

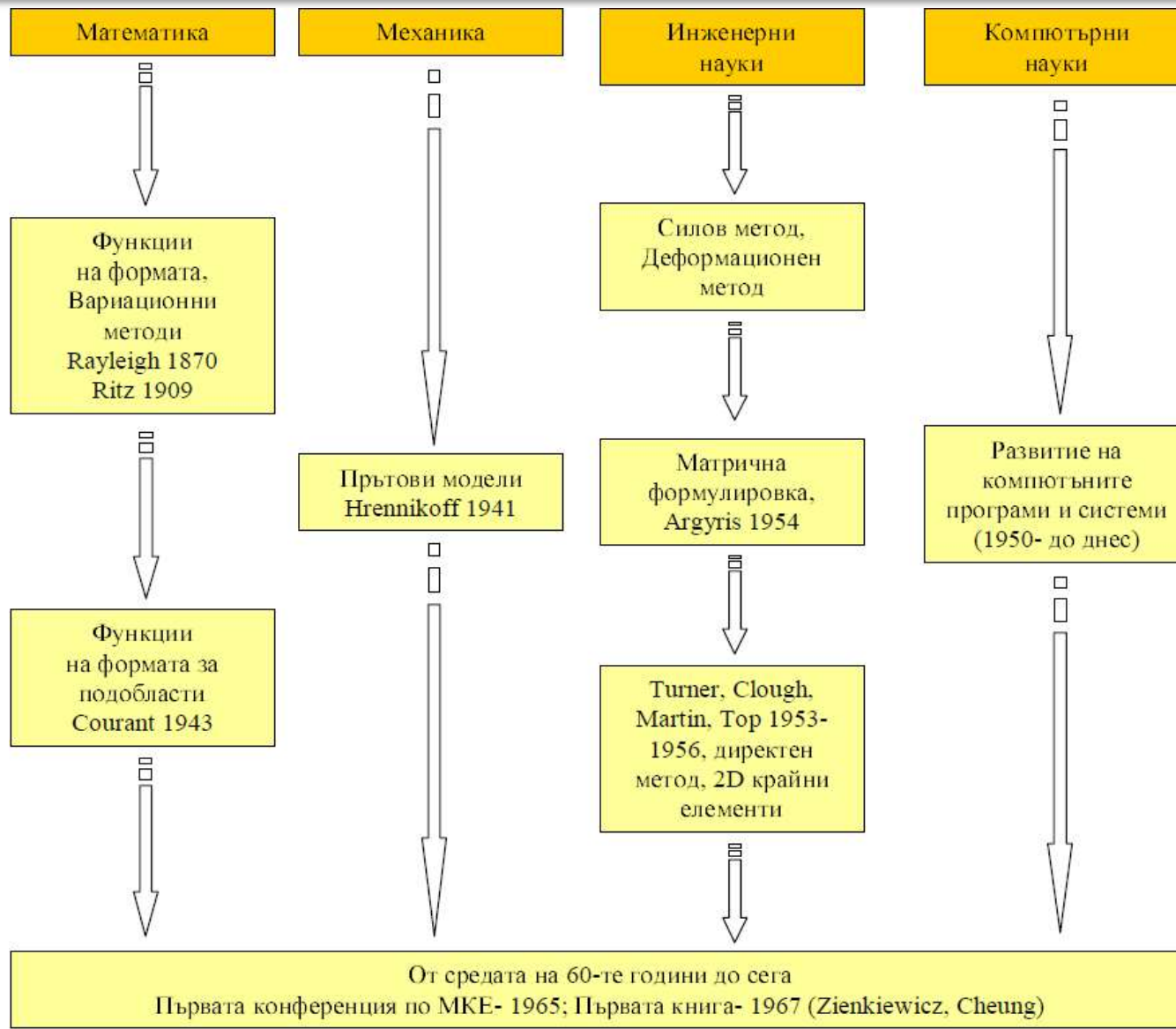
ТЕМА # 2:

**ИНЖЕНЕРНИ АНАЛИЗИ. ВИДОВЕ,
МЕТОДИ, ПРИЛОЖЕНИЕ.
ПОДГОТОВКА И АНАЛИЗ НА МОДЕЛА.
ИНТЕРПРЕТАЦИЯ НА РЕЗУЛТАТИТЕ**

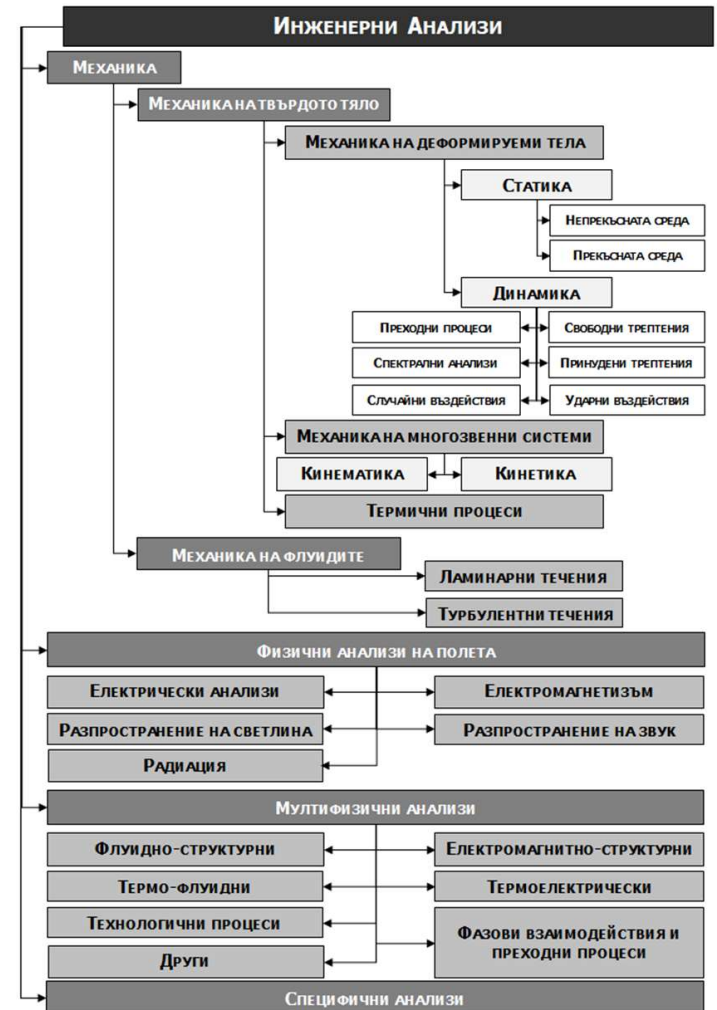
Инженерен анализ

Научен аналитичен подход, основан на декомпозиране на системата до ниво на функция или механизъм с цел анализ или оценка на всеки компонент и промяна на компонентите в съответствие с основните физични принципи и природни закони.

Числени методи/Инженерни анализи: Развитие през 20в.



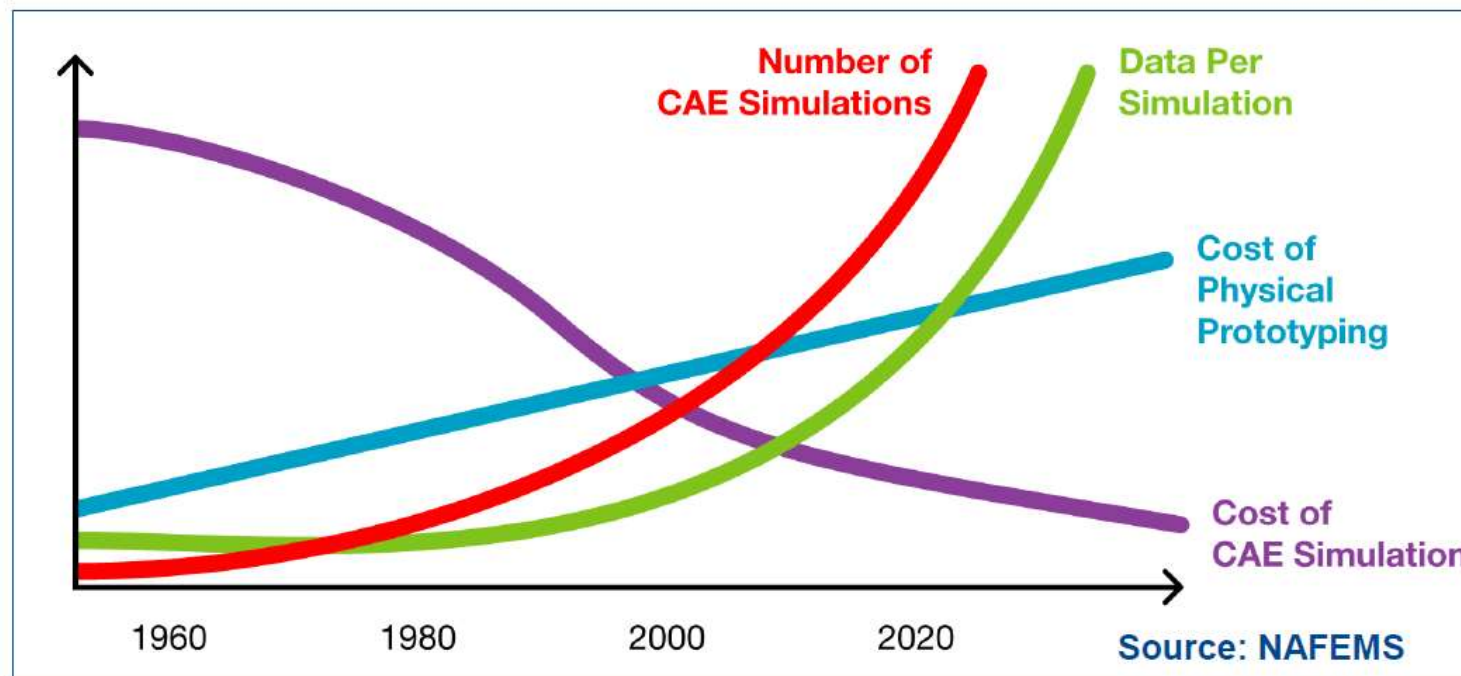
Съвременно състояние



Съвременно състояние

Increasing Number of Simulations
Increasing Complexity of Simulations
More Data per Simulation

10 000's of models per year
1 000 000's of FEA runs per year
Pb of Simulation Data per year



