

## AUTOMATYCZNY PRZENOŚNIK SZKLANYCH STOŻKÓW

*Artykuł zawiera opis automatycznego przenośnika stożków obsługującego linię szlifierek w hucie szkła w zakładach Thomson-Polkolor.*

### 1. WSTĘP

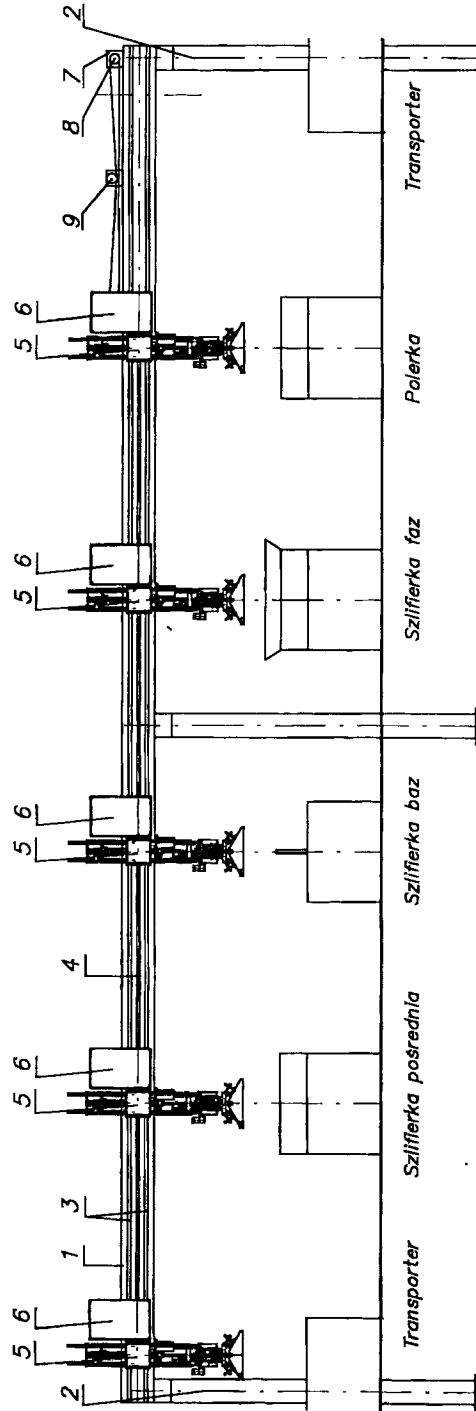
Jedną z pierwszych operacji technologicznych wykonywanych na szklanych stożkach lamp kineskopów (po ich uformowaniu) jest szlifowanie. Celem tej operacji jest:

- szlifowanie i polerowanie płaszczyzny łączenia stożka z ekranem, jej krawędzi oraz szlifowania baz,
- usunięcie z dalszego procesu stożków z ukrytą wadą (stożki takie w procesie szlifowania pękają).

Linia szlifierek obsługiwana przez automatyczny przenośnik stożków (rys. 1) składa się z:

1. wejściowego transportera myjącego z urządzeniem pozycjonującym stożek,
2. szlifiarki pośredniej,
3. szlifiarki baz,
4. szlifiarki faz,
5. polerki,
6. transportera wyjściowego.

Na każdą z maszyn szlifierskich zakłada się taki stożek szyjką do góry. Stożek po włożeniu automatycznie opuszcza się na wirujące tarcze szlifierskie. Trzy z maszyn są wyposażone w elementy centrujące wewnętrzną powierzchnię gardzieli stożka względem osi maszyny, co zapewnia dokładne pozycjonowanie stożka względem tarcz wirujących i nie wymaga dokładnego pozycjonowania stożka przy jego zakładaniu. Natomiast szlifiarka baz ma trzpień centrujący szyjkę stożka, którego średnica zewnętrzna jest jedynie o kilka dziesiątych części milimetra mniejsza od średnicy wewnętrznej szyjki. Założenie stożka (1) na maszynę stanowi istotną trudność (rys. 2), gdyż wymaga dokładnego pozycjonowania go względem osi maszyny i założenia go ruchem pionowym na ponad 150-milimetrowy trzpień (2).



