

## OD INŻYNIERII ROLNICZEJ DO BIOINŻYNIERII

*Janusz Haman*

czł. rzeczywisty PAN

**Synopsis:** Artykuł przedstawia kolejne etapy rozwoju techniki rolniczej, począwszy od maszynoznawstwa rolniczego a na bioinżynierii kończąc.

**Słowa kluczowe:** maszynoznawstwo, mechanizacja, technika rolnicza, bioinżynieria.

Tytuł ten jest podwójnie mylący, gdyż poddałem się po prostu pewnej terminologicznej modzie. W gruncie rzeczy powinien on brzmieć: od maszynoznawstwa rolniczego do bioinżynierii. Maszynoznawstwo jest bowiem tradycyjnym, najdawniejszym określeniem przedmiotu, o którym mowa. Ostatnie zaś słowo tytułu nie powinno być tak rozumiane jak się je rozumie w Polsce potocznie, a więc identycznie do "biotechnologii", lecz tak jak rozumiane jest angielskie "bioengineering", a więc jako tworzenie urządzeń technicznych w oparciu o gruntownie rozpoznane przesłanki biologiczne. To wyjaśnienie jestem winien na początek.

Sprawdzenie teorii polega na jej falsyfikacji. Oznacza to, że przez przeprowadzenie eksperymentu można jedynie uznać pewność, iż dana teoria jest nieprawdziwa. Teoria nie może zostać zweryfikowana, a więc nie może być udowodniona, że jest ona na pewno prawdziwa. To stwierdzenie sformułowane przez niedawno zmarłego Karla Poppera mimo, że kwestionowane przez niektóre szkoły socjologii nauk, stało się, moim zdaniem, podstawą współczesnej metodologii nauk przyrodniczych. Możemy wskazać więc jedynie prawdopodobieństwo, iż teoria sprawdzi się w kolejnych eksperymentach. Nikt tak dobrze nie rozumie tej zasady jak ci, co uprawiają wspomniane nauki

przyrodnicze, gdzie każda teoria pozostawia wiele wątpliwości już choćby z racji ilości czynników, które należy uwzględnić w badaniach. Formułowanie hipotez wymaga zawsze przyjęcia daleko idących uproszczeń i to uproszczeń opartych na ogół na intuicji badacza. Powołuję się tu na Poppera z dwu powodów. Po pierwsze więc, to co mówię, moje tezy, nie dają się oczywiście zweryfikować. Po drugie, co niepomiernie ważniejsze, do techniki rolniczej muszą być stosowane te same reguły, które obowiązują w naukach przyrodniczych.

Nie dziwcie się Państwo, że ja, specjalista w dziedzinie techniki rolniczej a więc dyscypliny, która uznana była za dyscyplinę techniczną, zaczynam od doświadczeń nauk przyrodniczych. Jest ku temu wiele powodów.

Sięgając myślą do historii nauki łatwo się przekonać, że nauki techniczne i przyrodnicze z jednego pnia wyrastają. Przed laty uczeni i praktycy zajmujący się rolnictwem byli równie biegli w biologii co w technice. Spośród polaków Krzysztof Kluk, Dezydery Chłapowski, czy Karol Brzostowski mogą być tego przykładem. Zresztą i dziś niektórzy wybitni uczeni hołdują podobnym poglądom. Tak więc np. Richard Dawkins, profesor w Berkeley i Oksfordzie, w swej książce "Ślepy zegarmistrz" porównuje, a nawet zalicza skomplikowane urządzenia sztuki inżynierskiej do obiektów biologicznych. Jednak w ostatnim półwieczu specjaliści inżynierii rolniczej podejmowali usilne starania, by w klasyfikacji nauk ta gałąź wiedzy znalazła się w grupie nauk technicznych. Sam brałem przez wiele lat aktywny udział w tych staraniach, będąc primo voto absolwentem politechniki, przekonany o ich słuszności.

Dziś mogę powiedzieć: Bogu dzięki starania te się nie powiodły, gdyż teraz jestem pewien, że nasze miejsce jest właśnie przede wszystkim, wśród nauk przyrodniczych.

Inżynieria rolnicza jest dziedziną techniki, lecz techniki szczególnej, ingerującej w żywą materię, a więc poddanej wszystkim rygorom i ograniczeniom biologii zarówno w swej teorii jak i praktyce.

