companies, which introduces inefficiencies in their VDC use. This research explores the literature to identify examples of waste in VDC from a Lean Construction perspective, and proposes VDC practices and Lean methods to reduce this waste. The exploratory research found examples of 8 waste types in the use of VDC: Non-value added processing, Motion (excess), Inventory (excess), Waiting Overproduction, Employee knowledge (unused), Transportation/Navigation, and Defects	Mandujano, R., Maria, G., Alarcón, L., Kunz, J., & Mourgues, C.	2015	VDC, BIM, Lean, Waste	IGLC	5	Artikkel (Konferanse)
19				ANALYSIS OF THE IMPLEMENTATION OF VDC FROM A LEAN PERSPECTIVE: LITERATURE REVIEW	<i>VDC (Virtual Design and Construction) models are seen as an important tool in the AEC (Architecture, Engineering and Construction) industry. The VDC methods allow stakeholders to integrate and transmit information throughout the project life cycle, in order to meet customer requirements. Furthermore, VDC is seen as a new approach that will help the AEC industry in achieving Lean principles by eliminating waste, reducing costs, improving productivity and creating positive results within the projects. The Lean philosophy can be used as a conceptual framework for the implementation of VDC, because the impacts of VDC can be associated directly with Lean Principles. Despite the importance of VDC, its implementation is based on anecdotes and beliefs from past projects making it difficult for the industry professionals to formalize implementation lines (factors and metrics) and apply them throughout the project. This research aims to analyze the current implementation of VDC from a Lean perspective. Our analysis includes studies – in the form of surveys, interviews, case studies, literature reviews and implementation guides– that have been conducted in order to assess the implementation and impact of VDC in the AEC industry. The results highlight the importance of the VDC implementation (benefits and obstacles), the lack of tools to identify strategies for successful implementation and the connection between VDC and the lean philosophy.</i>	Alarcón, L., Mandujano, R., Maria, G., & Mourgues, C.	2013	Collaboration/collaborative, lean construction, BIM, VDC, integration, production, integration, implementation strategies.		9	Literature review



20	VDC AND Construction AND CIFE		Engineering Village	Ingen ny relevant litteratur							
21	"Virtual Design and Construction" AND Implementation	41	Engineering Village	Modeling Virtual Design and Construction Implementation Strategies Considering Lean Management Impacts	Virtual design and construction (VDC) implementation remains a challenge as companies lack understanding of the implementation strategies and their relation with other important improvement efforts such as lean management. This article presents a performance modeling methodology that allows companies to assess VDC implementation strategies, including lean management as a moderator. The methodology is based on a conceptual model of the implementation variables that influence project performance and a mathematical method that uses partial least squares to explain the relationships among the multiple variables. The methodology was tested using data from an existing survey to identify the variables and quantify the relationships. A significant finding is that using lean as a moderator strengthens the connection between strategies and allows a better performance on companies. The results are exploratory but provide interesting insights into VDC implementation strategies and provide evidence of the methodology's power.	Mandujano, M. G., Mourgues, C., Alarcón, L. F., & Kunz, J.	2017	Conceptual model, Implementation strategies, Lean management, Mathematical method, Partial least square (PLS), Performance Model, Project performance, Virtual design and constructions	IMRaD, John Kunz, metode for e	5	Artikkel
