

# Predlog funkcijskih značilnosti faze zasnove v konstrukcijskem postopku

## A Feature-Based Approach to Conceptual Design Process

Borut Golob - Anton Jezernik

*Konstruiranje je zahteven miselni postopek, poln inženirskih odločitev in ponavljanja. Običajno začne z ugotavljanjem in določanjem potreb – zahtev, sledi mu iskanje najboljše rešitve zadanih nalog, ter po izbiri ustrezne rešitve še dodelava s podrobnim opisom izdelka. Izvajajo ga ljudje – konstrukterji, ob čedalje močnejši računalniški podpori. Žal v tem postopku pomembna faza iskanja rešitev – t.i. faza zasnove, ni deležna ustrezne računalniške podpore, predvsem zaradi zapletene in neformalne oblike podatkov, ki jih je težko računalniško modelirati in obdelovati. Sodobni računalniški sistemi za podporo konstruiranju modelirajo predvsem geometrijske podatke, potrebne v postopku določanje izdelkov ter pri izdelavi. V fazi zasnove pa so podatki bolj abstraktni in se nanašajo predvsem na funkcije izdelkov ter njihove izvedbe. Zato avtorja predlagata uporabo značilnosti za modeliranje podatkov o funkciji v fazi zasnove izdelka. Funkcijske značilnosti bodo omogočile opisovanje, zbiranje, shranjevanje in obdelavo podatkov o funkciji izdelka že v fazi zasnove, hkrati pa povezavo z nadaljnjimi fazami konstrukcijskega postopka.*

© 2003 Strojniški vestnik. Vse pravice pridržane.

**(Ključne besede: RPK (CAD), značilnosti funkcijske, zasnova konstrukcijska, konstruiranje metodično)**

*Product design is an iterative, complex and decision-making process, performed by designers. It usually starts with recognising and specifying requirements and demands, followed by searching for an optimum solution for the required tasks. After an evaluation of the concept solutions and the selection of promising solutions comes detailing, with the layout definition, and a description of the product. Conceptual design has been recognised as an important part of the design process, but receives weak computer support due to complex and informal data that is hard to retrieve, store and maintain with computers. Besides geometrical data, it is important to capture, represent and process the function and the behaviour of a product. The presented approach is feature-based modelling of product semantics and function that takes place already in the conceptual design phase. The features are then the information carriers that allow modelling of the relationships between the requirements of a product, its functional descriptions and physical solutions. These features will also bring this information to the downstream applications.*

© 2003 Journal of Mechanical Engineering. All rights reserved.

**(Keywords: CAD, features, conceptual design, systematic design)**

### 0 UVOD

Konstruiranje pomeni majhen strošek znotraj proizvodnega postopka, vendar bistveno vpliva na končno ceno, lastnosti in zmogljivosti izdelka. Računalniška podpora pri konstruiranju je uveljavljena predvsem v končnih fazah, obdelavi, analizi in detajliranju, medtem ko pri snovanju še ni učinkovite računalniške podpore, predvsem zaradi zapletene in neformalne oblike podatkov. Težišče razvoja računalniške podpore konstruiranju se v zadnjih letih prenaša na zgodnje faze konstrukcijskega postopka – snovanje – ter na uporabo navidezne resničnosti in digitalnih prototipov. Pri slednjih je namen sprotno in učinkovito vrednotenje ter preizkušanje izdelkov brez izdelave dragih fizičnih prototipov z uporabo tehnik navidezne stvarnosti v kombinaciji s RPK [1], pa tudi možnost prikaza izdelka

### 0 INTRODUCTION

Design represents a small part of the cost in a product's life cycle, but it influences heavily on the overall costs of the product. Computer-aided design is well established in the later phases of the design process, namely detailing and embodiment with analysis and modelling, while the early phases of the design process are looking in computer support. Research and development in the computer support for design is aimed at the early phases of the design process – conceptual design, on the one hand, and virtual reality (VR) and digital prototyping on the other. The latter allow a consistent and efficient evaluation of the product, without the need for expensive physical prototypes, using VR methods with CAD (see for example [1]), or the possibility of representing products and data exchange over the internet

in izmenjave podatkov prek omrežja, s ceneno grafično opremo in uporabo standardnih spletnih orodij [2].

Pri računalniški podpori fazi snovanja je razvoj usmerjen po eni strani v podporo metodičnemu načinu konstrukcijskega postopka, po drugi v klasifikacijo in opis funkcijske sestave izdelkov ([3] in [4]), pa tudi v uporabo metod umetne inteligence ali inteligentnih računalniških sistemov ([5] in [6]). Pregled in klasifikacija je podana v [7]. Namen tega prispevka je prikazati strukturirano definicijo podatkov, ki se pojavijo v fazi zasnove, ter na osnovi le-teh razviti "funkcijske značilnosti", ki bodo uporabne kot nosilec informacij v računalniški podpori fazi zasnove konstrukcijskega postopka. Ob tem sledimo metodičnemu načinu kakršnega predlaga evropska šola konstruiranja ([8] in [9]). Glavni cilj raziskovalnega dela je razviti strukturo podatkov, ki bo omogočala avtomatizirano shranjevanje, iskanje in uporabo informacij, pomembnih v začetni fazi konstruiranja, s tem pa ponovno rabo znanja, uporabljenega v izdelkih, pri konstruiranju novih izdelkov oziroma pri spremembi sedanjih izdelkov.

Prispevek v prvem delu opisuje osnove metodičnega konstruiranja, nato podaja sestavo informacij, uporabljenih v tem postopku, zatem pa opis značilnosti in predlog definicije funkcijske značilnosti. Na koncu so podani zgled in sklepi ter predlogi za nadaljnje delo.

## 1 METODIČNO KONSTRUIRANJE

Metodično konstruiranje je način, ki predpisuje postopke in metode za učinkovito doseganje cilja. Posamezni avtorji so razvili številne metode, ki so večinoma podobne in se deloma tudi prekrivajo. *Sistematični postopek konstruiranja* po Pahlu in Beitzu [8] deli konstrukcijski postopek v štiri faze. Po koncu vsake faze sledita odločitev in izbira za nadaljnje delo. Posamezni koraki se lahko ponavljajo.

Prva faza je namenjena razjasnitvi naloge. Vključuje zbiranje podatkov o prihodnjem izdelku, tržne analize, študije usmeritev, preučevanje konkurence ali iskanje zamisli za nov izdelek. Sledi natančno določanje naloge, ki jo mora izdelek opravljati, ter postavitve zahtev in omejitev, ki jim mora ustrezati. Rezultat te faze je specifikacija oz. naročilo za razvoj. Pred nadaljevanjem dela je potrebna odločitev, ali je specifikacija sprejemljiva oziroma ali je smotno začeti razvoj predlaganega izdelka. Druga faza – zasnova – je namenjena iskanju idejnih rešitev za izvedbo izdelka (sl. 1). Začne se s preučitvijo specifikacije in abstrakcijo razvojne naloge. Namen je najti bistveno funkcijo, ki jo je treba izvesti. Tako razvojno nalogo definiramo v abstraktni obliki, neodvisni od izvedbe. (Zgled: »Konstruiranje vodne črpalke« nas v abstraktni obliki privede do naloge »Razvij sistem za dviganje tekočin«) To omogoča širši prostor za iskanje rešitev, saj se izognemo predsodkom, ki omejujejo izkušene konstrukterje z vnaprejšnjim predvidevanjem stereotipne rešitve. Sledi iskanje funkcije, ki jo je treba izpolniti. Običajno problem razdelimo na podfunkcije in

using standard web applications and inexpensive computer graphics [2].

