

jące, itp.), procesy betonowania, przygotowania zbrojenia, cięcia (metal, drewna), procesy związane z budową nawierzchni drogowych, itd.

4.2.1.1. Przygotowanie elementów funkcjonalnych placu budowy

Drogi dojazdowe i wewnętrzne

Przebieg dróg na placu budowy wyznacza układ funkcjonalny całego zaplecza. Na potrzeby budowy mostów składanych drogi prowadzi się w układzie pętli (patrz rys.4.3.), łączącej place składowe konstrukcji, nabrzeża, zaplecze produkcji pomocniczej i inne elementy, do których będzie potrzeba dojazdu. Roboty drogowe na placu budowy powinny być zakończone jednocześnie z ukończeniem magazynów na materiały i place składowe, a przed rozpoczęciem zasadniczych robót budowlanych

Drogi tymczasowe mogą tu być budowane jako gruntowe doziarnione kruszywami dobrze odprowadzającymi wodę lub drogi z prefabrykowanych płyt żelbetowych. Drogi dla pojazdów nośności ponad 6 t wymagają nawierzchni z prefabrykatów żelbetowych układanych na gruntach piaszczystych bezpośrednio, a przy gruntach średnio przepuszczalnych - na podłożu z piasku. Grunty mało przepuszczalne wymagają podłoża z flucznią lub gruboziarnistego żwiru.

Urządzenia do transportu pionowego oraz pionowo-poziomego

Do transportu pionowego na budowach mostów składanych są stosowane najczęściej dźwigi samochodowe. Mogą one przy większych budowach być zastępowane żurawiami przejezdными, głównie z wysięgnikiem wodzakowym. W zagospodarowaniu placu budowy należy umiejscawiać te maszyny, wydzielając dla nich stanowiska pracy i strefy zasięgu (pracy).

Budynki tymczasowe, magazynowe, socjalno-sanitarne i administracyjno-biurowe budowy

Wszystkie budynki tymczasowe na placu budowy muszą charakteryzować się sprawnością transportu, montażu i demontażu, umożliwiając ich wielokrotne stosowanie na kolejnych budowach. Obecnie dla potrzeb budowy szeroko są wykorzystywane obiekty kontenerowe. Buduje się z nich zaplecza socjalne, administracyjne, bytowe, a nieraz i podręczne magazyny zestawione w różne układy przestrzenno-funkcjonalne.

Tymczasowe pomieszczenia magazynowe, służące do składowania i przechowywania materiałów, drobnego sprzętu, narzędzi itp. mają przeważnie prefabrykowaną konstrukcję stalową. Drewno, które w budynkach tego rodzaju dominowało, zostało wyeliminowane ze stosowania ze względu na ograniczoną trwałość, nieodporność ogniową, a przede wszystkim rosnące ceny.

Urządzenia produkcji pomocniczej

Zakres instalowanych na budowie mostów z konstrukcji składanej urządzeń produkcji pomocniczej zależy od rodzaju i zakresu zamierzenia inwestycyjnego. Dla małych mostów z konstrukcji np. DMS-65 produkcja pomocnicza

ograniczona może być do małego warsztatu ciesielskiego i kowalsko-ślusarskiego. Przy budowie mostów z konstrukcji kolejowych, gdzie wystąpi potrzeba realizacji wielu procesów technologiami rzemieślniczymi trzeba będzie zorganizować warsztaty i wytwórnie pomocnicze:

- warsztaty ciesielskie (ciesielnie), w których są wykonywane elementy deskowań, drewniane konstrukcje pomocnicze, elementy stemplowań i rusztowań;
- warsztaty zbrojarskie (zbrojarnie), w których przygotowywane są półprefabrykaty i prefabrykaty zbrojenia;
- warsztaty ślusarsko-kowalskie, w których prowadzone są prace z zakresu konserwacji i napraw maszyn, sprzętu i narzędzi oraz wykonywane są elementy metalowe jak balustrady, kraty, wsporniki itp.;
- wytwórnie betonów (betonownie) lub wytwórnie betonów i zapraw - tylko wtedy gdy potrzeba zaopatrzenia budowy w mieszankę betonową nie może być zabezpieczona z wytwórni stacjonarnych;
- warsztaty dla podwykonawców - dla specjalistycznych przedsiębiorstw budowlanych i montażowych.

Jako zasadę należy przyjąć organizowanie bezpośrednio przy warsztatach i wytwórniach pomocniczych składowisk materiałów niezbędnych do zapewnienia określonej produkcji o charakterze pomocniczym oraz place składowe dla gotowych wyrobów.

Instalacje

Zabezpieczenie budowy (zaplecza) w wodę, energię elektryczną, sprężone powietrze, gaz oraz środki łączności wymaga przygotowania odpowiednich instalacji. Elementy te projektuje się jako ostatnie zagospodarowania placu budowy odpowiednio do uprzednio przyjętych rozwiązań przestrzenno-funkcjonalnych zaplecza produkcyjnego, socjalnego i administracyjnego.

Instalacje i sieci wodne

Woda na budowie wykorzystywana jest w bezpośrednich procesach technologicznych wykonawstwa budowlanego, dla potrzeb usługowo-gospodarczych, socjalno-bytowych oraz ochrony ppoż. Źródła z jakich może być dostarczana są różne: z sieci wodociągowej, rzek, strumieni, zbiorników retencyjnych, jezior, studni głębinowych lub dowożona w cysternach.

Przy wyborze źródła wody należy się kierować następującymi zasadami:

- wykorzystać dla potrzeb zaopatrzenia placu budowy w wodę istniejące na placu lub w jego pobliżu publiczne lub przemysłowe sieci i urządzenia wodociągowe;
- w przypadku braku możliwości zaopatrzenia placu budowy z publicznej lub przemysłowej sieci wodociągowej należy projektować ujęcie wody z rzek, a dla potrzeb socjalno-bytowych dowozić wodę zdatną do picia w cysternach.

Instalacje i sieci elektryczne

Źródłem energii elektrycznej dla budowy mogą być:

- sieć miejska i pobór energii o napięciu użytkowym (możliwość takiego poboru ogranicza się zazwyczaj do mocy kilkudziesięciu kW i uzależniona jest od wolnego pola w pobliskiej stacji transformatorowej),
- sieć wysokiego napięcia – poza przewodem doprowadzającym należy zainstalować odpowiedni transformator o niezbędnej mocy.

Źródła te wykorzystuje się (w przypadku możliwości) głównie dla potrzeb zaplecza socjalno-administracyjnego i produkcji pomocniczej oraz oświetlenia placu budowy. Dla potrzeb zmiennych stanowisk pracy należy użytkować agregaty prądotwórcze, których moc wynosi 50-100 kWh.

Na dużych budowach należy wykonywać oddzielnie obwody instalacji siłowej i oświetleniowej. Prowadzenie linii powinno odbywać się na wspólnych podporach (w przypadku linii napowietrznej) lub we wspólnych wykopach. Linie napowietrzną można stosować w tych częściach placu budowy, gdzie nie przewiduje się pracy maszyn z wysięgnikami jak koparki, ładowarki, dźwigi, żurawie itp. W zasięgu pracy tych maszyn należy stosować linie energetyczne kablowe.

Instalacje sprężonego powietrza należy projektować zależnie od rodzaju przewidywanego zapotrzebowania: ze stacji sprężarek, z pojedynczych zespołów sprężarkowych. Stację sprężarek dla placów budów przewiduje się wtedy, jeżeli liczba przyłączonych do sieci odbiorników sprężonego powietrza przekracza 20.

Urządzenia bhp i przeciwpożarowe na placu budowy

Do urządzeń takich zalicza się:

- ogrodzenie placu budowy,
- oświetlenie placu budowy
- środki alarmowania i sygnalizacji,
- znaki bezpieczeństwa,
- bariery ochronne, pomosty, pochylnie.

Ogrodzenie placu budowy

Ogrodzenie powinno zapewniać warunek zabezpieczenia przed wstępem na plac budowy osób nieupoważnionych oraz zabezpieczenia składowane materiały przed kradzieżą. Przy budowie mostów składanych ogrodzenia buduje się dla wybranych elementów zaplecza budowy.

Oświetlenie placu budowy

Punkty oświetleniowe należy tak usytuować, aby zapewniały od zmroku do świtu możliwość ochrony poszczególnych elementów zaplecza oraz samego obiektu: oświetlenie czynnych stanowisk pracy, oświetlenie dojeżdż do nich oraz do budynków socjalno-bytowych, oświetlenie dróg dojazdowych wewnętrznych, pkt. ppoż., hydrantów, zbiorników z wodą, pkt. alarmowych.

Przy oświetleniu stanowisk pracy należy stosować zalecaną średnią jasność 20 lub 30 luxów. Słupy z punktami świetlnymi powinny być rozmieszczone wzdłuż dróg na skrzyżowaniach lub rozgałęzieniach i na zewnętrznej stronie łuku drogi. Do wykonania ruchomych, przenośnych punktów świetlnych należy wykorzystać typowe oprawy oraz stojaki podtrzymujące, zabezpieczone przed

porażeniem ludzi prądem elektrycznym. Żurawie, maszyny lub inne wysokie elementy zagospodarowania placu budowy w porze nocnej i o zmroku powinny mieć na najwyższych punktach oświetlenie pozycyjne koloru czerwonego.

4.2.1.2. Projektowanie dróg i składowisk konstrukcji i materiałów budowlanych

Obecnie nie zachodzi potrzeba składowania na placach budów dużych zapasów materiałowych. Należy je jak najbardziej ograniczać, zapewniając jednak ciągłość produkcji (prac budowlano-montażowych). Stosowane powszechnie pakietowanie konstrukcji (o nieregularnych lub wydłużonych kształtach) i paletyzacja materiałów drobnych (elementy z betonu, łączniki, materiały workowane i w kubkach, itp.) wymaga dostosowania układu dróg placów i frontów rozładunkowych do mechanizacji procesów transportowych. Stosowany obecnie sprzęt do transportu materiałów i prefabrykatów budowlanych, coraz bardziej doskonały i coraz droższy, wymaga bezwzględnie dobrych warunków drogowych.

Układ dróg na placu budowy powinien umożliwiać dojazd środków transportu zewnętrznego w głąb placu budowy do miejsc, w których materiał lub konstrukcje budowlane mają być składowane lub podnoszone i podawane w miejsce wbudowania.

Przy projektowaniu dróg na placu budowy należy przestrzegać zasady, aby układ tych dróg był w miarę możliwości oparty na trasach stałych, które będą używane po zakończeniu budowy. Na potrzeby budowy drogi te mogą być uzupełnione dojazdami i drogami tymczasowymi. Każdą budowę należy rozpoczynać od ograniczenia terenu (ogrodzenia, oznakowania) i uzbrojenia go w instalacje, a następnie należy wykonać drogi.

Roboty drogowe na placu budowy powinny być zakończone jednocześnie z ukończeniem magazynów na materiały, a przed rozpoczęciem zasadniczych robót budowlanych.

Wjazdy na plac budowy i wyjazdy oraz włączenie drogi budowlanej do sieci dróg publicznych powinny być tak rozwiązane, aby nie powodowały zakłócenia komunikacji na drogach publicznych.

Trasa drogi wewnętrznej powinna być tak przeprowadzona aby:

- transport samochodowy był doprowadzony blisko miejsca przeznaczenia,
- drogi dowozu znajdowały się w zasięgu urządzeń podnośnych,
- w przypadku prowadzenia trasy drogi wzdłuż budowanego obiektu pozostał między drogą a obiektem wolny teren do składowania materiałów i wyrobów budowlanych oraz do wykonywania robót pomocniczych,
- zachowana była bezpieczna odległość drogi od zlokalizowanych na terenie budowy maszyn, budynków pomocniczych i wykopów.

Podstawowe ustalenia dla dróg placów budowy są następujące: szerokości nawierzchni dla dróg jednokierunkowych 3,5-4,5 m, dróg dwukierunkowych 7-9 m. Przy placach wyładunkowych i innych miejscach okresowego postoju pojazdów drogi powinny być poszerzane co najmniej o 3,5 m. Spadki podłużne dróg tymczasowych nie powinny być większe od 6%, minimalne promienie łuków 20 m (do transportu materiałów dłużycowych – 40 m). W miejscach łuków są ko-

nieczne poszerzenia; niezbędne poszerzenia dróg dwukierunkowych zestawiono w tablicy 4.1

Tablica 4.1

Poszerzenia nawierzchni dróg tymczasowych na łukach wg [3].

Długość pojazdu [m]	Promienie łuków [m]		
	20	25	30
	niezbędne poszerzenie nawierzchni		
5,0	1,80	1,60	1,40
6,0	2,10	1,70	1,55
7,0	2,20	1,90	1,65
8,0	2,60	2,10	1,85
9,0	2,70	2,30	1,90
10,0	3,00	2,60	2,20

Fronty rozładunkowe i składowiska należy tak rozmieszczać, ażeby materiały znajdowały się jak najbliżej miejsc ich wbudowania lub przetwarzania przy punktach produkcji pomocniczej.

Materiały i prefabrykaty wbudowane bez przetwarzania lub obróbki składowe się w pobliżu maszyn transportu pionowego i to tak, ażeby materiały cięższe, zużywane na budowie w największych ilościach, były sytuowane jak najbliżej tego sprzętu, lżejsze - nieco dalej. Długości placów składowych nie mogą być mniejsze od obliczeniowej długości frontu rozładunkowego, którą ustala się za pomocą wzoru [3]:

$$L = \frac{M_d \cdot K_n}{V \cdot n} \cdot l \cdot K_R$$

gdzie:

M_d - ilość materiału dostarczana na budowę w ciągu doby, określona na podstawie harmonogramu lub wykazu dostaw materiału, lub prefabrykatów budowlanych;

V - pojemność załadunkowa jednostki transportowej stosowanego typu; M_d oraz V są określane w tych samych jednostkach (szt., m, m², m³, kg lub t);

n - liczba cykli pracy jednostek transportowych z materiałami określonego rodzaju w okresie doby;

l - długość frontu wyładunkowego jednostki transportowej [m];

K_n - współczynnik nierównomierności dostaw przyjmowany: - przy dostawie koleją na bocznicy placu budowy 1,3-1,6 - przy dostawach samochodami po przeładunku na obcej bocznicy kolejowej 1,4-2,0;

K_R - współczynnik zwiększający, stanowiący rezerwę długości frontu, potrzebny do manewrowania pojazdami, przy transporcie drogowym $K_R = 1,2-1,5$.

Przy ustalaniu składów i magazynów należy stosować następujące zasady:

1. Wszystkie magazyny tymczasowe powinny być budowane według projektów typowych jako składane z typizowanych elementów o wspólnym module, przystosowane do łatwego montażu, demontażu i przewozu.
2. Lokalizacja poszczególnych placów składowych i magazynów powinna być zgodna z przepisami bezpieczeństwa pracy i bezpieczeństwa przeciwpożarowego.
3. Wszystkie składowiska i magazyny powinny być zlokalizowane przy drogach dojazdowych.
4. Należy dążyć do dowożenia materiałów masowych bezpośrednio do miejsca wbudowania.
5. Materiały powinny być składowane przy obiekcie w takiej kolejności w jakiej będą zużywane.
6. Magazyny zamknięte należy rozmieszczać bezpośrednio przy kierownictwie budowy.

Tablica 4.2.

Normatywy składowania niektórych materiałów budowlanych (na podstawie [3])

LP.	Rodzaj materiału	Jednostka	Normatyw składowania; ilość na 1 m ² powierzchni	Wysokość składowania [m]	Współczynnik k_{mag}	Sposób składowania
Kruszywa						
1	Piasek	m ³	1,0-1,5	1,0-1,5	1,4-1,5	w przyzmach
2	Żwir	m ³	1,0-1,5	1,0-1,5	1,4-1,5	w przyzmach
		t	2,6-3,0	1,5-1,5		
Metale, konstrukcje stalowe						
8	Stal do zbrojenia betonu:					
	- okrągła w kęgach	kg	500	1,0	1,8	5 warstw
	- okrągła prętowa	t	2,4-3,0	0,5	2,0-2,1	w zasiekach na podkładach
9	Stal kształtowa i konstrukcje mostowe	kg	800-1200	0,6	2,0	wielowarstwowo w stosach
47	Rury stalowe małych średnic	t	1,0	1,7	2,5	na stelażach
47	Rury stalowe dużych średnic	t	0,5-0,8	1,0	1,6-2,0	na podkładach i przekładkach
49	Blachy	t	4,0	1,0	1,9	
Drewno						
10	Drewno okrągłaki	m ³	0,6-0,7	1,5	1,7	w stosach na przekładkach i podkładach
11	Deski	m ³	0,6-1,0	1,0-3,0	2,0-2,3	
12	Krawędziaki i belki	m ³	1,0-1,5	2,0-3,0	2,0-3,0	
Inne materiały						
45	Gazy techniczne	butle	10	1,6	2,0	stojące obok siebie
50	Gwoździe, śruby, nit	t	1,2	1,5	1,9	w skrzyniach wielowarstwowo

Ustalenia powierzchni składowisk i obiektów magazynowych przeprowadza się na podstawie następujących danych:

N_{sm} - normatywów ilości materiałów składowanych na 1 m² powierzchni składowiska lub magazynu (tab. 4.2.);

k_{mag} - współczynników zwiększających, stanowiących stosunek ogólnej powierzchni składowiska lub magazynu do powierzchni zajmowanej przez składowany materiał. Przykładowe wielkości tych danych przedstawiono w tablicy 6.2.

Wartość powierzchni składowania netto F_n oblicza się jako iloraz zapasu ilościowego materiału czy konstrukcji M do N_{sm} , zaś brutto F_b - poprzez przemnożenie obliczonej powierzchni przez współczynnik k_{mag} :

$$F_n = \frac{M}{N_{sm}}; \quad F_b = F_n \cdot k_{mag}.$$

Przedstawione zasady zagospodarowania placu budowy mostu z konstrukcji składanej mogą być twórczo rozwijane wraz z rozwojem technicznych urządzeń stosowanych na placach budów i technologii budowania obiektów.

4.2.2. Model zagospodarowania placu budowy

Organizacja placu budowy powinna być podporządkowana sytuacji terenowej w rejonie budowy mostu i potrzebom wykonawcy robót. Dla założonej modelowej sytuacji w rejonie budowy plan zaplecza budowy przedstawia rys. 4.3. Na placu tym zaznaczono wydzielone place oraz te obiekty i urządzenia, które spełniają rolę socjalną i usługową w odniesieniu do całej budowy. Modelowy plac budowy został zaprojektowany dla programu minimum, to jest sytuacji wykonywania na budowie tylko niezbędnych procesów pracy. Uwzględnia też tymczasowość i krótki okres wykonywania na nim prac.

Na placu budowy należy przygotować (charakterystyczne wielkości elementów placu budowy podano w nawiasach):

a) na brzegu wyjściowym:

- drogi z prefabrykowanych płyt żelbetowych o szerokości 4 m i ogólnej długości 400 - 600 m,
- place o nawierzchni gruntowej (wyrównane i uwałowane),
- plac postojowy sprzętu (ok. 1500 m²),
- plac składowania elementów podpór (ok. 600 m²),
- plac składowania drewna i elementów drewnianych (200 - 300 m²),
- plac pod tymczasowe elementy bazy produkcyjnej i socjalnej (400 - 500 m²),
- plac składowania elementów konstrukcji nośnej (1300 - 1500 m²),
- wyrównanie terenu na placach montażowych (ok. 1000 m²),
- wiatę produkcji pomocniczej (150 - 250 m²),
- barakowozy (lub kontenery) kierownictwa budowy (2 szt.),
- nabrzeże dla obsługi promów (dł. 15 - 20 m),

- bazę socjalną pracowników (3 pom. - ok. 90 m²),
- ubikacje suche (3 - 5),
- oświetlenie bazy socjalnej i produkcji pomocniczej,
- punkt produkcji pomocniczej (rozwiniecie elektrowni siłowej z osprzętem),
- punkt tankowania pojazdów,
- oznakowanie rejonu budowy mostu.

b) na brzegu przeciwnym:

- drogi z płyt żelbetowych szer. 4 m i ogólnej długości 100 - 150 m,
- place o nawierzchni gruntowej (wyrównane i uwałowane) 400 - 500 m,
- oświetlenie rejonu budowy.

Na punkcie produkcji pomocniczej należy zorganizować stanowiska do:

- przecierania drewna (z piłą tarczową),
- wykonywania otworów w drewnie (wiertarki elektryczne i dłutownice),
- przecinania drewna (piły elektryczne),
- spawania elementów stalowych i cięcia metalu,
- przygotowania śrub,
- wiercenia otworów w metalu i wykonywania okuć,

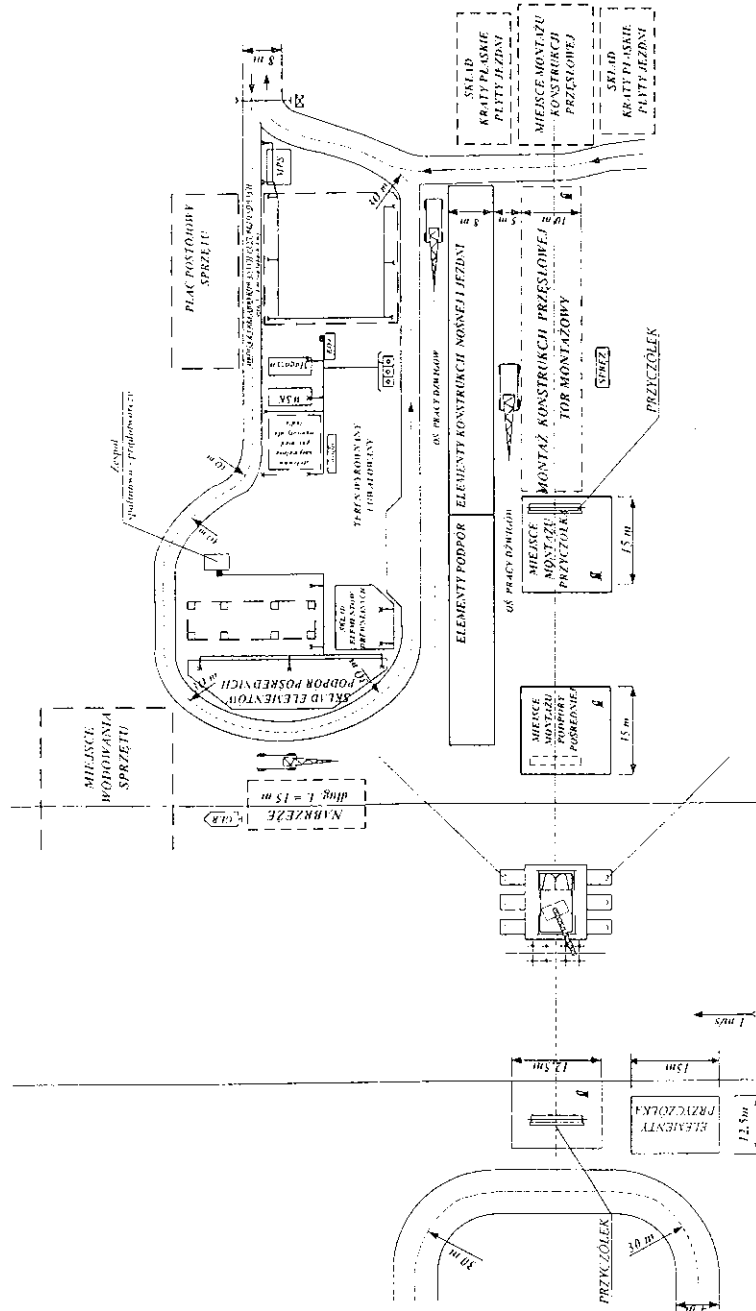
Należy podkreślić, iż punkt ten powinien świadczyć usługi w zakresie wykonywania robót i elementów, które nie mają charakteru masowego i nie wymagają precyzyjnego wykonania.

Należy dążyć do tego, aby wszystkie prefabrykaty konstrukcji pomocniczych (np. do budowy pomocniczych podpór pośrednich) były wykonywane poza placem budowy w stacjonarnych warsztatach i dostarczane na plac budowy transportem samochodowym.

4.2.3. Wytyczne realizacyjne

Kolejność realizacji zagospodarowania placu budowy jest zasadniczo odmienna od kolejności jego projektowania. Do podstawowych czynności wstępnych na placu budowy należy:

- rozpoznanie terenowych warunków realizacji budowy,
- sprawdzenie terenu przyszłej budowy pod względem bezpieczeństwa prowadzenia robót,
- sprawdzenie zgodności projektu zagospodarowania placu budowy z rzeczywistym stanem terenu,
- wskazanie przez inwestora (lub uzgodnienie) poboru wody i źródła energii,
- jednoznaczne określenie granic placu budowy, oraz dróg dojazdowych do placu budowy lub jego zaplecza (w przypadku obiektów drogowo-mostowych plac budowy może nie pokrywać się z jego zapleczem),
- dokonanie niezbędnych ustaleń z organami administracyjnymi terenu.



Rys.4.3. Modelowy schemat zagospodarowania placu budowy mostu składanego techniką wysuwania na przeskodzie

Do podstawowych robót należą:

- ogrodzenie placu budowy łącznie z wykonaniem tablic informacyjnych i ostrzegawczych;
- oczyszczenie, osuszenie i plantowanie tereny budowy;
- wykonanie dróg dojazdowych oraz dróg wewnętrznych placu budowy;
- wybudowanie (ustawienie) budynków administracyjnych i socjalno-bytowych;
- wybudowanie (ustawienie) budynków wytwórni pomocniczych;
- wykonanie instalacji i sieci sanitarnych i elektrycznych;
- zainstalowanie maszyn i urządzeń;
- urządzenie punktów ppoż.

Kolejność realizacji poszczególnych elementów zagospodarowania zaplecza może być różna w zależności od tego, czy jest ono zagospodarowywane w jednym czy w kilku etapach.

Kolejność realizacji zagospodarowania placu budowy realizowanym w jednym etapie może być następująca:

1. Wykonanie podstawowych czynności wstępnych;
2. Budowa dróg dojazdowych;
3. Ogrodzenie zaplecza budowy;
4. Budowa instalacji i sieci zaopatrzenia w media zaplecza budowy;
5. Budowa obiektów administracyjno-socjalnych;
6. Budowa dróg wewnętrznych;
7. Budowa obiektów magazynowych i wytwórni pomocniczych;
8. Instalowanie maszyn i urządzeń (żurawia, urządzeń wytwórni pomocniczych);
9. Urządzenie otwartych placów składowych, placów rozładunkowych, parku postojowego sprzętu transportowego;
10. Urządzenie punktów ppoż. i oznakowanie terenu.

Przed rozpoczęciem robót zasadniczych musi być sprawdzone zagospodarowanie zaplecza placu budowy co do jego zgodności z projektem.

W wieloetapowej realizacji zagospodarowania zaplecza placu budowy kolejność jest podobna jak w jednoetapowej realizacji zaplecza, z tym że w poszczególnych etapach realizuje się tylko te elementy, które zawarte są w projekcie dla danego etapu.

Etapowa realizacja zagospodarowania placu budowy pozwala na znaczne zmniejszenie kosztów zaplecza placu budowy, oraz realizację placu budowy na mniejszej powierzchni. Wymaga jednak wzorowego zaplanowania i zharmonizowania z terminowym zakończeniem poszczególnych robót budowlanych na realizowanym obiekcie.

Podczas ustalania warunków zagospodarowania kilku placów budowy w danym rejonie dąży się do centralizacji niektórych urządzeń na jednym zapleczu, zamiast budować ich kilka rozproszonych na różnych budowach na przykład dla budowy dróg dojazdowych i samego mostu.

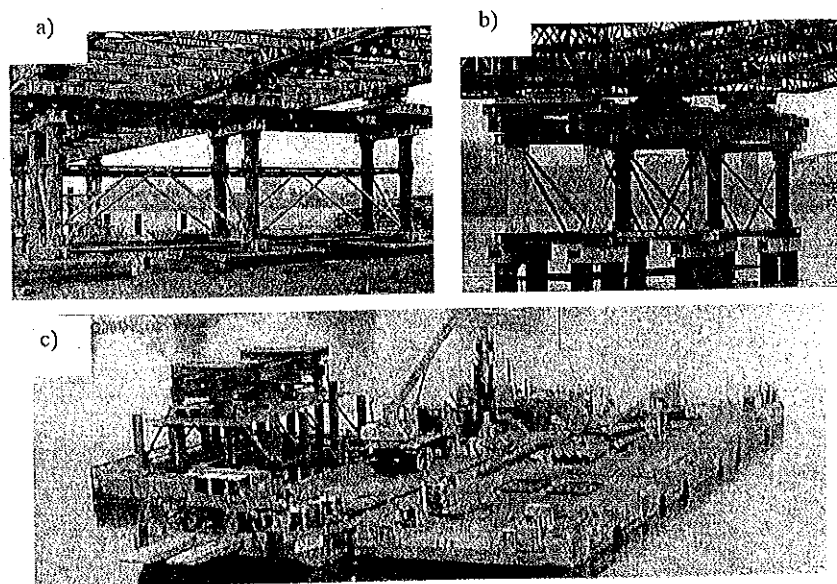
4.3. Budowa podpór

4.3.1. Ogólne zasady organizacji budowy

Technologia i organizacja budowy podpór zależna jest od przyjętej konstrukcji podpór i sposobu montażu konstrukcji przęsłowej jak i od posiadanego sprzętu.

W wielu przypadkach na długości mostu stosuje się podpory o różnej konstrukcji. Spowodowane jest to warunkami gruntowo-wodnymi w osi mostu oraz dążeniem do usprawnienia prac na przeszkodzie, szczególnie przy brzegach.

Budowa podpór jest procesem wiodącym w pracach wykonywanych na przeszkodzie wodnej. Wymaga się tu pewnego wyprzedzenia czasowego w stosunku do czasu rozpoczęcia montażu przęseł. Czas ten jest różny w zależności od konstrukcji podpór i technologii ich posadowienia. Przykłady konstrukcji stosowanych podpór w mostach składanych przedstawiono na rys. 4.4.

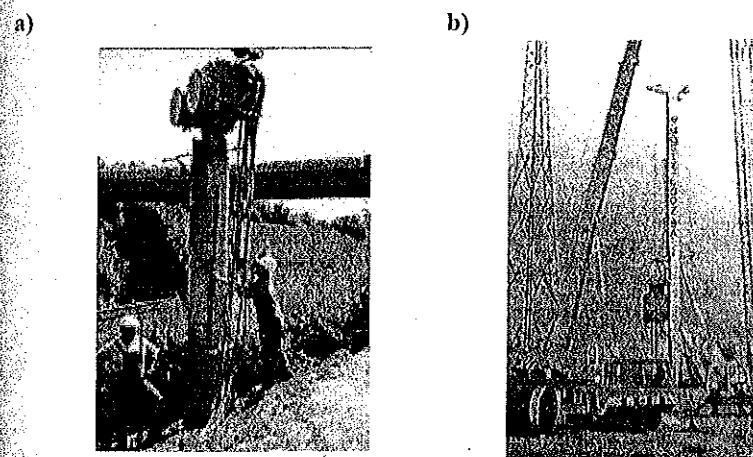


Rys.4.4. Przykłady podpór mostów z konstrukcji składanych [4], a) – podpora o konstrukcji składanej na fundamencie płytowym, b) – jak a) lecz na fundamencie palowym, c) - budowa podpory palowej pod most składany.

Podpory buduje się jako przestrzenne posadowione na fundamencie palowym lub płytowym (na utwardzonym podłożu). Jeżeli warunki na to pozwalają, należy przy brzegach budować podpory na fundamentach płytowych. W środkowej części mostu należy stosować fundamente palowe podpór. Wpędzanie pali,

najczęściej rurowych, jest realizowane dość sprawnie przy wykorzystaniu współczesnych urządzeń (kafarów i wibromłotów) z pomostów pływających. Brzegowe podpory – przyczółki – są budowane najczęściej jako konstrukcje stosowe lub legarowe oparte na wzmocnionym płytami (najczęściej żelbetowymi) podłożu gruntowym. Przy słabym podłożu i przy zagrożeniu osuwaniem gruntu budowane są w przyczółkach fundamente palowe. Ograniczenie nasypu dojazdu do mostu realizowane jest ściankami szczelnymi - metalowymi lub z drewna.

Procesy budowlane związane z wykonaniem fundamentów podpór i montażu nadbudowy realizuje się najczęściej oddzielnie. Dotyczy to w szczególności podpór na fundamentach palowych. Należy zadbać o specjalistyczne przygotowanie zespołów roboczych do wykonywania procesów pracy i wyposażenie ich w odpowiednie urządzenia technologiczne oraz w osprzęt pomocniczy, w tym dla zapewnienia bezpieczeństwa robót. Przy jednej podporze powinien pracować pod nadzorem jeden zespół roboczy. Prace na wodzie powinny być ubezpieczone grupą ratunkową z nurkiem w łodzi z silnikiem zaburtowym.



Rys. 4.5. Wbijanie pali: a) przy użyciu wibromłota, b) przy użyciu kafara z młotem

Realizacja prac montażowych na wodzie odbywa się najczęściej z doraźnie zbudowanych promów lub z barek. Należy zapewnić stateczność tych konstrukcji pod najbardziej niekorzystnym obciążeniem promu, wynikającym z wyposażenia promu i charakteru pracy urządzeń znajdujących się na promie. Pojazdy kołowe (dźwigi, urządzenia na przyczepach) należy zabezpieczyć przed przemieszczaniem się w czasie ruchu promu. Promy należy kotwiczyć do wbitych pali w celu ich pełnego unieruchomienia.

Wpędzanie pali można realizować przy użyciu wibromłotów lub kafarów z młotem o odpowiedniej masie. Do obsługi wibromłota potrzebny jest dźwig.

Kafary mają najczęściej samobieżne podwozia lub możliwość zamontowania na ramie umożliwiającej jego przemieszczanie.

Po wbiciu wszystkich pali w podporze można przystąpić do wykończenia fundamentu palowego (obcięcie pali, montaż stężeń, montaż głowic lub oczepów pali) i montażu nadbudowy podpory (najczęściej składanej). Należy dążyć do mechanizacji wszystkich procesów technologicznych. Ważnym zagadnieniem w organizacji prac jest opracowanie planu bezpieczeństwa i ochrony zdrowia. Opracowanie to jest wymagane w każdym przypadku realizacji prac na wodzie – z pomostów pływających.

Prace związane z budową podpór mogą być organizowane na szerokim froncie. Organizuje się w tym przypadku 2-3 zespoły do przygotowania fundamentów palowych i 1-2 zespoły do montażu nadbudowy z konstrukcji składanej. Konstrukcje dostarcza się do miejsc posadowienia podpór specjalnie do tego celu przygotowanym promem.

4.3.2. Budowa przyczółków i podpór pośrednich na lądzie

Budowa przyczółków obejmuje przygotowanie fundamentu i montaż nadbudowy z konstrukcji składanej. Fundamentem takiej podpory może być ruszt palowy (np. 8 pali stalowych z rur $\varnothing 508$ mm), lub stopy fundamentowe podpór SPS-69 B ułożone na wyprofilowanym i utwardzonym podłożu gruntowym.

Do wpędzania pali mogą być użyte różne kafary (np. KPF-22HK, KPE-22GH, KP-2) lub wibromłoty (np. WM-2x17 ZREMB). W wojsku typowym zestawem do tych prac jest kafar KP-2 [11] z młotem UR-1250 zasilanym zespołem spalinowo-prądowórczym PAD-16.

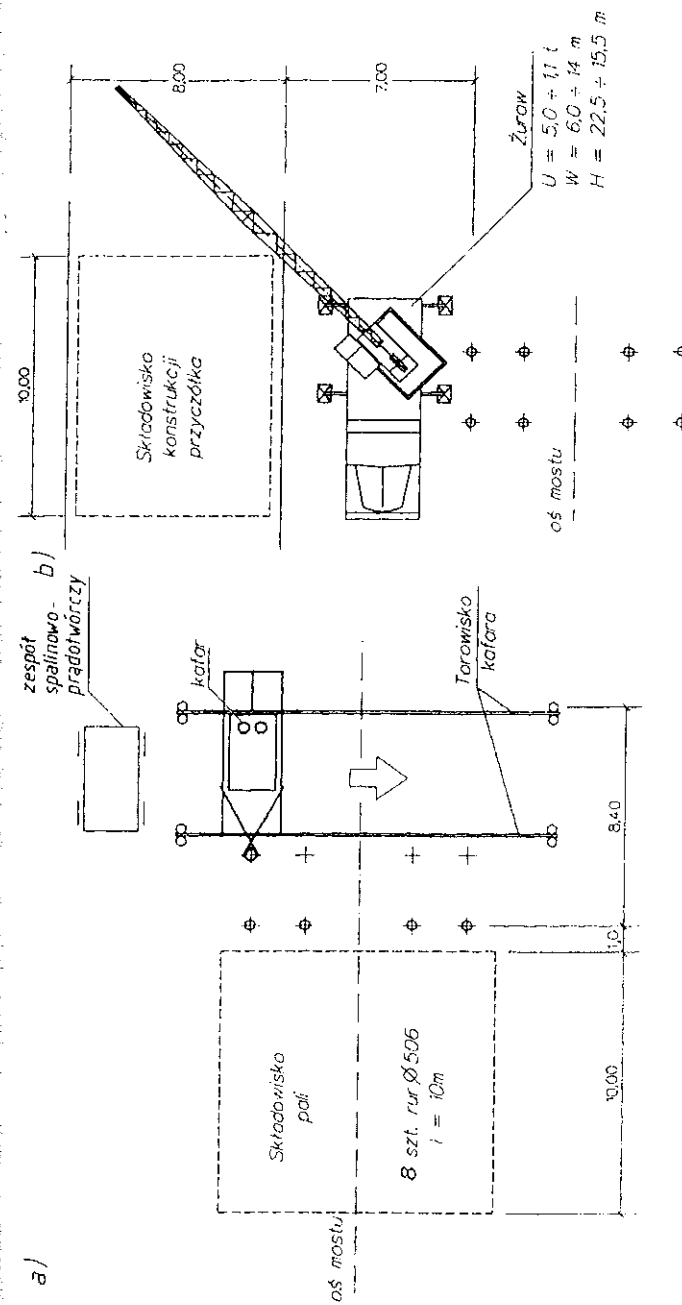
Kafar należy ustawić na ramie ułożonej na wyrównanym podłożu gruntowym zapewniając możliwość jego przemieszczania przy wbijaniu jednego rzędu (4 szt.) pali. Skład pali lokalizuje się wzdłuż osi mostu od strony świecy kafara (rys. 6.6). Czas wpędzania jednego pala można szacować na około 2 godziny. Czas wpędzania wszystkich pali jednego przyczółka z uwzględnieniem montażu i demontażu kafara oraz operacji jego przestawienia (dla wbijania drugiego rzędu pali) ocenia się na 20 godzin. Skład i wyposażenie zespołu: 7 robotników, 2 samochody ciężarowo-terenowe, kafar z młotem, zespół spalinowo-prądowórczy z osprzętem.

Montaż nadbudowy obejmuje prace spawalnicze (obcięcie pali, wykonanie pionowych szczelin, wstawianie żeber konstrukcji głowic) oraz montaż konstrukcji składanej (ułożenie rusztu fundamentowego z zamocowaniem do głowic, montaż układu podłożyskowego i podstaw łożysk).

Zakres prac spawalniczych może wynosić:

- cięcie metalu w [m]: $8(1,6 + 1,2) = 22,4$;
- spawanie elektryczne w [m]: $8 \times 1,2 = 9,6$.

Do realizacji tych prac należy wydzielić 2-3 spawaczy z zestawem do spawania elektryczno-gazowego. Czas realizacji robót spawalniczych przy tym zakresie prac wynosi 9-12 godzin.



Rys. 4.6. Schemat organizacji frontów robót przy budowie przyczółka na fundamencie palowym
a) wbijanie pali przyczółka, b) montaż konstrukcji na fundamencie palowym.

Nazwa zadania	Zespół realizacji	Czas trwania	01	02	03
1) Wpędzenie pali	według opisu	20 h	0,6	12,18	20,16
2) Prace spawalnicze	2 spawaczy	12 h	0,6	12,18	20,16
3) Montaż nadbudowy na fundamentach pali	10 monterzystów, dźwig	6 h	0,6	12,18	20,16
4) Wyrównanie podłoża	spyszerka, 10 robotników	4 h	0,6	12,18	20,16
5) Montaż przyczółka na fundamentach płyt	10 monterzystów, dźwig	12 h	0,6	12,18	20,16

Rys. 4.7. Ocena czasu budowy przyczółka mostu składanego.

Zakres prac montażowych określa masa montowanej konstrukcji, wynosząca około 7,2 t (15 t – w przypadku stosowania stóp fundamentowych). Realizację tych prac należy powierzyć zespołowi 10 monterów wyposażonych w żuraw średniego udźwigu, sprężarkę powietrza o wydajności minimum 5 m³/min (z kompletem narzędzi pneumatycznych i montażowych) oraz środki transportowe. Czas realizacji montażu przyczółka ocenia się na około 6 - 8 godzin.

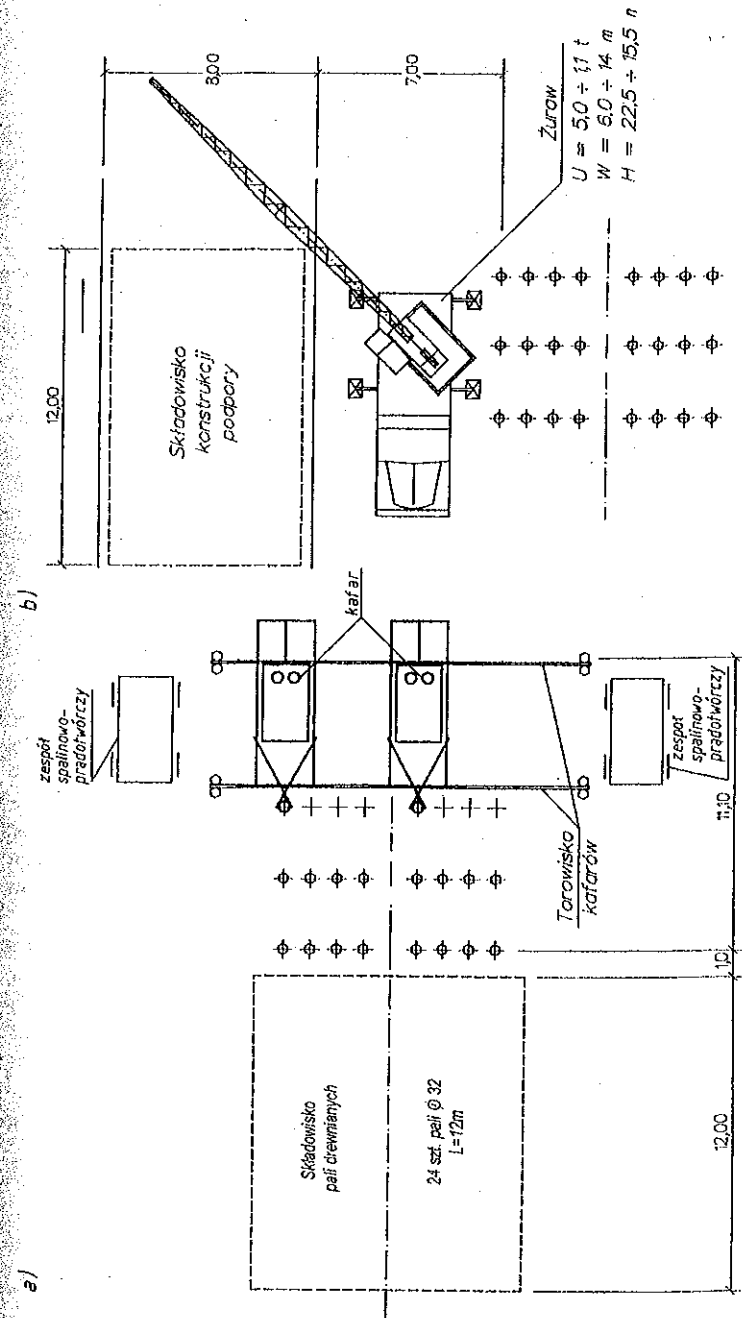
Schemat organizacji wpędzania pali i montażu konstrukcji przyczółka przedstawiono na rys. 4.6. Przykładowe harmonogramy realizacji robót prezentowane są na rys. 4.7.