22				Real-time supply chain management using virtual design and construction and lean	Supply chain management in construction has evolved in response to various innovative tools. Field observations and focus-group interviews with supply chain members, however, indicate a need to design an integration methodology of these tools to improve communication, reliability, visibility, and automation in the construction supply chain management. Thus the authors have developed and implemented the integration methodology of Virtual Design and Construction, lean, and real-time data capturing tools. With this integration, improvement in alignment between demand and supply, reduction in distortion of demand information, and savings in time and efforts have been achieved in a field trial for the supply chain management of the doors, frames, and hardware scope of work on a construction project, translating into a change in the behaviour of the construction supply chain management: supply chain members enable real-time, web-based, two-way communication, 4D color-coded visualizations and automatic status reports of a supply chain, and model-based Last Planner™, resulting in creating instant, consistent, visual coordination and communication between field crews and offsite personnel and bringing a high level of accountability to themselves and each aspect of the supply chain management.	Cho, S., & Fischer, M.	2010	Color-coded visualization, Construction projects, Construction supply chain management, Lean, Real time supply chain, Real-time data, Two way communications, Virtual design and constructions	CIFE, Får ikke tilgang	6	Artikkel
23	"Virtual Design and Construction" AND metrics	5	Engineering Village	Ingen ny relevant litteratur							
24	"Virtual Design and Construction" AND metrics	594	Google Scholar	How to measure the benefits of BIM — A case study approach	As a term and method that is rapidly gaining popularity, Building Information Modeling (BIM) is under the scrutiny of many building professionals questioning its potential benefits on their projects. A relevant and accepted calculation methodology and baseline to properly evaluate BIM's benefits have not been established, thus there are mixed perspectives and opinions of the benefits of BIM, creating a general misunderstanding of the expected outcomes. The purpose of this paper was to develop a more complete methodology to analyze the benefits of BIM, apply recent projects to this methodology to quantify outcomes, resulting in a more holistic framework of BIM and its impacts on project efficiency. From the literature, a framework calculation model to determine the value of BIM is developed and presented. The developed model is applied via case studies within a large industrial setting where similar projects are evaluated, some implementing BIM and some with traditional, non-BIM approaches. Cost or investment metrics were considered along with benefit or return metrics. The return metrics were: requests for information, change orders, and duration improvements. The investment metrics were: design and construction costs. The methodology was tested against three separate cases and results on the returns and investments are presented. The findings indicate that in the tool installation department of semiconductor manufacturing, there is a high potential for BIM benefits to be realized. Actual returns and investments will vary with each project	Kristen Barlish, Kenneth Sullivan	2012	Building Information Modeling (BIM) Benefits of BIM Framework model	Elsevier, metrics knyttet opp mot BIM	411	Artikkel
25				Understanding the Science of Virtual Design and Construction: What It Takes to Go beyond Building Information Modeling	Building Information Modeling (BIM) is gaining wide-spread acceptance in the Architectural, Engineering and Construction (AEC) industry. The implementation of BIM has focused largely on Architectural, Structural, as well as specialist Mechanical and Electrical disciplines, but it remains perceived mainly as a design tool or at best a visualization tool in 3D or 4D. Instead, we have to go beyond BIM and begin to embrace the notion of virtual design and construction (VDC). It is a concept or approach to build, visualize, analyze, and evaluate project performance virtually and early before a large expenditure of time and resources is made. Although BIM could form the backbone of this approach, its success requires a relook of the processes. Intelligent Project Realization (IPR) is introduced which characterizes the 'science' behind this approach, with an analysis methodology supported by Multiple Domain Matrices (MDM). There is also a lean perspective that should govern this transformation in project delivery.	David K. H. Chua, M.ASCE and Justin K. W. Yeoh	2015	VDC, BIM	Teori om VDC	8	
