

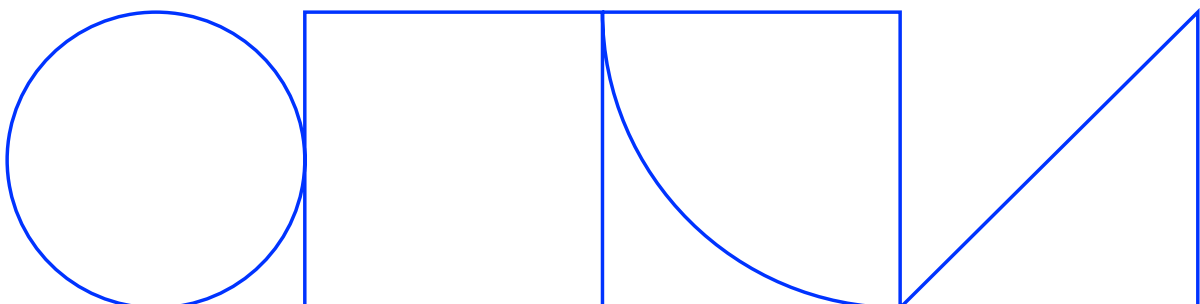
PROJEKTNR. 13517

BIM-A: Effektivare tillståndsbedömning

Sammanfattning

Vanessa Saback
Luleå tekniska universitet

2023-01-19

**SKANSKA**

Digitala tvillingar för tillgångsförvaltning av byggkonstruktioner

Vanessa Saback

Sammanfattning

Denna avhandling behandlar tillgångsförvaltning av byggkonstruktioner med hjälp av byggnadsinformationsmodellering (BIM) och digitala tvillingar.

Bakgrund: För närvarande är inspektions- och förvaltningsprocesser för anläggningskonstruktioner ofta tidskrävande och kan till och med vara felaktiga. Med den senaste tekniska utvecklingen finns det allt större möjligheter att förbättra dessa processer. Digitala tvillingar erbjuder en gemensam plattform för dessa tekniker så att de ska kunna samverka och utnyttjas optimalt. Inom andra branscher har man gjort stora framsteg när det gäller utvecklingen av digitala tvillingar, men inom byggbranschen finns det fortfarande stora luckor och utrymme för förbättring.

Syfte och ändamål: Det huvudsakliga syftet med detta projekt har varit att undersöka status för digitala tvillingar inom byggbranschen och föreslå en metodik för en sådan att användas vid tillgångsförvaltning av byggkonstruktioner. De tre omedelbara målsättningarna är (i) att granska litteraturen för att fastställa aktuell praxis med avseende på digitala tvillingar, både inom byggbranschen och andra branscher och vad det finns för brister när det gäller tillgångsförvaltning av byggkonstruktioner, (ii) delta i ett experimentellt pilotprogram som genererar data till en digital tvillingprototyp och (iii) fastställa en metod för en digital tvilling för sådan tillgångsförvaltning som eliminerar dessa brister.

Undersökningsmetoder: En granskning av litteraturen genomfördes och fick fungera som en utgångspunkt för att utveckla en metodik för en digital tvilling. Ett experimentellt pilotprogram fastställdes och genomfördes och resultaten från detta användes för BIM- och den finita elementmetoden (FE). Det skapades också en webbapp med hjälp av Autodesk Forge och programmeringsspråket Java och BIM-modellen laddades upp i denna.

Resultat: Litteraturgenomgången gav förståelse för hur mycket principen med digitala tvillingar har utvecklats liksom för inspektion, underhåll och övervakning av broar, BIM, fastighets- och tillgångsförvaltning, samt broförvaltningssystem (BMS). En metodik för att åstadkomma en digital tvilling för tillgångsförvaltning föreslogs och det experimentprogram som genomfördes genererade data som kunde användas för framtida forskning.

Slutledning: Tekniken för att förbättra strukturell utvärdering och analys har utvecklats markant, men den fulla potentialen är fortfarande outforskad. En digital tvilling som har utvecklats i en gemensam datamiljö kan fungera som plattform för att dessa tekniker ska kunna effektivisera dagens praxis. Byggbranschen ligger detta till trots markant efter andra branscher som t.ex. flyg- och bilbranschen.

Nyckelord: Digitala tvillingar, BIM, tillgångsförvaltning, gemensam datamiljö, finit elementmodellering, fiberoptiksenzor.

