

Scores rapportserie 2024:2

Digitala tvillingar som vision och verklighet

En kunskapsöversikt om hur digitala tvillingar förstås och används i offentlig sektor

Cecilia Fredriksson

SCORE

STOCKHOLM CENTRE FOR
ORGANIZATIONAL RESEARCH

Digitala tvillingar som vision och verklighet

En kunskapsöversikt om hur digitala tvillingar förstås och används i offentlig sektor

Cecilia Fredriksson

Scores rapportserier 2024:2
ISBN 978-91-88833-29-7

Stockholms centrum för forskning om offentlig sektor
106 91 Stockholm
www.score.su.se



Digitala tvillingar som vision och verklighet

En kunskapsöversikt om hur digitala tvillingar förstås och används
i offentlig sektor

Cecilia Fredriksson

Innehållsförteckning

<i>Abstrakt</i>	<i>i</i>
<i>English summary</i>	<i>i</i>
<i>Förord</i>	<i>ii</i>
Introduktion.....	1
Framväxten av digitala tvillingar	2
Metod och material	5
Litteratursökning, kriterier och kodning.....	5
Resultat	8
Förståelsen av digitala tvillingar i offentlig sektor	9
Användningen av digitala tvillingar i offentlig sektor.....	11
Motivering för och användning av digitala tvillingar inom hälso- och sjukvård	13
Motivering för och användning av digitala tvillingar inom stadsplanering.....	16
Möjligheter och utmaningar med digitala tvillingar i offentlig sektor	20
Digitala tvillingars roll i offentlig sektor	25
Digitala tvillingar som socio-tekniskt fenomen.....	25
Digitala tvillingar som proaktivt verktyg	26
Digitala tvillingar som stöd i beslutsfattandet	27
Digitala tvillingar som samhällsvision	28
Slutsatser	30
Referenser	32
Bilaga A: Litteratur som ingår i kunskapsöversikten.....	38

Abstrakt

I denna kunskapsöversikt redovisas och diskuteras förståelsen och användningen av digitala tvillingar i offentlig sektor. En digital tvilling, som beskrivs som en digital kopia av ett fysiskt objekt eller en fysisk struktur eller process, är ett tekniskt fenomen som framförallt används inom industrisektorn. En digital tvilling förväntas bland annat skapa effektivitet och produktivitet, förbättra kvalitet och beslutsfattande och bidra till ekonomisk och social utveckling. Likväl är utmaningarna många och betydande risker kring exempelvis datasäkerhet, datahantering och brist på tekniskt kunnande lyfts fram. Intresset för digitala tvillingar har ökat i den offentliga sektorn, men än har vi begränsad kunskap om hur digitala tvillingar förstås samt hur och i vilken omfattning de används i offentlig verksamhet. Syftet med denna kunskapsöversikt är att utveckla kunskapen kring digitala tvillingars roll i offentlig sektor, med särskilt fokus på dess sociala, etiska och politiska aspekter för offentlig verksamhet. Baserat på en systematisk litteraturoversikt, med grund i hälso- och sjukvårdsområdet och stadsplaneringsområdet, föreslås och diskuteras fyra roller som digitala tvillingar kan ha i offentlig sektor men som har fått begränsad uppmärksamhet i denna litteratur. Dessa roller är digitala tvillingar som 1) socio-tekniskt fenomen, 2) proaktivt verktyg, 3) stöd i beslutsfattande och 4) samhällsvision. I kunskapsöversikten framkommer även en tydlig brist på implementerade studier av digitala tvillingar och forskningen är i huvudsak spekulativ kring det värde digitala tvillingar förväntas ha för offentlig verksamhet.

English summary

This knowledge overview presents and discusses the understanding and use of digital twins in the public sector. A digital twin, described as a digital copy of a physical object, structure or process, is a technological phenomenon used mainly in the industrial sector. Digital twins are expected to create efficiency and productivity, improve quality and decision-making and contribute to economic and social development, among other things. However, several challenges and major risks are highlighted, such as data security, data management and lack of technical know-how. Interest in digital twins has increased in the public sector, but we still have limited knowledge about how digital twins are understood and whether and how they are used in public activities. The aim of this knowledge overview is to develop knowledge about the role of digital twins in the public sector, with a particular focus on their social, ethical and political aspects for public services. Based on a systematic literature review stemming from literature in the healthcare and urban planning fields, four roles of digital twins in the public sector are proposed and discussed, which are overlooked in this literature today. These roles are digital twins as 1) a socio-technical phenomenon, 2) a proactive tool, 3) a support in decision-making and 4) a social vision. The knowledge overview also reveals a clear lack of implemented studies of digital twins and the research is mainly speculative about the value that digital twins are expected to have for public activities.

Förord

Rapporten är en slutprodukt av en forskningsstudie som bedrivits vid Stockholms center för forskning om offentlig sektor (Score) under våren 2024. Studien har letts av Livia Johannesson, doktor i statsvetenskap, biträdande lektor vid Förvaltningshögskolan vid Göteborgs Universitet och forskare vid Score. Studien har genomförts av Cecilia Fredriksson, ekonomie doktor i företagsekonomi och forskare vid Score. Ändamålet med studien var, i enlighet med Scores forskningsteman, att studera och utöka begränsad kunskap om nya digitala teknologiers framväxt och användning i offentlig sektor.

Författaren vill rikta ett stort tack till FORTE och Scores styrelse för finansiering av forskningsstudien och till Livia Johannesson för värdefullt stöd, gott samarbete och kritiska synpunkter under studiens gång. Ett stort tack även till deltagarna på Scores interna seminarium som bistod med konstruktiva kommentarer då ett utkast av rapporten presenterades.

Stockholm, juni 2024

Cecilia Fredriksson

Introduktion

Denna rapport handlar om förståelsen och användningen av digitala tvillingar i offentlig sektor. Digitala tvillingar är digitala kopior av fysiska objekt, tillgångar, processer eller system. De gemensamma nämnarna i definitionen av digitala tvillingar som diskuteras i denna rapport är att en digital tvilling består av: 1) *ett fysiskt objekt* som är avbildat i 2) *en digital kopia* där det finns 3) *en koppling* och 4) *ett automatiserat realtidsflöde mellan det fysiska objektet och dess digitala kopia*. En digital tvilling kan i princip konstrueras av vilket objekt som helst – en människokropp, en industritillverkningsprocess, en sjukhusbyggnad, en stad – till och med hela världen¹. En digital kopia av en människa kan exempelvis användas inom hälso- och sjukvården för att digitalt testa effekten av en medicin eller ingrepp innan människan själv medicineras eller opereras. Amsterdam, Göteborg och Singapore använder sig av digitala kopior av staden för att göra stadsplaneringen smartare och därmed kunna erbjuda effektivare lösningar för administration och medborgare. Forskare och programmerare arbetar idag med digitala kopior av Arktis och delar av området med ändamålet att bättre förstå bland annat väder- och vattenförändringar². En digital tvilling är i sig en självständigt framväxande teknologi och komponent i den digitala utvecklingen. Samtidigt är digitala tvillingar uppbyggda av andra digitala komponenter, så som artificiell intelligens, Internet of Things och big data, som tillsammans skapar en komplex helhet – en teknologisk cocktail (Popa et al., 2021).

Digitala tvillingar anses befina sig i en intensiv utvecklingsfas inom flera samhällsområden, så som hälso- och sjukvård och stadsplanering. Digitala tvillingar, som en del av den digitala omvandlingen i samhället i stort, anses ha ett betydande värde för den offentliga verksamheten. Digitala tvillingar förväntas öka livskvaliteten, förbättra beslutsfattandet, skapa effektivitet, produktivitet, kvalitet och hållbarhet, och bidra till ekonomisk och social utveckling. Samtidigt framställs utmaningarna som många. Det finns stora risker kring datahantering och datasäkerhet, oklarheter kring äganderätt för och kvalitet av de olika komponenterna som digitala tvillingar består av, brist på tekniskt kunnande och organisatorisk beredskap och mognad att kunna realisera de visioner som målas upp. Offentliga aktörer, så som statliga, regionala och kommunala myndigheter, påverkas och styrs av den teknologiska förändring som sker och måste ta ställning till de möjligheter och utmaningar den för med sig. Dock har vi begränsad kunskap om vad den teknologiska förändringen innebär för den offentliga sektorn och de tekniska utmaningar som utövare av offentlig förvaltning står inför blir alltmer komplexa (Andrews, 2019). Den privata sektorn står dessutom för och kontrollerar en stor del av den tekniska produktionen (Carlsson & Rönnblom, 2022). Vi tenderar även undersöka innovation i offentlig sektor med ett privat sektor perspektiv, vilket riskerar åsidosätta viktiga

¹ Europeiska Kommissionen beskriver ambitionen om ett “Destination Earth”, ett initiativ för att utveckla en digital högprecisionsmodell av jorden – en digital tvilling av jorden – som skulle förbättra Europas förmåga att förutse miljöproblem och hantera kriser (European Commission, 2020).

² Lyssna på Sveriges Radios inslag om “Så kan en tvilling i datorn hjälpa Arktis” (Carlqvist Warnborg, 2024).

egenskaper och villkor som är specifika för offentliga organisationer (Bugge & Bloch, 2016; Demircioglu & Audretsch, 2017). Den offentliga sektorn karaktäriseras (från ett demokratiskt västvärldsperspektiv) av politisk styrda organisationer vars organisation och verksamhet utmärks dels av organisatoriska begränsningar så som resursbrist och korta tidsspann mellan demokratiska val, dels offentliga värderingar så som ansvarsutkrävande, jämställdhet, öppenhet, trygghet och demokratisk legitimitet (Carlsson, 2023; Carlsson & Rönnblom, 2022).

Att introducera digitala tvillingar i offentlig verksamhet – i Sverige och internationellt – innebär därför både möjligheter och utmaningar och för att förstå dessa behöver vi ytterligare kunskap om vad digitala tvillingar är, om och hur de används i offentlig verksamhet och vilken roll de spelar i förverkligandet av ovan nämna värden som offentlig sektor ska präglas av. Syftet med denna kunskapsöversikt är därmed att utveckla kunskapen kring digitala tvillingars roll med särskilt fokus på dess sociala, etiska och politiska aspekter för offentlig verksamhet. Denna rapport fokuserar således inte på den tekniska dimensionen av digitala tvillingar. För att uppnå detta syfte har en systematisk litteraturoversikt genomförts där relevant forskning om digitala tvillingar samlats in och kodats enligt ett förutbestämt kodningsschema. Eftersom tillgänglig litteratur om digitala tvillingar i offentlig sektor utan ytterligare specificering visade sig vara ytterst begränsad har litteraturen delats in i två policyområden inom den offentliga sektorn. Ett område berör digitala tvillingar inom hälso- och sjukvården och det andra området berör digitala tvillingar inom stadsplanering.

Rapporten är strukturerad enligt följande. Efter denna introduktion beskrivs tidigare forskning om hur digitala tvillingar, som en del av den digitala utvecklingen i samhället, har utvecklats i olika kontext över tid. Därefter beskrivs val av metod och material som ligger till grund för kunskapsöversikten och tillvägagångssätt i processens olika delar. Resultatet av den systematiska litteraturoversikten beskrivs sedan utifrån två huvudsakliga inriktningar: 1) förståelsen och 2) användningen av digitala tvillingar i offentlig sektor. Här ges underlaget och de möjligheter och utmaningar som lyfts fram av de forskare som studerat och diskuterat digitala tvillingar utrymme och författaren tar inte ställning till det som lyfts fram i resultatredovisningen. Avslutningsvis diskuteras kritiskt digitala tvillingars roll i den offentliga sektorn utifrån fyra centrala iakttagelser: digitala tvillingar som 1) socio-tekniskt fenomen, 2) proaktivt verktyg, 3) stöd i beslutsfattande och 4) samhällsvision i offentlig sektor.

Framväxten av digitala tvillingar

Den offentliga sektorn genomgår vad som brukar beskrivas som en digital omvandling (*digital transformation*) som omfattar förändringar för organisationers interna processer och rutiner, den service de tillhandahåller och ansvarar över och de som använder sig av organisationernas tjänster. En omfattande “digital governance” (Andrews, 2019; Dunleavy et al., 2006; Gil-Garcia et al., 2018) har växt fram som förändrar vår syn på hur offentligt ledarskap, beslutsfattande, serviceproduktion och genererandet av värde för allmänheten bör organiseras. De övergripande målsättningarna med den digitala omvandlingen är att effektivisera och

modernisera serviceproduktion och administration, göra kostnadsbesparingar och tillhandahålla lättillgänglig service av hög kvalitet.

I Kaijser et al. (2024) kan vi följa med datateknikens utveckling i Sverige som från och med 1950-talet utvecklades för att bland annat effektivisera offentliga sektorns arbete, då speciellt statsförvaltningen. Välfärdssamhället med socialförsäkringar och beskattningssystem utvecklades som ställde krav på effektiv databehandling med effektivare service som målsättning. Redan då debatterades utvecklingens konsekvenser – hur personlig integritet skulle tryggas och datateknikens sårbarheter bemötas i hantering och insamling av (då) stora datamängder och avancerade körningar. Datoriseringen i Sverige och världen har lagt grunden för den framväxande teknologi som offentlig sektor behöver bemöta idag. Då behovet av effektivisering och verksamhetsutveckling ökar, har offentliga aktörer kommit olika långt i digitaliseringsutvecklingen och står inför stora utmaningar att klara av denna omställning (SKR, 2023). Användandet av ny teknik och misslyckad digitalisering kan även leda till högre kostnader, onödig administration och ökade tekniska och strukturella sårbarheter för offentliga aktörer (European Commission, 2020; FOI, 2020).

Speciellt nya digitala informations- och kommunikationsteknologier driver den digitala omvandlingen som offentliga organisationer är en del av, så som Internet of Things (IoT), blockchain, artificiell intelligens (AI), robotteknik, virtuell verklighet (VR), omfattande informationsmängder (big data) och Building Information Modelling (BIM). I den digitala omvandling som sker har organisationerna själva förändringspotential och en central roll i det digitala arbetet (Haug et al., 2023). Under senare år har vi kunnat följa utvecklingen av andra digitala innovationer i offentlig sektor, som till exempel hur socialtjänsten använder robothandläggare (Arnelid, 2021), hur städer använder big data som stöd i beslutsfattande (Fredriksson, 2018) och hur arbetsförmedlingen använder AI i deras arbete (Berman et al., 2024). I till exempel Storbritannien har det sedan 2016 varit obligatoriskt att använda BIM i byggnadsprojekt inom den offentliga förvaltningen, vilket har lett till en gradvis ökning av digitala teknologier (Oti-Sarpong et al., 2022).

Utvecklingen av digitala tvillingar är en del av denna omvandling och skapandet och användandet av digitala innovationer. Användningen av digitala tvillingar härstammar från tidigt 2000-tal³, dels från tillverkningsindustrin och hanteringen av produkters livscykel med målsättningen att effektivisera varuproduktion, dels från rymdforskningen i USA där begreppet som används idag sedan fick fäste. Ingenjörer vid USA:s myndighet för rymdfart och rymdforskning NASA arbetade med att skapa en virtuell representation av Mars Rover (och andra rymdfarkoster) så att de genom simuleringar skulle kunna bedöma och förbättra dess prestanda från jorden (Glaessgen & Stargel, 2012; Han et al., 2023; Menon et al., 2023). Då beskrevs den digitala tvillingen som en virtuell avbildning av en produkt eller process som

³ Popa et al. (2021) hävdar att begreppet redan användes inom medicinsk bildbehandling i början av 1990-talet, som härstammade från medicinska fantombilder som användes för att återskapa hur mänsklig vävnad reagerar på vissa processer, till exempel strålning.

integrerar fysiska och funktionella egenskaper och beteende, vilket fortfarande är kärnan i den definition som används av digitala tvillingar idag.

