

Univerzitet u Beogradu
Mašinski Fakultet



dr Aleksandar Marinković, vanredni profesor

Modeliranje komponenata mašina

Parametarsko modeliranje

Sreda 04.11.2015.

Parametarsko modeliranje

osnovne postavke



Parametarski CAD modeli

CAD modeli se nazivaju parametarskim ako je **definisanje njihove geometrije** (oblika) **potpuno ili delimično opisano pomoću parametara**. Parametri među sobom mogu biti povezani određenim relacijama ili takozvanim “ograničenjima” (constraints). Pored čisto geometrijskih parametara, često i tehnološki parametri mogu biti uključeni u definisanje CAD modela.

Ograničenja

Ograničenjima nazivamo matematički formulisane relacije između objekata u procesu konstruisanja. U oblasti CAD-a, relacije između objekata mogu biti geometrijske, logičke i funkcionalne.

Rešavanje ograničenja

Rešavanje ograničenja predstavlja algoritam za izvršavanje ili realizaciju ispunjenosti uslova postavljenih ograničenjem. Mogućnost rešavanja ograničenja može imati jedan od sledećih ishoda:

- ograničenje je rešivo
- ograničenje je nerešivo
- rešivost ograničenja nije poznata

Parametarsko modeliranje

osnovni elementi parametarskog modeliranja



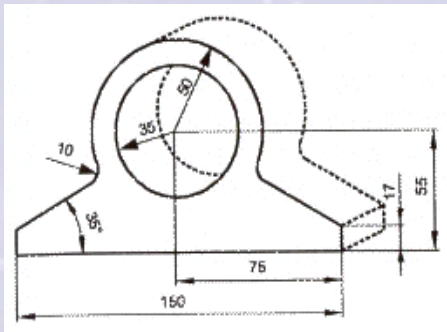
| Parametar | | Ograničenje | |
|----------------------------------|----------------|--------------------------|-----------------|
| Geometrijski | | | |
| • rastojanje (Distance) | | • horizontalno | |
| • dužina (Length) | | • vertikalno | |
| • poluprečnik (Radius) | | • paralelno | |
| • ugao (Angle) | | • normalno rastojanje | |
| • razmera (Scale) | | • tangentno rastojanje | |
| Funkcionalni | | | |
| • Osobine materijala | E, r | • jednakosti | y = x |
| • Tolerancije | ± 0,1 | • funkcionalna zavisnost | y = f(x) |
| • Parametri za formiranje sklopa | v _s | • uslovi (manje, veće) | y < x |
| • Težine i sile | M, F | • Logičke operacije | IF ... THEN ... |

Parametarsko modeliranje

poređenje parametarskih pristupa



kompletan parametarski model



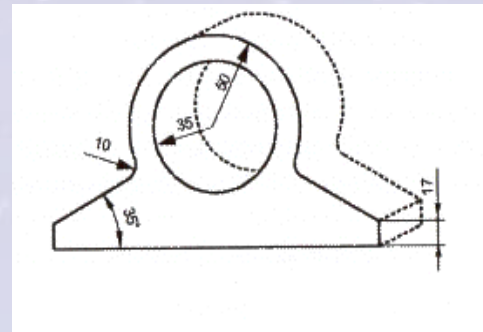
prednosti:

- jasno definisanje elemenata
- kompletno promenljiva geometrija

nedostaci:

- veliki broj parametara
- odnosi parametara moraju biti koncipirani na samom početku definisanja konstrukcije ili modela

delimičan parametarski model



prednosti:

- opis parametara moguć i bez korišćenja parametara
- slobodan izbor parametara

nedostaci:

- geometrija nije kompletno promenljiva pomoću parametara
- efekat koji se dobija promenom parametara nije potpuno predvidiv

