

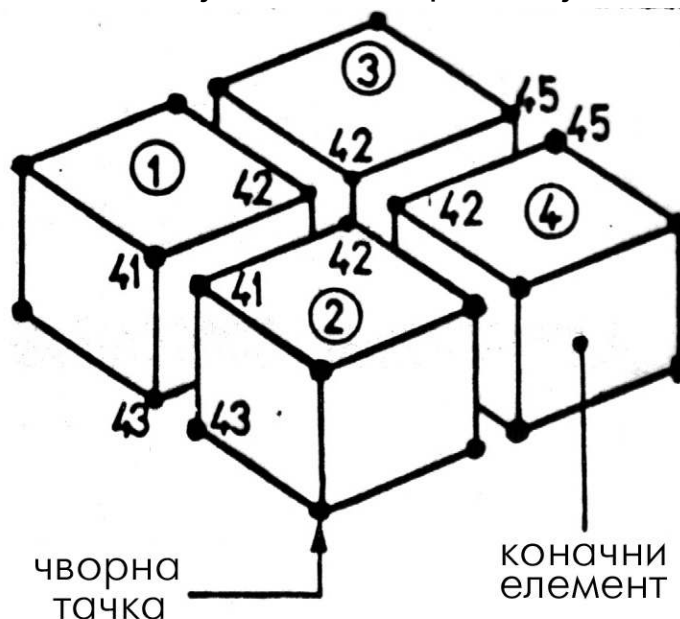
# ТЕХНОЛОГИЈА МАШИНОГРАДЊЕ – ЛЕТЊИ СЕМЕСТАР

## 3. лабораторијска вежба

### **СИМУЛАЦИЈА ПРОЦЕСА ОБРАДЕ ПЛАСТИЧНИМ ДЕФОРМИСАЊЕМ (МЕТОД КОНАЧНИХ ЕЛЕМЕНАТА)**

#### Дефиниција

- Метод коначних елемената (МКЕ) се заснива на одређеној дискретизацији неке непрекидне средине, елементима правилног геометријског облика, да би се на крају, преко описа сваког елемента, проблем свео на решавање система алгебарских линеарних једначина.
- Облик елемената може бити штапићаст, призматичан, троугласт, трапезаст и слично.
- Непрекидност средине се обезбеђује везом КЕ преко заједничких чворних тачака.
- У чворним тачкама имамо једнака померања и једнаке напоне.



#### Области примене

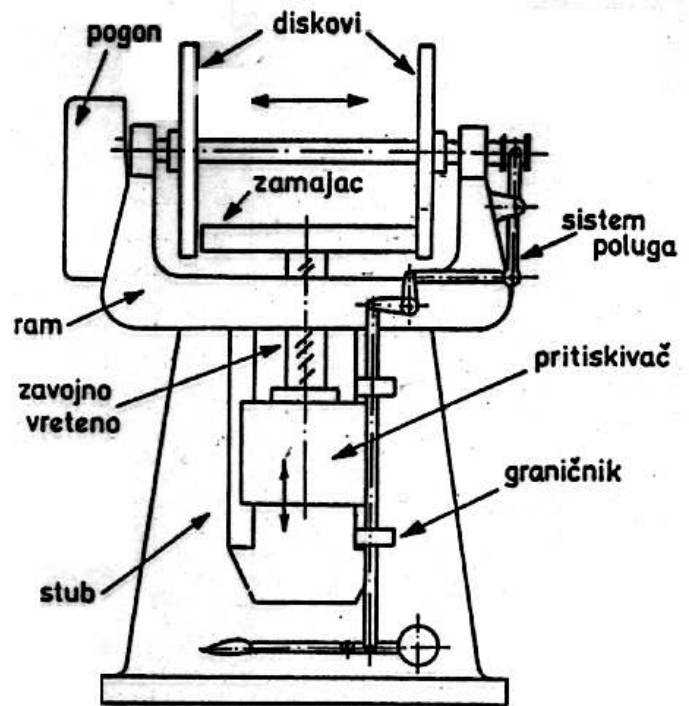
- статика носећих конструкција
- динамика носећих конструкција
- проблеми провођења топлоте
- симулација обраде пластичним деформисањем

Основни резултат МКЕ није савршено тачан, али је изванредан за поређење различитих варијанти конструкције.