Rys. 1. Automacyjny przenośnik stożków: 1 - trawers, 2 - podpora, 3 - podpora, 3 - prowadnice, 4 - pręt dystansowy, 5 - manipulator pneumatyczny, 6 - skrzynka pneumatyczno-elektryczna, 7 - silnik bezszczotkowy z magnesami trwałymi, 8 - przekładnia planetarna, 9 - zespół napinania pasa zębatego.

Ręczna obsługa szlifierek jest bardzo uciążliwa ze względu na:

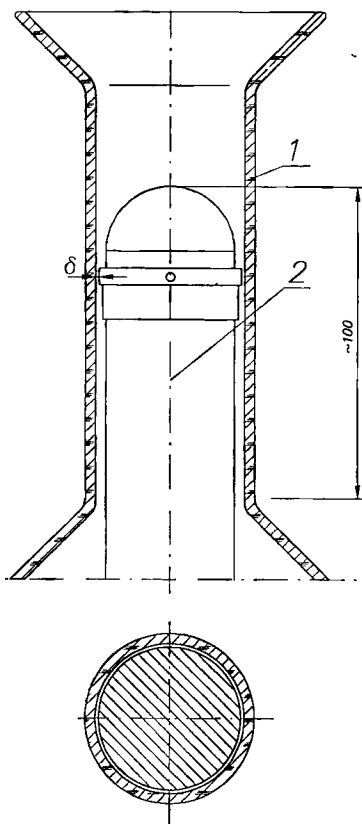
- krótki cykl pracy, wymagający szybkiego i częstego przenoszenia stożków pomiędzy szlifierkami,
- znaczny sumaryczny ciężar, który przenosi obsługa podczas jednej zmiany,
- dużą wilgotność spowodowaną mgłą wodną powstałą podczas intensywnego chłodzenia wodą szlifowanych powierzchni,
- niebezpieczeństwo upuszczenia mokrego stożka.

Aby poprawić warunki bhp oraz zwiększyć wydajność szlifierni stworzono koncepcję automatyzacji przenoszenia stożków. Przy opracowaniu tej koncepcji wykorzystano fakt, że czas pracy poszczególnych szlifierek jest bardzo zbliżony.

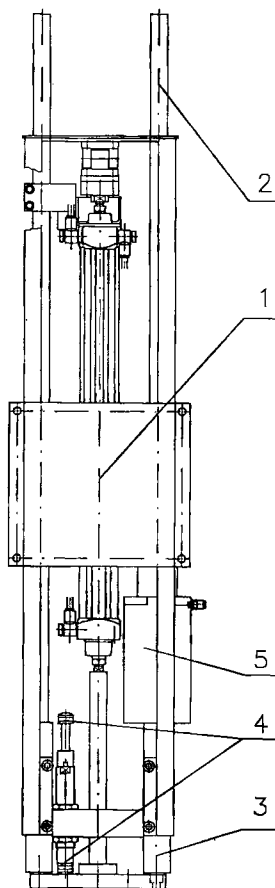
Automatyczny przenośnik stożków (rys. 1) jest przeznaczony do przenoszenia stożków do lamp o przekątnej ekranu 13", 19" i 20", a po wymianie chwytaka również 25", pomiędzy sześcioma maszynami technologicznymi, ustawionymi w osi z dokładnością  $\pm 1$  mm, w odstępach co 2000 mm. Szlifiereki są tak ustawione, że powierzchnia odkładczą dla każdej z nich, gdzie umieszczane są stożki, znajduje się na tej samej wysokości. Konieczność zapewnienia tak dokładnego ustawienia maszyn wynika z konstrukcji szlifierek oraz sposobu pozycjonowania na nich stożków. Zakładanie i zdejmowanie stożków odbywa się z otwartych maszyn (po zakończeniu na nich operacji technologicznych), ruchem pionowym za pomocą chwytaka podciśnieniowego wyposażonego w cztery ssawki. Układ sterowania przenośnika komunikuje się ze sterownikiem maszyn magistralą komunikacyjną. Informacje o stanie przenośnika, a w szczególności o jego stanach awaryjnych uwidocznione są na ekranie. Rozpoczęcie cyklu przenoszenia może nastąpić dopiero po uzyskaniu informacji o zakończeniu pracy przez wszystkie obsługiwane maszyny oraz sprawdzeniu, że nie występuje stan awarii. Po odłożeniu stożków na maszyny i wycofaniu się do pozycji bezkolizyjnej sterownik przenośnika wysyła sygnał zezwolenia na rozpoczęcie procesu szlifowania. Jednocześnie przenośnik powraca do pozycji początkowej i oczekuje na zezwolenie na wykonanie kolejnego cyklu.