Trusted to deliver excellence

Private – Rolls-Royce Proprietary Information



Rolls-Royce

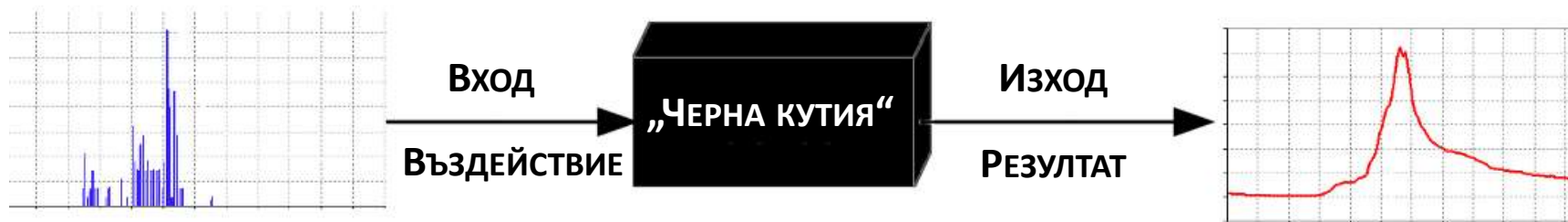
Виртуално и физическо прототипиране

ИНЖЕНЕРНИ АНАЛИЗИ НА ВИРТУАЛНИ ПРОТОТИПИ

=

ФИЗИЧЕСКИ ЕКСПЕРИМЕНТ

ФИЗИЧЕСКИТЕ ЕКСПЕРИМЕНТИ ЧЕСТО ПЪТИ СЕ ПОЛЗВАТ ПО СМИСЪЛА НА „ЧЕРНА КУТИЯ“



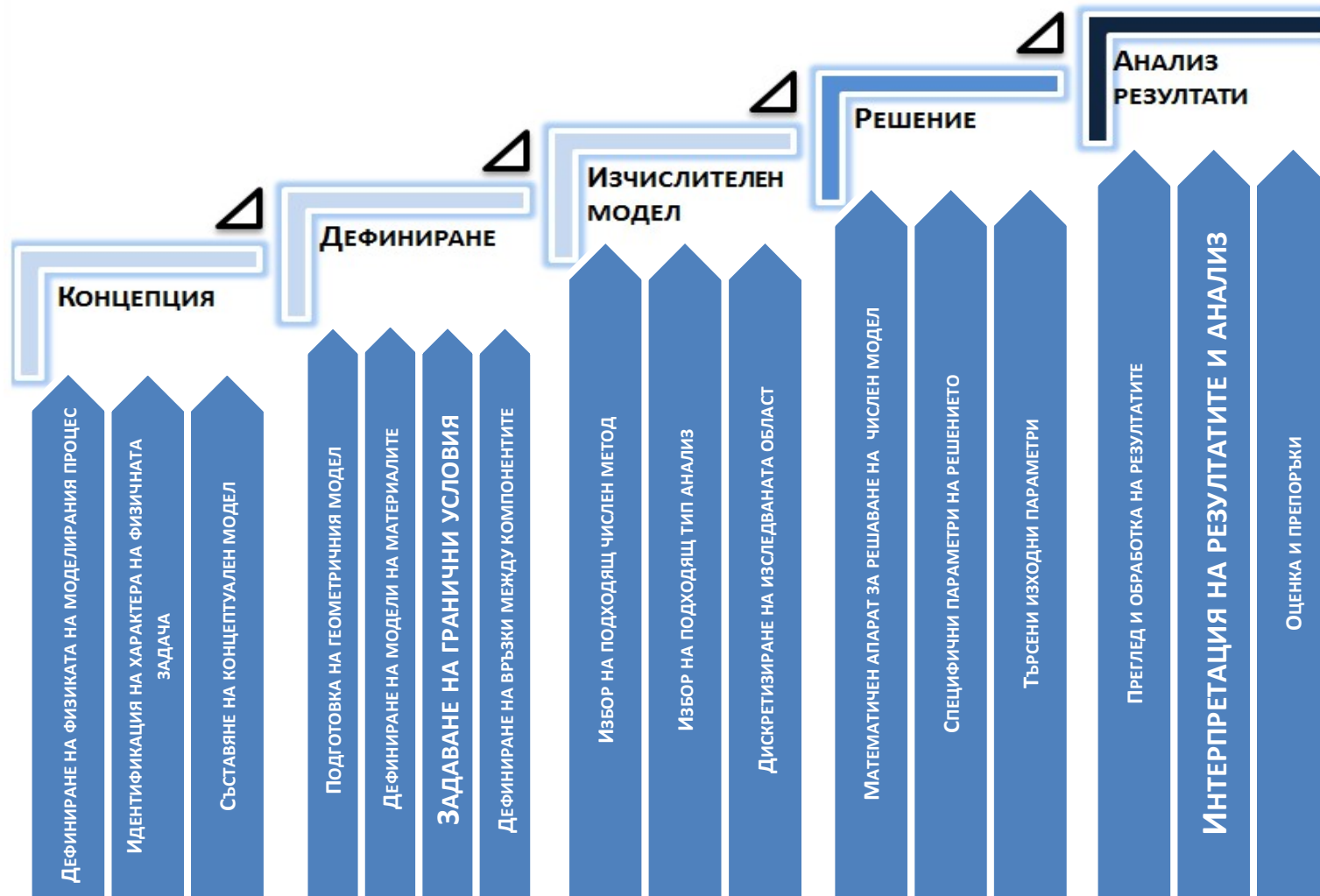
Виртуално и физическо прототипиране

АНАЛИЗ ≠ ЕКСПЕРИМЕНТ

ИНЖЕНЕРНИТЕ АНАЛИЗИ ПОЛЗВАТ ВИРТУАЛЕН ПРОТОТИП, КОЙТО ПОЗВОЛЯВА ИЗСЛЕДВАНЕ НА ВЪТРЕШНИ ЗА МОДЕЛИРАНИЯ ПРОЦЕС ПАРАМЕТРИ („БЯЛА КУТИЯ“)



Основни фази и дейности



Подготвителна фаза

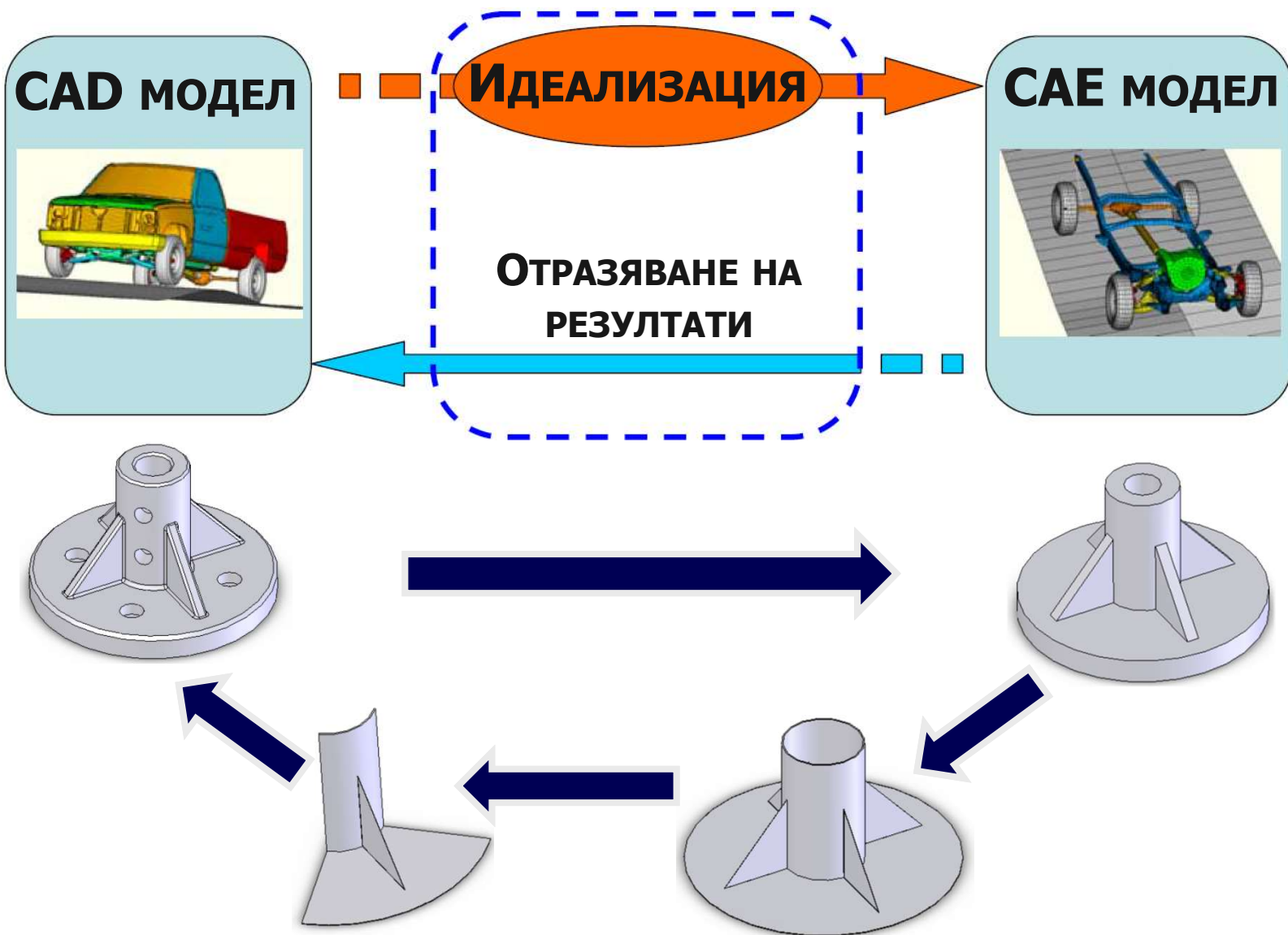
- Концепиране на физичната задача:
 - Дефиниране на физиката на моделирания процес към тип анализ – структурна механична задача, термичен процес, процес на механика на флуидите, електромагнитен и др.
 - Идентификация на характера на физичната задача – статична, динамична или транзиентна (преходни процеси) физична задача.
 - Съставяне на концептуален модел – принципно определяне на геометричен модел за изчисленията, гранични условия, модели на ползваните материали, търсени резултати и начин на тяхното представяне.
- Дефиниция на инженерния анализ:
 - Подготовка на геометричния модел – изгражда се или (в повечето случаи – редактира се) геометричен модел, с достатъчно ниво на комплексност (степен на опростяване) за целите на провеждания анализ.
 - Дефиниране на модели на материалите – въвеждат се материалните характеристики, съобразно необходимото ниво на подробност (линейни и нелинейни, изотропни и анизотропни, термозависими и друг тип свойства на материалите).
 - Задаване на гранични условия – указване на известни степени на свобода на модела, според физиката на моделирания процес, дефиниране на външни и вътрешни въздействия (товари, топлинни потоци, полета и др.).
 - Дефиниране на връзки между отделните компоненти на изчислителния модел (например, контактни повърхнини, куплирани възли и други).
- Изграждане на изчислителен математичен модел:
 - Избор на подходящ числен метод – обработка на данните се извършва при използване на различни методи за решение, съобразени с конкретния физичен модел.
 - Съобразно типа на физичната задача, се избира подходящ тип анализ – линеен или нелинеен. Експлицитен или имплицитен.
 - Дискретизиране на изследваната област – съставяне на т.нар. изчислителен модел (мрежа от крайни елементи) , състоящ се от възли и елементи, според избраният числен метод.

Концептуален изчислителен модел

ОСНОВНИ СЪОБРАЖЕНИЯ:

- Намаляване на големината на изчислителния модел чрез елиминиране на компоненти, които не са от значение за разглеждане на моделирания физичен процес.
- Намаляване на големината на модела поради симетричност, цикличност, огледалност или повторяемост на геометрия и външни въздействия.
- Ниво на детайлност на представяне на геометрията (опростяване на модела).
- Начин на задаване на граничните условия.

Опростяване на геометрия / Идеализация



Модели на материалите

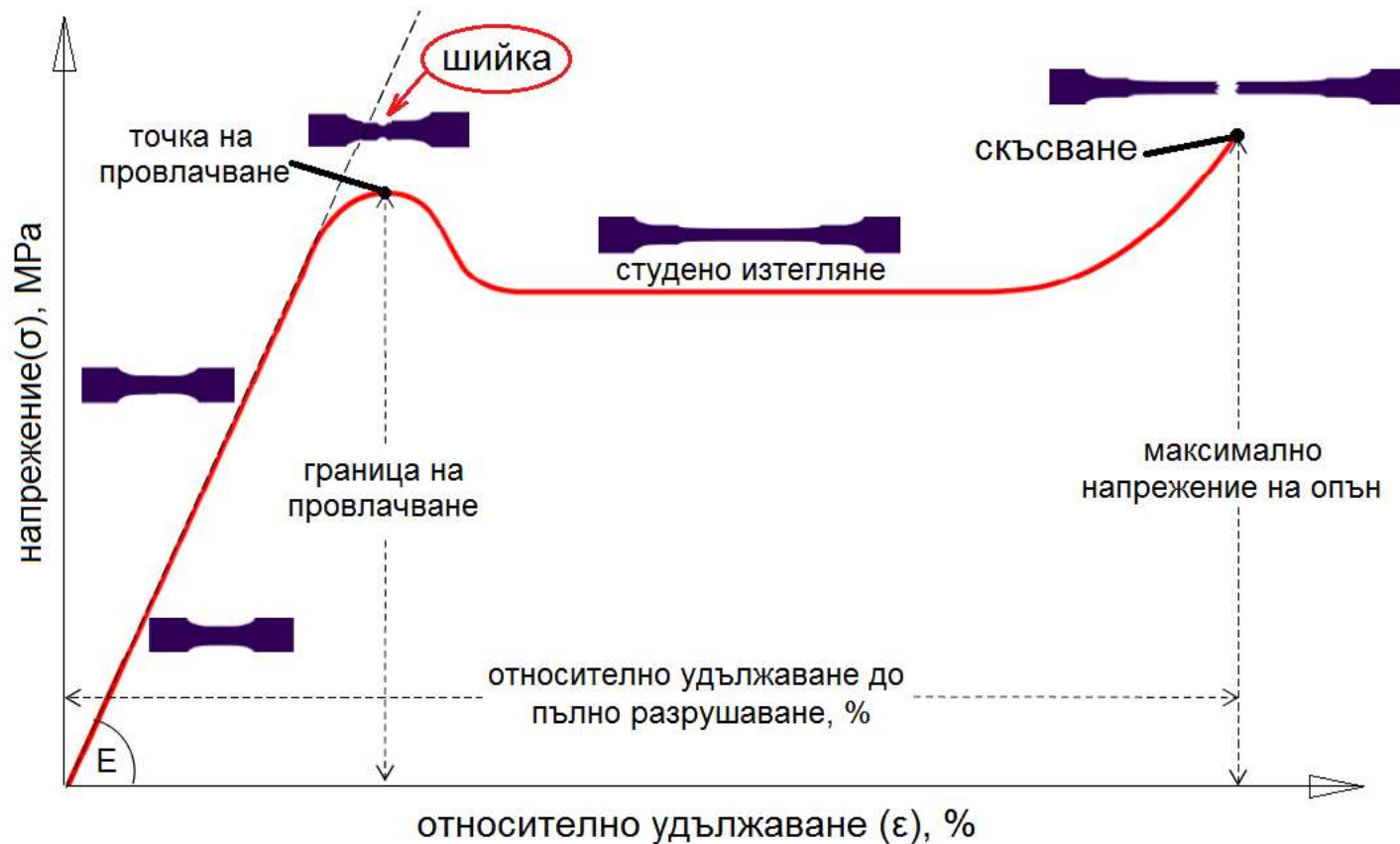
ВИДОВЕ:

ЛИНЕЙНИ И НЕЛИНЕЙНИ

ИЗОТРОПНИ И АНИЗОТРОПНИ (ОРТОТРОПНИ)

Модели на материалите

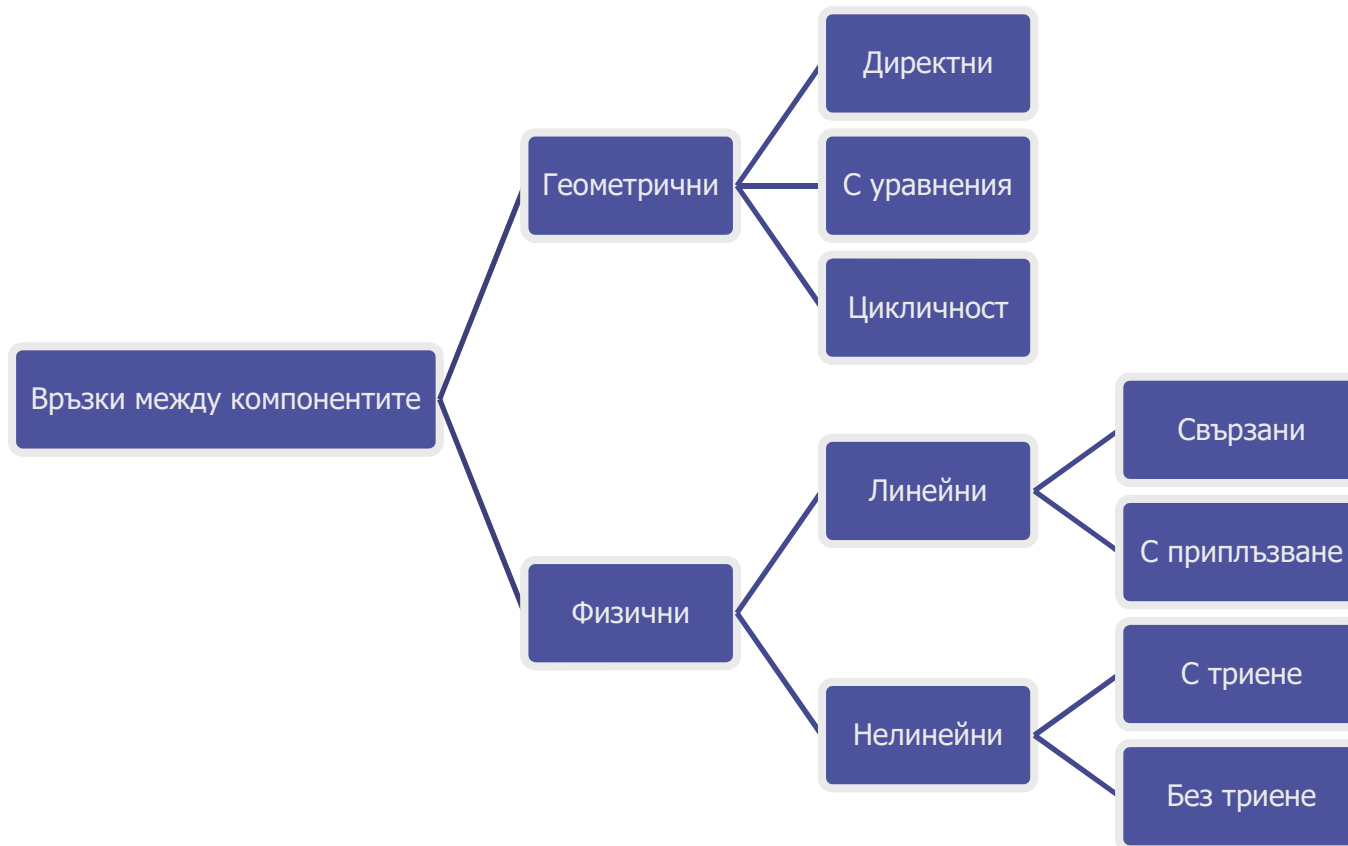
Еластичност и пластичност



Механика на деформируемите тела:

Видове връзки между компонентите

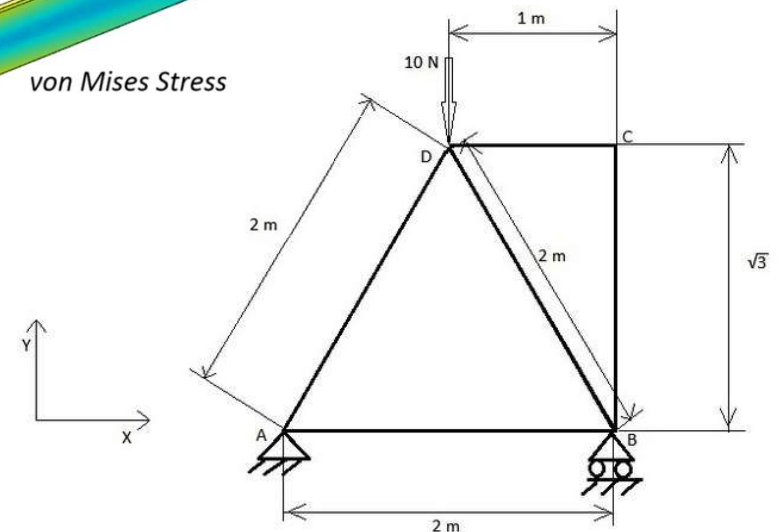
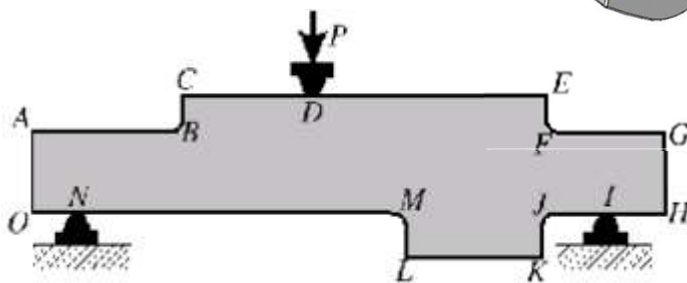
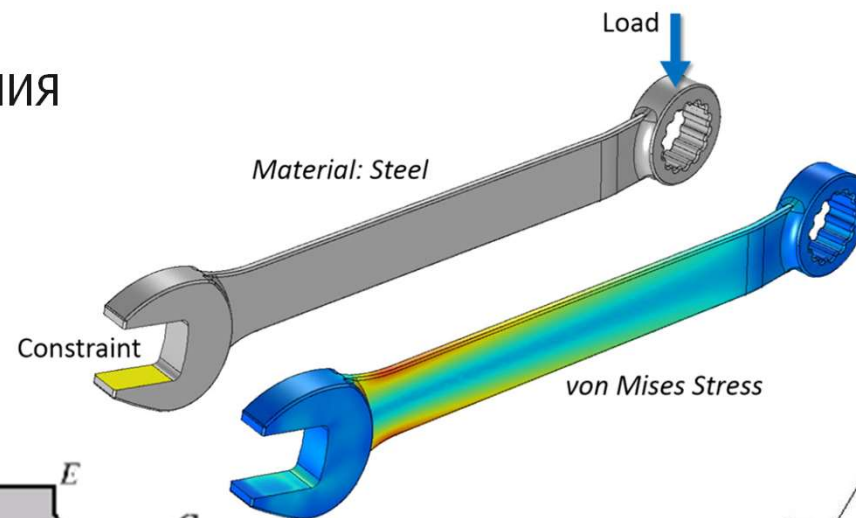
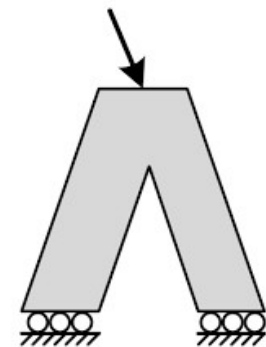
- ❑ **Геометрични връзки:** дават възможност твърдо да се свържат две тела чрез техни характерни точки, по една или няколко степени на свобода.
- ❑ **Физичните връзки (или контакти):** разглеждат случаите, когато две или повече повърхности се допират, предавайки натоварвания една на друга.



Гранични условия

ГРАНИЧНИТЕ УСЛОВИЯ ПРЕДСТАВЛЯВАТ ПРЕСЪЗДАВАНЕ НА ВРЪЗКИТЕ НА ИЗСЛЕДВАНАТА СИСТЕМА С ОКОЛНАТА СРЕДА. ТЕ СЕ РАЗДЕЛЯТ НА:

- СТЕПЕНИ НА СВОБОДА (DEGREE OF FREEDOM – DOF)
- ВЪНШНИ НАТОВАРВАНИЯ
- СИМЕТРИЯ

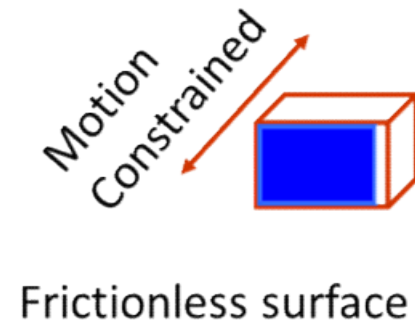
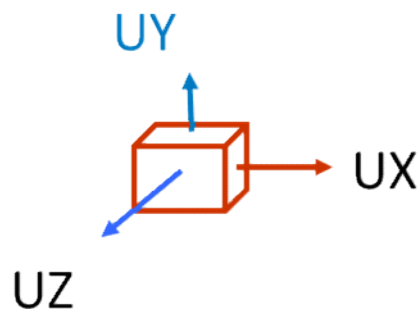


Степени на свобода: Типове

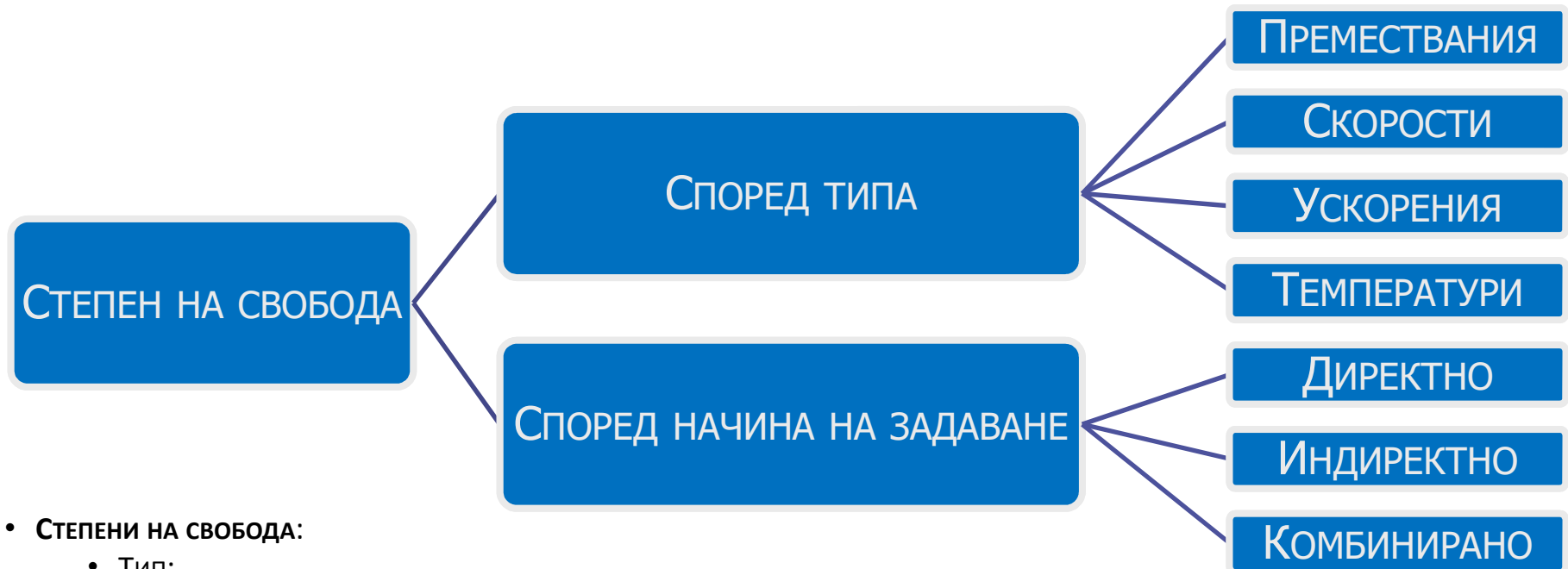
СТЕПЕНИТЕ НА СВОБОДА ТРЕТИРАТ ОГРАНИЧЕНИЯТА НА ДВИЖЕНИЯТА НА ЕЛЕМЕНТИ ОТ МОДЕЛА В РАЗЛИЧНИТЕ НАПРАВЛЕНИЯ. В МЕХАНИКАТА СЕ ИЗПОЛЗВА ДЕКАРТОВА КООРДИНАТНА СИСТЕМА, ИМАЩА 3 ТРАНСЛАЦИИ И 3 РОТАЦИИ. ДЕФИНИРАНЕТО НА ПРЕМЕСТВАНЕ ПО ОС Е ОГРАНИЧЕНИЕ НА СЪОТВЕТНАТА СТЕПЕН НА СВОБОДА – НАПРИМЕР, $U_Y = 0$ или $U_Y = 0.002\text{m}$.

