

***Egoeraren Monitorizazioan Oinarrituriko
Mantenuaren optimizazioa Algoritmo Genetiko
Helburu-Anitzen bitartez***

***Aitor Goti^a, Aitor Oyarbide-Zubillaga^a eta Elisabete
Alberdi^b***

^aDeustuko Unibertsitatea

^bEuskal Herriko Unibertsitatea



University of
Deusto

Deusto

eman ta zabal zazu



Universidad
del País Vasco

Euskal Herriko
Unibertsitatea

1. Sarrera

2. Helburuak

3. Mantenu inperfektuaren eredua

4. Kostu eta mozkiñen eredua

5. Arazoaren formulazioa eta optimizazio prozedura

6. Aplikazioa

7. Ondorioak

**Fabrikazioak munduko
merkatuaren 3/4 mugitzen
du**



(Scheele, 2002)

**Mantenu lanen kostuak
produktuen kostuen %3 eta
%40 bitartean finkatzen dira**



(Mjema, 2004)

**Negozio orok behar ditu
ereduak optimizaziorak**



(Cyert eta March, 1965)

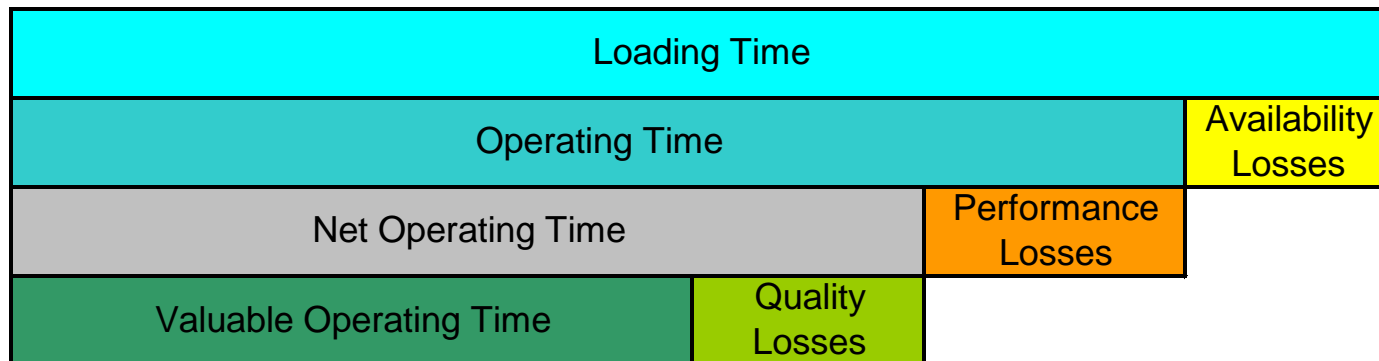
**Saiakera gutxi egiten dira
Egoeraren Monitorizazioan
Oinarritutako Mantenu (EMOM)
ereduak optimizatzeko**

(Dekker, 1996, Goti etab 2019)

**Erronka: fabrikazioko
mantenketa lanen
kontzeptuak monetizatzea,
Overall Equipment
Effectiveness (OEE) edo
Bitartekoen Efektibotasun
Globalean oinarrituta**

Mantenu lanek bitartekoetan eragina dute, ondokoak medio batipat

- ✓ zahartze edo narriadura mailan
- ✓ erabilgarritasunean
- ✓ ekoizpen abiaduran
- ✓ kalitate mailan