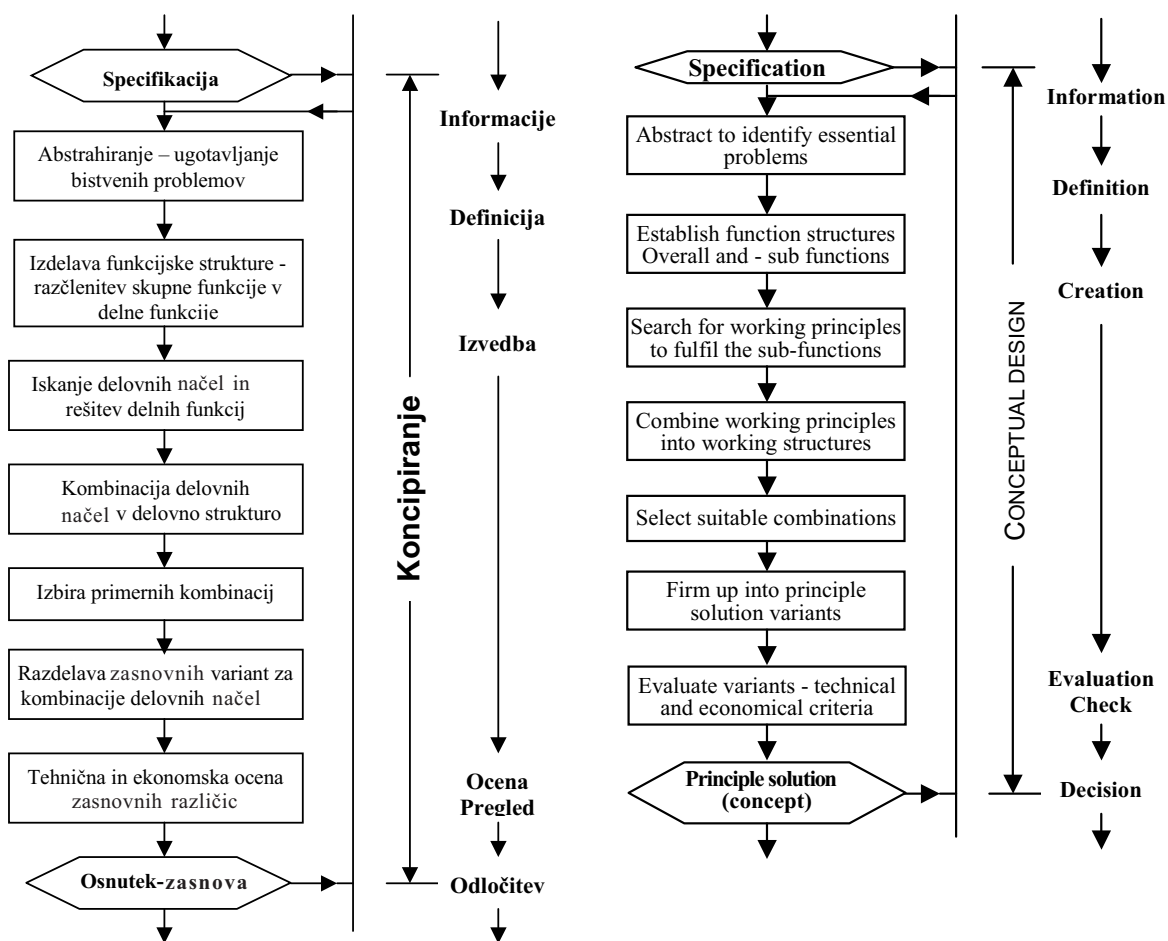
Existing approaches to computer-aided conceptual design include support for a systematic approach to the design process and the classification and description of the functional structure of technical systems ([3] and [4]), as well as exploring AI methods and intelligent computer systems ([5] and [6]). An overview of this can be found in [7]. The aim of this paper is to develop a concept to represent the conceptual design information, for supporting the product semantics during the development process, following the methodical approach to the design process as proposed by the European Design School ([8] and [9]). The major prerequisite of such an approach, and therefore the focus of this paper, is a suitable representation scheme to store, manage, and retrieve the product semantics, including the conceptual data.

This paper begins with an introduction to systematic design, which is followed by a description of the information structure used in this process. After a short introduction of the features, a proposal for the definition of a "functional" feature is given, and this is illustrated with an example. Finally, some conclusions and perspectives for future work are outlined.

## 1 SYSTEMATIC DESIGN

Product design is an iterative, complex and decision-making process. It has been analysed by many researchers and a number of design methodologies have been developed. An internationally accepted approach of the European school of design is the *Systematic Approach to Engineering Design* proposed by [8], which is the starting point for the work presented here. It divides the design process into four phases, after which certain decisions will have been made. The steps between the phases are approximate and are based on iteration and recursion.

The first phase addresses the clarification of the design task and results in a detailed design specification. The second phase is that of the conceptual design, shown in Fig. 1. It starts with an analysis of the specification in order to identify the essential problems to be solved. The design problem is then formulated in an abstract, solution-neutral form (example: "design a water pump" led to a task: "design a technical system for raising fluids"). This makes the solution space as wide as possible, in order to avoid prejudices that may tempt the designer to decide on a certain solution before other alternatives have been considered. The problem may then be decomposed into sub-problems and function structures can



Sl. 1. Faza zasnove

Fig. 1. Steps of conceptual design

zgradimo t.i. funkcijsko strukturo oz. več alternativnih struktur. Velikokrat lahko izboljšave dosežemo že z variiranjem funkcij. Naslednji korak je iskanje rešitev za posamezne podfunkcije. Pri tem si pomagamo z ustvarjalnimi metodami (npr. prebliski (brainstorming), metoda 635, sinektika), običajnimi metodami (preiskovanje patentov) ali sistematičnimi metodami (konstrukcijski katalogi z opisanimi znanimi fizikalnimi ali kemičnimi pojavi, strojnimi elementi ipd.). Rešitve posameznih podfunkcij kombiniramo v skupno rešitev s t.i. morfološkimi matrikami. Po oceni posameznih kombinacij izberemo obetajoče rešitve za izdelavo zasnovnih različic. Ko jih tehnično in ekonomsko ovrednotimo, izberemo najustreznejšo (ali več) za nadaljnji razvoj. Če nobena rešitev ne ustreza, zasnovno začnemo ponovno, lahko s spremenjenimi zahtevami, ali pa projekt opustimo. Sistematični način poudarja pomembnost odločitev, sprejetih v fazi zasnove, saj je morebitne pomanjkljivosti v zasnovi rešitve kasneje zelo težko ali celo nemogoče popraviti. Zato je ta faza tudi najbolj ustvarjalna, hkrati pa ime zaradi zahtevne sestave informacij tudi najslabšo računalniško podporo.

