



Jak zbudować system pomiarowy MES, żeby policzyć prawdziwy koszt jednostkowy produktu?

Nie ma nic gorszego niż wpuszczenie do własnego chaosu sztucznej inteligencji

Co AI naprawdę może zrobić w piekarni

Sztuczna inteligencja w piekarni to nie robot ugniatający ciasto, tylko program, który patrzy na liczby z produkcji zakładu i podpowiada decyzje.

- **Prognoza produkcji na jutro.**

Ile kajerek pojedzie w sobotę do sklepu przy rynku, a ile do tego przy szkole – z uwzględnieniem dnia tygodnia, pogody, ferii i historii zwrotów z dwóch lat. Zejście ze zwrotami z 12 do 6% przy obrocie 8 mln zł to kilkaset tysięcy złotych rocznie. To robi się używając modeli predykcyjnych, ale AI może to obsługiwać.

- **Automatyczna korekta procesu.**

Wodochłonność mąki i ilość glutenu potrafią różnić się między dostawami o kilkanaście procent. Algorytm, który widzi parametry mąki i historię udanych wypieków, proponuje temperaturę wody i czas pracy drożdży na konkretny wyrób.

- **Układanie kolejki produkcyjnej.** Jaka kolejność produktów da najmniej myć i przezbrojeń – przy pączkach z trzema rodzajami nadzienia to różnica dwóch godzin na zmianie.

- **Przewidywanie awarii.** Silnik mieszarki zanim padnie, miesiącami pobiera nieco inny prąd. Człowiek tego nie usłyszy, program porównujący dzisiejszy przebieg z tysiącem poprzednich – owszem.

- **Optymalizacja energii.** Kiedy zacząć nagrzewać piec, żeby był gotowy na czas, a nie stał gorący trzy godziny.

- **Prawdziwy koszt wytworzenia,** liczony codziennie. Dla większości piekarni pieniądz leżący najbliżej ziemi; o tym będzie ostatnia część.

Jest jednak warunek, o którym sprzedawcy oprogramowania mówią cicho i na końcu.



AI jest ślepa. MES jest jej okiem

Wyobraź sobie, że zatrudniasz genialnego analityka: liczy szybciej niż arkusz, widzi wzorce, których nikt nie dostrzega. Sadzasz go w pokoju bez okien i raz dziennie wsuwasz pod drzwi kartkę: „wczoraj zrobiliśmy jakieś 8 tys. pączków, chyba coś się psuło koło południa”. Tyle warta jest AI bez systemu pomiarowego. Bez informacji sztuczna inteligencja nie ma co robić.

MES (Manufacturing Execution System), system realizacji produkcji to warstwa między programem księgowo-handlowym (ERP: zamówienia, faktury, magazyn) a halą. Odpowiada na trzy pytania: co maszyna zrobiła, kiedy i czy w ogóle pracowała.

MES bez sygnału z maszyny to arkusz, do którego operator wpisuje liczby na koniec zmiany. Wiadomo czego można się spodziewać po człowieku, od którego zależy jakość wpisywania danych. Zwłaszcza jak te dane decydują o jego premii. MES powinno działać na sensorach, nie na raportach tworzonych przez ludzi. MES z sygnałem z sensorów na produkcji to pomiar.

Różnica między raportowaniem przez człowieka a raportowaniem z sensorów to jak różnica między: „wydaje mi się, że dziś chłodno” a termometrem.

Model uczy się dokładnie na tym, co dostanie. Jeżeli dostanie liczby zaokrąglone do setek i postoje spisane „mniej więcej”, nauczy się tych zaokrągleń i będzie je powtarzał bardzo pewnym siebie tonem. Kolejność jest więc jedna: najpierw czujniki, potem MES, a dopiero po kilkunastu miesiącach zbierania danych – AI. Kto zaczyna od AI, kupuje bardzo drogi generator przypuszczeń. Mówi się: wrzucisz do modelu śmieci, to dostaniesz śmieci.

Słownik: te wszystkie dziwne słowa, po ludzku

Nie musisz umieć tych pojęć używać. Musisz je rozumieć na tyle, żeby wiedzieć, o co pytać i czego nie podpisywać. Wiadomo, że jako właściciel piekarni nie będziesz tworzył u siebie automatyki pomiarowej.

Cykl – jedno pełne okążenie maszyny: suw dzielarki, wtrysk nadziewarki, jedno opakowanie. Jedyne zdarzenie powtarzane absolutnie regularnie, a więc podstawowa waluta całego systemu. Zanim cokolwiek kupisz, ustal co jest cyklem na każdej maszynie.

OEE (Overall Equipment Effectiveness) – iloczyn dostępności (ile z zaplanowanego czasu maszyna pracowała), wydajności (czy trzymała tempo) i jakości (ile sztuk nadawało się do sprzedaży): $0,90 \times 0,95 \times 0,99 = 84,6\%$. Mierzącym pierwszy raz wychodzi zwykle 45-65%. Impuls cyklu daje wydajność, sygnał pracy – dostępność, jakość – waga kontrolna zwykle pochodząca spoza systemu.

Uwaga na start: ustal na piśmie czy mycie i przezbrojenie to postój planowany (poza OEE), czy nieplanowany (w OEE). Mycie zjada nawet 15% zmiany i od tej definicji zależy, czy wyjdzie 48, czy 71%. Obie liczby są „prawdziwe” – ważne, by liczyć zawsze tak samo. Przy dużym asortymencie w piekarni ta decyzja ma kolosalny wpływ na obliczanie kosztów produkcji.

Wolne wyjście w sterowniku – zacisk przewidziany przez producenta dla urządzeń zewnętrznych, którego nikt jeszcze nie zajął. Podpinasz się i w menu ustawiasz, kiedy ma się załączać, niczego nie przerabiając. Zrób spis maszyna po maszynie: przy jednej to dwie żyły, przy drugiej kilka tygodni czekania na serwis producenta albo kombinowanie z kamerami i fotokomórkami. Dlaczego? Jak się wepniesz do instalacji maszyny możesz stracić gwarancję.