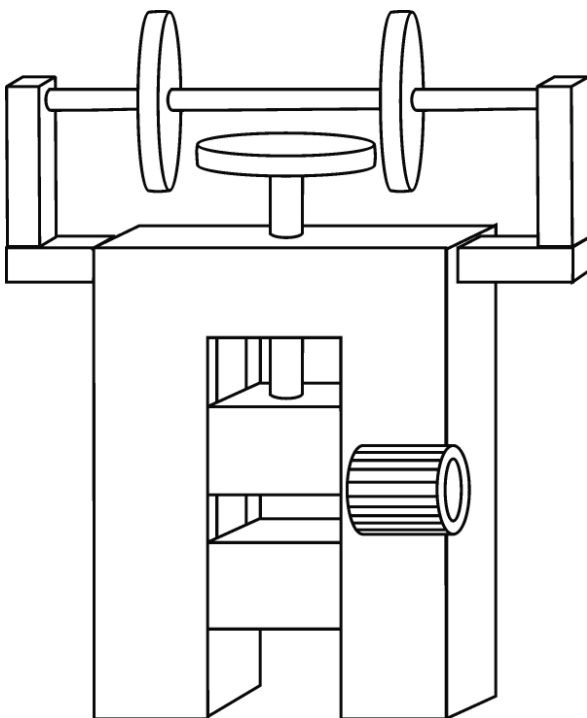
## Систем модела



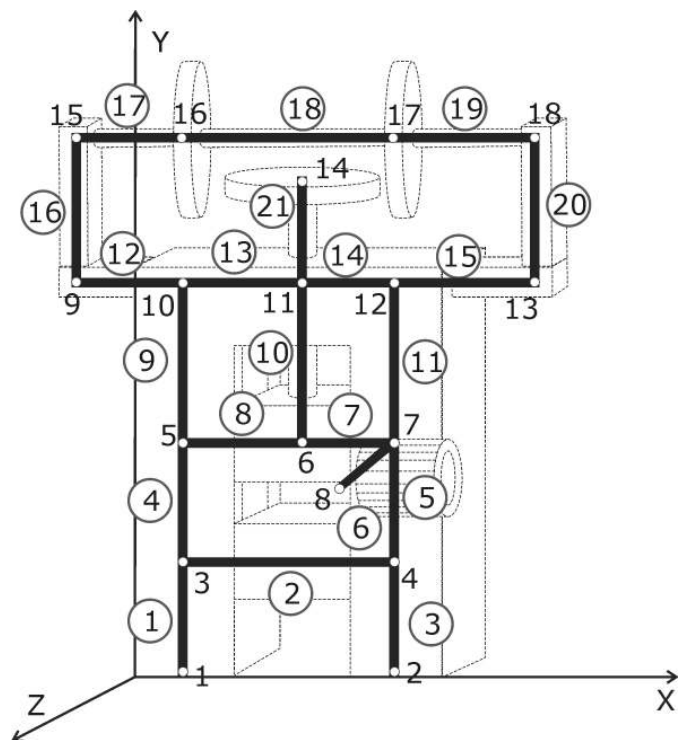
- Полазимо од реалног објекта – непрекидне средине
- Следећи корак је да постојећи модел симплифицирамо (поједноставимо), да бисмо могли да га моделирамо неким коначним елементима одређеног облика
- Затим формирамо дискретизовани модел, на коме примењујемо одређен вид коначних елемената



Реални модел



Симплифицирани модел

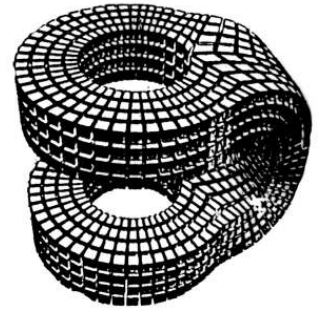


Дискретизовани модел

## Методе за формирање коначних елемената

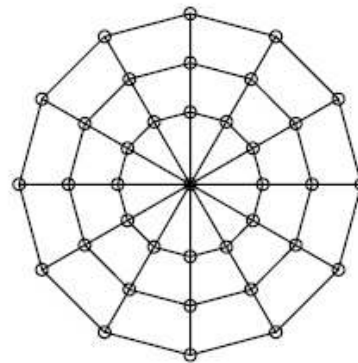
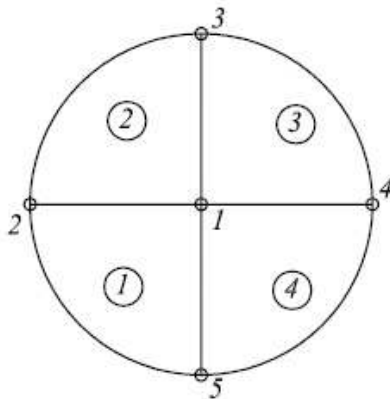
### 1. метода – *Finite Elements Method* (h – метода)

