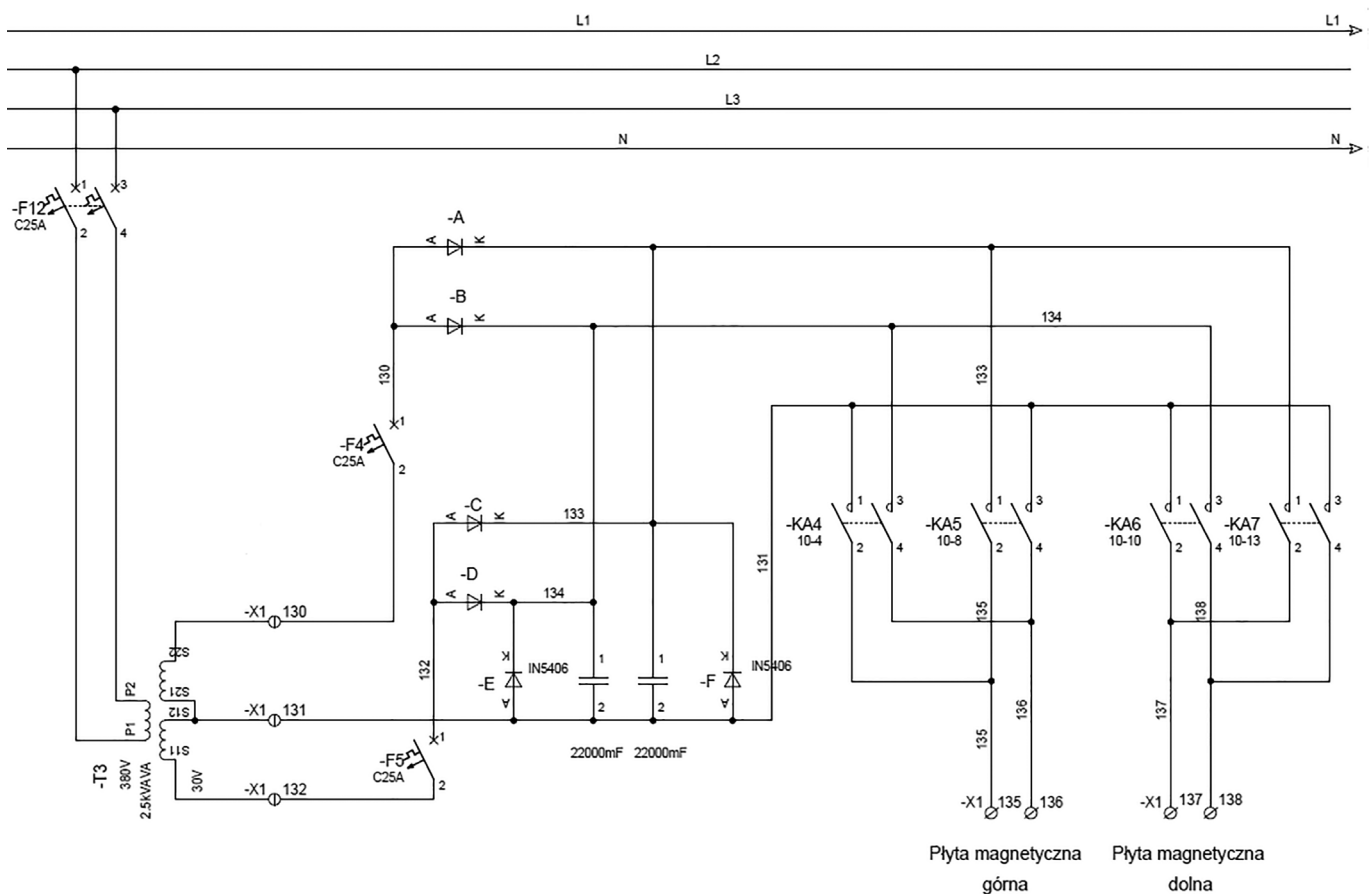


# Projekt prasy hydraulicznej

Prasę hydrauliczną kupiono używaną, z przestarzałym i awaryjnym układem sterowania. W artykule opisano nowy układ sterowania, wykonany na zlecenie użytkownika prasy. Prasa, poza funkcją dociskania z zdaną siłą, ma wbudowane dwa stoły magnetyczne wyposażone w grzałki. Dzięki takiemu rozwiązaniu, umieszczone wewnątrz przestrzeni roboczej detale nie przemieszczają się oraz mogą być podgrzewane do zadanej temperatury. Z uwagi na wysoki pobór mocy przez grzałki, sterowanie ich załączaniem odbywa się z użyciem opcjonalnego kalendarza, w którym można deklarować terminy załączenia funkcji grzania.