Styk bezpotencjałowy (suchy, ang. dry contact) – zwykły przełącznik bez własnego prądu. Wyobraź sobie wyłącznik światła wyjęty ze ściany i trzymany w ręku: sam z siebie niczego nie zasilą, umie tylko dwie rzeczy – zewrzeć dwa kabelki albo je rozłączyć.

Prąd do tych kabelków daje Twoja skrzynka pomiarowa ze swojego zasilacza 24 V. Maszyna niczego nie

podaje, tylko przełącza. Dlaczego to takie ważne: gdyby prąd puszczała maszyna, trzeba by na stałe spiąć jej instalację z instalacją pomiarową (fachowo: połączyć masy), a wtedy przepięcie albo zwarcie po jednej stronie potrafi uszkodzić drugą. Przy suchym styku te dwa światy nigdy się elektrycznie nie spotykają.

Do zapytania ofertowego wystarczy jedno zdanie: „sygnały mają być podane jako styki bezpotencjałowe”.

NO i NC – to odpowiedź na jedno pytanie: w jakiej pozycji stoi styk, kiedy nic się nie dzieje. To informacja czy obwód pomiarowy jest otwarty czy zamknięty.

NO (normally open, normalnie otwarty) – w spoczynku jest rozłączony i nic nie płynie; zadziałanie zwiera. Tak działa dzwonek u drzwi – dopóki nikt nie naciśnie, nie dzieje się nic. **NC (normally closed)** – jest odwrotnie: w spoczynku zwarty, prąd płynie przez niego cały czas, a zadziałanie przerywa obwód. Tak działa czujka pożarowa i wyłącznik bezpieczeństwa.

Do liczenia cykli używa się NO, bo logika jest naturalna: nie ma zdarzenia – nie ma sygnału. Ale NO ma poważną wadę i to jedna z najważniejszych rzeczy w tym artykule. Jeżeli kabel się przerwie albo przekątnik padnie, system zobaczy dokładnie to samo, co przy zatrzymanej maszynie: ciszę. Cisza jest dwuznaczna – nie odróżnisz awarii pomiaru od postoju. Obwód stale zamknięty jest pod nieustanną kontrolą, bo przerwanie kabla natychmiast odcina płynący prąd i wywołuje alarm. Dlatego NC stosuje się tam, gdzie stawką jest bezpieczeństwo ludzi.

Jak to załatwić u siebie: do każdego sygnału impulsowego dołóż drugi sygnał – nie drugi rodzaj styku, tylko drugą informację: „maszyna pracuje w automacie”. Komputer ma wtedy dwa niezależne źródła i może je zestawić. Jeżeli maszyna melduje, że pracuje, a impulsów nie ma od czterech minut, to nie jest postój, tylko awaria pomiaru – i system ma o tym krzyknąć. Ten alarm (watchdog) nie kosztuje ani złotówki, bo jest regułą w oprogramowaniu, a nie dodatkowym sprzętem. Wpisz go do specyfikacji projektu automatyzacji piekarni.

Przekątnik i podstawka na szynę DIN – jakieś 80 zł przy każdej maszynie i naprawdę warto.

Przekątnik to pudełko, w którym siedzą dwie części, które się nie dotykają. W jednej jest zwojnica drutu (cewka), w drugiej sam przełącznik. Kiedy przez cewkę popłynie prąd z maszyny, robi się z niej elektromagnes i przyciąga przełącznik po drugiej stronie. Prąd nie przechodzi – przechodzi samo przyciąganie. To jest separacja galwaniczna: między maszyną a Twoją skrzynką nie ma ani jednego kawałka wspólnej miedzi, więc cokolwiek złego stanie się po jednej stronie, na drugą nie przeskoczy. Przy okazji rozwiązuje drugi problem. Sygnał w maszynie bywa 24 V, a bywa 230 V, a Twój moduł chce 24 V. Cewkę dobiera się do maszyny, a styk i tak pasuje do modułu.

Podstawka to gniazdko, w które przekątnik się wtyka, przykręcone do metalowej szyny – tej samej szyny DIN, na której u Ciebie w domu w skrzynce siedzą

bezpieczniki. Sens jest prosty: jak przekaźnik padnie, wyciągasz stary i wtykasz nowy, a wszystkie kable zostają na miejscu. Bez podstawki trzeba by odkręcać i przykręcać osiem żyłek, w szafce.

Impuls a styk stały – to drugie, zupełnie osobne pytanie. Nie „w jakiej pozycji styk stoi w spoczynku?” (tym było NO i NC), tylko „jak długo jest wciśnięty?”.

Impuls to mrugnięcie: zwarło się na ułamek sekundy i puściło. Mówi: „coś się właśnie stało”, a Ty liczysz, ile razy. Styk stały trzyma się tyle, ile trwa sytuacja. Mówi: „tak jest teraz”, a Ty liczysz, jak długo. Jak dzwonek i wyłącznik światła: dzwonek pstrykasz, światło zostawiasz włączone.

Suw dzielarki jest zdarzeniem, więc daje impuls. Praca taśmy smaźnika jest stanem, więc daje styk stały. Z samych impulsów nie policzysz, jak długo maszyna stała, a z samego stanu nie policzysz sztuk – potrzebujesz obu, a to podwaja liczbę kanałów w module i tu leży realna różnica w cenie ofert.

I rzecz, którą warto sobie ułożyć w głowie raz a dobrze: te dwa pytania nie mają ze sobą nic wspólnego. Ten sam styk NO może dawać impulsy (suw dzielarki) albo trzymać się przez całą zmianę („pracuje w automacie”). NO i NC mówią o spoczynku, impuls i stan – o czasie trwania.

Minimum 100 milisekund to czas odbioru sygnału na przekaźniku – tyle musi trwać impuls, bo są trzy miejsca, gdzie krótszy sygnał zniknie: przekaźnik potrzebuje 5-15 ms na przyciągnięcie zwory, styk przy zwarcu odbija się kilka razy (a tłumiący to filtr zjada część impulsu), a wejścia przemysłowe mają celowe opóźnienie przeciw zakłóceniom. Wpisz tę wartość do umowy z automatykiem.