Availability = Operating Time / Loading Time

Performance Rate = Net Operating Time / Operating Time

Quality = Valuable Operating Time / Net Operating Time

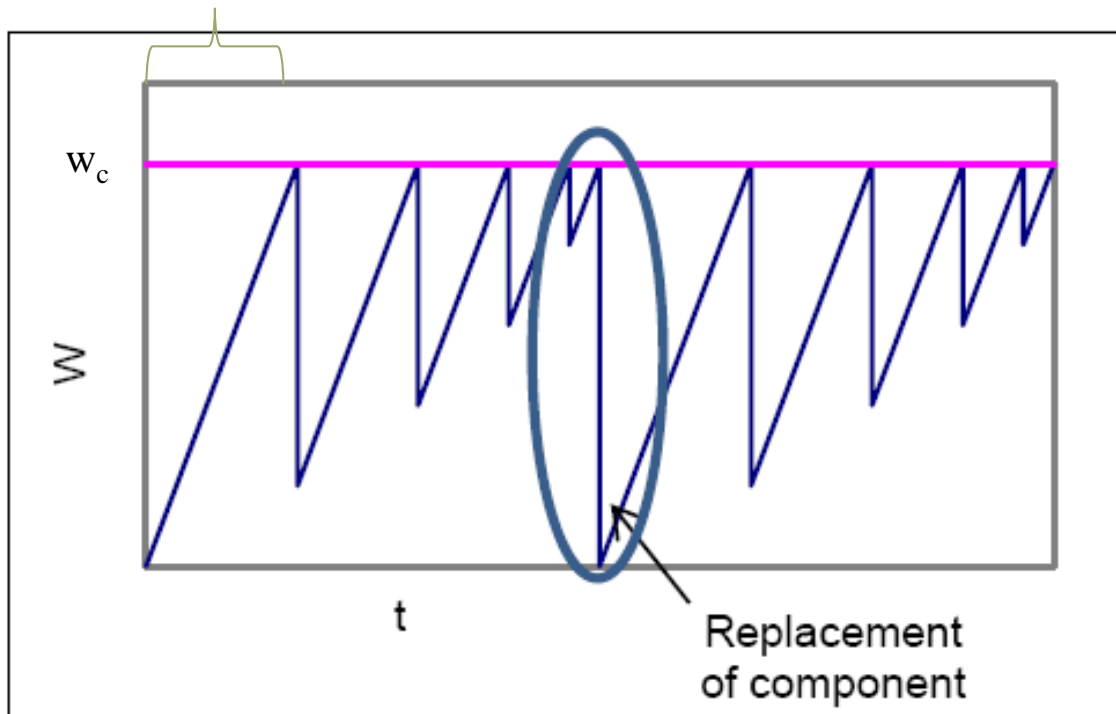
OEE = Availability x Performance Rate x Quality

OEE (Nakajima, 1988)

- ✓ Eredu matematiko bat aurkeztea Egoeraren Monitorizazioan Oinarrituriko Mantenerako, ondokoak kontutan hartzen dituenak:
 - Mantenu lanen kostua
 - Kalitate eta kalitate ezaren kostua
 - Ekoizpen abiaduraren galera
 - Mozkin produktiboa
 - Mantenu inperfektuaren eredu bat
- ✓ Eta bere optimizazioa egitea kostu eta mozkin kriterioen arabera

- ✓ Elementuaren adina (w) funtzio ez jarrai batek irudikatzen du, osagaia instalatu deneko unearen (t), lan baldintzen ($\Psi(z)$) eta mantenu lanen efektibotasunaren menpe dagoena (ε)
- ✓ Lan honetako mantenu inperfectuaren eredua Proportional Age Return (PAR, Malik 1979) edo Adinaren Itzultze Proporzionalaren ereduan oinarrituta dago
- ✓ PAR ereduak ε proporzio batean osagaiak azken mantentze lana egin denetik hartu duen adina jeisten dio berari, non proporzio hori $[0,1]$ bitartekoa da.
- ✓ **Suposatzen bada a) mantentze lana osagaian adin kritiko batera iristen demean egiten dela (W_c) b) era hontako mantentze lanen efektibotasunak balio zehatz bat duela, c) lan baldintza konstanteak aplikatzen direla, eta d) matxura gehigarriak badaude hauek konponduko direla baina adina aldatu gabe, osagaia honela portatzen da bere adinarekiko:**

$$M_1 = t_1 = w_c$$



$$w_m^+ = w_c (1 - \varepsilon) \sum_{k=0}^{m-1} \varepsilon^k$$

$$w_2^- = w_1^+ + (t_2 - t_1)$$

$$w_1^+ = (1 - \varepsilon) \cdot t_1 = (1 - \varepsilon) \cdot w_c$$

$$M_2 = w_c \cdot \varepsilon = t_2 - t_1$$

$$t_2 = w_c + w_c \cdot \varepsilon = w_c \cdot (1 + \varepsilon)$$

$$w_c \cdot \varepsilon^{e-1} \leq M_{\min}$$

$$(e - 1) \leq \ln \frac{M_{\min}}{w_c}$$

$$e - 1 \leq \frac{\ln \frac{M_{\min}}{w_c}}{\ln \varepsilon}$$

$$e \leq 1 + \ln \left(\frac{M_{\min}}{w_c} \right)^{1/\varepsilon}$$

$$e \leq 1 + \frac{1}{\varepsilon} \ln \left(\frac{M_{\min}}{w_c} \right)$$

✓ Narriadura mailaren eboluzioak akats tasan eragina du. Weibull distribuzioan oinarrituta eta kostu eta mozkin eredian erabiltzeko, batzbesteko akats tasa bat ateratzen da osagaiaren bizi osorako:

$$h_m^* = \frac{1}{W_m^- - W_{m-1}^+} (H_m^- - H_{m-1}^+) =$$

$$\frac{1}{w_c - \left(w_c (1-\varepsilon) \sum_{k=1}^{m-1} \varepsilon^{k-1} \right)} =$$

$$h^* = \frac{\sum_{m=1}^e h_m^*}{e}$$

$$\left\{ \left[\lambda \cdot w_c \right]^y + h_0 \cdot w_c - \left(\left[\lambda \cdot w_c (1-\varepsilon) \sum_{k=1}^{m-1} \varepsilon^{k-1} \right]^y + h_0 \cdot w_c (1-\varepsilon) \sum_{k=1}^{m-1} \varepsilon^{k-1} \right) \right\} =$$

$$\frac{1}{w_c \left(1 - (1-\varepsilon) \cdot \sum_{k=1}^{m-1} \varepsilon^{k-1} \right)} \left[\lambda \cdot w_c \right]^y \left(1 - \left[(1-\varepsilon) \sum_{k=1}^{m-1} \varepsilon^{k-1} \right]^y \right) + h_0 =$$

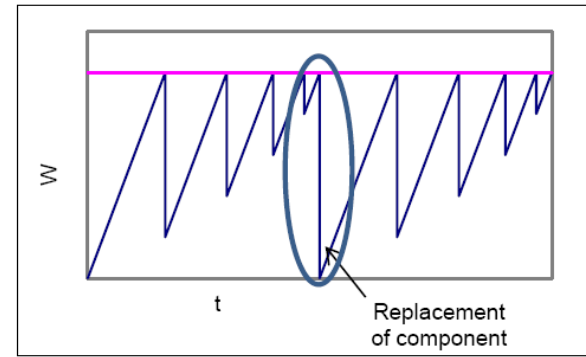
$$= \frac{\lambda^y \cdot w_c^{y-1} \cdot \left(1 - \left[(1-\varepsilon) \sum_{k=1}^{m-1} \varepsilon^{k-1} \right]^y \right)}{1 - (1-\varepsilon) \cdot \sum_{k=1}^{m-1} \varepsilon^{k-1}} + h_0$$

Monitorizazio kostua

$$C_{\text{cmt}} = L \cdot c_{\text{hct}}$$

Prebentziozko mantentze lanen kostua

$$C_{\text{pm}}(\mathbf{x}) = n_c \cdot (e - 1) \cdot d_{\text{pm}} \cdot c_{\text{hpm}}$$



Osagaien ordezkapen kostua

$$C_u = C_c \cdot n_c$$

Mantentze lan zuzentzaileen kostua

$$C_{\text{cm}}(\mathbf{x}) = u_{\text{cm}}(\mathbf{x}) \cdot L_c \cdot c_{\text{hcm}}$$

$$u_{\text{pm}}(\mathbf{x}) = \frac{(e - 1) \cdot d_{\text{pm}} + d_u}{L_c}$$

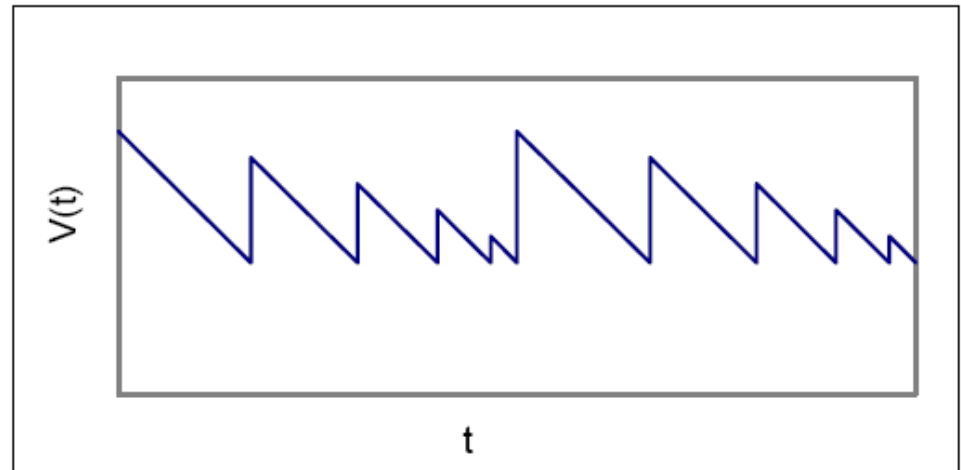
$$u_{r_m}^*(\mathbf{x}) = \rho + (1 - \rho) \cdot (1 - e^{-h_m^* \cdot M_m})$$

$$u_{\text{cm}}(\mathbf{x}) = \frac{\sum_{i=1}^e u_{r_m}^*(\mathbf{x}) \cdot d_{\text{cm}}}{L_c}$$

