

Celem naszej pracy jest wybór optymalnego algorytmu sterowania windami dla różnych rzeczywistych sytuacji. W wielu przypadkach szybkość działania systemu wind w budynku odgrywa kluczową rolę, dlatego dobór jak najbardziej wydajnego algorytmu, a co za tym idzie zapewniającego jak największy komfort dla użytkownika, jest bardzo ważnym aspektem.

Zastosowanie wind może być bardzo szerokie, w większości są one wykorzystywane do przewozu osób i towarów. W zależności od swego przeznaczenia, a także obsługiwanej instytucji, mechanizmy sterujące ich pracą mogą mieć zaimplementowane różne algorytmy, na podstawie których dobierane są kierunki ich ruchu.

Naszym zadaniem jest przeprowadzenie badań i porównanie uzyskanych wyników dla algorytmów zaimplementowanych w programie: „Down-Up”, „Down-Up evolution”, „Last Floor”, „Next Floor”. Ogólna zasada działania algorytmów jest podobna. Windy poruszają się na zmianę w dwóch kierunkach zabierając po drodze osoby zmierzające w tym samym kierunku. To, co je różni, to moment decyzyjny w przypadku, gdy wszyscy pasażerowie opuszczają windę. Jeżeli w tym momencie na różnych piętrach występują wezwania, algorytm sterujący musi zdecydować, który z pasażerów zostanie najpierw obsłużony. Wybór ten jest bardzo istotny dla wydajności całego systemu i to właśnie od niego zależy to, czy zastosowanie danego algorytmu w konkretnej sytuacji da nam lepsze wyniki, niż zastosowanie innego.

1. Opis algorytmów

Algorytm Down-Up

Po uruchomieniu symulacji winda rusza po pierwszą osobę, która ją wezwała. W zależności od tego gdzie ta osoba chciała jechać, w tym kierunku udaje się winda (góra, dół). Po drodze zabierane są kolejne osoby, które chcą jechać w tym samym kierunku. Jeżeli wysiądą wszystkie osoby zmierzające we wcześniej wyznaczonym kierunku, system sterujący kieruje windę do osób, które chcą jechać w kierunku przeciwnym. Jeżeli na poziomie, na którym wysiadła ostatnia osoba jadąca w danym kierunku, nie wsiadł nikt, kto chce jechać w kierunku przeciwnym, winda kieruje się po pierwszą osobę znajdującą się poniżej swojego obecnego poziomu (jeżeli taka istnieje) i udaje się w kierunku przeciwnym do poprzedniego, zabierając kolejne osoby ją wzywające. Przedstawiając następującą sytuację możemy zauważyć, iż algorytm „Down-Up” nie jest najlepszym rozwiązaniem w sytuacjach, w których liczy się krótki czas oczekiwania na windę.

Przypadek

Budynek 6 - piętrowy wyposażony w 1 windę.

Winda znajduje się na poziomie 0, na 1,3,4 piętrze znajdują się osoby chcące dostać się na 5 piętro. Na piętrach 2,6 znajdują się osoby chcące dostać się na parter.

Trasa windy wygląda następująco:

1 piętro wsiada osoba jadąca w górę -> 3 piętro wsiada osoba jadąca w górę -> 4 piętro wsiada osoba jadąca w górę -> 5 piętro osoby jadące w górę wysiadają, następuje moment decyzyjny, system kieruje windę na drugie piętro po pierwszą osobę od dołu chcącą jechać w kierunku przeciwnym, czyli na dół -> 2 piętro wsiada osoba chcąca dostać się na parter -> parter - osoba opuszcza windę.

Jeśli w międzyczasie nikt nie wezwie windy na piętrach 0 - 5 pojedzie ona bezpośrednio po osobę znajdującą się na 6 piętrze, która dopiero wtedy będzie mogła dotrzeć na parter. Jak łatwo zauważyć lepszym rozwiązaniem w tym przypadku było by, gdyby winda pojechała najpierw na ostatnie piętro po osobę, która chciała jechać na dół.

Algorytm Down-Up evolution

Algorytm „*Down-Up evolution*” w momencie wyboru (winda jest pusta), do którego wezwania ma się kierować, wybiera najstarsze wezwanie w kierunku przeciwnym niż jego ostatni kierunek, skanując wszystkie piętra aż do ostatniego.

Dla przypadku tak jak powyżej może to oznaczać, że winda uda się najpierw na szóste piętro. Zależy to jednak od tego czy dane wezwanie nastąpiło wcześniej, niż wezwanie na drugim piętrze. Jeżeli tak nie było, algorytm ten zadziała identycznie jak algorytm „*Down-Up*”.

Jak widać algorytm „*Down-Up evolution*” może okazać się wydajniejszy od swojego poprzednika. Pomimo, iż może zadziałać tak samo, dla większej ilości pięter, długiego czasu pracy, nieuniknionym są takie przypadki gdzie algorytm ten da lepsze wyniki niż algorytm „*Down-Up*”.

Algorytm Next Floor

Według algorytmu „*Next Floor*”, system sterujący pracą windy wybiera to wezwanie, które znajduje się na najbliższym piętrze, w kierunku przeciwnym niż ostatni kurs windy, jeżeli oczywiście pozostają do wyboru dwa kierunki. Pozostała część, tak jak i w innych przypadkach, nie różni się niczym, tzn. po drodze zabierane są kolejne osoby zmierzające w kierunku ruchu windy.