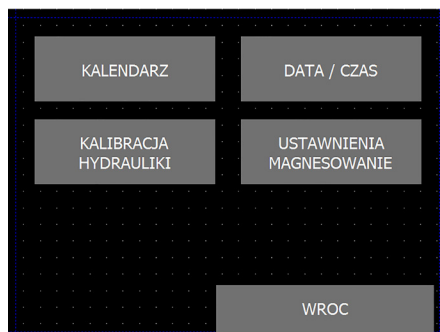
Najważniejszą częścią prasy jest układ hydrauliczny wyposażony w zawory sterujące oraz pompa hydrauliczna. Sterowanie obejmuje uruchomienie pompy hydraulicznej poprzez stycznik i jej kontrolę za pomocą wyłącznika silnikowego oraz zawory: szybkie opuszczanie tłoka, szybkie podnoszenie tłoka, prasowanie, odgazowanie siłownika. Dodatkowym elementem układu hydraulicznego jest czujnik ciśnienia oleju z wyjściem analogowym 0...10 V, który reguluje pracę funkcji prasowania. Pole robocze siłownika jest określone przez dwa wyłączniki krańcowe: maksymalnej pozycji roboczej oraz załączenia wolnego opadania. Przy prasowaniu w trybie półautomatycznym, operator montuje obrabiane detale do stołów magnetycznych, po czym opuszcza górny detale w kierunku dolnego. Po uzyskaniu wysokości zwalniania, tłoczysko



Rysunek 1. Obwód sterujący płytami magnetycznymi



Rysunek 2. Ekran „HOME”



Rysunek 3. Ekran „USTAWIENIA”

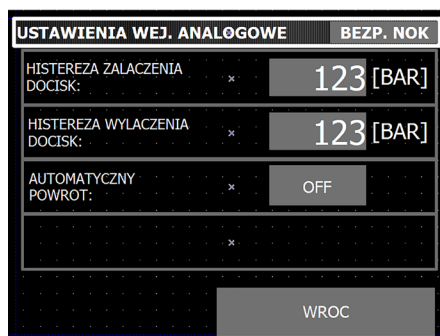
USTAWIENIA / KALENDARZ		BEZP. NOK	
DZIEŃ TYGODNIA:	AKT.	ZALĄCZ O GODZINIE:	WYŁĄCZ O GODZINIE:
NIEDZIELA:	OFF	12:12	12:12
PONIEDZIALEK:	OFF	12:12	12:12
WTOREK:	OFF	12:12	12:12
SRODA:	OFF	12:12	12:12
CZWARTEK:	OFF	12:12	12:12
PIATEK:	OFF	12:12	12:12
SOBOTA:	OFF	12:12	12:12

12:12:12 WROC

Rysunek 4. Ekran „KALENDARZ”



Rysunek 5. Ekran „DATA/CZAS”



Rysunek 6. Załączenie funkcji „AUTOMATYCZNY POWRÓT”



Rysunek 7. Ekran sterowania ręcznego „REKA”

przechodzi w tryb wolnego docisku i utrzymuje docisk przez zadany czas do zadanej wartości, z zachowaniem pewnej histerezy.

Następnym elementem maszyny jest układ płyt magnetycznych, który składa się z płyty dolnej i górnej magnesowanej za pomocą nawiniętych cewek. Namagnesowanie płyty następuje poprzez podanie napięcia w jednym z kierunków, natomiast rozmagnesowanie płyty poprzez krótkotrwałe podanie napięcia w kierunku przeciwnym do magnesowania. Dzięki zastosowaniu układu magnetycznego możliwe jest dokładne pozycjonowanie i mocowanie obrabianych detali względem siebie.

