

Dr hab. inż. Bolesław Karwat, prof. AGH
Mgr inż. Dariusz Głowiński
Mgr inż. Emil Stańczyk

Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki
Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie
Al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków
E-mail: karwat@agh.edu.pl
dariusz.glowinski@interia.pl
stanczykemil@gmail.com

Analiza czynników wpływających na fotometrię systemu optyczno-światłnego lampy samochodowej typu CHMSL

Słowa kluczowe: fotometria, systemy optyczne, lampy samochodowe, tworzywa sztuczne.

Streszczenie: Artykuł zawiera analizę budowy lampy samochodowej typu CHMSL, ang. Centre High-Mounted Stop Lamp oraz badania wpływu poszczególnych jej elementów konstrukcyjnych na parametry fotometryczne (natężenie światła). Autorzy przeprowadzili szczegółowe badania w zakresie wpływu konstrukcji poszczególnych elementów i ich ustawienia względem siebie na parametry fotometryczne badanej lampy. Przedstawiono również wyniki badań w zakresie wpływu wykonania elementów lampy w technologii wtrysku tworzyw sztucznych takich jak: ciśnienie docisku, czas docisku i prędkość wtrysku na parametry fotometryczne całego systemu optyczno-światłnego lampy typu CHMSL.

1. Wstęp

Przemysł motoryzacyjny kojarzony jest z ciągłym rozwojem oraz wprowadzaniem w samochodach innowacyjnych rozwiązań konstrukcyjnych i technologicznych. Najbardziej spektakularne są rozwiązania w systemach napędowych, gdzie te zmiany powodują zwiększenie mocy samochodów przy jednoczesnym zmniejszeniu zużycia paliwa. Najszybszy jednak rozwój i największa ewolucja odbywa się w systemach zewnętrznego oświetlenia samochodów. Obecnie systemy oświetlenia zewnętrznego samochodu to skomplikowany i technologicznie zaawansowany układ, którego pierwotne funkcje znacząco się rozszerzyły. Jeszcze kilka lat temu, systemy oświetlenia samochodu miały za zadanie poprawiać kierującemu widoczność w trudnych warunkach atmosferycznych, sygnalizować jego obecność na drodze oraz informować o wykonywanych manewrach [8]. Przemysł motoryzacyjny wypełniając te podstawowe wymogi projektuje nowe konstrukcje lamp i nowe koncepcje rozwiązań systemów oświetlenia [17]. Jednym z takich rozwiązań są dodatkowe światła do jazdy dziennej DRL, ang. *Daytime Running Lights*, które na mocy dyrektywy unijnej 2008/89/EC od roku 2011 stały się wymogiem dla wszystkich nowych samochodów osobowych, ciężarowych i autobusów. Bardzo intensywnie rozwijającym się trendem w tej branży jest coraz szersze stosowanie jako źródła światła diod typu LED, ang. *Lighting Emitting Diode* [4,13]. Diody LED przez znacząco niższe zużycie energii elektrycznej zmniejszają zużycie paliwa, a przez to mniejszą emisję CO₂ do środowiska naturalnego [7,13]. Ze względu na mniejsze wymiary, mniejszą emisję ciepła oraz dłuższą żywotność w coraz większym stopniu wypierają tradycyjne żarówki halogenowe [7,12].

Wśród nowych koncepcji i rozwiązań należy zauważyć rozwój technologii nie tylko oświetlenia z wykorzystaniem diod LED, ale również używaniem jako źródła światła diod laserowych [15], tę do niedawna futurystyczną wizję oświetlenia wprowadza wiele firm samochodowych w swoich modelach samochodów przyszłości. Trwają również prace nad oświetleniem selektywnym, których funkcja adaptowania się do warunków drogowych będzie pozwalała na selektywne wybieranie obszaru, który ma być oświetlany tak, aby ograniczyć negatywny wpływ na innych uczestników ruchu drogowego [8,9]. Systemy adaptacyjnych świateł mijania – AFS, ang. *Adaptive Front-Lighting System* stanowią przełom w technologii oświetleniowej [9]. Umożliwiają automatyczne dopasowanie się do zmieniających się warunków ruchu takich jak: prędkość pojazdu, warunki atmosferyczne, zakręty na drodze itp. Wszystkie te zmiany stawiają coraz wyższe wyzwanie konstruktorom lamp, konstruktorom układów sterowania i zasilania, ale przede wszystkim przepisom prawa, które dbają o bezpieczeństwo i zgodność parametrów z wymaganiami technicznymi.

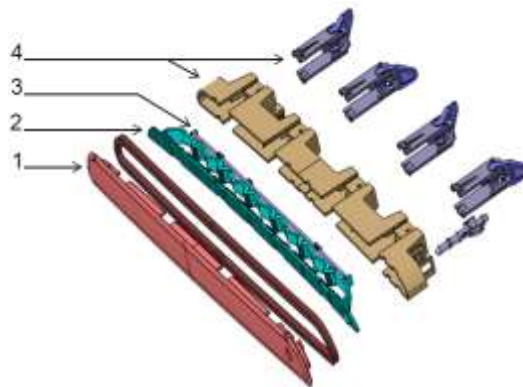
Artykuł zawiera analizę czynników wpływających na fotometrię lamp typu CHMSL. W Polsce takie lampy są określane jako „trzecia lampka stopu” lub, też „środkowa lampka stopu”. Lampa ta została wprowadzona jako obowiązkowe wyposażenie samochodów osobowych na terenie USA i Kanady w 1986 roku. Na terenie Europy tego typu lampy zostały wprowadzone dopiero w 1998 roku. Funkcją tej lampy to dodatkowe ostrzeżenie o wykonywanym manewrze hamowania szczególnie w przypadku, kiedy główne światła stopu nie są widoczne [17]. Wprowadzenie lamp typu CHMSL zmniejszyło o kilka procent liczbę wypadków drogowych polegających na uderzeniu w tył samochodu poprzedzającego w normalnych warunkach ruchu drogowego, a szczególnie ruchu miejskim [16].