Algorytm Last Floor

Algorytm „*Last Floor*”, w przypadku gdy należy zdecydować do którego wezwania ma udać się winda, wybiera najstarsze wezwanie. Zatem jego zasada działania jest zbliżona do algorytmu „*Down-Up evolution*”. Różnica polega jednak na tym, że w momencie, gdy winda jest w drodze do tego właśnie zgłoszenia, zabiera po drodze osoby, które chcą jechać nie dalej niż wezwanie, do którego została wcześniej skierowana.

2. Symulator

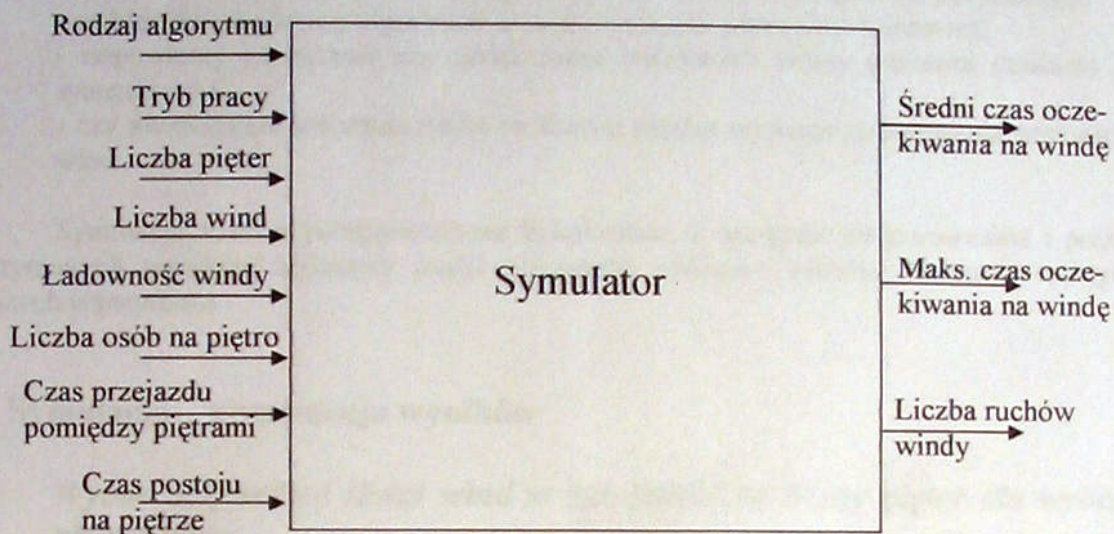
Symulator pozwala na przeprowadzenie badań dla różnych zdarzeń z wykorzystaniem przedstawionych algorytmów sterowania pracą windy.

Po jego uruchomieniu domyślnie uruchamiana jest następująca konfiguracja:

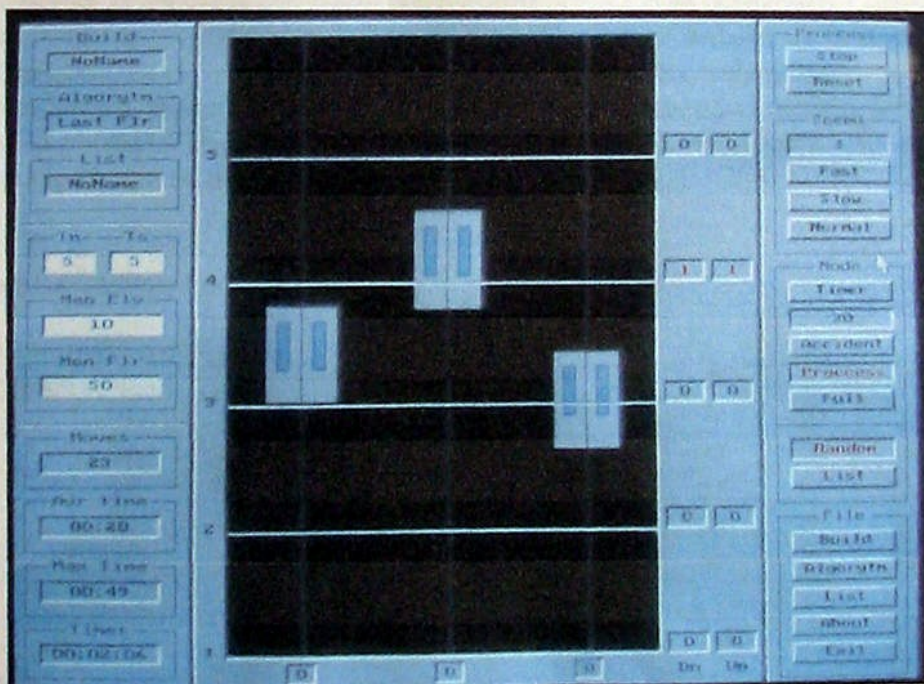
- 5 pięter, na każdym z nich znajduje się po 50 osób, 3 windy o ładowności 10 osób, algorytm sterujący - „*Last Floor*”, losowe przedzielanie wezwania windy, a także normalny tryb pracy.

Są to parametry w pełni konfigurowalne, w zależności od naszych potrzeb można dowolnie wybierać ilość pięter (1 - 20), ładowność windy, ustawić listę z konkretnymi wezwaniem windy, wybrać tryb pracy windy (normalny - process, praca krokowa - accident), no i co najważniejsze

Symulator automatycznie wylicza średnią czasu oraz maksymalny czas, jaki oczekują pasażerowie na przyjazd windy, a także ilość jej ruchów.



