Agent-based simulation modelling for regional ecological-economic systems. A case study of the Republic of Armenia

Levon A. Beklraryan (Russian Academia of Science, Russia)

Agenda

1. Introduction and related works
2. Simulation for Ecological Economics
3. Optimization problem and searching the Pareto optimal decisions
4. Review of the developed software
5. Some results of the simulation
6. Acknowledgements
7. Conclusion

Purpose, Tasks, Relevance

The purpose of the research **is creating the simulation for Ecological Economics, which allows searching optimal decisions about the modernization of Armenian enterprises in order to transform them from the initial non-ecological state towards the finite state of the ecologically pure manufacturing.**

Main points:

1. **Developing the simulation for Ecological Economics. A case study of the Republic of Armenia.**
2. **Searching the Pareto optimal decisions for Ecological Sustainability**
3. **Designing the software for support of decision making about the modernization of Arminian enterprises.**
4. **Forming the “optimal” plan of the modernization of Arminian enterprises and other recommendations.**

Methodology and tools

The developed simulation is based on methods of *Agent-based modelling (ABM)* and the *system dynamics (SD)*, which are used jointly.

Main tools are the *AnyLogic and J2EE.* The AnyLogic is the first simulation platform, which brings together different methods of simulation modelling such as ABM, SD, Discrete-Event sim., etc.

The system core is the developed **Agent-based simulation** (AnyLogic), which is integrated with the suggested **Genetic Algorithm** (own implementation on Java) for searching the **Pareto optimal decisions** and the subsystem for a **visualization** (Maps, Graphs).

In addition, we applied different methods of an equilibrium computational economics, econometrics, data clustering, designing data bases, mathematical programming and other methods.

Related works

Main works

Costanza R., Cumberland J., Daly H., Goodland R., Norgaard R. An introduction to ecological economics. St. Lucie Press and ISEE. 1997.

S. F. Railsback and Volker Grimm. Agent-Based and Individual-Based Modeling: A Practical Introduction. Princeton Univ. Press 352 p,, 2011.

Bleuer, S., Brack M., Thiele L. and Zitzler. E. Multiobjective genetic programming: Reducing bloat by using SPEA 2. In Congress on Evolutionary Computation (CES2001), 2001.

Grimm, V., E. Revilla, U. Berger, et al. 2005. Patternoriented modeling of agent-based complex systems: lessons from ecology. Science 310: 987–991.

Smajgl, A., Brown, D.G., Valbuena, D., and Huigen, M.G.A. Empirical characterisation of agent behaviours in socioecological systems. Environmental Modelling and Software, 26(7), 2011

State of the art

J. Forrester & Dennis L. Meadows (1961, 1972), DeAngelis D.L.&W.M. Mooij (2005), Tesfatsion,L.&K.Judd,Eds. (2006), Jørgensen SE & Fath BD (2011), Brown, D., R. Riolo, D.T. Robinson, (2005), Melkonyan Ani (2014), Johnston A.S.A., Hodson M.E. ., et al. (2014), Li S., Colson V., et al. (2015) and other works

Simulation for Ecological Economics

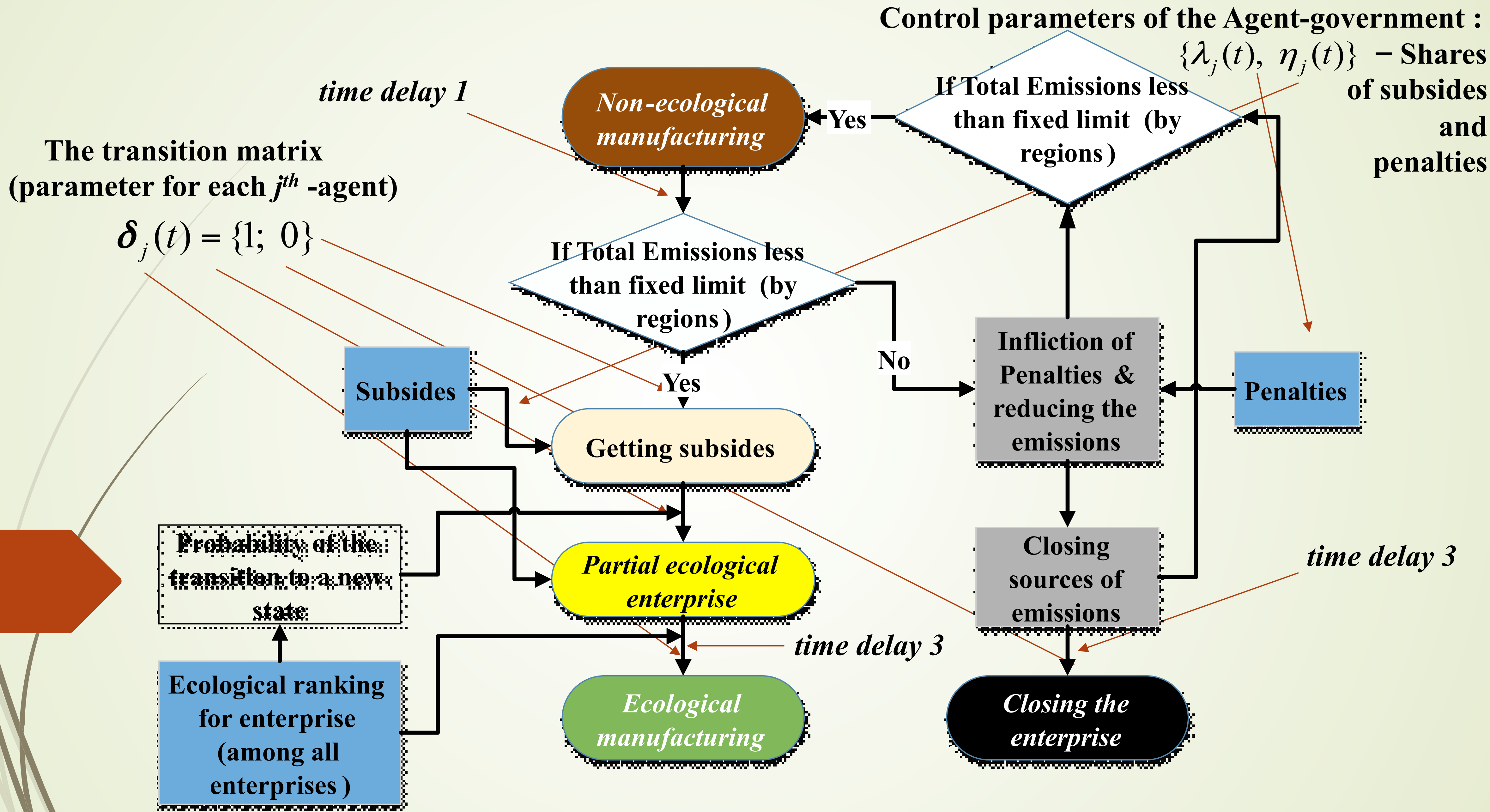
A conceptual model

Representative agents in the model:

- ***Agent-enterprises*** – 270 selected enterprises of Armenia, which are main stationary sources of emissions. Agent-enterprises monitor each other while forming its decisions.
- ***Generalized consumer*** – one agent, which is forming the demand for the production of agent-enterprises
- ***The government*** – one agent, which is forming parameter for ecological regulation (for example, fee rates for emissions, subsidies, penalties, etc.). These parameter are applied for all agent-enterprises simultaneously.

Possible states of agent-enterprises:

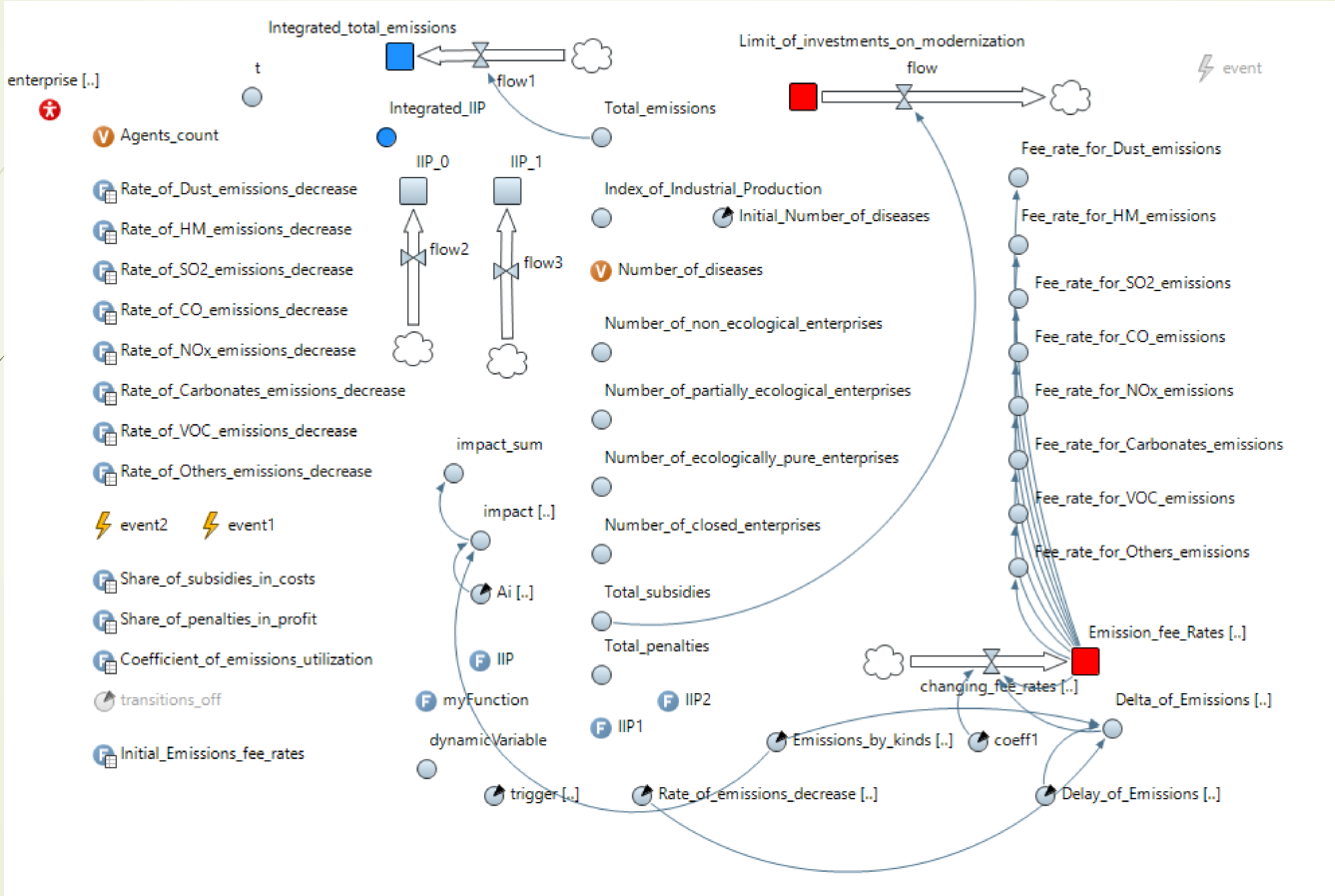
- ***Non-ecological manufacturing*** – enterprise saves own sources of emissions without changing.
- ***Partial modernization*** – enterprise reduces the emissions level through a partial modernization of emissions sources without their closing.
- ***Ecological manufacturing*** – enterprise stops being source of emissions.
- ***Closing the enterprise*** –enterprise is closed and all its sources of emissions are destroyed.



$\delta_j(t) = 1$ – the transition to a new state is allowed; $\delta_j(t) = 0$ – the transition to a new state is blocked

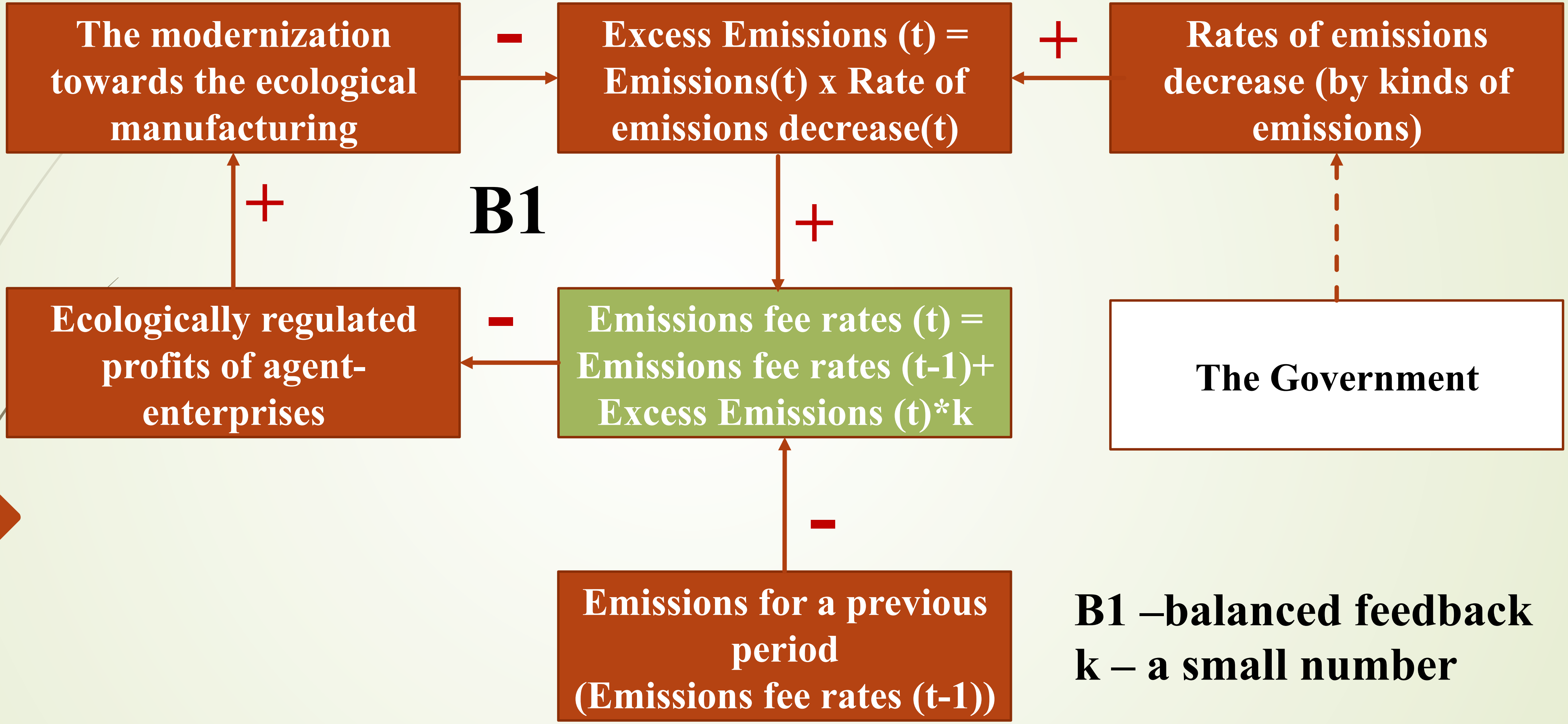
Simulation for Ecological Economics

The top-level model (environment for agents)