Wynika z nich, że budowa przyczółka na fundamentach palowych jest procesem dwukrotnie dłuższym czasowo niż wykonanie takiego przyczółka na fundamentach płytowych. W przedstawionych harmonogramach (rys. 4.7) nie uwzględniono czynności geodezyjnego wytyczenia podpór. Proces ten jednak może być realizowany podczas prac przygotowawczych związanych z rozwijaniem sprzętu.

Budowa podpory pośredniej na ładzie przebiega podobnie jak budowa przyczółka. Organizację frontu robót obrazuje schemat na rys. 4.8. Czas potrzebny na wykonanie fundamentu jest proporcjonalnie większy do czasu potrzebnego na wpędzenie pali przy przyczółku. Podpora jednak może być wyższa niż przyczółek. Nadbudowa z konstrukcji SPS-69 B [1] jest kształtowana wysokościowo z jednometrowych i dwumetrowych segmentów słupa. Przyjmując, iż w podporze wystąpi konieczność zastosowania obu tych segmentów, ciężar nadbudowy podpory wyniesie około 15 t.

Czas montażu takiej konstrukcji zespołem 10 monterzystów i jednym dźwigiem (średniego udźwigu) wyniesie około 12 - 16 godzin. Do montażu niezbędne są: sprężarka, zestaw narzędzi i sprzętu do montażu konstrukcji oraz środki transportowe. Budowa podpory pośredniej na fundamentach płytowych przy wykorzystaniu wyżej przedstawionego zespołu realizacyjnego może być zrealizowana w ciągu 20 - 24 godzin (z przygotowaniem podłoża).

Podpora na fundamentach palowych wymaga wydłużenia tego czasu do 36 godzin (przy zastosowaniu jednego kafara). Czas ten można skrócić w dogodnych warunkach przy zastosowaniu wibromłotów do około 26 - 28 godzin.



Rys. 4.8. Schemat organizacji frontów robót przy budowie podpory palowej na ładzie
a) wbijanie pali, b) montaż konstrukcji na fundamentach palowych

4.3.3. Budowa podpór pośrednich na wodzie

Realizacja prac na wodzie wymaga przygotowania promów pod kafary i środki montażowe.

Drewniane pale podpory pośredniej na wodzie wędza się jednym lub dwoma kafarami z specjalnego promu – rys. 4.9. Koncepcja ustawienia dwóch kafarów na jednym promie winna być zweryfikowana w praktyce. Liczba pali drewnianych w podporze (24 szt.) wymaga jednak, w celu przyspieszenia prac, zastosowania dwóch urządzeń do wbijania pali.

W przypadku stosowania na pale rur stalowych $\varnothing 508$ (8 pali w podporze) można się ograniczyć do zastosowania jednego wibromłota do wędzania pali. Prom do robót fundamentowych może być zabudowany i wyposażony jak na rysunku 4.11

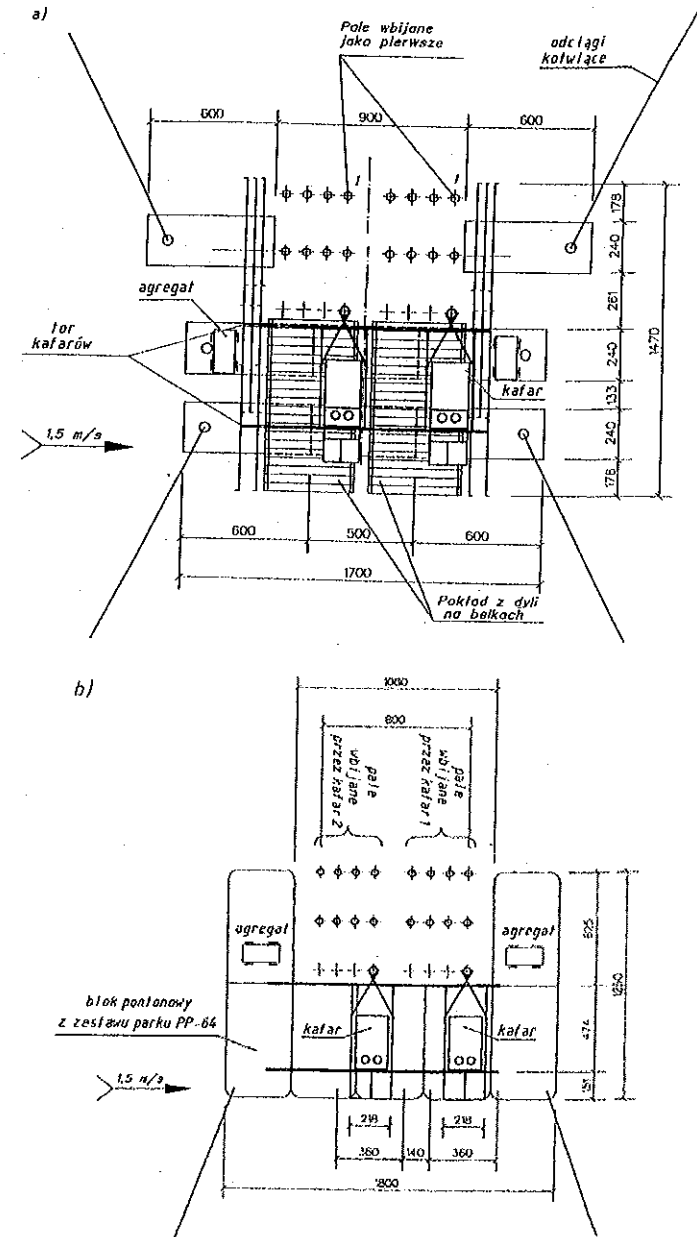
Prom pod kafary z parku TPP [11] jest konstrukcją promy dwujezdniowej ze skróconymi belkami jezdni od strony świcy kafarów. Aby uniknąć konieczności skracania belek można wprowadzić pod wystające belki ponton środkowy i układ kafarowy przesunąć nad ten ponton. Na promie kafarowym należy ułożyć elementy konstrukcji ramy stężącej pale.

Prom kafarowy należy mocować linami kotwicznymi i ankrami do brzołów lub do pali kotwicznych. Pale podpory ($l = 16$ m) dostarcza się do promu kafarowego dodatkowym promem przewozowym z kutrem. Wbijanie pali prowadzić można równolegle dwoma kafarami obsługą 2×7 robotników. Do prac pomocniczych wykorzystuje się obsługę promu 12 pontonierów (po zmontowaniu promu i jego zakotwiczeniu obsługą tą można zredukować do 6 ludzi).

Rama stężąca pale (rys. 4.10) stanowi szablony siatki pali. Należy montować ją więc wraz z operacją wędzania pali. Proponuje się przygotowanie (montaż) płaskich ram stężących rzędy pali i podwieszanie ich sukcesywnie, w miarę wbijania poszczególnych rzędów, do konstrukcji promu kafarowego. Stężenie dwóch kolejnych rzędów pali realizować należy po podwieszeniu kolejnej płaskiej ramy stężącej. Stężenia mogą montować obsługi promu i kafarów wzmocnione płetwonurkiem. Przykładowe zestawienie zakresu prac i środków realizacji zawiera tablica 4.3.

W przypadku stosowania wibromłotów na prom należy wprowadzić żuraw samochodowy o udźwigu co najmniej $U = 5$ t, na wysięgu $W = 10$ m, przy wysokości podnoszenia $H = 16$ m oraz agregat prądowórczy o mocy, co najmniej 30 kW. Przy użyciu dwóch wibromłotów czas wędzania pali można skrócić o około 30-40 % [7].

Po wbiciu jednego rzędu pali można przystąpić, wykorzystując prom kafarowy i dodatkowe prowizoria, do przygotowania pomostów, do montażu głowicy pali. Realizacja tego procesu jest identyczna jak podpory na lądzie. Zespół 3. spawaczy z zestawem do spawania elektryczno-gazowego jest w stanie wykonać te prace w czasie 9 godzin.

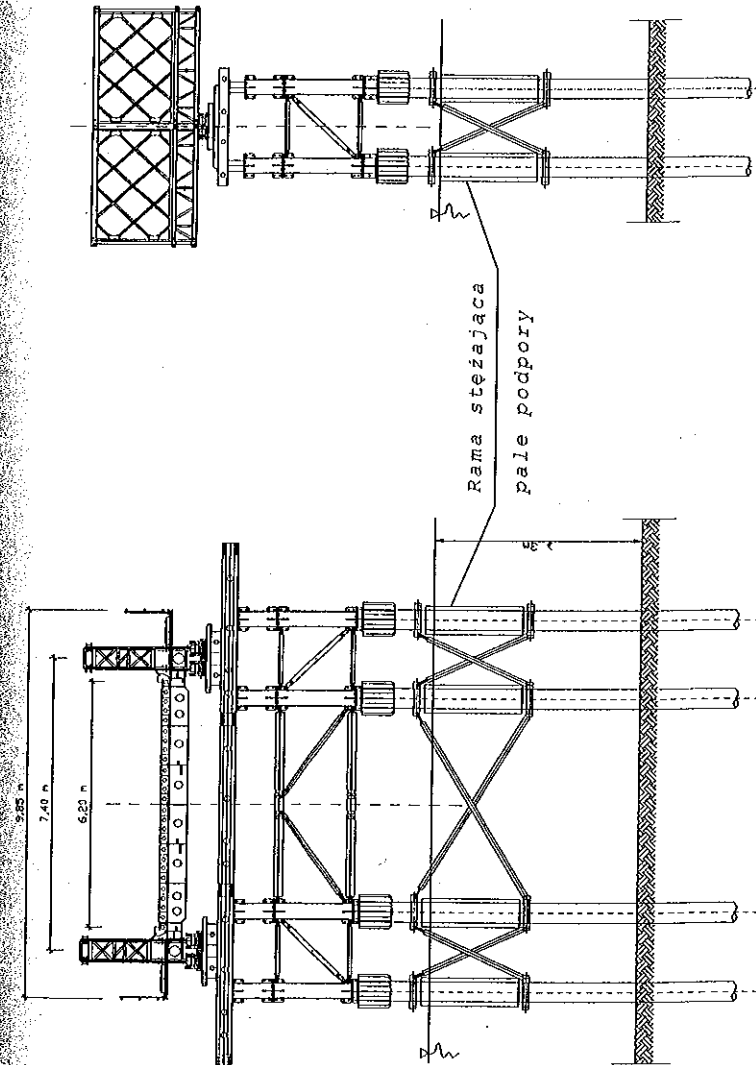


Rys. 4.9. Przykłady promów kafarowych stosowanych w wojskach inżynierskich
a) prom z parku TPP, b) prom z parku PP-64

Tablica 4.3.

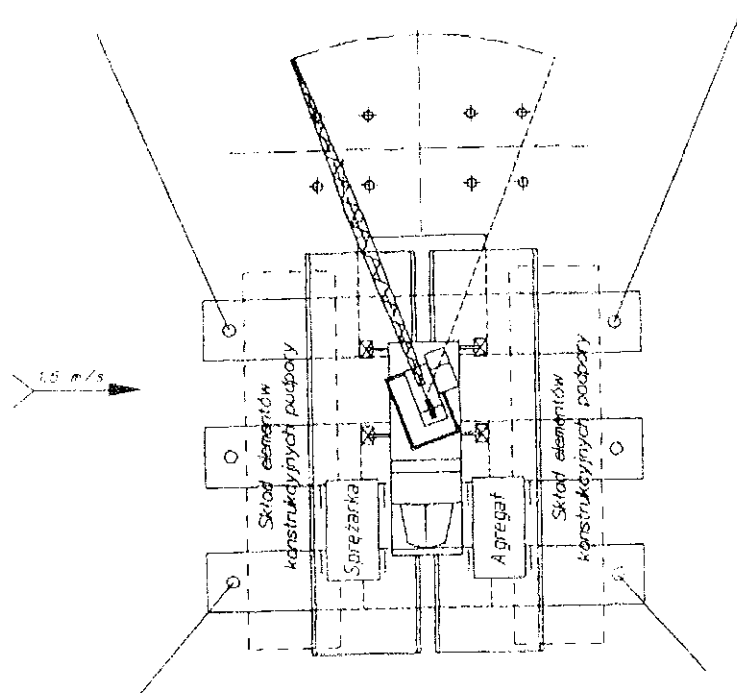
Przykładowe zestawienie zakresu prac i środków realizacji przy budowie podpory pośredniej na wodzie [12].

Lp.	Zakres prac	Środki realizacji	Czas realizacji
1	Montaż promu podkafarowego (bez ucinania belek) 1 kpl.	12 pontonów parku TPP, 12 pontonierów, środki transportowe - 12 sam. pontonowych	2 godz.
2	Montaż kafarów na promie, wyposażenie promu i jego przemieszczenie w osi mostu	Obsługa promu i dwie obsługi zestawów kafarowych po 7 robotników, 2 kafary, 2 zespoły spalinowo-prądowórcze, 2 kutry, 2 młoty np. UR-1250	2 godz.
3	Montaż promu przewozowego 1 kpl.	6 pontonów parku TPP, 6 pontonierów, 6 samochodów pontonowych	1 godz.
4	Wbijanie pali, ich stężanie 8 pali $\varnothing 508$ l=16 m wbijane na głębokość 8-10 m z transportem technologicznym pali (średni czas wpużenia 1 pala = 2,5 godz.)	6 pontonierów, 2 x 7 rob.obsł. kafarów, płetwonurek, prom kafarowy z wyposażeniem prom przewozowy z wyposażeniem i załogą (6 pontonierów, dwa kutry, żuraw samochodowy - na nabrzeżu)	10 godz.
5	Montaż głowic pali (8 szt.) - cięcie metalu 8 · (1,6+1,2) = 22,4 mb - spawanie elektryczne 8 · 1,2 = 9,6 m	3 spawaczy, 1 zestaw do spawania elektryczno-gazowego, 2 pontony parku TPP	9 godz.
6	Przygotowanie promu montażowego - montaż promu i załadowanie konstrukcji podpory na prom (15 t)	9 pontonierów, komplet pontonów promu (6 pontonów czołowych, 3 środkowe), żuraw samochodowy, średniego udźwigu, 4-ro osobowy zespół robotników linowych do przeładowania konstrukcji, sprężarka, zespół spalinowo-prądowórczy z osprzętem, kuter	3 godz.
7	Montaż konstrukcji nadbudowy podpory (oczepu i korpusu podpory) - masa montowanej konstrukcji: 15 t	Obsługa promu montażowego - 9 pontonierów, 10-cio osobowy zespół monterów, prom o dużej powierzchni ładowania, żuraw samochodowy średniego udźwigu, sprężarka powietrza, zestaw montażowy, zespół spalinowo-prądowórczy z osprzętem, kuter	12 godz.



Rys. 4.10. Podpora mostu składanego na fundamencie palowym z rur stalowych $\varnothing 508$ mm (w wodzie) ze składaną ramą stężającą pale [12].

Nadbudowę z konstrukcji składanej SPS może montować zespół 10 monterów z żurawiem samochodowym średniego udźwigu i sprężarką, z promu przewozowego dużej ładowności zbudowanego np. z parku TPP (rys. 4.11). Z uwagi na przestrzenny charakter podpory, żuraw powinien mieć długi wysięgnik (> 20 m). Parametry żurawia samochodowego powinny wynosić minimum: $W = 6,0 - 14,0$ m; $H = 22,5 - 18,5$ m; $U = 5,0 - 1,1$ t.



Rys. 4.11. Schemat promy montażowej i do wpędzania pali wibromłotem

Na prom przewozowy należy załadować żuraw, sprężarkę, zespół spalinowo-prądoworczy oraz konstrukcję podpory. Tak wyposażony zestaw kotwicz się przy fundamencie palowym. Między prom a podporą należy wprowadzić i umocować dodatkowy ponton (bez układu belek). Montaż konstrukcji SPS prowadzi się podobnie jak na lądzie.

W celu zapewnienia bezpieczeństwa zespołu montażowego należy na promie, poza jezdnią, wykonać pomosty z drewna z olinowaniem płaszczyzny roboczej oraz pomost z drewna na fundamencie podpory wokół montowanej konstrukcji podpory z barierką ochronną. Zespół należy wyposażyć w osprzęt do prac na wysokości (pasy, drabiny, linki, przestawne pomosty robocze). W nocy rejon prac powinien być oświetlony.

Prace na wodzie należy ubezpieczać grupą ratunkową w łodzi z silnikiem zaburtowym.

4.4. Montaż konstrukcji przęsłowej

4.4.1. Montaż konstrukcji przęsłowej mostów drogowych z konstrukcji DMS-65

Sposoby montażu konstrukcji przęsłowej mostów składanych zostały, w sposób uogólniony, przedstawione w punkcie 4.1. Znajomość konstrukcji mostowej pozwala uszczegółowić opis wybranych rozwiązań technologiczno-organizacyjnych.

Zasadniczym sposobem montażu mostu DMS-65 jest montaż na nasuwczym torze montażowym na przedłużeniu osi mostu z jednego brzegu [1]. Montaż powinien się odbywać na trzech stanowiskach:

- stanowisko 1. - montaż belek poprzecznych z elementami przestrzennymi - usytuowane na przedłużeniu toru montażowego (rys. 4.12);
- stanowisko 2. - montaż krat płaskich i płyt jezdni - usytuowane z boku toru montażowego;
- stanowisko 3. - montaż krawężników jezdni i elementów chodnika - usytuowane z boków zmontowanej konstrukcji ustawionej na torze montażowym).

Montaż może być realizowany zarówno „z placu” (pojedynczymi elementami) jak i „z kół” przy stosowaniu uprzedniego częściowego scalenia konstrukcji. Dla tego mostu nie przewiduje się montażu konstrukcji pojedynczymi elementami „z kół” ze względu na trudności w kompletowaniu konstrukcji na środkach transportowych. Zasadniczym sposobem transportu mostu składanego na miejsce budowy będzie transport samochodowy asortymentów konstrukcji, w którym poszczególne elementy rodzajowe będą transportowane oddzielnie.

4.4.1.1. Przygotowanie toru montażowego

Tor montażowy zmodernizowanej konstrukcji DMS-65 stanowią typowe (dla tego mostu) rolki montażowe ustawione na drewnianych stosach (klatkach) zgodnie z planem przedstawionym na rysunku 4.12. Tor powinien mieć długość minimum 36 m (licząc od przyczółka) i szerokość około 8 - 10 m. Od czoła obok toru montażowego (przynajmniej z jednej strony) należy przygotować stanowiska montażowe konstrukcji. W zależności od przyjętego systemu montażowego należy tu przewidywać miejsca montażu układu podstawowego (elementy przestrzenne połączone belkami poprzecznymi i stężeniami), montażu dźwigiem (uzupełniającego) konstrukcji nośnej oraz montażu ręcznego lekkich elementów konstrukcyjnych (krawężników, chodników, barierek itp.). Uwzględniając stanowiska montażowe dźwigów i miejsca do składowania konstrukcji, cały plac montażu konstrukcji przęsłowej mostu składanego powinien mieć wymiary ok.

24 m x 50 m. Plac taki powinien zostać wyrównany i utwardzony – szczególnie na drogach dojazdu środków transportowych i ruchu dźwigów samochodowych.

Przygotowanie toru montażowego wymaga:

- splantowania i zagęszczenia uwałowania terenu 1200 m²;
- przygotowania dróg gruntowych z ewentualnym doziarnieniem i utwardzeniem ~ 100 m;
- ustawienie na podbudowie z tłucznia lub żwiru 20 stosów z drewna (objętość drewna ok. 8 m³ z scaleniem belek klamrami i trzpieniami;
- ustawienia 4 pomocniczych stosów z drewna (objętość drewna 2,0 m³);
- ustawienia i niwelowania 22 szt. wahaczy łożyska mostu DMS-65 i przymocowania ich do stosów z drewna.

Do realizacji tych robót należy wydzielić:

- zespół do realizacji robót ziemnych: 2 wywrotki, spycharkę, równiarkę, walec drogowy, 6 ludzi;
- zespół do przygotowania toru nasuwczego: grupa pomiarowa (3 ludzi), 10 robotników, 2 samochody ciężarowo-terenowe.

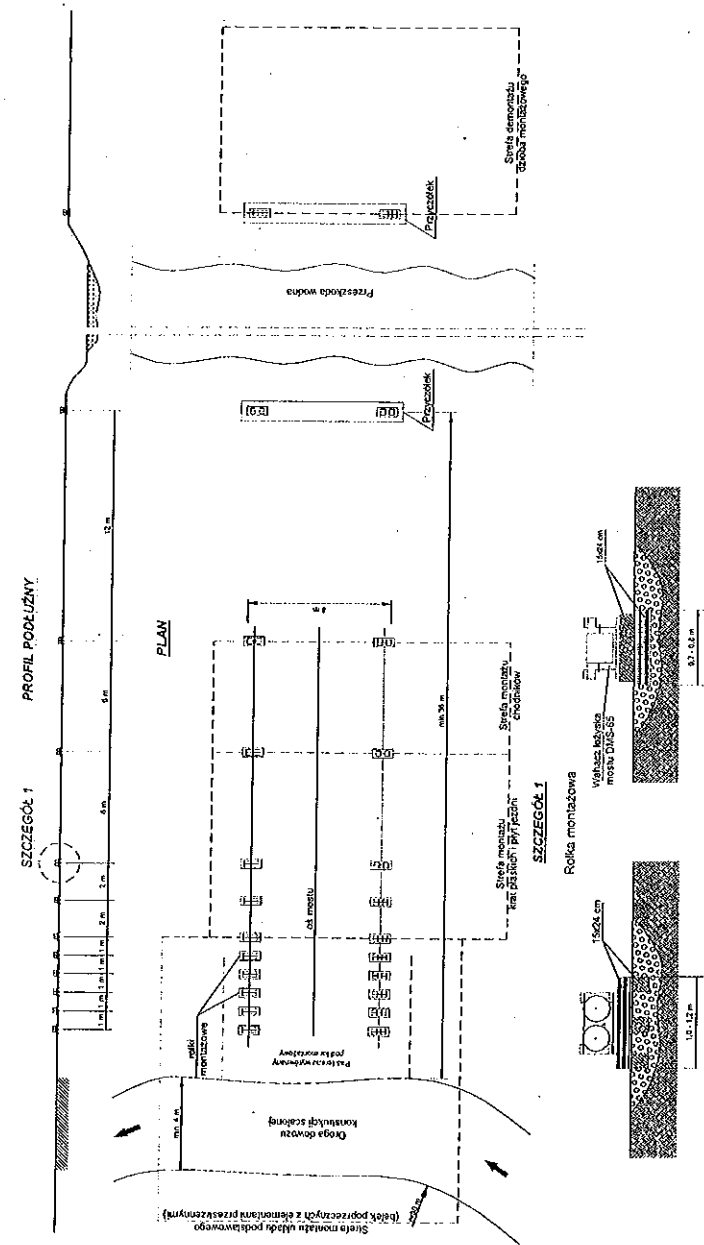
Konstrukcje stosów drewnianych powinny być przygotowane w punkcie produkcji pomocniczej.

4.4.1.2. Transport i składowanie konstrukcji

Składowanie konstrukcji powinno być podporządkowane przyjętemu systemowi montażu. Z uwagi na to, iż montaż odbywa się w jednym miejscu, konstrukcja przeszły musi być (przy budowie mostu wieloprzęsłowego) dostarczana sukcesywnie na plac składowy. Place składowe należy lokalizować w zasięgu dźwigów stosowanych do montażu konstrukcji mostu z możliwością podjazdu środków transportowych dostarczających konstrukcje. Dla ruchu pojazdów wydziela się pasy doziarnionego terenu w postaci dróg gruntowych.

Konstrukcję przewozi się odkrytymi samochodami ciężarowo-terenowymi – asortymentowo w pakietach dostosowanych do możliwości za- i wyładowniczych dźwigów. Długie elementy (pale, belki poprzeczne itp.) transportuje się na przyczepach dźwigowych lub ciągnikach niskopodwoziowych.

Dowożone konstrukcje mogą być rozładowywane dźwigami służącymi do montażu. Plac składowy obsługuje 4 robotników linowych. Plac powinien być w nocy oświetlony i oznakowany.



Rys. 4.12. Plan toru montażowego konstrukcji mostu DMS-65

4.4.1.3. Montaż konstrukcji przęsłowej

Montaż konstrukcji przęsłowej mostu drogowego z konstrukcji DMS-65 może być realizowany jedną z dwóch technologii:

- z pojedynczych elementów konstrukcyjnych (rys. 4.13);
- z elementów częściowo scalonych (rys. 4.14).

W obu technologiach w strefie toru montażowego montaż realizuje się 2 dźwigami zabezpieczającymi wysięg $W = 10$ m i udźwig $U = 20$ tm. Do scalania konstrukcji można stosować dźwigi o mniejszych parametrach:

- do montażu układu podstawowego – dźwig ($W = 7$ m; $U = 15$ tm);
- dla scalania krat płaskich – lekki dźwig samochodowy (masa scalanej konstrukcji ok. 700 kg).

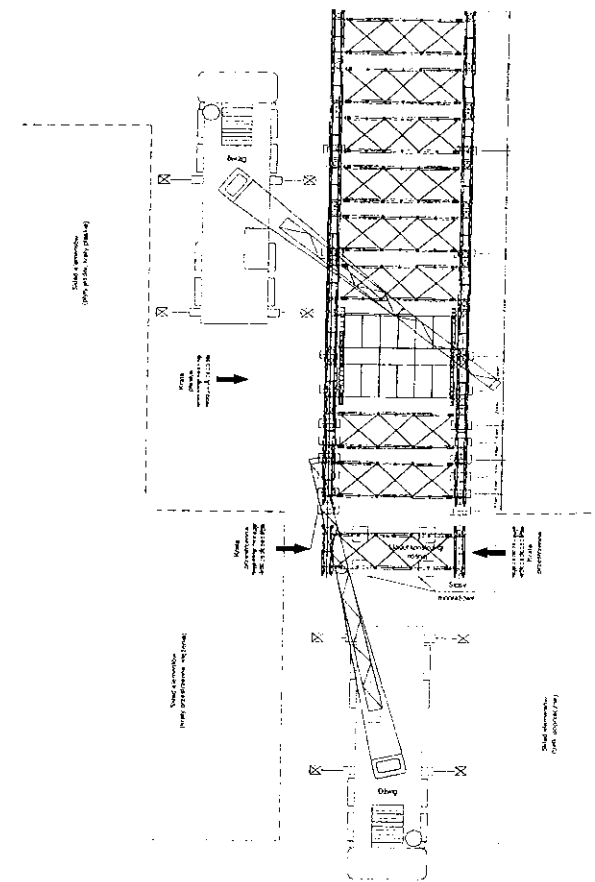
Kolejność montażu konstrukcji na torze wysuwczym jest następująca:

- dwa moduły konstrukcji przestrzennej dźwigarów połączone z belkami poprzecznymi i stężone wiatrownicami;
- dwa moduły (o konstrukcji jak wyżej) z nakładkami z przestrzennych elementów dźwigarów w środku rozparte wkładką dzioba montażowego;
- moduł przejściowy z zastrzałami dzioba montażowego (o konstrukcji jak dwa pierwsze moduły);
- pozostała część konstrukcji pomocniczej do nasuwania konstrukcji przęsłowej (jest to konstrukcja o długości przęsła pomniejszona o 15 m), którą stanowią: belki poprzeczne z wiatrownicami oraz przestrzenne i płaskie elementy dźwigara (bez konstrukcji jezdni);
- kompletny układ konstrukcyjny przęsła z płytami pomostu, krawężnikami i chodnikami.

Charakterystykę procesów technologicznych montażu przedstawiono w tabelicy 4.4. Kalkulacje przeprowadzono na jeden moduł konstrukcji przęsłowej (długość 3 m).

Podane w tabelicy 4.4 składy zespołów do wykonania procesów i oceny czasu wymagają weryfikacji w oparciu o rzeczywiste warunki montażu i przeszkolenie praktyczne załogi. Schematy technologiczno-organizacyjne montażu konstrukcji przęsłowej przedstawiono na rysunkach 4.13 i 4.14.

Montaż pojedynczymi elementami realizowany jest na dwóch stanowiskach montażowych. Na stanowisku usytuowanym na przedłużeniu (od czoła) toru montażowego montuje się belki poprzeczne z elementami przestrzennymi dźwigarów głównych. Montaż tych elementów należy prowadzić na specjalnie przygotowanych 4 klatkach drewnianych, na których ustawia się belki poprzeczne w rozstawie 2 m od siebie i w taki sposób, aby końce belek były swobodne (poza klatkami). Elementy przestrzenne nakłada (nawleka) się na swobodne końce belek. Po zespoleniu tych elementów z sobą za pomocą śrub i stężeniu układu wiatrownicami, cały element przestrzenny należy przełożyć na tor montażowy, gdzie następuje dołączenie elementu do uprzednio zmontowanej konstrukcji (za pomocą 4 sworzni).



Rys. 4.13. Schemat technologii montażu konstrukcji przęsłowej mostu DMS-65 pojedynczymi elementami konstrukcyjnymi

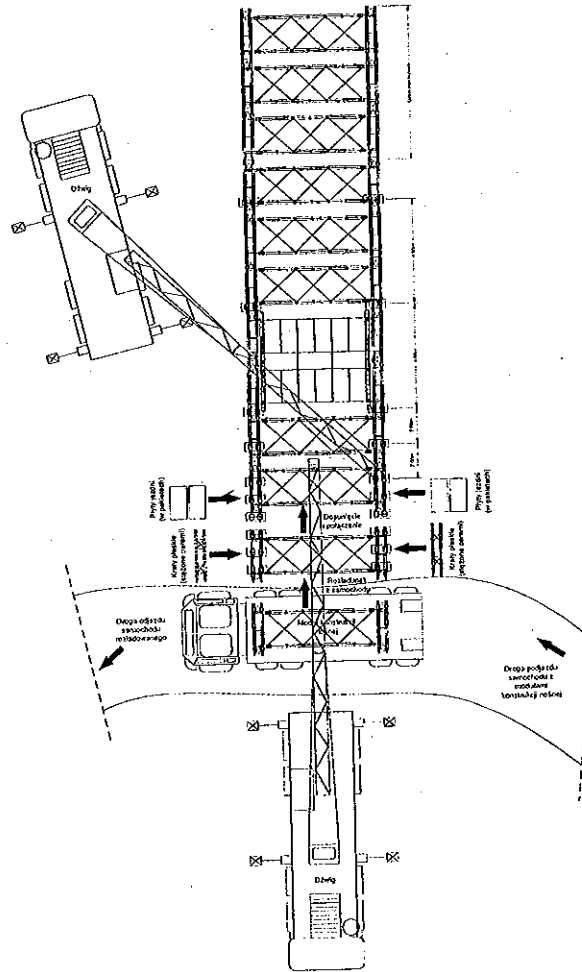
Charakterystyka procesów technologicznych montażu konstrukcji przęsłowej mostu DMS-65 (kalkulacje na 1 moduł konstrukcji)

Lp.	Procesy montażowe	Montowane elementy			Łączniki (ilość, rodzaj)	Skład zespołu do wykonania procesu	Ocena czasu wykonania procesu [min]
		Nazwa elementu	Liczba [szt.]	Masa jednostkowa [kg]			
1	Podanie belek poprzecznych, montaż elementów przestrzennych do belek i montaż wiatrownic do belek	Belki poprzeczne	2	583	-	4 monterów 2 robotników 1 dźwig 1 samochód c-t z przyczepą dźwigową	10
		Prze-strzenny element dźwigara Wiatrownica	2	446	8 śrub		
			4	15	8 sworzni		
2	Montaż zespołu podstawowego ^{*)} do zmontowanej konstrukcji na torze montażowym	Zespół podstawowy	1	2118	2x4 sworznie	4 monterów 2 robotników 1 dźwig	6
3	Montaż krat płaskich z tężnikami (scalenie krat płaskich)	Kraty płaskie	2	320	2x2 sworznie	4 monterów 4 robotników 1 dźwig 1 samochód c-t	10
		Tężniki	4	28	2x8 śrub 2x10 śrub		
4	Montaż płyt jezdni	Płyty pomostu	9	222	14 śrub	4 monterów 4 robotników 1 dźwig 1 samochód c-t	10
5	Montaż krawężników i chodników	Krawężnik	2	28	2x4 śruby	6 robotników 1 samochód c-t	10
		Wspornik chodnika	2	25	-		
		Płyta chodnika	2	53	-		
		Słupki poręczowe	2	11,3	-		

^{*)} Zespół podstawowy składa się z dwóch belek poprzecznych, dwóch elementów przestrzennych dźwigarów głównych i 4 wiatrownic

Na drugim stanowisku montażowym, usytuowanym z boku toru montażowego montuje się płyty pomostu i kraty płaskie dźwigarów głównych stężane tężnikami w płaszczyźnie poziomej.

Do realizacji tych prac należy wydzielić dwa zespoły w składzie:



Rys. 4.14. Schemat technologii montażu konstrukcji przęsłowej mostu DMS-65 elementami częściowo scalonymi.

- Zespół nr 1: dźwig, 2 robotników linowych, 4 monterów, 1 samochód ciężarowo-terenowy i 1 samochód ciężarowo-terenowy z przyczepą dłuźcowa. Czas montażu 1 segmentu układu podstawowego i dołączenia go do zmontowanego układu podstawowego ocenia się na 20 minut;
- Zespół nr 2: dźwig, 4 robotników, 4 monterów, 2 samochody ciężarowo-terenowe. Czas montażu elementu jednego przęsła ocenia się na 20 minut.

Oprócz tych dwóch zespołów należy przewidywać zespół do ręcznego montażu chodników i krawężników jezdni. Ocenia się, że zespół 6 robotników zrealizuje prace na jednym segmencie mostu w czasie 10 minut. Średnie tempo montażu konstrukcji przęsłowej mostu pojedynczymi elementami konstrukcyjnymi szacuje się na 9 m/godzinę. Kalkulując czas zmontowania całego układu konstrukcji przęsłowej budowanego mostu, należy doliczyć do czasu samego montażu czas potrzebny na przesuwanie mostu po torze montażowym.

Scalanie konstrukcji poza miejscem budowy mostu i dostarczanie konstrukcji częściowo scalonych lub pakietów elementów konstrukcyjnych może usprawnić prace na torze montażowym. Montaż taki ma tą zaletę, że dźwigi obsługujące stanowiska montażowe są wykorzystywane bardziej racjonalnie. Scalanie należy:

- zespół podstawowy (2 belki poprzeczne, 2 kratownice przestrzenne, 6 wiatrownic) o masie całkowitej 2118 kg;
- kraty płaskie dźwigarów głównych łączone tężnikami, o masie 700 kg;
- ortotropowe płyty pomostu w pakiety montażowe po 3-5 szt., o masie 666 - 1110 kg.

Montaż wykonuje się jednym dźwigiem o dużym wysięgu od czoła toru montażowego.

Skład zespołu montażowego może być następujący:

- dźwig samochodowy,
- 2 samochody ciężarowo-terenowe,
- 2 ciągniki z przyczepami,
- 4 robotników linowych,
- 8 monterów.

Potrzebne są też: zespół do ręcznego montażu chodników i krawężników, zespół załadowniczy oraz zespół do scalania konstrukcji. W przypadku scalania konstrukcji w rejonie placu budowy mostu, organizuje się oddzielnie stanowiska montażu układu podstawowego i montażu krat płaskich i płyt jezdni.

Schemat organizacji frontów robót do montażu konstrukcji przęsłowej elementami częściowo scalonymi przedstawia rys. 4.14. Należy podkreślić, iż częściowe scalanie konstrukcji nie służy zmniejszeniu nakładów czasu na budowę mostu. Pozwala jedynie na bardziej racjonalne wykorzystanie sprzętu i urządzeń technicznych. Scalanie może być realizowane w dogodnym miejscu, przy użyciu wózków widłowych, suwnic, itp. Procesy scalania konstrukcji muszą być jednak wykonane, a więc ogólny czas pracy nie ulegnie zmianie.

4.4.1.4. Konstrukcje pomocnicze

Mosty składane budowane systemem wysuwania na przeszkodę wymagają przygotowania konstrukcji pomocniczych zapewniających bezpieczeństwo konstrukcji i umożliwiających „uchwycenie” kolejnych podpór przez wysuwaną konstrukcję. Zadanie to spełniają: dziób montażowy, tymczasowe podpory (jarzma), stanowiska do wysuwania konstrukcji.

Dziób montażowy jest konstrukcją typową w moście DMS-65. zabezpiecza on potrzeby przemieszczenia konstrukcji nad podpory mostu jeżeli konstrukcja przęsłowa ma odpowiednią długość (> od 1 przęsła). W przypadku ograniczenia frontu toru montażowego konieczne jest przygotowanie tymczasowych podpór pośrednich. Podpory takie są też potrzebne przy nasuwaniu pojedynczych przęseł mostów składanych. W takich sytuacjach należy przewidywać 1-2 podpory pomocnicze na przęsło nasuwanej konstrukcji.

Dla założonej sytuacji może zaistnieć potrzeba budowy tymczasowych podpór pośrednich na łądzie jak i na wódcie. Podpory (jarzma) takie mogą być budowane - z stosowanych powszechnie w budownictwie mostowym - klatek stalowych lub innych dostępnych konstrukcji przeznaczonych do budowy jarzm.

Budowa jarzm na łądzie

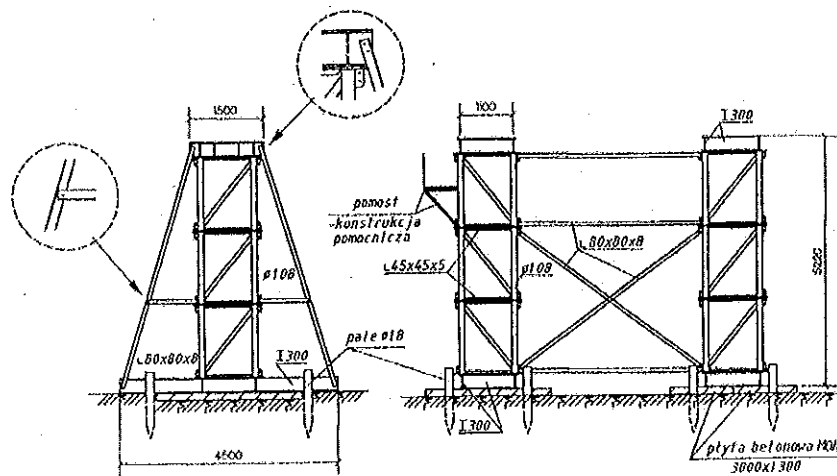
Schemat konstrukcji jarzma posadowionego na łądzie przedstawia rys. 4.15. Podpora wykonana jest z prostopadłościennych klatek o wymiarach 1,1x1,1x1,5 m i masie 450 kg. Klatki ustawia się jedną na drugą i łączy śrubami. Podstawę podpory stanowią dwie ramy wykonane z I 300 o wymiarach 1,1x4,5m ułożone na fundamencie z płyt żelbetowych. Ramy należy zabezpieczyć przed przesunięciem poprzez wbicie pali stabilizacyjnych. Wysokość podpory uzależniona jest od rzędnej terenu w miejscu jej ustawienia. Dopasowanie wysokości uzyskuje się poprzez odpowiednie niwelowanie terenu w miejscu posadowienia, a drobne korekty realizuje się poprzez podkładki drewniane.

Głowicę podpory stanowi rama z I 300 o wymiarach 1,5x1,1m, która stanowi podstawę rolek montażowych (służących do nasuwania konstrukcji). Podporę należy stężyć układem rozperek zastrzałów i krzyżulców wykonanych z kątownika L 80x80x8 łączonych na śruby. Klatki można ustawiać w jeden stos do 5 szt. Przy większych wysokościach montuje się układy przestrzenne klatek łączone między sobą blachami węzłowymi na śruby. Nośność klatki wynosi około 16,0 kN. W podporach wysokich nie należy wykorzystywać pełnej nośności klatek.

Do budowy jarzm na łądzie należy przewidzieć następujące środki:

- żuraw samochodowy średniego udźwigu;
- spycharkę lekką;
- spawarkę;
- pomocniczy sprzęt montażowy;
- konstrukcje podpór.

Budowa jarzma przedstawionego na rysunku 4.15, realizowana przez zespół 6-cio osobowy trwa około 4 godzin.



Rys. 4.15. Schemat konstrukcji podpory pomocniczej posadowionej na ładzie (z klatek stalowych) [12].

Budowa podpór pomocniczych na promach

Podpory pomocnicze na promach mogą być budowane w dwóch wersjach - zależnie od ich przeznaczenia. Dla obsługi nasuwania konstrukcji ciągłej mostu wystarczy wybudowanie jednej podpory na promie o nośności 70 t (4 „trojaki” parku TPP). Konstrukcja podpory pomocniczej z klatek stalowych powinna mieć układ przestrzenny z uwagi na dużą wysokość podpory (6-7 klatek). Klatki dolne należy przyspawać do stężonych belek głównych pokładu promu. Stopy klatek łączy się między sobą blachami węzłowymi na śruby. Przestrzenna konstrukcja klatek umożliwia przygotowanie większej płaszczyzny na głowicy podpory, na której trzeba będzie wykonać lewarowanie nasuwanej konstrukcji przęsła i podbudowywanie rolek montażowych, aż do wybrania osiadania podpory pływającej (promu).

Do nasuwania pojedynczych przęseł mostu przy pomocy podpór pośrednich, zachodzi potrzeba budowy wielu jarzm na promach, a w zasadzie na odcinkach pomostu pontonowego. Należy dążyć do przygotowania tak długich pomostów na ile jest to możliwe do ustawienia w osi mostu. W celu zwiększenia wytrzymałości pomostu pontony można zsunąć pomiędzy sobą. Taki układ pływający (w przekroju poprzecznym mostu są to np. „trojaki” pontonów TPP) zabudujemy podporami (stosami z klatek) połączonych między sobą stężeniami. W proponowanym rozwiązaniu stopy klatek rozstawione są co 3,73 m. Zapewnia to w miarę równomierne obciążanie pomostu pływającego i większą stateczność układu konstrukcyjnego. Na podporach montuje się rolki montażowe służące do na-

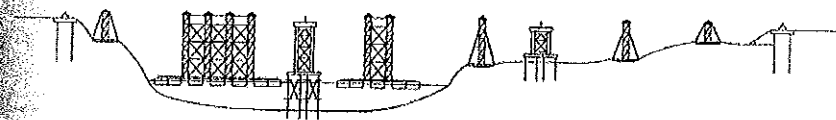
suwania konstrukcji. Maksymalna siła pochodząca od nasuwanego przęsła przypadająca na stos klatek nie przekracza 200 kN. Stopy więc nie są przeciążone, prom jednak będzie poddany osiadanemu do 0,2 m (nośność jednego „trojaka” określa się na 150 kN). Osiadanie pomostu należy kompensować więc podbudową rolek montażowych poprzez lewarowanie konstrukcji i wkładanie podkładek pod rolki.

