



AGH

**AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE
WYDZIAŁ ZARZĄDZANIA**

Praca dyplomowa inżynierska

*Wykorzystanie oprogramowania CAD w projektowaniu
konstrukcji aluminiowych na przykładzie firmy
Oknoplast Sp z o.o.*

*Application of CAD software in the design of aluminium
constructions on the example of Oknoplast Sp. z o.o*

Autor:
Kierunek studiów:
Opiekun pracy:

*Marek Surówka
Wydział Zarządzania i Inżynierii Produkcji
dr hab. inż. Marek Karkuła*

Kraków, 2020

Spis treści

Wstęp	3
Cel i zakres pracy	4
1. Wprowadzenie	5
1.1 Historia CAD	5
1.2 Systemy CAD	8
1.3 Komputerowe wspomaganie CAD w przemyśle	9
2. Charakterystyka badanej firmy OKNOPLAST	12
2.1 Historia firmy	12
2.2 Struktura firmy	14
3. Przygotowanie projektu	16
3.1 Wstępne opracowanie projektu	16
3.2 Wymagania stawiane konstrukcjom okiennym	17
3.3 Opis systemów	18
4. Zastosowanie programów CAD w projektowaniu konstrukcji aluminiowych	22
4.1 Wykonywanie obliczeń konstrukcyjnych	22
4.2 Wykonywanie dokumentacji konstrukcyjnej i technologicznej	28
4.3 Wspomaganie wytwarzania	31
Podsumowanie	33
Bibliografia	34
Spis rysunków	35
Spis tabel	35

Wstęp

Szybki rozwój techniki wymusił na producentach zastosowanie w przemyśle nowoczesnych technik informatycznych. Ciężko wyobrazić sobie współczesne projektowanie bez pomocy komputerów. Powiększający się stale zakres wiedzy inżynierów oraz wymogi użytkowników sprawia, że wspomaganie przy pomocy specjalistycznego oprogramowania jest po prostu niezbędne. Dotyczy to zarówno opracowania dokumentacji technicznej, obliczeń wytrzymałościowych czy modelowania przestrzennego. Dlatego programy takie jak m.in.: MS Office, oprogramowanie firmy Autodesk czy francuski program Dassault Systemes na stałe goszczą na komputerach każdego inżyniera niezależnie od branży. Stosowanie tych systemów w procesie produkcyjnym znacznie skraca opracowanie finalnego produktu oraz wprowadza możliwość jego ewentualnej modyfikacji na każdym etapie procesu.

Współczesne projektowanie jest podzielone na kilka etapów:

- rozpoznanie potrzeb konsumenta,
- określenia założeń produktu,
- przygotowania projektu wstępnego,
- określenia detali produktu,
- optymalizacji rozwiązania,
- sporządzenia pełnej dokumentacji technicznej.

Na każdym z tych etapów może być użyty komputer z odpowiednim oprogramowaniem wspomagającym projektowanie. Takie systemy określamy potocznie systemami CAD (*Computer Aided Design*). Systemy te dodatkowo pomagają inżynierom odciążając ich od wykonywania bezproduktywnych zadań, pozwalając tym samym na przeprowadzaniu symulacji funkcjonowania produktu.

Cel i zakres pracy

Celem niniejszej pracy jest analiza wykorzystania systemów CAD w przemyśle na etapie projektowania czy wytwarzania produktu na przykładzie firmy OKNOPLAST.

Rozdział pierwszy przedstawia zwięźle systemy klasy CAD oraz ich rozwój na przestrzeni lat. Następnie zostały omówione najważniejsze i najbardziej popularne systemy CAD wykorzystywane w dzisiejszym przemyśle. Trzecia część rozdziału przedstawia znaczenie tych systemów w firmach produkcyjnych oraz biurach projektowych.

Rozdział drugi przedstawia firmę OKNOPLAST oraz jej znaczenie na polskim czy międzynarodowym rynku.

Rozdział trzeci jest wprowadzeniem do projektu, omawia pierwsze jego etapy od rysunku koncepcyjnego przechodząc do omówienia kryteriów stawianych konstruktorom. Ostatnia część rozdziału omawia systemy wykorzystane w projekcie.

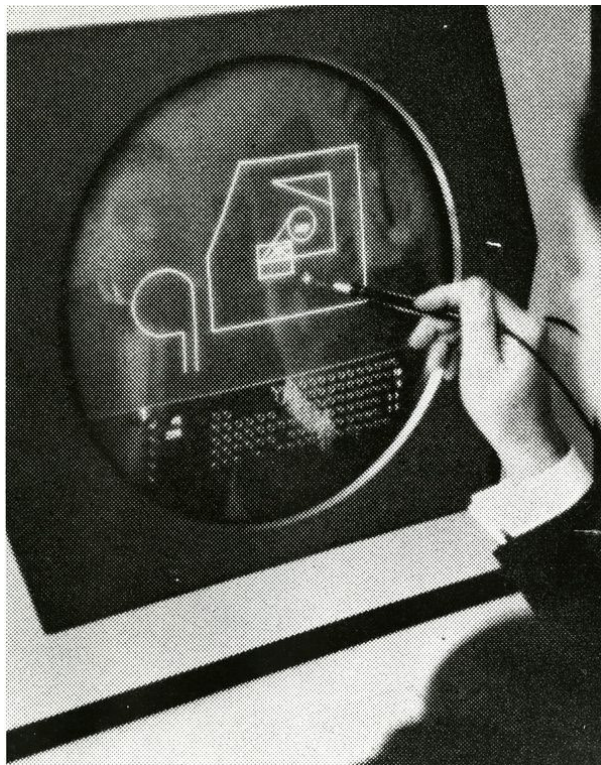
W rozdziale czwartym omówiony został przykład obliczeń statycznych elementów wykorzystanych w projekcie pod wpływem ciężaru szyby. Następnie omówione zostało wykorzystanie systemu CAD do przygotowania dokumentacji technicznej oraz montażowej. Trzecia część rozdziału opisuje wykorzystanie systemów do wspomagania etapu produkcji.

1. Wprowadzenie

1.1 Historia CAD

Historia systemów CAD/CAM sięga lat 50 XX w. wtedy to powstał system do cyfrowego programowania maszyn obróbczych o nazwie „PRONTO”. Został stworzony w roku 1957 przez dr Patricka J. Hanratty’ego, którego literatura branżowa określa mianem „ojca współczesnych systemów CAD/CAM”. Dopiero w latach 60 na amerykańskiej uczelni MIT powstał pierwszy program wspomagający projektowanie inżynierskie o nazwie „Sketchpad”, którego autorem był Ivan Sutherland.

System ten wykorzystywał pióro świetlne do wprowadzania danych bezpośrednio na ekran komputera co było nowatorskim rozwiązaniem jak na tamte czasy.



Rysunek 1. Program SketchPad MIT 1965r.

Źródło:[1]

W czasach kiedy komputer był wielkości pokoju oraz był zbudowany na tranzystorach, którego dysk twardy był wielkości biurka, programy takie jak „Sketchpad”

były określane pionierskimi¹. W latach 60 XX w. systemy CAD zaczęto rozwijać jako wewnętrzne programy wspomagające produkcje. Niestety stać było na takie rozwiązania takich potentatów jak FORD (system PDGS), General Motors (CADANCE), Mercedes-Benz (Syncro) czy Lockheed (CADAM). Systemy te były początkowo dostosowane tylko i wyłącznie do potrzeb tych korporacji. Na uwagę zasługuje ten ostatni system. W roku 1975 Lockheed sprzedała firmie Avions Marcel Dassault kod systemu CADAM (Computer Aided Drafting and Manufacturing). Ci na podstawie tego kodu stworzyli oprogramowanie 3D, które zaprezentowali w roku 1977. Tak powstał program CATIA (Computer Aided Three Dimensional Interactive Application. Firma natomiast znana jest pod nazwą Dassault Systeme.

W roku 1969 rozpoczęła się era producentów, która była kierowana na sprzedaż komercyjnych systemów CAD. Tak powstała firma United Computing oferująca różne rozwiązania CAD. Firma została wykupiona przez Siemens AG w roku 2007 za kwotę 3,5 miliarda USD. Systemy wspomagania projektowania zaczęły opuszczać laboratoryjne ściany i trafiać do coraz większej rzeszy odbiorców, głównie z branży motoryzacyjnej, aeronautyki oraz elektroniki użytkowej. Tak rozpoczęła się kariera oprogramowania CAD. Na rynku konkurowały wtedy takie programy jak Auto-Draft, CALMA, CADDs czy CADAM. Obecność coraz większa liczba systemów wymusiła na firmach opracowanie jednolitego formatu standardu zapisu danych. I tak dzięki współpracy Boeinga, General Electric oraz National Bureau of Standards powstał standard IGES (Initial Graphics Exchange Specification), który umożliwiał konwersję zbiorów krzywych 3D na format zrozumiały dla innych systemów. W roku 1981 firma IBM wprowadziła nowy standard dla komputerów PC, natomiast rok później firma Autodesk zademonstrowała swój pierwszy program dedykowany dla komputerów tej klasy. Programem tym był AutoCAD Release 1, którego premiera odbyła się w październiku 1982 roku. W ślad za nim powstały następnne narzędzia takie jak CADRA 2D czy MicroStation.

Lata 80 XX w. były przełomowe w branży producentów oprogramowania CAD. Firma Dassault Systeme wprowadziła nową wersję CATIA-2, Autodesk wprowadził AutoCADa. Natomiast w 1985 roku na rynku pojawia się nowy gracz, Parametric Technology Corp (PTC). Jego program ProEngineer (Pro/E) początkowo działający na platformie UNIX wprowadził nowe rewolucyjne rozwiązania, które spowodowały, że firma w ciągu niespełna 18 miesięcy stała się liderem rynku. Największą zaletą rozwiązania był

¹ Historia CAD/CAM/CAE <https://www.cadblog.pl/index.php/historia-systemow-cad/>

niewątpliwie interfejs użytkownika, który był korzystniejszy dla użytkownika w porównaniu do konkurencji.