Abiadura galerarekin erlazionaturiko kostua

- ✓ Eredu mota honetan ez da ia inoiz abiadura galera kontutan hartzen
- ✓ Baina OEEaren arabera berau oso garrantzitsua izan daiteke (Nakajima, 1988)
- ✓ Kasu honetan abiadura galera eta osagaiaren adinaren artean proportzionaltasun erlazio bat finkatu da abiadura galtze koefiziente baten bitartez (τ)

$$V_m(w) = V_o - \tau \cdot w_m(t, \varepsilon)$$



Abiadura galtze kostua

✓ Kostu hau kalkulatzeko osagaiaren batezbesteko adin bat, eta ondorioz batezbesteko abiadura bat kalkulatu da, ondoren abiadura galera hori denborara eta dirutara itzultzeko

$$c_{sl}(\mathbf{x}) = c_{hsl} \cdot t_{sl}(\mathbf{x})$$

$$V_m^* = \frac{1}{M_m} \int_{w_{m-1}^+}^{w_m^-} v(t) \cdot dt = V_0 - \tau \cdot W_c \left[\frac{1 + (1 - \varepsilon) \cdot \sum_{k=1}^{n-1} \varepsilon^{k-1}}{2} \right] \rightarrow V^* = \frac{\sum_{m=1}^e V_m^* \cdot M_m}{L_c}$$

$$t_{sl}(\mathbf{x}) = \left(1 - A_s(\mathbf{x}) \cdot \frac{V^*}{V_0} \right) \cdot L \quad \longrightarrow \quad A_s(\mathbf{x}) = 1 - U_s(\mathbf{x})$$

$$c_{sl}(\mathbf{x}) = c_{hsl} \cdot t_{sl}(\mathbf{x}) = C_{hsl} \cdot L \cdot \left(1 - A_s(\mathbf{x}) \cdot \frac{V^*}{V_0} \right) \cdot L$$

Kalitate kostua

- Ondorengoak suposatuta eraiki da:
 - ✓ Prozesuak akatsdun produktuak ekoizten ditu α ratio batekin prozesua kontrol ez kanpo dagoenean (bestela ez du akatsdunik ekoizten)
 - ✓ Kontrol ez kanpoko egoerara pasatzen den unean Weibull distribuzio bat jarraitzen du osagaiaren adinaren arabera
 - ✓ Produktuaren inspektzioek ez dute erroretik
 - ✓ Prozesua berriro kontrolpera pasatzen da mantentze lan prebentiboa egiten denean
- Hauek oinarri hartuta, kalitate kostua modelatzeko, beharrezko da prozesua kontrolpean dagoen denbora kalkulatzeko, berau $\kappa_m(w)$ deitzen dugularik

Kalitate kostuak

$$C_q(\mathbf{x}) = n_c \cdot C_a \cdot \sum_{m=1}^e V_m^* \cdot (M_m - \kappa_m) \cdot A_s(\mathbf{x}) \cdot \alpha$$

✓ kalitate kostua modelatzeko, beharrezko da prozesua kontrolpean dagoen denbora kalkulatzeko, beraz $\kappa_m(w)$ deitzen dugularik

$$\kappa_m(w) = \int_{w_{m-1}^+}^{w_m^-} w_m \cdot f(w_m) \cdot dw_m$$

✓ Non $f(w_m)$: dentsitate funtzioa da, arrisku kondizional funtzioaren bitartez atera daitekeena honela:

$$f(w_m) = \lambda \cdot \gamma \cdot [\lambda \cdot w_m(t, \varepsilon)]^{\gamma-1} \cdot \exp\left[-(\lambda \cdot w_m(t, \varepsilon))^\gamma\right]$$