Simulation for Ecological Economics

Calculation of equilibrium emissions fee rates



B1 –balanced feedback

k – a small number

Simulation for Ecological Economics

The dynamics of key characteristics

The output of j^{th}-agent

$$V_j(t)=\left(\sum_{s_j=1}^{S_j(\mathrm{t})}\left(\mu_{j,s_j}(t)K_{j,s_j}(t)\right)\right)^{\alpha_j(t)}\left(\sum_{s_j=1}^{S_j(\mathrm{t})}\omega_{s_j}(t)L_{j,s_j}(t)\right)^{\beta_j(t)}$$

The total emissions of j^{th}-agent

$$E_j(t)=\left(\sum_{s_j=1}^{S_j(t)}\mu_{j,s_j}(t)K_{j,s_j}(t)\right)^{\gamma_j(t)}$$

$$\mu_{j,s_j}(t)=\begin{cases}1, \text{ if } st_j(t)=1,\\ 0.5, \text{ if } st_j(t)=2,\\ 0.1, \text{ if } st_j(t)=3,\\ 0, \text{ if } st_j(t)=4 \text{ or } \omega_{s_j}(t)=0.\end{cases}$$

$$\alpha_j(t)=\begin{cases}\alpha_1(t), \text{ if } st_j(t)=1,\\ \alpha_2(t), \text{ if } st_j(t)=2,\\ \alpha_3(t), \text{ if } st_j(t)=3,\end{cases}$$

$$\alpha_1(t)<\alpha_2(t)=\ \alpha_3(t)<1.$$

$$\beta_j(t)=1-\alpha_j(t),\qquad 0\le\gamma_j(t)\le 1,$$

$t\in\{t_0,\ t_0+1\ ,\ \dots\ ,\ t_0+T\}$ – **time by years,**

$j\in\{1,\ 2,\ \dots\ ,J(t)\}$ – **index of agent-enterprises,**

$s_j\in\{1,\ 2,\ \dots\ ,S_j(t)\}$ – **index of emissions sources of j^{th} -agent-enterprise,**

$0<\gamma_j(t)<1$ – **the known coefficient.**

$st_j(t)\in\{1,\ 2,\ 3,\ 4\}$ – **possible states of j^{th}-agent-enterprise**

$st_j(t)=1$ – **non-ecological manufacturing,**

$st_j(t)=2$ – **partial ecological enterprise,**

$st_j(t)=3$ – **pure ecologically enterprise,**

$st_j(t)=4$ – **closed enterprise.**

$K_{j,s_j}(t)$– **the fixed assets,**

$L_{j,s_j}(t)$– **the manpower,**

$\omega_{s_j}\in\{1,\ 0\}$ – **possible states of s^{th} -emission source of j^{th} -agent-enterprise.**

Simulation for Ecological Economics

The dynamics of key characteristics

Operation expenses of j^{th}-agent

$$OPEX_j(t) = W_j(t)\sum_{s_j}^{S_j}\left(\omega_{s_j}(t)L_{j,s_j}(t)\right) + V_j(t) * c_j(t) + \mathrm{Constant}_j(t)$$

Capital expenditure of j^{th}-agent

$$CAPEX_j(t) = \sum_{s_j}^{S_j(t)} \omega_{s_j}(t)\frac{\widehat{In}_j(t)K_{j,s_j}(t-1)}{h_j(t)} + M_j(t)$$

$$L_{j,s_j}(t) = \omega_{s_j}(t)\left[L_{j,s_j}(t-1) + In_j(t)L_{j,s_j}(t-1) - Out_j(t)L_{j,s_j}(t-1)\right],\quad K_{j,s_j}(t) = \omega_{s_j}(t)\left[K_{j,s_j}(t-1) + \widehat{In}_j(t)K_{j,s_j}(t-1) - \widehat{Out}_j(t)K_{j,s_j}(t-1)\right]$$

$$W_j(t) = W_j(t-1)inflation(t)$$

$$In_j(t) = D_j(t)/D_j(t-1),\quad \widehat{In}_j(t) = D_j(t)/D_j(t-1)$$

$$M_j(t) = \begin{cases} 0, & \text{if } st_j(t) = 1,\\ m_j(t), & \text{if } st_j(t) = 2,\\ \tilde{m}_j(t), & \text{if } st_j(t) = 3,\\ 0, & \text{if } st_j(t) = 4. \end{cases}$$

$0 < h_j(t) \le 1$ **– the known ratio of the production capacity to capital investments**

Revenue of j^{th}-agent

$$\mathrm{Re}v_j(t) = \pi_j(t)V_j(t)$$

$\pi_j(t) = \pi_j(t-1)inflation(t)$ **– average price on product of j^{th}-agent**

$In_j(t), Out_j(t)$ **– expected rates of inflow and outflow of recourses**

$V_j(t) \le D_j(t)$ **– the demand for production,**

$M_j(t)$ **– required expenses for a modernization**

$inflation(t)$ **– index of agent-enterprises,**

Simulation for Ecological Economics

The dynamics of key characteristics

Gross Profit of j^{th} -agent

$$P_j(t) = \mathrm{Re}v_j(t) - OPEX_j(t) - CAPEX_j(t) + \lambda_j(t) M_j(t)$$

Ecologically regulated Gross Profit of j^{th} -agent

$$\tilde{P}_j(t) = P_j(t) - \eta_j(t) P_j(t) - \sum_{i_j=1}^{I(t)} e_{i_j}(t) g_i(t)$$

$i \in \{1, 2, \ldots, I(t)\}$ – **index of emissions kinds: SO2, NOX, NMVOC, CH, etc.**

$j \in \{1, 2, \ldots, J(t)\}$ – **index of agent-enterprises,**

$g_i(t) = g_i(t-1) + \kappa \left(R_i(t) \sum_{j=1}^{J} e_i(t) - \sum_{j=1}^{J} e_i(t-1) \right)$ **- (equilibrium) emissions fee rates,**

$\{\lambda_j(t), \eta_j(t)\}$ – **shares of subsides and penalties,** $0 \le \lambda_j(t) \le 1, \ 0 \le \eta_j(t) \le 1,$

$R_i(t)$ – **the regulated rate for i^{th} emission decrease,** $R_i(t) \ge 1,$

$e_{i_j}(t) = a_{i_j} E_j(t)$ – **emissions by kinds,** $\sum_{i_j=1}^{I(t)} a_{i_j} = 1, \ j \in \{1, 2, \ldots, J(t)\}$

Simulation for Ecological Economics

The logic of a transition towards new states for agents-enterprises

Possible states of j^{th}-agent

$$st_j(t) = \begin{cases} 1, \text{ if } t = t_0 \text{ or } st_j(t-1) \notin \{2,\ 3,\ 4\}, \\ 2, \text{ if } \boldsymbol{\delta}_j(t-\tau_1) = 1 \text{ and } \left(\tilde{P}_j''\left(st_j(t)=2\right) \geq \tilde{P}_j'\left(st_j(t)=1\right) \text{ or } z_j(t) \geq p(t) \right) \text{ and } st_j(t-1) \in \{1,\ 2\}, \\ 3, \text{ if } \boldsymbol{\delta}_j(t-\tau_2) = 1 \text{ and } \left(\tilde{P}_j'''\left(st_j(t)=3\right) \geq \tilde{P}_j''\left(st_j(t)=2\right) \text{ or } z_j(t) \geq p(t) \right) \text{ and } st_j(t-1) \in \{2,\ 3\}, \\ 4, \text{ if } \boldsymbol{\delta}_j(t-\tau_3) = 1 \text{ and } \left(E_j(t) > \bar{E}(t) \text{ and } \omega_{s_j} = 0 \text{ for all } s_j \in \{1,\ 2,\ \ldots,\ S_j(t)\} \right) \text{ and } st_j(t-1) \in \{1,\ 4\}. \end{cases}$$

$\boldsymbol{\delta}_j(t) = \{1;\ 0\}$ **– control parameters set by the Genetic Algorithm (GA),**

$\tau_1,\ \tau_2,\ \tau_3\ \in \{t_0,\ T\}$ **– known time delays,** $s_j \in \{1,\ 2,\ \ldots,\ S_j(t)\}$ **– sources of emissions,**

$\tilde{P}_j',\ \tilde{P}_j'',\ \tilde{P}_j'''$ **– ecologically regulated gross profit estimated for three possible states (non-ecological, partial ecological, and pure ecological manufacturing)**

– random value (from 0 to 1) $\bar{E}(t)$ **– limit of total emissions**

Interaction of agent-enterprises

$p(t)$

$z_j(t) = E_j(t) / \sum_{j=1}^{J(t)} E_j(t)$ **– ecological ranking for j^{th}–agent,** $\sum_{j=1}^{J(t)} \left(\lambda_j(t) M_j(t) \right) \leq \bar{M}$ **– the limit for subsides**

Optimization problem and searching the Pareto optimal decisions

The dynamics of main characteristics

Problem. ***The need to maximize the Integrated Index of Industrial Production summed for all agent-enterprises and to minimize the Integrated Total Emissions, which will be accumulated for a period in order to search the Pareto optimal decisions***

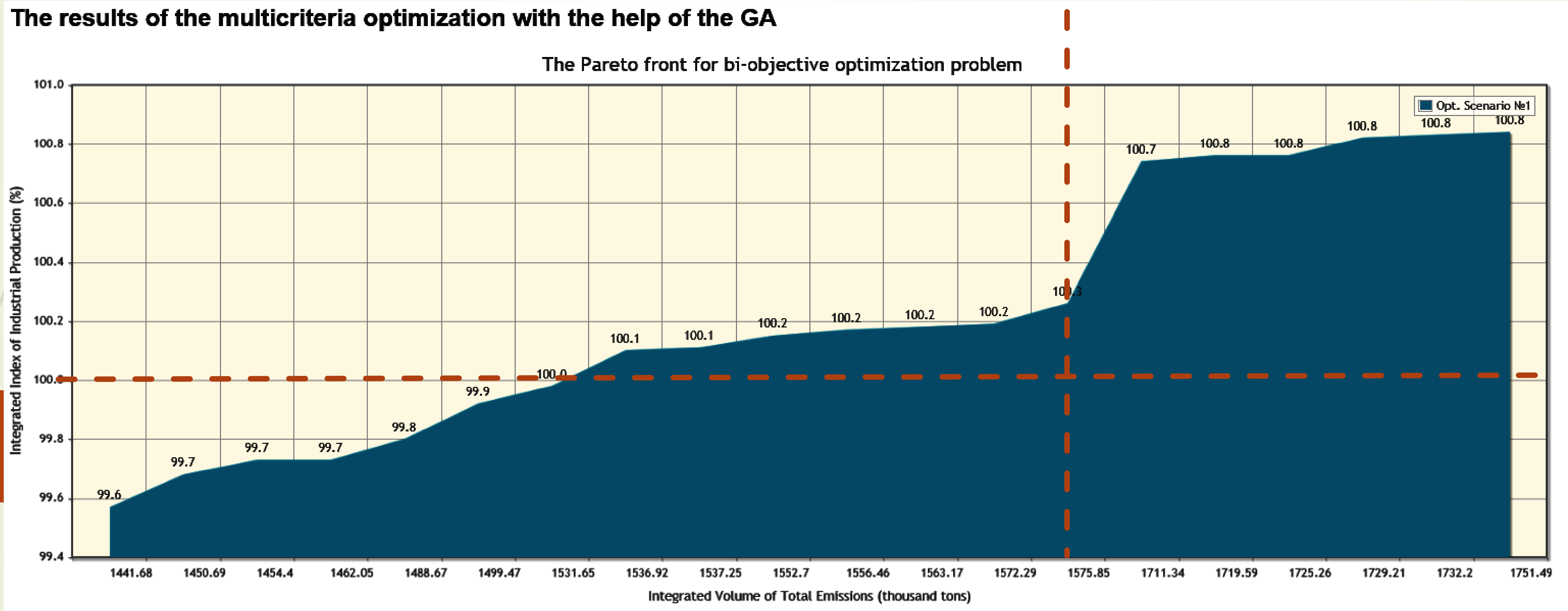
$$\begin{cases} \max\limits_{\delta_j(t)} \sum\limits_{t=t_0}^{t_0+T} \sum\limits_{j=1}^{J(t)} \dfrac{V_j(t)}{V_j(t-1)}, \\ \min\limits_{\delta_j(t)} \sum\limits_{t=t_0}^{t_0+T} \sum\limits_{j=1}^{J(t)} E_j(t), \end{cases}$$

under constraints:

$$\boldsymbol{\delta}_j(t) \in \{1;\ 0\}$$

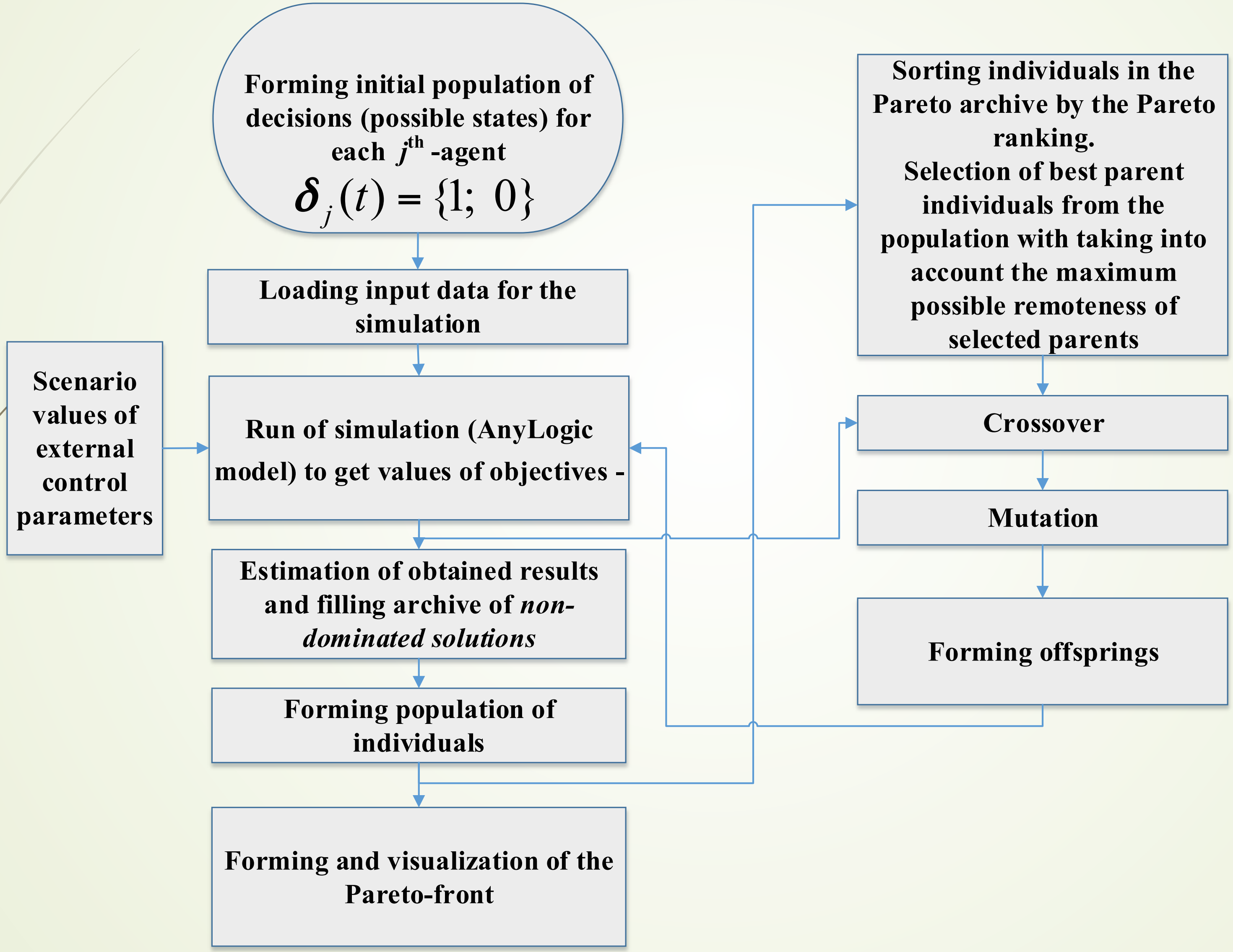
Optimization problem and searching the Pareto optimal decisions