To właśnie narzędzie Pro/E wprowadziło ikony odpowiadające za konkretne polecenia, rozwijane Menu oraz interaktywne pola wyboru. Program jednak borykał się jakością krzywych modelowania 3D, która nie była tak wysoka jak u konkurencji. Dodatkowo istniał problem wymiany danych z innymi systemami. Dlatego Parametric Technology był liderem rynku, ale jego ekspansja nie była aż tak dynamiczna, żeby odskoczyć konkurencji daleko. Użytkownicy oprogramowania Pro/E przekonali się jak wygodnie można pracować w środowisku oferowanym przez oprogramowanie, zwłaszcza jeśli chodzi o interfejs oraz szybkość modelowania 3D. Jednak to tylko zmusiło konkurentów do opracowania innych rozwiązań, często lepszych. Na rynku oprogramowania CAD trwała batalia o pozycje lidera.

Wraz z koniecznością przyspieszenia procesów produkcyjnych oraz redukcji kosztów związanych z projektowaniem coraz więcej, nie tylko większych przedsiębiorstw było zainteresowane oprogramowaniem CAD, również coraz więcej małych oraz średnich firm decydowało się na zakup takiego oprogramowania. W pierwszej połowie lat 90 wraz z rosnącą popularnością komputerów PC firma Autodesk stała się dostawcą nr 1 oprogramowania 2D. W 1994 mogła pochwalić się sprzedażą miliona licencji oraz tym, że wraz z wersją 13 będzie możliwość tworzenia modeli 3D. To właśnie wtedy powstały procesory 32-bitowe firmy Intel, co ponownie zrewolucjonizowało oprogramowanie. Rozwijanie oprogramowania przeprowadzano w krótszym czasie przy niewielkim nakładzie budżetowym. W roku 1993 wykorzystał to nikomu wtedy nieznany producent jakim był SolidWorks, który zaoferował zbudowany od podstaw system CAD oferujący nowe środowisko 3D. Natomiast w roku 1999 firma Autodesk stworzyła nowe oprogramowanie jakim był Inventor oparty na kernelu ACIS².

Producenci oprogramowania stale prześcigają się w tworzeniu nowych rozwiązań takich jak wprowadzenie obliczeń MES (*Metoda Elementów Skończonych*) służących do analizy zaprojektowanego obiektu. Rozwój Internetu także wpłynął na rozwój oprogramowania CAD umożliwiając producentom prace nad danym projektem na zasadzie wymiany danych pomiędzy różnymi biurami projektowymi rozszanymi po całym świecie należącymi do danej firmy.

² Historia CAD/CAM/CAE <https://www.cadblog.pl/index.php/historia-systemow-cad/>

1.2 Systemy CAD

Współczesne systemy CAD (*Computer Aided Design*) są narzędziami dającymi inżynierowi olbrzymie możliwości w procesie projektowania. Systemy te różnią się między sobą w zależności od zadań do jakich powinny być zastosowane. W projektowaniu możemy podzielić te systemy ze względu na sposób przedstawiania danego obiektu. W ten sposób możemy rozróżnić systemy 2D, które zastępuje przestarzałą deskę kreślarską oraz systemy 3D pozwalające na modelowanie brył przestrzennych.

Na polskim rynku najbardziej popularnymi systemami CAD są;

- *AutoCAD* opracowany przez firmę Autodesk. Jeden z najbardziej popularnych systemów stworzony początkowo do projektowania 2D stosowany przez większość projektantów na całym świecie. System AutoCAD doczekał się wielu „nakładek” branżowych takich jak AutoCAD Mechanical, AutoCAD Electrical, Architectural Desktop czy Civil Design. Największą zaletą programu jest otwarta architektura pozwalająca przedsiębiorstwom tworzenie własnych nakładek. Nowsze wersje AutoCAD posiadają także wbudowany moduł 3D.
- *DraftSight* jest konkurencyjnym oprogramowaniem firmy Dassault Systemes. Stworzony do projektowania 2D oraz 3D jest systemem na wszystkie systemy operacyjne: Microsoft Windows, Linux czy Mac. Największą zaletą programu do końca roku 2019 była darmowa licencja za wersje podstawową (obecnie wersja Standard jest również płatna). Płatne były wersje Professional, Premium oraz Enterprise. Pomimo wprowadzenia licencji płatnej, która w porównaniu do AutoCAD wciąż jest konkurencyjna produkt ten dalej zostanie jedną z lepszych alternatyw dla produktu firmy Autodesk.
- *ZwCAD* oprogramowanie firmy ZWSOFT powstałej w 1998 roku w Chinach. Służy do projektowania 2D oraz 3D. Dostępne w 15 językach, dzięki nakładkom branżowym takim jak drogownictwo, budownictwo, geodezja czy konstrukcja odzieży oraz przystępnej cenie licencji jest świetną propozycją dla projektantów¹.
- *SolidWorks* to program z rodziny CAD stworzony do modelowania 3D. Umożliwia on projektowanie brył trójwymiarowych następnie pozwala na stworzenie rysunków wykonawczych oraz złożeniowych. Program pozwala także na wykonanie analizy wytrzymałościowej konstrukcji Metodą Elementów Skończonych (MES).

- *Autodesk Inventor* profesjonalne oprogramowanie do tworzenia modeli 3D oraz 2D. Powstał jako konkurencja takich programów jak SolidWorks, Pro/Engineer czy Solid Edge. Model, który powstaje w Autodesk Inventor jest dokładnym odpowiednikiem rzeczywistego produktu finalnego. Umożliwia sprawdzenie powstałej formy, dopasowanie elementów oraz złożenia projektu bez konieczności tworzenia rzeczywistego prototypu.
- *SolidEdge* firmy Siemens służy to tworzenia parametrycznych modeli 3D. Pozwala na tworzenie modeli 3D, złożów elementów oraz tworzeniu dokumentacji technicznej. Możliwe jest także przeprowadzanie analizy produktu oraz obliczeń wytrzymałościowych metoda MES. Program znalazł szerokie zastosowanie w branży motoryzacyjnej budowlanej czy lotniczej. Charakteryzuje się bardzo wysoką wydajnością przy niewielkich wymaganiach sprzętowych
- *CATIA* (Computer Aided Three-Dimensional Interactive Application) najbardziej rozbudowany system wspomagania pracy inżynierskiej. Zintegrowany system CAD/CAM/FEM pozwala na tworzenie modeli 3D, tworzenie pełnej dokumentacji technicznej analizy MES oraz programowanie obróbek na maszyny sterowane numerycznie CNC.
- *SketchUp* stworzona przez firmę @Last Software a następnie rozwijane przez Google. Od 2012 r. właścicielem programu jest firma Trimble. Nie jest typowym programem CAD służącym w przemyśle, natomiast cieszy się dużą popularnością wśród młodzieży i stosowana w celach edukacyjnych. Służy do projektowania modeli 3D a gotowe projekty można publikować na stronie 3D Warehouse.

1.3 Komputerowe wspomaganie CAD w przemyśle

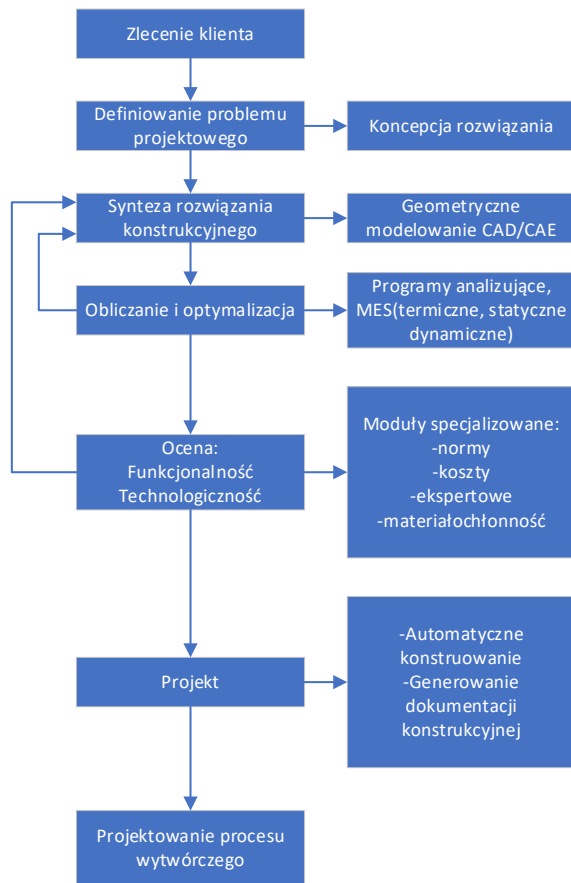
Komputerowe wspomaganie projektowania nazywamy proces wykorzystania technik informatycznych oraz jego zbiorów w celu maksymalnego wsparcia konstruktora. Oprogramowanie wykorzystywane w tych procesach przeszło w ciągu ostatnich lat istną rewolucję. Zaczynając od systemów pierwszej generacji, które tworzyły dokumentacje rysunkowe aż do systemów najnowszej generacji wspomagające na tworzenie produktu na każdym etapie jego produkcji. Oprogramowanie to może znaleźć zastosowanie w początkowej fazie jakim jest projekt koncepcyjny poprzez analizę statyczną i dynamiczną

aż do zdefiniowania metody wytwarzania produktu³. Ważnym jest jednak określenie że system komputerowy służy do wspomaganie pracy człowieka a nie jego całkowitego wyeliminowania z procesu projektowania. Komputery w przemyśle odgrywają więc szczególną rolę w procesie automatyzacji sprzęgając jednostki projektowe oraz technologiczne. Pozwalają także na projektowanie równoległe każdemu członkowi zespołu biorącym udział w projekcie.

Komputerowe wspomaganie CAD jest oprogramowaniem dla inżynierów, architektów czy projektantów, które pomaga przy kompleksowym projektowaniu urządzeń mechanicznych, elektrycznych czy budowli. Pozwala na zastąpienie tradycyjnego zestawu kreślarskiego w pełni zoptymalizowanym systemem dostosowanym do danej branży. Ponieważ systemy CAD są ciągle rozwijane przez producentów dostępne są na stronach internetowych dodatkowe moduły branżowe zwiększające możliwości danego oprogramowania. Proces rozwoju oprogramowania doprowadził do stworzenia modułów użytkowych służących do projektowania konstrukcji i technologii, planowania prac czy analiz wytrzymałościowych⁴ (rys. 2).

