

Inteligentny Automat Piorący

Przykład materiałów dydaktycznych Instytutu SI i MM

O czym informuje wykład?

Każdy wsad do pralki (rzeczy, które właśnie chcemy wyprać) jest nieco inny pod względem wagi oraz procentowego udziału materiałów naturalnych i sztucznych (skład wsadu). Wykład informuje o tym, jak inteligentny automat piorący (IAP) potrafi zdobyć wiedzę zarówno o wadze wsadu (nie ważąc go) jak i o składzie wsadu, a następnie, na podstawie tej wiedzy maksymalnie obniżyć koszty prania przy zachowaniu pożądanej jego jakości (czystości prania).

W jakim kierunku podąża obecnie rozwój automatów piorących?

Jeszcze w latach 50-tych i 60-tych XX wieku pranie ręczne było w Polsce i innych krajach powszechne.

I etap rozwoju pralek

W powyższym okresie wprowadzono w Polsce pralki mechaniczne, do których należało ręcznie wlać odpowiednią ilość wody i wsypać odpowiednią ilość proszku. Konieczne też było nieustanne nadzorowanie procesu prania i wyłączenie go w odpowiednim momencie. Pralka mechaniczna (najpopularniejsza w Polsce – Frania) potrafiła jedynie obracać wsad w wodzie z proszkiem. Nie potrafiła go natomiast płukać czy wirować (osuszać).



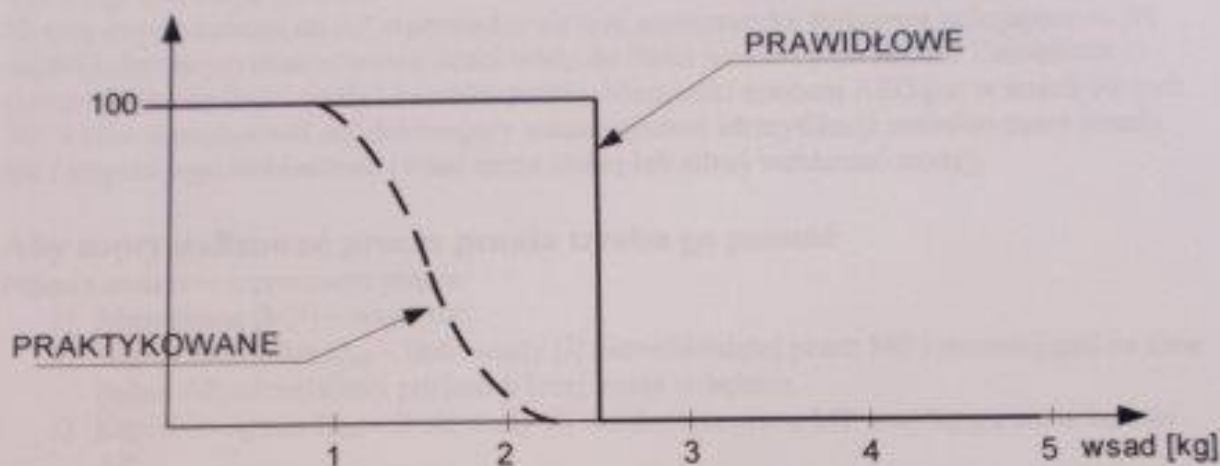
II etap rozwoju pralek

W Polsce pod koniec lat 70-tych (w innych krajach wcześniej) wprowadzono automaty piorące (AP).

Automaty te, same, bez udziału człowieka, realizują proces prania w cyklu (pranie wstępne, wypompowanie wody), pranie właściwe, wypompowanie wody, kilkukrotne płukanie połączone z wirowaniem, usuwanie wody. Konwencjonalne AP wlewają do bębna zawsze stałą ilość wody, niezależnie od ilości wsadu i jego składu. Przebieg prania trzeba każdorazowo zaprogramować przez wciskanie odpowiednich przycisków.

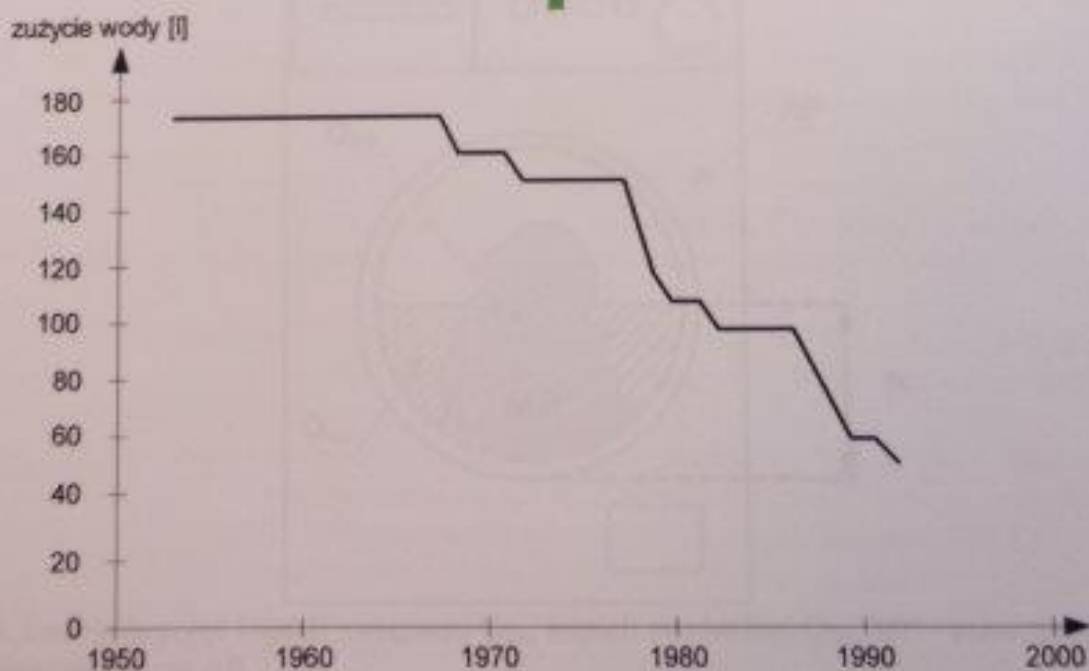
Jeżeli osoba obsługująca pralkę nie zna jej dokładnie, często popełnia błędy w jej programowaniu, co prowadzi do wzrostu kosztów prania (zużycie energii, wody, proszku) lub

do obniżenia jakości prania. Aby zmniejszyć koszty prania wprowadzono w AP przycisk zwany „pranie ekonomiczne” lub „pranie 1/2”. Przycisk ten należy wciskać, gdy bęben AP wypełniony jest połowicznie, gdy nie ma pełnego wsadu. AP wlewa wówczas tyle wody, ile potrzeba do wyprania 1/2 pełnego wsadu. Umożliwiło to pewne zmniejszenie kosztów prania. Jednak przycisk „1/2” nie umożliwia pełnej optymalizacji zużycia wody i energii, bowiem ilość wlewanej wody dobrana jest tutaj do 1/2 wsadu maksymalnego. Jeżeli natomiast pierzemy 1/4 lub 1/3 wsadu maksymalnego to zużycie wody i energii jest za duże. Badania statystyczne wykazały, że użytkownicy AP włączają przycisk 1/2 zwykle wówczas, gdy wsad jest znacznie mniejszy niż połowa wsadu maksymalnego (2,5 kg), rys. 2.



Rys. 2. Prawidłowe i praktykowane stosowanie przycisku „1/2”.

Pierwsze AP pojawiły się w Europie Zachodniej w latach 50-tych XX w. Zużywały one bardzo dużo wody na 1 kg wsadu (tzw. właściwe zużycie wody) bo aż około 180 l, rys. 3.



Rys. 3. Obniżenie zużycia wody przez AP w kolejnych latach, w miarę ich udoskonalania.