Jej zasadniczym celem jest nadanie tej materii określonych cech fizycznych lub chemicznych.

Jeśli technika rolnicza usprawnia pracę, oszczędza pieniądze i wysiłek, jeżeli nawet te czynniki były w swoim czasie przyczyną wprowadzania techniki do rolnictwa, to cel zasadniczy, który sformułowałem w poprzednim zdaniu, pozostaje najważniejszy.

Technika jest naszym własnym wytworem, jest tworzeniem maleńkich - w skali przyrody - organizmów, struktur, które mimo pozorów złożoności są tak proste, że można je zmusić do robienia tego, co chcemy. Budujemy swoje urządzenia tak, by działały deterministycznie i by mogły zostać w sposób deterministyczny matematycznie opisane. Ale żywy organizm, z którym nasze maszyny wchodzi w kontakt i którego cechy mają być kształtowane, nie poddaje się deterministycznemu

opisowi, nie mieści się więc w założeniach maszyny, o której możemy powiedzieć, że jest skonstruowana racjonalnie. Opis materiału biologicznego poddaje się prawom stochastyki i teorii chaosu. Można powiedzieć, że jest on w swej strukturze topologicznie nieciągły. Na ogół zaś nieciągłości są miejscami, gdzie drobna zmiana przyczyny prowadzi do ogromnej zmiany skutku. Tu właśnie stosuje się znany Lorenzowski "efekt motyla". Jak pisał Lorenz: "trzepotanie jednego motylego skrzydełka dzisiaj wytwarza drobną zmianę w stanie atmosfery. W pewnym okresie czasu, to co rzeczywiście dzieje się z atmosferą, odbiega od tego co działo by się gdyby motyla nie było. Tak więc, po miesiącu, tornado, które zniszczyłoby wybrzeże Indonezji, nie następuje. Lub, być może, dzieje się to, co nie miało nastąpić." I tak się właśnie dzieje w inżynierii rolniczej. Jest to powodem, że racjonalne opracowanie konstrukcji maszyny rolniczej należy do najtrudniejszych i do dziś nie zrealizowanych wyzwań techniki. Do chwili obecnej opierają się te konstrukcje, w swych funkcjonalnych założeniach, na doświadczeniu użytkownika, intuicji konstruktora, lub na stosowaniu metody prób i błędów.

Doświadczenia wyniesione z innych dziedzin techniki, przeniesione z praktyki twórców innych grup maszyn roboczych, mają w tym przypadku niewielką wartość. Można tu przytoczyć dowolnie wiele przykładów. A oto dwa spośród nich:

Przez lata przenoszono zasady budowy elementów roboczych maszyn do urabiania gruntów (budownictwo, drogownictwo, górnictwo) na elementy rolniczych maszyn uprawowych, zresztą z jak najgorszym skutkiem. W pierwszym bowiem przypadku urobiony grunt przenoszony jest na zwałowisko, a jego stan fizyczny jest konstruktorowi na ogół obojętny. Natomiast dla konstruktora maszyny uprawowej stan gleby po obróbce jest zasadniczym celem, przy czym gleba stanowi tu typowy materiał biologiczny. Warto dodać, że jednym z niewielu uczonych, którzy to dostrzegali był Michał Gołogurski.

Podobnie rzecz się miała w przypadku oddziaływania prędkości ruchu maszyny na środowisko biologiczne. Przyjmowało się, że wpływ ten jest pomijalnie mały, a jeśli już ma znaczenie to wyłącznie energetyczne. Tymczasem materiały te charakteryzują się przewagą odkształceń objętościowych nad odkształceniami postaciowymi, co wynika z faktu intensywnych procesów filtracyjnych. Są one więc bardzo wrażliwe na prędkość odkształcenia, która może całkowicie zmienić ich końcowe parametry fizyczne. Jako przykład można tu przyjąć, powszechnie dziś uznane jako silny czynnik biologicznie destrukcyjny, ugniatanie gleby przez koła pojazdów rolniczych i elementy robocze maszyn. Dotyczy to również wpływu prędkości na uszkodzenia materiału roślinnego przez elementy robocze maszyn do zbioru, transportu i przeróbki plonu.