³ Kubiński W.: *Inżynieria i technologie produkcji*, Wydawnictwo AGH, Kraków 2017 s. 373.

⁴ Chlebus E.: *Techniki komputerowe CAx w inżynierii produkcji*, Wydawnictwo WNT, Warszawa 2000 s.103.



Rysunek 2 Główne fazy i metody w konstruowaniu.

2. Charakterystyka badanej firmy OKNOPLAST

2.1 Historia firmy

OKNOPLAST jako firma rodzinna została założona w roku 1994 przez Adama Placka. Lata 90 były dla Polski czasem przemian gospodarczo-politycznych, gdzie kapitalizm był dopiero w powijakach. Osiągnięcie wtedy sukcesu było trudnym wyzwaniem dla firm, które uczyły się działalności metodą prób i błędów.

Domy w Polsce, w których królowały drewniane, często nieszczelne okna domagały się przemian. Będąc tego świadom Adam Placek założył firmę, która zapewniłaby Polakom okna na miarę zachodnich standardów. Oczywiście droga do sukcesu nie była prosta, a firma borykała się z wieloma trudnościami. Ze względu na fakt, że w Polsce branża okienna dopiero się rozwijała ciężko było znaleźć specjalistów, którzy znaliby się na produkcji. Początkowo firma zatrudniała 25 osób. Często konieczne było inwestowanie w szkolenia⁵.

Kolejnym utrudnieniem było wyposażenie zakładu produkcyjnego w odpowiednie maszyny, które nie były dostępne na Polskim rynku i trzeba było importować je od naszych zachodnich sąsiadów.

Następne lata to prężna działalność marketingowa oraz pozyskiwanie kolejnych partnerów biznesowych. Skutkuje to coraz większą sprzedażą oraz rozwojem firmy. W roku 1997 firma otworzyła dodatkową halę produkcyjną, natomiast w 1998 roku jako pierwsi w Polsce wprowadzają do oferty szyby zespolone o współczynniku przenikania ciepła $U=1,1 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$, które do dnia dzisiejszego obowiązują jako standard.

Dalszy rozwój firmy oraz wprowadzanie do portfolio firmy innowacyjnych rozwiązań technicznych oraz nowoczesny design spowodowały, że firma została zmuszona do zmiany lokalizacji. W roku 2000 przeniosła siedzibę do Ochmnowa, gdzie została wybudowana jedna z największych hali produkcyjnych w Polsce.

Rok 2004 przyniósł wielkie zmiany w Polsce, która wstąpiła do Unii Europejskiej. Dla polskich firm otwarło to możliwości rozszerzenia oferty na rynki zachodnie. Firma

⁵ Wojtowicz D.: „Historia pisana wyzwaniami. Znana polska firma o międzynarodowym zasięgu obchodzi 25 lat istnienia” <https://natemat.pl/280577.historia-pelna-wyzwan-grupa-oknoplast-obchodzi-25-lecie-swojego-istnienia>

OKNOPLAST rozpoczęła dynamiczną sprzedaż na rynki Europy Środkowo-Wschodniej oraz rynek Niemiecki. Rozwój sprzedaży wymagał niestety sporo wysiłku głównie w walce ze stereotypami o jakości polskich produktów.

Następnym krokiem milowym okazało się wejście na rynek Włoski oraz Francuski, które do dnia dzisiejszego są największymi odbiorcami w zachodniej Europie. Prężny marketing opierający się sponsoringu sportowym sprawiła że we Włoszech firma jest trzecią marką rozpoznawaną w tym kraju zaraz po Janie Pawle II oraz Lechu Wałęsie⁶.

Kolejne lata przyniosły ekspansję na nowe rynki sprawiając, że firma stanowiła ścisłą czołówkę producentów okien. W roku 2013 została utworzona Grupa OKNOPLAST, w skład której wchodzi trzy firmy: OKNOPLAST, WnD, oraz ALUHAUS. To zapewniło zróżnicowanie oferty produktowej oraz dopasowanie jej do potrzeb klienta.

Dziś Grupa OKNOPLAST może poszczycić się wieloma nagrodami branży budowlanej, jakości oraz lidera przedstawicieli biznesu zarówno w Polsce jak i w Europie. Stanowi także ścisłą czołówkę 110 najlepszych firm w Europie.

Obecnie firma działa w 13 państwach oraz zatrudnia 1850 pracowników w Polsce i za granicami. W 2018 roku osiągnęła obrót na poziomie 720 mln zł, z czego 75 procent stanowi eksport.

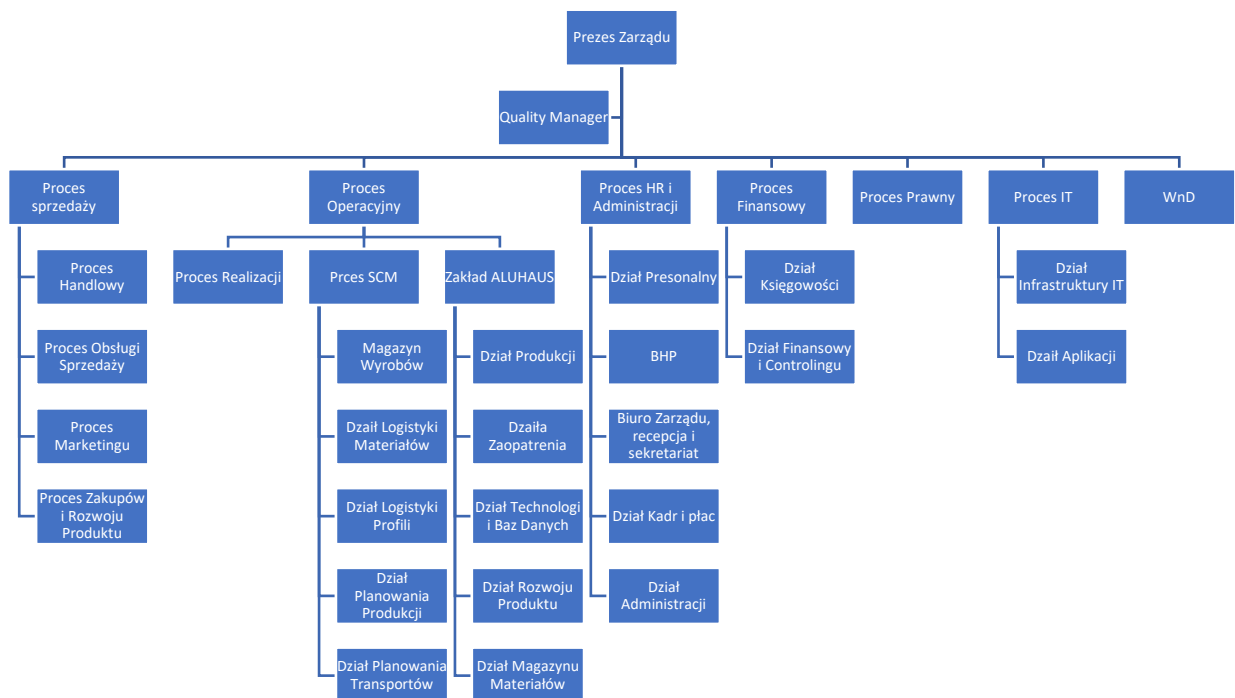
⁶ <https://oknoplast.com.pl/o-nas/>

2.2 Struktura firmy

Grupa Oknoplast spółka z o.o. jest spółką kapitałową prawa handlowego, którego władzami zgodnie ze statusem jest Zarząd Spółki składający się z czterech osób.

W firmie funkcjonuje procesowy sposób zarządzania, który polega na maksymalizacji składników procesu będących dodatnimi wartościami przy jednoczesnym minimalizowaniu nieefektywnych operacji. co oznacza że jej celem jest maksymalne zaspokajanie potrzeb klienta poprzez realizację własnych celów strategicznych.

Wszelkie nowe cele i zamiary ustalane są zawsze zespołowo pod przewodnictwem Zarządu Spółki, a kultura panująca w firmie pozwala wszystkim pracownikom w pełni zaangażować się w osiągnięcie wyznaczonych celów. Wszystkie zadania w organizacji są traktowane jako ciąg sekwencji.



Rysunek 3 Struktura organizacyjna firmy OKNOPLAST

Aby przybliżyć zakres działań poszczególnych pionów w firmie, poniżej przedstawiono krótki opis najważniejszych zadań.

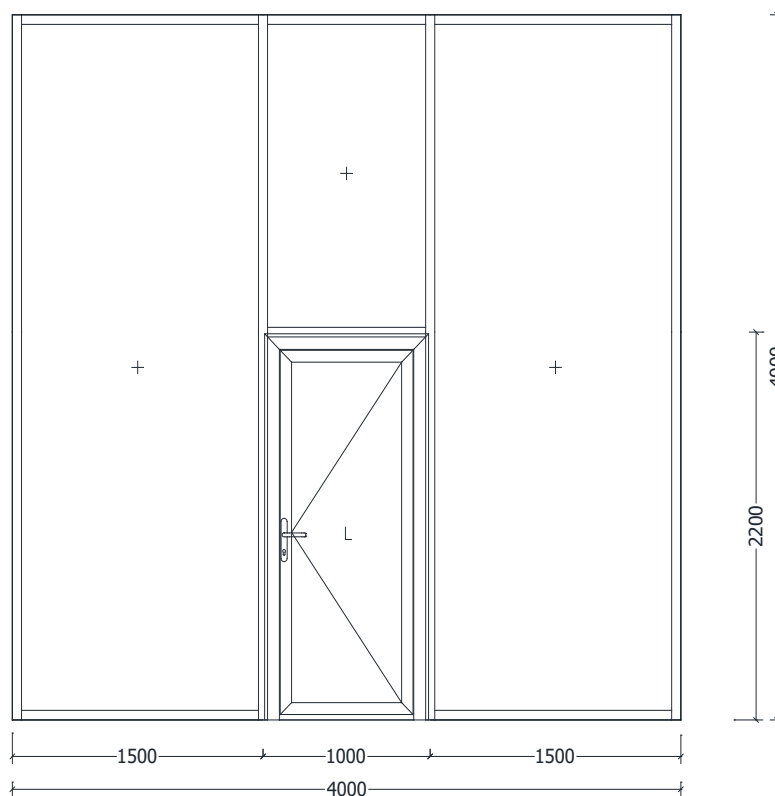
- Prezes zarządu – nadzoruje oraz koordynuje całością przedsiębiorstwa,
- Quality manager – odpowiedzialny za wdrażanie oraz zarządzanie jakością
- Proces sprzedaży – odpowiedzialny działalność marketingową, obsługi sprzedaży oraz rozwój produktu
- Proces operacyjny – odpowiedzialny za nadzór nad wytworzeniem oraz dostarczeniem gotowego produktu do klienta
- Dział Administracji oraz HR - zajmuje się zatrudnieniem, zwalnianiem, wynagrodzeniami oraz szkoleniami pracowników
- Proces finansowy – zajmujący się planowaniem oraz koordynowaniem procesów finansowych firmy
- Proces prawny
- Proces IT – zajmujący się wdrażaniem serwisowaniem i administrowaniem komputerów oraz oprogramowania
- Zakład WnD – zajmujący się produkcją budżetowych okien PVC

3. Przygotowanie projektu

3.1 Wstępne opracowanie projektu

Przygotowanie projektu oznacza działalność mającą na celu powstanie produktu cechującego się parametrami użytkowymi, funkcjonalnymi, stylem oraz spełniającego normy. Projektowanie polega na opracowaniu całej ścieżki działania powstawania danego produktu, od momentu pomysłu poprzez opracowanie projektu wstępnego, projektu wykonawczego aż do finalnej realizacji⁷.