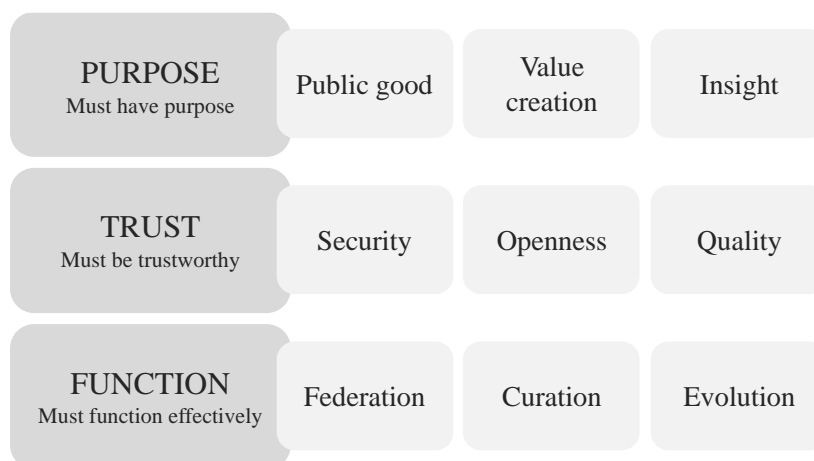
Som fenomen placeras digitala tvillingar områdesöverskridande som en central del i utvecklingen av den fjärde industriella revolutionen, eller “Industry 4.0” (se till exempel Ariyachandra & Wedawatta, 2023; Caprari et al., 2022; Khan et al., 2022; Menon et al., 2023; Oti-Sarpong et al., 2022). Denna utvecklingsfas tog fart på 2010-talet och karaktäriseras av ett digitalt teknologiskt avancemang, men framför allt av kombinationen av teknologier och komponenter, så som digitala tvillingar. Digitala tvillingar beskrivs bland annat som den fjärde industriella revolutionens “kronjuvel” (Khan et al., 2022, p. 25733), “grundpelare” (Menon et al., 2023, p. 75164) och “kritiska möjliggörare” (Cheng et al., 2022, p. 1). Därför beskrivs digitala tvillingar ofta som en framväxande (*emergent*) och banbrytande (*disruptive*) teknologi (Popa et al., 2021; Weil et al., 2023). Liksom utvecklingen av digitala teknologier generellt har även digitala tvillingar inledningsvis utvecklats och använts i den privata sfären, så som produktions-, jordbruks-, medicin- och byggindustrin, och spridit sig till den offentliga verksamheten under de senaste åren.

Ett krafttag för förståelsen och användningen av digitala tvillingar i offentlig sektor har gjorts av Centre for Digital Built Britain (CDBB). CDBB var ett tvärvetenskapligt samarbete med uppdrag att utveckla och demonstrera policy och praktiska insikter som skulle möjliggöra utnyttjande av ny och framväxande teknik och data och analys för att förbättra den naturliga och byggda miljön inom offentlig sektor. Målsättningen med det arbetet var att driva upp kommersiell konkurrenskraft och produktivitet och medborgarnas livskvalitet och välbefinnande (Centre for Digital Built Britain, n.d.-b). Detta samarbete resulterade i vad de kallar “the Gemini⁴ Principles” (se Figur 1) som fungerar som grundläggande definitioner och vägledande värderingar i arbetet med att utveckla informationshantering med hjälp av digitala tvillingar (Centre for Digital Built Britain, n.d.-a, 2018).

De tre centrala principerna är 1) ett tydligt *syfte* att digitala tvillingar används för allmännyttan, möjliggör värdeskapande och resultatförbättring och ger fastställbara insikter. 2) *Förtroende* genom att den digitala tvillingen och data den inkluderar är säker, öppen och av hög kvalitet. 3) *Effektiv funktion* genom att digitala tvillingen baseras på en standardansluten miljö, tydligt ägarskap, styrning och reglering och kunna anpassas i takt med att tekniken och samhället utvecklas. CDBB-samarbetet har skapat dessa principer som en resurs för offentliga aktörer att använda sig av i utvecklingen av digitala tvillingar, men hur dessa principer har implementerats är fortfarande ostuderat.

⁴ Begreppet Gemini kommer från det latinska ordet för “tvilling”.

Figur 1: The Gemini Principles



Källa: Figur inspirerad av Centre for Digital Built Britain (2018, p. 7)

Trots ett påbörjat engagemang för digitala tvillingar i den offentliga sektorn, finns det ett stort kunskapsgap dels kring vad digitala tvillingar är i den offentliga verksamheten, dels om och hur de används i denna verksamhet. Det finns därmed ett stort behov av att förstå vilken roll digitala tvillingar kan ha för offentliga organisationer och dess verksamhet.

Metod och material

För att bilda en uppfattning av hur digitala tvillingar i den offentliga sektorn förstås och används har en systematisk litteraturoversikt genomförts. Denna del av rapporten beskriver hur processen för litteratursökningen såg ut, vilka kriterier som användes i litteratursökningen och valet av två områden inom den offentliga sektorn – hälso- och sjukvård och stadsplanering. Även begränsningar i metod och material diskuteras. Litteraturen som genererats från litteratursökningen och uppfyllde de formella och innehållsmässiga kriterierna redovisas i Bilaga A.

Litteratursökning, kriterier och kodning

Identifieringen av relevant underlag skedde i två huvudsakliga steg där det första steget fokuserade på litteratur för offentlig sektor generellt (januari 2024) och där det andra steget fokuserade på litteratur för två utvalda områden inom offentlig sektor (februari 2024). Litteratursökningen gjordes med sökningsverktyget EBSCO Discovery Service, en tjänst som inkluderar flertalet stora databaser så som JSTOR, Scopus och Science Direct. De genomgående *formella kriterierna* för litteratursökningen som helhet var:

- 1) Kollegialt granskade och akademiskt publicerade artiklar
- 2) Konferenspapper
- 3) Engelska och svenska
- 4) Tillgänglig i sin helhet
- 5) Beröra digitala tvillingar i offentlig verksamhet på organisatorisk nivå helt eller delvis

Urvalet som återstod efter de formella kriterierna uppfyllts i titel och abstrakt och dubletter exkluderats lästes sedan igenom av rapportförfattaren. Vid en helhetsgenomläsning gjordes ytterligare en *inhållsmässig* bedömning av relevans och underlag kunde vid behov tas bort om kopplingen till offentlig verksamhet på organisatorisk nivå var för svag. Litteraturen som enbart berörde digitala tvillingar i industriell verksamhet eller av individer anses inom ramen för denna kunskapsöversikt utgöra separata forskningsområden. Studier av digitala tvillingar på individnivå, som är speciellt vanligt inom hälso- och sjukvårdsområdet, fokuserar därmed inte på en organisatorisk eller samhällsnivå som denna kunskapsöversikt är intresserad av att utveckla kunskapen kring.

Det första steget av litteratursökning gjordes med fokus på digitala tvillingar och *offentlig sektor*. Denna sökning gjordes med nyckelorden “digital twin*” AND “public sector” i EBSCO Discovery Service. Sökningen genererade totalt åtta underlag varav två uppfyllde fastställda formella och innehållsmässiga kriterier. För att bredda underlaget ytterligare gjordes även en separat litteratursökning med samma nyckelord i databaserna Scopus, IEEE Xplore, ProQuest Central och Web of Science. Sökningarna genererade totalt 26 underlag (Scopus=15, IEEE Xplore=2, ProQuest Central=5 och Web of Science=4), varav 10 underlag uppfyllde fastställda formella och innehållsmässiga kriterier och inkluderades i litteraturöversikten. Sammantaget resulterade litteratursökningens första steg med generellt fokus på offentlig sektor 12 underlag.

Det andra steget av litteratursökningen gjordes med fokus på *hälso- och sjukvård* och *stadsplanering* med ändamålen att dels bredda det begränsade underlaget av litteraturen i det första steget, dels belysa två centrala policyområden för den offentliga förvaltningen och för medborgaren. Hälso- och sjukvården är en central del av det välfärdssamhälle som offentliga aktörer på olika förvaltningsnivåer (så som kommun, region och stat) har ansvar att upprätthålla. Det ställs allt högre förväntningar på att den offentliga verksamheten ska bli smartare genom att i högre grad dra nytta av digital teknik och den information som den genererar, för att på så sätt effektiviseras och vara av högre kvalitet (SKR, 2023). Samtidigt som hälso- och sjukvården önskas bli smartare, finns det likväl etiska aspekter av den, som till exempel vikten att tillgodose personlig integritet, som bör tas i beaktande i denna utveckling.

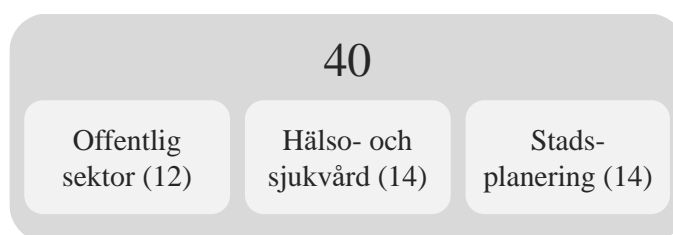
Stadsplanering i ett digitaliseringsperspektiv diskuteras ofta i termer av smarta städer och samhällen, som syftar till välbefinnande för dess invånare, företag, besökare och administration genom att erbjuda digitalt stödda tjänster som bidrar till en bättre livskvalitet (European Commission, 2022). Stadsplanering inkluderar flera områden som berör medborgaren, så som infrastruktur, energieffektivisering och transportlösningar. Genom digitala lösningar kan städer till exempel övervaka lokaltrafik och hantera resurser så som energi, värme och vatten och på så sätt bemöta och tillgodose både medborgarnas och geografiska utvecklingsbehov. Givet den

vanliga förekomsten av begreppet smarta städer (*smart cities*) har litteratursökningarna gjorts med detta begrepp för att tydliggöra fokus på den digitala aspekten av stadsplaneringen.

Sökningarna i det andra steget gjordes med nyckelorden “digital twin*” AND “health care” (ca 250 träffar), “digital twin*” AND “healthcare” (ca 1000 träffar), “digital twin*” AND “smart cities” (ca 850 träffar) och “digital twin*” AND “smart city” (ca 800 träffar) i EBSCO Discovery Service⁵. Sökningarna på de bägge områdena genererade dess mer träffar än i det första steget och för att självständigt kunna hantera antalet begränsades genomgången till de första ca 100 träffarna per sökning och med en målsättning att välja omkring 20 underlag per område. För hälso- och sjukvårdsområdet valdes slutligen 14 underlag och för stadsplanering 14 underlag.

Sökningarna i det första och andra steget resulterade sammanfattningsvis i 40 underlag (se Figur 2) som helt eller delvis diskuterar digitala tvillingar i offentlig sektor.

Figur 2: Sammanfattning av litteraturunderlag



De 40 underlagen har kodats enligt ett förutbestämt kodningsschema. Kodningsschemat innehåller följande kategorier:

- Titel
- Författare
- År
- Format (artikel eller konferenspaper)
- Typ av digital tvilling
- Definition av digital tvilling
- Implementeringsgrad av digital tvilling
- Land
- Förvaltningsnivå
- Metod
- Problemformulering (som digital tvilling kan adressera)
- Problemlösning och fördelar (som digital tvilling kan bidra med)
- Utmaningar internt (digital tvilling)
- Utmaningar externt (offentlig sektor miljön)

⁵ Sökningarna per område gjordes inledningsvis enligt kombinationen “digital twin*” AND “healthcare” OR “health care” respektive “digital twin*” AND “smart cities” OR “smart city” men genererade ca 68 000 respektive ca 3,5 miljoner träffar. En uppdelning av nyckelorden genererade en mindre mängd träffar och var därmed mer hanterbart för denna kunskapsöversikt.

Det valda upplägget för metod och material medför även begränsningar. En begränsning är exkludering av litteratur som berör digitala tvillingar på individnivå. Trots att ett organisatoriskt fokus möjliggör en bredare förståelse av digitala tvillingars roll i offentlig sektor och för offentliga organisationer, kan individnivån bidra med ytterligare förståelse för konsekvenserna av användningen av digitala tvillingar för medborgaren. Vid val av andra policyområden med fokus på till exempel infrastruktur eller klimatanpassning inom offentlig sektor skulle litteraturunderlaget bidra med andra exempel och insikter. Denna kunskapsöversikt baseras även på vetenskapliga underlag i form av vetenskapliga artiklar och konferenspapper och inkluderar därmed inte till exempel myndigheters rapporter och utredningar. Kunskapsöversikten är heller inte begränsad till ett geografiskt område, till exempel enbart Sverige, med målsättningen att belysa förståelsen och användningen av digitala tvillingar så omfattande som möjligt. Ett litteraturunderlag på 40 artiklar och konferenspapper bidrar med en mångsidig överblick av digitala tvillingars utveckling, vilket skulle ha kunnat nyanseras ytterligare med kompletterande intervjuer med aktörer i den offentliga sektorn. Dessa begränsningar som denna kunskapsöversikt har kan med fördel nyanseras i fortsatta studier, speciellt då utvecklingen av digitala tvillingar i offentlig verksamhet har framskridit ytterligare.

Resultat

Av de totalt 40 underlagen som valdes inom ramen för de uppsatta kriterierna för litteratursökningen är formatet i huvudsak vetenskapliga artiklar (29) och konferenspapper (10). Ett underlag är en editorial. Majoriteten av underlagen är av konceptuell natur där en litteraturöversikt har gjorts, begrepp diskuteras och/eller fallstudier eller exempel från fältet runtom i världen beskrivs. I några fall har intervju- och/eller enkätstudier gjorts av författarna själva (5). Vanligt förekommande bland underlagen är att de är empiriska och tekniska, det vill säga där författarna oftast tekniskt beskriver och föreslår, men även konstruerar (och ibland använder) digitala tvillingar eller komponenter av dem. Underlagen har publicerats inom tidsspannet 2020–2024 vilket antyder att begreppet digitala tvillingar har använts under en kort tid, trots att teknologin digitala tvillingar består av har funnits längre även inom den offentliga sektorn. Som tidigare beskrivits utgör 14 av underlagen området hälso- och sjukvård och 14 av underlagen stadsplanering. I de återstående underlag som berör offentlig sektor generellt belyses bland annat delområden som undervisning (Razzaq et al., 2023), fastighetsförvaltning (Fialho et al., 2022), underhåll av infrastruktur (Kaewunruen et al., 2023), byggnation där staten är involverad (Oti-Sarpong et al., 2022), kulturtillgångar (Niccolucci et al., 2022), ekologi och klimatförändringar (de Koning et al., 2023) och sektorövergripande kunskapshantering i offentliga organisationer (Distor et al., 2023; Menon et al., 2023; Minghini et al., 2022; Siuko et al., 2023). Även två konferenspapper som berör smarta städer men som inte fanns med i sökningarna för stadsplanering specifikt (Kusuma & Supangkat, 2022; Mendoza & Behrens, 2020).

Den återstående delen av resultatet presenteras i två delar: 1) förståelsen och 2) användningen av digitala tvillingar i offentlig sektor. Den första delen, förståelsen av digitala tvillingar i offentlig sektor, innefattar begreppet och de begreppselement som beskrivs som centrala för en

digital tvilling. I den andra delen, användningen av digitala tvillingar i offentlig sektor, beskrivs hur digitala tvillingar har använts och hur dess användning har motiverats inom områdena hälso- och sjukvård och stadsplanering. Även möjligheter och utmaningar som lyfts fram kring digitala tvillingar redovisas här.

Förståelsen av digitala tvillingar i offentlig sektor

De gemensamma nämnarna i definitionen av digitala tvillingar oberoende ämnesområde är att en digital tvilling består av fyra begreppselement: 1) *ett fysiskt objekt* som är avbildat i 2) *en digital kopia*. Utöver dessa element lyfts även 3) *en koppling* och 4) *ett automatiserat realtidsflöde mellan det fysiska objektet och dess digitala kopia* fram i definitionen av digitala tvillingar. Då de två förstnämnda begreppselementen kan observeras i alla definitioner av digitala tvillingar varierar användningen av de två sistnämnda.