Historyczne spojrzenie na rozwój urządzeń które dziś zaliczamy do szeroko rozumianej inżynierii rolniczej wskazuje, jak wspomniałem, że pierwotnie były one

budowane przez samych rolników z dostępnych im materiałów i do niedawna jeszcze powstawały one w oparciu o doświadczenia i na życzenie rolnika, który był twórcą założeń funkcjonalnych, zaś zadaniem technika była realizacja konstrukcji, którą można było wykonać przy ówczesnej technologii wytwarzania maszyn i o parametrach ekonomicznie uzasadnionych. Rolnik - prawdziwy twórca maszyny - którego doświadczenie oparte było na ciągłej obserwacji żywych organizmów i ich reakcji na czynniki zewnętrzne, choćby intuicyjnie reakcję tą uznawał za nadrzędną.

Jednak ilość energii wprowadzanej do środowiska przez ówczesne maszyny była znikoma i nie oddziaływała na stan ekosystemu.

Sytuacja zmieniła się zasadniczo wraz z rozwojem przemysłu, który z jednej strony zdolny był do wprowadzania źródeł energii o praktycznie nieograniczonej mocy, z drugiej zaś strony zaczął tworzyć maszyny, o których konstrukcji decydował nie względem na biologiczne skutki ich działania, lecz na możliwości techniczne i technologiczne przemysłu. Rolnik i jego rzeczywiste, długofalowe potrzeby, stawał się tu stroną słabszą, o ograniczonej możliwości wyboru maszyny, której konstruktor rzadko miał wystarczającą wiedzę, by przewidzieć dalekosiężne skutki jej działania. Przemysł, będący pod naciskiem konkurencji, nie był w stanie badać maszyn dostatecznie długo, by uzyskać pewność, że spełniają one wymagania funkcjonalne, a jednocześnie nie zagrażają ani środowisku, ani materiałowi biologicznemu będącemu obiektem ich działania.

Ciągle niewielu specjalistów zdaje sobie sprawę jak wielkie ilości energii wprowadza do środowiska współczesna technika rolnicza i jak kolosalne zaburzenia może ona wywołać w tak wrażliwym materiale biologicznym. Energia zużywana na procesy uprawowe jest wystarczająca do podniesienia całej warstwy ornej na wysokość kilkudziesięciu metrów, co oznacza destrukcję tej warstwy. W skrajnych przypadkach zużywa się 30 MJ na wytworzenie 1 MJ energii zawartej w produkcie.

To co powiedziałem zmierza do stwierdzenia, że nauki podstawowe, na których opierała się tradycyjna konstrukcja maszyn rolniczych, a więc nauki o zasadach konstrukcji mechanicznych, nie wnoszą obecnie wiele z tego, co można by uznać za twórczą działalność naukową. Nie istnieją w budowie maszyn rolniczych, a szerzej w inżynierii rolniczej, żadne problemy konstrukcyjne, czy materiałowe, których by nie rozwiązano w innych dziedzinach techniki. Pozostaje więc jedynie kwestia ich adaptacji uwarunkowanej względami ekonomicznymi. Lecz wyobrazić sobie można konstrukcję o dowolnym stopniu komplikacji, wymaganiach wytrzymałościowych i dowolnej trwałości i mieć pewność, iż da się ona zrealizować przy użyciu technologii stosowanych dziś w przemyśle lotniczym, obronnym czy samochodowym. Podobnie rzecz się ma z wyposażeniem elektrycznym i elektronicznym. W czym więc leży problem? Jaka jest przyczyna,

że maszyny obsługujące gospodarkę żywnościową, produkcję surowców biologicznych i ich przetwórstwo ciągle dalekie są nie tylko od doskonałości, lecz wykazują niedostatki będące stałym przedmiotem niezadowolenia ich użytkowników, szczególnie tych, którzy zdolni są do perspektywicznego spojrzenia na warunki produkcji?