## 2. BUDOWA AUTOMATYCZNEGO PRZENOŚNIKA STOŻKÓW

Konstrukcję nośną automatycznego przenośnika stożków (rys. 1) stanowi trawers (1) umieszczony na trzech podporach (2), do którego przymocowane są prowadnice (3). Po prowadnicach przemieszczają się na łożyskach wzdłużnych wózki połączone sztywnym prętem (4) o długości nastawianej za pomocą rzymskiej nakrętki. Umożliwia to ustawienie wózków w rozstawie 2000 mm, zgodnie z ustawieniem obsługiwanych maszyn. Na trawersie znajduje się pięć wózków. Na każdym z nich

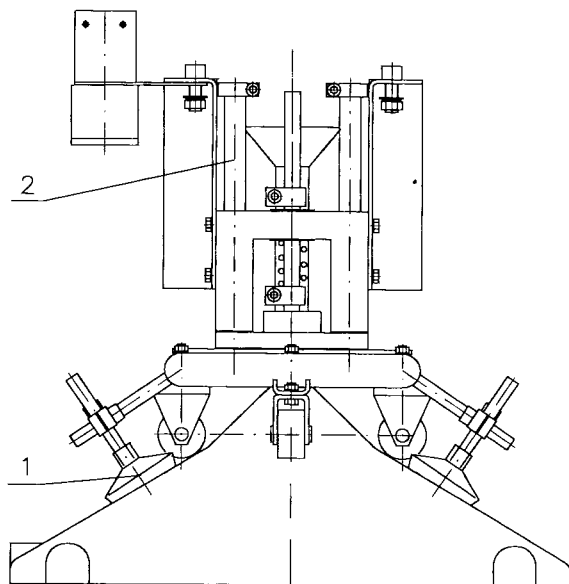


Rys. 2. Pozycjonowanie stożka na szlifierce baz: 1 - szyjka szklanego stożka, 2 - trzpień centrujący



Rys. 3. Manipulator: 1 - konstrukcja nośna manipulatora, 2 - prowadnica, 3 - łożysko ślizgowe, 4 - amortyzatory hydrauliczne, 5 - samoczynny hamulec.

zamocowany jest manipulator (5) oraz skrzynka pneumatyczno-elektryczna (6). Każdy z manipulatorów pokazanych na rys. 3 składa się ze spawanej konstrukcji nośnej (1), w której zainstalowane są dwa równoległe połączone cylindry o skoku 250 mm oraz jeden szeregowo połączony cylinder o skoku 500 mm. Cylindry o skoku 250 mm są przeznaczone dla wykonywania ruchów jałowych (bez stożka). Cylindry te wyposażone są w dwa czujniki potwierdzające zajęcie pozycji krańcowej oraz w dławiki ruchu krańcowego. Cylindry wykonano w wersji o podwyższonej odporności na korozję. Prostoliniowość ruchu zapewniają prowadnice ślizgowe (2), wykonane ze stali nierdzewnej i ułożyskowane w łożyskach ślizgowych (3). w korpusach prowadnic umieszczono amortyzatory (4). W celu zabezpieczenia manipulatora przed opadaniem (w przypadku braku zasilania pneumatycznego),



