

# Kompetencje AI jako rdzeń „organicznej” wioski kosmicznej: model mrowiska, intuicja na metapoziomie i naukowa mechanika rozwoju gałęzi badań

## Cel badania i definicja „kompetencji AI” w kontekście wioski kosmicznej

Celem niniejszego opracowania jest zbudowanie **idealnego (docelowego) modelu wioski kosmicznej**, w której kluczowym „produktem cywilizacyjnym” staje się nie tylko zestaw danych dla AI, ale przede wszystkim **systematyczne wytwarzanie kompetencji AI** (u ludzi i w infrastrukturze) jako zdolności do: (a) projektowania eksperymentów, (b) wytwarzania audytowalnych produktów danych, (c) bezpiecznej integracji AI w życiu wspólnoty, oraz (d) ciągłego ulepszania modeli w sprzężeniu zwrotnym z rozwojem wioski.

W ujęciu naukowym „kompetencje AI” traktujemy jako **kapitał niematerialny** (intangible capital) o mierzalnych wskaźnikach: szybkość iteracji badawczej, jakość produktów danych (metadane, powtarzalność), redukcja ryzyka operacyjnego, trafność decyzji w warunkach niepewności, zdolność do utrzymania jakości i bezpieczeństwa w długim horyzoncie. To podejście jest spójne z polską polityką publiczną, która explicite wskazuje potrzebę podnoszenia kompetencji (w tym cyfrowych), budowy kadru naukowych i wsparcia badań AI w horyzontach do 2027+ jako warunku rozwoju państwa, gospodarki i nauki. <sup>1</sup>

Warunki brzegowe środowiska kosmicznego są nieprzypadkowe: ekstremalna izolacja, wysokie konsekwencje błędów oraz ograniczenia zasobów powodują, że **intuicja i instynkt (w sensie eksperckiego rozpoznawania wzorców)** stają się krytyczne. W literaturze o naturalistycznym podejmowaniu decyzji (NDM) takie środowiska są klasycznym polem badań, bo łączą niepewność, presję czasu, wysokie stawki i niekompletność informacji. <sup>2</sup>

W warstwie źródeł „konektorowych” model oparto na trzech repozytoriach: **DonkeyJJLove/glitchlab**, **DonkeyJJLove/sbom**, **DonkeyJJLove/swarm**. Ich wspólny wkład polega na zaprojektowaniu pracy z systemami złożonymi jako produkcji **artefaktów iteracyjnych** (delta-first), **reżimów jakości i bezpieczeństwa** (gating, audytowalność, „fail-closed”) oraz **observability-by-design** (telemetria i kontrola cyklu).

## Organiczny model „mrowiska” jako teoria organizacji kompetencji i danych

### Stigmergia jako mechanizm koordynacji bez centralnego sterowania

„Człowiek obserwuje mrowisko” jest w tej pracy nie metaforą literacką, lecz **modelem formalnym**: stigmergia opisuje koordynację poprzez ślady w środowisku (traces), które kierują działaniami kolejnych

agentów bez potrzeby bezpośredniej komunikacji i bez centralnego planisty. W przeglądzie naukowym wskazuje się, że w takim mechanizmie samoorganizacja jest napędzana sprzężeniami dodatnimi i ujemnymi, które wzmacniają skuteczne trajektorie, a tłumią błędy. <sup>3</sup>

To jest klucz do „intuicji na metapoziomie”: zamiast projektować organizację jako hierarchię, projektujemy **medium stigmergiczne** (cyfrowe feromony), które: - rejestruje minimalne obserwacje (sygnały) i ich konsekwencje, - udostępnia je w postaci „śladów” widocznych dla ludzi i AI, - pozwala, by decyzje „układały się” w stabilne wzorce bez mikrozarządzania.