- унутрашње напонско стање сваког елемента неке структуре представља се линеарном функцијом
- ивице коначног елемента морају бити праве линије



### 2. метода – *Geometric Elements Method* (p – метода)

- унутрашње напонско стање елемента неке структуре може се представити и полиномима вишег реда до деветог
- ивице коначног елемента не морају бити праве линије



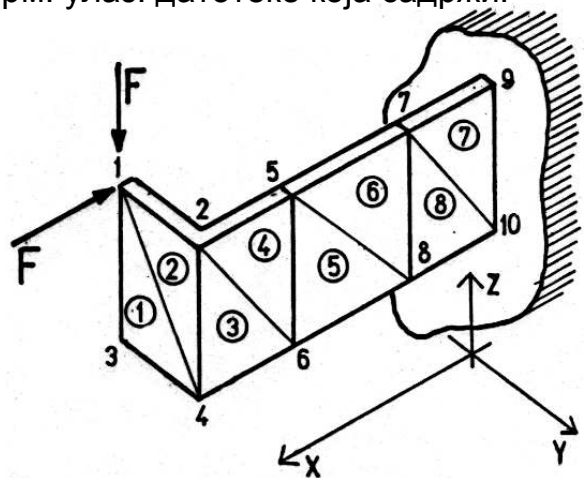
p metod	h metod
Koristi elemente velikih dimenzija	Koristi elemente malih dimenzija
Tipičan model se sastoji iz malog broja elemenata, obično 50 - 500	Tipičan model se sastoji iz velikog broja elemenata, obično 1000 - 5000
Tačnost rešenja se bazira na postepenom povećanju reda polinoma bez menjanja mreže elemenata	Tačnost rešenja se bazira na postepenom smanjivanju veličine elemenata, tako da je obavezna diskretizacija u svakoj iteraciji
Modeliranje i diskretizacija su laki i brzi	Modeliranje i diskretizacija su kompleksni i spori
Elementi su manje osetljivi na promenu oblika. Tipičan odnos strana elementa do 40:1. Prosesi, kao optimizacija oblika su zbog toga lakši	Elementi su osetljivi na promenu oblika. Odnos strana mora biti manji od 3:1. Zbog velike osetljivosti, promena oblika u toku optimizacije zahteva čestu ponovnu diskretizaciju modela
Ukupno kompjutersko vreme proračuna značajno raste sa povećanjem stepena polinoma	Ukupno kompjutersko vreme se ne povećava značajno sa povećanjem broja elemenata

## Примери софтвера за механичке и термомеханичке прорачуне носећих конструкција машина и објеката и симулацију обраде пластичним деформисањем применом МКЕ

1. Софтвери развијени на Катедри за производно машинство (проф. М. Калајџић), чији се рад демонстрира на лабораторијској вежби (Mekelba – за динамику носећих конструкција и OSA – за симулацију обраде пластичним деформисањем)
2. Комерцијални софтверски пакети, делом или у потпуности намењени примени методе МКЕ (ANSYS, ProMechanica, Algor, Catia ...)

## Пример софтвера за статичке прорачуне носећих конструкција

- Сваки софтвер за симулацију применом МКЕ мора имати следеће модуле (на примеру статичког прорачуна носећих конструкција):
- ПРЕПРОЦЕСОР – опис модела – форм. улаз. датотеке која садржи:
    - податке о чворним тачкама ЧТ (нумерација и координате)
    - подаци о коначним елементима КЕ (нумерација и ЧТ)
    - граничне услови (познати помераји неких ЧТ)
    - вектор спољашњих сила (конц. силе и моменти у ЧТ)
    - материјал ( $\rho$ ,  $E$ ,  $G$ )
  - ПРОЦЕСОР – потребни прорачуни:
    - формирање појединачних матрица крутости  $[K_j]$  појединих КЕ
    - израчунавање укупне матрице крутости  $[K]$
    - ред квадратне матрице  $[K]$  износи (број степени слободe) · (број ЧТ)
    - решавање матричне једначине  $[K] \cdot \{u\} = \{F\}$ 
      - $\{u\}$  – вектор генерализованих помераја – за све тачке садржи сва могућа померања (максимално по 6 степени слободe)
      - $\{F\}$  – вектор спољашњих сила
  - ПОСТПРОЦЕСОР – представљање резултата прорачуна:
    - алфанумеричко
    - графичко



