



Metod för förenkling av högdetaljerade BIM-modeller i bygg- och anläggningsprojekt

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Samhällsbyggnadsteknik

Lukas Johansson

Eldin Mundzic

INSTITUTIONEN FÖR ARKITEKTUR OCH SAMHÄLLSBYGGNADSTEKNIK
AVDELNINGEN FÖR CONSTRUCTION MANAGEMENT

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2026

www.chalmers.se

EXAMENSARBETE ACEX20

Metod för förenkling av högdetaljerade BIM-modeller i bygg- och anläggningsprojekt

Examensarbete inom
högskoleingenjörsprogrammet
Samhällsbyggnadsteknik

LUKAS JOHANSSON
ELDIN MUNDZIC

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Avdelningen för Construction management
Handledare: Henrik Linderöth
Extern Handledare: Mats Romblad
Examinator: Mathias Gustafsson
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, 2026

Metod för förenkling av högdetaljerade BIM- modeller i bygg- och anläggningsprojekt

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Samhällsbyggnadsteknik

LUKAS JOHANSSON

ELDIN MUNDZIC

© LUKAS JOHANSSON, ELDIN MUNDZIC, 2026.

Examensarbete ACEx20

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Chalmers tekniska högskola 2026

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för Construction management

Chalmers Tekniska Högskola

412 96 Göteborg, Sverige

Telefon: 031-772 10 90

Metod för förenkling av högdetaljerade BIM- modeller i bygg- och anläggningsprojekt
Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Samhällsbyggnadsteknik
LUKAS JOHANSSON

ELDIN MUNDZIC

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för Construction management

Chalmers tekniska högskola

SAMMANFATTNING

Bygg- och anläggningsbranschen använder i allt större utsträckning BIM för projektering, samordning och produktion. Den ökade mängden inbyggd information ger alla aktörer tillgång till samma data men kan orsaka prestandaproblem, särskilt vid komplexa leverantörsmodeller som ofta levereras i full detaljnivå trots att endast gränssnitt och anslutningspunkter är relevanta.

Syftet med examensarbetet har varit att undersöka och jämför verktyg för förenkling av högdetaljerade BIM-modeller för att minska prestandaproblem och förbättra hanterbarhet i samordningsprocesser. Autodesk Inventors förenklingsverktyg har jämförts med Coretechnologies 3D_Evolution genom tester på två leverantörsmodeller: *Engine V8-XT Turbo* och *Cleaner station*. Resultaten har utvärderats kvantitativt (filstorlek, antal faces och bodies) samt kvalitativt genom bedömning av prestanda i Autodesk Revit.

Inventors separata förenklingsverktyg reducerar generellt antalet faces och bodies men kan öka filstorleken på grund av programmets krav på exakt ersättningsgeometri. Vid kombination av flera verktyg minskar samtliga parametrar och resultatet blir mer likt 3D_Evolution. 3D_Evolution reducerar filstorleken i alla tester men kan i vissa fall öka antalet faces och bodies eftersom programmet approximerar komplex geometri med enklare kroppar. För *Engine V8-XT Turbo* reducerades filstorleken med 82,51% i Inventor och 81,29% i 3DEvolution. För *Cleaner station* gav 3D_Evolution en betydligt större reduktion (91,05%) jämfört med Inventor (45,97%). 3D_Evolution uppvisar genomgående bättre filförminskningskapacitet tack vare sin geometriska approximation.

Sammanfattningsvis visar examensarbetet att valet av förenklingsmetod och program bör anpassas efter modellens syfte. Autodesk Inventor lämpar sig när geometrisk exakthet och vidare bearbetning krävs medan 3D_Evolution är bättre för prestandavänliga modeller avsedda för samordning.

Method for simplifying highly detailed BIM models in building and civil engineering projects

Degree project within the Bachelor of Science in Engineering programme

Civil engineering

LUKAS JOHANSSON

ELDIN MUNDZIC

Department of Architecture and Civil Engineering

Division of Construction Management

Chalmers University of Technology

ABSTRACT

The construction and civil engineering industry increasingly uses BIM for design, coordination, and production. The growing amount of embedded information in the models gives stakeholders shared data but can cause performance issues, especially with complex supplier models delivered in full detail despite only interfaces and connection points being relevant.

This thesis investigates and compares tools for simplifying highly detailed BIM models to reduce performance problems and improve coordination. Autodesk Inventor's simplification tools were compared with Coretechnologies' 3D_Evolution through tests on two supplier models: Engine V8-XT Turbo and Cleaner station. The results were evaluated quantitatively (file size, faces, bodies) and qualitatively through performance in Autodesk Revit.

Inventor's separate tools reduce faces and bodies but may increase file size due to exact replacement geometry. Combined tools reduce all parameters and produce results more similar to 3D_Evolution. 3D_Evolution reduces file size in all tests but may increase faces and bodies when approximating complex geometry with simpler shapes. For Engine V8-XT Turbo, file size was reduced by 82.51% in Inventor and 81.29% in 3D_Evolution. For Cleaner station, 3D_Evolution achieved a significantly greater reduction (91.05%) compared to Inventor (45.97%).

In summary, the choice of simplification method should be adapted to the model's purpose. Autodesk Inventor is more suitable when geometric accuracy and further processing are required, while 3D_Evolution is better for performance-optimized models intended for coordination.

Innehållsförteckning

Innehåll

1 Inledning	8
1.1 Bakgrund	9
1.2 Syfte och mål	10
1.3 Frågeställningar	11
1.4 Avgränsningar	11
1.5 WSP	11
2 Metod	12
2.1 Forskningsansats	13
2.2 Intervjumetodik	14
2.3 Testmetodik	15
3 Teoretisk bakgrund	16
3.1 Leverantörsmodeller i bygg och anläggningsprojekt	17
3.2 Filformat och geometripresentation	18
3.2.1 STEP-filer	18
3.2.2 Boundary Representation och NURBS-yltor	18
3.2.3 Triangulerad mesh	19
4 Verktyg för modellförenkling	21
4.1 Autodesk Inventor	22
4.2 CoreTechnologie – 3D Evolution	23
4.2.1 3D_Evolution – Script	23
5 Utförande av modellförenkling	24
5.1 Tester i Autodesk Inventor	25
5.1.1 Remove Features och Advanced Properties	25
5.1.2 Presets	26
5.1.3 iLogic Browser	26
5.2 Tester i Coretechnologie	27
5.2.1 Shrinkwrap	27
5.2.2 Volume	28
5.2.3 Simplify all-in-one step	28
5.2.4 Bounding shape	28
6 Resultat	29
6.1 Intervjuresultat	30
6.1.1 Intervju med konstruktör från WSP	30
6.1.2 Intervju med BIM-konsult från WSP	31
6.2 Resultat från tester i Autodesk Inventor	33

6.2.1 iLogic Browser.....	33
6.2.2 Engine V8-XT Turbo	33
6.2.3 Cleaner station	34
6.3 Resultat från tester i 3D_Evolution	35
6.3.1 Engine V8-XT Turbo	35
6.3.2 Cleaner station	36
7 Diskussion	37
7.1 Tolkning av resultat från Autodesk Inventor	38
7.2 Tolkning av resultat från 3D_Evolution	40
7.3 Jämförelse mellan programmen	41
7.4 Kvalitativ bedömning av resultat	43
7.5 Begränsningar och vidare arbete	45
8 Slutsats.....	46
Referenslista.....	48
Bilagor	51

1 Inledning

I detta kapitel introduceras examensarbetet genom en bakgrund till ämnet följt av studiens syfte, mål och frågeställning. Kapitlet innehåller även avgränsningar samt en kort beskrivning av WSP som har varit handledande företag genom arbetet.

1.1 Bakgrund

Byggindustrin strävar hela tiden mot att öka effektivitet och produktivitet för att minska kostnader och leveranstider. BIM har blivit en nyckel till detta och har ändrat sättet branschen idag konstruerar, designar och underhåller byggnader (Azhar, 2011). BIM är inte bara ett verktyg utan en process som resulterar i en unik modell kallad Building information Model. Denna modell skiljer sig från traditionella CAD ritningar genom att vara "objektorienterad och innehålla information om byggprocessen och produkten" (Jongeling, 2008).

Trots att Bim kan verka nytt har dess grundande idéer funnits redan sedan 1970-talet när begreppet Building Product Model introducerades (Jongeling, 2008). Men idén var länge bara teoretisk och det var inte förens de stora företagen som bland annat Autodesk implementerade begreppet som BIM slog igenom. Idag växer BIM mer och mer, men detta har fört med sig nya hinder och utmaningar.

När flera olika discipliner ritar egna modeller tas inte alltid hänsyn till kommande samgränskning. Det leder till att modeller innehåller onödigt hög detaljnivå, vilket i sin tur leder till prestandaproblem och svårigheter med samordning (Borowski, 2026). Vidare menar Borowski på att det idag inte finns någon typ av systematisk lösning utan relevanta metoder förlitar sig på manuella inspektioner, något som både är kostsamt och tidskrävande. Borowski menar även på att tunga modeller som skapar långa laddningstider och ostabila system direkt påverkar produktiviteten hos användaren. Ett exempel på en sådan modell är leverantörsmodeller som innehåller produkter med komplex geometri, exempelvis maskinmodeller med många små detaljer och interna komponenter. Problemen är också vanligast i stora projekt med en modell som innehåller data från flera olika aktörer och discipliner. Modeller av denna typ innehåller

komponenter med överdrivet komplex geometri och datastruktur som ej är kompatibel med andra discipliners modeller. Hur komplex en modell är kan mätas genom parametrar såsom filstorlek, antal kroppar och antal ytor. Dessa parametrar ger en indikation på modellens geometriska uppfattning och mängden data som behöver hanteras.

Men problemet är inte helt självklart då det ofta finns en bakgrund till varför modeller är komplexa. Till exempel kan modeller från tillverkare vara riktade åt marknadsföring eller produktion, i stället för BIM-samordning. Enligt Autodesk (2022) är modeller från tillverkare skapade för ett helt annat ekosystem än BIM. Vidare menar Autodesk på att de har pratats olika språk mellan aktörer, som nu ställer till problem i samordning. Men möjligheterna finns för att minska språkbarriärerna mellan aktörer och skapa ett bättre arbetsflöde i BIM-miljöerna. Därför kämpar nu stora företag som Autodesk för att alla ska kunna dela information mellan varandra utan att stöta på problem längs vägen. Men det är stora processer och väl etablerade branschvanor som behöver ändras, vilket i praktiken kan ta flera år. Därför behövs studier av befintliga verktyg och metoder för att se vad som är möjligt i dagsläget och jämföra hur olika metoder påverkar modellens kvalitet, funktionalitet och användbarhet. I denna studie utvärderas verktyg från två olika program, Autodesk Inventor och Coretechnologie. Utöver dessa berörs även AI som ett komplement till förenklingsmetoderna då det på senare tid har tagit stor plats i den digitala och datadrivna branschutvecklingen (Kutá & Faltejsek, 2025).

Vidare är förenkling av BIM-modeller komplexa då viktig information riskeras att försvinna i processen. Trimble (2025), som är ett väl etablerat globalt programvaru- och maskinvaruföretag, skriver på sin hemsida ”En mycket detaljerad grafisk modell är inte användbar om den underliggande informationen är felaktig eller saknas. Omvänt kan ett grafiskt enklare objekt vara mycket värdefullt om den tillhörande informationen är korrekt och tillförlitlig för det avsedda syftet.” Detta är något som måste tas hänsyn till vid utförande av förenklingar för att inte tappa det ursprungliga syftet. En ytterligare faktor som måste tas hänsyn till är så kallad LoD, Level of Detail. Det beskriver nivåer i byggskedet där olika mängd detalj på objekt krävs. Det är därför viktigt att ta hänsyn till att olika aktörer och discipliner behöver olika mängd detaljer i olika skeden. Förenklingar måste därför fungera både framåt och bakåt för att inte riskera att tappa information som kan komma att behövs längre fram.

1.2 Syfte och mål

Syftet med examensarbetet är att undersöka verktyg för förenkling av högdetaljerade BIM-modeller för att minska prestandaproblem och förbättra hanterbarhet i samordningsprocesser. Målet med rapporten är således att specifikt utvärdera och jämföra Autodesk Inventors *simplify*-verktyg med Coretechnologies verktyg *3D_Evolution*.

1.3 Frågeställningar

För att uppnå syftet med rapporten har följande frågeställning formulerats:

- Hur skiljer sig resultaten av förenkling i Autodesk Inventor och 3D_Evolution avseende filstorlek, antal kroppar och antal ytor efter utförda tester?
- Vilken kombination av förenklingsverktyg ger den mest optimala förenklingen?
- Hur skiljer sig förenklingsresultaten mellan testfilerna *Engine V8-XT Turbo* och *Cleaner station*?
- Hur bidrar förenklade modeller till effektivare projektering och samordning?

1.4 Avgränsningar

Rapporten fokuserar på förenkling av leverantörsmodeller med tester på befintliga mjukvaror. Det gäller modeller i projekteringsskedet där fokus ligger på geometrisk detaljnivå. Specifikt utförs testerna på Autodesk Inventors *simplify*-verktyg och Coretechnologies verktyg *3D_Evolution*. Rapporten kommer inte innehålla:

- Utveckling av egna fullskaliga mjukvaror
- Granskning av säkerhet- eller hållfasthetskrav i modeller
- Ingen analys av juridiska eller avtalsmässiga frågor kopplade till modelleveranser

1.5 WSP

Examensarbetet genomförs tillsammans med WSP. WSP är ett av Sveriges ledande konsultföretag med cirka 80 000 anställda världen över. Företaget verkar över hela samhällsbyggnadssektorn och arbetar med utveckling av byggnader, infrastruktur, miljö, energi och hållbar stadsutveckling. Enligt WSP själva har de en stark och etablerad roll inom digitala arbetsflöden, där de lyfter fram att de är pionjärer i att implementera BIM (Building Information Modelling) och VDC (Virtual Design and Construction) i projekteringsprocessen. Deras ambition är att optimera användningen av dessa verktyg för att skapa mer samordnade, effektiva och kvalitativa lösningar i både byggnads- och infrastrukturprojekt (WSP, u.å.).

2 Metod

I detta kapitel beskrivs de metoder som har används för att genomföra studien. Kapitlet redogör för forskningsansats, intervjumetodik och testmetodik.

2.1 Forskningsansats

Rapporten är uppbyggd utifrån metoden Design science research methodology (DSR). DSR är en metod som används för att ta fram information genom att lösa ett praktiskt problem (Henver et al., 2024). Metoden är väl lämpad till ingenjörskrelaterad forskning där målet inte bara är att förstå företeelsen utan skapa en lösning som kan tillämpas i praktiken. För att lösa problemet i fråga skapas en artefakt i den miljö och kontext där forskningen genomförs. För att designa, testa och utvärdera artefakten har Henver delat in metoden i tre cyklar.

Relevanscykeln - I relevanscykeln kopplas det forskade ämnet till omgivningen. Den säkerställer att det finns verkliga behov och en lämplig miljö att applicera en lösning på. Tillämpningsdomän används för att identifiera personer, organisatoriska processer och tekniska system som påverkas av artefakten. Problem och möjligheter utvärderas för att styrka behovet av forskning på artefakten. Med framtagen information kan slutligen relevanta och praktiska mål formuleras.

Rigor cykeln – Rigor cykeln är det centrala i DSR metoden och säkerställer en kunskapsbaserad bas i projektet. Aktiviteter i metoden kopplas till kunskapsbasen som består av vetenskapliga teorier, metoder och tidigare erfarenhet. Genom att knyta an till kunskapsbasen säkerställs att forskningen inte bygger på antaganden eller gissningar, utan vetenskaplig information.

Designcykeln – I designcykel byggs och utvecklas artefakten. Den ställs mot de krav och mål som ställts upp, och utvärderas efterhand tills den rätta designen är nådd. Kraven som skapats är kopplade till relevanscykeln.

Vidare har Peffer et al. (2007) delat in DSR i en sex stegs metodikprocess som grundar sig i Henvers tre cyklar:

1. *Identifiera problem och motivera* - I första steget definieras problemet och värdet lösningen kan bidra med.
2. *Definiera objektet* – Efter identifierat problem härleds mål utifrån problemformuleringen. Målen styr vidare arbete med design och utveckling av artefakten.
3. *Designa och utveckla* – I det tredje steget fastställs funktionalitet och arkitektur för artefakten, och utvecklas och skapas därefter. Arbetet i steg tre bygger på befintlig forskning och kunskap för att nå önskat mål med en fungerande lösning.
4. *Demonstrera* – I steg fyra utvärderas artefakten utifrån hur väl den löser det definierade problemet i steg ett.
5. *Utvärdera* – I steg fem mäts hur bra artefakten löser problemet.
6. *Kommunicera* – I sista steget kommunicerarnas lösning till rätt målgrupp.

2.2 Intervjumetodik

Semistrukturerad kvalitativ intervju:

För att få en bredare förståelse över problemet genomförs semistrukturerade, kvalitativa intervjuer. Det är en del av steg ett i Peffers metodikprocess som handlar om att identifiera och motivera problemet i fråga. En kvalitativ intervju kan vara svår att förklara då området är komplext och behandlar många aspekter för hur intervjuer ska tillämpas (Patel & Davidson, 2019). Generellt kännetecknas de av låg grad av strukturering, vilket ger respondenten utrymme till att svara fritt på ställda frågor.

Vidare kan en kvalitativ intervju antingen ha en låg eller hög grad av standardisering (Patel & Davidson, 2019). En låg grad av standardisering betyder att frågorna inte ställs i en specifik ordning och kan tillämpas på enskilda fall. En kvalitativ intervju som i stället har en hög grad av standardisering är utformad med frågor i en specifik ordning. Begreppen standardisering och strukturering är kopplade till benämningen semistrukturerad intervju. En semistrukturerad intervju innehåller teman som intervjun bör beröra men lämnar svaren öppna och ger frihet till respondenten. En intervju av detta slag syftar till att identifiera respondentens uppfattning och erfarenhet av problemet i fråga.

I rapporten analyseras intervjuerna utifrån ett induktivt arbetssätt, där slutsatser och mönster identifieras direkt från det empiriska materialet. Detta betyder att förståelsen för problemet växer fram genom respondentens svar. Enligt Patel & Davidson är detta typiskt för kvalitativa studier där forskaren strävar efter att tolka fenomenet utifrån insamlade data.

Efter genomförda intervjuer formuleras mål enligt steg två i Peffers metodikprocess.