W ramach założonego programu badań nad procesem wytwarzania lamp CHMSL przeprowadzono szereg testów i obserwacji, których celem było zweryfikowanie dotychczasowej wiedzy na temat konstrukcji i procesu wytwarzania badanej lampy. Oczekiwany rezultatem było określenie brzegowych parametrów procesu wytwórczego na podstawie, których będzie można zapewnić lepszą stabilność procesu oraz zachowanie wymaganych parametrów jakościowych produktu finalnego.

2. Budowa lampy samochodowej typu CHMSL

Do badań użyto typową lampę CHMSL wytwarzaną seryjnie, w której jako źródło światła zastosowano diody LED i konstrukcji zewnętrznej łączonej poprzez zgrzewanie ultradźwiękowe. Badana lampa składa się z czterech głównych elementów funkcjonalnych, które przedstawiono na rysunku 1, gdzie przyjęto oznaczenia: 1- soczewka zewnętrzna, wytwarzana w procesie wtrysku tworzywa termoplastycznego PMMA, 2 - soczewka Fresnela, wytwarzana również w procesie wtrysku tworzywa poliwęglanu PC, 3 - płytki PCB (ang. Printed Circuit Board) z umieszczonymi na niej diodami LED, 4 - obudowa wytwarzana w procesie wtrysku materiału PC-ABS, który dzięki swoim właściwościom tworzy wytrzymałą konstrukcję całej lampy.

W trakcie prowadzonych badań pominięto elementy konstrukcyjne lampy CHMSL nie wpływające na parametry fotometryczne (natężenie światła), takie jak: uszczelka, spryskiwacz szyby tylnej oraz elementy montażowe lampy.



Rys.1. Budowa lampy CHMSL

Soczewka zewnętrzna jest wytwarzana w procesie wtrysku tworzywa termoplastycznego PMMA na wtryskarkach śrubowych o sile docisku 200 Mg firmy Demag. Użycie tworzywa termoplastycznego PMMA wynika z jego właściwości, którymi między innymi jest duża przezroczystość na poziomie 92%, poza tym jest on polimerem amorficznym, błyszczącym, o połyskliwej powierzchni cechującym się dobrą wytrzymałością mechaniczną, odpornością chemiczną i bardzo wysoką odpornością na czynniki atmosferyczne.

W sekwencji wtrysku tworzywa termoplastycznego do gniazda formy, proces docisku składa się z 3 etapów i dla każdego z tych etapów wartość ciśnienia docisku jest inna. Dla polimerów amorficznych takich jak PMMA wartości w poszczególnych etapach powinny maleć w celu zmniejszenia zamrożonych naprężeń własnych.

W badanej lampie zastosowano diody typ LED seria Lx E6SF firmy Osram. Diody te charakteryzują się światłem koloru bursztynowego, wysoką efektywnością oraz kątem emisji światła 120° . Dioda ta pozbawiona jest wypukłej soczewki zewnętrznej, więc światło emitowane nie ulega załamaniu podczas przechodzenia przez granicę dwóch ośrodków jak to ma miejsce w tradycyjnych diodach, ulega tylko odbiciu od wklęsłego reflektora wewnątrz, którego umieszczone jest złącze emitujące promieniowanie optyczne.

Zmniejszony kąt emisji do 120° w stosunku do kątów emisji 180° i więcej, występujących w tradycyjnych diodach ogranicza straty związane z rozproszeniem energii świetlnej, a tym samym zwiększa sprawność i efektywność świetlną diody. Oprócz wymienionych właściwości dla światła „stop” istotnym parametrem jest szybkość reakcji lampy, czyli bezwładność źródła światła. Dla porównania dioda LED osiągnie pełną światłość w ciągu $30 \mu\text{s}$, a tradycyjna żarówka samochodowa w ciągu 75 ms [3].

Soczewka Fresnela zastosowana w badanej lampie dzięki swoim kształtom pozwoliła na znaczne ograniczenie wymiarów w stosunku do tradycyjnej soczewki o tych samych parametrach optycznych. Wynik ten zawdzięczamy budowie soczewki, która składa się z dwóch obszarów rozpraszającego kolimatora i skupiającego kolektora. To właśnie ta cecha, czyli małe wymiary, a tym samym niskie koszty wytwarzania, pozwalają na szerokie zastosowanie tej soczewki w konstrukcjach, w których wymagane są małe wymiary, dobra skuteczność oraz niskie koszty. Soczewki tego rodzaju wykazują pewne zakłócenia na krawędziach, ale w zastosowaniach przemysłowych ta niedoskonałość nie ma istotnego znaczenia.

W badanej lampie element optyczny składa się z kilku składowych: odwróconej soczewki Fresnela, właściwej soczewki oraz soczewek poduszkowych umieszczonych po zewnętrznej części elementu. Tak skonstruowany element powoduje równomierne rozszczepienie światła, dzięki czemu światło emitowane przez punktowe źródła jest przybliżone do jednolitego paska świetlnego. Soczewka ta odpowiada za równomierną propagację światła w płaszczyźnie pionowej w wymaganym zakresie kątowym tzn. $+10^\circ$ i 10° od pionowej osi lampy.

Połączenie obudowy lampy z soczewką zewnętrzną realizowane jest poprzez zgrzewanie ultradźwiękowe, czyli proces polegający na wprowadzaniu w drgania mechaniczne o częstotliwości około 20kHz jednego z dwóch spajanych elementów. Podczas tego procesu dwa łączone elementy umieszcza się tak, by spajane powierzchnie stykały się ze sobą.

