

Opracował:

Tadeusz Suszał

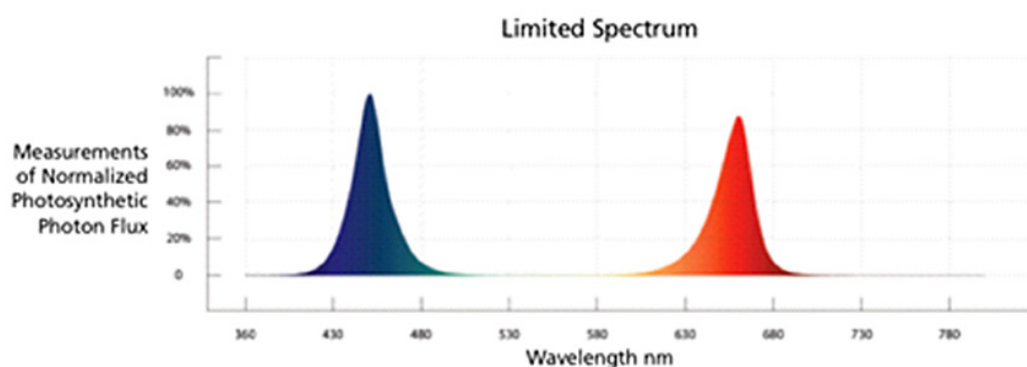
POLICZ 307

Właściwe oświetlenie upraw ma istotny wpływ na rośliny a tym samym na pozostałe czynniki zewnętrzne, niezbędne do prawidłowego rozwoju. Jest bogata oferta opraw na potrzeby zastosowania w produkcji roślinnej. Jednak nie każda oferta jaką znajdziemy jest warta naszej uwagi. Wiele z tych opraw po prostu nadaje się na użytek dyskoteki. Brak jest elementarnych informacji dotyczących parametrów związanych z produkcją roślinną, brak zaplecza serwisowego, wsparcia. Można kupić „bezwartościowy gadżet” bez gwarancji skuteczności. Najprostsze lampy LED nie mają możliwości regulacji widma i mocy lampy. Oświetlenie LED powinno zapewniać optymalizację takich czynników jak: czasookres oświetlania (fotoperiodyzm), natężenie światła, temperaturę barwową, odległość i kąt promieniowania, oraz długość fal świetlnych. W związku z tym powinniśmy szukać opraw wśród ofert, które umożliwiają nam wgląd w te parametry (a same oprawy będą miały możliwość zmiany parametrów) a producent udziela gwarancji na okres nie mniej niż 3-5 lat oraz zapewnia wsparcie. Niejednokrotnie możemy się do niego zwrócić aby nam zaproponował rozwiązanie oświetlenia dla naszych potrzeb. Takie oferty niosą ze sobą odpowiednio wysoką cenę opraw. Zdecydowanie większą od tych tanich, podejrzanych. Już to świadczy o tym, że inwestycja w oświetlenie LED tania nie będzie a co za tym idzie nie jest to inwestycja na 1-2 lata.

Na przykładzie szklarni poliwęglanowej (jak w zadaniu) przeprowadzę analizę warunków oświetleniowych oraz co będzie z tym związane warunków zasilania w energię elektryczną. Natomiast nie będę wnikał w aspekty konstrukcyjne szklarni ze względu na możliwość zawieszenia opraw. To jest oddzielny problem, jak najbardziej istotny, mający również swój udział w kosztach.

Rośliny mogą wykorzystywać światło w zakresie od 400 do 700 nanometrów do fotosyntezy. Ten zakres długości fal jest znany jako promieniowanie aktywne w fotosyntezie (PAR). Krzywa McCree'a wyjaśnia również, które długości fal w zakresie PAR są najbardziej efektywne dla fotosyntezy, z czerwonym i niebieskim światłem na czele. Czerwone oraz niebieskie długości fal są idealne dla fotosyntezy ponieważ przy tych barwach absorpcja chlorofilu w roślinach osiąga maksymalne wielkości. Rozważając system oświetlenia ogrodniczego, ważne

jest, aby zrozumieć, czy system oświetlenia mieści się w spektrum PAR. Rośliny wykorzystują wszystkie długości fal między 400-700 nm do fotosyntezy.



Wielu producentów światła decyduje się na spektrum kolorów głównie lub wyłącznie niebieskiego i czerwonego światła (patrz rysunek powyżej). Choć spowoduje to wytworzenie maksymalnej ilości fotonów, widmo to jest bardzo nie zrównoważone i nie jest idealne dla roślin ani dla oczu. To nienaturalne światło i irytujące w patrzeniu przez długi czas. Widmo kolorów świetlnych zbliżonych do naturalnego światła słonecznego, a przynajmniej różowawe (mniej ciężkie niż niebieskie i czerwone) jest lepszym wyborem zarówno dla roślin, jak i ludzi. Rośliny są zielone, ponieważ odbijają więcej zielonego światła niż niebieskiego lub czerwonego, ale nadal pochłaniają większość całego zielonego światła.