Rys. 1 Schemat obrazujący dane podawane na wejście i otrzymywane na wyjściu symulatora.



Rys. 2 Przykładowe okno symulatora.

3. Plan eksperymentu

Nasze badania przeprowadzimy dla kilku wybranych zdarzeń, dla których wybór najbardziej wydajnego algorytmu usprawni działanie całego systemu.

Postaramy się rozwiązać następujące aspekty badanego problemu:

- czy zwiększenie ilości zastosowanych wind w budynku, dla różnych ilości pięter, usprawni działanie systemu wind, a jednocześnie będzie rozwiązaniem optymalnym;
- wybierzemy najlepszy algorytm w razie ewakuacji przez dach wieżowca;
- odpowiemy na pytanie czy zwiększenie ładowności windy usprawni działanie całego systemu oraz
- czy zwiększenie natężenia ruchu na danym piętrze wymaga zastosowania większej ilości wind

Symulacje zostaną przeprowadzone kilkakrotnie, a następnie po porównaniu i prezentacji otrzymanych wyników będziemy mogli wyciągnąć właściwe wnioski dotyczące efektywności naszych algorytmów.

4. Symulacja – prezentacja wyników

Wybór optymalnej ilości wind w zależności od liczby pięter dla wybranych algorytmów.

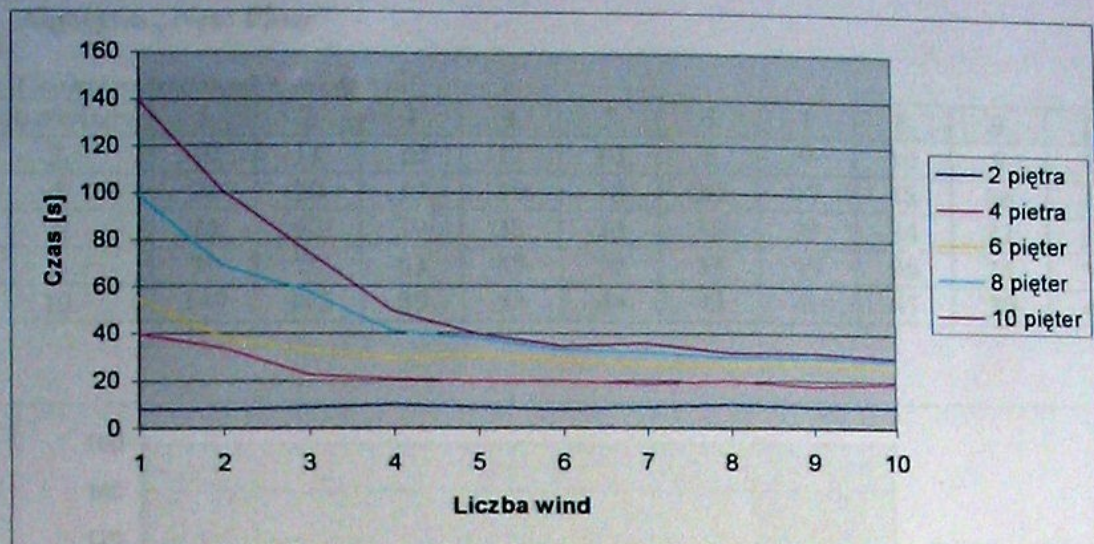
Dla dwóch z wybranych algorytmów przeprowadzimy badania mające na celu wybór optymalnej liczby wind dla konkretnej liczby pięter. Analizując otrzymane wyniki należy wziąć pod uwagę zarówno minimalne czasy oczekiwania na windę, jak i koszt eksploatacji całego systemu. Wiadomo, iż zwiększenie liczby wind zminimalizuje czas oczekiwania pasażera, jednak z drugiej strony podniesie koszt utrzymania. Dlatego też należy wybrać takie rozwiązanie, które zapewni najmniejsze koszty, przy jednoczesnym zachowaniu zadowalającego czasu oczekiwania.

Analiza została przeprowadzona dla następujących parametrów: udźwig windy – 10 osób, czasy przejazdu pomiędzy piętrami – 5 sekund oraz czasy postoju na piętrach – 10 sekund, średnia liczba osób przypadająca na piętro – 50.

Algorytm „Down-Up evolution”

Tab. 1 Średni czas oczekiwania na windę.

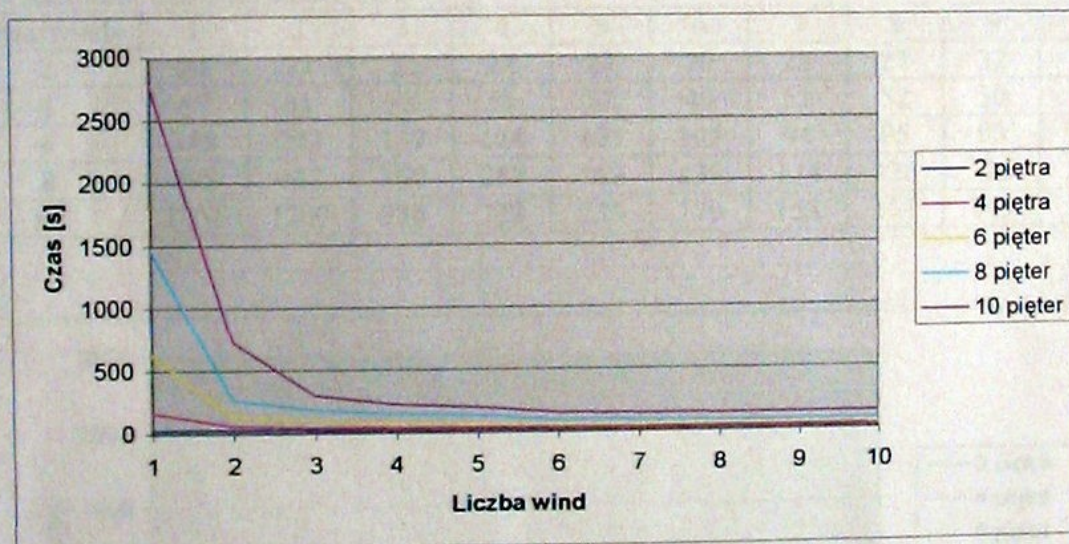
piętra/windy	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	8	8	9	10	9	8	9	10	9	9
4	40	34	23	21	20	20	19	20	18	19
6	55	38	33	30	31	29	27	27	28	26
8	99	69	58	41	38	33	32	30	30	29
10	140	101	75	50	40	35	36	32	32	30



