

ACADEMIA



# РЕВЕРС-ИНЖИНИРИНГ

CREAFORM ACADEMIA

LAST UPDATE: APRIL 2018



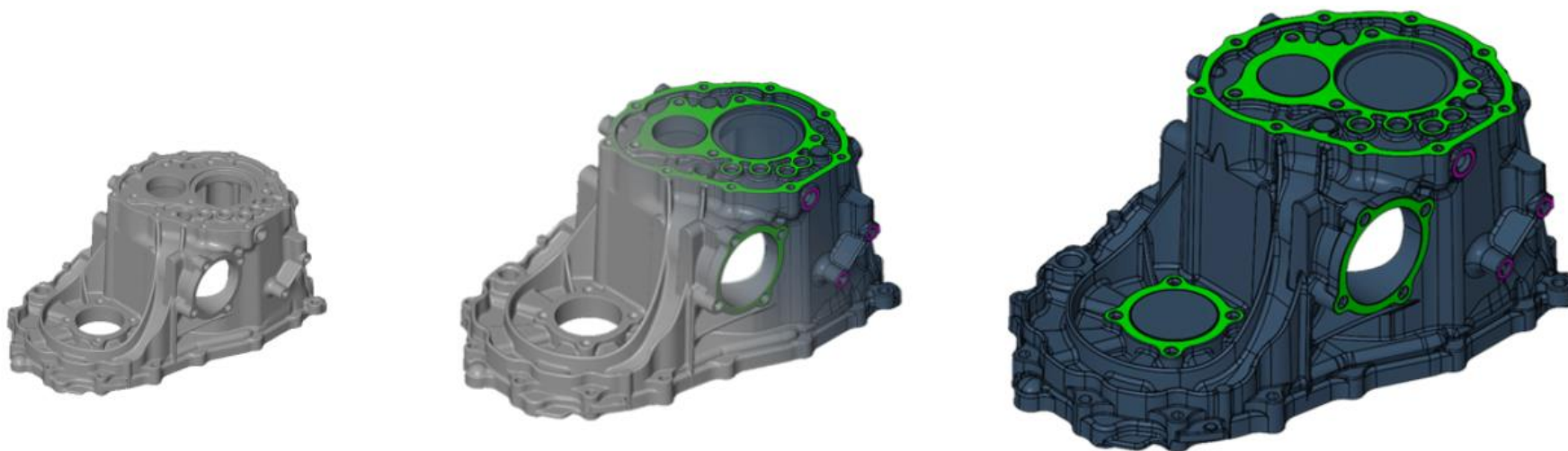
# Содержание

- Введение в реверс-инжиниринг
- Как это работает
- Методологии реверс-инжиниринга
- Программное обеспечение
- Рабочие процессы проектирования
- Примеры
- Приложение А - Глоссарий терминов

# Введение в реверс-инжиниринг

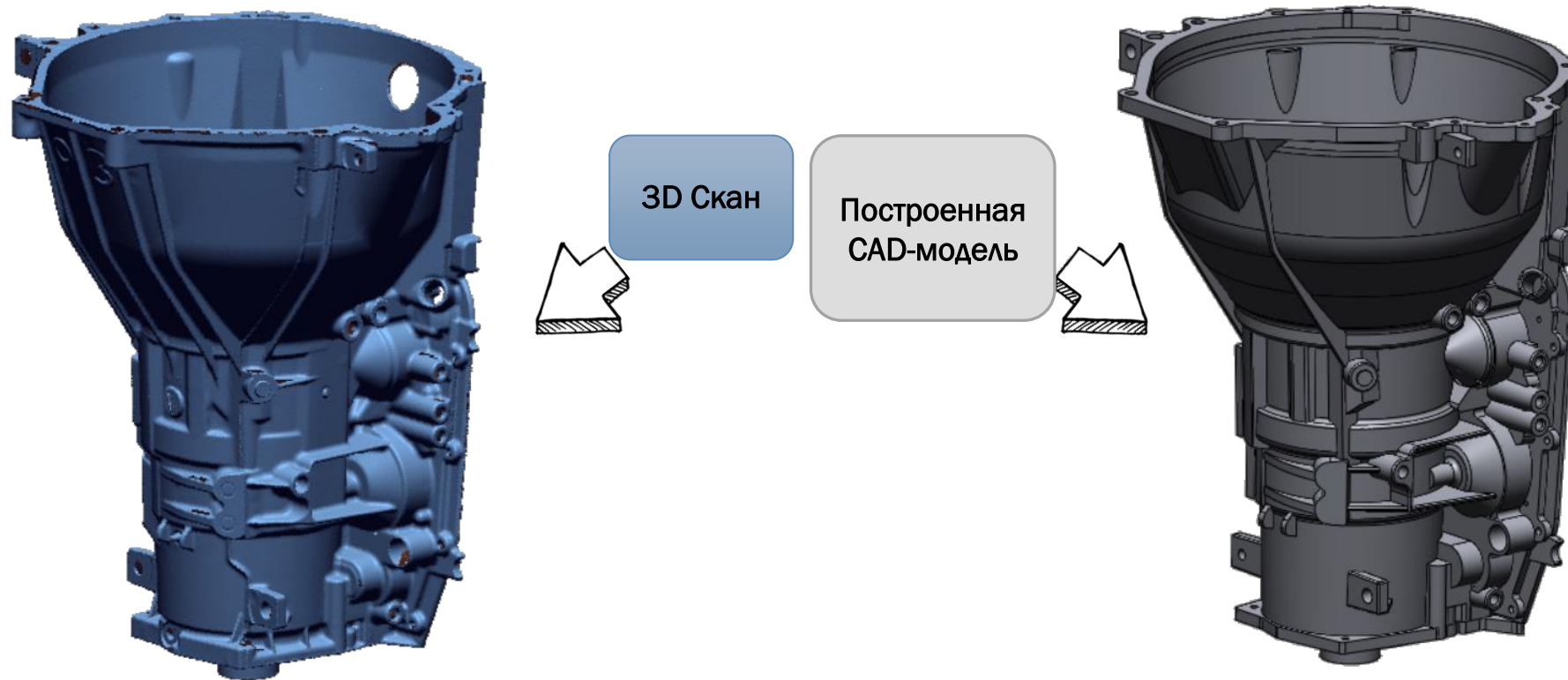
## ЧТО ТАКОЕ РЕВЕРС-ИНЖИНИРИНГ?

- Это процесс, в котором изучают объект, устройство или систему, чтобы понять, как они устроены, работают и какие у них характеристики.



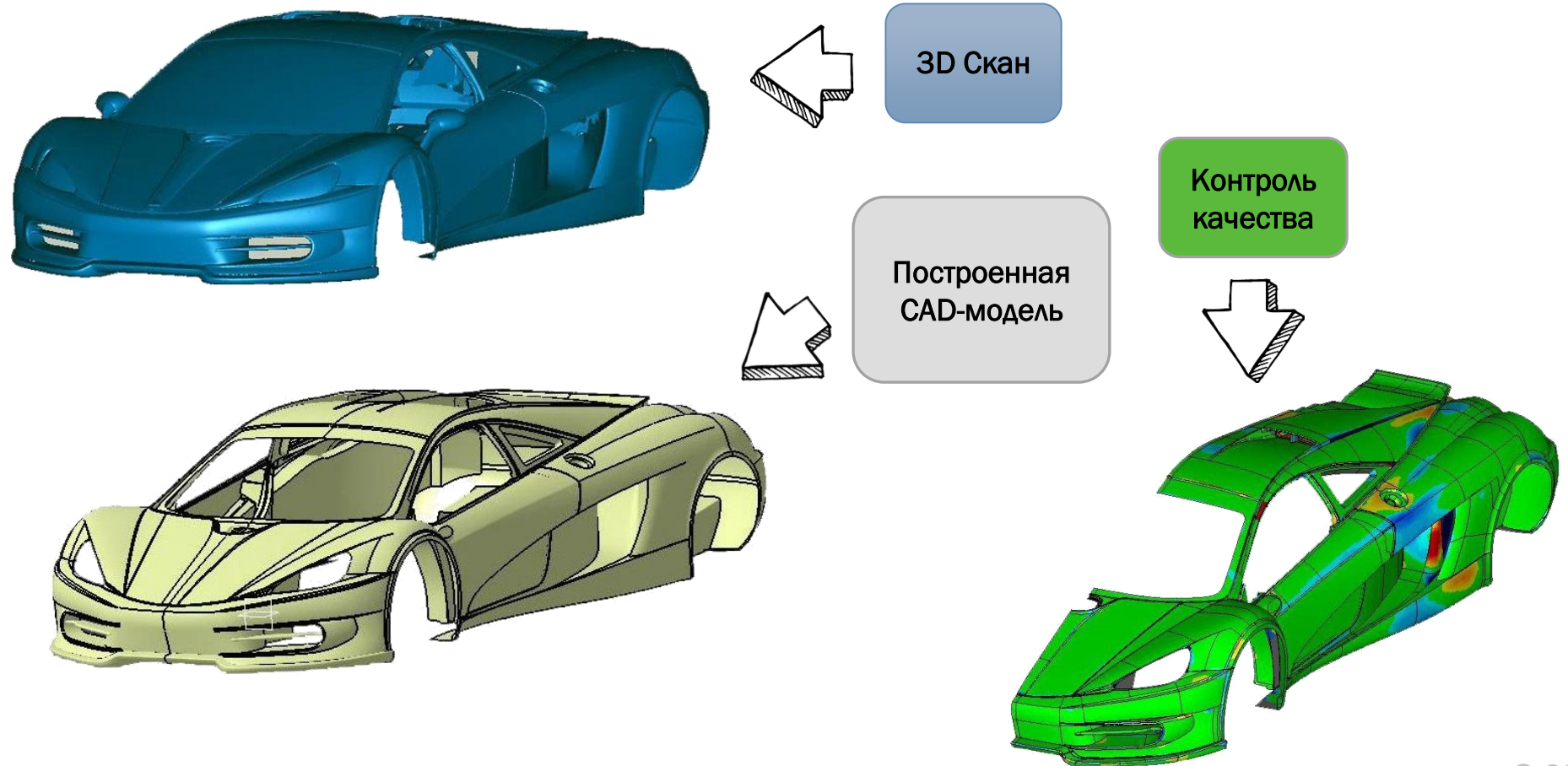
# Введение в реверс-инжиниринг

ПРИМЕР РЕВЕРС-ИНЖИНИРИНГА (RE)