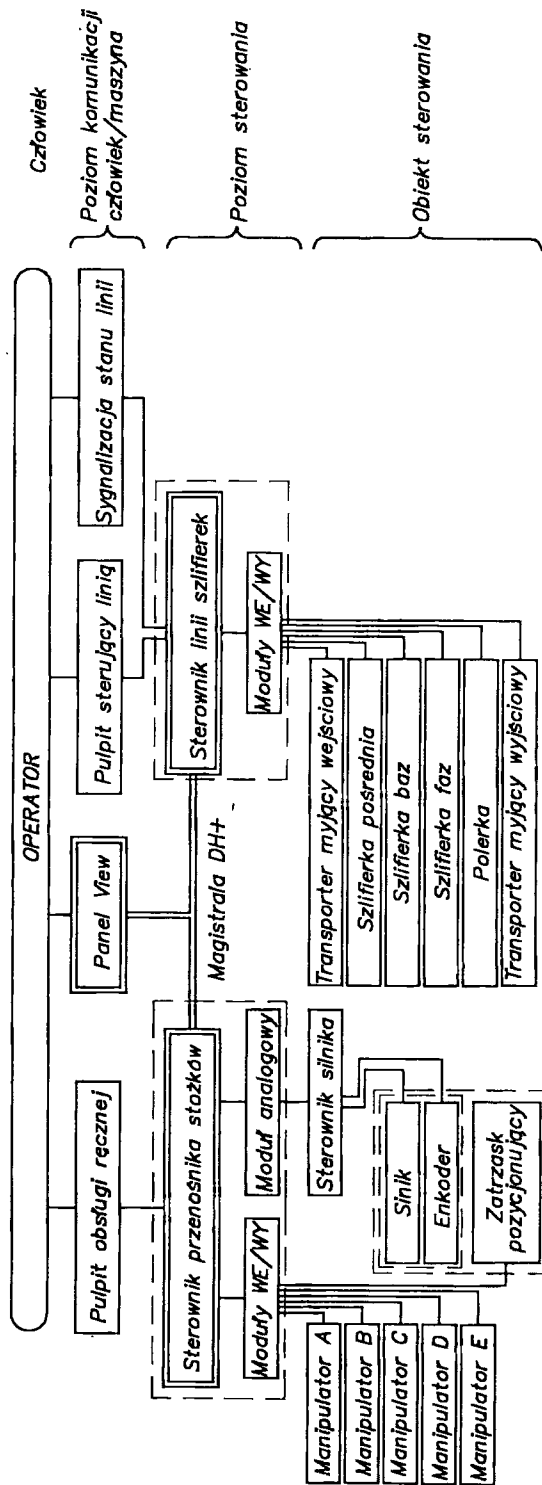
Rys. 4. Chwytnak: 1 - ssawka, 2 - prowadnica ślizgowa

na prowadnicy umieszczono hamulec (5) zaciskający się samoczynnie przy ciśnieniu zasilania niższym niż 4 bary. Manipulator ze skrzynką pneumatyczno-elektryczną połączony jest za pomocą sześciu przewodów pneumatycznych, umieszczonych w szybkołączach oraz przewodu elektrycznego z wtyczką, co zapewnia szybką wymianę manipulatora w przypadku awarii. Przewody są umieszczone w elastycznym przewodniku kabli.

W skrzynce pneumatyczno-elektrycznej umieszczono blok zaworów sterujących ruchem manipulatora i chwytnaka, czujnik obecności próżni w chwytnaku, czujnik ciśnienia w hamulcu, reduktor oraz listwę zaciskową. We wtyczkach elektromagnesów zaworów umieszczono diody świecące informujące o stanie zaworu. Dzięki przezroczystej pokrywie skrzynki stan zaworów można obserwować z poziomu podestu, podczas pracy przenośnika, bez konieczności jego zatrzymania. Na zewnątrz skrzynki umieszczono wydech z tłumikiem hałasu.

Każdy z manipulatorów jest wyposażony w chwytnak podciśnieniowy (rys. 4) z czterema ssawkami (1). W chwytnaku znajduje się prowadnica ślizgowa (2) zapewniająca pionową kompensację ustawienia chwytnaka względem stożka w zakresie ok. 5 mm. Chwytnak jest wykonany ze stali nierdzewnej a elementy mające bezpośredni kontakt ze stożkiem - z tarnamidu i gumy. Konstrukcja chwytnaka zapewnia możliwość chwytania stożków 13-, 19- i 20-calowych po dokonaniu regulacji ustawienia prowadnic oraz ssawek.