Zużycie wody jest wielkością decydującą o kosztach prania. Jeżeli bowiem zużycie wody jest duże, to potrzeba też dużo energii elektrycznej na podgrzanie wody oraz dużo proszku, aby uzyskać takie jego stężenie w wodzie, które zapewni wysoką czystość pranych ubrań. Z tego względu konstruktorzy starali się ulepszać AP tak, aby ich kolejne wersje zużywały coraz mniej wody. Rys. 3 pokazuje, że dzięki tym ulepszeniom właściwe zużycie wody w AP zostało zmniejszone z około 180 l do około 45 l przy 1 kg wsadu, a przy 5 kg wsadu do około 60 l. Dzięki wprowadzeniu przycisku „1/2” uzyskano dalsze obniżenie właściwego zużycia wody z około 45 l przy 1 kg wsadu do około 33 l. Ponieważ jednak opcja „1/2” niedokładnie dopasowuje ilość wody do ilości i składu wsadu, możliwa jest dalsza redukcja zużycia wody, energii elektrycznej i proszku.

III etap rozwoju pralek

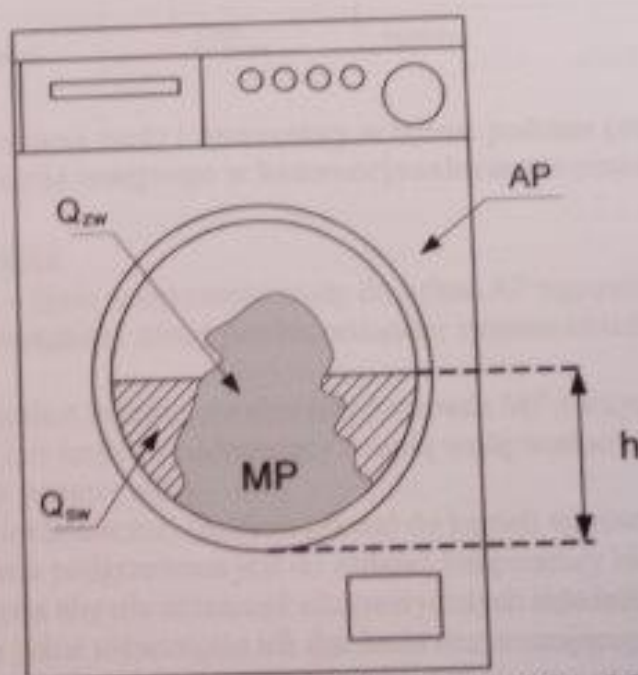
W tym etapie rozwoju do AP wprowadza się tzw. **automatykę ilościową** polegającą na jak najdokładniejszym dostosowaniu ilości wody do ilości wsadu i jego składu. Umożliwia to dalsze obniżenie ilości wody i kosztów prania. Niemiecki koncern AEG już w latach 90-tych XX wieku skonstruował AP dokonujący automatycznej identyfikacji zarówno masy wsadu jak i stopnia jego wchłaniania (wsad może słabej lub silnej wchłaniać wodę).

Aby zoptymalizować proces prania trzeba go poznać

Pojęcia związane z procesem prania:

- 1) Masa prana (MP) – wsad AP.
- 2) Kąpiel swobodna Q_{sw} – ilość wody [l] niewchłoniętej przez MP i pozostającej na dnie bębna AP, określającej poziom h [cm] wody w bębnie.
- 3) Kąpiel związana Q_{zw} – ilość wody [l] wchłonięta przez MP znajdującą się w bębnie AP.
- 4) Kąpiel całkowita Q_c – całkowita ilość wody [l] wprowadzona do bębna AP składająca się zarówno z wody wchłoniętej (Q_{zw}) jak i niewchłoniętej przez MP.

$$Q_c = Q_{sw} + Q_{zw}$$

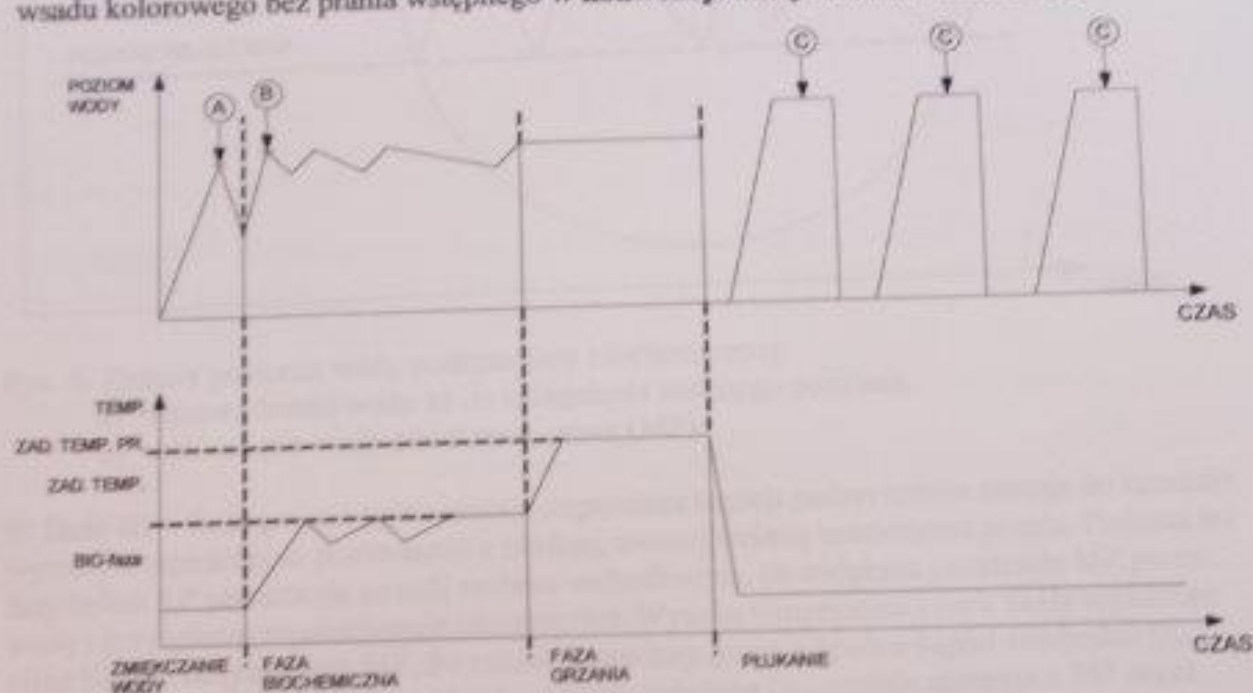


Rys. 4. Ilustracja pojęć kąpeli związanej Q_{zw} , kąpeli swobodnej Q_{sw} , MP – masa prana w automacie piorącym AP.

- 5) Punkt nasycenia Q_{max} masy pranej – maksymalna ilość wody [l], jaką dana MP może wchłoniąć.
- 6) Q_{pl} – ilość wody [l] potrzebna do płukania danej MP. Eksperymentalnie zbadano, że dobre efekty płukania uzyskuje się stosując następującą ilość wody:

$$Q_{\text{pl}} \approx Q_c = Q_{\text{sw}} + Q_{\text{zw}}$$

Oznacza to, że jeśli wartość kąpielii całkowitej Q_c [l] określimy niedokładnie, z nadmiarem, to również do płukania AP wprowadzi zbyt dużo wody. Ponieważ płukań MP jest kilka, całkowite zużycie wody przez AP silnie wzrośnie. Dlatego dokładne określenie kąpielii całkowitej Q_c dla procesu prania jest niezwykle ważne, gdyż decyduje ona o całkowitym zużyciu wody przez AP. Na rys. 5 przedstawiony jest przebieg typowego procesu prania wsadu kolorowego bez prania wstępnego w **konwencjonalnym** automacie piorącym.



Rys. 5. Przebieg zmian poziomu wody i temperatury w bębnie podczas prania wsadu kolorowego, bez prania wstępnego w **konwencjonalnym** automacie piorącym.