Flera forskare betonar dock att det är de två sistnämnda begreppselementen, det vill säga kopplingen och det automatiserade realtidsflödet mellan det digitala och fysiska, som särskiljer digitala tvillingar från till exempel digitala skuggor (*digital shadows*) eller fristående digitala modeller (*digital models*) som i olika grad inkluderar manuell dataöverföring (se speciellt Peng et al., 2020; Xames & Topcu, 2024). Enligt Xames och Topcu (2024) består digitala modeller och skuggor av både ett fysiskt objekt och en digital kopia som är sammankopplade (det vill säga de tre första begreppselementen som definierar digitala tvillingar), men innehåller inte fullständig automatiserat dataflöde som ett fjärde element för att definiera digitala tvillingar. De anser att forskare ofta hänvisar till digitala tvillingar, trots att de egentligen menar digitala skuggor eller modeller. För att undvika felaktig definition eller placering av forskningsbidrag lyfter de fram ett förslag på klassificering av digitala tvillingar i två dimensioner: olika *objekt* som studeras i olika *kontext*. Inom hälso- och sjukvårdsområdet illustreras objekt som till exempel processer (så som behandlingar) eller produkt (så som operationsrobotar eller organtransplantationsutrustning) som i sin tur studeras i olika tvillingkontext (till exempel patientkropp, medicinska förfaranden, vårdinrättningar och folkhälsa).

Al-Sehrawy et al. (2023) och Xames och Topcu (2024) lyfter även fram människans roll i den dubbelriktade kommunikationen mellan det fysiska objektet och den digitala kopian. De konstaterar att värdet från digitala tvillingar realiserar dels i den automatiserade processen (*without human in the loop*), dels genom att hjälpa människor att få insikter och därmed stöda beslutsfattandet (*with human in the loop*). Även verbet *twinning* används för att beskriva den pågående process där den digitala kopian av en fysisk motsvarighet avspeglas i varandra genom informationsflöden mellan dem (se till exempel Elkefi & Asan, 2022; Lei et al., 2023; Xames & Topcu, 2024). Ständig och automatisk integration av data mellan det fysiska objektet och den digitala kopian blir därmed central i förståelsen av digitala tvillingar.

Vanligt förekommande i litteraturen är beskrivningen av digitala tvillingar som en *kombination av olika digitala komponenter*. Popa et al. (2021) beskriver detta som en digital cocktail. Detta innebär att en digital tvilling är konstruerad av andra digitala teknologier, så som big data, AI och blockchain. Andra beskriver relationen i termer av att komponenterna är integrerade

(Menon et al., 2023), kombinerade (Machado & Berssaneti, 2023; Popa et al., 2021) och arbetar tillsammans (Khan et al., 2022) i den digitala tvillingen. På så sätt är de “möjliggörande teknik” för digitala tvillingar (Madubuike & Anumba, 2023, p. 2). I etableringen av en digital tvilling av ett kommunalt sjukhus påpekar Peng et al. (2020) att big data och AI är centrala delar av en digital tvilling, medan till exempel BIM (*building information modelling*) inte är tillräckligt användbar idag. I takt med utvecklingen av de olika komponenterna, till exempel AI och big data som utgör egna tillämpningsområden och forskningsfält, har även utvecklingen av digitala tvillingar avancerat.

Förståelsen av att digitala tvillingar som en separat digital teknologi – som även består av flera andra digitala teknologier – fångar upp en viktig komplexitet som digitala tvillingar medför, speciellt för att uppmärksamma utmaningar som användningen av digitala tvillingar i offentlig verksamhet innebär. Utmaningarna diskuteras utförligare längre fram i rapporten, men i stort handlar det om att var och en av de olika digitala komponenterna innehåller egna socio-etiska utmaningar (Ariyachandra & Wedawatta, 2023; Popa et al., 2021), till exempel hantering av datasekretess och tryggheten av personlig integritet, som ställer krav på användaren. Det är alltså inte enbart den digitala tvillingen som bör tas i beaktande i utveckling och användning, utan även alla dess digitala komponenter.

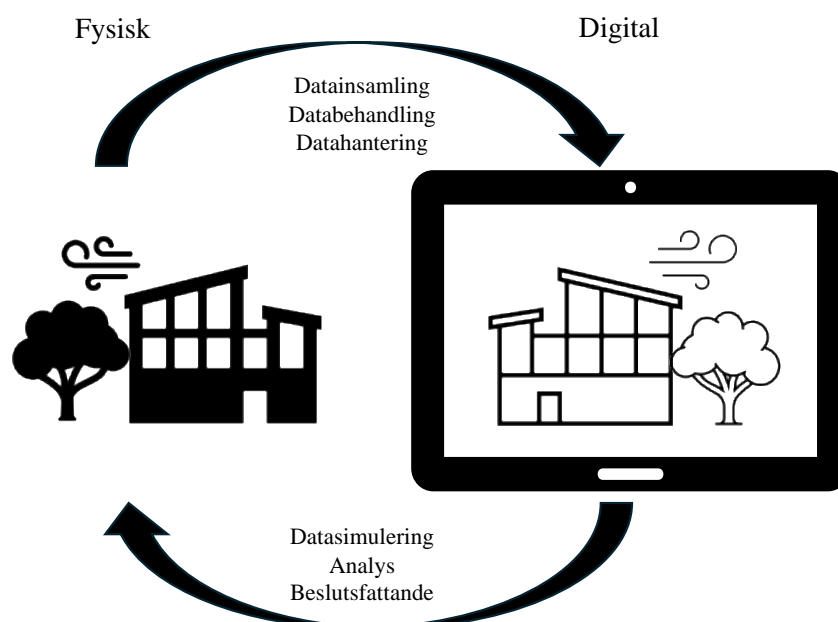
Trots att forskare betonar begreppets luddiga gränser och bristen på en enhetlig definition som särskiljer sig och nyanseras i olika områden (Caprari et al., 2022; Popa et al., 2021; Xames & Topcu, 2024), visar denna kunskapsöversikt fyra tydliga begreppselement som är ofta förekommande i definitionen av digitala tvillingar, oberoende område. En belysande definition av digitala tvillingar som beskrivits ovan är definitionen av Madubuike & Anumba (2023, p. 2, betoning tillagd):

[A digital twin] is defined [...] as the use of *[digital twin]-enabling technologies* to *virtually represent a physical asset* by obtaining *real-time* updates and effect *bidirectional coordination* such that the virtual model closely or accurately represents the physical asset.

Deras beskrivning omfattar dels de fyra centrala grundpelarna för digitala tvillingar som lyfts fram idag; det fysiska, digitala och kopplingen och (automatiserade) realtidsflödet mellan dem, dels de olika digitala teknologierna som digitala tvillingar består av. Det automatiserade realtidsflödet och kopplingen mellan det fysiska objektet och digitala motsvarigheten visualiseras i Figur 3⁶.

⁶ För en mer detaljerad visualisering av digitala tvillingar och de olika delarna och processerna de består av, se till exempel Han et al. (2023, p. 5), Caprari et al. (2022, p. 4) och Lei et al. (2023, p. 10).

Figur 3: Illustrering av en digital tvilling



I de olika områdena som denna kunskapsöversikt fokuserar speciellt på – hälso- och sjukvård och stadsplanering – vilar definitionerna på samma begreppselement som beskrivits ovan. I litteraturen som berör hälso- och sjukvård kontextualiseras ibland den digitala tvillingen som “Hospital Intelligent Twins” eller “Healthcare Digital Twins” och motsvarande “Urban Digital Twins” eller “City Digital Twin” i litteraturen som berör stadsplanering.

Användningen av digitala tvillingar i offentlig sektor

En övergripande iakttagelse utifrån vald litteratur för denna kunskapsöversikt är att det fortfarande är ovanligt att använda digitala tvillingar inom offentliga verksamheter i större omfattning. Trots en tydlig betoning på konceptuella diskussioner i litteraturen finns det trots allt några exempel på användning inom hälso- och sjukvården och stadsplaneringen som belyses nedan och som kan ge riktlinjer för fortsatt implementering av digitala tvillingteknologi i offentlig verksamhet.

För en övergripande förståelse för hur digitala tvillingar och deras olika format kan ta sig i uttryck beskrivs inledningsvis digitala tvillingar som produkter, processer och system. Elkefi & Asan (2022) beskriver användningen av digitala tvillingar som produkter, processer och system och vilket ändamål denna användning har. *Tvillingprodukter* används för att analysera hur en produkt fungerar under olika förhållanden och möjliggör justeringar i den digitala kopian för att säkerställa att den fysiska produkten fungerar som planerat. *Tvillingprocesser* används för att förbättra processer och arbetsflöden genom att justera data som matas in och se hur data som matas ut påverkas, utan att riskera att avsluta befintliga arbetsflöden. *Tvillingssystem* används för att samla in, analysera och agera utifrån operativa data, vilket ger insikter för välgrundade beslut för att upprätthålla effektiva interaktioner mellan systemets

olika komponenter på systemnivå. Inom till exempel hälso- och sjukvården illustreras dessa komponenter som patienterna, HR, utrymmen och utrustning, processer, material och partners (Mohamed et al., 2023). Nedan illustreras dessa typer av digitala tvillingar i olika exempel från olika kontext, dels olika områden inom offentlig sektor generellt men framför allt inom hälso- och sjukvård och stadsplanering.

De exempel som framkommer ur litteraturen som varken berör hälso- och sjukvård eller stadsplanering utan diverse andra områden inom offentlig sektor är till exempel en prototyp av ett belysningsystem i ett brasilianskt universitet. Fialho et al. (2022) betonar en brist på en processuell förståelse för hur teknologier som digitala tvillingar, BIM och IoT implementeras i fastighetsförvaltning och reaktivt fastighetsunderhåll. De betonar vidare en brist på förståelse för tvärvetenskapliga och tvärfunktionella beslut och steg som är involverade i utformningen, utvecklingen och implementeringen av smarta system för fastighetsförvaltning och underhållsändamål. De fastighetsförvaltningssystem som finns är i första hand anpassade för IT-utvecklarna och anses inte ta i beaktande fastighetsförvaltningsteamets insats gällande relevant teknologi, processer och policykrav för implementering. Detta anses leda till misslyckade försök och onödig användning av personal och finansiella resurser, speciellt för organisationer i offentlig sektor (till exempel universitet och sjukhus) som har det kärvt ekonomiskt gällande teknologiska satsningar och investeringar. En digital tvilling för belysningsystem möjliggör utvecklingen av förebyggande underhåll där automatisering av funktioner och centralisering av information kan användas som stöd i beslutsfattande. Automatiseringen och decentraliseringen digitala tvillingen anses bidra med kan även optimera tillhandahållandet av tjänster och generera miljö- och effektivitetsvinster, exempelvis genom att byta ut skadade komponenter vilket ska minska onödig reparation och avfallsproduktion (Fialho et al., 2022).

Ett annat exempel av implementering är av Kaewunruen et al. (2023) som har skapat en digital tvilling av en järnvägsbro i Australien. De uttrycker ett behov av att hantera oförutsedda klimatförändringar och felaktig underhållshantering som har påskyndat försämringen av järnvägsbron i deras studie. En digital tvilling förväntas öka bronns hållbarhet under hela livscykeln genom att bidra till säkerhetshantering vid bygg, drift och underhåll av järnvägsbron. Ur ett miljöperspektiv förväntas även en digital tvilling bidra till en minskning av kostnader och utsläpp av växthusgaser, till exempel genom en digitala tester av olika byggmaterial (Kaewunruen et al., 2023). De belyser ett exempel där flera privata och offentliga aktörer är involverade och genom en digital tvilling skapas ett virtuellt samarbete för samsimuleringar och gemensamt värdeskapande mellan dessa aktörer som deltar i konstruktion, drift och underhåll.

Då de två exemplen på användning av digitala tvillingar beskrivna ovan har konstruerats och testats i praktiken, lyfter andra forskare fram *förslag på tillämpning* av digitala tvillingar. Dessa exempel har således inte implementerats. Niccolucci et al. (2022) föreslår digitala kopior av kulturtillgångar (*heritage digital twins*), så som historiska byggnader, landskap, objekt och traditioner. Det kan exempelvis handla om ett slott som innehåller konst och står på ett skyddat område med stor risk för översvämningar. Digitala tvillingar av det här slaget skulle skapa en

kunskapsbas för kulturella tillgångar som har komplexa data och datarelationer (till exempel mellan slottet och området som slottet står på som bidrar med olika typ av data men som är viktiga för varandra) och på så sätt bidra till värdeskapande, till exempel hur man tryggar underhåll och överlevnad av värdefulla kulturella tillgångar. Offentliga och andra aktörer som har ansvar att skydda dessa tillgångar kan dra nytta av kunskapen. Även Mendoza och Behrens (2020)⁷ föreslår, men inte testat eller implementerat, en decentraliserad kommunikationsarkitektur som de kallar "Arbiter" och som påminner om en digital tvilling. De betonar att städer till stor del är beroende av den privata sektorn och deras tekniska och centrala lösningar, i vars händer offentliga data hamnar. Genom en lokalt förankrad digital lösning som tryggar decentraliserat och kollektivt beslutsfattande kan lokala medborgares socioekonomiska ställning förbättras och socioekonomisk rättvisa tryggas, föreslår de. Exempelen ovan visar hur digital tvilling-teknologi kan användas för att optimera processer, förbättra funktion och möjliggöra förebyggande underhåll inom flera olika områden.

Motivering för och användning av digitala tvillingar inom hälso- och sjukvård

En ofta förekommande motivering för en bredare förståelse för och användning av digitala tvillingar inom hälso- och sjukvårdsområdet är ett högt tryck på en verksamhet där kravet på effektivitet ökar. Hälso- och sjukvården är en komplex verksamhet där patientflöden, personal, utrustning, utrymmen och behandlingar bör sammankopplas på ett effektivt sätt och som därför förväntas gynnas av avancerad digital teknologi, så som digitala tvillingar. Samtidigt råder det stor brist på implementerade digitala tvillingar inom hälso- och sjukvården (Khan et al., 2022) och forskningen inom området är fragmenterad (Xames & Topcu, 2024).

Xames och Topcu (2024) anser att det är tydligt att tidigare forskning har fokuserat på konceptualisering givet digitala tvillingar i hälso- och sjukvårdens natur. Machado och Berssaneti (2023) konstaterar i sin litteraturöversikt att en ökning av publikationer om digitala tvillingar inom hälso- och sjukvården är relativt ny och att de dels har ett tekniskt fokus, dels en fokus på patienters digitala tvillingar och precisionsmedicin (det vill säga individnivå). Samtidigt finns en stor brist på forskning om dels integration, verifiering och implementering av digitala tvillingar i hälso- och sjukvårdssystem, dels om människans (läkare och sjuksköterskor) roll i detta, till exempel kring vem som ska fatta beslut. Xames och Topcu (2024) understryker även ett behov av organisationsforskning för att komma ifrån det stuprörstänkande som är vanligt inom hälso- och sjukvårdsområdet. Elkefi och Asan (2022) poängterar också att vi bör skifta fokus från den individbaserade hälso- och sjukvården (till exempel användningen av digitala tvillingar av människor för att avgöra rätt vård eller för att förutse resultat av kliniska åtgärder) till frågor som berör hälso- och sjukvårdens system och ledning istället.

⁷ Bidraget av Mendoza och Behrens (2020) kan tematiskt kategoriseras som stadsplanering, men eftersom det genererades från litteratursökningen för offentlig sektor generellt och inte för stadsplanering specifikt används deras förslag här och inte nedan i redovisningen för användningen av digitala tvillingar inom stadsplanering.