Kolejny element maszyny stanowi system podgrzewania płyt magnetycznych, na który składa się szereg grzałek zasilanych napięciem międzyfazowym 400 V, podzielonych na płyty dolną i górną. Elementem regulacyjnym jest regulator temperatury z czujką PT100, natomiast wykonawczym przełączniki półprzewodnikowe. W sytuacji, gdyby regulator wykrył uszkodzenie któregoś z elementów, rozłączący zasilanie poprzez dodatkowy stycznik zabezpieczający obwód. Do realizacji takiej funkcji w regulatorach panelowych służy wyjście „alarm” i szczególnie wtedy, gdy elementem regulacyjnym jest przełącznik półprzewodnikowy, to należy koniecznie z takiego wyjścia korzystać, ponieważ zwykle przy uszkodzeniu powoduje on zwarcie.

Dla oszczędności energii system grzania wyposażono w funkcję załączania za pomocą zegara RTC, który określa, w jakich godzinach maszyna ma być rozgrzana i gotowa do działania. Przykładowo, po zakończeniu zmiany w piątek, maszyna wyłączy system grzania, a załączy w poniedziałek odpowiednio wcześniej rano, aby była gotowa w godzinie rozpoczęcia pracy.

## Sterowanie elektryczne

Niestety, zleceniodawca nie zgodził się na udostępnienie dokumentacji elektrycznej oraz plików projektu dla tej maszyny. Mam jednak możliwość opisać zasady pracy maszyny oraz jej budowę.

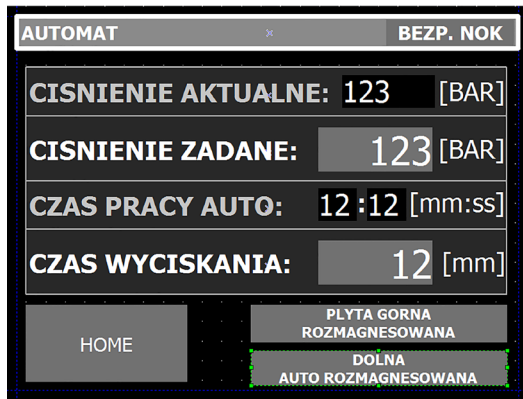
Prasa jest wyposażona w awaryjne wyłączniki bezpieczeństwa, tak zwane „grzybki”. Zadziałanie wyłącznika bezpieczeństwa powoduje odcięcie sterowania wyjściami oraz wprowadza informację na wejście sterownika o zatrzymaniu awaryjnym. Za sterowanie funkcjami maszyny odpowiadają specjalne konsole wyposażone w przyciski do obsługi najczęściej używanych funkcji. Konsole takie umieszczone

są po obu stronach maszyny, aby uruchamiając potencjalnie niebezpieczne funkcje operator używał obu rąk naciskając przyciski na konsoli lewej i prawej. Tylko jednoczesne wciśnięcie i przytrzymanie przycisków sterujących pozwala na ruch tłoczyska w kierunku dolnym, co jest gwarancją, że operator np. umieścił detal w przestrzeni roboczej i wyjął z niej obie ręce. Panel HMI służy jedynie do parametryzacji maszyny i wyświetlania aktualnych informacji.

Za sterowanie systemem grzania odpowiadają regulatory firmy Omron E5CS połączone w taki sposób, aby zapewnić funkcję kalendarza oraz układ zabezpieczający podsystem grzania.







Rysunek 8. Ekran trybu automatycznego „AUTOMAT”

Obwód sterujący zasilaniem płyt magnetycznych pokazano na **rysunku 1**. Napięcie z transformatora T3 jest prostowane i przefiltrowane. Następnie, poprzez styczniki KA4 do KA7 jest podawane na odpowiednie płyty magnetyczne i z wybranym kierunkiem (magnesowanie, rozmagnesowanie).