Przygotowanie projektu konstrukcji okiennych zaczyna się od wstępnego rysunku przygotowanego na podstawie planów przygotowanych przez architekta lub pomiarów przygotowanych przez klienta (rys 4).



Rysunek 4 Przykładowy rysunek koncepcyjny konstrukcji aluminiowej

⁷ Kubiński W.: *Inżynieria i technologie produkcji*, Wydawnictwo AGH, Kraków 2017 s. 337.

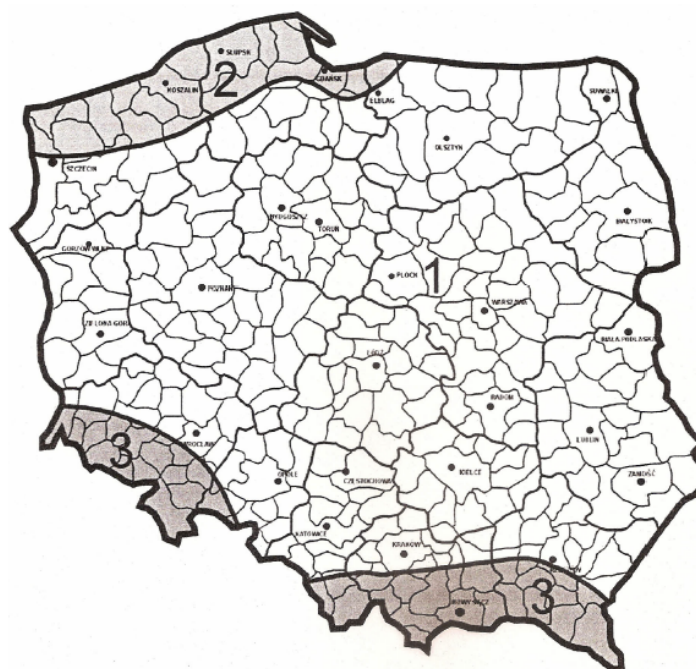
Na podstawie takich rysunków, określenia przez klienta wymogów jakie musi spełniać konstrukcja (kolor, parametry szkła, wymogi termiczne itd.) oraz podania miejsca docelowego montażu można przystąpić do przygotowania oferty. Na tym etapie przy pomocy odpowiedniego oprogramowania CAD można przystąpić do analizy wytrzymałościowej konstrukcji oraz doboru odpowiedniego materiału. Celem projektu Montaż konstrukcji będzie w Krakowie natomiast ściana budynku ma zostać wykonana jako ściana słupowo-ryglowa natomiast wewnątrz ściany mają zostać zamontowane drzwi dwuskrzydłowe o głębokości minimum 70 mm wykonane z profili aluminiowych.

3.2 Wymagania stawiane konstrukcjom okiennym

Na każdy element budynku taki jak okno czy dach działają zewnętrzne czynniki atmosferyczne takie jak amplituda temperatur czy siły parcia i ssania wiatru. Dlatego konstrukcja okienna powinna być tak zaprojektowana wykonana oraz zamontowana aby w trakcie jej użytkowania nie doszło do czynników niepożądanych takich jak pękanie szyb, przepuszczalność powietrza oraz przecieku wody. Zgodnie z normą EN 1991-1-4 „Eurokod 1, Oddziaływania na konstrukcje, Część 1-4: Oddziaływania ogólne, Oddziaływania wiatru” obszar Polski jest podzielony na trzy strefy oddziaływania wiatru (rys. 5), którym odpowiadają wartości charakterystyczne obciążeń (tabela 1).

Dodatkowo Polska jest podzielona na cztery kategorie terenu, na którym zostanie wybudowany dany budynek

- 0 – obszar brzegowy i przybrzeżny wystawiony na bezpośrednie oddziaływanie morza;
- I – jeziora lub tereny płaskie, poziome, o nieznaczej roślinności i bez przeszkód terenowych;
- II – tereny o niskiej roślinności, takiej jak trawa, i o pojedynczych przeszkodach, oddalonych od siebie na odległość równą co najmniej ich 20 wysokościom;
- III – teren regularnie pokryty roślinnością lub budynkami albo o pojedynczych przeszkodach, oddalonych od siebie najwyżej na odległość równa ich 20 wysokościom (takie jak wsie, tereny podmiejskie, stałe lasy);
- IV – tereny, których przynajmniej 15% powierzchni jest pokryte budynkami o średniej wysokości 15 m.



Rysunek 5 Strefy obciążenia wiatrem w Polsce EN 1991-1-4:2008/A1:2010

Tabela 1 Wartości charakterystyczne obciążenia wiatrem w Polsce

Wartości charakterystycznego obciążenia wiatrem	
Strefa	q_k [kN/m ²]
I	0,30
II	0,42
III	0,30

Innym czynnikiem wpływającym niekorzystnie na konstrukcje aluminiowe jest dodatkowe obciążenie ciężarem wypełnienia (szyby, panelu). Wpływ takiego obciążenia na element konstrukcji można w sposób przybliżony zasymulować w oprogramowaniu CAD.

3.3 Opis systemów

Do projektu został wybrany system słupowo-ryglowy MC-WALL firmy Aliplast, który jest przeznaczony do wykonywania lekkich ścian osłonowych. Profile wykonane są ze stopu aluminium AlMgSi posiadające własności mechaniczne wg normy PN-EN 755-2:2010 „Aluminium i stopy aluminium- Pręty, rury i kształtowniki wyciskane – Część 2:

Własności mechaniczne”, które są powlekane powłokami poliestrowymi metodą proszkową w celu zabezpieczenia przed korozją. W celu poprawienia własności termicznych profili oraz zapewnienia właściwego prowadzenia wkrętów wykorzystuje się izolatory wykonane z tworzywa sztucznego HPVC.



Rysunek 6 Ściana słupowo-ryglowa firmy ALIPLAST model MC-WALL

Drzwi wmontowane w konstrukcje słupowo-ryglową zostaną wykonane w systemie okiennie-drzwiowym SUPERIAL, który wykonany jest ze stopu aluminium AlMgSi posiadający własności mechaniczne wg normy PN-EN 755-2:2010 „Aluminium i stopy aluminium- Pręty, rury i kształtowniki wyciskane – Część 2: Własności mechaniczne”. System ten posiada przegrodę termiczną wykonaną z tworzywa sztucznego poprawiającą izolacyjność termiczną oraz akustyczną drzwi oraz okien. Konstrukcje drzwiowe występują w czterech wariantach różniących się izolacyjnością termiczną zależnie od zastosowanego wkładu termicznego wewnątrz profilu.



Rysunek 7 Drzwi aluminiowe firmy ALIPLAST model SUPERIAL

W projekcie do obliczeń statyki konstrukcji słupowo ryglowej wykorzystane zostaną funkcje programu AutoCAD Mechanical 2020. Do wykonania obliczeń potrzebne będą także własności fizyczne stopu aluminium AlMgSi AW-6060 T66, z którego są wykonane profile aluminiowe wykorzystane w projekcie, a które przedstawiono w Tabeli 2⁸.

Tabela 2 Własności fizyczne stopu aluminium AW-6060

Gęstość	2,7 g/cm ³
Moduł sprężystości E	70000 N/mm ²
Moduł sprężystości poprzecznej G	27000 N/mm ²
Liczba Poissona	0.3
Temperatura krzepnięcia	610 °C
Temperatura płynięcia	655 °C
Ciepło właściwe	898 J/kgK
Współczynnik rozszerzalności cieplnej	23,4 μm/mK

Własności mechaniczne kształtowników aluminiowych wyciskanych AW6060 T66 zgodnie z normą PN-EN 755-2:2010 „Aluminium i stopy aluminium- Pręty, rury i kształtowniki wyciskane – Część 2: Własności mechaniczne” przedstawiono w Tabeli 3.