Koncepcje inteligencji rojowej (swarm intelligence) wskazują, że takie reguły mogą prowadzić do wydajnych zachowań zbiorowych przy prostych lokalnych heurystykach, pod warunkiem dobrze zaprojektowanego środowiska i procesów sprzężeń zwrotnych. <sup>4</sup>

### **Intuicja jako „skompresowana wiedza” i reżim NDM w środowisku wysokich stawek**

W ekonomii, którą sugerujesz („skupienie się na metodach intuicyjnych i instynktie, na metapoziomie”), intuicja jest rozumiana naukowo jako **rozpoznawanie wzorców oparte na doświadczeniu**, a nie jako zgadywanie. Model Recognition-Primed Decision (RPD) opisuje, że eksperci często generują pierwszą plausybilną opcję i testują ją mentalnie zamiast porównywać wiele wariantów w tabeli opcji. <sup>5</sup>

W wiosce kosmicznej dochodzi do tego komponent „wysokiej niezawodności”: prace z obszaru high reliability organizings podkreślają m.in. wrażliwość na operacje, niechęć do nadmiernego upraszczania i koncentrację na wczesnych symptomach porażki (preoccupation with failure) jako fundament trwałej odporności organizacyjnej. <sup>6</sup>

### **Struktura społeczna i role: jak „kompetencje AI” stają się kulturą pracy**

#### **Organizacja jako układ policentryczny z „cyfrowymi feromonami”**

Idealny model wioski kosmicznej wymaga policentryczności: część decyzji musi być zdecentralizowana (lokalna autonomia), ale musi istnieć wspólna infrastruktura śladów i reguł. W praktyce oznacza to: - **gildie kompetencyjne** (role badawcze i operacyjne), - **progi decyzyjne** (kiedy wystarczy heurystyka, kiedy wymagany jest reżim audytu), - **hierarchię konsekwencji** (co jest odwracalne, a co safety-critical).

To można bezpośrednio mapować do praktyk „gatingu” i „fail-closed” znanych z inżynierii oprogramowania, które repozytoria traktują jako podstawową zasadę produkcji artefaktów.

**Tabela ról i kompetencji wioski jako „fabryki kompetencji AI”**

Rola (gildia)	Rdzeń kompetencji AI	Typowe decyzje wysokiego ryzyka	Artefakty, które produkuje	Jak mierzyć kompetencję (metryki)
Steward danych / kurator produktów danych	dokumentacja zbiorów, walidacja, metadane, kontrola wersji	czy produkt danych jest „sprzedawalny” i bezpieczny do udostępnienia	datasheet zbioru, schemat zdarzeń, lineage	odsetek replikowalnych eksperymentów; błąd etykietowania; kompletność metadanych <span style="color: #ccc;">7</span>
Inżynier obserwowałości (observability)	projekt telemetrii, wykrywanie anomalii, „ślad operacyjny”	detekcja degradacji systemów i błędów procesu	strumienie zdarzeń, dashboardy, alerty	MTTD/MTTR, fałszywe alarmy, pokrycie telemetryczne
Trener/architekt współpracy człowiek-AI	kalibracja zaufania, interfejsy decyzyjne, procedury przejęcia sterowania	decyzje w presji czasu i niepewności	protokoły RPD, logi interwencji, scenariusze symulacyjne	błędy overtrust/ undertrust (operacyjne); poprawa jakości decyzji w scenariuszach <span style="color: #ccc;">5</span>
Inżynier jakości i bezpieczeństwa (AI safety & assurance)	kontrola zgodności, audyt modeli, kryteria wdrożeń	dopuszczenie modelu do zadań safety-critical	model card, kryteria dopuszczenia, raporty testów	stabilność modelu w drift; zgodność z ograniczeniami użycia <span style="color: #ccc;">8</span>
Lider badań / projektant eksperymentów	projekt hipotez, metodyka, statystyka i reżim dowodowy	allokacja czasu załogi i zasobów na eksperymenty	protokoły eksperymentalne, prerejestracja, repozytoria danych	tempo iteracji hipotez; „learning per unit cost”; skuteczność transferu wiedzy

Ważny element „organiczności” polega na tym, że role te nie są sztywne: system ma wspierać  **płynne przechodzenie osób** między rolami poprzez ścieżki uczenia i „apprenticeship”, bo w małej społeczności kosmicznej redundancja kompetencji jest warunkiem odporności.