**Obsługa maszyny**

Po uruchomieniu maszyny na ekranie zostanie wyświetlony ekran „HOME” (**rysunek 2**). Z poziomu menu tego ekranu operator może przejść do ustawień, uruchomić tryb automatyczny prasowania albo sterowanie ręczne. Z poziomu menu „USTAWIENIA” (**rysunek 3**) operator ma możliwość zdefiniowania kalendarza, ustawienia zegara RTC, kalibracji pracy układu hydrauliki oraz ustawień magnesowania. W menu „KALENDARZ” operator ma możliwość ustawienia terminów aktywacji grzania płyt magnetycznych (**rysunek 4**). Operator ma możliwość wyboru dla każdego dnia tygodnia aktywności oraz ustawienia godziny załączenia i wyłączenia podsystemu ogrzewania.

W menu „USTAWIENIA MAGNESOWANIE” według założeń miały być ustawiane czasy potrzebne na rozmagnesowanie płyt magnetycznych, natomiast po przeprowadzeniu prób okazało się, że bardziej korzystną metodą jest rozmagnesowanie ręczne. Napięcie służące do rozmagnesowania podawane jest na płyty tak długo, jak operator przytrzymuje odpowiedni przycisk na konsoli sterującej.

W menu „DATA/CZAS” (**rysunek 5**) jest ustawiany zegar RTC sterownika. Ustawienie sterownika jest konieczne żeby funkcja kalendarzowego załączenia podsystemu grzania działała prawidłowo.

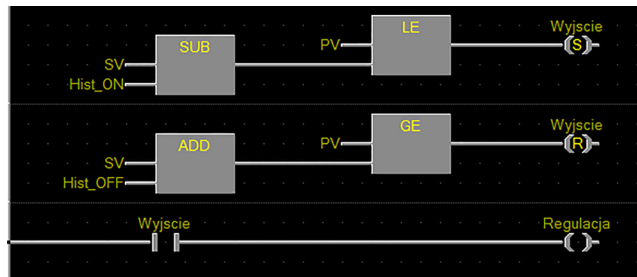
W menu „KALIBRACJA HYDRAULIKI” ustawiane są parametry histerezy regulatora dwupunktowego oraz aktywacja funkcji „AUTOMATYCZNY POWRÓT” (**rysunek 6**). Funkcja „AUTOMATYCZNY POWRÓT” określa czy po zakończeniu prasowania siłownik ma powrócić do pozycji górnej, czy też powrót do pozycji górnej odbywa się w trybie ręcznym.

Gdy maszyna jest już sparametryzowana, można przystąpić do pracy. Po wyborze sterowania ręcznego operator ujrzy ekran pokazany na **rysunku 7**. Są na nim pokazywane następujące parametry:

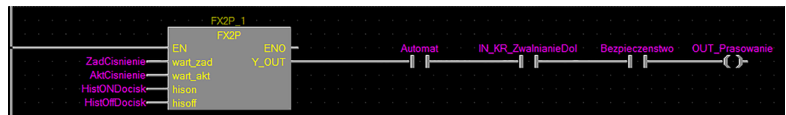
- „CISNIENIE AKTUALNE” [BAR] – aktualne ciśnienie w układzie hydraulicznym.
- „SZYBKIE OPUSZCZANIE” – zawór opuszczania tłoczyska.
- „ODGAZOWANIE” – zawór odgazowania cylindra.
- „PRASOWANIE” – zawór załączający powolne opuszczanie tłoczyska.
- „SZYBKIE PODNOSZENIE” – zawór podnoszeni tłoczyska.
- „AUTO PLYTA GORNA/DOLNA NAMAGNESOWANA/ROZMAGNESOWANA” – informacja ze styczników sterujących załączeniem zasilania płyt magnetycznych.