Niektóre rodzaje światła stosowanych w systemach oświetlenia ogrodniczego, nie zapewniają pełnego spektrum PAR światła dla roślin, co oznacza, że są one mniej skuteczne w procesie fotosyntezy. Również należy zwrócić uwagę na to, że oświetlenie roślin to nie jeden czynnik mający wpływ na rośliny ale trzeba uwzględnić inne bardzo ważne czynniki takie jak temperatura, CO₂, ciśnienie pary i wilgotność, nawożenie. Wszystkie one są powiązane ze sobą, warunkami oświetlenia i należy je rozpatrywać łącznie. Inaczej można osiągnąć odwrotny efekt od zamierzonego. Gdy roślina przyjmie te kluczowe składniki - wodę, dwutlenek węgla i światło - może wystąpić fotosynteza.

Liczba fotonów, które roślina absorbuje przez swoje chloroplasty, bezpośrednio wpływa na tempo fotosyntezy w roślinie. Wraz ze wzrostem intensywności światła, określanej jako gęstość strumienia fotosyntetycznego fotonów (PPFD), wzrasta tempo fotosyntezy, aż do pewnego punktu zwanego punktem nasycenia. Różne gatunki roślin mają różne punkty nasycenia, w których tempo fotosyntezy spada. Punkt nasycenia dla roślin, które rozwijają się w zacienionym

środowisku jest znacznie niższy niż punkt nasycenia dla roślin preferujących bezpośrednio światło słoneczne. Punkt nasycenia jest w zasadzie górną granicą dla intensywności światła - intensywność światła wyższa niż punkt nasycenia nie zwiększa tempa fotosyntezy.

Aby prawidłowo dobrać oświetlenie szklarni, pomocne jest zrozumienie następujących terminów:

- Promieniowanie fotosyntetycznie aktywne (**PAR**): PAR określa obszar widma elektromagnetycznego (400 do 700 nanometrów), który jest potrzebny do fotosyntezy.
- Fotosyntetyczny strumień fotonów (**PPF**): Całkowita ilość PAR (fotonów) emitowanych przez oprawę oświetleniową w ciągu sekundy. Mierzony w mikromolach na sekundę ($\mu\text{mol/s}$).
- Gęstość strumienia fotosyntetycznego fotonów (**PPFD**): Całkowita ilość PAR (fotonów), która dociera do łanu rośliny w każdej sekundzie, mierzone w mikromolach na metr kwadratowy na sekundę ($\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$).
- Całka dzienna światła (**DLI**): Skumulowany pomiar całkowitej ilości PAR (fotonów), które docierają do łanu rośliny podczas fotoperiodu/dzień. Mierzona w molach na metr kwadratowy na dzień ($\text{mol/m}^2/\text{d}$).

Aby dokładnie porównać oprawy, należy znać spektra. Oprócz spektrum, są jeszcze inne czynniki do rozważenia. Specyfikacja każdej oprawy powinna zawierać wspomniane PPF. Odzwierciedla on ilość fotonów emitowanych z oprawy w zakresie długości fali PAR od 400nm do 700nm.

Na przykład oprawa z PPF 1.100 $\mu\text{mol/s}$ będzie miała znacznie więcej światła PAR w porównaniu do PPF 550 $\mu\text{mol/s}$. W zależności od zastosowania, generalnie im wyższy PPF oprawy tym lepiej, szczególnie jeśli oprawa jest zamontowana w dużej odległości od łanu rośliny.

Dostawca oświetlenia powinien dostarczyć klientowi zalecaną wysokość montażu, rozstaw i rozmieszczenie opraw specyficzne dla jego szklarni i upraw. Nie ma jednej reguły dla wszystkich warunków i rodzaju upraw. Taki projekt powinien zapewnić średni PPFD i jednorodność fotonów/światła w całej uprawie. Celem jest zapewnienie jednolitego "strumienia fotonów" na całej powierzchni uprawy.

Po określeniu średniego PPFD, należy również wskazać, ile moli światła zostanie dodanych do naturalnego światła słonecznego DLI w oparciu o liczbę godzin, w których planuje się korzystać z opraw. Im dłużej pracują oprawy, tym większe jest

DLI uprawy. Może to zrobić dostawca czy producent opraw. W naszym przypadku musimy to zrobić sami.

W komercyjnych lampach wzrostowych wydajność jest mierzona gęstością strumienia fotosyntetycznego na wat (PPF / W) i jest znana jako **skuteczność** fotosyntezy fotonów, **PPE**. Jest mierzona w mikromolach na dżul (**μmol/J**); lub **fotonach/wat**. Skuteczność fotosyntezy fotonów (μmol / J) odnosi się do tego, jak skutecznie lampa może przekształcić energię elektryczną w promieniowanie, które może być wykorzystywane przez rośliny. To znaczy, ile mocy jest potrzebne do wygenerowania tego strumienia fotonów:

$$PPE = \frac{PPF}{Moc} \left[\frac{\mu mol}{Ws} = \frac{\mu mol}{J} \right]$$

Skuteczność powyżej 2.0 μmol/J jest uważana za dobrą dla "białego" światła. (widmo oprawy wpływa na skuteczność). Urządzenie emitujące głównie czerwone światło może mieć wyższą skuteczność, ale niekoniecznie będzie to najlepsza opcja by osiągnąć zrównoważony wzrost roślin. Nie można użyć samej mocy elektrycznej do określenia mocy świetlnej oprawy. Moc da nam tylko ogólne wyobrażenie o tym, jak potężne może być urządzenie.