ПРИ РЕШАВАНЕ НА ТЕРМИЧНИ ЗАДАЧИ ИМА САМО ЕДНА СТЕПЕН НА СВОБОДА – ТЕМПЕРАТУРА.

В МЕХАНИКА НА ФЛУИДИТЕ СЕ ПОЛЗВАТ 3 СТЕПЕНИ НА СВОБОДА – СКОРОСТИ ПО ТРИТЕ ОСИ НА КООРДИНАТНАТА СИСТЕМА.



Степени на свобода: Типове



- **СТЕПЕНИ НА СВОБОДА:**

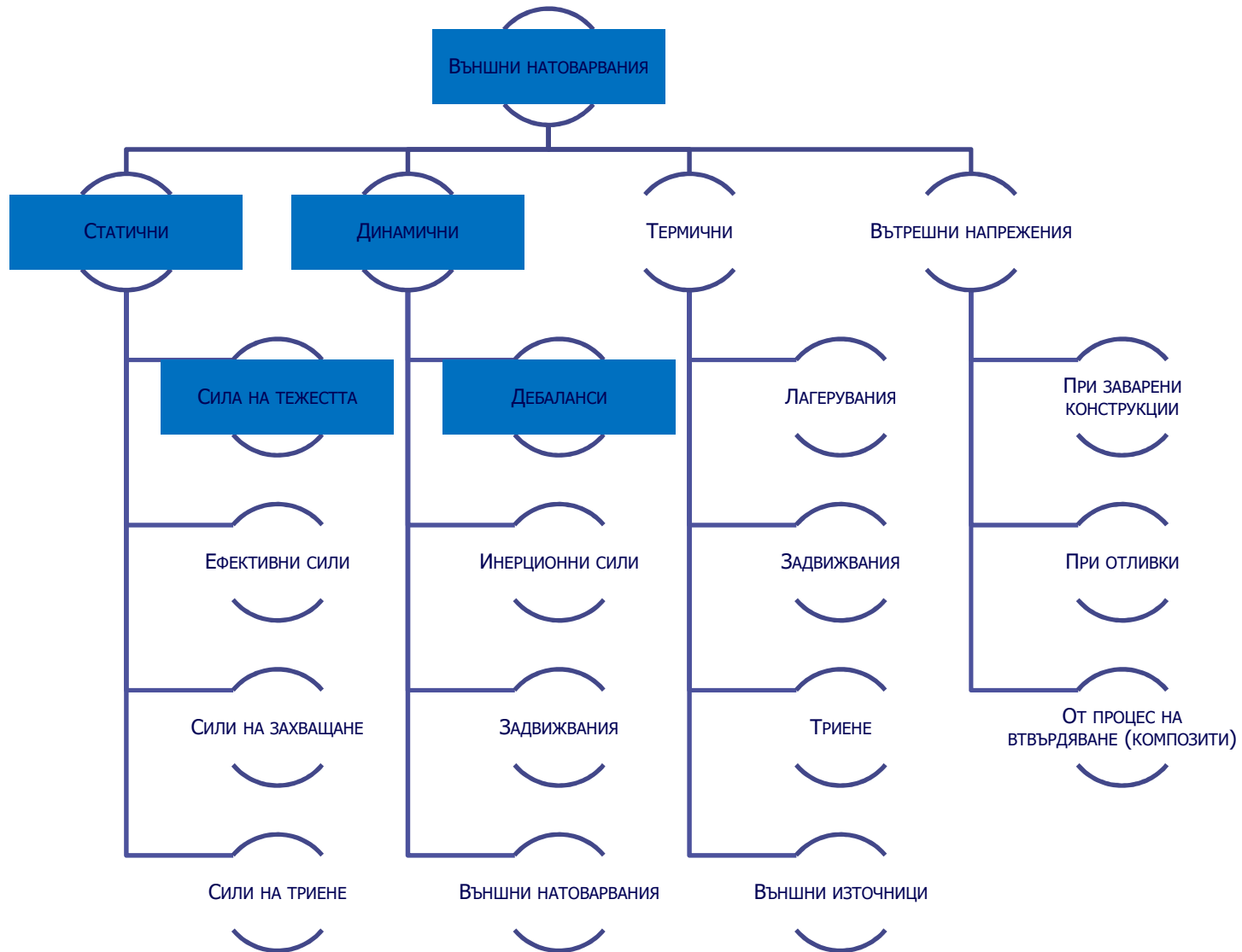
- Тип:

- ПРЕМЕСТВАНИЯ ИЛИ ТЕХНИ ПРОИЗВОДНИ (СКОРОСТ, УСКОРЕНИЕ) ПРИ МЕХАНИКА НА ДЕФОРМИРУЕМОТО ТЯЛО;
 - ТЕМПЕРАТУРИ – ПРИ ТЕРМИЧНИ ЗАДАЧИ;
 - СКОРОСТИ – ПРИ МЕХАНИКА НА ФЛУИДИТЕ СЕ ДЕФИНИРАТ СКОРОСТИ НА РАБОТНИЯ ФЛУИД ПО СЪОТВЕТНА ГРАНИЦА.

- Начин на задаване:

- ДИРЕКТНО – СЪС КОНКРЕТНА СТОЙНОСТ ИЛИ ФУНКЦИЯ ЗА СТЕПЕН НА СВОБОДА ПО НАПРАВЛЕНИЕ В АКТИВНА КООРДИНАТНА СИСТЕМА;
 - ПРИВЕДЕНО - ЗАДАДЕНА СТОЙНОСТ ИЛИ ФУНКЦИЯ В ОТДАЛЕЧЕНА ПОЗИЦИЯ В ПРОСТРАНСТВОТО СЕ ПРИВЕЖДА КЪМ ОБЕКТ ОТ МОДЕЛА;
 - КОМБИНИРАНО – ИНДИРЕКТНО ЗАДАВАНЕ НА СТОЙНОСТ ЗА СТЕПЕН НА СВОБОДА, ЕДНОВРЕМЕННО С КОНТАКТ ИЛИ ДРУГ ВИД ВРЪЗКА КЪМ ОКОЛНАТА СРЕДА.

Външни натоварвания: Видове и влияния



Външни натоварвания: Задаване в ИА



Дискретизиране на изследваната област

ЧИСЛЕНИТЕ МЕТОДИ ИЗПОЛЗВАТ УРАВНЕНИЯ И ВЗАИМОВРЪЗКИ, ОПИСВАЩИ ПОВЕДЕНИЕТО НА ДИФЕРЕНЦИРАНА, РАЗДЕЛЕНА, ЧАСТ ОТ ИЗСЛЕДВАНИЯТ ОБЕКТ (ОБЛАСТ), КАТО ЦЯЛОСТНОТО МУ ПОВЕДЕНИЕ СЕ ПОЛУЧАВА ЧРЕЗ СЪВМЕСТНОТО ИМ РЕШАВАНЕ И ПРИЛАГАНЕ.

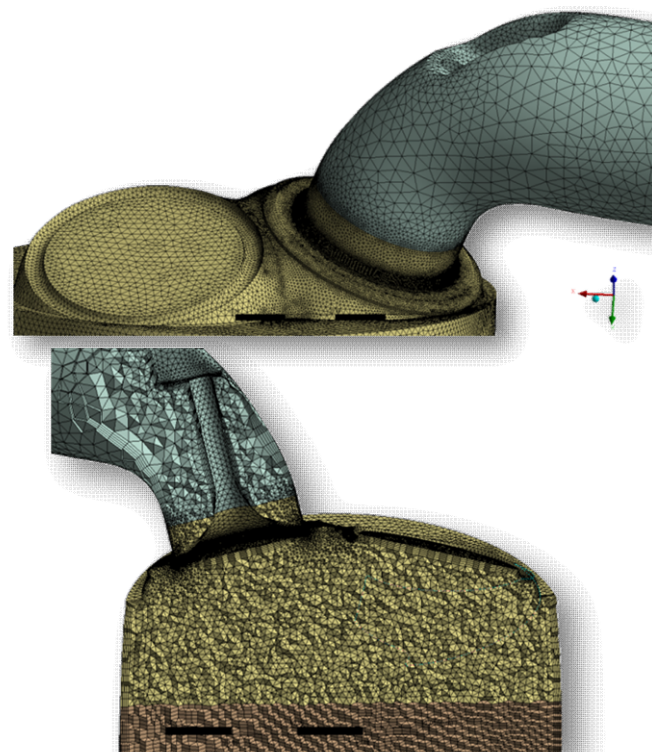
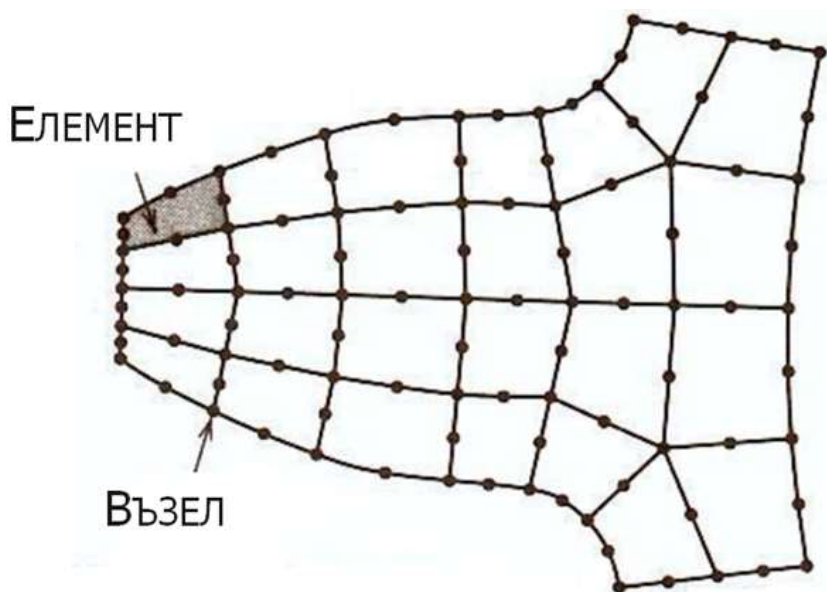
ДИСКРЕТИЗИРАНЕТО НА ИЗСЛЕДВАНАТА ОБЛАСТ, ИЛИ – СЪЗДАВАНЕ НА МРЕЖА ОТ ЕЛЕМЕНТИ, Е ВАЖЕН КОМПОНЕНТ, ОПРЕДЕЛЯЩ ТОЧНОТО РЕШЕНИЕ НА ФИЗИЧНАТА ЗАДАЧА.

ВСИЧКИ ПОЛЗВАНИ МАТЕМАТИЧНИ ЧИСЛЕНИ МЕТОДИ (С ИЗКЛЮЧЕНИЕ НА БЕЗМРЕЖОВИТЕ МЕТОДИ) ПОЛЗВАТ МРЕЖА, СЪСТОЯЩА СЕ ОТ ЕЛЕМЕНТИ (ОБЕМИ) И ВЪЗЛИ, КАТО ПОСЛЕДНИТЕ (ВЪЗЛИТЕ) СЕ ПОЛЗВАТ ЗА ДЕФИНИРАНЕ НА ПЪРВИТЕ.