## Пример софтвера за динамичке прорачуне носећих конструкција (Mekelba – МЕтод Коначних Елемената у BAsic-y)

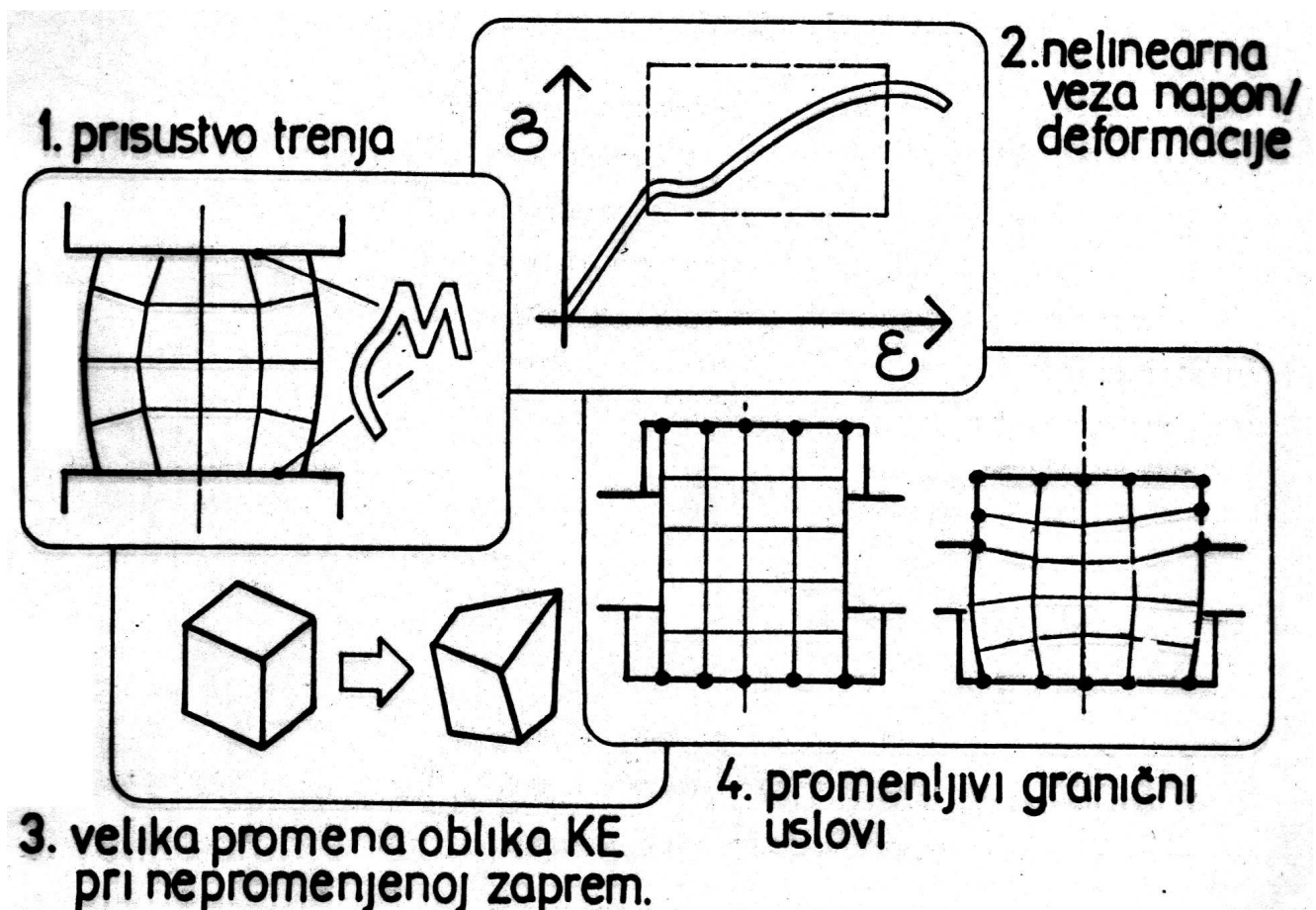
- Примена на лабораторијској вежби – динамичка анализа фрикци-оне пресе са два диска
- одређивање сопствених фреквенција
  - одређивање карактеристичних облика осциловања