2.3 Testmetodik

I det tredje steget i Peffers metodikprocess designas och utvecklas artefakten. I rapporten utförs noggranna tester på Autodesk Inventors simplify-verktyg och Coretechnologies programvara *3D_Evolution*. Autodesk Inventor valdes då handledare på WSP använder programvaran i sin yrkesroll och önskade jämförelser med detta program. Autodesk som företag och deras program Inventor är väl etablerade inom bygg- och anläggningsprojekt och rapporten syftar till att utvärdera förbättrade metoder för praktisk användning av programmet. Coretechnologies programvara *3D_Evolution* valdes efter att ha studerat befintliga verktyg och tekniker för förenkling av 3D-modeller. I en intervju med Coretechnologie fastställdes potentialen för modellförenkling med deras verktyg och en tillfällig licens tilldelades. Programmens funktioner och verktyg beskrivs mer utförligt i kapitel 5.

Testerna utförs metodiskt för att utforska alla verktyg i programmen. Första testerna görs på enskilda verktyg för att identifiera vad som sker vid den specifika förenklingen. Efter enskilda verktyg har utvärderats sker tester med kombinationer av verktyg i syfte att hitta den mest optimala förenklingen. Optimal förenkling avser en modell där den geometriska komplexiteten

har reducerats så mycket som möjligt utan att byggdelsrelaterad information går förlorad, till exempel information om var en vattenanslutning ska placeras. Samtidigt får modellen inte förenklas visuellt i en sådan grad att dess form och egenskaper, såsom höjd och bredd, inte kan tolkas korrekt.

Med hänsyn till juridiska och säkerhetsmässiga aspekter kommer testerna inte att utföras på modeller från WSP. I stället används testfiler från internet och från Coretechnologie, vilka har valts för att representera modeller från praktiken.

Den första testfilen är *Engine V8-XT Turbo* (bilaga 1), en komplex motormodell som kan jämföras vid en typisk maskinkomponent inom bygg- och anläggningsprojekt. Den andra testfilen är *Cleaner station* (bilaga 2). Denna modell är mer komplex än motorn eftersom den saknar ett omslutande skal och i stället består av fler öppna ytor, vilket kan försvåra modellförenklingen. *Cleaner station* liknar mer en fabrikslayout medan *Engine V8-XT Turbo* motsvarar en maskin i bygg- och anläggningsprojekt. Tillsammans ger modellerna en bred grund för att utvärdera förenklingsverktygens potential i olika typer av byggprojekt.

Utvärdering av förenklingsverktyg kommer att ske genom mätning av filstorlek, antal kroppar (bodies) och antal ytor (faces) för respektive modell efter förenkling.

3 Teoretisk bakgrund

I kapitel tre etableras en teoretisk kunskapsbas som enligt rigor cykeln i DSR säkerställer att forskningen inte baseras på antaganden eller gissningar utan vetenskaplig information. Här behandlas relevanta begrepp kopplade till leverantörsmodeller, filformat och geometripresentation, vilket ligger till grund för förenkling av BIM- modeller.

3.1 Leverantörsmodeller i bygg och anläggningsprojekt

I moderna bygg- och anläggningsprojekt är digitala informationsmodeller centrala för hur projektering, samordning och produktion genomförs. Varje modell består av delmodeller som har skapats av olika aktörer såsom arkitekt, konstruktion, installation och även leverantörer (Autodesk, 2022). Leverantörer är de som tillverkar och levererar produkter till ett projekt. För att kunna samordna med andra aktörers modeller skickas även leverantörernas produktfiler till BIM-samordnare. Detta för att kunna säkerställa att produkten får plats, kan anslutas korrekt och inte krockar med övriga byggnadsdelar.

Leverantörsmodeller kännetecknas ofta av en hög detaljnivå och geometrisk komplexitet. Detta beror på att de i grunden är framtagna för andra syften än BIM-samordning såsom produktutveckling, tillverkning eller marknadsföring. Modellerna kan därför innehålla detaljer som inre geometri, små infästningar eller konstruktionslösningar som inte är relevanta i byggprojekteringen. När leverantörsmodellerna förs in i BIM-miljöer som Revit eller Tekla kan den höga detaljnivån leda till prestandaproblem, svårigheter med navigering och ökad arbetsbelastning för att kunna använda modellerna effektivt.

En ytterligare utmaning är att leverantörsmodeller inte ursprungligen är skapade för befintliga BIM-miljöer då de skiljt från de nya arbetsflödena (Autodesk, 2022). Detta leder till ett försvårat informationsbyte och resulterar i att leverantörsmodeller inte kan utnyttjas eller kräver anpassning för att kunna integreras i de nya systemen.

För vissa discipliner, framför allt inom installation, finns färdiga objektsbibliotek där BIM-anpassade produktmodeller ingår som en del av leveransen (Svensk Byggtjänst, 2021). Detta

minskar språkbarriären mellan leverantörer och BIM-samordnare. Men tyvärr saknas ofta likdanande bibliotek för andra typer av produkter där programvaruberoende och brist på gemensamma standarder gör att BIM-objekten är ofullständiga eller svåra att få tillgång till. Exempel på sådana produkter är maskinutrustning och specialanpassade installationselement. Den typen av produkter saknar standardiserade BIM-objekt och modeller som är anpassade för BIM-samordning.

3.2 Filformat och geometripresentation

Kapitlet beskriver filformatet STEP och hur geometri representeras i 3D-modeller.

3.2.1 STEP-filer

Inom konstruktions- och projekteringsprocesser finns det många olika CAD-programvaror som är anpassade efter olika typer av arbetsuppgifter. Företag använder således olika CAD-program beroende på arbetet de behöver utföra och varje program sparar modeller i sina egna filformat. Filformaten är sällan kompatibla med andra CAD-program utan behöver först konverteras via ett neutralt utbytesformat innan de kan importeras till andra program. En STEP-fil är ett sådant neutralt standardiserat filformat som används för att utbyta information mellan olika CAD-program. STEP står för Standard for the Exchange of Product model data och är en internationell standard (ISO 10303) (Pratt, 2001).

STEP-filer kan exportera flera typer av data från CAD-systemen. Dessa inkluderar exakt 3D-geometri som beskriver modellens form samt assemblystruktur, vilket visar hur komponenter är organiserade och förhåller sig till varandra i en produkt. Vidare kan STEP även innehålla produktinformation såsom komponentnamn och artikelnummer samt PMI (Product Manufacturing Information), exempelvis mått och toleranser (STEP AP242 Project, u.å.).

3.2.2 Boundary Representation och NURBS-yltor

3D-geometrin i STEP-filer representeras i huvudsak med Boundary Representation (B-rep) geometri vilket är en metod för att beskriva en volym genom dess gränssytor. Enligt Pratt (2001) baseras B-rep på att en solid volym beskrivs genom de ytor som avgränsar dess gräns mot omgivande rum. I modellen definieras ytor av hörn (vertices) och kanter (edges), där kanter förbinder hörn och på så sätt avgränsar ytor. När flera sådana ytor möts och passar ihop inom en viss tolerans tolkar CAD-systemet kroppen som en solid volym.

Kanter och hörn definierar således ytor och bestämmer hur de angränsar till varandra, vilket utgör modellens topologi. Ytornas geometriska form representeras däremot av Non-Uniform Rational B-Splines (NURBS), vilket är en matematisk modell som används inom bland annat CAD för att beskriva både enkla och komplext krökta ytor med hög noggrannhet. NURBS beskriver därmed hur ytan ser ut medan kanter och hörn anger var ytan är begränsad och dess relationer till angränsande ytor (Autodesk, u.å.).

Verktyg för modellförenkling, såsom funktioner i Autodesk Inventor och Coretechnologies 3D-Evolution, minskar antalet geometriska element i en modell genom att reducera antalet ytor, kanter och hörn. De kan även förenkla ytornas NURBS-geometrier vilket minskar filernas komplexitet och vidare filstorlek.

3.2.3 Triangulerad mesh

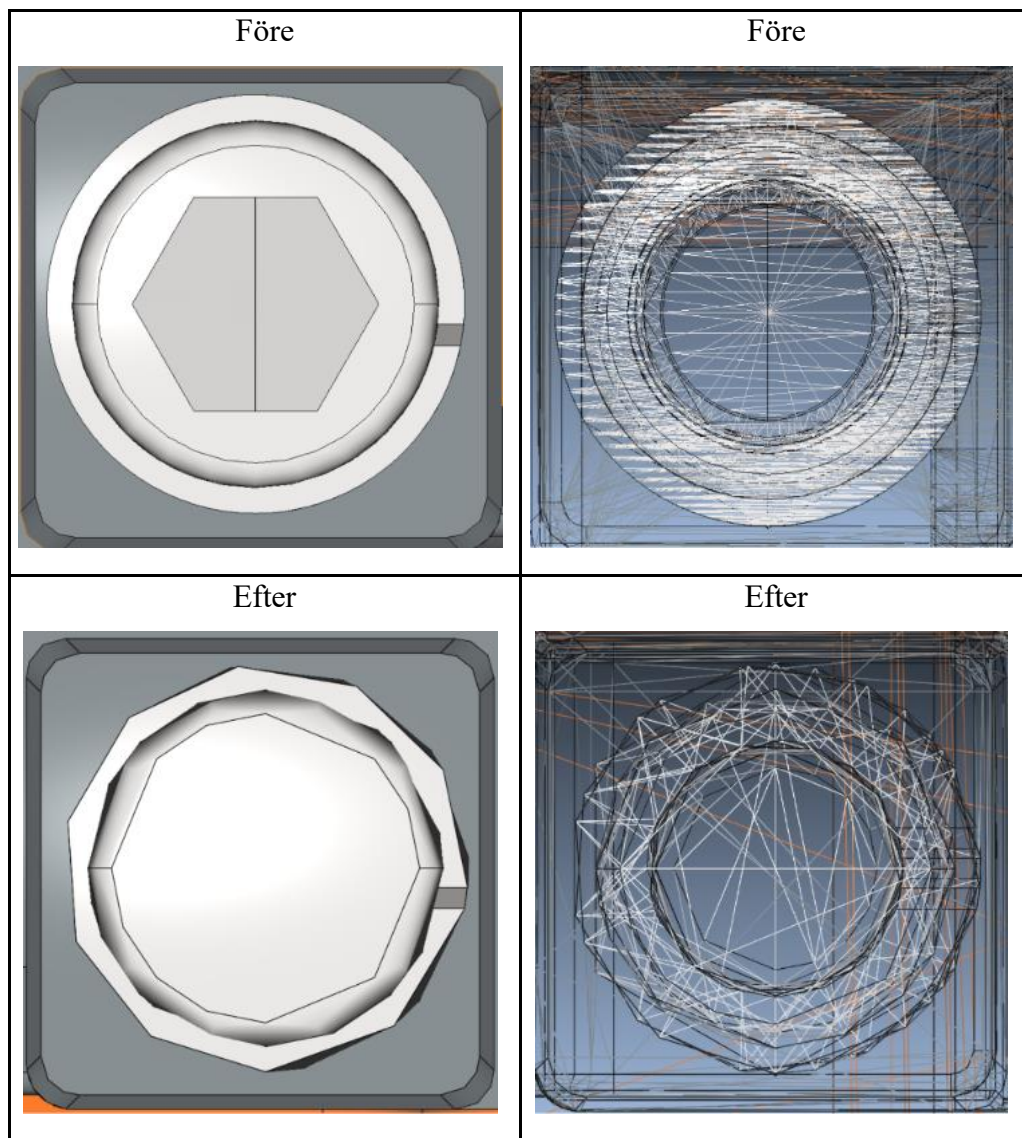
STEP-filer beskriver geometri genom Boundary Representation där antalet ytor och deras underliggande NURBS-geometrier påverkar modellens filstorlek. En större filstorlek påverkar främst sådant som laddningstid, minnesanvändning och hur snabbt modeller kan importeras och exporteras mellan olika program (Lenovo, u.å.).

När modellen väl ska visas i ett CAD-program används däremot inte B-rep geometrin utan programmet omvandlar istället data till en triangulerad mesh eftersom skärmar inte kan rita komplexa ytor direkt (Krishnamurthy et al., 2007). NURBS-kurvor är matematiska funktioner som används för att representera komplexa ytor. Om en kurva till exempel är vågig så beskrivs den med en kontinuerlig sinusfunktion som i teorin går att matematiskt utvärdera i ett oändligt antal punkter. En skärm däremot har inte ett oändligt antal pixlar och

kan därför inte visa en sådan funktion direkt. För att skärmen ska kunna visa en sådan komplex yta behöver den först diskretiseras genom att programmet tar ut ett antal punkter på ytan och låter grafikkortet bygga ett triangelnät av dem (Krishnamurthy et al., 2007; Akenine-Möller et al., 2018). Ju fler trianglar som används desto mer lik blir den triangulerade ytan den komplexa NURBS-ytan, men fler trianglar innebär också mer arbete för grafikkortet vid rendering. Det är alltså antalet trianglar och inte STEP-filens storlek i sig som avgör hur snabbt modellen kan visas och roteras i 3D-vyn (Akenine-Möller et al., 2018).

Detaljerad geometri innebär dock generellt fler ytor vilket vidare medför fler trianglar – men sambandet är inte 1:1. En enda NURBS-yta kan generera tusentals trianglar även om den inte tar så mycket plats i filen. En gänga består till exempel av massor av små krökta ytor vilket ger en större filstorlek och varje krökning kräver ett enormt detaljerat triangelnät för korrekt redovisning. Resultatet blir långsammare rendering och mer lagg i programmet. Figur 1 visar hur Coretechnologie renderar ett skruvhuvud före respektive efter förenkling. Genom att förenkla de geometriska elementen minskar man antalet trianglar som behövs för att beskriva ytorna vilket ger betydligt snabbare modeller.

Armin Brundin från Coretechnologie sammanfattar detta i en intervju där han säger: “And the triangles is really what the graphic card always has to calculate to make a nice rendering, because everything is based on triangles, even if you work on exact models”. Citatet understryker att det är trianglarna, och inte den exakta NURBS-geometrin, som avgör hur tung en modell blir att visa i 3D-vyn.



Figur 1: Representation av triangulerad mesh före respektive efter förenkling

4 Verktyg för modellförenkling

I kapitel fyra presenteras de verktyg som studien utvärderat. Fokus ligger på Autodesk Inventors simplify och Coretecnologies 3D_Evolution. Kapitlet kopplas till design och utvecklingsfas av artefakten enligt DSR.

4.1 Autodesk Inventor

Autodesk är ett amerikanskt programvaruföretag, grundat 1982, som utvecklar programvaror för 3D-design. Företagets programvaror används brett inom flera branscher, bland annat av arkitekter, ingenjörer, designer och produktutvecklingsteam. Företaget erbjuder 3D-CAD programvaran Autodesk Inventor som används av konstruktörer för vid utveckling och design av produkter.

Modellering i Autodesk Inventor bygger enligt Doughty (2025) på en parametrisk designprocess där geometrin i deras 3D-modeller styrs av parametrar, relationer och uppbyggnadshistorik snarare än explicita volymer och kroppar. Geometrin definieras med värden och relationer som anger hur olika element är beroende av varandra. När en parameter ändras uppdateras modellen automatiskt så att dessa beroenden bevaras. Detta säkerställer en logisk konstruktion. Anta att man modellerar en plåt med ett förborrat hål för en skruv. Hålet skapas inte som en lös cylinder utan som en *hole feature* med parametrar som diameter och position. Skruven placeras med hjälp av *constraints* som definierar hur skruvens axel sammanfaller med plåtens ovansida. Om plåtens tjocklek eller hålets position ändras så följer skruven automatiskt med. Detta är möjligt eftersom alla dessa element är kopplade genom parametriska relationer. Fördelen med detta är hög flexibilitet och kontroll vid konstruktion och produktutveckling. Nackdelen blir att modellen blir mer komplex då den innehåller både geometri och underliggande logik.

Mot bakgrund av detta används Autodesk Inventor främst vid produktutveckling men programmet är även aktuellt senare i värdekedjan när komplexa leverantörsfiler behöver förenklas innan import till större BIM-projekt.

Autodesk Inventor har flera olika förenklingsverktyg beroende på behov och arbetsflöde. Programmet erbjuder förenklingsverktyget Simplify som automatiskt kan ta bort små detaljer, fylla hål och ta bort invändig geometri. Det kan även förenkla geometri genom att ersätta komplexa komponenter med så kallade envelopes (enklare geometriska former).

Autodesk Inventor ger även användaren möjligheten att skapa egna regler genom deras iLogic funktion. iLogic är ett inbyggt automationsverktyg som låter användaren skapa regler som kan läsa modellens data, filtrera komponenter och styra arbetsflöden utan att man behöver utveckla ett eget program. iLogic fungerar bra tillsammans med Autodesk Inventors Simplify verktyg eftersom reglerna kan anpassas efter användarens behov. Till exempel kan iLogic filtrera ut komponenter baserat på exakta volymer, såsom mindre än 100 000 mm³ och sedan dölja dessa innan modellen förenklas med Simplify-verktygen.

4.2 CoreTechnologie – 3D Evolution

Coretechnologie är ett företag som grundades redan 1998. Företaget är en ledande global leverantör av programvaror för konvertering av 3D CAD modeller (CoreTechnologie). På företagets hemsida lyder deras mål "Our mission is to optimize interoperability, helping organizations to efficiently share engineering data in the PLM process". Sen start har företaget utvecklat en rad olika program där *3D_Evolution* sticker ut. Mjukvaran riktar sig mot användare som utvecklar komplexa produkter inom CAD. *3D_Evolution* erbjuder möjligheter till konvertering, validering och optimering av CAD modeller. En av de viktiga funktionerna är möjligheten till att ta in och exportera data från nästan vilket filformat som helst. Vidare finns en rad olika verktyg inom programmet som gör det flexibelt och användbart av flera olika användare.

4.2.1 3D_Evolution – Script

För att automatisera och optimera arbetsflödet för filstorlekar upp till 10 GB erbjuder *3D_Evolution* en funktion för användare att skapa sina egna script. Armin Brundin förklarar i en intervju att användare genom denna funktion kan programmera egna script men betonar

att programmets funktioner är optimerade för modellförenkling och tillräckliga för de flesta fall.

För filer upp till cirka 2 GB fungerar det relativt bra att förenkla modeller direkt i programmet. För ännu större filer, uppemot 10 GB, innebär däremot modellen en betydande belastning för grafikkortet vid 3D-renderingen. Programmet erbjuder då scriptfunktioner via dess EDM för att hantera dessa filer. Användaren läser in filen, bestämmer outputformat och kör scriptet med valda förenklingsverktyg. Flera filer kan köras samtidigt och operationerna tar cirka 30 sekunder. Resultatet blir detsamma som om filerna hade körts manuellt.