Wykres 1 Średni czas oczekiwania na windę.

Tab. 2 Maksymalny czas oczekiwania na windę.

piętra/windy	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	30	28	26	25	26	23	25	24	25	22
4	167	59	43	40	38	36	35	34	33	30
6	629	137	99	78	68	57	51	53	52	50
8	1471	267	187	152	139	94	89	79	78	81
10	2780	731	301	228	201	155	145	140	138	139

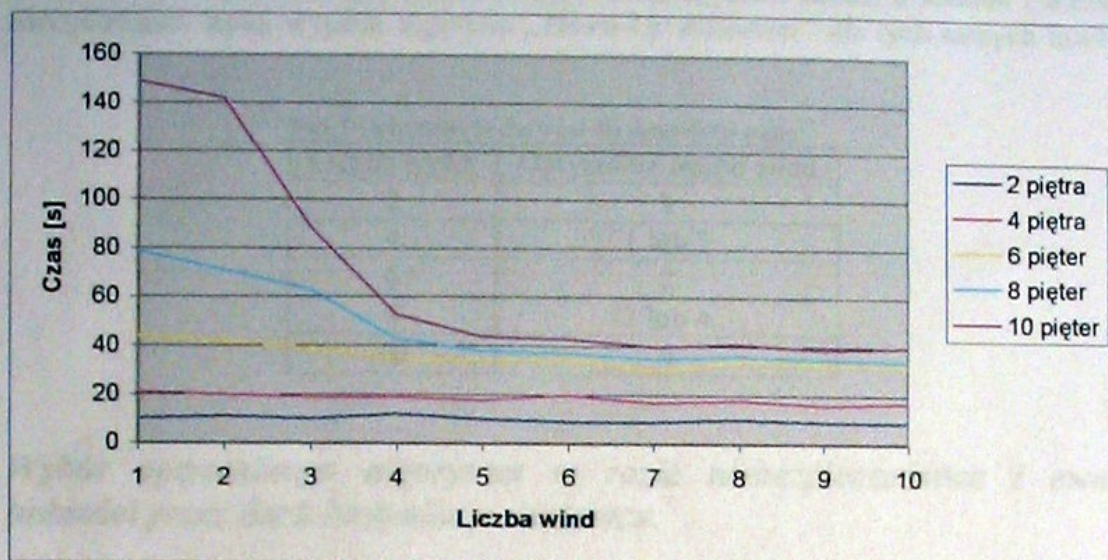


Wykres 2 Maksymalny czas oczekiwania na windę.

Algorytm „Next Floor”

Tab. 3 Średni czas oczekiwania na windę.

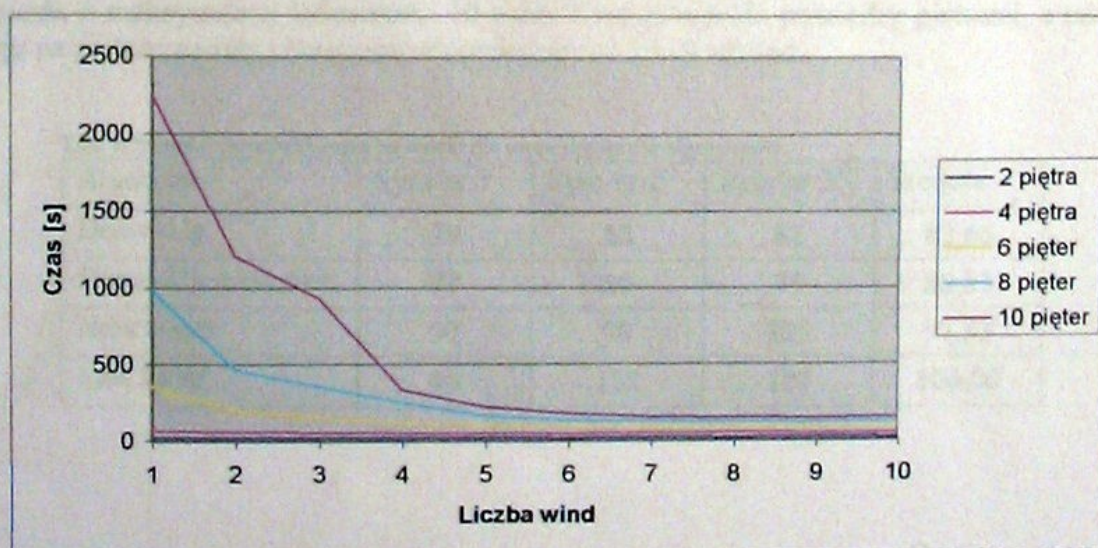
piętra/windy	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	10	11	10	12	10	9	9	10	9	9
4	21	20	19	19	18	20	17	18	16	17
6	44	42	39	35	34	35	30	34	33	32
8	79	71	63	43	38	37	35	36	35	34
10	149	142	89	53	44	43	40	41	39	40



Wykres 3 Średni czas oczekiwania na windę.