Parametarsko modeliranje

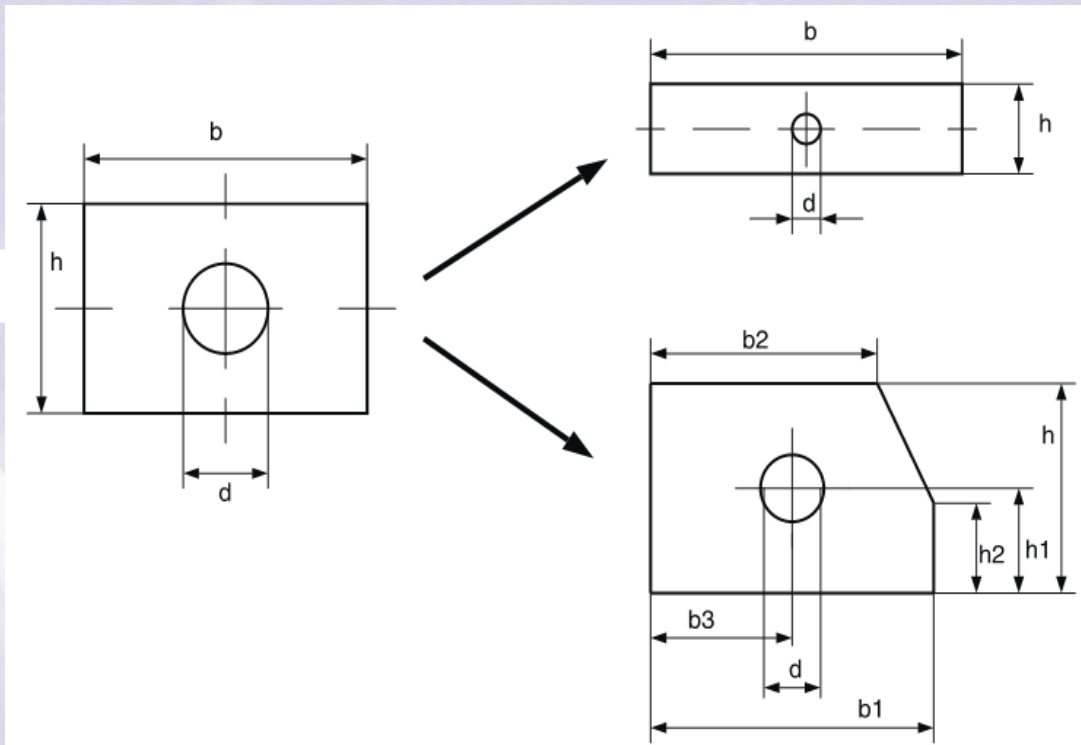
varijantni pristup modeliranju



➤ Parametarsko modeliranje dozvoljava realizaciju promenljivosti komponenti kod takozvane “familije delova”. Tako, **različite varijante konstrukcije** mogu biti veoma jednostavno izvedene. Ovaj tip parametarskog modeliranja se još naziva i “varijacija”. S obzirom na vrstu varijacije, možemo razlikovati verzije varijacije dimezija i varijacije oblika.

➤ Razlika između varijacije dimezija i varijacije oblika:

Početni oblik



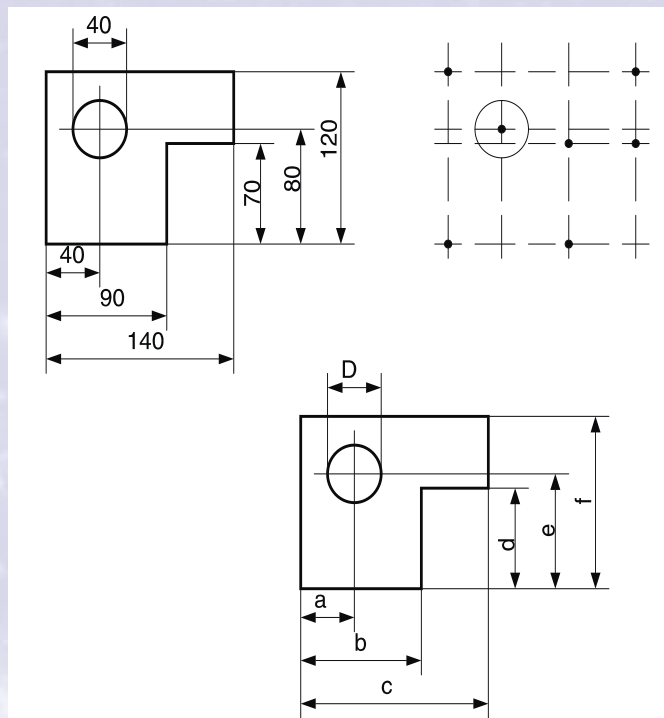
Varijacija dimezija

Varijacija oblika

Parametarsko modeliranje



Varijantni pristup na jednom ravanskom primeru



| Variants | a | b | c | d | e | f | D |
|----------|----|----|-----|----|----|-----|----|
| 1 | 40 | 90 | 70 | 70 | 80 | 120 | 40 |
| 2 | 40 | 90 | 120 | 70 | 30 | 120 | 40 |

Parametarsko modeliranje



Fibonačijev niz – primer standardnog niza u dizajnu

➤ Fibonačijev niz je niz F_n brojeva definisanih sledećom rekurentnom relacijom:

$$F_0=0, \text{ za } n=0; F_1=1, \text{ za } n=1; F_n=F_{n-1}+F_{n-2}, \text{ za } n>1.$$

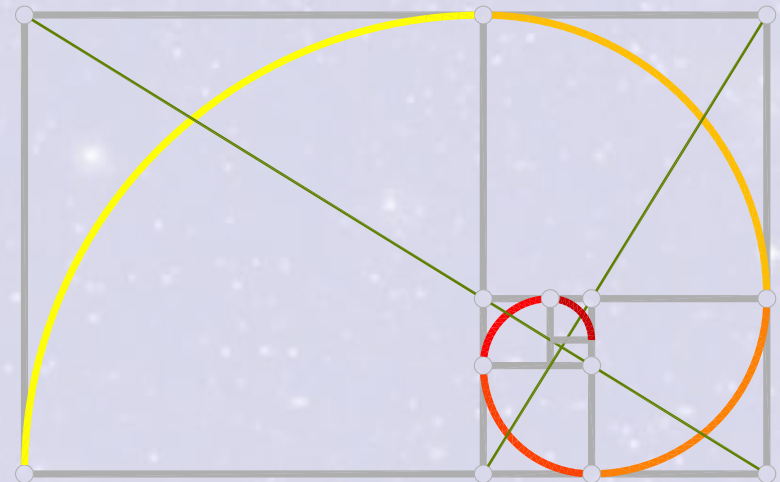
- ◆ 0, 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, 144, 233, 377, 610, 987, 1597, 2584, 4181, ...
- ◆ Osnovno svojstvo: svaki treći član niza je paran, a svaki k-ti je deljiv sa članom F_k .
- ◆ Niz je dobio ime po italijanskom matematičaru Leonardu Fibonacci-ju (1170.-1250), u čijoj knjizi Liber Abaci se ovaj niz prvi put spominje u zapadno-evropskoj matematici (1202. godine).
- ◆ Fibonačijev niz predstavlja jedan model prirodnog rasta i razvića koji se svuda sreće. Na toj osnovi je, po svemu sudeći, zasnovna i povezanost ovog niza sa osećajem skladnosti odnosno, pozitivnim estetskim sudom. Fibonačijev niz je simbol bujanja života!

