

МЕТОДЕ ОДЛУЧИВАЊА

АТ-2 Теорија пројектовања технолошких система - варијабле одлучивања

ТЕОРИЈА ПРОЈЕКТОВАЊА И ОДЛУЧИВАЊЕ

Дефиниција

„Теорија пројектовања инжењерских система (обухватају технолошке системе) представља научно утемељене активности са кључним циљем да се омогући изградња вештачких система чије су главне карактеристике: извођење сложених функција (нпр. флексибилност и аутоматизација); висок квалитет и поузданост; минимизација потребног материјала и енергије; и минимизација времена израде”.

Напомене:

- Основа за реализацију свих парцијалних циљева теорије пројектовања је аутоматизација процеса пројектовања (до данас није у потпуности остварена);
- Основу пројектовања чини мисаони процес са крајњим исходом *решавања проблема доношењем одлука* (пројектни задатак). Овај процес је у директној вези са појмом интелигенције пројектанта (човека) или са *вештачком интелигенцијом* људских производа (интелигентни хардверски-рачунарски системи и/или софтверски производи).

Структура пројектовања

Структура универзалног програма из домена *теорије пројектовања* је систематизирана у следеће целине:

1. Евалуација пројеката (а и еволуција пројектних решења) која обухвата: *теорију корисности, статистичке теорије доношења одлуке, метод прорачуна оптималних алтернатива- тражење оптималног решења*, итд.;
2. Формална логика пројектовања која обухвата интерактивну и декларативну логику (нпр. аксиоматске методе);
3. Претраживање алтернатива преко хеуристичких претраживача (научно заснованих вештина и метода у проналажењу нових чињеница и сазнања). Укључују специфичност домена претраживања преко квантификације допунских услова, као и алгоритме претраживања како би се у процесу одлучивања доносиле оне „најбоље” или оптималне одлуке, сходно изабраним критеријумима одлучивања;
4. Теорија структуре (мисли се функционалне) и организације пројектовања (изражена преко блокова знања – *фундаментални; оперативни; структурни* и одговарајућих функција које их повезују – *функције компоновања и спрезања*); и
5. Представљање проблема пројектовања (примена метода одлучивања-пројектни задатак).

Пројектовање, као инжењерска активност (пројектни задатак), познато је да се одвија у три фазе:

- Концепцијско пројектовање обухвата *прелиминарно одлучивање* о пројектном решењу, са циљем да се задовољи тек неколико кључних ограничења, и то на бази више алтернатива које обухватају опште одреднице, без енормних импликација на свеобухватни процес пројектовања;
- Конструисање производа (и читавог система) обухвата и *технологичност конструкције* (технологичност производа када је систем у питању) која *представља меру успешности производње и експлоатације пројектоване конструкције* (пројектовање производа и пројектовање за производњу); и
- Конструктивна разрада детаља (не мисли се само на конструисање машинских делова, него и нпр. пројектовање понашања интелигентног система-пројектни задатак).

Све три фазе пројектовања имају структуру, одговарајуће садржаје и стратегије за селекцију решења, са израженом експертношћу система (пројектант експерт-човек и/или машина-рачунар) у свакој од ових фаза. У фази концепцијског пројектовања наглашено је изражена потреба за максималном експертношћу система која се базира на комплексним блоковима знања који су међусобно повезани у функционалне структуре инжењерског пројектовања. Та *функционална структура* је дата као петорка:

$$FS = \langle FB, OB, SB, \Phi, \rho \rangle$$

где су

FB - *скуп фундаменталних блокова знања* као што су: **препознавање** (на три нивоа - простор реалног (објективног) света са полазним подацима и очекиваним резултатима који се препознавањем користе за решавање проблема-задатака; **простор перцепције** реалног света за откривање перцептивне шеме описивања од стране пројектанта или машине (мобилног робота-пројектни задатак) преко сензорског подсистема; **простор рефлексije** у свести човека-пројектанта или унутар вештачког апстрактног (симболичког) система у процесу препознавања где се врши генерализација знања); **интелигенција** (човек-пројектант користи интуицију, креативност и знање у процесу пројектовања, а данас поред његове природне интелигенције изражена је и вештачка интелигенција која је делегирана машини (нпр. роботу); **комуникација** између система (човека и машине, односно машине и машине) има хијерархијску структуру (на три нивоа анализе и синтезе - ниво семантике - мишљење; ниво синтаксе - редослед акција и повезивање; ниво лексике - деловање).