Elkefi och Asan (2022) beskriver digitala tvillingars huvudfunktioner och anser att digitala tvillingar inom hälso- och sjukvården är i första hand ämnade och värdefulla för säkerhetshantering, informationshantering, hälsohantering och främjande av välbefinnande och operativ kontroll på avdelningar och andra utrymmen. Digitala tvillingar som används i hälso- och sjukvårdssystem kan ha potential att undvika oavsiktliga eller oväntade patientskador under hälso- och sjukvårdsprocesser de tar del av. Digitala tvillingar kan också hjälpa till att identifiera hot mot system och kontrollera dess effekter. Vidare kan digitala tvillingar säkerställa integritet, säkerhet och tillgång till information i realtid för olika intressenter, menar forskarna. Dock finns stora sociala och etiska risker kopplat till användningen av digitala tvillingar inom hälso- och sjukvårdsområdet som vi behöver undersöka och diskutera vidare, anser Popa et al. (2021). Speciellt kopplat till datasäkerhet och personlig integritet som tenderar bli ännu svårare att hantera, givet att digitala tvillingar består av flera digitala komponenter där varje komponent tillför egna socio-etiska problem.

I litteraturen inom hälso- och sjukvårdsområdet är de flesta bidragen konceptuella (såsom ovan) men det finns några belysande exempel på användning av digital tvillingteknologi. En del av de exemplen är helt implementerade och andra är förslag på tillämpning eller redovisade i andra hand och därmed inte testade av författarna. Zackoff et al. (2023) beskriver hur en digital tvilling av en sjukhusdel i USA. *Cincinnati Children's Hospital Medical Center* expanderade med över 600 000 kvadratmeter nytt utrymme och genom en digital tvilling av den nya sjukhusdelen användes speciellt VR-teknik (*virtual reality*) för att introducera den nya sjukhusdelen för sjukhusets medarbetare innan den togs i bruk. "Detta arbete representerar den största VR-introduktionsupplevelsen med hjälp av en digital tvilling inom hälso- och sjukvården som någonsin genomförts", skriver författarna (Zackoff et al., 2023, p. 10). Genom den digitala tvillingen och VR-tekniken fick närmare 1500 vårdpersonal uppleva den nya sjukhusdelen och utrymmen där på olika sätt, till exempel genom simulering av patientrum där de kunde testa distans och utrustning i rummen. Resultatet av den digitala introduktionen var en övergripande nöjdhet av de som deltog och de upplevde att de fick tillräckligt bra förberedelse inför flytten. Flytten gynnades av dels av tydliga målsättningar kring VR-introduktionsupplevelsen, dels kapaciteten av VR att leverera realistisk och interaktiv övning på ett standardiserat sätt. Den digitala tvillingen gav möjligheten att få besöka ett digitalt utrymme innan det fysiska för att säkerställa tillräcklig förberedelse för personalen utan att störa patientvården.

Han et al. (2023) har skapat en digital tvilling-plattform för ett kommunalt sjukhus i Kina. De anser att det saknas effektiva strategier för att integrera realtidsdata från flera källor för effektiv klinisk och icke-klinisk verksamhet i vårdmiljöer, trots att analyserbara data som fångar fysiska enheters aktiviteter är en förutsättning för komplexa operativa beslut på sjukhus. Forskarna betonar att även om begreppet "smarta sjukhus" har diskuterats i forskningen finns det fortfarande ett behov dels av organiserade data med större mångfald och noggrannhet, dels av analysverktyg med högre intelligens för att hantera komplexa uppgifter inom sjukhusverksamheten. Den digitala tvillingen beskrivs som en pilotplattform som består av digitala informationsflöden från och mellan både människor, objekt och processer i sjukhuset och där speciellt BIM (*building information modelling*) och sensordata är centrala

komponenter. Plattformen har varit i bruk i minst tre år och resultaten så här långt visar att digitala tvillingar möjliggör kontinuerlig realtidskontroll av operativa uppgifter som är kopplade till varandra och främjar ytterligare utveckling av digitalisering, automatisering och intelligens inom sjukhusverksamheten. Deras studie visar att digitala tvillingar av sjukhus kan vara genomförbart och effektivt för att tillgodose olika användarbehov med mindre arbetskraft. Eftersom sjukhusverksamheten blir alltmer komplex skulle digitala tvillingar vara ett lovande verktyg för att hantera obalansen mellan den ökande efterfrågan på högkvalitativ sjukvård och resursbegränsningar, menar forskarna (Han et al., 2023).

Även Peng et al. (2020) har skapat en digital tvilling av ett nytt kliniskt centrum som en del av ett universitetssjukhus i Kina. Byggnaden bestod av 26 våningar, 500 bäddar och total byggyta på ca 83 000 kvadratmeter. De motiverar utvecklingen av sin digitala tvilling med att BIM (*building information modelling*) som traditionellt sätt används för byggnader blir allt sämre på att hantera realtidsuppdateringar av byggnadsstatus och stora datamängder. Sjukhus anses än mer komplexa än andra byggnader på grund av deras specifika krav kring bland annat temperatur, medicinsk utrustning och personflöden och kräver därmed bättre digitala lösningar. Digitala tvillingar anses mycket mer kraftfulla och möjliggör spegling av hela livscykeln och stödjer beslutsfattande genom snabba optimeringsförslag. I sin studie beskriver de alla steg i skapandet och användandet av en digital tvilling kopplat till bland annat teknik, data, design och skapandet av ett kontrollcenter. Enbart dataintegrationen av den digitala tvillingen från olika datakällor tog ungefär tre år att slutföra innan den digitala tvillingen togs i bruk, beskriver forskarna. Vid publicering av deras artikel 2020 hade projektet pågått över ett år sedan färdigställandet av den digitala tvillingen. Genom den digitala tvillingen har de skapat en översikt av sjukhusbyggnaden, utrymmes- och anläggningshantering, energihantering, underhållshantering, säkerhetshantering och besöksflöden. Den digitala tvillingen av sjukhusbyggnaden anses ge en intelligent diagnostik för sjukhusoptimering som bland annat upptäckt onormal elektricitetsanvändning, gett felprognoser av lufthanteringsenheter och känt igen mönster av frekventa reparationer. Resultatet av denna användning visade bland annat en ökning av tillfredsställelse hos ledningen på 10 % (jämfört med den gamla klinikbyggnaden), den totala energiförbrukningen beräknades spara ca 1% varje år och mer än 10% av anläggningens fel och begärda reparationer kunde undvikas genom diagnos i den digitala tvillingen (Peng et al., 2020).

Covid-19 pandemin har varit en motiverande faktor för att utveckla och dra nytta av digitala tvillingar för flera forskare, däribland De Benedictis et al. (2023) som har utvecklat och använt en digital tvilling för matsalservering för att förebygga smittspridning ("CanTwin"). "CanTwin" är den första tillämpningen av en digital tvilling i en verklig arbetsmiljö för att säkerställa en säker återgång till arbetsplatsen efter pandemin. De betonar att den vetenskapliga litteraturen i huvudsak har fokuserat på digital tvilling-teknologi i behandlingar av sjukdomar och förebyggande åtgärder och åsidosätter ofta andra hälsorelaterade aspekter på befolkningsnivå. Om "CanTwin" implementeras kan den tillhandahålla övervakning av social distansering och inspektion av köer, räkning och spårning av personer samt övervakning av hur många som sitter vid borden. Den praktiska implementeringen av "CanTwin" kan även

användas i andra motsvarande kontext, till exempel olika typer stationer (buss och tåg) och olika typ av köer (matköer och köer till bankautomater) och olika typer av sittplatser (tåg).

Andra exempel inom hälso- och sjukvårdsområdet är *förslag på tillämpning* av digitala tvillingar. Dessa exempel är därmed inte implementerade. Madubuike och Anumba (2023) har skapat, men inte testat, en prototyp av en digital tvilling-plattform (system) för förvaltning av vårdinrättningar (*healthcare facilities management*). De anser att dagens förvaltning av vårdinrättningar är baserad på en “*if it breaks, we fix it*”-mentalitet, trots att effektiv förvaltning av vårdinrättningar beskrivs som centralt för att säkra människors hälsa och säkerhet. De betonar att det fortfarande inte finns en effektiv realtidsövervakning av sjukvårdsinrättningar, vilket leder till brist på effektivt förebyggande underhåll av dem. Digitala tvillingar skulle fungera som en lösning för att övervaka utrustning och system i realtid för att bemöta nuvarande brister som finns. Madubuike och Anumba (2023) bidrar med en prototyp och lyfter fram olika scenarier där den föreslagna digital tvilling-plattformen kan användas, till exempel övervakning av rumstryck med hjälp av sensorer. När trycket ligger över eller under intervallet för acceptabla värden känner en trycksensor av det höga eller låga trycket och skickar en varning till fastighetsförvaltaren.

Cheng et al. (2022) hänvisar till en digital tvilling av en röntgenavdelning i ett provinssjukhus i Kina som analyserar driftdata från röntgenmaskiner som gör det möjligt att få en översikt utrustningens status och prestanda i realtid. Detta, menar forskarna, bidrar till bättre beslutsfattande för vilka inspektioner som bör prioriteras, hur resurser ska fördelas och snabbt kunna skicka ut varningsinformation till berörd medicinsk personal.

Motivering för och användning av digitala tvillingar inom stadsplanering

En ofta förekommande motivering för en bredare förståelse för och användning av digitala tvillingar inom stadsplaneringsområdet är den fragmenterade forskningen som finns. Även brist på social fokus i användningen av digitala tvillingar framhävs. Lei et al. (2023) anser det finns en teknisk optimism och att nuvarande diskussion kring digitala tvillingar är styrd av dess teknologiska funktioner. De anser att synen på användningen av digitala tvillingar för att uppnå ett mål (till exempel ökad produktivitet eller effektivitet) tenderar överskugga synen på användningen av digitala tvillingar som ett medel (till exempel samarbetet och interaktionen med medborgarna i processen). De vill framhäva att det även finns en social dimension där digitala tvillingars praktiska värde är centralt och som möjliggör samarbete i och med andra organisationer, vilket den tekniska dimensionen anses åsidosätta. För att lättare kunna använda digitala tvillingar och övervinna tekniska lösningar som ofta drivs av affärsintressen måste även programvaruutvecklingen ta mer hänsyn till de praktiska realiteterna, anser Quek et al. (2023).

Även Al-Sehrawy et al. (2023) lyfter fram skillnaderna i synsätt på hur digitala tvillingar förväntas användas, varför de ska användas och vad de förväntas bidra med. De anser att de som använder sig av digitala tvillingar inom olika områden sällan uttrycker sina filosofiska grundantaganden. Detta, enligt forskarna, leder dels till utmaningar att bedöma och jämföra

olika digitala tvillingar, dels skapandet av pluralistiska digitala tvillingar som ofta har motstridiga målsättningar. Detta pluralistiska dilemma (*dilemma of pluralism*), det vill säga att olika digitala tvillingar med olika målsättningar (till exempel teknikdriven eller humanistisk digital tvilling) kombineras i samma projekt, vilket antas leda till olikheter och dåligt avvägda prioriteringar kring vad som behöver inkluderas och bemötas. Al-Sehrawy et al. (2023) föreslår därmed kritisk realism (*critical realism*) som en lämplig filosofi för att teoretiskt grunda de pluralistiska tillvägagångssätten som är vanligt inom digitala tvillingprojekt med fokus på stadsplanering idag. Forskarna utvecklar inte vad ett sådant synsätt skulle innebära i praktiken, men de belyser en brist på förklaring till vilket ändamålet är för de digitala tvillingar som skapas.

Trots att digitala tvillingteknologin inom stadsplanering anses ha ökat explosionsartat sedan 2018 (Ferré-Bigorra et al., 2022) riktas kritik mot att användningen i första hand redovisas i pilotprojekt och som mikrolösningar som sällan är kompatibla med varandra (Quek et al., 2023). Ferré-Bigorra et al. (2022) redogör för utvecklingsstatusen för 22 digitala tvillingar runtom i världen och visar att enbart 18 % av dessa är i bruk och de flesta digitala tvillingar är prototyper eller under utveckling. Urbana digitala tvillingar används för till exempel transport, katastrofhantering, medborgardeltagande och infrastrukturförvaltning. Ariyachandra & Wedawatta (2023) diskuterar exempelvis användningen av digitala tvillingar i katastrofriskhantering. En digital tvilling för det ändamålet kan sammanfatta stadens unika egenskaper och begränsningar under en katastrofhändelse och förutse samhällsutvecklingen efter en katastrof och på så sätt möjliggör bättre hantering av katastrofrisker, lyfter forskarna fram.

Ferré-Bigorra et al. (2022) visar vidare hur målgruppen för urbana digitala tvillingar varierar från stad till stad och de vanligaste användarna, är i första hand den offentliga förvaltningen men även kapitalförvaltare, kapitalägare och medborgare. Forskare är den grupp som använder digitala tvillingarna minst, menar forskarna. Urbana digitala tvillingar används främst som ett verktyg för att underlätta drift- och underhållsstadiet av till exempel vägar eller byggnader men det är även vanligt att använda dem som stöd i kontinuerlig stadsplanering. Enligt Ferré-Bigorra et al. (2022) kan digitala tvillingar i städer användas som sandlådor för strategisk planering (*strategic planning sandboxes*) där olika scenarion testas och koordineras.

Liksom i litteraturen inom hälso- och sjukvårdsområdet är även de flesta bidragen inom stadsplaneringsområdet konceptuella, men även i detta område finns det några belysande exempel på användning av digital tvillingteknologi. En del av exemplen är helt implementerade och andra är förslag på tillämpning och inte testade av författarna. Ravid och Aharon-Gutman (2023) föreslår och testar en "Social Urban Digital Twin" i ett stadsområde i Israel. De kritiserar att urbana digitala tvillingar främst skildrar stadens fysiska miljö, men i hög grad ignorerat stadens sociala struktur. En avsaknad av ett socialt perspektiv har lett till skillnader i ekonomisk utveckling och social motståndskraft i olika städer, anser forskarna. Därför uttrycker de ett behov av tvärvetenskaplig kunskap – och speciellt mer social kunskap – i den fysiska och sociala miljön och i beslutsfattandeprocesserna. För att bemöta behovet föreslår de ett sexstegsprotokoll av en urban digital tvilling med social betoning och testar det i ett

stadsområde. I sin casestudie fokuserar de på ensamheten hos äldre invånare i stadsområdet under covid-19 pandemin och använder områdesspecifika data från olika myndigheter, så som fastighets- och boendeinformation och civilstånd för den äldre befolkningen. Denna information resulterade exempelvis i en översikt av hur många hushåll med äldre befolkning finns nära parker eller aktiviteter för äldre, där målsättningen var att bedöma i vilken utsträckning offentliga funktioner är tillgängliga eller inte för de äldre invånarna i grannskapet. Studien lyfter speciellt fram vikten av att inkludera sociala data för en bredare förståelse för hur befolkningen i olika delar av städer påverkas av beslut, till exempel förmåner, aktivitetscenter och transportlinjer.

Även Villanueva et al. (2022) lyfter (indirekt) fram de sociala aspekterna av digitala tvillingar och föreslår en digital tvilling för evenemangshantering och speciellt för evenemang med mycket folk (till exempel maraton, protester, konserter och parader). Stora evenemang kräver omfattande offentliga resurser och säkerhetsplanering för städer och en digital tvilling av det här slaget skulle bidra med situationsmedvetenhet och möjlighet att förutse potentiella scenarion som staden måste ta ställning till, anser forskarna. De har skapat en digital tvilling arkitektur baserat på olika typer av data, så som sociala media och en specifik telefonapplikation som evenemangsdeltagare och andra aktörer (till exempel organisatören och polisen) kan använda för att rapportera iakttagelser. Själva användandet av den digitala tvillingen är pågående vid publicering. Digitala tvillingen förväntas bidra med realtidsinformation från den plats eventet äger rum som sedan ska kunna bistå med stöd för effektiv evenemangshantering, till exempel förutse behov av att sprida på deltagare.