5 Utförande av modellförenkling

I kapitel fem utförs tester på Autodesk Inventor och Coretechnologies verktyg. Kapitlet bygger vidare på steg tre i Peffers metodikprocess som handlar om design och utveckling av artefakten.

5.1 Tester i Autodesk Inventor

Kapitlet redogör för de tester som har utförts i Autodesk Inventor.

5.1.1 Remove Features och Advanced Properties

Första testerna med Autodesk Inventors simplify-verktyg sker med Remove Feature. Varje Feature testas för sig i syfte att identifiera styrkor och svagheter. Remove features ger möjlighet till selektiv borttagning av geometri baserat på typ och storlek. Användaren kan välja att inkludera eller exkludera följande element i förenklingen:

Hole - Cirkulära hål som går helt eller delvis genom en kropp

Fillet - Rundning av kanter eller hörn mellan två ytor

Chamfer - Avfasning av kanter

Pocket - Identifierar subtraktiva element som extrudes, revolves, sweeps etcetera. Ett subtraktivt element är en detalj som tas bort från en solid modell.

Emboss - Identifierar additiva eller positiv utskjutande element. Additiva element är detaljer som läggs till eller sticker ut från en solid modell.

Tunnel – identifierar en uppsättning ytor i modellen som bildar ett öppet utrymme med en eller flera öppningar

För varje element finns det fem olika inställningar som låter användaren bestämma vad som händer med elementet. Den första alternativet None, exkluderar elementet från förenklingen. Nästa alternativ All markerar alla element av den typen som ska tas bort. Tredje inställningen Range låter användaren bestämma vilka element av den typen som ska tas bort med hänsyn till storlek. Det fjärde valet Preserve låter användaren behålla elementet som det är utan att

förenklad det. Till sist finns även Highlight som markerar och visar de valda elementet genom att applicera färg på det. Samtliga tester på Remove feature gjordes med inställningen All.

Vidare fortsätter testerna på Advanced Properties. I Advanced Properties finns det två verktyg som kan användas för förenklingar, Fill internal voids och Remove internal parts. Fill internal void fungerar genom att täppa igen tomrum för att förenkla geometrin på element. Remove internal parts identifierar element genom att titta från 14 olika vinklar och tar därefter bort element som ej är synligt.

Efter enskilda verktyg har utvärderats, testades olika kombinationer av verktygen. Första kombinationen var alla Remove Features tillsammans. Vidare testades verktygen i Advanced Properties tillsammans. Till sist testades olika kombinationer av Remove Features och Advanced properties.

5.1.2 Presets

Efter utförda tester på enskilda verktyg och egna kombinationer testades Autodesk's egna presets. Ett preset är en kombination av färdiga inställningar. Autodesk Inventor har tre färdiga presets, Remove the least detail (small parts and features), Remove moderate detail (medium sized parts and all listed features) och Remove the most detail. Remove the least detail tar bort små element genom en bounding box och vissa features beroende på storlek. Remove moderate detail skapar en större bounding box och tar därmed bort större element. Remove moderate detail tar även bort alla features i modellen. Remove the most detail byter ut element mot envelopes, vilket är kuber eller rätblock som omsluter elementet. Autodesk Inventor ger också möjlighet till att skapa egna presets där användaren kan anpassa inställningar utifrån behov.

5.1.3 iLogic Browser

Sista testerna i Autodesk Inventor utfördes genom att skapa ett regelsystem, *Rules*, i Autodesk Inventors iLogic Browser. Syftet med testerna var att automatisera

förenklingsprocesserna för att minska den manuella hanteringen. För att få fram koden som iLogic-reglerna bygger på användes ett AI-baserat språkvetyg, Microsoft Copilot. Författaren gav AI verktyget ingående parametrar som skulle förenklas och vetyget skrev därefter färdig kod som kunde användas i iLogic Browsern. Flera olika koder testades i förösk till att göra reglen så effektiv som möjligt. Som sista kontroll gjordes manuella ändringar för att säkerställa att regeln utfördes som önskat.

5.2 Tester i Coretechnologie

Kapitlet redogör för de tester som har utförts i coretechnologie.

5.2.1 Shrinkwrap

Shrinkwrap är ett verktyg för att identifiera och återskapa en modells yttre form genom att skilja på inre och yttre geometri.

Funktionen fungerar genom att:

1. Dela upp modellen i ett voxelbaserat rutnät, Voxel size (in % of model size), där voxel size anger storleken på varje voxel. Mindre voxlar ger en mer detaljerad representation.
2. Programmet utför ett stråltest där strålar skickas genom voxelrepresentationen. Voxlar som inte nås av strålarna klassificeras som inre geometri.
3. Programmet skapar en representation av den yttre geometrin. All intern geometri tas bort.

I testerna används shrinkwrap med inställningen “Detect outside bodies by using shrink wrap”. Inställningen identifierar och filtrerar bort modellens inre geometri och skapar således en lättare modell. Voxel size (in % of model size) sätts till 0,5.

Bilaga 1 visar hur testfilen Engine V8-XT Turbo såg ut innan att shrinkwrap-verktyget användes. Bilaga 3 visar vilka kroppar som identifieras med verktyget shrinkwrap.

5.2.2 Volume

Inställningen filtrerar volymer under en angiven storlek som vidare kan tas bort. För testerna användes ett minsta volymvärde på 100 000 mm³.

Bilaga 1 visar testfilen Engine V8-XT Turbo innan förenkling medan bilaga 5 visar de kroppar som identifierats vid filtrering av komponenter mindre än 100 000 mm³.

5.2.3 Simplify all-in-one step

Simplify all-in-one step förenklar modellen genom att fylla igen hål och skapa en enklare geometri genom voxelbaserad förenkling. Verktyget kan även användas för att ta bort små kroppar och detaljer men detta görs i separata tester. Voxelbaserad förenkling innebär att modellen omvandlas till ett rutnät av små volymelement (voxlar) där geometrin i varje voxel approximeras. För testerna används inställningen Voxel size (in % of model size) som sätts till 1.

Bilaga 2 visar testfilen Cleaner station innan förenkling. Bilaga 7 visar hur testfilen ser ut efter att förenklingen simplify all-in-one step har genomförts.

5.2.4 Bounding shape

Bounding shape skapar en enklare omslutande geometri som täcker hela komponenter. I testerna används Bouding shape tillsammans med programmets avancerade filterverktyg som kan identifiera volymer med ett stort antal ansikten. För testerna används ett gränsvärde på 50 faces, vilket innebär att komponenter med fler än 50 ansikten filtreras och justeras med verktyget Bounding shape varpå en förenklad omslutande geometri skapas för komponenten.

Bilaga 2 visar testfilen Clener station innan förenkling. Bilaga 8 visar vilka kroppar som identifieras vid filtrering av komponenter med fler än 50 ansikten och bilaga 9 visar resultatet efter att verktyget bounding shape har applicerats på dessa.

6 Resultat

I kapitel sex presenteras resultaten från de genomförda testerna. Kapitlet motsvarar steg fyra i Peffers metodikprocess som handlar om att utvärdera artefakten utifrån hur väl den löser det definierade problemet.

6.1 Intervjuresultat

Kapitlet redovisar resultaten från de genomförda intervjuerna

6.1.1 Intervju med konstruktör från WSP

Intervjuperson arbetar som konstruktör på WSP där han utför tekniska beräkningar av byggnader och modellerar upp dem i 3D i Tekla Structures. Projektering av byggnader utgår från initiala underlag såsom önskade takhöjder och rumsstorlekar och kompletteras med referensfiler från andra discipliner och 3D-modeller från leverantörer. Modellerna kontrolleras noggrant för att säkerställa att alla komponenter är korrekt placerade och att inga kollisioner sker. De är detaljerade och innehåller information om bland annat grundläggning, armering och stomme och för stålkonstruktioner tillkommer bland annat skruvar och infästningsdetaljer. Målet är att Darius modeller ska vara så verklighetstroga att de i princip kan användas direkt i byggproduktionen så att risken för fel vid projekteringen minskar.

Tekla-modeller fungerar generellt väl men prestandan påverkas negativt av högre detaljnivå, särskilt vid omfattande armering, skruvar och andra små komponenter. Den största utmaningen uppstår vid import av externa referensfiler som ofta innehåller mycket detaljerad information.

Han förklarar att maskin och processutrustning från leverantörer generellt skapar störst belastning eftersom de ofta innehåller mer geometri än vad som behövs. Ett exempel är ett projekt där en leverantör levererade en mycket detaljerad maskinfil som bland annat innehöll silos, mixrar, skruvar och motorer. Modellen var så tung så att den inte gick att importera i Tekla utan fick delas upp i flera mindre filer. Detta illustrerar hur onödigt höga detaljnivåer

försvårar modellhantering och ritningsframställning. I många fall räcker det med volymer och yttre geometrier för att säkerställa att utrustning får plats och inte kolliderar med byggnaden.

En viktig del av arbetsprocessen är att reducera Teklamodellens innehåll innan export till BIM-samordning. Endast det som är relevant för mottagaren behålls och element som väggsnitt, takplåt och annan påklädning filtreras bort för att göra modellen lättare. Detaljer som skruvar och armering tillför inte något i samordningssteget utan riskerar bara att belasta processen när samordnaren sammanställer alla discipliners filer inför möten.

6.1.2 Intervju med BIM-konsult från WSP

Intervjuperson är BIM-strateg och chef för BIM-gruppen på WSP i Stockholm och norra Sverige. Hans roll innebär att han arbetar övergripande med CAD och BIM-samordning i stora projekt och ansvarar för att ta fram riktlinjer och säkerställa ett effektivt informationsutbyte mellan discipliner. Intervjun ger därför ett bredare perspektiv på hur leverantörsmodeller fungerar i praktiken och vilka krav som ställs på dem i komplexa byggprojekt.

Intervjun visar att de största utmaningarna inte enbart handlar om filstorlek utan om att leverantörsmodeller ofta är utvecklade i tillverkningsindustrins CAD-miljöer där de innehåller en detaljnivå, geometrisk komplexitet och interna strukturer som är svår att hantera i byggprogram som Revit, Tekla och AutoCAD. Denna typ av geometri är nödvändig för produktion men överflödigt för BIM-samordning vilket leder till prestandaproblem även efter viss förenkling eftersom byggprogrammen inte är optimerade för denna typ av detaljerade geometri.

En central del i intervjun är att förenkling inte bara handlar om att reducera geometri utan också om att bevara nödvändig information. Vid filöverföring från till exempel Autodesk Inventor till andra BIM-program kan det ibland försvinna viktig information i modellen såsom metadata, klassificeringar och anslutningspunkter så att det bara återstår en anonym geometrisk kropp. Fredrik betonar att detta är problematiskt eftersom han behöver både form och data för att förstå objektens funktion och användning i projektet. Han lyfter även att industrins CAD-modeller bygger på datastrukturer som skiljer sig från byggbranschens BIM-miljöer, vilket gör

informationsutbyte svårare. Fredrik menar att ett mer optimalt informationsutbyte är begränsat till den information som faktiskt behövs i byggprojektet, såsom yttermått, anslutningspunkter och serviceytor snarare än kompletta produktmodeller.

En ytterligare aspekt är sekretess och immateriella rättigheter. Leverantörer vill inte alltid dela intern konstruktion eftersom den kan innehålla patenterad information. Detta gör det värdefullt att kunna anonymisera eller skala bort den inre detaljeringen och endast dela ett yttre skal med relevant information. Detta minskar både modellens komplexitet och risken att skyddad information sprids.

Intervjun visar också att en samordningsmodell behöver innehålla mer än bara maskinens geometri. För att byggnaden ska projekteras rätt krävs information om serviceytor, arbetszoner och säkerhetsutrymmen. Erfarenheter från WSP:s arbete med Northvolts batterifabrik tydliggör detta, där leverantörerna levererade maskinmodeller som anonyma kroppar utan anslutningspunkter. För att kunna placera och ansluta utrustning rätt fick WSP be leverantörerna att markera anslutningarna på 2D-ritningar varefter WSP:s team läste ut punkterna som koordinater och förde in dem i BIM-modellen som markörer. På så sätt kunde teamet se var till exempel luft och vattenanslutningar satt. Detta visar på problematiken kring anonym geometri och vilket manuellt arbete det innebär.

Intervjun visar även att vissa maskinmodeller är så tunga att de inte kan öppnas i byggprogram Revit, vilket påverkar arbetsflödet. I Northvolt projektet innebar detta att modellerna behövde hanteras i andra program såsom AutoCAD för layoutplanering eller Navisworks för visuell granskning. Arbetsgången blev därför att först placera ut maskinerna i en enklare 2D-miljö och därefter använda de tunga 3D-modellerna enbart för kontroll och granskning. Modellernas komplexitet påverkar således prestanda, informationsutbyte och val av programvara i samordningen.

Slutligen betonar han att förenkling innebär ett ansvar. Om en modell förenklas för mycket kan viktiga dimensioner, anslutningar eller funktioner gå förlorade vilket kan orsaka fel i projekteringen, till exempel att en maskin verkar få plats i ett rum efter förenkling men att den i verkligheten inte gör det. Därför krävs metoder som både förenklar geometri och säkerställer att kritisk information bevaras.

6.2 Resultat från tester i Autodesk Inventor

Kapitlet redovisar resultat från tester utförda i Autodesk Inventor.

6.2.1 iLogic Browser

Testerna av Autodesk Inventors iLogic-funktion resulterade i ett regelsystem som förenklar modeller baserat på komponenternas volym. När regeln körs får användaren ange en minsta volym, yttryck i kubikcentimeter, som används för att filtrera vilka komponenter som ska påverkas. Om användaren exempelvis anger värdet 1000 kommer alla komponenter som är mindre än 1000 kubikcentimeter att identifieras av regeln.

Efter vald volym får användaren fyra alternativ därav nummer ett och nummer tre är applicerbara i detta steg. Väljer användare Dölj små komponenter kommer regeln dölja alla komponenter som är mindre än den tidigare valda volymen. Väljer användaren istället supress små komponenter blir alla komponenter mindre än den valda volymen supressed. Det byter att komponenterna blir dolda men även inaktiverade och bortkopplade från exempelvis volymberäkningar. Båda alternativen behåller komponenterna i modellen vilket betyder att efter utförd förenkling kan användaren köra regeln igen och nu välja alternativ två och fyra för att återställa till den ursprungliga modellen.

6.2.2 Engine V8-XT Turbo

Resultaten från testerna visar hur de olika förenklingsfunktionerna i Autodesk Inventor påverkar filstorlek, antal bodies och antal faces. För testfilen *Engine V8-XT Turbo* redovisas resultatet i figur 2 nedan.

Resultaten visar att de enklare förenklingsverktygen inom *Remove Feature*-kategorin i de flesta fall leder till en ökning av filstorleken med undantag för *fillets* som ger en minskning.

Fillet hade istället tendens till att skapa oönskad geometri som ej fanns i den ursprungliga modellen. Antalet faces och bodies minskar för samtliga metoder.

För de mer avancerade verktygen ökar filstorleken när interna hålrum fylls samtidigt som antalet faces och bodies minskar. När interna delar istället tas bort minskar filstorleken kraftigt med 66,86% samtidigt som antalet faces och bodies minskar avsevärt.

Vid kombination av enklare och mer avancerade förenklingsverktyg erhålls minskningar i samtliga parametrar.

Vid förenkling med regelsystemet i iLogic Browsern erhöles en minskning i samtliga parametrar. Vid högra volymfiltrering försvann dock detaljer som anses vara viktiga för modellens funktion.

		Autodesk Inventor Simplify								
		Engine V8-XT Turbo								
		Filstorlek [KB]		Minskning [%]	Faces		Minskning [%]	Bodies		Tid för utförande
		Före	Efter		Före	Efter		Före	Efter	
Remove Features	1 - Hole	365,527	422971	-15.72%	66635	61906	7.10%	1295	1168	9.81%
	2 - Fillet	365,527	362813	0.74%	66635	46186	30.69%	1295	1168	9.81%
	3 - Chamfer	365,527	429860	-17.60%	66635	64360	3.41%	1295	1168	9.81%
	4 - Pocket	365,527	409392	-12.00%	66635	57208	14.15%	1295	1168	9.81%
	5 - Emboss	365,527	423868	-15.96%	66635	61524	7.67%	1295	1168	9.81%
	6 - Tunnel	365,527	391604	-7.13%	66635	61906	7.10%	1295	1168	9.81%
Advanced Properties	7 - Fill internal voids	365,527	426311	-16.63%	66635	64336	3.45%	1295	1168	9.81%
	8 - Remove internal parts	365,527	121135	66.86%	66635	30526	54.19%	1295	393	69.65%
	9 - Use color override from source components	365,527	435902	-19.25%	66635	65693	1.41%	1295	1168	9.81%
Kombinationer	1+2+3+4+5+6	365,527	315279	13.75%	66635	28188	57.70%	1295	1168	9.81%
	7+8	365,527	154650	57.69%	66635	39249	41.10%	1295	415	67.95%
	(1+2+3+4+5+6)+(7+8)	365,527	63116	82.73%	66635	15372	76.93%	1295	366	71.74%
	(1+2+3+4+5+6)+(7+8+9)	365,527	63914	82.51%	66635	15372	76.93%	1295	366	71.74%
Presets	Remove the least detail (small parts and features)	365,527	63447	82.64%	66635	14381	78.42%	1295	49	96.22%
	Remove moderate detail (medium sized parts and all listed features)	365,527	42735	88.31%	66635	9699	85.44%	1295	40	96.91%
	Remove the most detail (replace top-level components with envelopes)	365,527	323	99.91%	66635	234	99.65%	1295	39	96.99%
Ruleset	Volym filtrering 500cm3	365,527	232228	36.47%	66635	28003	57.98%	1295	122	90.58%
	Volym filtrering 700cm3	365,527	229371	37.25%	66635	26846	59.71%	1295	109	91.58%
	Volym filtrering 1000cm3	365,527	98664	73.01%	66635	23869	64.18%	1295	93	92.82%

Figur 2: Autodesk Inventors förenklingsverktyg på testfil Engine V8-XT Turbo

6.2.3 Cleaner station

Resultaten från testerna visar hur de olika förenklingsfunktionerna i Autodesk Inventor påverkar filstorlek samt antal bodies och antal faces. För testfilen *Cleaner station* redovisas resultatet i figur 3 nedan.