Elementy wszystkich tego rodzaju maszyn można pod względem funkcjonalnym podzielić na dwie podstawowe grupy:

- elementy konstrukcyjne powtarzające się we wszystkich urządzeniach technicznych, których konstrukcja oparta jest na dobrze ugruntowanych podstawach, a których użycie ograniczone było jedynie względami ekonomicznymi, gdyż maszyny rolnicze musiały być relatywnie tanie z racji krótkiego okresu eksploatacji rocznej. Do tej grupy można zaliczyć wszelkie konstrukcje nośne. Źródła energii, układy napędowe, jezdne i itp.
- elementy mające bezpośredni kontakt z materiałem biologicznym. Rozumiem to pojęcie bardzo szeroko - chodzi nie tylko o tkankę roślinną, lub zwierzęcą, lecz o wiele innych materiałów nie zaliczanych powszechnie do tej grupy np. glebę, która cechuje się, podobnie jak tkanka roślinna nieciągłością, intensywnym metabolizmem i metamorficznością.

Tu sytuacja przedstawia się zupełnie inaczej. Brak jest bowiem podstawowych teorii pozwalających, w sposób wystarczająco przybliżony, opisywać takie ośrodki. Wskutek tego inżynier konstruujący maszyny rolnicze znajduje się w sytuacji konstruktora samolotu, który nie dysponowałby teorią aerodynamiki.

Można powiedzieć - dobrze! Ale istnieją i działają setki, jeśli nie tysiące różnych maszyn rolniczych wykonujących pracę prawidłowo. Maszyn, które przyczyniły się do burzliwego rozwoju wielu dziedzin gospodarki żywnościowej, do zwyczajki plonów, poprawy ich jakości, a nade wszystko do minimum zredukowały ciężką pracę rolnika i obniżyły koszt produkcji.

Trudno takim faktom zaprzeczyć, jednak gdy przyjrzeć się bliżej tym elementom maszyn, które oddziałują bezpośrednio na materiał biologiczny to łatwo się przekonać, że żaden z nich nie jest zbudowany w oparciu o rzeczywistą znajomość praw fizyki.

Uprawiamy miliony kilometrów kwadratowych pól używając narzędzi, których właśnie te elementy, które wchodzi w kontakt z glebą zbudowane zostały metodą prób i błędów trwającą przez wieki, bez znajomości jakiegokolwiek fizycznej teorii działania pługa i być może marnując ogromne ilości energii. Podobnie - młóciimy miliony ton zbóż nie wiedząc w gruncie rzeczy na czym polega proces omłotu i stosując kombajny, które są najbardziej nieefektywnymi i niszczącymi środowisko maszynami.

Istniejące teorie, na których opiera się konstrukcja elementów roboczych maszyn rolniczych, są teoriami tworzonymi a posteriori, których zadaniem było

uzasadnienie istniejących, a powstałych w wyniku nieraz wielowiekowej ewolucji, rozwiązań i nie spełniają jakichkolwiek warunków stawianych prawidłowo sformułowanym teoriom empirycznym. Wskutek tego są to teorie na ogół prymitywne i np. po dzień dzisiejszy nikt nie potrafi uzasadnić kształtu odkładnicy pługa mimo, iż w świecie pracuje ich dziesiątki milionów. Nawet tak prosty element jakim jest nożyk aparatu tnącego kombajnu ma kształt, który prócz tradycji, nie znajduje żadnego wytłumaczenia.

Powołuję się tu na przykłady z dziedziny produkcji roślinnej, gdyż nimi się szczególnie zajmowałem, ale da się przytoczyć wiele podobnych z dowolnej dziedziny inżynierii rolniczej.

Co z tego wszystkiego wynika?

Po pierwsze, że zadania inżynierii rolniczej uległy daleko idącej transformacji. Były one kolejno podporządkowane: wyeliminowaniu siły roboczej, zmniejszeniu wysiłku ludzi i zwierząt, zwiększeniu produkcji poprzez polepszenie jakości i zwiększenie terminowości prac, wreszcie poprawie warunków ergonomicznych. Obecnie celem podstawowym inżynierii rolniczej staje się, obok utrzymania wysokiej wydajności, uzyskanie najwyższej jakości produktu i ochrona środowiska, w szczególności środowiska rolniczego.

Po drugie, że jednym z priorytetów staje się ograniczenie nakładów energii, a to jest możliwe jedynie poprzez zmiany w technologii produkcji rolniczej i optymalne kształtowanie elementów roboczych. Zmiany technologii pociągają za sobą konieczność opracowania nowych rozwiązań technicznych.