Wzór do obliczania **DLI** jest następujący:

$$\mu mol/m^2/s \text{ (PPFD)} \times (3600 \times \text{fotoperiod}) / 1000000 = \text{DLI (moli/m}^2\text{/dzień)}$$

PPFD to liczba fotonów, które docierają do określonej powierzchni (1m²) w każdej sekundzie, mierzona w mikromolach (μmol/m²/s).

1000000 mikromoli = 1 mol

3600 sekund = 1 godzina

Liczba moli na godzinę, na 1m², pomnożona przez fotoperiod (liczba godzin o tej intensywności) = DLI, dzienna liczba światła (Daily Light Integral)

Poniższy rozkład przedstawia nam wartości DLI w powiązaniu z PPFD i ilością godzin oświetlenia. Zarówno większe PPFD oprawy i większa ilość godzin oświetlenia zwiększa nam DLI.

DLI (Day Light Integral)

PPFD		1	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000
Hours		DLI																			
1		0,0036	0,4	0,5	0,7	0,9	1,1	1,3	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,3	2,5	2,7	2,9	3,1	3,2	3,4	3,6
2		0,0072	0,7	1,1	1,4	1,8	2,2	2,5	2,9	3,2	3,6	4,0	4,3	4,7	5,0	5,4	5,8	6,1	6,5	6,8	7,2
3		0,0108	1,1	1,6	2,2	2,7	3,2	3,8	4,3	4,9	5,4	5,9	6,5	7,0	7,6	8,1	8,6	9,2	9,7	10,3	10,8
4		0,0144	1,4	2,2	2,9	3,6	4,3	5,0	5,8	6,5	7,2	7,9	8,6	9,4	10,1	10,8	11,5	12,2	13,0	13,7	14,4
5		0,0180	1,8	2,7	3,6	4,5	5,4	6,3	7,2	8,1	9,0	9,9	10,8	11,7	12,6	13,5	14,4	15,3	16,2	17,1	18,0
6		0,0216	2,2	3,2	4,3	5,4	6,5	7,6	8,6	9,7	10,8	11,9	13,0	14,0	15,1	16,2	17,3	18,4	19,4	20,5	21,6
7		0,0252	2,5	3,8	5,0	6,3	7,6	8,8	10,1	11,3	12,6	13,9	15,1	16,4	17,6	18,9	20,2	21,4	22,7	23,9	25,2
8		0,0288	2,9	4,3	5,8	7,2	8,6	10,1	11,5	13,0	14,4	15,8	17,3	18,7	20,2	21,6	23,0	24,5	25,9	27,4	28,8
9		0,0324	3,2	4,9	6,5	8,1	9,7	11,3	13,0	14,6	16,2	17,8	19,4	21,1	22,7	24,3	25,9	27,5	29,2	30,8	32,4
10		0,0360	3,6	5,4	7,2	9,0	10,8	12,6	14,4	16,2	18,0	19,8	21,6	23,4	25,2	27,0	28,8	30,6	32,4	34,2	36,0
11		0,0396	4,0	5,9	7,9	9,9	11,9	13,9	15,8	17,8	19,8	21,8	23,8	25,7	27,7	29,7	31,7	33,7	35,6	37,6	39,6
12		0,0432	4,3	6,5	8,6	10,8	13,0	15,1	17,3	19,4	21,6	23,8	25,9	28,1	30,2	32,4	34,6	36,7	38,9	41,0	43,2
13		0,0468	4,7	7,0	9,4	11,7	14,0	16,4	18,7	21,1	23,4	25,7	28,1	30,4	32,8	35,1	37,4	39,8	42,1	44,5	46,8
14		0,0504	5,0	7,6	10,1	12,6	15,1	17,6	20,2	22,7	25,2	27,7	30,2	32,8	35,3	37,8	40,3	42,8	45,4	47,9	50,4
15		0,0540	5,4	8,1	10,8	13,5	16,2	18,9	21,6	24,3	27,0	29,7	32,4	35,1	37,8	40,5	43,2	45,9	48,6	51,3	54,0
16		0,0576	5,8	8,6	11,5	14,4	17,3	20,2	23,0	25,9	28,8	31,7	34,6	37,4	40,3	43,2	46,1	49,0	51,8	54,7	57,6
17		0,0612	6,1	9,2	12,2	15,3	18,4	21,4	24,5	27,5	30,6	33,7	36,7	39,8	42,8	45,9	49,0	52,0	55,1	58,1	61,2
18		0,0648	6,5	9,7	13,0	16,2	19,4	22,7	25,9	29,2	32,4	35,6	38,9	42,1	45,4	48,6	51,8	55,1	58,3	61,5	64,8
19		0,0684	6,8	10,3	13,7	17,1	20,5	23,9	27,4	30,8	34,2	37,6	41,0	44,5	47,9	51,3	54,7	58,1	61,6	65,0	68,4
20		0,0720	7,2	10,8	14,4	18,0	21,6	25,2	28,8	32,4	36,0	39,6	43,2	46,8	50,4	54,0	57,6	61,2	64,8	68,4	72,0
21		0,0756	7,6	11,3	15,1	18,9	22,7	26,5	30,2	34,0	37,8	41,6	45,4	49,1	52,9	56,7	60,5	64,3	68,0	71,8	75,6
22		0,0792	7,9	11,9	15,8	19,8	23,8	27,7	31,7	35,6	39,6	43,6	47,5	51,5	55,4	59,4	63,4	67,3	71,3	75,2	79,2
23		0,0828	8,3	12,4	16,6	20,7	24,8	29,0	33,1	37,3	41,4	45,5	49,7	53,8	58,0	62,1	66,2	70,4	74,5	78,7	82,8
24		0,0864	8,6	13,0	17,3	21,6	25,9	30,2	34,6	38,9	43,2	47,5	51,8	56,2	60,5	64,8	69,1	73,4	77,7	82,1	86,4
			0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-35	35-40	40-45	45-50	50-55	55-60	60-65	65-70	70-75	75-80	80-85	85-90	90-95