Pontony parku TPP nie są najlepszą konstrukcją pod pływający pomost montażowy. Lepszą stateczność można uzyskać przy zastosowaniu barek płaskodennych. Barki takie ustawione wzdłuż przeszkody w osi mostu stanowią dobre podparcie dla szkieletowych konstrukcji stanowiących układ pomocniczych podpór do nasuwania konstrukcji.

Do budowy podpór na promach, czy też pomostach pływających z parku TPP należy skierować:

- zespół obsługi środków pływających (obsada etatowa parku pontonowego TPP - 1 pontonier + kierowca na ponton) i odpowiedni do potrzeb zestaw środków pływających;
- 10-cio osobowy zespół monterów z zestawem do montażu konstrukcji, 3 spawaczy
- żuraw samochodowy średniego udźwigu;
- sprężarkę i spawarkę (zestaw do spawania elektryczno-gazowego);
- 2 kutry;
- środki transportu z konstrukcją jarzm i stężeń

Prace montażowe powinny się odbywać poza osią mostu, w dogodnym miejscu przy brzegu, żurawiem samochodowym z długim wysięgnikiem (> 20 m).



Rys. 4.16. Schemat przygotowania podpór pomocniczych do nasuwania pojedynczych przęseł mostowych [12].

Tempo montażu podpór pomocniczych jest dość wysokie ponieważ liczba elementów montowanych jest stosunkowo mała. Przyjmując, iż jednym żurawem można montować 5 klatek/godzinę, podporę na promie złożoną z 56 klatek można zmontować w ciągu 12-14 godzin. Prom montuje się w ciągu 2 godzin.

Przykładowy zestaw podpór pomocniczych do budowy konstrukcji przęsłowej mostu przedstawia rysunek 4.16.

4.4.1.5. Nasuwanie (montaż) konstrukcji przęsłowej na podpory

Montaż konstrukcji przęsłowej (dołączanie kolejnych segmentów mostu do zmontowanej konstrukcji przęsłowej) na specjalnie przygotowanym stanowisku, wymaga wysuwania konstrukcji co 6 m. Przygotowanie do wysuwania nie wstrzymuje prac montażowych, jednak na czas ruchu konstrukcji, jej montaż należy przerwać.

Dzięki zastosowaniu kulowych łożysk tocznych w rolkach montażowych i w wahaczach łożysk, siła niezbędna do nasunięcia mostu na podpory wynosi 5 % do 10 % ciężaru nasuwanej konstrukcji przęsłowej. Nasuwać można pchaniem, ciągnięciem lub pchaniem i ciągnięciem jednocześnie – ręcznie, za pomocą wciągarek, samochodów, ciągników itp.

Zastosowanie określonego środka do nasuwania oraz przyjęcie określonej metody zależy przede wszystkim od długości nasuwanego mostu. Mosty o długości do 50-60 m najdogodniej nasuwać jest ręcznie zastępami montażowymi – metodą pchania.

Mosty o długości do 100-120 m można nasuwać pchaniem za pomocą ciężkich samochodów lub ciągników gąsienicowych poprzez belki podporowe zawieszane na uchwytych sworzniowych przestrzennych elementów dźwigara.

Metoda ta ma następujące zasadnicze wady:

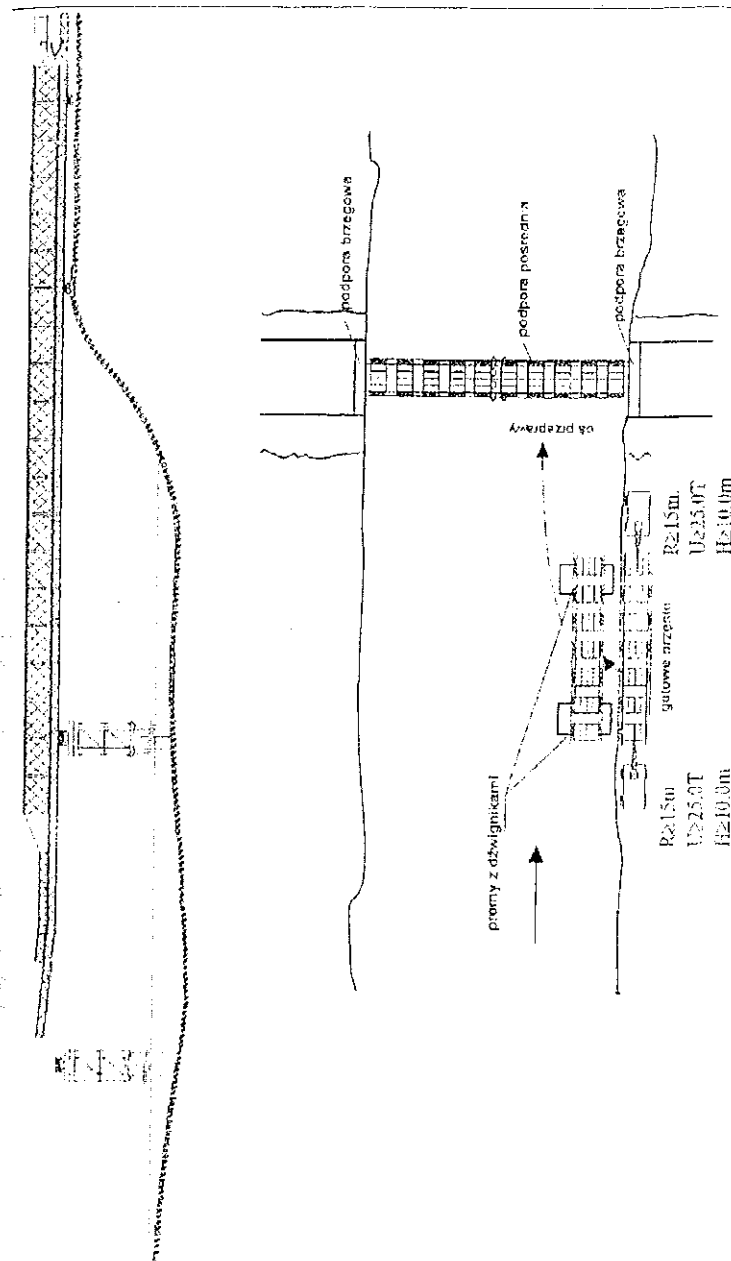
- utrudnia montaż,
- powoduje „schodzenie” nasuwanego mostu z jego osi podłużnej,
- wymaga wykonania specjalnej belki podporowej,

Najlepszą metodą nasuwania jest ciągnięcie konstrukcji liną stalową. Napęd do ciągnięcia liny stanowi wciągarka zainstalowana na ciągniku. W tym celu ciągnik musi być umieszczony na przeciwległym brzegu w osi mostu lub pod mostem na brzegu wyjściowym. Sposób mocowania lin do nasuwania powinien zapewniać osiowe przyłożenie siły ciągu. Realizuje się to przez zblocze przyłożone do pętli liny zaczepionej do konstrukcji mostu.

Przy większych długościach wolnej liny należy stosować drugi ciągnik stojący na brzegu montażowym, który odpowiednio regulowanym rozwijaniem liny nie pozwala na dowolne przesuwanie się nasuwanego mostu pod wpływem sprężystości i ciężaru własnego liny ciągnącej.

Do nasuwania mostu oprócz obsługi urządzeń ciągnących wyznacza się zastęp montażystów w składzie 5 osób. Zastęp ten wykonuje niezbędne prace pomocnicze, między innymi: nadzór i naprowadzanie dzioba montażowego na łożyska, nadzór, poprawa i przepinanie lin montażowych, itp.

Jednoprzęsłowy most, przy braku konstrukcji do nasuwania, może być montowany metodą dostarczania przęseł na środkach pływających (np. barkach) z brzegu na przeszkodę w oś mostu. Na rysunku 4.17 schematycznie pokazano oba możliwe sposoby montażu mostu.



Rys.4.17. Schematy technologii montażu mostu składanego na przeszkodzie wodnej
a) przez nasuwanie, b) przez spławianie przęseł zmontowanych na brzegu

4.4.1.6. Prace wykończeniowe

Po nasunięciu konstrukcji przeszłowej na podpory kończy się etap zasadniczych prac montażowych, chociaż na most nie można jeszcze wjechać; gdyż brak jest wjazdów, a dojazd wymaga odpowiedniego przygotowania. Te prace zaliczono do wykończeniowych, ponieważ wymagają one innej technologii, zmiany zadań dla poszczególnych zespołów, a w niektórych przypadkach zmiany składu osobowego zespołów i brygad oraz ich wyposażenia technicznego.

W wielu sytuacjach budowy mostu elementy wykończenia w decydującej mierze wpływają na zdolności eksploatacyjne i przelotowość całego przejścia mostowego.

Zakres prac wykończeniowych zależy od:

- czasu eksploatacji przejścia mostowego,
- natężania i rodzaju ruchu po moście,
- udziału ruchu pieszego na moście,
- warunków terenowych
- pory roku i warunków atmosferycznych, w jakich przejście mostowe ma być eksploatowane.

Z analizy wymienionych czynników wynikają pochylenia podłużne wjazdów i dojazdów, konstrukcja nawierzchni jezdni na dojazdach, szerokość jezdni na dojazdach oraz inne parametry techniczno-eksploatacyjne dojazdów.

Prace wykończeniowe mają na celu dostosowanie mostu do wymagań systemu eksploatacji i doprowadzenie terenu budowy do przewidywanego zagospodarowania na czas eksploatacji mostu. Najistotniejsze z tych prac to: rozbiórka dzioba montażowego, urządzenie wjazdów na most i budowa dojazdów. Inne prace (oznakowanie, uporządkowanie terenu) mogą być wykonywane równoległe z pracami budowlanymi i nie stanowią o czasie przygotowania mostu.

Rozbiórka dzioba montażowego

Konstrukcja dzioba montażowego umożliwia w niektórych przypadkach wykonanie wjazdów i otwarcie ruchu na moście bez jego demontażu, lub wymagana jest nieznaczna przeróbka dla użycia go jako przęsła wjazdowego. Dziób montażowy ogólnie rozbiera się, gdy wybudowany most przewidziany jest do eksploatacji w okresie nie krótszym niż rok czasu. W wypadkach szczególnych dziób montażowy może być rozbierany niezależnie od tego na jaki okres eksploatacji most został wybudowany. Do takich sytuacji zalicza się między innymi:

- potrzeba użycia elementów dzioba montażowego w innym miejscu,
- gdy zmusza do tego konstrukcja przyczółka,
- gdy wymagają tego warunki estetyki.

Rozbiórkę dzioba montażowego zależnie od warunków miejscowych można wykonać kilkoma metodami:

- a) odłączenie go od przęsła przez wybicie sworzni i w całości przesunięcie go na rolkach lub dźwigiem w miejsce gdzie można będzie go rozbierać na elementy po otwarciu ruchu na moście,
 - b) zdjęcie wiatrownic oraz belek poprzecznych, wykonanie wjazdów i otwarcie ruchu a potem rozbieranie poszczególnymi elementami,
 - c) rozbieranie kolejno poszczególnymi elementami, odkładanie w odpowiednio przygotowane miejsce lub ładowanie bezpośrednio na środki transportu.
- Rozbiórkę wykonuje zastęp w składzie 10 robotników ręcznie lub przy pomocy dźwigu. Organizacja rozbiórki jest odwrotnością kolejności montażu.

Wykonanie wjazdów na most

Połączenie jezdni mostu z jezdnią drogi dojazdowej do mostu nazywa się wjazdem. Wjazdy na most z konstrukcji DMS-65 mogą być wykonane według ogólnych zasad budowy mostów przez zastosowanie przęsła wjazdowych.

Przęsła wjazdowe stosuje się szczególnie od strony placu montażowego w celu zmniejszenia ilości robót ziemnych i skrócenia czasu przygotowania wjazdu. Przęsła wjazdowe łączy się z ostatnimi przestrzennymi elementami dźwigarów sworzniami tylko w dolnych pasach. Dzięki takiemu połączeniu swobodny koniec przęsła wjazdowego obniża się. W ten sposób uzyskuje się na wyjeździe pochylenie podłużne większe niż pochylenie podłużne mostu (0-2 %).

Pochylenie podłużne wjazdów można przyjmować:

- w mostach przeznaczonych na bardzo krótki czas eksploatacji do 8 %,
- w mostach przeznaczonych na długi okres eksploatacji i dla większych prędkości ruchu do 3 %.

Wykonanie dojazdów

Dobre przygotowanie dojazdów do mostu jest zadaniem nie mniej ważnym od samego obiektu mostowego, szczególnie w okresie opadów atmosferycznych i znacznego nawilgocenia przyległego terenu. Należy mieć na uwadze to, że na bezpośrednich dojazdach na most, obciążenie nawierzchni jest wielokrotnie większe niż na innych odcinkach dróg. Dlatego nawierzchnia jezdni na dojazdach musi być zdolna przenieść najcięższe obciążenia, pod jakie został wybudowany most. Ponieważ most budowany jest techniką nasuwania z toru montażowego, prace przygotowania dojazdu na odcinku toru montażowego mogą być wykonane po zdemontowaniu toru. Jest też możliwe, a w wielu sytuacjach celowe, budowanie dojazdów przed rozpoczęciem montażu mostu składanego.

4.4.2. Montaż konstrukcji przęsłowej mostów drogowych ze składanych konstrukcji mostów kolejowych

4.4.2.1. Ogólna charakterystyka konstrukcji

Konstrukcje kolejowych mostów składanych są konstrukcjami cięższymi od drogowego mostu składanego DMS-65 czy MS-54. Uzyskuje się tu większe rozpiętości przęseł (40-60m), co stawia odpowiednie wymagania dla konstrukcji podpór mostowych i powoduje wiele komplikacji w technologii i organizacji budowy przejść mostowych z tych konstrukcji. Konstrukcje te są scalane na śruby, a dodatkowe elementy wynikające z adaptacji tych konstrukcji do funkcji mostów drogowych, są spawane. Poza tym, konstrukcje składane mostów kolejowych, nie mają przystosowanych pasów dolnych dźwigarów głównych do nasuwania po rolkach montażowych. Pas dolny dźwigarów scalany jest na śruby oraz stosowana jest ujemna strzałka ugięcia dźwigarów.

W propozycjach wykorzystania przęseł kolejowych L-36 do budowy mostów drogowych scharakteryzowano układy wolnopodparte z pojedynczą i podwójną kratą dla jazdy dołem oraz z czterech rzędów krat (dwa toki mostu kolejowego) pod układ z jazdą górą. Proponowane konstrukcje jezdni mostów to: płyta stalowa na ruszcie stalowym (w mostach z jazdą dołem) i płyta żelbetowa o grubości 20 cm (w mostach z jazdą górą). Masa konstrukcji nośnej mostów z pojedynczymi dźwigarami wynosi ok. 1400 kg/m, a z podwójnymi dźwigarami 2400 kg/m. W wariantcie z żelbetową płytą jezdni masa jezdni wyniesie ok. 500 kg/m², dla wariantu zaś na płycie stalowej - ok. 120 kg/m². Ciężar pojedynczych elementów konstrukcji składanej jest bardzo zróżnicowany. Najcięższe elementy - kratownice dźwigarów głównych ważą 2890 do 2950 kg. Elementy połączeniowe i zabezpieczające proces montażu mają masę 7÷150 kg.

Istotnym elementem w planowaniu organizacji prac budowlanych są wymiary elementów konstrukcji składanej. Największe gabaryty mają kraty dźwigarów głównych o jednolitym module (dla wszystkich typów krat) 3000x6000 mm. W mostach z jazdą dołem występują poprzecznicze - skręcane na śruby w strefach przypodporowych, o długości 7200 mm.

Składane konstrukcje przęseł L-36 nie są jedynym rozwiązaniem mostów kolejowych oczekujących na zagospodarowanie. To samo dotyczy konstrukcji KD-66 - ostatnio często stosowanych do budowy mostów objazdowych. Układ konstrukcyjny, proponowane rozwiązania technologiczno-organizacyjne mogą być odniesione do budowy mostów z przęseł L-36. Wynika to z podobieństwa problemów technologiczno-organizacyjnych budowy (przęsła skręcane na dużą liczbę śrub, podobne gabaryty i ciężary elementów składowych, znaczny ciężar przęseł, brak specjalnego osprzętu do nasuwania konstrukcji przęsłowej, stosowanie układów wolnopodpartych w ustrojach wieloprzęsłowych). Maksymalna masa pojedynczych elementów w moście KD-66 wynosi 2200 kg, a maksymalny wymiar 6000 mm. Masa jednostkowa konstrukcji przęsłowej tego mostu wynosi 3200 kg/m (2600 kg/m - bez nawierzchni).

4.4.2.2. Organizacja budowy mostów

Jakościowo, organizacja budowy mostów drogowych z konstrukcji składanych mostów kolejowych, będzie podobna do organizacji budowy mostu DMS-65. Podstawowym systemem budowy jest montaż w osi mostu na torze montażowym. Konstrukcja nośna (bez jezdni) lub pary dźwigarów głównych po zmontowaniu wysuwane byłyby na przeszkodę. Ponieważ podstawowym układem przęseł jest układ pojedynczych przęseł, niezbędne jest budowanie dodatkowych podpór pośrednich umożliwiających nasuwanie przęseł. Można tu wykonywać rozwiązania opisane w poprzednim punkcie podręcznika - budowę podpór pomocniczych z klatek stalowych na łądzie, na barkach i promach. Konstrukcje tego typu nie mają konstrukcji pomocniczych do nasuwania (dzioba montażowego).

Organizując budowę mostu należy w pierwszej kolejności wykonać prace przygotowawcze polegające na zorganizowaniu placu budowy, urzędzeniu toru montażowego, przygotowaniu dojazdów, geodezyjnym wytyczeniu osi mostu, podpór itp. Istotną zmianą w stosunku do poprzednio opisanego zakresu robót przygotowawczych (lub wykończeniowych) jest duża ilość robót ziemnych. Składane konstrukcje mostów kolejowych nie mają bowiem przewidzianych konstrukcji wjazdowych. Stąd niweleta podpór mostowych powinna być położona poniżej niwelety jezdni mostu i dojazdów. Poza tym, poziom układu służącego do nasuwania konstrukcji musi być powyżej poziomu łożysk konstrukcji przęsłowej. Praktycznie wykonuje się więc nasyp przed budową lub po rozebraniu toru montażowego aby ułożyć na nim nawierzchnię drogi samochodowej. Objętość takiego nasypu wynosi ok. 400 do 800 m³ gruntu, co wymaga dowiezienia tej ilości gruntu oraz wyrównania i zagęszczenia 500 - 600 m² powierzchni gruntowej. W przypadku budowy mostu z jazdą górą konieczne jest wykonywanie wysokich nasypów na dojazdach lub opuszczanie dźwigarów mostowych (po dwa) na niższe położone podpory mostowe.

Tor montażowy jest typowym układem klatek drewnianych z układem tocznym, umożliwiającym przesuwanie dźwigarów głównych. Wypukła strzałka ugięcia dźwigarów i wystające nakładki pasa dolnego ze śrubami wymagają podbudowywania dźwigarów od dołu układem szynowym na przekładkach drewnianych (różnej grubości). Rozwiązanie takie zostało zaproponowane w opracowaniu [12]. Nasuwany most lub dźwigary główne powinny być podnoszone hydraulicznie, ponieważ istnieje potrzeba wymiany elementów służących do nasuwania konstrukcji na układ łożysk.

Wykonanie jezdni należy przewidywać po osadzeniu konstrukcji nośnej mostu na łożyskach. W celu bezpiecznego prowadzenia tych prac należy podwieść (tymczasowo) rusztowania do konstrukcji dźwigarów głównych.

Kolejność wykonywania prac jest podobna do omówionej już kolejności prac przy budowie mostu DMS-65.

4.4.2.3. Montaż dźwigarów głównych

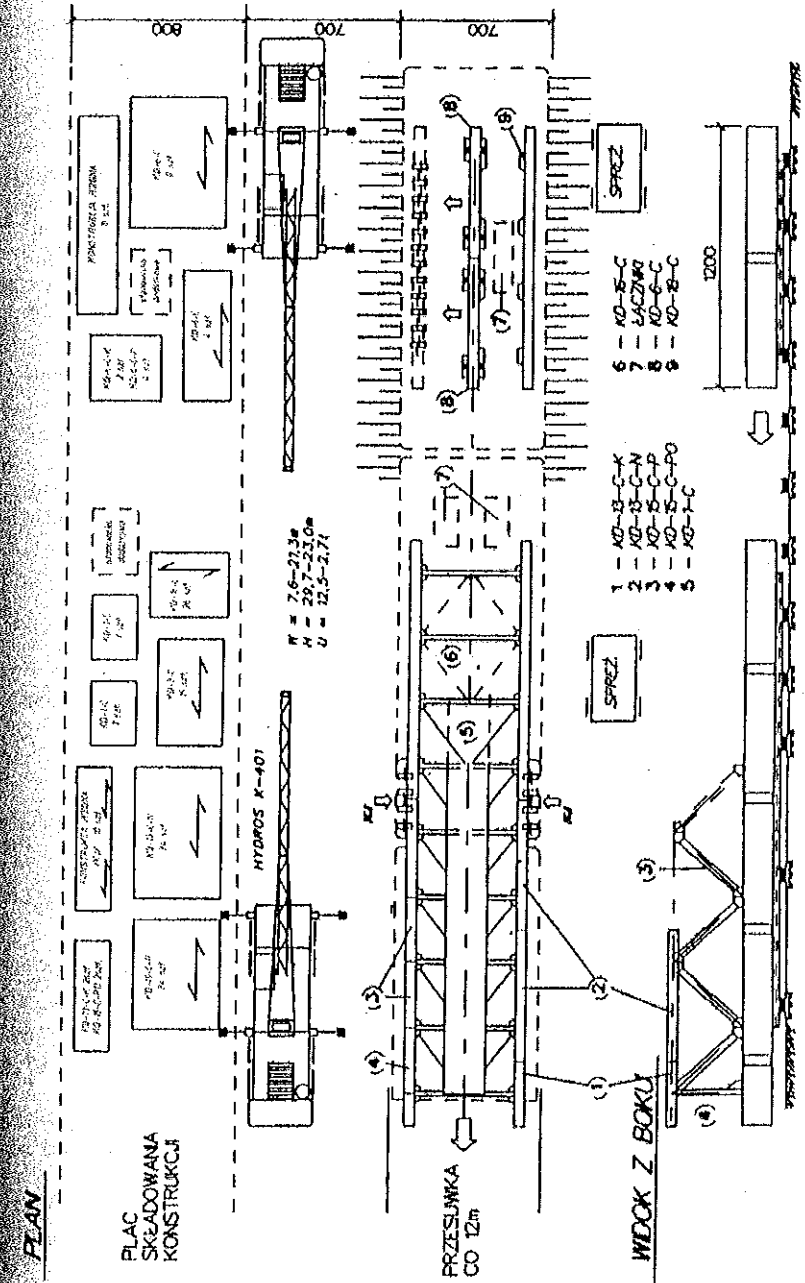
Montaż układu dźwigarów głównych wykonuje się dźwigiem o dużym wysięgu ($W=7,6-21,3$ m; $H=29,7-23,0$ m; $U=12,5-2,7$ Mg). Elementy konstrukcyjne dowozi się wcześniej i składa się wzdłuż toru montażowego. Przykład usytuowania dźwigów i konstrukcji składanej (mostu KD-66) w stosunku do toru montażowego przedstawia rysunek 4.18. Do prac montażowych należy, oprócz dźwigów, wydzielić 2 zespoły po 10 montażystów i 4 robotników oraz dwie sprężarki. Zespoły należy wyposażyć w narzędzia pneumatyczne, podnośniki hydrauliczne, wciągarki łańcuchowe, drabiny i pomosty montażowe. Plac powinien być wydzielonym stanowiskiem zabezpieczonym przed dostępem osób postronnych, w nocy – oświetlonym. Ocenia się iż czas montażu jednego przęsła z 4-ma dźwigarami wyniesie ok. 60 godzin (z uwzględnieniem zużycia czasu na przesuwki).

Most w układzie wolnopodpartym zaleca się nasuwać przy pomocy pomocniczych podpór pośrednich. Montaż taki wymaga wybudowania 10. podwójnych stosów z klatek, na każdym stosie ułożenia rolek do nasuwania konstrukcji, ścisłego nadzoru układu jezdnego podczas nasuwania, tak aby przeszło zachowywało kierunek i niweletę. Nasuwane przeszło o masie ok. 100 t będzie wielokrotnie zatrzymywane w celu przełożenia lin i zmiany stanowisk kontroli nasuwania.

W przypadku budowy mostu na szerszych przeszkodach wodnych należałoby zrezygnować z tego sposobu nasuwania przęsła, na rzecz nasuwania przy użyciu awanbeku lub budowy podpór pośrednich na barkach płaskodennych. Układ podpór do nasuwania konstrukcji pojedynczych przęsła przedstawiono na rysunku 4.16.

Nasuwanie należy realizować takimi samymi środkami jak nasuwanie konstrukcji ciągłej mostu DMS-65. Łożyska na podporach stałych należy ułożyć przed nasuwaniem konstrukcji i zabudować podkładami z drewna. Na każdej podporze pośredniej należy ustawić podnośnik hydrauliczny i dwie pary wahaczy z mostu DMS-65. Wahacze zapewniają przeniesienie przewidywanych obciążeń. Układ ten należy zlokalizować w środkowej części podpory na dodatkowych belkach podłożyskowych.

Skład i wyposażenie zespołu do nasuwania konstrukcji można przyjąć jak dla nasuwania układu ciągłego. Uzasadnieniem takiego rozwiązania jest konieczność posiadania w czasie nasuwania czterech 4-osobowych zastępów. Dodatkowo do obsługi pomostów pływających należy utrzymać zespoły montujące te pomosty do zakończenia operacji nasuwania przęsła nad przeszkodą wodną.



Rys. 4.18. Przykład organizacji placu montażu konstrukcji przęsłowej kolejowego mostu składanego [12]

Drugim sposobem montażu dźwigarów na podporach jest ich nasuwanie przy pomocy awanbku. Nasuwanie przęseł mostowych przy użyciu konstrukcji awanbku jest znanym i stosowanym do dziś sposobem montażu mostów. Do budowy wieloprzęsłowych mostów kolejowych z konstrukcji KD-66 przewidywano właśnie konstrukcję dodatkową w postaci awanbku.

Awanbkiem należy nasuwać pojedyncze dźwigary przęseł. Konstrukcję umieszcza się w środku awanbku i nasuwa na podpory (najdalej położone od brzegu, z którego wykonywane są prace). Długość konstrukcji awanbku powinna obejmować przynajmniej dwie długości przęseł budowanego mostu, tak aby można było zachować stateczność układu awanbek – przęsło w czasie nasuwania. Dźwigary muszą być również przygotowane do przesuwania po rolkach montażowych lub innych urządzeniach ślizgowych w ramach awanbku.

System nasuwania awanbku z dźwigarami może być oparty o te same rozwiązania techniczno-organizacyjne co konstrukcja ciągła przęseł. Poleca się więc wybór nasuwania po specjalnych rolkach lub przy pomocy łożysk ślizgowych na płytkach elastomerowo-teflonowych.

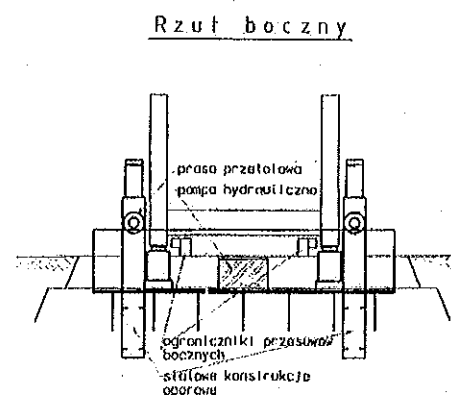
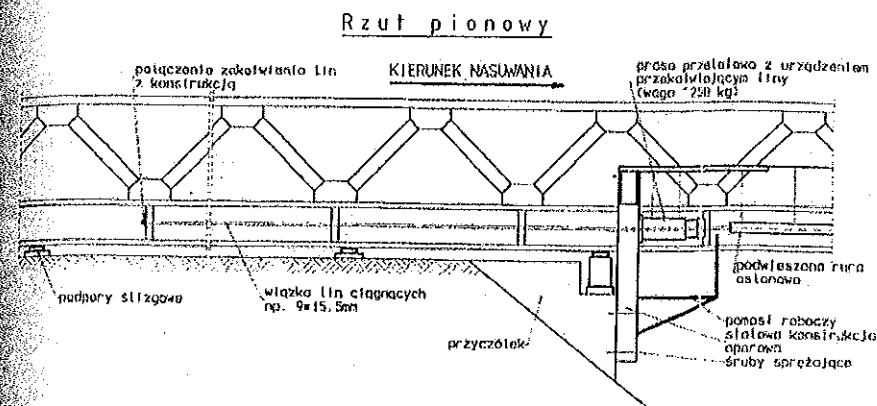
System nasuwania konstrukcji mostowych na płytkach elastomerowo-teflonowych stosowany jest w budownictwie mostowym. Wymaga on zastosowania następujących elementów:

- dwóch hydraulicznych pras naciagowych z odpowiednim osprzętem;
- zestawu pomp hydraulicznych z niezbędną armaturą;
- lin ciagnących ze stali sprężającej;
- rur osłonowych dla lin ciagnących;
- zakotwienia biernych lin ciagnących wraz z ruchomymi mocowaniami lin do wysuwania konstrukcji;
- pionowych, stalowych konstrukcji oporowo-podtrzymujących;
- specjalnych łożysk ślizgowych;
- elastomerowo-teflonowych płytek ślizgowych (po trzy na każde łożysko ślizgowe);
- bocznych ograniczników przesuwów;
- hamulca (podczas nasuwki w dół).

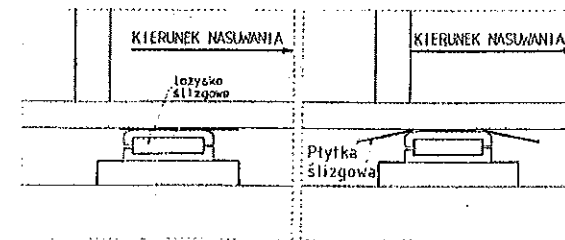
System pozwala na nasuwanie konstrukcji o płaskim pasie dolnym. Wszelkiego rodzaju nierówności wynikające z wymagań projektowych muszą być wyeliminowane. Potrzebne jest więc wspomniane wcześniej podbudowanie pasa dolnego dźwigarów głównym układem szynowym na przekładkach drewnianych.

Prędkość nasuwania zależy przede wszystkim od wydatku oleju zestawu pomp hydraulicznych oraz wielkości użytych pras naciagowych. W dotychczasowych operacjach uzyskiwano prędkości nasuwki od 6 m/h do 10 m/h.

System nasuwania przy zastosowaniu przelotowych pras naciagowych (z urządzeniami przekotwiającymi liny ciagnące) i jego etapy, pokazano na rysunku 4.19.



SCHEMAT WYMIANY PŁYTEK ŚLIZGOWYCH W TRAKCIE NASUWANIA MOSTU



Rys. 4.19. Schemat konstrukcji do nasuwania mostu z wykorzystaniem hydraulicznych pras przelotowych i płytek elastomerowo – teflonowych [12].

4.4.2.4. Wytyczne realizacyjne

Budowa mostu ze składanych konstrukcji mostów kolejowych w ostatnich latach nie miała miejsca. Trudno jest więc przedstawić konkretne, sprawdzone rozwiązania realizacyjne. Studia nad problemem (w ramach [12]) pozwalają jednak na sformułowanie pewnych propozycji i zasad, których przestrzeganie jest niezbędne, lub celowe, dla niezakłóconego procesu budowy mostu. Oto one:

1. Montaż dźwigarów głównych należy realizować na torze montażowym o długości większej niż 2/3 długości przęsła. Poziom nasuwania powinien być ok. 0,5 m powyżej niwelety układu podporowego (łożysk konstrukcji przęsłowej).
2. Elementy dźwigarów głównych należy składować wzdłuż toru montażowego. Preferuje się montaż „z placu”.
3. Stanowiska montażowe powinno się lokalizować w tylnej części toru montażowego, oddzielnie dla montażu dźwigarów i podbudowy pasów dolnych dźwigarów układem do nasuwania konstrukcji. Układ ten można montować ręcznie przy wykorzystaniu małej mechanizacji (wózków widłowych i podnośników hydraulicznych).
4. Duża liczba łączników śrubowych wymaga stosowania narzędzi pneumatycznych do czyszczenia otworów, zakręcania śrub i wykonywania innych czynności pomocniczych.
5. Most należy nasuwać bez konstrukcji jezdni układem całego przęsła mostu lub parami dźwigarów głównych połączonych stężeniami. W czasie nasuwania przerwać prace montażowe. Jednorazowa długość wysuwki powinna wynosić 1/3 długości przęsła mostu.
6. W celu wykonania jezdni konieczne jest podwieszenie pomostów roboczych (deskowań) do dźwigarów głównych. Niezbędne jest też zdemontowanie układu szyn kolejowych służących do nasuwania konstrukcji nośnej. Prace te powinny być realizowane ze środków pływających.
7. Wykonanie dojazdów do mostu jest procesem pracochłonnym ze względu na duży zakres robót ziemnych i w znacznej mierze decyduje o czasie budowy przejścia mostowego. Istnieć może więc potrzeba realizacji robót z dwóch stron przeszkody. W pierwszym etapie realizowane byłyby roboty montażowe dźwigarów głównych, budowa podpór i wykonanie dojazdu do mostu z przeciwnego w stosunku do kierunku nasuwania konstrukcji brzegu; w drugim etapie zaś budowa jezdni mostu realizowana była by od czoła z wykorzystaniem wykonanego wcześniej dojazdu do mostu wraz z pozostałymi robotami: demontażem toru montażowego, budową drugiego dojazdu, likwidacją zaplecza budowy.
8. Ze względu na wysokość konstrukcyjną dźwigarów i konieczność podniesienia konstrukcji dla montażu układu nasuwczego, wymagane jest stosowanie pomostów i zabezpieczeń do prac montażowych na wysokości (w myśl obowiązujących przepisów bhp).

Budowa mostów drogowych z wykorzystaniem konstrukcji składanych mostów kolejowych jest przedsięwzięciem złożonym. **Zakres robót budowlanych jest tu zbliżony do budowy mostu stałego.** Odpadają jedynie procesy wytwarzania konstrukcji nośnej, która jest na składach i powinna być wykorzystana w razie nagłej potrzeby.

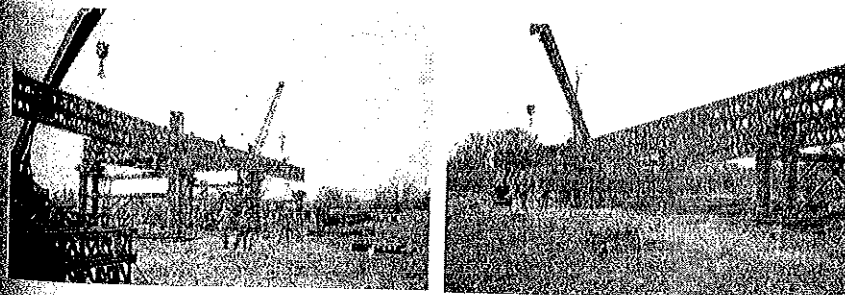
4.4.3. Montaż wiaduktów drogowych

Wiadukty drogowe budowane doraźnie ze składanych konstrukcji inżynierskich są konstrukcjami lekkimi o ustalonej technologii montażu. Przywołane w podręczniku dwie konstrukcje wiaduktów WD-80 i SWD-83, różne pod względem konstrukcyjnym, charakteryzują się różnymi rozwiązaniami technologicznymi i odmienną organizacją budowy.

Wiadukt SWD-83 [1], wykorzystujący elementy konstrukcji mostu DMS-65 i podpór SPS-69, buduje się w osi przejścia metodą montażu bezpośredniego na podporach (całych przęsłach lub dźwigarów) lub poprzez nasuwanie konstrukcji przęsłowej (bez płyt jezdni). Montaż może odbywać się od części wjazdowej lub od przęsła centralnego (które przykrywa trasę komunikacyjną). W obu przypadkach istnieje możliwość prowadzenia równoległego montażu z dwóch stron trasy, nad którą budowany jest wiadukt.

Układając dźwigary lub przęsła na podpory, począwszy od przęsła centralnego, należy zwrócić szczególną uwagę na zapewnienie stateczności zmontowanego już układu. Przęsło podstawowe powinno być zmontowane w pełnym układzie konstrukcyjnym, a nawet z dołożeniem dodatkowego balastu, co stanowiłoby przeciwwagę dla dołączanych pierwszych dźwigarów kolejnych przęsł. Dźwigary następnych przęsł należy doczepiać na przemian, raz z jednej, a następnie z drugiej strony przęsła centralnego. Pełna zabudowa dostawianych przęsł może nastąpić dopiero po ich symetrycznym podłączeniu do przęsła centralnego.

W przypadku układania na podpory przęsł od strony wjazdu, jednocześnie z budową pierwszego przęsła należy wykonać część wjazdową i zabezpieczyć dźwigary przed zsunieniem podłużnym z podpór palami oporowymi.



Rys. 4.20. Montaż wiaduktu SWD-83 pojedynczymi dźwigarami

Przy montażu wiaduktu pojedynczymi dźwigarami najtrudniejszą czynnością jest montaż belek poprzecznych i wiatrownic. Istotny wpływ na te czynności mają wszelkie niedokładności w geometrii zmontowanego układu dźwigarów. Stąd bardzo ważną rolę odgrywa szczególnie dokładność prac pomiarowych i geodezyjnych. Dotyczy to zarówno geometrii przęseł, jak również lokalizacji i geometrii zmontowanych w pierwszej kolejności podpór.

4.4.3.1. Montaż dźwigarami

Kolejność wykonywania czynności powinna być następująca:

- 1) zmontowanie dźwigarów obok uprzednio zmontowanych podpór,
- 2) ułożenie dźwigarów na łożyskach podpór (przy pomocy dźwigów),
- 3) ułożenie belek poprzecznych (w pierwszej kolejności – skrajnych, a następnie środkowych),
- 4) zamontowanie wiatrownic,
- 5) ułożenie płyt jezdni i przykręcenie krawężników.

Montaż konstrukcji przęsłowej wiaduktu wykonują trzy zespoły:

- 1) zespół montażu dźwigarów w składzie 1 dźwig i 9 montażystów,
- 2) zespół montażu belek poprzecznych i wiatrownic (1 dźwig, 10 montażystów),
- 3) zespół montażu jezdni (1 dźwig i 10 montażystów).

Oczywiście takie same zespoły należy zorganizować do prac z drugiej strony trasy, nad którą budowany jest wiadukt.

Przykład organizacji robót przy budowie wiaduktu metodą montażu całych przęseł na podporach przedstawia schemat na rys. 4.21. Wiadukty tego typu budowane są bardzo szybko – głównie za sprawą szerokiego frontu robót i możliwości równoległego wykonywania procesów montażowych po obu stronach trasy. Na rys. 4.22. przedstawiono przykładowy harmonogram budowy wiaduktu SWD-83.

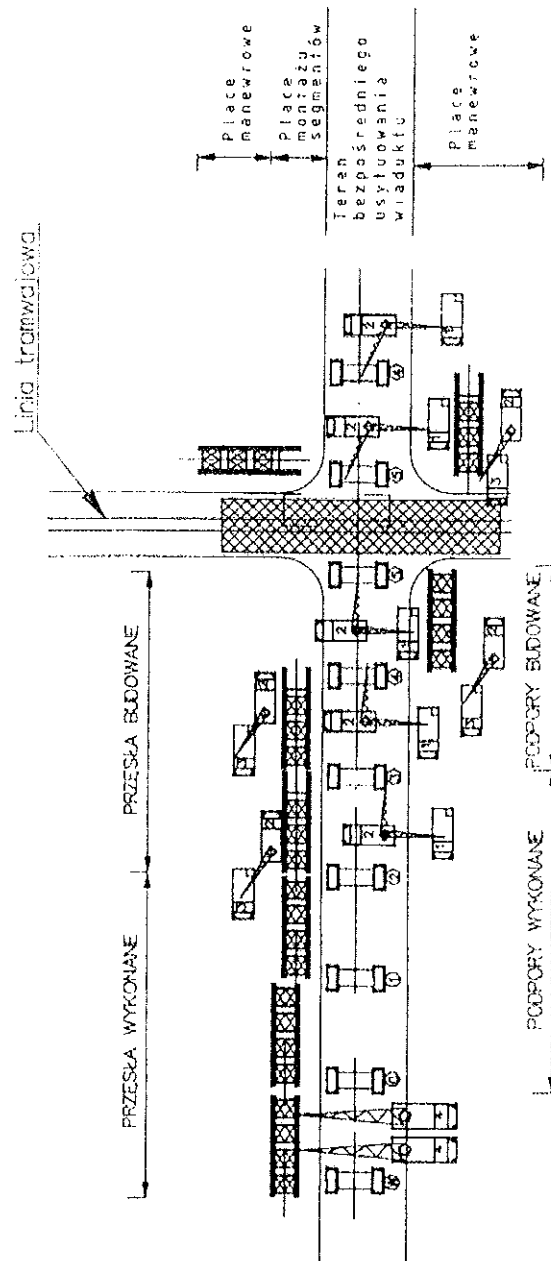
4.4.3.2. Montaż przęsła odcinkami z nasuwaniem

Do montażu przęsła tą metodą należy stosować specjalny tor montażowy, składający się z dwóch sześciometrowych części:

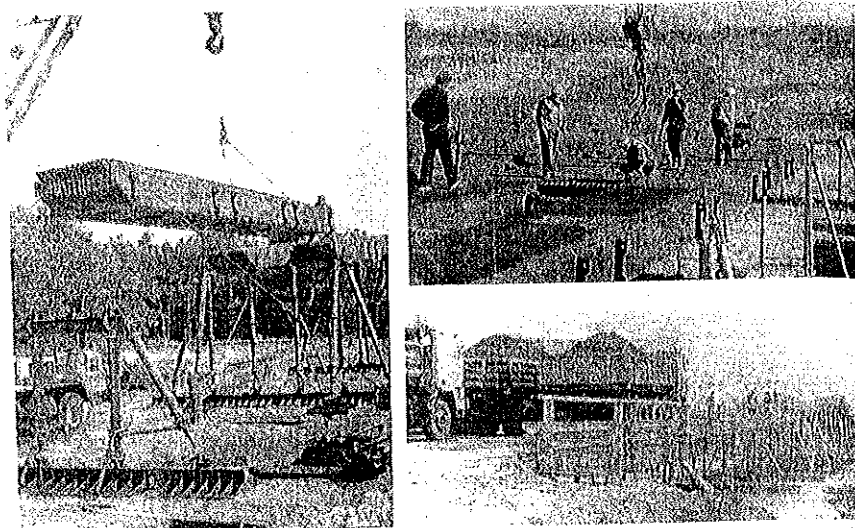
- części poziomej,
- części wznoszącej ze spadkiem podłużnym 8,33 % (spadek podłużny budowanego wiaduktu).

Montaż polega na cyklicznym wykonywaniu dwóch procesów (czynności):

1. podanie i zmontowanie odcinków przęsła (bez płyt jezdni) na poziomym torze montażowym z połączeniem odcinków sworzniami w pasach górnych dźwigarów,
2. nasunięcie zmontowanego odcinka na część wznoszącą i połączenie sworzniami pasów dolnych dźwigarów.