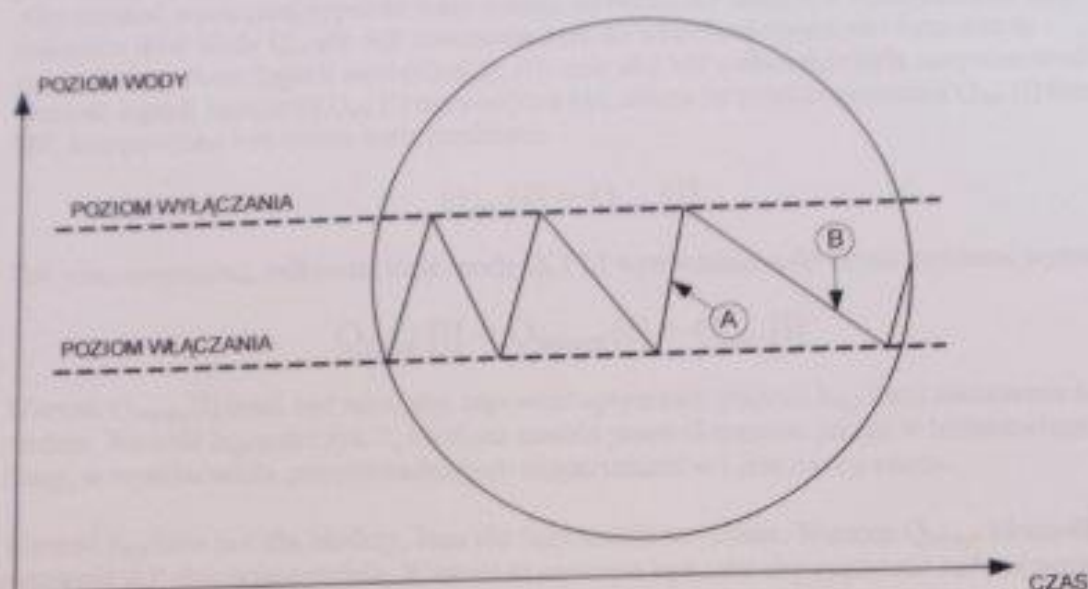
Przebieg procesu prania

W **pierwszej fazie** prania – fazie zmiękczenia wody do bębna AP wprowadzona jest chłodna woda w takiej ilości aby osiągnięty został pewien pożądany poziom określony jako punkt A na rys. 5.

Jednak poziom ten natychmiast zaczyna się obniżać, ponieważ MP zaczyna wchłaniać wodę. Do kąpielii wprowadzany jest środek zmiękczący twardą wodę wodociągową. W fazie zmiękczenia woda nie jest podgrzewana.

W **fazie drugiej** – fazie biochemicznej (biofaza prania) do kąpielii wprowadzany jest piorący środek biochemiczny. Woda podgrzewana jest do zadanej temperatury biofazy. Temperatura ta nie może być zbyt wysoka aby nie zniszczyć enzymatycznych składników środka piorącego i umożliwić im pełne rozwinięcie ich działania oczyszczającego. Ponieważ woda bez przerwy jest wchłaniana przez MP konieczne jest jej kilkukrotne uzupełnianie do momentu aż MP całkowicie nasyci się wodą co można poznać po tym, że poziom wody w bębnie przestaje spadać. Oznacza to, że MP wchłonęła wodę w ilości w pełni ją nasycającej zwanej **punktem nasycenia** Q_{max} [l]. Ilość tej wody jest inna dla każdej masy piorącej. Rośnie

ona wraz z wagą i objętością MP oraz z zawartością naturalnych włókien MP. Jeżeli udział sztucznych włókien w MP rośnie to MP wchłania mniej wody. Jak jednak zbadać udział sztucznych włókien w MP?



Rys. 6. Zmiany poziomu wody podczas fazy biochemicznej:

- wprowadzeniu wody aż do osiągnięcia zadanego poziomu.
- wchłanianie wody przez masę praną (MP).

W **fazie III** – fazie grzania (gotowania) temperatura kąpieli podwyższona zostaje do znacznie wyższej temperatury w porównaniu z biofazą, zwanej zadaną temperaturą prania. Podczas tej fazy bęben AP porusza się powoli ruchem wahadłowym, co zwiększa penetrację MP przez wodę i przyspiesza wypłukiwanie nieczystości. Wysoka temperatura i ruch wody wywołuje efekt silnego oczyszczenia MP. Po zakończeniu fazy grzania brudna kąpiel swobodna Q_{sw} zostaje wypompowana z bębna a brudna kąpiel związana Q_{zw} zostaje usunięta z MP przez wirowanie.

Faza IV – płukanie/wirowanie

Do bębna wprowadzona jest chłodna woda w ilości równej kąpeli całkowitej $Q_c = Q_{sw} + Q_{zw}$. Wartość kąpieli Q_{zw} została wcześniej samoczynnie zidentyfikowana przez AP. Dzięki temu znana jest wartość kąpieli całkowitej. W fazie IV przeprowadzane są kolejno 3 razy operacje średnio-intensywnego płukania/wirowania a następnie 4-ta operacja intensywnego płukania/wirowania. Po każdej operacji brudna woda usuwana jest z bębna.

W wyniku fazy IV MP zostaje oczyszczona z resztek zanieczyszczenia oraz w wysokim stopniu osuszona. Skraca to późniejszy okres dokładnego suszenia. Podczas całego procesu prania poziom wody h [cm] w bębnie mierzony jest przez miernik ciśnienia. Na podstawie informacji specjalny sterownik steruje poziomem wody w bębnie zgodnie z zadanym programem prania.

Jeżeli na skutek wchłaniania wody jej poziom obniży się poniżej poziomu zadanego, sterownik wprowadza do bębna odpowiednią ilość wody aż do uzyskania pożądanego poziomu.

Co jest najważniejszą informacją dla sterownika AP umożliwiającą minimalizację zużycia wody przy jednoczesnym zapewnieniu wysokiej jakości prania?

Aby uzyskać wymaganą czystość masy pranej, do bębna AP musi być wprowadzona taka całkowita ilość wody Q_c , aby MP zanurzona była do właściwej wysokości (oznacza to optymalną wielkość kąpieli swobodnej Q_{sw} [l]) oraz aby MP całkowicie była nasycona wodą. Wartość kąpieli związanej Q_{zw} [l] nie powinna być niższa od punktu nasycenia Q_{nas} [l] danej MP, lecz powinna być równa temu punktowi:

$$Q_{zw} [l] = Q_{nas} [l]$$

Tak więc optymalna, całkowita ilość wody Q_c [l] wprowadzona do bębna powinna wynosić:

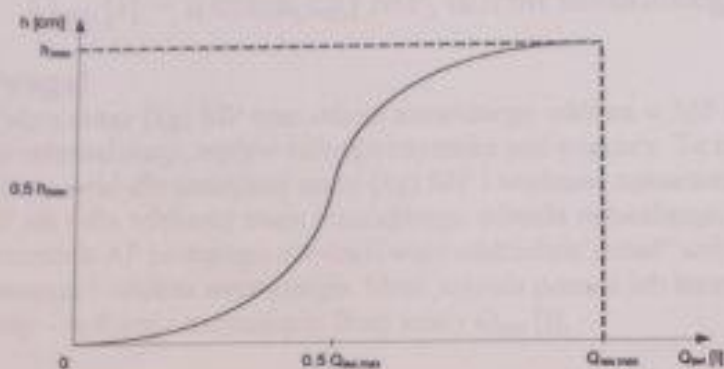
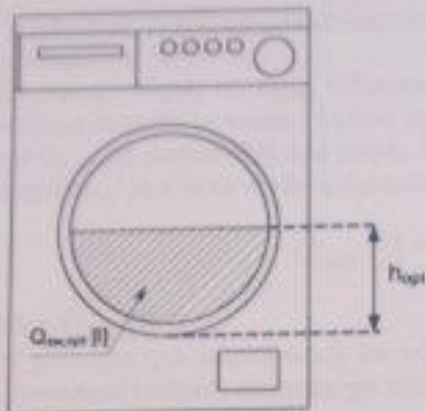
$$Q_{c,opt} [l] = Q_{sw,opt} [l] + Q_{nas} [l]$$

Wartość $Q_{sw,opt}$ [l] musi być taka, aby zapewnić optymalny poziom h_{opt} [cm] zanurzenia MP w wodzie. Wartość h_{opt} patrz rys. 1, ustalona została przez ekspertów prania w laboratorium firmy, w wyniku wielu przeprowadzonych eksperymentów i jest z góry znana.

Wartość h_{opt} inna jest dla biofazy, inna dla fazy prania na czysto. Wartość $Q_{sw,opt}$ identyfikuje sterownik AP eksperymentalnie. Wartość ta powinna być taka aby zapewnić zadaną wartość poziomu h_{opt} [cm] dla danej fazy prania ustaloną przez ekspertów.