3. Program badań parametrów wpływających na fotometrię lampy CHMSL

3.1. Sformułowanie równania stanu

Jednym z podstawowych parametrów, które określają sprawność lampy jest natężenie emitowanego światła. Wartość ta w przemyśle samochodowym jest mierzona w kilkunastu punktach siatki pomiarowej określona w normie nr E/ECE/324 Europejskiej Komisji Gospodarczej [16].

W celu ograniczenia kosztów badań oraz na podstawie dotychczasowych obserwacji z procesu wytwarzania lamp typu CHMSL, przyjęto założenie o jedynie częściowej zmienności badanego systemu świetlno-optycznego. Przyjmując również założenie o zerowych zakłóceniach zewnętrznych badany układ optyczno-światlny można opisać równaniem stanu (1).

$$B+C+D+[A(n)] = [E(n)]. \quad (1)$$

Gdzie, przyjęto następujące oznaczenia:

B, C, D - wielkości stałe (B - soczewka Fresnela, C - źródło światła LED, D – obudowa),
 [E(n)] - sygnał wyjściowy, natężenie światła (18 elementowa macierz odpowiadająca natężeniu światła w 18 punktach pomiarowych, $n = (1 \dots \infty)$ - lamp),
 [A(n)] - macierz zmiennych, A – soczewka zewnętrzna.

$$[A(n)] = \begin{bmatrix} a(n) \\ b(n) \\ c(n) \\ d(n) \end{bmatrix}. \quad (2)$$

W równaniu (1) przez [A(n)] oznaczono macierz opisującą zmiany parametrów soczewki zewnętrznej. Założono, że dla każdego z „n” badanych przypadków (lamp) istotny wpływ na parametry fotometryczne lampy występują w tym właśnie obszarze. Zmienność ta wynika z wysokiej podatności tego elementu na zmiany parametrów procesu wytwarzania, a istotna funkcja, jaką pełni soczewka zewnętrzna w układzie optycznym lampy spowodowała szczegółowe badania tego właśnie elementu.

W celu określenia głównych czynników wpływających na zmianę wartości składowych macierzy [A(n)], przeprowadzono następujące badania:

a(n) - wpływ zmian czasu docisku,

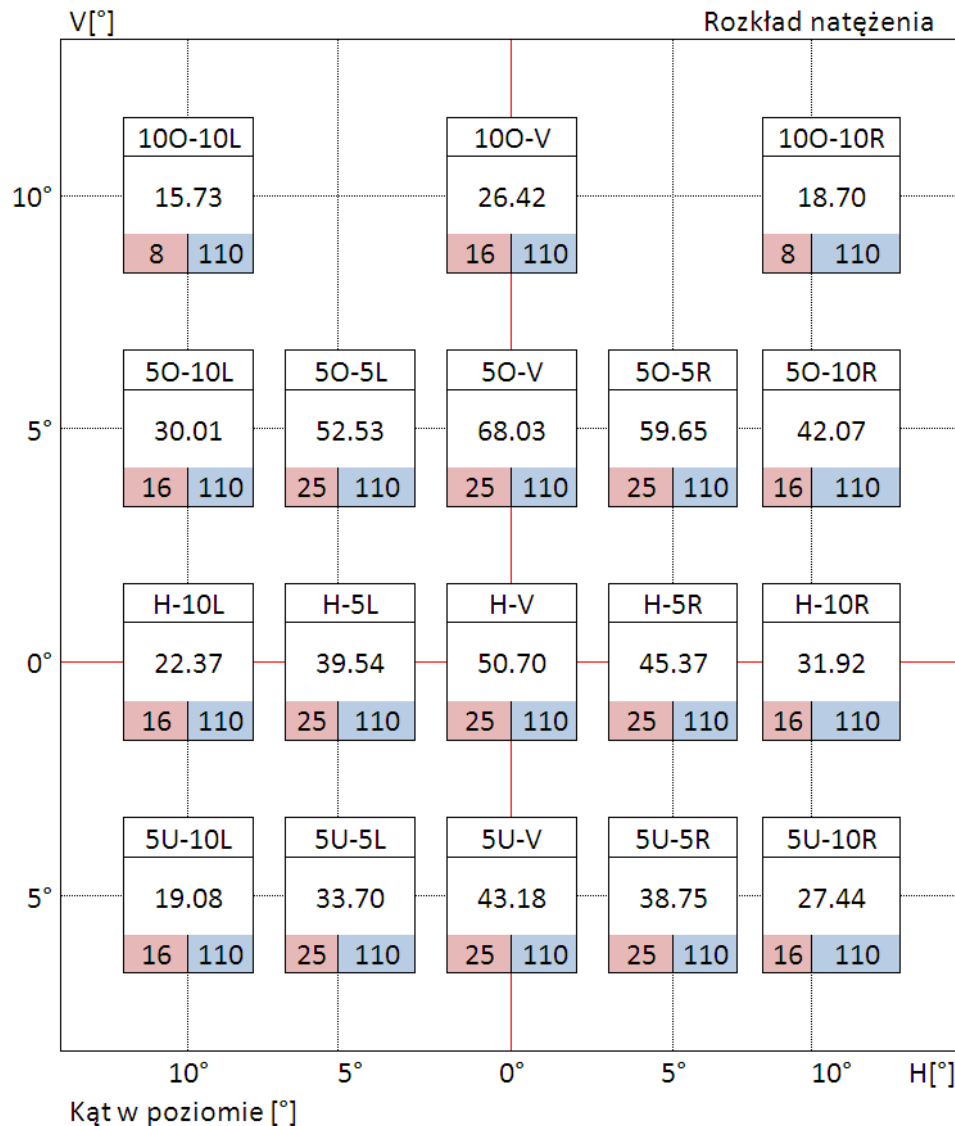
b(n) - wpływ zmian ciśnienia docisku,

c(n) - wpływ zmian prędkości wtrysku,

d(n) - inne czynniki nie poddane badaniu, a mające wpływ na badany układ, np. powierzchnia świetlna klosza [11], stopień zabrudzenia [10], dokładność wykonania połączenia soczewki zewnętrznej z obudową itp.