Rys. 4.21. Schemat montażu wiaduktu blokami konstrukcji SWD-83 nad linią tramwajową.
1 – samochód z elementami podpór, 2 – żuraw średniego udźwigu,
3 – samochód z elementami przęsła, 4 – żuraw dużego udźwigu.



Rys. 4.23. Budowa wiaduktu WD-80

Budowa wiaduktów drogowych, oprócz montażu samej konstrukcji obiektu, wymaga wykonania prac towarzyszących i wykończeniowych. Do najbardziej pracochłonnych należą prace związane z przygotowaniem podłoża pod podpory i budowa dojazdów. Zakres tych prac i możliwe do zastosowania rozwiązania technologiczno-organizacyjne zależą od warunków miejscowych, zakładanego czasookresu eksploatacji wiaduktu i możliwości (mechanizacji) realizatora. Wiadukt wymaga też ustawienia odpowiednich znaków drogowych oraz urządzeń sygnalizacji i regulacji ruchu.

4.5. Komputerowe planowanie organizacji budowy obiektów inżynierskich

4.5.1. Istota komputerowego planowania organizacji robót

Planowanie odnoszone jest do różnego zakresu działań. Może obejmować ono całość przedsięwzięcia lub jej część funkcjonalną czy też rzeczową. Może też obejmować zbiór działań realizowanych przez określoną jednostkę organizacyjną. W działaniach inżyniersko-budowlanych mamy do czynienia najczęściej z planami wykonania określonych przedsięwzięć inżynierskich. Często jednak musimy decydować o wykonalności określonych zadań, o potrzebach sił i środków o potrzebnym czasie na wykonanie przedsięwzięcia – bez możliwości wykonania szczegółowej analizy planistycznej. Planowanie takie nazywać będziemy *analizą operacyjną* [10].

Celem analiz operacyjnych jest ustalenie realizatorów zadań inżynierskich, ocena możliwości czasowych i potrzeb zasobowych do realizacji określonego zakresu zadań. Analizy te są obwarowane najczęściej wieloma warunkami w postaci terminów realizacji i efektów, które należy osiągnąć w realizacji zbiorów zadań.

Plany realizacji przedsięwzięć mają nieco inny charakter i funkcję. Są one scenariuszami odpowiednio zharmonizowanych działań. Ich przygotowanie wiąże się więc z ustaleniem zbiorów zadań cząstkowych, rozłożeniem ich w czasie i przestrzeni oraz ustaleniem zespołów realizacyjnych. Głównym celem w planowaniu przedsięwzięcia winno więc być przygotowanie scenariusza działań w postaci *harmonogramu realizacji przedsięwzięcia* [3, 9].

Jak z tego wynika, w planowaniu działań inżynierskich, w tym związanych z budową mostów, mamy do czynienia z dwoma technikami planistycznymi, a mianowicie z: *analizami operacyjnymi* wykonalności zadań oraz z *harmonogramowaniem przedsięwzięć*. Obie te techniki mogą być z powodzeniem wspomagane komputerowo.

4.5.2. Normy nakładów rzeczowych na wykonanie procesów pracy

W polskim budownictwie do planowania budowy i zarządzania produkcją budowlaną, stosowane są *katalogi nakładów rzeczowych* (tzw. KNR-y). Zawierają one normy zużycia nakładów pracy robotników (różnych zawodów) i maszyn oraz zużycia materiałów na jednostkę obmiaru procesu pracy. W użyciu jest kilkadziesiąt tysięcy norm, dotyczących różnego charakteru budownictwa, różnych rodzajów robót i różnych technologii ich wykonywania.

Normy nakładów rzeczowych ustalają ich wielkość na jednostkę efektu lub elementu obiektu inżynierskiego. Określają zużycie nakładów w odpowiednich do charakteru zasobów jednostkach miary: ilości roboczo-godzin pracy robotników, maszyno-godzin pracy maszyn oraz ilości jednostek (różnych dla różnych materiałów) zużywanych materiałów. Znając zakres pracy, możemy ustalić nakłady na jej wykonanie, a dalej analizując te wielkości określić:

- skład racjonalnego zespołu;
- czas realizacji pracy po ustaleniu składu zespołu;
- zużycie materiałów na realizację pracy, a przy znajomości czasu realizacji również tempo zużycia materiałów.

Przydatność normowania w organizacji procesów budowy mostów wynika z możliwości kształtowania wszystkich składników czasu pracy wchodzących w skład danego procesu budowlanego. Część tych składników to oczywiście niezbędne nakłady (zużycia) czasu pracy a ich wartości wchodzą do czasu normowanego. Występują jednak elementy straty czasu nie wliczane do czasu normowanego, możliwe do usunięcia poprzez odpowiednią organizację złożonych procesów budowlanych. Chodzi o pełne wykorzystanie środków pracy w taki sposób, aby nie musiały one wyczekać na zakończenie innych zadań. W obrębie pojedynczego procesu budowlanego jest to często nie do osiągnięcia.

Jednak grupowanie kilku procesów realizowanych przez ten sam zespół roboczy daje taką możliwość.

Innym korzystnym aspektem znormalizowania procesów budowlanych jest możliwość komputeryzacji kosztorysowania i planowania organizacji budowy. Stosowane powszechnie programy komputerowe, wyposażone w bazy norm nakładów rzeczowych, umożliwiają szybkie i rzeczowe określenie nakładów na wykonanie przedsięwzięcia, kosztów - jako pochodną tych nakładów, i zbudowanie harmonogramu prac na podstawie informacji o nakładach.

W odniesieniu do mostownictwa, baza katalogowa norm nakładów rzeczowych na wykonanie prac mostowych jest stosunkowo skąpa. W użyciu powszechnym jest jeden katalog (KNR Budowa mostów), o przestarzałej strukturze procesów budowlanych i technologiach ich realizacji. Wiele współcześnie stosowanych technologii budownictwa mostowego znormowanych jest jedynie w zasobach indywidualnych przedsiębiorstw. Również budowa mostów składanych nie ma upowszechnionej bazy norm nakładów rzeczowych. W załączniku podręcznika przedstawiamy *Katalog nakładów rzeczowych „Budowa mostów składanych”*. Katalog jest wynikiem analizy indywidualnej procesów pracy i fragmentarycznych badań poligonowych [4]. Ustalono zadania związane z budową mostów składanych i technologii ich wykonania. Przyjęto przy tym, że zadaniem (zadaniem podstawowym - znormowanym) jest taki zakres prac, który zwyczajowo powierza się jednemu zespołowi wykonawczemu, wyposażonemu w odpowiednie urządzenia i maszyny. Opracowane normy wymagają ciągłej weryfikacji na podstawie badań poligonowych budowy obiektów inżynierskich z konstrukcji składanych.

Normy nakładów rzeczowych na wykonanie procesów budowlanych nie są niezmiennie. Wraz z rozwojem mechanizacji, technologii, powinniśmy uzupełniać bazę KNR, usuwać z niej przestarzałe niestosowane technologie, weryfikować nakłady. Dotyczy to nie tylko procesów specjalistycznych budownictwa mostowego, ale i innych - występujących przy budowie mostu, jak np. budowa dróg, wykonywanie robót ziemnych, zagospodarowanie budowy, itd.

4.5.3. Analiza nakładów na wykonanie prac

Analizę wykonalności zadań przez realizatorów prowadzi się na podstawie porównania nakładów (których poniesienie jest niezbędne aby wykonać zadanie) z możliwościami ich poniesienia przez rozpatrywane jednostki organizacyjne posiadające w swoim składzie zasoby odpowiedniego rodzaju i ilości. Analizę taką można prowadzić efektywnie pod warunkiem korzystania ze wspomaganie komputerowego, gdyż technika ustalania nakładów jest bardzo pracochłonna.

Podstawy teoretyczne analizy przedstawiono w [10]. Przedstawimy istotę podejścia do problemu.

W planowaniu występują zadania do wykonania (cele do osiągnięcia) i wykonawcy zadań.

Wykonawcy zadań, to odpowiednie jednostki organizacyjne wyposażone w środki realizacji pracy - najogólniej to: zasoby czynne i bierne w konkretnych

strukturach organizacyjnych (pododdziały mostowe, brygady specjalistyczne, zespoły robocze).

Zadania do wykonania zaś, charakteryzowane są poprzez: rodzaj i zakres (ilość) prac, miejsce realizacji, i często - terminy wykonania (od - do).

W analizach operacyjnych przydzielamy wykonawców do zadań. Potencjał wykonawcy, jego stan posiadania zasobów czynnych oraz stan lub możliwości pozyskania zasobów biernych, musi odpowiadać zasobochłonności zadania, do którego został przydzielony wykonawca. W analizie planistycznej należy ustalić:

- fronty robót (miejsca wykonania zadań);
- wykonawców robót na frontach (realizatorów zadań),
- czas realizacji robót na frontach.

Frontem robót ustala planujący, biorąc przy tym pod uwagę strukturę rzeczową, technologiczną i terminową zamierzenia inżynierskiego. Są to lokalizacyjnie określone zbiory zadań mostowych, z często ustalonym terminem rozpoczęcia realizacji i/lub jej zakończenia.

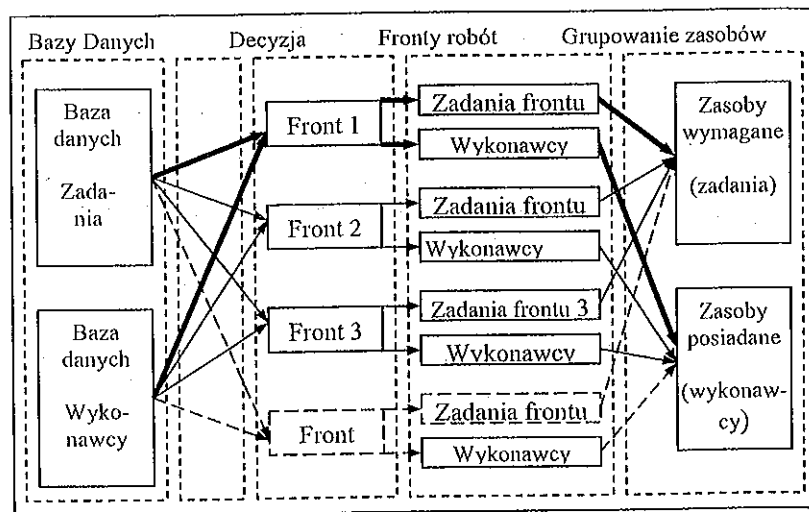
Każdy z wydzielonych frontów robót analizowany jest pod względem nakładów zasobów. W odniesieniu do zasobów czynnych jest to pracochłonność liczona w roboczo-godzinach pracy ludzi i maszyno-godzinach pracy potrzebnych maszyn, a w stosunku do zasobów biernych jest to po prostu ilość wyrażona w jednostkach miary ilości materiałów. Niezbędne nakłady zasobów dla frontu robót określa się poprzez przemnożenie ilości robót podstawowych realizowanych na froncie, przez normatywne nakłady rzeczowe na ich wykonanie.

Pracochłonność frontu i czas realizacji robót wyznaczają liczbę niezbędnych zasobów czynnych:

$$a_{lj} = \frac{w_{lj}}{t_j} \quad \text{dla} \quad \begin{cases} l \in S \\ j \in F \end{cases}$$

gdzie:

- a_{lj} - liczba niezbędnych zasobów czynnych l -tego typu do realizacji robót na j -tym froncie robót;
- w_{lj} - pracochłonność j -tego frontu robót w odniesieniu do l -tego zasobu;
- t_j - czas realizacji robót na j -tym froncie;
- S - zbiór zasobów czynnych;
- F - zbiór frontów robót.



Rys. 4.24. Bilansowanie zasobów – model problemu [10]

Z kolei pracochłonność frontu i liczba skierowanych nań środków realizacji (zasobów czynnych), wyznaczają czas zrealizowania robót na froncie:

$$t_j = \max_{l \in S} \frac{w_{lj}}{\bar{a}_{lj}}$$

gdzie: \bar{a}_{lj} – liczba skierowanych zasobów l -tego typu do realizacji robót na j -tym froncie robót.

Zasoby czynne pełnią więc rolę wyznacznika możliwości czasowych realizacji prac, natomiast zasoby bierne będą brane pod uwagę w ocenie możliwości zastosowania takiej czy innej technologii.

Podobną analizę można prowadzić dla zbiorów robót powierzonych do wykonania specjalizowanemu zespołowi. Zamiast frontów robót wyróżniamy wtedy grupy zadań i zbiorów grup zadań powierzonych do wykonania specjalistycznym zespołom wykonawczym.

Analizy nakładów rzeczowych na wykonanie zadań mostowych można prowadzić programami komputerowymi do kosztorysowania robót budowlanych, przy zastosowaniu metody kalkulacji szczegółowej. Fronty robót lub grupy zadań (powierzonych specjalizowanemu zespołowi) powinny tworzyć działy kosztorysu. Dla nich bowiem wystąpi potrzeba ustalenia nakładów pracy ludzi i maszyn oraz materiałów. Dodatkową zaletą takiej analizy jest ustalenie kosztów realizacji prac (również z podziałem na fronty robót lub grupy zadań).

4.5.4. Harmonogramowanie prac budowlanych

Harmonogramowanie działań jest techniką dużo bardziej złożoną niż proste zliczenie i porównywanie nakładów w analizach operacyjnych. Nie jest możliwe na obecnym etapie całkowite zautomatyzowanie opracowania harmonogramu, szczególnie harmonogramu przedsięwzięcia, w którym występuje wiele technologicznie powiązanych procesów pracy i wiele różnego rodzaju zasobów.

W planowaniu mostowych przedsięwzięć inżynierskich proponujemy zastosowanie programów do planowania przedsięwzięć. Są w tej grupie programy współpracujące z programami do kosztorysowania robót. Umożliwiają one przeświadczenie kosztorysu w harmonogram robót. Tę własność wykorzystuje się w komputerowym harmonogramowaniu przedsięwzięć budowy mostów z konstrukcji składanych. Wyszczególnione nakłady rzeczowe na wykonanie poszczególnych prac w kosztorysie sporządzonym metodą kalkulacji szczegółowej są podstawą do analizy rzeczowo-czasowej w harmonogramie. Poniżej przedstawiono ogólną charakterystykę tego procesu na bazie programów do kosztorysowania robót budowlanych i planowania przedsięwzięć.

4.5.4.1. Opracowanie harmonogramu ze wspomaganie komputerowym

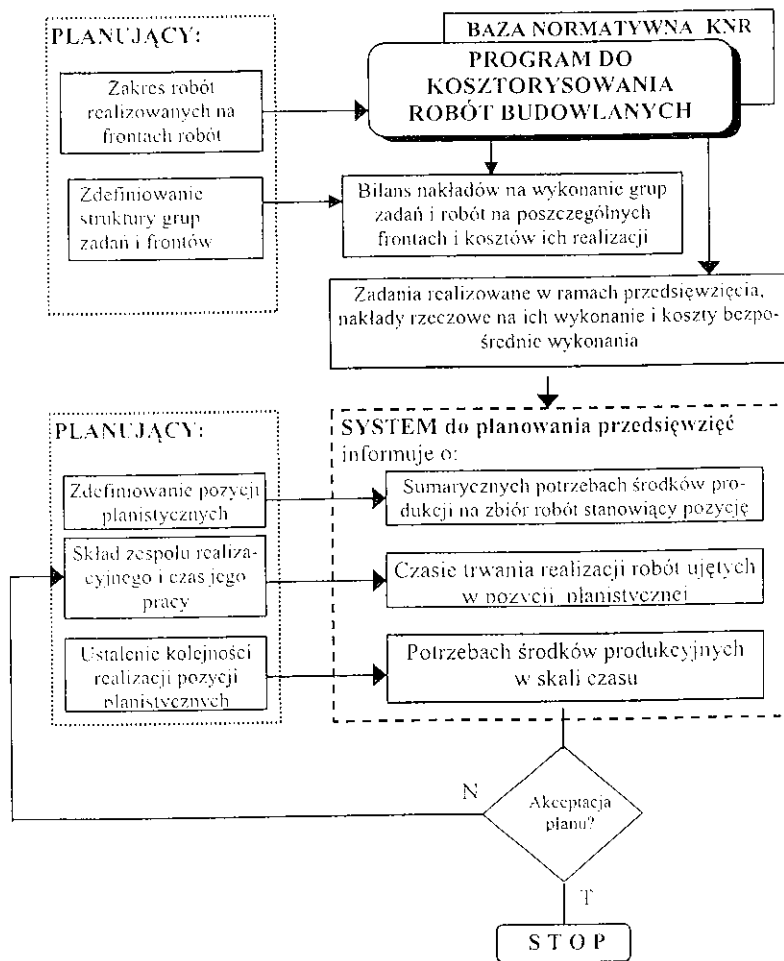
Planowanie zawsze rozpoczynamy od ustalenia tego co mamy wykonać w ramach przedsięwzięcia. Dalej określamy potrzeby w zakresie użycia środków produkcji. Tę kalkulacyjną czynność możemy z powodzeniem przeprowadzić w dowolnym systemie kosztorysującym z bazą normatywnych nakładów rzeczowych.

Baza normatywna, zawierająca karty katalogowe o zróżnicowanych technologiach wykonania prac, spełnia dwa zadania:

1. Wskazuje operatorowi systemu możliwe do zastosowania technologie;
2. Określa zużycie środków produkcji na ustaloną jednostkę zadania.

Dalsze projektowanie organizacyjne ma charakter bardziej twórczy (konceptyjny) i powinno się odbywać w systemie planistycznym (do opracowania harmonogramu).

Po pierwsze ustalamy: pozycje planistyczne (harmonogramowe), skład zespołu realizującego i czas jego pracy. Pozycje planistyczne w harmonogramie są zbiorami zadań wybranymi z listy zadań utworzonej przy pomocy programu kosztorysującego. Na podstawie danych kosztorysowych, system do planowania przedsięwzięć informuje nas o poziomach zużycia nakładów poszczególnych środków produkcji oraz wylicza czas realizacji robót ujętych w pozycjach planistycznych. Następnie planujący określa kolejność realizacji poszczególnych pozycji planistycznych, co jest podstawą do zobrazowania potrzeb w zakresie zużycia i użycia środków produkcji w skali czasu.



Rys. 4.25. Schemat przebiegu opracowania harmonogramu ze wspomaganie komputerowym [8].

Katalogi norm

Lp	Podstawa	Opis	jedn.obm.	Objmior
3		Przygotowanie toru monażowego		
18	KNR 2-01 0123-01	Przygotowanie podłoża pod nasypy przez zaoranie plugiem ciągnikowym	m ²	700
19	KNR 2-01 0212-05	Roboty ziemne wyk. koparkami podsiębiernymi 0.40 m ³ w 2cmi kat I-III uprzednio zmagazynowanej w haldach z transportem urubku samochodami samowyładowczymi na odł. do 1 km.	m ³	620
20	KNR 2-01 0235-02	Formowanie i zagęszczenie nasypów o wys. do 3.0 m spycharkami w gruncie kat III-IV	m ³	620
21	0.3	Ustawienie stosów z drewna na podbudowie z tłucznia	szt.	32
22	0.3	Ustawienie i zniwelowanie wahaczy łozyska mostu DMS-65	szt.	32
23	0.3	Ustawienie pomocniczych stosów z drewna	szt.	4

Planista 5.0 - Kms grant

Ek: Edycja Harmonogram, Czynniki Kosztorys, Narzędzia, Okno Wykuki, Pomoc

Nr	Nazwa czynności	Przebieg	z	Rob.g	Masz.g	P1	P2	P3	G1	G2
1	Zagospodarowanie placu budowy	1-17	100	1003.66	664.16	20	20	0	10	10
2	Przygotowanie toru monażowego	18-23	100	118.16	230.75	6	6	0	10	10
3	Pole przyczółka na b. prawym	24-25	100	305.71	210.59	10	10	0	10	10
4	Montaż przyczółka na b. lewym	26	100	64.04	17.82	5	5	0	10	10
5	Pole przyczółka na b. lewym	24-25	100	305.71	210.59	10	10	0	10	10
6	Montaż przyczółka na b. lewym	26	100	64.04	17.82	5	5	0	10	10
7	Prace podziemne na lewym	27-28	100	611.42	421.17	20	20	0	10	10

Pozycje kosztorysowe

Nr	Opis pozycji kosztorysowej
1	Nakłady do pozycji
1	Układanie czasowych drog kolonnych i placu do 3 m ²
1	Robotnicza
2	Spycharka gąsienicowa 6 t
3	Paleta 200x100
4	Pracę drogową robotnicze 10000
2	Mechaniczne planowanie terenu spycharką torped kat III
1	Robotnicza
2	Spycharka gąsienicowa 55 kW (75 KM)
3	Mechaniczne planowanie terenu spycharką torped kat III
1	Robotnicza
2	Spycharka gąsienicowa 55 kW (75 KM)
4	Wady dewiarne osłonięto Lśnawca bocznym
1	Robotnicza

Skala 1:6
Dni 1
Czas 25 dni.kal.

Rys. 4.26. Przykładowe ekrany w czasie pracy w systemach NORMA i PLANISTA nad opracowaniem harmonogramu budowy mostu składanego

Istotną cechą planowania w systemach komputerowych jest możliwość poprawiania przyjętych rozwiązań. Na dowolnym etapie planowania możemy zmienić prawie wszystko. Pozwala to na stopniowe doskonalenie planu, analizowanie planów w różnych wariantach przy różnych warunkach realizacyjnych planowanego przedsięwzięcia. Schemat planowania z wykorzystaniem programów komputerowych do kosztorysowania i do planowania przedsięwzięć przedstawia rys. 4.25., a przykład pracy w obu aplikacjach – rys. 4.26.

Plany opracowane zawczasu w systemach komputerowych mogą być modyfikowane, łączone, a więc stanowią swoistą bazę rozwiązań technologiczno-organizacyjnych typowych działań, która może być adaptowana do rzeczywistych warunków planowania.

4.5.4.2. Przykład

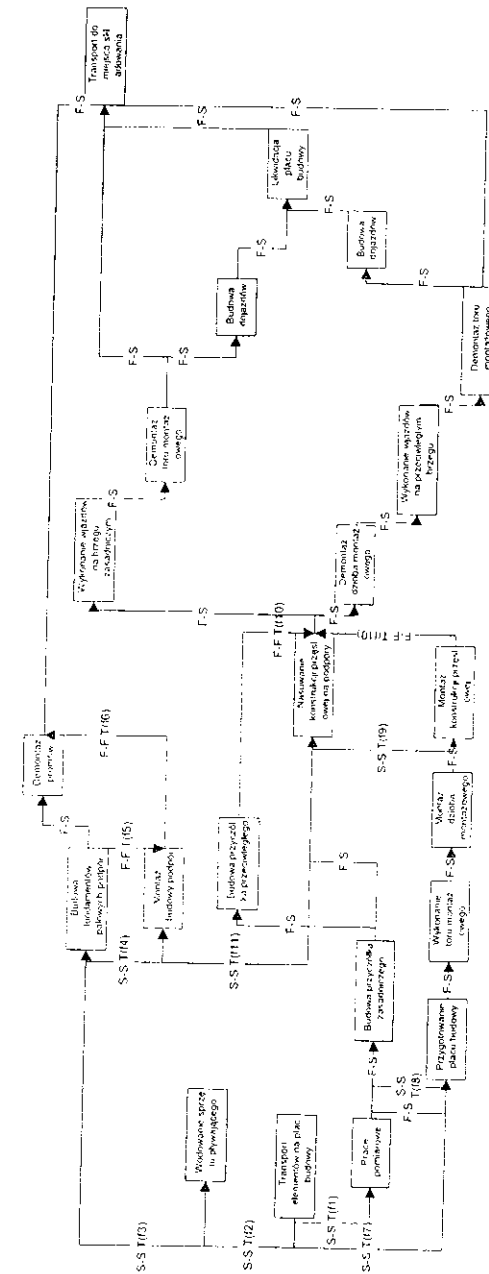
Opracowanie planu rzeczowo-czasowego realizacji przedsięwzięcia budowlanego wymaga znajomości warunków realizacji budowy, rozwiązań konstrukcyjno-technologicznych i możliwości wykonawców (możliwego stanu zatrudnienia i dostępności sprzętu). Od tych bowiem informacji zależy wybór i liczba zadań do realizacji, intensywność prac, potrzeby urządzeń pomocniczych, itd. Przykład harmonizacji prac będziemy odnosić do rozwiązania modelowego budowy mostu składanego. Model sieciowy [9] takiego przedsięwzięcia przedstawiono na rysunku 4.27.

Opracowanie harmonogramu realizacji przedsięwzięcia rozpoczynamy od zdefiniowania zadań, które należy wykonać dla osiągnięcia celu. Realizujemy to w programie do kosztorysowania robót budowlanych. Z bazy normatywnej tego programu (katalogów KNR) wybieramy zadania wraz z podaniem ich obmiarów (w właściwych dla nich jednostkach). Kosztorys dzielimy na działania odpowiednio do rodzaju robót i ich lokalizacji. W przykładzie zdefiniowano zadania dla:

- zagospodarowania placu budowy,
- przygotowania toru montażowego,
- wpuśczenia pali przyczółków,
- montażu nadbudowy przyczółków,
- wpuśczenia pali podpór stałych mostu składanego,
- montażu nadbudowy podpór z konstrukcji SPS-69,
- montażu podpór pomocniczych na lądzie i na wodzie,
- montażu konstrukcji przęsłowej,
- nasuwania konstrukcji przęsłowej,
- osadzenia konstrukcji na łożyskach podpór stałych,
- rozebrania (demontażu) konstrukcji pomocniczych,
- transportu konstrukcji,
- likwidacji placu budowy.

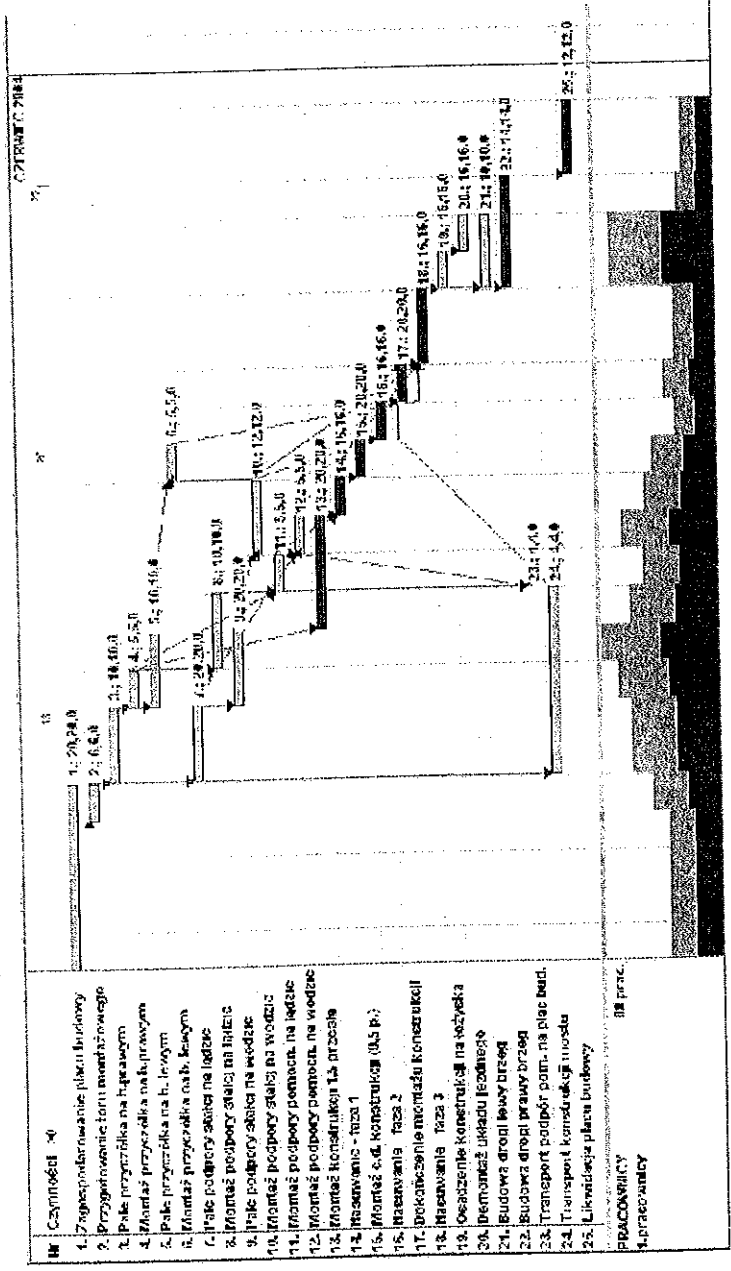
W działach tych zdefiniowano ogółem 100 pozycji kosztorysowych, które po scaleniu opisują nakłady dla 25 pozycji harmonogramu.

BUDOWA MOSTU SKŁADANEGO W UKŁADZIE KONSTRUKCYJNYM CIĄGLYM NASUWANIE KONSTRUKCJI PRZESŁOWE Z WYKORZYSTANIEM KONSTRUKCJI DZIĘBA MONTAŻOWEGO



- LEGENDA:**
- T(f1) - czas dostarczenia sprzętu pomiarowego;
 - T(f2) - czas dostarczenia pontonów do budowy promów;
 - T(f3) - czas budowy promu kafałowego;
 - T(f4) - czas budowy fundamentu pierwszej podpory;
 - T(f5) - czas budowy ostatniej podpory;
 - T(f6) - czas potrzebny na demontaż promu montażowego;
 - T(f7) - czas potrzebny na dostarczenie elementów placu budowy;
 - T(f8) - czas potrzebny na wykonanie dojazdów w obrębie przyczółka;
 - T(f9) - czas potrzebny na zmontowanie konstrukcji pierwszego przęsła;
 - T(f10) - czas potrzebny na nasunięcie ostatniego zmontowanego przęsła;
 - T(f11) - czas montażu nadbudowy pierwszej podpory.

Rys. 4.27. Model sieciowy budowy mostu składanego DMS-65 (budowa przez nasuwanie z wykorzystaniem konstrukcji dzioba montażowego)



Rys. 4.28. Harmonogram budowy mostu składany z wykresem zatrudnienia - przykład

W harmonizacji prac przyjęto dwuzmianowy system pracy, co przy maksymalnym zatrudnieniu 82 pracowników daje możliwość zakończenia budowy mostu w ciągu 25 dni kalendarzowych. Nakłady pracy robotników w całym przedsięwzięciu wynoszą 10020 r-g. Kosztów realizacji przedsięwzięcia nie oszacowano, chociaż taka możliwość zawsze istnieje.

Na rysunku 4.28. przedstawiono wydruk harmonogramu ogólnego budowy wraz z wykresem zatrudnienia pracowników. Komputerowe analizowanie planu realizacji przedsięwzięcia dostarcza wielu innych danych, takich jak: rozkłady nakładów rzeczowych (pracy ludzi, maszyn, konstrukcji, materiałów budowlanych), nakładów rzeczowych na wykonanie zadań, rozkład kosztów realizacji prac, ocena potrzeb zasobów - w tym materiałów i konstrukcji. Zamieszczenie tych informacji dla przykładowego rozwiązania konstrukcyjnego i technologiczno-organizacyjnego nie wydaje się celowe, tym bardziej że zakres prac jest założony i nie wynika z rzeczywistych warunków budowy.

Przedstawione narzędzia do komputerowego planowania rzeczowo-czasowego budowy mostów z konstrukcji składanych są w dyspozycji Instytutu Inżynierii Wojskowej Wydziału Inżynierii, Chemii i Fizyki Technicznej WAT. Oryginalnym dorobkiem zespołu jest baza danych o nakładach rzeczowych na wykonanie zadań mostowych (i nie tylko), która umożliwia automatyzację analiz planistycznych.

Literatura

1. Drogowy most składany DMS - 65, Budowa i eksploatacja. MON, Warszawa 1981.
2. Dyżewski A., Technologia i organizacja budowy, Wydawnictwo „Arkady”, Warszawa 1989.
3. Jaworski K.M., Podstawy organizacji budowy, PWN, Warszawa 2004.
4. Jarzyna J.R., Jakubowski G., Kristowski A., Wybrane aspekty badań poligonowych budowy mostów tymczasowych. Mat. XI Międzynarodowej Konf. N-T „Inżynierii Wojskowej” T.1, Warszawa - Rynia 2000.
5. Jarzyna J.R., Podstawowe warunki i aspekty wykorzystania wojskowych konstrukcji składanych do budowy cywilnych obiektów komunikacyjnych. Grant nr T00A03918 (wewn. pkt.4.7.) WAT, Warszawa 2000.
6. Kasprzowicz T., Organizacja wojskowych prac inżynierskich. Podstawy organizacji i zarządzania, WAT, Warszawa 1996.
7. Madaj A., Wołowicki W., Budowa i utrzymanie mostów. WKŁ Warszawa 1995.
8. Marcinkowski R., Wspomaganie komputerowe planowania realizacji zadań inżynierskich w czasie, VIII Konferencja Naukowo-Techniczna Inżynierii Wojskowej, Warszawa 1994.

9. Marcinkowski R., *Metody harmonogramowania przedsięwzięć inżyniersko-budowlanych*, WAT, Warszawa 1995.
10. Marcinkowski R., *Operacyjna ocena wykonalności zadań inżynierskich*, Biuletyn WAT nr 2 Warszawa 2002.
11. Mosty wojskowe, Podręcznik, MON, Warszawa 1994.
12. Praca zbiorowa, *Analiza i projektowanie technologiczno-organizacyjne budowy kolejowego mostu składanego (KMS)*, WAT, Warszawa 1997.
13. Płocharz W., *Organizacja prac inżynierskich*, WAT, Warszawa 1994.
14. Staniszkis W., *Organizacja i zarządzanie w budownictwie*, PWN, Warszawa 1982r
15. *Zbiór norm szkoleniowych i technicznych wykonywania zadań przez wojska inżynierskie*, MON, Warszawa 1993.

ROZDZIAŁ 5 OCENA TECHNICZNO-EKSPLOATACYJNA MOSTÓW SKŁADANYCH

5.1. Problemy techniczno-eksploatacyjne

Składane konstrukcje mostowe w swojej pracy pod obciążeniem wykazują wszystkie cechy wytrzymałościowe jak dla obiektów stałych a dodatkowo, z uwagi na segmentowe połączenia elementów, cechy mechanizmów. Stanowią specyficzną grupę drogowych obiektów inżynierskich. Będą wymagały więc innego podejścia do rozważań dotyczących zakresu stosowania danego typu czy rodzaju obiektu do zapewnienia ciągłości ruchu na danym ciągu komunikacyjnym.

Coraz częstsze stosowanie składanych konstrukcji mostowych, nie tylko w budownictwie mostowym, stwarza potrzebę opisu problemów występujących w trakcie szeroko rozumianej eksploatacji. Znajomość ich będzie miała również istotne znaczenie przy projektowaniu nowych konstrukcji mostów składanych.

Podjęcie decyzji dotyczącej rodzaju składanej konstrukcji mostowej do zastosowania na danym przejściu mostowym będzie obejmowało zagadnienia, które w wielu przypadkach nie będą bezpośrednio dotyczyły konkretnego użytkownika czy wykonawcy obiektu. Należy jednak o nich pamiętać przy opisie zjawisk występujących w danej chwili.

Poczynając od etapu wytworzenia danego elementu składowego mostu, poprzez jego składowanie, transport na miejsce wbudowania, czas obciążania pod ruchem pojazdów w wykonanym obiekcie mostowym, oddziaływanie czynników zewnętrznych a kończąc na zużyciu, będzie przewijało się wiele problemów, wpływających na wydanie określonej opinii o elemencie mostu.

Zgodnie z zaproponowaną w [1] systematyką oceniania konstrukcji składanych mostów drogowych można opisywane problemy podzielić na 4 grupy:

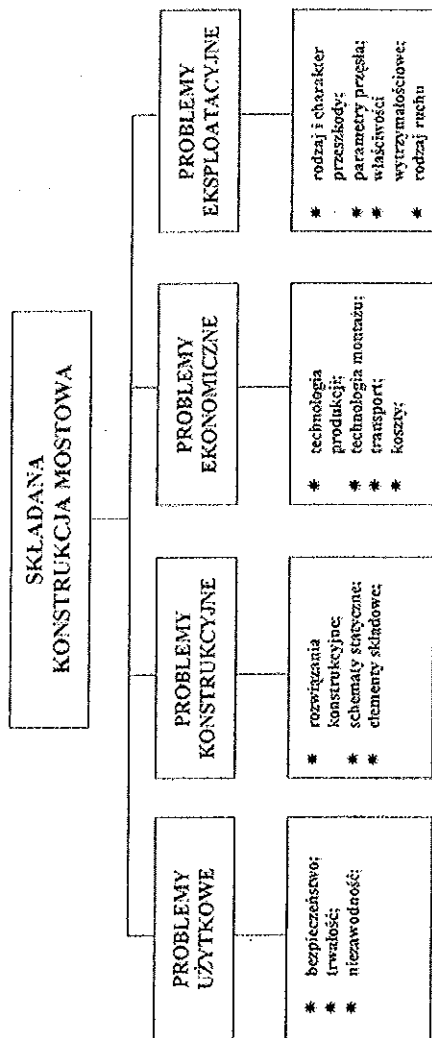
- problemy konstrukcyjne,
- problemy ekonomiczne,
- problemy eksploatacyjne,
- oraz problemy użytkowe, (rys. 5.1)

Problemy konstrukcyjne dotyczą zagadnień związanych z technicznymi własnościami danego obiektu. Zaliczyć do nich można więc: możliwość wykonywania różnych wariantów konstrukcyjnych mostu z tych samych elementów, wariantowość schematów statycznych, możliwości dostosowania konstrukcji do określonych warunków terenowych.

Będą to również wyniki wpływające na łatwość wykonania obiektu, czas budowy i demontażu konstrukcji mostu, zminimalizowanie elementów składowych.

Problemy ekonomiczne to możliwość do zastosowania technologii montażu, transport elementów składowych, montaż i składowanie elementów, z uwagi na cechy opisujące poszczególne elementy składowe obiektu mostowego i związane z tymi zagadnieniami koszty.

Problemy eksploatacyjne to zespół zagadnień obejmujących możliwość pokonywania danej przeszkody wodnej czy terenowej z uwagi na parametry opisujące rozpiętość, nośność, własności wytrzymałościowe materiałów, elementów składowych i całej konstrukcji. To parametry opisujące konstrukcję z uwagi na dopasowanie do potrzeb ruchu na moście, m.in. szerokość jezdni, usytuowanie niwelety jezdni w stosunku do podparć dźwigarów czy też dopuszczalne prędkości ruchu na obiekcie.



Rys. 5.1. Systematyka problemów ocen mostów składanych [1]

Ostatnia grupa problemów, to *problemy użytkowe*. Obejmują one zagadnienia związane z właściwym (zgodnym z założonym) wykorzystywaniem konstrukcji mostu. Zaliczyć do nich można więc bezpieczeństwo budowli, przewidywaną trwałość i niezawodność.

Przedstawione zagadnienia rozpatrywane w ramach danej grupy problemów dotyczyć będą poszczególnych elementów składowych, podzespołów (segmenty, przęsła) i całego obiektu realizowanego na danym przejściu mostowym. Będą się wzajemnie przenikać, oddziaływać na siebie i uzupełniać.

Istotna jest umiejętność opisu poszczególnych grup problemowych i oceny występujących w nich zagadnień, lecz dopiero połączenie ich w całość daje możliwość oceny generalnej danego mostu składanego [1,2].

5.2. Podejście i metody ocen

Przedstawione grupy zagadnień, zebrane w czterech blokach (tablica 5.1.), wymagają wszechstronnego rozpatrzenia przy podejmowaniu decyzji dotyczącej możliwości zastosowania danej konstrukcji czy też określenia uwarunkowań zastosowania określonego typu konstrukcji na danym przejściu mostowym.

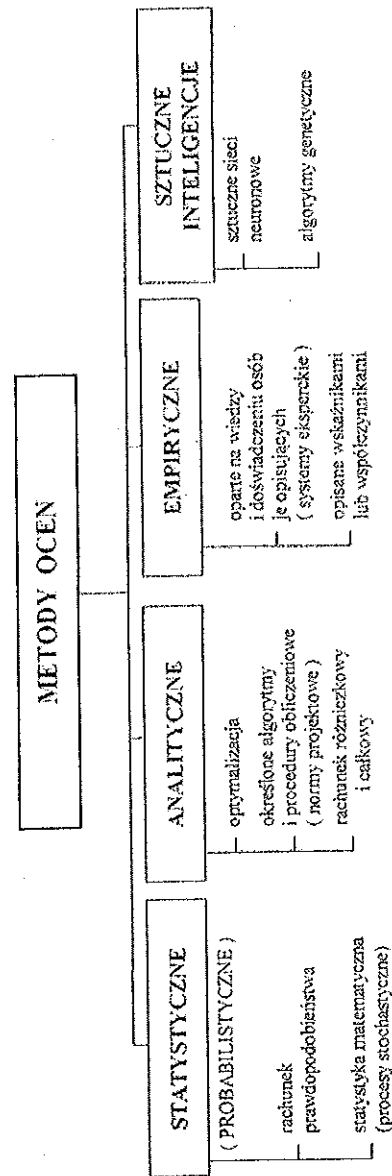
Odpowiedź na określone zagadnienie, w danej grupie problemów, będzie sprowadzała się do przyjęcia określonego modelu, za pomocą którego będzie można go opisać. Przy doborze i opisie modelu należy dążyć do przyjęcia takiego modelu, który w sposób najszybszy lub najprostszy doprowadzi nas do rozwiązania postawionego problemu.

Są zagadnienia, których rozwiązanie będzie ściśle, jednoznacznie określone (np. temperatura montażu to 10 °C, naprężenia w elemencie wynoszą 125 MPa, liczba wytwarzanych elementów to 5 sztuk na dobę), są też zagadnienia których rozwiązanie jest podawane w pewnym przedziale dokładności, w pewnym zakresie wartości czy parametrów opisujących to zagadnienie (np. dokładność wykonania elementu ± 5 mm, koszt transportu elementów 150 ÷ 200 zł/km zależnie od ich wymiarów). Pierwsza grupa zagadnień to dające się opisać w sposób ścisły, w sposób deterministyczny (łac. – ograniczać). Druga grupa to zagadnienia nie deterministyczne (rozwiązania mieszczą się w skończonym przedziale, ale możliwych rozwiązań jest nieskończenie wiele).

W prowadzonych ocenach będą również zagadnienia, których nie da się ocenić czy rozwiązać w sposób jednoznaczny lecz tylko z większym lub mniejszym przybliżeniem, większym lub mniejszym stopniem prawdopodobieństwa. Takie metody nazwane zostały metodami probabilistycznymi (łac. – prawdopodobny).

Wiele zagadnień rozpatrywanych w globalnej ocenie obiektu mostowego będzie miało cechy występujące w sposób losowy, tzn. uzależnione od ich przebiegu w czasie. Opisy i badania tych zagadnień ujęte zostały w grupie procesów stochastycznych (łac. – losowy, przypadkowy) opisujących modele zagadnień w ich przebiegu czasowym.

Metody ocen mogą być deterministyczne lub niedeterministyczne zależnie od podejścia do oceny. Proponowany schemat ocen konstrukcji mostów składanych przedstawia rys.5.2.