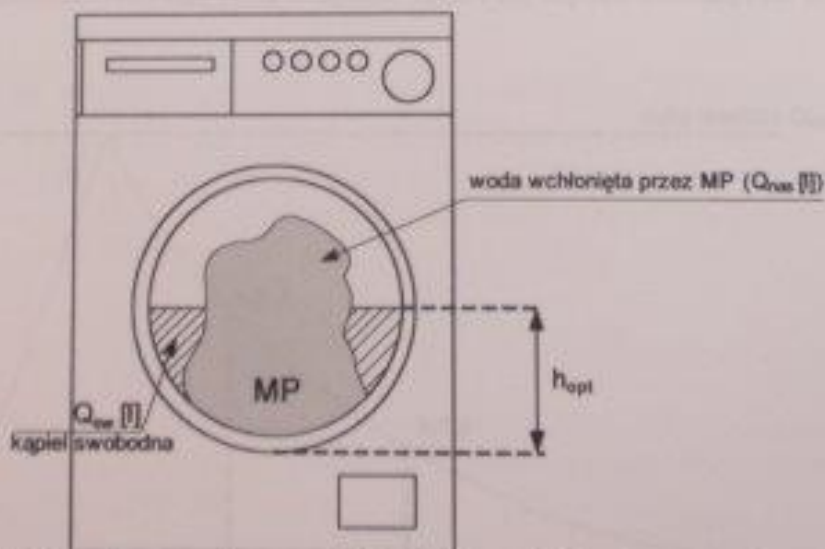
Sposób eksperymentalnej identyfikacji ilości wody $Q_{sw,opt}$ zapewniającej poziom h_{opt}

Gdyby w bębnie AP nie było żadnej MP (rys.7) to znając optymalny poziom wody h_{opt} ilość wody potrzebną dla jego uzyskania można by bez problemu obliczyć na podstawie znajomości geometrii i wymiarów bębna. Niestety w bębnie (rys.8) znajduje się MP o nieznanym objętości i masie. W związku z tym sterownik AP identyfikuje objętość kąpieli swobodnej w trakcie jednego tylko eksperymentu. W trakcie tego eksperymentu pompa szybko napełnia bęben wodą do poziomu h_{opt} a miernik przepływu mierzy objętość wpompowanej wody. Ponieważ napełnianie bębna było szybkie, MP znajdująca się w bębnie nie zdążyła jeszcze wchłonąć wody, względnie wchłonęła tylko znikomą jej ilość. Stąd objętość wpompowanej wody jest w przybliżeniu równa kąpieli swobodnej $Q_{sw,opt}$. Po chwili jednak MP znajdująca się w bębnie rozpoczyna wchłanianie wody co powoduje obniżanie się jej poziomu poniżej h_{opt} (rys.5). Jak będzie dalej pokazane, szybkość obniżania się poziomu wody umożliwi sterownikowi AP identyfikację objętości wody nasycającej wsad Q_{nas} [l], która wraz z objętością $Q_{sw,opt}$ stanowi całkowitą ilość wody Q_c [l] potrzebną do realizacji prania.



Rys. 7. Zależność między poziomem h [cm] wody w AP a ilością wody Q_{sw} [l] wprowadzoną do bębna przy braku MP w bębnie.

Jeżeli w bębnie znajduje się MP to woda przez nią wchłonięta znajduje się nie tylko poniżej poziomu h_{opt} lecz także powyżej tego poziomu, rys. 8.



Rys. 8. Wskutek chłonięcia wody przez MP – woda znajduje się powyżej poziomu h_{opt} [cm] kąpieli swobodnej.

Do bębna AP musi być wprowadzona taka ilość wody $Q_{c,opt}$ [l], która zapewni optymalny poziom wody h_{opt} [cm] kąpieli swobodnej oraz pełne nasycenie wodą MP wystającej ponad

poziom kąpieli swobodnej. Jeżeli wprowadzimy do bębna mniej wody niż $Q_{c,opt}$ [l] wówczas AP nie wypierze właściwie MP.

Jeśli wprowadzimy wody więcej niż $Q_{c,opt}$ wówczas zużyjemy zbyt dużo wody i energii elektrycznej a stężenie proszku w wodzie będzie za niskie, co pogorszy jakość prania.

Ponieważ wartość $Q_{c,opt}$ [l] można obliczyć znając h_{opt} [cm] to nieznaną wielkością wymagającą identyfikacji jest ilość wody nasycenia MP, ponad poziom h_{opt} .

$$Q_{nas} [l] = ?$$

Od czego zależy Q_{nas} [l] ?

Do nasycenia MP potrzeba tym więcej wody im większa jest masa [kg] MP oraz im większa jest procentowa zawartość (udział) naturalnego włókna w MP.

$$Q_{nas} [l] = f(\text{masa [kg] MP, udział naturalnego włókna [%] w MP})$$

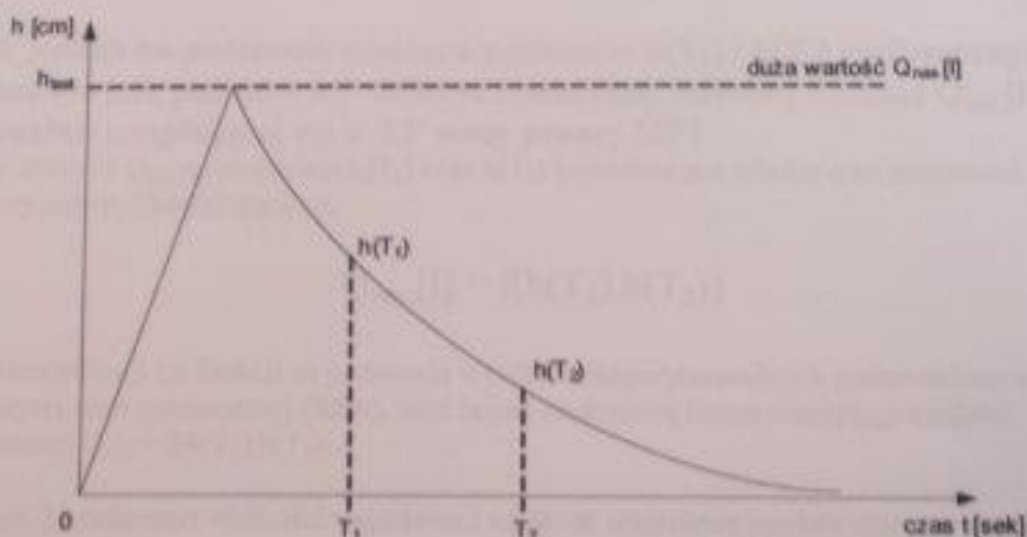
Uwaga!

Wpływ masy [kg] MP oraz udział naturalnego włókna w MP [%] sumują się. Nie jest istotne dla optymalizacji, wpływ którego czynnika jest większy. Ta sama wartość Q_{nas} [l] może występować dla mniejszej masy [kg] MP i większej zawartości włókna naturalnego [w %] w MP jak i dla większej masy i mniejszego udziału naturalnego włókna.

Sterownik AP piorącego nie musi więc oddzielnie „znać” ani wartości masy MP ani zawartości włókna naturalnego. Musi jedynie poznać ich łączny wpływ na ilość wchłanianej wody – w formie nasycającej ilość wody Q_{nas} [l].