W tym miejscu dochodzimy do informacji o potrzebnej roślinom ilości światła na dzień DLI.

[dli_requirements.pdf \(msu.edu\)](https://www.msu.edu/~plant/dli_requirements.pdf)

Erik Runkle:	
<u>Crop</u>	<u>DLI</u>
Vegetative cuttings (liners) - early	4-6
Vegetative cuttings (liners) - late	6-10
Seedlings (plugs) - early	6-10
Seedlings (plugs) - late	10-15
Shade plants (annuals and perennials)	6-10
Foliage plants	6-10
Potted bulbs	6-15
Stock plants (for cuttings)	10-20
Annual bedding plants	10+
Leafy greens and herbs	12+
Potted flowering plants	12+
Shrubs	12+
Cut flowers	15+
Fruiting vegetables	15+

Dr, Lynette Morgan:	
<u>Crop</u>	<u>DLI</u>
Violets, orchids, ferns	4-6
Seedlings/cuttings	6-8
Small herbs	10-12
Butterhead lettuce	14-16
Cucumber	20-30
Capsicum	20-30
Eggplant	20-30
Tomatoes	22-30

Tu też znajdziemy wartości DLI

<https://www.extension.purdue.edu/extmedia/ho/ho-238-w.pdf>

Istnieje kilka sposobów określania DLI dla danej lokalizacji i sezonu:

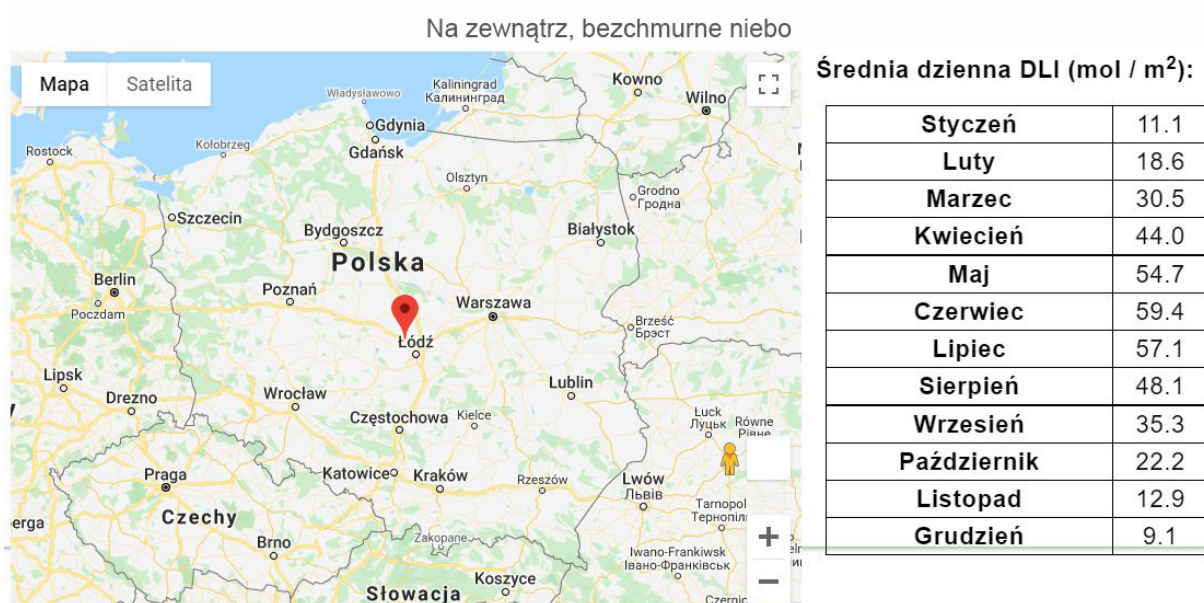
- Można zmierzyć za pomocą miernika PAR. Niektóre mierniki PAR mają opcję pomiarów PPFD w ciągu dnia i dodawania tych chwilowych pomiarów do dziennej sumy lub Diennej Całki Światła DLI.
- Wykorzystanie kalkulatora w Internecie
- Wykorzystanie gotowych map DLI