Rys. 5.2. Metody ocen konstrukcji mostów składanych

Dla pewnych grup zagadnień sposobem oceny jest oparcie na wiedzy i doświadczeniu osób lub wcześniej zaistniałych podobnych przypadków w zakresie danej dziedziny. Uzyskane w ten sposób oceny pozwalają na przyporządkowanie pewnych, stałych wielkości, określanych jako wskaźniki lub współczynniki, do zagadnień o podobnym lub przybliżonym charakterze czy przebiegu. Szerwsze zastosowanie tej wiedzy prowadzi do systemów eksperckich. Za system ekspercki uważa się system zawierający oprogramowanie, przy użyciu którego można rozwiązać problemy w pewnym wąskim obszarze wiedzy w sposób podobny do tego, w jaki robi to człowiek-ekspert [8, 14, 15].

Ostatnią grupę metod ocen stanowią metody oparte na podobieństwie procesów zachodzących w ludzkim mózgu. Wyróżnić tu można sztuczne sieci neuronowe i algorytmy genetyczne. Fascynacja mózgiem człowieka i jego własnościami dały początek prac w zakresie syntezy matematycznego modelu pojedynczych komórek nerwowych, a później na tej podstawie struktur bardziej złożonych w formie regularnych sztucznych sieci neuronowych (SSN). Sztuczne sieci neuronowe to systemy komputerowego przetwarzania informacji symulujące działanie rzeczywistych, uczących się, funkcjonujących w mózgu struktur rozpoznawania obiektów; wykorzystywane w technikach sztucznej inteligencji, algorytmy genetyczne są to algorytmy komputerowego rozwiązywania złożonych zadań (np. z optymalizacji) w wieloetapowym procesie doskonalenia rozwiązań, w którym naśladuje się mechanizm mutacji genów [10, 15].

5.2.1. Metody probabilistyczne oceny

Metody probabilistyczne są to metody rozwiązywania zagadnień przy wykorzystaniu modeli opisywanych zasadami rachunku prawdopodobieństwa. Uwzględniany jest wpływ wielu czynników występujących w postaci zmiennych losowych. Każda ocena jest ustalana z pewnym, określonym prawdopodobieństwem przy założonych uwarunkowaniach, a więc z pewnym ryzykiem błędu tejże oceny [1, 12].

Probabilistyczne metody oceny pozwalają na jednoczesne analizowanie znacznego zakresu problematyki ocen. Pozwala to na szersze ujęcie zagadnień rozpatrywanych (ocenianych) w konstrukcjach składanych mostów drogowych.

Cechy te mogą być oceniane przy deterministycznym lub probabilistycznym podejściu do analizy. Będzie to uzależnione od tego, czy oceniamy jeden konkretny parametr czy jedno zagadnienie w porównaniu do jego wartości uznanej za właściwą (podejście deterministyczne), czy też określamy z pewną dokładnością całą grupę parametrów składających się na ocenę zagadnienia w porównaniu do wartości testowych (podejście probabilistyczne).

W każdej procedurze obliczeniowej musimy mieć: na wejściu – dane dotyczące rozpatrywanego zagadnienia (jako wartość deterministyczną lub nie deterministyczną), algorytmy lub procedury obliczeniowe, na podstawie, których przeprowadzone zostaną obliczenia i na wyjściu wynik (oczekiwany lub nieoczekiwany również w postaci zdeterminizowanej lub nie).

W większości rozpatrywanych zagadnień jesteśmy w stanie, na podstawie wiedzy i doświadczenia, określić zakres oczekiwanej odpowiedzi obliczeń i oszacować, czy otrzymany wynik jest dla nas zadowalający.

W przypadku, gdy nie potrafimy określić zakresu możliwej odpowiedzi, lub też nie jesteśmy w stanie ustosunkować się do wartości uzyskanej odpowiedzi należy posłużyć się metodami statystycznymi w ustaleniu wiarygodności i obiektywności tej odpowiedzi.

Zarówno w pierwszym jak i w drugim przypadku musimy posiadać wiedzę w zakresie otrzymanej odpowiedzi ocen.

W odniesieniu do konstrukcji składanych, a szczególnie składanych mostów drogowych, posiadanie poziomów odniesienia jest szczególnie istotne z uwagi na specyficzną pracę tych konstrukcji. Do opisu zmiennych losowych (funkcji danego zdarzenia) w przestrzeni probabilistycznej będziemy używać takich pojęć jak dystrybuanta zmiennej losowej, rozkład zmiennej losowej, wartość oczekiwana i momenty zmiennej losowej. Opisując charakter otrzymywanych wyników ocen i poziom ufności co do wartości otrzymanych ocen posłużymy się odchyleniem standardowym i wartością błędu standardowego.

Otrzymane wyniki rozwiązań problemów stawianych w ocenie składanego mostu drogowego powinny spełniać zarówno warunki obiektywności, dokładności jak i wiarygodności.

Zagadnienia te dotychczas nie były rozpatrywane całościowo w odniesieniu do mostów składanych. W [1] została podana procedura postępowania otrzymania oceny globalnej składanej konstrukcji mostowej przy wykorzystaniu metod probabilistycznych.

5.2.2. Systemy eksperckie

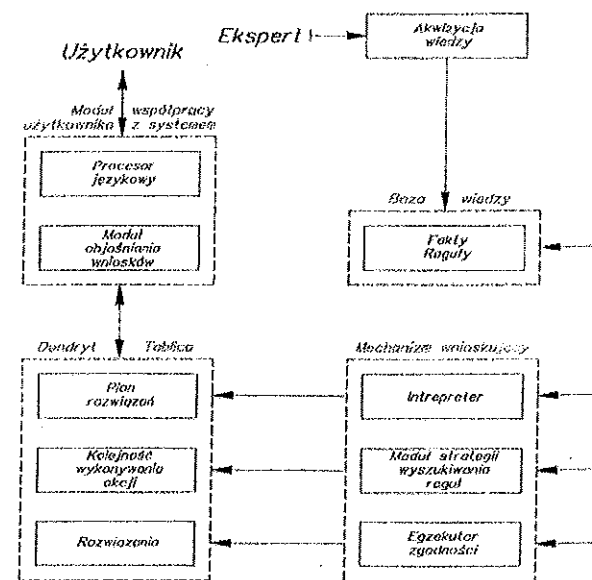
Dotychczasowe opisy merytoryczne, podane fakty oraz przykłady obliczeniowe i organizacyjne jednoznacznie wskazują, iż budowa obiektów drogowych (w przypadkach: zniszczeń popowodziowych czy działań wojennych – odbudowa i osłona techniczna) a także urządzenie i utrzymanie przepraw, jest przedsięwzięciem niezmiernie trudnym tak dla decydenta (dowódcy) jak i realizatora (wykonawcy) szczególnie, że w obydwu wypadkach obowiązuje najczęściej kryterium minimum czasu. Zwykle każde następne przedsięwzięcie różni się od poprzedniego i powoduje powstawanie niepewności.

Ponadto dla decydenta i wykonawcy zadania, ważne będą uwarunkowania (z jakimi należy się liczyć w sytuacjach kryzysowych czy też nadmiernej eksploatacji sieci i obiektów drogowo-mostowych) mające wpływ na rozwiązania techniczno-organizacyjne, takie jak:

- narzucona lokalizacja oraz terminy rozpoczęcia i zakończenia budowy,
- ograniczona ilość zasobów (materiału, sprzętu),
- utrudnione warunki budowy (odbudowy) ze względu na zniszczenia popowodziowe czy oddziaływania przeciwnika,
- zmniejszona zdolność transportowa i produkcyjna realizatora.

Niezależnie od tych uwarunkowań rozwiązania konstrukcyjno-technologiczne mostów składanych powinny także zapewniać:

- szybką naprawę uszkodzeń w zmieniających się warunkach zewnętrznych,
- łatwy montaż i demontaż konstrukcji,
- wysoki stopień prefabrykacji i unifikacji konstrukcji,
- szybkie tempo budowy (odbudowy), dużą odporność konstrukcji na środki rażenia przeciwnika,
- ograniczenie do minimum prac wykonywanych na przeszkodzie terenu wodnej,
- szeroki front prac i ich maksymalnie możliwe zmechanizowanie,
- dogodny transport elementów (konstrukcji).



Rys. 5.3. Struktura systemu eksperckiego

Wymagania te, poszerzone o wyróżniki podejścia systemowego potwierdzają, że „wszystko zależy od wszystkiego” zarówno w zakresie projektowania (doboru) konstrukcji, jak i technologii oraz organizacji budowy (odbudowy) mostów składanych. Stąd zasadnym jest tworzenie Systemu Wspomagania Decyzji (SWD), który pozwoliłby decydom na szybkie podejmowanie racjonalnych decyzji (to jest proces trwający kilkadziesiąt minut i nie więcej jak kilka godzin). Zauważyć należy, iż gotowe rozwiązania algorytmiczne nie są możliwe do efektywnego zastosowania, stąd zasadne jest stworzenie systemu doradczego w któ-

rym będą zastosowane techniki informatyczne wspomagające proces podejmowania decyzji. Strukturę systemu eksperckiego przedstawia rys.5.3.

Dzięki zastosowaniu SE proces podejmowania decyzji w zakresie projektowania konstrukcji i budowy mostów składanych można uprościć i przyspieszyć przez wybranie odpowiednich informacji ze zgromadzonej wiedzy, przedstawić sposób rozumowania (sekwencje logiczne), szybko wykonać obliczenia czy też przedstawić wyniki w formie graficznej. Może to dać dobre rezultaty, gdy konieczne jest przeanalizowanie wielu różniących się wariantów i dokonanie wyboru właściwego rozwiązania techniczno-organizacyjnego [8, 14, 15].

Korzystając z opisanego skrótoowo tworzenia SE inicjatywnie zaproponowano i pomyślnie przetestowano SE o nazwie SEDOP oraz SEDKOP i EXPMOST [14] z uwzględnieniem faktów i reguł występujących przy budowie, podpór SPS-69B oraz konstrukcji mostu składanego DMS-65. Prowadzone są także analizy obszarów, właściwości i rodzajów systemów ekspertowych, udostępniania wiedzy w systemie SMOW (adaptacje systemu SMOK), a także opracowywane są metody i programy komputerowe (oparte o bazę wiedzy zdroworozsądkowej odzwierciedlającej potencjalne, racjonalne zachowania decydentów i wykonawców) w celu tworzenia i poszerzania systemów doradczych w zakresie planowania i wykonania różnych przepraw mostowych [14, 15].

5.2.3. Sieci neuronowe

Sieci neuronowe mogą być stosowane i praktycznie wykorzystywane wszędzie tam, gdzie istnieje zależność pomiędzy zmiennymi objaśniającymi (danymi wejściowymi) oraz zmiennymi objaśnianymi (danymi wyjściowymi). Są szczególnie przydatne do poszukiwania takiej zależności między wejściem i wyjściem, która jest bardzo złożona i dlatego jest trudna do wyrażenia przy pomocy zwykle używanych w takich sytuacjach pojęć statystycznych [10, 13, 16].

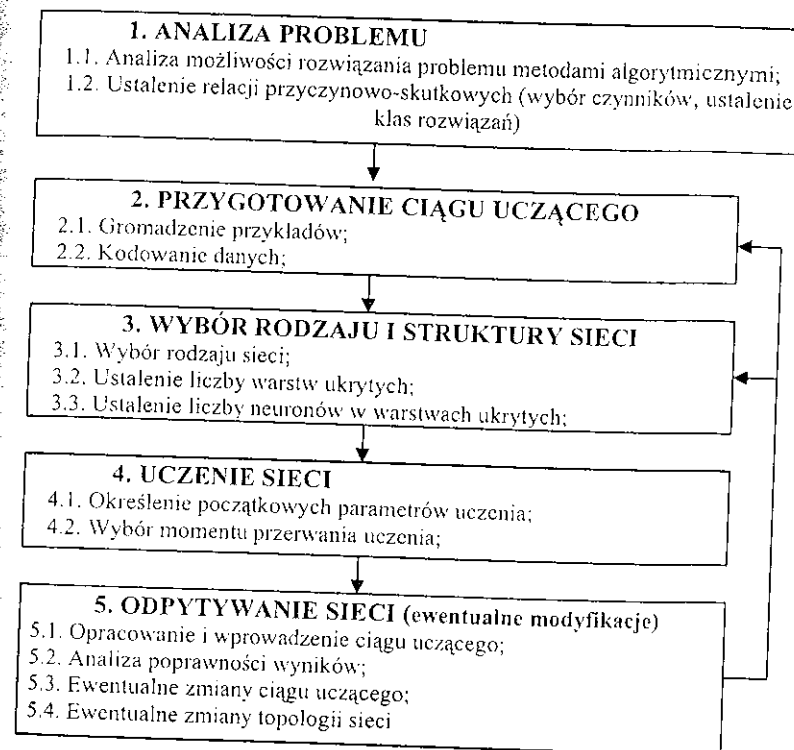
Sztuczne sieci neuronowe - (SSN) pozwalają rozwiązywać te zagadnienia, stanowiąc alternatywę dla metod algorytmicznych powszechnie dotychczas stosowanych. Podstawowymi atutami przemawiającymi za wykorzystaniem w analizach sztucznych sieci neuronowych jest to, iż sieci neuronowe:

1. stanowią wygodną i tanią propozycję wieloprotocowego systemu o dużej liczbie elementów przetwarzających równoległe dostarczane informacje;
2. nie wymagają skomplikowanego procesu programowania lecz wykorzystują tylko proces uczenia;
3. nie potrzebują znajomości modeli matematycznych diagnozowanych zagadnień.

W mostownictwie istnieje wiele złożonych problemów, nie dających się rozwiązać w prosty sposób metodami algorytmicznymi, bądź też istnieją algorytmy, które z uwagi na ich złożoność stwarzają trudności w zastosowaniu lub występują trudności w zebraniu potrzebnych danych liczbowych.

Najważniejszą cechą sieci neuronowych - z praktycznego punktu widzenia - jest ich zdolność generalizacji, czyli uogólniania w nowych sytuacjach oraz równoległe przetwarzanie informacji. Oznacza to, że SSN będące komputerową symulacją nie wymagają programowania i uczą się na pewnym zbiorze przykładów opisujących określone zjawisko, zwanym ciągiem uczącym. Ciąg uczący zwany też wzorcem uczącym, stanowi określoną liczbę sekwencji sygnałów wejściowych i wyjściowych stanowiących dane zebrane z obserwacji lub eksperymentów.

Etapy tworzenia sieci neuronowych przedstawia schemat na rys.5.4.



Rys. 5.4. Etapy tworzenia sieci neuronowych

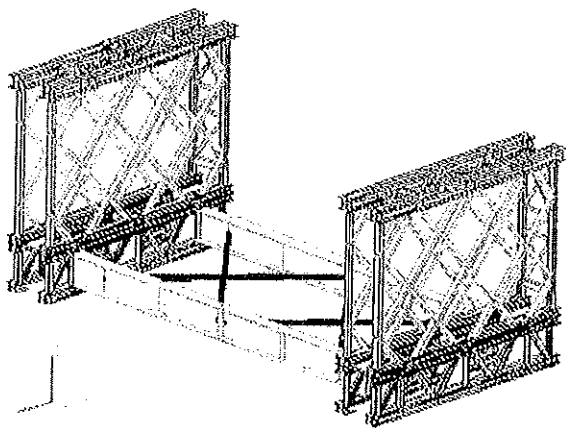
Krótkie wprowadzenie przedstawiające sieci neuronowe pozwoli na lepsze zrozumienie przedstawionych przykładów zastosowania sieci neuronowych w zakresie mostów składanych. W punkcie 5.3.3. przedstawiono zastosowanie sieci do oceny nośności składanych mostów drogowych w przypadkach występujących uszkodzeń elementów, w punkcie 5.3.4. do oceny czasu budowy mostu składanego.

5.3. Przykłady oceny techniczno-eksploatacyjnej

5.3.1. Wykresy spadku nośności

Eksploatacja składanych konstrukcji mostowych w warunkach intensywnego ruchu pojazdów cywilnych niesie ze sobą możliwość zaistnienia sytuacji przepuszczenia obciążenia przekraczającego instrukcyjnie dopuszczalne, zarówno, przy budowie przejeżdżających mostowych o charakterze tymczasowym na okres remontu obiektu stałego czy też mostu zastępczego w rejonie zniszczonego obiektu w wyniku klęsk żywiołowych. W wyniku wielokrotnego stosowania tych samych elementów składowych mostu na różnych przejściach mostowych i w różnych układach konstrukcyjnych istnieje również możliwość wystąpienia uszkodzeń losowych elementów konstrukcyjnych mostu (zarówno w trakcie eksploatacji jak i w czasie montażu i demontażu oraz transportu, za- i wyładunku elementów mostu). Sytuacja taka uzasadnia potrzebę przeprowadzenia analiz konstrukcji mostu składanego w warunkach eksploatacji przekraczającej zakres przewidziany instrukcją.

Z uwagi na fakt, iż najczęściej stosowaną obecnie konstrukcją jest składany most drogowy DMS-65, na przykładzie której przedstawiony zostanie sposób oceny nośności mostu. Dla innych konstrukcji mostów składanych (np. MS-54, MS-2280) metodyka oceny będzie taka sama, lecz będzie różnić się zakresem rzeczowym (inny model obliczeniowy wynikający z odmiennej konstrukcji dźwigara [4]).



Rys. 5.5. Schemat jednego przedziału (segmentu 3-metrowego) układu podstawowego mostu DMS-65

Most DMS-65 umożliwia budowę przejścia z niewielkiej liczby powtarzalnych elementów skręcanych śrubami w moduły długości 3 m, łączone ze sobą sworzniami.

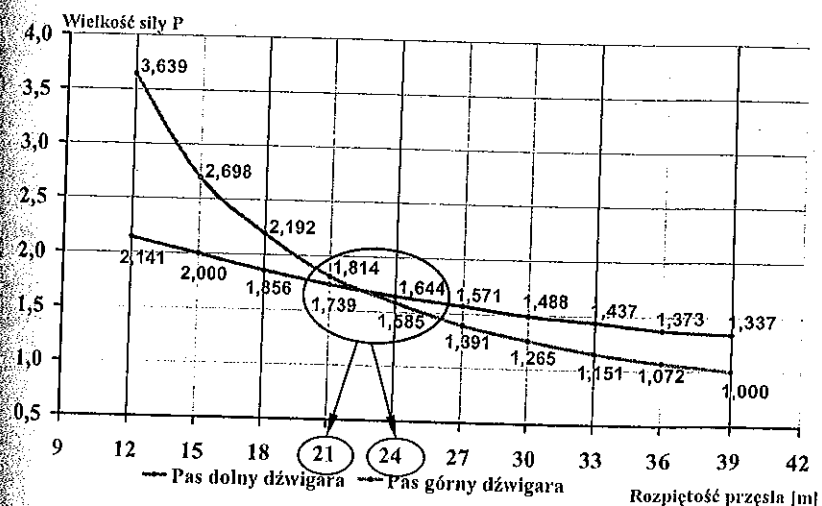
Konstrukcja nośna mostu, w układzie podstawowym, składa się z dwóch dźwigarów dwuściennych. Dźwigar ma dwie ściany trójpasowe, niesymetryczne wielokrotnie skratowane.

W jednym 3-metrowym segmencie mostu (rys. 5.5.) znajdują się:

- Dwie kraty przestrzenne w dolnej części dźwigara;
- Cztery kraty płaskie w górnej części dźwigara;
- Cztery tężniki usztywniające kraty płaskie.

Tak mała liczba rodzajów elementów stanowiących dźwigary nośne mostu przy możliwości budowy wielu wariantów konstrukcyjnych przeseł daje podstawę do wyciągnięcia wniosku, że elementy te zostały zaprojektowane z pewnym zapasem nośności. Wynika to również z faktu, że tak kraty przestrzenne jak i kraty płaskie mogą znaleźć się zarówno w strefie oddziaływania momentów przęsłowych jak i podporowych (przesło w układzie belki ciągłej). Poszczególne elementy składowe tych krat muszą więc przenosić zarówno siły ściskające jak również rozciągające.

Z analiz obliczeniowych pracy mostu przedstawionych w pracach [2, 6, 7] został wysunięty wniosek, że przyczyną zniszczenia mostu może być wyrwanie belki poprzecznej w wyniku uszkodzenia miejscowego lub wyboczenie pasa ściskanego dźwigara spowodowane utratą stateczności ogólnej.



Rys. 5.6. Wielkość dopuszczalnego obciążenia ze względu na mechanizm uszkodzenia konstrukcji przęsłowej mostu DMS-65

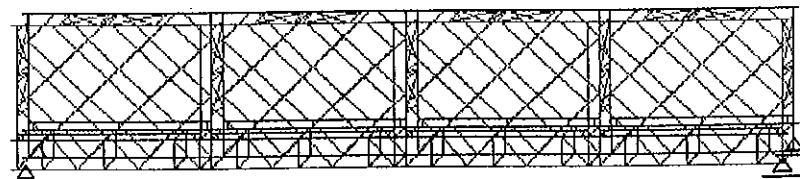
Dla ustalonego stałego momentu granicznego (niszczącego) zachodzi taka sytuacja, że przy małych rozpiętościach może wystąpić duża siła miejscowa powodująca uszkodzenia prętów utrzymujących belkę poprzeczną, co w konsekwencji doprowadzi do wyrwania belki.

Przy dużych rozpiętościach (dla mostu DMS-65 przęsła od 24 m) siła miejscowa będzie mniejsza. Fakt ten powoduje, że nie ma zagrożenia uszkodzeniem miejscowym lecz długość wybożeniowa ściskanych pasów dźwigara będzie na tyle duża, że zniszczenie przęsła nastąpi poprzez utratę stateczności tych pasów.

Z wykresu (rys.5.6.) wynika, że graniczną rozpiętością przęsła wolno podpartego mostu DMS-65 z uwagi na mechanizm zniszczenia przęsła jest 21m. W przęsłach do 21m decydujący wpływ na zniszczenie konstrukcji będą miały obciążenia powodujące uszkodzenia w rejonie zamocowania belki poprzecznej. Natomiast dla przęsła od rozpiętości 24m zniszczenie konstrukcji nastąpi w wyniku uszkodzeń elementów pasa górnego spowodowanych wybożeniem dźwigara mostu.

Ponieważ dźwigary mostu DMS-65 są wielokrotnie statycznie niewyznaczalne i pracują jako ramownica więc wyłączenie z pracy jednego pręta nie będzie powodowało jeszcze wyczerpania nośności całego dźwigara. Przy zwiększaniu obciążenia zewnętrznego wzrastać będą naprężenia w poszczególnych elementach dźwigara. Kolejne elementy po osiągnięciu stanu granicznego będą wyłączane z pracy aż do momentu uszkodzenia dźwigara mostu [2, 6].

Symulację niszczenia dźwigara mostu DMS-65 przeprowadzono przy wykorzystaniu systemu programów WAT-KM, opartych na metodzie elementów skończonych. Do analizy wykorzystany został model dźwigara o rozpiętości 12 m (rys.5.7).



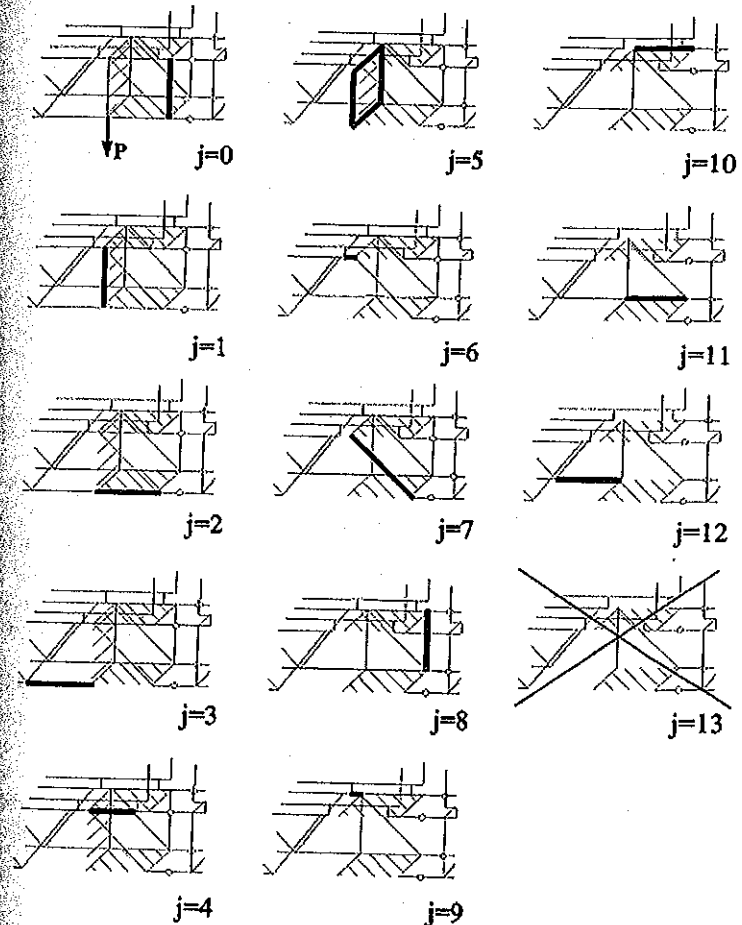
Liczba elementów prętowych - 955
 Liczba elementów powłokowych - 28
 Liczba węzłów - 598
 Liczba stopni swobody - 3438



Rys. 5.7. Model obliczeniowy dźwigara mostu DMS-65

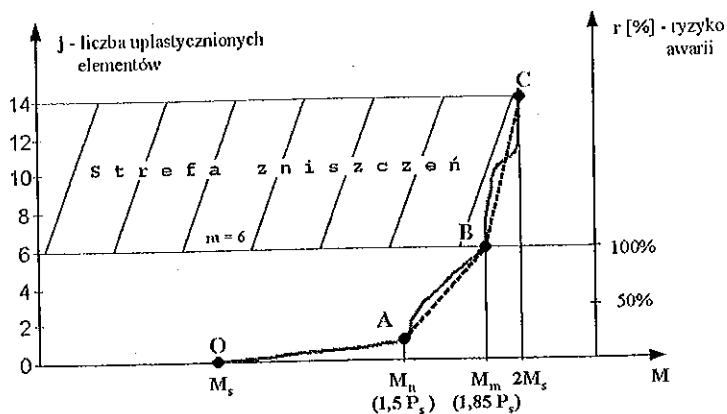
5.3.1.1. Analiza uszkodzeń w strefie zamocowania belek poprzecznych

Obciążenie poruszające się po moście oddziałuje poprzez pomost na dźwigary w miejscach zamocowania belek poprzecznych do krat przestrzennych dźwigara. Są to najbardziej wyężone miejsca w dźwigarze. W przypadku rozparowania przęsła w układzie belki swobodnie podpartej w rejonie zamocowania belek poprzecznych, w środkowej części dźwigara wystąpią największe wartości sił wewnętrznych



Rys. 5.8. Przebieg procesu niszczenia dźwigara od maksymalnych momentów dodatnich (kolorem czerwonym zaznaczono kolejny element, w którym wystąpiły naprężenia uplastyczniające w danym kroku analizy)

Na podstawie uzyskanych wyników symulacyjnego niszczenia konstrukcji, której przebieg przedstawiono na rys.5.8., sporządzono wykres uszkodzeń konstrukcji przęsłowej mostu DMS-65 od obciążenia ponadnormatywnego (rys. 5.9) w strefie oddziaływania momentów przęsłowych.



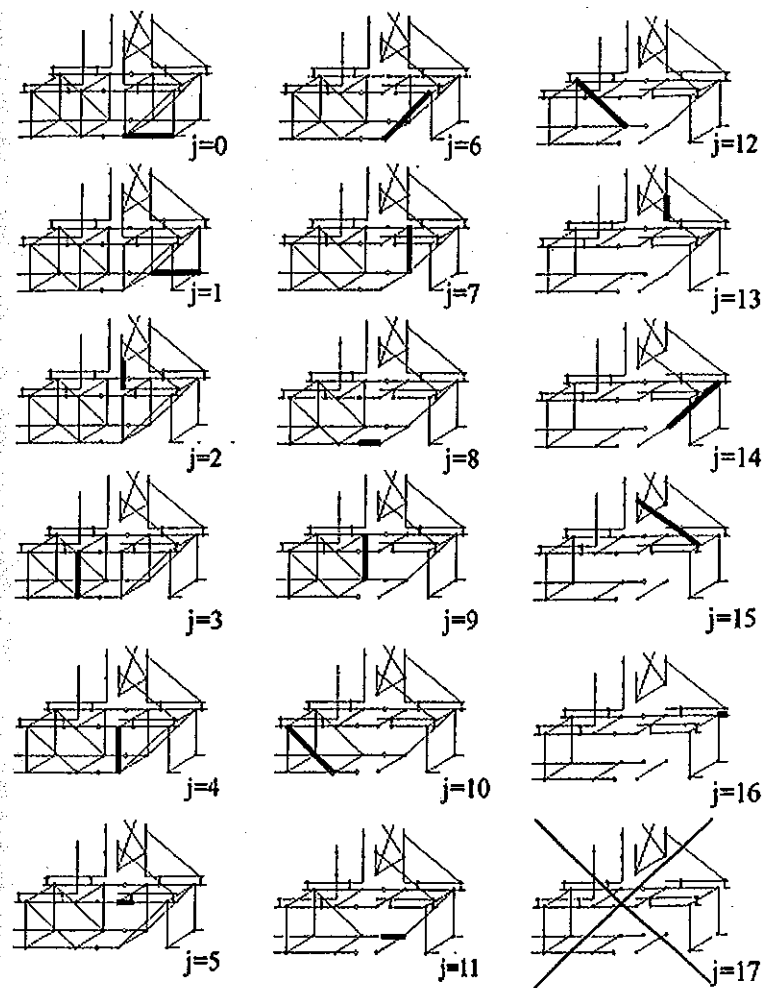
Rys. 5.9. Wykres lądowych uszkodzeń konstrukcji w strefie zamocowania belek poprzecznych

5.3.1.2. Analiza uszkodzeń w strefie nadpodporowej

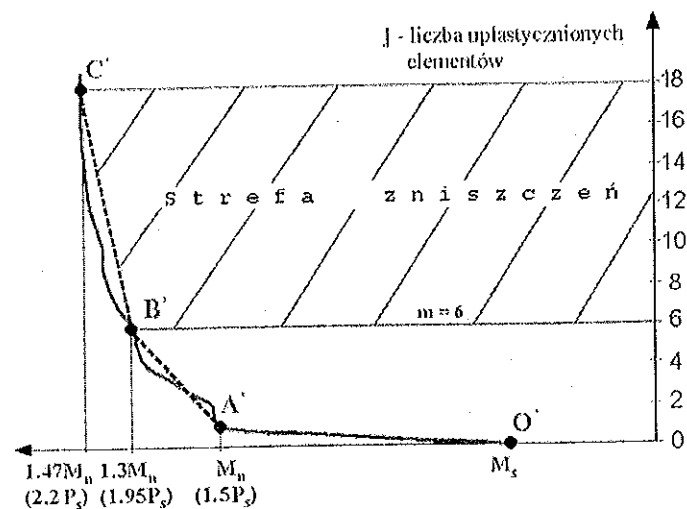
Elementy konstrukcyjne mostu DMS-65 umożliwiają budowę przęsła w układzie belki ciągłej. W takim przypadku istnieje możliwość powstania, w rejonie podpór pośrednich mostu, dużych momentów ujemnych. W związku z tym, w tej strefie w wyniku oddziaływania obciążenia ponadnormatywnego mogą również powstawać uszkodzenia elementów konstrukcyjnych dźwigara spowodowane tym obciążeniem.

Analogicznie, jak dla momentu dodatniego przeprowadzone zostały obliczenia symulacyjnego niszczenia dźwigara mostu DMS-65 z uwagi na moment ujemny. Przebieg procesu niszczenia i kolejne „wypadające” elementy z konstrukcji dźwigara, przedstawione zostały na rys.5.10.

Na podstawie wyników symulacji sporządzony został wykres uszkodzeń dźwigara mostu w strefie nadpodporowej z uwagi na momenty ujemne - rys.5.11.



Rys. 5.10. Przebieg procesu niszczenia dźwigara od maksymalnych momentów ujemnych (kolorem czerwonym zaznaczono kolejny element, w którym wystąpiły naprężenia uplastyczniające w danym kroku analizy)



Rys. 5. 11. Wykres lalinowych uszkodzeń konstrukcji w strefie podporowej

Z analizy wykresów (rys.5.9. i rys.5.11.) wynika, że uszkodzenia (zniszczenia) elementów narastają łagodnie do chwili zniszczenia 6 elementu. Po wyłączeniu tych elementów z pracy konstrukcji następuje gwałtowne załamanie wykresu, co oznacza, że przy niewielkich przyrostach momentu od obciążenia ponadnormatywnego zachodzi szybko uplastycznianie (wyłączanie z pracy) kolejnych elementów konstrukcyjnych dźwigara.

Te właśnie momenty i odpowiadające im wielkości sił przyjęto jako powodujące awarię konstrukcji dźwigara. Przy momentach dodatnich wielkość siły niszczącej wynosi $P_n=1,85P_s$, natomiast przy momentach ujemnych $P_n=1,95P_s$, przyjmując w wartościach bezwzględnych (P_s – wielkość obciążenia powodującego uplastycznienie pierwszego elementu dźwigara). Oznacza to, że konstrukcja jest bardziej wrażliwa na momenty dodatnie i w rejonie zamocowania belek poprzecznych szybciej może dojść do uszkodzeń elementów w przypadku wystąpienia obciążeń ponadnormatywnych.

5.3.1.3. Analiza uszkodzeń przy wyboczeniu pasów ściskanych

Sporządzone wykresy uszkodzeń dźwigara mostu DMS-65 przedstawione na rys.5.9. oraz rys.5.11. są słuszne dla przęseł krótkich, o rozpiętościach do 21 m, gdyż wraz ze wzrostem rozpiętości przęśla rośnie moment zginający most. Dla ustalonego, stałego momentu granicznego (niszczącego) wraz ze wzrostem rozpiętości maleje siła od obciążenia zewnętrznego i wówczas zniszczenie przęśla poprzez przekroczenie naprężeń miejscowych (wyrwanie belki poprzecznej) staje się mało prawdopodobne. Przy rozpiętościach przęseł od 24 m przyczyna

zniszczenia mostu może być wyboczenie pasa ściskanego dźwigara. Prawdopodobieństwo wyboczenia pasa ściskanego w moście składanym jest tym bardziej zasadne, że w wyniku wypełnienia się luzów w złączach pasa powstanie pręt o wstępnej krzywiznie, ściskany siłą osiową [2].

W wyniku wyboczenia pasa luzy technologiczne powodują, że poszczególne trzymetrowe segmenty dźwigara obróca się w stosunku do siebie o kąt φ (rys.5.12). Kąt ten wyznaczany jest z poniższej zależności:

$$\varphi = \frac{\Delta}{b_1} \quad (5.1)$$

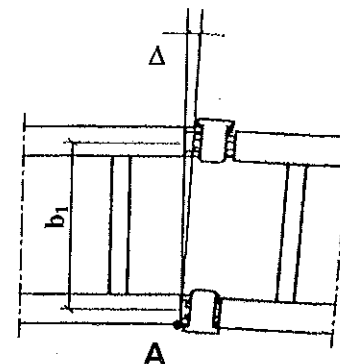
gdzie: φ - kąt poziomego obrotu złącza wywołany luzami montażowymi,
 Δ - luz technologiczny między sworzniem i uchem kraty płaskiej,
 b_1 - odległość pozioma między złączami w pasie ściskanim.

Po wypełnieniu się wszystkich luzów pas ściskany przyjmie krzywiznę kołową o promieniu R_p , którego wielkość wyznacza się z zależności:

$$R_p = \frac{l_0}{\varphi} = \frac{l_0 \cdot b_1}{\Delta} \quad (5.2)$$

gdzie: R_p - promień krzywizny poziomej kinematycznie zdeformowanego ściskanego pasa dźwigara mostu,

l_0 - długość elementu składowego mostu (odległość między złączami);



Rys. 5.12. Mechanizm kinematycznej deformacji pasa ściskanego

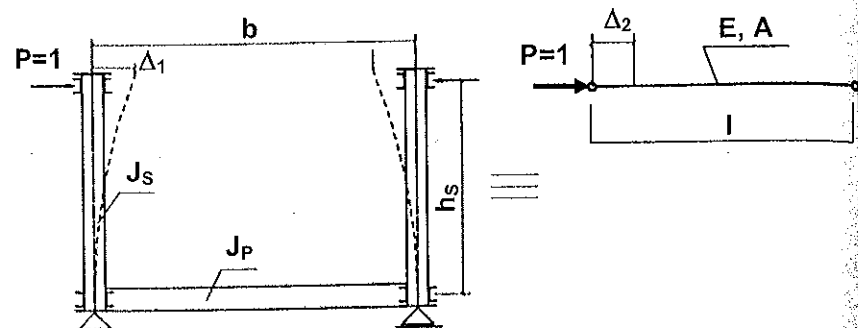
Przy tak odkształconym kinematycznie pasie maksymalną strzałkę odchylenia od osi poziomej oblicza się ze wzoru:

$$f = \frac{m^2 l_0 \Delta}{8 b_1} \quad (5.3)$$

gdzie: f - strzałka odkształconej postaci pasa;
 m - liczba składników (segmentów) w przęśle mostu;

W przypadku belki wolnopodpartej ściskany jest pas górny, który wybaczając się w płaszczyźnie poziomej opierał się będzie o półramy (słupki i belki poprzeczne).

Obliczenia stateczności pasa górnego mostu DMS-65 wykonano przy użyciu systemu programów WAT-KM. Do analizy przyjęto model obliczeniowy wg rys.5.10. przyjmując następujące dane: prześło mostu w układzie belki swobodnie podpartej o rozpiętości $l=39$ m, luzy montażowe $\Delta=1$ mm, liczba przedziałów w prześle $m=13$ składników.



$$\Delta_1 = \frac{1}{E} \cdot \left(\frac{h_s^3}{3 \cdot J_s} + \frac{h_s^2 \cdot b}{2 \cdot J_p} \right)$$

$$\Delta_2 = \frac{l}{E \cdot A}$$

Rys.5.13. Schemat wyznaczenia parametrów podparcia pasa ściskanego

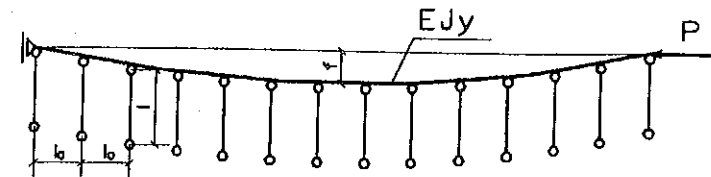
Długość pręta podpierającego l wyznaczona została z warunku $\Delta_1 = \Delta_2$ i uzyskano zależność w postaci:

$$l = A \cdot \left(\frac{h_s^3}{3 \cdot J_s} + \frac{h_s^2 \cdot b}{2 \cdot J_p} \right) \quad (5.4)$$

gdzie: A – pole przekroju pręta podpierającego;
 h_s – długość słupka półramy;
 b – szerokość mostu w osiach słupków;
 J_s, J_p – momenty bezwładności słupków i belki poprzecznej;

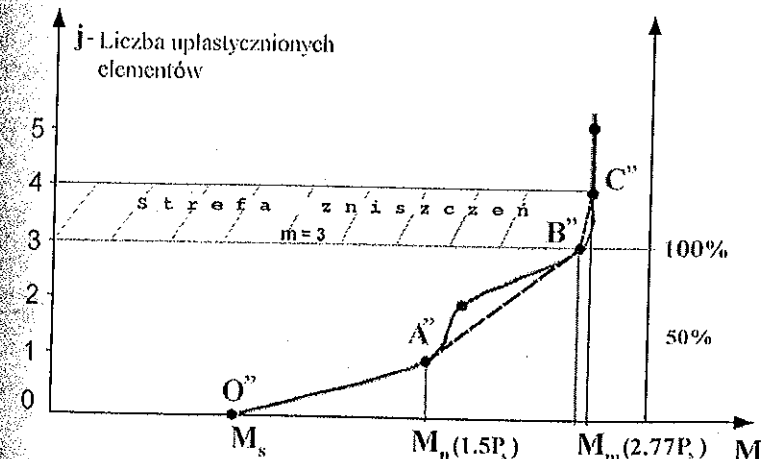
Według wzoru 5.3. obliczono strzałkę odchylenia dźwigara dla danych $l = 3$ m oraz $b_1 = 0.5$ m. Otrzymano $f \cong 130$ mm, taka strzałka wystąpiłaby w

przypadku braku podparcia pasa przez półramy usztywniające. Z analizy normowej półram w moście DMS-65 [2, 7] wynika, iż uplastycznienie elementów a tym samym utrata sprężystego podparcia nastąpi dla odkształcenia $\Delta_1 \cong 35$ mm. Z obliczeń przeprowadzonych wg schematu jak na rys.5.14 dla wyżej podanych danych otrzymano, iż maksymalne odchylenie słupka równoważne ugięciu pręta podpierającego wynosi $\Delta_2 = 0,84$ mm.



Rys. 5.14. Model obliczeniowy pasa górnego mostu DMS-65

Ponieważ przyjęto założenie równości odchylenia poziomego i ugięcia pręta podpierającego, stąd wniosek, że półramy nie ulegną uszkodzeniu a utrata stateczności pasa ściskanego nastąpi poprzez jego zniszczenie tj. uszkodzenia poszczególnych elementów składowych.



Rys. 5.15. Wykres lawinowych uszkodzeń w wyniku wyoboczenia pasa ściskanego

Na podstawie uzyskanych wyników obliczeń symulacyjnego niszczenia pasa ściskanego mostu DMS-65 sporządzono wykres uszkodzeń konstrukcji przeszłowej od obciążenia ponadnormatywnego przedstawiony na rys. 5.15. Z analizy tego wykresu wynika, że do chwili zniszczenia 3. elementu uszkodzenia następują łagodnie, natomiast po wyłączeniu z pracy tych elementów następuje gwałtowne załamanie wykresu i przy niewielkich przyrostach momentu dochodzi

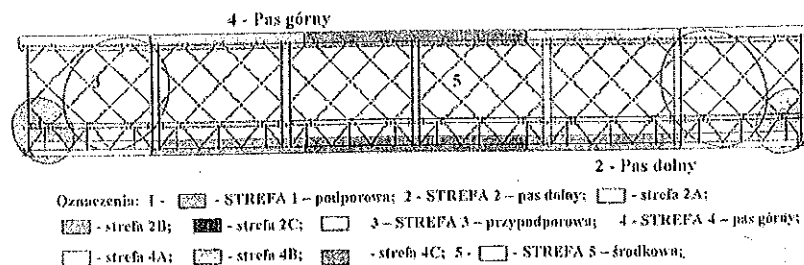
do szybkiego wyłączenia z pracy kolejnych elementów pasa i w konsekwencji awarii dźwigara.

W przypadku eksploatacji obiektu mostowego w warunkach szczególnych, zwłaszcza w sytuacji zagrożeń kryzysowych, gdy wymagane są nietypowe i szybkie decyzje dotyczące eksploatacji, budowy lub odbudowy obiektów mostowych istotne jest określenie uwarunkowań ograniczających stosowanie konstrukcji składanego mostu drogowego w danych warunkach. Dotyczy to zarówno możliwości przeniesienia zakładanych obciążeń jak i użycia, w realizacji wykonania przejścia mostowego, elementów składowych konstrukcji mostu z powstałymi wcześniej uszkodzeniami. Znajomość tych zagadnień, szczególnie z punktu widzenia decydenta - eksploatatora, jest niezmiernie istotna.