Genom en digital tvilling av gatubelysningsystem illustrerar Piper et al. (2022) hur städer kan få tillgång till information som kan användas för förebyggande underhåll och justeringar av stadens gatubelysning. Data från dels en miniatyrmodell av gatubelysning, dels verklig gatubelysning i en stad i Storbritannien resulterade i uppgifter om ljusstyrka, koldioxidutsläpp och elpriser i realtid.

Ett tydligt *förslag på tillämpning* av digitala tvillingar inom stadsplaneringsområdet bidrar Papyshv & Yarime (2021) med, som även är tydligt riktad mot kommunal förvaltning, beslutsfattare och policyutveckling med en social betoning. De föreslår en urban digital tvilling som innehåller syntetiska data, det vill säga data som inte är kopplad till vissa individer och därmed inte heller äventyrar personlig integritet och datasekretess. Forskarna anser att den empiriska forskningen om tillämpningen av digitala tvillingar som tekniska verktyg på politiska områden är knapphändig och utmaningarna med att använda digitala tvillingar i den politiska beslutsprocessen diskuteras sällan i den akademiska litteraturen. Samtidigt finns utmaningar med att få tillgång till viss typ av data och en övertro på historiska och tillgängliga data, men som egentligen har stora skillnader mellan varandra och kan vara bristfälliga, påpekar forskarna. De föreslår därför digitala tvillingar som ett policyverktyg (jämfört med ett tekniskt verktyg) där en central del av dess data är syntetiskt. Denna syntetiska data skulle samlas in genom ett uppgiftsbaserat tillvägagångssätt (*task-based approach*) där individer får till uppdrag att samla in viss typ av data, men som inte är personliga data utan istället baseras på hypotetiskt beteende. Forskarna anser att en digital tvilling baserat på syntetiska data

bemöter de orosmoment som cirkulerar kring digitala tvillingar och dess risker och fungerar även i situationer där historiska data inte finns (Papyshev & Yarime, 2021). Vidare betonar de möjligheter för myndigheter att samla in unika data om möjliga beteendemässiga reaktioner på vissa interventioner, samtidigt som de inte bryter mot några integritetskrav eftersom de data som genereras genom detta tillvägagångssätt inte kommer att vara representativa för någon enskild individ. Detta förslag på användning av digitala tvillingar lyfter även fram behovet och utnyttjandet av medborgarengagemang. Att samla in data genom specifika uppdrag till medborgarna beskriver ett inkluderande och engagerande sätt för kommunala myndigheter och tjänstemän att aktivera och ta hjälp av invånarna.

I den litteratur inom stadsplaneringsområdet som inkluderats i denna kunskapsöversikt är de konkreta exemplen på användning få. Dock finns det exempel på användning av digitala tvillingar inom stadsplanering som beskrivs i de inkluderade artiklarna och konferenspappren. Cali et al. (2023) fokuserar specifikt på smarta städers energisystem och sammanfattar exempel där digitala tvillingar har använts, till exempel vindkraftsparker, solkraftsparker och kärnkraftverk. Forskarna nämner även hur Siemens har utvecklat ett digitalt nät med digitala tvillingar för planering, drift och underhåll av det finska kraftnätet med målsättningen att genom automatiserade simuleringar förbättra säkerhet, tillförlitlighet och resursbesparingar. Digitala tvillingar betraktas som en lovande möjliggörande teknik med potential att revolutionera hur energisystem och smarta städer utformas, drivs och optimeras (Cali et al., 2023).

Digitala tvillingar städer eller delar av städer som nämns i flertalet studier är Amaravati (Indien), Boston (USA), Cambridge (Storbritannien), Dublin (Irland), Glasgow (Skottland), Göteborg (Sverige), Helsingfors (Finland), Herrenberg (Tyskland) och Zürich (Schweiz) (se till exempel Caprari et al., 2022; Distor et al., 2023; Papyshev & Yarime, 2021). Dessa städer har på olika sätt arbetat med digitala tvillingar, till exempel vindsimulering i Helsingfors som beskrivs som en stad som sticker ut i utvecklingen av digitala tvillingar inom stadsplanering (Caprari et al., 2022). Det mest omfattande exemplet på en digital tvilling är Singapore. Singapore beskrivs som en *“city-state”* och nämns flitigt i stadsplaneringslitteraturen (se till exempel Ariyachandra & Wedawatta, 2023; Cali et al., 2023; Caprari et al., 2022, p. 7; Papyshev & Yarime, 2021). *“Virtual Singapore”* beskrivs som ett av de mest omfattande digitala projekten inom stadsplaneringsområdet och är en dynamisk 3D-modell av hela staden, inklusive byggnader, underjordiska strukturer och gröna rum. Den digitala tvillingen av Singapore innehåller omkring 20 centrala databaser som innehåller information om allt från växtlighet till luftrum och infrastruktur. Det beskrivs även som ett samarbetsverktyg där olika intressenter kan genomföra virtuella experiment i stadsmiljön. Den digitala modellen finns dock inte tillgänglig för allmänheten och medborgarna har inte möjlighet att interagera med den. En delorsak till detta är att systemet anses vara för farligt för att alla ska kunna experimentera med det, eftersom till exempel militanta grupper eller terrorister kan använda information om byggnadernas höjd och läge för att planera attacker (Ariyachandra & Wedawatta, 2023; Papyshev & Yarime, 2021).

En sammanfattande iakttagelse kring användningen av digitala tvillingar i olika områden inom offentlig sektor är att implementeringsgraden är låg, men framhäver samtidigt några intressanta exempel på pilotstudier som kan fungera som grund för fortsatt användning i offentlig sektor. Dessa pilotstudier och fragmenterad forskning kritiseras dock av forskare och ställs ofta fram som motivering till ytterligare studier. Givet de få fullt implementerade exemplen än det således en betoning på hur digitala tvillingar *kan* användas och vilka möjligheter digitala tvillingar *kan* ha, snarare än faktiska resultat. Vid en genomgång av vald litteratur för denna kunskapsöversikt blir det även tydligt att hälso- och sjukvårdsområdet och stadsplaneringsområdet tillhör olika forskningskulturer. Då bidragen inom hälso- och sjukvårdsområdet är mer tekniska i sin natur fokuserar bidragen inom stadsplaneringsområdet mer på de sociala aspekterna, så som mänskliga och relationer medborgarengagemang. Även nivån av kritiskhet särskiljer sig mellan dessa områden, vilket diskuteras närmare nedan.

Möjligheter och utmaningar med digitala tvillingar i offentlig sektor

I de konceptuella diskussionerna som förs och i redovisningen av användningen av digitala tvillingar i litteraturen framkommer flera möjligheter och utmaningar med digitala tvillingar för offentlig verksamhet. En del bidrag och lösningar på problem i samhället och i verksamheten som digitala tvillingar förväntas medföra har kort nämnts i exemplen ovan. Nedan följer en områdesöverskridande redovisning av möjligheter (se Tabell 1) och utmaningar (se Tabell 2) kring digitala tvillingar och som offentliga organisationer bör känna till och ta i beaktande i diskussionen och utvecklingen av digitala tvillingar i offentlig verksamhet.

De är inte ovanligt att i storslagna ordalag beskriva möjligheterna med digitala tvillingar. Digitala tvillingar ska “revolutionera våra liv” (Khan et al., 2022, p. 25732). De anses ha en “transformativ kraft” och genom att ställa “bättre frågor och få bättre svar” ska digitala tvillingar “revolutionera” verksamheterna i samhället (Elkefi & Asan, 2022, p. 7; Vallée, 2023, pp. 1, 5).

De mest förekommande *möjligheterna* som nämns är att digitala tvillingar förväntas bidra med förutseende analyser; stöd i beslutsfattande; optimering och ökad prestanda och effektivitet; bättre service och säkerhet för individer; samt övervakning och kontroll. Genom *förutseende analyser* och ett proaktivt agerande kan organisationer och verksamheter resonera kring potentiella förhållanden, processer och resurser innan de inträffar och eventuellt förebygga oönskade situationer. Detta gäller till exempel fastighetsunderhåll, vårdprocesser och miljökatastrofer. Digitala tvillingar kan på olika sätt utveckla kunskap *som stöd i beslutsfattande*, till exempel genom att bidra med ett mer dynamiskt underlag istället för mer statiska modeller och mätningar. På så sätt antas digitala tvillingar bidra med ett bättre, mer informativt, optimerat, tillförlitligt, evidensbaserat beslutsfattande (se till exempel Cheng et al., 2022; Ferré-Bigorra et al., 2022; Han et al., 2023; Mohamed et al., 2023). *Optimering och ökad prestanda och effektivitet* i tillhandahållandet av tjänster med mer hållbarhet och motståndskraft beskrivs som en ytterligare möjlighet med digitala tvillingar. Digitala tvillingar förväntas på olika sätt optimera och effektivera till exempel energiförbrukning, underhåll och vårdtjänster. *Bättre service och säkerhet för individer* lyfts speciellt fram som en möjlighet

inom hälso- och sjukvårdsområdet men även inom stadsplanering. Digitala tvillingar förväntas bidra med bättre service för patienter och medborgare och även med en förbättring av de anställdas och användarnas säkerhet och tillfredsställelse i arbetet. Som beskrivs av De Benedictis et al. (2023) förväntas deras “CanTwin” trygga social distansering i matsalar och därmed minska risken för sjukdomsspridning. Eller som Cheng et al. (2022) beskriver förväntas digitala tvillingar underlätta implementeringen av individanpassad vård och förbättra patienters lycka och utfall av deras vård. Automatisering av funktioner och centralisering av information antas även bidra med *övervakning och (realtids)kontroll*, till exempel av vårdutrustning och -system, evenemang, klimatkriser och social distansering. Även möjligheter som simulering av prognoser, kostnadsminskning, informationshantering, -delning och -spridning, kombination- och anpassningsmöjligheter, samt generering av miljö- och effektivitetsvinster lyfts fram av flera forskare.

Tabell 1: Översikt av möjligheter med digitala tvillingar

Möjligheter	Författare
Förebyggande analyser	Cali et al., 2023; Caprari et al., 2022; Cheng et al., 2022; De Benedictis et al., 2023; Fialho et al., 2022; Kaewunruen et al., 2023; Menon et al., 2023; Mohamed et al., 2023; Peng et al., 2020; Piper et al., 2022; Popa et al., 2021; Vallée, 2023
Stöd i beslutsfattande	Cali et al., 2023; Caprari et al., 2022; Cheng et al., 2022; de Koning et al., 2023; Elkefi & Asan, 2022; Ferré-Bigorra et al., 2022; Fialho et al., 2022; Han et al., 2023; S. Khan et al., 2022; Kusuma & Supangkat, 2022; Mohamed et al., 2023; Vallée, 2023
Optimering och ökad prestanda och effektivitet	Ariyachandra & Wedawatta, 2023; Cali et al., 2023; Fialho et al., 2022; Han et al., 2023; Kaewunruen et al., 2023; Kusuma & Supangkat, 2022, 2022; Menon et al., 2023; Mohamed et al., 2023; Peng et al., 2020; Vallée, 2023; Villanueva et al., 2022
Bättre service och säkerhet för individer	Cheng et al., 2022; De Benedictis et al., 2023; Elkefi & Asan, 2022; Fialho et al., 2022; Kaewunruen et al., 2023; Kusuma & Supangkat, 2022; Lei et al., 2023; Peng et al., 2020; Popa et al., 2021; Vallée, 2023
Övervakning och (realtids)kontroll	Cali et al., 2023; Caprari et al., 2022; Cheng et al., 2022; De Benedictis et al., 2023; Elkefi & Asan, 2022; Han et al., 2023; Kusuma & Supangkat, 2022; Madubuike & Anumba, 2023; Villanueva et al., 2022
Simulering och prognoser	Cali et al., 2023; Ferré-Bigorra et al., 2022; S. Khan et al., 2022; Kusuma & Supangkat, 2022; Mohamed et al., 2023; Vallée, 2023
Kostnadsminskning	Han et al., 2023; Kaewunruen et al., 2023; Popa et al., 2021; Razzaq et al., 2023; Vallée, 2023
Informationshantering, -delning och -spridning	Cali et al., 2023; de Koning et al., 2023; Elkefi & Asan, 2022; Niccolucci et al., 2022; Vallée, 2023
Kombination- och anpassning	Cheng et al., 2022; de Koning et al., 2023; Ferré-Bigorra et al., 2022; Menon et al., 2023
Generering av miljö- och effektivitetsvinster	Cali et al., 2023; Fialho et al., 2022; Kaewunruen et al., 2023; Peng et al., 2020
Socioekonomisk rättvisa	Caprari et al., 2022; Mendoza & Behrens, 2020
Konkurrenskraft	Mohamed et al., 2023

Utvecklad kunskap	Niccolucci et al., 2022
Virtuellt samarbete	Kaewunruen et al., 2023
Planering	Han et al., 2023
Prioritering	Cheng et al., 2022

Ett närmast utopiskt synsätt framkommer speciellt inom hälso- och sjukvårdslitteraturen. Detta synsätt karaktäriseras av ett positivt och okritiskt förhållningssätt kring hur digitala tvillingar förväntas bidra till den offentliga verksamheten, det vill säga möjligheter lyfts ofta fram utan någon reflektion kring potentiella utmaningar (se till exempel Elkefi & Asan, 2022; Khan et al., 2022; Vallée, 2023; Zackoff et al., 2023). Exempelvis Mohamed et al. (2023) betonar hur digitala tvillingar kan förbättra patienternas tillgång till hälso- och sjukvårdstjänster, kvaliteten på hälso- och sjukvårdstjänster och anläggningar, hälso- och sjukvårdssystemens kostnadseffektivitet och hälso- och sjukvårdstjänsternas konkurrensfördelar. Dock diskuteras inte utmaningar kring till exempel datasäkerhet och resursbehov. Två tydliga undantag är Popa et al. (2021) och Xames och Topcu (2024) som på ett balanserat sätt bemöter både möjligheter och utmaningar med användningen av digitala tvillingar inom hälso- och sjukvården. Popa et al. (2021) betonar speciellt de socio-etiska möjligheterna för patienten (så som förbättrade hälso- och sjukvårdprocesser och högre grad av autonomi) och utmaningarna av användningen av digitala tvillingar, vilket är ovanligt inom hälso- och sjukvårdslitteraturen.

Ett ytterligare exempel på okritiskt förhållningssätt men som inte berör hälso- och sjukvårdsområdet är användningen av digitala tvillingar i undervisning. Razzaq et al. (2023) föreslår ett digitalt ramverk för övervakning av närvaro och kursinnehåll i klassrum. De argumenterar att fler insatser behövs för att övervaka och analysera elevers resultat, lärares prestationer, närvaro och innehåll i klassrummen. Detta speciellt i avlägsna skolor och för att säkerställa fysisk undervisning under omständigheter då distansundervisning har varit en vanlig lösning (till exempel under covid-19 pandemin). De lyfter fram bättre undervisningskvalitet (till exempel inlärningsresultat) och effektivare personal och prestationer genom "smarta" klassrum, det vill säga övervakning. Dock ifrågasätter de inte övervakningen och mängden digitala lösningar som behövs för att upprätta detta system.