Fazi zasnove sledi faza snovanja – razvoj zgradbe ali ustroja izdelka z izdelavo osnutka v merilu. Določi se prostorska zasnova, osnovna oblika in razpored sklopov izdelka. Po izbiri najboljše oblike sledijo analize, optimiranje, določitev osnovnih dimenzij izdelka in ponovno tehnično in ekonomsko vrednotenje. Rezultat te faze je natančen

be established. Solutions to the sub-functions are then sought. This process is supported by creative, conventional and systematic methods. Morphological matrices are used to combine sub-function solutions into system solutions. Afterwards, promising system solutions are further developed into concept variants. Finally, a use-value analysis is used to evaluate the concept variants, and the “best” concept is selected for further development. Such a systematic approach emphasizes the importance of a decision taken in the conceptual design phase, because it is very difficult to correct fundamental shortcomings of the concept in the latter design phases – embodiment and detail design.

The concept design phase is followed by the embodiment design phase. During this phase the designer develops the layout and the form of the final system. It is also the phase where CAE and simulation software are often used nowadays, even if due to the shortcomings of today’s CAx systems, engineers have to start with the modelling details in the CAD in order to perform the analyses. Support to the embodiment design is provided by means of rules, principles and guidelines.

osnutek z določenimi osnovnimi merami in končno obliko.

Zadnja faza je dodelava, (detajliranje), kjer so določene podrobnosti, sestava in struktura izdelka. Obsega oblikovanje in optimiranje sklopov in delov – elementov, podrobno trdnostno preverjanje oblik in materialov, izdelavo izvedbenih predlog – risbe, kosovnice, navodila ter izdelavo in preizkus prototipa.

## 2 INFORMACIJSKA STRUKTURA PRI ZASNOVI

Kakor je razvidno iz opisanega, je predvsem faza zasnove intenziven miselni postopek, ki obsega abstraktne in neformalne podatke. Če želimo ustrezno računalniško podporo, moramo te podatke ustrezno formalizirati in strukturirati za uporabo v računalniški obliki.

### 2.1 Zahtevnik

Zahtevnik je rezultat prve naloge pri zasnovi – razjasnitve zadane projektne naloge. Vsebuje zahteve in želje, ki jih izdelek mora izpolnjevati, rabi pa za vrednotenje in ocenjevanje primernosti izbrane rešitve. Opis zahtev mora v strukturirani obliki vsebovati naslednje informacije:

#### *Opis zahtevnika*

- ime zahteve
- vrsta  $\in$  {zahteva, želja}
- razred  $\in$  {funkcionalnost, izdelava, ekonomičnost, uporabnik / okolje}
- ↳ podrazred {geometrija, kinematika, sile, energija, material, signal, itn.}
- kakovostno/količinsko
- lastnosti - geometrijske {velikost, višina, širina, dolžina}
- vrednost, enota

### 2.2 Funkcija izdelka oziroma sistema

Tehnični sistemi (TS) spreminjajo energijo, material in/ali signale. To pretvorbo lahko opišemo kot pretok skozi sistem. Naloga oziroma funkcija TS je opisana na podlagi vhodnega stanja in zelenega izhodnega stanja pretokov. Pri tem je ena vrsta spremembe običajno prevladujoča in jo imenujemo glavni tok, drugi pa so pomožni in omogočajo doseganje namena oziroma funkcije. Zgled: za uparjanje vode – glavni tok je material – potrebujemo pomožni tok – energijo. Večinoma se pojavljata vsaj dva tokova, pogosto pa celo vsi trije tokovi. Za reševanje tehničnega sistema potrebujemo jasno definirano razmerje med vstopom in izstopom, ki ga lahko opišemo kot funkcijo sistema. Ta je abstrakten zapis naloge in je neodvisen od rešitve. Celotno funkcijo TS lahko običajno razdelimo na podfunkcije in tako sestavimo funkcijsko strukturo. Pri nadaljnji delitvi lahko pridemo do osnovnih funkcij,

Finally, in the detail design phase, detailed product models (e.g. CAD models, and production documents) are completed, mostly using standard computer-aided design tools. Nowadays, the times and costs for prototyping are significantly reduced with the introduction of VR techniques.

## 2 INFORMATION IN CONCEPTUAL DESIGN

Effective computer support during the conceptual phase of the design process is obtainable via properly structured information. Due to the highly complex and informal data used in this process, feature-based representation seems to be the most appropriate for achieving this goal.

### 2.1 Requirements

The requirements list results from the very first task-clarification phase and describes the general constraints a product has to or should, fulfil. An important prerequisite to enable automatic validation of the proposed solutions against given requirements is a structured and formalised description of these requirements that has to handle the following information:

#### *Representation of requirements*

- name
- type  $\in$  {demand, wish}
- class  $\in$  {functionality, manufacturability, economy, user / environment}
- ↳ subclass {geometrical, kinematical, forces, energy, material, signal, etc.}
- qualitative/quantitative
- properties - geometrical {size, height, width, length}
- operator

### 2.2 Product Function

In technical systems it is energy, material and/or signals that are converted. These conversions can be described as a flow through the system, where one is the main flow and the others, if any, are supporting flows. For the design of a technical system, a clear attitude between the input and the output must be defined in the form of the function of the system. This function is an abstract formulation of the task. The overall function can often be divided into subfunctions, and function structures can be established. With a further sub-division of the subfunctions, basic functions – also called generally valid – can then be recognised. These functions, according to the definition by Rodenacker and Krumhauer (see for instance [8]) are change, vary, connect, channel and store. They repre-

ki jih lahko opišemo kot splošno veljavne funkcije. Te so definirane glede na značilnosti vstopa in izstopa [8], in sicer: menjaj, spreminjaj, poveži, usmeri in shrani. Izdelava funkcijske strukture olajša iskanje rešitve, posamezne podfunkcije pa lahko rešujemo tudi ločeno.

Funkcije izpolnimo z uporabo fizikalnih, kemičnih ali bioloških postopkov, pri čemer strojniške rešitve temeljijo večinoma na fizikalnih postopkih.

Načelno rešitev, ki izpolni zahtevano funkcijo, lahko izvedemo z izbranim fizikalnim učinkom, ki ga dosežemo z ustrežno obliko - geometrijskimi značilnostmi in materialnimi lastnostmi izdelka. Delovni učinek sistema lahko definiramo kot funkcijo oblike, lastnosti materiala in vhodnih količin. Če zahtevane funkcije ne moremo izpolniti s preprostim učinkom, uporabimo dodatne učinke in sestavimo funkcijsko strukturo.