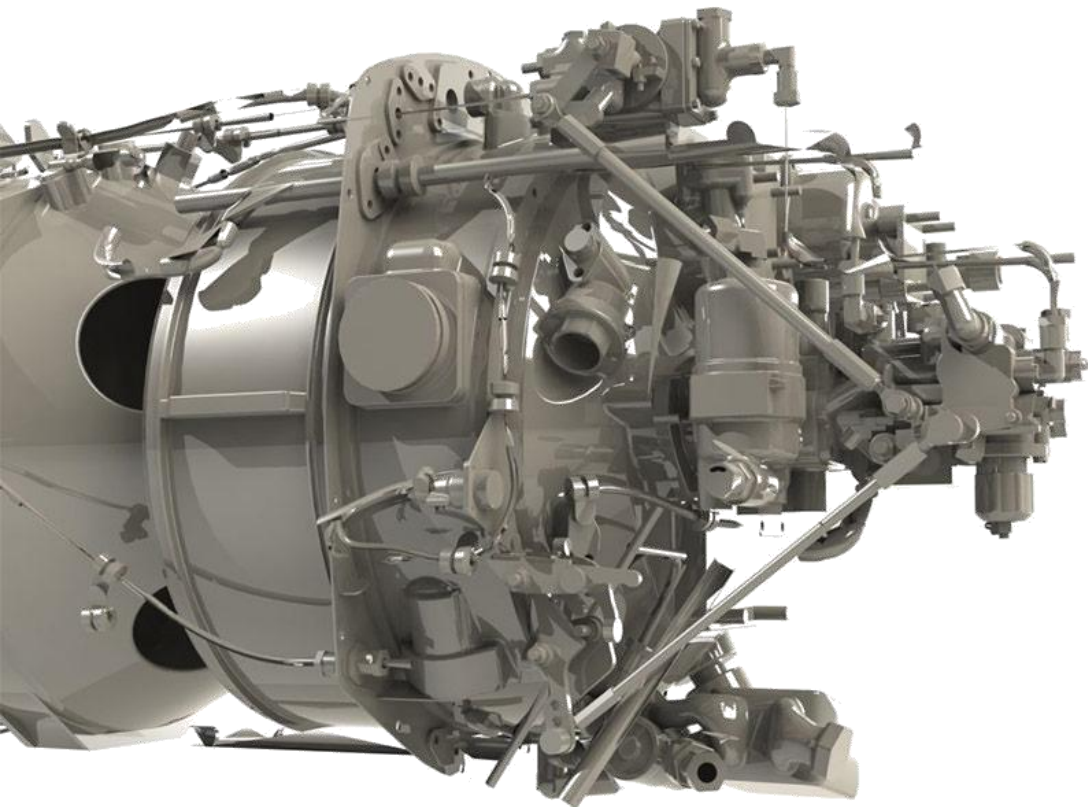
# Введение в реверс-инжиниринг

ПРИМЕР РЕВЕРС-ИНЖИНИРИНГА (RE)



# Введение в реверс-инжиниринг

ПРИМЕР РЕВЕРС-ИНЖИНИРИНГА (RE)



- 3D-модель с обратным проектированием, созданная на основе полного сканирования реактивного двигателя **Pratt & Whitney (PT6)**
- Целью данного проекта было подтверждение отсутствия помех между двигателем и конструкцией крыла самолета.

# Введение в реверс-инжиниринг

## ПРИМЕР РЕВЕРС-ИНЖИНИРИНГА (RE)

- 3D-модель, созданная на основе полного сканирования **салона самолета**
- Для определения **положения элементов конструкции**
- Переоборудование самолета из **пассажирского в грузовой**





# Введение в реверс-инжиниринг

## ПОЧЕМУ ИНЖЕНЕРЫ ИСПОЛЬЗУЮТ ОБРАТНЫЙ ИНЖИНИРИНГ?

- Оригинальная CAD-модель не поддерживает модификации или стандартные методы производства.
- Оригинальный производитель больше не существует или больше не выпускает продукт, который всё ещё необходим.
- Необходимо заменить изношенные или повреждённые компоненты, для которых нет доступных источников поставки.
- Недостаток дополнительных деталей (запасных частей).
- Обновление устаревших деталей, оснастки или старых производственных процессов.
- Анализ характеристик продуктов конкурентов.
- Поиск способов улучшения производительности или новых функций продукта.

ACADEMIA

# РЕВЕРС-ИНЖИНИРИНГ



КАК ЭТО РАБОТАЕТ?



# Как это работает?

- В машиностроении этот процесс направлен на создание виртуальной 3D модели из существующего физического объекта для его копирования или улучшения.
1. **3D-сканирование сетки:** Входной этап процесса реверс-инжиниринга.
  2. **Извлечение информации:** Использование сетки как 3D-измерения объекта и извлечение данных о размерах (геометрия, размеры, сечения), полезных для обратного моделирования.
  3. **CAD-моделирование:** Создание модели с помощью систем автоматизированного проектирования (CAD).
  4. **Проверка:** Сравнение полученной CAD-модели с сеткой.
  5. **Анализ обратной связи:** Использование сравнения для оптимизации обратного моделирования в CAD.
  6. **Экспорт финальной модели:** На выходе процесса получается CAD-модель.



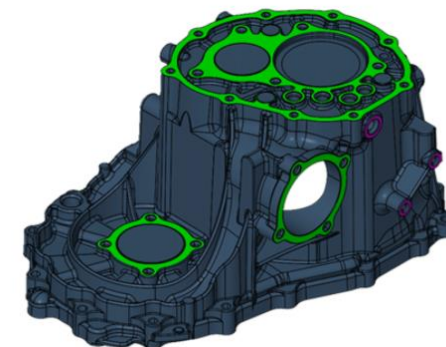
# Как это работает?

## ОСНОВНАЯ ЦЕЛЬ

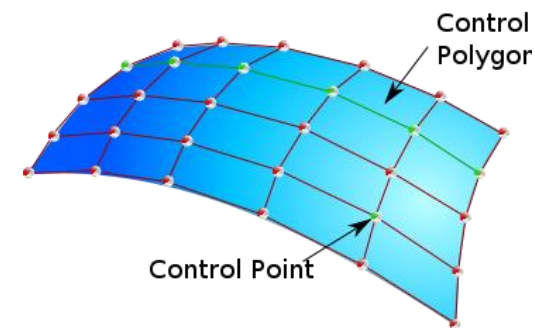
- Создание модели CAD на основе существующей детали

## ВАРИАНТЫ вывода:

1. **Параметрическая модель:** состоит из параметрических объектов и функций, создающих твёрдые тела.
2. **Поверхностная модель:** состоит из свободных форм поверхностей, состоящих из участков и контрольных точек.
3. **Гибридная модель:** сочетает твёрдые тела и поверхности.



Parametric model

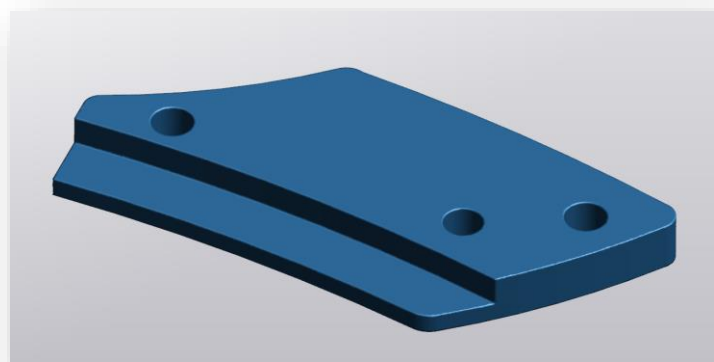


Surface model

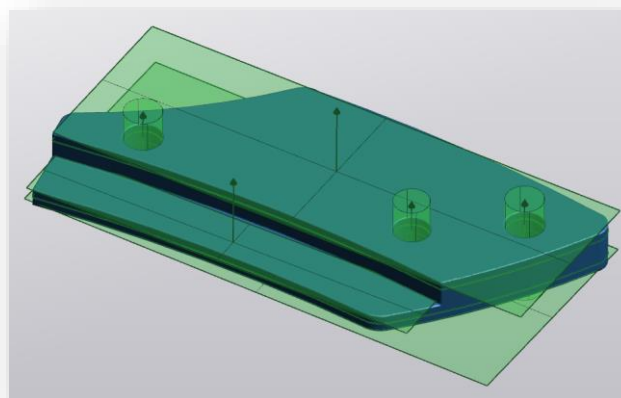
# Как это работает?

## 1. ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

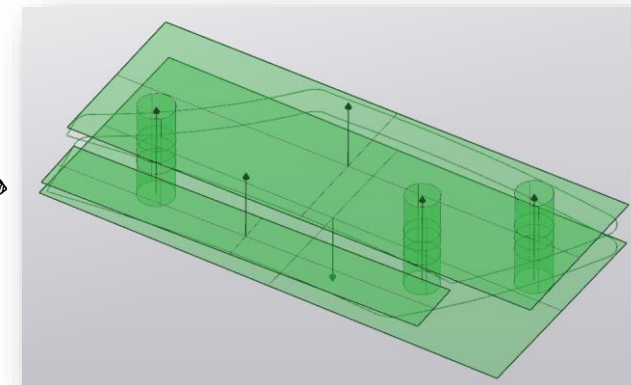
- ✓ Извлечение информации из отсканированных данных (сетки) путем создания **параметрических объектов** с использованием выделений на сетке.