OB - *скуп оперативних блокова знања* као што су: **варијабилност** објеката, проблема и решења; **репродуктивност** са способношћу система да поседује подскупове репродуктивних објеката, процеса, карактеристика и релација; **адаптабилност**; **стабилност**; **управљање**; **супервајзорско учење** (машинско учење-вештачке неуронске мреже).

SB - *скуп структурних блокова знања* који обухвата: **систем**; **хијерархију**; **организацију**; **базу знања (информације и базу података)**; **комуникационе мреже**.

Φ - *функција компоновања* која даје богатство веза између фундаменталних блокова и структурних блокова са излазом у оперативне структуре, односно $\Phi : FB \times SB \rightarrow OB$

ρ - *функција спрезања* која се дефинише преко фундаменталних блокова и структурних блокова повезујући их, уз обогаћивање садржаја структурних блокова дајући ново стање, односно $\rho : FB \times SB_{i-1} \rightarrow SB_i$; са крајњим циљем довођења на ниво потпуности када са фундаменталним блоковима формирају оперативне блокове.

Овако дефинисана структура пројектовања је генерална, али њеним свођењем на структуре за поједине класе проблема (чак и до нивоа елементарних задатака) које кроз процес промишљања и разумевања проблема - одлучивањем треба решити, што је програм пројектних задатака.

Пример 1

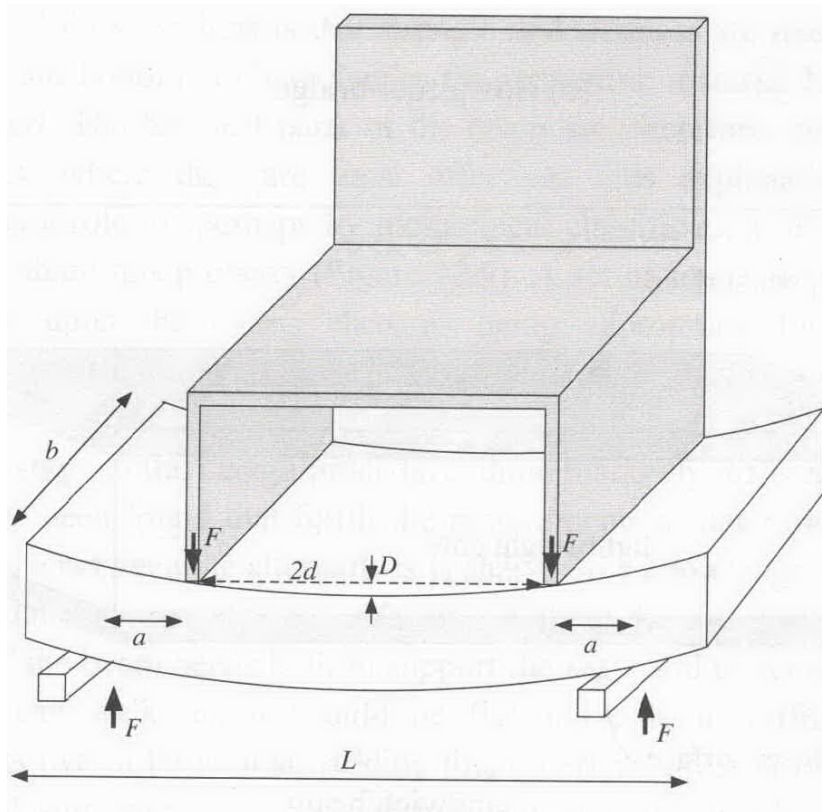
КОНЦЕПЦИЈСКО ПРОЈЕКТОВАЊЕ – ВАРИЈАБЛЕ ОДЛУЧИВАЊА

Концепцијско пројектовање путничких седишта (слика у наставку) за комерцијалне авионе обухвата и селекцију решења носеће греде. У оквиру конструисања оваквог производа, а посебно при конструктивној разради детаља, потребно је посебно размотрити *крутост*, *отпорност конструкције* и *масу*, и то у вези са савијањем носеће греде (види слике у наставку). Сходно томе, носећа греда треба да задовољи следеће:

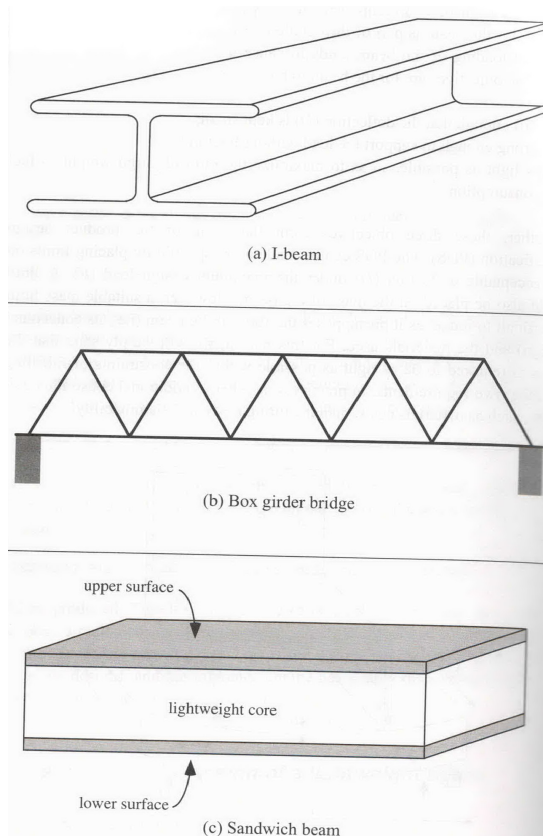
- довољну крутост да би угиб (D) био мали;
- довољну чврстоћу да не би дошло до лома;
- што је могуће лакшу конструкцију (авион), са максималном предвиђеном тежином (сила F) на седишту.

Ова три функционална захтева се могу даље разрађивати до одређивања лимита за прихватљив угиб (D) под максималним оптерећењем силом тежине (F), као и за масу греде. Међутим, погодни лимит масе греде је тешко одредити у фази концепцијског пројектовања, јер зависи од њеног облика

и материјала. Због тога се може поћи од премисе да ће се греда олакшавати колико је год то могуће, у складу са ограничењима које намећу друга два захтева. У пракси, што је веома важно да узме у обзир сваки пројектант, примењује се велики број додатних ограничења, као што су трошкови материјала, производње и запаљивост изабраног материјала (авион).



Пример оптерећене носеће греде авионског седишта – варијабле одлучивања



Концепцијско пројектовање греде – селекција решења

Аксиоматске методе пројектовања (Suh, Kim, Бабић), које су базиране на *аксиомима независности функционалних захтева и минимизације информационог садржаја*, могу да се примене као метаправила („АКО – ОНДА” правило, са атрибутима). Данас се ова метаправила, са механизмом закључивања коришћењем вештачке интелигенције, користе за развој хибридних интелигентних система. Применом метаправила, водећи рачуна о ненарушавању аксиома за дати пример, на претходној слици се виде три могућа пројектна решења носеће греде:

- a) I-профил,
- b) решеткаста конструкција, и
- c) сендвич-структура (користи се и за крило авиона).

Сва три решења су пројектована тако да могу да издрже савијање под оптерећењем (сила F), уз напомену да горњи слој греде („top surface”) има различите деформације-сабијање-скраћење (напонско стање-расподела напона) у односу на доњи-истезање-издужење („bottom surface”). Ако се размотре сва три решења коришћењем метаправила, хијерархијска класификација која узима у обзир структурне параметре пројектовања греде (као што су: облик, материјал, дебљина, дужина, ширина, итд.), даје предност решењу под c). Наиме, ова сендвич-структура носеће греде би имала предност јер има најмању масу, уз захтевану крутост и отпорност материјала. Дакле, маса, крутост и отпорност греде представљају *варијабле пројектовања* које могу да квантификују перформансе финалног производа (авионско седиште), док се дебљине слојева сендвич-греде користе као *варијабле одлучивања* при селекцији коначног решења детаља (носећа греда).