Дискретизиране на изследваната област

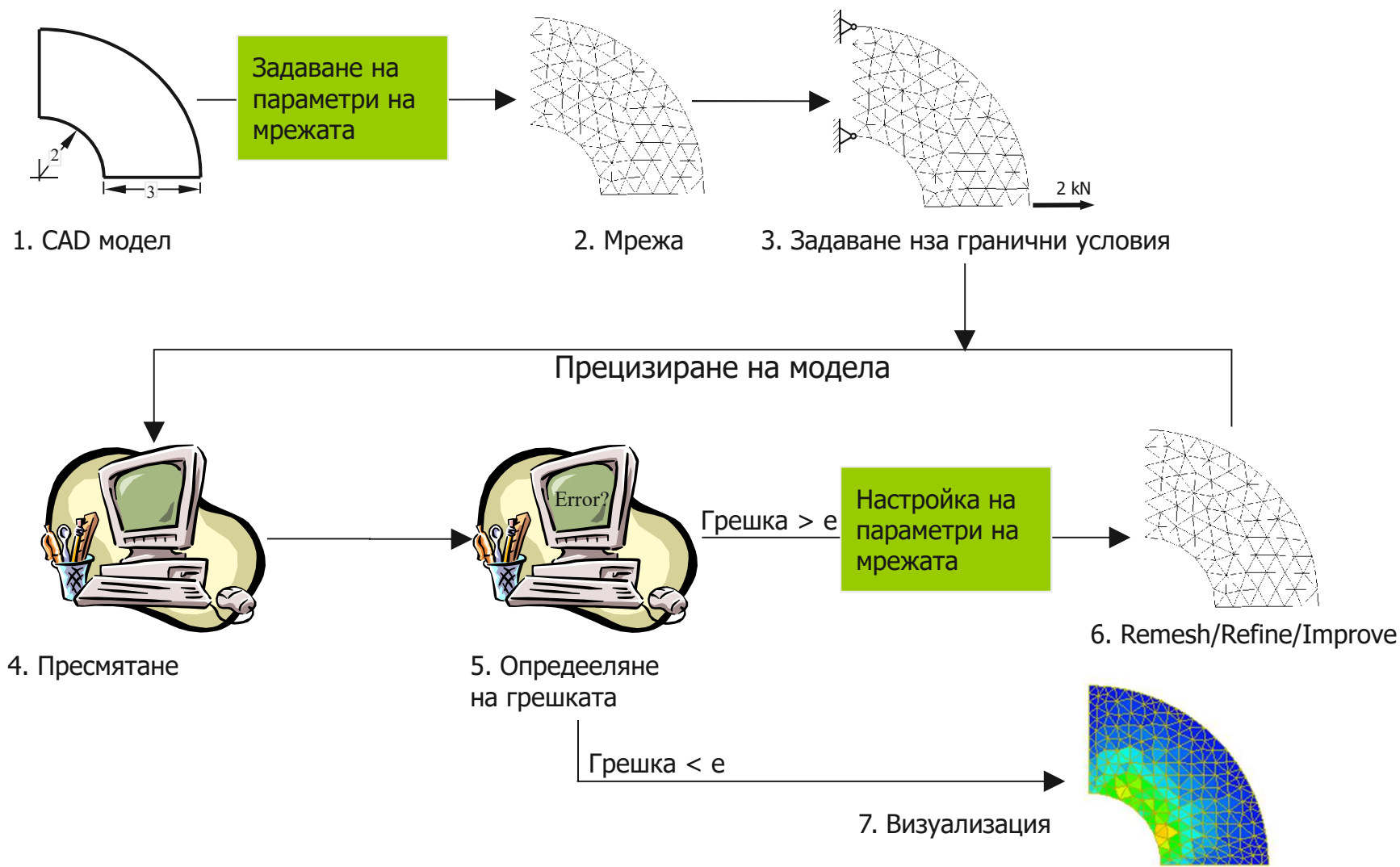
ХАРАКТЕРНО ЗА ДИСКРЕТИЗАЦИЯТА ПРИ ЧИСЛЕНИТЕ МЕТОДИ Е, ЧЕ:

- РАЗГЛЕЖДАНАТА ОБЛАСТ СЕ РАЗДЕЛЯ НА КРАЕН БРОЙ **ЕЛЕМЕНТИ**;
- ЕЛЕМЕНТИТЕ СЕ СВЪРЗВАТ ПОМЕЖДУ СИ ЧРЕЗ **ВЪЗЛИ**;
- ВСЕКИ ВЪЗЕЛ ИМА КРАЕН БРОЙ СТЕПЕНИ НА СВОБОДА.

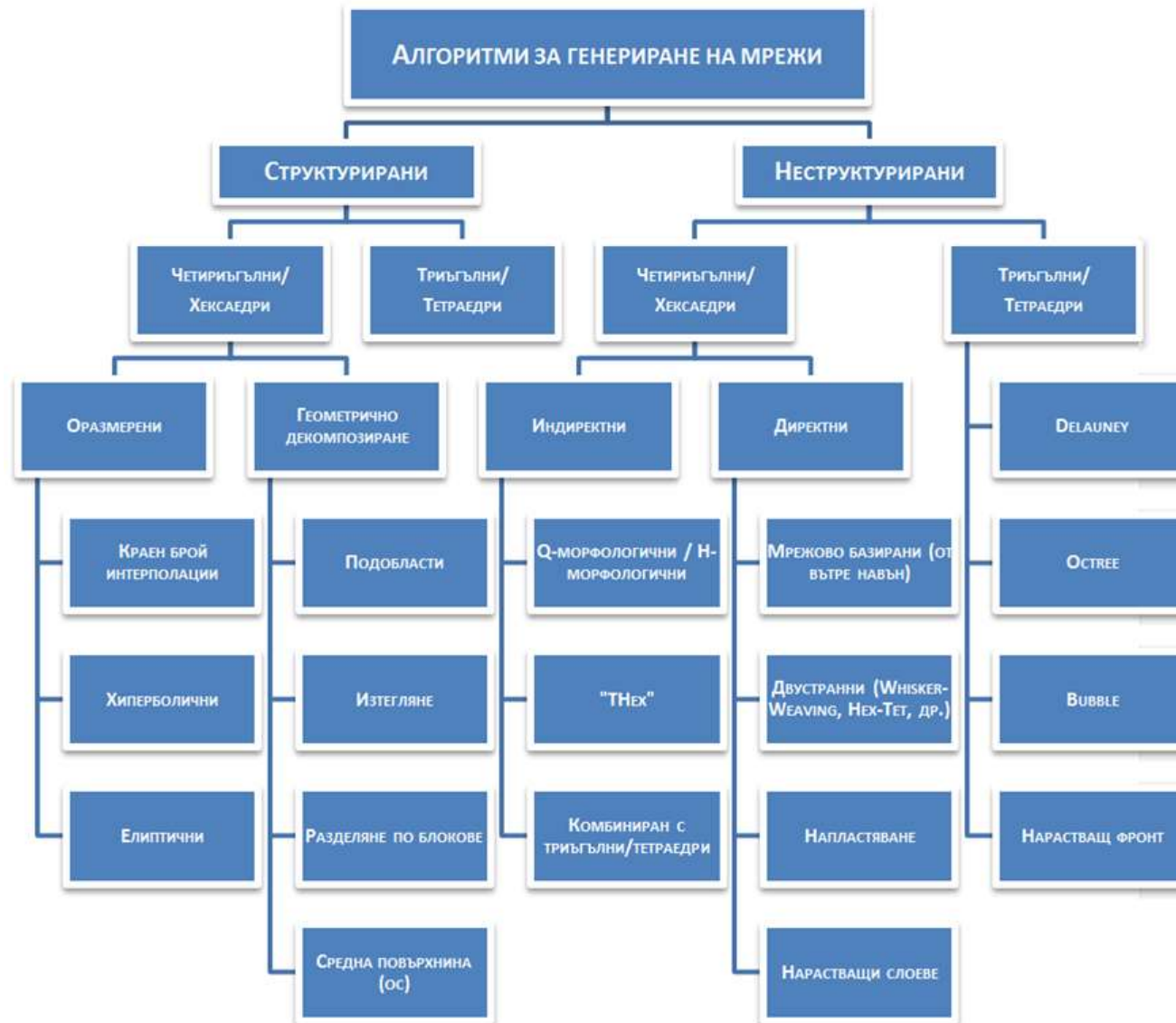


Дискретизиране на изследваната област

ПРОЦЕС НА ГЕНЕРИРАНЕ НА МРЕЖА – ДИСКРЕТИЗИРАНЕ НА ОБЛАСТ



Алгоритми за генериране на мрежи



ДЕФИНИЦИЯ ЗА ЧИСЛЕНИ МЕТОДИ

ЧИСЛЕНИТЕ МЕТОДИ ИЗПОЛЗВАТ УРАВНЕНИЯ И ВЗАИМОВРЪЗКИ, ОПИСВАЩИ ПОВЕДЕНИЕТО НА ДИФЕРЕНЦИРАНА, РАЗДЕЛЕНА, ЧАСТ ОТ ИЗСЛЕДВАНИЯТ ОБЕКТ, КАТО ЦЯЛОСТНОТО МУ ПОВЕДЕНИЕ СЕ ПОЛУЧАВА ЧРЕЗ СЪВМЕСТНОТО ИМ РЕШАВАНЕ И ПРИЛАГАНЕ. ПОЛЗВАТ ЕЛЕМЕНТИ НА ЛИНЕЙНАТА АЛГЕБРА И В ЧАСТНОСТ МАТРИЧНОТО СМЯТАНЕ.

ПРЕДСТАВЯНЕ НА ИНЖЕНЕРНИЯ ПРОБЛЕМ

Повечето инженерни проблеми могат да бъдат представени чрез „физичен процес“ и „гранични условия“

ФИЗИЧЕН ПРОЦЕС

$$L(\phi) + f = 0$$

- Структурни еластични и пластични процеси
- Термични задачи
- Механика на флуидите
- Електростатика
- Други

+

$$[\mathbf{K}] \{\mathbf{u}\} = \{\mathbf{F}\}$$

ГРАНИЧНИ УСЛОВИЯ

$$B(\phi) + g = 0$$

ПРЕДСТАВЯНЕ НА ИНЖЕНЕРНИЯ ПРОБЛЕМ

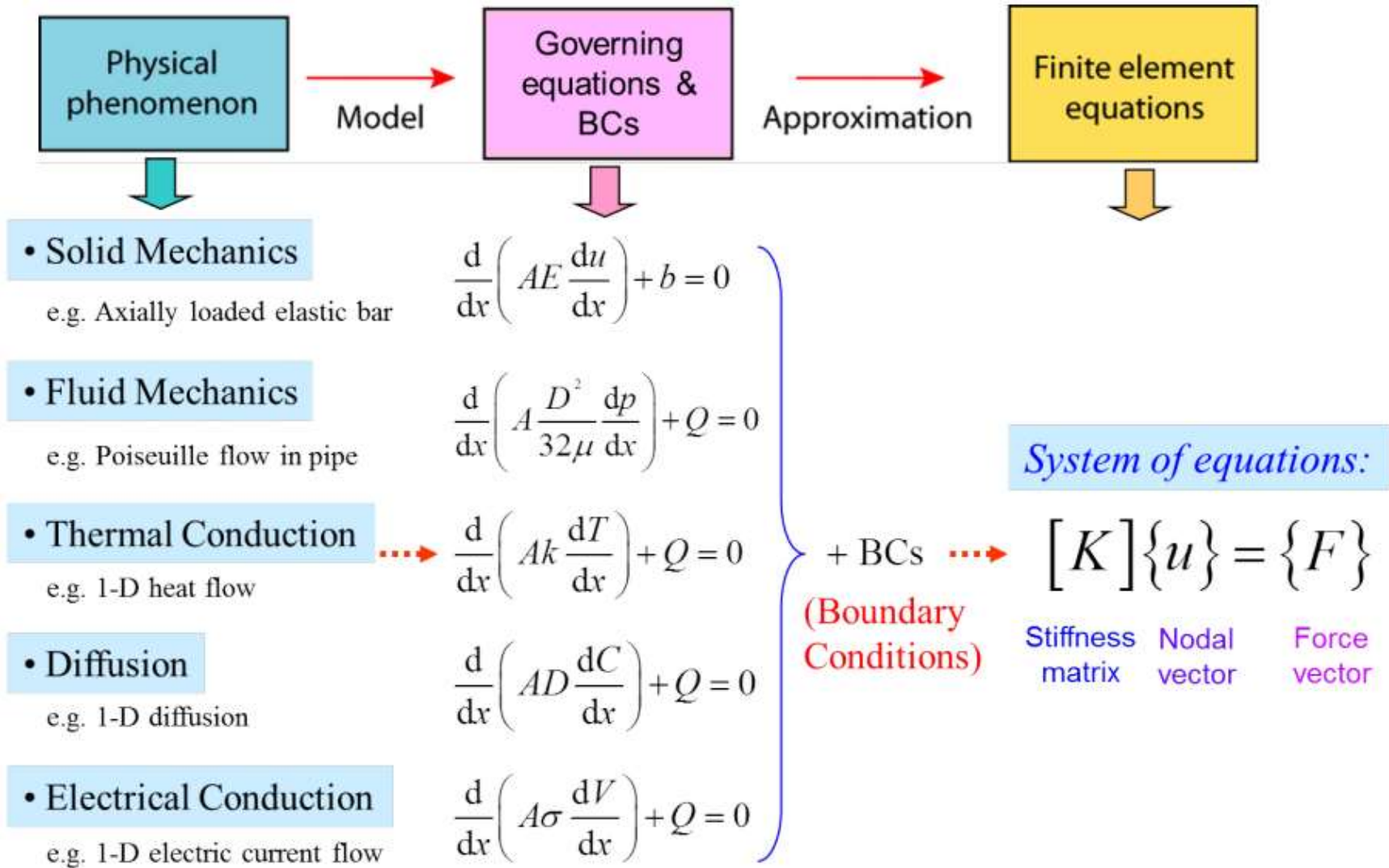
$$[\mathbf{K}] \{\mathbf{u}\} = \{\mathbf{F}\}$$

Свойство ПОВЕДЕНИЕ Въздействие

	Свойство [K]	Поведение {u}	Въздействие {F}
Механика	Коравина	Преместване	Сила
Термика	Проводимост	Температура	Топлинен поток
Флуидика	Вискозитет	Скорост	Сила (налягане)
Електростатика	Проницаемост	Потенциал	Заряд

?