My wykorzystamy kalkulator bo nie mamy miernika PAR ani gotowych map DLI. Niżej jest link do kalkulatora zintegrowanego światła dziennego za pomocą, którego możemy określić DLI np. w szklarni w podziale na miesiące i w zależności od tego czy dzień jest pogodny czy pochmurny. Wybieramy żądany odczyt DLI z

menu rozwijanego oraz w odpowiednim miejscu wpisujemy „Poland”. Klikamy „zatwierdź” i ukaże się nam mapa Polski potwierdzająca, że analizę prowadzimy dla właściwego miejsca a z prawej strony, w tabeli zobaczymy wartości - średnie dzienne odczyty DLI według miesięcy.

<https://www.agritecture.com/dli-calculator>

Ponieważ nie określono bliżej dla jakiej szklarni są to odczyty (z jakim pokryciem) a podejrzewam, że nie chodzi o szklarnię z poliwęglanu tej wielkości a raczej o coś większego z przeznaczeniem na masową produkcję to do naszych rozważań wykorzystamy wyniki DLI uzyskane dla pomiaru na zewnątrz, które przeliczymy na warunki wewnątrz szklarni poliwęglanowej. Zarówno w dzień pogodny i pochmurny.



Na zewnątrz, pochmurny dzień



Średnia dzienna DLI (mol / m²):

Styczeń	6.0
Luty	10.1
Marzec	16.6
Kwiecień	23.9
Maj	29.7
Czerwiec	32.3
Lipiec	31.0
Sierpień	26.1
Wrzesień	19.1
Październik	12.1
Listopad	7.0
Grudzień	4.9

Nie mamy miernika i w związku z tym musimy sobie przeliczyć wartości „na zewnątrz” na wartości „wewnątrz”. Poniżej znajdują się niektóre referencyjne poziomy transmisji dla zwykłych pokryć szklarniowych. Poniższe poziomy transmisji nie uwzględniają innych przeszkód w szklarni, które mogłyby zmniejszyć transmisję. Brud i kurz na pokryciach mogą również zmniejszyć transmisję.

- Pojedyncza folia polietylenowa - 85%
- Podwójna folia polietylenowa - 77%
- Poliwęglan falisty - 91%
- Poliwęglan dwuścienny - 78%-82%
- Szkło - 78% -90%

Przyjmujemy, że nasza szklarnia jest wykonana z poliwęglanu dwuściennego o współczynniku transmisji 0,8. Pomnożymy zewnętrzny DLI przez współczynnik transmisji, aby uzyskać wewnętrzny DLI.

Uzyskane wartości DLI po przeliczeniu przedstawiono w tabeli:

DLI wewnątrz szklarni po przeliczeniu przez współczynnik transmisji		
	Dzień pogodny	Dzień pochmurny
Styczeń	8,88	4,80
Luty	14,88	8,08
Marzec	24,40	13,28
Kwiecień	35,20	19,12
Maj	43,76	23,76
Czerwiec	47,52	25,84
Lipiec	45,68	24,8
Sierpień	38,48	20,88
Wrzesień	28,24	15,28
Październik	17,76	9,68
Listopad	10,32	5,60
Grudzień	7,28	3,92

Teraz porównamy DLI otrzymane z wyliczenia przedstawione w tabeli powyżej z potrzebną roślinom ilością światła na dzień DLI przedstawioną wcześniej na stronie 6. Największa wartość DLI tam występująca to 30 (ogórki, papryka, pomidory, bakłażan). Jedynie kwiaty ozdobne i „ziółka” (brak w zestawieniu), którymi się nie zajmujemy potrzebują więcej światła (wyższe DLI) i to w okresie kwitnienia. Przyjąłem, że sezon zaczynamy w kwietniu a kończymy we wrześniu.

Z porównania wynika, że w dni słoneczne nie zachodzi potrzeba doświetlania. Jedynie tylko w dni pochmurne DLI jest niższe niż oczekiwane i w tych dniach zachodzi jedynie potrzeba doświetlania. I to tylko dla wcześniej wymienionych roślin z wymaganiem DLI na poziomie 30. Inne o mniejszych wymaganiach oświetleniowych na poziomie 10-15 również w dni pochmurne nie wymagają doświetlania. Zajmiemy się, w związku z tym, doświetleniem w dni pochmurne dla roślin o wymaganiu DLI na poziomie 30.

Aby dowiedzieć się, ile światła będziemy potrzebować z dodatkowego źródła LED, musimy obliczyć różnicę między wewnętrznym DLI a docelowym DLI. Przykładowo jeśli docelowy DLI wynosi $30 \text{ mol/m}^2/\text{d}$, a wewnętrzny DLI wynosi $20 \text{ mol/m}^2/\text{d}$, to wymagany dodatkowy DLI wynosi $10 \text{ mol/m}^2/\text{d}$. W ten sposób obliczymy dodatkowy DLI dla poszczególnych miesięcy naszego sezonu.