Сходно претходном, крутост као функционални захтев условљава да маса носеће греде треба да буде:

$$M \approx bL \left(\frac{2\rho_s fFad^2}{DE_s bt_c^2} + \rho_c t_c \right)$$

где су

M – маса греде;

b, L, a, d – мере дефинисане на слици горе;

F – сила тежине;

D – угиб;

f – фактор сигурности;

t_s, ρ_s, E_s – дебљина, густина и Јунгов модул еластичности површинских слојева („upper surface” и „lower surface”);

t_c, ρ_c, E_c – дебљина, густина и Јунгов модул еластичности средишњег слоја („core surface”).

Горња једначина за масу греде, написана је у функцији од дебљине средишњег слоја сендвич-греде, којој кореспондира дебљина површинских слојева дата једначином у наставку, са циљем да се у потпуности одреди израз за масу греде, због њене крутости као функционалног захтева:

$$t_s \approx \frac{fFad^2}{DE_s bt_c^2} \rightarrow \dots \text{због могућег смицања између слојева уводи се } G_c \text{--модул смицања} \rightarrow t_s \geq \frac{2fFa}{bt_c (E_s E_c G_c)^{1/3}}$$

Сходно горе датом, за познати избор материјала сендвич-греде (примарни-алуминијум, секундарни - PVC пена и везивно средство), за дефинисане мере греде (коришћењем нпр. методе коначних елемената врши се моделирање и мера и облика), за максимални угиб D под дејством силе тежине F , могу се одредити оптимални, јединствени парови *варијабле одлучивања*, дебљина слојева t_s и t_c које одговарају минималној маси носеће греде, као кључном функционалном захтеву. Ова анализа може да се прошири и додатним укључивањем напонског стања материјала греде оптерећене на савијање, уз одговарајуће измене у горњим једначинама...

Овим примером се показало како се, од концепцијског пројектовања до пројектовања на нивоу детаља, могу одредити *варијабле одлучивања* које се користе, кроз евалуацију и оптимизацију пројектног решења (за дати пример носеће греде авионског седишта), за остваривање коначне селекције алтернатива и одлука, и то: избор свих слојева сендвич-греде са аспекта материјала, дебљине и методе повезивања у компактну целину. Међу овим одлукама постоји веома јака интеракција, са израженим процесом евалуације и оптимизације селектованог решења, који је базиран на горњим једначинама и мора да, при анализи, узме имплицитно у обзир још неке претпоставке и апроксимације (нпр. утицај обима производње, животни век производа, итд.).

Пример 2

НОВИ ПРИСТУП ПРОЈЕКТОВАЊУ ТЕХНОЛОШКИХ ПРОЦЕСА

Деф. (ТМО): Технолошки систем је обухваћен производним системом и садржи скуп чинилаца (за интелигентни технолошки систем је то скуп агената) у оквиру којих се врши трансформација (преко технолошког процеса) полуфабриката у готове делове, подсклопове и склопове.

Савремени услови производње у домену *пројектовања технолошких процеса* и управљања производњом захтевају флексибилност и прилагодљивост. Независан развој система за пројектовање технолошких процеса, управљање производњом и терминирање условио је строго разграничење између ових инжењерских система што доводи до губитка времена, информација, а затим и до смањења квалитета и повећања времена производње. У циљу превазилажења ових проблема било је неопходно увођење нових идеја које подразумевају интеграцију пројектовања технолошких процеса и планирања и управљања производњом.

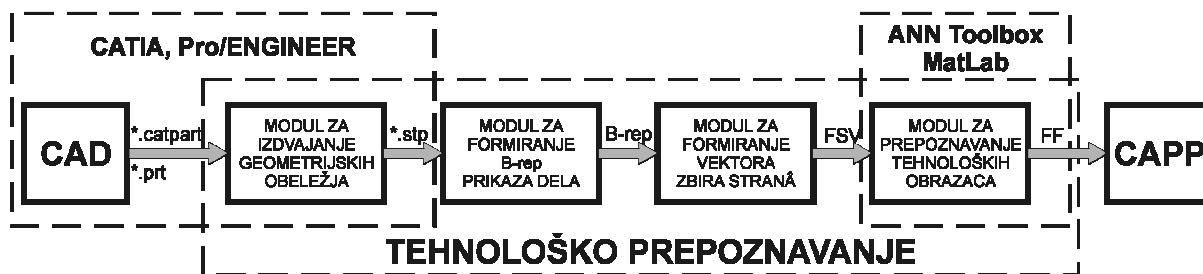
Концепт интегралног система за пројектовање технолошких процеса и управљање производњом (види слику у наставку) подразумева могућност директног преузимања пројектних информација из CAD система путем модула за технолошко препознавање, грубо и детаљно пројектовање технолошких процеса (нпр. кроз примену принципа групне технологије - види књигу, поглавље 6) имплементираног помоћу вештачких неуронских мрежа и пратеће базе података са подацима о режимима обраде. Симулациони систем служи за моделирање погона и проверу генерисаних технолошких поступака у односу на расположиве ресурсе и тренутну ситуацију у погону. Резултати симулације могу да укажу на потребу за променом технолошких поступака у смислу избора алтернативних машина и промене редоследа обраде (домен одлучивања).