Zastosowana po raz pierwszy, w analizach wytrzymałościowych konstrukcji składanych obiektów mostowych, metoda lawinowych uszkodzeń [2] pozwoliła na przeprowadzenie obliczeń zniszczenia mostu składanego i oceny ilościowej ryzyka wystąpienia awarii w przypadku przekroczenia obciążeń normowych (zarówno w odniesieniu do konstrukcji przęsłowej jak i podpór składanych).

5.3.2. Nomogramy do szybkiej oceny

Przeprowadzone analizy wytrzymałościowe zmian nośności dźwigara [2, 4] oraz wyniki obliczeń komputerowych symulacyjnego niszczenia przęsła mostu, przedstawione w p.5.3.1. uwiarydliły podobieństwa w określonych rejonach przęsła w odniesieniu do podobnego charakteru obciążeń. Dało to podstawę do ustalenia dodatkowego podziału dźwigara na strefy w modelu obliczeniowym. Wyróżnione strefy nazwane zostały strefami wrażliwości dźwigara. Ogólny ich podział, z oznaczeniem zakresu, przedstawia rys.5.16.



Rys. 5.16. Podział dźwigara na strefy wrażliwości

Do analizy nośności dźwigarów mostu składanego przyjęto założenie, iż uszkodzenia elementów konstrukcyjnych występują tylko w jednej strefie w danej fazie analizy. Takie podejście pozwala na określenie, jaki wpływ na zmianę nośności mają uszkodzenia elementów zlokalizowane w poszczególnych rejonach dźwigara oraz które rejonu są najbardziej narażone (wrażliwe) na uszko-

żenia. Znajomość tego faktu jest istotna z punktu możliwych uszkodzeń celowych i ochrony przed nimi oraz z punktu widzenia oceny przydatności uszkodzonych elementów konstrukcyjnych mostu (w szczególności krat) do budowy kolejnego przejścia mostowego.

Z drugiej strony złożoność problemu (losowość występowania liczby uszkodzeń elementów oraz ich lokalizacji w konstrukcji przęsła) stwarza potrzebę zawężenia zakresu analizy do rozpatrywania osobno każdej strefy. Możliwość całościowego objęcia problemu dają między innymi sztuczne sieci neuronowe. Sposób ich zastosowania przedstawiony zostanie w p.5.3.3.

Wykorzystując programy systemu ROBOT'97 [11] przeprowadzono symulacyjne niszczenia dźwigarów mostu składanego dla przyjętych 10 rozpiętości przęseł. Elementy do analizy w poszczególnych strefach ustalane były losowo. Dany element uznany za uszkodzony, zgodnie z założeniami analizy, był usuwany z konstrukcji.

Analizę przeprowadzono dla rozpiętości przęseł mostu w zakresie od 12 m do 39 m, analizując zmiany nośności dźwigara w ustalonych do rozważań 8 strefach wrażliwości dźwigara (w dźwigarze 12 m w 6 strefach).

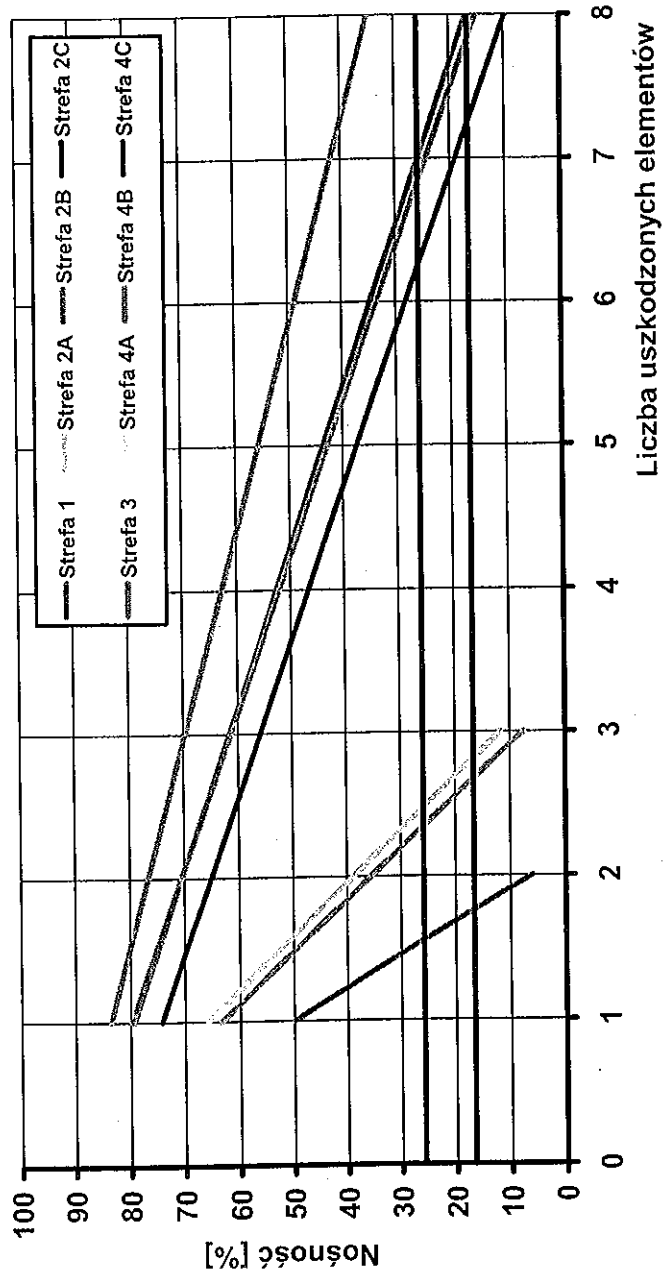
Wyniki obliczeń komputerowych odpowiednio wykreśliły wykonanie wykresów obrazujących zmiany nośności dźwigara. Wrażliwość stref przypadkowych w dźwigarze według rys.5.16 zostały poddane analizie. Wyniki przedstawiono w pracy [2]. Stały się one podstawą do opracowania nomogramów (rys.5.17 oraz rys.5.18) a także programu komputerowego do określania nośności uszkodzonego dźwigara mostu DMS-65.

Korzystanie z nomogramów sprowadza się do określenia rozpiętości dźwigara (przęsła krótkie lub długie), podania strefy uszkodzeń i liczby elementów, które uległy uszkodzeniu (uplastycznieniu). W wyniku uzyskuje się wielkość nośności dźwigara w stosunku do nośności przy nieuszkodzonych elementach - uznanej jako normową (graniczną).

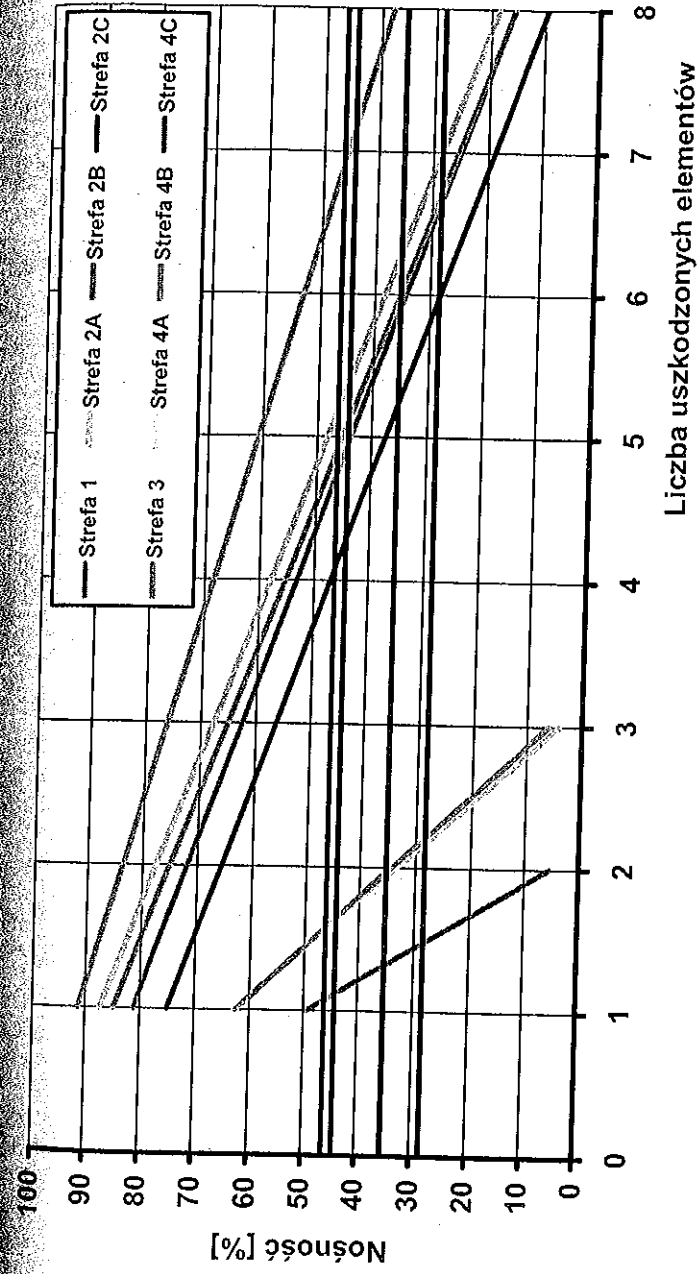
Na nomogramach oznaczono liniami grubymi strefy nośności z uwagi na ciężar własny przęsła mostu. Wprowadzają one dodatkowe uwarunkowania przy ocenie nośności dźwigara z daną liczbą uszkodzonych elementów. Dla przęsła krótkich (rys.5.17) zakres strefy nośności własnej ograniczony jest wielkościami: 27% - mniejsza wartość dla dźwigara 12 m oraz 36% - górna wartość strefy dla przęsła 21 m.

Natomiast na nomogramie dla przęsła długich (rys.5.18) wyróżnione zostały dwie strefy nośności własnej. Pierwsza, 28+35% obejmuje przęsła 24 do 33 m z uwagi na dopuszczalną nośność dla ruchu pojazdów kołowych (80 Mg) oraz drugą strefę 43+46% dla przęsła 36 oraz 39 m z uwagi na ich nośność dopuszczalną (60 Mg) dla ruchu kołowego.

Uzyskanie z nomogramu wartości nośności poniżej tego obszaru automatycznie eliminuje konstrukcję z dalszej pracy.



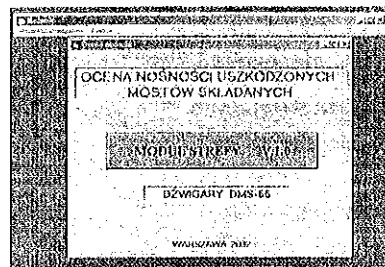
Rys.5.17. Nomogram do określania nośności dźwigarów mostu DMS-65 w poszczególnych strefach wrażliwości dla wartości minimalnych w zależności od liczby uszkodzonych elementów dla przeseł krótkich



Rys.5.18. Nomogram do określania nośności dźwigarów mostu DMS-65 w poszczególnych strefach wrażliwości dla wartości minimalnych w zależności od liczby uszkodzonych elementów dla przeseł długich

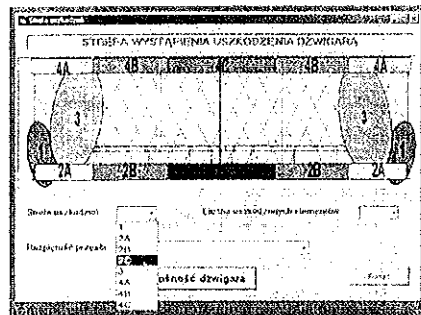
5.3.2.1. Program „STREFY”

Na podstawie wyników analiz przeprowadzonych przy użyciu programu STATISTICA opracowany został program komputerowy „Ocena nośności uszkodzonych mostów składanych” o nazwie „STREFY”. Podaje on wielkość nośności dźwigara w zależności od liczby uszkodzonych elementów w poszczególnych strefach wrażliwości dla wartości minimalnych. Po uruchomieniu programu pojawia się plansza czołowa przedstawiona na rys.5.19.



Rys. 5.19. Plansza czołowa modułu „STREFY”

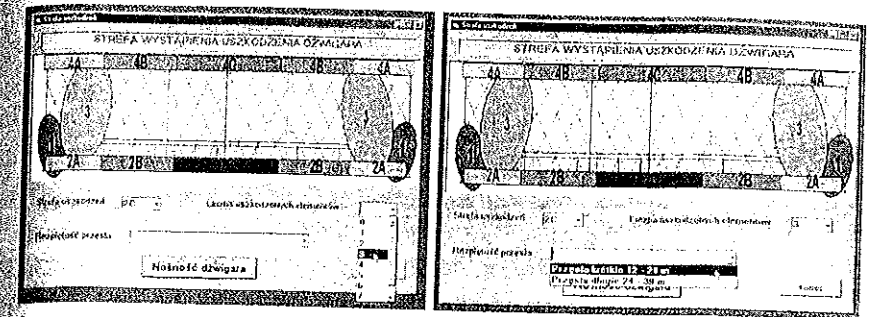
Po naciśnięciu przycisku MODUŁ STREFY użytkownik przechodzi do okna wyboru parametrów analizy (rys.5.20). W oknie tym dokonuje się wyboru strefy, w której zachodzą uszkodzenia elementów.



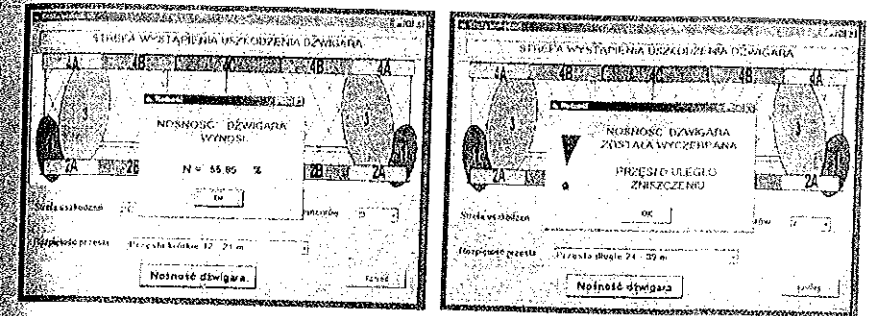
Rys. 5.20. Okno wyboru parametrów analizy

W kolejnym kroku określana jest rozpiętość dźwigara oraz liczba uszkodzonych elementów w strefie (rys.5.21).

Po wprowadzeniu danych i naciśnięciu przycisku „Nośność dźwigara” zależnie od wprowadzonych danych, w odpowiedzi ukazuje się jedno z okien komunikatu (rys.5.22), podające wielkość wyznaczonej nośności dźwigara mostu DMS-65.



Rys. 5.21. Kolejne etapy wyboru danych do analizy



Rys. 5.22. Okna komunikatów wyjściowych modułu „STREFY”

Jeżeli wprowadzone dane spełniają wymagania (znajdują się w zakresie analizy) pokazuje się okno komunikatu z daną nośnością dźwigara, jeżeli natomiast wprowadzone dane przekraczają zakres analizy ukazuje się komunikat o wyczerpaniu nośności i zniszczeniu przęsła mostu.

Program pozwala na szybsze i prostsze wykorzystanie opracowanych zależności „Uszkodzenia elementów – Nośność dźwigara” w określaniu ubytku nośności konstrukcji dźwigara mostu DMS-65 z uszkodzonymi elementami w poszczególnych strefach wrażliwości.

5.3.2.2. Podsumowanie

Przedstawione rozważania dotyczące określenia spadku nośności dźwigara mostu składanego DMS-65 w wyniku uszkodzenia jego elementów potwierdzają przyjęte dla tej konstrukcji założenia. Uzyskane wyniki obliczeń komputerowych, zestawione w postaci wykresów, mogą stanowić bezpośrednie wsparcie przy podejmowaniu decyzji związanych z eksploatacją konstrukcji mostu DMS-65 z uszkodzonymi elementami dźwigara.

Na podstawie uzyskanych wyników obliczeń można stwierdzić, iż najwrażliwszą strefą jest strefa 4 - pas górny dźwigara mostu DMS-65. Uszkodzenia w tym rejonie dwóch dla długich i trzech elementów dla krótkich przęseł dźwigara powodują wyczerpanie nośności przęsła. W przęsłach krótkich wrażliwsze na uszkodzenia są skrajne przedziały mostu natomiast w przęsłach długich decydujący wpływ na nośność mają uszkodzenia elementów zlokalizowanych w środku rozpiętości dźwigarów.

Przeprowadzone analizy wykazały, iż nie ma liniowej zależności między wielkością obciążenia a nośnością przy uszkodzonych elementach dźwigara. Stwierdzono, że w małych rozpiętościach przęseł i przy niewielkiej liczbie uszkodzonych elementów (2-3) rozbieżność otrzymywanych wyników ubytku nośności wynosi $5 \div 15$ %. Natomiast w dużych rozpiętościach (powyżej 30 m) przy tej samej liczbie usuniętych elementów i warunkach analizy uzyskiwane wielkości przekraczały 30 %.

Nie można, więc bezpośrednio określić zależności „Nośność – Liczba uszkodzonych elementów” i podać, że zwiększenie obciążenia o 30 % spowoduje zmniejszenie nośności dźwigara do 70 %. Analogicznie, jeżeli nośność dźwigara mostu zostanie zmniejszona do 80 % to nie można powiedzieć, że pozwala to na przepuszczenie obciążenia o 20 % mniejszego. Są to zależności nieliniowe. Pełne określenie ich będzie możliwe przy wykorzystaniu metod probabilistycznych lub też zastosowania do analizy nowego narzędzia pozwalającego na całościowe ujęcie rozważanego problemu - sztucznych sieci neuronowych.

5.3.3. Ocena nośności z zastosowaniem sieci neuronowych

Spośród wielu istniejących rodzajów sieci neuronowych największym zainteresowaniem, wynikającym z oferowanych możliwości, cieszą się sieci jednokierunkowe wielowarstwowe o neuronach typu sigmoidalnego, zwane perceptronem wielowarstwowym. Metody uczenia tych sieci są proste i łatwe do zrealizowania w praktyce [10, 16].

Najskuteczniejszą metodą uczenia sieci jednokierunkowych jest optymalizacja funkcji celu zdefiniowana dla sieci, minimalizująca błąd między wartościami żądanymi i aktualnie otrzymywanymi na wyjściu sieci dla wszystkich danych uczących.

Celem uczenia sieci jest określenie wartości wag neuronów wszystkich warstw sieci w taki sposób, aby przy zadanym wektorze wejściowym uzyskać na wyjściu sieci wartości sygnałów wyjściowych równające się z dostateczną dokładnością wartościom żądanym dla danej liczby neuronów wyjściowych. Te cechy dotyczące sieci jednokierunkowych wielowarstwowich stwarzają możliwość ich zastosowania w ocenie nośności uszkodzonego mostu składanego.

W pracy [2] zastosowano po raz pierwszy w dziedzinie mostów składanych sztuczne sieci neuronowe jako narzędzie pozwalające na ocenę rozpatrywanego problemu nośności mostu składanego pracującego w warunkach uszkodzonych elementów.

Najistotniejszym elementem w nauczaniu sieci jest stworzenie odpowiedniego ciągu uczącego, zawierającego takie sygnały, które po przetworzeniu przez sieć dadzą na wyjściu właściwą-pożądaną odpowiedź.

Przed rozpoczęciem procesu nauki sieci należy założyć dokładność sieci, tj. procent poprawnych odpowiedzi i wielkość procentową dopuszczalnego błędu odpowiedzi. W przedstawionym przypadku przyjęto założenie takiego doboru sztucznej sieci neuronowej, aby liczba poprawnych odpowiedzi była większa lub równa 95%, przy błędzie rzędu 5-10 % [2, 3].

5.3.3.1. Budowa ciągu uczącego

Budowę ciągu uczącego rozpoczęto od przyjęcia w warstwie wejściowej sieci następujących parametrów:

- rozpiętość przęsła (rozpatrywany zakres 12 do 33 m),
- przedział wystąpienia uszkodzenia (rozpatrywany 3-metrowy segment mostu – zakres 1-7);
- liczba uszkodzonych elementów (od 1 do 4),
- miejsce uszkodzenia (opisane rodzajem uszkodzonego elementu konstrukcyjnego dźwigara).

W warstwie wyjściowej SSN jako sygnał wyjściowy sieć określa nośność mostu. Zgodnie ze schematem postępowania, przedstawionym na rys.5.4 prowadzono nauczanie sieci przy określonej liczbie – 160, przypadków. Otrzymywane wyniki nie spełniały przyjętych założeń w zakresie liczby poprawnych odpowiedzi i wielkości błędu. Dlatego też układ ciągu uczącego był pięciokrotnie zmieniany [2], zwiększono liczbę przypadków do 3216, przeprowadzając dodatkowe obliczenia w programie ROBOT97 oraz poszerzono zakres rozpiętości przęsła do granicznej wartości w układzie belki swobodnie podpartej, do 39 m. Liczbę uszkodzonych elementów rozpatrywanych w dźwigarze zwiększono do 8. Fragmenty uzyskanego ciągu uczącego przedstawiono w tabelicy 5.1.

Tabelica 5.1

Rozpiętość [m]	Ilość elementów	STREFA USZKODZENIA										Grupa	Nośność %
		I	II			III	IV			V	I lub 0		
			A	B	C		A	B	C				
39	4	0	0	1	0	0	0	1	0	2	1	59,48	
21	2	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	27,32	
30	6	0	1	1	0	0	0	1	0	3	0	37,19	

Ciąg ten uznany został za ostateczny na tym etapie rozważań. Na jego układzie zostały przeprowadzone dalsze analizy związane z zastosowaniem sztucznych sieci neuronowych w ocenie nośności mostów składanych.

5.3.3.2. Trening i weryfikacja sieci

Uczenie sieci przeprowadzono przy wykorzystaniu dwóch aplikacji: programu *ORKA* oraz programu Sieci Neuronowe pakietu Statistica.

A. Trening i weryfikacja sieci w programie *ORKA*

Program *ORKA* pozwala symulować strukturę wielowarstwową, jednokierunkową sieci. Wykorzystuje algorytm wstecznej propagacji błędów. Można, w zależności od potrzeb, wprowadzić własne parametry treningu odnośnie tolerancji treningu i testowania, wielkości momentu, współczynnika stabilizującego proces uczenia oraz współczynnika uczenia (rys.5.23).

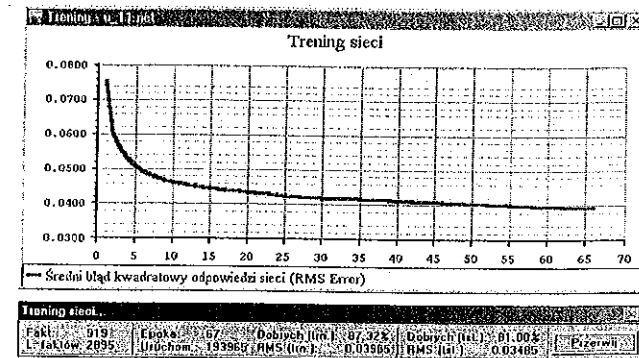
Dla ustalonych parametrów treningu przed rozpoczęciem inicjacji sieci określone są warunki zakończenia treningu (rys.5.24a) oraz można ustalić strukturę warstw ukrytych sieci (rys.5.24b). Tak przygotowany program po wprowadzeniu danych ciągu uczącego pozwala na rozpoczęcie procesu nauki sieci.

Proces uczenia sieci można obserwować na podstawie wykresu zmian średniego błędu kwadratowego odpowiedzi sieci RMS (rys.5.25) lub z tablicy treningu sieci. Proces treningu sieci okazał się zbieżny. Efektem jest zmniejszający się średni błąd kwadratowy odpowiedzi RMS oraz malejąca tolerancja treningu. Uzyskano 83% poprawnych odpowiedzi przy tolerancji treningu 0,041.

Tolerancja treningu		Tolerancja testowania	
Wartość początkowa	0.1	Wartość początkowa	0.1
Wartość bieżąca	0.052	Wartość bieżąca	0.064
Jeśli będzie <input type="checkbox"/> 90.0 % dobrych faktów, to zmniejsz tolerancję o <input type="checkbox"/> 20.0 %		Jeśli będzie <input type="checkbox"/> 80.0 % dobrych faktów, to zmniejsz tolerancję o <input type="checkbox"/> 20.0 %	
Moment		Współczynnik uczenia	
Wartość początkowa	0.9	<input checked="" type="checkbox"/> Automatyczny dobór wsp. uczenia	
Wartość bieżąca	0.9	Wartość początkowa	0.8
<input checked="" type="checkbox"/> Zmieniaj razem ze wsp. uczenia		Wartość bieżąca	0.81
Testowanie sieci co każde <input type="text" value="10"/> epok treningowych		Zmiana przy wzroście	0.02
<input type="checkbox"/> Łasuj fakty co każde <input type="text" value="100"/> epok treningowych		Wsp. zmiany wag	0.05
		Liczba epok	100

Rys.5.23. Okno ustawiania parametrów treningu

Rys.5.24. a) Okno określenia parametrów zakończenia treningu; b) Ustawienia inicjacji struktury warstw ukrytych sieci;

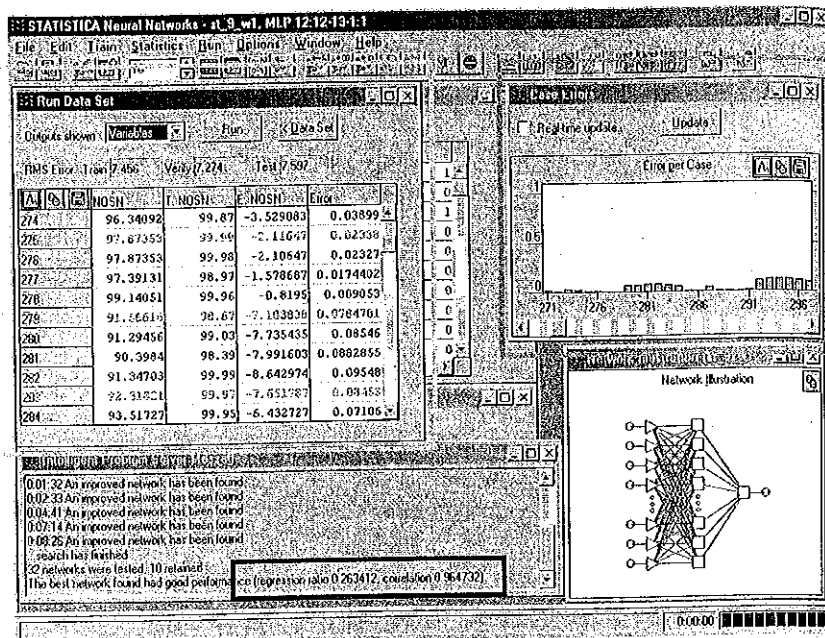


Rys.5.25. Okno zobrazowania procesu treningu sieci – etap rozpoczęcia treningu

B. Trening i weryfikacja sieci w programie Sieci Neuronowe - STATISTICA

Program Sieci Neuronowe pakietu STATISTICA posiada moduł automatycznego projektanta sieci. Dokonuje automatycznie (zgodnie ze swoim wewnętrznym algorytmem) dopasowania rodzaju oraz algorytmu sieci do danego ciągu uczącego. Spośród (wprowadzonych) typów sieci wybiera tą, która daje najlepsze wyniki dopasowania.

Należy jednak dokładnie śledzić prowadzoną analizę i uzyskiwane wyniki uczenia sieci, gdyż w trakcie uczenia sieć może skupić się na „zadaniu zastępczym”. Poprzez wyzerowanie wag wychodzących od wybranego wejścia sieć może całkowicie zignorować daną zmienną wejściową. Oznacza to, że program w trakcie uczenia usuwa z ciągu uczącego zmienne, które mogą być bardziej reprezentatywne dla rozpatrywanego problemu niż wartości pozostawione w analizie i uczeniu [2, 3, 13]. Mimo uzyskania lepszej wartości współczynnika regresji i współczynnika korelacji, taka sieć nie będzie odzwierciedlać postawionego problemu.



Rys.5.26. Okno komunikatów programu Sieci Neuronowe

W porównaniu do prostego programu ORKA program Sieci Neuronowe pakietu Statistica jest szeroko rozbudowanym narzędziem do projektowania sieci, umożliwiającym wielowątkową analizę uzyskanych wyników. Okno programu przedstawione na rys.5.26 obok końcowej odpowiedzi dotyczącej wybranej sieci (obliczonych w trakcie analizy wartości współczynnika regresji i współczynnika korelacji –niebieska ramka) program pozwala na analizę błędów poszczególnych przypadków ciągu uczącego (zielona ramka) w postaci wykresu słupkowego oraz w zestawieniu tabelarycznym (żółta ramka) z podaniem wielkości błędów dla poszczególnych wartości. Takie zobrazowanie wyników nauczania pozwala na dokładniejszą analizę wyników i lepszą korektę ciągu uczącego.

Trening sieci oparto na tym samym zestawie parametrów jak dla programu ORKA. W wyniku przeprowadzonych treningów uzyskano sztuczną sieć neuronową typu MLP (wielowarstwowego perceptronu) z algorytmem wstecznej propagacji błędów (BP – Back Propagation i CG – Conjugata Gradient Descent), dla której określony współczynnik regresji wynosi 0.235. Natomiast współczynnik korelacji ustalony został na poziomie 0.97.

Zakończenie procesu nauczania sieci jest pierwszym etapem przygotowania sieci do zastosowania. Kolejnym etapem jest ustalenie stopnia dokładności nauczania sieci. W tym celu przygotowane zostały dwa niezależne ciągi testowe

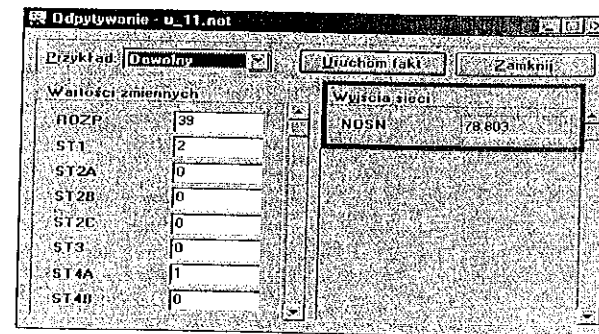
składające się z 85 przypadków każdy. Dane do ciągów testowych opracowane zostały według tej samej metodyki jak dla ciągów uczących. Zmienne ciągu testowego były ustalone losowo.

W tabelicy 5.2 przedstawiono fragmenty ciągu testowego nr.1 oraz wielkości odpowiedzi sieci dla programu Sieci Neuronowe pakietu Statistica i programu ORKA, przedstawione zostały również błędy względne ich odpowiedzi.

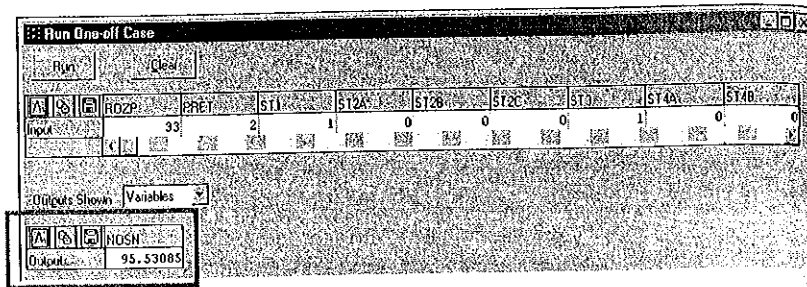
Tabela 5.2

LP	ROZP	USZKODZENIE PRĘTA W STREFIE								GRUPA	NOSN	SN ST	ORKA	błąd SN ST	błąd ORKA
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		
1	12	2A	4A	5				0	62,52	63,79	68,63	2,0	6,6		
9	12	2A	4C					0	42,57	37,19	49,69	-12,6	26,0		
14	39	1	2B	4A	4A			0	41,80	56,63	47,55	35,5	27,4		
39	21	2C	4B	4C	5	5		0	40,21	46,32	21,00	-15,2	-27,2		
54	24	2B	2C	3	4A	4B	4C	0	39,67	31,74	24,78	-20,0	20,1		
55	15	2C	2C					1	72,71	70,51	88,57	-3,0	-0,1		
59	39	2A	2B	2B	4B	4B		0	16,01	8,32	13,46	-48,0	-30,9		
60	30	1	3	4A				1	81,57	62,27	85,43	-23,7	-9,3		
61	15	2C	2C	4B				0	59,33	50,18	31,77	-15,4	-32,8		
62	36	2A	2A	3	3	4A	4B	0	29,30	31,69	59,57	8,2	83,2		
77	36	2B	4B	5	5	5	5	1	55,65	62,40	68,45	12,1	-23,9		
85	27	2C	3	3	4A	4A		0	60,36	49,22	47,91	-18,5	-15,0		

Odpytywanie sieci w programie ORKA sprowadzało się do wprowadzenia w oknie odpytywania danych zgodnych z ciągiem testowym. Po naciśnięciu „Uruchom fakt” uzyskuje się w odpowiedzi sieci wielkość nośności dźwigara (rys.5.27).



Rys.5.27. Okno odpytywania sieci w programie ORKA



Rys. 5.28. Okno odpytywania sieci programu Sieci Neuronowe

Odpytywanie sieci w programie Sieci Neuronowe pakietu Statistica polegało na wprowadzeniu informacji dotyczących rozpiętości przęśla oraz liczby uszkodzonych elementów w danej strefie (rys.5.28). Po uruchomieniu programu w odpowiedzi uzyskuje się nośność dźwigara wyrażoną w procentach.

W celu określenia przydatności nauczonych sieci neuronowych do praktycznego wykorzystania poddano analizie wyniki ich testowania. Dla określenia rozbieżności między odpowiedziami sieci a danymi określonymi w obliczeniach określono błąd względny odpowiedzi wyznaczany z zależności:

$$B = \frac{x - x_0}{x_0} \cdot 100\% \quad (5.5)$$

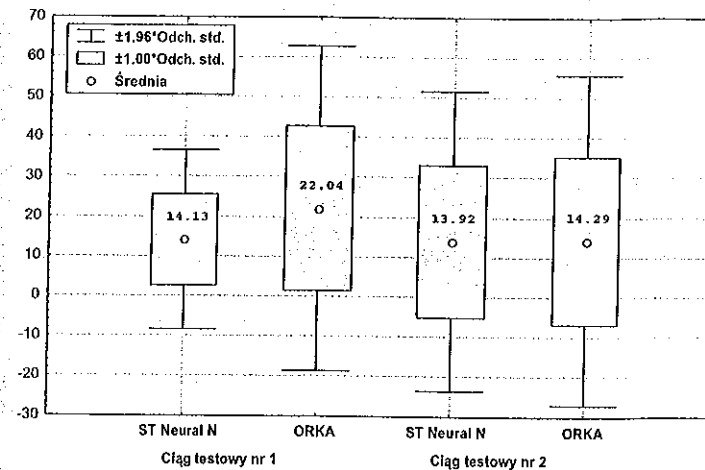
gdzie: B - błąd względny odpowiedzi sieci;
 x - nośność dźwigara wg odpowiedzi sieci;
 x_0 - nośność ustalona wg obliczeń w programie ROBOT97.

Zestawione wielkości błędu względnego zamieszczone zostały w tabelach 5.3. Dla celów praktycznych można uznać wielkości błędów odpowiedzi sieci do 20 % za dopuszczalne [2, 4, 9].

Tabela 5.3

Ciąg testowy	Liczba przypadków	Sieci Neuronowe pakietu Statistica		program ORKA	
		ujemne	dodatnie	ujemne	dodatnie
1	wszystkich	85			
	B > 20 %	14	10	20	15
	%	16,5	11,8	23,5	17,6
	B > 75 %	0	0	0	3
	%	0	0	0	3,5
2	wszystkich	85			
	B > 20 %	6	11	9	9
	%	7,0	12,9	10,6	10,6
	B > 75 %	2	0	1	4
	%	2,3	0	1,2	4,7

Dla pełnej analizy wyników nauczania sieci sporządzony został wykres ramkowy błędów odpowiedzi dla przeprowadzonych testowań sieci (rys.5.29). Dla poszczególnych przypadków odpowiedzi sieci dla ciągu testowego nr 1 i nr 2 wyznaczona została wartość średnia, której wielkość została podana na wykresie. Ramka wykresu opisująca zmienność błędów względnego wokół średniej odpowiedzi opisana została odchyleniem standardowym. Wąsy wykresu wskazujące zakres błędów odpowiedzi opisane zostały 1,96 odchyleniem standardowym.



Rys. 5.29. Zestawienie błędów odpowiedzi testowanych sieci neuronowych

Dla ciągu testowego nr 1 uzyskano dla Sieci Neuronowej pakietu Statistica współczynnik korelacji równy $r_s = 0.83$ natomiast dla programu ORKA współczynnik opisujący korelację zmiennych wynosi $r_s = 0.60$, co przy liczbie 85 przypadków w ciągu testowym odpowiada istotności na poziomie 0,999.

Wyniki analiz wskazują, iż sieci dobrze zostały wyuczone. Przygotowany układ ciągu do nauki sieci jest dobry i odzwierciedla postawiony problem oceny nośności dźwigara mostu składanego pracującego w fazie uszkodzonych elementów konstrukcyjnych.

Jak wykazały przeprowadzone analizy sztuczne sieci neuronowe pozwalają rozwiązywać tego typu zagadnienia, stanowiąc alternatywę dla metod statystycznych powszechnie dotychczas stosowanych.

Atrakcyjność sieci może wynikać w tym przypadku z faktu braku potrzeby znajomości modelu matematycznego diagnozowanego problemu oraz faktu, iż nie umie odwzorować brakujące dane. Oznacza to, że dla pewnej ilości konkretnych przypadków stanowiących niewielki procent wszystkich możliwych wariantów poprzez odpowiednie nauczanie sieci można uzyskać odpowiedź na pozostałe, nie określone przypadki.

5.3.4. Ocena czasu budowy mostu z zastosowaniem sieci neuronowych

Problematyka sprawnego funkcjonowania układów komunikacyjnych na lądowej sieci transportowej, kolejowej i drogowej szczególnie w sytuacjach kryzysowych czy militarnych jest od dawna przedmiotem teoretycznych i praktycznych dociekań. Dążenie do usprawnienia i poprawy funkcjonowania ruchu sprawiają, że koniecznym staje się szybka budowa i/lub odbudowa sieci oraz obiektów inżyniersko – komunikacyjnych [4].

Kryterium wiodącym *narzuconych bądź poszukiwanych* racjonalnych rozwiązań techniczno – organizacyjnych (dotyczących odtworzenia, przywrócenia bądź zapewnienia przejeźdźności) jest minimalnie niezbędny czas trwania tego złożonego przedsięwzięcia, najczęściej budowy (montażu) przejścia drogowo – mostowego z zastosowaniem wojskowych konstrukcji składanych [5].

Dotychczasowe tradycyjne podejście do określania czasu budowy (montażu) interesującego obiektu inżynierskiego bądź komunikacyjnego oparte było głównie na zasadach heurystycznych bądź normatywnych (instrukcyjnych). Stosunkowo rzadko stosowano podejście poszerzone o systemy eksperckie wspomagające ocenę minimalnie niezbędnego czasu realizacji przedsięwzięcia (robót). Stąd też dotychczasowe podejście nie uwzględniało pełnej analizy wpływu cech ilościowych oraz jakościowych (alternatywnych) na efektywny czas montażu oraz nasuwania mostu składanego. Było więc mało wiarygodne i nie mogło stanowić podstawy racjonalnego postępowania planistyczno – decyzyjnego we współczesnym budownictwie mostowym.

Zastosowanie sztucznych sieci neuronowych (SSN) z wykorzystaniem aplikacji komputerowych Orka v.2.4 i Neural Planner v.1.7 poszerza zakres ocen czasu montażu i nasuwania konstrukcji nośnej mostu składanego. Z inżynierskiego i decyzyjnego punktu widzenia interesująca jest oryginalna i użyteczna metodologia weryfikująca odpowiedzi SSN z ocenami ekspertów, zinterpretowana na konkretnym przykładzie efektywnego czasu montażu i nasuwania mostu tymczasowego typu DMS-65. Poruszona problematyka powinna ułatwić dalsze poszukiwania praktycznych zastosowań SSN w budownictwie mostowym [4, 5, 10].

Wykonawstwo – budowanie mostów tymczasowych jest specyficzną działalnością produkcyjną ze wszystkimi jej złożonymi i trudnymi inżynierskimi oraz budowlanymi właściwościami, kształtowanymi m.in. pod wpływem wielkości zadania, warunków, ograniczeń, systemu kierowania itp. Działalność ta jest słabo strukturalizowana i ukształtowana pod wpływem czasu, przestrzeni i otoczenia. Stąd w rozwiązaniach techniczno – organizacyjnych budowy mostów składanych przyjmuje się jako główne kryterium czas budowy mostu (najczęściej jako funkcja składnika budowy podpór pośrednich i/lub czasu montażu oraz nasuwania konstrukcji przeszłowej).

Baza normatywna dotycząca nakładów rzeczowo-czasowych powinna być uogólnieniem dotychczas osiąganych wyników (np. matematycznej wartości oczekiwanej), szczególnie co do wiarygodnego czasu trwania zasadniczych procesów technologicznych. Dotychczas ustalanie norm (normatywów) czasowych odbywało się najczęściej szacunkowo lub statystycznie. Stąd też otrzymuje się

dla wszystkich składników czasu pracy mało dokładne wyniki. Stwarza to konieczność badań poligonowych, ściślej badania i mierzenia prędkości, transportochłonności, materiałochłonności, energochłonności itd.

Lepsze poznanie technologii i organizacji montażu i nasuwania mostów tymczasowych zmniejszy wysiłek przy ich realizacji w warunkach rzeczywistych i pozwoli osiągać jak najkorzystniejsze efekty czasowe i ekonomiczne.

Określenia wskaźnika kryterium poprawności rozwiązania technologiczno-organizacyjnego (np. minimum czasu trwania przedsięwzięcia) można dokonać korzystając z następującej uogólnionej formuły:

$$I(Z_k) = \int_{t_0}^T dt \rightarrow \min$$

Szacowanie całkowitego czasu trwania przedsięwzięcia określa się na podstawie wzorów:

$$T^c = \frac{Q}{R \cdot W_R} \quad \text{lub} \quad T^c = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{\sum_{i=1}^n R_i \cdot W_{Ri}}$$

gdzie: Q - zakres prac do wykonania; R - ilość i rodzaj zespołów technologicznych; W_R - wydajność normatywna zespołu technologicznego; i - numer kolejny zespołu technologicznego.

Czas trwania przedsięwzięcia przy zastosowaniu metody pracy ciągłej i równomiernej można określić korzystając ze wzoru:

$$T_r = t + r(n-1)$$

gdzie: T_r - ogólny czas trwania robót; t - czas trwania każdej z robót na jednej działce; n - liczba działek, na które obiekt został podzielony; r - rytm pracy równomiernej.

Ustalenie oczekiwanego – prawdopodobnego czasu trwania operacji (czynności) w przypadku braku normatywów odbywa się według wzoru:

$$t^e = \frac{t_0 + 4t_m + t_p}{6}$$

gdzie: t_0 - czas optymistyczny trwania operacji; t_p - czas pesymistyczny trwania operacji; t_m - czas najbardziej prawdopodobny trwania operacji (czynności).

W praktyce inżynierskiej modelowanie i analizowanie budowy mostu, z zastosowaniem podanych wzorów, potwierdza wieloraki wpływ czynników technicznych i nietechnicznych na czas budowy (prac, robót), których związki traktuje się raczej jako typowo statystyczne. Należą do nich następujące grupy czynników:

- techniczne, technologiczno – organizacyjne, ekonomiczne;
- warunki naturalne pracy (ergonomia, bhp);
- jakość i dostępność surowców, materiałów, prefabrykatów, złącz, zestawów (ogólnie uzbrojenia technicznego);
- sprawność w pracy, czyli umiejętność, zręczność (wprawa), poziom kwalifikacji;
- stałe doskonalenie (tradycja);
- front robót, porządek przestrzenny, oraz rodzaj transportu zewnętrznego i wewnętrznego
- postęp techniczno – organizacyjny (innovacyjność);
- bodźce materialne i niematerialne,
- przerwy eksploatacyjne i fizjologiczne.