ПРЕДСТАВЯНЕ НА РАЗЛИЧНИ ФИЗИЧНИ ПРОЦЕСИ



МЕТОД НА КРАЙНИТЕ ЕЛЕМЕНТИ

Метод на крайните елементи (МКЕ): използва се за намиране на приближени решения на частни диференциални и интегрални уравнения (например топлинен баланс), които са позовани на съседни възли. Подхода се основава или на пълно елиминиране на диференциалното уравнение (статика) или на привеждане на частното диференциално уравнение към нормално такова, което да бъде решено при ползване на стандартни подходи. Използването на методът на крайните елементи за решаване на структурни задачи е често основано на енергийният принцип, т.е. виртуална работа, което дава обща физична основа. Той е добър избор за решаването на частни диференциални уравнения за сложни структури или когато желаната точност на решението варира в разглежданата област.

МЕТОД НА ГРАНИЧНИТЕ ЕЛЕМЕНТИ

Методът на граничните елементи (МГЕ): още метод на гранични интегрални уравнения, се нуждае само от дискретизация на повърхнините. Всъщност, при него диференциалните уравнения за изследваната област се трансформират в интегрални такива за границите Γ . Така, потенциалите и градиентите вътре в областта могат да бъдат определени само след решаване на уравненията за границите Γ (които обикновено са линеаризирани). Предимства на метода са, че добре работи с отворени системи, при които се моделира околна среда, както и добрата му приложимост при големи разлики в размерите на изследвано тяло. Решаването на нелинейни системи обаче е съпътствано с някои усложнения и поради това методът е по-трудно приложим в сравнение например с МКЕ.

МЕТОД НА КРАЙНИТЕ РАЗЛИКИ

Методът на крайните разлики (МКР):

дискретизира по напречно сечение изследваният обект. При него се генерира мрежа от шестостенни елементи, така че да се позволи прекъсване само по дължина на ръбовете им. Силно се влияе от гъстотата на мрежата, което го прави или много ресурсоемък или с чувствителна точност на резултатите. Този метод се състои в трансформирането на частните производни на диференциалните уравнения в малък интервал. Частен негов случай е методът на крайните обеми.

ДРУГИ ЧИСЛЕНИ МЕТОДИ

Метод на крайните обеми (МКО): метод за представяне и решение на частните диференциални уравнения чрез алгебрични уравнения. Подобно на МКР или на МКЕ, се работи с дискретни обеми – „краен обем“ – което се отнася до малък обем около всеки възел от мрежата. Ползва се интегриране на потоците през повърхнините на всеки краен обем. Тъй като входящия за всеки обем поток е идентичен с този, който е изходящ към следващият обем, тези методи са консервативни. Друго предимство на МКО е лесното формулиране при случаи на неструктурирана мрежа. Методът е широко разпространен при решаване на задачи от механика на флуидите.

Безмрежови методи: за разлика от предходно описаните методи, при които всеки възел е съединен с краен брой съседни възли чрез елемент, безмрежовите методи не ползват елементи, а само краен брой от точки, включени в разглежданата област. Този тип числени методи са с голямо приложение за решение на задачи от механика на флуидите. Съществуват няколко такива метода, по-разпространените от които са: Лагранж базираният метод „хидродинамика на „изравнените“ частици“ (smoothed-particle hydrodynamics – SPH, разработен през 1977), метода на разпръснатите елементи (Diffuse Element Method – DEM, разработен през 1992), динамика на разпръсващите се частици (Dissipative particle dynamics – DPD, разработен през 1992), метод на крайните точки (Finite Pointset Method, разработен през 1998), безмрежов метод на Петров-Галеркин (Element-free Galerkin method – EFG/EFGM, разработен през 1994) и др. Общият брой на разработените и разработвани методи е над 20, което се определя от интензивното развитие на приложението на числените методи в области като механика на флуидите, химия и др.

МАТЕМАТИЧНИ МЕТОДИ ЗА РЕШЕНИЕ НА ЛИНЕЙНИ СИСТЕМИ

РЕШЕНИЕТО НА СЪСТАВЕНИТЕ МАТРИЦИ Е МАТЕМАТИЧЕН ПРОБЛЕМ, КАТО ЗА ЦЕЛТА СЕ ПОЛЗВАТ РАЗНООБРАЗНИ МЕТОДИ, СПОРЕД ВИДА НА РЕШАВАНАТА ЗАДАЧА (СТРУКТУРНА ЛИНЕЙНА/НЕЛИНЕЙНА; ФЛУИДНА; МУЛТИФИЗИЧНА). ИЗБОРА НА МАТЕМАТИЧЕН АПАРАТ ЗА РЕШАВАНЕ НА СЪСТАВЕНИЯТ ЧИСЛЕН МОДЕЛ СТАВА В СЪОТВЕТСТВИЕ СЪС СПЕЦИФИКАТА НА ИЗЧИСЛИТЕЛНИЯТ МОДЕЛ. ОСНОВНО РАЗДЕЛЯНЕ НА МЕТОДИТЕ ЗА РЕШАВАНЕ НА МАТРИЦИТЕ Е В ДВЕ ГРУПИ – **ДИРЕКТНИ И ИТЕРАТИВНИ.**

ДИРЕКТНИ МАТЕМАТИЧНИ МЕТОДИ

ДИРЕКТНИ (ТОЧНИ) МАТЕМАТИЧНИ МЕТОДИ ПОСТАВЯТ ПО-ГОЛЕМИ ИЗИСКВАНИЯ КЪМ ИЗЧИСЛИТЕЛНАТА ТЕХНИКА ПО ОТНОШЕНИЕ НА RAM ПАМЕТТА, КАКТО И НА ТАКТОВАТА ЧЕСТОТА НА ПРОЦЕСОРИТЕ, КАТО ВОДЯТ ДО ГОЛЕМИ ИЗЧИСЛИТЕЛНИ ВРЕМЕНА. ОСНОВНИТЕ МЕТОДИ ОТ ТАЗИ ГРУПА СА:

- МЕТОД НА ИЗКЛЮЧВАНЕТО (GAUSS): ТОВА Е КОНВЕНЦИОНАЛЕН МАТЕМАТИЧЕН МЕТОД ЗА РЕШЕНИЕ НА МАТРИЦИ, КАТО СЪСТОИ СЕ ОТ ДВА ЕТАПА:
 - ПРИВЕЖДАНЕ НА МАТРИЦАТА СПРЯМО ГЛАВЕН ДИАГОНАЛ – МАТРИЧНИ ОПЕРАЦИИ, ПРИ КОИТО СЕ ЦЕЛИ ЧЛЕНОВЕТЕ НА МАТРИЦАТА ПОД ГЛАВНИЯ ДИАГОНАЛ ДА БЪДАТ НУЛИРАНИ;
 - РЕШЕНИЕ НА МАТРИЦАТА – РЕШЕНИЕ НА РЕДУЦИРАНАТА МАТРИЦА;
- МЕТОД НА GAUSS-JORDAN: ПРИ НЕГО СЕ НУЛИРАТ ЧЛЕНОВЕТЕ ПОД И НАД ГЛАВНИЯ ДИАГОНАЛ НА МАТРИЦАТА;
- ДРУГИ – СЪЩЕСТВУВАТ ОЩЕ МЕТОДИ ЗА ДИРЕКТНО РЕШЕНИЕ, КАТО МЕТОДА НА КВАДРАТНИЯ КОРЕН, СИМПЛЕКС МЕТОД, КОИТО ОБАЧЕ НЕ СА НАМЕРИЛИ ШИРОКО ПРИЛОЖЕНИЕ В ИНЖЕНЕРНИТЕ АНАЛИЗИ.

ИТЕРАТИВНИ МАТЕМАТИЧНИ МЕТОДИ

ИТЕРАТИВНИТЕ МЕТОДИ: ИЗХОЖДАТ ОТ НАЧАЛНО РЕШЕНИЕ НА УРАВНЕНИЯТА И ЧРЕЗ ПОСЛЕДОВАТЕЛНИ ПРИБЛИЖЕНИЯ ТЪРСЯТ СХОДИМОСТ НА РЕШЕНИЯТА. ЗА ВСЯКА ПОДСТЪПКА СЕ РЕШАВА ЗАДАЧАТА ЧРЕЗ ИТЕРАЦИИ, КАТО ТОВА СЛУЖИ ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ПОСОКАТА ЗА ОПТИМИЗИРАНЕ НА РЕШЕНИЕТО, КАТО СЕ ТЪРСИ СХОДИМОСТ. ПОЛЗВАТ СЕ ГЛАВНО ЗА СИСТЕМИ НЕЛИНЕЙНИ УРАВНЕНИЯ, НО И СА ДОСТА РАЦИОНАЛЕН ПОДХОД ЗА БЪРЗО РЕШАВАНЕ И НА ЛИНЕЙНИ УРАВНЕНИЯ. ПРИ **ЛИНЕЙНИ СИСТЕМИ:**

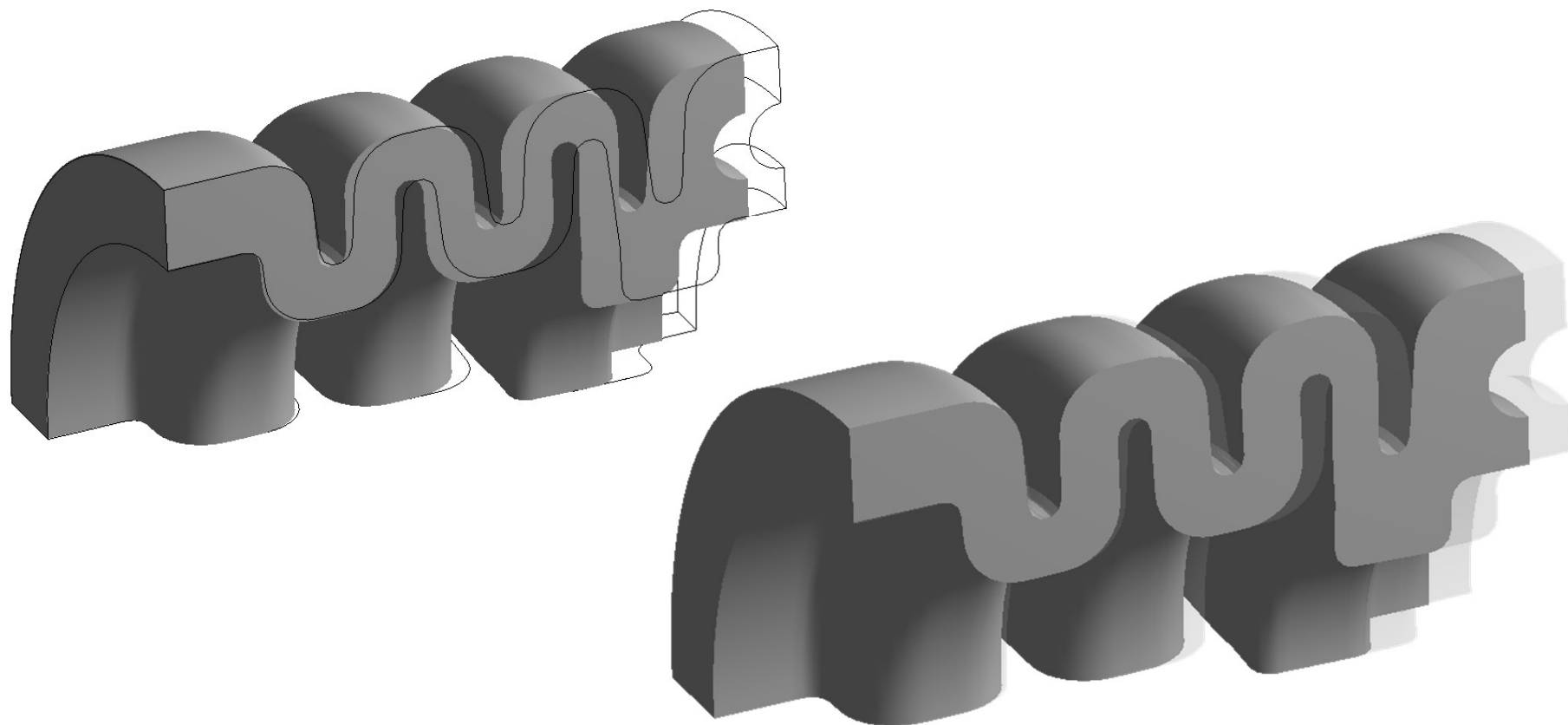
- МЕТОД НА ПРОСТАТА ИТЕРАЦИЯ (JACOBI) – АЛГОРИТЪМ ЗА НАМИРАНЕ НА РЕШЕНИЯ НА ДИАГОНАЛНО ДОМИНАНТНА СИСТЕМА ЛИНЕЙНИ УРАВНЕНИЯ. ПРЕСМЯТА СЕ ВСЕКИ ДИАГОНАЛ НА МАТРИЦАТА КАТО ПРИБЛИЖЕНА СТОЙНОСТ, КАТО ТОВА СЕ ПОВТАРЯ ДО ПРИВЕЖДАНЕ НА РЕШЕНИЕТО;
- МЕТОД НА CONJUGATE GRADIENT – АЛГОРИТЪМ ЗА ЧИСЛЕНО РЕШАВАНЕ НА КОНКРЕТНИ СИСТЕМИ ЛИНЕЙНИ УРАВНЕНИЯ, ЧИЯТО МАТРИЦА Е СИМЕТРИЧНА И ПОЛОЖИТЕЛНО-ОПРЕДЕЛЕНА. МЕТОДЪТ ЧЕСТО СЕ ПРИЛАГА ЗА ПРЕКЪСНАТИ СИСТЕМИ (ДИФЕРЕНЦИАЛНИ УРАВНЕНИЯ, ОПТИМИЗАЦИОННИ ЗАДАЧИ ИЛИ ГОЛЕМИ МОДЕЛИ С ЛОКАЛНИ НАТОВАРВАНИЯ);
- ДРУГИ – МЕТОД НА GAUSS-SEIDEL, GMRES МЕТОД;

Изчислителна фаза. Резултати

- Изчислителна фаза: Решаване на съставения изчислителен модел:
 - Избор на математичен апарат за решаване на съставения числен модел – според спецификата на изчислителния модел.
 - Дефиниране на специфични параметри на решението – като например, брой стъпки, подстъпки и итерации, критерии за сходимост и други.
 - Задаване на търсените изходни параметри – съставяне на списък от параметри или периоди, които да бъдат записани след приключване на решението.
- Фаза на обработка на резултатите
 - Преглед и обработка на резултатите – извличане на резултати и представянето им във вид, удобен за по-нататъшно анализиране.
 - Интерпретация на резултатите и анализ на решението.
 - Оценка и препоръки – заключителен елемент, формиращ крайните изводи от проведения инженерен анализ.