Архитектура система

Кључни елементи интегралног система за пројектовање технолошких процеса и управљање производњом су (слика у наставку):

- модул за технолошко препознавање,
- модул за грубо пројектовање технолошких процеса,
- модул за детаљно пројектовање технолошких процеса,
- модул за управљање базом података,
- модул за симулацију

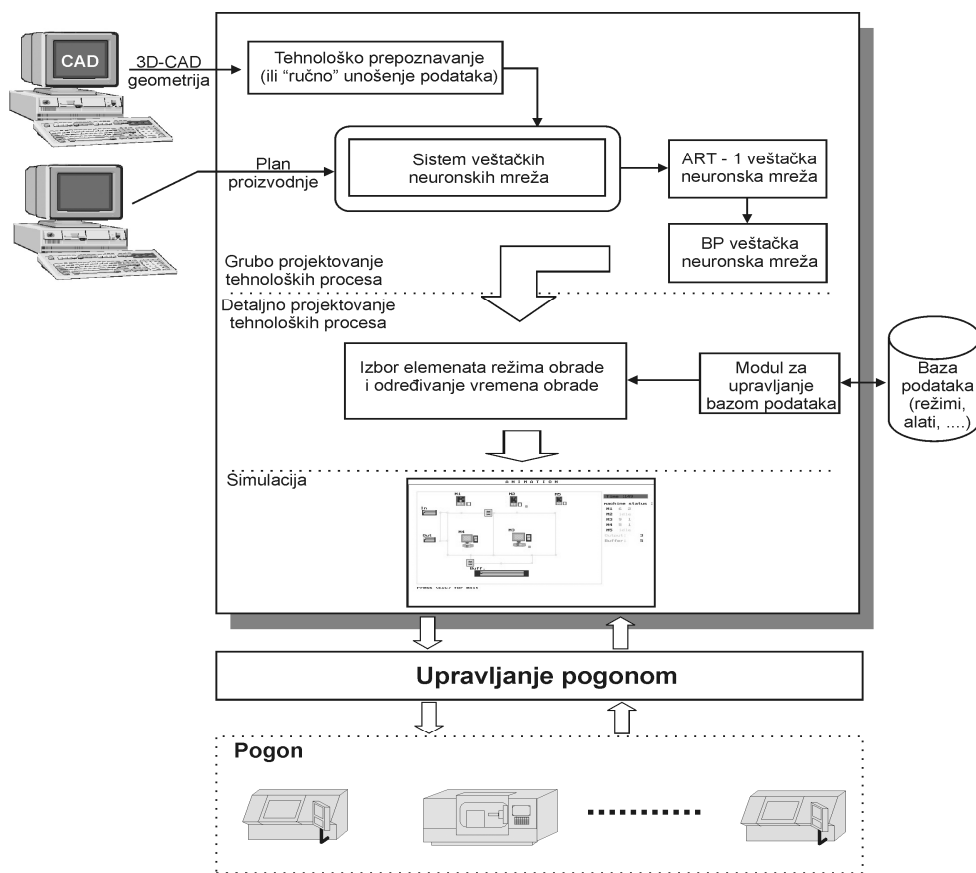
Основни улаз за грубо пројектовање технолошких поступака представљају геометријске и технолошке информације о деловима допуњене подацима о поруџбинама и плану производње. Геометријске и технолошке информације могу се дати "ручно" или се могу директно преузети из CAD система путем одговарајућег *модула за технолошко препознавање* (MSc рад мр Ненада Нешића Развој система за технолошко препознавање и пројектовање технолошких процеса за делове који се израђују на обрадним центрима - библиотека МФБгд, 2007). На следећој слици је приказана структура система за аутоматско препознавање технолошких форми развијена у оквиру магистраског рада мр Ненада Нешића.