Resultaten visar att samtliga förenklingsverktyg inom kategorin *Remove Feature* leder till en ökning av filstorleken, samtidigt som antalet faces och bodies minskar. Samma trend syns för de avancerade verktygen där filstorleken ökar i alla testfall medan antalet faces och bodies antingen minskar eller endast ökar marginellt. Vid användning av kombinationer av enklare och mer avancerade verktyg ökar filstorleken endast i två fall. I resterande testfall minskar filstorleken avsevärt samtidigt som antalet faces och bodies minskar i samtliga kombinationer.

Regelsystemet i iLogic Browsern gav stora reduceringar i både filstorlek, bodies och faces men vid större volymfiltrering försvann viktig geometri.

		Autodesk Inventor Simplify									
		Cleaner Station									
		Filstorlek [KB]	Minskning [%]	Faces		Minskning [%]	Bodies		Minskning [%]	Tid för utförande	
		Före	Efter				Före	Efter			
Remove Features	1 - Hole	55,378	177914	-221.27%	89524	82471	7.88%	2633	2499	5.09%	0-1min
	2 - Fillet	55,378	152378	-175.16%	89524	70472	21.28%	2633	2499	5.09%	0-1min
	3 - Chamfer	55,378	197350	-256.37%	89524	87236	2.56%	2633	2499	5.09%	0-1min
	4 - Pocket	55,378	130609	-135.85%	89524	64553	27.89%	2633	2499	5.09%	0-1min
	5 - Emboss	55,378	173946	-214.11%	89524	76680	14.35%	2633	2499	5.09%	0-1min
	6 - Tunnel	55,378	140254	-153.27%	89524	70238	21.54%	2633	2499	5.09%	0-1min
Advanced Properties	7 - Fill internal voids	55,378	201385	-263.66%	89524	89297	0.25%	2633	2499	5.09%	0-1min
	8 - Remove internal parts	55,378	106113	-91.62%	89524	43553	51.35%	2633	950	63.92%	0-1min
	9 - Use color override from source components	55,378	206765	-273.37%	89524	89573	-0.05%	2633	2517	4.41%	0-1min
Kombinationer	1+2+3+4+5+6	55,378	64658	-16.76%	89524	35435	60.42%	2633	2499	5.09%	0-5min
	7+8	55,378	105776	-91.01%	89524	43315	51.62%	2633	950	63.92%	0-1min
	(1+2+3+4+5+6) + (7+8)	55,378	29216	47.24%	89524	13236	85.22%	2633	836	68.25%	0-1min
	(1+2+3+4+5+6) + (8+9)	55,378	30818	44.35%	89524	13769	84.62%	2633	834	68.33%	0-1min
	(1+2+3+4+5+6) + (7+8+9)	55,378	29920	45.97%	89524	13235	85.22%	2633	836	68.25%	0-1min
Presets	Remove the least detail (small parts and features)	55,378	7821	85.88%	89524	3506	96.08%	2633	166	93.70%	0-5min
	Remove moderate detail (medium sized parts and all listed features)	55,378	4959	91.05%	89524	2212	97.53%	2633	115	95.63%	0-1min
	Remove the most detail (replace top-level components with envelopes)	55,378	952	98.28%	89524	690	99.23%	2633	115	95.63%	0-1min
Ruleset	Volym filtrering 300cm3	55,378	3306	94.03%	89524	6276	92.99%	2633	190	92.78%	0-1min
	Volym filtrering 500cm3	55,378	2432	95.61%	89524	4684	94.77%	2633	136	94.83%	0-1min
	Volym filtrering 700cm3	55,378	2259	95.92%	89524	4158	95.36%	2633	128	95.14%	0-1min

Figur 3: Autodesk Inventors förenklingsverktyg på testfil *Cleaner station*

6.3 Resultat från tester i 3D_Evolution

Kapitlet redovisar resultat från tester utförda i 3D Evolution

6.3.1 Engine V8-XT Turbo

Resultaten från testerna visar hur olika förenklingsfunktioner i 3D Evolution (se Figur 4) påverkar filstorlek, antal faces och antal bodies.

Samtliga verktyg resulterade i en minskning av filstorleken. Den största minskningen bland de individuella verktygen uppnåddes av simplify all-in-one step som minskade filstorleken med 76,31%.

När det gäller geometrisk struktur varierade resultaten mellan verktygen. Shrinkwrap och remove volume minskade både antalet faces och bodies, medan simplify all-in-one step och bounding shape istället ökade antalet bodies med 76,59 % respektive 5,16 %. När alla verktyg kombinerades erhöles en filförminskning om 78,63% och en reduktion i antalet faces och bodies om 7,67 % respektive 9,92 %. Resultaten sammanfattas i figur 4.

	3D Evolution								
	Engine V8-XT Turbo								
	Filstorlek [KB]		Minskning [%]	Faces		Minskning [%]	Bodies		Tid för utförande
	Före	Efter		Före	Efter		Före	Efter	
Shrinkwrap, voxelsize 0.5	365572	150054	58.95%	43825	34063	22.27%	252	108	57.14%
Remove volume < 100 000 mm3	365572	179727	50.84%	43825	40811	6.88%	252	156	38.10%
Simplify all-in-one step	365572	86610	76.31%	43825	20575	53.05%	252	445	-76.59%
Bounding shape	365572	196294	46.30%	43825	45860	-4.64%	252	265	-5.16%
Total	365572	78107	78.63%	66635	61524	7.67%	252	277	-9.92%

Figur 4: 3D Evolutions förenklingsverktyg på testfil Engine V8-XT Turbo

6.3.2 Cleaner station

Resultaten från testerna visar hur olika förenklingsfunktioner i 3D Evolution (se Figur 5) påverkar filstorlek, antal faces och antal bodies.

Samtliga förenklingsverktyg i 3D Evolution minskade filstorleken. Simplify all-in-one step och bounding shape ökade antalet bodies istället för att minska dem.

Det individuella verktyg som gav störst filförminskning var simplify all-in-one step som reducerade filstorleken med 70,49%. När alla verktyg kombinerades erhöles en filförminskning om 91,05% och en reduktion i antalet faces och bodies om 88,63% respektive 48,21%. Resultaten sammanfattas i figur 5.

	3D Evolution									
	Cleaner Station									
	Filstorlek [KB]		Minskning [%]	Faces		Minskning [%]	Bodies		Minskning [%]	Tid för utförande
	Före	Efter		Före	Efter		Före	Efter		
Shrinkwrap, voxelsize 0.5	55378	31035	43.96%	13028	8836	32.18%	195	174	10.77%	0-1 min
Remove volume < 100 000 mm3	55378	15777	71.51%	13028	3896	70.10%	195	54	72.31%	0-1 min
Simplify all-in-one step	55378	16341	70.49%	13028	4598	64.71%	195	216	-10.77%	0-1 min
Bounding shape	55378	45569	17.71%	13028	13291	-2.02%	195	242	-24.10%	0-1 min
Total	55378	4954	91.05%	13028	1481	88.63%	195	101	48.21%	0-1 min

Figur 5: 3D Evolutions förenklingsverktyg på testfil Cleaner station

7 Diskussion

I sjunde kapitlet diskuteras och utvärderas hur väl artefakten löser det identifierade problemet, vilket motsvarar steg fem i Peffers metodikprocess.

7.1 Tolkning av resultat från Autodesk Inventor

Resultaten från testerna i Autodesk Inventor visar att förenkling av geometrin inte nödvändigtvis leder till minskad filstorlek. För båda testfilerna, *Engine V8-XT Turbo* och *Cleaner station*, ökade filstorleken i de flesta fall trots att antalet faces och bodies reducerades. Resultatet kan vid första anblick uppfattas som motsägelsefullt men kan förklaras av hur Autodesk Inventor hanterar förenklad geometri.

Förenklingsverktyg inom kategorierna *Remove Features* och *Advanced Properties* används för att reducera och förenkla modellens geometri genom att ta bort hål, kanter, märkningar, kanaler och hantera interna volymer på komponenter. Resultaten visar att dessa verktyg effektivt reducerar antalet faces och bodies men samtidigt ökar filstorleken.

Detta kan förklaras av att Autodesk Inventor är ett parametriskt CAD-system. När parametriska features, till exempel ett hål, tas bort försvinner inte bara hålets form utan också hur hålet är konstruerat och kopplat till omgivande geometri. Resultatet blir att kroppen får en öppning utan definierad geometri. Kroppen är då inte längre en korrekt, sluten, solid. Autodesk Inventor måste då skapa ny exakt B-rep geometri som passar exakt mot de angränsande ytorna för att stänga igen hålet. Dessa ersättningsytor består ofta av mer komplexa ytbeskrivningar (NURBS-ekvationer) än den ursprungliga hole featuren vilket resulterar i en större datamängd, trots att modellen ser enklare ut.

Autodesk Inventor är i grunden utvecklat för produktutveckling där exakthet och parametrisk kontroll prioriteras framför visning och samordning. Resultaten indikerar därför att Autodesk Inventors förenklingsfunktioner i huvudsak är optimerade för att minska modellens visuella komplexitet snarare än dess datamängd.

När flera förenklingsverktyg kombineras reduceras inte bara enskilda detaljer utan även den sammanlagda geometriska komplexiteten. Verktyg som tar bort hål, fyller interna volymer och tar bort inre komponenter ersätter dessa med komplex ersättningsgeometri. Vid kombinerad användning av flera förenklingsverktyg kan dock även ersättningsgeometrin förenklas i efterföljande steg. Komplexa ytor kan slås samman och interna strukturer elimineras helt. Detta minskar antalet NURBS-ytor och därmed filstorleken. Resultaten visar att en kombinerad användning av olika verktyg är mer effektiv för att minska filstorleken.

Skillnaderna mellan testfilerna är tydliga. *Cleaner station* påverkades i större utsträckning av Autodesk Inventors förenklingsstrategi då modellens öppna och komplexa struktur leder till att mer omfattande ersättningsgeometri behöver skapas vid borttagning av parametriska features. Vid kombination av alla verktygen minskade filstorleken för *Cleaner station* med 45,97% (bilaga 15) medan *Engine V8-XT Turbo* (bilaga 16) minskade med 82,51%. Detta indikerar att modeller med öppen och komplex struktur, utan omslutande skal, är svårare att förminska i Autodesk Inventor.

Engine V8-XT Turbo filstorlek är 560% större än *Cleaner stations* trots att modellen bara innehåller 29% fler bodies och 236% fler faces. Detta tyder på att filstorleken för *Engine V8-XT Turbo* domineras av komplexa NURBS-ytor medan *Cleaner station* uppvisar en högre täthet av separata kroppar och parametriska features, såsom skruvar, hål och mindre konstruktionsdetaljer. När dessa detaljer tas bort vid förenkling i Autodesk Inventor försvinner inte bara geometrin utan även de parametriska features som definierar hur varje kropp är kopplad till omgivande geometri. Detta innebär att programmet måste skapa ny ersättningsgeometri för att modellen fortsatt ska utgöra en korrekt och sluten solid.

För *Engine V8-XT Turbo* är förhållandet det motsatta. Modellen innehåller färre separata kroppar men fler stora och sammanhängande geometriskt komplexa ytor (NURBS-ytor). Vid förenkling kan dessa ytor förenklas direkt utan att ny ersättningsgeometri behöver skapas. Förenklingen sker därmed i större utsträckning genom att ytor optimeras snarare än rekonstrueras på grund av borttagning av geometri.

Detta återspeglas tydligt i resultaten från förenkling med verktygen Remove Features och Advanced properties. För båda modellerna minskar antalet faces och bodies, men för *Cleaner*

station ökar filstorleken i snitt med 198% medan motsvarande ökning för *Engine V8-XT Turbo* endast är cirka 4%. Detta tyder på att Autodesk Inventors begränsning ligger i hanteringen av modeller som innehåller många små kroppar och parametriska detaljer, vilka kräver att programmet skapar komplex ersättningsgeometri vid förenkling.

7.2 Tolkning av resultat från 3D_Evolution

Resultat från tester i Coretechnologies 3D_Evolution visar att samtliga förenklingsverktyg reducerar filstorleken. Detta bekräftar programmets tydliga fokus på modellförenkling för vidare användning av filen i andra system.

Detta kan tydligt observeras i resultaten för de två testfilerna. För *Engine V8-XT Turbo* reducerades filstorleken totalt med 81,29% (bilaga 17) medan *Cleaner station* reducerades med 91,05% (bilaga 18). Anmärkningsvärt är att filstorlekarna reducerades trots att antalet faces ökar för båda modellerna, 77,05% för *Engine V8-XT Turbo* och 88,63% för *Cleaner station*. Samtidigt minskar antalet bodies för *Engine V8-XT Turbo* med 4,37% medan antalet bodies för *Cleaner station* ökar med 48,21%.

Den övergripande trenden är således att antalet faces och bodies ökar samtidigt som filstorleken minskar. Detta kan förklaras av hur 3D_Evolution hanterar förenkling av geometri. Programmet ersätter geometriskt komplexa ytor och kroppar med enklare geometriska representationer istället för att bevara exakt och sammanhängande B-rep geometri och exakt återskapa geometri som i Autodesk Inventor. Antalet bodies kan därmed öka när tidigare komplexa kroppar delas upp i flera enklare kroppar. Detta syns tydligt i resultatet för verktyget *simplify all-in-one step* på testfilen *Engine V8-XT Turbo* där filstorleken minskar med 76,31% medan antalet bodies ökar med 76,59%.

Styrkan i 3D_Evolution ligger i att programmet inte är uppbyggt för parametrisk modellering. Modellen betraktas som ett färdigt slutresultat snarare än ett pågående konstruktionsobjekt vilket gör att förenklingen inte begränsas av krav på att bevara konstruktionslogik. Detta gör att programmet kan arbeta mer aggressivt vid förenkling och

använda geometrisk approximation istället för exakt rekonstruktion. En konsekvens av detta är att antalet bodies kan öka då geometriskt komplexa kroppar delas upp i fler enklare kroppar.

Som diskuterats i föregående avsnitt visar jämförelsen mellan modellerna att Engine V8-XT Turbo domineras av geometriskt komplexa NURBS-ylor medan *Cleaner station* innehåller en högre täthet av separata kroppar. Vid förenkling reduceras filstorleken kraftigt för båda modellerna, 81,29 % för Engine V8-XT Turbo och 91,05 % för *Cleaner station*. Detta visar att 3D_Evolution effektivt kan förenkla modeller med olika geometrisk uppbyggnad och är särskilt effektiv vid förenkling av modeller med många separata komponenter, hög detaljgrad och en öppen geometrisk struktur, som i *Cleaner station*.

7.3 Jämförelse mellan programmen

Programmen skiljer sig främst i att Autodesk Inventor bygger på en parametrisk designprocess medan 3D_Evolution bygger på geometrisk approximation. Förenkling i Autodesk Inventor förutsätter att modellen fortsatt ska vara exakt för att kunna användas vid vidare produktutveckling. 3D_Evolution ser det hela mer som en ny modell och har inga krav på att den ska användas för vidare design.

Om målet är att fortfarande ha en exakt modell som parametriskt går att arbeta vidare med så är förenklingar i Autodesk Inventor mer lämpliga. Det ger möjligheten att som mottagare av förenklingen bygga vidare på eller ändra modellen utifrån eget behov. I bygg och anläggningsprojekt ställs krav och varje aktör måste kunna ta ansvar för sina modeller, vilket blir enklare med en modell som har förenklats i Autodesk Inventor då geometriska data ej har förändrats. Utifrån intervjuerna framgick det att förenklingen inte bara får handla om geometri utan också om metadata, funktionell information och kopplingar till andra system. Det stärker Autodesk Inventors förenklingar då de bevarar mer än bara geometri. Men olika projekt ställer olika krav och ibland är det bara en geometrisk approximation som behövs. Då är 3D_evolution mer lämpat då den ger bättre resultat efter förenkling.

Förenklingsverktygen i 3D_evolution och Autodesk Inventor bör dock inte ses som helheter utan båda programmen har separata verktyg med olika syften och funktioner. I Autodesk Inventor är verktyg såsom Remove Feature, advanced properties och remove internal parts huvudsakligen inriktade på att ta bort eller dölja parametriska detaljer samtidigt som modellens B-rep geometri och parametriska uppbyggnad bevaras. Det är särskilt intressant för WSP när exakthet i konstruktion krävs, samtidigt som prestanda i samordningen förekommer parallellt. Motsvarade verktyg i 3D_evolution såsom, Simplify all in one step, remove small features och shrinkwrap är mer inriktade på att ersätta komplex geometri genom förenklade approximationer. Val av verktyg bör därför inte styras av vilken program som används utan istället baseras på vad modellen är tänkt att användas för.

Verktygen i sig kan även ses som lika men har i grunden olika struktur. Som tidigare nämnt fungerar 3D_evolution's shrinkwrap genom att dela upp modellen i ett voxelbaserat rutnät och därefter utföra ett stråltest där voxlar som ej blir träffade räknas som inre geometri. Autodesk Inventor gör på ett annat sätt där de tittar från 14 olika vinklar och tar därefter bort element som ej är synliga. Detta resulterar i att verktygen fungerar olika bra i olika situationer.

Utifrån resultaten från testerna framgår det att 3D_evolution's shrinkwrap minskar filstorlek med 58,95%, Faces med 22,27% och bodies med 57,14% för *Engine V8-XT Turbo*, medan för Autodesk Inventor's Remove internal part minskas samma testfils filstorlek med 66,86%, Faces med 54,19% och bodies 69,65%. Det tyder på att Autodesk Inventor's metod är bättre på att identifiera inre kroppar på modeller som har ett tydligt yttre skal.

Men för testfilen *cleaner station* är resultaten inte riktigt detsamma. Shrinkwrap minskar filstorlek med 43,96%, faces med 32,18% och bodies med 10,77% medan remove internal parts ökar filstorlek med 91,01% och minskar faces och bodies med 51,35% respektive 63,92%. Anledningen till att filstorleken ökar efter förenkling i Autodesk Inventor beror på att Autodesk Inventor först tar bort hela komponenter, men måste därefter tätar igen öppningar och säkerställa att modellen är sluten. Det betyder att Autodesk Inventor måste skapa ny exakt B-rep geometri som matchar angränsade ytor. Det gör i sin tur att modellen innehåller mer komplexa data att beskriva även fast modellen har färre faces och bodies. Detta

resulterar i en större filstorlek. 3D_evolution är därför bättre på att hantera modeller med öppna ytor och som saknar ett tydligt yttre skal.