ПРЕГЛЕД И ОБРАБОТКА: ПРЕДСТАВЯНЕ В КРАЙНО СЪСТОЯНИЕ

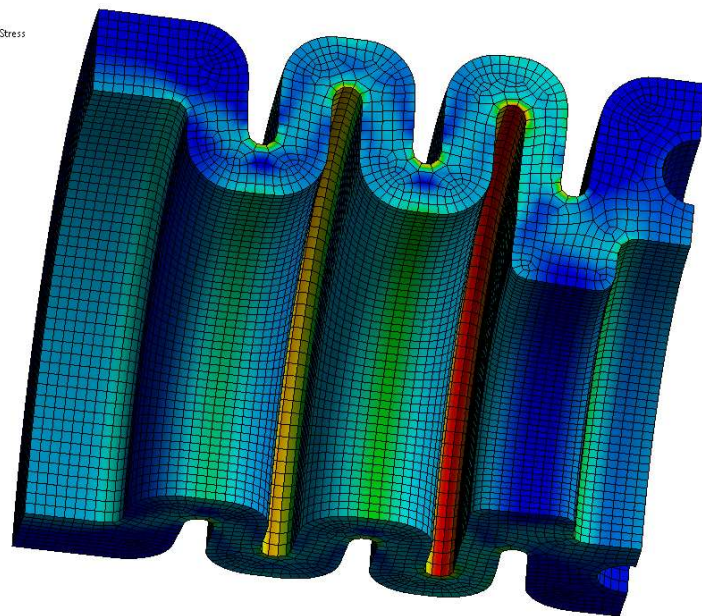
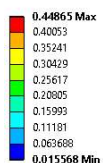
ОТКРОЯВА ХАРАКТЕРА НА ДЕФОРМИРАНЕ ИЛИ ПРЕМЕСТВАНЕ, ОСНОВНО ЗА МЕХАНИКА НА ТВЪРДОТО ТЯЛО. ПОКАЗВАТ СЕ ЕДНОВРЕМЕННО ИЗХОДНАТА ГЕОМЕТРИЯ И ПРОМЕНЕНАТА, ИЗЧИСЛЕНАТА ТАКАВА, КАТО ЕДНАТА Е ПОКАЗАНА КАТО КОНТУР.



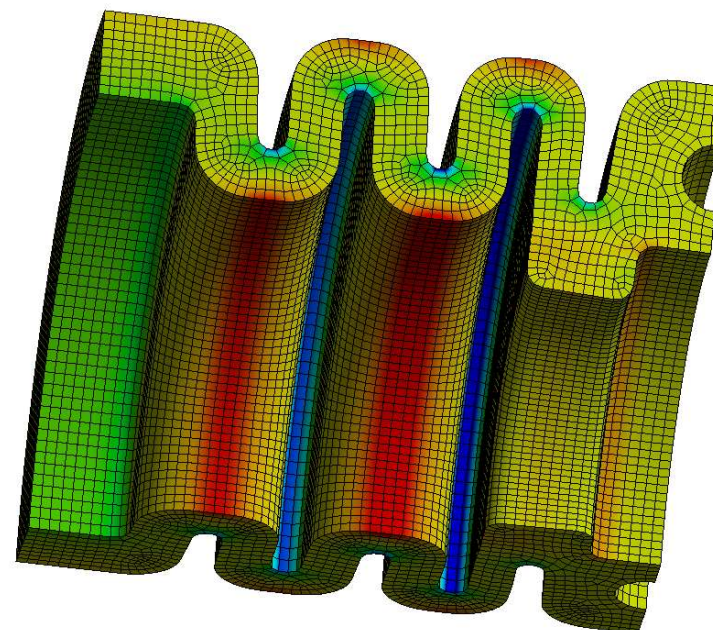
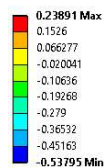
ПРЕГЛЕД И ОБРАБОТКА: ПОЛЕТА НА РАЗПРЕДЕЛЕНИЕ

ЦВЕТОВА ГАМА, КАТО НА ВСЕКИ ЦВЯТ СЪОТВЕТСТВА СТОЙНОСТ НА ПРЕДСТАВЯНАТА ВЕЛИЧИНА. ТАКА СЕ ОТКРОЯВАТ КОНЦЕНТРАЦИИ НА ВИСОКИ СТОЙНОСТИ И СЕ ОЦЕНЯВАТ ГРАДИЕНТИТЕ ИМ НА НАРАСТВАНЕ.

A: Static Structural
Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Unit: MPa
Time: 1



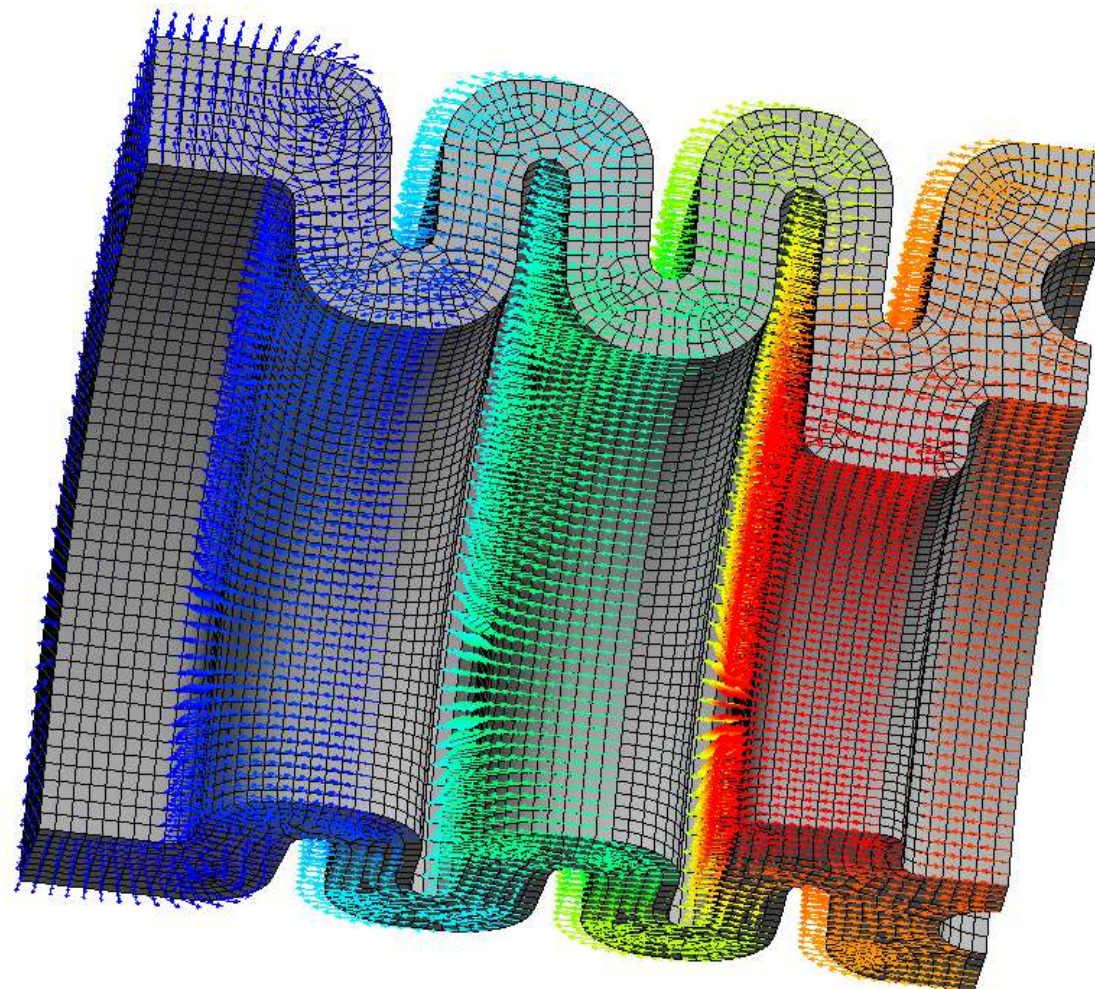
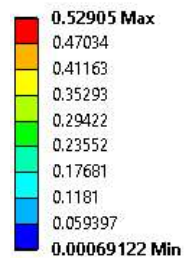
A: Static Structural
Normal Stress
Type: Normal Stress(X,Axis)
Unit: MPa
Global Coordinate System
Time: 1



ПРЕГЛЕД И ОБРАБОТКА: ВЕКТОРНО ПРЕДСТАВЯНЕ

ДОБАВЯ ИНФОРМАЦИЯ ЗА ПОСОКАТА НА ПРЕДСТАВЯНАТА ВЕКТОРНА ВЕЛИЧИНА.

A: Static Structural
Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1

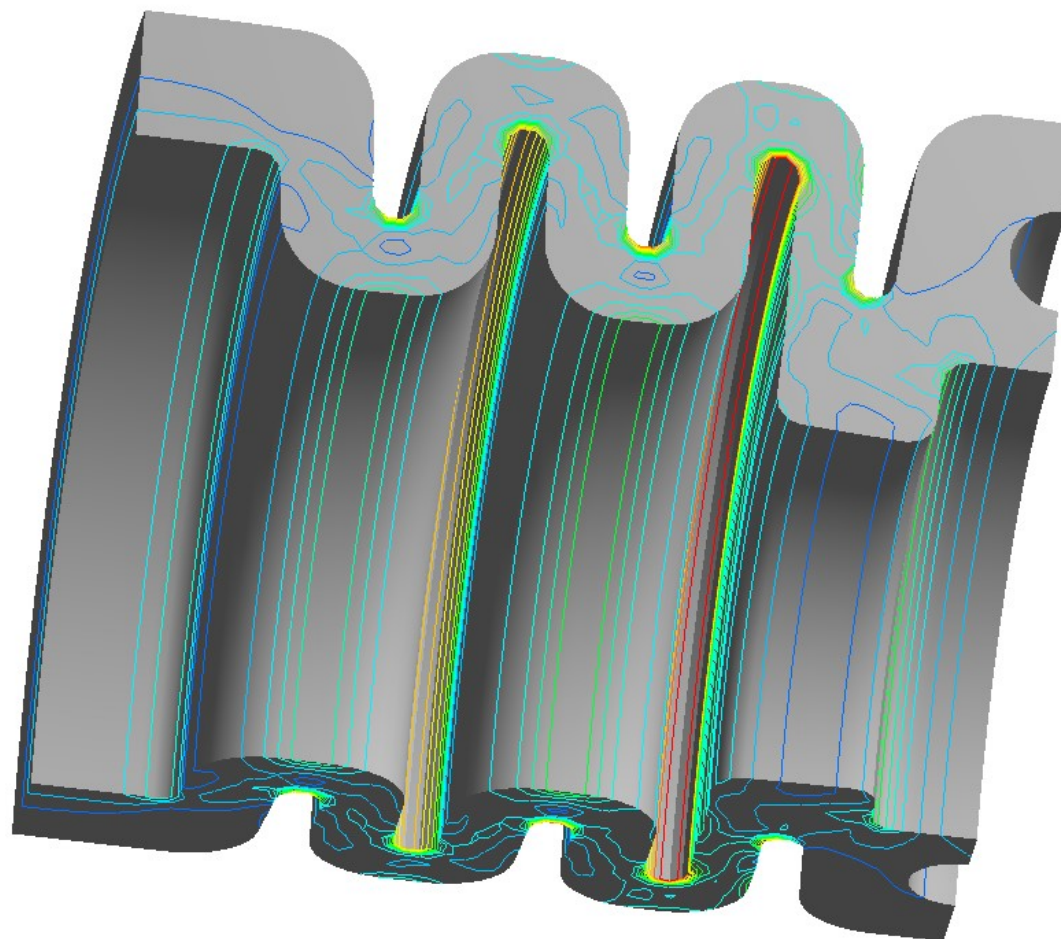
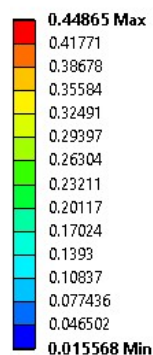