Parametarsko modeliranje



Fibonačijev niz i zlatni odnos

- Kepler je prvi uočio činjenicu da količnik dva susedna člana Fibonačijevog niza teži ka zlatnom odnosu kada indeks niza beskonačno raste: $\lim(F_{n+1}/F_n) = \varphi, n \rightarrow \infty$
- $3/2=1,5$; $5/3=1,666...$; $8/5=1,6$; $13/8=1,625$; $21/13=1,615384...$;
 $34/21=1,619047...$; $55/34=1,617647...$; $89/55=1,61818...$;
 $144/89=1,6179775...$; itd...
- Ovo pokazuje da je Fibonačijev niz dobra racionalna aproksimacija iracionalnog broja φ . Od količnika dva susedna Fibonačijeva člana još bolju aproksimaciju zlatnog odnosa daje njihova aritmetička ili geometrijska sredina.
- **Fibonačijeva i zlatna spirala:**
kriva linija formirana od niza četvrtina kružnica upisanih u niz kvadrata koji pripadaju beskonačnom nizu zlatnih pravougaonika



Parametarsko modeliranje

Standardizacija i tipizacija

Standardima se pored ostalog propisuju numeričke vrednosti fizičkih veličina kao što su dužinske mere, tolerancije, karakteristike materijala

Osnova za formiranje numeričkih nizova kojima se pokoravaju navedene fizičke veličine su redovi brojeva R5, R10, R20, R40 i R80. To su geometrijski nizovi sa faktorima porasta:

$$\varphi_L = 10^{\frac{1}{5}} = 1,6 \quad \text{za red R5}$$

$$\varphi_L = 10^{\frac{1}{10}} = 1,25 \quad \text{za red R10}$$

$$\varphi_L = 10^{\frac{1}{20}} = 1,12 \quad \text{za red R20} \quad \text{itd.}$$

Tablica standardnih brojeva

| Standardni brojevi osnovnih redova | | | | Nazivni brojevi | Izračunati brojevi reda R40 | Odstupanje zaokruženih vrednosti u % |
|------------------------------------|-------|------|--|-----------------|-----------------------------|--------------------------------------|
| R5 | R10 | R20 | R40 | | | |
| 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0 | 1,0000 | 0 |
| | | | 1,06 | 1 | 1,0593 | +0,70 |
| | | | 1,12 | 2 | 1,1220 | -0,18 |
| | | 1,25 | 1,18 | 3 | 1,1885 | -0,71 |
| | | | 1,25 | 4 | 1,2589 | -0,71 |
| | | | 1,32 | 5 | 1,3335 | -1,01 |
| | | | 1,40 | 6 | 1,4125 | -0,88 |
| 1,60 | 1,60 | 1,60 | 1,50 | 7 | 1,4962 | +0,25 |
| | | | 1,60 | 8 | 1,5849 | +0,95 |
| | | | 1,70 | 9 | 1,6788 | +1,26 |
| | | 2,00 | 1,80 | 10 | 1,7783 | +1,22 |
| | | | 1,90 | 11 | 1,8836 | +0,87 |
| | | | 2,00 | 12 | 1,9953 | +0,24 |
| | | | 2,12 | 13 | 2,1135 | +0,31 |
| 2,50 | 2,50 | 2,24 | 2,24 | 14 | 2,2387 | +0,06 |
| | | | 2,36 | 15 | 2,3714 | -0,48 |
| | | | 2,50 | 16 | 2,5119 | -0,47 |
| | | 3,15 | 2,65 | 17 | 2,6607 | -0,40 |
| | | | 2,80 | 18 | 2,8184 | -0,65 |
| | | | 3,00 | 19 | 2,9854 | +0,49 |
| | | | 3,15 | 20 | 3,1623 | -0,39 |
| 4,00 | 4,00 | 3,35 | 3,35 | 21 | 3,4997 | +0,01 |
| | | | 3,55 | 22 | 3,5481 | +0,05 |
| | | | 3,75 | 23 | 3,7584 | -0,22 |
| | | 5,00 | 4,00 | 24 | 3,9811 | +0,47 |
| | | | 4,25 | 25 | 4,2170 | +0,78 |
| | | | 4,50 | 26 | 4,4668 | +0,74 |
| | | | 4,75 | 27 | 4,7315 | +0,39 |
| 6,30 | 6,30 | 5,00 | 5,00 | 28 | 5,0119 | -0,24 |
| | | | 5,30 | 29 | 5,3088 | -0,17 |
| | | | 5,60 | 30 | 5,6234 | -0,42 |
| | | 8,00 | 6,00 | 31 | 5,9566 | +0,73 |
| | | | 6,30 | 32 | 6,3096 | 0,15 |
| | | | 6,70 | 33 | 6,6834 | +0,25 |
| | | | 7,10 | 34 | 7,0795 | +0,29 |
| 10,00 | 10,00 | 7,50 | 7,50 | 35 | 7,4989 | +0,01 |
| | | | 8,00 | 36 | 7,9433 | +0,71 |
| | | | 8,50 | 37 | 8,4140 | +1,02 |
| | | 9,00 | 9,00 | 38 | 8,9125 | +0,98 |
| | | | 9,50 | 39 | 9,4406 | +0,63 |
| | | | 10,00 | 40 | 10,0000 | 0 |
| | | | Izuzetni red standardnih brojeva R80: 1,00 1,03 1,06 1,09 1,12 1,15 1,18 1,22 1,25 1,28 1,32 1,36 1,40 1,45 1,50 1,55 1,60 1,65 1,70 1,75 1,80 1,85 1,90 1,95 2,00 2,06 2,12 2,18 2,24 2,30 2,36 2,43 2,50 2,58 2,65 2,72 2,80 2,90 3,00 3,07 3,15 3,25 3,35 3,45 3,55 3,65 3,75 3,87 4,00 4,12 4,25 4,37 4,50 4,62 4,75 4,85 5,00 5,15 5,30 5,45 5,60 5,80 6,00 6,15 6,30 6,50 6,70 6,90 7,10 7,30 7,50 7,75 8,00 8,25 8,50 8,75 9,00 9,25 9,50 9,75 10 | | | |