	Class	Label Name	Data Type
1	VAR	Wyjscie	Bit
2	VAR_OUTPUT	Regulacja	Bit
3	VAR_INPUT	Hist_ON	Word(Signed)
4	VAR_INPUT	Hist_OFF	Word(Signed)
5	VAR_INPUT	PV	Word(Signed)
6	VAR_INPUT	SV	Word(Signed)

Rysunek 9. Zmienne używane przez funkcję regulatora dwupunktowego



Rysunek 10. Kod regulatora w języku drabinkowym



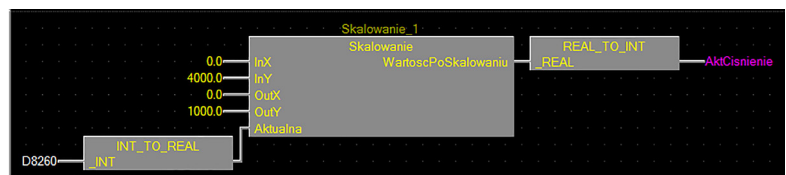
Rysunek 11. Włączenie funkcji regulatora do programu

Class	Label Name	Data Type
VAR_INPUT	InX	FLOAT (Single Precision)
VAR_INPUT	InY	FLOAT (Single Precision)
VAR_INPUT	OutX	FLOAT (Single Precision)
VAR_INPUT	OutY	FLOAT (Single Precision)
VAR_INPUT	Aktualna	FLOAT (Single Precision)
VAR_OUTPUT	WartoscPoSkalowaniu	FLOAT (Single Precision)

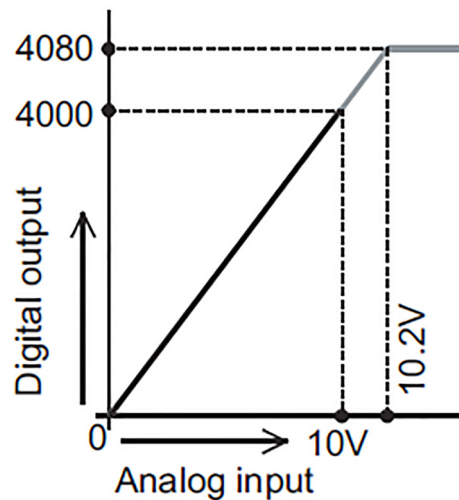
Rysunek 12. Funkcja skalowania

$$\text{WartoscPoSkalowaniu} := (((\text{OutY}-\text{OutX}) * (\text{Aktualna}-\text{InX})) / (\text{InY}-\text{InX})) + \text{OutX};$$

Rysunek 13. Funkcja skalowania wejścia analogowego w języku „Structured Text”



Rysunek 14. Zmienne włączone do funkcji



Rysunek 15. Charakterystyka wejścia analogowego sterownika FX3G (OutX – minimalna wartość mierzona przez czujnik, w tym przypadku 0 Bar, OutY – maksymalna wartość mierzona przez czujnik, w tym wypadku 1000 Bar)

Clock	
[D]8010 Current scan time	Accumulated instruction execution time from the step 0 (Unit: 0.1 ms) → Refer to Subsection 4.2.5.
[D]8011 Minimum scan time	Minimum value of scan time (Unit: 0.1 ms) → Refer to Subsection 4.2.5.
[D]8012 Maximum scan time	Maximum value of scan time (Unit: 0.1 ms) → Refer to Subsection 4.2.5.
D 8013 Second data	0 to 59 seconds (For real-time clock) → Refer to Subsection 4.2.7.
D 8014 Minute data	0 to 59 minutes (For real-time clock) → Refer to Subsection 4.2.7.
D 8015 Hour data	0 to 23 hours (For real-time clock) → Refer to Subsection 4.2.7.
D 8016 Day data	1st to 31st day (For real-time clock) → Refer to Subsection 4.2.7.
D 8017 Month data	January to December (For real-time clock) → Refer to Subsection 4.2.7.
D 8018 Year data	Last 2 digits of year(0 to 99) (For real-time clock) → Refer to Subsection 4.2.7.
D 8019 Day-of-the-week data	0 (Sunday) to 6 (Saturday) (For real-time clock) → Refer to Subsection 4.2.7.