Przewody elektryczne do każdej ze skrzynek umieszczonych na wózkach poprowadzone są w korycie zamontowanym pomiędzy wózkami. W korycie tym znajdują się również przewody zasilania pneumatycznego, natomiast pod korytem znajduje



Rys. 5. Schemat sterowania linią szlifowania stożków

się przewód zasilania próżnią, stanowiący jednocześnie zbiornik próżni. Wszystkie te przewody przechodzą poprzez prowadnik kabli na belkę trawersu.

Na belce trawersu umieszczono czujniki ciśnienia i próżni, informujące o warunkach zasilania. Ponadto nad szlifierką baz znajduje się zespół napędu klina zapewniający precyzyjne pozycjonowanie wózków nad tą szlifierką.

Przejazd wózków zapewnia silnik z magnesami z trwałymi (7) napędzający jeden z wózków przez przekładnię planetarną (8) o przełożeniu 1:12 oraz napinany pas zębaty. Ponieważ wózki związane są ze sobą w sposób trwały, napęd jednego z nich powoduje jednoczesny ruch wszystkich wózków. Pozycję krańcową oraz pośrednią sygnalizują czujniki umieszczone na belce trawersu. Ponadto zainstalowano czujniki bezpieczeństwa, umieszczone poza strefą normalnej pracy przenośnika, wyłączające silnik w przypadku przejechania przez pozycję krańcową. W celu zapewnienia łagodnego, powtarzalnego zatrzymania się całego zestawu manipulatorów w pozycji skrajnej zastosowano amortyzator hydrauliczny.

Układ sterowania jest umieszczony w szafie połączonej z szafami układu sterowania maszynami obsługiwanymi przez przenośnik (rys. 5). Sterownik przenośnika komunikuje się ze sterownikiem maszyn za pomocą magistrali DH+. w szafie umieszczono sterownik przemysłowy oraz sterownik silnika wraz z rezystorem rozpraszającym energię hamowania. Obsługa przenośnika następuje z pulpitu. Stan przenośnika jest sygnalizowany lampami umieszczonymi na słupie od strony obsługi.

Do ręcznego ustawienia manipulatorów i przenośnika służy przenośny pulpit sterowania ręcznego, który może być włączany w jedno z czterech gniazd umieszczonych przy maszynach.

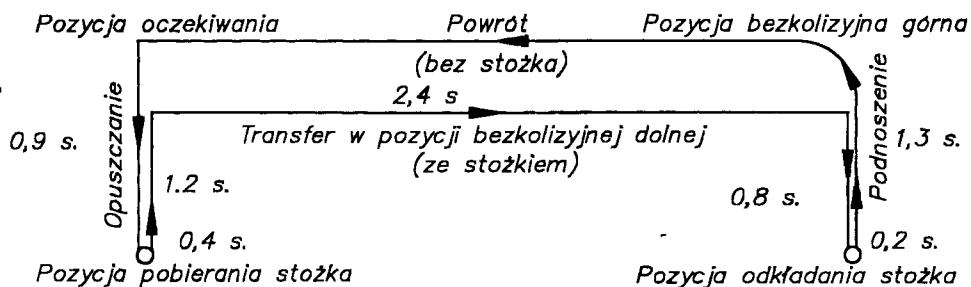
### 3. OPIS DZIAŁANIA

Przenośnik może pracować w wybranych przez obsługę kilku trybach pracy przełącznika umieszczonego na panelu operatora. Do zadań produkcyjnych przewidziane są dwa tryby pracy:

- AUTO
- PRZENOŚNIK

Do regulacji i uruchamiania przewidziane są następujące tryby pracy, dostępne z pulpitu ręcznego sterowania:

- AUTO
- RĘCZNA
- KROKOWA



Rys. 6. Trajektoria ruchu chwytaka

### Tryb pracy AUTO

Warunkiem pracy w trybie AUTO jest załączenie i sprawność wszystkich maszyn i przenośnika a także odpowiednie warunki zasilania oraz zamknięte wszystkie bramki i wyłączone przyciski STOPU AWARYJNEGO.