✓ Ondorioz, $\kappa_m(w)$ prozesua kontrolpean kanpo gelditzen den denbora bi mantenu aktibitateen artean ondokoa da:

$$\kappa_m(w) = \int_{w_{m-1}^+}^{w_m^-} w_m \cdot f(w_m) \cdot dw_m =$$

$$\int_{w_c(1-\varepsilon) \sum_{k=1}^{m-1} \varepsilon^{k-1}}^{w_c} w_m \cdot \left\{ \lambda \cdot \gamma \cdot [\lambda \cdot w_m(t, \varepsilon)]^{\gamma-1} \cdot \exp\left[-(\lambda \cdot w_m(t, \varepsilon))^\gamma\right] \right\} dw_m$$

Mozkina

Mozkin garbi funtzio bat planteatzen da, P , produktuak saltzeari dagokion marginari dagokiona:

$$P = n \cdot \psi$$

L analisi tartean ekoizten diren produktuak prozesua kontrolpean egon diren guztiak eta berau kontrolez kanpo egon diren produktuen $(1-\alpha)\%$ proportzioak hartzen ditu kontutan, ekuazioa honela geldituaz :

$$P(\mathbf{x}) = n_c \cdot A_s(\mathbf{x}) \cdot \sum_{m=1}^e [(M_m - \kappa_m) \cdot (1 - \alpha) + \kappa_m] \cdot V_m^* \cdot \psi$$

Arazoaren formulazioa

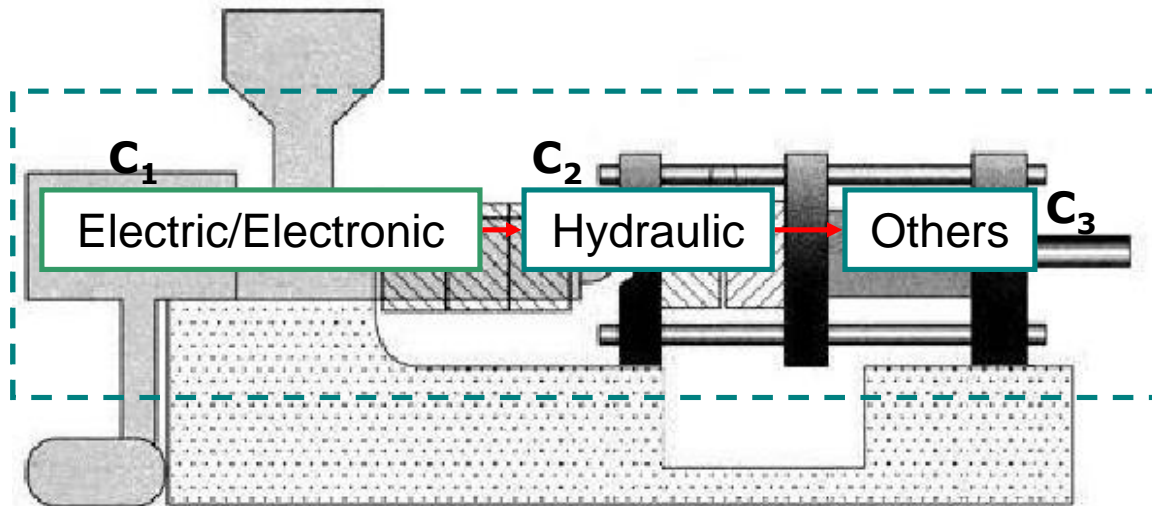
- ✓ Monitorizatu eta W_c adinera iristean mantendu beharreko osagaien W_c edo adin kritikoa izango zen optimizatu beharreko aldagaia, eta berau sartuko genuke erabaki bektorean, \mathbf{x} , eta optimizatu beharreko funtzioa ondokoa izango zen

$$f(\mathbf{x}) = \{C(\mathbf{x}), P(\mathbf{x})\}$$

Optimizazio prozedura

- ✓ Non-dominated Sorting Genetic Algorithm (NSGA-II) algoritmo genetiko helburu anitza (Deb etabarrek proposatua, 2002)
- ✓ Bi helbururen optimizazio bateraturako oraindik algoritmo egokia

Optimizaturiko aktiboa



24h/eguneko eta 260 egun/urteko lan egiten duen plastiko injekzio makina, 10 urterako denbora tarterako optimizaturia. W_{c1} , W_{c2} , W_{c3} (1 eta 260 artean balio osoak soilik har ditzazketelarik) eta bi mantenu lanen arteko tarte minimoa M_{min1} , M_{min2} , M_{min3} (1 eta W_c bitartekoa balio osoak hartzen dituztenak) ere optimizatu behar delarik.

$$\mathbf{x} = \{W_{c1}, M_{min1}, W_{c2}, M_{min2}, W_{c3}, M_{min3}\}$$

$$f(\mathbf{x}) = \{C(\mathbf{x}), P(\mathbf{x})\}$$

Aktiboen datuak:

Table 1. Reliability data.