1. Bakgrund

Planering av underhåll och reparationer på skadade byggnader snarare än att helt och hållet ersätta dessa är vanligtvis ett bättre alternativ både ekonomiskt och miljömässigt. För nya byggnader ger montering av sensorer för strukturell tillståndsovervakning (SHM) under byggprocessen information om konstruktionens beteende vilket underlättar framtida underhåll och kan innebära en värdefull långsiktig investering. SHM-sensorer kan mäta trafik, deformation, vibration, förskjutning, vind, temperatur, osv. Både för befintliga och nya konstruktioner finns det således konkreta fördelar när det gäller att tillämpa tekniska förbättringar och automation inom tillgångsförvaltningen.

När det gäller anläggningskonstruktioner som t.ex. broar, tunnlar, dammar, osv., definieras tillgångsförvaltningen här av fyra huvudsakliga processer – inspektion (skadeidentifiering), bedömning av aktuellt tillstånd utifrån inspektionsdata, förutsägelse om framtida försämring och underhållsplanering. Tillgångsförvaltning fokuserar följaktligen på underhåll och renovering i syfte att förlänga tillgångarnas livslängd och förbättra kvaliteten på dessa. Stora framsteg har gjorts beträffande den teknik som kan förbättra effektiviteten för var och en av dessa fyra processer. Om de kombineras i en gemensam datamiljö (CDE) går det att åstadkomma en integrerad lösning för livscyklförvaltning i form av en digital tvilling.

För att fastställa det aktuella tillståndet för en konstruktion och planera underhållet i enlighet därmed, blir det första steget att genomföra en inspektion. När det gäller brokonstruktioner görs rutininspektioner återkommande av myndigheterna. Vid löpande inspektioner bygger skadeidentifieringen för det mesta på visuell undersökning och inspektionsrutiner och noteringar sker manuellt. Dessa inspektioner är därför ofta tids- och arbetskraftskrävande och ibland till och med felaktiga [1]. Det opraktiska med visuella inspektioner av stor och komplex civil infrastruktur har gynnat införandet av tillståndsbaserad bedömningsteknik. SHM har således utvecklats till att bli en övergång från manuell skadeidentifiering till nästan helt datoriserad bedömning i realtid via Internet [2]. Bland de olika icke-förstörande provningsteknikerna som kan förbättra den manuella inspektionen, har de vanligaste i litteraturen varit fotogrammetri, laserskanning,

markradar, ultraljud, infraröd skanning, fiberoptiksenzor (FOS), obemannade luftfarkoster (drönare – UAV), lidar och totalstation (EDM)

De data som erhålls genom dessa skadeidentifierings- och övervakningssystem används vanligtvis för tillståndsbedömning och beslutsunderlag beträffande underhåll. Sådana data presenteras ofta bara som kalkylblad och som grafik, men om de visas direkt i BIM-modeller, får de ett geometriskt och rumsligt sammanhang vilket underlättar tolkningen [3]. Numera tillämpas sannolikhetsrelaterade metoder för att förutsäga framtida försämring med utgångspunkt från en aktuell tillståndsdagnostik som härrör från inspektionsdata [4]. Denna analys kan emellertid förbättras med hjälp av automatiska bedömningsverktyg som utnyttjar artificiella intelligensalgoritmer [5], vilka kombinerar BIM- och finita elementmodeller (FE) [6], [7], samt geografiska informationssystem [8].

Beträffande underhållsplanering och broförvaltningsprinciper, är den huvudsakliga föreslagna förbättringen av existerande system att införa en interaktiv geometrisk framställning av tillgången genom en BIM-modell. Hittills finns det inget befintligt broförvaltningssystem (BMS) som omfattar en sådan typ av geometrisk broåtergivning [4], [9]. Länken mellan BIM och BMS kan skapas på olika sätt, det vanligaste är genom IFC-formatet (Industry Foundation Class) och/eller programmeringsspråk (SQL, C#, Java, Python, MATLAB, osv.) IFC är en öppen neutral standard som kan användas till flera olika hårdvaruenheter, programvaruplattformar och gränssnitt för ett flertal olika användningsfall [10]. Genom att tillåta fjärråtkomst till data från systemet genom molnbaserad, mobil och/eller portabel teknik, underlättas också informationsåtkomsten. I en gemensam datamiljö (CDE) kan FE-modeller för att förutsäga framtida försämring dessutom användas för att förbättra denna analys.