Möjligheterna beskrivs nästan som oändliga, men det blir även tydligt att *utmaningarna* (se Tabell 2) är många och komplexa för organisationer att hantera. De mest förekommande utmaningarna kring digitala tvillingar är datasäkerhets och integritetsfrågor; dataintegration och kompatibilitet; och kapital och finansiering. Det finns en omfattande oro för *datasäkerhets och integritetsfrågor* i uppbyggandet och användningen av digitala tvillingar. Quek et al. (2023) menar att det är ett stort problem kring hur vi införlivar och tolkar data i ett utmanande sociopolitiskt landskap fyllt av integritets- och säkerhetsproblem. Digitala tvillingar behöver tillgång till känslig och privat information och skadade digitala tvillingar kan användas på fel sätt. Ur ett socio-etiskt perspektiv ställer Popa et al. (2021) viktiga frågor; var finns och vart går all data? Hur mycket data behöver vi egentligen samla in? Hur påverkas individens frihet och integritet? *Dataintegration och kompatibilitet* är ett annat vanligt orosmoment och hinder för utvecklingen av digitala tvillingar. Det krävs integrering, interoperabilitet (*interoperability*) och kompatibilitet mellan nya och äldre system, mellan olika datamodeller och från andra

teknologier, men som beskrivs som den största flaskhalsen för digitala tvillingar idag (Quek et al., 2023). Även brist på resurser, främst *kapital och finansiering*, beskrivs som en stor utmaning. Det krävs enorma investeringar i startskedet (Cheng et al., 2022) och för att underhålla omfattande funktioner, kunskap och digital infrastruktur. Även datakvalitet; brist på gemensamma metoder, standarder och normer; brist på förståelse för komplexiteten; problem med olika teknologier som digitala tvillingar består av; äganderätt och tillgång till data; samt kunskap och arbetskraft betonas av flera forskare.

Tabell 2: Översikt av utmaningar med digitala tvillingar

Utmaningar	Författare
Datasäkerhet och integritetsfrågor	Cheng et al., 2022; Distor et al., 2023; Elkefi & Asan, 2022; Ferré-Bigorra et al., 2022; Iliuță et al., 2023; Khan et al., 2022; Lei et al., 2023; Menon et al., 2023; Quek et al., 2023; Weil et al., 2023; Xames & Topcu, 2024
Dataintegration och kompbilitet	Cali et al., 2023; Ferré-Bigorra et al., 2022; Iliuță et al., 2023; Khan et al., 2022; Lei et al., 2023; Lv et al., 2022; Madubuike & Anumba, 2023; Menon et al., 2023; Quek et al., 2023; Weil et al., 2023
Kapital och finansiering (resurs)	Ariyachandra & Wedawatta, 2023; Cali et al., 2023; Cheng et al., 2022; Ferré-Bigorra et al., 2022; Fialho et al., 2022; Iliuță et al., 2023; Khan et al., 2022; Lei et al., 2023; Menon et al., 2023; Peng et al., 2020
Datakvalitet	Cali et al., 2023; de Koning et al., 2023; Ferré-Bigorra et al., 2022; Lei et al., 2023; Menon et al., 2023; Popa et al., 2021; Weil et al., 2023
Brist på gemensamma metoder, standarder och normer	Cali et al., 2023; Cheng et al., 2022; de Koning et al., 2023; Elkefi & Asan, 2022; Ferré-Bigorra et al., 2022; Lei et al., 2023
Brist på förståelse för komplexiteten	Caprari et al., 2022; de Koning et al., 2023; Lei et al., 2023; Menon et al., 2023; Peng et al., 2020
Problem med olika teknologierna som digitala tvillingar består av	Khan et al., 2022; Kusuma & Supangkat, 2022; Lei et al., 2023; Mendoza & Behrens, 2020; Menon et al., 2023; Popa et al., 2021
Äganderätt och tillgång till data	Elkefi & Asan, 2022; Lei et al., 2023; Mendoza & Behrens, 2020; Peng et al., 2020; Popa et al., 2021; Xames & Topcu, 2024
Kunskap och arbetskraft (resurs)	de Koning et al., 2023; Ferré-Bigorra et al., 2022; Fialho et al., 2022; Iliuță et al., 2023; Lei et al., 2023
Ansvar och styrning	Ferré-Bigorra et al., 2022; Lei et al., 2023; Popa et al., 2021; Weil et al., 2023
Ojämlighet och orättvisa	Ariyachandra & Wedawatta, 2023; Popa et al., 2021; Weil et al., 2023
Intressekonflikter och diskrepans mellan målsättningar bland olika aktörer	Caprari et al., 2022; Lei et al., 2023; Oti-Sarpong et al., 2022; Quek et al., 2023
Allmänhetens engagemang	Ariyachandra & Wedawatta, 2023; Papyshv & Yarime, 2021
Brist på protokoll för datainsamling och -lagring	de Koning et al., 2023; Madubuike & Anumba, 2023
Enhetlig begreppsförståelse	Ariyachandra & Wedawatta, 2023; Lei et al., 2023; Xames & Topcu, 2024
Parering av olika regelverk	Ariyachandra & Wedawatta, 2023; Kusuma & Supangkat, 2022; Lei et al., 2023

Tillgängliga uppgifters kvalitet, kvantitet, mångtydighet och komplexitet	Ariyachandra & Wedawatta, 2023; Lei et al., 2023
Visualisering	Lei et al., 2023; Weil et al., 2023
Samordning mellan regulativa, tekniska och organisatoriska perspektiv	Minghini et al., 2022
Större krav på att vara central i den teknologiska utvecklingen	Oti-Sarpong et al., 2022
Mänsklig kontakt och relationer	Popa et al., 2021
Brist på uppdaterad information	Madubuike & Anumba, 2023
Brist på bevisad effektivitet av användningen av digitala tvillingar i beslutsfattandet	Weil et al., 2023
Kostnad för miljön	Weil et al., 2023
Brist på mognad	Siuko et al., 2023
Brist på nytänkande	Mendoza & Behrens, 2020
Datasekretess	Menon et al., 2023

Speciellt Lei et al. (2023) bidrar med en tydlig översikt över både tekniska och icke-tekniska utmaningar digitala tvillingar kan medföra (speciellt i stadsplanering men gäller även områdesöverskridande). De menar att utmaningar att implementera det fullständiga digitala tvillingar i praktiken fortfarande är undangömda och fragmenterade i nuvarande diskussion. Genom en litteraturöversikt och en expertenkätstudie lyfter de fram både tekniska och icke-tekniska utmaningar och betonar en skillnad på teknisk och social relevans. Trots en dominerande teknisk betoning påverkar utmaningarna även digitala tvillingars praktiska och sociala värde och påverkan. Lei et al. (2023) illustrerar 14 tekniska utmaningar (till exempel data, teknisk kompetens och kompatibilitet) och nio icke-tekniska utmaningar (till exempel förståelse, ägarskap och styrning/ledning) genom att placera ut i olika skeden av en digital tvillingars livscykel. Livscykeln består av sex faser; datainsamling, -behandling, -generering, -hantering, -simulering och -uppdatering och olika utmaningar dominerar i de olika faserna. Gällande de icke-tekniska utmaningar diskuteras pålitlighet och tillförlitlighet sällan, medan finansiering och affärsmodeller lyfts fram som en central icke-teknisk utmaning.

En sammanfattande iakttagelse kring möjligheter och utmaningar kring digitala tvillingar är att de inte särskiljer nämnvärt mellan olika områden inom offentlig sektor; både hälso- och sjukvården och stadsplanering står inför motsvarande möjligheter och utmaningar. Det som särskiljer sig mellan områden är att stadsplaneringslitteraturen tenderar ha ett mer kritiskt förhållningssätt gentemot de utmaningar verksamheterna står. Detta trots att hälso- och sjukvården kan antas vara mer känslig givet typ av information (till exempel patientdata) som verksamheten hanterar.

Digitala tvillingars roll i offentlig sektor

Syftet med denna kunskapsöversikt är att utveckla kunskapen kring digitala tvillingars roll med särskilt fokus på dess sociala, etiska och politiska aspekter för offentlig verksamhet. På vilket sätt tar sig de sociala, etiska och politiska aspekterna i uttryck i tekniskt betonade digitala tvillingar? Utifrån en systematisk litteraturöversikt med fokus på förståelsen och användningen av digitala tvillingar i offentlig sektor som har redovisats ovan diskuteras digitala tvillingars roll i offentlig sektor i den återstående delen av rapporten. Fyra centrala roller har blivit speciellt tydliga ur ett socialt, etiskt och politiskt perspektiv i offentlig sektor:

Digitala tvillingar som

- socio-tekniskt fenomen
- proaktivt verktyg
- stöd i beslutsfattande
- samhällsvision

Dessa roller har getts begränsad uppmärksamhet i litteraturen ovan, trots att de är viktiga givet de egenskaper, villkor och värderingar som utmärker den offentliga sektorn genom politiska styrda organisationer, så som demokratiskt beslutsfattande förankrat hos medborgaren och med knappa resurser tillhandahålla trygg och jämställd service för medborgaren. Redovisningen av litteraturen ovan har i så hög grad som möjligt gjorts utifrån en neutral ståndpunkt där vikten har lagts på att beskriva litteraturens bidrag utan rapportförfattarens personliga ställningstaganden. I följande diskussion ges rapportförfattarens personliga ställningstaganden och reflektioner utrymme, där de fyra rollerna och dess innebörd och brister kritiskt diskuteras.

Digitala tvillingar som socio-tekniskt fenomen

Utvecklingen av och diskussionen kring digitala tvillingar drivs i hög grad av ett teknisk fokus och det framkommer (och kritiseras) tydligt i litteraturen hur de tekniska aspekterna är långt mer utvecklade än de sociala aspekterna. Det finns en tydlig teknisk dominans i nuvarande forskning om digitala tvillingar. Både då det kommer till de studier som gjorts som ofta beskrivs i termer av matematiska modeller och mjukvaror och de tekniska utmaningarna som i huvudsak lyfts fram framom sociala och etiska utmaningar. Få men välartikulerade röster inom både hälso- och sjukvårdsområdet (se speciellt Popa et al., 2021) och stadsplaneringsområdet (se speciellt Lei et al., 2023; Ravid & Aharon-Gutman, 2023) betonar skillnaden i teknisk och social relevans och uttrycker ett behov av en större betoning på de sociala aspekterna. Tekniken och mjukvarorna tar oss enbart så långt, vi behöver även de sociala och mänskliga aspekterna. På så sätt betonas digitala tvillingars roll inte enbart som teknisk, utan som ett socio-tekniskt fenomen, vilket också Lei et al. (2023) lyfter fram.

Digitala tvillingar som ett socio-tekniskt fenomen framhäver digitala tvillingar som en grund för effektivare och inkluderande samarbete där människan och dess relationer kan användas i den digitala utvecklingen. Vidare är det viktigt för politiker och tjänstemän att inkludera medborgaren och få dem engagerade i den digitala utvecklingen som i slutändan ska gynna

deras livskvalitet, till exempel genom förbättrad stadsplanering (Papyshev & Yarime, 2021; Quek et al., 2023). Med ett dominerande tekniskt förhållningssätt riskerar utvecklingen av digitala tvillingar förlora kopplingen till de praktiska realiteterna och vem som egentligen förväntas gynnas av den digitala utvecklingen, så som patienter och samhällsmedborgare.

Den sociala delen rymmer även en etisk dimension av digitala tvillingar. Att diskutera de sociala och etiska konsekvenserna av digitala tvillingar är en central aspekt av ansvarsfull innovation; var finns alla data; hur påverkas individens frihet och integritet; och vem har ansvar för dataanalys och beslutsfattande är viktiga frågor att ställa och besvara (Mendoza & Behrens, 2020; Popa et al., 2021). Att uppmärksamma digitala tvillingars roll som ett socio-tekniskt fenomen kan därmed inkludera centrala utmaningar så som datasäkerhet och integritetsfrågor, som ur ett enbart tekniskt perspektiv inte är lika relevanta. De tekniska kraven är fortsättningsvis viktiga, så som smidig dataintegration och nödvändig digital infrastruktur, med de får inte kväva de sociala och etiska aspekterna som är avgörande för trygg användning av digitala tjänster inom offentlig verksamhet.

Etableringen digitala tvillingar som ett socio-tekniskt fenomen leder dock till två olika paradigmer och kulturer (det tekniska och det sociala) som bör samexistera för att ge resultat. Samtidigt står offentliga organisationer inför en utmaning som sträcker sig bortom vilja, nödvändiga strukturer och ekonomiska resurser, nämligen en tillräcklig grad av organisatorisk mognad. Politiker och tjänstemän bör förstå möjligheterna och begränsningarna och organisationer bör vara mogna och modiga att sig an denna utveckling. Denna mognad framhävs av bland annat Siuko et al. (2023) som konstaterar att offentliga organisationer tenderar ha visioner om att implementera avancerade digitala teknologier, så som digitala tvillingar, oavsett om organisationerna har en tillräcklig mognadsgrad för att *de facto* kunna utveckla och använda dem. Samtidigt är det viktigt för offentliga organisationer att implementera digitala lösningar enligt lokala processer och behov och inte falla för det starka teknokratiska inflytandet som ofta dikterar offentliga organisationers digitala åtgärder (Quek et al., 2023).

Digitala tvillingar som proaktivt verktyg

En tydlig roll som digitala tvillingar tilldelas i litteraturen är att skapa och förutse möjliga framtida scenarier som grund för beslutsfattandet i offentliga organisationer. Hur påverkar en översvämning tillgängligheten till samhällsviktiga byggnader så som sjukhus, försvarsenheter eller demokratiska institutioner? Hur påverkar en tillbyggnad av ett bostadsområde stadens vägnät och transportmöjligheter? Hur påverkar ett nytt digitalt verktyg patientflödet i ett kommunalt sjukhus? Denna proaktivitet och prognoskapacitet lyfts fram som det centrala syftet och värdet av digitala tvillingar för att kunna bemöta det effektivitetsbehov som offentlig verksamhet står inför idag. Digitala tvillingar erbjuder organisationer ett realistiskt digitalt ekosystem för att utforska "vad händer om"-scenarier i verksamheten – utan att inkräkta i den fysiska miljön. Detta digitala ekosystem eller nätverk smarta digitala lösningar beskrivs bland

annat som en “smart hjärna” (Cheng et al. 2022, p. 2). Denna “smarta hjärna”⁸ fungerar dels som ett omfattande effektivitetsredskap; inte enbart för att hantera och sammanlänka enorma mängder data från olika datakällor utan även för att visualisera och demonstrera olika sätt att strukturera verksamheten så optimalt som möjligt. Dels kan användningen av digitala tvillingar som ett proaktivt verktyg även underlätta och bidra till framtidskunskap (Jennische & Sörbom, 2023). Digitala tvillingar förväntas ge oss realistiska framtidsvisioner och de ger oss en känsla av trygghet och säkerhet i våra beslut där knappa offentliga resurser kan spenderas på “rätt” sätt.

Användningen av digitala tvillingars i ett förutseende syfte föreslår ett sätt för offentliga organisationer att försöka hantera och konkretisera en osäker framtid. Digitala tvillingar är dock inte det första verktyget som skapats och använts för motsvarande ändamål, statistik och scenarioanalys har länge funnits inom offentlig sektor. Digitala tvillingar beskrivs som någonting slagkraftigare och mer dynamiskt än till exempel statistiska prognoser och ger oss möjligheten att konstruera, förstå och visualisera framtiden som om det vore nuet.

I användningen av digitala tvillingar träder en intressant bild av visualiseringsverktygen fram. Den bild av ett helt rum med en stor dator som Kaijser et al. (2024) beskriver om datateknikens utveckling i Sverige under 1960-talet är inte helt olik den bild av de kontrollcenter för den digitala tvillingen som beskrivs i litteraturen 60 år senare av Peng et al. (2020, p. 7). Visualiseringsaspekten blir speciellt viktig för offentliga organisationers politiker och tjänstemän som inte besitter den tekniska kunskapen. Att på ett dynamiskt och mångfacetterat sätt illustrera hur olika delar hänger ihop, till exempel patientflödet mellan sjukhusavdelningar och vindflödets påverkan på energikostnader för kommuner, konkretiseras den tekniska dimensionen av digitala tvillingar för personer utan expertis inom de ämnen som diskuteras, exempelvis för politiska beslutsfattare. Visualiseringsmöjligheten inbjuder även till medborgarengagemang där olika scenarion kan göras användarvänliga för och kommunicerbara med medborgaren och på så sätt öka den demokratiska legitimiteten för de beslut som fattas.