För WSP och andra användare av förenklingsmetoder innebär resultaten att val av förenklingsmetod bör baseras på modellens vidare användningsområde. Vid arbete som gäller samordning och visualisering är 3D Evolution mer lämpat då det effektivt reducerar filstorlek och geometri, vilket leder till en bättre hanterbarhet i BIM-miljöerna. Detta är särskilt relevant i stora projekt där flera olika discipliner samverkar och där tunga modeller vanligtvis försämrar arbetsflödet. För WSP, som är ett stort konsultföretag och jobbar med många inblandade aktörer, är effektiv samordning ett krav för tids- och kostnadseffektiva arbetsflöden. Möjligheten att använda förenklade metoder av denna typ kan därför bidra till att förbättra prestanda i BIM-verktyg, minska begränsningar och underlätta informationsbyte mellan discipliner.

Vidare kan resultatet och jämförelserna mellan programmen användas av framtida BIM-samordnare och projektörer som ett underlag för att välja lämpliga metoder för modellförenkling beroende på projektets krav. Resultaten visar vilka styrkor och svagheter, och därmed konsekvenser de olika metoder har på modellens egenskaper. Detta bidrar i sin tur till att användaren kan ta ett mer informerat och kunskapsbaserat beslut i praktiken.

7.4 Kvalitativ bedömning av resultat

Den kvantitativa analysen (filstorlek, antal faces och bodies) säger hur modellerna förändras men inte hur användbara de blir i praktiken. Syftet med den kvalitativa analysen är därför att utvärdera hur de förenklade modellerna fungerar vid användning i BIM-program. Analysen kommer att undersöka om filförminskningen förbättrar prestanda och minskar latens i Revit och vidare om artikelnummer bevaras vid förenkling. Analyserna kommer att göras på *Cleaner station*.

Steg 1: Jämförelse mellan ursprungsfil och förenklad fil

Det första steget i utvärderingen bestod av en jämförelse mellan ursprungsfilen och dess mest förenklade version. Modellerna importerades separat till Revit för analys av laddningstid och navigering i 3D-vyn. Vid granskning av ursprungsfilen i 3D-vyn upplevdes en tydlig latens vid navigering. Rotation och zoom innebar betydande fördröjningar. Den förenklade modellen uppvisade däremot avsevärt mycket bättre responsivitet. Navigering i 3D-vyn skedde mycket jämnare och kontrollerat.

Steg 2: Jämförelse mellan ursprungsfil och flera förenklade filer

Det andra steget i utvärderingen gick ut på att jämföra ursprungsfilen med flera exemplar av den mest förenklade modellen, vilket motsvarade den totala förenklingen i 3D_Evolution där samtliga testverktyg kombinerades och resulterade i en filreduktion om 91,05% Totalt importerades tolv exemplar av den förenklade modellen. Den sammanlagda filstorleken uppgick då till 59 448 MB, vilket är 7,35% större än ursprungsfilens storlek. Samtidigt hade den förenklade modellen 36,41% fler faces och 521,54% fler bodies jämfört med ursprungsfilen. Trots att samtliga analyserade parametrar ökade kraftigt upplevdes det lättare att navigera 3D-vyn för den sammansatta modellfilen än för ursprungsfilen. Den sammansatta modellfilen redovisade bättre responsivitet vid zoom och rotation.

Detta resultat kan förklaras av den teori som presenterats i avsnitt 3.2.3 *Triangulerad Mesh* där det framgår att det är antalet trianglar som genereras vid rendering som påverkar prestandan i 3D-vyn snarare än filstorlek och antalet bodies och faces.

Steg 3: Artikelnummer

Vidare tester visar att produktdata, såsom artikelnummer, bevaras efter förenkling. Bilagor 12, 13 och 14 visar testfil *Cleaner station* där ett rör markerats för att se artikelnumret. Det ursprungliga artikelnumret var KHFS6_990L_26 medan artikelnumret efter applicering av verktygen *Shrinkwrap* respektive *Total förenkling* blev KHFS6_990L_4. Artikelnumret är i stor utsträckning detsamma. Det enda som har ändrats är instansnummret vilket sannolikt beror på att mindre objekt har tagits bort eller slagits samman. Sammantaget visar detta att

3D_Evolution i hög grad kan förenkla geometrin utan att förlora väsentliga metadata. Det bör noteras att modellerna som används i examensarbetet inte är fullständiga konstruktionsmodeller vilket kan påverka hur metadata är uppbyggd och vidare hanteras vid förenkling.

7.5 Begränsningar och vidare arbete

Detta examensarbete har genomförts med visa avgränsningar och begränsningar som påverkar hur resultaten bör tolkas. Dessa förklaras nedan.

Examensarbetet baseras på tester av ett begränsat antal testfiler, *Engine V8-XT Turbo* och *Cleaner station*. Modellerna har valts för att representera olika typer av geometrisk komplexitet men resultatet kan inte generaliseras till alla typer av BIM-modeller eftersom filer kan variera avsevärt i geometri, detaljnivå och övergripande strukturer.

Vidare har förenklingstesterna genomförts med ett begränsat antal mjukvaror, Autodesk Inventor och 3D_Evolution. Resultaten är därmed bundna till hur just dessa program hanterar modellförenkling och för att kunna dra bredare slutsatser hade det krävts att utvärdera fler programvaror.

Den kvalitativa prestandaanalysen i Revit baserades på den subjektiva upplevelsen av responsivitet vid navigering i 3D-vyn. Ingen exakt kvantitativ mätning av till exempel bildfrekvens (FPS), minnesanvändning eller processorbelastning har genomförts. Resultaten bör således tolkas som indikativa snarare än absoluta.

För framtida studier rekommenderas det att komplettera den kvalitativa analysen med kvantitativa prestandadata genom att till exempel mäta bildfrekvens (FPS), minnesanvändning och processorbelastning vid navigering i 3D-vyn.

Vidare kan framtida arbete undersöka hur förenkling påverkar informationsinnehåll i större utsträckning, särskilt metadata såsom artikelnummer och komponentinformation. I detta examensarbete har modellerna som använts inte varit fullskaliga konstruktionsmodeller utan representativa testmodeller hämtade från externa källor. Detta innebär att metadata inte fullt

ut motsvarar den struktur och kvalitet som återfinns i verkliga projektmodeller, vilket i sin tur kan ha påverkat resultatet.

Slutligen kan vidare studier genomföras på större och mer komplexa projektmodeller, till exempel fullskaliga konstruktionsmodeller där flera discipliner samverkar samtidigt. Detta skulle möjliggöra en mer realistisk utvärdering av hur förenklingsverktygens påverkar BIM-samordning i praktiken. Sådana modeller innehåller dessutom mer omfattande och bättre strukturerad metadata än de testmodeller som använts i denna studie vilket skulle ge bättre förutsättningar att analysera hur förenkling påverkar informationsinnehåll såsom artikelnummer och produktinformation.

8 Slutsats

Syftet med detta examensarbete har varit att undersöka verktyg för förenkling av högdetaljerade BIM- och leverantörsmodeller inom bygg- och anläggningsprojekt för att minska prestandaproblem och förbättra hanterbarhet i samordningsprocesser. Arbetet har genomförts genom tester i Autodesk Inventor och Coretechnologies 3D_Evolution, kompletterat med kvalitativ utvärdering i Autodesk Revit.

Resultaten visar att förenkling i Autodesk Inventor inte nödvändigtvis leder till minskad filstorlek. Trots att antalet faces och bodies ofta minskar så ökar filstorleken i många fall till följd av att parametriska features tas bort och ersätts med ny, exakt, B-rep geometri med komplexa NURBS-ytor. Autodesk Inventors förenklingsverktyg är därmed främst optimerade för att bevara konstruktionslogik och geometrisk exakthet snarare än för att skapa lättviktsmodeller för till exempel BIM-samordning. Programmet lämpar sig bäst i situationer där modellen behöver förenklas visuellt men fortsatt ska kunna användas parametriskt och vidareutvecklas i senare skeden.

Tester i 3D_Evolution visar att samtliga förenklingsverktyg reducerar filstorleken, i vissa fall med mer än 90%. Detta uppnås genom att komplex geometri ersätts med enklare geometriska representationer samt genom användning av geometrisk approximation snarare än rekonstruktion som i Autodesk Inventor. Om båda programmen exempelvis ska ta bort ett hål måste Autodesk Inventor skapa en ny exakt ersättningsyta för att bibehålla en korrekt solid medan 3D_Evolution istället fyller igen hålet med en förenklad geometrisk form, till exempel en cylinder. 3D_Evolution är därför att föredra i situationer där modellen betraktas som färdig och inte är avsedd att vidarebearbetas konstruktionsmässigt. Programmet lämpar sig särskilt väl för att ta fram samordningsmodeller där visuell tydlighet och prestanda i 3D-vy prioriteras framför geometrisk exakthet.

I den kvalitativa utvärderingen i Autodesk Revit observerades tydliga skillnader i användarupplevelse mellan ursprungsmodellen och dess förenklade version. Den förenklade modellen uppvisade avsevärt bättre respons vid zoom och rotation under navigering i 3D-vyn. Detta gällde även när man importerade tolv exemplar av den mest förenklade modellen vilket medförde att den samt det totala antalet faces och bodies översteg ursprungsfilens

värden. Observationerna indikerar därmed att upplevd prestanda i BIM-samordning inte beror på filstorlek och antalet geometriska element, utan snarare geometrins underliggande komplexitet.

Resultaten från studien kan vidare fungera som ett praktiskt stöd vid val av förenklingsmetoder i framtida projekt. Genom de tydliga resultaten avseende filstorlek, bodies och faces, tillsammans med en förståelse för hur verktygen behandlar geometri och data, kan projektörer och BIM-samordnare ta välgrundade beslut av metod.

Sammanfattningsvis visar examensarbetet att valet av förenklingsverktyg bör baseras på modellens avsedda användning. Om kravet är möjlighet till fortsatt konstruktionsarbete är Autodesk Inventor mer lämpligt medan 3D_Evolution är ett bättre verktyg när målet är att skapa lättviktiga och prestandavänliga modeller för BIM-samordning.

Referenslista

Akenine-Möller, T., Haines, E., & Hoffman, N. (2018). Real-time rendering (4. uppl.). A K Peters/CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b22086>

Autodesk. (u.å.). *NURBS 1: Introduction*.

<https://mcas-proxyweb.mcas.ms/certificate-checker?login=false&McasCSRF=89450c95ddffe4ad1c97d230c602c027a725df1ba5422e124020b895ec5dfd61&originalUrl=https%3A%2F%2Fhelp.autodesk.com%2Fview%2FALIAS%2F2022%2FENU%2F%3Fguid%3DGUID-366304CB-16FF-46F9-9F64-D7385358D855>

Autodesk. (2022). *BIM collaboration: Manufacturer's guide*.

<https://damassets.autodesk.net/content/dam/autodesk/www/industry/manufacturing/bim-collaboration/fy23-dm-bim-collab-manufacturers-guide-ebook-en.pdf>

Azhar, S., Hein, M., & Sketo, B. (2008). Building information modeling (BIM): Trends, benefits, risks, and challenges for the AEC industry. *Leadership and Management in Engineering*. 1-2 [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)LM.1943-5630.0000127](https://doi.org/10.1061/(ASCE)LM.1943-5630.0000127)

Borowski, A. S. (2026). Automated identification of heavy BIM library components: A multi-criteria analysis tool for model optimization. *Smart Cities*, 9(2), 22.

<https://www.mdpi.com/2624-6511/9/2/22>

Doughty, J. (2025). *A beginner's guide to parametric modelling in Autodesk Inventor*.

ARKANCE UK Community. <https://ukcommunity.arkance.world/hc/en-us/articles/24815971859986-A-Beginner-s-Guide-to-Parametric-Modelling-in-Autodesk-Inventor>

Hevner, A. R., March, S. T., Park, J., & Ram, S. (2004). Design science in information systems research. *MIS Quarterly*, 28(1), 75–105.

https://www.researchgate.net/publication/201168946_Design_Science_in_Information_Systems_Research

Jongeling, R. (2008). *BIM istället för 2D-CAD i byggprojekt: En jämförelse mellan dagens byggprocesser baserade på 2D-CAD och tillämpningar av BIM*. SBUF & Luleå tekniska universitet.

<https://vpp.sbuf.se/Public/Documents/ProjectDocuments/A4808CF2-0A20-48DB-A457-496888049111/FinalReport/SBUF%2011962%20Slutrapport%20BIM%20ist%C3%A4llet%20f%C3%B6r%202D-CAD.pdf>

Krishnamurthy, A., Khardekar, R. & McMains, S. (2007). Direct evaluation of NURBS curves and surfaces on the GPU. *Association for Computing Machinery*, 329–334. <https://doi.org/10.1145/1236246.1236293>

Kutá, D., & Faltejsek, M. (2025). The role of artificial intelligence in the transformation of the BIM environment: Current state and future trends. *Applied Sciences*, 15(18), 9956. <https://doi.org/10.3390/app15189956>

Lenovo. (u.å.). *Vad är filstorlek?* <https://www.lenovo.com/se/sv/glossary/what-is-file-size/>

Patel, R., & Davidson, B. (2019). *Forskningsmetodikens grunder: Att planera, genomföra och rapportera en undersökning* (5:e uppl.). Studentlitteratur.

Peppers, K., Tuunanen, T., Rothenberger, M. A., & Chatterjee, S. (2007). A Design Science Research Methodology for Information Systems Research. *Journal of Management Information Systems*, 24(3), 45–77. <https://doi.org/10.2753/MIS0742-1222240302>

Pratt, M. J. (2001). Introduction to ISO 10303 – the STEP standard for product data exchange. *Journal of Computing and Information Science in Engineering*, 1(1), 102–103. <https://doi.org/10.1115/1.1354995>

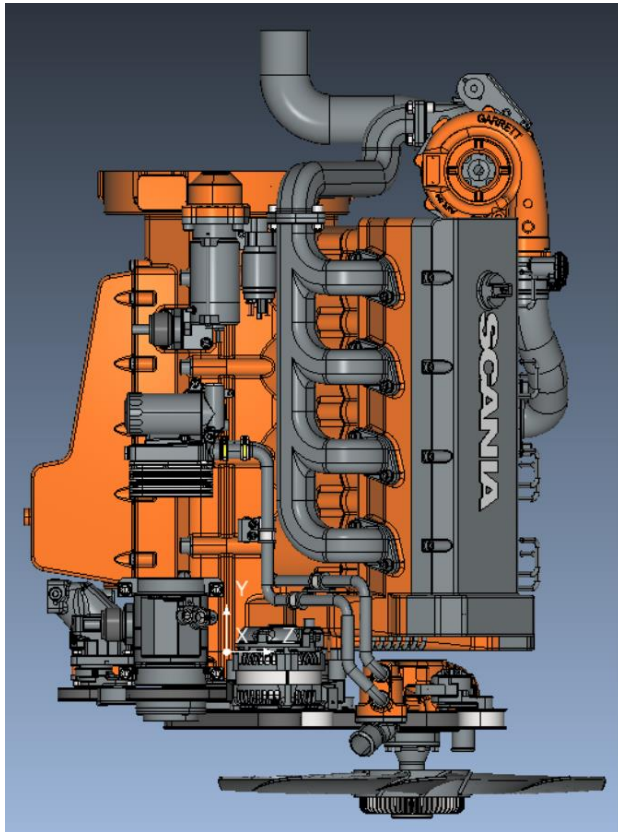
STEP AP242 Project. (u.å.). *Overview of STEP AP 242 functionalities for CAD 3D geometry, assembly and PMI interoperability*. <https://www.ap242.org/geometry-assembly-pmi-interoperability.html>

Svensk Byggtjänst. (2021, 5 mars). *Vad är BIM?* <https://byggtjanst.se/artiklar/vad-ar-bim>

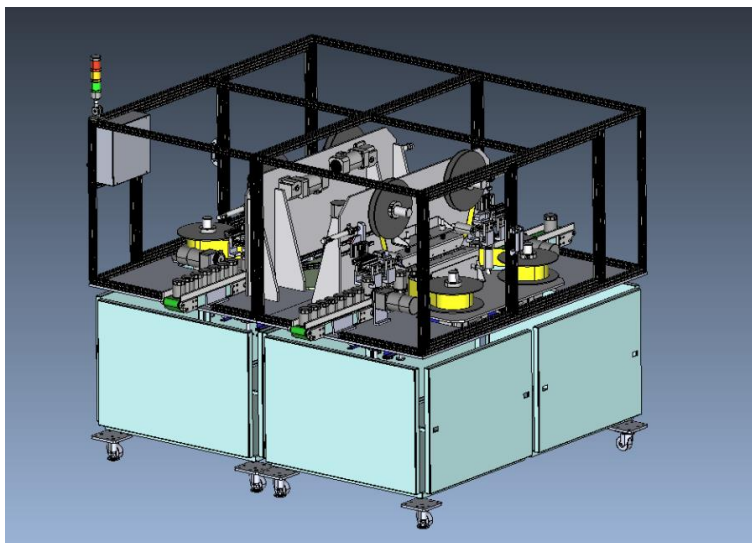
Trimble. (2025). *What is LOD and how its levels impact your 3D BIM model?* <https://www.trimble.com/blog/construction/en-US/article/what-are-lod-levels-how-they-impact-your-3d-bim-model>

WSP. (u.å.). *Building Information Modelling – BIM*. <https://www.wsp.com/en-gl/services/building-information-modelling-bim>