# Architektura technologiczna: produkcja kompetencji przez produkcję artefaktów

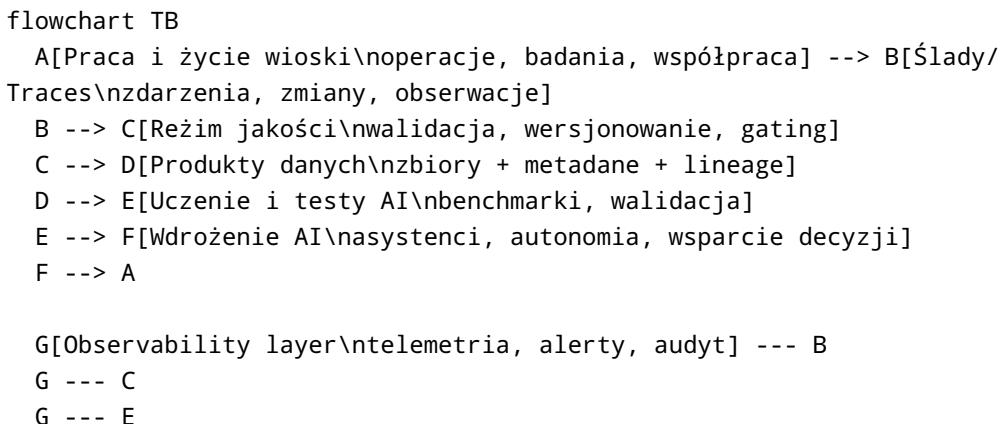
## Zasada nadzędna: „kompetencja = zdolność do wytwarzania dowodów”

W idealnym modelu wioski kosmicznej kompetencja nie jest deklaracją („umiem AI”), lecz zdolnością do tworzenia **dowodów**: artefaktów, które są jednoznaczne, wersjonowalne i audytowalne. Tę ideę wspierają dwa filary:

- **Dokumentowanie i standaryzacja:** w ML proponuje się datasheets dla zbiorów oraz model cards dla modeli, aby umożliwić odpowiedzialne użycie i ocenę ograniczeń. <sup>9</sup>
- **Reżim danych FAIR:** formalizacja zarządzania danymi jako Findable/Accessible/Interoperable/Reusable jest spójna z ideą „produktów danych” zamiast surowych logów. <sup>10</sup>

## Pipeline artefaktów (od „feromonu” do produktu danych) inspirowany glitchlab/ sbom/swarm

Poniższy schemat jest „kręgosłupem” technologii wioski: łączy stigmergię (ślady), gating i obserwowałość.



Trzy repozytoria dostarczają praktycznych wzorców implementacyjnych: - **glitchlab** promuje „delta-first” i produkcję artefaktów iteracyjnych jako podstawę rozwoju systemu (logika transferowa na procesy badawcze i społeczne).

- **sbom** operacyjalizuje łańcuch „pomiar → analiza → próg → decyzja” oraz traktuje zdarzenia i skany jako elementy sterowania, nie archiwum.

- **swarm** wnosi architekturę obserwowałości i zbierania telemetrii wielu agentów (robotów/sensorów) oraz integrację serwisu AI z infrastrukturą.

## „Cyfrowe feromony” jako kontrakt integracyjny (ludzie ↔ AI)

W organicznym modelu „feromon” to minimalny rekord zdarzenia, z którego wynikają działania innych agentów. W wersji technologicznej feromon musi mieć: - semantykę (co zaszło), - kontekst (warunki), - konsekwencję (co się zmieniło), - oraz status jakości (czy może sterować działaniem innych).

To dokładnie łączy się z koncepcją stigmergii jako koordynacji poprzez medium oraz z reżimem audytu danych (datasheets/model cards), dzięki któremu „ślady” nie degenerują do szumu informacyjnego. <sup>11</sup>

# Protokół badawczy: jak stale doskonalić wioskę i modele AI poprzez sprzężenia zwrotne

## Rdzeń protokołu: eksperyment jako jednostka rozwoju kompetencji

Wioska kosmiczna w tej pracy jest laboratorium „naukowej organizacji” (scientific organization). Protokół zakłada:

- 1) Preregistrację hipotez i scenariuszy (co testujemy i dlaczego).
- 2) Minimalną jednostkę dowodu: artefakt + metryka + kontekst + decyzja.
- 3) Dwustopniową ewaluację: (a) lokalną (on-site, edge), (b) zewnętrzną (ground / niezależny audyt).
- 4) Wymuszoną obserwonalność: bez telemetrycznego śladu nie ma „wiedzy”, jest tylko anegdota.