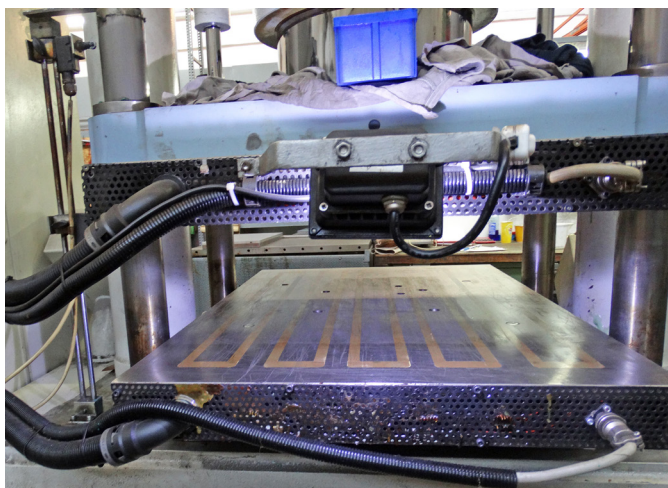
Rysunek 16. Zestaw zmiennych systemowych zegara RTC

Z poziomu menu trybu ręcznego uzyskujemy sterowanie maszyną za pomocą konsoli. Na ekranie HMI jest wizualizowane działanie maszyny wraz z informacją o aktualnym ciśnieniu osiągniętym w układzie hydraulicznym.

Po wyborze sterowania automatycznego zostanie wyświetlony ekran pokazany na **rysunku 8**. Są na nim pokazywane następujące parametry:

- „CISNIENIE AKTUALNE” [BAR] – wyświetla aktualne ciśnienie w układzie hydraulicznym odczytane z czujnika.
- „CISNIENIE ZADANE” [BAR] – pozwala na wprowadzenie danego ciśnienia prasowania.
- „CZAS PRACY AUTO” [mm:ss] – wyświetla aktualny czas pracy automatycznej.
- „CZAS WYCISKANIA” [mm] – pozwala na wprowadzenie czasu trwania procesu prasowania.
- „AUTO PLYTA GORNA/DOLNA NAMAGNESOWANA/ROZMAGNESOWANA” – informacja ze styczników sterujących namagnesowaniem płyt magnetycznych.

W trybie automatycznym po załadowaniu detali do pola roboczego maszyny operator za pomocą przycisków na konsoli wykonuje



„szybkie” opuszczanie tłoczyska do momentu wykrycia wyłącznika krańcowego zatrzymania szybkiego opuszczania lub programowo wzrostu ciśnienia w układzie hydraulicznym powyżej 8 bar. Poniżej pozycji wyłączenia funkcji szybkiego opuszczania praca tłoczyska jest możliwa w trybie prasowania.

Tryb prasowania polega na uruchomieniu zaworu prasowania do momentu uzyskania wartości zadanej ciśnienia powiększonego o histerezę wyłączenia. Po pewnym czasie obrabiane detale zostaną wprasowane, ciśnienie w układzie hydraulicznym spadnie poniżej wartości ciśnienia zadanego pomniejszonego o histerezę załączenia, co spowoduje ponowne uruchomienie funkcji prasowania. Działanie układu regulacji jest powtarzane aż do momentu upływu czasu zdefiniowanego w parametrze „CZAS WYCISKANIA”.

Po zakończeniu prasowania, w zależności od wybranej opcji w menu maszyny, tłoczek może powrócić do pozycji górnej lub pozostać swobodnie zawieszony na obrabianym detalu. W obu sytuacjach układ sterowania uruchamia sygnalizację dźwiękową, aby powiadomić operatora o zakończeniu procesu wprasowywania.

Dzięki wyposażeniu maszyny w układ płyt magnetycznych stało się możliwe umieszczanie detali na górnej i dolnej płycie spozycjonowanych w odpowiedni sposób względem siebie. Obsługa płyt wygląda następująco:

- operator umieszcza odpowiedni detal na płycie dolnej,
- przełącznikiem bistabilnym uruchamia magnesowanie płyty dolnej,
- po zablokowaniu detalu na płycie dolnej jest umieszczany detal górny,
- trybie sterowania ręcznego operator dojeżdża tłoczyskiem wraz z zamocowaną płytą magnetyczną do detalu,
- po dojechaniu można za pomocą przełącznika bistabilnego uruchomić magnesowanie płyty górnej,
- w tym momencie jest możliwa praca polegająca na wprasowywaniu w dolny detal kolejnych komponentów za pomocą raz spozycjonowanego detalu górnego, przymocowanego do górnej płyty magnetycznej.