Aby określić ile godzin doświetlania będą potrzebować rośliny dla dodatkowego DLI wykorzystamy PPFD oprawy. Niektórzy producenci podają szacunkową moc wyjściową dla swoich świateł na różnych wysokościach nad uprawą. Musimy przekonwertować PPFD z $\text{umol/m}^2/\text{s}$ na $\text{mol/m}^2/\text{h}$ wg zależności:

$$(\text{PPFD} \times 3600)/1000000$$

Uzyskaną wartość wykorzystamy w obliczeniu potrzebnego czasu. Dla PPFD **400** $\text{umol/m}^2/\text{s}$ uzyskamy **1,44** $\text{mol/m}^2/\text{godz}$. Dla **600** $\text{umol/m}^2/\text{s}$ uzyskamy **2,16** $\text{mol/m}^2/\text{godz}$. Przez podzielenie dodatkowego DLI przez uzyskane współczynniki (wartość w odniesieniu do 1 godziny) otrzymamy potrzebny czas doświetlania aby uprawa otrzymała dodatkowe DLI światła na dzień. Znając ilość dni pochmurnych w każdym miesiącu jesteśmy w stanie obliczyć ilość godzin doświetlania dla każdego miesiąca oraz całego sezonu. Te dane są nam potrzebne aby policzyć koszt zużytej energii. W przedstawionej tabeli zebrałem interesujące nas wyniki.

	DLI dodatkowe dla dni pochmurnych 30 – DLI wew [mol/m ² /d]	Ilość dni pochmurnych w miesiącu *	400PPFD		600PPFD	
			Ilość godzin doświetlania w dni pochmurne [h] DLI/1,44	Ilość godzin doświetlania w miesiącu w dni pochmurne [h]	Ilość godzin doświetlania w dni pochmurne [h] DLI/2,16	Ilość godzin doświetlania w miesiącu w dni pochmurne [h]
1	2	3	4	5	6	7
Kwiecień	10,88	9,2	7,55	69,46	5,04	46,37
Maj	6,24	7,1	4,33	30,74	2,89	20,52
Czerwiec	4,16	6,3	2,89	18,21	1,93	12,16
Lipiec	5,2	4,9	3,61	17,69	2,41	11,81
Sierpień	9,12	5,6	6,33	35,45	4,22	23,63
Wrzesień	14,72	9,5	10,22	97,09	6,81	64,70
				Σ = 268,64		Σ = 179,19

* Ilość dni pochmurnych dla województwa mazowieckiego na podstawie opracowania:

[Klimat Warszawa - meteoblue](#)

Chcemy wiedzieć, ile watów potrzebujemy do oświetlania 1m². W Internecie można znaleźć szacunkowe wartości w odniesieniu do stopy kwadratowej ft². Liczba ta jest różna, ale wynosi około **32W** na stopę kwadratową ft². Czasami mniej (**11-18W**), ale czasami więcej (do **40W**). Nie ma jednej odpowiedzi, ponieważ każda roślina rozwija się z różną intensywnością z oprawami o różnej skuteczności. Po przeliczeniu powyższych wartości w odniesieniu do 1m² mamy:

(118,4 – 193,75) W/m² dla roślin o słabym oświetleniu (ziola, sałata)

(344,45 – 430,56) W/m² dla dużych roślin kwitnących

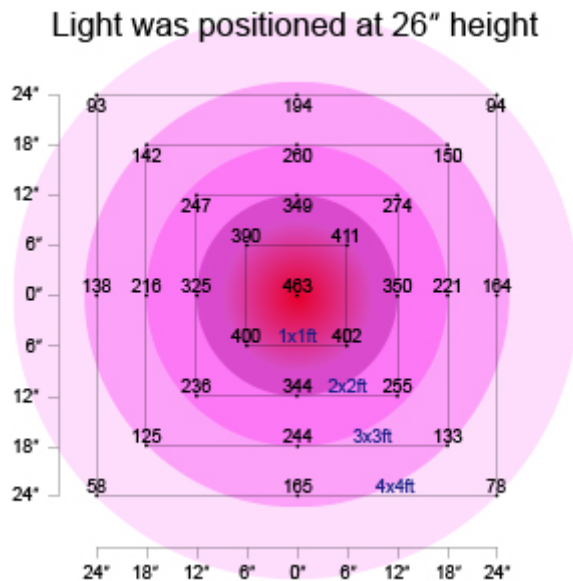
Przeliczając to na powierzchnię szklarni z zadania 24m² mamy szacunkowe zapotrzebowanie mocy:

$$24(118,4 - 193,75) = (2842 - 4650)W$$

$$24(344,45 - 430,56) = (8267 - 10333)W$$

Te szacunkowe obliczenia służą do orientacji z jakim zapotrzebowaniem mocy możemy mieć do czynienia a z tym będą się wiązać wymagania dotyczące instalacji elektrycznej, jej parametrów technicznych takich jak przekrój przewodów, dobór właściwych zabezpieczeń. Nie wystarczy stwierdzenie „mamy tam doprowadzoną linię 230V”. Moc zapotrzebowana może przekraczać moc jaką uzyskaliśmy w warunkach technicznych np. dla domu. Tym bardziej z sieci jednofazowej. Może się to wiązać z dodatkowym zapotrzebowaniem na moc.