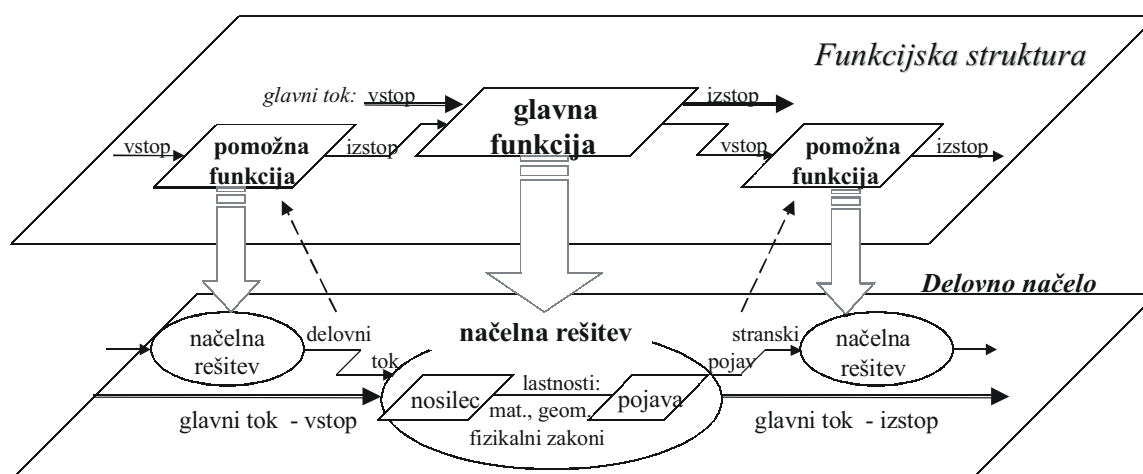
Sl. 2 prikazuje preslikavo funkcijske strukture v delovno načelo. Za izpolnitev zahtevane funkcije izberemo ustrežno načelno rešitev. Ta je določena s fizikalnim učinkom, izbranim prenosom (materialom in obliko) in pripadajočimi fizikalnimi zakoni. Običajno za izvajanje glavne funkcije potrebujemo še dodatne funkcije, ki zagotavljajo pomožne tokove (npr. energija, signali). Dodatno (pomožno) funkcijo lahko

sent a conversion of type, magnitude, number, place and time, respectively.

Functions are usually fulfilled by physical, chemical or biological processes, whereas mechanical-engineering solutions are based mainly on physical processes.

Selected physical effects and the determined material and geometric characteristics result in a working principle that fulfils each function. If a function cannot be fulfilled with a simple effect, a structure of effects has to be used instead. In the embodiment design phase qualitative and quantitative parameters, such as surfaces, dimensions and material properties, are defined according to the physical laws given by the effects.

Figure 2 shows the mapping of a function structure into a working principle. To fulfil the main function of a product, an appropriate principle solution has to be selected. A principle solution is defined by an effect, an effect carrier, properties and physical laws. To perform the main function, auxiliary functions may be needed to supply supporting flows, to eliminate side effects or to meet given requirements. Auxiliary functions can be



Sl. 2. Preslikava funkcijske strukture v delovno načelo

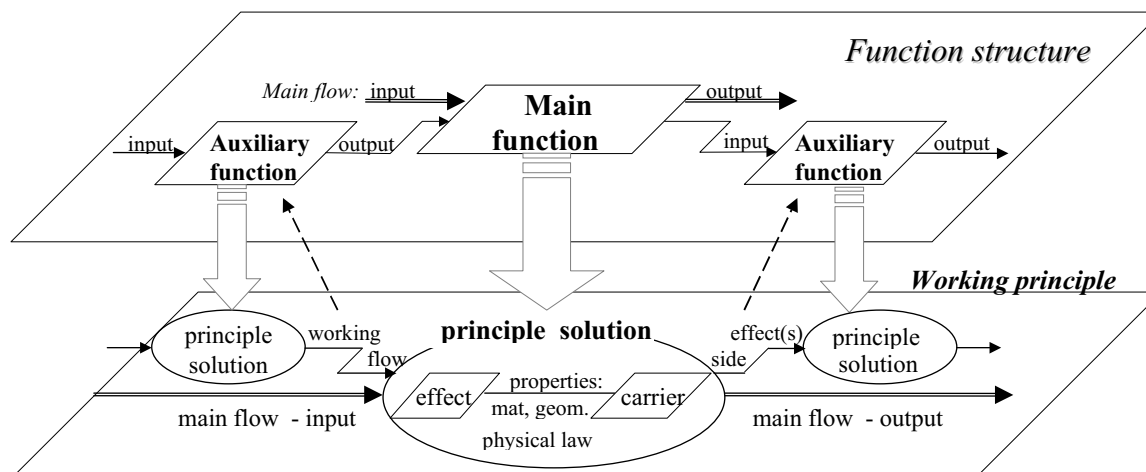


Fig. 2. Function fulfilled by working principle

izvede že izbrana načelna rešitev, pogosteje pa potrebujemo dodatne rešitve. Podobno velja za stranske učinke, ki jih večinoma tudi rešujemo z dodatnimi učinki oziroma načelnimi rešitvami. Tako dobimo strukturo načelnih rešitev, ki skupaj tvori delovno načelo. Predlagana podatkovna struktura opisuje funkcijo izdelka, ki se sklicuje na pretok. Podan je tudi predlog opisa pretoka in funkcijske strukture.

### ***Opis funkcije***

- Namen - funkcija
- Vrsta (argument) {
  - ↔ spremeni (tip),
  - ↔ spreminjaj (velikost),
  - ↔ usmeri (prostor),
  - ↔ poveži (število),
  - ↔ shrani (čas)}
- Razred {glavna, dodatna}
- **Pretok** => sklic

### ***Opis pretoka***

- Vrsta {material, energija, signal}
- Razred {glavni, delovni, stranski}
- Usmeritev {vstop, izstop}
- Lastnosti
  - ↔ material {trden {telo, zrnat, prašek, prah}, tekočina, plin, prostor}
  - ↔ energija {mehanska, toplotna, električna, magnetna, akustična, optična, kemična}
  - ↔ signal {meritev, podatki, vrednost, nadzorni sunek, sporočila, itn.}

Funkcijska struktura je sestavljena iz posameznih funkcij, povezana je z delovnim načelom, ki je običajno izveden s sestavo. V podani shemi lahko funkcije opišemo tudi kot funkcijske značilnosti, ki vsebujejo tudi informacije o namenu ter izvedbi v obliki načelne rešitve.

### ***Opis funkcijske strukture***

- Glavna funkcija
- pomožni pretok(i) in podfunkcije zanje
  - ↔ vstop/izstop

#### 2.2.1 Načelna rešitev

Načelna rešitev temelji na izbranem naravnem pojavu in ustrezni izvedbi. Nekatere pojave lahko uporabimo za različne načelne rešitve, odvisno od izbranega materiala in izmer. Tako lahko npr. toplotni raztezek izvedemo s trdnim telesom ali tekočino, ali pa uporabimo učinek vzvoda za spremembo smeri sile ali za njeno povečanje. Prav tako razmerje med funkcijo in načelno

solved by the same or by additional principle solutions. In the functional structure, therefore, sub-functions have to be related with the principle solutions. Intuitive, systematic and contradiction-oriented methods are used to search for the solutions of sub-functions, taking into account the existing solutions. For the efficient capturing, storing and retrieving of product data on the functional level, we use the following representation of function and function structure.

### ***Representation of function***

- Intent - purpose
- Type (change in) {
  - ↔ change (type),
  - ↔ vary (magnitude),
  - ↔ channel (place),
  - ↔ connect (number),
  - ↔ store (time)}
- Class {main, auxiliary}
- **Flow** => reference

### ***Representation of flow***

- Type {material, energy, signal}
- Class {main, working, side}
- Orientation {input, output}
- Properties
  - ↔ material {solid {body, grains, powder, dust}, fluid, gas, space}
  - ↔ energy {mechanical, thermal, electrical, magnetic, acoustic, optical, chemical}
  - ↔ signal {measure, data, value, control impulse, message, etc.}

A function structure is a non-empty set of functions and their interrelations. Functions are represented by function features, which not only represent the static function information mentioned above, but also carry the knowledge about its intent and its concretisation in terms of principle solutions.