Po zakończeniu szlifowania na wszystkich maszynach i ich ponownym otwarciu przenośnik uzyskuje sygnał zezwolenia na rozpoczęcie cyklu przenoszenia stożków. Informacja o obecności stożków na poszczególnych maszynach przechowywana jest w rejestrze sterownika.

Cykl pracy jest następujący:

1. Zwolnienie hamulca manipulatora.
2. Opuszczenie chwytaków do wnętrza tych maszyn, w których są stożki.
3. Otrzymanie ze sterownika maszyn zezwolenia na chwyt po zakończeniu pracy przez szlifierkę baz.
4. Włączenie próżni.
5. Kontrola próżni w każdym z chwytaków (jej brak może oznaczać pęknięcie stożka).

Następuje wówczas przejście w stan awarii sygnalizowanej operatorowi.

6. Uniesienie stożków do pozycji transferu.
7. Zaciśnięcie hamulca manipulatora.
8. Otwarcie zatrzasku trawersu.
9. Przejazd trawersem na pozycję PRAWO.
10. Zablokowanie zatrzasku.
11. Zwolnienie hamulca manipulatora.
12. Odłożenie stożków.
13. Odcięcie próżni.
14. Przedmuch ssawek.
15. Podniesienie się manipulatorów w położenie górne.



16. Po osiągnięciu pozycji górnej wysłanie sygnału zezwolenia na rozpoczęcie cyklu szlifowania.
17. Zaciśnięcie hamulca manipulatora.
18. Otwarcie zatrzasku trawersu.
19. Przejazd trawersem na pozycję LEWO.
20. Zablokowanie zatrzasku.

Czasy trwania poszczególnych etapów cyklu przedstawiono na rys. 6.

Przenośnik oczekuje na wykonanie kolejnego cyklu. Start następuje po uzyskaniu zezwolenia na rozpoczęcie cyklu ze sterownika maszyn.

Podczas pracy kontrolowane są warunki bezpiecznej pracy, tzn. prawidłowe ciśnienia oraz brak sygnału wyłączenia awaryjnego. Podczas przenoszenia stożka kontrolowana jest też próżnia w każdym z chwytaków. Jej brak oznacza wypuszczenie stożka lub jego pęknięcie i powoduje natychmiastowe odcięcie chwytaka od instalacji próżni w celu zabezpieczenia pozostałych stożków przed wypuszczeniem przez chwytaki.

Prawidłowość wykonania poszczególnych czynności jest potwierdzana przez odpowiednie czujniki. Jednocześnie kontrolowany jest czas wykonania czynności. Jeśli jest on dłuższy niż zakładano, następuje sygnalizacja za pomocą lampy alarmowej. Ponadto informacja o tym stanie wyświetlana jest na ekranie Panel View wraz z podaniem miejsca wystąpienia awarii.

### **Tryb pracy PRZENOŚNIK**

Tryb ten jest przeznaczony do przenoszenia stożków pomiędzy nie pracującymi maszynami. Wszystkie maszyny powinny być otwarte a warunki początkowe - jak przy pracy AUTO. Przenośnik wykonuje cykl jak w trybie AUTO. Tryb ten jest przeznaczony do pracy ze stożkami, które wróciły do ponownego szlifowania. Jeżeli te stożki nie powinny być szlifowane na którejś z maszyn, to maszynę tę należy przestawić w tryb PRZENOŚNIK za pomocą przełącznika umieszczonego na indywidualnym pulpicie sterowania tej maszyny. Wówczas operacje technologiczne będą wykonywane na pozostałych maszynach, a ta szlifierka pozostanie otwarta i stożki będą jedynie przez nią przekładane.

### **Tryb pracy KROK**

Tryb ten polega na wykonywaniu każdego kolejnego kroku w cyklu automatycznym pod warunkiem uzyskania zgody obsługi przez naciśnięcie przycisku START.

### **Tryb pracy RĘCZNA**

Tryb ten polega na ręcznym sterowaniu poszczególnymi napędami z pulpitu sterowania ręcznego.