Natomiast dokładne zapotrzebowanie mocy obliczymy na podstawie ilości opraw rozmieszczonych w szklarni w zależności od PPFD oprawy jaką chcemy zastosować. Wartość PPFD zależy od odległości oprawy od uprawy. Im odległość większa tym PPFD mniejsze. A mniejsza wartość to dłuższy czas oświetlania. Ogólną zasadą, którą należy wziąć pod uwagę przy umieszczaniu opraw LED, jest to, że światło z jednego urządzenia powinno nakładać się na światło z innego, tworząc równomierne rozprzestrzenianie się światła w przestrzeni wzrostu, aby zapewnić prawidłowy wzrost roślin. Takie rozmieszczenie opraw poprawia równomierność oświetlenia a tym samym średnią wartość PPFD. Do poprawnego pomiaru i odczytu PPFD służą dedykowane mierniki (np. Li-180), które są dość kosztowne (ceny od 400\$ i więcej). Wynik z takiego urządzenia wraz z widmem spektralnym danego oświetlenia daje nam prawdziwy obraz tego jaka energia będzie docierała do rośliny. Ale za nim dokonamy dokładnych, rzeczywistych pomiarów musimy się posłużyć rozkładem PPFD na powierzchni oświetlanej w zależności od wysokości zawieszenia dla danej oprawy. Często powierzchnia na której jest przedstawiony taki rozkład ma wymiary 4'x 4' (4 stopy na 4 stopy). 1ft = 0,3048m. Ten rozkład jest przedstawiany w postaci graficznej albo jako wartość średnia PPFD dla określonej powierzchni. Te informacje powinniśmy znaleźć w specyfikacji oprawy.



Nie zawsze mamy dostęp do tego typu rozkładu i musimy skorzystać z podanych informacji PPF i PPFD podanych w specyfikacji oprawy. Aby obliczyć obszar pokrycia na oprawę oświetleniową, musimy znać moc świetlną (PPF) dla oprawy oświetleniowej i docelowe natężenie światła w koronie uprawy - PPFD (na nasze potrzeby przyjęliśmy wartość 400). Moc świetlna oprawy (mierzona w $\mu\text{mol} / \text{s}$) podzielona przez pożądane natężenie światła przy czaszy rośliny (mierzone w $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) = obszar pokrycia na oprawę oświetleniową (mierzone w m^2).

$$\frac{\text{PPF}}{\text{PPFD}} = \text{Obszar pokrycia oprawy} [\text{m}^2]$$

To równanie służy tylko do celów szacunkowych.

$$\frac{1440}{400} = 3,6\text{m}^2$$

Powyższe dane PPF zostały zaczerpnięte z danych oprawy TopLight™ Targeted :

[TopLight LED Grow Lights • Wirelessly Controlled • LumiGrow](#)

Skuteczność tej oprawy to 2,3 $\mu\text{mol}/\text{J}$.

Mamy tu dobry przykład oprawy w wykonaniu dla dwóch spektrów światła. Jeden wariant bez udziału światła zielonego i drugi wariant z jego udziałem. Użyłem tej oprawy ze względu na dane i ich użycie w naszym przykładzie nie uwzględniając jej ceny. O cenę trzeba dodatkowo zapytać po przez stronę.

Mając pokrycie dla jednej oprawy obliczymy minimalną ilość opraw dla naszego zadania

$$24/3,6 = 6,67 \text{ opraw}$$

Uwzględniając geometrię naszej szklarni i równomierne rozmieszczenie opraw względem powierzchni uprawy zastosujemy **8 opraw**. Każda oprawa pobiera moc 620W. Całkowita moc pobierana:

$$8 \times 620W = 4960W$$

Całkowita moc pobierana będzie się różnić w zależności od wybranych opraw i ich całkowitej ilości użytej w oświetleniu. Oprawy różnią się wsp. PPE (skutecznością), PPF a tym samym mocą pobieraną. To szacunkowe wyliczenie mieści się po środku naszych wcześniejszych obliczeń. Wynika z tego, że należy się liczyć z mocą pobieraną rzędu **5kW**.

Ale to nie jedyna możliwość doboru opraw z punktu widzenia pobieranej mocy. Jako przykład wybrałem dwie oprawy różniące się zdecydowanie swoimi parametrami. Jedna o mniejszej a druga o większej skuteczności. Obie oprawy są osiągalne w Polsce (polskie strony Internetowe).