### ***Representation of function structure***

- Main function
- auxiliary flow(s) and related sub-functions
  - ↔ input/output

#### 2.2.1 Principle Solution

A principle solution consists of a chosen effect and the appropriate effect carrier. Usually, the same effect can generate several principle solutions, depending on the material and the geometrical properties; for example, the thermal dilatation effect can be combined with a solid body or a fluid as the carrier. The relation between func-

rešitvijo običajno ni ena proti ena. Nekatere načelne rešitve lahko izvedejo več funkcij hkrati – npr. zagozda lahko spremeni smer sile in jo poveča – večinoma pa je potrebnih več načelnih rešitev za izvedbo ene funkcije – npr. pri spremembi krožnega v premo gibanje učinek vzvoda in trenja. Struktura načelnih rešitev tvori, kakor je že opisano, delovno načelo, ki ga ob upoštevanju podanih zahtev, izbranih materialov in fizikalnih zakonov realiziramo z osnutkom v naslednji fazi konstrukcijskega postopka – snovanju. Število (znanih) naravnih pojavov je omejeno, zato so jih nekateri avtorji zbrali in izdali v obliki katalogov za rabo pri konstruiranju ([10] in [11]). Struktura podatkov v njih je primerna tudi za računalniško izvedbo.

#### ***Struktura opisa načelne rešitve***

##### **Razpoznavna** (naziv, opis, skica)

- funkcije
- pojav { seznam pojavov za vsako vrsto }
- vrsta  $\in$  { mehanske, tekočine, električne, optične }
- izvedba učinka  $\in$  { trdno telo, tekočina, plin, prostor }
- lastnosti materiala in geometrijska oblika
- vstop, izstop
- vrsta  $\in$  { sila, pot-prostornina, hitrost, pospešek, navor, kotna hitrost, kotni pospešek, masa, temperature-toplota, čas, frekvenca, amplituda, zvok, svetloba, napetost, itn., material A, material B, mešanica AB } itn.
- fizikalni zakoni za opis razmerij med vstopom in izstopom

### 2.2.2 Delovno načelo

Ustrezna struktura načelnih rešitev, ki izpolnjuje zahtevano glavno funkcijo izdelka, tvori delovno načelo. Le-ta skupaj s podanimi zahtevami vpliva na izvedbo osnutka - snovanje izdelka. Prav tako delovno načelo zaradi povezav z dodatnimi funkcijami posredno vpliva tudi na funkcijsko strukturo.

#### ***Opis delovnega načela***

- glavna funkcija
  - uporabljena načelna rešitev
  - vstop - izstop (vrednost, enote)
  - dodatni pretok(i), - po potrebi
    - dodatne funkcije zanj(e)
  - stranski pretok / pojav
    - potrebna dodatna funkcija
- Opomba: dodatne funkcije lahko imajo lastno (pod)strukturo

### 2.3 Snovanje

Snovanje je »utelešenje« zasnove (zamisli), pri katerem definiramo stroj izdelka in določimo osnovne parametre in izmere – rezultat te faze je osnutek. Osnovne lastnosti so geometrijska oblika in uporabljen material. Na oboje vplivajo izbrano delovno načelo in postavljene zahteve, ki jih mora izdelek

tion and principle solution is rarely one to one. Some principle solutions can solve several functions at once; however, a lot of functions cannot be solved by only one principle solution. In this case a principle solutions structure is needed, which represents the working principle. As the number of known physical effects is deterministic, some authors have collected related principal solutions for use in a design process ([10] and [11]). These catalogues of principle solutions are structured appropriately for a computer implementation.

#### ***Representation of principle solution***

##### **Identification** (name, description, sketch)

- functions
- effect {list of effects for each type}
- type  $\in$  {mechanical, fluid, electrical, optical, ...}
- effect carrier  $\in$  {solid, fluid, gas, space}
- material and geometrical properties
- input, output
- (for mechanical effects) type  $\in$  {force, path-volume, speed velocity, acceleration, torque, angular speed, angular acceleration, mass, temperature-heat, time, frequency, amplitude, sound, light, stress, etc., material A, mat. B, mat. mixture AB} etc.
- physical laws describing the relations between the input and output.

### 2.2.2 Working principle

An appropriate structure of principle solutions, which fulfils the main function of a product, is a working principle. Together with given requirements, a working principle determines the embodiment of a product. Due to links/connections to auxiliary functions and a hierarchical structure of the data, a working principle describes the principle solutions structure and implicitly also the function structure.

#### ***Representation of working principle***

- function to be fulfilled
- principle solution used
- input/output (value, unit)
- auxiliary flow(s) provided by auxiliary function(s), if they are needed
- side flow(s) or effects and the auxiliary functions(s) to handle them

### 2.3 Embodiment

The embodiment represents the materialisation of a concept where the overall layout of a product is determined. Embodiment is defined by geometrical properties - shapes, and the properties of the material from which the part or parts are built. Both are influenced by a working principle and requirements. Shapes consist of working surfaces, required by working prin-

izpolnjevati oz. jim ustrezati. Obliko določajo delovne površine, odvisne od izbrane načelne rešitve, ter proste površine. Osnovne mere določajo: fizikalni zakoni naravnih pojavov, izbranih v načelnih rešitvah, postavljene zahteve ali lastnosti izbranega materiala glede na napetostne analize ipd.

Osnutek, ki ga izdelamo v fazi snovanja, je določen z geometrijsko obliko – delovnimi in prostimi površinami, njihovimi medsebojnimi razmerji in osnovnimi lastnostmi materiala.

#### **Opis osnutka**

- delovno načelo
- zahtevnik
- sestavnica / deli
- ↔ razmerja/položaji
- ↔ geometrijske oblike (delovne in proste površine, izmere) in lastnosti materiala
- ↔ preračuni (fizikalni zakoni, povezave med lastnostmi materiala in izmerami)

#### 3 FUNKCIJSKE ZNAČILNOSTI

### 3.1 Značilnosti

Računalniški modeli izdelka vsebujejo predvsem geometrijski opis in nekatere lastnosti, ki jih lahko podamo numerično. Ob tem se izgubi inženirski pomen posameznih elementov, npr. luknja, utor, rebro itn., ki opisuje npr. namen ali način izdelave. Pomanjkljivosti so se pokazale predvsem ob prenosu modelov v nadaljnje faze proizvodnega postopka, saj npr. program za pripravo proizvodnje ni mogel samodejno razbrati, da koordinata središča in polmer pomenita luknjo, ki jo je treba izdelati z vrtanjem. Zato so se v računalniški podpori postopku konstruiranja uveljavile značilnosti, ki posameznim elementom računalniškega modela dodajajo inženirski pomen, skupaj z „znanjem“, ki je v takšnem pomenu zajeto, npr. utor je utor, dokler ga omejujeta dve običajno vzporedni stranici in dno, ki je nižje od površine elementa. Če se dno dvigne nad površino, to ni več utor, temveč kvečjemu rebro. Seveda mora opis značilnosti vsebovati razmerja med posameznimi gradniki in programske kodo za nadzor veljavnosti – npr. luknjo mora obdajati material z vseh strani. Prvotno so se uveljavile geometrijske značilnosti, kasneje pa tudi materialne, tolerančne ipd.