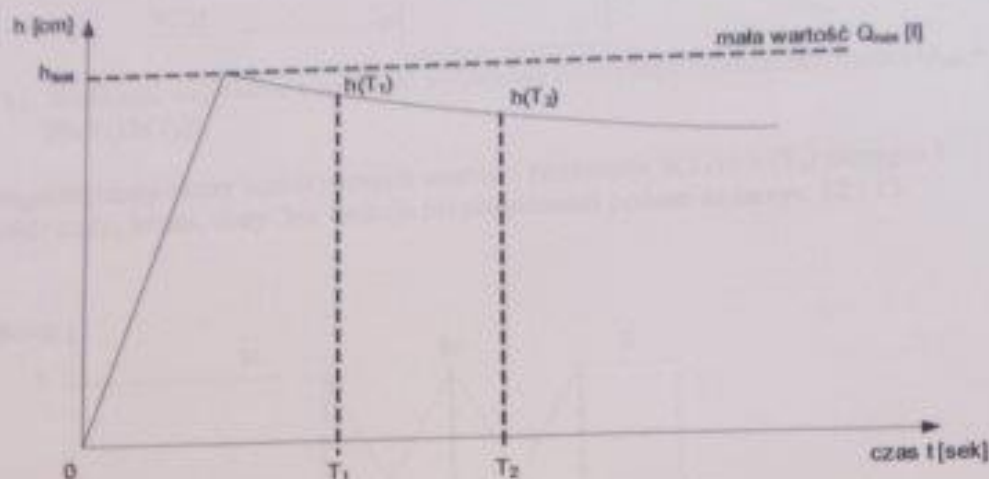
Jak zidentyfikować ilość wody Q_{nas} [l] nasycającą daną MP?

Ilość wody całkowicie nasycającą daną MP można zidentyfikować na podstawie pomiaru szybkości wchłaniania wody przez MP. Jeżeli wchłanianie danej MP jest wysokie, to początkowy poziom wody h_{best} [cm] w bębnie będzie się szybko obniżał, rys. 9.



Rys. 9. Obniżanie się poziomu wody h [cm] w bębnie od poziomu h_{best} [cm] przy dużej wchłanianości MP. Oznacza to, że masa MP jest wysoka a udział naturalnego włókna w MP jest duży.

Jeżeli wchłaniałość danej MP jest niska to początkowy poziom wody h_{test} [cm] będzie się obniżał powoli, rys. 10.



Rys. 10. Obniżania się poziomu wody h [cm] w bębnie od poziomu h_{test} [cm] począwszy przy małej wchłaniałości MP.

Wolne obniżanie się poziomu wody świadczy, że masa MP jest niska i udział naturalnego włókna jest mały.

O tym, czy wartość nasycenia Q_{nas} [l] jest duża czy mała wywnioskować można mierząc szybkość wchłaniania wody przez daną MP. O szybkości tej świadczy poziom wody $h(T_1)$ i później pomierzony poziom $h(T_2)$.

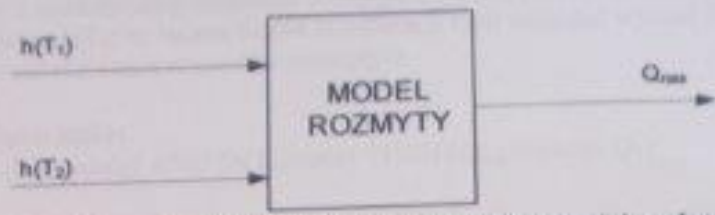
Jak jednak na podstawie pomiaru poziomów $h(T_1)$ i $h(T_2)$ realizowanych przez czujnik poziomu AP obliczyć konkretną liczbową wartość Q_{nas} [l] dla aktualnie znajdującej się w AP masy pranej MP?

Aby obliczyć Q_{nas} na podstawie $h(T_1)$ oraz $h(T_2)$ potrzebna jest wiedza o tej zależności, czyli należy zidentyfikować funkcję:

$$Q_{\text{nas}} [l] = f(h(T_1), h(T_2))$$

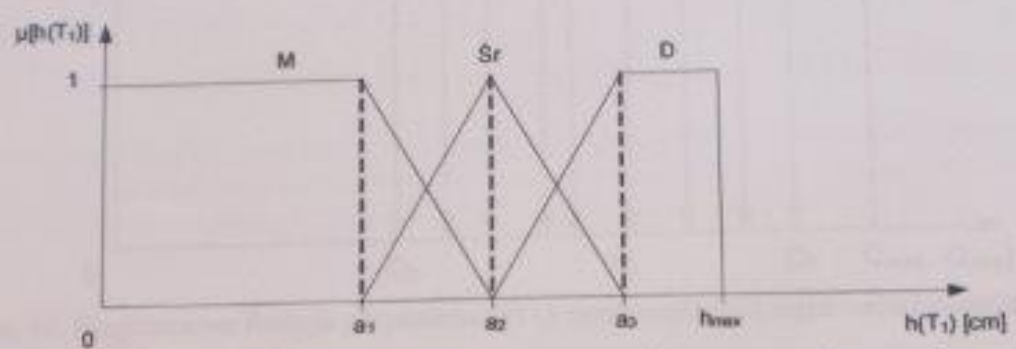
Do identyfikacji tej funkcji na podstawie wyników eksperymentalnych postanowiono użyć **rozmytej sieci neuronowej (RSN)**. Sieć ta jest neuronową formą rozmytego modelu zależności $Q_{\text{nas}} = f(h(T_1), h(T_2))$.

Na rys. 11 pokazano wielkości wejściowe i wielkość wyjściową modelu rozpatrywanej zależności.

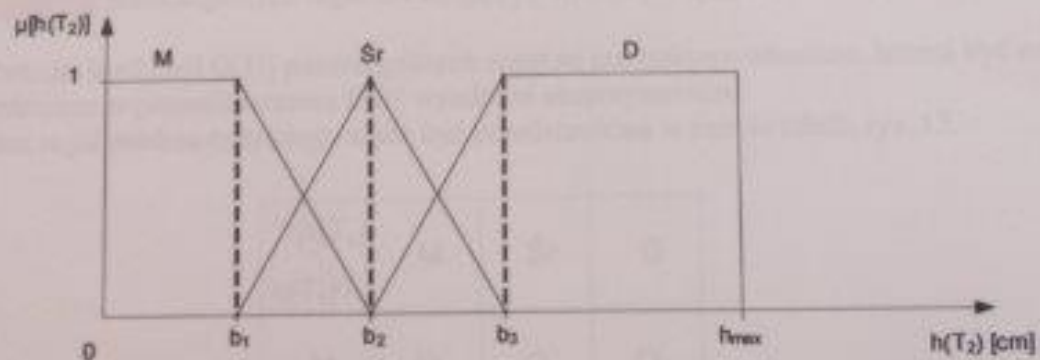


Rys. 11. Wielkości wejściowe i wielkość wyjściowa rozmytego modelu zależności $Q_{max} = f(h(T_1), h(T_2))$.

Dla lingwistycznej oceny numerycznych wartości poziomów $h(T_1)$ i $h(T_2)$ przyjęto 3 wartości: mały, średni, duży. Ich funkcje przynależności podane są na rys. 12 i 13.



Rys. 12 Funkcje przynależności lingwistycznych ocen pierwszego pomiaru poziomu wody $h(T_1)$.



Rys. 13 Funkcje przynależności lingwistycznych ocen drugiego pomiaru poziomu wody $h(T_2)$.

Wartość poziomu wody w bębnie AP nie może przyjmować wartości nieskończenie wielkich. Jest ona ograniczona do wysokości bębna h_{max} .
 Należy zauważyć, że funkcje przynależności drugiego pomiaru wody $h(T_2)$ są przesunięte w stronę mniejszych wartości poziomu, bowiem poziom $h(T_2)$ jest w AP zawsze mniejszy niż $h(T_1)$.
 Wartości modalne $\{a_1, a_2, a_3\}$ i $\{b_1, b_2, b_3\}$ funkcji „mały, średni, duży” są początkowo nieznane. Ich wartości zostaną określone w procesie uczenia RSN wynikami eksperymentów.