Takie podejście bezpośrednio odpowiada warunkom NDM: w środowiskach wysokich stawek trzeba uczyć się poprzez cykle doświadczenia i szybkiego rozpoznawania wzorców, ale z zachowaniem rygoru dowodowego, aby „intuicja” nie przeszła w iluzję kompetencji. <sup>2</sup>

## Sprzężenie zwrotne „kompetencje ↔ dane ↔ autonomia”: diagram pętli rozwojowej

```
graph TD; A[Kompetencje ludzi<br/>nNDM, walidacja, etyka] --> B[Jakość produktów danych<br/>nFAIR, datasheets, lineage]; B --> C[Jakość modeli AI<br/>nsprawność, stabilność, bezpieczeństwo]; C --> D[Lepsze operacje wioski<br/>nmniej błędów, niższe ryzyko]; D --> E[Więcej czasu i zasobów<br/>nna badania i iteracje]; E --> A; F[Stigmergia<br/>nocyfrowe feromony] --- A; F --- B; F --- D;
```

W praktyce kosmicznej kluczowe są też ryzyka behawioralne i zespołowe: agencje badawcze opisują, że izolacja i stresory lotu kosmicznego mogą prowadzić do spadku funkcjonowania poznawczego i behawioralnego, a zatem protokół musi zawierać moduły „anty-dryfowe” (monitoring, debriefingi, kontrakty współpracy i progi interwencji). <sup>12</sup>

## Ekonomia kompetencji AI: jak intuicja na metapoziomie staje się rentownością

### Teza ekonomiczna: w kosmosie „kompetencja” jest główną dźwignią produktywności

W realiach destynacji LEO kluczowe zasoby mają ujawnione ceny cienia: prace o ekonomii stacji komercyjnych przytaczają politykę cenową, w której **czas załogi wyceniany jest na ok. 130 tys. USD za godzinę**, a upmass pasywnego cargo na **20 tys. USD/kg** (oraz downmass 40 tys. USD/kg). <sup>13</sup>

W tym reżimie kompetencja jest bezpośrednio konwertowalna na pieniądz, bo: - kompetencja skraca czas decyzji i zmniejsza liczbę iteracji „na ślepo” (oszczędność czasu załogi), - kompetencja zwiększa

odsetek eksperymentów, które kończą się produktem danych o jakości rynkowej, - kompetencja zmniejsza ryzyko błędów operacyjnych (koszt awarii w kosmosie jest nieliniowy).

### Rachunek ekonomiczny kompetencji jako aktywa (model do dalszej formalizacji)

Proponowany w pracy wskaźnik „Zwrotu z Kompetencji AI”:

$$RoAC = \frac{\Delta R + \Delta C_{avoid}}{C_{train} + C_{tool} + C_{govern}}$$

gdzie: -  $\Delta R$  - wzrost przychodów dzięki lepszym produktom danych (wyższe ceny, większa liczba licencji), -  $\Delta C_{avoid}$  - uniknięte koszty (czas załogi, powtórzenia eksperymentów, błędy), -  $C_{train}$  - koszt treningu i „apprenticeship”, -  $C_{tool}$  - koszt narzędzi (observability, edge compute), -  $C_{govern}$  - koszt governance (anonimizacja, audyt, kontrakty danych).