Den största utmaningen med att skaffa en funktionell digital tvilling som fungerar som en digital plattform för tillgångsförvaltning av byggkonstruktioner är att utveckla en CDE för de olika datakällorna. Av den anledningen är den fulla potentialen hos BIM-modeller efter byggprocessen och digitala tvillingar fortfarande outforskad. Inom andra branscher används DT i stor omfattning, t.ex. inom rymd-, fordons-, tillverknings-, smart stad- och hälsovårdstillämpningar [2]. Utvecklingen inom DT i dessa branscher har kommit mycket längre än i byggbranschen, där uppfattningen om vad som utgör en digital tvilling inte är helt klar överallt och där det fortfarande inte föreligger någon samsyn när det gäller dess formella definition. Detta leder ofta till missuppfattningar och att BIM- och kalibrerade FE-modeller utan någon större automatisering eller dataflöde felaktigt betecknas som digitala tvillingar. I det sammanhanget, undersöker denna studie digitala tvillingar och hur man skapar en CDE till en DT för tillgångsförvaltning av anläggningskonstruktioner.

2. Hypotes, syfte, ändamål och forskningsrelaterade frågor

Hypotes:

Digitala tvillingar är ett ändamålsenligare och effektivare alternativ till befintlig praxis när det gäller tillgångsförvaltning av byggkonstruktioner.

Syfte:

Undersöka digitala tvillingars status inom byggbranschen samt föreslå en metodik till en digital tvilling för tillgångsförvaltning av dessa konstruktioner.

Målsättning:

- (i) Granska litteraturen för att fastställa aktuell praxis med digitala tvillingar, såväl i byggbranschen som i övriga branscher samt vilka brister som finns när det gäller tillgångsförvaltning av byggkonstruktioner.
- (ii) Medverka i ett experimentellt pilotprogram som genererar data till en tänkbar digital tvillingprototyp.
- (iii) Fastställa en metodik för en digital tvilling för tillgångsförvaltning av byggkonstruktioner som eliminerar konstaterade brister

Forskningsrelaterade frågor:

- (i) Vilka är de aktuella utmaningar ifråga om tillgångsförvaltning av byggkonstruktioner som har fastställts i litteraturen?
- (ii) Hur långt har utvecklingen kommit när det gäller digitala tvillingar i byggbranschen?

3. Vetenskaplig metod

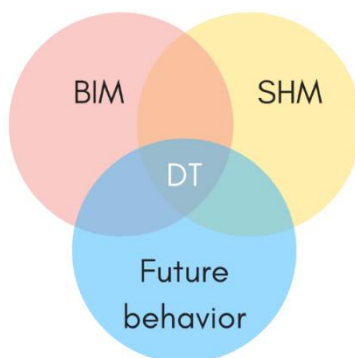
Vid utvecklingen av en digital tvilling för tillgångsförvaltning av anläggningskonstruktioner måste flera olika aspekter beaktas. Hänsyn bör tas till tillgångsförvaltningens behov, problem med befintliga metoder, hur dessa kan förbättras, befintlig teknik för respektive uppgift och hur dessa faktorer kan samarbeta för att sätta ihop den digitala tvillingen. Det första steget i denna forskningsprocess har därför varit en systematisk litteraturgranskning som här presenteras i den första bilagan.

Slutsatserna från litteraturgenomgången utgjorde grunden för den framlagda digitala tvillingmetodiken och då främst med avseende på:

- BIM: de potentiella användningsområdena för BIM efter byggprocessen är fortfarande outforskade. BIM möjliggör geometrisk visualisering i en semantiskt rikhaltig modell som kan innehålla information om material, konstruktion, design, tidsscheman, osv. Geometrisk återgivning av broar under förvaltning (t.ex. BIM) bör byggas in i befintlig BMS. Autodesk Revit [11] var den BIM-programvara som förordades av de flesta upphovspersonerna.