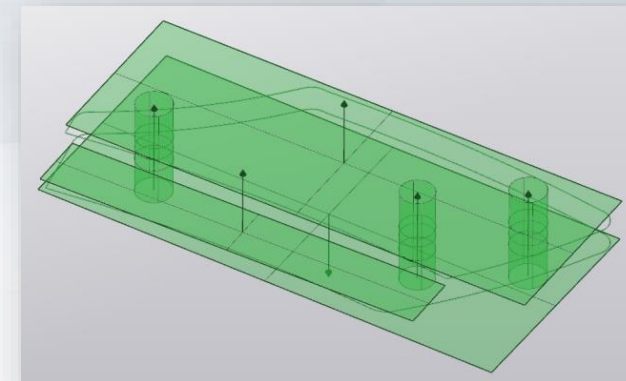
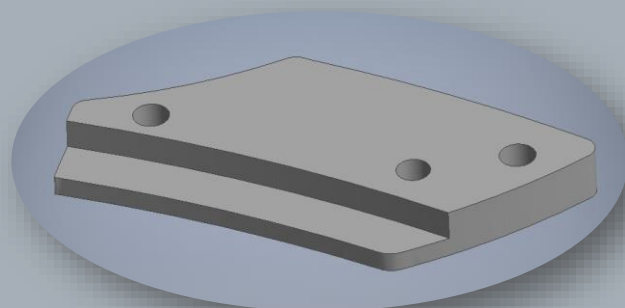
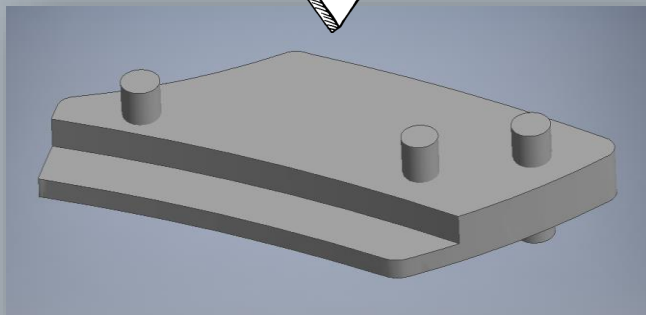
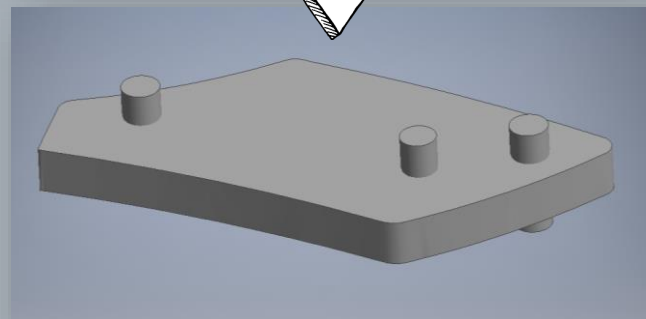
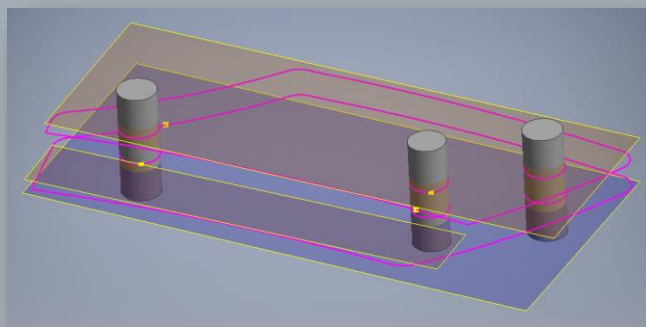
3D-скан (сетка)



Параметрические объекты,  
извлечённые на сетке  
(плоскости + цилиндры +  
сечения).



# Программное обеспечение CAD

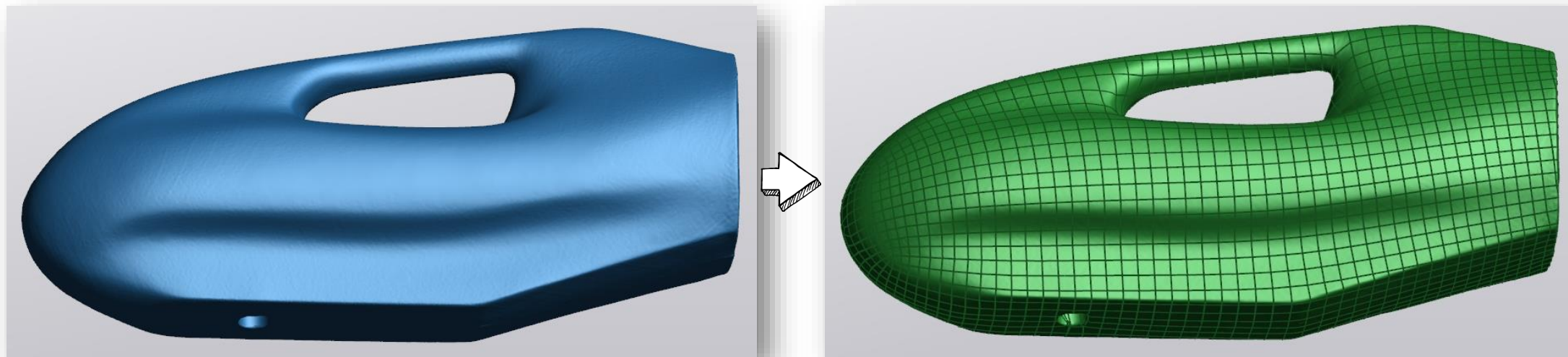


Перенос объектов  
в программное  
обеспечение CAD

# Как это работает?

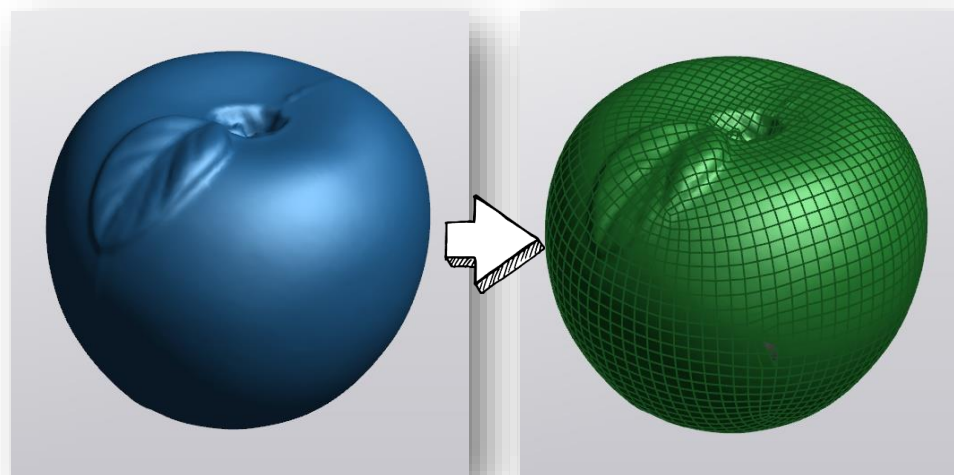
## 2. ПОВЕРХНОСТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

- ✓ Воссоздание точной формы отсканированного объекта (сетки) путём создания соответствующей свободной поверхности.
- ✓ Неоднородный рациональный В-сплайн (NURBS) — это математическая модель, часто используемая для создания и представления свободных поверхностей.



# Как это работает?

## 2. ПОВЕРХНОСТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ



Пример поверхностного  
моделирования

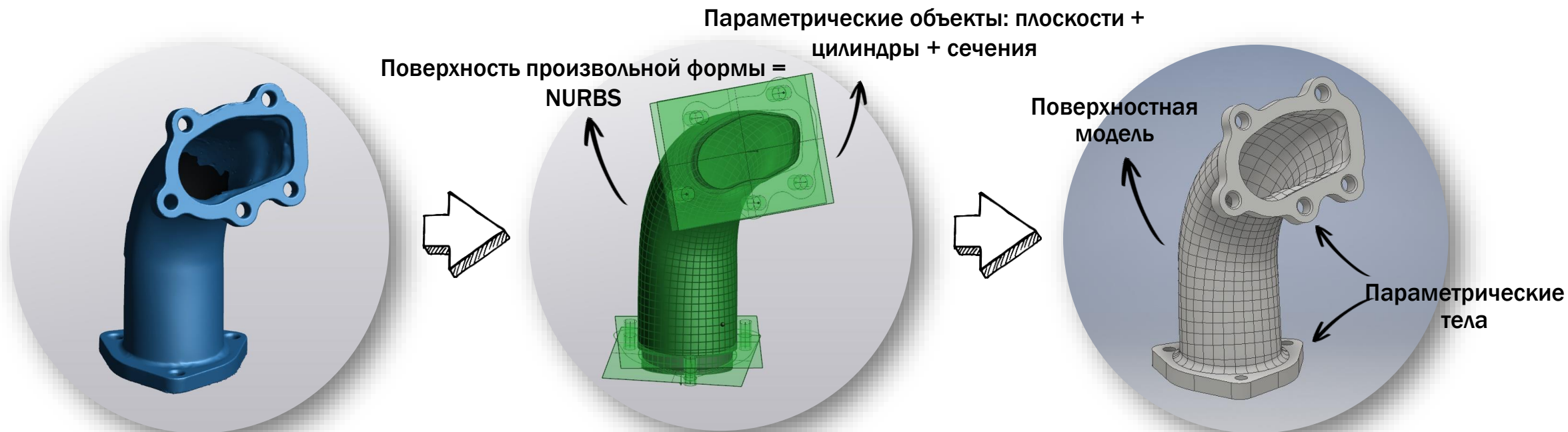


Пример поверхностного  
моделирования

# Как это работает?

## 3. ГИБРИДНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

- ✓ Создание 3D модели с использованием параметрических объектов и свободных поверхностей для представления всех характеристик отсканированного объекта, которые необходимо воспроизвести или улучшить.



ACADEMIA

# РЕВЕРС-ИНЖИНИРИНГ



МЕТОДОЛОГИЯ РЕВЕРС-ИНЖИНИРИНГА



# Методология реверс-инжиниринга

Различные методики создания CAD-модели на основе существующей детали

RE Методология	Цель	Результат
1. Намерение проектирования	Воспроизведение CAD-модели, использованной для производства объекта	Параметрическая модель
2. Точное воспроизведение	Воспроизведение точной копии объекта в его текущем состоянии	Поверхностная модель
3. Комбинация методов	Комбинирование обоих методов для различных частей объекта	Гибридная модель



# Методология реверс-инжиниринга

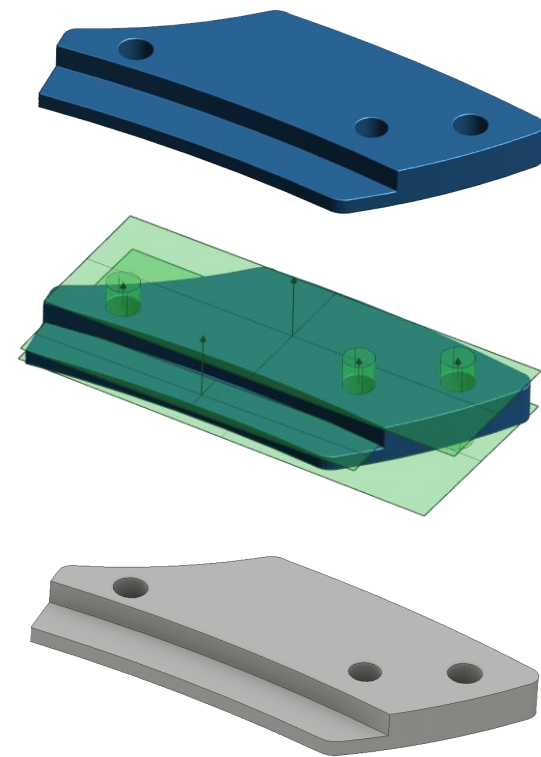
## 1. ПРОЕКТНЫЙ ЗАМЫСЕЛ

### ✓ Цель

- Создать 3D-модель с особыми характеристиками на основе проанализированного проектного замысла и элементов из данных 3D-сканирования.