Parametarsko modeliranje

faktori porasta za pojedine fizičke veličine



Sistem **potpune geometrijske sličnosti** se odlikuje skladnošću i proporcijama, njemu se teži i u velikom broju slučajeva i može se primeniti na elemente mašina, dok je za sklopove elemenata kao i za cele mašine iz opravdanih razloga bolje ili jednino moguće uzeti kao osnovu **sistem delimične geometrijske sličnosti**. Takvi opravdani razlozi mogu biti potreba za smanjivanjem količine alata za izradu ili pribora merenje, korist od upotrebe postojećih modela, snižavanje cene prizvoda smanjivanjem vremena za izradu i obradu delova, težnja ka smanjenju težine mašina itd.

$$\varphi_N = \sqrt[n-1]{N_{\max} / N_{\min}}$$

| | | | | | |
|-----------------|---------------------------|------------------|---|-------------------------|---------------------------|
| -za dužinu | $\varphi_L = \varphi_L$ | -za vreme | $\varphi_t = \varphi_L$ | -za silu | $\varphi_F = \varphi_L^2$ |
| -za površinu | $\varphi_A = \varphi_L^2$ | -za brzinu | $\varphi_v = 1$ | -za moment | $\varphi_M = \varphi_L^3$ |
| -za zapreminu | $\varphi_V = \varphi_L^3$ | -za ubrzanje | $\varphi_a = 1 / \varphi_L$ | -za rad | $\varphi_W = \varphi_L^3$ |
| -za masu | $\varphi_m = \varphi_L^3$ | -za ugaonu brz. | $\varphi_\omega = 1 / \varphi_L$ | -za snagu | $\varphi_P = \varphi_L^2$ |
| -za inerc. mase | $\varphi_J = \varphi_L^5$ | -za ugaono ubrz. | $\varphi_\varepsilon = 1 / \varphi_L^2$ | za $\varphi_\omega = 1$ | $\varphi_P = \varphi_L^3$ |
| | | | | -za napon | $\varphi_\sigma = 1$ |