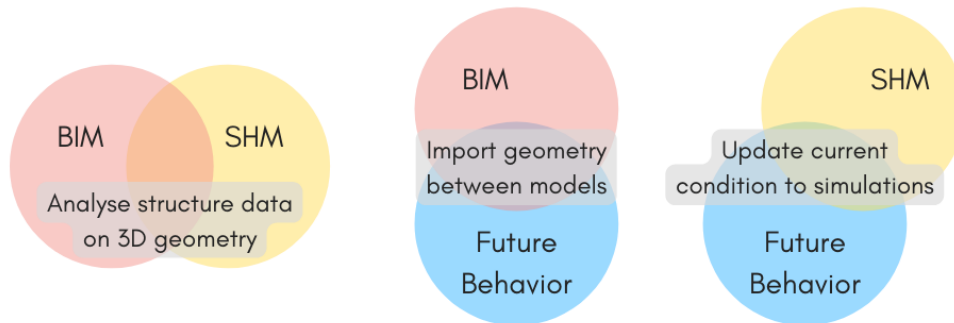
- Strukturell tillståndsovervakning (SHM): behövs för att få aktuell tillståndsinformation om konstruktionen, vanligtvis genom visuell inspektion, data från sensorer och från icke-destruktiv provning (NDT). Dessa data kan avslöja okänd information för baklängeskonstruktion av befintliga strukturer, eller när det gäller nya konstruktioner, följa den från dess ursprungliga tillkomst. Stora framsteg har gjorts inom SHM- och NDT-tekniken beträffande broinspektion, automatiserad skadeidentifiering, övervakning och underhåll. SHM-data borde införas och kopplas till BMS, företrädesvis direkt till en BIM-modell.
- Framtida beteende: en ofrånkomlig aspekt av en digital tvilling för tillgångsförvaltning är förmågan att simulera scenarier för konstruktionens framtida beteende, från befintlig försämring till stöd för beslut om underhållsplanering. Livscykelanalys bör byggas in i systemen, t.ex. genom att integrera bygginformation för jämförelse med aktuella tillstånd från inspektionsdata samt försämringsprognos för att möjliggöra bättre åtgärdsplanering. Detta kan åstadkommas genom försämringsmodeller, maskininlärningsalgoritmer samt finit elementmodellering.
- Dataflöde: utvecklingen av fungerande digitala tvillingar kräver ett ytterst komplext automatiserat dataflöde – en utmaning som har hindrat utnyttjandet av deras fulla potential. Användningen av IFC som ett neutralt språk för kommunikation mellan olika plattformar kan vara en lösning på detta problem.

I den andra bilagan presenteras de huvudsakliga tekniker som litteraturen tar upp som lämpliga för att genomföra inspektion, BIM, skadeidentifiering, dataöverföring och resursförvaltning av broar, i ett ramverk. Utifrån det ramverk som föreslås i den andra avhandlingen och ytterligare forskning, föreslås i denna studie en metodik för en digital tvilling som är uppdelad i tre delar – BIM-modell, SHM-data samt prognos om framtida funktion. [Figur 1](#) visar dessa tre delar i ett Venndiagram som belyser hur de kombineras för att bilda den föreslagna digitala tvillingen.



Figur 1: Tre komponenter i den digitala tvillingen för tillgångsförvaltning av byggkonstruktioner

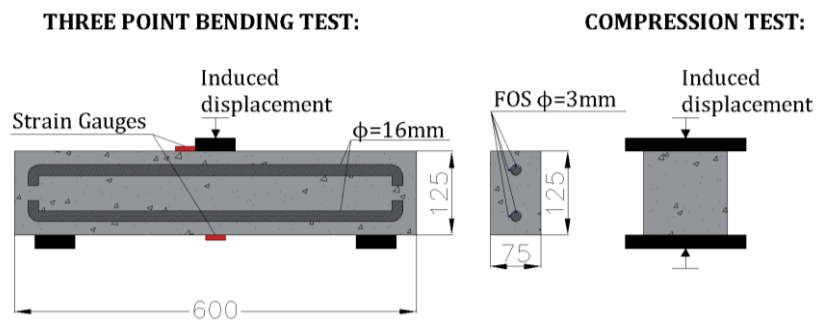
Förutom den funktion som respektive komponent har i den digitala tvillingen, krävs ett fungerande dataflöde mellan respektive anslutning. Figur 2 visar de tre olika anslutningarna mellan komponenterna och deras respektive roll i den digitala tvillingens dataflöde.



Figur 2: Anslutning mellan den digitala tvillingens olika komponenter.

Efter litteraturgranskningen och metodikbestämningen för den digitala tvillingen med komponenter, anslutningar och deras respektive funktioner, blir det första steget mot utvecklingen av den digitala tvillingen att skapa en CDE som kopplar ihop BIM- och SHM-data. Som en pilotstudie analyserades ett armerat betongbalksprov.

För att få fram SHM-data, togs ett experimentellt pilotprogram med namnet FOS-Beam (fiberoptiksensorbalk) fram. Programmet bestod av två armerade betongbalksprover som testades i ett trepunktsböjningstest med hjälp av instrumenten FOS, töjningsgivare (SG) samt ett digitalt bildkorrelationssystem (DIC) (Figur 3 och Figur 4).