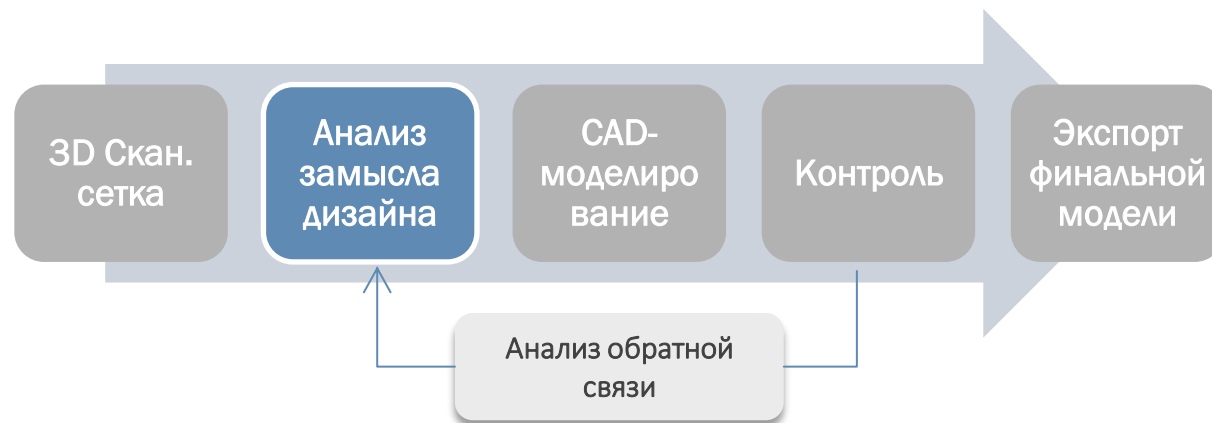
### ✓ Как?

- Понять, как был задуман объект
- Воспроизвести процесс разработки
- Снизить затраты на производство (если требуется)



# Методология реверс-инжиниринга

## ПРОЕКТНЫЙ ЗАМЫСЕЛ: ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ РЕВЕРС-ИНЖИНИРИНГ (RE)



1. **Исходные данные для процесса реинжиниринга**
2. **Анализ замысла дизайна:** анализ и извлечение размерных свойств
3. **Моделирование в САПР:** Моделирование с помощью автоматизированного проектирования (CAD)
4. **Контроль:** Сравнение полученной CAD-модели с сеткой
5. **Анализ обратной связи:** Используйте сравнение для оптимизации обратного моделирования в САПР
6. **Экспорт окончательной модели:** Результатом процесса является модель CAD

# Методология реверс-инжиниринга

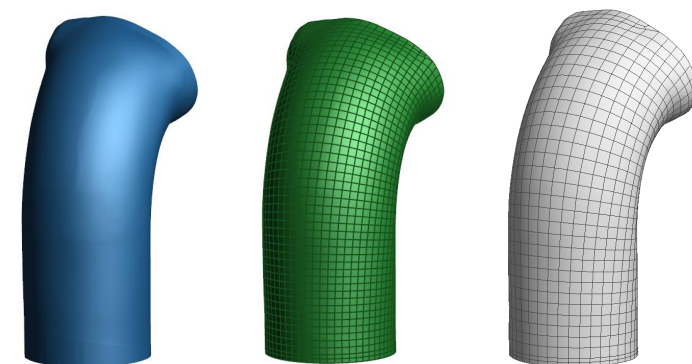
## 2. ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ КАК ЕСТЬ

### ✓ Цель

- Создание модели поверхности свободной формы на основе оптимизированной сетки 3D-сканирования

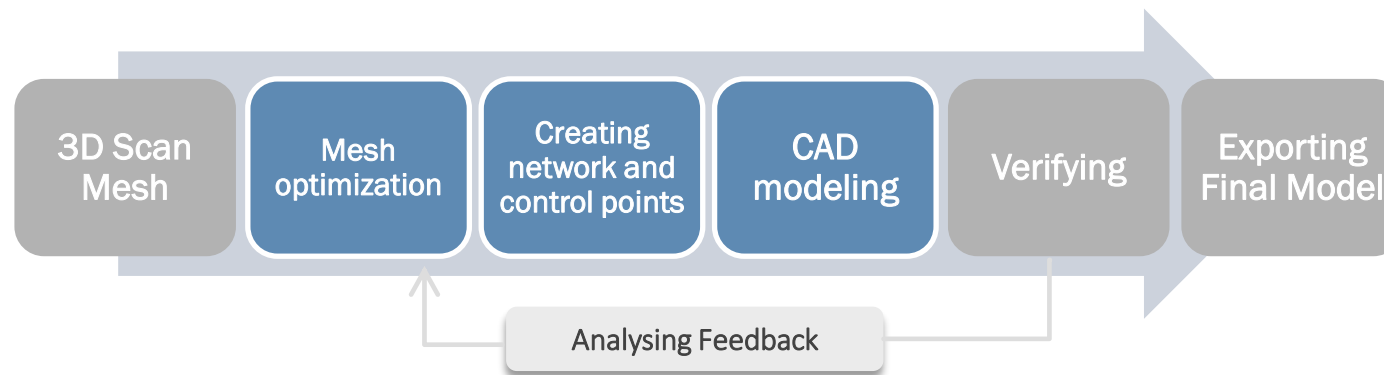
### ✓ Как?

- Создание 3D-сеточной модели
- Улучшение и оптимизация этой сетки (заполнение отверстий, сглаживание, обрезка, улучшение границ и т.д.)
- Создание точных свободных поверхностей с контрольными точками на оптимизированной сетке (NURBS)



# Методология реверс-инжиниринга

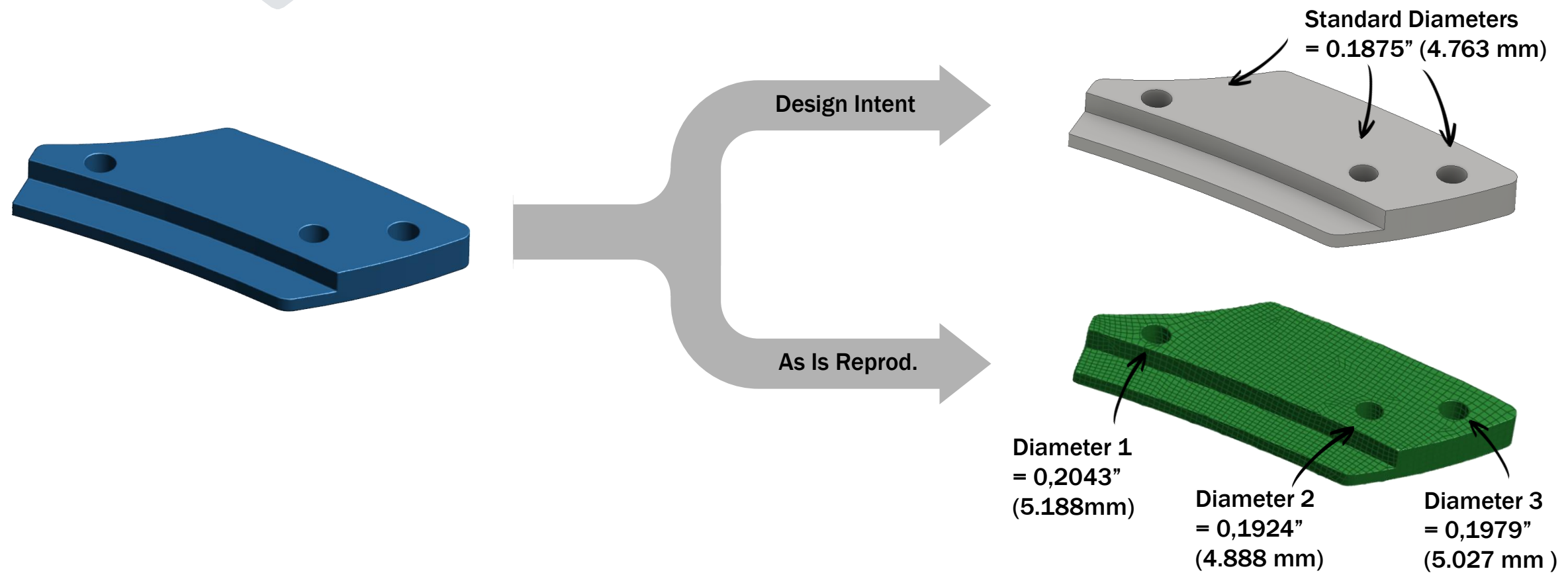
## ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ КАК ЕСТЬ



1. **3D scan mesh:** Input of the reverse engineering process
2. **Mesh optimization:** cleaning and improving operations on the mesh
3. **Creating network:** define parameters and layout of the surface network and its control points
4. **CAD modeling:** Computer-aided design (CAD) surface modeling
5. **Verifying:** Comparing the resulting CAD model to the mesh
6. **Analysing feedback:** Use the comparison to optimize your CAD reverse modeling
7. **Exporting final model:** Output of the process is a CAD model