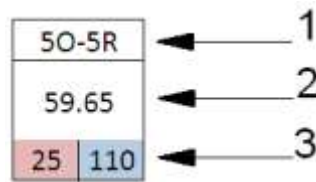
Zmienna wyjściowa [E(n)] jest głównym parametrem określającym funkcjonalność oraz sprawność fotometryczną, czyli natężenie światła emitowane przez badaną lampę. Natężenie światła było mierzone zgodnie z układem SI w Kandelach - cd. Parametr ten zgodnie z normą E/ECE/324 dla lamp grupy S3, do której zaliczana jest badana lampa jest mierzony w osiemnastu punktach siatki pomiarowej. Punkty te są umieszczone na siatce o podziałce 5°

kątowych, w zakresie dla współrzędnej poziomej $\pm 10^\circ$ oraz $+10^\circ/-5^\circ$ dla współrzędnej pionowej. Rekomendacja określa siatkę rozkładu natężenia, poprzez określenie minimalnej i maksymalnej wartości natężenia w każdym z punktów, jako procentową wartość nominalnego natężenia w centralnym punkcie siatki. Punkty te są wyznaczone poprzez odpowiednie odchylenie od punktu centralnego (punkt przechodzący przez oś lampy H-0; V-0) o 5° lub 10° w płaszczyźnie poziomej lub pionowej. Wartość natężenia światła w punkcie H-0 i V-0 według obowiązującej normy dla badanej lampy powinna się zawierać w zakresie od 25 do 110 cd. Norma E/ECE/324 w rozdziale 5 dopuszcza obniżenie tego kryterium do 95% [1].



Rys. 2. Przykładowy raport z wykonanych badań lampy CHMSL

Na rysunku 2 przedstawiono przykładowy raport pomiarowy, który generowany jest po zakończeniu badań jako podsumowanie i zebranie wyników pomiarowych. Na raporcie tym przedstawiono naniesioną siatkę punktów. Pojedynczy punkt pomiarowy przedstawiono na rysunku 3, gdzie przyjęto oznaczenia: 1 - położenie punktu pomiarowego, 2 - zmierzona wartość natężenia światła w cd, 3 - wartości minimalne i maksymalne natężenia światła dla tego punktu pomiarowego w cd.



Rys. 3. Opis punktu pomiarowego

3.2. Opis toru pomiarowego

Pomiary natężenia światła badanej lampy wykonano przy użyciu urządzenia o nazwie goniofotometr. Urządzenie to składa się z ruchomego ramienia, na którym montujemy badaną lampę, nieruchomego czujnika, aparatury kontrolno-pomiarowej oraz systemu informatycznego wyposażonego w aplikację, która opracowuje i edytuje wyniki pomiarów. Ramię, do którego montujemy badaną lampę umożliwia zmianę położenia w ten sposób, by podczas sekwencji pomiarowej oś badanej lampy mogła zajmować każdą z osiemnastu różnych pozycji odpowiadających osiemnastu punktom pomiarowym określonych w normie. W przypadku badania lampy CHMSL, czujnik umieszcza się w odległości 25 metrów od ramienia, na którym jest zamontowana lampa. Odległość ta wynika z zachowania prawa odwrotności kwadratów odległości tzn., że mierzone natężenie światła jest wprost proporcjonalne do światłości źródła, a odwrotnie proporcjonalne do kwadratu odległości pomiędzy badanym źródłem a miejscem pomiaru, czyli umieszczenia czujnika. Do badań został użyty Goniofotometr GO-H1400, który jest dedykowanym urządzeniem pomiarowym wykorzystywanym między innymi do pomiaru natężenia światła. Dokładność omawianego urządzenia wraz z czujnikiem pomiarowym SP 30 S0T-GO, który był wykorzystany w badaniach, spełnia wymagania stawiane urządzeniom kwalifikowanym jako zgodne ze standardem "L" opisanym w normie DIN 5032 part 7 [6]. Omawiane urządzenie pomiarowe zostało zabudowane w podziemnym tunelu badawczym przedstawionym na rysunku 4, który dzięki swojemu umiejscowieniu i dodatkowemu pokryciu jego ścian farbą absorbującą promieniowanie odbite eliminuje wpływ zakłóceń zewnętrznych i zapewnia odpowiednie warunki pomiarowe.



Rys. 4. Tunel pomiarowy do badań fotometrycznych różnego typu lamp samochodowych

3.3. Przedstawienie zakresu badań

3.3.1. Badania wpływu kompletności lampy

W celu opisanego wpływu funkcjonalnego każdego z elementów lampy na badany parametr fotometryczny, przeprowadzono testy polegające na pomiarze natężenia światła emitowanego przez częściowo skompletowany system optyczny tzn.:

- system składający się z źródła światła w postaci płytki PCB zamontowanej w obudowie i pozbawionej elementów optycznych,
- system składający się z źródła światła i soczewki Fresnela oraz obudowy.

Ostatnią część badań wpływu kompletności lampy na parametr fotometryczny stanowiły pomiary natężenia światła dla systemu optycznego składającego się z źródła światła, soczewki Fresnela oraz soczewki zewnętrznej i obudowy – czyli dla kompletnej lampy.