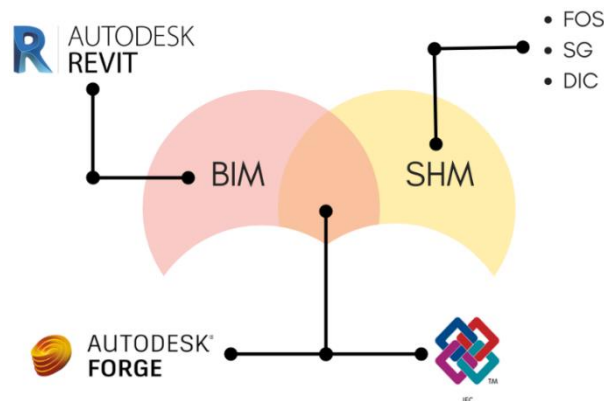


Figur 3: Testanordning för balkprover (vänster), kuber (mitten) samt balkens tvärsnitt med fiberoptiksensorernas placering (höger).

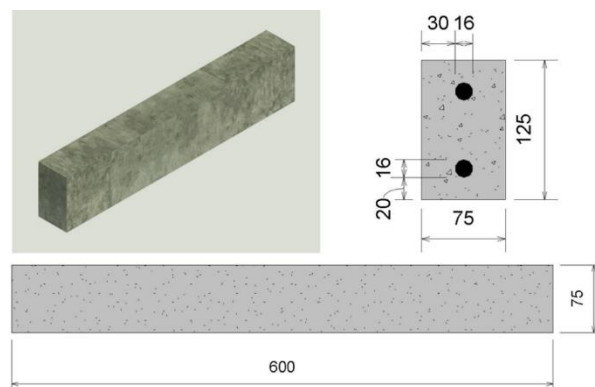


Figur 4: Bild på FOS-balktest som visar balken

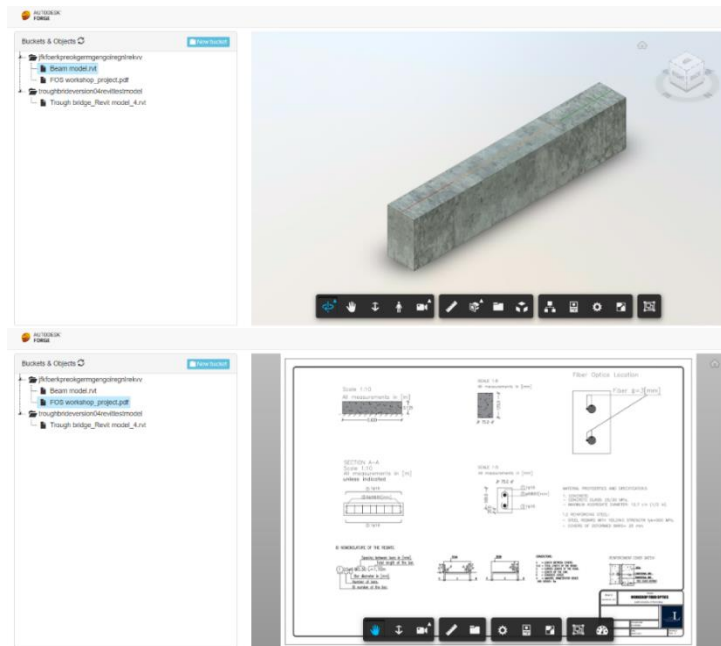
Figur 5 belyser CDE för BIM- och SHM-data – de tekniker som används för respektive komponent och deras anslutning. BIM-modellen (Figur 6) skapades med hjälp av Revit [11], och Autodesk Forge [12] samt IFC [10] fastställdes för CDE (Figur 7). Nämnas bör att i forskningsprocessen undersöktes och testades andra program och alternativ innan metodiken fastställdes som den är nu.



Figur 5: Första metoden – anslutning mellan BIM-modellen och SHM-data.