The example of the Pareto front



More acceptable decisions for the Ecological Economics of the RA, when the Index of Industrial Production > 100% and the Total Emissions < 1 600 th. tons for 10 years

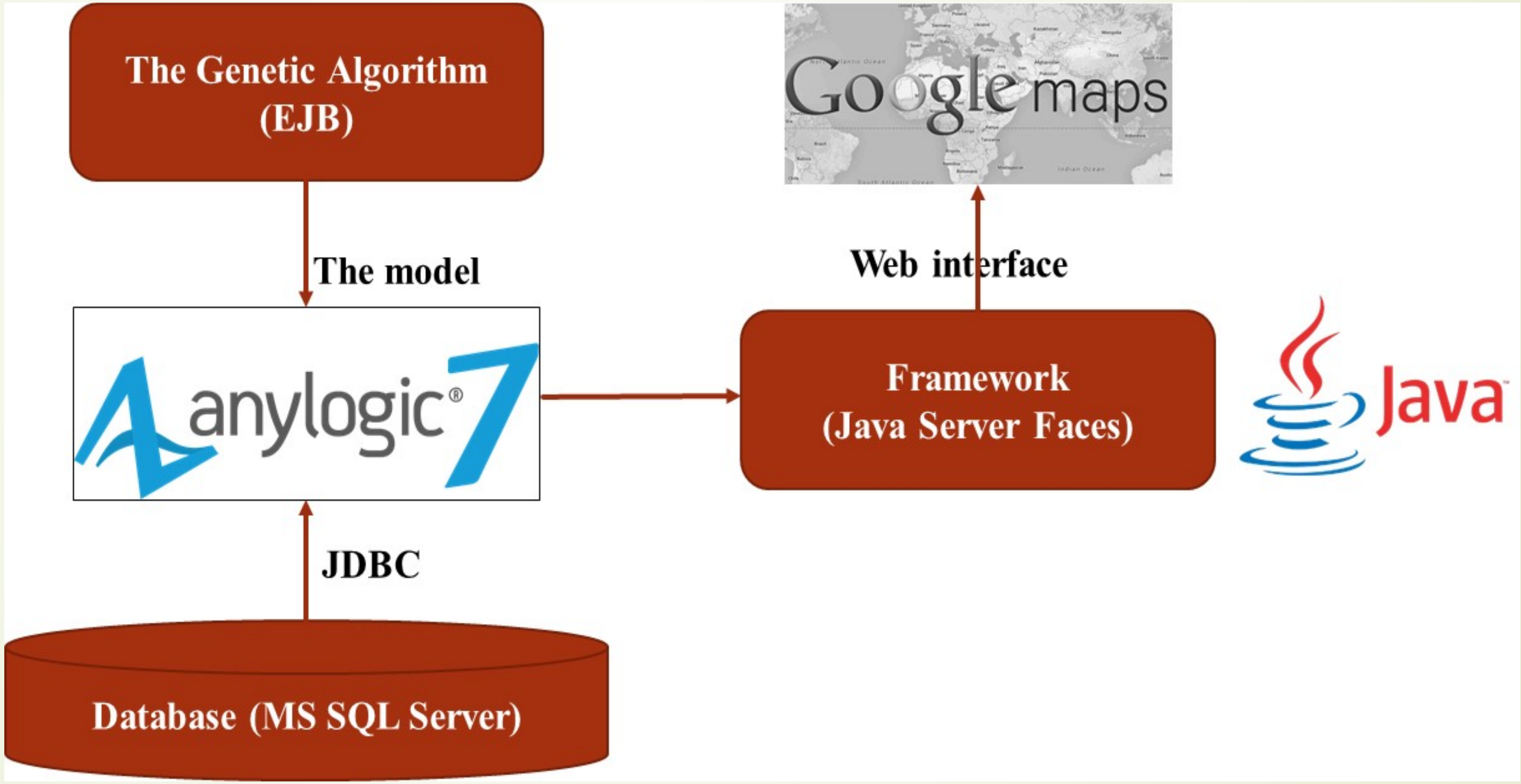
Optimization problem and searching the Pareto optimal decisions



Why the Genetic Algorithm was chosen?

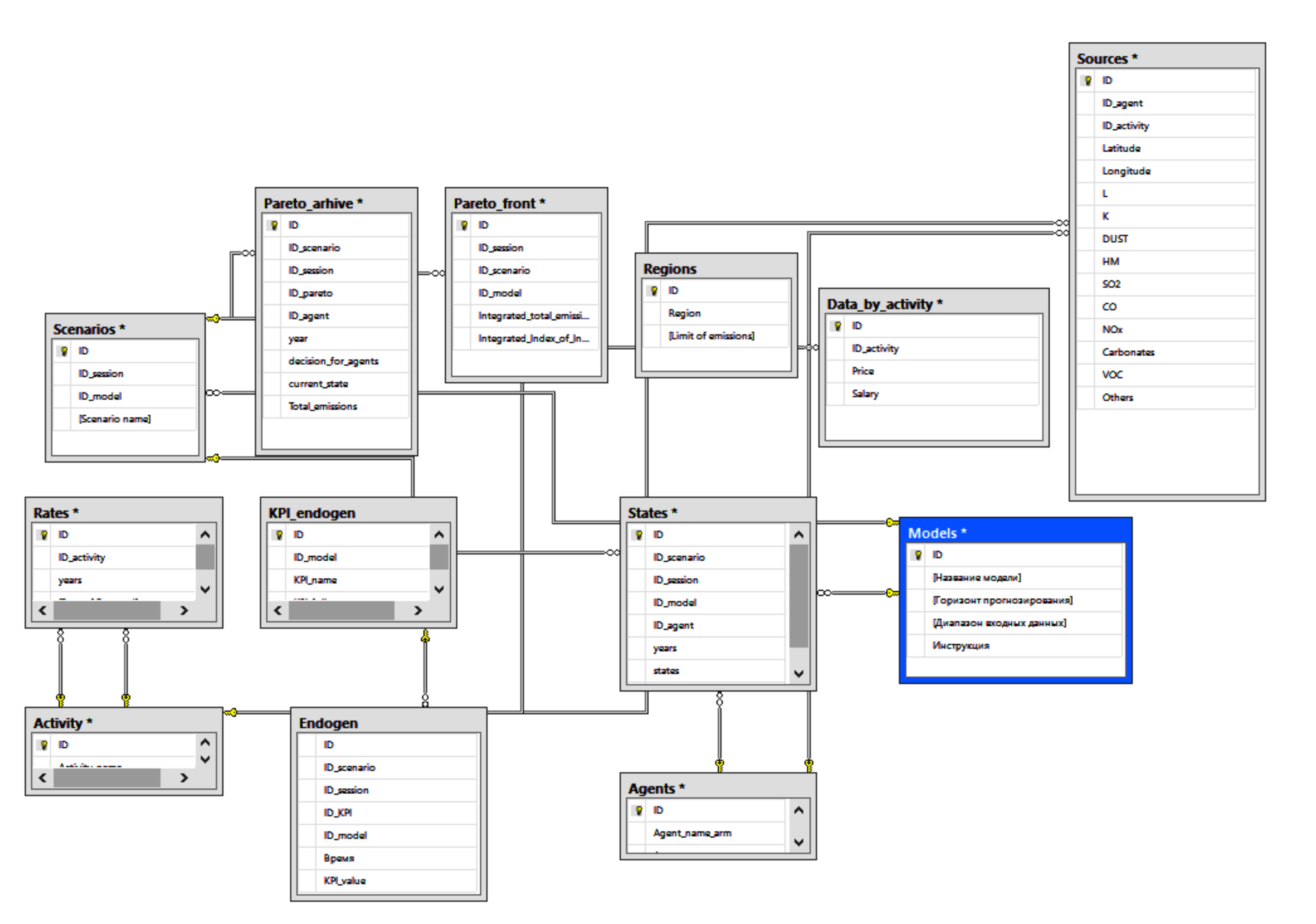
1. ***Large-scale of the decisions space (270 agents x 10 years)***
2. ***Multi-objective optimization when objectives are the results of the simulation***
3. ***High effectivity for the transitions control because the coding of potential decisions is not necessary***

Review of the Developed Software



Review of the Developed Software

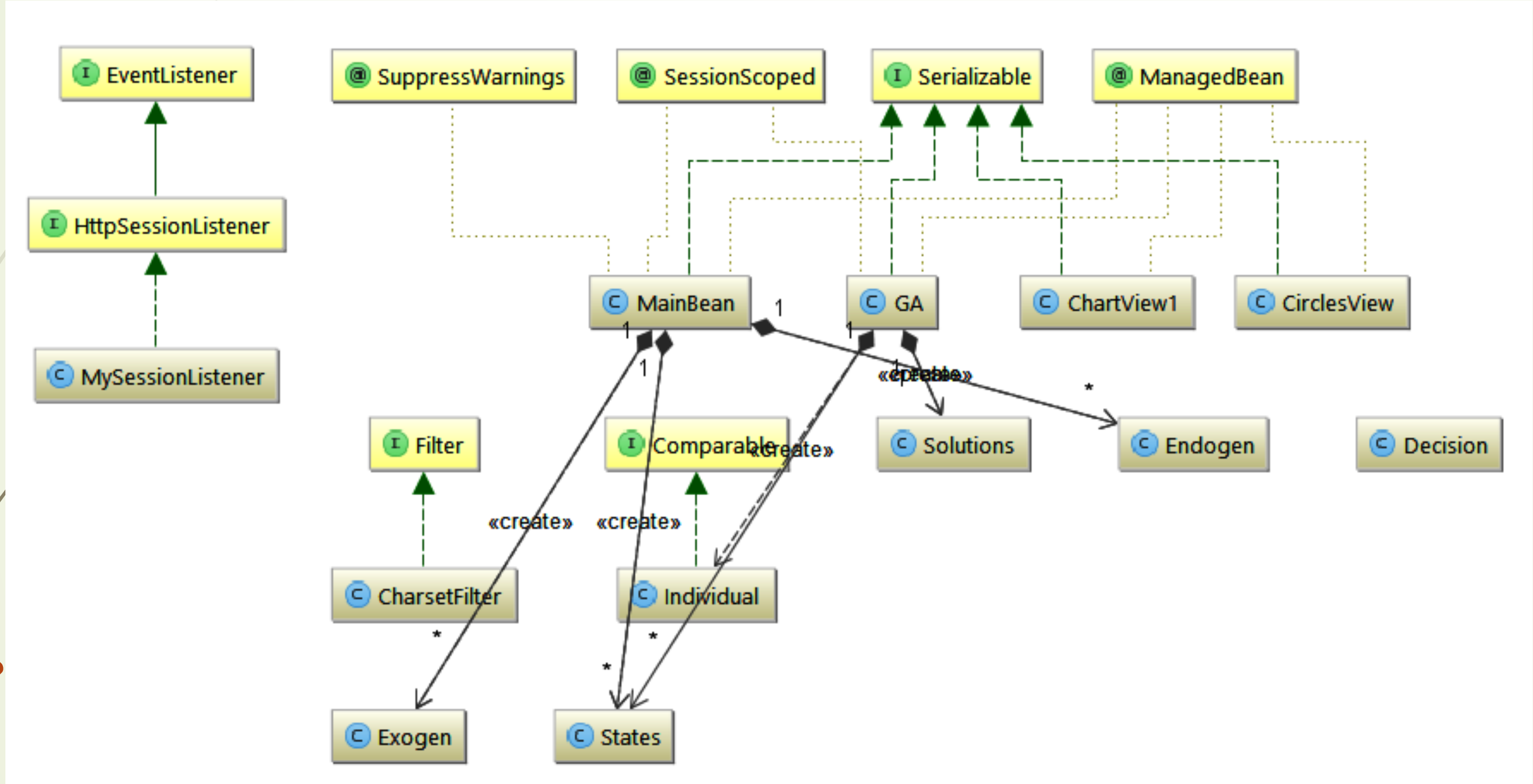
The designed database



- 13 main tables
- 1 Tb data
- 1 000 000 rerestarted records for the saving states of agents-enterprises
- Geo Data
- Scenario Data
- Results of the Optimization (the Pareto archive)