3.3.2. Badania wpływu procesu technologicznego wykonania soczewki zewnętrznej

Zgodnie z równaniem stanu (1), w którym elementami macierzy $[A(n)]$ są: $a(n)$, $b(n)$ oraz $c(n)$ przeprowadzono badania w celu określenia wpływu zmian parametrów procesu wtrysku na natężenie emitowanego światła przez badaną lampę. Zgodnie z początkowymi założeniami analizie poddano jedynie proces wytwarzania soczewki zewnętrznej. Nie oznacza to jednak, że pozostałe elementy lampy, jak soczewka Fresnela oraz obudowa nie są istotne. Ich znaczenie funkcjonalne w całym układzie optycznym lampy jest ważne, przyjęto jednak to uproszczenie, z racji wykazanej dużej stabilności i powtarzalności procesu dla tych elementów. Założenie takie przyjęto w rozdziale 1 formułując równanie stanu (1), gdzie tezę o stabilności tych dwóch składowych opisano jako wielkości stałe B i C wpływające na wielkość wyjściową $[E(n)]$.

Program badań nad wpływem parametrów procesu wtrysku soczewki zewnętrznej na natężenie światła emitowanego przez lampę CHMSL obejmował zmiany: czasu docisku, ciśnienia docisku i prędkości wtrysku [2, 14, 18].

a) Wpływ zmian czasu docisku – $a(n)$

W ramach przeprowadzonych badań, analizie poddano wpływ zmiany wartości parametru czas docisku na jakość wytwarzanych wyprasek, a w efekcie na natężenie światła generowane przez badaną lampę. W trakcie testu wymuszano zmianę parametru poprzez obniżanie wartości nastawionego czasu, stopniowo o 1 s od wartości nominalnej, którą było 7 s, utrzymując przy tym niezmienną wartość temperatury formy wtryskowej dla części stałej i ruchomej oraz stałą prędkość wtrysku.

b) Wpływ zmian ciśnienia docisku – $b(n)$

W ramach badań wpływu zmiany profilu docisku wprowadzono stopniowe zmiany w każdym z 3 etapów zaczynając od wartości nominalnych 150 bar - etap 1, 130 bar – etap 2, 110 bar – etap 3, a następnie zmniejszono wartości ciśnień o 2 bary w każdym z etapów, dochodząc do wartości 130-110-90 bar.

c) Wpływ zmian prędkości wtrysku – $c(n)$

W trakcie badań zmieniano prędkość wtrysku proporcjonalnie w każdym z 3 etapów podobnie jak przy badaniu ciśnienia wtrysku. Testy rozpoczęto od wartości

24 - 38 - 26 mm/s (test 1) następnie zmniejszono o 2 mm/s dochodząc do wartości 18 - 32 - 20 mm/s (test 4). Badania przeprowadzono dla 3 różnych warunków dodatkowych, którymi była temperatura formy. W trakcie badania próbki nr 1, podczas zmian prędkości utrzymano standardową temperaturę, w trakcie badania próbki numer 2 temperaturę obniżono o 5 °C od wartości nominalnej, podczas badania próbki nr 3 temperaturę obniżono o 10 °C.

4. Przedstawienie wyników badań

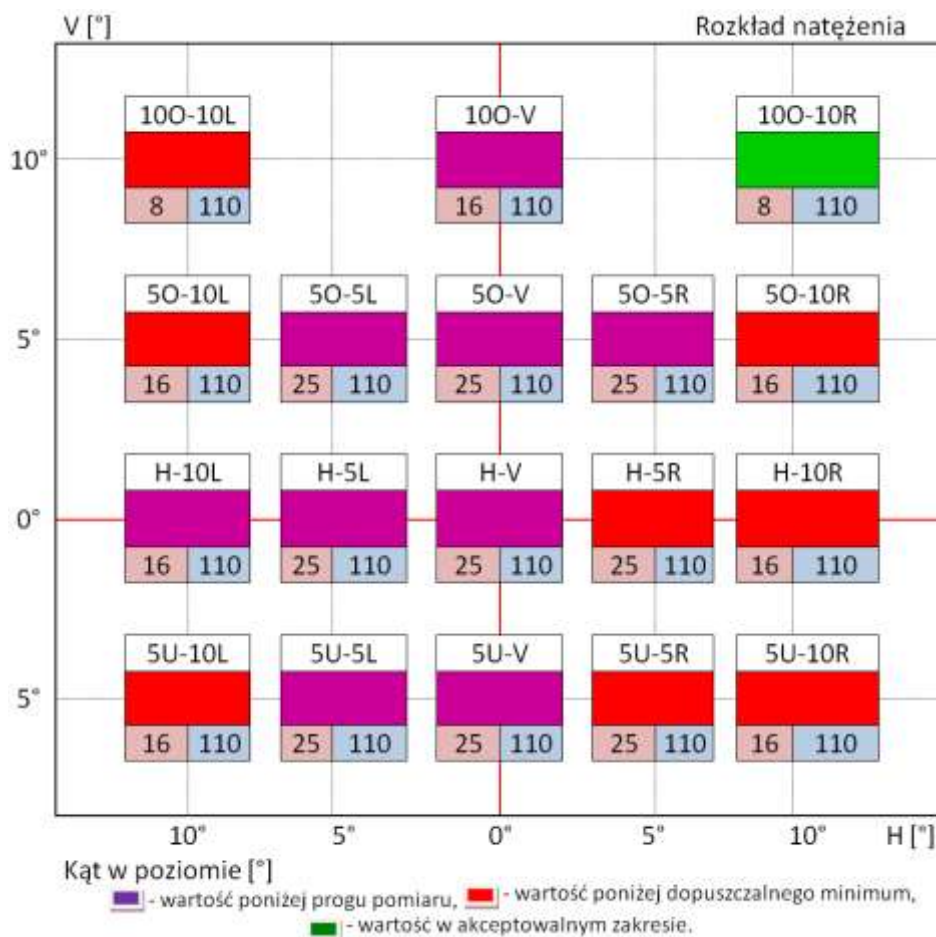
4.1. Badanie systemu świetlnego składającego się ze źródła światła – płytka PCB z diodami LED zamocowana w obudowie lampy CHMSL