24 V DC i wejścia cyfrowe – napięcie 24 V na instalacji czujników MES to standard sterowania: na tyle mało, że dotknięcie nie grozi porażeniem, i na tyle dużo, że zakłócenie zaindukowane w kablu biegnącym wzdłuż falowników nie zostanie wzięte za sygnał.

DI (digital input) – to cyfrowe wejście dwustanowe – zwarte albo rozwarne. Moduł 16DI ma szesnaście kanałów, więc przy dwóch sygnałach z maszyny obsługuje osiem maszyn. Zawsze zostaw 30% kanałów wolnych.

Wejścia analogowe – same cyfrowe wejście binarne DI nie wystarczą, bo temperatura oleju czy wilgotność garowni to wartości ciągłe. Wymagają osobnych, droższych modułów, które trzeba zaplanować od razu, bo to na tych danych uczy się później model. Skrót to AI (*analog input*) – niestety, niefortunnie ten sam skrót co sztuczna inteligencja, więc dopytuj, o czym rozmawiacie.

Szafka sterownicza – najtańsza pozycja w ofercie i jedyna, która decyduje, czy instalacja przetrwa trzy lata, czy trzy miesiące. Daje stopień ochrony IP, szynę montażową, listwy, bezpiecznik i zamknięcie na klucz. Nie kupuj IP20 z marketu: minimum IP65, w strefie mycia nierdzewka i IP66. Nie wieszaj jej nad garownią ani w zasięgu węża. Pamiętaj też, że pył mączny jest palny,

a w odpowiednim stężeniu wybuchowy – strefy zagrożenia wybuchem w piekarniach podlegają osobnym przepisom. Zapytaj wykonawcę, czy to uwzględnił.

Linka 0,5 mm² i UTP kat. 6 – linka wiezie sygnał ze styku do modułu; jest giętka, bo przekroju nie dyktuje prąd (kilka miliamperów), tylko odporność na drgania. UTP to kabel sieciowy, do 100 m na odcinek – ale nieekranowany, więc przy falownikach dopłać do FTP lub STP. Mówiąc prosto musi być linka bo drut pęknie po kilku tygodniach pod wpływem drgań.

Licznik przekładnikowy i przekładnik 100/5 – licznik bezpośredni ma prąd płynący przez siebie i działa do jakichś 100 A; powyżej używa się licznika przekładnikowego. Przekładnik to pierścień, przez który przechodzi kabel siłowy, a w uzwojeniu na rdzeniu płynie prąd proporcjonalnie mniejszy. 100/5 znaczy: 100 A w kablu daje 5 A wartości wyjściowej w obwodzie pomiarowym, a licznik mnoży przez 20. Idą po trzy, bo maszyna jest trójfazowa; komplet takiego licznika przekładnikowego to rząd 600 zł.

Ostrzeżenie dla każdego, kto dotyka tej instalacji: nigdy nie rozwieraj obwodu wtórnego przekładnika, gdy w kablu głównym płynie prąd. Na zaciskach pojawia się wtedy napięcie liczone w setkach woltów i jest to realnie śmiertelne. Zaciski wtórne albo są zwarte, albo podłączone do licznika. Trzeciej możliwości nie ma. Jak będziesz grzebał wyłącz obwód.

Licznik przekładnikowy dobiera się na podstawie wartości, nie na oko. Smaźnik 36 kW to około 55 A (100/5 z zapasem), piec obrotowy 60 kW – 88 A, a piec wsadowy 90 kW aż 133 A, przy których 100/5 wszedłby w nasycenie i zaniżał. Za mały licznik przekładnikowy zaniża, za duży jest niedokładny przy małych obciążeniach – a to właśnie jest, jak piec grzejący się na jałowo, chcesz wyłapać. Źle dobrany licznik to złe rozliczenie kosztów bezpośrednich energii.

S0 – znormalizowane wyjście impulsowe licznika energii: krótkie zwarcie styku za każdą odmierzoną porcją, najczęściej 1000 impulsów na kilowatogodzinę. To po prostu „klikacz” wbudowany w licznik prądu. Wyobraź sobie, że przy smaźniku stoi człowiek z takim licznikiem, jakim bileter liczy wchodzących do kina. Za każdym razem, gdy maszyna zeżre kolejną porcję prądu, ten człowiek naciska klik. Nic więcej nie robi – nie mówi ile, nie zapisuje, nie ocenia. Tylko klika. S0 jest dokładnie tym, ale w środku licznika. To para dodatkowych zacisków, z których wychodzą dwie żyłki. Za każdą odmierzoną porcją energii coś tam w środku na chwilę zwiera te dwa zaciski i zaraz rozwiera. Zwarło się i puściło – to jest jedno kliknięcie.

Porcja to zwykle jedna tysięczna kilowatogodziny, czyli tysiąc kliknięć oznacza, że maszyna zjadła 1 kWh. Jeżeli w ciągu godziny naliczysz 36 tys. kliknięć, smaźnik wziął 36 kWh. Nikt nic nie odczytywał z wyświetlacza, nikt nic nie wpisywał do zeszytu. Teraz powinno być jasne po co jest ten klikacz. Są urządzenia, które mają



początek i koniec cyklu, są takie, które mają pracę ciągłą, ale jednocześnie mają cykle, jak ten opisany smaźalnik.

I teraz najważniejsze, czyli dlaczego to w ogóle jest w artykule. Ta skrzynka, którą wieszasz na ścianie i która liczy pączki, jest w gruncie rzeczy głucha i ślepa. Ona umie jedno: wyczuwać, że ktoś ją szturchnął i zliczać szturchnięcia. Kompletnie jej nie obchodzi, kto szturcha. Kiedy dzielarka robi suw, przekaźnik ją szturcha. Kiedy licznik prądu odmierzy porcję energii, szturcha ją tak samo – tym samym rodzajem szturchnięcia, po takich samych dwóch żyłkach, w taki sam zacisk.

Dla skrzynki nie ma żadnej różnicy. To Ty ustalasz w programie, że szturchnięcia na wejściu numer 1 to pączki, a te na wejściu numer 2 to watogodziny. Dlatego jedno pudełko za kilkaset złotych liczy Ci jednocześnie produkcję i prąd – nie potrzebujesz drugiego urządzenia, drugiej instalacji ani drugiej faktury.