Tab. 4 Maksymalny czas oczekiwania na windę.

piętra/windy	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	24	23	22	22	23	20	22	21	22	20
4	67	61	58	53	52	49	51	52	50	48
6	358	202	157	124	107	101	94	95	93	95
8	995	467	360	257	168	139	134	126	125	129
10	2256	1209	936	338	225	179	158	151	149	150



Wykres 4 Maksymalny czas oczekiwania na windę.

Przedstawione wyniki pozwalają nam na dobór odpowiedniej liczby wind zarówno pod względem ekonomicznym jak i pod względem zadowolenia pasażera. Można zauważyć, iż nie zawsze zwiększanie ilości zamontowanych wind będzie opłacalne, spadek czasu oczekiwania będzie zbyt mały, podczas gdy znacznie wzrosną koszty eksploatacji. Dlatego przy doborze odpowiedniej liczby wind bardzo ważna jest wcześniejsza analiza przyjętego rozwiązania, gdyż może okazać się, że znacznie bardziej ekonomicznym byłby dobór mniejszej ich ilości, kosztem nieznacznie tylko wzrastającego czasu oczekiwania pasażera.

Badane algorytmy zachowują się pod tym względem identycznie, dla każdego z nich dochodzimy do pewnej ilości wind, przy której dalsze jej zwiększanie nie ma już uzasadnienia. Można jedynie zauważyć, że w przeprowadzonych testach, jeżeli chodzi o średnie i maksymalne czasy, zdecydowanie lepiej wypada algorytm „Down-Up evolution” dla tych samych liczb wind i pięter.

Tab. 5 Optymalna liczba wind dla danej ilości pięter.

Liczba pięter	Optymalna liczba wind
2	1
4	1 lub 2
6	2
8	3 lub 4
10	4

Wybór optymalnego algorytmu w razie niebezpieczeństwa i ewakuacji ludności przez dach budynku w wieżowcu.

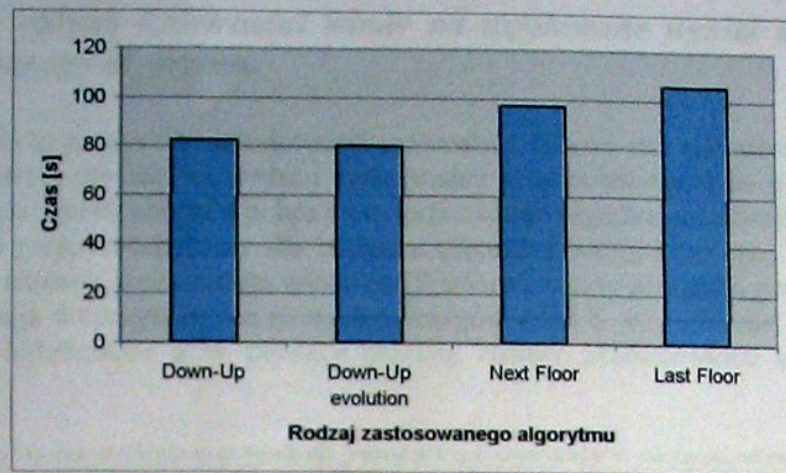
Niejednokrotnie dochodzi do sytuacji kiedy następuje konieczność ewakuacji budynku na skutek wystąpienia różnego rodzaju zagrożeń. W takim wypadku czas gra kluczową rolę, a zatem wybór najsprawniejszego algorytmu jest jak najbardziej konieczny. Pozwoli to na sprawną ewakuację zagrożonych osób i zminimalizuje jej czas. Badania zostaną przeprowadzone dla przypadku gdy ewakuacja jest przeprowadzona przez dach budynku wieżowca, a więc wszystkie wezwania na piętrach dotyczą jednego kierunku, którym jest ostatnie piętro.

Nasz symulator umożliwia wprowadzenie listy zgłoszeń, z zatem możliwe jest takie ustawienie parametrów, aby zobrazować naszą sytuację.

Przebieg symulacji zostanie przeprowadzony dla 20 piętrowego wieżowca, gdzie średnia ilość osób przypadająca na piętro wynosi 100. Większość powierzchni zajmują pomieszczenia biurowe i handlowe, dlatego też ze względu na wzmożony ruch budynek wyposażony jest w 8 wind, każda o maksymalnej ładowności 10 osób. Czas przejazdu pomiędzy piętrami, a także czas przestoju na piętrze zostały ustawione odpowiednio na 5 i 10 sekund.

Tab. 6 Średni czas oczekiwania na windę dla poszczególnych algorytmów.