#### 4. UKŁAD PNEUMATYCZNY

Ruch manipulatorów, chwytanie stożków oraz dokładne pozycjonowanie przenośnika są realizowane przez układ pneumatyczny.

Sprężone powietrze doprowadza się do dwu zaworów redukcyjnych w celu zasilania obwodu głównego i obwodu hamulców. Obwód hamulców ma niezależne zasilanie zapewniające nieprzerwane zasilanie powietrzem o ciśnieniu powyżej 4,5 bar, niezależnie od chwilowych wartości ciśnień w cylindrach roboczych. Wartość ciśnienia zasilania kontrolowana jest przez czujnik ciśnienia sygnalizujący spadek ciśnienia poniżej wartości minimalnej.

Sprężone powietrze jest podawane do sześciu zespołów odbiorników: pięciu identycznych manipulatorów oraz napędu zatrasku. Napęd zatrasku jest sterowany zaworem dwupołożeniowym. Położenia skrajne cylindra są sygnalizowane czujnikami położenia, umieszczonymi na cylindrze. Na stronie bez tłoczkowej zainstalowany jest regulowany dławik zapewniający łagodny dosuw łożyska zamontowanego na prowadnicy do gniazda umieszczonego na wózkach. Zadaniem tego układu jest dokładne pozycjonowanie manipulatorów nad szlifierkami, a w szczególności nad szlifierką baz.

Zespół zaworów sterujących każdym z manipulatorów jest połączony w jeden blok umieszczony w skrzynce pneumatyczno-elektrycznej. Manipulator jest utrzymywany w pozycji górnej przez hamulec zaciśnięty na prowadnicy. Hamulec zaciśnięty w stanie bezciśnieniowym, jest zwalniany przez zawór pod warunkiem, że ciśnienie zasilania jest większe niż 4 bary. Położenia krańcowe cylindrów są potwierdzane czujnikami położenia.

Procedurę chwytu i puszczenia stożka realizują układy sprężonego powietrza i próżni. Sterowanie próżnią, podawaną do czterech ssawek umieszczonych w chwytaku, następuje poprzez zawór ceramiczny. Pod przyłączką, na korpusie doprowadzającym powietrze do zaworu realizującego przedmuch, znajduje się kryza DN 2 dławiąca przepływ sprężonego powietrza do poziomego zapewniającego łagodny przedmuch.

Pewność chwytu kontroluje umieszczony w skrzynce pneumatyczno-elektrycznej czujnik próżni. Czystość instalacji próżni zapewnia filtr umieszczony na chwytaku.

## 5. URUCHOMIENIE

Podstawowym problemem przy wykonaniu i uruchomieniu przenośnika było spełnienie trzech wymagań:

- zapewnienia bezawaryjnej pracy w systemie pracy ciągłej (obsługa czterobrygadowa) z konserwacją wykonywaną bez zatrzymywania przenośnika, przy uwzględnieniu trudnych warunków pracy przenośnika (bryzgi wody, praca w środowisku mgły wodnej),
- łatwość ponownego uruchomienia po wyłączeniu w trybie awaryjnym, spowodowanym pęknięciem stożka w szlifierce,
- minimalizacji czasu trwania cyklu pracy.

Pierwsze z tych wymagań stawiało szczególne zadania w zakresie doboru bazy elementowej oraz jakości pokryć a także stosowanych materiałów.

Drugie spowodowało konieczność opracowania specjalnych trybów pracy automatu upraszczających procedurę ponownego uruchomienia i minimalizujących czas niezbędny do przygotowania automatu do ponownego startu.

Spełnienie trzeciego wymagania możliwe było w wyniku podjęcia całego szeregu działań w zakresie optymalizacji, tj.:

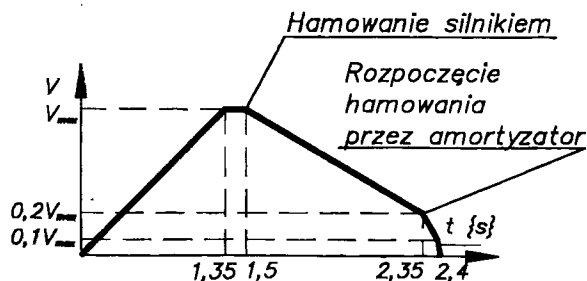
1. procedur realizacji cyklu,
2. oprogramowania,
3. konstrukcji mechanicznej pod kątem minimalizacji trajektorii, tarcia oraz przenoszonych mas,
4. sterowania zastosowanymi napędami.