Badany system świetlny można opisać równaniem stanu (3).

$$C+D = [E(n)]. \quad (3)$$

Na rysunku 5 przedstawiono wyniki badań dla analizowanego systemu na podstawie, których można stwierdzić, że dla większości z 18 punktów pomiarowych natężenie światła jest o tak niskiej wartości, iż nie mieści się w zakresie pomiarowym, dla pozostałych punktów incydentalnie natężenie światła jest w zakresie pomiarowym, lub nawet spełnia wymogi tak jak w przypadku punktu 100-10R. Rozkład jest rozszczeplony i niejednorodny, a większość światła emitowanego przez każdą z diod LED wchodzących w skład źródła światła jest tracona wskutek rozproszenia strumienia świetlnego w płaszczyznach, które nie są badane i nie są istotne ze względów funkcjonalnych.

Tak zbudowany system pomimo, że pobiera moc odpowiadającą mocy emitowanej przez kompletną lampę CHMSL spełniającą wymagania normy E/ECE/324 nie spełnia jej wymogów, gdyż energia świetlna jest w większości rozpraszana i tracona. Funkcjonalność tak zbudowanego systemu nie spełnia podstawowych wymagań.



Rys. 5. Rozkład natężenia światła dla badanego systemu świetlnego

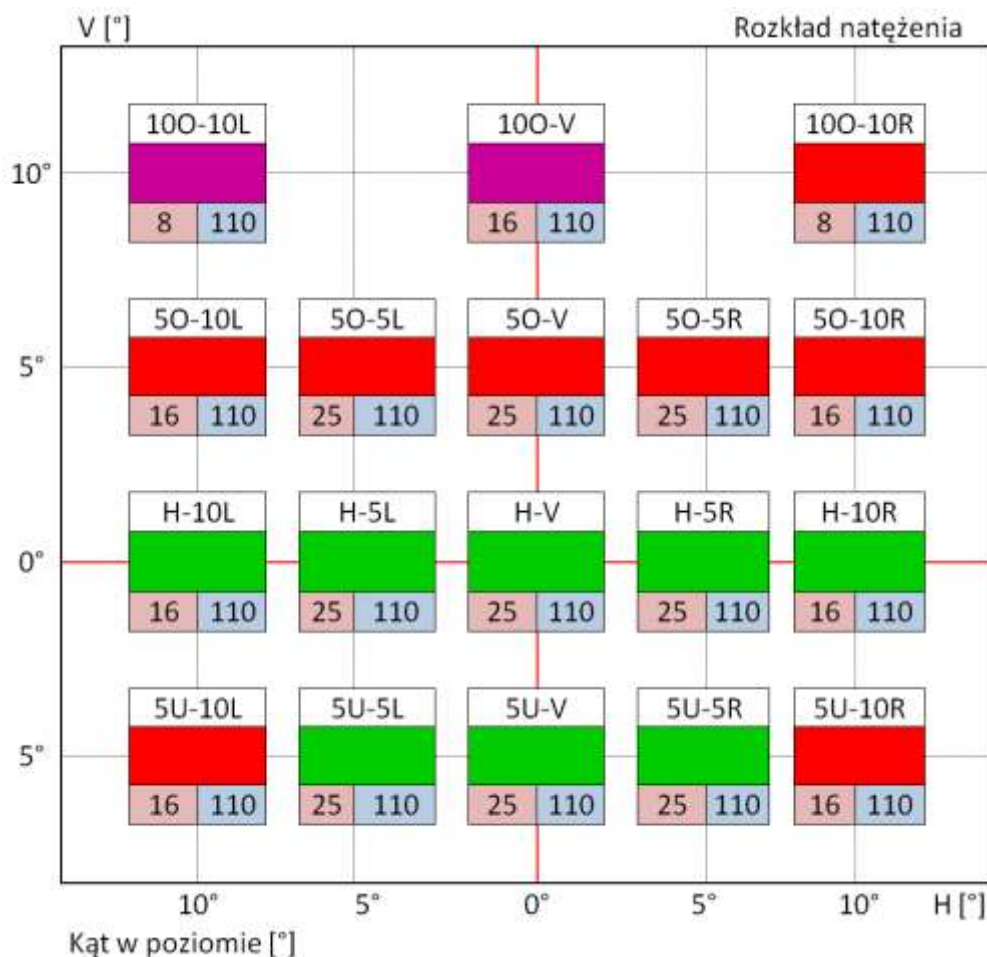
4.2. Badanie systemu świetlnego składającego się ze źródła światła – płytki PCB z diodami LED zamocowanej w obudowie lampy CHMSL oraz soczewki Fresnela

Badany system świetlny można opisać równaniem stanu (4). W tym przypadku badany system świetlny został dodatkowo wyposażony w soczewkę Fresnela.

$$B+C+D = [E(n)]. \quad (4)$$

Na rysunku 6 przedstawiono diagram dla osiemnastu badanych punktów lampy. Analizując diagram przedstawiający wynik pomiaru tak zbudowanego systemu można stwierdzić znaczną poprawę parametrów fotometrycznych, jednak dla większości z osiemnastu punktów pomiarowych natężenie światła jest poniżej dolnej granicy minimum wymaganego przez normę E/ECE/324.

Analizując diagram można stwierdzić, że natężenie światła w punktach leżących na głównej osi poziomej spełnia wymagania i zmierzona wartość jest w wymaganym zakresie; niemniej jednak nadal można stwierdzić niesymetryczny rozkład szczególnie w zakresie skrajnych punktów, dla których wartości są poza granicami pomiarowymi. Na nieliniowość rozkładu ma również wpływ mała sztywność tak zbudowanego systemu świetlnego. W tej postaci niekompletna lampa (brak zgrzewu łączącego obudowę i soczewkę zewnętrzną) wykazuje dużą podatność na deformacje i odkształcenia.