26	"Virtual Design and Construction" AND "Last planner"	3	Engineering Village	Ingen ny relevant litteratur							
27	"Virtual Design and Construction" AND "Last planner"	242	Google Scholar	BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors	Discover BIM: A better way to build better buildings. Building Information Modeling (BIM) is a new approach to design, construction, and facility management in which a digital representation of the building process is used to facilitate the exchange and interoperability of information in digital format. BIM is beginning to change the way buildings look, the way they function, and the ways in which they are designed and built. BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors provides an in-depth understanding of BIM technologies, the business and organizational issues associated with its implementation, and the profound advantages that effective use of BIM can provide to all members of a project team. The Handbook: Introduces Building Information Modeling and the technologies that support it Reviews BIM and its related technologies, in particular parametric and object-oriented modeling, its potential benefits, its costs, and needed infrastructure Explains how designing, constructing, and operating buildings with BIM differs from pursuing the same activities in the traditional way using drawings, whether paper or electronic Discusses the present and future influences of BIM on regulatory agencies; legal practice associated with the building industry; and manufacturers of building products Presents a rich set of BIM case studies and describes various BIM tools and technologies Shows how specific disciplines?owners, designers, contractors, and fabricators?can adopt and implement BIM in their companies Explores BIM's current and future impact on industry and society Painting a colorful and thorough picture of the state of the art in Building Information Modeling, the BIM Handbook guides readers to successful implementations, helping them to avoid needless frustration and costs and take full advantage of this paradigm-shifting approach to build better buildings, that consume fewer materials, and require less time, labor, and capital resources.	C Eastman, P Teicholtz, R Sacks and K Liston	2012 (2nd edition)	BIM	BIM-grunnlag, Rafael Sacks and	4186	Bok

28	VDC (filter: masteroppgaver, norsk)	13	Oria	Tilrettelegging for god ICE-prosjektering	Bygningsinformasjonsmodeller er på vei inn i byggebransjen, et verktøy som knytter leveranser fra prosjekteringsgruppen i et prosjekt sammen i objektmodell. Med felles leveranse er felles arbeidsform neste steg. Integrated Concurrent Engineering (ICE) eller samlokalisert, samtidig prosjektering ble utviklet av NASA for deres romprogrammer, og er av Center of Integrated Facility Engineering ved Stanford University innlemmet i prosjektformen Virtual Design and Construction (VDC). VDC inkluderer BIM, ICE, målinger og produkt- og prosjektplanlegging og -kontroll og er basert på Lean-tankegang. For å se på tilrettelegging for god ICE-prosjektering er det i rapporten utført en casestudie av detaljprosjektering i VDC-prosjektet Hagebyen byggetrinn 1. Prosjektet er pilotprosjekt for VDC i Veidekke Entreprenør AS. Studien er utført ved triangulering av metoder. Resultater av spørreundersøkelse, intervjuer, registrering av møteaktivitet og -oppmøte og observasjoner utført våren 2012 er tolket, og drøftet opp mot teori og kartlagte utfordringer i VDC. Klare målsetninger for ICE-prosjektering, både felles i prosjekteringsgruppe og individuelt for å nå overordnet mål må utarbeides. For styring av prosjektet er det påvist behov for tidlig planlegging, utførelse og bruk av gode, formålstjenelige målinger. Målinger kan brukes til kontinuerlig å samle gruppen i arbeid mot felles målsetning, og styring i hvordan arbeidet skal utføres. Komprimert prosjektering som ICE krever oppmøte fra alle deltakere som er interessenter i saker som skal tas opp i ICE-sesjoner. Mangel på deltakelse, og utfordringer som følge av dette er påvist i caseprosjekt. Det er i studien og beskrevet behov for endringer i infrastruktur og teknologi	Linn Therese Jovik	2012	VDC, ICE, prosjektering, BIM, målinger, Lean	NTNU, prosjekteringsfasen	-	Masteroppgave