### 3.2 Definicija značilnosti

Glavna definicija značilnosti, kakor jo je podala izvedenska skupina FEMEX, je splošna [12], zato omogoča njihovo uporabo kot nosilec strukturirane informacije v katerikoli fazi proizvodnega postopka. Značilnosti so informacijska enota (element), ki pomeni področje zanimanja znotraj izdelka. Opisuje jo skupek lastnosti izdelka. Ta opis vsebuje ustrezne

principle and free surfaces. The general dimensions are defined either by the physical laws governing the various effects used in working principles, or from requirements, or by material properties according to a strength and stress analysis, for instance. Usually, the physical realisations of a working principle require more than one part per solution. Therefore, an assembly model should contain information about embodiment.

Principle solutions, as mentioned above, are defined by effects and effect carriers, where each effect carrier has to be considered as a starting point for detailing the layout of an assembly.

#### **Representation of embodiment**

- working principle
- requirements
- assemblies / parts
- ↔ interrelations/positions
- ↔ geometrical properties (working and free surfaces, dimensions and material properties
- ↔ calculations( physical laws describing relations between material and dimensions)

#### 3 FUNCTIONAL FEATURES

### 3.1 Features

Computer models of a product consist mainly of numerical data, like geometry, topology or material properties. The engineering meaning of components, which describe intention or production, for example, hole, slot or bolt, etc. are lost. Problems first arise with a downstream application like product planning, where the program cannot recognise geometrical data, for example, the centre line and radius of a hole, which should be bored. Research work leads to the use of “features”, with the engineering meaning of entities in a computer model, along with all knowledge, i.e. a slot is a slot, as long as it is limited by two, mostly parallel side planes and a bottom plane lower than the surrounding surface. If the bottom plane rises above the surrounding surface, the element is no longer the slot, but a protrusion. The description of the features should include the relation between the entities and the program code for validation, i.e. a hole must be surrounded by material. First, geometrical features were introduced, this was followed by material, tolerance etc.

### 3.2 Feature definition

According to the results of the FEMEX (Feature Modelling Experts) working group, (see, for instance, [12]) a feature is defined as follows: A feature is an information unit (element) representing a region of interest within a product. It is described by an aggregation of the properties of a product. The description contains the relevant properties, including their values and their relations (structure and con-



lastnosti, vključno z njihovimi vrednostmi in razmerji. Nadalje so značilnosti definirane v okviru specifičnega vpogleda v lastnosti izdelka glede na kategorije lastnosti in trenutno fazo življenjske dobe izdelka. Podana definicija ponuja štiri posebne vidike:

1. nujno je najti primerno strukturo lastnosti za podajanje informacij kakor so funkcija, delovno načelo, fizikalni pojav in načelna rešitev v fazi zasnove izdelka;
2. značilnost ni omejena na fizični element in obstaja samo v obliki informacijskega modela;
3. "lastnosti" so osnova v zgornji definiciji in hkrati glavni mehanizem izvedbe;
4. "skupek lastnosti" in "faza življenjske dobe izdelka" v zgornji definiciji nista sočasna. Nekatere lastnosti – npr. geometrijska oblika v različnih oblikah – se pojavlja v skoraj vseh fazah življenjske dobe. Informacije o izdelku, izražene v obliki lastnosti, ki so združene v različnih značilnostih in v različnih primerih uporabe, so torej ključ do celostnega razvoja izdelkov.

### 3.3 Funkcijske značilnosti

Konstrukterji v fazi zasnove iščejo delovna načela za reševanje posameznih funkcij tehničnega sistema. Če želijo uporabiti znane rešitve, morajo s svojim inženirskim znanjem razpoznati delovanje in funkcijo posameznega sistema ali sklopa. Če funkcija ustreza, lahko sklop uporabijo ali ustrezno prilagodijo. Ob tem morajo še preveriti, ali sedanja rešitev ustreza postavljenim zahtevam.

Za uvedbo računalniške podpore je treba delovanje in funkcijo tehničnega sistema (ali podsistema) opisati kot delovno načelo in ustrezno funkcijo, ki jo ta izpolnjuje, v obliki „funkcijskih značilnosti“. Te vsebujejo opis naravnega pojava, na katerem rešitev temelji, ustreznih sredstev ali prenosnikov pojava, ter delovanja in funkcije sistema, ki jo le-ta opravlja. Pri tem so pomembna predvsem medsebojna razmerja in vplivi posameznih gradnikov, manj pa njihove lastnosti in izmere. V taki obliki so zapisane funkcijske značilnosti namenjene za iskanje in ponovno uporabo sedanjih rešitev posameznih funkcij sistema.

S funkcijskimi značilnostmi lahko izdelamo katalog načelnih rešitev v uporabo znanih naravnih pojavov, v modelih izdelkov pa lahko z njimi opišemo delovanje in funkcijo posameznih sklopov ali elementov ter tako omogočimo njihovo ponovno uporabo.

#### 4 ZGLED: KAVNI MLINČEK

Glavna funkcija kavnega mlinčka je drobljenje kavnih zrn. Najpogostejša izvedba uporablja nožek, ki z veliko hitrostjo udarja ob zrna ter jih drobi.

straints). Furthermore, it is defined in the scope of a specific view onto the product description with respect to the classes of properties and to the phases of the product life-cycle. Finally, a feature is described by properties out of several different classes of properties, thus relating these (classes of) properties to one another. There are four special aspects in the definition above:

1. It is necessary to find a structure of properties suitable for expressing conceptual design information like function, working principle, physical effects, and solution principles, in terms of such product properties.
2. A feature is not limited to physical elements and exists only in the world of information models.
3. "Properties" are the basis of the definition and at the same time the basic implementation mechanism.
4. "Classes of properties" and "product life-cycle phases" are distinguished in the definition above. Some properties are meaningful in more than one phase, for instance, geometry – in different phenotypes – is considered in nearly every phase of the product life-cycle. The product information expressed in terms of properties aggregated by different features in different application contexts is therefore the key mechanism to integrated product development.

### 3.3 Functional features

In the conceptual design phase, solutions for functions of a technical system are sought. If designers want to use solutions from a previous design they should recognise the behaviour and function of existing parts or assemblies, using their engineering knowledge. When function match, they can use existing solutions or adopted design. A check against the requirements given is necessary.

To enable computer support, the behaviour and function of a technical system (or subsystem) should be described as a working principle and a function fulfilled in the form of "functional features". The definition of functional features includes a chosen physical effect with an effect carrier and physical laws, behaviour and function of a system. The relations and influence of elements is more considerable than their properties and dimensions. Such defined functional features could serve for storing, searching and reuse of existing solutions.

Functional features allow the creation of a catalogue of principle solutions, using known physical effects on the one hand, and a description of the behaviour and the function of parts in product model, for their reuse in design, on the other.

#### 4 EXAMPLE: A COFFEE GRINDER

The main function of a coffee grinder is to crush coffee beans into a granulate. The most common design uses a blade, which grinds the beans by hitting them at

Nekatere izvedbe uporabljajo valj, kjer na zrna pritiskamo s silo in jih drobimo, ali strgamo s primerno oblikovanim strgalom. V tem primeru je mogoče tudi krmiljenje debeline mletja.

Funkcijo mlinčka lahko opišemo z osnovno funkcijo spreminjaj (velikost) [8]. Primarni tok je material, klasificiramo ga kot trdno telo, kavna zrna na vstopu in mleta kava na izstopu.