ПРЕГЛЕД И ОБРАБОТКА: КОНТУРНО/ПОВЪРХНИННО ПРЕДСТАВЯНЕ

Близко до топологичния начин на визуализиране. При него еднаквите стойности се показват чрез изолинии, или като повърхнини в тримерен

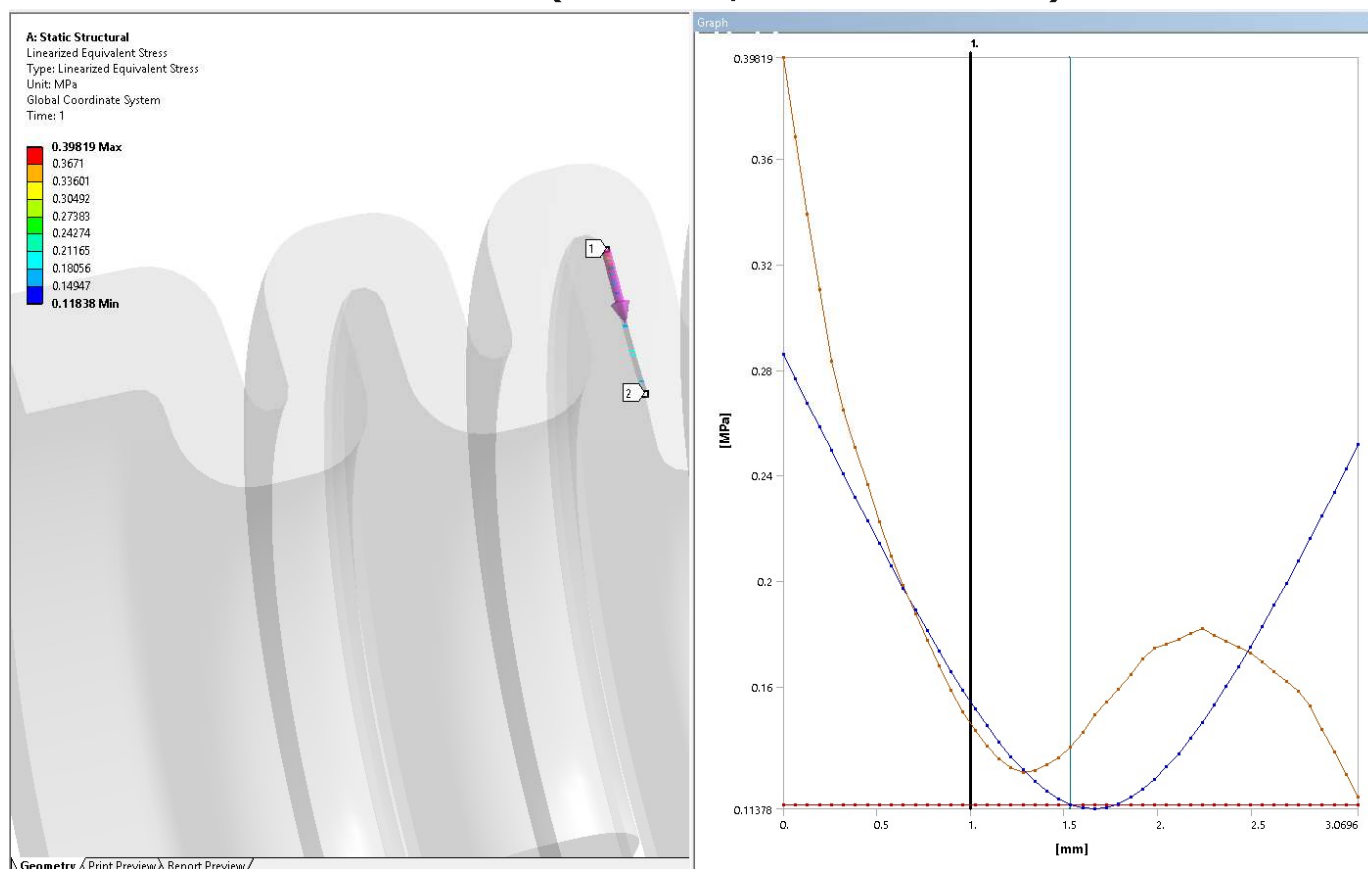
ВИД.

A: Static Structural
Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Unit: MPa
Time: 1



ПРЕГЛЕД И ОБРАБОТКА: ПРЕДСТАВЯНЕ ЧРЕЗ ГРАФИКИ

Подходящо за първични и вторични (допълнително обработени данни) резултати. Представя се двумерно, тримерно и като фамилии криви/повърхнини. Целта е да се покаже промяната на съответен параметър спрямо геометричен обект (по ръб, повърхнина) или спрямо други параметри.



ВЕРИФИЦИРАНЕ И ВАЛИДИРАНЕ НА ПОЛУЧЕНИТЕ РЕЗУЛТАТИ

ИДЕНТИФИЦИРАНЕ И ОТСТРАНЯВАНЕ НА ГРЕШКИ В МОДЕЛА ЧРЕЗ СРАВНЯВАНЕ НА ЧИСЛЕНИ РЕШЕНИЯ С АНАЛИТИЧНИ ИЛИ МНОГО ТОЧНИ РЕФЕРЕНТНИ РЕШЕНИЯ. ВАЛИДАЦИЯТА СЕ РЕАЛИЗИРА ЧРЕЗ КОЛИЧЕСТВЕНО ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ТОЧНОСТТА НА МОДЕЛА ЧРЕЗ СРАВНЯВАНЕ НА ЧИСЛЕНИТЕ РЕЗУЛТАТИ НА ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ДАННИ.

- **АСПЕКТИ НА ВЕРИФИКАЦИЯТА СА:**
 - ВЕРИФИКАЦИЯ НА ИЗЧИСЛИТЕЛНИЯ МОДЕЛ – ПРОВЕРКА НА ДАННИ ЗА ГЕОМЕТРИЯ, МРЕЖА, МАТЕРИАЛИ, ГРАНИЧНИ УСЛОВИЯ;
 - ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ЧИСЛЕНАТА ГРЕШКА НА РЕШЕНИЕТО – ОЦЕНКА НА ПРИБЛИЖЕНИЕТО ОТ ДИСКРЕТИЗАЦИЯ, ТОЧНОСТ НА РЕШЕНИЕТО, ВКЛЮЧИТЕЛНО И НА НЕГОВОТО ПРИВЕЖДАНЕ;
 - ВЕРИФИКАЦИЯ НА ОБРАБОТКАТА В ПОСТ-ПРОЦЕСОРА – ПРОВЕРКА ЗА ПРАВИЛНО ПРЕДСТАВЯНЕ НА РЕЗУЛТАТИТЕ;

ВЕРИФИЦИРАНЕ И ВАЛИДИРАНЕ НА ПОЛУЧЕНИТЕ РЕЗУЛТАТИ

- **ВАЛИДАЦИЯ** СЕ ИЗВЪРШВА С ПОМОЩТА НА ЦЕЛЕВИ ФИЗИЧЕСКИ ЕКСПЕРИМЕНТИ, КОИТО НАПЪЛНО ИЛИ ОТЧАСТИ ПРЕСЪЗДАВАТ МОДЕЛИРАНИЯ ФИЗИЧЕН ПРОЦЕС. ПОНЯКОГА МАЛКИТЕ НЕСЪОТВЕТСТВИЯ (ИДЕАЛИЗИРАНА ГЕОМЕТРИЯ И МАТЕРИАЛНИ СВОЙСТВА) МОГАТ ДА ДОВЕДАТ ДО ГОЛЕМИ ОТКЛОНЕНИЯ.
- **ГРАНИЧНИ СТОЙНОСТИ НА ЦЕЛЕВИТЕ ПАРАМЕТРИ** – ОПРЕДЕЛЕНИ ПРЕДВАРИТЕЛНО ПАРАМЕТРИ НА МАТЕРИАЛ (ГРАНИЦА НА ПРОВЛАЧВАНЕ, КРИВА НА УМОРА, ДР.), ТЪРСЕНИ ПАРАМЕТРИ НА ФЛУИДНО ТЕЧЕНИЕ (НАЛЯГАНЕ, ДЕБИТ, ПОДЕМНА СИЛА, ДР.);
- **КРИТЕРИЙ(И) ЗА ОЦЕНКА** – ТРЯБВА ДА БЪДЕ ПОДБРАН АДЕКВАТЕН ПАРАМЕТЪР НА РЕШЕНИЕТО, КОЙТО ДА СЕ СЪПОСТАВИ С ГРАНИЧНИТЕ СТОЙНОСТИ НА ЦЕЛЕВИТЕ ПАРАМЕТРИ.

ОТГОВОРНОСТ. ЕКСПЕРТИЗА



Гранични условия:

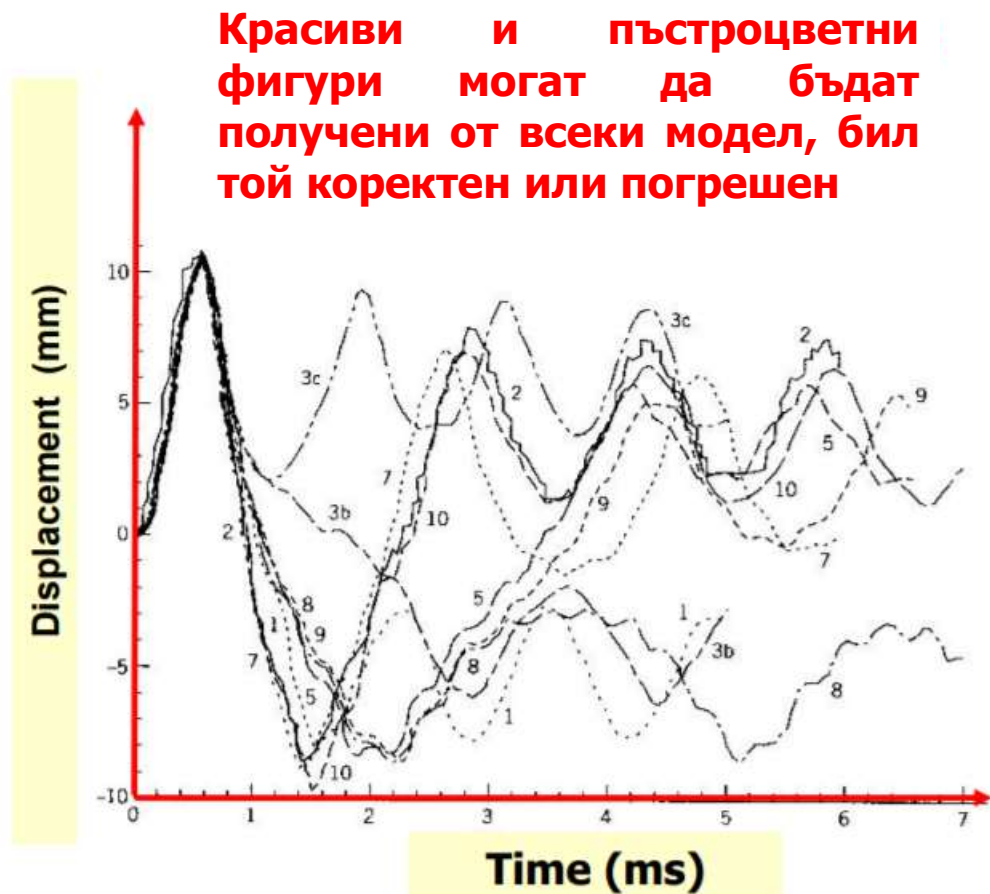
- Странично разположени опори тип става;
- Импулсно приложено налягане по дължината на гредата

Търсен резултат:

Преместване на средната точка на гредата като функция от времето.

Резултати, показани на фигурата:

Получени чрез 10 различни софтуерни инструмента, от експерти.



* R. D. Cook, *Finite Element Modeling for Stress Analysis*, John Wiley & Sons, 1995

Видове инженерни задачи според физиката на изследваният процес

ЧЕТИРИ ОСНОВНИ КАТЕГОРИИ: МЕХАНИКА, ФИЗИЧНИ АНАЛИЗИ НА ПОЛЕТА, МУЛТИФИЗИЧНИ И СПЕЦИФИЧНИ АНАЛИЗИ.