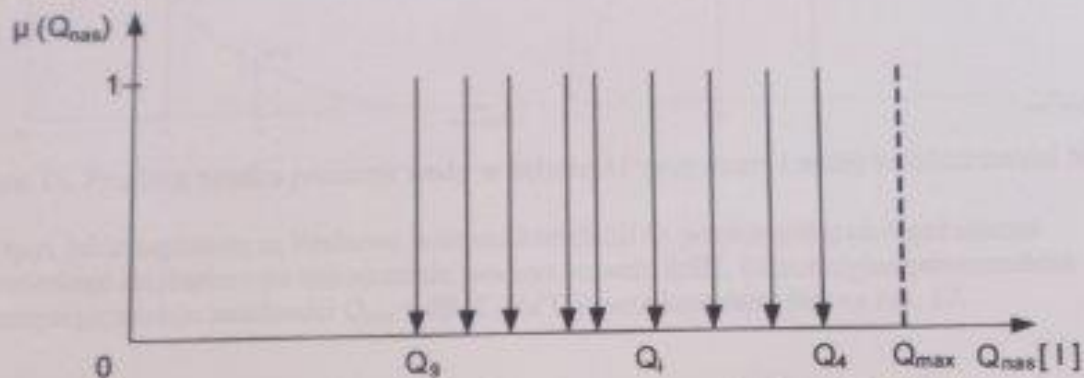
Ponieważ istnieją 3 wartości lingwistyczne oceny poziomu $h(T_1)$ i 3 wartości (mały, średni, duży) oceny poziomu $h(T_2)$ to łączna liczba kombinacji tych wartości wynosi $3 \cdot 3 = 9$. Taka też jest liczba reguł wnioskowania w modelu rozmytym.

Reguły wnioskowania:

R1: IF $[h(T_1)\text{mały}]$ AND $[h(T_2)\text{mały}]$ THEN $(Q_{\text{nas}} = \text{około } Q_1)$

R9: IF $[h(T_1)\text{duże}]$ AND $[h(T_2)\text{duże}]$ THEN $(Q_{\text{nas}} = \text{około } Q_9)$

Funkcje przynależności konkluzji reguł mają formę singletonów przedstawionych na rys. 14.



Rys. 14. Singletonowe funkcje przynależności Q_i poszczególnych reguł wnioskowania modelu rozmytego.

Uwaga!

Wartość wody nasycającej Q_{nas} nie może przekroczyć objętości Q_{max} bębna AP. Dlatego wartości $Q_i [l]$ będące wartościami $Q_{\text{nas}} [l]$ odpowiadającymi sytuacjom opisanym przez przesłanki poszczególnych reguł nie mogą być wyższe od Q_{max} !

Wartości konkluzji $Q_i [l]$ poszczególnych reguł są początkowo nieznanne. Muszą być one nastrojone w procesie uczenia RSN wynikami eksperymentów.

Baza reguł modelu rozmytego może być przedstawiona w formie tabeli, rys. 15.

$h(T_1) \backslash h(T_2)$	M	Śr	D
M	Q_1	Q_4	Q_7
Śr	Q_2	Q_5	Q_8
D	Q_3	Q_6	Q_9

Q_{nas} →

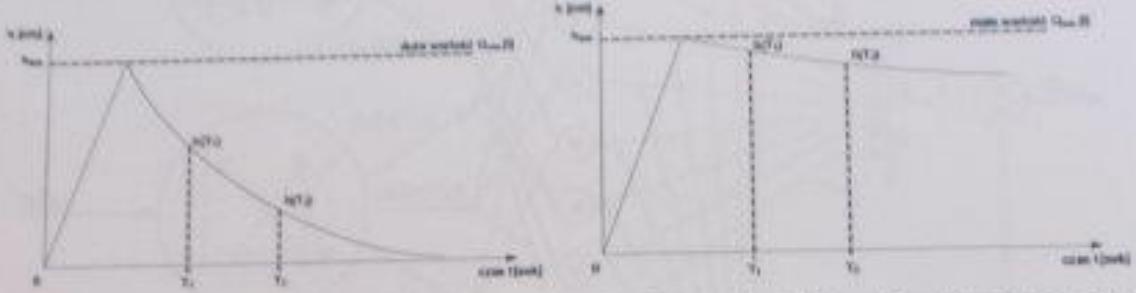
Rys. 15. Baza reguł rozmytego modelu zależności $Q_{\text{nas}} = f(h(T_1), h(T_2))$.

Należy zauważyć, że wartość $Q_1 [l]$ nie musi być mniejsza niż Q_2 i Q_9 . Największą wartością Q_i wody nasycającej będzie prawdopodobnie wartość w regule R4 opisującej sytuację, w

której różnica poziomów $h(T_1)$ i $h(T_2)$ jest największa, co świadczy o największej wchłanialności MP.

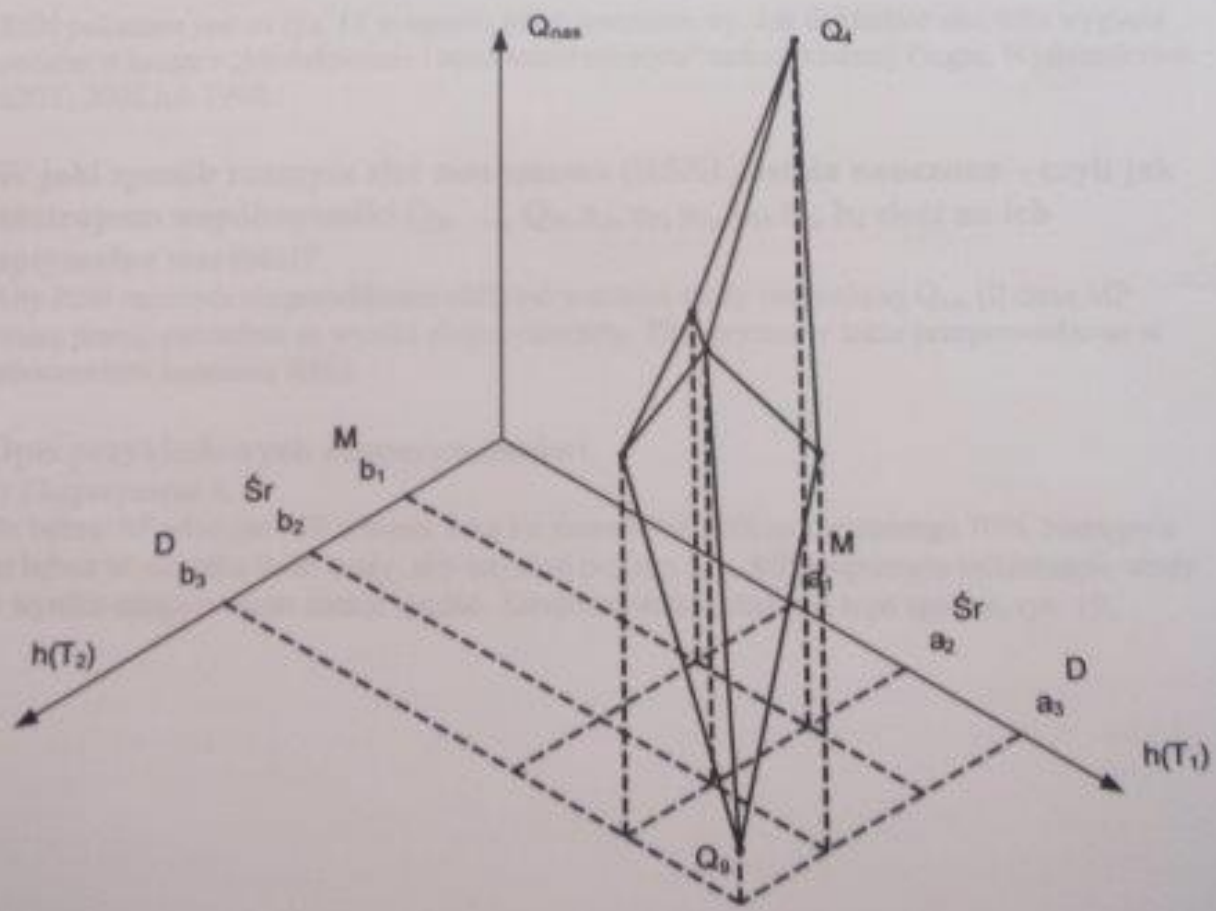
R4: IF $[h(T_1)\text{średnie}]$ AND $[h(T_2)\text{średnie}]$ THEN $(Q_{nas} = \text{około } Q_4)$

Aby zrozumieć powyższe stwierdzenia należy przeanalizować przebiegi wchłaniania wody MP o dużej i małej wchłanialności przedstawione na rys. 16.