Ustalony czas trwania budowy (montażu, nasuwania konstrukcji) z uwzględnieniem wpływu powyższych czynników, który różni się o więcej niż 25 % od ogólnej średniej powinien być pominięty. Z pozytywną charakterystyką techniczno-eksploatacyjną musi iść w parze pozytywna charakterystyka technologiczno-organizacyjna tj. dążenie do maksymalnego skracania czasu budowy (montażu) mostu, zmniejszania do niezbędnego minimum ilości wykonawców oraz zwiększania manewrowości sprzętu mostowego. Czas jest miarą uniwersalną. Można go stosować do większości wyników działalności techniczno-organizacyjnej. Stanowi również skuteczną miarę sprawności zarządzania i organizacji wykonania. Określa także ograniczenia każdego działania i programu. Dwa powracające wciąż pytania brzmią: „Ile czasu to zajmie?” oraz „Czy zostało skończone na czas?”. Stąd też nabycie wycucia czasu pozwala tworzyć plany, przewidywać opóźnienia i przeszkody. Pozwala także uświadomić istnienie trzech zmiennych związanych z czasem: czas wykonania procesu, czas rozruchu i zamknięcia danej działalności oraz czas nauki wprawy. W tym kontekście przygotowanie planów i harmonogramów przedsięwzięć techniczno-budowlanych (m.in. montażu i nasuwania mostu tymczasowego) jest więc bezpośrednio związane z określeniem i analizą czasu trwania tego przedsięwzięcia [4, 5].

Zebrane informacje i zgromadzona dokumentacja faktograficzna z badań poligonowych nad technologią i organizacją budowy mostów składanych stanowią podstawę do tworzenia wiarygodnej bazy informacyjno-normatywnej, opracowania zbioru wektorów ciągu uczącego oraz formułowania wniosków usprawnień techniczno-organizacyjnych.

Tworząc architekturę SSN rozpatrywanego przykładu przyjęto 11 wejść sieci tworzących warstwę wejściową:

a) *cechy liczbowe charakteryzujące konstrukcję:*

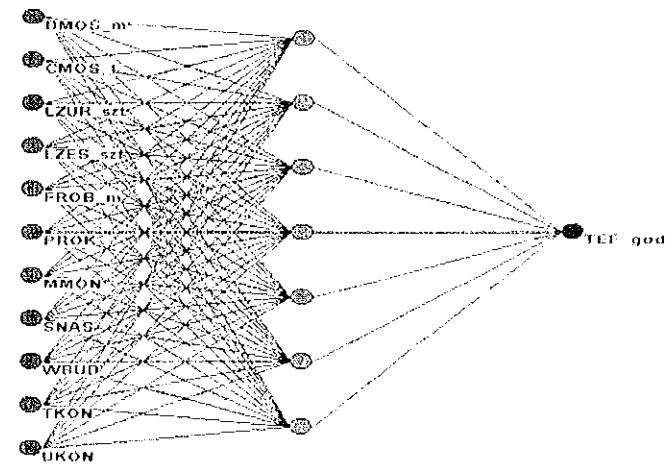
- DMOS - długość budowanego mostu [m],
- CMOS - ciężar ogólny konstrukcji przeszłowej mostu [t],
- LZUR - liczba żurawi użytych do montażu konstrukcji przeszłowej [szt.],
- LZES - liczba zespołów (brygad) realizujących proces montażu i nasuwania [szt.],

- FROB - front robót ułatwiający bądź utrudniający roboty montażowe i nasuwanie konstrukcji [m].

b) *cechy jakościowe charakteryzujące warunki budowy i czynniki zewnętrzne:*

- PROK - pora roku (lato – 1; zima - 0),
- MMON - metoda montażu (od czoła-1; kompleksowa (szer. front.)-0),
- SNAS - system nasuwania (całością – 1, skokowo - 0),
- WBUD - warunki budowy (dzień – 1; dzień i noc - 0),
- TKON - transport konstrukcji (z „kół” – 1; ze składowiska - 0),
- UKON - ukompletowanie konstrukcji (wypełnienie przestrzennego układu konstrukcyjnego) (częściowe – 1; pełne – 0).

Wprowadzono również sześć neuronów do warstwy pośredniej (ukrytej). Przyjęta liczba wynika z często stosowanej zasady orzekającej, że liczba ta jest połową sumy neuronów w warstwach wejściowej i wyjściowej. Natomiast warstwę wyjściową stanowi jeden neuron *TEF* (godz.) wyrażający efektywny czas montażu i nasuwania konstrukcji nośnej mostu typu DMS-65 (rys. 5.30).



Rys. 5.30. Struktura sieci neuronowej określającej czas montażu DMS-65

Do realizacji SSN wykorzystano aplikację sieci neuronowych o wstecznej propagacji błędów Orka 2.4 i Neural Planner 1.7. Stworzone SSN uczono z wykorzystaniem ciągu uczącego zawierającego 130 wektorów opisujących konkretne przykłady montażu i nasuwania mostu DMS-65. Fragment ciągu uczącego zawiera tablica 5.4 a fragment wyników testowania sieci neuronowych Orka 2.4 i Neural Planner 1.7 przedstawia tablica 5.5.

Zastosowanie SSN jako narzędzia wspomagania tego szeroko rozumianego procesu planistyczno-decyzyjnego zdecydowanie przyczyni się do weryfikacji

kacji i urealnienia nakładów rzeczowo-czasowych na rozpatrywane przedsięwzięcie budowlano-montażowe. Doskonalenie technologii i organizacji BMT, które jest obok rozwoju techniki najbardziej znaczącym i efektywnym czynnikiem wzrostu wydajności pracy (tempa budowy), zasługuje zatem na szczególną uwagę.

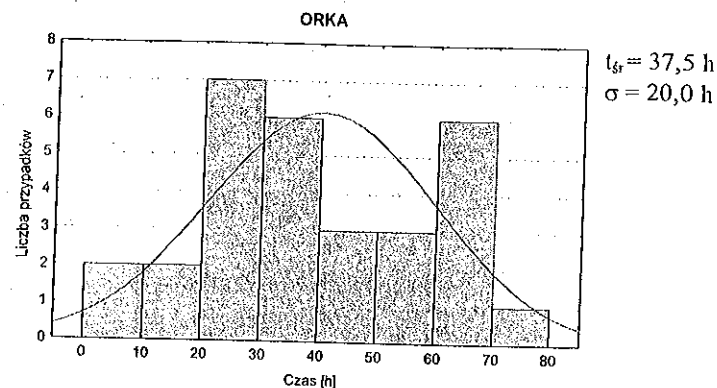
Tablica 5.4.

Lp.	DMOS [m]	CMOS [t]	LZUR [szt]	LZES [szt]	FROB [m]	PROK	MMON	SNAS	WBUD	TKON	UKON	TEF [godz]
1	40	60	1	4	20	1	1	1	1	0	1	8
2	50	85	1	2	30	0	1	1	1	1	0	12
3	110	180	1	2	80	1	1	1	0	0	0	22
4	220	400	2	4	150	0	1	1	1	1	0	30,5
5	400	720	3	4	500	1	0	1	0	1	1	56,5
6	500	820	1	4	200	0	1	0	1	0	1	80
7	30	45	2	1	20	1	1	1	1	1	0	6
8	450	710	2	4	300	1	0	1	0	1	0	77
9	80	148	2	3	50	1	0	0	1	0	0	13
10	170	290	2	4	180	0	1	1	0	1	1	23,5

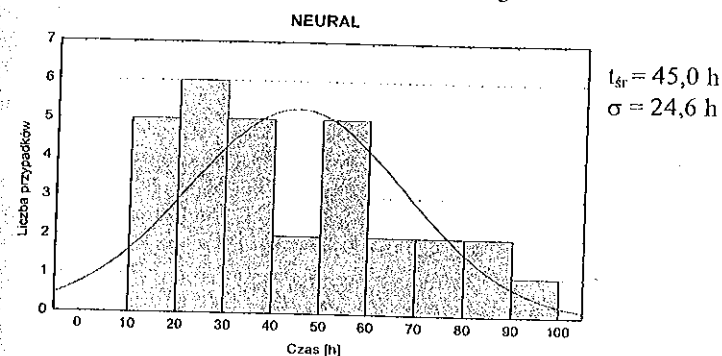
Tablica 5.5.

Nazwa	DMOS [m]	CMOS [t]	LZUR [szt]	LZES [szt]	FROB [m]	PROK	MMON	SNAS	WBUD	TKON	UKON	ORKA [godz]	NEURAL [godz]
a	140	200	2	2	80	1	0	0	0	1	0	29	25
b	580	890	2	3	300	1	1	0	1	0	1	80	90
c	280	400	1	4	500	0	0	1	1	0	1	65	56
d	90	150	0	4	60	1	1	0	0	1	1	33	20
e	120	185	1	4	180	1	1	0	0	1	1	35	25
f	600	900	3	4	200	1	0	1	1	1	0	70	91
g	21	34	1	2	80	1	0	1	1	0	1	8	15
h	240	380	4	4	180	1	0	1	0	1	0	31	40
i	350	460	2	3	250	0	1	0	1	0	1	48	53
j	420	610	2	4	350	1	0	1	1	0	1	67	67
k	201	340	3	4	40	1	0	0	1	1	0	26	37

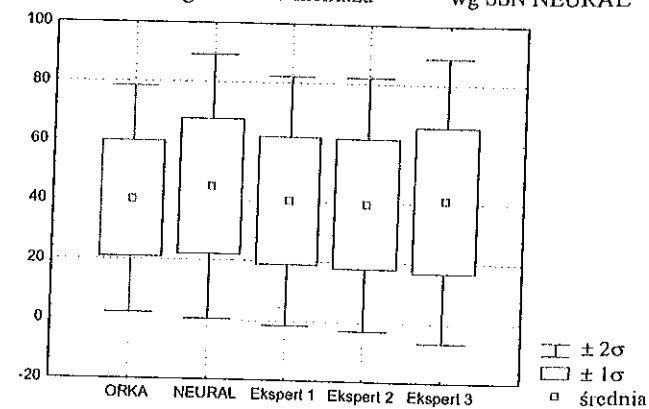
Otrzymane wyniki przedstawiono na rysunkach 5.31 do 5.34. Przeprowadzona ocena zaprojektowanej i testowanej SSN polegała na utworzeniu ciągu testowego złożonego z 30 wektorów, wśród których ¼ zostało opartych na własnych badaniach poligonowych, pozostałe zaś utworzone na podstawie obowiązujących instrukcji i norm (normatywów).



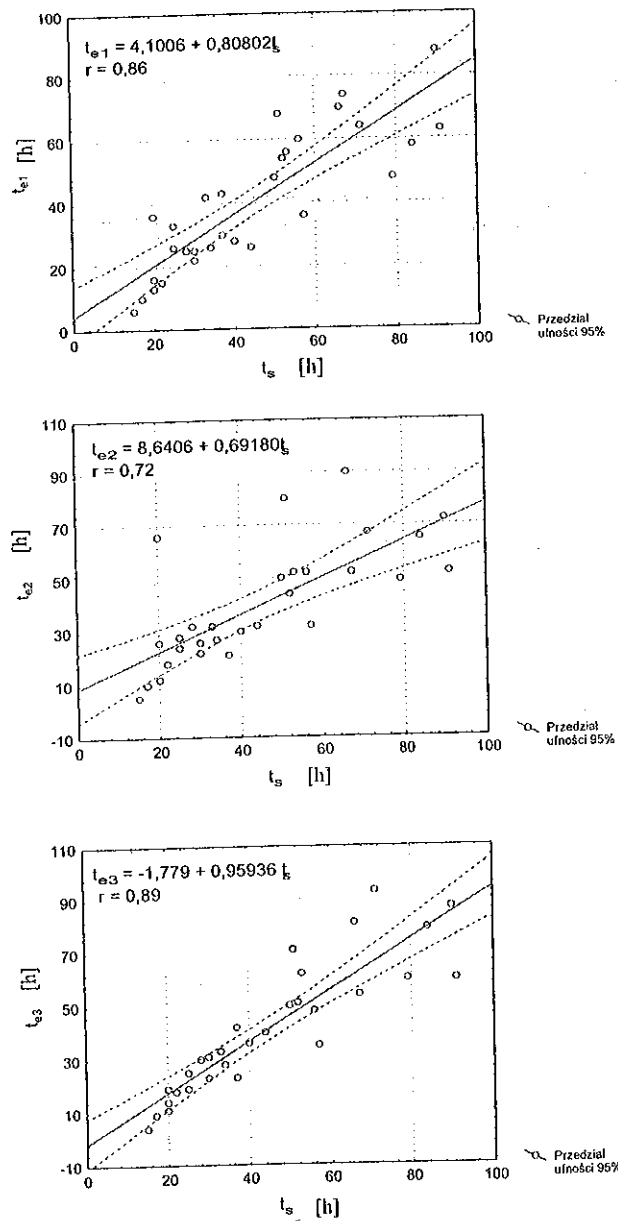
Rys. 5.31. Histogram czasu montażu wg SSN ORKA



Rys. 5.32. Histogram czasu montażu wg SSN NEURAL



Rys. 5.33. Wykres ramkowy Box and Whisker (pudło i macki)



Rys. 5.34. Zależności regresyjno-korelacyjne między czasami montażu oszacowanymi przez ekspertów i SSN NEURAL

Przeprowadzeniu porównania otrzymanych odpowiedzi sieci neuronowych z ocenami czasu montażu i nasuwania mostu DMS- 65 podanymi przez 3 doświadczonych ekspertów (inżynierów, specjalistów budowy mostów wojskowych). Wyniki oceny przedstawiono w sposób syntetyczny za pomocą wykresów typu Box and Whisker (pułdo i macki) na rysunku 5.33 i na wykresach regresyjno - korelacyjnych (rys. 5.34).

Wynika z nich stosunkowo duża zbieżność estymatorów ocen sieci w implementacji Orka 2.4 z ekspertami 1 i 2. Nieco większe różnice odchyłeń standardowych i wartości ekstremalnych w stosunku do sieci w implementacji Orka 2.4 cechuje eksperta 3. Sieć w implementacji Neural Planner 1.7 dała odpowiedzi oznaczające się większym rozrzutem. Na uwagę zasługuje dwumodalność rozkładu odpowiedzi eksperta 1.

Największy współczynnik korelacji $r=0,93$ cechuje odpowiedź eksperta 1. Wszystkie współczynniki korelacji są znaczące, przy poziomie istotności 0,95, ponadto duża zgodność odpowiedzi ekspertów ma miejsce również w odniesieniu do SSN w implementacji Neural Planner 1.7. Ogólnie rzecz biorąc w sporadycznych przypadkach różnice zwłaszcza między ekspertem 2. a siecią są duże.

Niezależnie od scharakteryzowanych już analiz, należy rozpatrzyć każdy indywidualny przypadek większych różnic między odpowiedziami sieci i ekspertów.

Na podstawie przeprowadzonych analiz opartych na samych estymatorach można stwierdzić, że sieć daje odpowiedzi wystarczające do szacowania czasu montażu i nasuwania konstrukcji DMS- 65. Uzyskane wyniki pozwalają stwierdzić, że zastosowanie SSN do oceny czasu montażu mostów może zastąpić znacznie droższe w budowie systemy eksperckie [4, 5, 1, 13].

Budując nowe aplikacje koniecznym jest szczegółowy opis każdej wielkości w warstwie wejściowej oraz dodatkowe naświetlenie niektórych związków przyczynowo - skutkowych.

5.4. Propozycje i kierunki dalszych badań

Oceny techniczno-eksploatacyjnej mostów składanych, przedstawione z konieczności skrótowo, powinny łączyć teorię z praktyką i umożliwiać uzyskanie odpowiedzi na trzy podstawowe pytania:

Jakie obciążenia, przekraczające wielkości określone w obliczeniach projektowych (ponadnormatywne), mogą być dopuszczone na danym obiekcie składanym, jeżeli ze względu na zaistniałą sytuację będzie to konieczne?

Czy po uszkodzonym moście składanym może odbywać się ruch pojazdów? Jeżeli tak, to o jakiej charakterystykach?

Jakie czynniki mają bezpośredni i pośredni wpływ na rozwiązanie techniczno-organizacyjne oraz oszacowanie i osiągnięcie minimalnego czasu budowy, demontażu mostu, tj. spełnienie wiodącego kryterium decyzyjnego?

W celu udzielania zadawalajacej odpowiedzi na te pytania proponuje się następujące postępowanie:

- 1) Zebrać czynniki występujące w różnych układach mostów składanych oraz właściwie określić ich wpływ na warunki bezpieczeństwa i sprawność funkcjonalną obiektu mostowego. Słabo rozpoznawanymi czynnikami będą najczęściej: zmiany rodzaju i charakteru obciążeń z obciążen pojazdami wojskowymi na obciążenia pojazdami cywilnymi, trudności w zachowaniu warunków inżynierii ruchu, zmiany strukturalne elementów konstrukcyjnych mostu, uwidocznione uszkodzenia (zawinione i nieumyślne) spowodowane wielokrotnym montażem (demonażem), uderzenia pojazdów o konstrukcję w czasie jej eksploatacji, uszkodzenia w wyniku celowych oddziaływań dywersyjnych czy też podczas naturalnego upływu czasu; wpływ warunków atmosferycznych i środowiskowych itp.
- 2) W celu określenia nośności dźwigara – przeszła i granicznych obciążeń oraz ryzyka eksploatacyjnego (jako głównych obszarów analiz i badań) przeprowadzić analizę identyfikacyjną losowych uwarunkowań techniczno-organizacyjnych i mechanizmów mogących powodować uszkodzenia elementów konstrukcji w dźwigarach i przęsłach mostu. Wykorzystując metody komputerowe przeprowadzić symulację zniszczenia dźwigara. Wyniki w postaci wykresów pozwolą ustalić graniczną rozpiętość przęsła, lawinowych uszkodzeń a w konsekwencji ryzyka eksploatacji mostu.
- 3) Dalsze pogłębione analizy zmian nośności dźwigarów - przęseł mostów w zależności od rozpiętości prowadzić przy wykorzystaniu zależności opisujących wrażliwość danej strefy dźwigara na uszkodzenia elementów. W celu praktycznej oceny tych uszkodzeń, należy wykorzystać program komputerowy „Strefy” oraz program Statistica, a w wyniku przyjąć wartości najmniej korzystne tj. określające minimalną nośność dźwigara. Dodajmy, iż sporządzone nomogramy pozwolą na ocenę nośności uszkodzonego dźwigara tylko w przypadku wystąpienia uszkodzeń zlokalizowanych w jednej strefie. Odczytanie z nomogramu wartości nośności poniżej tych stref automatycznie wyklucza taką konstrukcję z dalszej eksploatacji, gdyż jej nośność zostanie wyczerpana.
- 4) Przeanalizowanie wielu wariantów rozwiązań techniczno-organizacyjnych (na etapach projektowania czy wykonawstwa) i podjęcia szybkich a jednocześnie racjonalnych decyzji mogą zapewnić systemy eksperckie. Pozwalają one na sporządzanie projektu racjonalnego w danych warunkach, wyjaśnienie przyczyn i skutków nieprawidłowej technologii i organizacji budowy (odbudowy) mostu, a także zakłóceń w czasie realizacji zadania.
- 5) Do analizy obiektu mostowego, w tym szczególnie wpływu uszkodzeń elementów na zmiany nośności mostu składanego, zaleca się zastosowanie sztucznych sieci neuronowych. Użyteczność sieci wynika z możliwości pominięcia modelu matematycznego diagnozowanego problemu oraz automatycznych umiejętności sieci odwzorowania brakujących danych. Oznacza to, że poprzez odpowiednie nauczanie sieci można uzyskać odpowiedź na nie określone przypadki. Wykorzystanie do budowy SSN dwóch programów

komputerowych tj. symulatora neuronowego - programu Orka oraz programu aplikacyjnego - pakietu Statistica pozwoliło uzyskać wyniki testowania sieci (na ciągach losowo ustalonych przypadków) potwierdzające dobre przygotowanie ciągu uczącego. Lepszą i preferowaną do dalszego wykorzystania jest sieć uzyskana w programie Statistica, która dała wyniki testowania obarczone mniejszym błędem odpowiedzi.

- 6) Zastosowane do szacowania czasu montażu i nasuwania konstrukcji DMS-65 sztuczne sieci neuronowe mogą zastąpić droższe w budowie systemy eksperckie. Dają bowiem odpowiedzi zadawalające zbliżone do wartości z praktyki inżynierskiej i organizatorskiej. W przypadku rozpatrywania budowy (odbudowy) mostu składanego o złożonych techniczno-eksploatacyjnych uwarunkowaniach, użyteczne zastosowanie sieci wymaga współpracy fachowca eksperta mostowego oraz informatyka celem naświetlenia związków przyczynowo-skutkowych i adaptacji standardowych programów obliczeniowych.

Reasumując, uzyskane wyniki z analiz wytrzymałościowych i ocen eksploatacyjnych potwierdziły znaczne zapasy nośności konstrukcji mostu składanego DMS-65. Analiza wrażliwości dźwigarów mostu na uszkodzenia elementów w poszczególnych strefach pozwala dopuścić w szczególnych przypadkach podzespoły konstrukcyjne dźwigara z uszkodzonymi elementami. Natomiast inne konstrukcje mostów składanych wymagają przy ich zastosowaniu znajomości instrukcji budowy i eksploatacji oraz analitycznego zweryfikowania przydatności użytkowej w przewidywanej sytuacji.

Z naukowego i praktycznego punktu widzenia weryfikowania i poszerzenia przydatności użytkowej mostów składanych wymaga skupienia się na następujących kierunkach:

1. Prowadzeniu analiz i ocen techniczno-eksploatacyjnych konstrukcji mostów składanych (drogowych i kolejowych), pracujących w układzie belki ciągłej,
2. Określeniu zależności między uszkodzeniami elementów a pracą mostu w układzie trzydźwigarowym z dwoma jezdniami, jako tej konstrukcji, która obecnie jest najczęściej stosowana w obiektach tymczasowych dla ruchu cywilnego;
3. Możliwości wykorzystania konstrukcji mostu składanego DMS-65 do ruchu dwukierunkowego poprzez zmodernizowanie konstrukcji belki poprzecznej,
4. Prowadzeniu badań poligonowych konstrukcji i procesów budowy mostów składanych dla poszerzenia bazy danych umożliwiających wspomaganie planowania i wykonawstwa różnorodnych przepraw mostowych,
5. Poszerzenia zastosowania systemów eksperckich i sztucznych sieci neuronowych do oceny konstrukcji i budowy obiektów inżynierskich eksploatowanych w warunkach cywilnych.

Oznacza to, że działalność naukowo-badawcza w interesującym nas obszarze zastosowań omawianych narzędzi (tj. badań poligonowych i sztucznych sieci neuronowych) powinna być twórczo rozwijana dla zwiększenia sprawności funkcjonowania lądowej sieci transportowej.

LITERATURA

1. Białobrzeski T.: Probabilistyczne metody oceny mostów składanych. Biuletyn WAT Warszawa 1977r
2. Bryda P.: Analiza wpływu uszkodzeń mostów składanych na ich eksploatację. WAT, Warszawa 2002r
3. Bryda P., Kędra Z.: Zastosowanie sieci neuronowych w analizie nośności konstrukcji przeszłowej mostu składanego DMS-65. XI Konferencja Naukowo-Techniczna „Inżynieria i zarządzanie w sytuacjach kryzysowych” T.2 Warszawa- Rynia 2000r
4. Studia i analiza projektowa wykorzystania wojskowych konstrukcji składanych do budowy obiektów komunikacyjnych. WAT, Warszawa 2000r, Grant T00A 039 18
5. Jarzyna J. R.: Sztuczne sieci neuronowe jako narzędzie oceny czasu montażu mostu tymczasowego. XI Konferencja Naukowo-Techniczna „Inżynieria i zarządzanie w sytuacjach kryzysowych” T.2 Warszawa- Rynia 2000r
6. Marszałek J., Bryda P.: Analiza ryzyka pracy konstrukcji mostu składanego w warunkach ponadnormatywnych obciążeń. Materiały konferencyjne Konferencja Naukowo-Techniczna „Mosty w drodze do XXI wieku” Gdańsk – Jurata 1997r
7. Marszałek J., Bryda P.: Analiza wpływu liczby uszkodzonych elementów na nośność mostu składanego. Materiały konferencyjne X Seminarium „Współczesne metody wzmacniania i przebudowy mostów” Poznań 2000r
8. Murawka J.: Systemy ekspertowe. Wyd. Naukowo-Techniczne, Warszawa 1996r
9. Murzewski J.: Niezawodność konstrukcji inżynierskich " Arkady Warszawa 1989r
10. Osowski S.: Sieci neuronowe do przetwarzania informacji. Oficyna Wydawnicza PW Warszawa 2000r.
11. RoboBat: Podręcznik użytkownika. Program ROBOT 97 " RoboBat Kraków 1999r
12. Słowiński B.: Podstawy badań i oceny niezawodności obiektów technicznych. Wyd. Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 1996r
13. StatSoft: Wprowadzenie do sieci neuronowych. StatSoft Kraków 2001r
14. Szelka J.: Obiektowy zapis wiedzy w systemach eksperckich wspomagających budowę mostów wojskowych. WAT, Warszawa 1999r
15. Szelka J., Rzeczkowski L.: Systemy eksperckie w projektowaniu budowy mostów wojskowych. Biuletyn WAT, Warszawa 1998r
16. Tadeusiewicz R.: Sieci neuronowe. Akademicka Oficyna Wydawnicza RM, Warszawa 1993r

ROZDZIAŁ 6 EKSPLOATACJA I UTRZYMANIE MOSTÓW SKŁADANYCH

6.1. Charakterystyka systemu eksploatacji

Zgodnie z PN-93/N 50191 *eksploatacją* jest zespół wszystkich działań technicznych i organizacyjnych mających na celu umożliwienie obiektowi eksploatacji wypełnienie wymaganych funkcji, włącznie z koniecznym dopasowaniem do zmian warunków zewnętrznych.

Do najbardziej istotnych problemów teorii eksploatacji zaliczyć można:

- niezawodność systemów technicznych, diagnostykę systemów technicznych,
- sterowanie procesem eksploatacji,
- zabezpieczenie systemu eksploatacji,
- badanie systemu w jego otoczeniu (człowiek, środowisko),
- przygotowanie kadr technicznych zajmujących się eksploatacją.

Ważnym pojęciem z obszaru eksploatacji jest *system* [1] rozumiany jako zbiór elementów i zachodzących pomiędzy nimi relacji warunkujących realizację zadań w ściśle określonym przedziale czasu. Względny użytkowość determinują klasyfikowanie systemów wg stopnia wpływu uszkodzeń na ich funkcjonalność, jakość funkcjonowania w okresie użytkowania oraz możliwości odnowy funkcjonowania w czasie prowadzonych prac utrzymania. Systemy można ogólnie podzielić na:

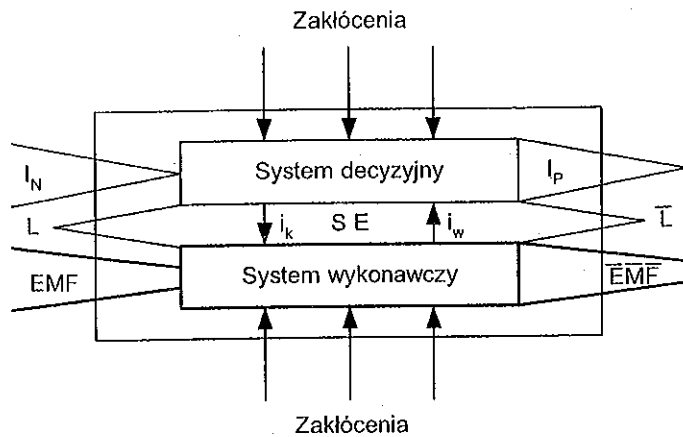
Systemy proste – charakteryzujące się dwoma stanami: poprawnego użytkowania i uszkodzenia.

Systemy złożone - w przypadku których znajomość funkcjonalnej nie jest wystarczająca dla określenia stopnia ich uszkodzenia. W systemach tych uszkodzenie elementu nie prowadzi do nie prowadzi do uszkodzenia systemu lecz zmniejsza jego użyteczność.

Systemy jednokrotne – tj. systemy których powtórne zastosowanie jest niemożliwe bądź nieuzasadnione. Dla tego typu systemów charakterystyczny jest długotrwały etap przechowywania, po czym następuje etap obsługi technicznego i przygotowanie do użytkowania.

Systemy wielokrotne - można je wykorzystywać wielokrotnie w określonym przedziale czasowym. Dla tego typu systemów charakterystyczne są okresy: przechowywania (składowania), obsług technicznych, remontów oraz przygotowania do użytkowania. Przykładem tego typu systemów są konstrukcje mostów składanych.

W systemie eksploatacji wyróżnić można system (podsystem) decyzyjny (SD) oraz system (podsystem) wykonawczy (SW) (rys. 6.1).

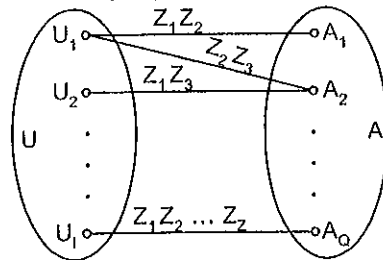


Rys. 6.1. System decyzyjny i system wykonawczy w systemie eksploatacji

System użytkownika (SU) jest znany, jeżeli jest znana następująca czwórka uporządkowana (rys. 6.2):

$$SU = \langle U, Z, A, R_u \rangle$$

gdzie: U - zbiór użytkowników,
 Z - zbiór rodzajów użytkownika wynikających z zadań świadczonych dla zbioru użytkowników U ,
 R_u - zbiór relacji określających rozkład zbioru użytkowników U i zbioru rodzajów użytkownika Z względem bazy użytkowej A ,
 A - zbiór obiektów bazy użytkowej.



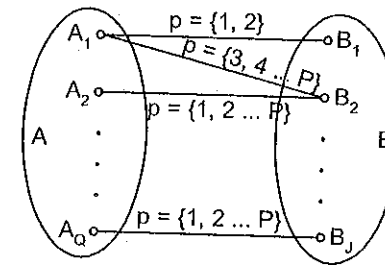
Rys. 6.2. Graf systemu użytkownika

Systemem obsługi (SO) można nazwać następującą czwórkę uporządkowaną (rys. 6.3):

$$SO = \langle A, O, B, R_o \rangle$$

gdzie: O - zbiór rodzajów usług,

B - zbiór obiektów bazy obsługowej,
 R_o - rozkład bazy użytkowej A i rodzajów usług O w bazie obsługowej B .



Rys. 6.3. Grafy systemu obsługi

System kierowania eksploatacją (SK) jest znany, jeżeli jest znana następująca czwórka uporządkowana:

$$SK = \langle D_E, R_E, B_I, R_K \rangle$$

gdzie: D_E - zbiór elementów decyzyjnych (kierownictwo eksploatacji),
 R_E - zbiór elementów wykonawczych (realizatorów) eksploatacji,
 B_I - baza informatyczna,
 R_K - zbiór relacji opisanych na elementach zbiorów D_E, R_E, B_I , który określa: kto, czym kieruje i jakimi środkami.

Zarządzanie (kierowanie, dowodzenie) eksploatacją jest procesem wymuszającym osiągnięcie celu ustalonego przez kierującego, szerzej jest zbiorem czynności organizacyjnych (grupowania ludzi, przedmiotów oraz ustalania reguł postępowania), planowania (podejmowania decyzji dotyczących przyszłości eksploatacji), sterowania (ustalania i wprowadzania norm) oraz zasilania systemów w środki działania.

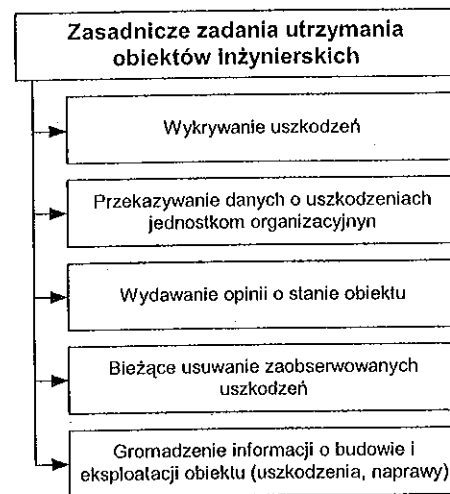
6.2. Zasady eksploatacji i utrzymania mostów składanych

Obecnie na składach znajduje się znaczna liczba zestawów konstrukcji mostów składanych, zarówno drogowych jak i kolejowych. Obecnie zapotrzebowanie wojska na tego typu konstrukcje zmalało ze względu na zmniejszoną liczebność armii. Często niczym nicosłonięte elementy konstrukcji wojskowych mostów składanych na składowiskach niszczone pod wpływem warunków atmosferycznych tracąc swoje walory użytkowe, dlatego bardzo istotne jest ich szybkie gospodarowanie na potrzeby gospodarki narodowej.

Ze względu na zniszczenia w obiektach mostowych wywołanych falami podwodnymi zwiększyło się zapotrzebowanie na budowę wielu konstrukcji

mostowych małych i średnich rozpiętości. Wykorzystanie gotowych konstrukcji przyspieszyłoby czas przygotowania konstrukcji do eksploatacji, a ich znaczna liczba zapewniłaby możliwość wybudowania dużej liczby obiektów. Rozwiązałoby to w znacznym stopniu problem przywrócenia sprawnej komunikacji na terenach popowodziowych, a jednocześnie mogłoby stanowić alternatywę dla mostów niskowodnych o konstrukcji tymczasowej, które uległy zniszczeniu lub, których czas eksploatacji dobiega końca.

Utrzymanie konstrukcji mostów składanych na składach wymaga ich właściwego zabezpieczenia, które powinno obejmować odpowiedni sposób składowania oraz zapewnienie właściwej ochrony antykorozyjnej. Są to podstawowe elementy obsługi technicznego w systemie eksploatacyjno - utrzymawym. Zasadnicze zadania tego systemu przedstawia rys. 6.4 [5].



Rys. 6.4. Zasadnicze zadania w systemie eksploatacyjno - utrzymawym obiektów inżynierskich, w tym mostów składanych

Obiekty komunikacyjne z konstrukcji składanych budowane są w celu okresowego wypełniania zadanych funkcji użytkowych. Eksploatacja takich obiektów, oprócz wymagań i ograniczeń eksploatacyjnych stawianych przez użytkowników, musi spełniać także wymagania i ograniczenia specyficzne dla konstrukcji składanych.

Do podstawowych wymagań i ograniczeń użytkowania obiektów komunikacyjnych budowanych z konstrukcji składanych można zaliczyć:

- podstawowe funkcje użytkowe, takie jak: bezpieczeństwo, nośność, skrajne parametry trakcyjne (np. przepustowość, natężenie ruchu, gęstość ruchu, łuki pionowe i poziome, spadki podłużne i poprzeczne),

lokalizacja, czas, wymagania ciągłości i możliwości zawieszenia użytkowania lub warunki użytkowania tymczasowego itp.;

koszty użytkowania.

Do podstawowych wymagań i ograniczeń obsługi obiektów komunikacyjnych budowanych z konstrukcji składanych należą:

podstawowe wymagania obsługi zapewniające wypełnienie podstawowych funkcji użytkowych obiektów, ze względu na zużycie normatywne użytkownika (zużycie użytkowe) i resurs użytkowy, nośność, ugięcia, trwałość, bezpieczeństwo, niezawodność, starzenie techniczne, korozję, zakres uszkodzeń montażowych, transportowych itp.;

koszty obsługi.

Ogólnie problemy eksploatacji obiektów komunikacyjnych dotyczą:

zarządzania eksploatacją,

użytkowania obiektów,

obsługi obiektów,

logistyki eksploatacji.

Oczywiście w systemie eksploatacji problemy te powinny być rozwiązane już w etapie projektowania. System eksploatacji natomiast, powinien być zdolny do efektywnego zarządzania eksploatacją, zapewnienia efektywnego użytkownika i obsługi konstrukcji składanych i obiektów komunikacyjnych zbudowanych z tych konstrukcji.

Proces eksploatacji – zespół wszystkich działań technicznych i organizacyjnych mających na celu umożliwienie obiektowi wypełnienia wymaganych funkcji, włącznie z koniecznym dopasowaniem do zmian warunków zewnętrznych – to ciąg zdarzeń wymuszanych użytkowaniem i obsługiwaniem konstrukcji składanych, które powodują zmianę stanu technicznego i zdolności wypełniania wymaganych funkcji oraz mają decydujący wpływ na koszty i niezawodność obiektów komunikacyjnych. W tym sensie proces eksploatacji to proces zmiany stanu konstrukcji składanych, wymuszony przez procesy użytkowania i obsługi.

W procesie użytkowania zaspokajane są potrzeby inwestora poprzez wypełnianie przez konstrukcję zadanych funkcji użytkowych. Powoduje to zużycie techniczne konstrukcji, które wraz z naturalnym zużyciem technicznym (starzenie, korozja itp.) zmienia jej stan techniczny. Oznacza to pogarszanie się parametrów technicznych tych elementów i konstrukcji jako całości oraz obniżenie zdolności do wypełniania funkcji użytkowych, powoduje konieczność jej obsługi i oczywiście powoduje określone koszty.

W procesie obsługi określany jest stan techniczny konstrukcji, wykonywane są niezbędne zabiegi profilaktyczne, konstrukcja jest naprawiana, remontowana lub złomowana. Procesy obsługi, w zależności od ich rodzaju i zakresu, mogą być realizowane podczas pełnego lub ograniczonego użytkownika konstrukcji lub jako samodzielne procesy eksploatacyjne – realizowane jest wówczas tylko obsługiwanie. Obsługiwanie jest istotnym warunkiem utrzymania niezawodności i trwałości konstrukcji.

Zakłada się, że stany techniczne użytkowania określone są na konstrukcji zdatnej - zdolnej do wypełniania funkcji użytkowych. Można przy tym rozpatrywać zdolność pełną i ograniczoną. W przypadku zdolności pełnej obiekty komunikacyjne zbudowane z konstrukcji składanych mogą wypełniać wszystkie pierwotnie założone funkcje użytkowe. Zdolność ograniczona oznacza, że pewne funkcje użytkowe nie są wypełniane lub są wypełniane w ograniczonym zakresie. Stan użytkowy konstrukcji opisywany będzie w odniesieniu do danego kompletu konstrukcji składanej. Wówczas stan użytkowy konstrukcji składanej, a więc jej zdolność do wypełniania funkcji użytkowych, można opisać przy pomocy następujących podstawowych parametrów i charakterystyk użytkowych:

- zdolność do przenoszenia obciążeń użytkowych,
- stopień wypełniania funkcji użytkowych,
- użytkowe parametry geometryczne,
- lokalizacja konstrukcji.

W typowym procesie eksploatacji konstrukcji składanych, w tym też obiektów komunikacyjnych budowanych z konstrukcji składanych, można wyróżnić procesy eksploatacyjne, które stanowią zbiór zupełny i decydują o stanie użytkowym konstrukcji składanych. Klasyfikację procesów eksploatacyjnych przedstawiono w tablicy 6.1.

Tablica 6.1

Klasa	Rodzaj	Typ	Uwagi
Użytkowanie	Użytkowanie właściwe		Wypełnianie funkcji użytkowych konstrukcji
	Użytkowanie „jałowe”		Stan gotowości użytkowej sprawnej konstrukcji
Obsługiwanie	Obsługiwanie techniczne budowy	Montaż	Wznoszenie
		Demontaż	Rozbiórka
		Transport	
	Obsługiwanie techniczne zdolności	Diagnostyka stanu konstrukcji	Kontrola procesu eksploatacji i wypełniania funkcji użytkowych lub ocena zakresu niezbędnych prac obsługowych
	Obsługiwanie techniczne utrzymania	Przechowywanie	
		Naprawy bieżące	
		Remontowanie	
Likwidacja		Złomowanie	

Dla typowej eksploatacji konstrukcji mostów składanych można wyróżnić następujące podstawowe stany eksploatacyjne użytkowania i obsługiwanie [9]:

1. Wprowadzenie do eksploatacji, w tym:
 - a) odbiór nowej konstrukcji,
 - b) przygotowanie do eksploatacji,
 - c) przekazanie do eksploatacji.
2. Utrzymywanie gotowości technicznej konstrukcji, w tym:
 - a) przechowywanie,

- b) konserwacja,
 - c) przeglądy - diagnozowanie magazynowe,
 - d) operacje przekazywania i przyjmowania.
3. Transportowanie - dowóz konstrukcji do miejsca realizacji poszczególnych faz eksploatacyjnych, w tym:
 - a) przegląd przed załadunkiem i po rozładunku - diagnozowanie transportowe,
 - b) załadunek,
 - c) przewóz,
 - d) rozładunek,
 - e) czynności spedycyjne.
4. Montaż - wznoszenie konstrukcji w miejscu jej użytkowania, w tym:
 - a) prace pomocnicze,
 - b) właściwe prace montażowe,
 - c) sprawdzenie techniczne wykonania i oddanie do eksploatacji - diagnozowanie powykonawcze.
5. Użytkowanie - wykorzystanie celowe konstrukcji poprzez wypełnianie jej funkcji użytkowych:
 - a) praca użyteczna konstrukcji,
 - b) gotowość do przenoszenia obciążeń użytkowych o określonej intensywności,
 - c) kontrola normatywna użytkowania - kontrola prawidłowości użytkowania, diagnozowanie stanu zdolności użytkowej powinna mieć charakter stały.
6. Naprawy bieżące realizowane w zależności od potrzeb po przeglądzie technicznym konstrukcji - usuwanie małych uszkodzeń eksploatacyjnych podczas użytkowania, w tym:
 - a) przegląd techniczny konstrukcji - diagnozowanie stanu technicznego pod kątem bezawaryjnego użytkowania i potrzeb naprawy:
 - nadzór techniczny stały, który obejmuje oględziny, pomiar i ocenę stanu: zewnętrznych elementów konstrukcyjnych, łączników (śruby, sworznie,) i ich zamocowania i dokręcenia, wysokości łożysk i ich ogólnego stanu, szczególnie na podporze hamownej, stanu dźwigarów głównych (kratownic, poprzecznic, podłużnic i stężeń wiatrowych, stanu przyczółków, a szczególnie dylatacji, stanu jezdni drewnianej, krawężników i chodnika dla pieszych, rozmycia dna przy podporach,
 - nadzór techniczny okresowy - przeprowadzany przez komisję, której przewodniczy specjalista z wymaganymi uprawnieniami, po pierwszym tygodniu użytkowania i po kolejnych dwóch tygodniach, a następnie po dwóch miesiącach użytkowania raz w miesiącu - powinien obejmować badanie i dokładne sprawdzenie: wszystkich połączeń sworzniowych i śrubowych, stanu dźwigarów głównych, nawierzchni i dylatacji, stanu i zabezpieczenia chodnika, ustawienia łożysk, geometrii podpór, wielkości osiadania, rozmycia, deformacji itp.