Za izvajanje glavne funkcije izberemo naravni pojav: kohezija [11]. Prenosnik pojava je trdno telo - v našem primeru nožek. Tako dobimo načelno rešitev „drobljenje“, ki jo povzročajo še lastnosti (trdnost, trdota) in oblika noža ter sila, s katero le-ta deluje na zrna. Izbrana načelna rešitev potrebuje pomožno funkcijo – mehansko silo, ustvari pa tudi stranski pojav – reakcijo. Funkcijsko strukturo razširimo s pomožnima funkcijama in za vsako poiščemo ustrezno rešitev. V prvem primeru uporabimo pojav sunka, pri katerem nožek z veliko hitrostjo udari mirujoče zrno in ustvari silo. Hitrost ali gibanje zagotovi dodatna pomožna funkcija, ki pa jo v našem primeru rešuje podsklop „pogon“. Le-ta potrebuje vhodni tok: energijo in pomožni tok: signal za vklop in izklop.

Reakcijo, ki nastane na zrnu ob udarcu, reši naravni pojav „vztrajnost“, pospešek ali gibanje, ki ga ob tem zrno dobi, pa omeji okrov. Izstopni tok pomožne funkcije sta hrup in toplota.

Delovno načelo, shranjeno v modelu izdelka, vsebuje glavno funkcijo in načelno rešitev ter zahteve, ki jih rešitev izpolnjuje.

Ob morebitni spremembi konstrukcije je mogoče preverjanje ali:

- je uporabljena enaka načelna rešitev,
- izpolnjuje podane zahteve ali jih presega,
- nova načelna rešitev izpolnjuje glavno funkcijo.

Pri iskanju rešitev za nove izdelke lahko v bazi rešitev poiščemo:

- delovna načela, ki rešujejo glavno funkcijo,
- preverimo, ali izpolnjujejo podane zahteve.

Če se spremenijo zahteve za izdelek, lahko:

- preverimo, ali izbrano delovno načelo izpolnjuje nove zahteve,
- poiščemo delovna načela ali načelne rešitve, ki omogočajo izpolnjevanje zahtev, npr. dodatna zahteva: prilagajanje debeline mletja.

Prilagoditev debeline mletja v opisani izvedbi mlinčka ni mogoča (oziroma jo lahko izvede uporabnik

high speed. Alternative designs press the beans, mostly with a roller, or grate them with a properly designed grater, which allows the granulate size to be regulated.

The grind function can be characterised as the main function to: vary the size [8]. The main flow is material, classified as solid body: coffee beans on input and granulate (powder) on output.

To fulfil the main function, the physical effect “cohesion” is chosen [11] for applying pressure on beans. The effect carrier is a solid body – a blade in our case – that defines the working principle “grinding”, defined also by the material (strength, hardness) and the geometrical properties (shape, dimension). As we need force to produce the pressure on the beans, and force produces a side effect – reaction – the function structure should be extended with the following sub-functions: “produce force” and “eliminate reaction”. The force is created by the effect impulse, where the blade hits the bean at high speed, which is provided by another auxiliary function, and solved with the subassembly “drive”. The input flow for this sub function is energy and the auxiliary flow signal for switching on/off.

The reaction, produced when the blade hits a bean, eliminates the physical effect persistence. The motion of the beans as a result of this is limited by the casing. The output flows of this sub function are heat and noise.

The working principle, which is saved in the product model, includes the main function, the used principle solution and the requirements the product has to fulfil.

During the product redesign validation it can be assessed whether:

- The same principle solution was used
- The requirements are fulfilled or surpassed
- The new principle solution fulfils the main function

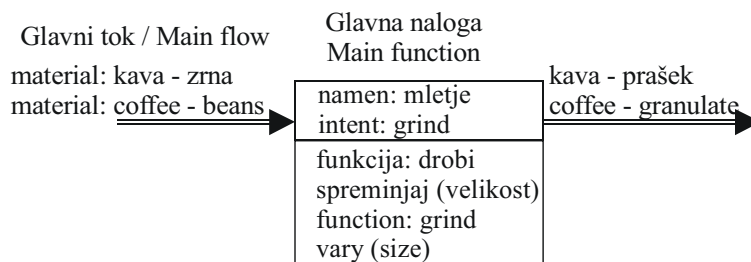
When designing new products, the solution base can be used for searching:

- Working principles that fulfil the main function
- A consistency check against given requirements

When the requirements for the product change, it is possible to:

- Check the working principle used against the new requirements
- Search for working principles or principle solutions that fulfil the given requirements; for example, the added requirement: adjustment of granulate size.

Granulate size adjustment is not foreseen in



Sl. 3. Glavna naloga in tok  
 Fig. 3. Main function and flow

z določanjem dolžine delovanja). Če bi želeli izpolniti zahtevo po debelini mletja, bi morali izbrati drugačno delovno načelo. V bazi rešitev poiščemo znane rešitve, ki to omogočajo, npr. mletje z nastavljivimi valji. Uporabljen je sicer isti naravni pojav – kohezija, silo pa ustvarimo s pojavom trenja in zagozde. Če je treba, lahko uporabimo še dodatno funkcijo za zmanjšanje vrtljajev. Krmiljenje debeline izvaja pomožna funkcija nastavitve razmika valjev. V funkcijski strukturi jo lahko obravnavamo kot samostojno podfunkcijo in jo rešujemo posebej. Ta funkcija lahko prevzame tudi rešitev stranskega pojava – reakcija, ki nastopi ob uporabi sile.

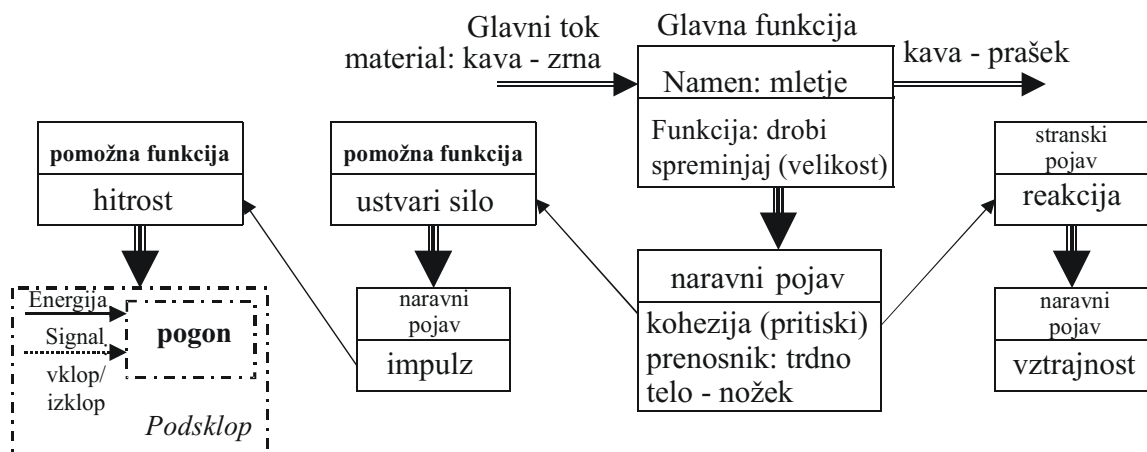
5 SKLEP

Računalniška podpora fazi zasnove v konstrukcijskem postopku zahteva strukturirano obliko informacij, ki se v njej pojavijo. Avtorja predlagata uporabo „funkcijskih“ značilnosti kot prenosnika informacije, saj le-te omogočajo predstavitev pomena strojnega dela in opis njegove funkcije, skupaj z izbrano načelno rešitvijo in delovnim načelom.

our example of the coffee grinder. To fulfil this requirement, another working principle should be used. The solution base search gives known solutions, for example, the use of adjustable rollers. Using the same physical effect of cohesion, the force is created by the effect of wedge and friction. If necessary, an auxiliary function can be used to reduce the speed of revolution. The control of granulate size is performed by an auxiliary function to roller distance adjustment, which can be maintained as a sub function in the function structure, and as a result, solved separately. This function can also fulfil the solution of side effect – reaction to grinding force.