Review of the Developed Software

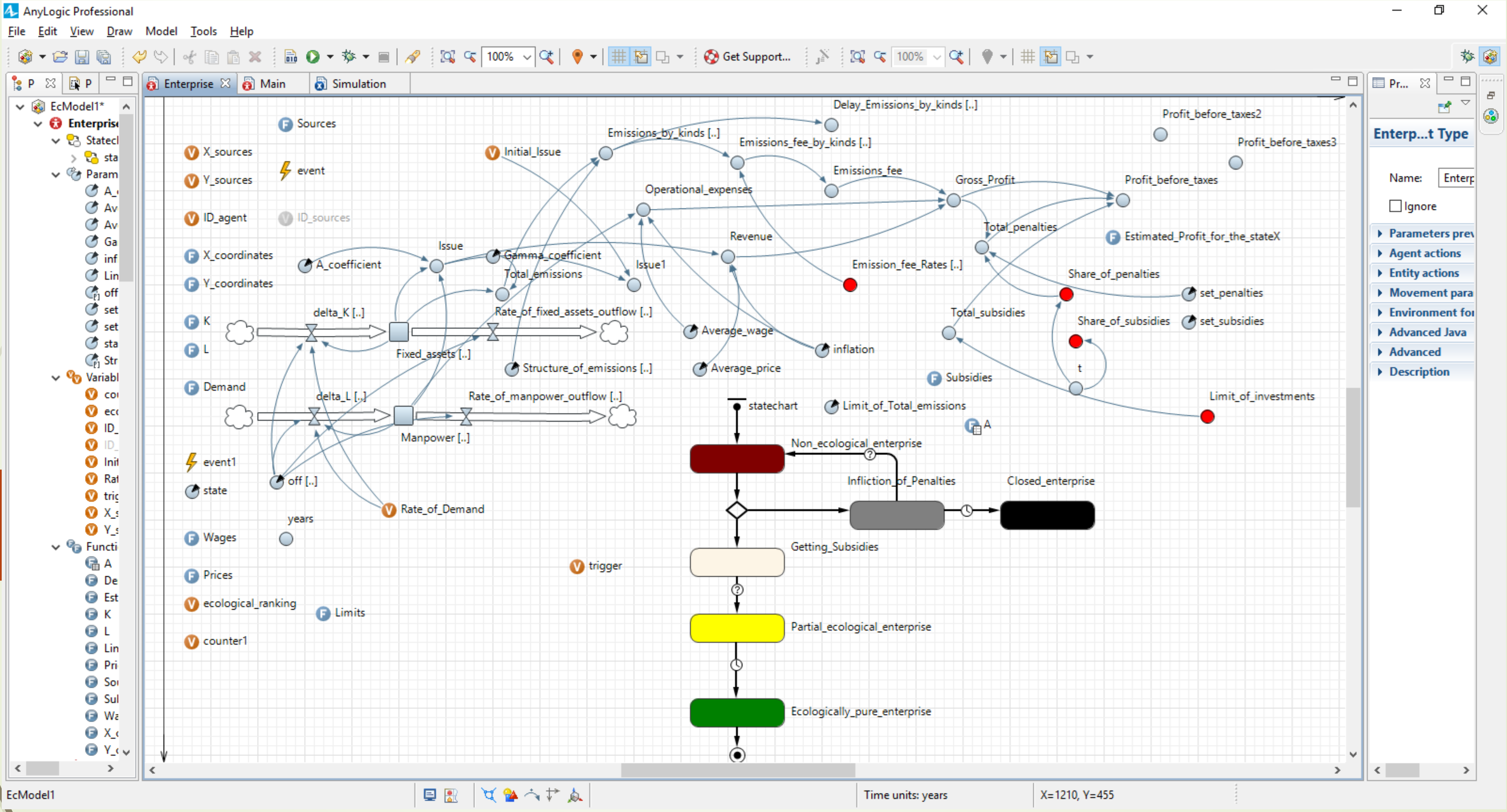
The designed Java classes



- 12 Java classes
- Own implementation of the GA
- Using the JSF
- Integration with AnyLogic
- Integration with Database (JDBC)
- Integration Agents with Goggle Maps

Review of the Developed Software

The agent simulation in AnyLogic



Review of the Developed Software

The Web Interface

http://localhost:5020/index1.xhtml

localhost

Back to Models

Agent-based modelling for ecological economics: A case study of the Republic of Armenia

What-if Experiments | Optimization experements | Graphs | Maps | User Manual

Exogenous variables

(http://www.smartersim.com/ecmodel)

Limit of investments on subsidies (mln. dram) 1000000

Years (2016 - 2025)	Rate of Dust em. decr.	Rate of Heavy metals em. decr.	Rate of SO2 em. decr.	Rate of CO em. decr.	Rate of NOx em. decr.	Rate of Carbonates em. decr.	Rate of VOC em. decr.	Rate of Others em. decr.	Share of subsidies in costs (%)	Share of penalties in profit (%)	Emissions utilization coeff. (from 0 to 1)
0	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	20.0	5.0	0.05
1	1.2	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	25.0	10.0	0.1
2	1.3	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	15.0	20.0	0.1
3	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	10.0	30.0	0.15
4	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	5.0	40.0	0.15
5	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	5.0	50.0	0.2
6	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	5.0	60.0	0.2
7	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	3.0	70.0	0.25
8	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	2.0	80.0	0.3
9	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.0	90.0	0.3

Calculate | Restore | Save scenario | Name of scenario | Instruction

Calculation progress

0%

Review of the Developed Software

The What-if analysis

http://localhost:5020/index1.xhtml

localhost

2025)						decr.		decr.	(%)	(%)	
0	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	20.0	5.0	0.05
1	1.2	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	25.0	10.0	0.1
2	1.3	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	15.0	20.0	0.1
3	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	10.0	30.0	0.15
4	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	5.0	40.0	0.15
5	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	5.0	50.0	0.2
6	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	5.0	60.0	0.2
7	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	3.0	70.0	0.25
8	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	2.0	80.0	0.3
9	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.0	90.0	0.3

Calculate | Restore | Save scenario | Name of scenario: base | Instruction

A scenario can be fast calculated and saved

Calculation progress

100%

Endogeneus variable

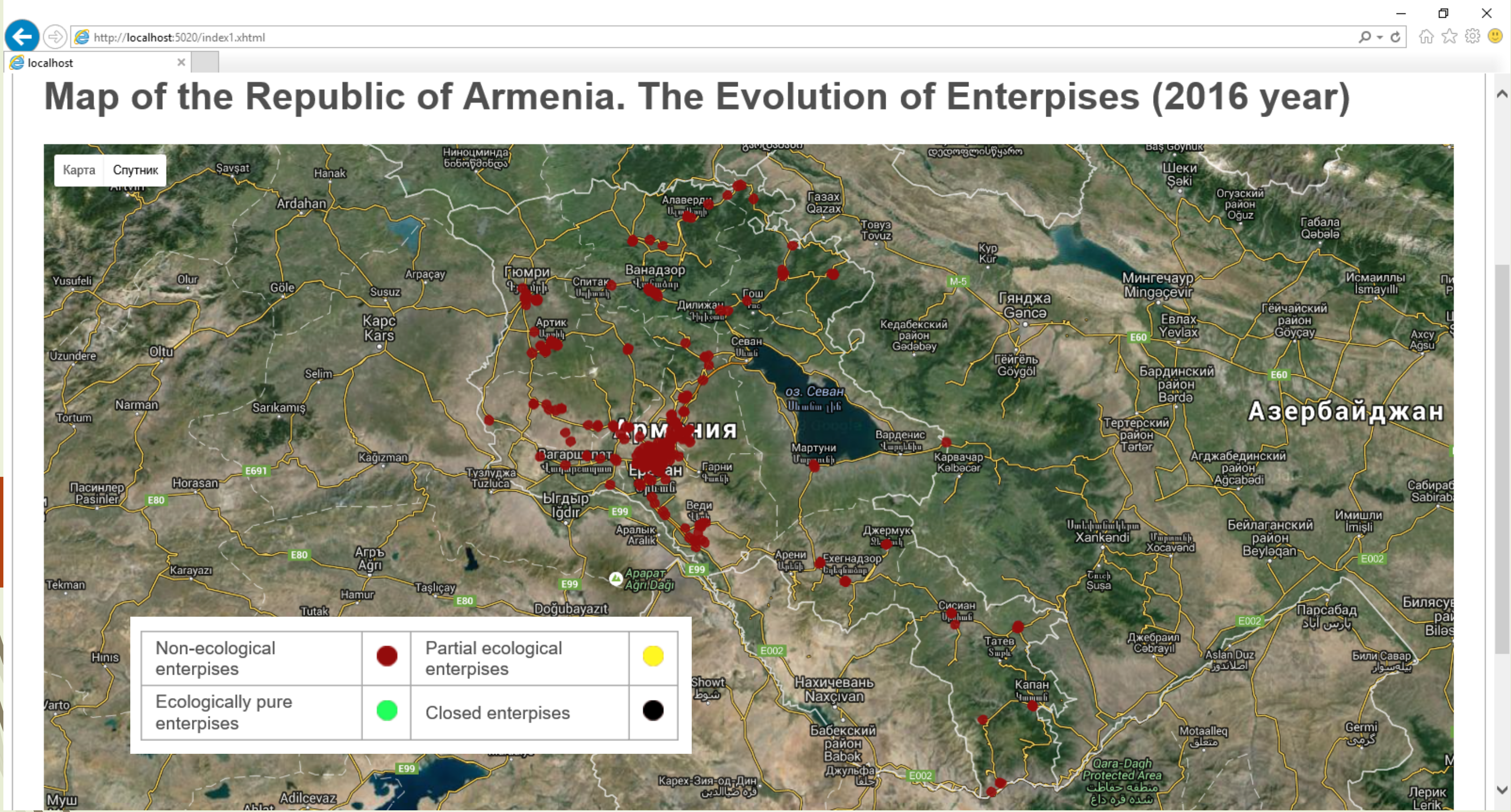
Years (2016 - 2025)	Total Emissions (tons)	Index of Industrial Production (%)	Number of diseases	Number of non-ecological enterprises	Number of partially ecological enterprises	Number of ecologically pure_enterprises	Number of closed enterprises	Total penalties (mln. arm. dram)	Total subsidies (mln. arm. dram)	Fee rate for Dust emissions (dram/tonn)	Fee rate for HM emissions (dram/tonn)	Fee rate for SO2 emissions (dram/tonn)	Fee rate for CO emissions (dram/tonn)	Fee rate for NOx emissions (dram/tonn)	Fee rate Carbona emissic (dram/to
0	158432,465	105,263	1000,000	270,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	600,002	18957000,000	600,000	80,000	7400,000	1500,0
1	140244,959	105,263	1000,000	136,000	134,000	0,000	0,000	21409,450	0,000	616,840	18957000,010	602,416	80,905	7400,001	1500,0
2	140651,411	100,323	1033,000	124,000	146,000	0,000	0,000	43147,745	0,000	655,473	18957103,349	602,115	81,723	7408,938	1496,1
3	141518,136	100,602	1064,000	119,000	151,000	0,000	0,000	88898,440	0,000	775,320	18957354,284	605,611	84,991	7422,264	1529,3
4	74335,005	62,280	1096,000	89,000	50,000	111,000	20,000	26227,996	0,000	825,314	18957584,219	609,125	88,471	7436,109	1564,8
5	39353,240	73,990	1113,000	51,000	54,000	121,000	44,000	105,113	1,850	782,021	18957871,405	611,321	85,795	7447,222	1564,3
6	36122,975	95,429	1059,000	37,000	60,000	126,000	47,000	13,593	0,940	787,526	18958187,330	614,212	84,910	7456,736	1519,7
7	36607,531	99,767	892,000	19,000	76,000	128,000	47,000	12,447	0,000	802,613	18958205,818	615,313	84,685	7465,963	1530,0
8	36773,592	96,895	748,000	13,000	74,000	136,000	47,000	7,884	9,059	820,186	18958227,211	616,576	85,739	7473,794	1540,5
9	37547,212	99,550	631,000	8,000	73,000	141,000	48,000	0,000	21,381	841,934	18958250,999	617,951	86,942	7482,483	1552,0