Stąd dwie rzeczy do zapamiętania przy zakupach. Po pierwsze, mówiąc elektrykowi: „poproszę licznik, dodaj „z wyjściem S0”, bo tańsze modele mają sam wyświetlacz bez wyjścia do innego urządzenia i wtedy jedyny sposób odczytu to podejść i ręcznie przepisać cyfry. Po drugie, nie wystarczy jeden licznik na całą piekarnię. Ten główny powie Ci, ile wydajesz. Dopiero osobne, powieszone na smaźalniku, na piecu i na garowni, powiedzą, na co wydajesz energię, a to jest ta wiedza, dzięki której wychodzi na jaw, że smaźalnik grzejący się na jałowo przed startem zmiany kosztuje 20 tys. rocznie.

I tu rzecz, która porządkuje cały projekt: S0 to ten sam typ sygnału co przekaźnik cyklu. Moduł 16DI nie odróżnia ich – kanał 1 zlicza suwy dzielarki, kanał 2 watogodziny smaźalnika. Zamawiaj liczniki z S0 osobno na każdy duży odbiornik: zbiorczy powie, ile wydajesz ogólnie, a przecież chcesz rozliczać koszty precyzyjnie.

Ingerencja w obwód a gwarancja – najczęściej lekceważone ryzyko wdrożenia automatyki. Jeżeli ktoś z zewnątrz wpina się pod sygnał w środku szafy nowego pieca, producent zyskuje argument, że układ zmieniono i nie odpowiada

za jego działanie. Nie musi technicznie mieć racji – wystarczy podstawa do sporu, a Ty masz unieruchomiony piec w środę przed Wielkanocą. Wyjścia są trzy: wolne wyjście; pisemna zgoda serwisu (o którą prosi się przed, nie po); albo rozwiązanie bezinwazyjne – fotokomórka, czujnik indukcyjny, waga kontrolna.

Trasy kablowe, „5 zł albo 20 zł za mb” – mb to metr bieżący, trasa to korytka i uchwyty, poprowadzone tak, żeby dało się pod nimi umyć. 5 zł to wciągnięcie przewodu do trasy, która już wisi; 20 zł to postawienie nowej, często na wysokości. Dlatego zamiast ciągnąć kabel z każdej maszyny do jednego punktu, rozstawia się moduły przy grupach maszyn i spina je jednym kablem w postaci łańcucha maszyn.

Przykład: linia pączkowa

Pączki są nieprzypadkowe. Chleb byłby złym pierwszym wdrożeniem: cykle długie i rozmyte, proces schowany w garowni i piecu, gdzie „sztuka” trudno się liczy, jedno zlecenie na pół zmiany. Pączek jest odwrotnie – liczy się na sztuki, każda maszyna ma wyraźny cykl, wąskie gardło jest oczywiste (smaźalnik), a Tłusty Czwartek to brutalny test tego, ile naprawdę potrafisz zrobić.

Weźmy przykład z cukierni: miesiarka spiralna 15 kW, dzielarko-zaokrąglarka, komora garownicza, smaźalnik

Nr	Sygnał	Typ	Źródło danych z maszyny	Po co
1	Suw dzielarki	Impuls NO, min. 100 ms	Wolne wyjście	Liczba kęsów na wejściu
2	Dzielarka w automacie	Styk stały	Wolne wyjście	Dostępność
3	Sztuka za smaźalnikiem	Impuls	Fotokomórka bezinwazyjna	Liczba sztuk po smażeniu
4	Praca taśmy smaźalnika	Styk stały	Wolne wyjście	Dostępność wąskiego gardła
5	Wtrysk nadziewarki	Impuls	Wolne wyjście	Liczba sztuk nadzianych
6	Odrzut sztuki przez wagę	Impuls	Wyjście wagi	Jakość
7	Otwarcie drzwi garowni	Styk stały	Kontaktron	Przyczyna dłuższego procesu
8	Temperatura oleju	Analogowy	Sonda w smaźalniku	Jakość i zużycie oleju
9	Temp. i wilgotność garowni	Analogowy	Czujniki komory	Powtarzalność
10	Energia smaźalnika	Impuls S0	Licznik + przekładniki 100/5	Koszt energii na partię
11	Energia garowni i pieca	Impuls S0	Licznik + przekładniki	Koszt energii na partię

taśmowy 36 kW, nadziewarka, lukrownica, waga kontrolna, pakowaczka. Na papierze 1500 sztuk na godzinę, czyli 12 tys. na zmianę.

Sprzęt policzmy od razu, bo w tym miejscu ludzie zwykle spodziewają się najgorszego. Siedem pierwszych sygnałów to zwykłe wejścia cyfrowe. Dwa ostatnie, choć dotyczą prądu, też nimi są, bo licznik z wyjściem S0 mruga dokładnie tak samo jak przekaźnik przy dzielarce, a moduł nie ma pojęcia, że jedno mrugnięcie oznacza pączka, a drugie watogodzinę. Dziewięć kanałów z jedenastu obsłuży więc jedno pudełko 16DI i zostanie jeszcze siedem wolnych miejsc na to, co wymyślisz za rok. Osobnego, droższego modułu potrzebują tylko dwa sygnały: temperatura oleju i klimat w garowni. To nie są zdarzenia, które da się zliczyć, tylko wartości, które trzeba odczytywać z podziałką.

Najważniejsza decyzja w całym projekcie mieści się w jednym zdaniu: licz na obu końcach linii. Dzielarka powie Ci, ile kęsów ruszyło w drogę. Waga kontrolna powie, ile gotowych pączków dojechało na koniec. Odejmij jedno od drugiego, a dostaniesz liczbę, której w piekarni zwykle nikt nie zna, czyli swój prawdziwy uzysk. Nie ten z pamięci brygadzysty i nie ten „ze dwa procent, jak zwykle”, tylko policzony.