⁸ <https://www.kronosedm.pl/aluminium-pa38-aw-6060>

Tabela 3 Własności mechaniczne stopu aluminium AW6060 T66

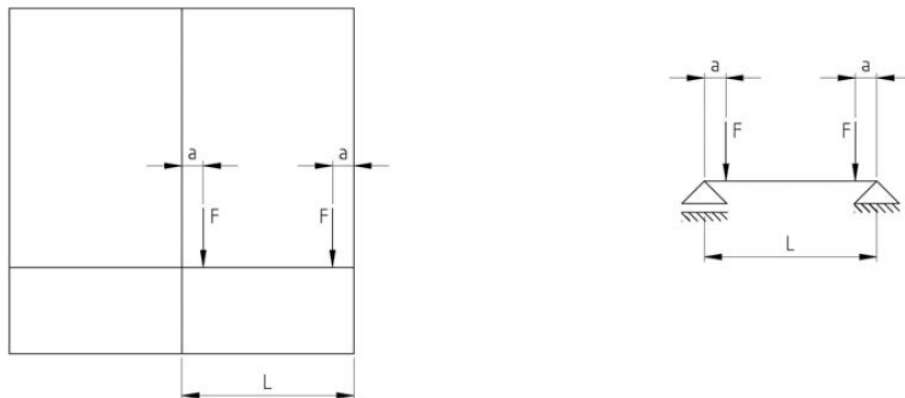
AW 6060 T66 [AlMgSi]	
Grubość ścianki t[mm]	3<t<25
Wytrzymałość na rozciąganie R _m min	195 [MPa]
Wytrzymałość na rozciąganie R _m max	-
Umowna granica plastyczności R _{p 0,2} min	150 [MPa]
Umowna granica plastyczności R _{p 0,2} max	-

4. Zastosowanie programów CAD w projektowaniu konstrukcji aluminiowych

4.1 Wykonywanie obliczeń konstrukcyjnych

Projekt fasady wykonano w przy pomocy programów AutoCAD Mechanical 2020 oraz Logikal, który jest dedykowanym programem do projektowania stolarki aluminiowej. Dzięki narzędziom programu AutoCAD takimi jak obliczenia mechaniczne możliwe jest obliczenie ugięcia rygla MC536 konstrukcji, na którego oddziałuje ciężar szyby bez wykonywania czasochłonnych kalkulacji. W projekcie rygiel fasady jest obciążony szybą o wadze 340kg, odległość punktów podparcia szyby wynosi 100mm natomiast odległość pomiędzy punktami podparcia 1418mm.

- Obliczenia ugięcia rygla pod wpływem działania sił pionowych:



Rysunek 8 Schemat obciążenia konstrukcji ciężarem szyby lub wypełnienia

Wyznaczanie momentu bezwładności względem osi Y wyznacza się ze wzoru

$$l_y = \frac{F * a * (3 * L^2 - 4 * a^2) * 10^5}{24 * E * f_{max}}$$

gdzie:

l_y – moment bezwładności [cm⁴]

F – ciężar szyby/2 [kN]

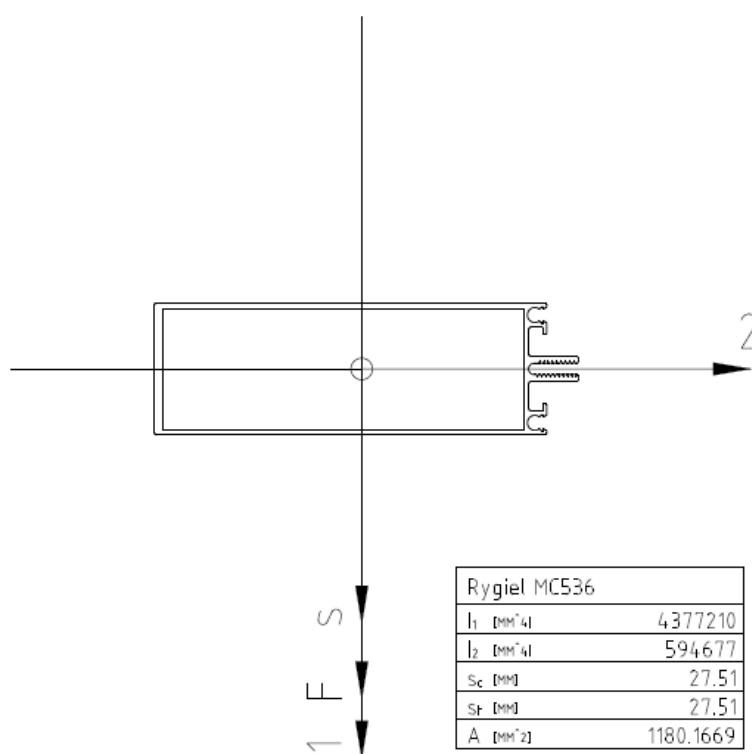
L – odległość między punktami podparcia [m]

a – odległość punktu podparcia szyby od końca profilu [m]

E – moduł sprężystości Younga [GPa]

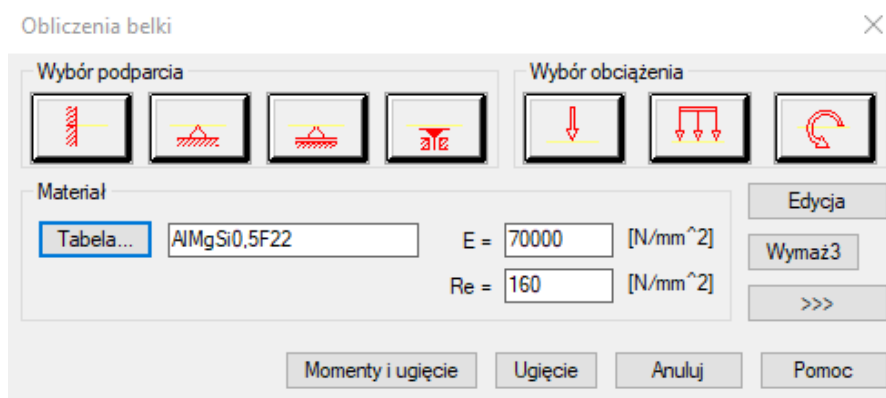
f_{\max} – maksymalne dopuszczalne ugięcie profilu [mm]

W programie obliczenie momentu bezwładności profilu wykonujemy komendą AMINERTIA wywołana w pasku poleceń. Następnie wybieramy przekrój na rysunku oraz określamy kierunek siły obciążenia. Program automatycznie oblicza środek ciężkości, kierunek momentu głównej osi, moment bezwładności wydłuż osi X i Y oraz kąt ugięcia (rys. 9).



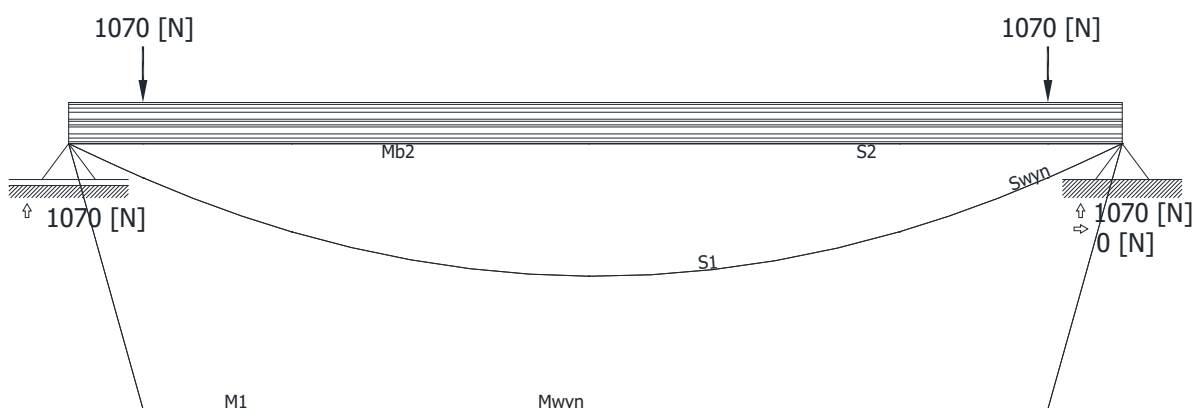
Rysunek 9 Rygiel MC536 z wyznaczonymi momentami bezwładności

Po wyznaczeniu przez program momentu bezwładności możemy obliczyć linie ugięcia rygla pod ciężarem szyby. W tym celu wykorzystujemy polecenie AMDEFLINE, które oblicza i rysuje linię ugięcia belki poddanej działaniu siły. Po wywołaniu komendy program prosi o wskazanie przekroju belki, który chcemy obliczyć. Następnie w oknie dialogowym programu (rys. 10) określamy punkty początkowe i końcowe belki, które są w tym przypadku jednocześnie punktami podparcia. W następnym kroku definiujemy podpory belki, zwrot, kierunek, wartość działającej siły oraz materiał z jakiego jest wykonany rygiel.



Rysunek 10 Okno dialogowe obliczenia belki

Na rygiel działają dwie siły skupione, które są miejscami podparcia szyby i wynoszą 1070 N. Po zdefiniowaniu wszystkich wartości program automatycznie rysuje oraz oblicza momenty oraz ugięcia i przedstawia wynik w formie graficznej (rys. 11) oraz tabelarycznej Tabela 4.



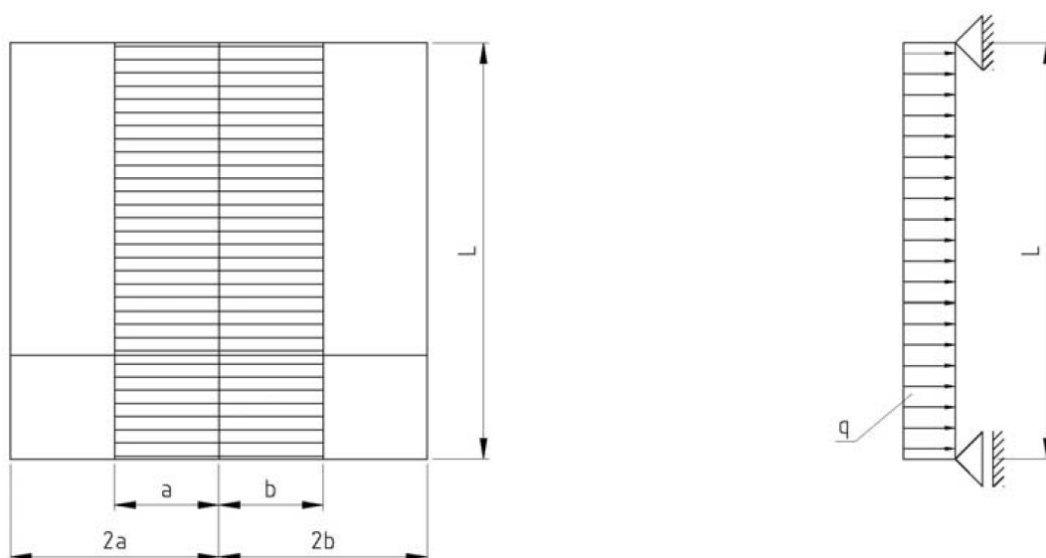
Rysunek 11 Wykres ugięcia rygla MC536

Tabela 4 Wyniki obliczeń ugięcia oraz momentów rygla MC536

Moment oraz ugięcie rygla MC536		
Moment bezwładności I1	[mm ⁴]	4377210
Moment bezwładności I2	[mm ⁴]	594677
Moment bezwładności Ieff	[mm ⁴]	594677
Odleg. Skrajnego Włókna	[mm]	27.51
Wsp. Bezpieczeństwa		32.3241
Wytrzymałość	[N/mm ²]	160
Moduł Younga	[N/mm ²]	70000
Materiał		AlMgSi0,5F22
Maks. Ugięcie S1	[mm]	0.641767
Maks. moment gnący M1	[Nm]	107
Maks. Ugięcie S2	[mm]	0
Maks. moment gnący Mb2	[Nm]	0
Maks. Naprężenie Res.	[N/mm ²]	4.9499
Maks. Ugięcie Swyn	[mm]	0.641767
Maks. moment gnący Mwyn	[Nm]	107
Skala Linii Ugięcia		276.2:1
Skala dla linii mom.gnącego		3.313:1

Maksymalne dopuszczalne ugięcie profilu pod wpływem obciążeń pionowych nie powinno przekraczać $L/500$ lub 3mm. W przypadku badanego rygla maksymalne ugięcie wynosi 0,64mm a więc mieści się dopuszczalnym zakresie.