Review of the Developed Software
Graphs

- All results can be visualized on graphs
- Scenarios can be compared

Review of the Developed Software

The visualization of agents evolution on the Maps

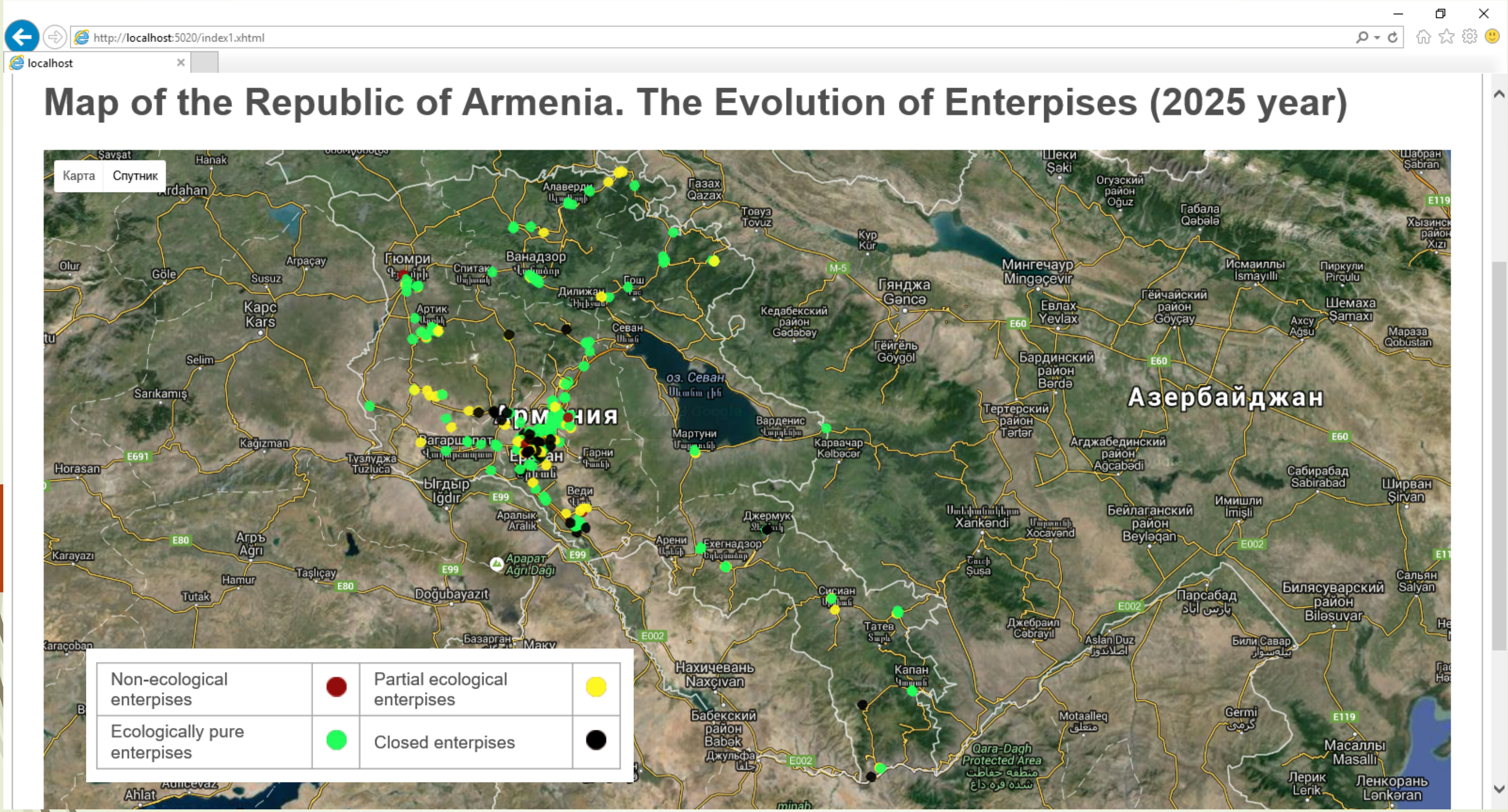


Review of the Developed Software

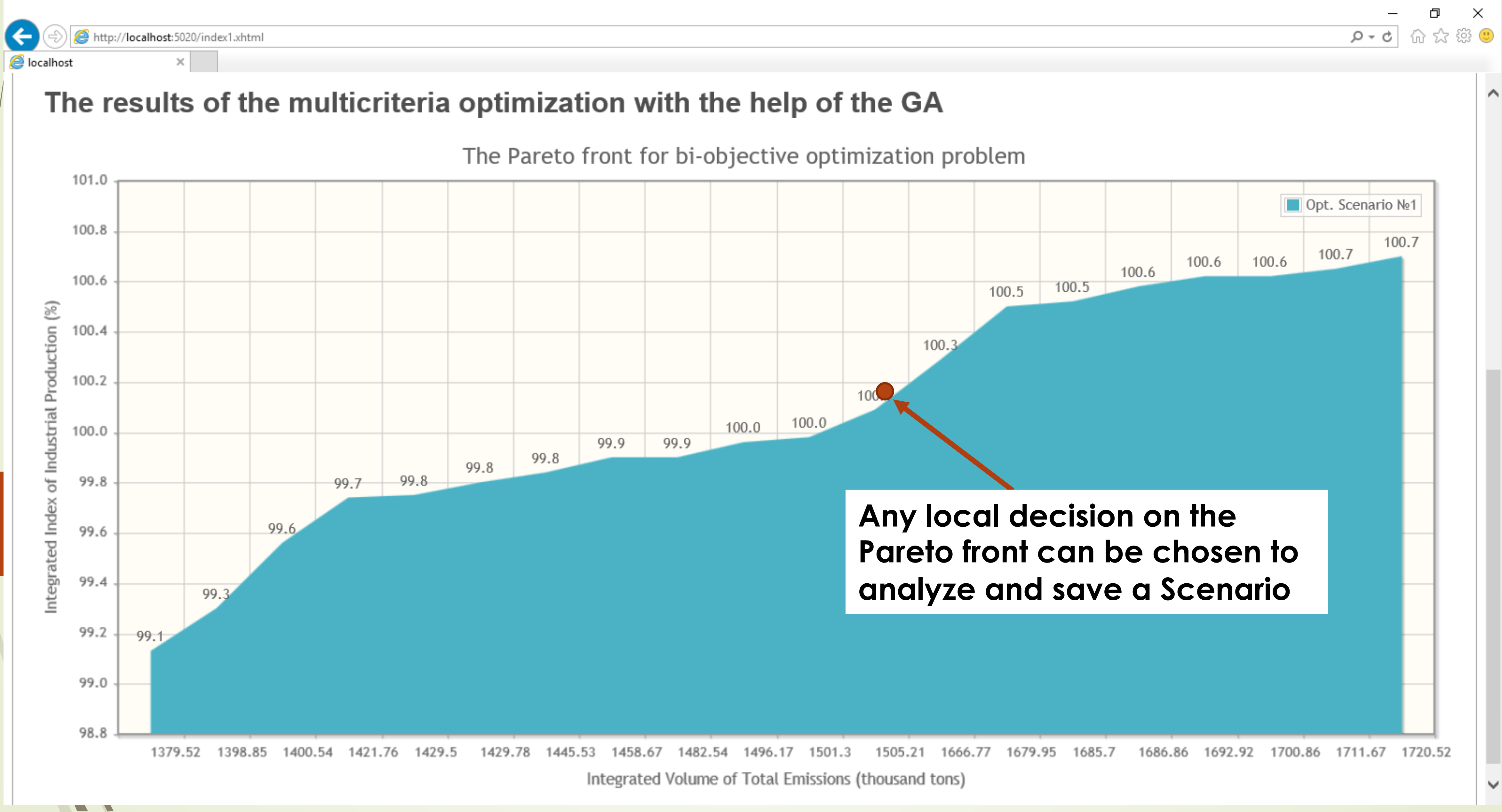
The visualization of agents evolution on the Maps

Review of the Developed Software

The visualization of agents evolution on the Maps

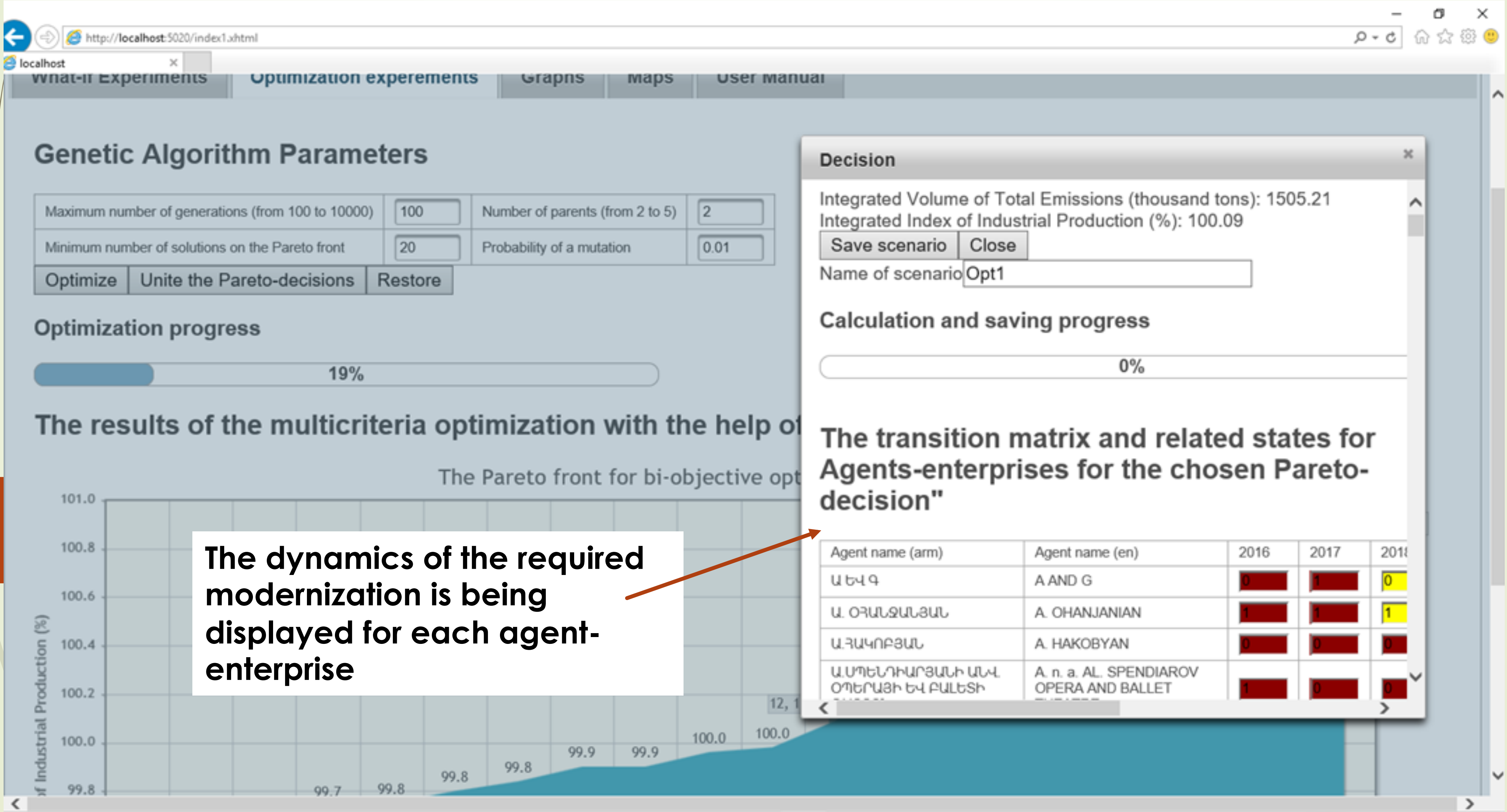


Review of the Developed Software
Optimization experiments



Review of the Developed Software

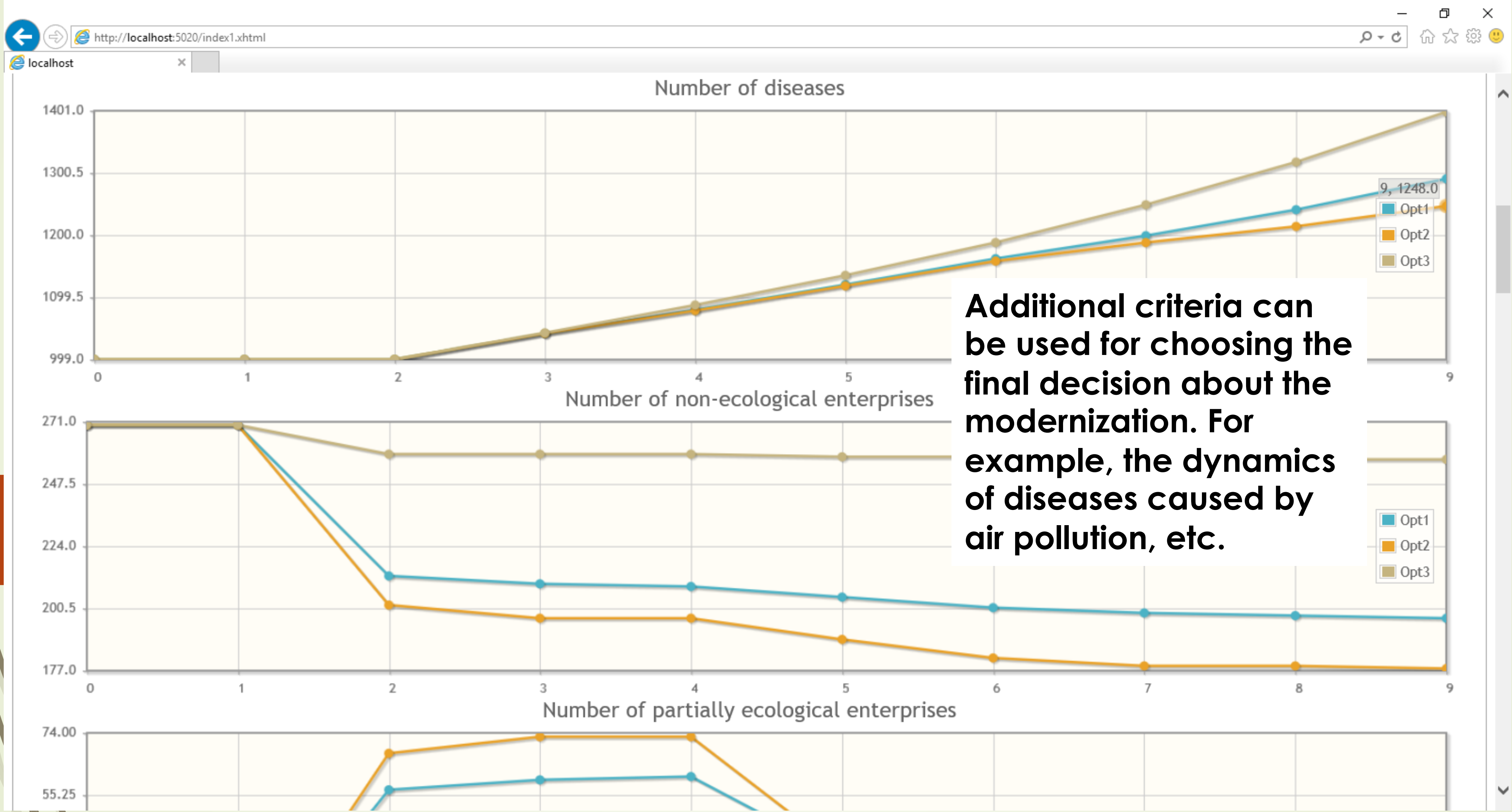
Optimization experiments



The dynamics of the required modernization is being displayed for each agent-enterprise

Review of the Developed Software

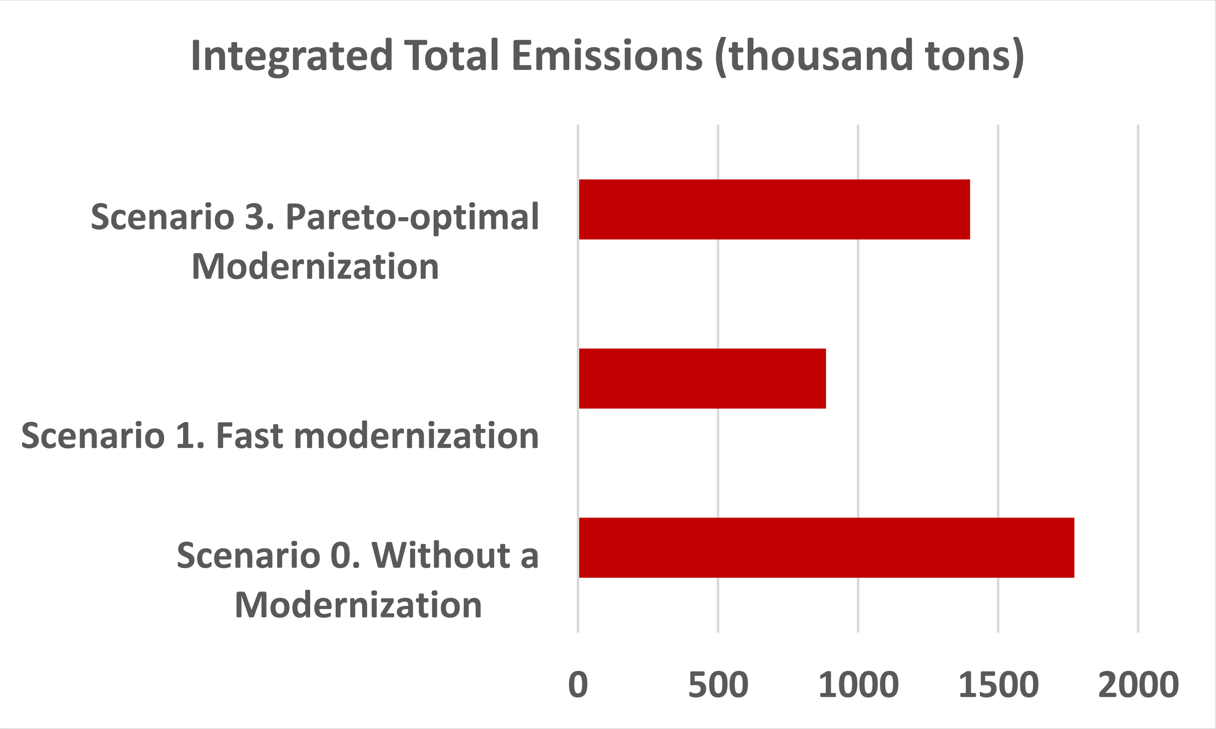
Optimization experiments

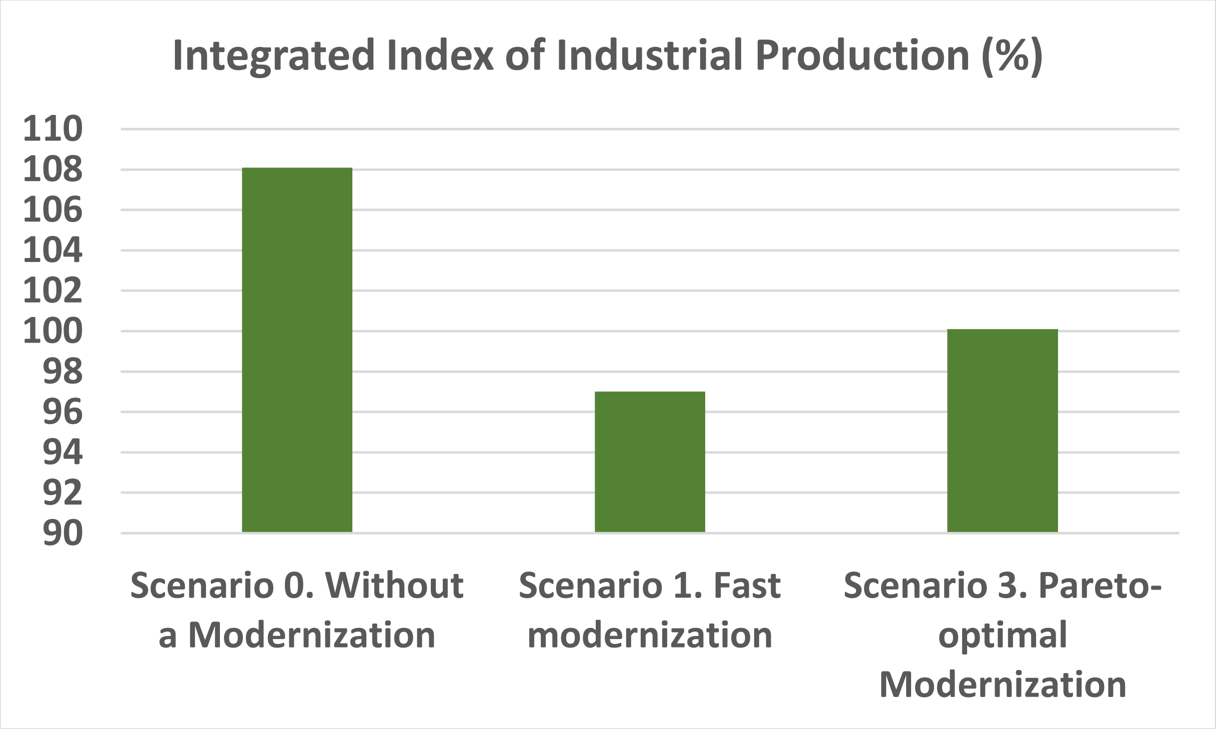


Additional criteria can be used for choosing the final decision about the modernization. For example, the dynamics of diseases caused by air pollution, etc.