W naszej przykładowej cukierni trzy tygodnie takiego liczenia dały wynik, który zaskoczył wszystkich. Na linię weszło 7 340 kęsów, a na koniec taśmy dojechało 6 780 dobrych pączków. Straty wyszły 7,6%, podczas gdy raporty zmianowe od lat spokojnie pokazywały ok. 3%. Nikt nikogo nie oszukiwał. Po prostu nie było komu policzyć sztuk, które skleły się na taśmie, spadły przy przewracaniu albo zjechały z wagi jako za lekkie, bo żadna z nich nie trafiała na formularz. Trafiały do wiadra. Przy 2 mln pączków rocznie i wsadzie surowcowym 58 gr/sztukę te brakujące 4,6 punktu procentowego kosztuje piekarnię jakieś 53 tys. złotych rocznie.

Teraz druga strona rachunku. Na wyposażenie tej linii składa się sześć przekaźników z podstawkami, zasilacz, nierdzewna szafka, moduł cyfrowy, moduł analogowy, dwa liczniki energii z przekładnikami oraz kable i trasy, którymi to wszystko biegnie. Razem, z montażem, mieści się to w przedziale 12-20 tys. zł. Sam odzyskany uzysk spłaca ten wydatek w jakieś pięć miesięcy i to zanim policzysz cokolwiek innego, co system zdąży po drodze pokazać.

Sześć sposobów, żeby wydać te pieniądze i nic nie mieć

Historie są zlepkami prawdziwych wdrożeń. Nazwy zmienione, absurdy prawdziwe.

Cukiernia, która przez trzy tygodnie nie istniała. Cukiernia z nieprawidłowo założoną automatyką pomiarową miała czujnik na dzielarce, styk NO, wszystko pięknie. W poniedziałek wózek z blachami zaczepił o kabel i wyrwał żyłę z zacisku. System pokazał zero cykli,

a że zero cykli wygląda tak samo jak stojąca maszyna, raport zaraportował postój. Nikt nie zareagował, bo raport przychodził jako PDF, a PDF-y otwiera się w czwartym tygodniu kwartału. Otworzono: dzielarka „stała” dwadzieścia jeden dni, w czasie których wyjechało z zakładu sto czterdzieści tys. pączków. Koszty wydziałowe rozkładają się na sztuki widziane przez system, więc wyliczony koszt pączka wyniósł 314 złotych. Morał: to ta pułapka NO – cisza jest dwuznaczna. Drugi sygnał stanu i watchdog dałyby alarm przed pierwszą kawą.

Morał: to jest właśnie pułapka styku NO – cisza znaczy dwie rzeczy naraz i system nie umie ich rozróżnić. Zepsuty licznik jest gorszy niż żaden, bo żaden przynajmniej nie udaje, że wie.

Czego zabrakło. Pięciu rzeczy, z których żadna nie kosztuje poważnych pieniędzy.

Zabrakło drugiego sygnału. Gdyby obok impulsów szła z dzielarki informacja „pracuję w automacie”, sprzeczność byłaby widoczna od razu: maszyna melduje pracę, a impulsów nie ma. To dwie dodatkowe żyły i jedno wolne wyjście w sterowniku.

Zabrakło watchdoga, czyli reguły, która tę sprzeczność zauważy. Brzmi ona mniej więcej tak: jeżeli stan mówi „pracuję”, a impulsów nie ma od czterech minut, zgłoś awarię pomiaru. To linijka w konfiguracji, nie sprzęt. Kosztuje zero złotych i nikt o nią nie poprosił, bo nikt nie pomyślał, że pomiar też może się zepsuć.

Zabrakło adresata. Nawet gdyby alarm powstał, poszedłby tam, gdzie wszystko inne, czyli do pliku PDF w skrzynce mailowej. Alarm techniczny musi trafić do człowieka, który stoi na hali i może pójść zobaczyć: lampka na szafce, buczek, SMS do utrzymania ruchu. Raport miesięczny to nie jest kanał alarmowy.

Zabrakło drugiego punktu liczenia. Gdyby, tak jak raz, przy linii pączkowej liczono również na wadze kontrolnej, przez trzy tygodnie wychodziłoby, że z zakładu wyjeżdża 6,5 tys. pączków dziennie z maszyny, która stoi. Dwa niezależne liczniki wykrywają awarię same, przez sam fakt, że przestają się zgadzać.

Zabrakło wreszcie granicy absurdu. Koszt jednostkowy 314 złotych za pączka przeszedł przez system i wyładował w raporcie, bo nikt nie ustawił progu, powyżej którego wskaźnik przestaje być wynikiem, a staje się alarmem. Warto poprosić wykonawcę o proste limity sensowności na kilku kluczowych liczbach – kosztowały tyle, co pół godziny konfiguracji.

A na samym dnie tej historii leży rzecz najprostsza: kabel dało się wyrwać ręką. Nie było korytka, odciążki ani zapasu pętli przy zacisku. Przy odbiorze instalacji warto pociągnąć każdy przewód, tak jak ciągnie go wózek z blachami.

I wiem co sobie teraz myślisz. Przecież mam małą cukiernię, każdy by to zobaczył. Maszyna działała, straciłeś informacje. Nikt by tego nie zauważył, a w niedalekiej przyszłości bez informacji zwrotnej twój zakład splajtuje w ciągu miesiąca. Bez informacji twój koszt będzie

nieznany i to w całym zakładzie. Bo mowa w dużej części o kosztach współdzielnych.

Duchy nocnej zmiany. Elektryk przypiął kabel sygnałowy opaskami do kabla zasilającego falownik taśmą, bo „się nie chciało”. W niedzielę, przy zamkniętym zakładzie, system zarejestrował 1 847 pączków. Właściciel przez dwa dni chodził blady, przekonany, że ktoś prowadzi produkcję na boku. To były zakłócenia: ilekroć załączała się sprężarka chłodni na tej samej trasie, w kablu indukował się impuls, a moduł grzecznie zliczał. Morał: trasy sygnałowe z dala od siłowych, przy falownikach kabel ekranowany. I zasada: cykle bez sygnału „maszyna pracuje” to nie cykle.