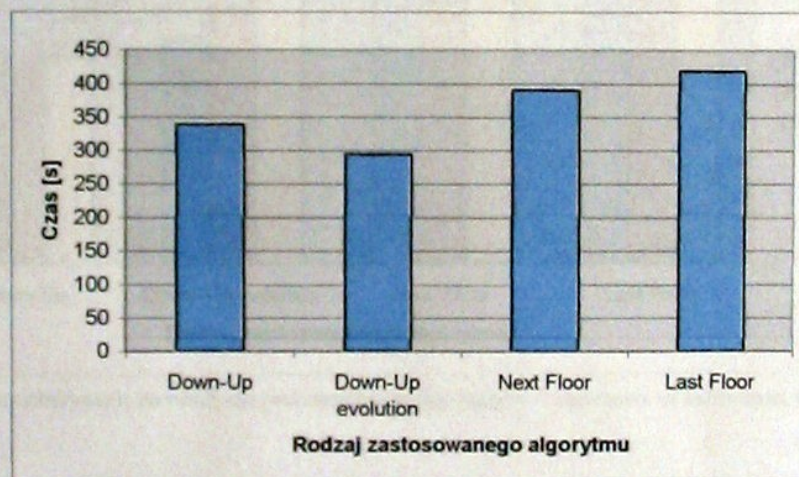
Algorytm	Sym nr 1	Sym nr 2	Sym nr 3	Średnia
Down-Up	79	88	81	82,66
Down-Up evolution	77	89	75	80,33
Next Floor	97	90	105	97,33
Last Floor	99	112	107	106,00



Wykres 5 Średni czas oczekiwania na windę dla poszczególnych algorytmów.

Tab. 7 Maksymalny czas oczekiwania na windę dla poszczególnych algorytmów.

Algorytm	Sym nr 1	Sym nr 2	Sym nr 3	Średnia
Down-Up	342	298	378	339,33
Down-Up evolution	299	286	301	295,33
Next Floor	403	320	448	390,33
Last Floor	419	437	401	419,00



Wykres 6 Maksymalny czas oczekiwania na windę dla poszczególnych algorytmów.

Powyższe wyniki obrazują nam efektywność poszczególnych algorytmów w prezentowanej sytuacji. Z analizy wynika, iż najlepszym rozwiązaniem będzie zastosowanie do sterowania windami algorytmu „Down-Up evolution”. Odznaczał on się niewątpliwie najlepszym średnim, jak i zarówno maksymalnym czasem oczekiwania na windę, dlatego też jego wybór jako najlepszego dla ewakuacji budynku nie może budzić żadnych wątpliwości. Najgorzej w naszych badaniach wypadł natomiast algorytm „Last Floor”, dlatego też w sytuacji gdzie każda sekunda może odgrywać kluczową rolę jego zastosowanie zdecydowanie nie jest wskazane.

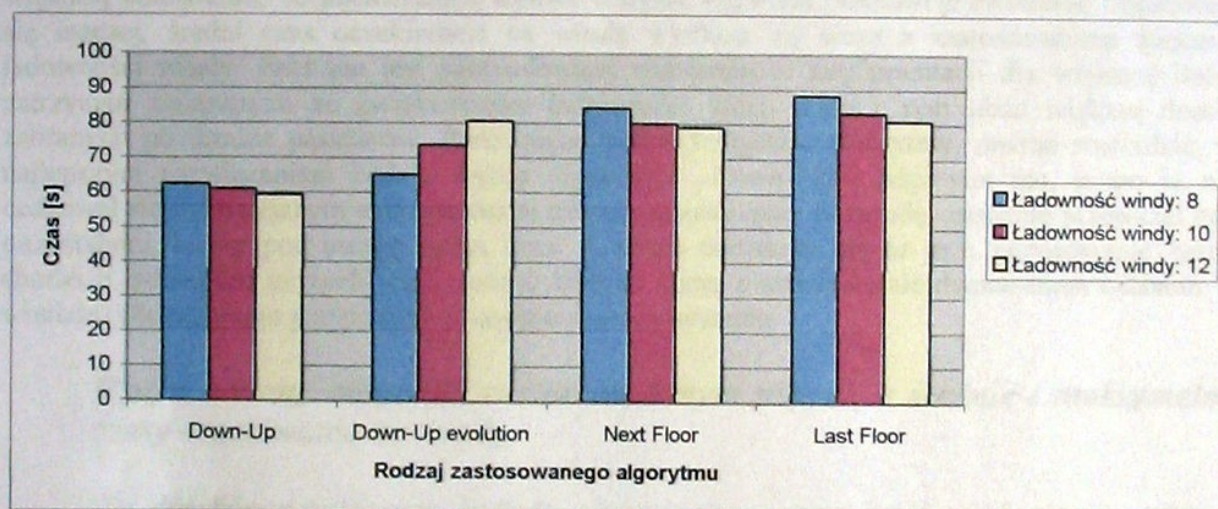
Badanie wpływu ładowności windy na uzyskiwane wyniki w zależności od zastosowanego algorytmu.

Kolejny punkt naszych badań dotyczył optymalnej ładowności zamontowanych wind oraz wpływu, jaki generuje ten fakt na średni i maksymalny czas oczekiwania na windę. Jest to także bardzo ważny aspekt, jeżeli chodzi o pobór mocy przez silniki napędzające dźwigi.

Symulacje przeprowadziliśmy dla budynku piętnastokondygnacyjnego. Na każde z pięter przypada średnio 60 osób, czas postoju windy to 10 sekund, a czas przejazdu pomiędzy piętrami to 5 sekund. Symulacja dotyczyła trzech różnych udźwigów wind 8, 10 i 12 osób. Symulacje zostały przeprowadzone kilkakrotnie a w tabelach poniżej zostały przedstawione średnie wartości z wyników.