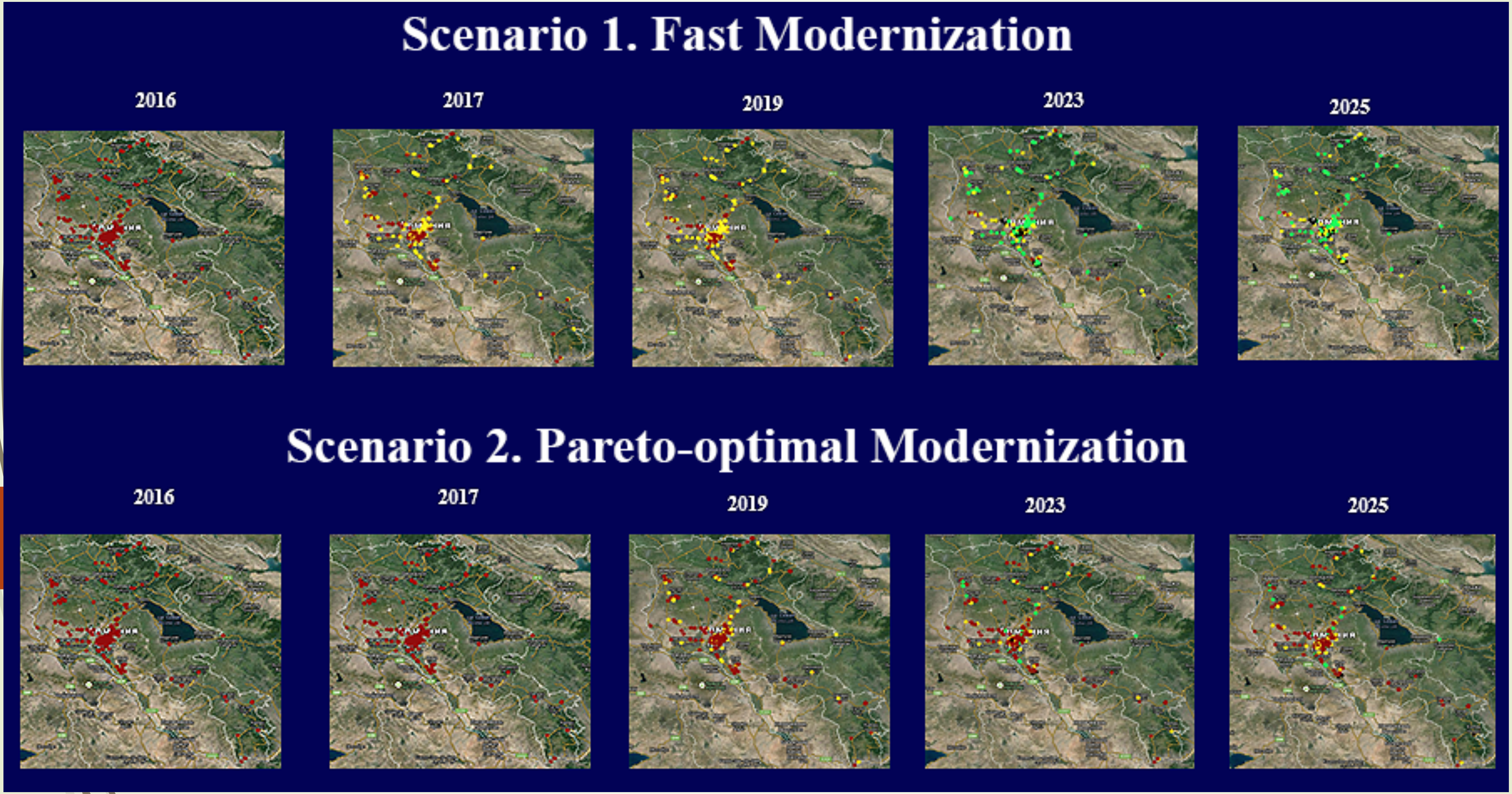
Some Results of the Simulation

- **The “optimal” plan of the modernization of Armenian enterprises is suggested. The plan allows to reduce the Total Emission more than 25 % for 10 years under saving a positive dynamics of the industrial production (IIP > 100%).**





Some Results of the Simulation



Some Results of the Simulation

Non-ecological enterprises by 2025 (186 from 270 agents)