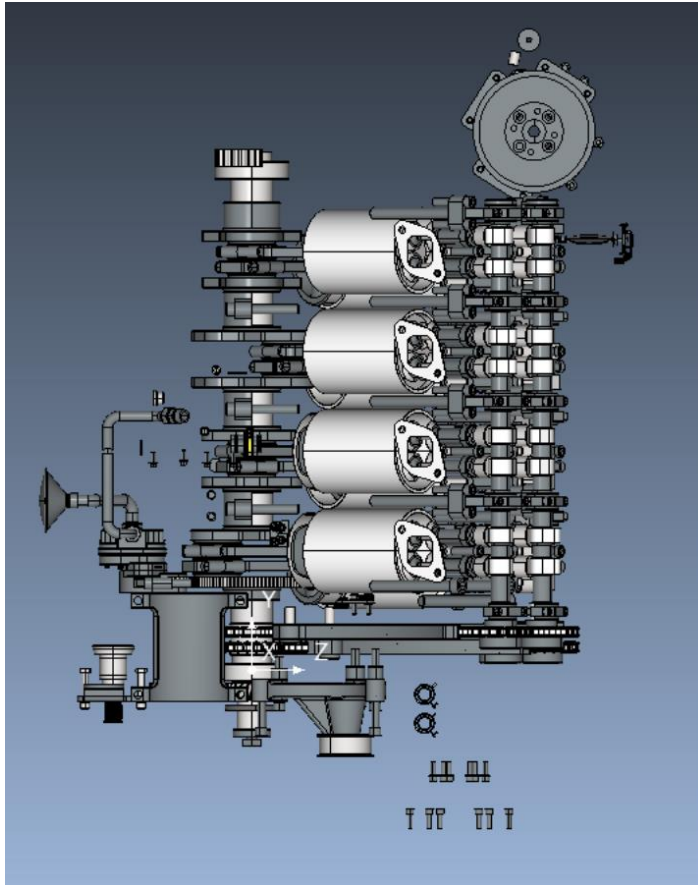
Bilagor



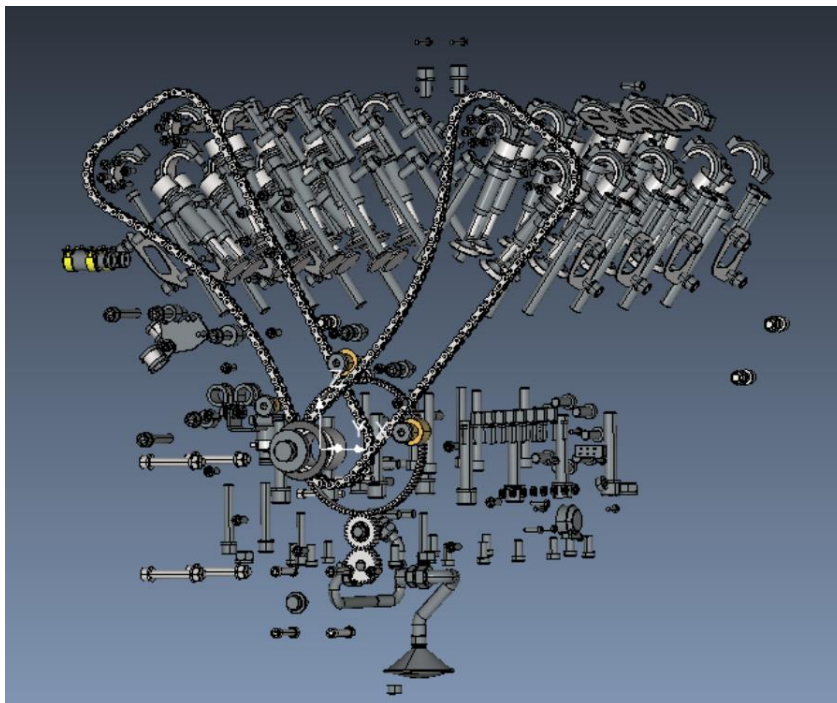
Bilaga 1: Testfil *Engine V8-XT Turbo*



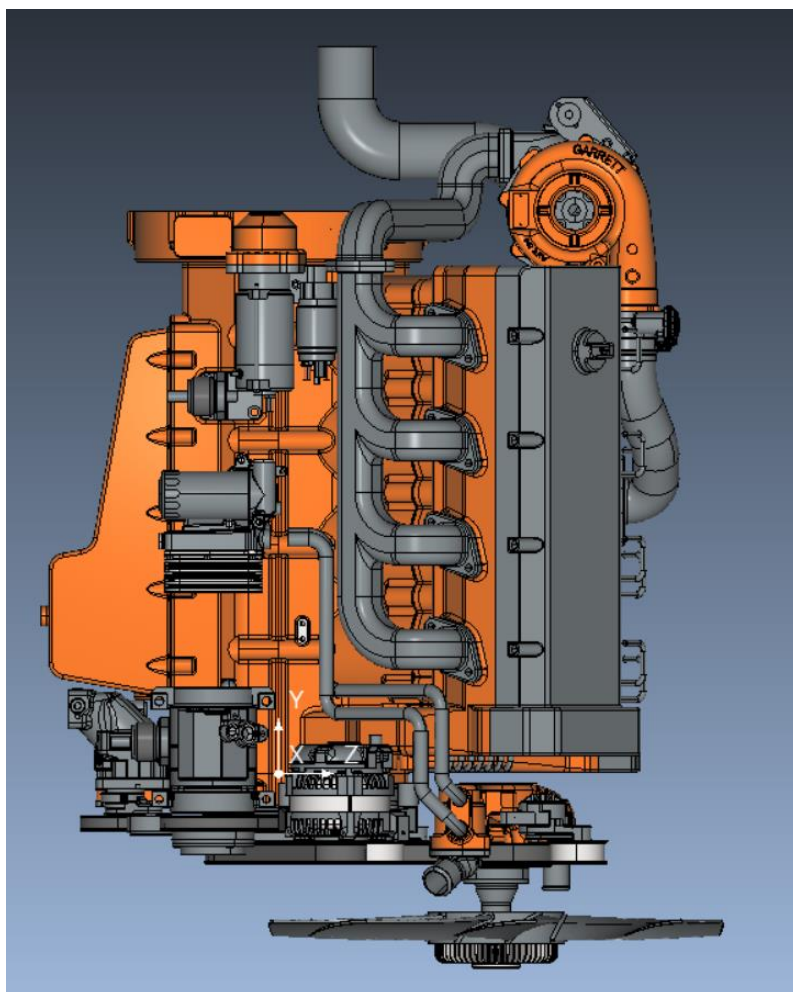
Bilaga 2: Testfil *Cleaner station*



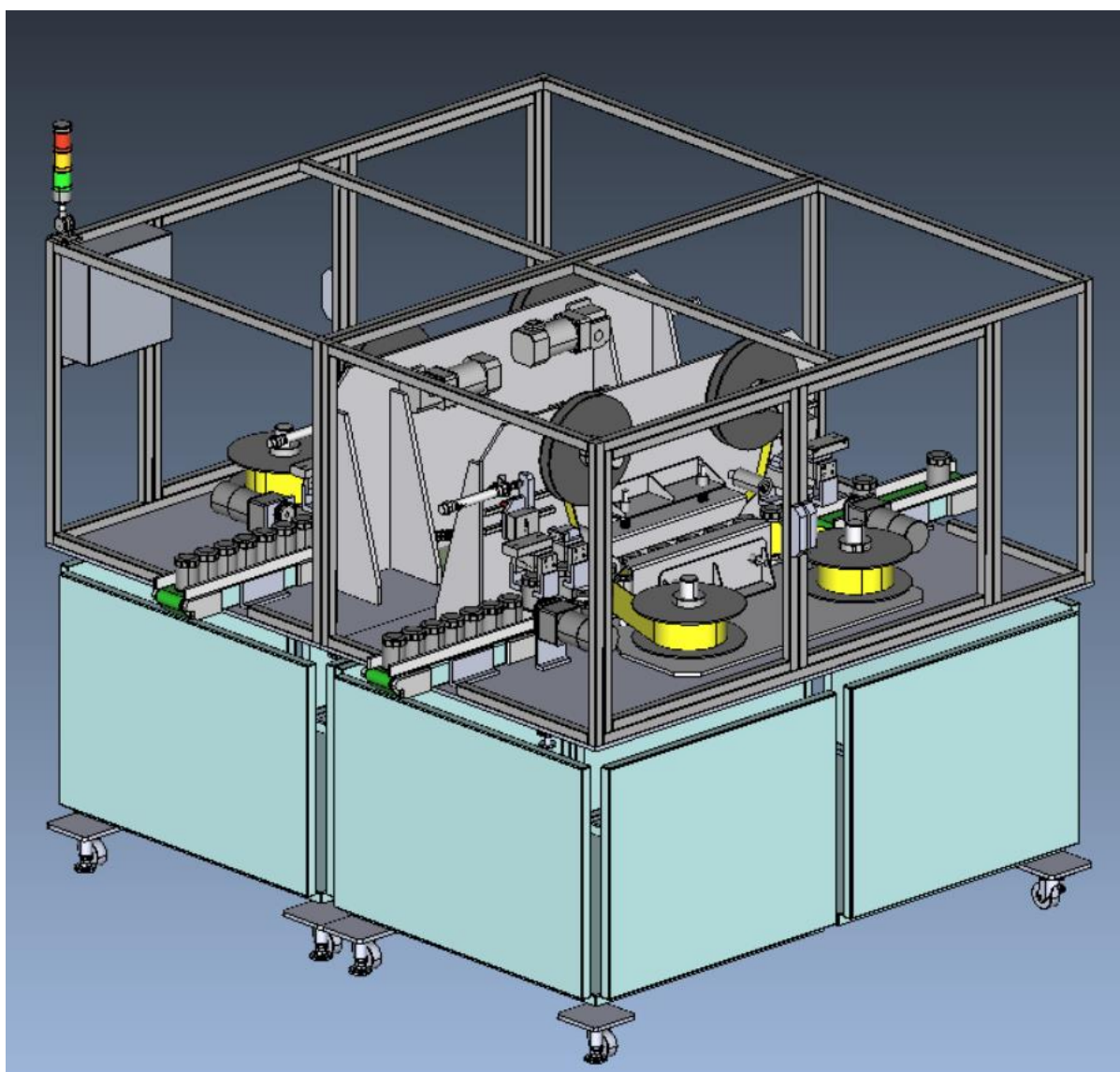
Bilaga 3: Shrinkwrap på testfil *Engine V8-XT Turbo* för att identifiera inre komponenter



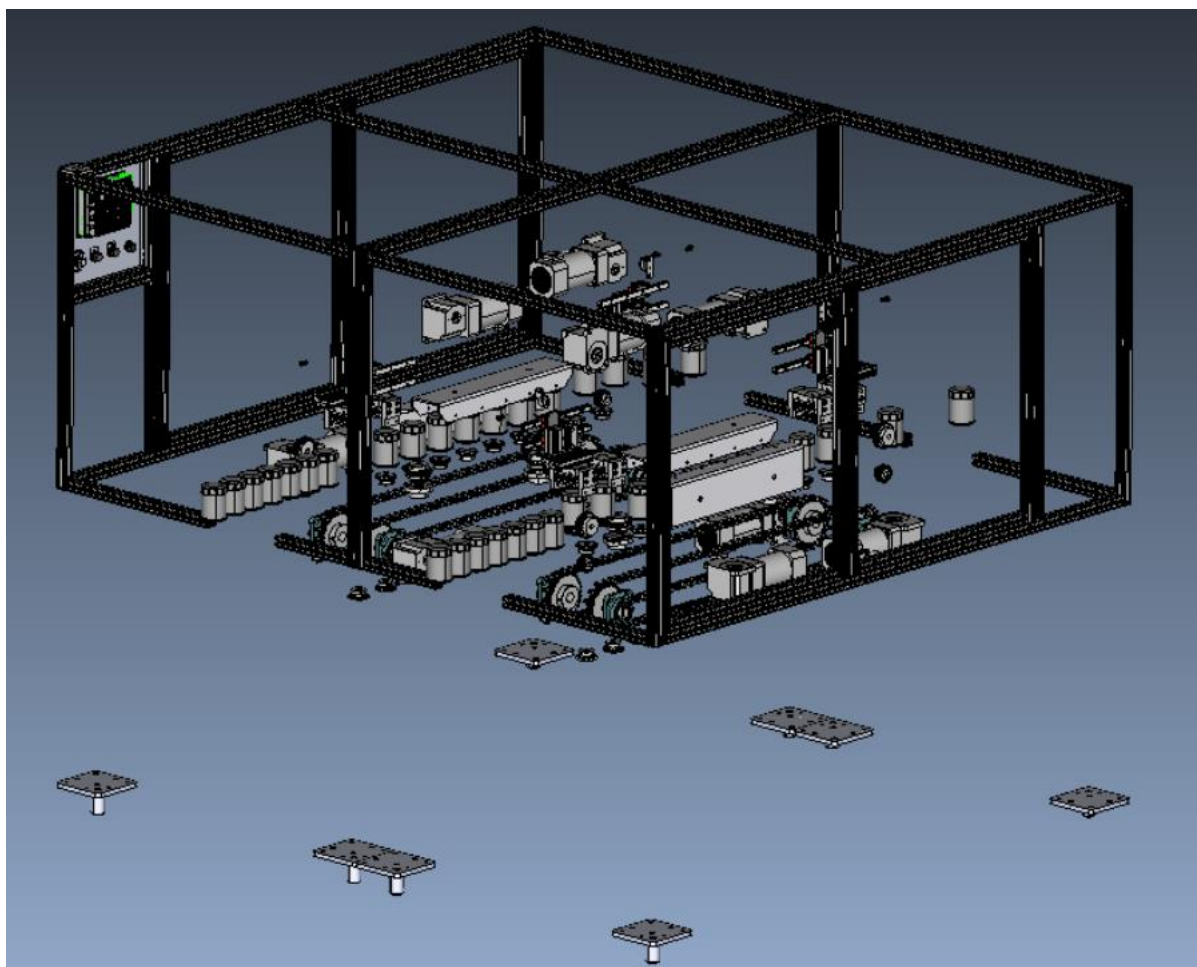
Bilaga 4: *Engine V8-XT Turbo*, filtrerad på volymer mindre än 100 000 mm³



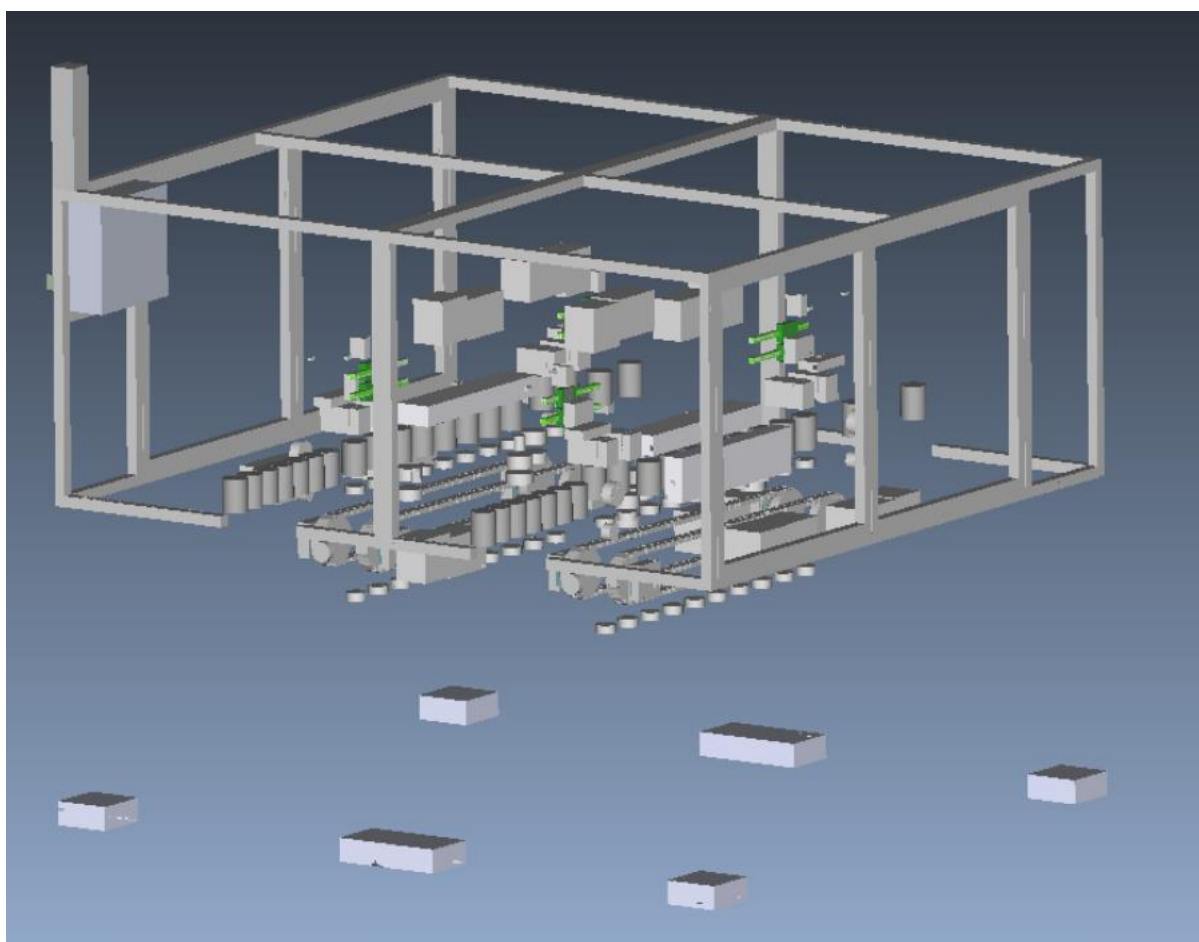
Bilaga 6: Engine V8-XT Turbo, efter att volymer mindre än 100 000 mm³ tagits bort



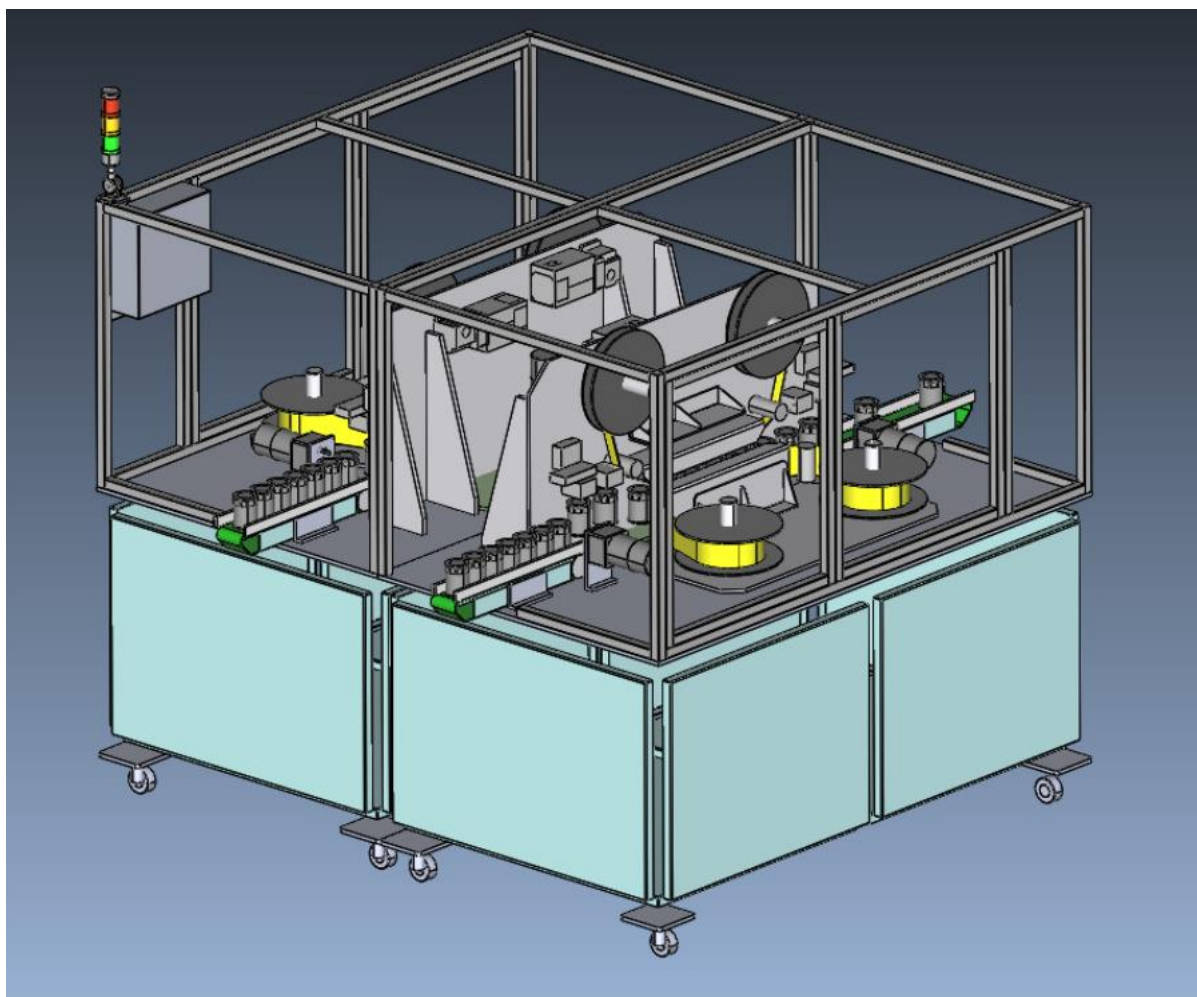
Bilaga 7: *Cleaner station*, efter användning av verktyg *Simplify all-in-one step*