29				Effektivisering av prosjekteringsprosessen (Med implementering av BIM, Lean Construction og VDC)	Bruk av forbedringsprosesser som bygningsinformasjonsmodellering (BIM), Lean Construction og Virtual Design and Construction (VDC) er under utvikling i byggebransjen. BIM som verktøy kan ikke utgjøre de forbedringene som er nødvendige alene, men ved å implementere det med Lean og VDC kan man effektivisere prosjekteringsprosessen. Formålet med masteroppgaven er å vurdere muligheten for og få en mer effektiv prosjekteringsprosess med å implementere BIM, Lean og VDC. Det er gjennomført litteraturstudie, spørreundersøkelse, og casestudie for å kunne besvare problemstillingen og forskningsspørsmålene i oppgaven. Casestudiet omfatter et prosjekt i AF Gruppen Bygg Oslo og empirisk data er innehentet gjennom intervju, deltakelse i BIM-møte og dokumentstudier. VDC er en metodikk og rammeverk utviklet av Center of Integrated Facility Engineering (CIFE) ved Stanford University i USA i 2001. I prosjektformen VDC benyttes det virtuelle hjelpemidler, metoder og verktøy for å effektivisere prosjektarbeidet og redusere unødvendig arbeid. VDC består av de fire hovedelementene prosessstyring, målinger, BIM og ICE-møte. VDC har likhetstrekk med Lean Construction, hvor fokuset er på å øke verdien, eliminere sløsing og effektivisere prosjekt. Lean Construction har sin opprinnelse fra produksjonsfilosofien til selskapet Toyota på 1950-tallet i Japan, og ble presentert for byggebransjen av Lauri Koskela i 1992. En effektiv bruk av BIM er knyttet opp mot Lean Construction og VDC. Både Lean og VDC praktiserer en tidlig involvering av aktører, noe som legger til rette for en god utnyttelse av BIM-modellen. Lean og VDC benytter BIM-modellen for å skape en samarbeidsplattform og en integrert prosjekteringsgruppe. Integrerte prosjekteringsgrupper har god informasjonsdeling og kunnskapsoverføring, og følgelig et godt samarbeid. Det er utfordringer med å implementere en ny gjennomføringsmodell for prosjekteringsprosessen grunnet den konservative kulturen i byggebransjen og mange personers motvilje til forandring. En vellykket implementering av en modell for prosjekteringsprosessen med BIM, Lean og VDC kan resultere i god kommunikasjon, et forbedret samarbeid og en effektivisert prosjekteringsprosess.	Trine Lene Austrøne Olsen	2015	VDC, BIM, lean	NTNU, prosjektering, BIM og Lean i VDC fokus	-	Masteroppgave
30				Virtual Design and Construction i prosjekteringsprosessen	I en tid hvor byggekostnadene bare øker og øker, og effektiviteten synker, er det viktig å gjennomføre tiltak for å øke effektiviteten og senke kostnadene. Skanska har valgt å satse på konseptet Virtual Design and Construction (VDC) som er et rammeverk for utforming, planlegging og gjennomføring av byggeprosjekter. Ved å benytte virtuelle hjelpemidler, metoder og verktøy skal VDC effektivisere prosjektarbeidet og redusere unødvendig arbeid. Hensikten med denne oppgaven er å videreutvikle og forbedre gjennomføringen av Virtual Design and Construction (VDC) i prosjekteringsprosessen. Studien fokuserer på gjennomføring, forbedringspotensial og effekt av VDC-metodikk i detaljprosjekteringsfasen. Rammeverket VDC stammer fra forskning ved Center of Integrated Facility Engineering (CIFE) ved Stanford University. VDC er et levende konsept, under kontinuerlig forbedring og tilpasning, både når det gjelder mellom ulike bedrifter, type prosjekt og i hvilken fase man er i. VDC-metodikken bygger på Lean-prinsipper og kan brukes i alle fasene av Lean Project Delivery System (LPDS). CIFE knytter VDC til fire hovedelementer: Integrated Concurrent Engineering (ICE), BIM, planlegging og kontroll av prosess og produksjon, og målinger. Skanska har valgt å dele sin VDC-modell inn i tre hovedelementer: Involverende planlegging, BIM og ICE.	Hege Husby	2017	VDC, ICE, BIM, involverende planlegging, målinger	NTNU, prosjekteringsfasen, måling	-	Masteroppgave