Tak zdefiniowany wskaźnik pozwala przenieść „instynkt i intuicję” na reżim naukowy: intuicja jest wartościowa wtedy, gdy daje mierzalne  $\Delta C_{avoid}$  i/lub  $\Delta R$  przy stałej jakości i zgodności. Źródłowo to spójne z NDM: narzędzia i trening mają wspierać decyzje w warunkach niepewności, a nie zastępować odpowiedzialności. <sup>2</sup>

### Model podziału wartości (mieszkańcy ↔ inwestorzy) oparty o wkład danych i kompetencji

Aby „biznes kreacji danych” był organiczny i stabilny społecznie, potrzebny jest mechanizm dzielenia wartości, który: - nagradza jakość i wkład w „śladę” (cyfrowe feromony), - nie degraduje prywatności i godności, - nie prowadzi do patologii „gromadzenia danych dla premii”.

W literaturze istnieją formalne metody wyceny wkładu danych do jakości modelu (np. Data Shapley), które można adaptować jako mechanizm rozliczeń w spółdzielni danych i kompetencji. <sup>14</sup>

Jednocześnie w modelu kosmicznym governance danych musi uwzględniać specyficzne napięcia odpowiedzialnego użycia danych kosmicznych (dual-use, interes publiczny, asymetrie korzyści), co jest explicitie dyskutowane w dokumentach o etyce danych kosmicznych. <sup>15</sup>

### Governance i etyka: prywatność, zaufanie, odpowiedzialność i polityka kompetencji AI

#### Dokumentowanie danych i modeli jako minimalny warunek zaufania

W zamkniętej społeczności, gdzie AI jest komponentem instytucji (decyzje, rekommendacje, priorytety), zaufanie nie może być „miękkie”. Musi wynikać z dokumentowalności: - datasheets: co to za dane, skąd, po co, jakie ograniczenia i ryzyka, <sup>7</sup>

- model cards: jak działa model, gdzie zawodzi, jakie ma przeznaczenie i zakres walidacji. <sup>16</sup>

To jest warunek nie tylko etyczny, ale i ekonomiczny, bo produkty danych bez lineage i ograniczeń użycia tracą wartość rynkową w zastosowaniach wysokiego ryzyka.

#### Spójność z politykami publicznymi i rozwój „kompetencji AI” jako gałęzi badań

Polska polityka AI (uchwała Rady Ministrów i towarzyszące materiały) wskazuje wprost potrzebę kształcenia kadry, wsparcia badań interdyscyplinarnych, grantów oraz budowania mechanizmów

instytucjonalnych dla wdrożeń AI z ramami etycznego i bezpiecznego wykorzystania. <sup>17</sup>  
Dla programu „wioski kosmicznej” oznacza to, że „tworzenie kompetencji AI” jest nie dodatkiem, lecz **pełnoprawną gałęzią badań**: łączącą nauki społeczne (społeczeństwa), inżynierię (infrastrukturę), ekonomię (modele wartości), oraz naukę o danych i AI (walidacja i bezpieczeństwo).

### **Matryca etyczna „mrowiska”: nie każdy ślad powinien być feromonem**

Stigmergia uczy, że środowisko kieruje zachowaniem agentów. W wersji społeczno-technicznej oznacza to ryzyko manipulacji: jeśli „ślady” są projektowane źle, mogą prowadzić do złych zachowań zbiorowych. Dlatego governance musi obejmować: - rozdzielenie śladów operacyjnych od śladów prywatnych, - minimalizację danych osobowych przy zachowaniu warunków bezpieczeństwa, - audit interwencji AI (kto i dlaczego zmienił „feromon”), - oraz mechanizmy odwoławcze i odpowiedzialności.

Dokumenty o etyce danych kosmicznych podkreślają, że w kosmosie gra toczy się jednocześnie o odpowiedzialne przywództwo, skalowalność danych i ryzyka szkód społecznych; to bezpośrednio dotyczy „wiosek danych”. <sup>15</sup>

### **Syntetyczny model „idealnej wioski” jako ekosystemu kompetencji AI i danych**

Idealny model, wynikający z powyższych podstaw, można ująć w trzech zdaniach operacyjnych:

- 1) Wioska kosmiczna działa jak **organizm stigmergiczny**: ludzie i AI koordynują się poprzez cyfrowe ślady o kontrolowanej semantyce i jakości. <sup>18</sup>
- 2) „Intuicja na metapoziomie” jest wzmacniana przez reżim NDM i high reliability: decyzje są szybkie, ale ich skuteczność jest stale weryfikowana przez ślady dowodowe i post-mortemy. <sup>19</sup>
- 3) Kompetencje AI są produkowane poprzez produkcję artefaktów: pipeline oparty o delta-first, gating i obserwowalność sprawia, że każda iteracja zwiększa zarówno wartość danych, jak i zdolność społeczności do bezpiecznego rozwoju.