Parametarsko modeliranje

primer tipizacije kućišta



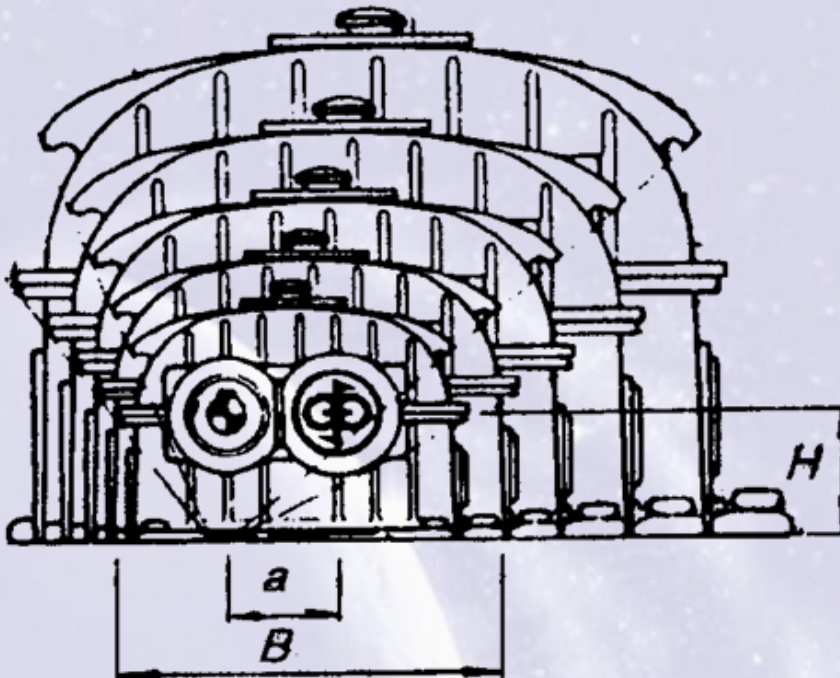
$$\varphi_N = \sqrt[n-1]{N_{\max} / N_{\min}}$$

$$\boxed{v = \text{const}} \quad \varphi_P = \varphi_L^2$$

$$\varphi_P = \sqrt[n-1]{\frac{P_{\max}}{P_{\min}}} = \sqrt[5-1]{\frac{25}{4}} = 1,58$$

$$\varphi_L = \sqrt{\varphi_P} = \sqrt{1,58} \approx 1,25$$

$$\varphi_m = \varphi_L^3 = 1,25^3 = 1,953 \approx 2$$



| n min^{-1} | | P kW | a mm | m_n mm | B mm | H mm | m kg |
|--------------------------|-------|-----------|-----------|-------------|-----------|-----------|-----------|
| R10 | Motor | R5 | R10 | Ra10 | R10 | R10 | R40/12 |
| 3150 | 3000 | 4 | 200 | 2,5 | 500 | 200 | 67 |
| 2500 | | 6,3 | 250 | 3 | 630 | 250 | 132 |
| 2000 | 1500 | 10 | 315 | 4 | 800 | 315 | 265 |
| 1600 | | 16 | 400 | 5 | 1000 | 400 | 530 |
| 1250 | 1000 | 25 | 500 | 6 | 1250 | 500 | 1060 |