Po trzecie, że inżynieria rolnicza stanie się w najbliższym czasie służebna w stosunku do dziedzin, które do tej pory były jej dalekie, na przykład do biotechnologii. Będzie musiała nie tylko tworzyć urządzenia do produkcji opartej o procesy biotechnologiczne, lecz także maszyny, dla których obiektem działania będą produkty powstałe w wyniku stosowania tych procesów.

Po czwarte, że samo rolnictwo będzie ulegało bardzo silnym wpływom wielu nowych czynników jak choćby:

- wspomnianej wyżej biotechnologii;
- rozwiniętym technikom informatycznym;
- wdrażaniu nowych technologii i materiałów;
- konieczności sprostania wymogom samo podtrzymującego się rozwoju - rozwoju, który nie będzie zagrażał przyszłości Ziemi.

Od prawie pół wieku obserwuję transformację tej dziedziny sztuki inżynierskiej i nauki, która mi jest najbliższa. Transformację wyrażającą się choćby w zmianach nazwy:

maszynoznawstwo rolnicze - mechanizacja rolnictwa - technika rolnicza - inżynieria rolnicza.

Ci koledzy, którzy podobnie jak ja od samego początku śledzą rozwój studiów

wyższych w tej dziedzinie, wiedzą jak burzliwe, a nieraz ostre dyskusje dotyczyły udziału w programach przedmiotów technicznych i przyrodniczych. Proporcje te ulegały stale zmianom i ciągle jeszcze są przedmiotem kontrowersji. Wydaje się jednak obecnie zupełnie pewne, iż jeśli specjalista inżynierii rolniczej ma sprostać przedstawionym zadaniom, to jego wiedza o materiale biologicznym musi nieporównanie wzrosnąć. Lecz nie chodzi tu jedynie o przyswojenie sobie istniejącej wiedzy biologicznej, lecz podjęcie badań nad właściwościami, które dotychczas mało, lub wcale nie interesowały biologów. Inżynier techniki rolniczej winien pełnić rolę, którą kiedyś w stosunku do konstruktora maszyny pełnił rolnik, niezależnie czy sam jest konstruktorem, czy rolę tę pełni ktoś inny.

Obecnie praca konstruktora została niezmiernie uproszczona. Znaczną część obliczeń i rysunków konstrukcyjnych wykonuje się komputerowo w programach CAD/CAM, wszystkie powtarzalne elementy, do bardzo skomplikowanych włącznie kupuje się gotowe w wyspecjalizowanych przedsiębiorstwach, którym jednak trzeba zdefiniować żądane parametry wyrobu. Pozostaje więc projektowanie tych elementów, które stanowią specyfikę maszyny działającej w środowisku biologicznym, co narzuca konieczność posiadania podobnie specyficznej wiedzy o tym środowisku.

Nasuwa się przypuszczenie, że wchodzimy w nową fazę inżynierii rolniczej, która wymaga innej nazwy, i taką najbardziej trafną wydaje się użyta w tytule "Bioinżynieria".

Jest to inżynieria wszystkich procesów działających na materiały biologiczne i to niezależnie czemu mają one w swej końcowej postaci służyć. Może bardziej trafnie można by to określić jako wiedzę o relacjach pomiędzy materią organiczną i stworzonym przez człowieka urządzeniem technicznym. Podobny problem wystąpił w medycynie i został nazwany inżynierią biomedyczną. Lecz skale są tu zupełnie odmienne. Skala zmienności materiału, skala ilości i wreszcie skala możliwych do przyjęcia kosztów.

Reorientacja na bioinżynierię wskazuje na konieczne kierunki przemian. Są to dla przykładu:

- biologia inżynierska - struktury, funkcje, przemiany energetyczne na poziomie komórki, organizmu i populacji;
- własności materiałów i struktur biologicznych, a więc swoista inżynieria materiałów biologicznych, wskazująca hodowcy co może zrobić dla ułatwienia zadań konstruktorom maszyn;
- fizjologia zwierząt służąca optymalizacji procesów hodowli i chowu, odchodząca od dzisiejszej, zbyt antropomorficznej interpretacji;
- mechanizacja produkcji opartej na kulturach tkankowych i innych produktach biotechnologii;
- modelowanie systemów biologicznych.

Listę tę można niemal dowolnie przedłużać zważając na stopień komplikacji problemu.