Digitala tvillingar som stöd i beslutsfattandet

Digitala tvillingars roll som stöd i beslutsfattandet, och därmed det politiska perspektivet i offentlig sektor, genomsyrar de konceptuella diskussionerna och användningen av digitala tvillingar. Dock studeras eller diskuteras inte beslutsfattandet specifikt. Att digitala tvillingar fungerar som stöd i beslutsfattandet kan beskrivas som en direkt eller indirekt målsättning med digitala tvillingar – utfallet av de analyser som görs med hjälp av digitala tvillingar används som evidensbaserat beslutsunderlag. Caprari et al. (2022) nämner exempelvis att digitala tvillingar kan ge kommunala beslutsfattare stöd i deras val genom prediktiva analyser från historiska data och realtidsdata för att modifiera platser eller system i staden (så som underhåll av gröna områden). Eller som Elkefi och Asan (2022, p. 1) beskriver kan digitala tvillingar

⁸ Se även Caprari et al. (2022, p. 12) som beskriver cyberfysiska och sociala digitala tvillingar som “organismer med hjärnor och neurala funktioner” som till en viss grad återspeglar fysiska objekt.

användas som stöd i beslutsfattandet inom hälso- och sjukvården för att “optimera flöden, förbättra prestanda, förbättra hälsoresultat och förbättra upplevelserna för patienter, läkare och andra intressenter med minimal risk”. Även Europeiska kommissionen utvecklar en “Earth Digital Twin” med målsättningen att stöda beslutsfattare i medlemsstaterna för att kunna bemöta gemensamma utmaningar (Caprari et al., 2022; European Commission, 2020).

Genom att minska individens delaktighet i beslutsfattandet, det vill säga beslut som grundar sig i individuell erfarenhet, kunskap och magkänsla, och istället grunda beslut på omfattande mängder neutrala data uppfyller digitala tvillingar en funktion och ambition att minska osäkerhet och skapa trovärdighet i besluten. Denna ambition har även tydligt framkommit i användningen av andra digitala teknologier, där till exempel big data beskrivs och används som evidensbaserat stöd i kommunalt beslutsfattande för att tona ner magkänslan (se till exempel Fredriksson, 2018).

En viktig fråga i digitala tvillingars roll som stöd i beslutsfattandet är vem som egentligen fattar besluten; människan eller det digitala systemet? Då automatiserade processer mellan den fysiska och digitala världen sker utan mänsklig inblandning (*without human in the loop*), stöder utfallet ändå människan att få insikter och därmed stöda beslutsfattandet (*with human in the loop*) (Al-Sehrawy et al., 2023; Xames & Topcu, 2024). Eller som Caprari et al. (2022, p. 10) beskriver det, de proaktiva simulerings- och visualiseringsunderlagen “vägleder” beslutsfattarnas val. I beslutsfattandet och människans roll i det blir även ansvarsfrågan kopplat till vem som fattar besluten – människan eller det digitala systemet – central. Om till exempel de digitala systemen tillåts avgöra vårdingrepp eller medicinering istället för läkare eller sjukskötare, vem bär då det medicinska ansvaret om något går fel?

Trots att digitala teknologier framhävs som lösningar för att uppnå mer trovärdigt beslutsfattande genom att minska människans subjektiva närvaro, betonas dock vikten av att inkludera individen i beslutsfattandeprocesserna. Dock genom att bidra till datainsamlingsprocessen och att ta medborgaren i beaktande i beslutsfattandet snarare än att fatta besluten. Flera forskare understryker vikten av decentraliserat och inkluderat beslutsfattande och medborgarengagemang för att förbättra lokala medborgares socioekonomiska ställning (se till exempel Mendoza & Behrens, 2020; Ravid & Aharon-Gutman, 2023). I stadsplanering är det exempelvis möjligt att, som Papyshv och Yarime (2021) föreslår, använda sig av syntetiska data som medborgare får till uppdrag att samla in för ett specifikt ändamål, vilket är svårare inom hälso- och sjukvården på grund av omfattningen av känslig och personlig data.

Digitala tvillingar som samhällsvision

I denna kunskapsöversikt har flera goda exempel på användningen av digitala tvillingar lyfts fram; hur nya sjukhusbyggnader och -avdelningar planeras och introduceras och hur städer kan genomföra virtuella experiment i stadsmiljön, genom till exempel vindsimuleringar – utan att göra intrång på det fysiska rummet och den pågående verksamheten. Det är alltså möjligt att implementera digitala tvillingar i offentlig verksamhet. Dock kan omfattningen och takten

diskuteras och ifrågasätts. Digitala tvillingar representerar dels en utopisk, dels dystopisk samhällsvision. Speciellt hälso- och sjukvårdslitteraturen ger sken av ett utopiskt – och i första hand tekniskt – förhållningssätt där möjligheterna med digitala tvillingar målas upp utan att bemöta de utmaningar de samtidigt medför. Stadsplaneringslitteraturen är mer kritiska, delvis dystopiska, och framhäver både tekniska och sociala utmaningar som bör tas i beaktande. Som Caprari et al. (2022) poängterar, att ha en virtuell kopia av en stad är inte automatiskt lösningen på djupt rotade problem så som klimatförändringar, men digitala tvillingar erbjuder ändå offentliga organisationer åtgärder för mer anpassningsbara, hälsosamma och levande former av städer. En positiv syn på digitala tvillingar dominerar idag, där en möjlig orsak är det tekniska utgångsläget som inte problematiserar de praktiska möjligheterna och utmaningarna med digitala tvillingar. Vissa faktorer och kontext, så som starkt enpartistyre i Singapore eller forskare kopplade till företag som producerar digital tvilling-teknologi, ger heller inte utrymme för problematisering.

Forskningen som ligger till grund för denna kunskapsöversikt består till stor del av konceptuella och tekniska spekulationer kring hur digitala tvillingar *kan* användas och därmed vilka möjligheter de *kan* ha. På så sätt antyds en illusion som bygger på spekulationer, snarare än implementerade studier med faktiska resultat som illustrerar de möjligheter som målas upp. Innan fler implementerade studier med konkreta resultat av digitala tvillingar finns att tillgå förblir det osäkert vilket värde som digitala tvillingar *de facto* kan ha i offentlig verksamhet. Utmaningarna är omfattande och offentliga organisationer har ett ansvar gentemot skattebetalare att bemöta utmaningar kring datasäkerhet, krav på omfattande investeringar och digitala strukturer.

Hur korrelerar en implementering av digitala tvillingar som innebär en innovation vi har begränsad erfarenhet av och så många utmaningar för offentliga aktörer med synen på offentlig förvaltning som demokratiskt förankrad, ansvarstagande och rättssäker? Att både möjligheterna och utmaningar är många framkommer tydligt, men finns det en medelväg för digitala tvillingar i offentlig verksamhet? Ett tredje “eutopiskt” förhållningssätt (Bhavnani & Foran, 2008) gentemot förståelsen och användningen av digitala tvillingar i offentlig verksamhet föreslås därför. Ett eutopiskt förhållningssätt beskriver en föreställning om digitala tvillingar som kan bidra till *en bra eller bättre* verksamhet, snarare än ett svåruppnått ideal (utopiskt förhållningssätt) eller att inte använda dem alls med rädsla för vad de kan föra med sig (dystopiskt förhållningssätt). Detta förhållningssätt betonar ett mer realistiskt alternativ till de utopiska och dystopiska förhållningssätten och skapar förutsättningar för en förnuftigare medelväg i utvecklingen av digitala tvillingar i offentlig verksamhet. Genom att balansera och tona ner de utopiska och dystopiska framtidsbeskrivningarna kan ett mer realistiskt förhållningssätt gentemot hur vi vill organisera vårt samhälle etableras. Att fokusera på en bra eller bättre – inte perfekt – framtid kan därmed stöda organiseringen av digitaliseringen och vår förmåga att möta och hantera de utmaningar och behov digitaliseringen och utvecklingen av digitala tvillingar för med sig.

Offentlig sektor har inte ekonomiska eller strukturella förutsättningar att anamma, potentiellt trendiga, tekniska lösningar innan det finns tydliga resultat som tyder på att de har ett värde för

offentlig verksamhet. I likhet med kritisk realism, som Al-Sehrawy et al. (2023) föreslår som ett lämpligt filosofiskt grundantagande i tillämpningen av digitala tvillingar, framhäver ett eutopiskt förhållningssätt vikten av realism. Vad är ekonomiskt och strukturellt realistiskt för offentliga organisationer i utvecklingen och användningen av digitala tvillingar i offentlig verksamhet? Vad är möjligt i det etableringsstadium som offentlig sektor befinner sig i idag? Vad är viktigast för att komma framåt? Trots att mikrolösningar och pilotprojekt kritiserats av forskare som önskar etablerade och prövade verktyg och arbetssätt är det kanske ändå de – de lokalt anpassade lösningarna – som är realistiska för offentliga organisationer i dagsläget.

Slutsatser

Denna kunskapsöversikt har redogjort för hur digitala tvillingar förstås och används i offentlig verksamhet. Den digitala tvillingen beskrivs som ett kraftfullt verktyg att sammanlänka den verkliga och virtuella världen och som en lösning till de utmaningar offentliga aktörer står inför. Samtidigt är det, liksom andra digitala innovationer som har introducerats i den offentliga sektorn, ett tekniskt fenomen som kantraras av ovisshet, otydliga strukturella och ekonomiska behov, politiskt tryck att följa utvecklingen och organisationer med önskan om verktyg som kan underlätta tryggt och hållbart beslutsfattande. Givet de få implementerade studierna av digitala tvillingar i offentlig verksamhet och att teknologierna som digitala tvillingar består av (till exempel AI och big data) redan har funnits under en lång tid finns det oundvikligen en risk för ett ytterligare "buzzword" (Popa et al., 2021).

Det som kännetecknar forskningen som ligger till grund för denna kunskapsöversikt är att den i hög grad är spekulativ. Forskare tenderar spekulera om en framtid där användningen av digitala tvillingar bidrar till ett omfattande värde; effektivitet, simulering och visualisering av prognoser och scenarion samt evidensbaserat beslutsfattande. Detta låter lockande och lovande för en offentlig kontext med ett skriande behov av effektivisering av processer och strukturer för att i slutändan kunna trygga ändamålsenlig service och omgivning för medborgare.

Digitala tvillingars roll för den offentliga sektorn har i denna rapport sammanfattats som ett socio-tekniskt fenomen med betoning på de sociala och etiska aspekterna av digitala tvillingar; som ett proaktivt verktyg med goda visualiseringsmöjligheter, som stöd i (evidensbaserat) beslutsfattande och som representant för olika samhällsvisioner. Ändamålet för de olika rollerna är tydligt men frågan som består är hur de ska kunna uppnås på ett hållbart sätt i den offentliga sektorn. Det finns ett stort behov av ytterligare forskning kring användningen av digitala tvillingar i offentlig verksamhet.

Utifrån ett eutopiskt förhållningssätt gentemot en stark teknisk utveckling i en kontext där de sociala, etiska och politiska aspekterna styr beslutsfattandet och verksamheten är det förslagsvis och i dagsläget lämpligt att sträva efter mindre omfattande lösningar och användningsområden. De studier som bidrar med tydliga resultat visar att digitala tvillingar har ett värde i att upprätthålla en virtuell realtidskontroll av fysiska objekt, strukturer och processer, speciellt för underhåll av exempelvis byggnader och energikällor och -strukturer. Ett ytterligare

värde är de visualiseringsmöjligheter digitala tvillingar kan erbjuda som suddar ut gränserna mellan den fysiska och virtuella världen. För att utnyttja detta värde är det inte nödvändigt att skapa omfattande digitala tvillingar av hela sjukhusbyggnader eller städer, snarare delar av dessa. En tillämpning av digitala teknologier, strukturer och säkerhetsföreskrifter som redan finns tillgängliga möjliggör en grund för fortsatt arbete då utvecklingen av digitala tvillingar framskrider och de implementerade studierna blir fler. Digitala tvillingar har omfattande potential för offentlig sektor men det kommer att kräva ytterligare studier och förståelse för de risker som är kopplade till digitala tvillingar idag.

Referenser

- Al-Sehrawy, R., Kumar, B., & Watson, R. (2023). The pluralism of digital twins for urban management: Bridging theory and practice. *Digital Technologies in Urban Planning and Urban Management*, 12(1), 16–32. <https://doi.org/10.1016/j.jjum.2023.01.002>
- Andrews, L. (2019). Public administration, public leadership and the construction of public value in the age of the algorithm and ‘big data’. *Public Administration*, 97(2), 296–310. <https://doi.org/10.1111/padm.12534>
- Ariyachandra, M. R. M. F., & Wedawatta, G. (2023). Digital Twin Smart Cities for Disaster Risk Management: A Review of Evolving Concepts. *Sustainability*, 15(15). <https://doi.org/10.3390/su151511910>
- Arnelid, M. (2021). *Robothandläggare i socialtjänsten. Sveriges kommuner och regioners roll vid automatisering av ekonomiskt bistånd* (2021:5; Scores Rapportserie). Stockholms centrum för forskning om offentlig sektor.
- Berman, A., de Fine Licht, K., & Carlsson, V. (2024). Trustworthy AI in the public sector: An empirical analysis of a Swedish labor market decision-support system. *Technology in Society*, 76, 102471. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2024.102471>
- Bhavnani, K.-K., & Foran, J. (2008). Feminist futures: From dystopia to eutopia? *Futures*, 40, 319–328. OpenAIRE.
- Bugge, M. M., & Bloch, C. W. (2016). Between bricolage and breakthroughs—Framing the many faces of public sector innovation. *Public Money & Management*, 36(4), 281–288. <https://doi.org/10.1080/09540962.2016.1162599>
- Cali, U., Dimd, B. D., Hajjaligol, P., Moazami, A., Gourisetti, S. N. G., Lobaccaro, G., & Aghaei, M. (2023). Digital Twins: Shaping the Future of Energy Systems and Smart Cities through Cybersecurity, Efficiency, and Sustainability. *2023 International Conference on Future Energy Solutions (FES)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/FES57669.2023.10182868>
- Caprari, G., Castelli, G., Montuori, M., Camardelli, M., & Malvezzi, R. (2022). Digital Twin for Urban Planning in the Green Deal Era: A State of the Art and Future Perspectives. *Sustainability*, 14(10). <https://doi.org/10.3390/su14106263>
- Carlqvist Warnborg, Y. (Director). (2024, February 4). Så kan en tvilling i datorn hjälpa Arktis. In *Vetenskapsradion På djupet*. Sveriges Radio. <https://sverigesradio.se/avsnitt/sa-kan-en-tvilling-i-datorn-hjalpa-arktis>