Tab. 8 Średni czas oczekiwania na windę dla poszczególnych algorytmów w zależności od ładowności windy

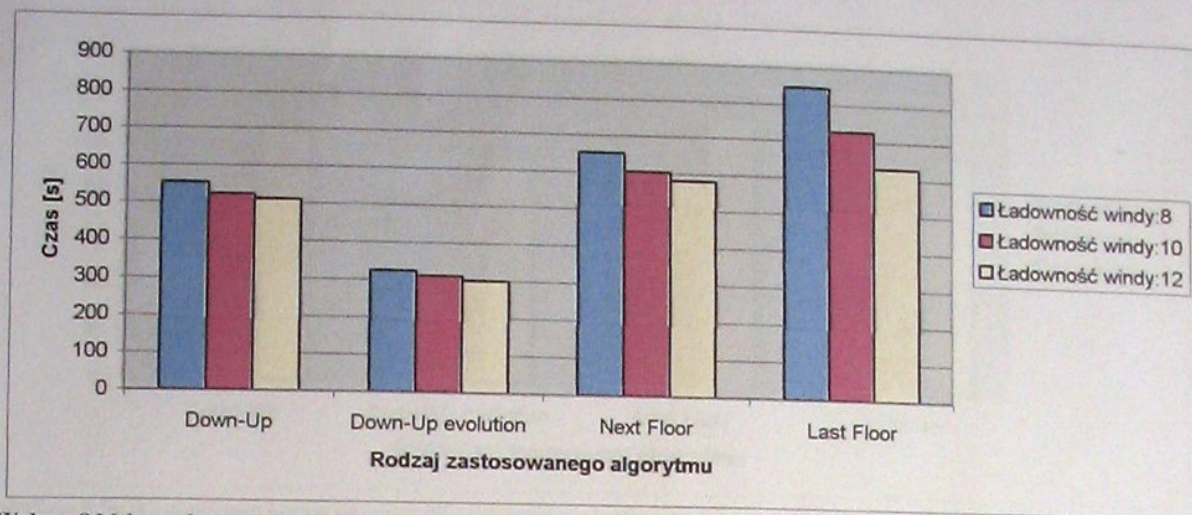
Algorytm\Ładowność	8	10	12
Down-Up	62,31	60,96	59,39
Down-Up evolution	65,24	73,76	80,56
Next Floor	84,32	80,01	78,93
Last Floor	88,21	83,30	80,97



Wykres 7 Średni czas oczekiwania na windę dla poszczególnych algorytmów w zależności od ładowności windy.

Tab. 9 Maksymalny czas oczekiwania na windę dla poszczególnych algorytmów w zależności od ładowności windy

Algorytm\Ładowność	8	10	12
Down-Up	555,48	524,19	511,37
Down-Up evolution	323,78	310,92	299,58
Next Floor	655,75	606,10	582,94
Last Floor	847,32	729,57	630,83



Wykres 8 Maksymalny czas oczekiwania na windę dla poszczególnych algorytmów w zależności od ładowności windy.

Z przeprowadzonej analizy wynika, iż najlepszym rozwiązaniem przy zastosowaniu algorytmów „Down Up”, „Next Floor” i „Last Floor” jest zaprojektowanie w budynku wind o większej ładowności, co potwierdzają wyniki. Jedynie algorytm „Down-Up evolution” zachowuje się inaczej, średni czas oczekiwania na windę wydłuża się wraz z zastosowaniem większej ładowności windy. Fakt ten jest spowodowany różnicami w implementacji dla większej ilości zatrzymań związanych ze zwiększaniem ładowności windy, a co z tym idzie większą ilością zabranych po drodze pasażerów. Porównując zatem wszystkie algorytmy, można stwierdzić, iż najlepszym rozwiązaniem będzie wybór algorytmu „Down-Up”. Algorytm ten, mimo iż nie cechował się najmniejszym maksymalnym czasem oczekiwania na windę, znacznie przeważał nad pozostałymi, biorąc pod uwagę średni czas. A zatem decydując się na jego zastosowanie, jeżeli chodzi o ładowność użytych wind, należy wybrać opcję z maksymalnie dwunastoma osobami w windzie (dla badanego przypadku) co usprawni pracę systemu.

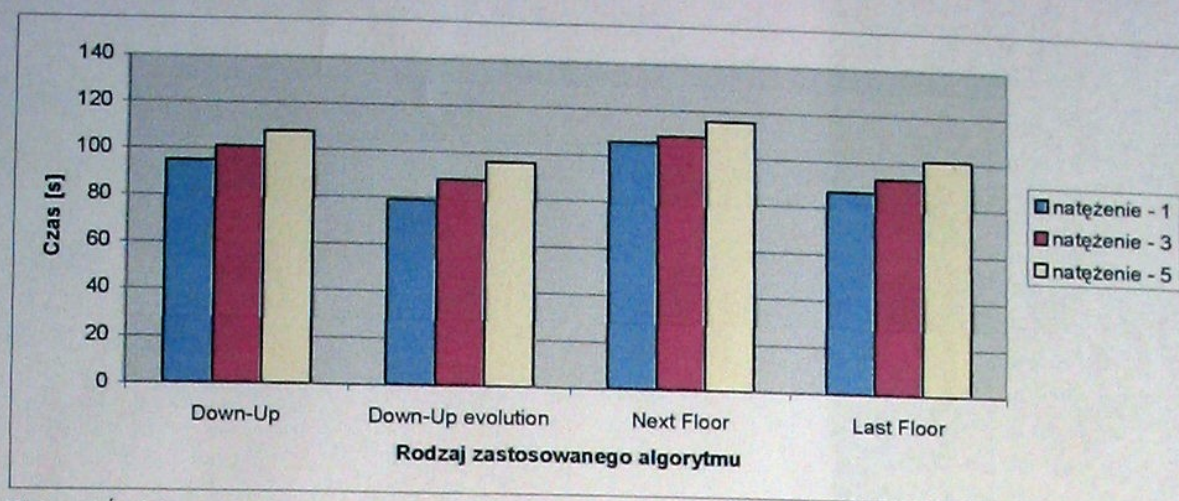
Wpływ zmiany natężenia ruchu na danym piętrze, a średnie i maksymalne czasy oczekiwania na windę.