Структура система за аутоматско препознавање технолошких форми (АПТФ)

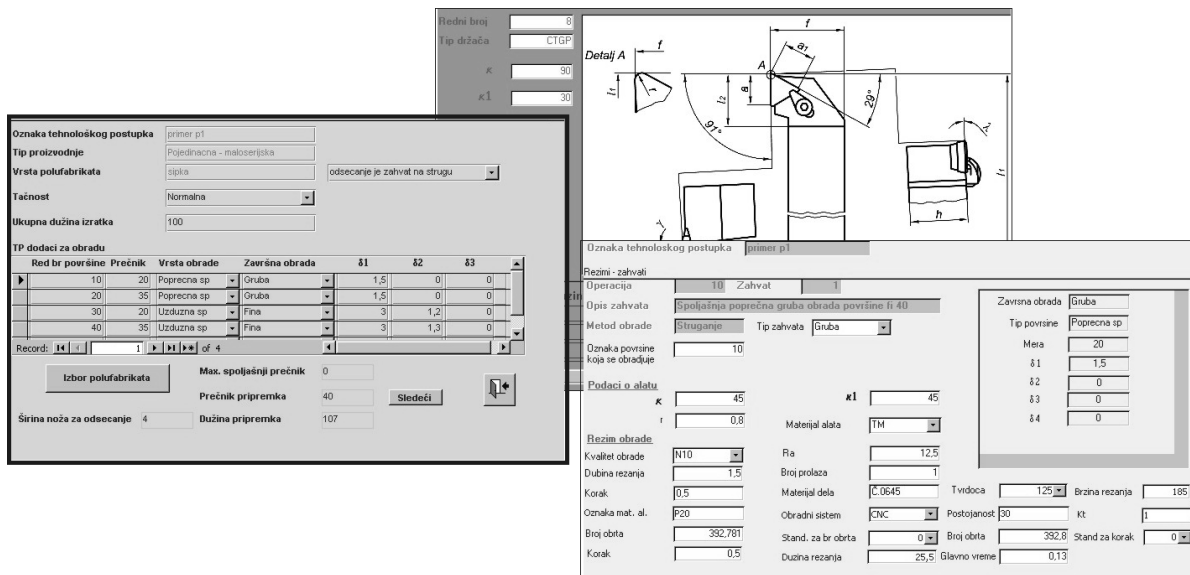
Модул за грубо пројектовање технолошких процеса обухвата систем технолошког препознавања, систем планирања производње и систем вештачких неуронских мрежа. Систем технолошког препознавања издваја бинарни вектор који дефинише типске технолошке секвенце за одговарајући

машински део, на основу кога се обезбеђује улазна информација за систем вештачких неуронских мрежа. Декомпозиција машинског дела и процедура формирања бинарног вектора представља полазиште система технолошког препознавања. Генерисани бинарни вектори, за све машинске делове који су планом производње предвиђени да се обраде у погону, представљају скуп узорака за обучавање ART-1 вештачке неуронске мреже (има задатак да идентификује пре свега њихову геометријску, па и технолошку сличност). На основу степена сличности издвајају се групе делова које имају сходно томе и сродан технолошки поступак. Када су издвојене групе делова поступак грубо пројектовања технолошких процеса се наставља кроз учење вештачке неуронске мреже са простирањем грешке уназад ("backpropagation" – BP мрежа). Наиме, улазни скуп узорака за обучавање ове мреже је везан за издвојене групе делова са одговарајућим бинарним вектором генерисаним из ART-1 мреже. Излазни слој BP мреже, после завршеног процеса учења, одређује редослед захвата за сваку од издвојених група машинских делова. Дакле, модул за грубо пројектовање технолошких процеса има задатак да, коришћењем вештачке интелигенције, одреди за сваку групу, па самим тим и за сваки машински део унутар групе, редослед обраде. Предност овог новог приступа се огледа у знатном скраћењу времена пројектовања, а значајно је рећи да се тиме побољшава и ефикасност управљања производњом. Овај модул користи два развијена софтвера на Катедри за производно машинство у Београду, "ART Симулатор" и "BPnet" (З.Миљковић).