- Obliczenia ugięcia słupa pod wpływem działania sił poziomych:



Rysunek 12 Schemat obciążenia konstrukcji parciem wiatru

Wyznaczanie momentu bezwładności względem osi X wyznacza się ze wzoru:

$$I_x = \frac{5 * q * L^4 * 10^5}{384 * E * f_{max}}$$

gdzie:

gdzie:

I_x – moment bezwładności słupa [cm^4]

p_k – charakterystyczne obciążenie wiatrem [kN/m^2]

q - $p_k \times (a+b)$ – obciążenie maksymalne na jednostkową długość profilu [kN/m]

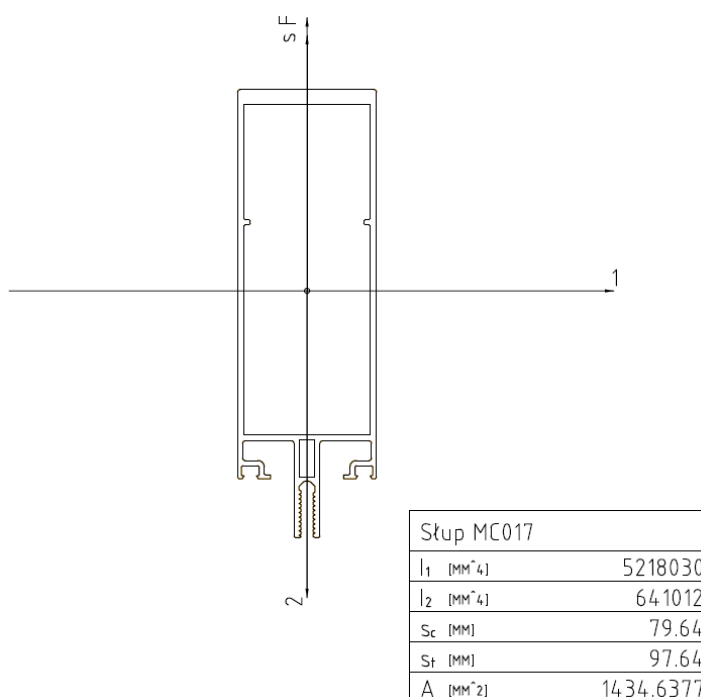
$(a+b)$ – szerokość pola obciążenia [m]

L – długość między punktami podparcia [m]

E – moduł sprężystości Younga [GPa]

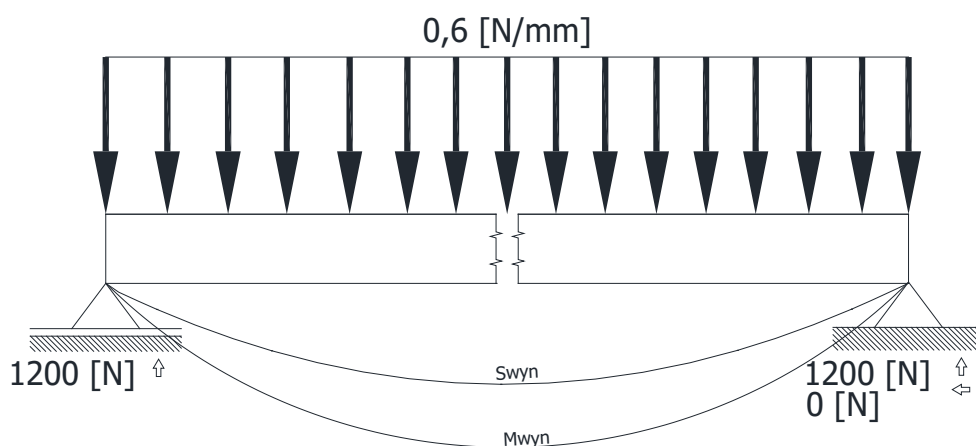
F_{max} – maksymalne dopuszczalne ugięcie profilu [mm]

Obliczenia projektowe zostaną wykonane tą samą metodą co ugięcia ryglu, różnica będzie polegać na kierunku działania oraz rodzaju siły działającej. Najpierw wyznaczamy moment bezwładności słupa komendą AMINERTIA oraz wyznaczamy zwrot i kierunek działającej siły.



Rysunek 13 Słup MC017 z wyznaczonymi momentami bezwładności

Mając wyznaczony przez program moment bezwładności słupa uruchamiamy moduł obliczenia komendą AMDEFLINE. Wyznaczamy przekrój belki, który chcemy policzyć następnie określamy punkty podparcia, wybieramy materiał z biblioteki AutoCAD oraz określamy siłę działającą na słup. W przypadku obliczeń oddziaływania wiatru będą to siły liniowe, które są charakterystyczne dla danego regionu. Projekt zakłada montaż w strefie wiatrowej I gdzie siła charakterystyczna dla tej strefy to $0,3 \text{ kN/m}^2$. Ze wzoru q jest równe $p_k \cdot (a+b)$ gdzie $a+b$ jest równe 2 dlatego nasze obciążenie liniowe wynosi $0,6 \text{ N/mm}$. Po wyznaczeniu wszystkich wartości program wylicza ugięcia oraz momenty i przedstawia je w formie graficznej (rys 14) oraz tabelarycznej (tabela 5)



Rysunek 14 Wykres ugięcia słupa MC017

Tabela 5 Wyniki obliczeń ugięcia oraz momentów słupa MC017

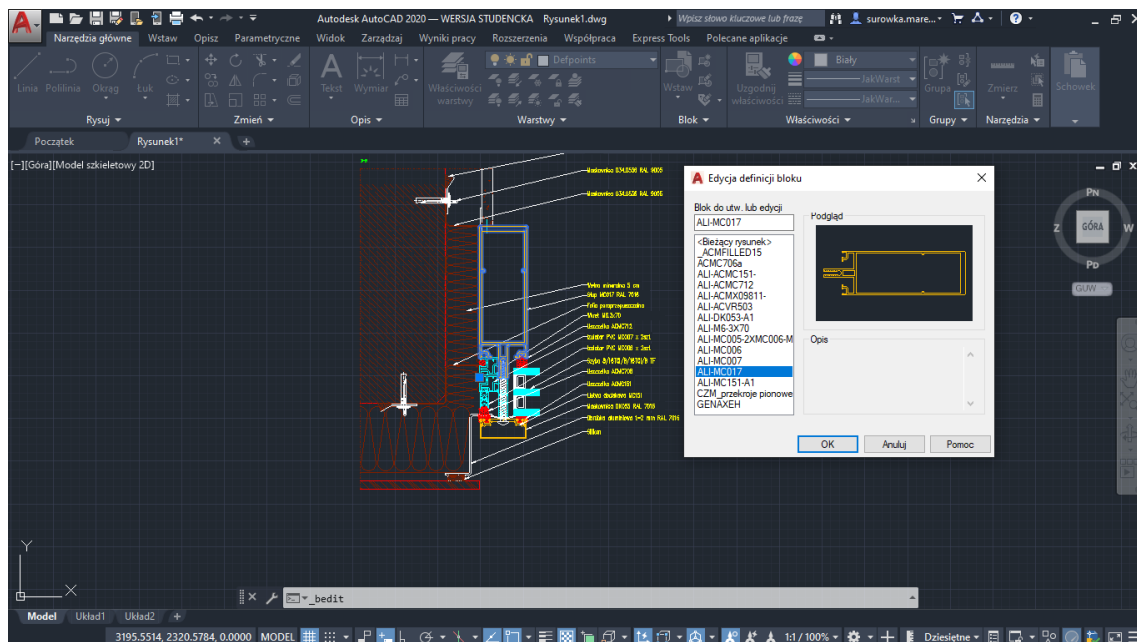
Moment oraz ugięcie słupa MC017			
Moment bezwładności	I1	[mm ⁴]	5218030
Moment bezwładności	I2	[mm ⁴]	641012
Moment bezwładności	I _{eff}	[mm ⁴]	5218030
Odleg. Skrajnego Włókna		[mm]	97.64
Wsp. Bezpieczeństwa			7.1273
Wytrzymałość		[N/mm ²]	160
Moduł Younga		[N/mm ²]	70000
Materiał			AlMgSi0,5F22
Maks. Ugięcie	S1	[mm]	2.218115 E-15
Maks. moment gnący	M1	[Nm]	0.0617 E-12
Maks. Ugięcie	S2	[mm]	5.472783
Maks. moment gnący	Mb2	[Nm]	1199.7
Maks. Naprężenie	Res.	[N/mm ²]	22.448
Maks. Ugięcie	Swyn	[mm]	5.472783
Maks. moment gnący	Mwyn	[Nm]	1199.7
Skala Linii Ugięcia			91.35:1
Skala dla linii mom.gnącego			1:1.1998