Reorientacja taka nie będzie procesem łatwym i szybkim, ale jest nieunikniona w świetle potrzeb gospodarki, a realna w świetle naszych możliwości. I wydaje mi się, że jesteśmy, tu w Polsce, w korzystnej, jeśli nie uprzywilejowanej sytuacji. Bardzo bowiem wcześnie w stosunku do reszty świata rozwinęły się w naszych placówkach badawczych prace, naprzód eksperymentalne, a następnie teoretyczne w dziedzinie, którą w Polsce (i wielu innych krajach) nazwano agrofizyką, a która w istocie stanowi podstawę bioinżynierii. Stała się ona także przedmiotem wykładów uniwersyteckich w kilku naszych uczelniach.

Wydaje mi się, że konieczne będzie i to być może w nie tak odległej przyszłości ponowne przemyślenie struktury naszych uczelni. Przywykliśmy już do tradycyjnego podziału na wydziały. Staje się jednak oczywiste, że zmieniający się profil specjalizacji wymaga zmian strukturalnych. Czy istniejący podział nie jest zbyt rozdrobniony? Czy nie istnieją ogromne pola wzajemnie pokrywających się przedmiotów? I wreszcie, czy nie kieruje nami pewien konserwatyzm?

Nie chcę wchodzić na cudze podwórko, ale jeśli chodzi o naszą dziedzinę, a więc inżynierię rolniczą, a w przyszłości, być może, bioinżynierię, to dostrzegam konieczność związania się z innymi specjalnościami. Można bowiem, już teraz przedstawić listę problemów, które przyszły inżynier działający w tej dziedzinie będzie musiał opanować:

- podstawy bioinżynierii;
- ekosystemy rolnicze;
- technologie produkcji roślinnej i zwierzęcej;
- mechanizacja rolnictwa;
- mechanizacja przetwórstwa i technika opakowań;
- mechanizacja ogrodnictwa;
- mechanizacja prac na terenach rekreacyjnych i w ochronie przyrody;
- kontrola erozji;
- produkcja w zbiornikach wodnych;
- mechanizacja leśnictwa;
- ochrona środowiska;
- budownictwo rolnicze;
- nawadnianie i melioracje;
- ergonomia;
- gospodarka energetyczna.

Nie jest obecnie moim zamiarem sugerowanie jakichkolwiek konkretnych zmian strukturalnych, sądzą jednak że jest się nad czym zastanowić.

Nadprodukcja żywności w krajach uprzemysłowionych spowodowała, w świadomości społecznej, spadek zainteresowania rolnictwem. Ale 1,5 miliarda



ludzi żyje w stanie permanentnego głodu. Brak jest skutecznych mechanizmów translokacji nadmiaru żywności na tereny jej stałego niedoboru. Przyczyny tego są złożone i przeszkód jest wiele - i ekonomicznych i społecznych. Ale nawet gdyby wszystkie te przeszkody zostały usunięte, to przy obecnej powierzchni upraw i istniejącej technologii, zbliżamy się do granicy możliwości żywienia istniejącej populacji Ziemi, a w 2050 r. żywności nie wystarczy nawet, gdy zagospodarujemy wszystkie przydatne do tego obszary i zabezpieczymy na nich produkcję na poziomie obecnie spotykanym w najbardziej rozwiniętych krajach. Nie starczy również energii by niezbędne prace wykonać, o ile pozostaniemy przy istniejących technologiach.

Stoimy więc przed wyzwaniem, któremu sprostać można jedynie odchodząc od sposobów gospodarowania, jakie obecnie uważa się za przodujące. Widzimy już pierwsze zwiastuny tych technologii, choćby w postaci tzw. SSCM (Site Specific Crop Menagement). Technologie te muszą być maksymalnie energooszczędne, a więc naprawdę optymalne. To zaś jest możliwe, jeśli uda się stworzyć prawdziwy, naturalny związek pomiędzy biologią i techniką.

I jest to dla nauki wyzwanie na skalę XXI wieku.

## **From agricultural engineering to bioengineering**

*Janusz Haman*

### **Summary**

Against the background of development in agricultural sciences all over the world and in Poland, the scientific and technical progress in agricultural engineering within last 50 years was evaluated. Successive development stages of agricultural engineering were characterised beginning from the theory of farm machine construction up to nowadays and future bioengineering.