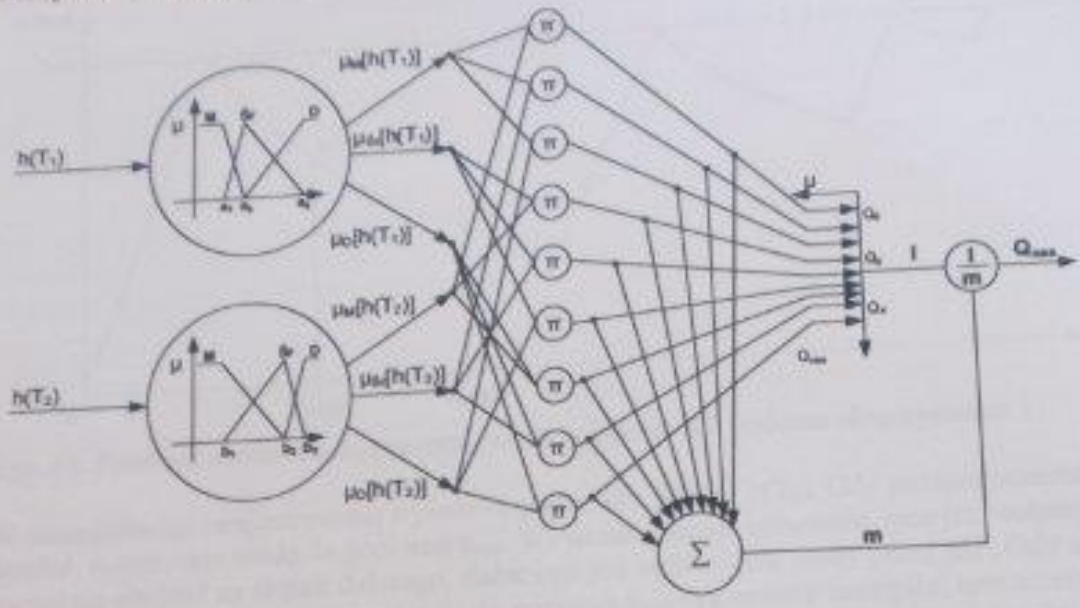
Rys. 16. Przebieg spadku poziomu wody w bębnie AP przy dużej i małej wchłanialności MP.

O tym, jakie naprawdę są liczbowe wartości konkluzji Q_i poszczególnych reguł można dowiedzieć się dopiero po zakończeniu procesu uczenia RSN. Orientacyjna powierzchnia rozmytego modelu zależności $Q_{nas} = f(h(T_1), h(T_2))$ przedstawiona jest na rys. 17.



Rys. 17. Orientacyjna, przybliżona powierzchnia rozmytego modelu nieliniowej zależności $Q_{nas} = f(h(T_1), h(T_2))$.

Na rys. 18 przedstawiono RSN będącą neuronową formą modelu rozmytego.



RSN pokazana jest na rys. 18 w sposób nieco uproszczony. Jak dokładnie sieć taka wygląda podano w książce „Modelowanie i sterowanie rozmyte” autor: Andrzej Piegat, Wydawnictwo EXIT, 2001 lub 1999.

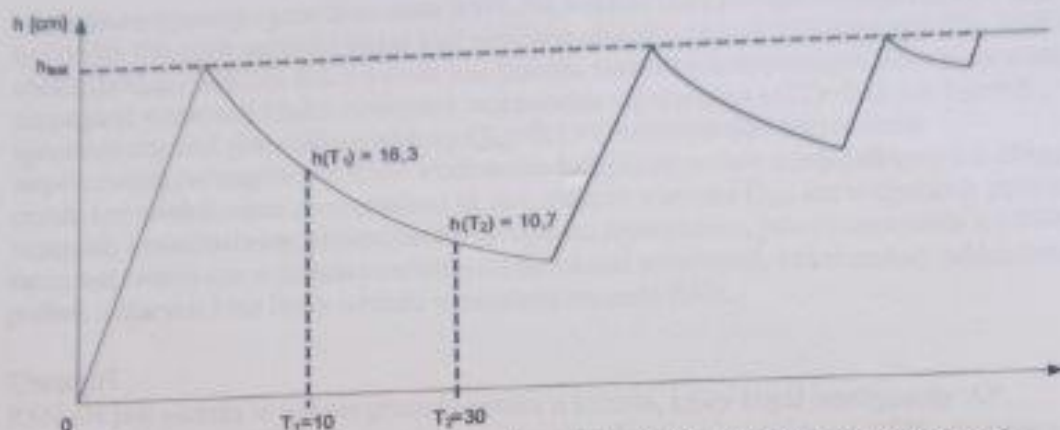
W jaki sposób rozmyta sieć neuronowa (RSN) została nauczona – czyli jak nastrojono współczynniki $Q_1, \dots, Q_9, a_1, a_2, a_3, b_1, b_2, b_3$ sieci na ich optymalne wartości?

Aby RSN nauczyła się prawidłowo obliczać wartości wody nasycającej Q_{nas} [l] daną MP (masę praną) potrzebne są wyniki eksperymentów. Eksperymenty takie przeprowadzono w laboratorium concernu AEG.

Opis przykładowych eksperymentów:

1) Eksperyment 1.

Do bębna AP włożono MP o masie 1 kg i o zawartości włókna naturalnego 70%. Następnie do bębna wiano taką ilość wody, aby uzyskać poziom h_{test} . MP rozpoczęła wchłanianie wody w wyniku czego poziom zaczął spadać. Zarejestrowano przebiegi tego spadku, rys. 19.



Rys. 19. Przebieg obniżenia się poziomu wody w bębnie AP podczas eksperymentu 1.

W szczególności zarejestrowano wysokość poziomów $h(T_1)$ i $h(T_2)$. Gdy poziom przestał opadać, dopełniono wodę do poziomu h_{test} . Wówczas poziom ponownie, lecz już wolniej, zaczął się obniżać na skutek dalszego, słabszego już wchłaniania wody przez MP. Gdy spadek poziomu wody znikł, dopełniono wodę do poziomu h_{test} i ponownie nastąpiło, tym razem jeszcze słabsze wchłanianie wody przez MP i wolne obniżanie poziomu. Proces dopełniania wody w bębnie do poziomu h_{test} [cm] powtarzano tyle razy, aż MP przestała wchłaniać wodę, co świadczyło o całkowitym nasyceniu MP wodą. Wówczas obliczono całkowitą ilość wody jaką wprowadzono do bębna podczas wszystkich dopełnień Q_c [l]. Znając ilość wody kapelei swobodnej Q_{sw} [l] wynikającą z wartości h_{test} obliczono ilość wody wchłoniętej i nasycającej MP ze wzoru:

$$Q_{\text{nas}} [\text{l}] = Q_c - Q_{sw}$$

Wartość ta wyniosła 1,74 l.

Uzyskano następujące wyniki eksperymentu stanowiące jedną próbkę pomiarową zależności $Q_{\text{nas}} = f(h(T_1), h(T_2))$.

$$\text{dla } h(T_1) = 16,3 \text{ cm i } h(T_2) = 10,7 \text{ cm : } Q_{\text{nas}} = 1,74 \text{ l}$$

2) Eksperyment 2.

Do bębna wprowadzono MP = 2 kg o zawartości włókna naturalnego 55%.

Wyniki eksperymentu – druga próbka pomiarowa badanej zależności:

$$h(T_1) = 15,1 \text{ cm, } h(T_2) = 9,6 \text{ cm : } Q_{\text{nas}} = 2,19 \text{ l}$$

3,4,5... dalsze eksperymenty.

Przeprowadzono kilkadziesiąt eksperymentów z MP o różnej wadze i o różnym udziale % naturalnych włókien w MP. Uzyskano w ten sposób kilkadziesiąt próbek pomiarowych, które zebrano w tabeli wyników.

Nr próbki	$h(T_1=10)$	$h(T_2=30)$	$Q_{\text{nas}} [\text{l}]$
1	16,3	10,7	1,74
2	15,1	9,6	2,19
...
900	18,2	17,1	1,01

Rys. 20. Tabela wyników eksperymentów nasycania wodą masy pranej w AP.