Pączek Schrödingera. Automatyk ustawił impuls z dzielarki na 40 milisekund, kierując się intuicją, że im krótszy impuls S0, tym dokładniejszy pomiar. Filtr wejściowy zjadał co drugi. Linia raportowała 55% wydajności, cztery miesiące trwały narady o modernizacji i zapadła decyzja o zakupie drugiego smażalnika za 400 tys. Tydzień przed zamówieniem ktoś podpiął oscyloskop. Drugi liczył pączki. Na szczęście obeszło się bez kompromitacji.

Szafka za 100 złotych. Piekarnia kupiła szafkę IP20 w markecie budowlanym i zawiesiła ją półtora metra od wylotu pary z garowni, bo tam było wolne miejsce i blisko gniazdko. Po pięciu tygodniach panowała w niej szklarnia, a moduł pokrył się warstwą, którą utrzymanie ruchu opisało w zgłoszeniu jako „kożuch”. Zasilacz padł pierwszy, moduł drugi – zdążywszy przez tydzień wysyłać losowe liczby. Morał: norma ochronna IP65 minimum, nierdzewka w strefie mycia, z dala od pary i pyłu.

Piec, który pracował 168 godzin w tygodniu. Zamiast sygnału „praca w automacie” ktoś podpiął się pod lampkę zasilania na pulpicie pieca. Lampka świeci, kiedy piec ma prąd. Piec ma prąd zawsze. System uznał więc, że piec pracuje bez przerwy – także w nocy, w niedzielę i w Boże Narodzenie. Dostępność liczyła się od 168 godzin, OEE wyszło 11%. Zarząd wynajął konsultanta, żeby wyjaśnił katastrofalną efektywność. Konsultant znalazł lampkę. Morał: „ma prąd”, „jest włączona”, „pracuje w automacie” i „produkuje” to cztery różne rzeczy. Pomylenie ich unieważnia cały pomiar.

Zlecenie o nazwie „różne”. Najczęstsza ze wszystkich, bo dotyczy oprogramowania, nie kabli. Piekarnia zbierała dane przez rok, 2,5 mln zliczonych sztuk, wszystko działało. Przy liczeniu kosztu jednostkowego okazało się, że 38% produkcji wisi na pozycji „inne”, bo operatorzy nie wybierali produktu na panelu. Panel miał dziewięć kroków, listę z 70 pozycjami i był ekranem dotykowym wiszącego na ścianie tableta, obsługiwanego w rękawiczkach oblepionych mąką. Morał: każdy impuls musi wiedzieć, do jakiego produktu, zlecenia i zmiany należy – a wprowadzenie tego ma zajmować trzy sekundy. Co trwa dłużej, zostanie ominięte i słusznie: człowiek jest tam od robienia pączków.

TKW: po co to wszystko robimy

Zacznijmy od czegoś, co pewnie już znasz z własnego podwórka. Ostatnie dwa lata sprawiły, że o sztucznej inteligencji mówią wszyscy. Na każdym targach jest stoisko, w każdej branżowej gazecie artykuł, a co drugi tydzień dzwoni ktoś, kto ma dla Twojej piekarni gotowe rozwiązanie i chciałby umówić prezentację. To nie jest moda, która minie, i nie ma w tym nic złego – te narzędzia naprawdę potrafią dziś dużo, o czym pisze od lat. Trudno się dziwić, że chce się je mieć. Chciałbym was tylko uchronić przed jedną rzeczą, bo widziałem, jak kończy się to dla piekarni, które zrobiły wdrożenie w złej kolejności.

Sztuczna inteligencja położona na wadliwej automatyce nie daje wartości dodanej, daje chaos. Ona daje wyniki katastrofalne. I to jest różnica, którą warto sobie wyjaśnić, zanim podpiszesz cokolwiek z automatykami.

Zepsuty raport i zepsuty algorytm to dwie zupełnie inne sprawy. Kiedy człowiek dostaje zestawienie, z którego wynika, że dzielarka stała trzy tygodnie, w pewnym momencie unosi brew i mówi: chwileczkę, przecież ja tam codziennie chodzę i ta maszyna pracuje. Ma oczy, pamięć i zdrowy rozsądek, więc głupota nie przechodzi dalej. Algorytm nie ma nic z tych rzeczy. Dla niego istnieje wyłącznie to, co przyszło kablem. Jeżeli kabel kłamie, model przyjmuje kłamstwo jako fakt, wbudowuje je w swoją wiedzę o Twoim zakładzie i od tej pory liczy już wszystko na tym fundamencie.

Gorzej, że model nie tylko liczy. On działa. Ustawia parametry, planuje kolejność produkcji, podpowiada, ile zamówić mąki i kiedy nagrzać piec. Jeżeli jeszcze tego nie robi, to za chwilę będziemy mieli autonomiczne systemy zarządzające. To nie problem braku odpowiedniej technologii, to już tylko problem przyzwyczajenia ludzi.

Wróćmy do cukierni z poprzedniej sekcji. Gdyby te trzy tygodnie ciszy z urwanego kabla trafiły do algorytmu, wyciągnąłby wniosek jak najbardziej logiczny: dzielarka jest chronicznie awaryjna, trzeba planować produkcję z pominięciem tej maszyny, a najlepiej wymienić ją na nową. Zaproponowałaby to grzecznie, konkretnie i z pełnym przekonaniem. Nie dlatego, że jest głupi, tylko dlatego, że dostał takie dane i nie miał jak sprawdzić. Dlatego, że jest mądry znalazłby właściwą maszynę zastępczą od innej sztucznej inteligencji z magazynu i czekałaby na zatwierdzenie zakupu.

I tu jest sedno. Model nigdy nie powie „chyba mam zepsuty czujnik”. On nie ma jak zweryfikować jakości danych przychodzących. Odpowiada zawsze, zawsze pewnym tonem i zawsze z liczbą po przecinku, bo tak został zbudowany. Ta pewność siebie jest największym zagrożeniem, kiedy pod spodem leżą śmieci, bo brzmi dokładnie tak samo jak wtedy, gdy pod spodem leży porządny pomiar. I to nie jest halucynacja, to pragmatyczne działanie maszyny.