4.2 Wykonywanie dokumentacji konstrukcyjnej i technologicznej

Dokumentacja konstrukcyjna i technologiczna jest jednym z elementów, przygotowywanych przez konstruktora lub architekta. Dokumentację przygotowuje się po to aby określić w sposób jednoznaczny części składowe wyrobu lub inne wymagania jakie musi on spełniać. Innym typem dokumentu jest dokumentacja technologiczna, która zawiera informacje na temat procesu technologicznego danego produktu, jego obróbki oraz sposobu montażu. Oba typy dokumentów wchodzi w skład dokumentacji technicznej powstającego jako efekt procesu projektowania, którą określają normy PN-EN ISO 11442:2008 „Dokumentacja wyrobu – zarządzanie dokumentami”⁹. W dokumentacji tej znaczącą rolę odgrywają rysunki techniczne, schematy oraz szkice, które są informacją na temat projektowanego obiektu w sposób graficzny. Do tego celu wykorzystuje się oprogramowanie CAD służące do rysowania 2D. Jednym z najczęściej wykorzystywanych takich programów jest AutoCAD lub DraftSight. Dzięki wbudowanej bibliotece można w

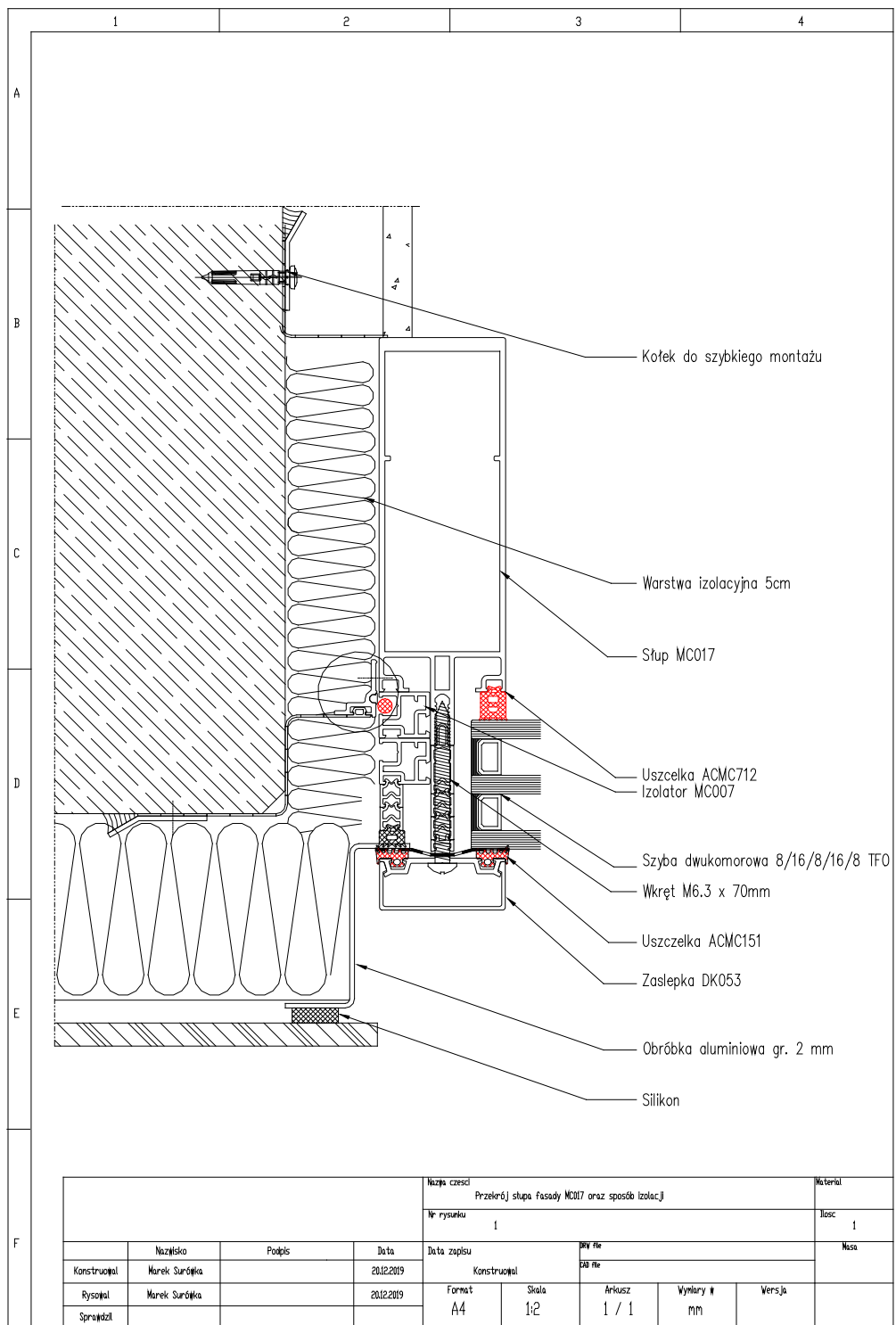
⁹ Degen R.: *Współczesna dokumentacja urzędowa*, pod red. Robótka H., Wydawnictwo UMK, Toruń 2011

sposób szybki i łatwy zarządzać całym rysunkiem tworzonym przez projektanta lub innych osób zarządzających projektem. Na każdym etapie projektowania można w każdej chwili edytować dany blok projektu zmieniając jego własności fizyczne takie jak szerokość, wysokość obiektu.



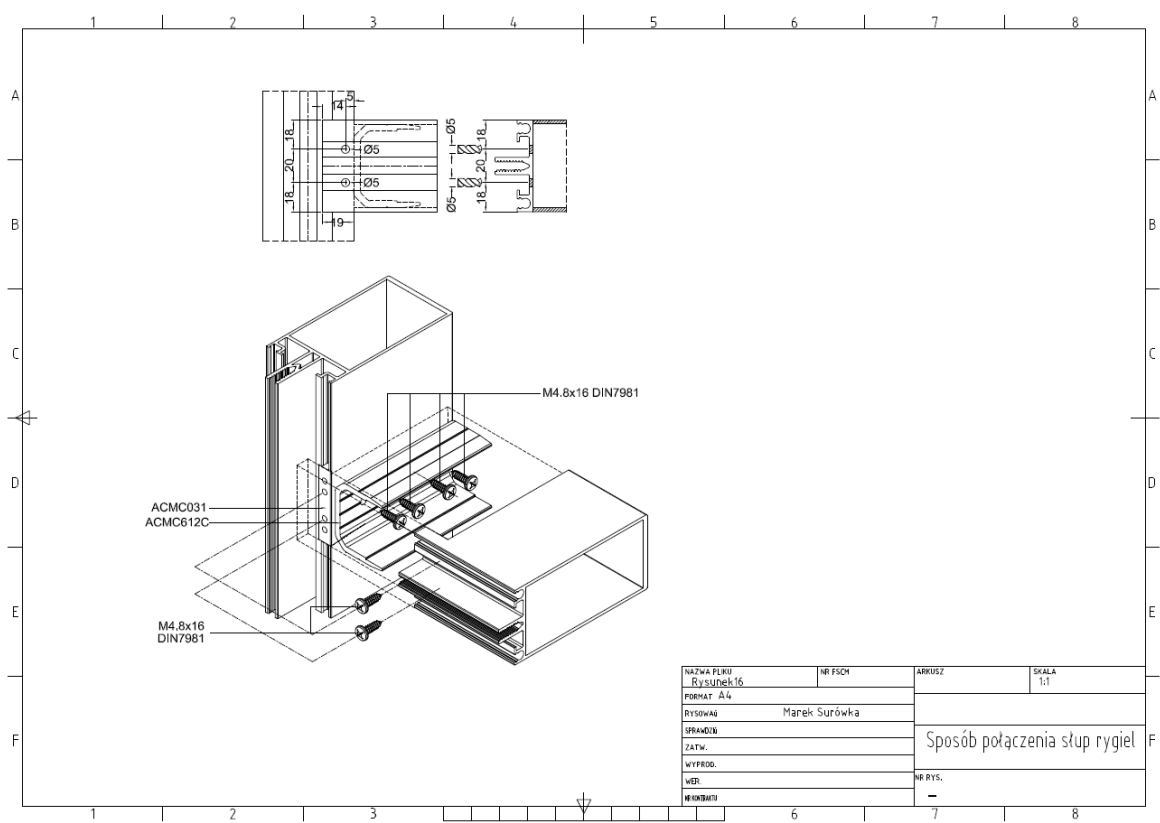
Rysunek 15 Przykładowe zarządzanie blokami rysunku

Przygotowanie dokumentacji montażowej (rys. 16) pozwala konstruktorowi na określenie niezbędnych elementów potrzebnych do prawidłowego zamontowania konstrukcji. Pomaga też w przygotowaniu instrukcji montażowej dla ekip na miejscu budowy eliminując do minimum ewentualne błędy montażowe, które mogą w niekorzystny sposób wpłynąć na konstrukcję.



Rysunek 16 Rysunek montażowy słupa fasady

Przygotowanie dokumentacji konstrukcyjnej elementu lub grupy przygotowuje się w celu określenia technologom oraz osobom na produkcji sposobu złożenia elementów (rys 17), przygotowania dodatkowych obróbek (frezowanie, wiercenie itp.), które nie są możliwe do wykonania na maszynie sterowanej numerycznie.