## Примена методе коначних елемената на симулацију процеса обраде пластичним деформисањем

### Проблеми који се јављају при примени методе коначних елемената на симулацију процеса обраде пластичним деформисањем

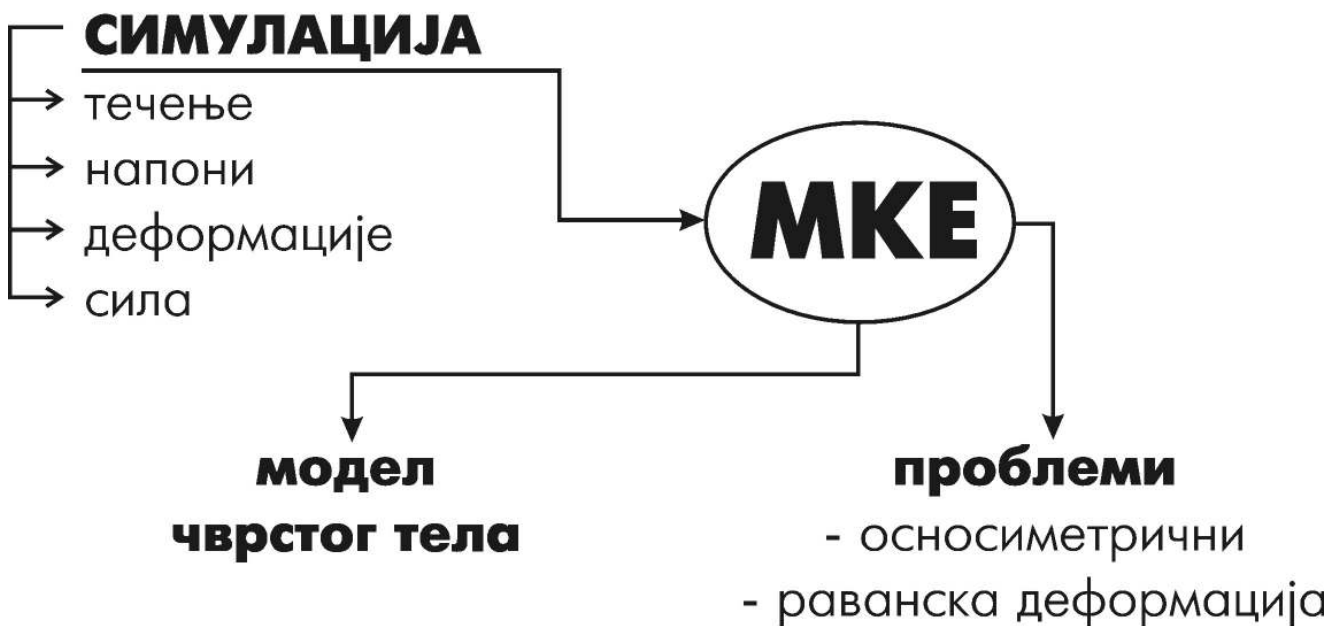
Примена МКЕ у обради пластичним деформисањем још није у пуној мери комерцијализована из следећих разлога:

1. Присуство трења на додиру између радних органа машине и предмета који се деформише (зоне ометаног ширења) није урачунато при симулацији применом МКЕ.
2. Примена МКЕ се односи на област еластичности конструкција где је линеарна веза између напона и деформација ... обраде пластичним деформисањем врше се у зони еласто-пластичних деформација, где не важи Хуков закон.
3. Приликом деформисања, коначни елементи мењају облик, задржавајући исту запремину.
4. У процесу сабијања долази до промене граничних услова.



## ЦИЉ

УПРАВЉАЊЕ ТЕХНОЛОГИЈАМА У ОБРАДИ  
МЕТАЛА ПЛАСТИЧНИМ ДЕФОРМИСАЊЕМ



## РАЗВИЈЕН СОФТВЕР