Rys. 6. Rozkład natężenia światła dla badanego systemu świetlnego (oznaczenia jak na rys.5.)

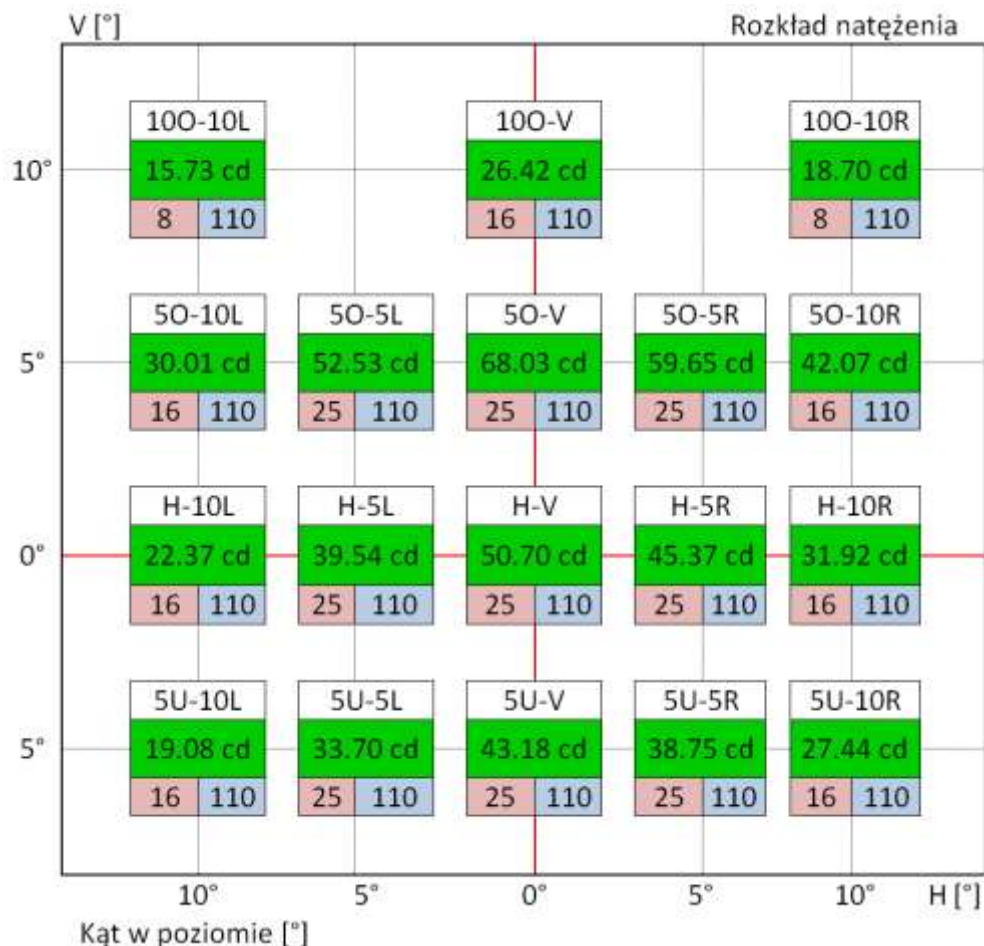
4.3. Badanie systemu świetlnego składającego się ze źródła światła – płytki PCB z diodami LED zamocowanej w obudowie lampy CHMSL, soczewki Fresnela oraz soczewki zewnętrznej

Badany system świetlny można opisać równaniem stanu (5).

$$B+C+D+[A(n)] = [E(n)]. \quad (5)$$

W tym przypadku mamy kompletną lampę składającą się z czterech elementów, czyli obudowy, źródła światła, soczewki Fresnela oraz soczewki zewnętrznej. Tak zbudowany system świetlny wykazuje oczekiwane właściwości tzn. natężenie światła mieści się w wymaganym zakresie dla każdego z mierzonych punktów. Zostało to osiągnięte przez dodanie ostatniego z elementów, czyli soczewki zewnętrznej, która po pierwsze scala całą konstrukcję tworząc jednolitą zamkniętą bryłę (wzrasta sztywność układu), po drugie pełni funkcję filtra optycznego pozwalającego na emitowanie fal z zakresu od 630 do ok.780 nm, czyli fal widocznych jako kolor czerwony [19]. Trzecią, a zarazem kluczową jest funkcja optyczna polegająca na „uporządkowaniu” promieniowania emitowanego przez diody LED, a wstępnie skorygowanego przez soczewkę Fresnela, tak by rozkład promieniowania tym razem w płaszczyźnie poziomej, był zgodny z wymaganiami tzn. mieścił się w zakresie +10°/-5°. Takie natężenie światła zostało osiągnięte dzięki specyficznemu kształtowi wewnętrznej powierzchni soczewki zewnętrznej, na której jest szereg niesymetrycznych pryzm. Ważne ze względów obliczeniowych dla całego układu jest uwzględnienie współczynnika załamania światła podczas przechodzenia przez granicę dwóch ośrodków,

tworzywa termoplastycznego PMMA i powietrza, który wynosi 1,46 przy np. 1,6 dla szkła optycznego, czy też 1,5 dla wody (dla próżni wartość ta wynosi 1) [5]. Badając natężenie światła emitowane przez tak zbudowany system optyczny wykazano wpływ każdego z elementów składowych na natężenia światła w wyznaczonych punktach pomiarowych. Jak widać każdy z elementów pełni istotną rolę w układzie, niemniej jednak funkcja soczewki zewnętrznej jest najbardziej złożona i istotna z punktu widzenia funkcjonalności całej lampy CHMSL. Wyniki pomiaru zostały przedstawione na rysunku 7.