- badania specjalistyczne i ekspertyzy na zakończenie okresu rękojmi oraz co pięć lat eksploatacji.
 - b) wykonanie prac naprawczych - naprawa uszkodzonych elementów, prace konserwacyjne itp.,
 - c) odbiór robót i przekazanie do eksploatacji - diagnozowanie powykonawcze.
7. Demontaż - zakończenie użytkowania i rozbiórka konstrukcji, w tym:
 - a) prace pomocnicze,
 - b) demontaż właściwy,
 - c) ogólna kontrola stanu technicznego elementów
 - d) przekazanie elementów do transportu,
 - e) likwidacja placu budowy.
 8. Transport pomocniczy - dowóz elementów konstrukcji do miejsca realizacji danej fazy eksploatacji, w tym:
 - a) załadunek,
 - b) przewóz elementów do remontu lub złomowania,
 - c) rozładunek.
 9. Remontowanie, realizowane w zależności od potrzeb po przeglądzie technicznym konstrukcji (np. po pięciu latach eksploatacji) - planowe lub wymuszone usuwanie większych uszkodzeń poprzez naprawę lub wymianę elementów, w tym:
 - a) przegląd techniczny konstrukcji wg punktu 6a - diagnozowanie stanu technicznego z punktu widzenia realizacji remontem,
 - b) wykonanie prac remontowych, np. wymiana zniszczonych elementów,
 - c) odbiór robót i przekazanie do eksploatacji - diagnozowanie powykonawcze.
 10. Likwidacja konstrukcji lub jej elementów, w tym:
 - a) prace pomocnicze,
 - b) przygotowanie do utylizacji,
 - c) utylizacja materiałów konstrukcyjnych i złomowanie konstrukcji.

Proces eksploatacyjny, realizacja poszczególnych faz procesu i proces przejść pomiędzy stanami, wymuszany jest przez operacje użytkowania i obsługi. Czas trwania poszczególnych faz zależy od stanu początkowego konstrukcji, wypełnianych funkcji użytkowych i warunków eksploatacji. Każdy kolejny stan konstrukcji, mimo, że pośrednio zależy od wszystkich poprzednich stanów eksploatacyjnych, wynika wprost ze stanu bezpośrednio poprzedzającego. Ponadto, można przyjąć, że zmiana stanu konstrukcji zależy od rodzaju i czasu trwania fazy eksploatacji. W typowym procesie eksploatacji współzależność poszczególnych stanów jest jednoznacznie określona, co do następstwa i rodzaju.

Utrzymanie konstrukcji mostów składanych powinno zawierać następujące elementy:

- zabezpieczenie konstrukcji przed korozją, zarówno podczas jej składowania jak i podczas eksploatacji,

usuwanie uszkodzeń powstałych w trakcie eksploatacji od przeciążeń jak i uszkodzeń mechanicznych (np. od uderzeń przejeżdżających pojazdów), usuwanie uszkodzeń powstałych podczas normalnej eksploatacji, usuwanie zanieczyszczeń z konstrukcji.

Do realizacji zadań utrzymania konstrukcji mostów składanych niezbędne są wyspecjalizowane zespoły. W skład takiego zespołu, odpowiadającego za utrzymanie obiektu, powinni wchodzić ludzie z odpowiednimi kwalifikacjami. Zespołem kierować powinni inżynierowie i technicy o specjalnościach mostowych, posiadający doświadczenie w zakresie utrzymania obiektów mostowych. Dodatkowo w zespole utrzymania obiektów mostowych powinni znajdować się wykwalifikowani robotnicy, których zadaniem jest wykonywanie specjalistycznych prac remontowo - eksploatacyjnych. W skład służb utrzymania powinni być również zatrudniani robotnicy niewykwalifikowani do takich czynności jak: sprzątanie jezdni i chodników, malowanie i czyszczenie elementów konstrukcji oraz dokonywanie drobnych napraw.

Specyfika pracy konstrukcji mostów składanych polega na występowaniu montażowych luzów technologicznych pomiędzy składnikami, braku odwodnienia oraz stałych elementów wyposażenia takich jak oświetlenie czy nawierzchni spełniającej wymagania dla obiektów stałych. Powoduje to podczas eksploatacji w warunkach cywilnych zaburzenia w dotychczasowej pracy konstrukcji, przy jednoczesnym występowaniu pewnych cech użytkowych takich jak np. stosunek masy przęsła do masy poruszającego się pojazdu, czy ugięcia konstrukcji od luzów montażowych (niewystępującego w konstrukcjach monolitycznych), na niezmiennym poziomie[9].

Obecnie przy projektowaniu obiektów mostowych z konstrukcji składanych rzadko uwzględnia się tę specyfikę, co często ma wpływ na spadek nośności i trwałości konstrukcji. Dokonanie oceny trwałości eksploatowanych mostów składanych, zwłaszcza w dłuższym okresie czasu, wymaga od potencjalnych wykonawców uwzględnienia specyfiki pracy tych konstrukcji w celu określenia zasad bezpiecznej ich pracy w nowych warunkach eksploatacji [2].

6.2.1. Utrzymanie konstrukcji mostów składanych

Konserwacja eksploatowanych mostów składanych polega na utrzymaniu konstrukcji w stanie odpowiadającym wymaganiom ruchu oraz niedopuszczenia do jej zniszczenia na skutek warunków atmosferycznych i normalnego użytkowania obiektu. Podczas rutynowych prac konserwacyjnych na obiektach z mostów składanych powinny być wykonywane następujące czynności:

- sprawdzenie stanu zabezpieczenia łączników sworzniowych i śrubowych w elementach konstrukcji mostu,
- utrzymanie w czystości jezdni i chodników,
- czyszczenie urządzeń odwadniających (jeżeli występują),
- czyszczenie oraz konserwacja miejsc połączeń i łożysk,
- sprawdzenie zamocowania tężników wiatrowych,

– sprawdzenie stanu zabezpieczenia antykorozyjnego elementów konstrukcji.
Projekt zabezpieczenia antykorozyjnego w przypadku naprawy, modernizacji oraz renowacji stalowej konstrukcji mostów składanych powinien składać się z trzech części [3]:

- założenia techniczne w formie danych wyjściowych do projektu technologii renowacji powłok antykorozyjnych,
- projekt technologiczny renowacji tych powłok,
- projekt organizacji robót renowacji.

Renowacje zabezpieczeń antykorozyjnych konstrukcji mostów składanych można podzielić na następujące zakresy prac [4]:

- konserwacja powłok,
- renowacja miejscowa,
- renowacja całkowita zabezpieczenia antykorozyjnego z całkowitym usunięciem starych powłok bądź z pozostawieniem części lepiej zachowanych powłok.

Ochronne powłoki malarskie elementów stalowych ulegają procesowi starzenia. Proces ten polega na zachodzeniu reakcji w powłoce w wyniku czego staje się ona sztywniejsza, bardziej krucha i podlega uszkodzeniom. Podstawowymi czynnikami procesu starzenia się powłok malarskich są:

- zmiany temperatury otoczenia,
- promieniowanie ultrafioletowe i podczerwone światła słonecznego,
- wilgotność i skład powietrza.

Podstawowymi objawami zewnętrznymi świadczącymi o zachodzących procesach starzenia się powłok malarskich są:

- zmiana koloru powłoki,
- matowienie,
- pojawienie się miejscowych spękań i złuszczeń,
- zmniejszenie elastyczności powłoki.

Wybierając sposób zabezpieczenia antykorozyjnego można posługiwać się jedną z trzech zasad [6]:

- projektować zabezpieczenie antykorozyjne takie samo dla całej konstrukcji, przyjmując za punkt odniesienia najgorsze warunki korozyjne,
- zróżnicować sposób zabezpieczenia przed korozją powierzchni trudno dostępnych i łatwo dostępnych, uznając za kryterium trwałość zaprojektowanej ochrony przed korozją,
- zaprojektować dla całego obiektu podstawową powłokę antykorozyjną, dla najlepszych warunków korozyjnych, a w miejscach, gdzie warunki te są bardziej agresywne - wzmacniać ochronę korozyjną warstwami tej samej powłoki antykorozyjnej.

Na ochronne warstwy antykorozyjne można stosować różne materiały i technologic. Racjonalny dobór zabezpieczenia przed korozją musi być poprzedzony analizą techniczno-ekonomiczną, uwzględniającą m.in. następujące aspekty [5, 6]:

- agresywność korozyjną środowiska eksploatacji powłoki antykorozyjnej,

– miejsce wykonania powłok antykorozyjnych (np. wytwórnia czy plac składowania),

– możliwości uzyskania odpowiedniego stopnia czystości zabezpieczonej powierzchni,

– możliwości zaopatrzenia się wykonawcy w materiały i sprzęt do wykonania zaprojektowanego sposobu ochrony przed korozją,

– przewidywanej technologii i organizacji robót antykorozyjnych,

– stan powierzchni do zabezpieczenia przeciwkorozyjnego,

– wymagany okres trwałości powłoki malarskiej,

– czas do przeprowadzenia prac uwzględniający warunki atmosferyczne (temperatura, wilgotność powietrza) oraz konieczność sezonowania powłoki malarskiej przed eksploatacją,

– uwzględnienie wielu czynników właściwych powłoce (elastyczność, odporność mechaniczna, chemiczna itd.),

– uwzględnienie warunków i technicznych możliwości malowania (rusztowania, osłony, parametry aparatu do natrysku itp.),

– uwzględnienie właściwości farby w odniesieniu do procesu malowania (czas schnięcia, temperatura podłoża, wilgotność otoczenia, grubość warstwy itd.),

– trwałość powłoki malarskiej w relacji do poniesionych kosztów i przewidywanego okresu eksploatacji,

– ekologiczny - zawartość składników toksycznych w stosowanych materiałach, utylizacja odpadów.

Wyróżnić można dwa zasadnicze sposoby ochrony powierzchniowej stalowych elementów konstrukcji mostów składanych. Pierwszym z nich są powłoki metaliczne. Polega to na pokrywaniu powierzchniowym stali cienką warstwą metalu, mającego wyraźnie wyższą odporność na działanie czynników korozyjnych.

Powłoki metaliczne ze względu na różnicę potencjału pomiędzy pokrywającym elementem a materiałem pokrywającym można podzielić na:

– powłoki z metali bardziej szlachetnych od pokrywanej stali (powłoki katodowe) takich jak np. Cu, Ni, Cr, Pb Powłoki tego typu powinny być szczelne ze względu iż w przypadku występowania nieciągłości sięgających chronionego podłoża występuje układ elektrochemiczny, w którym powierzchnia anodowa jest mała, a katodowa duża, co może powodować wystąpienie w miejscach nieciągłości intensywnej korozji wżerowej.

– powłoki z metali mniej szlachetnych od pokrywanej stali (powłoki anodowe - protektorowe) wykonane np. z cynku lub kadmu. Warunek szczelności tego typu powłok nie musi być rygorystycznie przestrzegany z tego względu, iż powłoka z metalu o niższym potencjale elektrochemicznym niż stal ma właściwości anody. W wyniku tego powłoka stanowi protektor w stosunku do metalu podłoża. Nieszczelności powłoki powodują powstanie ogniw korozyjnego, jednakże korozji podlega metal chroniący (anoda), a nie chroniony (katoda).

Powłoki metaliczne mogą być wykonywane dwiema metodami, pierwsza z

nich polega na zanurzeniowym pokrywaniu chronionych przed korozją elementów, druga natomiast na pokrywaniu natryskowym. Ze względu na znaczne rozmiary tylko niektóre elementy wojskowych mostów składanych mogą być pokrywane pierwszą metodą.

Drugim sposobem ochrony powierzchniowej elementów konstrukcji stalowych mostów składanych są powłoki ochronne niemetalowe. Powłoki te najczęściej występują w postaci farb, lakierów, asfaltu, smoły lub jako preparaty na bazie żywic epoksydowych albo poliuretanowych. Obecnie stosowane farby w nowoczesnych systemach powłokowych to [7]:

- grubo-powłokowe epoksydy o wysokiej zawartości części stałych,
- grubo-powłokowe poliuretany,
- nieorganiczne farby cynkowo-silikonowe,
- hybrydowe farby siloksanowo-epoksydowe i siloksanowo-akrylowe itp.,
- bezsmołowe farby epoksydowo-bitumiczne.

Wymienione materiały powłokowe do zabezpieczeń powłoki mają bardzo dobrą przyczepność do podłoża, zarówno do stali, jak i powierzchni ocynkowanych. Dlatego też powyższe stosowane systemy zabezpieczeń oparte są zazwyczaj na wcześniej naniesione powłoki metaliczne.

Preparaty tego typu mogą zawierać ponadto różne dodatki zwiększające ich odporność korozyjną (np. błyszcz żelaza). Dużą zaletą farb epoksydowych i poliuretanowych jest możliwość ich nakładania jednorazowo w stosunkowo grubą warstwę, rzędu $100 \pm 25 \mu\text{m}$, a w przypadku farb poliuretanowych nawet o grubościach do $2000 \mu\text{m}$. Wadą farb epoksydowych jest brak odporności na niszczące działanie promieniowania ultrafioletowego (UV). W związku z tym, mogą być stosowane bez specjalnego zabezpieczenia powierzchniowego tylko na powierzchniach nieoświetlonych. Odporne na działanie promieniowania UV są natomiast farby epoksydowo-siloksanowe oraz farby poliuretanowe, nie wymagają dodatkowej powłoki powierzchniowej [5].

Dobór zestawu materiałów do wykonywania powłoki malarskiej powinien określać [3]:

- rodzaj materiału na warstwy gruntujące, grubość poszczególnych warstw w stanie mokrym i suchym oraz sumaryczną grubość tych warstw,
- wymagany stopień oczyszczenia i sposób przygotowania podłoża,
- rodzaje materiału na warstwy pośrednią i wierzchnią, grubości poszczególnych warstw w stanie mokrym i suchym oraz sumaryczną grubość tych warstw i całej powłoki malarskiej.

6.2.2. Zasady eksploatacji mostów składanych

System eksploatacji mostów składanych musi zapewniać efektywne użytkowanie i obsługiwanie konstrukcji.

W łańcuchu obsługiwanym, zespoły utrzymania przy pomocy określonych narzędzi realizują zadane operacje obsługowe. Operacje te mogą być realizowane

w różnym zakresie, podczas użytkowania konstrukcji lub jako operacje samodzielne. Wyposażenie zespołu obsługiwanego powinno być następujące:

- środki łączności np. radiotelefony,
- klucze do dokręcania śrub, młoty, łomy itp.,
- sprzęt gaśniczy, sprzęt do czyszczenia, konserwacji i utrzymania chodnika,
- środki pływające umożliwiające dopłynięcie do podpór,
- sprzęt do holowania pojazdów unieruchomionych na moście,
- komplet znaków drogowych umożliwiających zamknięcie mostu dla ruchu zarówno w dzień jak i w nocy,
- sprzęt uzupełniający odpowiednio do potrzeb sytuacyjnych.

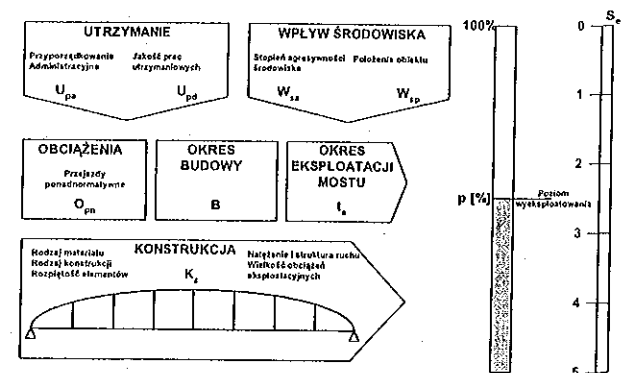
Efektywność procesów użytkowania i obsługiwanego wymaga kierowania całym procesem eksploatacji.

Struktura systemu eksploatacji zależy od uwarunkowań systemowych i naturalnych warunków eksploatacji konstrukcji składanych. Charakterystyka techniczna konstrukcji składanych, ich przeznaczenie i zasady eksploatacji powodują, że po ich wybudowaniu jeden system eksploatacji może obejmować kilka obiektów komunikacyjnych. Struktura i możliwości takich systemów dostosowywane są do konkretnych potrzeb i uwarunkowań eksploatacyjnych.

Przedstawione zasady eksploatacji konstrukcji składanych pozwalają zaprojektować proces eksploatacji i strukturę systemu eksploatacji ze względu na specyfikę obiektów komunikacyjnych oraz koszty eksploatacji w konkretnych, rzeczywistych uwarunkowaniach eksploatacyjnych.

6.2.3. Model zużycia mostów stalowych

Ocena stanu konstrukcji mostów stalowych opiera się na modelu zużycia mostów stalowych opracowanym przez IBDiM w 2001 roku [m.in. 8]. Czynniki biorące pod uwagę przy szacowaniu poziomu zużycia mostów stalowych przedstawia rys. 6.5.



Rys. 6.5. Czynniki wpływające na poziom wyeksploatowania mostów stalowych

Poziom p zużycia mostów stalowych wyznacza się z zależności:

$$p = \frac{W \cdot t_e}{M \cdot T} \quad (6.1)$$

gdzie: W – współczynnik zależny od konstrukcji i jej utrzymania,
 t_e – wiek mostu,

M – współczynnik zależny od rodzaju mostu,
 T – zakładany okres używalności mostu,

$$W = K_z \cdot O_{pm} \cdot U_{pu} \cdot U_{pd} \cdot W_{sa} \cdot W_{sp} \cdot B \quad (6.2)$$

K_z – współczynnik zmęczenia konstrukcji

$$K_z = 1,33 \left(2 \cdot \frac{10^6}{N_{\Delta n}} \cdot a \cdot b \right)^{\frac{1}{3}} \quad (6.3)$$

gdzie: $N_{\Delta n}$ – równoważnik ilości cykli obciążenia,

a – stała wytrzymałości statycznej,

b – wykładnik wytrzymałości zmęczeniowej,

Współczynnik obciążenia O_{pm} zależy od ilości przejazdów pojazdów ponadnormatywnych. Dla mostów drogowych przyjmowany jest:

– obciążenie kołowe 125 kN przy ilości przejazdów pojazdów ponadnormatywnych:

$$\leq 10 \text{ rocznie} \quad \Rightarrow O_{pm} = 1,00$$

$$> 10 \text{ rocznie} \quad \Rightarrow O_{pm} = 1,10$$

– obciążenie kołowe >125 kN przy ilości przejazdów pojazdów ponadnormatywnych:

$$\leq 10 \text{ rocznie} \quad \Rightarrow O_{pm} = 1,10$$

$$10 \div 20 \text{ rocznie} \quad \Rightarrow O_{pm} = 1,20$$

$$> 20 \text{ rocznie} \quad \Rightarrow O_{pm} = 1,30$$

U_{pu} – współczynnik utrzymania zależny od administratora

$$U_{pu} = \frac{3,0}{S_{av}} \quad (6.4)$$

gdzie: 3,0 – szacowany najniższy poziom techniczny wymagany dla bezpieczeństwa użytkowania mostu,

S_{av} – szacowany średni poziom techniczny mostów na sieci drogowej lub kolejowej (na podstawie inspekcji),

U_{pd} – współczynnik utrzymania zależny od kategorii dróg lub linii kolejowych:

dla obiektów sieci dróg krajowych: $U_{pd} = 1,0$

dla obiektów w sieciach prowincjonalnych i innych: $U_{pd} = 1,3$

dla głównych linii kolejowych: $U_{pd} = 1,0$

dla innych obiektów sieci kolejowej: $U_{pd} = 1,25$

W_{sa} – współczynnik wpływu agresywności środowiska

$W_{sa} = 1,30$ – dla obiektów w rejonach Opola, Śląska i Krakowa,

$W_{sa} = 1,00$ – dla obiektów w pozostałych rejonach,

W_{sp} – współczynnik wpływu środowiska zależny od położenia obiektu:

$W_{sp} = 1,15$ – dla obiektów ponad drogami kolejowymi,

$W_{sp} = 1,10$ – dla obiektów nad rzekami i zbiornikami wodnymi,

$W_{sp} = 1,00$ – dla obiektów nad innymi przeszkodami,

B – współczynnik zależny od okresu wybudowania obiektu:

$B = 1,15$ – dla obiektów zbudowanych w latach 1989 ÷ 2001,

$B = 1,05$ – dla obiektów zbudowanych w latach 1970 ÷ 1989,

$B = 1,00$ – dla obiektów zbudowanych przed rokiem 1970,

T – przyjmowany okres używalności mostu, dla mostów drogowych $T = 120$ lat

$$T = a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 \cdot a_4 \cdot a_5 \cdot a_6 \cdot T_{max} \quad (7.5)$$

$T_{max} = 200$ lat (w Polsce),

a_1 – współczynnik zależny od materiałów konstrukcyjnych,

a_2 – współczynnik zależny od stopnia agresywności wody i powietrza,

a_3 – współczynnik obciążenia użytkowego,

a_4 – współczynnik jakości materiałów,

a_5 – współczynnik jakości wykonania konstrukcji,

a_6 – współczynnik jakości utrzymania,

M – współczynnik zależny od rodzaju mostu,

$M = 1,00$ – mosty kolejowe,

$M = 0,70$ – mosty drogowo-kolejowe,

$M = 0,90$ – mosty drogowo-kolejowe,

Po podstawieniu poszczególnych współczynników wzór na poziom zużycia mostów stalowych przyjmuje postać:

$$p = \frac{K_z \cdot O_{pm} \cdot U_{pu} \cdot U_{pd} \cdot W_{sa} \cdot W_{sp} \cdot B \cdot t_e}{M \cdot T} \quad (6.6)$$

Uzyskana wartość p pozwala ocenić stan wyeksploatowania mostu zgodnie z tablicą 6.2.

Tablica 6.2

S_e	P	
0	$p = 100$	Całkowite zużycie
1	$80 < p < 100$	Zużycie bliskie całkowitemu
2	$60 < p < 80$	Zaawansowane zużycie
3	$40 < p < 60$	Średnie zużycie
4	$20 < p < 40$	Początek zużycia
5	$0 < p < 20$	Obiekt nowy

6.2.4. Zasady oceny elementów mostów składanych

Szczegółowa ocena poszczególnych elementów mostów składanych powinna uwzględniać zarówno jego konstrukcję jak i charakterystykę pracy. Szczególną uwagę w konstrukcji należy zwrócić na strefę nad łożyskami, w której mogą występować uszkodzenia od pionowych sił reakcji podporowych. Ocena konstrukcji stalowych przeseł mostów składanych powinna być wykonywana przy uwzględnieniu następujących elementów:

- zachowanie właściwej geometrii całego obiektu,
- pęknięcia zarówno w elementach stalowych jak i w miejscach spawów,
- deformację elementów mostu,
- występowanie uszkodzeń mechanicznych,
- stopień skorodowania.

W dźwigach kratownicowych do elementów szczególnie narażonych na korozję można natomiast zaliczyć:

- pasy dolne dźwigarów, zwłaszcza w miejscach oparcia drewnianych elementów pomostów,
- dolne węzły kratownic, w obszarach ograniczonych pionowymi blachami węzłowymi,
- węzły oporowe i skrajne poprzecznic, tworzące przestrzenie trudne do oczyszczenia,
- szczeliny w stykach i ściankach prętów złożonych z kilku profili.

W belkach walcowanych poprzecznic należy sprawdzić czy wystąpiły wyboczenia w strefach ściskanych, pęknięcia oraz czy element nie koroduje. Do miejsc szczególnie narażonych na korozję można zaliczyć:

- górne powierzchnie pasów,
- blachy węzłowe wiatrownic,
- naroża wklęsłe.

Należy również sprawdzić czy nie występują deformacje zeber usztywniających poprzecznic, występowanie współosiowości pasów i średników blachownic oraz występowanie uszkodzeń od przecięcia. Trzeba też sprawdzić stan spoin czołowych w miejscach połączeń pasów ze średnikiem, połączenia z zebrami usztywniającymi i gniazdami wiatrownic.

W mostach składanych występują dwa typy połączeń, pierwszy z nich to połączenia śrubowe natomiast drugi połączenia sworzniowe. Wszystkie łączniki powinny być oznaczone na konstrukcji farbą lub pisakiem wodoodpornym. Kontrola podlega stan sworzni w przegubach sprawdzając, czy nakrętki i ich zawleczeni są we właściwych miejscach. Należy skontrolować czy łączniki śrubowe nie uległy poluzowaniu, zwłaszcza w strefach największych sił wewnętrznych (tj. momentów zginających i sił poprzecznych).

Należy sprawdzić stan węzłów, czy wystąpiły deformacje blach węzłowych lub pęknięcia spoin. Należy przeglądać dźwigary kratownicowe i elementy ich stężeń ze względu na uszkodzenia spowodowane uderzeniami pojazdów.

Na pęknięcia szczególnie narażone są elementy pracujące na rozciąganie, elementy narażone na procesy zmęczeniowe (pracujące na rozciąganie jak i na ściskanie) oraz elementy spawane. Spękania konstrukcji mostów składanych najczęściej występują w spoinach czołowych, w węzłach elementów kratownicowych i połączeniach elementów. Ponadto należy sprawdzić następujące miejsca w konstrukcji:

- na zakrzywionych odcinkach spoin,
 - przy ostrych narożach,
 - w miejscach przytwierdzenia gniazd połączeń (np. gniazda stężeń dźwigarów i gniazda wiatrownic pomostu),
 - w miejscach zmiany przekroju elementów.
- miejsca w konstrukcji, w których następuje koncentracja naprężeń.

Najbardziej wyęzione ze względu na ściskanie w mostach składanych są odcinki przypodporowe konstrukcji. Elementy w tych miejscach powinny być sprawdzone, czy są proste, bez załamań, wygięć i pęknięć [5]. Deformacja elementu ściskanego zwiększa możliwość wyboczenia i może stanowić zagrożenie dla całej konstrukcji mostu.

Należy sprawdzić połączenia krzyżulców krat dźwigarów oraz ich pasów. Mimośród w stykach tych elementów mają duży wpływ na ich prostoliniowość. W elementach rozciąganych sprawdza się, czy są pęknięcia. Każde pęknięcie, zmniejsza przekrój pracujący. Elementy pracujące na ściskanie i rozciąganie ulegają procesowi zmęczenia zwłaszcza w mostach składanych, które ze względu na swoją specyfikę są słabo usztywnione, objawem tego są duże drgania elementów, a nawet kołatanie.

Należy sprawdzić stan powłoki malarskiej i zakres jej zniszczenia oraz stopień zaawansowanie korozji. Uszkodzeniom przez korozję sprzyja kształt elementów mostów składanych i miejsca, w których występują połączenia. Bardzo wrażliwe na korozję są elementy styków, szczególnie w wyniku oddziaływania zanieczyszczeń z jezdni, w których utrzymuje się wilgoć i osady.

6.3. Wybrane czynniki uszkodzeń i degradacji konstrukcji mostów składanych

6.3.1. Korozja stalowych konstrukcji mostowych

Przebieg i prędkość korozji zależy w dużym stopniu od kształtu elementu narażonego na korozję oraz lokalizacji konstrukcji. Konstrukcje mostów nie można odizolować od oddziaływania środowiska, w związku z powyższym tylko wykonanie odpowiednich prac zabezpieczających może zmniejszyć jej podatność na procesy korozyjne. Dotyczy to zwłaszcza takich zagadnień, jak:

- sprawne i szybkie odprowadzanie wody (unikanie powstawania miejsc, w których może gromadzić się woda),
- łatwość w osuszaniu konstrukcji,
- naturalne oczyszczanie konstrukcji z zanieczyszczeń,
- niewytwarzanie częściowo zamkniętych przestrzeni (gromadzenie się wilgoci) oraz miejsc trudnych do oczyszczania, konserwacji itp.

Najmniej podatne na korozję są elementy duże, o płaskich powierzchniach. Elementy takie łatwo wysychają, trudno gromadzą się na nich zanieczyszczenia, łatwo je konserwować. Do takich przekrojów można zaliczyć blachownice i przekroje skrzynkowe. Bardziej podatne na korozję są natomiast elementy o złożonych kształtach, takie jak np. kratownice, szczególnie, jeśli są to kratownice nitowane. Podatne na korozję są również elementy płaskie, ale na których może gromadzić się woda, brud itp., np. elementy pomostów.

Istotny wpływ na tempo korozji ma również zastosowany sposób łączenia elementów. Konstrukcje spawane ze względu na mniej złożone kształty, szczelność połączeń, gładkość, są wyraźnie mniej podatne na korozję niż konstrukcje nitowane.

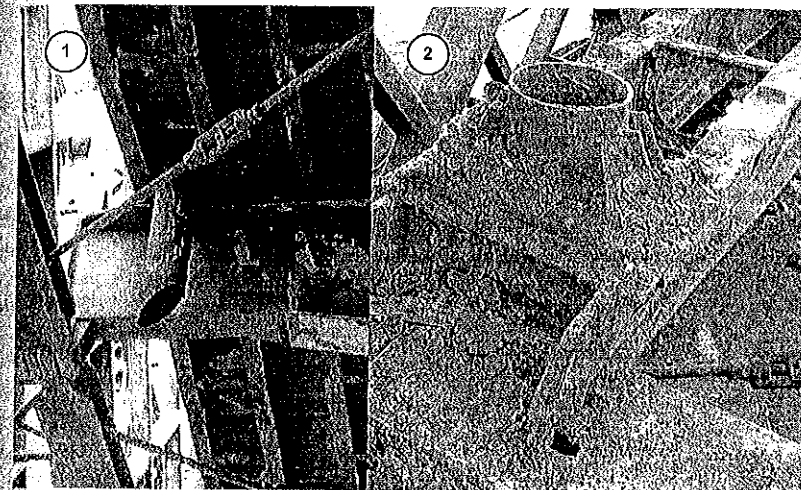
Uszkodzenia korozyjne w eksploatowanych mostach składanych najczęściej występują:

- w elementach pomostu w miejscach połączeń z dźwigarami głównymi,
- w węzłach kratownic,
- na przeponach i stężeniach poprzecznych,
- w pomoście przy łożyskach,
- wokół śrub.

Należy sprawdzić, czy na pasach wiatrownic i poziomych elementach stężeń poprzecznych zgromadziły się zanieczyszczenia utrzymujące wilgoć. Sprawdza się wszystkie poziome wiatrownice, górne i dolne, czy są uszkodzone i czy działają właściwie. W przypadku uszkodzeń tych elementów należy sprawdzić sąsiednie główne elementy konstrukcyjne.

Brak zabezpieczenia stalowej konstrukcji pomostu mostów składanych izolacją od bezpośredniego kontaktu z drewnianą konstrukcją jezdną przyczynia się do zwiększenia procesów korozyjnych. Wynika to z tego, iż utrzymująca się wilgoć stwarza środowisko korzystne dla korozji. Korozja stalowych elementów przęsa dotyczy w szczególności pomostów z jazdą dołem. Występują tam ele-

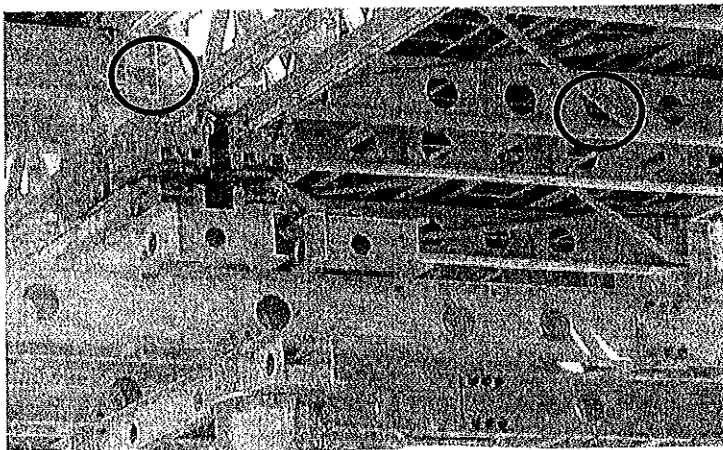
menty konstrukcji, przy których najczęściej zbierają się wszelkiego typu zanieczyszczenia i utrzymuje się zawilgoconie (rys. 6.6) przeprowadzenie kompleksowej konserwacji jest w tych miejscach utrudnione zwłaszcza, gdy zastosowano szczelną jezdnię drewnianą, na której położono izolację bez efektywnej możliwości odprowadzania wody [2].



Rys. 6.6. Korozja elementów pomostu przy spuszcie czołowym

6.3.2. Rozluźnianie połączeń i pęknięcia materiału

Występujące w mostach składanych połączenia sworzniowe i śrubowe w trakcie eksploatacji mogą ulegać rozluźnieniu. Tempo tego zjawiska zależy głównie od rodzaju połączenia, miejsca występowania oraz konstrukcji złącza. Najbardziej podatne na uszkodzenia są gniazda połączeń sworzniowych w których elementy nie są łączone na sztywno. Przykładem tego typu połączenia w moście DMS-65 jest gniazdo w belce poprzecznej, do którego dochodzi wiatrownica (rys. 6.7). Początkowe luzy w tego typu połączeniach tworzą miejsca, w które łatwo dostaje się woda, co prowadzi do szybkiego powiększania się luzów. W wyniku takiego procesu w tego typu połączeniach szybko powstają mikro-pęknięcia, które podczas eksploatacji powodują powstawanie pęknięć zmężeńowych.



Rys. 6.7. Połączenie wiatrownic z belkami poprzecznymi w moście DMS-65

Bardzo istotny wpływ na tempo uszkodzeń połączeń sworzniowych ma charakterystyka dynamiczna obciążenia oraz zmiana kierunku naprężeń (z dodatnich na ujemne).

Połączenia sworzniowe, zwłaszcza w dolnej części dźwigara ze względu na długotrwałe oddziaływanie środowiska korozyjnego, zanieczyszczenie pomostu (zwłaszcza w okresie zimowym) oraz opady atmosferyczne przy przewoźniczej instalacji odwadniającej, ulegają korozji na styku powierzchni sworzni i współpracującej z nim części powierzchni ucha. Korozja elementów połączeń konstrukcyjnych w dźwigarze i układzie pomostu utrudnia rozbiórkę obiektu. Z tych samych przyczyn oraz dodatkowo wynikających z nieuszczelnności jezdni ulegają korozji belki podłużne pomostu zwłaszcza w strefie przykrawężnikowej. Przeciążeniu konstrukcji towarzyszą zazwyczaj deformacje elementów drugorzędnych i uszkodzenia połączeń.

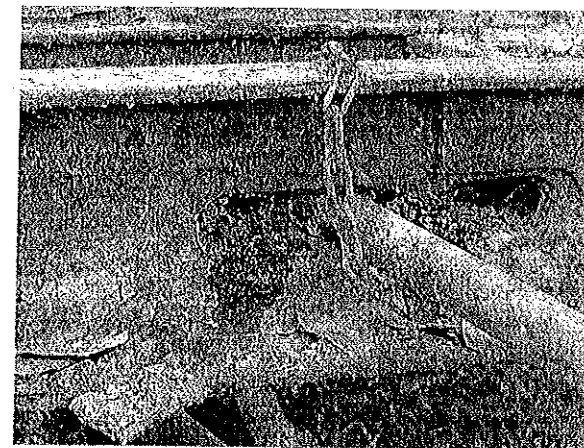
6.4. Podstawowe zasady wykonywania przeglądów mostów składowanych i doraźne usuwania uszkodzeń

Zakres remontu bieżącego mostów składowanych powinien zawierać następujące elementy:

- wymianę uszkodzonych elementów konstrukcyjnych dźwigara i pomostu,
- wymianę łączników sworzniowych i śrubowych w elementach konstrukcji mostu,
- remont i naprawę nawierzchni,
- wymianę izolacji, zabiegi konserwacyjne urządzeń dylatacyjnych, łożysk i odwodnienia,
- okresowe malowanie konstrukcji stalowej przęsła i podpór.

W trakcie eksploatacji mostu składanego wykonuje się rutynowe przeglądy w celu zapewnienia sprawnej eksploatacji obiektu. Należy sprawdzić stan powłoki malarskiej oraz zakres jej zniszczenia. Szczególnemu sprawdzeniu podlegają elementy zachlapywane przez pojazdy (np. dolne części prętów kratownicy w moście z jezdnią dołem) oraz elementy, na które ścieka woda z jezdni zawierająca środki chemiczne do zwalczania gołodzi (por. rys. 6.8). Uszkodzeniom korozyjnym dźwigara sprzyja kształt elementów i ich połączeń, wrażliwe na korozję są elementy styków dźwigara.

Przed rozbiórką obiektu oznacza się strefy w jakich pracują elementy dźwigara kratowego (np. strefy przypodporowe, w miejscach występowania ujemnych wartości momentów). Jest to pomocne przy kwalifikowaniu elementów mostu do dalszej eksploatacji, ponadto należy sprawdzić we wszystkich przęsłach stan usztywnień nad łożyskami, stężeń poprzecznych i zwiatrowań oraz połączenia z dźwigarami głównymi. Sztywność przestrzenna konstrukcji ma duży wpływ na jej nośność. Uszkodzeń przez korozję poszukuje się wokół sworzni i śrub przy powierzchniach kontaktowych, w których wilgoć może przetrwać między blachy pasa i blachy węzłowe zwiatrowań oraz w okolicach przępon, łożysk i dylatacji [2].



Rys. 6.8. Pas dolny dźwigara w strefie połączenie z wiatrownicą

Bardzo istotne z punktu widzenia eksploatacji są oględziny stanu technicznego obiektu tymczasowego lub jego wybranych elementów. Należy szczególnie starannie obserwować miejsca o silnej koncentracji naprężeń lub o nagłych zmianach przekroju. Sprawdzeniu podlegają spoiny w miejscach krzyżowania się elementów oraz połączeń słupków i krzyżulców z pasami dźwigara. Ze szczególną starannością należy kontrolować elementy pomostu. Oględziny mają na celu stwierdzenie czy nie pojawiają się np. rysy zmęczeniowe.

6.5. Zalecenia dla służb utrzymaniowych

Analizując zabezpieczenie ciągłości ruchu na danej drodze w przypadku remontu mostu, najbardziej wygodnym będzie wyłączenie remontowanego obiektu z ruchu poprzez wprowadzenie w dany ciąg komunikacyjny drogi objazdowej. Pojęcie objazdu nie jest dotychczas dostatecznie sprecyzowane. Ogólnie wiadomo, że stosując na danej trasie drogi objazdowe, trasa ta zostaje wydłużona i z reguły będzie charakteryzowała się drogami o gorszych nawierzchniach. Wydłużenie trasy musi mieścić się w granicach przesłanek ekonomicznych, które ściśle określają, w jakich warunkach eksploatacyjnych można wydłużyć objazd poprzez skierowanie ruchu na sąsiedni obiekt mostowy. Zachodzą jednak częste przypadki, w których stosowanie długich objazdów jest ekonomicznie niezasadnione. Powstaje wtedy konieczność budowy mostu objazdowego usytuowanego zazwyczaj w bezpośredniej bliskości remontowanego obiektu. Transport konstrukcji może odbywać się przy użyciu typowych samochodów ciężarowych. Istnieje możliwość bezpośredniego wbudowywania elementów mostu ze środków transportu, co wpływa na zminimalizowanie kosztu przeladunku konstrukcji.

Cechy eksploatacyjne wojskowych mostów składanych są bardzo zachęcające w celu wykorzystania ich jako obiektów tymczasowych lub objazdowych. Przyjmowany minimalny okres eksploatacji dla mostów składanych wynosi 20 lat. Te wszystkie przesłanki potwierdzają zasadność stosowania konstrukcji składanych na obiekty mostowe tymczasowe lub objazdowe.

Długotrwała eksploatacja konstrukcji składanej niesie za sobą pewne konsekwencje związane z dużym jej zużyciem. Prowadzenie zabiegów konserwacyjnych w trakcie eksploatacji, które każdorazowo są wykonywane w trakcie demontażu konstrukcji, jest bardzo utrudnione. Mosty składane dobrze spełniają tego rodzaju zadania pod warunkiem stałego nadzoru technicznego, związanych z tym okresowych badań i ewentualnych napraw bieżących.

Dokonanie oceny trwałości eksploatowanych konstrukcji składanych zwłaszcza w dłuższym okresie czasu wymaga od potencjalnych wykonawców uwzględnienia specyfiki ich pracy. W trakcie demontażu mostów składanych należy dokonać przeglądu elementów składowych pod kątem ich zużycia.

Diagnostyka mostów składanych umożliwia doskonalenie projektowania nowych obiektów, a także daje podstawy do racjonalnego wykorzystania tego typu konstrukcji.

6.6. Dokumenty eksploatacyjne

Właściciel bądź zarządca obiektu (nieruchomości) zobowiązany jest do gromadzenia wszelkich dokumentów utworzonych przed jak i w trakcie jego realizacji, a także podczas jego eksploatacji przede wszystkim w celu utrzymania obiektu w należytym stanie technicznym i estetycznym a także uproszczeniu i ułatwieniu sobie prowadzenia działalności eksploatacyjnej.

Należy przyjąć, że podstawowym dokumentem eksploatacyjnym jest książka obiektu budowlanego (mostowego). Dokumentami eksploatacyjnymi są także wszelkie załączniki do książki obiektu. Ogólnie dokumenty eksploatacyjne można podzielić na dwie zasadnicze grupy:

- utworzone przed i w trakcie realizacji obiektu,
- utworzone podczas eksploatacji.

Do dokumentów eksploatacyjnych utworzonych przed i w trakcie realizacji obiektu należy zaliczyć:

- pozwolenie na budowę opracowane i wydane zgodnie ze wzorem określonym w rozporządzeniu Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dn. 20 lipca 1998 r w sprawie określenia wzorów wniosku o pozwolenie na budowę i decyzji o pozwoleniu na budowę (Dz. U. Nr 98, poz. 625),
- projekt budowlany opracowany zgodnie z rozporządzeniem Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dn. 3 listopada 1998 r w sprawie szczegółowego zakresu i formy projektu budowlanego (Dz. U. Nr 140, poz. 906),
- dziennik budowy prowadzony zgodnie z zarządzeniem Ministra Gospodarki Przestrzennej i Budownictwa z dn. 15 grudnia 1994 r w sprawie dziennika budowy oraz tablicy informacyjnej (Mon. Pol. z 1995 r Nr 2, poz. 29),
- protokoły odbiorów częściowych i końcowych,
- rysunki i opisy służące realizacji obiektu,
- operaty geodezyjne,
- książki obmiarów.

Wymienione dokumenty prowadzi (art. 22, pkt. 2) kierownik budowy, a także przechowuje certyfikaty, deklaracje zgodności i ewentualne oświadczenia dostawców wyrobów budowlanych - przez okres wykonywania robót budowlanych (art. 46).

Do dokumentów eksploatacyjnych utworzonych w trakcie realizacji obiektu należy zaliczyć także dokumentację powykonawczą (zdefiniowaną w art. 3 ust. 14) tzn.:

- a) pozwolenie na budowę wraz z załączonym projektem budowlanym (dotyczy wszystkich robót branżowych zarówno wewnętrznych jak i zewnętrznych) – pozwolenie na użytkowanie,
- b) warunki zagospodarowania i zabudowy terenu (WZZT),
- c) wszelkie inne pozwolenia urzędowe związane z realizacją obiektu,
- d) dziennik budowy,
- e) protokoły odbiorów częściowych i końcowych – protokoły z prób rozruchowych,
- f) protokoły pomiarowe i świadectwa kontroli jakości,
- g) rysunki i opisy uwiarygodnione przez projektanta, kierownika budowy i inspektora nadzoru – operaty geodezyjne i książki obmiarów,
- h) geodezyjne pomiary powykonawcze,
- i) dziennik montażu – w przypadku realizacji obiektów metodą montażu,
- j) aprobaty techniczne (deklaracje zgodności) oraz certyfikaty na znak bezpieczeństwa „B” dla materiałów i urządzeń,