Wymiana detali jest możliwa po wyłączeniu funkcji magnesowania oraz załączeniu przyciskiem monostabilnym funkcji rozmagnesowania.



Polega ona na podaniu napięcia o odwrotnej polaryzacji na cewki płyty magnetycznej tak długo, aby rozmagnesować płytę.

System ogrzewania, w który są wyposażone płyty magnetyczne pozwala na dodatkowe rozgrzanie obrabianych detali do zadanej temperatury. Oczywiście, maszyna jest wyposażona w system analizujący alarmy. Pompa hydrauliczna działa tylko w czasie załączenia zaworów, aby bez potrzeby nie podgrzewać oleju hydraulicznego. Z uwagi na wyeliminowanie zbyt częstych rozruchów pompy zastosowałem jedynie podtrzymanie czasu pracy pompy przez okres dobrany eksperymentalnie, w tym wypadku 5 sekund.

**Implementacja programowa**

Projekt maszyny jest złożony z dwóch projektów, z czego jeden przypada na sterownik PLC, natomiast drugi na panel HMI. W projekcie użyłem:

- Sterownik kompaktowego PLC Mitsubishi Electric FX3G-40,
- Ekonomicznego, monochromatycznego panelu graficznego typu XP30-BTE.

W pierwszej kolejności omówię regulator dwupunktowy służący do utrzymywania zadanego ciśnienia prasowania. Regulator taki wykonałem jako funkcję do użycia w programie. Zmienne funkcji pokazano na **rysunku 9**. Zmienną wyjściową służącą do regulacji jest bit „Regulacja”. Zmienną „PV” – (skrót od Proces Value) łączymy z odczytywaną wartością pomiarową z czujnika. Zmienną SV (Set Value) łączymy z wartością zadaną, do której układ regulacji będzie dążył. Kod regulatora w języku drabinkowym (structured leader) zamieszczono na **rysunku 10**. Zmienna pomocnicza „Wyjście” jest ustawiana, jeśli wartość procesowa (mierzona) jest niższa od wartości zadanej z uwzględnieniem histerezy. Zerowanie zmiennej następuje, gdy wartość mierzona przekroczy wartość zadaną powiększoną o histerezę wyłączenia. Tak skonstruowana funkcja jest użyta w programie w następujący sposób pokazany na **rysunku 11**.

Aby dostarczyć do pracy regulatora informację z wejścia analogowego przeliczoną na typowe jednostki – w tym wypadku ciśnienie – należy dokonać operacji skalowania. Najczęściej skalowanie odbywa się w funkcji liniowej. Wtedy napięcie lub prąd z wyjścia analogowego sensora jest

proporcjonalne do mierzonej wartości inżynierskiej. W praktyce musimy przeliczyć zakres pomiarowy czujnika na zakres inkrementów po stronie przetwornika podłączonego do PLC. W tym programie zastosowałem skalowanie za pomocą równia prostej przechodzącej przez 2 punkty. Funkcję skalowania pokazano na **rysunku 12**. Napisano ją w języku ST (Structured Text) – **rysunek 13**. W programie użyta funkcja jest „podłączana” pod odpowiednie stałe i zmienne (**rysunek 14**):

- InX – minimalna liczba inkrementów odczytanych z przetwornika A/C.
- InY – maksymalna liczba inkrementów możliwa do odczytania z przetwornika A/C.
- Aktualna – wartość inkrementów odczytana z rejestru systemowego reprezentującego przetwornik AC/DC.

Dla sterownika FX3G z modułem analogowym FX3G\_2AD-BD wartość przetwarzania dla napięcia zawiera się w przedziale 0 – 4000, co pokazano na **rysunku 15**.

Kolejnym ciekawym aspektem programowym, na który należy zwrócić uwagę jest podprogram kalendarza

sterującego załączeniem podsystemu grzania. W sterownikach z serii FX3G wbudowano zegar RTC, z którego można odczytywać bądź zapisywać dane posługując się zestawem zmiennych systemowych (**rysunek 16**).