# Reverse Eng. Methodologies

## METHODOLOGIES COMPARISON





# Reverse Eng. Methodologies

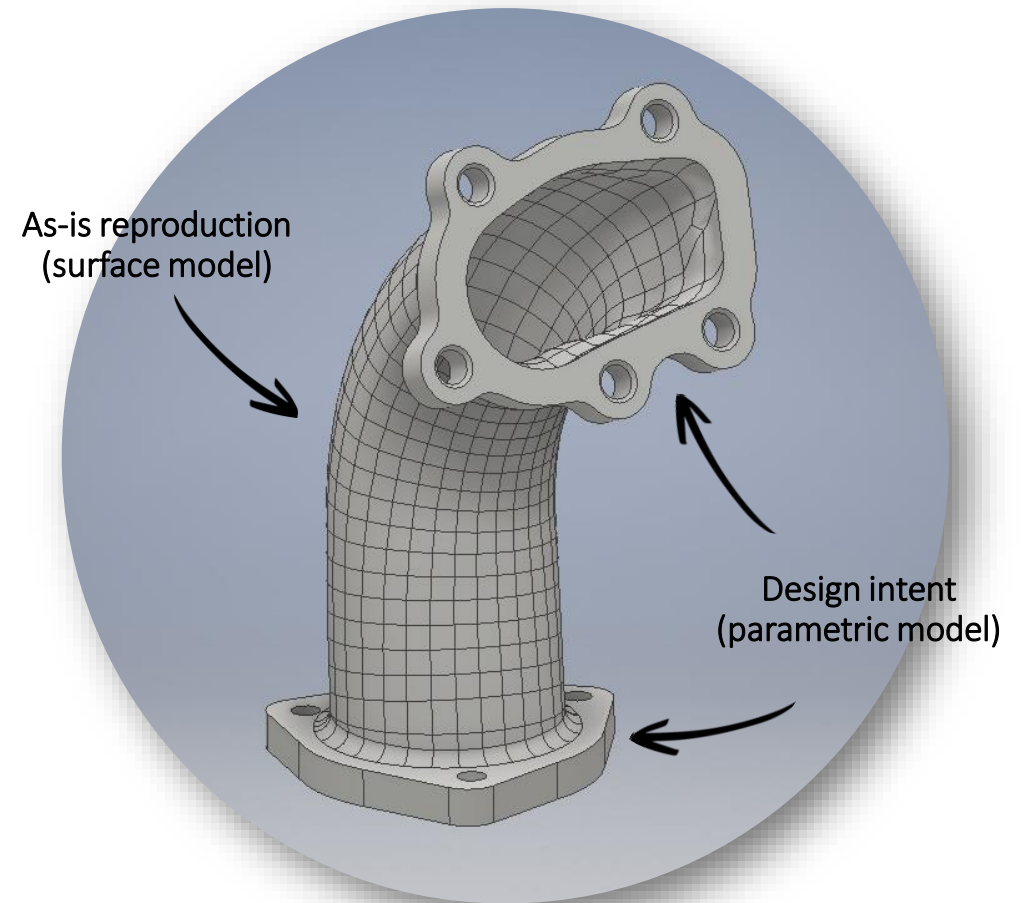
## 3. HYBRID MODELING

### ✓ Goal

- Combining both methodologies for different areas of the object

### ✓ How ?

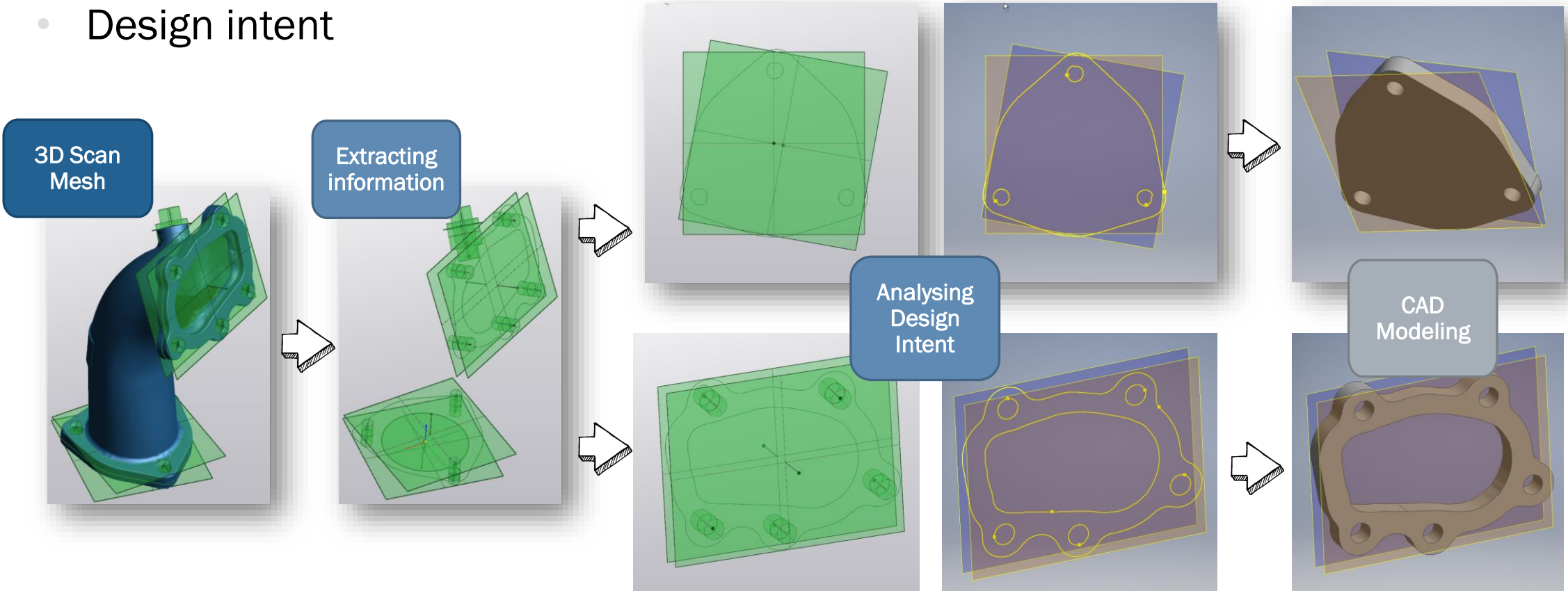
- Define the most relevant methodology for each area of the part
- Apply the methodologies separately
- Combine the results through CAD modeling