Component	$\lambda(10^{-4}/\eta)$	γ
C1	5	2
C2	2	2.9
C3	4	2

Table 2. Parameters related to preventive maintenance.

Activity	ε	d_{pm} (h)	d_u (h)
M1	0,9	0,5	0,5
M2	0,9	0,5	0,5
M3	0,9	1	1

Table 3. Parameters related to corrective maintenance.

Component	Duration (h)
C1	0,5
C2	0,5
C3	1

Aktiboaren datuak:

Table 4. Parameters related to quality, speed loss and unavailability.

h_0	τ	S_0	ρ	α
	(u^*/h^2)	(u/h)	(10^{-3})	
0	0.0017	180	1	0.03

*u: product unit

Table 5. Parameters related to cost.

C_α	C_{hsl}	C_{chem}	C_{hpm}	C_{c1}	C_{c2}	C_{c3}	C_{het}
(€/u)	(€/h)	(€/h)	(€/h)	(€/u)	(€/u)	(€/u)	(€/h)
6	25	45	30	30	30	60	1

Optimizazio parametroak eta emaitzak

Table 6. Values used in the NSGA-II.

Parameter	Value
Population Size	100
Selection rate	0.25
Crossover rate	0.5
Mutation rate	0.75

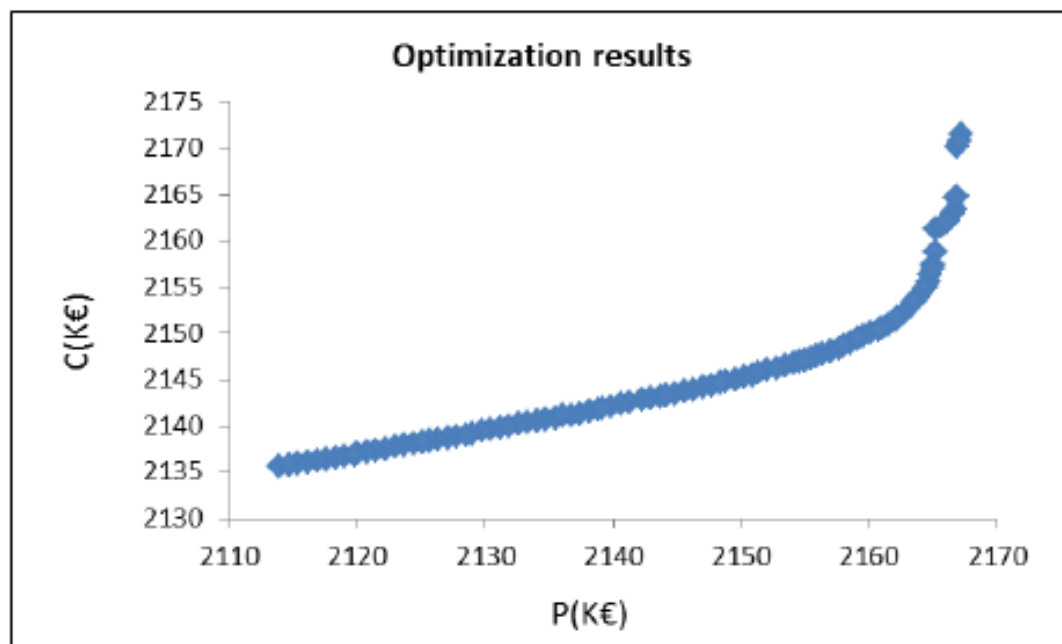


Figure 4. Optimization results.

- ✓ Eredu matematiko bat egin da Egoeraren Monitorizazioan Oinarrituriko Mantenuaren jarrera irudikatzeko, a) mantentze lanen kostua, b) kalitatearen kostua, c) abiadura galeraren kostua eta d) mozkin produktiboa kontutan hartzen dituenak
- ✓ Kasu batera aplikatu da bere erabilgarritasuna frogatzeko
- ✓ **Egindako lana haserako helburuarekin alineatuta dago, non mantenketa kontzeptuak monetizatu dira OEEaren kontextuan**