W ujęciu ekonomicznym to właśnie ta „maszyna kompetencji” ma największą szansę domknąć rachunek w warunkach kosmicznych: ponieważ zasoby (czas załogi, logistyka) są ekstremalnie drogie, rentowność wymaga maksymalizacji „learning per unit cost” oraz minimalizacji iteracji jałowych. <sup>13</sup>

---

<sup>1</sup> <sup>17</sup> Polityka dla rozwoju sztucznej inteligencji w Polsce od roku 2020 - Portal sztucznej inteligencji - Portal Gov.pl

[https://www.gov.pl/web/ai/polityka-dla-rozwoju-sztucznej-inteligencji-w-polsce-od-roku-2020?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.gov.pl/web/ai/polityka-dla-rozwoju-sztucznej-inteligencji-w-polsce-od-roku-2020?utm_source=chatgpt.com)

<sup>2</sup> <sup>19</sup> Naturalistic Decision Making - 1st Edition - Caroline E. Zsambok - Gar

[https://www.routledge.com/Naturalistic-Decision-Making/Zsambok-Klein/p/book/9780805818741?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.routledge.com/Naturalistic-Decision-Making/Zsambok-Klein/p/book/9780805818741?utm_source=chatgpt.com)

<sup>3</sup> <sup>11</sup> <sup>18</sup> Stigmergy as a universal coordination mechanism I: Definition and components - ScienceDirect

[https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1389041715000327?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1389041715000327?utm_source=chatgpt.com)

<sup>4</sup> <sup>14</sup> Swarm Intelligence: From Natural to Artificial Systems | Oxford Academic

[https://academic.oup.com/40811?utm\\_source=chatgpt.com](https://academic.oup.com/40811?utm_source=chatgpt.com)

<sup>5</sup> RPD | garyklein

[https://www.gary-klein.com/rpd?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.gary-klein.com/rpd?utm_source=chatgpt.com)

- 6 Creating complex health improvement programs as mindful organizations: from theory to action - PubMed

[https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17713180/?utm\\_source=chatgpt.com](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17713180/?utm_source=chatgpt.com)

- 7 9 Datasheets for Datasets - arXiv Cache

[https://arxiv.g/paper/1803.09010?utm\\_source=chatgpt.com](https://arxiv.g/paper/1803.09010?utm_source=chatgpt.com)

- 8 16 Model Cards for Model Reporting

[https://research.google/pubs/model-cards-for-model-reporting/?utm\\_source=chatgpt.com](https://research.google/pubs/model-cards-for-model-reporting/?utm_source=chatgpt.com)

- 10 The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship

[https://dash.harvard.edu/handle/1/26860037?utm\\_source=chatgpt.com](https://dash.harvard.edu/handle/1/26860037?utm_source=chatgpt.com)

- 12 HFBP Risks - NASA

[https://www.nasa.gov/hrp/human-factors-and-behavioral-performance/hfbp-risks/?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.nasa.gov/hrp/human-factors-and-behavioral-performance/hfbp-risks/?utm_source=chatgpt.com)

- 13 Toward the LEO economy: A value assessment of commercial space stations for space and non-space users - ScienceDirect

[https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0094576524007306?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0094576524007306?utm_source=chatgpt.com)

- 15 Space Data Ethics: The Next Frontier in Responsible Leadership

[https://www.nasa.gov/wp-content/uploads/2024/02/white-paper-space-data-ethics-2023-12-01-final-002.pdf?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.nasa.gov/wp-content/uploads/2024/02/white-paper-space-data-ethics-2023-12-01-final-002.pdf?utm_source=chatgpt.com)