**Ad 1.** Skrócenie cyklu pracy w wyniku optymalizacji procedur nastąpiło po przeanalizowaniu cyklu pracy wszystkich współpracujących urządzeń oraz uwarunkowań niezbędnych do wykonania poszczególnych kroków cyklu. Pozwoliło to na częściowe równoległe wykonywanie pewnych operacji przez maszyny i przenośnik oraz skrócenie dzięki temu najdłuższej drogi.

**Ad 2.** Oszczędności czasu w tym zakresie wynikały przede wszystkim z krytycznej analizy niezbędnych opóźnień programowych a także zmiany niektórych warunków realizacji kolejnych cykli. Umożliwiło to rozpoczęcie niektórych czynności wcześniej, nie czekając na zakończenie czynności poprzedniej, co spowodowało skrócenie całego cyklu.

**Ad 3.** Działania w tym zakresie wykonywane były na wszystkich etapach pracy:

- na etapie projektowania polegały na poszukiwaniu odpowiednich rozwiązań konstrukcyjnych, na dbałości o eliminowanie zbędnych mas, doborze odpowiednich tolerancji i technologii oraz na doborze elementów z uwzględnieniem właściwych kryteriów,



Rys. 7. Przebieg prędkości trawersu

- na etapie wykonania i montażu polegały na dotrzymaniu reżimu technologicznego, zachowaniu czystości i staranności przy montażu oraz właściwemu smarowaniu ruchomych części.

Ad 4. w przenośniku zastosowano dwie techniki napędowe:

- elektryczny silnik z magnesami z ziem rzadkich, z serwo sterowaniem,
- cylindry pneumatyczne.

W przypadku silnika minimalizację czasu ruchu osiągnięto dzięki:

- zastosowaniu przekładni o dużym przełożeniu. Zmniejszyło to zredukowany do osi silnika moment bezwładności i pozwoliło, mimo dużej wartości rzeczywistej masy, skrócić czas rozpędzania i hamowania; przebieg zmian prędkości ruchu roboczego (ze stożkiem) przedstawiono na rys. 7;
- wykorzystaniu znacznego momentu użytego silnika. Ze względu na przerywany charakter pracy (czas trwania ruchu stanowi około 50 % czasu trwania całego cyklu) możliwe jest chwilowe przeciążenie silnika bez obawy o jego przegrzanie;
- takiemu dobraniu parametrów sterujących silnikiem, aby zminimalizować ruch jednostajny - trawers rozpędza się do prędkości maksymalnej z dopuszczalną dynamiką, po czym po czasie ok. 0,15 s następuje rozpoczęcie hamowania, również z maksymalną dynamiką.

W przypadku cylindrów szczególnie starannie zaprojektowano i wykonano obwody wydechowe, co pozwoliło minimalizować ciśnienie po tej stronie i zapewnić możliwie dużą różnicę ciśnień w cylindrach podczas ruchu. Ponadto układ sterowania zaprojektowano w taki sposób, że w stanie bezsygnałowym obie komory cylindrów połączone są z zasilaniem. Cylindry mają wsunięte tłoczyska dzięki zastosowaniu hamulców, których siła zacisku jest wielokrotnie większa od maksymalnej siły rozwijanej przez cylinder. Dzięki temu start następuje znacznie szybciej (szybciej powiekk-

sza się różnica ciśnień). Ze względu na pionowy układ cylindrów oraz znaczne masy niemożliwe było niestety zastosowanie zaworów szybkiego wydechu.

Po uruchomieniu poszczególnych maszyn pracujących w linii szlifowania i dokonaniu ich regulacji pomierzony, rzeczywisty czas przeniesienia stożka wyniósł 11 s. Dzięki wyżej opisanym przedsięwzięciom osiągnięty został czas 7,2 s, co stanowi spełnienie wymagań postawionych przez użytkownika.