# Reverse Eng. Methodologies

## EXAMPLE OF HYBRID MODELING

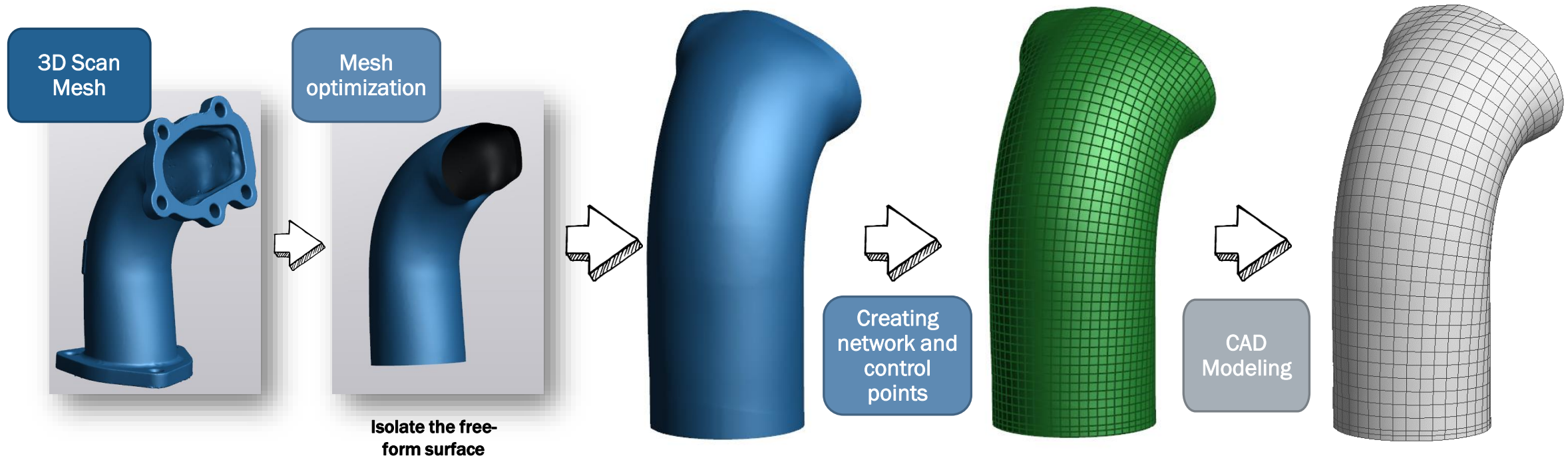
- Design intent



# Reverse Eng. Methodologies

## EXAMPLE OF HYBRID MODELING

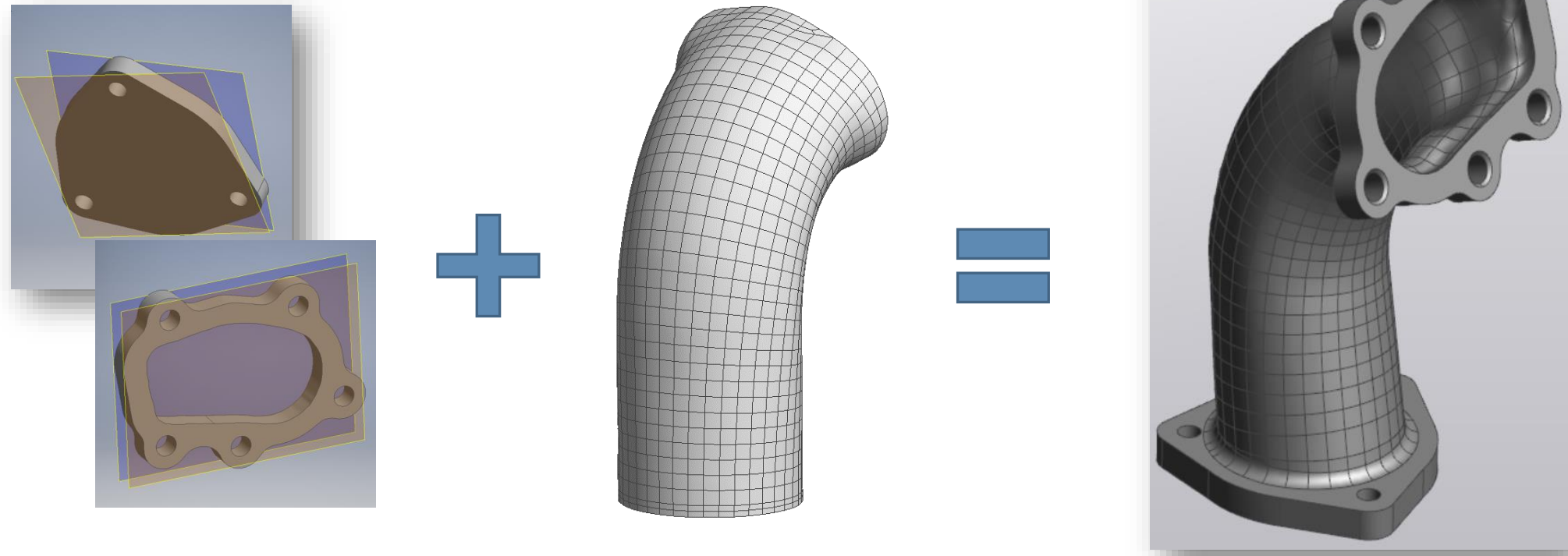
- As-is reproduction



# Reverse Eng. Methodologies

## EXAMPLE OF HYBRID MODELING

- Combining the results



ACADEMIA

# Reverse Engineering



SOFTWARE

# Software



## CAD VS REVERSE ENGINEERING SOFTWARE

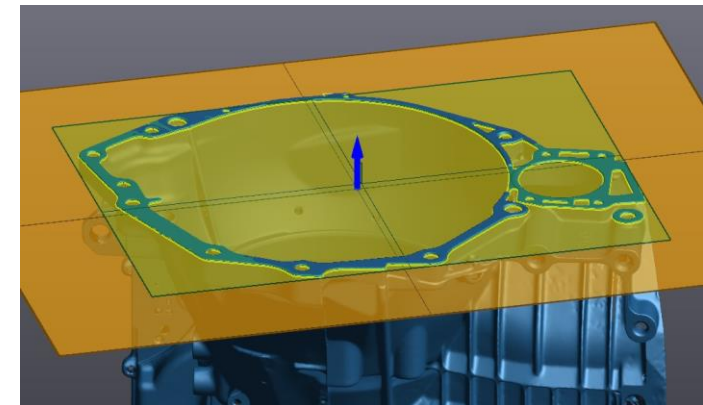
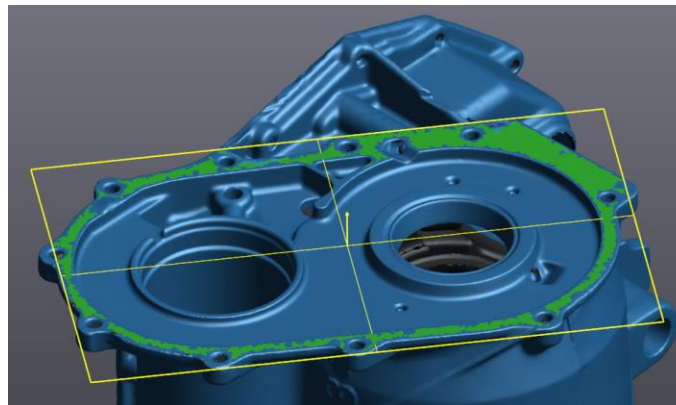
- **CAD (Computer Aided Design) Software**
  - Creates, visualizes, and simulates designs in digital feature-based models
  - Defines feature by customizable parameters (parametric)
  - Keeps an editable history of how the model was built
- ✓ **Reverse Engineering Software**
  - Works easily on meshes (clean up, improvement, and optimization)
  - Can use the mesh and its components (triangles, vertices) directly to extract dimensional information



# Software

## CAD VS. REVERSE ENGINEERING SOFTWARE

- Some CAD software also include reverse engineering functionalities
- The main distinctive feature of the reverse engineering functionalities is the capacity to extract information directly from the 3D scan (mesh)
  - Triangle selection
  - Vertices selection
  - Cross-sections



ACADEMIA

# Reverse Engineering

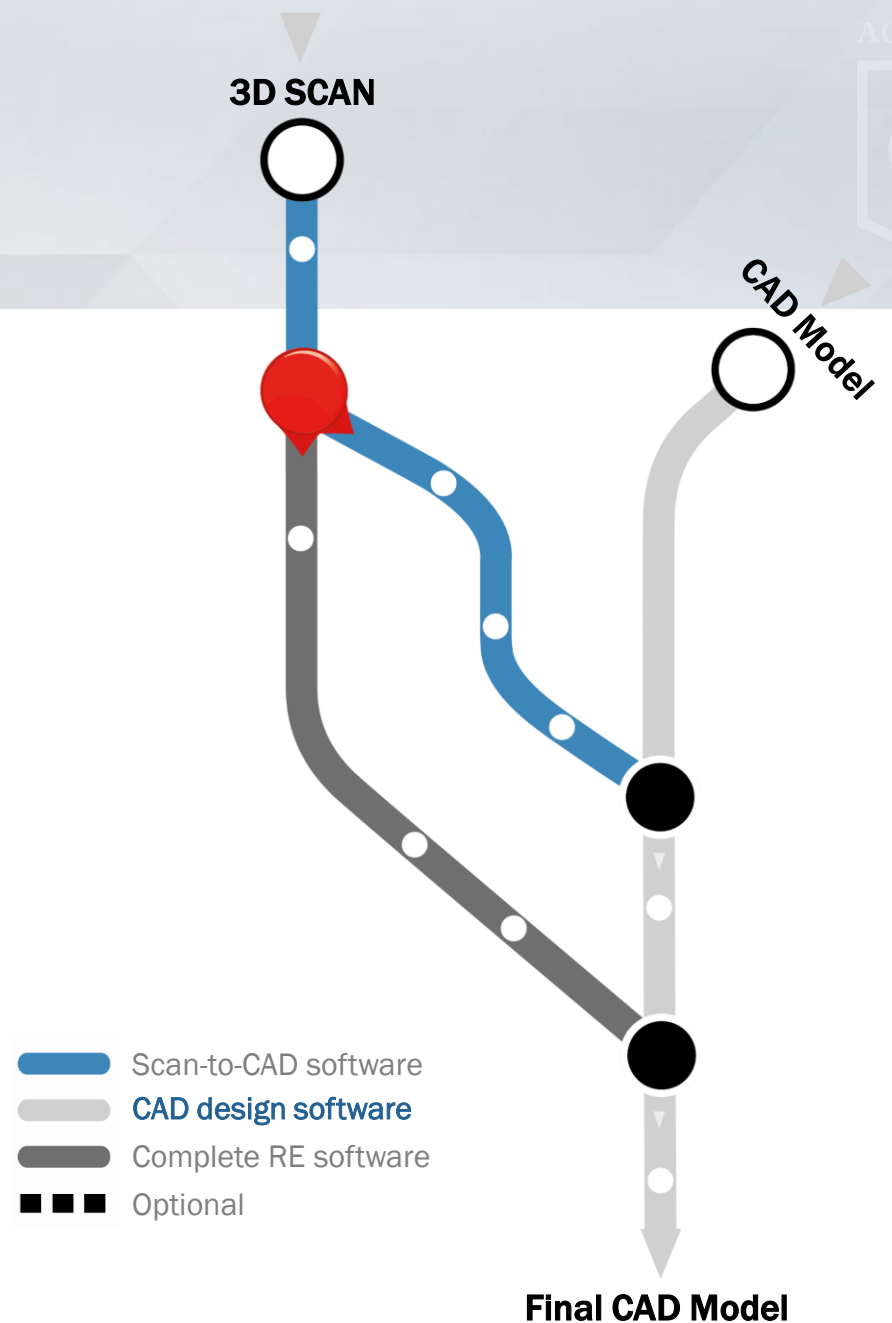


DESIGN WORKFLOWS



# Design Workflows

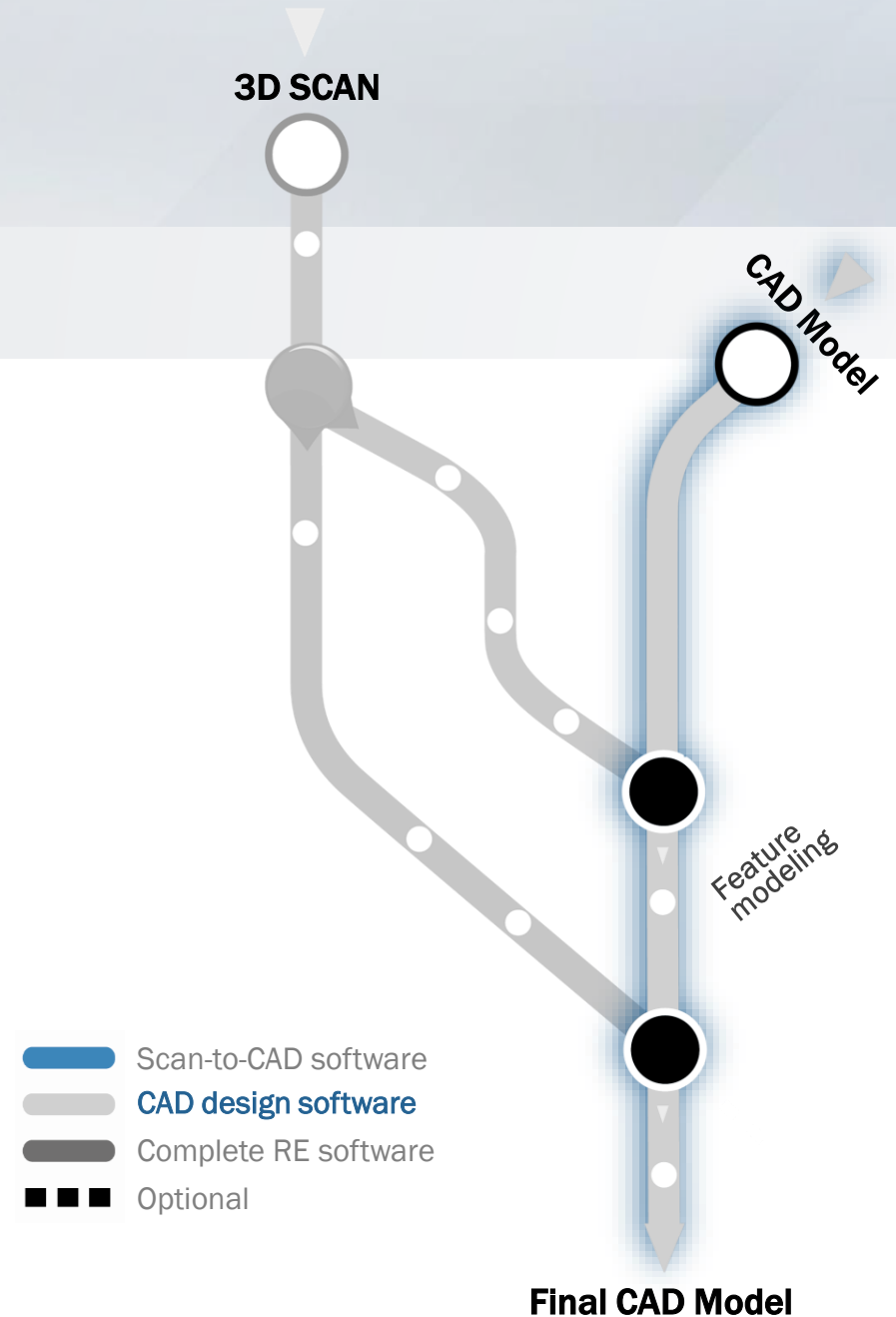
- There are **different software workflows/paths** for CAD design involving reverse engineering
- Selecting the appropriate workflow will depend on the **requirements of the project** and the **availability** of the different software