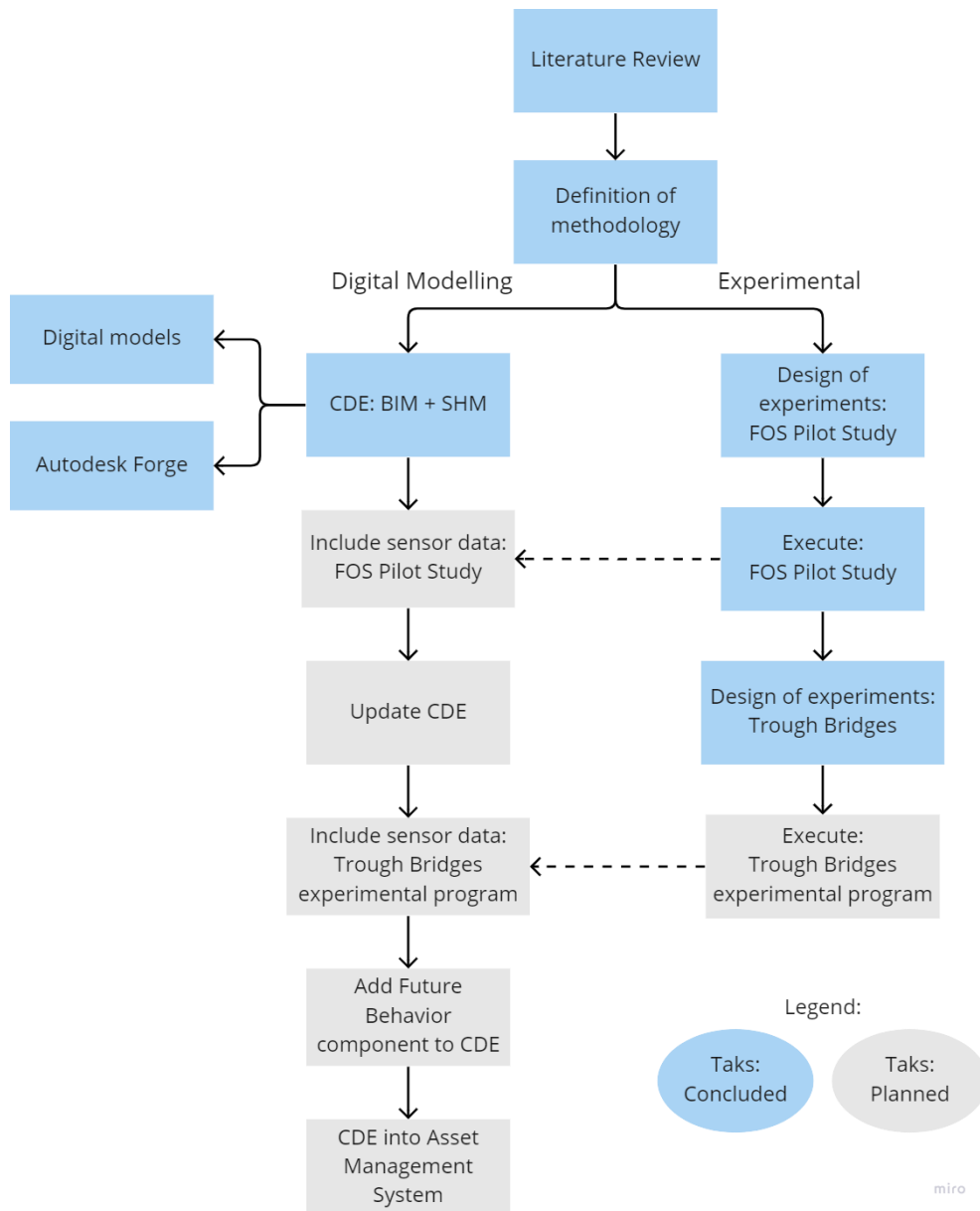


Figur 6: Grafik (överst, vänster), tvärsnitt (överst, höger) samt höjd (underst) på FOS-balken från Revit.



Figur 7: Autodesk Forge Viewers webbapp som visar FOS-balkmodellen (överst) och PDF-bilden (underst).

För framtida forskning kommer nästa steg att innebära anslutning av de SHM-data som genererades av experimentprogrammet FOS-Beam till den framtagna gemensamma datamiljön (CDE) genom utökad datavisualisering. Metodiken kommer därefter att tillämpas i en fallstudie, ett mer komplext experimentprogram som här kallas *Trough Bridges* (trågbroar). För detta program har två trågbroar gjutits i laboratorium och försetts med givare av typ SG och FOS och kommer att bli föremål för en serie tester under 2023. Den sista komponenten i den digitala tvillingen, dvs. framtida beteende, kommer att ingå i CDE, vilken i sin tur ska anpassas till tillgångsförvaltningens behov och krav. [Figur 8](#) utgör ett flödesschema med de åtgärder som har bestämts och planerats för att åstadkomma den föreslagna digitala tvillingen för tillgångsförvaltning.



Figur 8: Flödesschema över den vetenskapliga principen för att utveckla den föreslagna digitala tvillingen.