Rachunek za taki projekt jest podwójny. Płacisz za wdrożenie, dostajesz decyzje oparte na fikcji, a na koniec tracisz coś, co odbudowuje się latami: zaufanie ludzi do danych. Kiedy raz brygadzysta przekona się, że system opowiada bzdury, drugie podejście będzie dużo trudniejsze, bo wszyscy będą pamiętać pierwsze. Dochodzi jeszcze jedna rzecz, świadome oszukiwanie maszyn celowo wywoływanymi incydentami. Dlatego dobrze zrobiona automatyzacja pomiarowa to fundament przyszłego rozwoju.

Porządna automatyka pomiarowa nie jest wcale kosztem poniesionym na poczet czegoś, co przyjdzie za dwa lata. Ona zwraca się sama, zanim jeszcze ktośkolwiek wspomni o algorytmach – dlaczego? Bo jednostkowy koszt produkcji to najważniejsza informacja w zakładzie.

TKW to techniczny koszt wytworzenia, czyli wszystko, co kosztowało wyprodukowanie wyrobu, zanim doliczysz sprzedaż i zarząd. Składają się na to materiały, robocizna bezpośrednia i koszty wydziałowe: energia, amortyzacja, utrzymanie ruchu, mycie, nadzór. Materiały większość piekarni liczy nieźle, bo mąkę i tłuszcz widać w magazynie i na fakturze. Kłopot zaczyna się przy reszcie, bo tych kosztów nie da się przypisać do konkretnej sztuki. One są rozkładane – i od tego, przez co je podzielisz, zależy dosłownie wszystko.

Zobacz to w przykładzie z cukiernią, gdzie koszty wydziałowe na zmianę wynoszą 3 200 zł.

Rachunek na papierze: 1500 sztuk na godzinę razy osiem godzin daje 12 tys. sztuk, czyli 0,27 zł na pączku.

Rachunek zmierzony: przy OEE na poziomie 61% linia zrobiła realnie 7 320 sztuk, czyli 0,44 zł na pączku.

Ta sama zmiana, ten sam koszt, dwie różne liczby. Różnica wynosi 17 gr/sztukę, a przy 2 mln pączków rocznie robi się z tego 340 tys. złotych, które w kalkulacji siedziały gdzie indziej albo nie siedziały nigdzie. Marża, którą pokazujesz zarządowi i bankowi, jest dokładnie o tyle za wysoka. Nikt nie zrobił tu nic złego. Po prostu dzielono przez liczbę, która była planem, a nie wynikiem.

Dochodzą do tego dwie pozycje typowo cukiernicze, które bez pomiaru pozostają czystą fikcją.

Olej. Pączek wchłania kilkanaście procent własnej masy w tłuszczu, więc przy 70 g mówimy o jakichś 10 g/sztukę. Bez licznika koszt oleju wylicza się jedynym dostępnym sposobem: bierze się, ile kanistrów kupiliśmy, i dzieli przez to, ile pączków wydaje nam się, że zrobiliśmy. Jeżeli ta druga liczba jest o 15% obok, koszt oleju jest obok dokładnie tak samo.

Energia jałowa. Smażalnik 36 kW trzymany w gotowości trzy godziny przed startem zmiany, bo tak się zawsze robiło, zjada około 100 kWh dziennie. W skali roku wychodzi ponad 20 tys. zł za samo grzanie pustego oleju. Ta pozycja jest kompletnie niewidzialna do dnia, w którym powieszysz na tej maszynie licznik z wyjściem S0 za jakieś 600 zł. Co jest mierzalne jest zarządzalne.

Dlaczego automatyczny nadzór nad produkcją MES jest lepszy niż raport robiony ręcznie przez operatora?

Zanim przejdziemy dalej – to nie jest zarzut wobec ludzi z hali. Nikt tu nie oszukuje i nikt się nie leni. Problem leży w samej konstrukcji papierowego raportu i nie da się go rozwiązać dobrą wolą.

Rozdzielczość. Operator zapisuje raz na zmianę, system zapisuje co sekundę. Mikroprzestoje krótsze niż 5 minut nie trafiają do formularza nigdy, bo nikt nie biegnie do kartki, gdy taśma stanęła na chwilę. Piętnaście takich chwil na zmianie daje godzinę, czyli 1,5 tys. pączków.

Moment zapisu. Raport powstaje na koniec ośmiu godzin, z pamięci. Nikt nie pamięta, że o 11:20 czekał siedem minut na wózek z ciastem, a „ok. 40 blach” nie jest liczbą, tylko szacunkiem. Szacunki zaś zawsze lądują na okrągłych wartościach.

Asymetria. Produkcję się pamięta, postoję zapomnia. Trudno też oczekiwać, że ktoś ochoczo zapisze, iż maszyna stała 40 min., zwłaszcza jeśli sam nie wie dlaczego. To jest ludzkie i nie da się tego z człowieka wykrzesać.

Przypisanie. Kiedy na jednej linii idą trzy produkty, po ośmiu godzinach nikt nie odtworzy, która minuta należała do której partii. System wie, bo zapisywał na bieżąco i nie musiał niczego pamiętać.

Nie przesadźmy jednak w drugą stronę, bo tu łatwo się zagalopować. MES nie zastępuje operatora, tylko zastąpi jego pamięć. Maszyna wie co i kiedy, ale nie ma pojęcia dlaczego – że taśma stanęła, bo skończyło się nadzienie, albo że mąka z nowej dostawy szła gorzej i trzeba było zwolnić. Najlepszy układ wygląda tak: system sam zauważa postój dłuższy niż ustalony próg i wyświetla ekran z pięcioma dużymi przyciskami, czyli brak surowca, awaria, mycie, przebrojenie i inne. Dwa dotknięcia, trzy sekundy. Maszyna dostarcza fakty, człowiek dokłada przyczynę i dopiero to razem jest wiedzą, na której cokolwiek się nauczy. Wiedzę trzeba zapisywać w systemie dla AI, to chyba oczywiste.