Przykład 1:

[Oświetlenie szklarniowe \(umola.pl\)](http://umola.pl)

[UHT-3U-750RWX_PL.pdf \(umola.pl\)](#)

$$PPF/PPFD = 1400/400 = 3,5 \text{ m}^2$$

$$24/3,5 = 6,86 \text{ opraw, ze względów praktycznych przyjmujemy } 8$$

$$8 \times 760W = \mathbf{6080W}$$

Na stronie jest podany koszt 2,50 -5,00 zł netto za 1W mocy.

$$\text{Czyli } 6080 \times (2,50 - 5,00) \times 1,23 = \mathbf{18696 - 37392 \text{ zł.}}$$

Skuteczność oprawy 1,96 umol/J.

Przykład 2:

[LED Lumatek ATS 300W PRO 100x100cm \(growbox.pl\)](http://growbox.pl)

$$\text{PPF/PPFD} = 816/400 = 2,04 \text{ m}^2$$

$$24/2,04 = 11,76 \text{ opraw, przyjmujemy } 12 \text{ opraw}$$

$$12 \times 300\text{W} = \mathbf{3600\text{W}}$$

$$12 \times 2430 = \mathbf{29160 \text{ zł}}$$

Skuteczność oprawy 2,7 $\mu\text{mol/J}$.

To uzmysławia nam, że dobór opraw jest wyborem wieloparametrowym a ostateczna decyzja powinna być potwierdzona dokładną analizą zarówno warunków oświetleniowych, parametrów elektrycznych i wskaźników ekonomicznych.

Znając moc pobieraną i czas włączenia opraw możemy obliczyć zużycie energii elektrycznej a tym samym koszt energii. Będzie to również miało wpływ na ostateczny wybór oprawy.

Ceny opraw kształtują się w zakresie 100 do 2000 dolarów. To dużo jak na nasze potrzeby a nie jest to jedyny koszt. Nie bierzemy opraw podejrzanego pochodzenia, nie spełniających pewnych wymagań.

W październiku 2018 r. Design Lights Consortium (DLC) opublikowało wymagania techniczne, aby oprawa oświetleniowa ogrodnicza została zakwalifikowana i uwzględniona na liście kwalifikowanych produktów oświetleniowych ogrodniczych (QPL). Wśród minimalnych wymagań jest **5-letnia gwarancja**, utrzymanie światła fotosyntetycznego przez co najmniej **36 000 godzin** i **minimalna skuteczność 1,9 $\mu\text{mol/J}$** .

Najnowsze wymagania techniczne dotyczące oświetlenia ogrodniczego opartego na diodach LED z września 2021, wersja 2.1

[DLC_V2-1-Horticultural-Technical-Requirements_FINAL_09142021.pdf \(designlights.org\)](https://www.designlights.org/files/2021/09/DLC_V2-1-Horticultural-Technical-Requirements_FINAL_09142021.pdf)

Istnieje mnóstwo tanich opraw LED, które mają na celu przyciągnięcie kupujących świadomych budżetu, którzy mogą nie być świadomi różnic w jakości opraw (diod) LED. Tanie oprawy LED mogą, ale nie muszą emitować długości fal, których potrzebują nasze rośliny, a ich emitowane natężenie światła może również zmieniać długość fali i (lub) spadać w ciągu tygodni lub miesięcy po rozpoczęciu użytkowania i nagrzewaniu się diod.

Rozważając kluczowe czynniki finansowe, należy wziąć pod uwagę koszty oprawy i instalacji, dochód, koszt energii elektrycznej, liczbę godzin w roku, w których planowane jest korzystanie z opraw i oczekiwaną żywotność oprawy. W naszym

przypadku też musimy uwzględnić trwałość szklarni. Folia na pokrycia służy przez 2-5 sezonów. Dobre oprawy LED powinny służyć z 10 lat (przy większej intensywności użytkowania niż w naszym przypadku) a więc w tym czasie dojdzie dodatkowo koszt nowej szklarni. Dodatkowo w tego typu uprawach z oświetleniem sztucznym przydałby się miernik abyśmy w pełni świadomie mogli stosować oświetlenie. To przełożyłoby się na lepsze wyniki w uprawach ale jednocześnie zwiększyło i tak już duże koszty.

Z tego widać, bez liczenia kosztów energii, instalacji elektrycznej, że wykorzystanie oświetlenia LED w przypadku naszej szklarni nie ma sensu ekonomicznego. Zwłaszcza ograniczając się do okresu od marca do września gdzie warunki oświetlenia są dobre i tylko wybrane uprawy wymagałyby niewielkiego doświetlania. W tym czasie bez doświetlania uzyskamy dobre plony o ile zachowamy odpowiednie warunki nawożenia, nawodnienia i temperatury. Oświetlanie za pomocą opraw LED staje się uzasadnione ekonomicznie przy wykorzystaniu przez cały rok i przez wiele lat. Oprawy tego typu są drogie i wiążą się z dużym nakładem kosztów początkowych. Te nakłady w uprawach zawodowych zwracają się w postaci oszczędności na energii elektrycznej i lepszych plonach. W południowej Kalifornii, gdzie stawki za energię elektryczną sięgają 0,36 USD za kWh zwrot inwestycji nie przekracza roku. Przy cenie 0,10 USD za kWh okres ten wydłuża się do trzech lat.