# Design Workflows

## CAD DESIGN

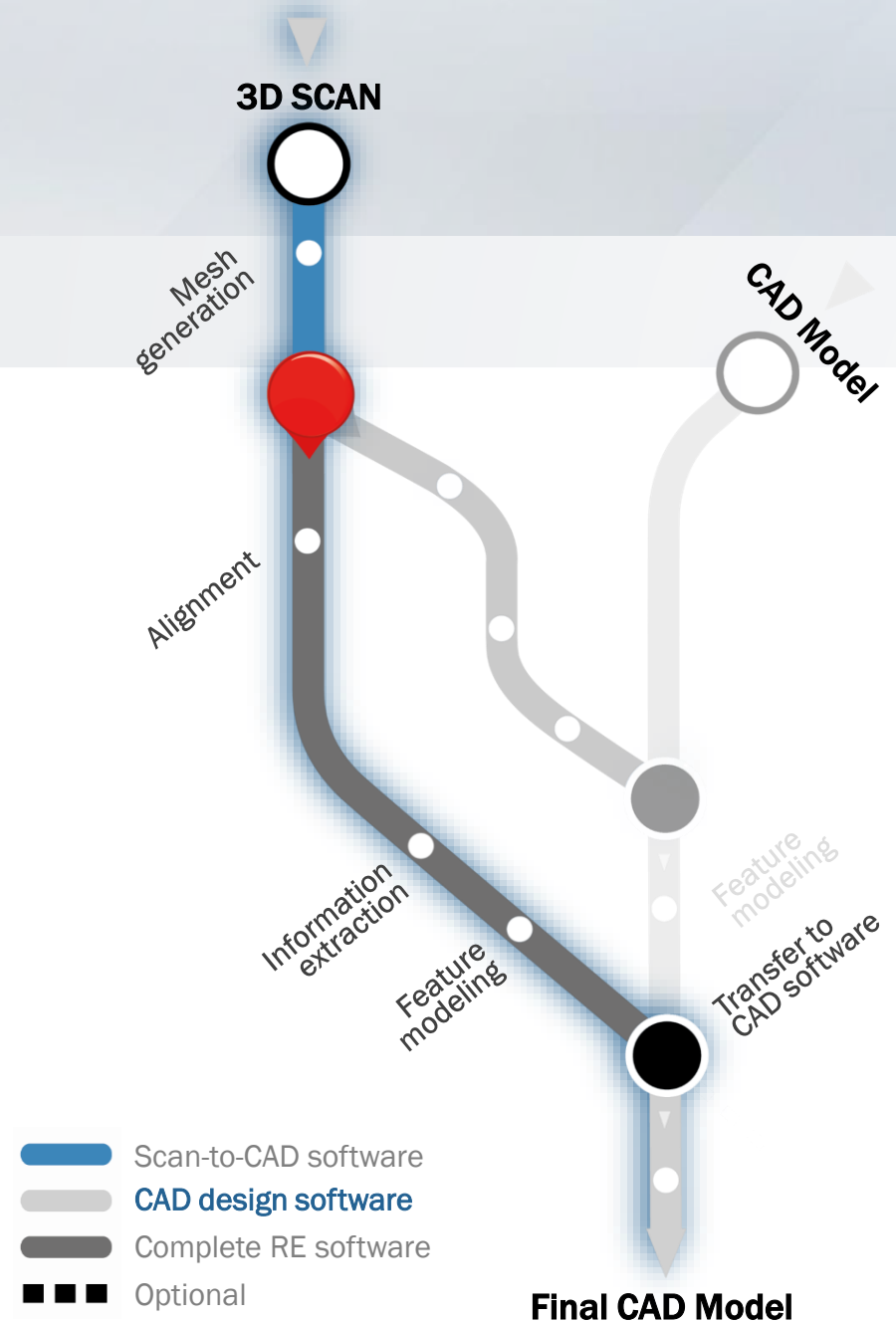
- Starts directly in a CAD software
- Regular CAD design workflow without reverse engineering
  1. Feature modeling
  2. Final CAD model



# Design Workflows

## COMPLETE RE SOFTWARE

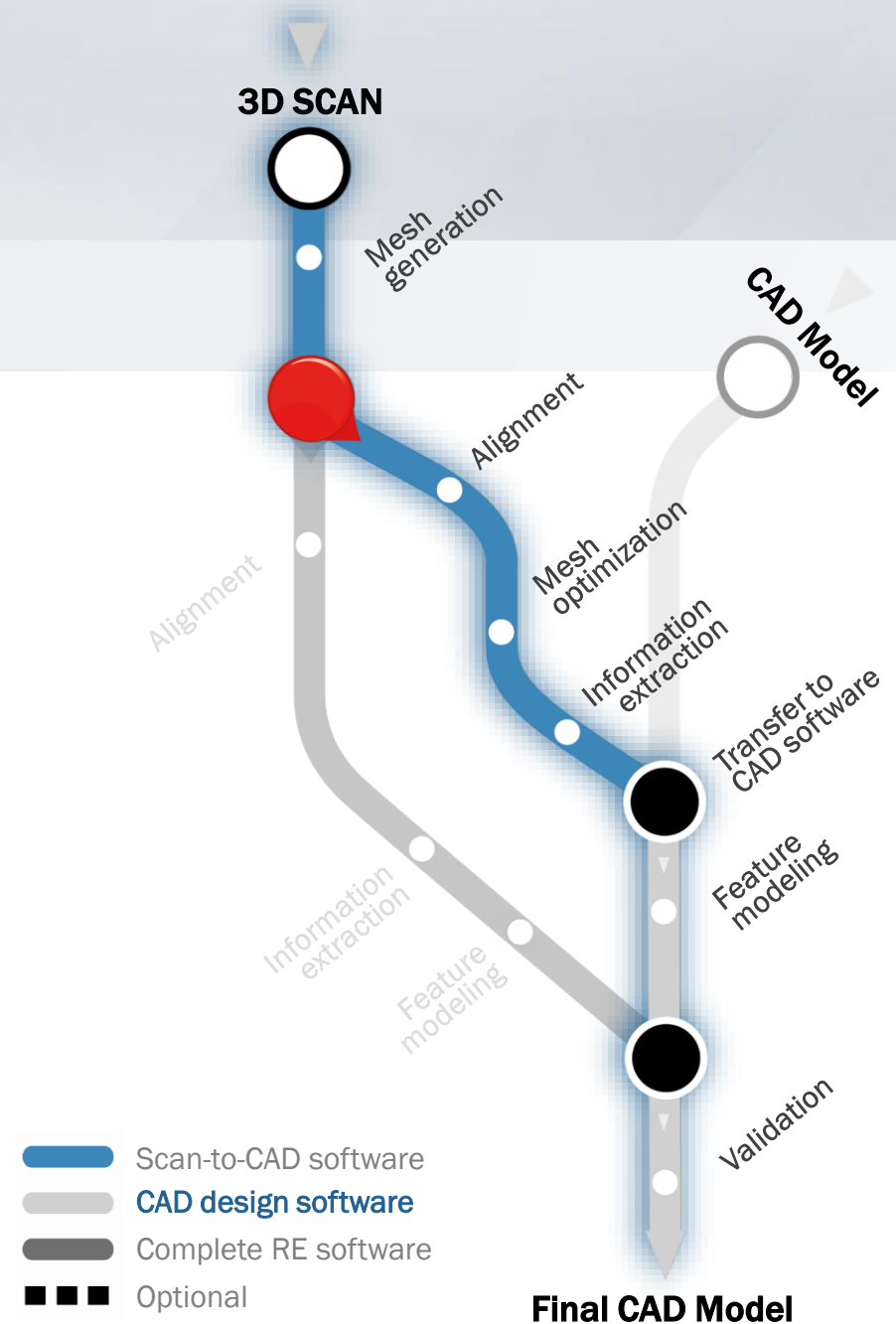
- Starts with a 3D scan mesh
- Reverse engineering operations and some CAD operations are done before transferring to the CAD software
  1. **Mesh generation:** creating the mesh
  2. **Alignment:** aligning the mesh in the final desired coordinate system
  3. **Information extracting:** extracting dimensional properties of the mesh
  4. **Feature modeling:** CAD operations performed in the RE software
  5. **Transfer to CAD software**
  6. **Final CAD model**



# Design Workflows

## SCAN-TO-CAD SOFTWARE

- Starts with a 3D scan mesh
- Reverse engineering operations are done before transferring to the CAD software
  1. Mesh generation: creating the mesh
  2. Alignment: aligning the mesh in the final desired coordinate system
  3. Mesh optimization: cleaning and improving operations on the mesh
  4. Information extracting: extracting dimensional properties of the mesh
  5. Transfer to CAD software
  6. Feature modeling: CAD operations
  7. Validation: Comparing the resulting CAD model to the mesh
  8. Final CAD model