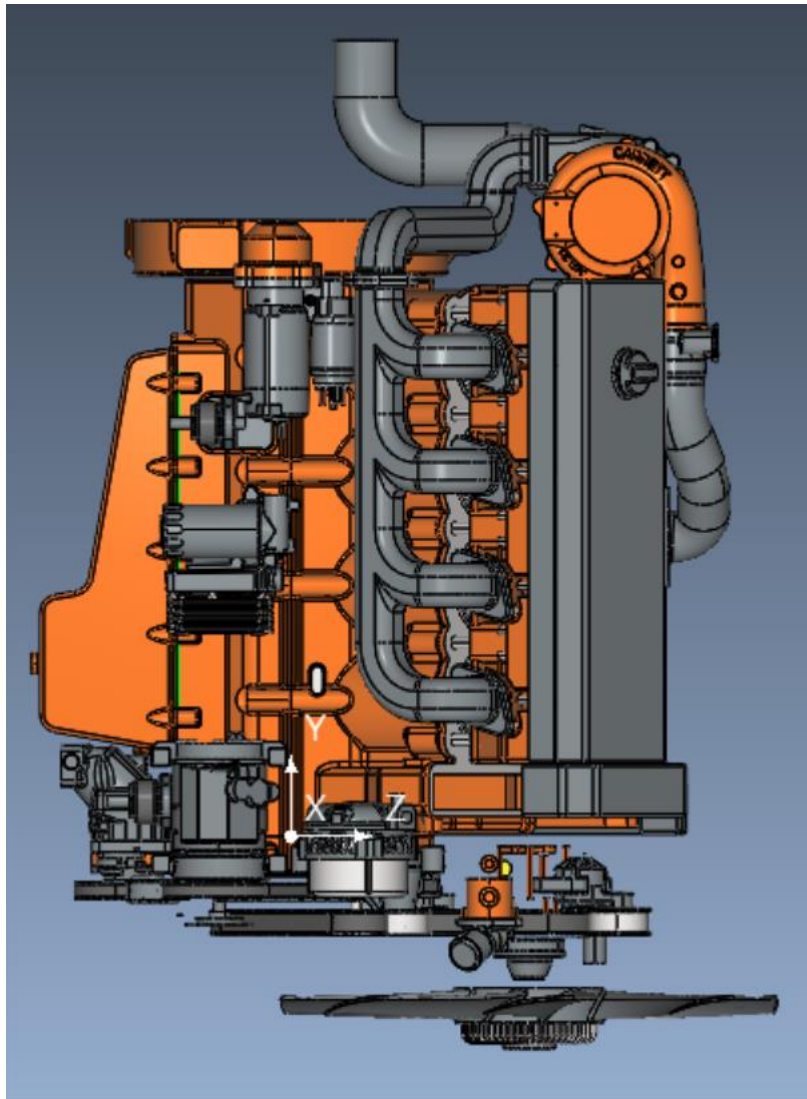
Bilaga 8: *Cleaner station*, komponenter med fler än 50 faces



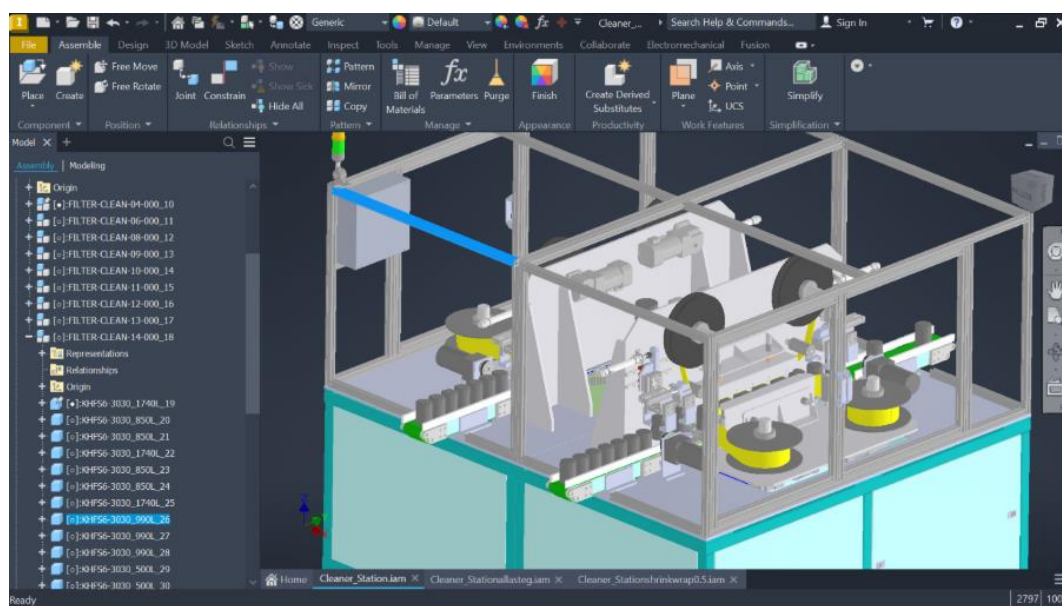
Bilaga 9: *Cleaner station*, resultat efter användning av verktyg *Bounding Shape*



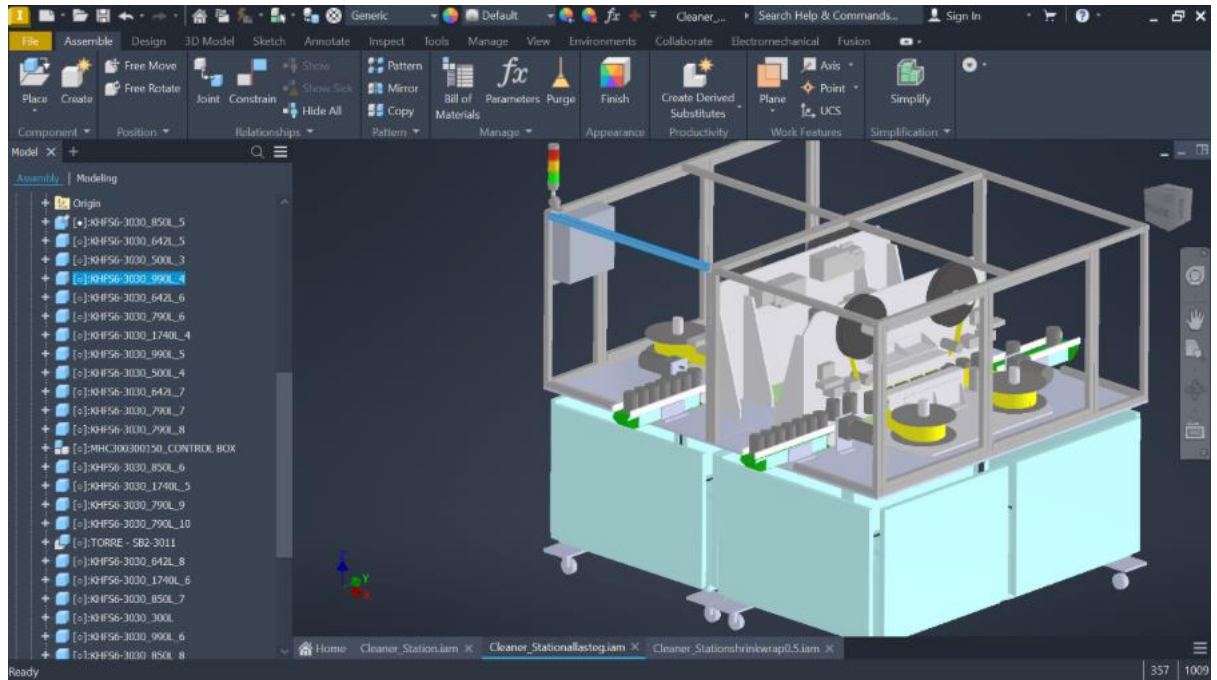
Bilaga 10: *Cleaner station*, resultat efter total modellförenkling i 3D_Evolution



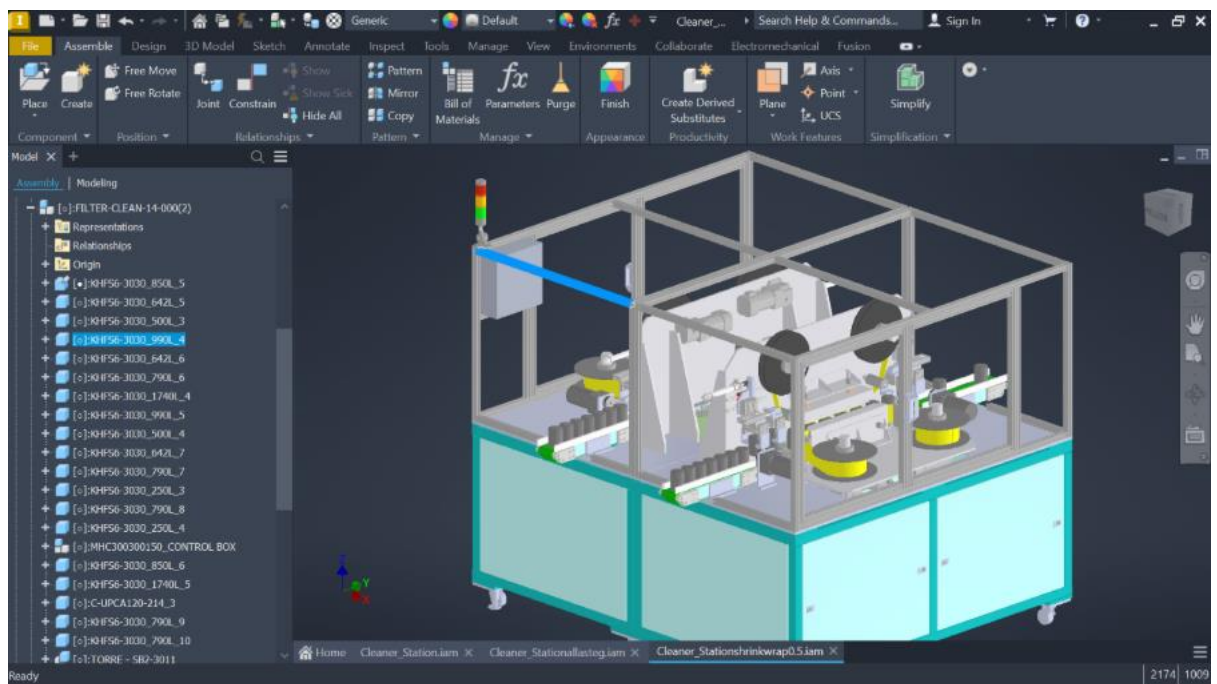
Bilaga 11: *Engine V8-XT Turbo*, resultat efter total modellförenkling i 3D_Evolution



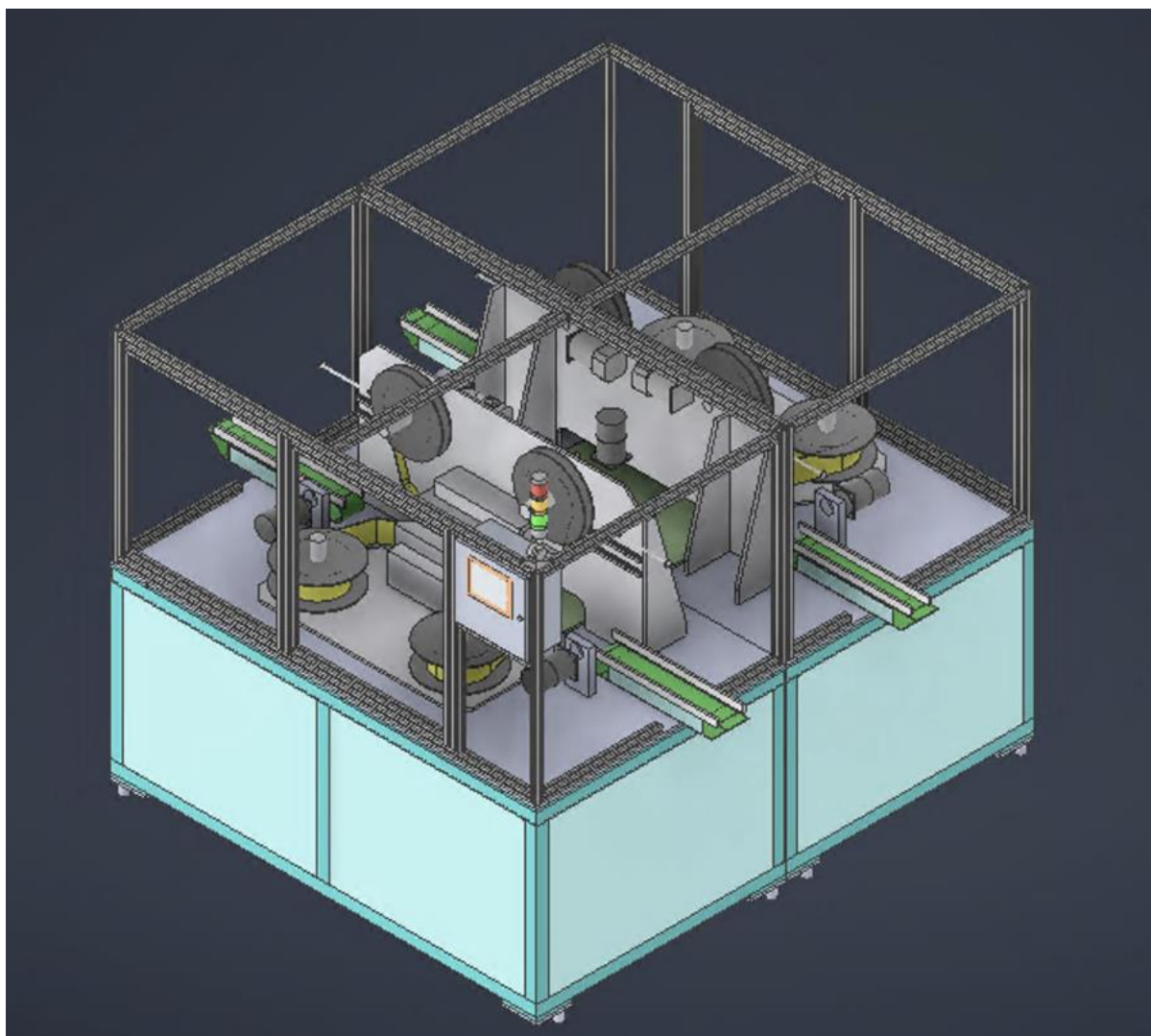
Bilaga 12: Artikelnummer *Cleaner station*



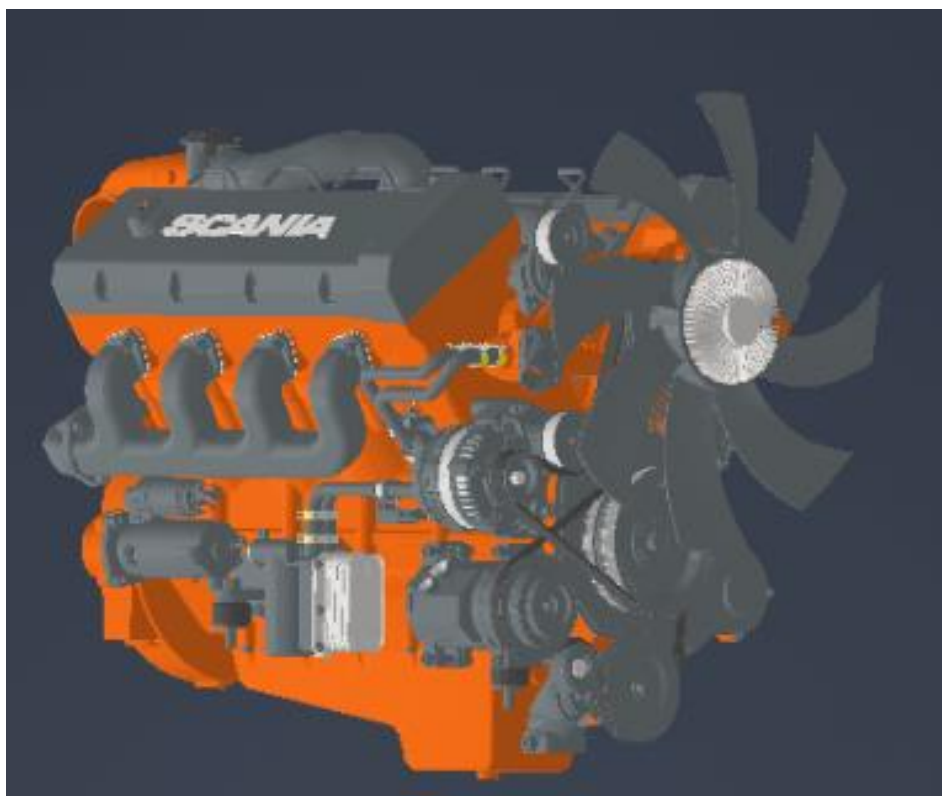
Bilaga 13: Artikelnummer *Cleaner station*, 3D_Evolution, Total