5 CONCLUSION

Computer support to conceptual design demands adequately structured information for proper computer management. We have introduced a proposal for “functional features” as an information carrier, as features that allow the semantic description of a product because of its characteristic to include not only the geometric properties of a product, but also all other relevant information like function, principle solution and working principle.



Sl. 4. Funkcijska struktura in delovno načelo

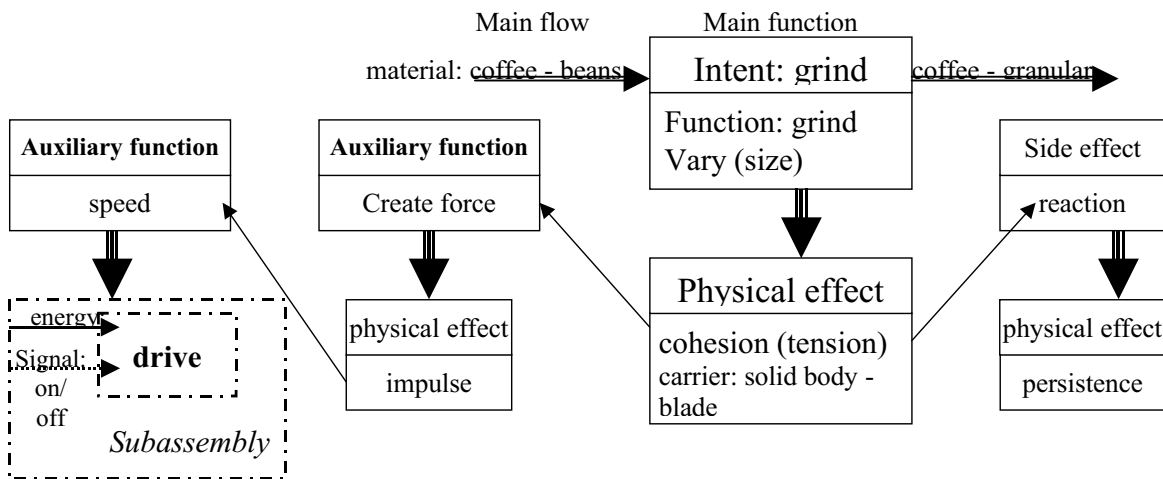


Fig. 4. Function structure and working principle

Prispevek je delni rezultat raziskave, katere namen je omogočiti računalniško podporo konstruiranju v fazi zasnove ter uporabo informacij, pridobljenih v tem postopku tudi v nadaljnjih fazah konstrukcijskega in proizvodnega postopka.

This paper presents the results of ongoing research towards a feature-based conceptual design system that will be able to capture the relevant product semantics of the early design phases and to allow this information to be reused in later phases for the purpose of a consistency check and for significant user support.

## 6 LITERATURA

## 6 REFERENCES

- [1] Bimber, O., L.M. Encarnação, A. Stork (2000) A multi-layered architecture for sketch-based interaction within virtual environments, *Computers & Graphics*, Vol. 24, 851-867.
- [2] Hren, G., B. Golob, A. Jezernik (2001) Visualisation and optimisation of motorhome prototypes using virtual environment techniques. V: MASTORAKIS, Nikos (ur.). Proceedings of the 5th WSES International Conference on Circuits, Systems, Communications and Computers (CSCC 2001) [and] Proceedings of the 3rd WSES International Conference on Mathematics and Computers in Physics (MCP 2001) [and] Proceedings of the 3rd WSES International Conference on Mathematics and Computers in Mechanical Engineering (MCME 2001) : Rethymno, Greece, July 8-15, 2001. [S.l.]: *WSES: IEEE*, 2001, [5].
- [3] Szykman, S., J. W. Racz, R. D. Sriram (1999), The representation of function in computer-based design, *Proceedings of the 1999 ASME Design Engineering Technical Conferences* (11th International Conference on Design Theory and Methodology), Paper No. DETC99/DTM-8742, Las Vegas, NV, September.
- [4] Brunetti, G., B. Golob (2000) A feature-based approach towards an integrated product model including conceptual design information, *Comput. Aided Des.* [Print ed.], 2000, 32, 877-887.
- [5] Hsu, W., I.M.Y. Woon (1998) Current research in the conceptual design of mechanical products, *Computer-Aided Design*, Vol. 30, No. 5, 377-389, *Elsevier Science Ltd*.
- [6] Novak, M., B. Dolšak (2000) Inteligentni računalniški sistem za pomoč pri poučevanju konstruiranja = An intelligent computer system for supporting design education. *Stroj. vestn.*, 46, št. 6, 383-390.
- [7] Dolšak, B. (2002) Intelligent structural design optimization. V: 6th Biennial Conference on Engineering Systems Design and Analysis, Istanbul, Turkey, July 8-11, 2002. *ESDA 2002*. New York: ASME International, 5 str., ESDA2002/DES-015.
- [8] Pahl, G., W. Beitz (1996) Engineering design, A systematic approach, 2nd edition. London: *Springer Verlag*, - XXX, 544.
- [9] VDI 2221 Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte, *Beuth Verlag GmbH*, Berlin 1993.
- [10] Roth, K. (1982) Konstruieren mit Konstruktionskatalogen: Systematisierung und zweckmaessige Aufbereitung technischer Sachverhalte fuer das methodische Konstruieren Berlin [u.a.] : *Springer*, 1982. 2.Aufl. 1994 - XVI, 475.
- [11] Koller, R., N. Kastrup (1998) Prinziploesungen zur Konstruktion technischer Produkte - 2., neubearb. Aufl. Berlin [u.a.] : *Springer*, - IX, 503.
- [12] Vajna, S., G. Podel (1998) Durchgängige Produktmodellierung mit Features. CAD-CAM Report Nr. 3, pp1-8.

Naslov avtorjev: Borut Golob  
 prof.dr. Anton Jezernik  
 Univerza v Mariboru  
 Fakulteta za strojništvo  
 Smetanova 17  
 2000 Maribor  
 borut.golob@uni-mb.si

Authors' Address: Borut Golob  
 Prof.Dr. Anton Jezernik  
 University of Maribor  
 Faculty of Mechanical Eng.  
 Smetanova 17  
 2000 Maribor, Slovenia  
 borut.golob@uni-mb.si

Prejeto:  
 Received: 2.9.2002

Sprejeto:  
 Accepted: 12.9.2003

Odrpto za diskusijo: 1 leto  
 Open for discussion: 1 year