Dla dwudziesto-piętrowego budynku obsługiwanego przez sześć wind, przeprowadzimy analizę zależności średnich i maksymalnych czasów oczekiwania na windę w zależności od natężenia ruchu na jednym z pięter. Załóżmy, że na ósmym piętrze wieżowca zostanie otwarty bufet, spowoduje to znaczny wzrost natężenia ruchu na tym właśnie piętrze. Postaramy się odpowiedzieć na pytanie, do jakiego stopnia zwiększonego natężenia zainstalowany system wind będzie w stanie sprawnie obsłużyć nasz budynek.

Symulacja zostanie przeprowadzona dla wszystkich badanych algorytmów, z następującymi parametrami: udźwig wind – 12 osób, czas przejazdu pomiędzy piętrami – 5 sekund, czas postoju na piętrze – 10 sekund.

Tab. 10 Średni czas oczekiwania na windę dla poszczególnych algorytmów w zależności od natężenia zgłoszeń

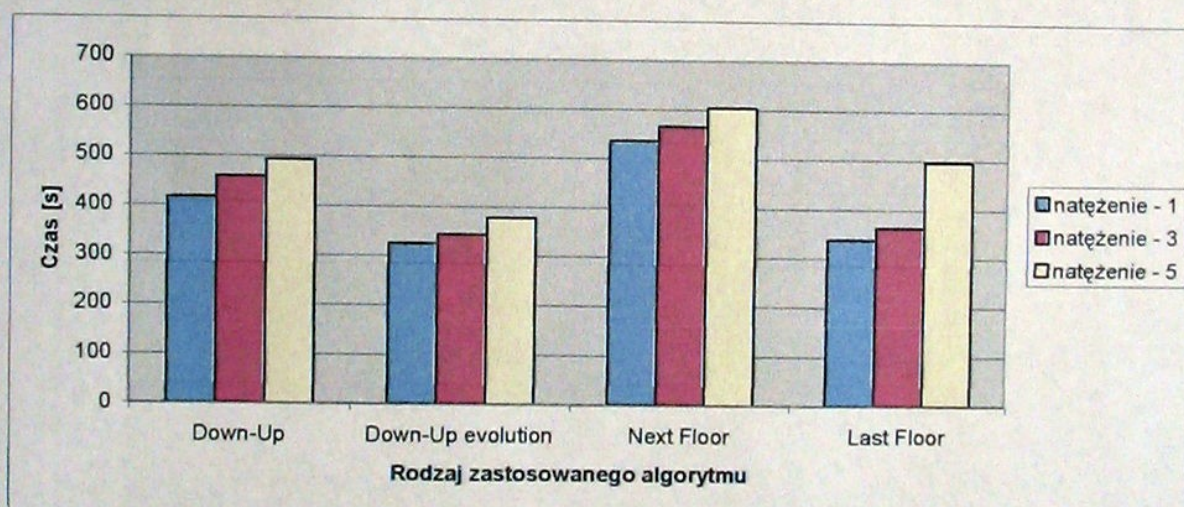
Natężenie/Algorytm	Down-Up	Down-Up evolution	Next Floor	Last Floor
1	95	79	106	87
3	101	88	109	93
5	108	96	116	101



Wykres 9 Średni czas oczekiwania na windę dla poszczególnych algorytmów w zależności od natężenia zgłoszeń.

Tab. 11 Maksymalny czas oczekiwania na windę dla poszczególnych algorytmów w zależności od natężenia zgłoszeń

Natężenie/Algorytm	Down-Up	Down-Up evolution	Next Floor	Last Floor
1	418	326	537	339
3	459	344	567	364
5	494	379	604	497



Wykres 10 Maksymalny czas oczekiwania na windę dla poszczególnych algorytmów w zależności od natężenia zgłoszeń.

Na podstawie zobrazowanych wyników możemy stwierdzić, że czas oczekiwania na windę przez pasażera wydłuża się wprost proporcjonalnie do zwiększonego natężenia ruchu na piętrze związanego z nowo otwartym bufetem. Wraz ze wzrostem natężenia średni i maksymalny czas oczekiwania wzrastały odpowiednio o kilka i kilkadziesiąt sekund, co w praktyce nie spowoduje znacznego pogorszenia komfortu pasażerów, zwłaszcza, że średnie czasy różniły się tylko nieznacznie. W związku z tym w naszym przypadku zamontowane windy zapewnią poprawne działanie całości systemu, nie wprowadzając znacznych utrudnień. Po raz kolejny i w tym przypadku najlepsze wyniki zostały wygenerowane przez algorytm „Down-Up evolution”