Na koniec rzecz ważniejsza niż wszystkie kable razem wzięte. Nigdy nie wprowadzaj MES jako narzędzia kontroli ludzi. Jeżeli pierwszym zastosowaniem będzie zestawianie zmian z nazwiskami, dostaniesz sabotaż i to sabotaż kulturalny, uprzejmy oraz zupełnie niemożliwy do udowodnienia – a dane będą bezwartościowe.

Nigdy nie dorównasz znajomością procesu ludziom, którzy są na linii. A oni szybko nauczą się jak oszukiwać sensory.

Mierz maszyny, nie ludzi. Niech pierwsze trzy poprawki, które wprowadzisz dzięki systemowi, ułatwią życie obsłudze, a nie zarządowi. Wtedy załoga sama zacznie zgłaszać, co jeszcze warto zmierzyć i to jest moment, w którym całe przedsięwzięcie zaczyna działać.

Podsumowanie

Jeśli miałbyś zapamiętać z tego tekstu jedno zdanie, niech będzie to: sztuczna inteligencja potrafi dziś w zakładzie naprawę dużo, ale widzi wyłącznie to, co jej zmierzysz. MES jest jedynym sposobem, żeby dać jej oczy.

I tu chciałbym Cię na koniec uczciwie ostrzec, bo to jest część, którą sprzedawcy przemilczają.

Źle założona automatyka nie zostawia Cię w punkcie wyjścia. Ona Cię cofa. Dziś bez automatyzacji, licząc na oko, wiesz przynajmniej, że liczysz na oko. Masz w głowie zdrową rezerwę i przy każdej dziwnej liczbie pytasz, czy aby na pewno. Po nieudanym wdrożeniu, tej rezerwy już nie ma. Na ekranie świecą się konkretne wartości z dwoma miejscami po przecinku, wygenerowane przez system, za który zapłaciłeś, więc zaczynasz im wierzyć. I zaczynasz na nich opierać decyzje: co przecenić, co wycofać, którą maszynę wymienić, ile wziąć za paletę do sieci. Fałszywa liczba, w którą się wierzy, jest znacznie groźniejsza od braku liczby, bo brak zmusza do ostrożności, a fałsz do niej zniechęca.

Do tego dochodzi koszt, którego nie ma w żadnej ofercie. Kiedy raz brygadzysta zobaczy, że system melduje postój maszyny, przy której właśnie stoi, przestanie go traktować poważnie – i będzie miał rację. Zaufanie załogi do pomiaru odbudowuje się latami, a traci w jedno popołudnie. Drugie podejście, już z porządnym wykonawcą, będzie dużo trudniejsze niż pierwsze, bo wszyscy będą pamiętać tamto. Nikt nie lubi naprawiać błędów kogoś innego.

I rzecz najpoważniejsza. Wszystko, co tu opisałem, ma sens dopiero wtedy, gdy pomiar jest prawdziwy, bo za dwa albo trzy lata te dane staną się fundamentem, na którym postawisz algorytm. Człowiek patrzący na absurdalny raport uniesie brew i powie, że coś tu nie gra. Algorytm nie uniesie brwi nigdy. Przyjmie każdą liczbę jako fakt, wbuduje ją w swoją wiedzę o Twoim zakładzie i będzie na jej podstawie planował produkcję, doradzał zakupy i ustawiał parametry – grzecznie, konkretnie i z pełnym przekonaniem. Śmieci wprowadzone do systemu dziś wracają za trzy lata jako pewne siebie rekomendacje, których nikt już nie umie zakwestionować.

Dobra wiadomość jest jednak taka, że zrobienie tego porządnie nie wymaga wielkich pieniędzy ani wiedzy inżynierskiej. Cała ta instalacja sprowadza się do kilku

prosty rzeczy: styku bez własnego napięcia, przełącznika za 80 zł, impulsu trwającego co najmniej 100 milisekund, drugiego sygnału mówiącego, że maszyna wciąż żyje, i szafki, która wytrzyma parę z garowni. Różnica między wdrożeniem, które pomaga, a takim, które szkodzi, leży nie w budżecie, tylko w kilkunastu decyzjach podjętych przed podpisaniem umowy. Dlatego obok znajdziesz je zebrane na jednej kartce – wydrukuj ją i weź ze sobą na spotkanie z wykonawcą.

Nagrodą jest liczba, której dziś prawdopodobnie nie znasz: ile naprawdę kosztuje jeden pączek. Od niej zależy każda decyzja cenowa, którą podejmiesz w najbliższych latach – i lepiej, żeby była prawdziwa.

Lista kontrolna przed podpisaniem umowy

- Ustal, co jest cyklem na każdej maszynie – przed pierwszą rozmową z wykonawcą.
- Zrób spis wolnych wyjść. To decyduje o cenie i terminie.
- Wpisz do umowy styk bezpotencjałowy i impuls minimum 100 ms.
- Do każdego impulsu dołóż sygnał stanu i alarm watchdog.
- Licz w dwóch miejscach, na wejściu i na wyjściu linii.
- Szafka minimum IP65, nierdzewna w strefie mycia. Zapytaj o pył mączny.
- Trasy sygnałowe osobno od siłowych, przy falownikach kabel ekranowany.
- Liczniki z S0 osobno na każdym dużym odbiorniku, przekładniki dobrane do mocy.
- Każdy impuls musi mieć kontekst – produkt, zlecenie, zmiana – wprowadzany w trzy sekundy.
- Definicje na piśmie i synchronizacja czasu we wszystkich urządzeniach.
- Dane surowe, retencja minimum dwa lata, eksport w otwartym formacie, 30 procent kanałów wolnych.
- Odbiór przez test stu sztuk na każdej maszynie. I nie kupuj AI, dopóki MES nie zbiera dobrych danych przez pół roku.

Wojciech Moszczyński

Wojciech Moszczyński – absolwent Katedry Ekonometrii i Statystyki Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu, specjalista z zakresu ekonometrii, finansów, *data science* oraz rachunkowości zarządczej. Specjalizuje się w optymalizacji procesów produkcyjnych i logistycznych. Prowadzi badania w obszarze rozwoju i zastosowania sztucznej inteligencji. Od lat zaangażowany w popularyzację *machine learning* oraz *data science* w środowiskach biznesowych.