31				Virtual Design and Construction - Implementering og effekter.	VDC er et rammeverk og et konsept åpent for tolkning, som skal tilrettelegge for tverrfaglig samhandling og optimal kommunikasjon i mellom prosjektets deltakere og interessenter, i prosjektering og produksjon, og hvor byggeprosessen optimaliseres ved hjelp av digitale visualiserings- og modelleringsverktøy, og - metoder for best mulig planlegging, styring, og kontroll av prosjektet, for å på en best mulig måte nå prosjektets og kundens mål. Veidekke og Skanska er to eksempler på norske firmaer som har implementert VDC i sin virksomhet. VDC i Skanska er en samling av flere teknikker, verktøy og metoder som satt i et system, hvor hovedtanken bak hele konseptet tar utgangspunkt i teoriene og prinsippene i fra Lean Construction. Hovedelementene i Skanskas VDC-konsept er The Last Planner System, ICE og BIM. Skanska har vært bevisste på å implementere VDC på en god måte slik at det skal fungere optimalt for dem. I Veidekke benytter de seg av et egenutviklet konsept som heter Involverende Planlegging i Prosjektering (IPP) i tillegg til VDC. IPP baserer seg i stor grad på prosessen mot å nå byggeprosjektets mål, med Lean Construction-filosofi som grunnlag for konseptet. Veidekke anser IPP og VDC som to forskjellige konsepter, men det er ikke noe fast svar på hva forholdet i mellom konseptene er. Det viser seg at IPP og VDC er to konsepter med mange likheter, og at de kan gå sammen som et samlet konsept. Implementering og bruk av VDC har vist seg å gi flere positive effekter for Skanska. Noen av disse effektene er mindre tidsbruk, økt kontroll, mindre feil i prosjektering og produksjon, bedre HMS og økt konkurransekraft. I tillegg viser det seg at VDC kan sørge for økt verdi i prosjektet, minimere sløsing, og tilrettelegge for prosjekter som gjennomføres ved bruk av en IPD-kontrakt.	Ola Grindland	2017	VDC, last planner, ICE, BIM, IPD-kontrakt	Ser på effekt, NTNU, Frode Drevland	-	Masteroppgave



32				Bruk av VDC og 4D i Skanska-prosjekter	Dagens byggebransje er i ferd med å bli digitalisert, og flere aktører i bransjen tar i bruk digitale verktøy som BIM og 3D-modeller. Flere bedrifter i byggebransjen har tatt i bruk Virtual Design and Construction, VDC. VDC anses som et samlebegrep for en rekke metoder og verktøy for forbedret prosjektgjennomføring støttet opp med digitale verktøy. 4D-modellering er neste generasjons BIM med prosjekters fremdriftsplan integrert i 3D-modellen. Oppgaven er skrevet i samarbeid med Skanska Norge AS og tar sikte på å kartlegge hvordan 4D-modellering kan bidra i et eksisterende VDC-rammeverk. I forbindelse med denne oppgaven ble to forskjellige Skanska-prosjekter besøkt, der begge prosjektene har tatt i bruk VDC-verktøy og metoder. Ensjø Torg-prosjektet er det første til å ta i bruk 4D-modellering. I første omgang ble det gjennomført et litteraturstudium for å danne det teoretiske grunnlaget i oppgaven. VDC tolkes som et paraplybegrep for digitale hjelpemidler, som BIM, og samhandlingsverktøy. Det finnes mange ulike verktøy og metoder som faller inn under VDC-begrepet, men alle disse har som fellestrekk at de skal forbedre prosjektets produkt, organisasjon og prosess. ICE-metodikken er en møteform som fremmer høyere grad av kommunikasjon og samhandling. The Last Planner System er en planleggingsmetodikk som går ut på at de utførende selv planlegger eget arbeid. Planleggingen gjøres bakover med utgangspunkt i en milepæl. Skanska-prosjektene Ensjø Torg og Tiedemannsbyen bruker begge VDC-rammeverket. Her brukes 3D-modeller som tegningsgrunnlag, og prosjektering foregår direkte i 3D-modellen i ICE-møtet. ICE-møtene brukes også som ramme for planlegging, både for prosjekterings- og produksjonsavdelingen. Fremdrift planlegges ved hjelp av The Last Planner System. På Ensjø Torg har BIM-koordinatoren begynt arbeidet med å lage en 4D-modell for prosjektet. Da prosjektet foreløpig er på et tidlig stadium, er ikke 4D-modellen i bruk enda. Forventningene er store til implementering av 4D-modellen. De ansatte på prosjektet forventer at visualiseringen som kommer med en 4D-modell skal bringe med seg flere fordeler. Det forventes at overgangen fra prosjektering til produksjon skal gå lettere, da modellen bidrar til at det er lettere å se, ikke bare hva som skal bygges, men også hvilken rekkefølge det skal bygges i. 4D-modellen kan brukes til å belyse hvilke områder på byggeplassen som blir berørt av risikofylte arbeider. Slik kan modellen brukes til å ivareta sikkerheten på byggeplassen. Ensjø Torg-prosjektet har som ambisjon å bruke 4D-modellen til fremdriftsoppfølging. Dette innebærer at 4D-programvare skal benyttes for å avstemme fremdriftsplanen slik at det alltid er tydelig i modellen hvilke arbeider som er gjennomført og hvilke som gjenstår. På denne måten kan prosjektteamet konsentrere seg om fremtidige arbeider, og ikke bruke tid på å etterspørre informasjon om hvorvidt en aktivitet er gjennomført eller ei.	Ance Redman	2017	4D, BIM, VDC	Mindre relevant pga 4D	-	Masteroppgave	