Agent name (arm)	Agent name (en)	States
Ա ԵՎ Գ	A AND G	
Ա. ՕՀԱՆՋԱՆՅԱՆ	A. OHANJANIAN	
Ա.ՍՊԵՆԴԻԱՐՅԱՆԻ ԱՆՎ. ՕՊԵՐԱՅԻ ԵՎ ԲԱԼԵՏԻ ԹԱՏՐՈՆ	A. n. a. AL. SPENDIAROV OPERA AND BALLET THEATRE	
ԱԲՈՎՅԱՆԻ ՀԱՑԻ ԳՈՐԾԱՐԱՆ	ABOVYAN BAKERY	
ԱԳԱՐԱԿԻ Պ/Մ ԿՈՄԲԻՆԱՏ	AGARAK B/M PLANT	
ԱԼԵՔՍ-ԳՐԻԳ	ALEX-GRIG	
ԱԽՈՒՐՅԱՆԻ ՃՇՇ	ADIBEK	
ԱԽՈՒՐՅԱՆԻ ՇԻՆԱՆՅՈՒԹԵՐ	THE AKHURYAN BUILDING MATERIALS	
ԱՄԵԼԻԱ ՄԱՅՆԻՆԳ ՔԱՄՓՆԻ	Was UNIGLOBAL	
ԱՅՐՈՒՄԻ ԼԵՌՆԱԳՈՐԾ	SURPRISE LERNAGORTS	
ԱՆԳԵԼԻՆԱ ԴԱՅՄՈՆԴ	ANGELINA DIAMOND	
ԱՇՏԱՐԱԿ ԿԱԹ	ASHTARAK KAT	
ԱՇՏԱՐԱԿ ՁՈՒ	TOWER EGGS	
ԱՇՏԱՐԱԿՇԻՆ	ԱՇՏԱՐԱԿՇԻՆ	
ԱՌԱՔԵԼ-ՍԻՄՈՆ	ARAKEL-SIMON	
ԱՍԿԵ ԳՐՈՒՊ	USK GROUPS	
ԱՍ ՖԱԼՏԱԳՈՐԾ	ԱՍ ՖԱԼՏԱԳՈՐԾ	
ԱՎԱ-2000	ABA-2000	
ԱՎԱԳ ԵՎ ԱՇՈՏ	SENIOR AND ASHOT	
ԱՎԱՆԻ ԱՂԻ ԿՈՄԲԻՆԱՏ	AVAN SOMECOMMENT	
ԱՎՇԱՐԻ ԳԻՆՈՒ ԳՈՐԾԱՐԱՆ	AVSHAR WINE FACTORY	
ԱՐԱԲԿԻՐ ՔԻՄԻԱԿԱՆ ՄԱՔՐՈՒՄ	THE CENTRE DRY CLEANING	
ԱՐԱՐԱՏ ՃԱՆՇԻՆ	ARARAT DORSTROY	
ԱՐԱՐԱՏՇԻՆ	ANOR	
ԱՐԱՔՍ ԹՌՉՆԱՖԱԲՐԻԿԱ	THE POULTRY FARM "ARAZ"	
ԱՐԳԱՍ	ANDES	
ԱՐԳԻԿ	ԱՐԳԻԿ	
ԱՐԳԻՇՏԻ 1	ARGISHTI 1	
ԱՐԶՆԻ ՏՈՀՄԱՅԻՆ ԹՏԽ	ARZNI PEDIGREE POULTRY FARM	
ԱՐԹԻԿ ՏՈՒՖ	ARTIK TUFF	
ԱՐԿԱԴԻ-ՎԼԱԴԻՄԻՐ	ARKADY-VLADIMIR	
ԱՐՄ-ԳԼԱՍ	ARM-GLAS	
ԱՐՄԵՆԻԱՆ ՄՈԼԻԲԴԵՆ ՓՐՈԴԱՔՇՆ	THE ARMENIAN MOLYBDENUM PRODUCTION	
ԱՐՄԵՆԻԱՆ ՏԻՏԱՆԻՈՒՄ ՓՐՈԴԱՔՇՆ	ARMENIAN TITANIUM PRODUCTION	
ԱՐՏԱՇԱՏԻ ՊԱՀԱԾՈՆԵՐԻ ԳՈՐԾԱՐԱՆ	ARTASHAT CANNERY	
ԱՐՏԱՇԱՏ-ՎԻՆԿՈՆ	ARTASHAT-ՎԻՆԿՈՆ	
ԱՐՓԱԿ	ԱՐՓԱԿ	
ԱՐՓԱ-ՍԵՎԱՆ	ARPA-SEVAN	
ԱՐՓԻ	ARPI	
ԲԱԶԱԼՏ	BASALT	
ԲԱԶՄԱԲԵՐԴ	ԲԱԶՄԱԲԵՐԴ	
ԲՆԱՔԱՐ	ԲՆԱՔԱՐ	
ԲՈՐՈԴԻՆՈ	BORODINO	
ԲՋՆԻ ՀԱՆՔԱՅԻՆ ՋՐԵՐԻ ԳՈՐԾԱՐԱՆ	BJNI MINERAL WATER FACTORY	
ԲՖՑ	ԲՖՑ	
ԳԵՎՄԱՐ	ԳԵՎՄԱՐ	
ԳԵՏՆ ԳՐՈՒՊ ՄԵՐՋԱՎԱՆԻ ՀԱՆՔ	GETN GROUP MARMAROSHSKY PITCHING	
ԳԺՈՒԿ	Vaga Pharm	
ԳԻԿԱՐ	ԳԻԿԱՐ	
ԳԼԱՆԺ ԱԼԿՈ	MARAN	
ԳԼԱՍ ՈՒՈՐԼԴ ՔԱՄՓՆԻ	THE VOICE OF WORLD ADC	
ԳՐԻԳՈՐ	GRIGOR	
ԴԱԼՄԱ ԻՆՎԵՍՏ	DALMA INVEST	
ԴԱՆԴԻ ՓՐԻՇՍ ՄԵԹԱԼՍ ԿԱՊԱՆ	DUNDEE PRESS METALS KAPAN	
ԴԱՆԻԿՈ	PARLIAMENT	
ԴԱՆՍԱՌ	ԴԱՆՍԱՌ	
ԴԵԼՏԱ-ՖՐԱԳՄԵՆՏ	DELTA ՖՐԱԳՄԵՆՏ	
ԴԻԱՏՈՄԻՏ ԳԱ	DIATOMITE WILL COME	
ԴԻԼԻՋԱՆ ՀԱՆՔԱՅԻՆ ՋՐԵՐԻ ԳՈՐԾԱՐԱՆ	THE DILIJAN MINERAL WATER PLANT	
ԴՈՐՈԺՆԻԿ	ROAD worker	
ԵՂԵԳՆԱՁՈՐԻ ՃՇՇ	THE YEGHEGNADZOR DES	
ԵՎՐՈԹԵՐՄ	EUROTERM	
ԵՐԵՎԱՆԻ ԱՐԱՐԱՏ ԿՈՆՅԱԿԻ-ԳԻՆՈՒ-ՕՂՈՒ ԿՈՄԲԻՆԱՏ	YEREVAN ARARAT BRANDY-WINE-VODKA FACTORY	
ԵՐԵՎԱՆԻ ԳԱՐԵՋՈՒՐ	Map	
ԵՐԵՎԱՆԻ ԹՌՉՆԱԲՈՒԾԱԿԱՆ ՖԱԲՐԻԿԱ	YEREVAN POULTRY FARM	
ԵՐԵՎԱՆԻ ԿՈՆՅԱԿԻ ԳՈՐԾԱՐԱՆ ԱՐՄԱՎԻՐԻ ՄԱՍՆԱՃՅՈՒՂ	YEREVAN BRANDY FACTORY, ARMAVIR BRANCH	
ԵՐԵՎԱՆԻ ՊԵՏԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ	YEREVAN STATE UNIVERSITY	
ԵՐԵՎԱՆՅԱՆ ԲԱԶԱԼՏ	THE LIMITED LIABILITY COMPANY BASALT	
ԵՐՀԱԿ	ԵՐՀԱԿ	
ԶԱՎԱՐՏ	GETAP	
ԷԴԳԱՐ ԵՎ ԱՐՄԱՆ	EDGAR AND ARMAN	
ԷԴՄԵՍ	ԷԴՄԵՍ	
ԷԼՍԻ ՍԹԻԼ	ELSIE STEELE	
ԷԿՈԼՈԳԻԱ Վ.Կ.Հ	ECOLOGY V. To..	
ԷՅ ԹԻ ԷՄ ՍԻ	HEY T. MC	
ԷՐԵԲՈՒՆԻ ԳԻՆՈՒ-ԿՈՆՅԱԿԻ Գ-Ն	EREBUNI WINE-BRANDY G.	
ԹՈՒՐԻՆՋ	GRAPEFRUIT	
ԻՋԵՎԱՆԻ ՃՇՇ	IJEVAN DES	
ԼԵՎԱԴԱՆ	ԼԵՎԱԴԱՆ	
ԼԵՎՈՆ ԵՐԿՐՈՐԴ	LEVON SECOND	
ԼՈՒՍԱԿԵՐՏ ԲԻՈԳԱԶ ՓԼԱՆԹ	LUSAKERT ԲԻՈԳԱԶ ՓԼԱՆԹ	
ԼՈՒՍԱԿԵՐՏԻ ԹՏՖ	THE COMPANY ԹՏՖ	
ԼՈՒՍԱԿԵՐՏԻ ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆ ԹՏՖ	THE COMPANY HARUTYUN ԹՏՖ	
Խ ԱՋՀԱՐ	HACER	
Խ ՃԱՔԱՐ-ՄՈՒՍԱ	CRUSHED STONE-MUSA	
ԿԱՊԱՆԻ ՃՇՇ	PAT	
ԿԱՊՈՒՏԱՆՑԻ ԴԱՎԻԹ	ԿԱՊՈՒՏԱՆՑԻ DAVID	
ԿՈՆԿՈՒՐԵՆՏ	ԿՈՆԿՈՒՐԵՆՏ	
ԿՈՏԱՅՔԳԱՐԵՋՐԻ ԳՈՐԾԱՐԱՆ	BREWERY "KOTAYK"	
ԿՈՏԱՅՔԻ ՃՇՇ	KOTAYK DES	
ԿՈՐՍԱՆ-ԿՈՐՎԻԱՄ ԿՈՆՍՏՐՈՒԿՑԻՈՆ ՄԱՍԻՍ	ԿՈՐՍԱՆ-ԿՈՐՎԻԱՄ STRUCTURAL MASIS	
ԿՈՒԱՐԼԻՆ	ԿՈՒԱՐԼԻՆ	
ԿՎԱՐՑ	QUARTZ	
ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ՑԱՆՑԵՐ	"ELECTRIC NETWORKS OF ARMENIA"	
ՀԱՅԿԱԲԵԼ	ՀԱՅԿԱԲԵԼ	
ՀԱՅՌՈՒՍԳԱԶԱՐԴ ԱԲՈՎՅԱՆԻ ԳԳՄ	ARMROSGAZPROM ABOVYAN ԳԳՄ	
ՀԱՅՌՈՒՍԳԱԶԱՐԴ ԱՐԱԳԱԾՈՏՆԻ ԳԳՄ	ARMROSGAZPROM ARAGATSOTN ԳԳՄ	
ՀԱՅՌՈՒՍԳԱԶԱՐԴ ԱՐՄԱՎԻՐԻ ԳԳՄ	ARMROSGAZPROM ARMAVIR ԳԳՄ	
ՀԱՅՌՈՒՍԳԱԶԱՐԴ ԳՅՈՒՄՐԻ ԳԳՄ	ARMROSGAZPROM GYUMRI ԳԳՄ	
ՀԱՅՌՈՒՍԳԱԶԱՐԴ ԼՈՌՈՒ ԳԳՄ	ARMROSGAZPROM LAURIE ԳԳՄ	
ՀԱՅՌՈՒՍԳԱԶԱՐԴ ՄԱՐՏՈՒՆՈՒ ԳԳՄ	ARMROSGAZPROM MARTUNI ԳԳՄ	
ՀԱՅՌՈՒՍԳԱԶԱՐԴ ՍՅՈՒՆԻՔԻ ԳԳՄ	ARMROSGAZPROM SYUNIK ԳԳՄ	
ՀԱՅՌՈՒՍԳԱԶԱՐԴ ՎԱՅՈՑ ՁՈՐ ԳԳՄ	ARMROSGAZPROM VAYOTS DZOR ԳԳՄ	
ՀԱՅՌՈՒՍԳԱԶԱՐԴ ՏԱՎՈՒՇԻ ԳԳՄ	ARMROSGAZPROM TAVUSH ԳԳՄ	
ՀԱՅՌՈՒՍԿՈԳԵՆԵՐԱՑԻԱ	ՀԱՅՌՈՒՍԿՈԳԵՆԵՐԱՑԻԱ	
ՀԱՆՔԱՐԴ	ՀԱՆՔԱՐԴ	
ՀԱՌԻՃԱՁՈՐ	ՀԱՌԻՃԱՁՈՐ	
ՀԱՍԱԿ	GROWTH	
ՀՈՎ	It's COOL	
ՀՈՎՆԱՆՅԱՆ ԻՆՏԵՆԵՅՇՆԼ	MOSCOW ԻՆՏԵՆԵՅՇՆԼ	
ՀՊՃՀ	SEUA	
ՀՐԱԶԴԱՆ ՑԵՄԵՆՏ	HRAZDAN CEMENT	
ՀՐԱԶԴԱՆԻ ՃՇՇՋ	HRAZDAN CSS	
ՀՐԱԶՋԷԿ	RASTAS	
ՀՐԱՉ ԵՎ ՌՈՒԲԵՆ	ROOK AND RUBEN	
ՁՈՒԼԱԿԵՆՏՐՈՆ	CENTROLIT	
ՄԱՂԱՐԱ	ՄԱՂԱՐԱ	
ՄԱՆ ԳՐՈՒՊ	MAN GROUP	
ՄԱՆՈՒԵԼԱ	MANUELA	
ՄԱՍԻՍ ՏՈԲԱԿՈ	MASIS TOBACCO	
ՄԱՎԱ ԻՄՊՈՒԼՍ	REIMA-MOMENTUM	
ՄԳՄ ԱՆԴՐԳՐԱՈՒՆԴ	ՄԳՄ ԱՆԴՐԳՐԱՈՒՆԴ	
ՄԵԾՆ ԷՐԻԿ	THE GREAT ERIC	
ՄԵՂՐԱՁՈՐ ԳՈԼԴ	MEGHRADZOR GOLD	
ՄԵՂՐՈՒՀԱՑ	MEGHRI BREAD	
ՄԵՐՁՄՈՍԿՈՎՅԱՆ	IN THE SUBURBS	
ՄԻԿԱ ՔՈՐՓՈՐԵՅՇՆ	MIKA CORPORATION	
ՄԻՆԲԻԼԴ	ՄԻՆԲԻԼԴ	
ՄԼԼ ԻՆԴԱՍԹՐԻՋ	The ZODIAC	
ՄՈՆՈԼԻՏ-ՍՊԻՏԱԿ	STONE-WHITE	
ՄՈՍՏՈՎԻԿ	ՄՈՍՏՈՎԻԿ	
ՄՈՒԴԱՄ	ՄՈՒԴԱՄ	
ՄՈՒԼՏԻ ԳՐՈՒՊ - Ս ԹՈՈՒՆ	MULTI GROUP STONE	
ՄՈՒՇԵՂ	MUSHEGH	
ՅՈՒԿԱԳՈ	ՅՈՒԿԱԳՈ	
ՆԱԶԱՐԵԹՅԱՆ ԵՎ ԳՈՐԾԸՆԿԵՐՆԵՐ	NAZARETYAN AND PARTNERS	
ՆԱԻՐԻՏ ԳՈՐԾԱՐԱՆ	NAIRIT PLANT	
ՆԱՌՇԻՆ	ՆԱՌՇԻՆ	
ՇԱՄՊԱՅՆ ԳԻՆԻՆԵՐԻ ԳՈՐԾԱՐԱՆ	FACTORY OF SPARKLING WINES	
ՇԱՆԹ-ՍԵՅՐԱՆ	SHANT-SEYRAN	
ՇԱՐՈՒՐ	SHARUR	
ՇԵՆ ՀՈԼԴԻՆԳ	SHEN HOLDING	
ՇԵՆԻԿ	SHENIK	
ՇԻՆ-ՏԱՎՐ	TIRES-ՏԱՎՐ	
ՈՍՄԱՐ	SCS energy group	
ՁՈՐՍ ՎԱՍԱԼ	FOUR LIEGE	
ՊՌՈՇՅԱՆԻ ԿՈՆՅԱԿԻ ԳՈՐԾԱՐԱՆ	PROSHYAN BRANDY FACTORY	
ՋԵՐՄՈՒԿ ԳՐՈՒՊ	JERMUK GROUP	
ՋԵՐՄՈՒԿԻ ՆՈՐ ԿՅԱՆՔ	JERMUK NEW LIFE	
ՌԱԶԱՐ	ՌԱԶԱՐ	
ՌՈԲԷԼ	ՌՈԲԷԼ	
ՌՈՒՍԱԼ ԱՐՄԵՆԱԼ	RUSAL ARMENAL	
ՌՌՌ ՀԱՆՔԱՅԻՆ ՋՐԵՐԻ ԳՈՐԾԱՐԱՆ	MINERAL WATER PLANT PPP	
ՍԱՄՎԵԼ-ԱՐՏՅՈՄ	SAMVEL-ARTEM	
ՍԱՐԱՆԻՍՏ	SARANIST	
ՍԻՍԻԱՆԻ ՃԱՆՇԻՆ	SISIAN DORSTROY	
ՍԻՍ ՅԱՆԻ ԲՈԽԱՏ	ՍԻՍ ՅԱՆԻ GPAT	
ՍԼՈԲԵՐ	ՍԼՈԲԵՐ	
Ս ՅՈՒՆԷՆԵՐԳԱՇԻՆ	ELEKTROSERVIS	
ՍՈՖՏԵՔՍ	ՍՈՖՏԵՔՍ	
ՍՏԵՓԱՆԱՎԱՆԻ ՃՇՇ	STEPANAVAN DES	
ՍՏՈՆՄԱՆ	ՍՏՈՆՄԱՆ	
ՎԱՀԱԳՆ ԵՎ ՍԱՄՎԵԼ	VAHAGN AND SAMVEL	
ՎԱՅԲԼ	WAIBL	
ՎԱՅՔԻ ՃՇՇ	VAIKA DES	
ՎԱՅՔԻ ՇԻԿ	HALF ROUND	
ՎԱՆԱՁՈՐԻ ՔԻՄՊՐՈՄ	VANADZOR KHIMPROM	
ՎԱՐԱՏ	ՎԱՐԱՏ	
ՎԱՐԴԱՏՈՒՖ	ՎԱՐԴԱՏՈՒՖ	
ՎԱՐՏՈՒՖ	ՎԱՐՏՈՒՖ	
ՎԵԴԻ-ԱԼԿՈ	VEDI-ALCO	
ՎԵԿՍ	VEX	
ՎԹ ԹՐԵՅԴ	FIRM-AGATE	
ՏԱՎՈՒՇԻ ՃՇՇ	TAROS	
ՏԻՏԱՆՅԱՆ ԵՂԲԱՅՐՆԵՐ	ՏԻՏԱՆՅԱՆ BROTHERS	
ՏՐԱՆՍԳԱԶ ԳՈՐԻՍԻ ԳՇՄ	TRANSGAZ GORIS ԳՇՄ	
ՏՐԱՎԵՐՏԻՆ	TRAVERTINE	
ՓԱՄԲԱԿԻ ԳՐԱՆԻՏ	ON GRANITE	
ՓԵՏԱՐ	ՓԵՏԱՐ	
ՔԱՐ ԵՎ ԱՎԱԶ ՈՉ ՀԱՆՔԱՅԻՆ ՀԱՆԱԾՈՆԵՐ	STONE AND SAND, ORE MINERALS	
ՔԱՐԱԲԵՐԴ	CHIRAC	
ՔԱՐԱՐՏ	ՔԱՐԱՐՏ	
ՖԻԼԻՇԻՆ	Bari samaratsi	
ՖԻՐՄԱ-ԿՌՈՒՆԿ	FIRM-KRUNK	
ՖԼԵՇ	FLASH	
ՖՐԱԿՑԻԱ	EARLIER	

Some Results of the Simulation

Partially ecological enterprises by 2025 (41 from 270 agents)

Agent name (arm)	Agent name (en)	States
Ա.ՀԱԿՈԲՅԱՆ	A. HAKOBYAN	
ԱԳԱՐԱԿԻ ՀԷԿ	AGARAK HPP	
ԱԽՈՒՐՅԱՆԻ ԿՈՈՊՇԻՆ	ADIBEK	
ԱՌՈՂՋ ՍՈՒՆԿ	HEALTHY MUSHROOM	
ԱՎՏՈԳԱԶ	AUTOGAS	
ԱՐԱԳԱԾ ՊԵՌԼԻՏ	ARAGATS PERLITE	
ԱՐԱՐԱՏՑԵՄԵՆՏ	Ararat cement	
ԱՐՄԵՆԻԱ ՄԻՋԱԶԳԱՅԻՆ ՕԴԱՆԱՎԱԿԱՅԱՆՆԵՐ	INTERNATIONAL AIRPORTS-ARMENIA	
ԱՐՄԵՆԻԱ ՎԱՅՆ	ARMENIA WINE	
ԲԱԲԻԿ-90	ԲԱԲԻԿ-90	
ԲԱԼԱՀՈՎԻՏ-1	BALAHOVIT-1	
ԲԵՏՈՆԱԳՈՐԾ	BATANAGAR	
ԲԵՐՄԱ	The BERM	
ԲԵՐՑՈՋԿԱ	ԲԵՐՑՈՋԿԱ	
ԳԵՏԱՄԵՋԻ ԹՏՖ	GETAMECH ԹՏՖ	
ԴՈՍՏ ԻՆԹԵՐՆԵՑՇԸՆԸԼ	DOST TV LIVE ԻՆԹԵՐՆԵՑՇԸՆԸԼ	
ԴՈՒՍՏՐ ՄԱՐԻԱՆՆԱ	DAUGHTER MARIANNE	
ԵՐԵՎԱՆԻ ԿՈՆՅԱԿԻ ԳՈՐԾԱՐԱՆ	YEREVAN BRANDY FACTORY	
ՋԵՓՅՈՒՌ - ԵՐԵՔ	SEPUR - THREE	
ԷԿՈՊՐՈՏԵԿՏ	ԷԿՈՊՐՈՏԵԿՏ	
ԷՄ ԹԻ ՍԵՐՎԻՍ	MIKSHIN	