Parametarsko modeliranje

primer tipizacije kućišta prenosnika



$$\omega = \text{const}$$

$$n = \text{const}$$

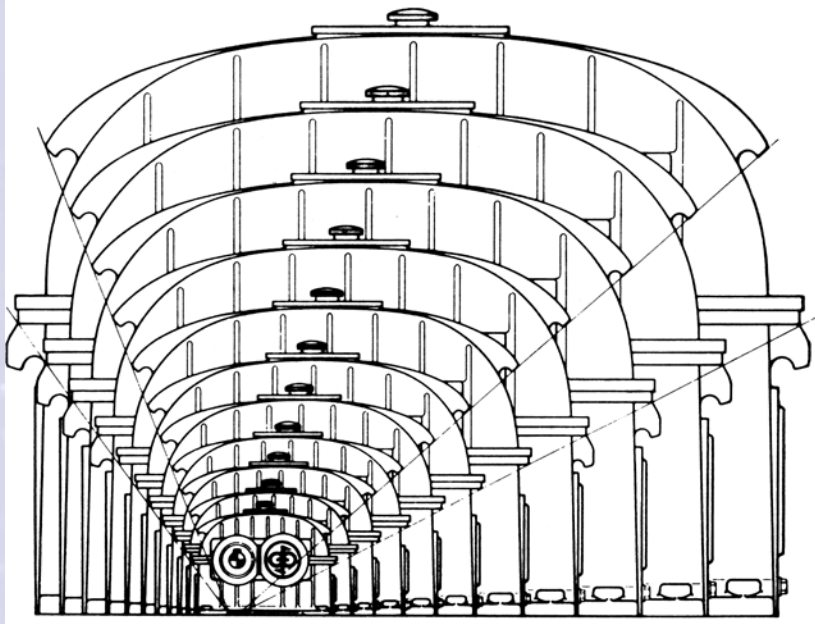
$$\varphi_P = \varphi_L^3$$

$$\varphi_L = \sqrt[3]{\varphi_P} = \sqrt[3]{1,58} = 1,16 \approx 1,12$$

$$\varphi_m = \varphi_L^3 = 1,12^3 = 1,4$$

| n min ⁻¹ | | P kW | a mm | m_n mm | B mm | H mm | m kg |
|--------------------------|--|-----------|-----------|-------------|-----------|-----------|-----------|
| 3000 | | R5 | R20 | Ra20 | R20 | R20 | R40/6 |
| 3000 | | 4 | 200 | 2,5 | 500 | 200 | 67 |
| 3000 | | 6,3 | 224 | 3 | 560 | 224 | 95 |
| 3000 | | 10 | 250 | 3 | 630 | 250 | 132 |
| 3000 | | 16 | 280 | 3,5 | 710 | 280 | 190 |
| 3000 | | 25 | 315 | 4 | 800 | 315 | 265 |

Parametarski modelirane konstrukcije



The screenshot shows the CATIA V5 interface with a 3D model of a bolt. The left-hand tree structure includes Part1, xy plane, yz plane, zx plane, Parameters, Relations, DesignTable.1, and PartBody. The DesignTable.1 dialog box is open, displaying the following table:

| Line | P | d | L | Ln | h | e | s |
|------|-------|------|------|------|------|--------|------|
| 1 | 2,5mm | 20mm | 46mm | 23mm | 13mm | 34,6mm | 30mm |
| 2 | 2,5mm | 22mm | 50mm | 25mm | 14mm | 36,9mm | 32mm |
| 3 | 3mm | 24mm | 54mm | 27mm | 15mm | 41,6mm | 36mm |
| 4 | 3mm | 27mm | 60mm | 30mm | 17mm | 47,3mm | 41mm |
| <S> | 3,5mm | 30mm | 66mm | 33mm | 19mm | 53,1mm | 46mm |
| 6 | 3,5mm | 33mm | 72mm | 36mm | 21mm | 57,7mm | 50mm |
| 7 | 4mm | 36mm | 78mm | 39mm | 23mm | 63,5mm | 55mm |
| 8 | 4mm | 39mm | 84mm | 42mm | 25mm | 69,3mm | 60mm |

The dialog box also includes fields for Name (DesignTable.1), Comment (This design table was created by user on 11/12/2007), and a checkbox for Duplicate data in CATIA model.