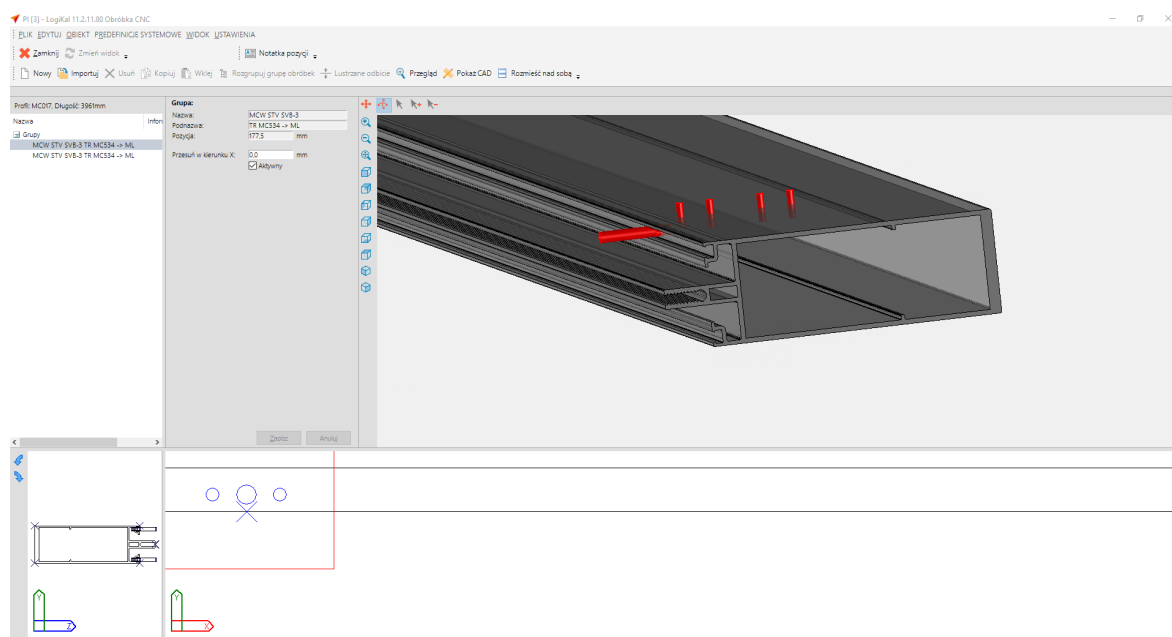


Rysunek 17 Rysunek połączenia słupa MC017 oraz rygiela MC536

4.3 Wspomaganie wytwarzania

Producenci branżowi wspierający konstruowanie stolarki otworowej starają się jak najbardziej usprawnić pracę projektantów, dlatego oprogramowanie wspierające takie jak LogiKal firmy ORGADATA dysponuje zintegrowanym modułem CAD ułatwiający projektantowi, technikowi zarządzanie projektem. Charakteryzuje się łatwością obsługi, prostotą oraz przejrzystością, co sprawia, że moduł ten jest idealnym rozwiązaniem dla konstrukcji okien, drzwi i fasad aluminiowych. Wszystkie elementy rysowane w tym module można w danym momencie zmienić czy wybrać dodatkowy element z bogatej biblioteki programu. Każdy element rysunku, który jest powtarzalny można w sposób łatwy pogrupować w bloki. Wszelkie niezbędne zmiany można zrealizować w edytorze zarządzania blokami, a zmiany wprowadzone przez konstruktora pojawią się automatycznie we wszystkich blokach w danym projekcie. Rysunkiem można swobodnie zarządzać rozdzielając poszczególne jego elementy na różne warstwy. Ponieważ moduł programu jest w pełni kompatybilny z programami zewnętrznymi takimi jak AutoCAD dlatego pliki w formacie DWG i DXF można bezproblemowo importować do modułu LogiKal CAD.

Można także na każdym etapie projektowania wywołać program zewnętrzny bezpośrednio z interfejsu. Pakiet LogiKal posiada także moduł CNC, który bezpośrednio współpracuje z modułem CAD. Pozwala to na szybkie tworzenie obróbek koniecznych w projekcie pozycji oraz natychmiastowe przesłanie kodu źródłowego do maszyny sterowanej numerycznie. W projekcie wykonane zostaną otwory do mocowania łączników słup-rygiel wg wytycznych konstruktora. W programie można wykonać symulacje w celu zweryfikowania ewentualnej kolizji narzędzia z profilem (rys 18).



Rysunek 18 Symulacja wykonania otworów pod elementy mocujące na słupie MC017

Zaletą oprogramowania jest bogata biblioteka maszyn sterowanych numerycznie, które są zaimplementowane do systemu. Program pozwala wygenerować kompletny program sterujący z uwzględnieniem orientacji położenia profilu oraz przyporządkowaniem narzędzi dla każdego rodzaju obróbki przygotowanej przez konstruktora. Po weryfikacji poprawności procesu obróbczego oraz eliminacji ewentualnych błędów związanych z kolizją narzędzia program przekazuje bezpośrednio kod sterujący do maszyny obróbczej. Jeżeli dana operacja nie może być wykonana w jednym położeniu profilu – program dzieli obróbkę dla kilku położenia profilu.

Podsumowanie

Pierwsze systemy wspomagania komputerowego CAD, w początkowym okresie służyły tylko do tworzenia czy modyfikacji dokumentacji konstrukcyjnej. W kolejnych latach wraz z rozwojem sprzętu oraz sieci komputerowej, możliwe było zintegrowanie z innymi systemami CAP, CAM czy CAE. W pracy przedstawiono przykład przygotowania całego procesu produkcji, zaczynając od przygotowania rysunku koncepcyjnego poprzez obliczenia statyczne, przygotowania dokumentacji produkcyjnej oraz montażowej, aż do przygotowania programu sterującego obrabiarką. Wykorzystanie na każdym etapie produkcji współczesnych systemów CAD/CAM w znaczący sposób przyspiesza proces projektowania, pomaga także w opracowaniu technologii, ale dzięki stałemu rozwojowi poprawia jakość opracowanych procesów produkcyjnych. W wielu firmach produkcyjnych powszechniejszym stało się wykorzystywanie współczesnych systemów komputerowych co powoduje znaczne skrócenie czasu potrzebnego na przygotowanie projektu od momentu pojawienia się wstępnego pomysłu aż do wdrożenia danego wyrobu do produkcji. Przygotowanie gotowego kodu sterującego obrabiarkami zajmuje kilka minut co spowodowało, że zastosowanie takich maszyn jest sensowne zarówno w produkcji seryjnej jak i wyrobu jednostkowego. Związane to jest z wyeliminowaniem czasochłonnego ręcznego pisania kodu sterującego obrabiarką.

W celu wykonania złożonych projektów konstrukcji aluminiowych niezbędne jest wykorzystanie zespołu ludzi zaczynając od projektanta przez technologa do pracownika produkcji. Dzięki oprogramowaniu CAD możliwe jest wprowadzanie ewentualnych korekt lub zmian w projekcie na każdym etapie projektowania lub produkcji bez konieczności wdrażania nowych testów lub prototypów. Systemy te umożliwiają ponowne przeanalizowanie wprowadzonych zmian nie wpływając na cały projekt jeżeli nie jest to konieczne a jedynie na danym elemencie danej konstrukcji.

Największą zaletą tego oprogramowania jest fakt, że system od początku projektowania zwraca uwagę na każdy szczegół i informuje projektanta, w przypadku gdy dany element nie jest możliwy do wykonania pod względem technologicznym. Zaawansowane systemy CAM pozwalają natomiast wykryć oraz wyeliminować ewentualne kolizje narzędzi z materiałem obrabianym nie dopuszczając do zniszczenia któregoś z nich. Powoduje to znaczne skrócenie czasu projektowania zwalniając projektanta z konieczności przeprowadzania żmudnych obliczeń konstrukcji oraz zmniejszenia kosztów produkcji

Bibliografia

- [1] Historia CAD/CAM/CAE <https://www.cadblog.pl/index.php/historia-systemow-cad/>
- [2] Kubiński W.: *Inżynieria i technologie produkcji*, Wydawnictwo AGH, Kraków 2017
- [3] Chlebus E.: *Techniki komputerowe CAx w inżynierii produkcji*, Wydawnictwo WNT, Warszawa 2000
- [4] Wojtowicz D.: *Historia pisana wyzwaniami. Znana polska firma o międzynarodowym zasięgu obchodzi 25 lat istnienia.* <https://natemat.pl/280577,historia-pelna-wyzwan-grupa-oknoplast-obchodzi-25-lecie-swojego-istnienia>
- [5] *Historia Oknoplast* <https://oknoplast.com.pl/o-nas/>
- [6] <https://www.kronosedm.pl/aluminium-pa38-aw-6060>
- [7] Jaskulski A.: *AutoCAD 2019/LT 2019/WEB/ Mobile+ Kurs projektowania parametrycznego i nieparametrycznego 2D i 3D*, Wydawnictwo PWN, Warszawa 2018
- [8] Degen R.: *Współczesna dokumentacja urzędowa*” Robótka H. (red.), Wydawnictwo UMK, Toruń 2011

Spis rysunków

Rysunek 1. Program SketchPad MIT 1965r.	5
Rysunek 2 Główne fazy i metody w konstruowaniu.	11
Rysunek 3 Struktura organizacyjna firmy OKNOPLAST	14
Rysunek 4 Przykładowy rysunek koncepcyjny konstrukcji aluminiowej.....	16
Rysunek 5 Strefy obciążenia wiatrem w Polsce EN 1991-1-4:2008/A1:2010	18
Rysunek 6 Ściana słupowo-ryglowa firmy ALIPLAST model MC-WALL	19
Rysunek 7 Drzwi aluminiowe firmy ALIPLAST model SUPERIAL	19
Rysunek 8 Schemat obciążenia konstrukcji ciężarem szyby lub wypełnienia.....	22
Rysunek 9 Rygiel MC536 z wyznaczonymi momentami bezwładności	23
Rysunek 10 Okno dialogowe obliczenia belki.....	24
Rysunek 11 Wykres ugięcia rygla MC536	24
Rysunek 12 Schemat obciążenia konstrukcji parciem wiatru.....	25
Rysunek 13 Słup MC017 z wyznaczonymi momentami bezwładności.....	26
Rysunek 14 Wykres ugięcia słupa MC017	27
Rysunek 15 Przykładowe zarządzanie blokami rysunku	29
Rysunek 16 Rysunek montażowy słupa fasady	30
Rysunek 17 Rysunek połączenia słupa MC017 oraz rygla MC536.....	31
Rysunek 18 Symulacja wykonania otworów pod elementy mocujące na słupie MC017.....	32

Spis tabel

Tabela 1 Wartości charakterystyczne obciążenia wiatrem w Polsce	18
Tabela 2 Własności fizyczne stopu aluminium AW-6060.....	20
Tabela 3 Własności mechaniczne stopu aluminium AW6060 T66	21
Tabela 4 Wyniki obliczeń ugięcia oraz momentów rygla MC536.....	25
Tabela 5 Wyniki obliczeń ugięcia oraz momentów słupa MC017	28