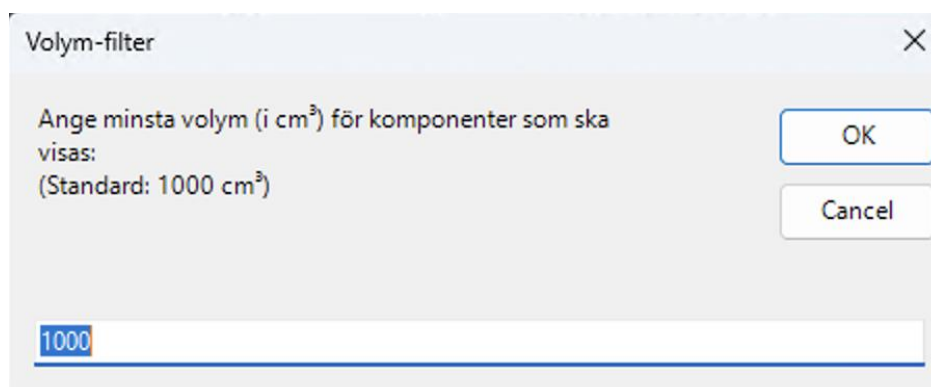
Bilaga 14: Artikelnummer *Cleaner station*, 3D_Evolution, shrinkwrap



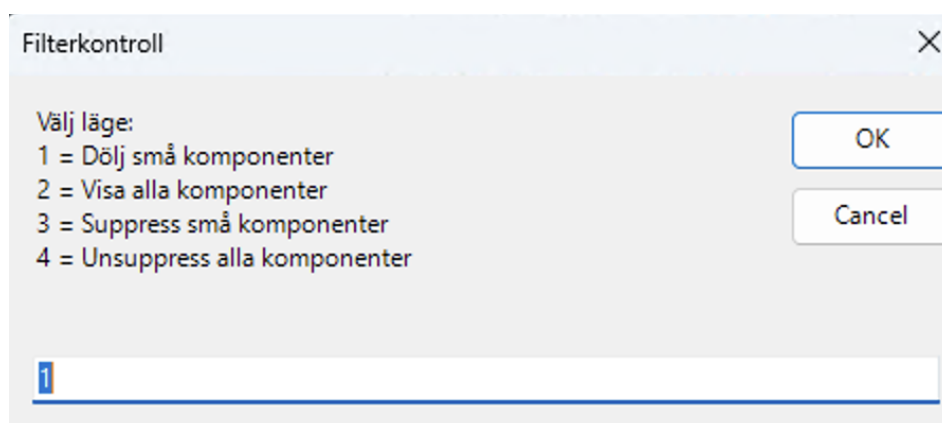
Bilaga 15: *Cleaner station* efter förenkling med Autodesk Inventor



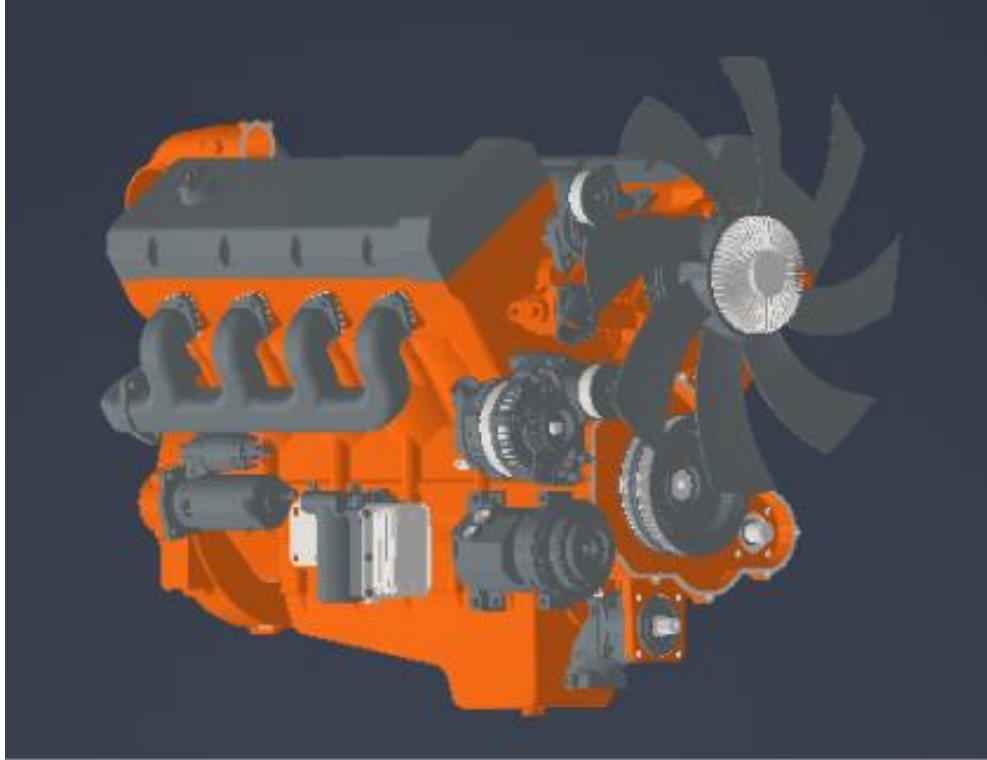
Bilaga 16: *Engine V8-XT Turbo* i Autodesk Inventor



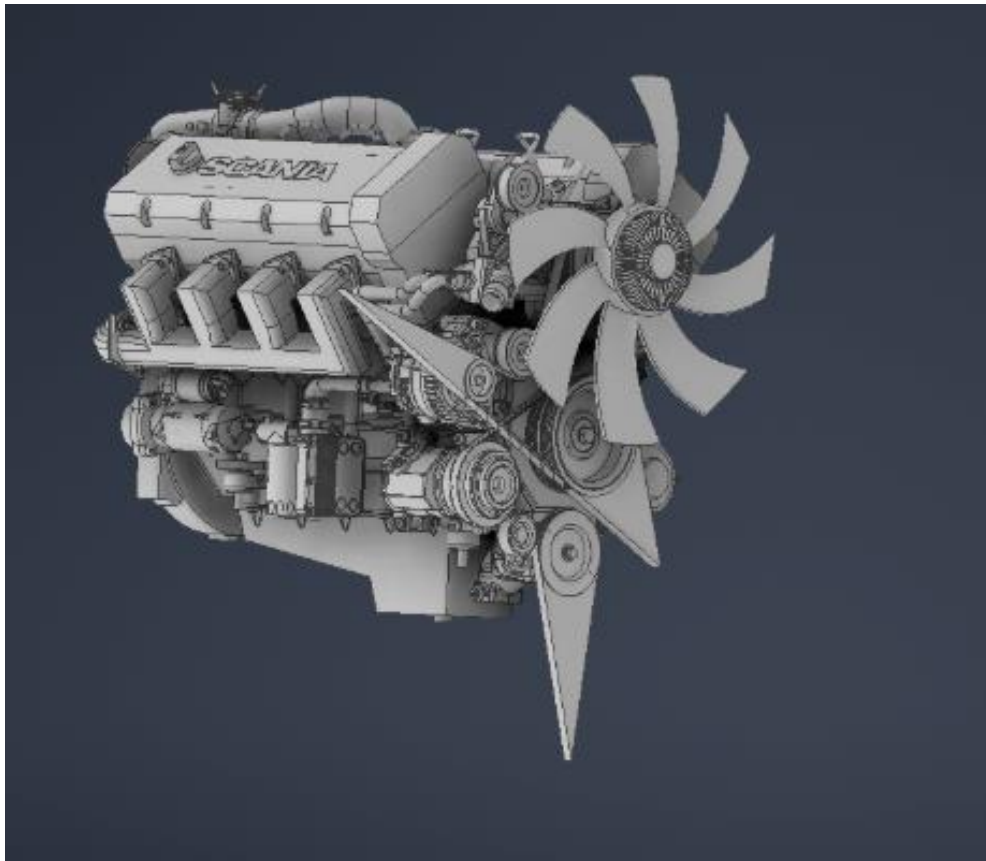
Bilaga 17: *Ruleset i iLogic broswer*



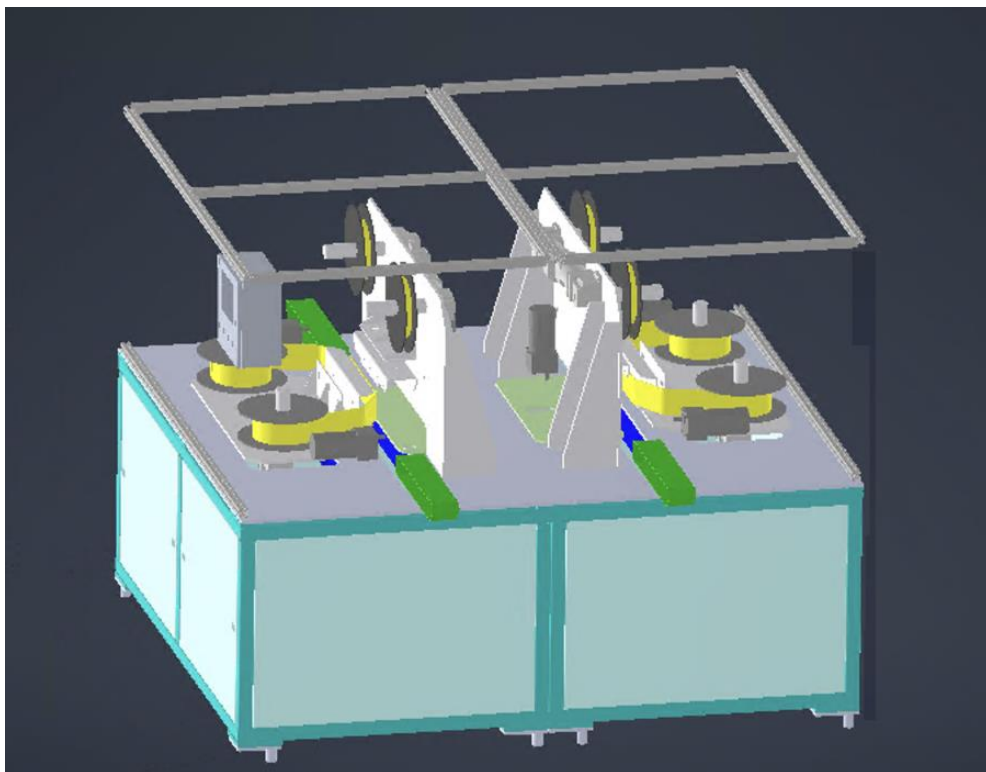
Bilaga 18: *Ruleset i iLogic broswer*



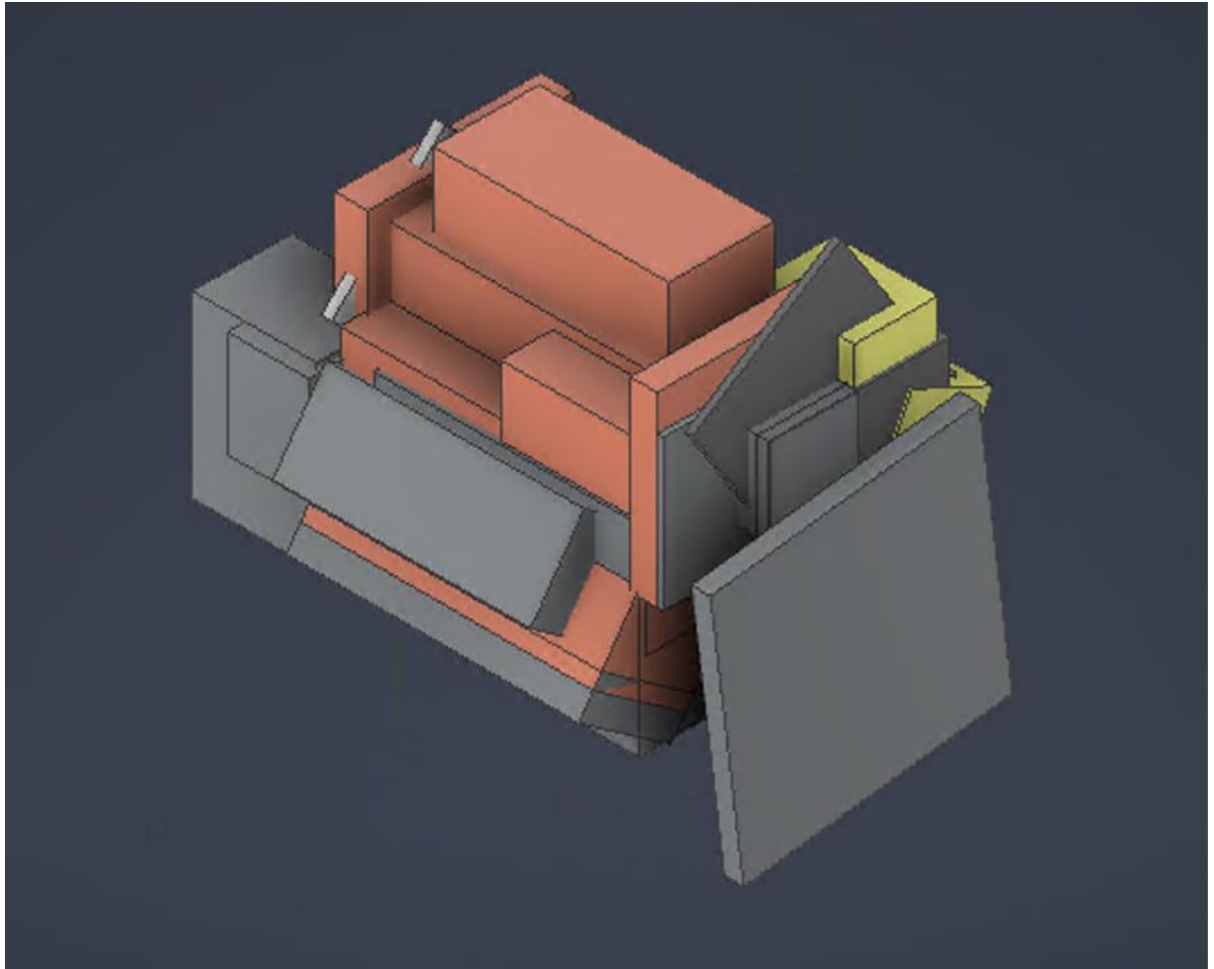
Bilaga 19: *Engine V8-XT Turbo* efter förenkling med ruleset (1000 cm³) i Autodesk Inventor



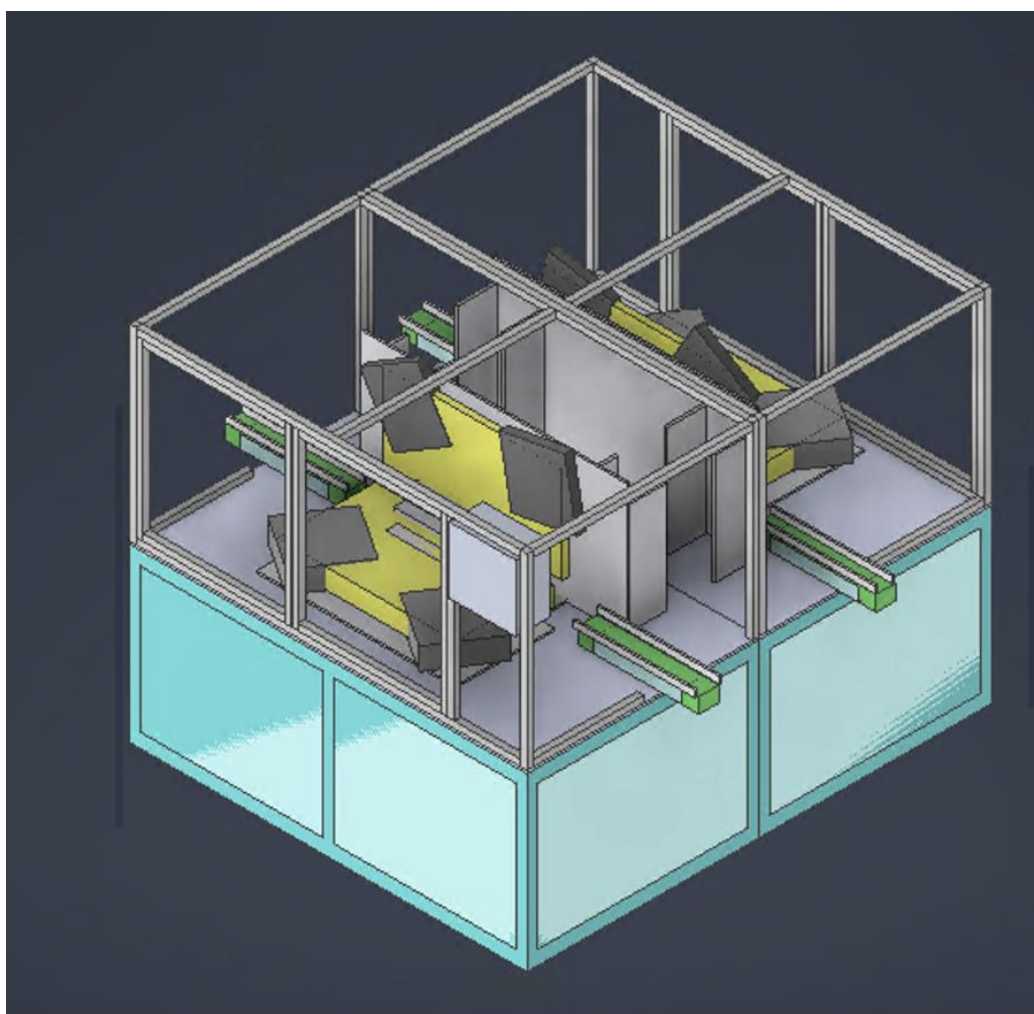
Bilaga 20: *Engine V8-XT Turbo* efter förenkling med Fillet i Autodesk Inventor



Bilaga 22: Cleaner station efter förenkling med ruleset (300c m3) i Autodesk Inventor



Bilaga 22: *Engine V8-XT Turbo* efter förenkling med Remove the most detail i Autodesk Inventor



Bilaga 24: Cleaner station efter förenkling med Remove the most detail i Autodesk Inventor



CHALMERS