ԷՐԵԲՈՒՆԻ ԲԺՇԿԱԿԱՆ ԿԵՆՏՐՈՆ	EREBUNI MEDICAL CENTER	
ԻՋԵՎԱՆԻ ԲԵՆՏՈՆԻՏ ԿՈՄԲԻՆԱՏ	IJEVAN BENTONITE FACTORY	
Խ ԱՌՆԱՐԱՆ	The CRATER	
Կ.ԳՈՐՈՅԱՆ ԵՎ ԳՈՐԾԸՆԿԵՐՆԵՐ	K. GOROYAN AND PARTNERS	
ԿԱՐՏՈՆ-ՏԱՐԱ	CARTON PACKAGING	
ԿՈԿԱ-ԿՈԼԱ ՀԲՔ ԱՐՄԵՆԻԱ	COCA-COLA ՀԲՔ ARMENIA	
ԿՈՄՊՈԶԻՏ ՄԵՏԱԼ	COMPOSITE METAL	
ՀԱՅՌՈՒՍԳԱԶԱՐԴ	ARMROSGAZPROM	
ՀԱՅՌՈՒՍԳԱԶԱՐԴ ԵՐԵՎԱՆԻ ԳԳՄ	ARMROSGAZPROM YEREVAN ԳԳՄ	
ՀԱՏՈՒԿ ՑԵՄԵՆՏ	SPECIAL CEMENT	
ՃԱՆԱՊԱՐՀ	ROAD	
ՄԵՂՐՈՒ ՃՇՇ	MEGHRI DES	
ՄԻՐՈՅԱՆ ՏՈՒՖ	MIROYAN TUFF	
ՆՅՈԼԻԹԱ	CONNECTOR	
ՍԻՍԻԱՆ-ՇԻԿ	SISIAN-CHIC	
ՎԱՌՄԱՇ	ՎԱՌՄԱՇ	
ՎԱՐԴԱՇԵՆԻ ՀԱՆՔ	IN THE BUILDING PITCHING	
Վ-Ս ԱՆԿ	V.-violently CAST	
ՏՈՒՖ-ՔԱՌՅԱԿ	THE TUFF QUARTET	
ՏՐԱՆՍԳԱԶ ՄԱՐՏՈՒՆՈՒ ԳՇՄ	TRANSGAZ MARTUNI ԳՇՄ	

Some Results of the Simulation

Pure ecologically enterprises by 2025 (31 from 270 agents)

Agent name (arm)	Agent name (en)	States
ԱԽ ԹԱԼԱՅԻ ԼՀԿ	AKHTALA MINING	
ԱՆԱՃԻՆ	ANAKIN	
ԱՐԱԳՈՆԻՏ	ARAGONIT	
ԱՐՄԵՆԻԱՆ ՔԱՓԸՐ ՓՐՈԳՐԱՄ	THE ARMENIAN COPPER PROGRAM	
ԱՐՏԱԿ-ՏՈՒՖ	ARTAK-TUFF	
ԱՐՏԻԿ	ARTIK	
ԲԱԶԱԼՏ-Գ.Ա.Ռ.	BASALT-G. A. R.	
ԲԵՏՈՆ	CONCRETE	
ԳԱԼԻՔ	HAPPY	
ԳԱՋԵԳՈՐԾ	MMM	
ԳԵՈ ՊՐՈ ՄԱՅՆԻՆԳ ԳՈԼԴ ՍՈԹՔԻ ՀԱՆՔ	GEO PRO MINING GOLD WEAVING PITCHING	
ԳՅՈՒՄՐԻ-ԳԱՐԵՋՈՒՐ	GYUMRI-BEER	
ԳՐԻԳ ԷԼ ՄԵՏ	GRIG EL MET	
ԵՐԵՎԱՆԻ ԿՈՆՅԱԿԻ ԳՈՐԾԱՐԱՆ ԱՅԳԱՎԱՆԻ ՄԱՍՆԱՃՅՈՒՂ	YEREVAN BRANDY FACTORY ARARAT BRANCH	
ԵՐԵՎԱՆԻ Մ. ՀԵՐԱՑՈՒ ԱՆՎ. ԺԵՏ. ԲԺՇԿ. ՀԱՄԱԼՍ.	YEREVAN M. HERATSI. ԺԵՏ. MEDICAL-grade PVC. UNIV.	
ԵՐԵՎԱՆԻ ՋԵՐՄԱԷԼԵԿՏՐԱԿԵՆՏՐՈՆ	YEREVAN ՋԵՐՄԱԷԼԵԿՏՐԱԿԵՆՏՐՈՆ	

ԹԱԼԻՆԻ ԱՏՃ	TALINA ԱՏՃ	
ԼԻԼԻԹ-87	LILITH-87	
ԿԱՄՈՒՐՋՇԻՆ	ROAD worker	
ԿԱՌՈՒՑՈՂ	BORN	
ՀԱՅԿԱԿԱՆ ԱՏՈՄԱԿԱՅԱՆ ՀԱԷԿ	ARMENIAN NPP ARMENIAN NPP	
ՀԱՅՌՈՒՍԳԱԶԱՐԴ ԱՐԱՐԱՏԻ ԳԳՄ	"ARMROSGAZPROM" ARARAT ԳԳՄ	
ՄԱՏԻՆՅԱՆԻ ՆՇԽ ԱՐ	LORI TV	
ՍԱԳԱՄԱՐ	SAGAMAR	
ՎԱՍԻԼ	VASIL	
ՏԻԳԱՐԲՈ	TIGARBO	
ՏՐԱՆՍԳԱԶ ԱԲՈՎՅԱՆԻ ԳՇՄ	TRANSGAZ ABOVYAN ԳՇՄ	
ՏՐԱՆՍԳԱԶ ԱԲՈՎՅԱՆԻ ԳՍ ՊԳ	TRANSGAZ ABOVYAN ԳՍ ՊԳ	
ՏՐԱՆՍԳԱԶ ԴԻԼԻՋԱՆԻ ԳՇՄ	TRANSGAZ DILIJAN ԳՇՄ	
ՏՐԱՆՍԳԱԶ ՎԱՆԱՁՈՐԻ ԳՇՄ	TRANSGAZ VANADZOR ԳՇՄ	
ՕՁՖ ՊՐՈԴԱՔՇՆ	ՕՁՖ PRODUCTION	

Some Results of the Simulation

Closed* enterprises by 2025 (12 from 270 agents)

Agent name (arm)	Agent name (en)	States
ԱՇՏԱՐԱԿԻ ԽՈԶԱԲՈՒԾԱԿԱՆ ՖԵՐՄԱ	TOWER FARM PIG	[redacted]
ԳԱՋ	ALABASTER	[redacted]
ԳԵՈ ՊՐՈ ՄԱՅՆԻՆԳ ԳՈԼԴ	GEO PRO MINING GOLD	[redacted]
ԱՐԱՐԱՏԻ ԳՈՐԾԱՐԱՆ	ARARAT PLANT	[redacted]
ԳՐԱՆԴ ՏՈԲԱԿՈ	GRAND TOBACCO	[redacted]
ԳՐԱՆԴ ՔԵՆԴԻ	GRAND CANDY	[redacted]
ԳՐԻԱՐ	GREER	[redacted]
ԵՎՐՈՊԱ	EUROPE	[redacted]
ԵՐԵՎԱՆ ՋՈՒՐ	AS WATER	[redacted]
ԶՊՄԿ	ZCMC	[redacted]
ԿՈՐՍԱՆ ԿՈՐՎԻԱՄ	Corsan Corviam	[redacted]
ԿՈՆՍՏՐՈՒԿՑԻՈՆ ԱՐԱԳԱԾՈՏՆ	STRUCTURAL ARAGATSOTN	[redacted]
ՄԱՔՈՒՐ ԵՐԿԱԹ ԳՈՐԾԱՐԱՆ	PURE IRON PLANT	[redacted]
ՇԻՆՖՈՐՈՒՄ	Parex-gas	[redacted]

** Recommendation only*

The Model Validation

1. The developed simulation was validated with the help of historical data. The forecast error is based on the following estimation (by Ordinary Least Squares):

$$\frac{\sum_{j=1}^{J(t)} \sqrt{\sum_{t=t_0-\tau}^{t_0} \left(\frac{E_j(t) - E'_j(t)}{E'_j(t)} \right)^2 + \left(\frac{IIP_j(t) - IIP'_j(t)}{IIP'_j(t)} \right)^2}}{J(t)} \le \bar{\chi},$$

$j \in \{1, 2, \dots, J(t)\}$ - index of agent-enterprises

$E_j(t) = \sum_{j=1}^{J(t)} \left(\sum_{s_j=1}^{S_j(t)} \mu_{j,s_j}(t) K_{j,s_j}(t) \right)^{\gamma_j(t)}$ - Total Emissions, $IIP_j(t) = \frac{V_j(t)}{V_j(t-1)}$ - Index of Industrial production

$\left(E_j(t),\ E'_j(t)\right),\ \left(IIP_j(t),\ IIP'_j(t)\right),$ - Simulated and actual values of the TE and the IIP appropriately.

$\bar{\chi} \approx 12\%$ for $\tau = 10$ (from 2005 to 2015)

2. More than 100 experiments were completed for forming the Pareto front. All fronts are sustainable. The dispersion not more than 5 %.

Acknowledgements

This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (grant № 15-51-05011). We are very grateful to the Center for Ecological-Noosphere Studies of the National Academy of Sciences of the Republic of Armenia for data providing, collaboration and final recommendations.

Conclusions

1. For the first, a novel agent-based simulation for Ecological Economics for the Republic of Armenia is developed. The features of the model are taking into account the government regulation systems through the emissions fee rates, subsidies, and penalties as well as the individual evolutions of agents-enterprises towards the ecological manufacturing.

2. The modified genetic algorithm GA was suggested for searching the Pareto optimal decisions in the formulated bi-objective optimization problem The GA is based on the well-known SPEA2 with using a binary transition matrix of agents as the set of decision variables.

3. The original software was developed for the effective decision-making about the modernization Armenian enterprises. The system is based on different technologies such as *AnyLogic, Java, Google Maps, Databases*, etc.

4. The Pareto optimal decisions about the modernization of Arminian enterprises were obtained with the help of developed system. The modernization plan allows to reduce the Total Emission more than 25% for 10 years under saving a positive dynamics of the industrial production (IIP > 100%).

Appendix

The example of initial datasets for an agent-enterprise

Year	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Region(activity address)	ՍՅՈՒՆԻՔ	ՍՅՈՒՆԻՔ	ՍՅՈՒՆԻՔ	ՍՅՈՒՆԻՔ	ՍՅՈՒՆԻՔ	ՍՅՈՒՆԻՔ	ՍՅՈՒՆԻՔ	ՍՅՈՒՆԻՔ
Area(activity address)	ՄԵՂՐԻ	ՄԵՂՐԻ	ՄԵՂՐԻ	ՄԵՂՐԻ	ՄԵՂՐԻ	ՄԵՂՐԻ	ՄԵՂՐԻ	ՄԵՂՐԻ
Community(activity address)	ԱԳԱՐԱԿ/ՄԵՂՐԻ	ԱԳԱՐԱԿ/ՄԵՂՐԻ	ԱԳԱՐԱԿ/ՄԵՂՐԻ	ԱԳԱՐԱԿ/ՄԵՂՐԻ	ԱԳԱՐԱԿ/ՄԵՂՐԻ	ԱԳԱՐԱԿ/ՄԵՂՐԻ	ԱԳԱՐԱԿ/ՄԵՂՐԻ	ԱԳԱՐԱԿ/ՄԵՂՐԻ
Address(activity address)	Ս. Խաչատրյան 7	Ս. Խաչատրյան 7	Ս. Խաչատրյան 7	Ս. Խաչատրյան 7	Ս. Խաչատրյան 7	Ս. Խաչատրյան 7	Ս. Խաչատրյան 7	Ս. Խաչատրյան 7
Organization	ԱԳԱՐԱԿԻ Պ/Մ ԿՈՄԲԻՆԱՏ	ԱԳԱՐԱԿԻ Պ/Մ ԿՈՄԲԻՆԱՏ	ԱԳԱՐԱԿԻ Պ/Մ ԿՈՄԲԻՆԱՏ	ԱԳԱՐԱԿԻ Պ/Մ ԿՈՄԲԻՆԱՏ	ԱԳԱՐԱԿԻ Պ/Մ ԿՈՄԲԻՆԱՏ	ԱԳԱՐԱԿԻ Պ/Մ ԿՈՄԲԻՆԱՏ	ԱԳԱՐԱԿԻ Պ/Մ ԿՈՄԲԻՆԱՏ	ԱԳԱՐԱԿԻ Պ/Մ ԿՈՄԲԻՆԱՏ
Type	ՓԲԸ	ՓԲԸ	ՓԲԸ	ՓԲԸ	ՓԲԸ	ՓԲԸ	ՓԲԸ	ՓԲԸ
X (coord.)	604053.07090700000	604053.07090700000	604053.07090700000	604053.07090700000	604053.07090700000	604053.07090700000	604053.07090700000	604053.07090700000
Y (coord.)	4302721.22142000000	4302721.22142000000	4302721.22142000000	4302721.22142000000	4302721.22142000000	4302721.22142000000	4302721.22142000000	4302721.22142000000
Total (K+N+O+P+Q+R+S+T) ton	19.715	18.486	54.9086	110.91612	117.07186	152.33833	165.973998	176.004005
total dust (L+M) ton	19.261	18.486	54.87	110.902	117.057	152.319	165.953	175.983
organic dust, ton	0	0	0	0	0	0	0	0
inorganic dust, ton	19.261	18.486	54.87	110.902	117.057	152.319	165.953	175.983
toal heavy metals. Ton	0	0	0	0	0	0	0	0
sulfur dioxide (SO_2), ton	0.262	0	0.0183	0.00056	0.00059	0.00074	0.000838	0.000815
carbon momoxide, ton	0.098	0	0	0	0	0	0	0
nitrogen oxides (NO_x) ton	0	0	0.012	0.01065	0.0112	0.0146	0.0159	0.0159
carbonates (without volatile organic compounds), ton	0	0	0	0	0	0	0	0
volatile organic compounds (VOC), ton	0	0	0	0	0	0	0	0
other, ton	0.094	0	0.0083	0.00291	0.00307	0.00399	0.00426	0.00429
N_authorization		03-1362	03-1362	03-1362	102	102	102	000117
activity code	07.29.1	07.29.1	07.29.1	07.29.1	07.29.1	07.29.1	07.29.1	07.29.1
Activity	Metal ore mining	Metal ore mining	Metal ore mining	Metal ore mining	Metal ore mining	Metal ore mining	Metal ore mining	Metal ore mining
Region(legal address)	ՍՅՈՒՆԻՔ	ՍՅՈՒՆԻՔ	ՍՅՈՒՆԻՔ	ՍՅՈՒՆԻՔ	ՍՅՈՒՆԻՔ	ՍՅՈՒՆԻՔ	ՍՅՈՒՆԻՔ	ՍՅՈՒՆԻՔ
Area(legal address)	ՄԵՂՐԻ	ՄԵՂՐԻ	ՄԵՂՐԻ	ՄԵՂՐԻ	ՄԵՂՐԻ	ՄԵՂՐԻ	ՄԵՂՐԻ	ՄԵՂՐԻ
Community(legal address)	ԱԳԱՐԱԿ/ՄԵՂՐԻ	ԱԳԱՐԱԿ/ՄԵՂՐԻ	ԱԳԱՐԱԿ/ՄԵՂՐԻ	ԱԳԱՐԱԿ/ՄԵՂՐԻ	ԱԳԱՐԱԿ/ՄԵՂՐԻ	ԱԳԱՐԱԿ/ՄԵՂՐԻ	ԱԳԱՐԱԿ/ՄԵՂՐԻ	ԱԳԱՐԱԿ/ՄԵՂՐԻ
Address(legal address)	Ս. Խաչատրյան 7	Ս. Խաչատրյան 7	Ս. Խաչատրյան 7	Ս. Խաչատրյան 7	Ս. Խաչատրյան 7	Ս. Խաչատրյան 7	Ս. Խաչատրյան 7	Ս. Խաչատրյան 7

Thank you very much!

Any Questions?