W zaimplementowanym programie operator ma możliwość wyboru dnia tygodnia, w którym system grzania ma być aktywny. Ponadto, dla danego dnia tygodnia jest możliwość ustawienia godziny załączenia i wyłączenia grzania w formacie godzina-minuta.

Czasy z formatu godzina-minuta przeliczam na minuty według wzoru „minuty = godziny [D8015] × 60 + minuty [D8014]”. Wynik obliczeń wpisuję do zmiennych pomocniczych (**rysunek 17**):

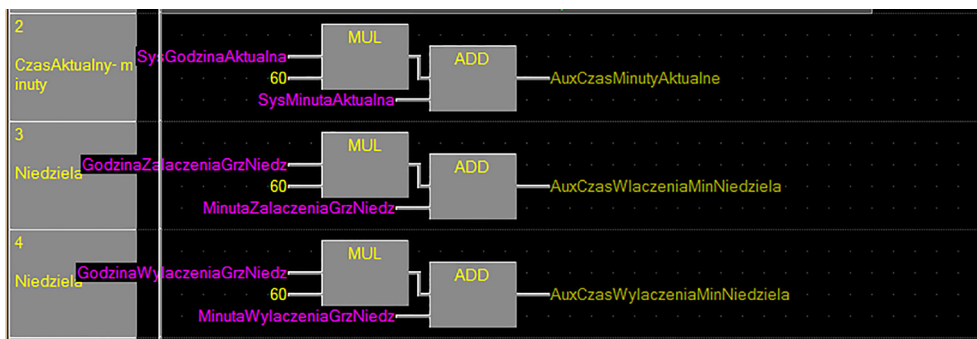
- AuxCzasMinutyAktualne – zmienna wskazująca na bieżącą minutę w ciągu dnia.
- AuxCzasWlaczeniaMinNiedziela – zmienna wskazująca na minutę załączenia podsystemu grzania dla dnia tygodnia „niedziela”.
- AuxCzasWylaczeniaMinNiedziela – zmienna wskazująca na minutę wyłączenia podsystemu grzania dla dnia tygodnia „niedziela”.

W następnym networku wykonuję porównanie za pomocą funkcji EQ zmiennej systemowej „SysDzienTyg” [D8019] ze stałą reprezentującą dzień tygodnia „niedziela” (0). Teraz sprawdzam za pomocą funkcji „większa równa” (GE) oraz „mniejsza” (LT) przedział, w którym jest się aktualny czas (**rysunek 18**). Taką operację powtarzamy 7 razy dla wszystkich dni tygodnia. Zmienna „RTCZalaczGrzanieNiedziela” służy do bezpośredniego załączenia wyjścia zezwalającego na pracę podsystemu grzania (**rysunek 19**).

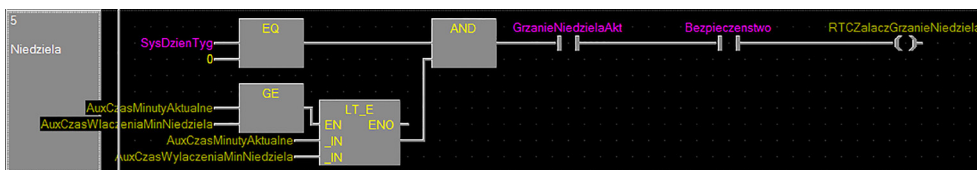
**Podsumowanie**

Opisana maszyna służy głównie wykonywaniu konkretnych detali, jednak z uwagi na to, że składa się z kilku podsystemów, takich jak sterowanie ogrzewaniem, kalendarz czy magnesowanie płyt stalowych, to może stanowić projekt referencyjny dla innych maszyn. Specjalnie zaprezentowałem również pełne menu maszyny, aby pokazać jeden ze sposobów interakcji maszyny z operatorem.

**Tomasz Świontek**  
tomekfx@o2.pl



**Rysunek 17. Wpisanie wartości do zmiennych pomocniczych**



**Rysunek 18. Sprawdzenie przedziału, w którym jest czas aktualny**



**Rysunek 19. Załączenie podsystemu grzania**