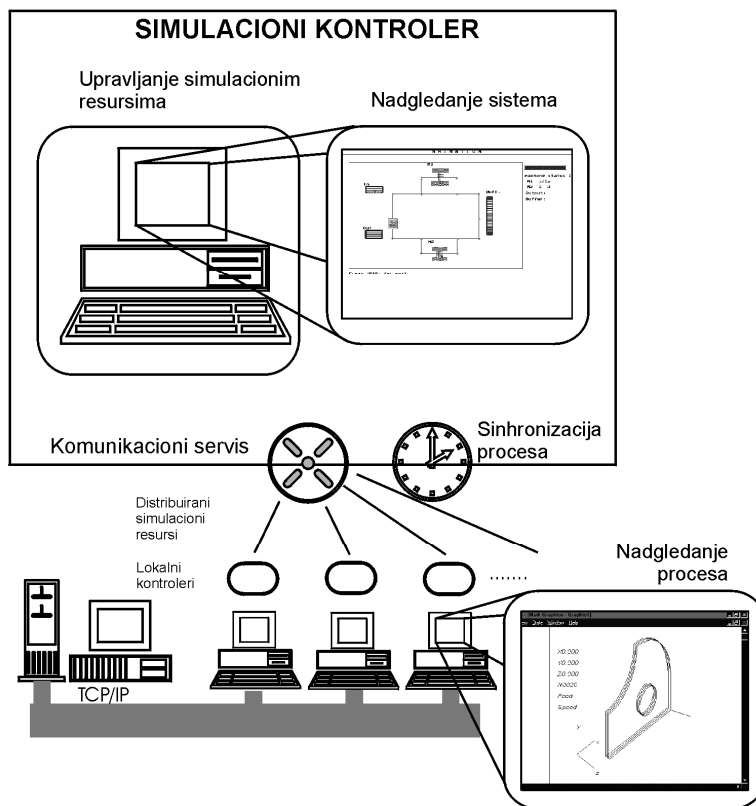
Архитектура интегралног система за пројектовање технолошких процеса

У оквиру модула за детаљно пројектовање технолошких процеса врши се избор режима обраде (корак, број обрта, број пролаза и главно време обраде) за захвате дефинисане у претходном модулу. Избор режима се врши из табела препоручених режима преко модула за управљање базом података, уз мисаони процес пројектанта са крајњим исходом *решавања проблема доношењем одлука* - ТМО (слика доле).



Избор елемената режима обраде

Симулациони систем FLEXY (Б.Бабић) за дистрибуирану симулацију технолошких система омогућује генерисање виртуалног погона на основу података из погона и на основу генерисаних технолошких поступака. Систем виртуално прихвата све управљачке варијанте које се могу појавити при обради и омогућује анализу целокупног технолошког процеса и даје основе за оптимизацију технолошких поступака (у складу са расположивим ресурсима у погону), коришћењем претраживања алтернатива преко алгоритама претраживања како би се у простору претраживања доносиле оне „најбоље” или *оптималне одлуке*, сходно изабраним критеријумима одлучивања. Систем за дистрибуирану симулацију технолошких система приказан је на слици у наставку.



Систем за дистрибуирану симулацију технолошких система

Приказана архитектура система треба да допринесе унапређењу информационе логистике у области пројектовања технолошких процеса и управљања производњом и заснива се на интеграцији пројектовања технолошких процеса и управљања производњом кроз развој и примену кооперативних агената (за интелигентни технолошки систем интелигентних агената) - стални правац развоја Катедре за производно машинство (MSc и PhD радови).

У раним фазама пројектовања технолошких процеса узимају се у обзир планови производње, рокови и подаци о капацитетима, који уз подршку блокова знања о пројектовању технолошких процеса представљају основу за генерисање глобалног технолошког поступка (грубо пројектовање). Фино планирање и терминирање заснива се на аквизицији препоручених режима обраде, подацима из погона и резултатима дистрибуиране симулације.