- Carlsson, V. (2023). Legal certainty in automated decision-making in welfare services. *Public Policy and Administration*, 09520767231202334. <https://doi.org/10.1177/09520767231202334>
- Carlsson, V., & Rönnblom, M. (2022). From politics to ethics: Transformations in EU policies on digital technology. *Technology in Society*, 71, 102145. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2022.102145>
- Centre for Digital Built Britain. (n.d.-a). *Gemini Papers: Summary Paper*. University of Cambridge. Retrieved 19 December 2023, from <https://www.cdbb.cam.ac.uk/news/gemini-papers>
- Centre for Digital Built Britain. (n.d.-b). *Mission*. Retrieved 4 May 2024, from <https://www.cdbb.cam.ac.uk/AboutCDBB/mission>
- Centre for Digital Built Britain. (2018). *The Gemini Principles: Guiding values for the national digital twin and information management framework*. University of Cambridge. <https://www.repository.cam.ac.uk/items/589a0fb1-b350-462f-abda-ace640cb0654>
- Cheng, W., Lian, W., & Tian, J. (2022). Building the hospital intelligent twins for all-scenario intelligence health care. *DIGITAL HEALTH*, 8, 20552076221107894. <https://doi.org/10.1177/20552076221107894>
- De Benedictis, A., Mazzocca, N., Somma, A., & Strigaro, C. (2023). Digital Twins in Healthcare: An Architectural Proposal and Its Application in a Social Distancing Case Study. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 27(10), 5143–5154. <https://doi.org/10.1109/JBHI.2022.3205506>
- de Koning, K., Broekhuijsen, J., Kühn, I., Ovaskainen, O., Taubert, F., Endresen, D., Schigel, D., & Grimm, V. (2023). Digital twins: Dynamic model-data fusion for ecology. *Trends in Ecology & Evolution*, 38(10), 916–926. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2023.04.010>
- Demircioglu, M. A., & Audretsch, D. B. (2017). Conditions for innovation in public sector organizations. *Research Policy*, 46(9), 1681–1691. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2017.08.004>
- Distor, C., Ben Dhaou, S., & Meyerhoff Nielsen, M. (2023). Metaverse vs. Metacurse: The role of governments and public sector use cases. *Proceedings EGOV-CeDEM-ePart*. CEUR Workshop Proceedings, Budapest, Hungary.
- Dunleavy, P., Margetts, H., Bastow, S., & Tinkler, J. (2006). New Public Management Is Dead: Long Live Digital-Era Governance. *Journal of Public Administration Research and Theory: J-PART*, 16(3), 467–494. JSTOR.
- Elkefi, S., & Asan, O. (2022). Digital Twins for Managing Health Care Systems: Rapid Literature Review. *Journal of Medical Internet Research*. Coronavirus Research Database; ProQuest One Academic; Publicly Available Content

- Database; Social Science Premium Collection.
<https://doi.org/10.2196/37641>
- European Commission. (2020). *Shaping Europe's digital future*. Publications Office of the European Union.
- European Commission. (2022). *Smart Cities and Communities*. Shaping Europe's Digital Future. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/smart-cities-and-communities>
- Ferré-Bigorra, J., Casals, M., & Gangolells, M. (2022). The adoption of urban digital twins. *Cities*, 131, 103905. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2022.103905>
- Fialho, B. C., Codinhoto, R., Fabricio, M. M., Estrella, J. C., Ribeiro, C. M., Bueno, J. M., & Torrezan, J. P. (2022). Development of a BIM and IoT-Based Smart Lighting Maintenance System Prototype for Universities' FM Sector. *Buildings*, 12(2). <https://doi.org/10.3390/buildings12020099>
- FOI. (2020). *Vilse i lasagnen? - En upptäcktsfärd i den svenska digitaliseringens mångbottnade problemstruktur* (FOI-R--4814--SE). Totalförsvarets forskningsinstitut (FOI).
- Fredriksson, C. (2018). Big data creating new knowledge as support in decision-making: Practical examples of big data use and consequences of using big data as decision support. *Journal of Decision Systems*, 1–18. <https://doi.org/10.1080/12460125.2018.1459068>
- Gil-Garcia, J. R., Dawes, S. S., & Pardo, T. A. (2018). Digital government and public management research: Finding the crossroads. *Public Management Review*, 20(5), 633–646. <https://doi.org/10.1080/14719037.2017.1327181>
- Glaessgen, E. H., & Stargel, D. S. (2012). *The Digital Twin Paradigm for Future NASA and U.S. Air Force Vehicles*. 53rd AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics and Materials Conference, Honolulu, Hawaii.
- Han, Y., Li, Y., Li, Y., Yang, B., & Cao, L. (2023). Digital twinning for smart hospital operations: Framework and proof of concept. *Technology in Society*, 74, 102317. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2023.102317>
- Haug, N., Dan, S., & Mergel, I. (2023). Digitally-induced change in the public sector: A systematic review and research agenda. *Public Management Review*, 1–25. <https://doi.org/10.1080/14719037.2023.2234917>
- Iliuță, M.-E., Pop, E., Moisescu, M. A., Caramihai, S. I., & Tiganoaia, B. (2023). A Digital Twin Based Approach in Healthcare. *2023 24th International Conference on Control Systems and Computer Science (CSCS)*, 356–362. <https://doi.org/10.1109/CSCS59211.2023.00063>
- Jennische, U., & Sörbom, A. (2023). Governing anticipation: UNESCO making humankind futures literate. *Journal of Organizational Ethnography*, 12(1), 105–119. SwePub. <https://doi.org/10.1108/JOE-10-2021-0055>

- Kaewunruen, S., AbdelHadi, M., Kongpuang, M., Pansuk, W., & Remennikov, A. M. (2023). Digital Twins for Managing Railway Bridge Maintenance, Resilience, and Climate Change Adaptation. *Sensors*, *23*(1), 252. ProQuest One Academic; Publicly Available Content Database. <https://doi.org/10.3390/s23010252>
- Kajiser, A., Sjöblom, G., Gribbe, J., & Lundin, P. (2024). *Maktens maskiner. Hur stora datorer moderniserade folkhemmet.* Arkiv förlag. <https://doi.org/10.13068/9789179243883>
- Khan, S., Arslan, T., & Ratnarajah, T. (2022). Digital Twin Perspective of Fourth Industrial and Healthcare Revolution. *IEEE Access*, *10*, 25732–25754. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3156062>
- Kusuma, A. T., & Supangkat, S. H. (2022). Metaverse Fundamental Technologies for Smart City: A Literature Review. *2022 International Conference on ICT for Smart Society (ICISS)*, 1–7. <https://doi.org/10.1109/ICISS55894.2022.9915079>
- Lei, B., Janssen, P., Stoter, J., & Biljecki, F. (2023). Challenges of urban digital twins: A systematic review and a Delphi expert survey. *Automation in Construction*, *147*, 104716. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104716>
- Lv, Z., Gander, A. J., & Lv, H. (2022). Digital Twins of Sustainable City. In *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90386-8.00024-3>
- Machado, T. M., & Berssaneti, F. T. (2023). Literature review of digital twin in healthcare. *Heliyon*, *9*(9). Directory of Open Access Journals. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19390>
- Madubuike, O. C., & Anumba, C. J. (2023). Digital Twin-Based Health Care Facilities Management. *Journal of Computing in Civil Engineering*, *37*(2). Scopus. <https://doi.org/10.1061/JCCEE5.CPENG-4842>
- Mendoza, F., & Behrens, H. W. (2020). Arbiter: Improved Smart City Operations through Decentralized Autonomous Organization. *2020 IEEE International Symposium on Technology and Society (ISTAS)*, 407–412. <https://doi.org/10.1109/ISTAS50296.2020.9462219>
- Menon, D., Anand, B., & Chowdhary, C. L. (2023). Digital Twin: Exploring the Intersection of Virtual and Physical Worlds. *IEEE Access*, *11*, 75152–75172. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3294985>
- Minghini, M., Kotsev, A., & Granell, C. (2022). A European Approach to the Establishment of Data Spaces. *Data*, *7*(8), 118. Coronavirus Research Database; ProQuest One Academic; Publicly Available Content Database. <https://doi.org/10.3390/data7080118>

- Mohamed, N., Al-Jaroodi, J., Jawhar, I., & Kesserwan, N. (2023). How Healthcare Systems Engineering can Benefit from Digital Twins? *2023 IEEE International Systems Conference (SysCon)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/SysCon53073.2023.10131101>
- Niccolucci, F., Felicetti, A., & Hermon, S. (2022). Populating the Digital Space for Cultural Heritage with Heritage Digital Twins. *Data*, 7(8). <https://doi.org/10.48550/arXiv.2205.13206>
- Oti-Sarpong, K., Pärn, E. A., Burgess, G., & Zaki, M. (2022). Transforming the construction sector: An institutional complexity perspective. *Construction Innovation*, 22(2), 361–387. ProQuest One Academic. <https://doi.org/10.1108/CI-04-2021-0071>
- Papyshev, G., & Yarime, M. (2021). Exploring city digital twins as policy tools: A task-based approach to generating synthetic data on urban mobility. *Data & Policy*, 3, e16. Cambridge Core. <https://doi.org/10.1017/dap.2021.17>
- Peng, Y., Zhang, M., Yu, F., Xu, J., & Gao, S. (2020). Digital Twin Hospital Buildings: An Exemplary Case Study through Continuous Lifecycle Integration. *Advances in Civil Engineering*, 2020, 8846667. <https://doi.org/10.1155/2020/8846667>
- Piper, W., Sun, H., & Jiang, J. (2022). Digital Twins for Smart Cities: Case Study and Visualisation via Mixed Reality. *2022 IEEE 96th Vehicular Technology Conference (VTC2022-Fall)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/VTC2022-Fall57202.2022.10012753>
- Popa, E. O., van Hilten, M., Oosterkamp, E., & Bogaardt, M.-J. (2021). The use of digital twins in healthcare: Socio-ethical benefits and socio-ethical risks. *Life Sciences, Society and Policy*, 17(1). Scopus®. <https://doi.org/10.1186/s40504-021-00113-x>
- Quek, H. Y., Akroyd, J., Bhave, A. N., Burgess, G., Herthogs, P., Kraft, M., Lim, M. Q., Mosbach, S., Nocht, T., Sielker, F., Wan, L., Yamu, C. van der L., & von Richthofen, A. (2023). The conundrum in smart city governance: Interoperability and compatibility in an ever-growing ecosystem of digital twins. *Data & Policy*, 5, e6. Cambridge Core. <https://doi.org/10.1017/dap.2023.1>
- Ravid, B. Y., & Aharon-Gutman, M. (2023). The Social Digital Twin: The Social Turn in the Field of Smart Cities. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 50(6), 1455–1470. <https://doi.org/10.1177/23998083221137079>
- Razzaq, S., Shah, B., Iqbal, F., Ilyas, M., Maqbool, F., & Rocha, A. (2023). DeepClassRooms: A deep learning based digital twin framework for on-

- campus class rooms. *Neural Computing and Applications*, 35(11), 8017–8026.
<https://doi.org/10.1007/s00521-021-06754-5>
- Siuko, V., Myllärniemi, J., & Hellsten, P. (2023). *Towards Digital Transformation: Knowledge Management as an Enabler in a Public Sector Asset Lifecycle*. 3, 157–165.
<https://doi.org/10.5220/0012164700003598>
- SKR. (2023). *Kommungemensamt handslag för välfärdsutveckling genom digitalisering*. Sveriges kommuner och regioner (SKR).
- Vallée, A. (2023). Digital twin for healthcare systems. *Frontiers in Digital Health*, 5.
<https://doi.org/10.3389/fdgth.2023.1253050>
- Villanueva, F. J., Bolanos, C., Rubio, A., Cantarero, R., Fernandez-Bermejo, J., & Dorado, J. (2022). Crowded event management in smart cities using a digital twin approach. *2022 IEEE International Smart Cities Conference (ISC2)*, 1–7.
<https://doi.org/10.1109/ISC255366.2022.9921923>
- Weil, C., Bibri, S. E., Longchamp, R., Golay, F., & Alahi, A. (2023). Urban Digital Twin Challenges: A Systematic Review and Perspectives for Sustainable Smart Cities. *Sustainable Cities and Society*, 99, 104862.
<https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104862>
- Xames, Md. D., & Topcu, T. G. (2024). A Systematic Literature Review of Digital Twin Research for Healthcare Systems: Research Trends, Gaps, and Realization Challenges. *IEEE Access*, 12, 4099–4126. Scopus.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3349379>
- Zackoff, M. W., Rios, M., Davis, D., Boyd, S., Roque, I., Anderson, I., NeCamp, M., Gardner, A., Geis, G., & Moore, R. A. (2023). Immersive Virtual Reality Onboarding using a Digital Twin for a New Clinical Space Expansion: A Novel Approach to Large-Scale Training for Health Care Providers. *The Journal of Pediatrics*, 252. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2022.07.031>

Bilaga A: Litteratur som ingår i kunskapsöversikten

Författare	Titel
Razzaq et al. (2023)	DeepClassRooms: a deep learning based digital twin framework for on-campus class rooms
Fialho et al. (2022)	Development of a BIM and IoT-Based Smart Lighting Maintenance System Prototype for Universities' FM Sector
Kaewunruen et al. (2023)	Digital Twins for Managing Railway Bridge Maintenance, Resilience, and Climate Change Adaptation
Oti-Sarpong et al. (2022)	Transforming the construction sector: an institutional complexity perspective
Minghini et al. (2022)	A European Approach to the Establishment of Data Spaces
Niccolucci et al. (2022)	Populating the Data Space for Cultural Heritage with Heritage Digital Twins
Kusuma & Supangkat (2022)	Metaverse Fundamental Technologies for Smart City: A Literature Review
Mendoza & Behrens (2020)	Arbiter: Improved Smart City Operations through Decentralized Autonomous Organization
Siuko et al. (2023)	Towards Digital Transformation: Knowledge Management as an Enabler in a Public Sector Asset Lifecycle
Distor et al. (2023)	Metaverse vs. metacurse: The role of governments and public sector use cases
de Koning et al. (2023)	Digital twins: dynamic model-data fusion for ecology
Menon et al. (2023)	Digital Twin: Exploring the Intersection of Virtual and Physical Worlds
Cheng et al. (2022)	Building the hospital intelligent twins for all-scenario intelligence health care
De Benedictis et al. (2023)	Digital Twins in Healthcare: An Architectural Proposal and Its Application in a Social Distancing Case Study
Elkefi & Asan (2022)	Digital Twins for Managing Health Care Systems: Rapid Literature Review
Han et al. (2023)	Digital twinning for smart hospital operations: Framework and proof of concept
Iliuță et al. (2023)	A Digital Twin Based Approach in Healthcare
Khan et al. (2022)	Digital Twin Perspective of Fourth Industrial and Healthcare Revolution
Machado & Berssaneti (2023)	Literature review of digital twin in healthcare
Madubuike & Anumba (2022)	Digital Twin-Based Health Care Facilities Management
Mohamed et al. (2023)	How Healthcare Systems Engineering can Benefit from Digital Twins?
Popa et al. (2021)	The use of digital twins in healthcare: socio-ethical benefits and socio-ethical risks
Vallée (2023)	Digital twin for healthcare systems
Xames & Topcu (2024)	A Systematic Literature Review of Digital Twin Research for Healthcare Systems: Research Trends, Gaps, and Realization Challenges
Zackoff et al. (2023)	Immersive Virtual Reality Onboarding using a Digital Twin for a New Clinical Space Expansion: A Novel Approach to Large-Scale Training for Health Care Providers
Peng et al. (2020)	Digital Twin Hospital Buildings: An Exemplary Case Study through Continuous Lifecycle Integration
Al-Sehrawy et al. (2023)	The pluralism of digital twins for urban management: Bridging theory and practice
Ariyachandra & Wedawatta (2023)	Digital Twin Smart Cities for Disaster Risk Management: A Review of Evolving Concepts

Cali et al. (2023)	Digital Twins: Shaping the Future of Energy Systems and Smart Cities through Cyber security, Efficiency, and Sustainability
Caprari et al. (2022)	Digital Twin for Urban Planning in the Green Deal Era: A State of the Art and Future Perspectives
Ferré-Bigorra et al. (2022)	The adoption of urban digital twins
Lei et al. (2023)	Challenges of urban digital twins: A systematic review and a Delphi expert survey
Lv et al. (2022)	Digital Twins of sustainable city
Papyshev & Yarime (2021)	Exploring city digital twins as policy tools: A task-based approach to generating synthetic data on urban mobility
Piper et al. (2022)	Digital Twins for Smart Cities: Case Study and Visualisation via Mixed Reality
Quek et al. (2023)	The conundrum in smart city governance: Interoperability and compatibility in an ever-growing ecosystem of digital twins
Ravid & Aharon-Gutman (2022)	The Social Digital Twin: The Social Turn in the Field of Smart Cities
Šain et al. (2023)	Application of digital twin in city management
Villanueva et al. (2022)	Crowded event management in smart cities using a digital twin approach
Weil et al. (2023)	Urban Digital Twin Challenges: A Systematic Review and Perspectives for Sustainable Smart Cities