33	Snowballing fra referanselisten til masteroppgaven "Tilrettelegging for god ICE-prosjektering" av Linn Therese Jovik			Ingen ny relevant litteratur								
34	Snowballing fra referanselisten til masteroppgaven "Effektivisering av prosjekteringsprosessen" av Trine Lene Austrøne Olsen			-	The last planner system of production control	Project controls have traditionally been focused on after-the-fact detection of variances. This thesis proposes a control system, the Last Planner system, that causes the realization of plans, and thus supplements project management's concern for management of contracts with the management of production. The Last Planner system has previously been successively applied by firms with direct responsibility for production management; e.g., speciality contractors. This thesis extends system application to those coordinating specialists, both in design and construction, through a series of case studies, one of which also explores the limits on unilateral implementation by specialists. In addition to the extended application, two questions drive this research. The first question is 1) What can be done by way of tools provided and improved implementation of the Last Planner system of production control to increase plan reliability above the 70% PPC level? Previous research revealed substantial improvement in productivity for those who improved plan reliability to the 70% level, consequently there is reason to hope for further improvement, possibly in all performance dimensions, especially with application across an entire project rather than limited to individual speciality firms. That question is explored in three case studies, the last of which achieves the 90% target. The second research question is 2) How/Can Last Planner be successfully applied to increase plan reliability during design processes1 ? That question is explored in an extensive case study, which significantly contributes to understanding the design process from the perspective of active control, but unfortunately does not fully answer the question, primarily because the project was aborted prior to start of construction. However, it is argued that the Last Planner system is especially appropriate for design production control because of the value-generating nature of design, which renders ineffective traditional techniques such as detailed front end planning and control through after-the-fact detection of variances. Issues for future research are proposed, including root cause analysis of plan failures and quantification of the benefits of increased plan reliability for both design and construction processes.	Glenn Ballard	2000	Lean, Last planner	Opphavet til last planner, Glenn Ballard, PhD-avhandling	1305	PhD-thesis
35				Modern construction: lean project delivery and integrated practices		Lincoln H. Forbes, Syed M. Ahmed	2010	IPD, Lean, BIM	prosjektledelse, styring og kontroll, oversiktlig skrevet, men lite knyttet opp mot VDC	268	bok	
36				The Lean Project Delivery System: An Update	The Lean Project Delivery System emerged in 2000 from theoretical and practical investigations, and is in process of on-going development through experimentation in many parts of the world. In recent years, experiments have focused on the definition and design phase of projects, applying concepts and methods drawn from the Toyota Product Development System, most especially target costing and set based design. These have been adapted for use in the construction industry and integrated with computer modeling and relational forms of contract. Although by no means a finished work, the Lean Project Delivery System has developed sufficiently to warrant an updated description and presentation to industry and academia, incorporating processes and practices that have emerged since earlier publications		Glenn Ballard	2008	Lean project delivery, project business plan, project business plan validation, set based design, target cost	Teoretisk grunnlag for lean, Glenn Ballard	432	Artikkel