ACADEMIA

# Reverse Engineering

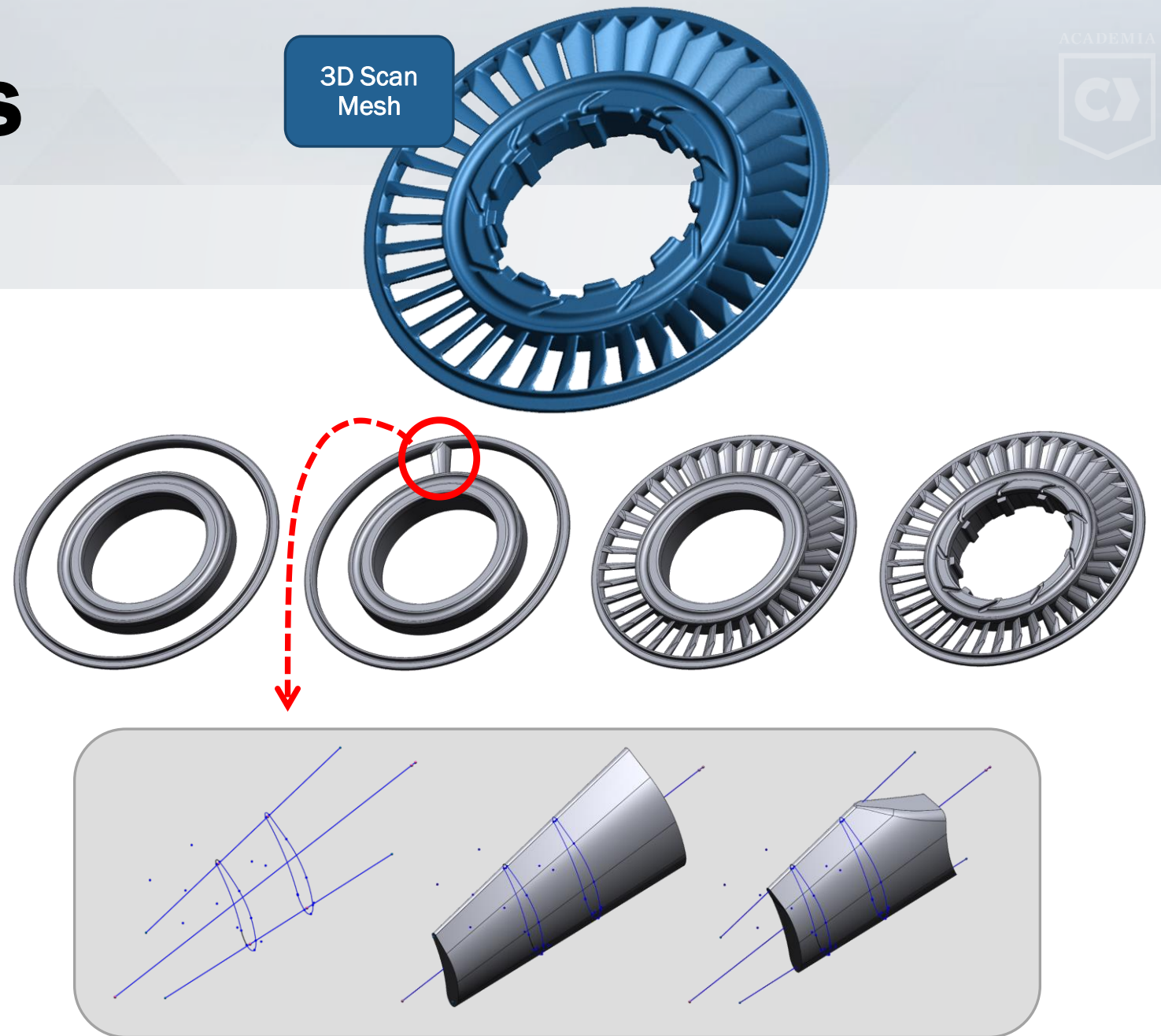


EXAMPLES

# Other Examples

## SOLID MODELING

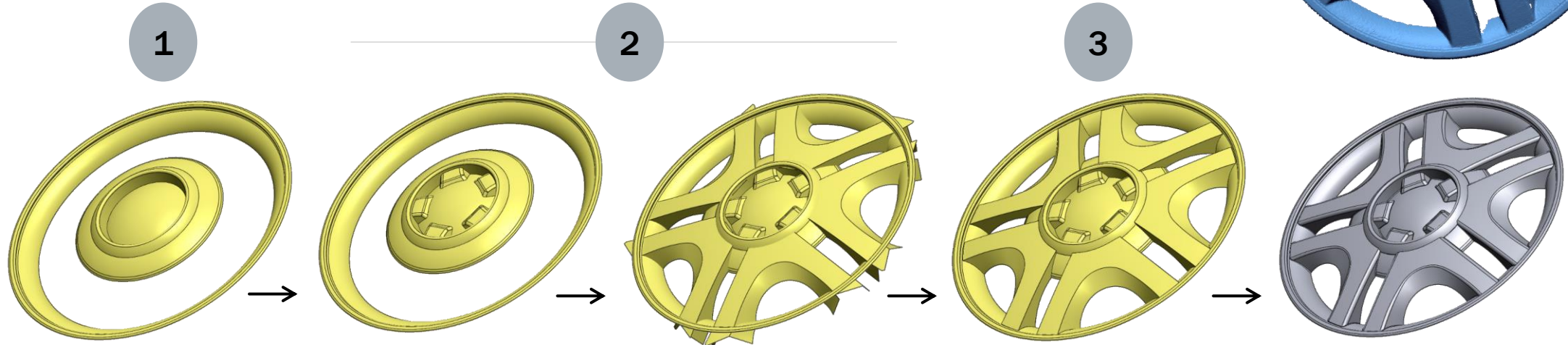
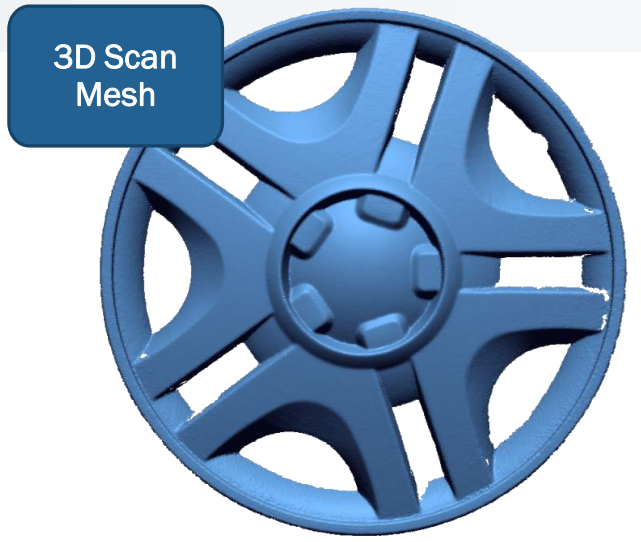
1. Create the structure by **solid revolutions**
2. Design the blade by **extrusion using cross-sections**
3. Duplicate the blade using **circular patterns**
4. Add details in the center of the part



# Other Examples

## SURFACE MODELING

- 1. Create the structure by **surface revolutions**
- 2. **Sketching, trimming** operations and applying **circular patterns**
- 3. Create a **solid model** using **offset** and **shell** operations



ACADEMIA

# **Annexe A**

**TERMS GLOSSARY**





# Annexe A → Terms glossary

- **3D scanner** – A device that captures data on the shape and colors of a real-world environment for processing in the digital world, such as construction of 3D models.
- **Accuracy** – The accuracy of a mesh file is measured by the deviation between the actual part and the measured result. It depends on the specifications of the scanner used and on the quality of the set-up. In 3D scanning, accuracy differs from resolution (see below).
- **Alignment** – In 3D scanning, this refers to the act of bringing all the scans into a common reference system, where data is merged into a complete model. Also called registration.
- **CAD** – Computer-aided design; the act of creating a digital model for design, engineering and manufacturing. The models are based on various geometric entities such as triangles, lines and curved surfaces. Typical formats for CAD models are .stp and .igs.
- **CAE** – Computer-aided engineering; the act of digitally simulating performance of objects and assemblies. CAE encompasses simulations such as finite-element analysis (FEA) and computational fluid dynamics (CFD).
- **CFD** – Computational fluid dynamics; a digital process by which engineers can simulate how fluids such as air, water and gas behave within different design, engineering and natural environments.
- **CMM arm** – A coordinate measurement machine that uses a point or ball probe on an articulating arm, allowing users to collect individual 3D data points from a physical object.
- **CMM arm encoder** – An opto-electronic device that detects the incremental lines on a scale to determine positioning. An encoder is also known as a reader head.



# Annexe A → Terms glossary

- **CNC milling** – Computer numerical control; computer-controlled milling machines that can create products along multiple axes for improved precision.
- **CAI** – Computer-aided inspection; the use of 3D scanning to compare an as-manufactured part to its CAD equivalent or ideal specifications for quality control, wear-and-tear assessment and other forms of analysis.
- **Customized manufacturing** – Using 3D scanning and complementary software to enable wide varieties of design choices at a reasonable cost. Sometimes called mass customization. Can also be used to describe the ability to customize medical and sports products – such as prostheses, athletic shoes and dental implants – for individual physiologies.
- **Digital archiving** – The ability to save models of physical objects in a digital environment, saving time and money.
- **Digital reconstruction** – The act of scanning a physical object in order to rebuild or renovate it close to its original state or at a different scale.
- **Dynamic referencing** – The ability of a scanner to ensure that the measuring device is continuously locked to the part by an optical link, providing greater accuracy in factory and field environments.
- **FEA** – Finite-element analysis; a digital process by which engineers can simulate how the structure of an object or assembly performs under different environmental stresses.
- **Normal** – In 3D space, a surface normal is the vector cross product of two (non-parallel) edges of a polygon.
- **NURBS** – Non-uniform rational b-spline; a mathematical model used in computer graphics and CAD to generate curves and surfaces.



# Annexe A → Terms glossary

- **Optical CMM scanner** – A 3D scanner tracked by optical CMMs. Optical CMM cameras track passive or active reflectors affixed to the 3D scanner itself and to the part being scanned to dynamically reference them in 3D space.
- **Photogrammetry** – A methodology for extracting high-accuracy measurements from photos of an object or environment.
- **Product lifecycle management (PLM)** – The practice of monitoring and managing a product from inception to end of useful life.
- **Point cloud** – A set of data points within a coordinate system. In a three-dimensional coordinate system, these points are usually defined by XYZ coordinates, and are intended to represent the external surface of an object. Typical formats for point clouds are .txt, .igs and .ascii.
- **Rapid prototyping** – The process of quickly fabricating a model of a physical part or assembly using 3D STL or CAD data. 3D scanning is often the front end of the process and 3D printing the back end.
- **Reverse engineering** – The process of discovering the technological aspects of a device, object or system through analysis of its structure, function and operation. In 3D scanning, the reverse-engineering process involves measuring an object and then reconstructing it as a 3D model.
- **Resolution** – Defines the level of details visible in the scan data and measured in millimeters (mm). It can be compared to a screen resolution, which is defined by the number of pixels. A higher resolution increases the number of triangles in a mesh file.
- **Repeatability** – The variation in measurements taken by a single person or instrument on the same item under the same conditions.



# Annexe A → Terms glossary

- **Self-positioning 3D laser scanners** – Laser scanning systems that use retro-reflective targets as a reference. These scanners do not require external positioning systems because the position of the scanner in relation to the object being scanned is determined by triangulation between the scanner's two cameras and the patterns of the positioning targets. Data acquisition is in real time.
- **Self-positioning 3D white-light scanners** – The scanner obtains its position relative to the physical object by looking at the distortion of the white-light pattern on the scanned part. These scanners obtain their position on a continuous basis in real time as they move over the part.
- **STL** – Stands for stereolithography or standard tessellation language; a file format native to stereolithography CAD software created by 3D Systems Inc. and supported by many other software packages. STL files are used widely for rapid prototyping and computer-aided manufacturing.
- **Triangulation** – The process of determining the location of a point by measuring angles to it from known points at either end of a fixed baseline. The point can then be fixed as the third point of a triangle with one known side and two known angles.
- **Triangle mesh** – The output of self-positioning 3D scanners, this is a mesh from an optimized surface that takes into account measuring conditions and consistency. This is also referred to as a polygon model. Typical formats are .stl, .obj and .sat. An STL file can be used directly for applications such as rapid prototyping and computer-aided inspection or converted into NURBS surfaces for CAD.