Następnie rozpoczęto proces uczenia RSN. Na wejście sieci podano wartości $h(T_1)=16,3$ i $h(T_2)=30$. Dla tych wartości wejść sieć powinna obliczyć $Q_{nas}=1,74$ (patrz rys. 20). Jeśli sieć obliczyła Q_{nas} z błędem dokonywana jest korekta wszystkich współczynników sieci metodą propagacji wstecznej błędów. Następnie wprowadza się wartości $h(T_1)=15,1$ i $h(T_2)=9,6$, sprawdza czy sieć prawidłowo obliczy $Q_{nas}=2,19$ i dokonuje (lub nie) korekty współczynników wagowych RSN. Podawanie kolejnych próbek uczących trwa tak długo (może być wielokrotnie powtarzalne) aż sieć obliczy wartości Q_{nas} dla wszystkich próbek uczących z minimalnym, akceptowalnym błędem. Dodatkowo, jakość nauczania się RSN może być testowana wyselekcjonowanymi próbkami testowymi, które zostały oddzielone od próbek uczących i nie brały udziału w procesie uczenia RSN.

Uwaga!

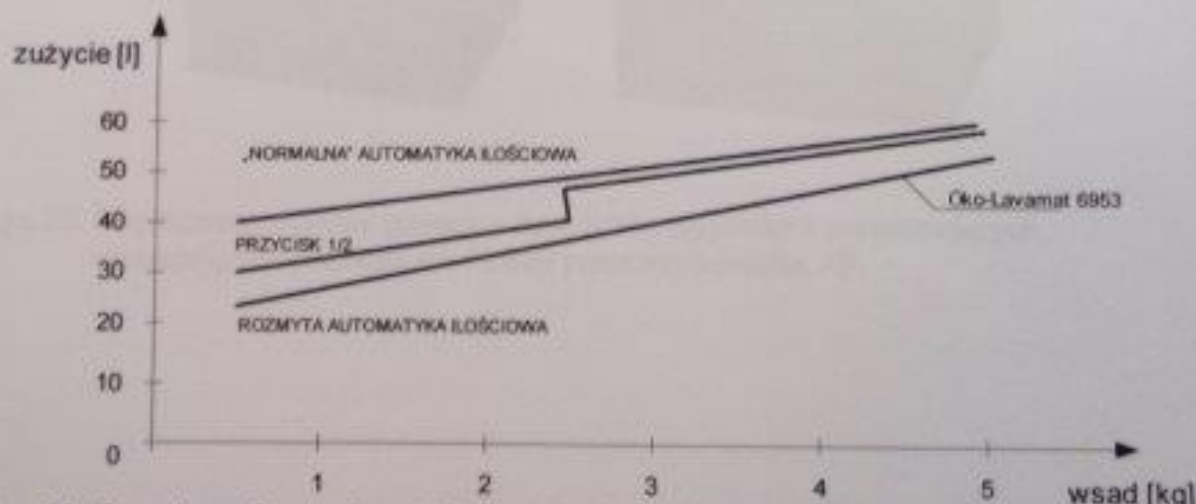
RSN nie jest uczona w trakcie procesu prania u klienta, który kupił inteligentny AP. RSN została nauczona w laboratorium producenta. Następnie „gotowa” RSN, nauczona prawidłowo obliczać ilość wody Q_{nas} [l] nasycającej aktualną MP znajdującą się w AP, wprowadzona została do mikroprocesora sterującego AP. Ta sama RSN znajduje się w każdym sprzedawanym AP firmy AEG. Po uruchomieniu AP w celu wyprania konkretnej MP sterownik identyfikuje poziom wody $h(T_1)$ i $h(T_2)$ i na tej podstawie, przy pomocy RSN oblicza Q_{nas} [l] a następnie oblicza całkowitą ilość wody Q_c [l] jaką należy podać do prania oraz do każdego z płukań ($Q_{pl} \approx Q_c$).

Na czym polega wiedza RSN?

RSN „wie” jak zidentyfikować wchłanianie wody Q_{nas} [l] przez MP wprowadzoną do bębna AP. „Wie” jak wartość Q_{nas} zależy od $h(T_1)$ i $h(T_2)$ i potrafi tą wartość obliczyć z dużą dokładnością.

Jakie korzyści dało zastosowanie RSN w AP firmy AEG?

RSN zastosowano w inteligentnym AP firmy AEG o nazwie Öko-Lavamat 6953. RSN umożliwiła zmniejszenie zużycie wody do 11 l na 1 kg MP (przy MP=5 kg, jeżeli MP jest mniejsze, to średnie zużycie wody na 1 kg wzrasta w AP wszystkich firm) oraz do ok. 27 l przy wsadzie 1 kg. Na rys. 21 pokazano zależność między zużyciem wody (na pełny wsad) a masą tego wsadu dla AP bez przycisku „1/2”, z przyciskiem „1/2” oraz dla inteligentnego AP Öko-Lavamat wyposażonego w rozmytą automatykę ilościową (RSN).



Rys. 21. Zużycie wody w zależności od wielkości wsadu [kg] w automatach piorących z różnymi rodzajami automatyki.

Jak wynika z rys. 21, korzyści z wprowadzenia RSN do sterownika AP są wyraźne i znaczące. Dzięki zmniejszeniu zużyciu wody w każdym praniu (wstępne, właściwe) i kilku płukaniach, całkowite zużycie wody znacznie spadło. Dzięki mniejszej ilości wody zmniejsza się zużycie energii elektrycznej potrzebnej do jej ogrzania oraz ilość proszku potrzebna do uzyskania takiego jego stężenia w wodzie, które zapewni wysoką czystość pranej masy MP. Następuje więc znaczna redukcja kosztów całego prania wraz z płukaniem.

Nowe kierunki rozwoju automatów piorących.

Opracowano już inteligentne AP, które same rozpoznają stopień zabrudzenia masy pranej. Przy niskim stopniu zabrudzenia zmniejszają ilość proszku, wody, liczbę płukań, i czas prania. Daje to dalszą znaczną obniżkę kosztów. Takie AP można już teraz nabyć w Polsce i innych krajach.

Następnym kierunkiem rozwoju AP jest uproszczenie programowania AP. Obecnie AP mają dużą liczbę przycisków programujących. Wymaga to dokładnego zapoznania się z funkcją każdego przycisku. Utrudnia to wykorzystanie AP przez osoby się znające go, a zwłaszcza mężczyzn. Zmniejszenie liczby przycisków programujących może nastąpić tylko wtedy, gdy zwiększy się inteligencja AP i potrafi się on sam zaprogramować, czyli dostosować przebieg i parametry prania do specyfiki i cech MP znajdującej się w bębnie AP. Konieczne jest tu dokładne rozpoznanie cech MP. Na rys. 22 pokazany jest obecnie używany AP z bardzo dużą liczbą przycisków i pokręteł programujących.



Rys. 22. Współczesny automat piorący – duża liczba przycisków programujących, wymagających poznania ich funkcji przez użytkownika AP.

Na rys. 23 pokazany jest AP o wysokiej inteligencji, posiadający małą liczbę przycisków. Istnieją już automaty posiadające tylko 2 przyciski sterujące. Taki AP uwalnia swojego użytkownika od uczenia się funkcji wielu przycisków sterujących i od konieczności podejmowania decyzji. Automat sam podejmuje tu decyzje, jakie mają być kolejne fazy, czas i inne parametry prania.



Rys. 23. Automat piorący o wysokiej inteligencji – mała liczba przycisków sterujących. Użytkownik nie musi posiadać wiedzy o praniu. Nie musi także podejmować decyzji jak zaprogramować pranie. Automat idealny dla mężczyzn

Sprawdź czy zrozumiałeś!

1. Dlaczego konwencjonalne AP a także AP wyposażone w przycisk „1/2” nie zapewniają minimalnego, możliwego do osiągnięcia zużycia wody?
2. Dlaczego zmniejszenie zużycia wody w AP jest bardzo ważne? Na co ono wpływa? Czy wywołuje dodatkowe korzyści?
3. Co oznacza pojęcie „automatyka ilościowa” w przypadku AP?
4. Jaka ilość wody powinna być wprowadzona do AP, aby zapewnić zarówno wysoką czystość prania jak i jego oszczędność? Co się stanie, jeśli AP wprowadzi ilość wody mniejszą lub większą od optymalnej?
5. Wyjaśnij pojęcia: kapiel swobodna, kapiel związana, kapiel całkowita, punkt nasycenia. Jaka jest różnica między kapielą związaną a punktem nasycenia?