Rys. 7. Rozkład natężenia światła dla badanego systemu świetlnego (oznaczenia jak na rys.5.)

4.4. Wpływ zmian parametrów procesu wtrysku

4.4.1. Wpływ zmian czasu docisku – a(n)

Otrzymane wyniki wskazują na stosunkowo niewielkie zmiany natężenia światła względem wartości natężenia światła otrzymanych z pomiaru soczewek zewnętrznych wytworzonych w procesie, gdy czas docisku wynosił 7 s. Badania zmian tej wartości zakończono przy czasie docisku trwającym 3 s. Dalsze obniżanie tego czasu powodowało widoczne i nieakceptowane zmiany oraz odkształcenia geometryczne. Wyniki badań przedstawiono na rysunku 8.

Można więc przyjąć, że przy tak dobranych warunkach wpływ zmian tego parametru na naszą zmienną wyjściową jest niewielki. Należy jednak pamiętać, że źle dobrany czas docisku może być przyczyną deformacji powierzchni i wpływać na odkształcenie powstałe w wyniku skurczu tworzywa termoplastycznego w komorze formy wtryskowej.

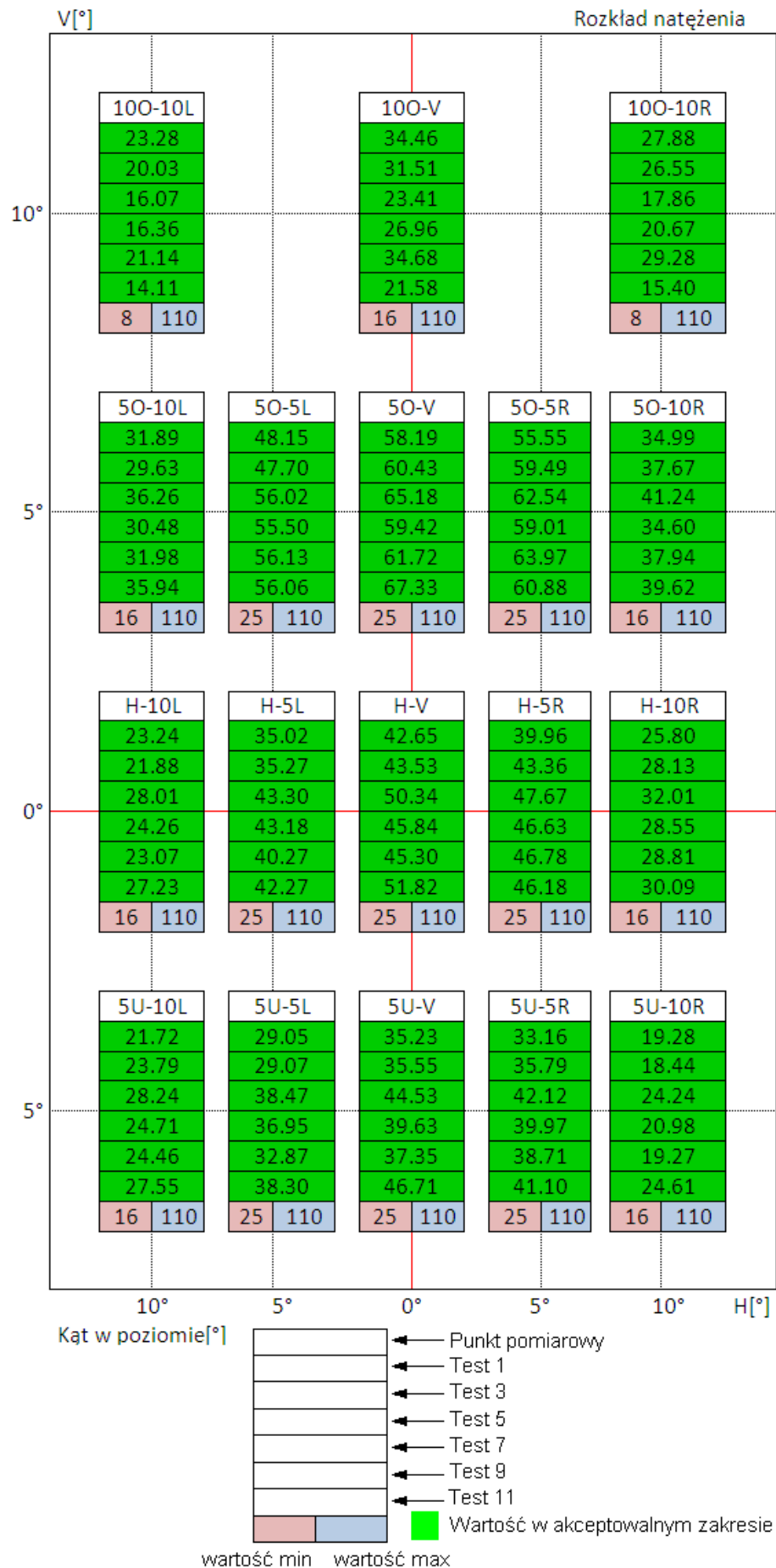
4.4.2. Wpływ zmian ciśnienia docisku – b(n)

Zestawienie wartości ciśnień docisku w przeprowadzonych testach przedstawiono w tabeli 1. Obniżenie ciśnienia docisku przeprowadzono do wartości 130-110-90 bar. Ustawienie parametrów poniżej tej granicy powoduje nie akceptowalne zmiany wyprasek w postaci niedolewek i odkształceń wynikających ze skurczu tworzywa. W trakcie prowadzonych badań stwierdzono odwrotnie proporcjonalną zależność zmian natężenia światła w stosunku do zmiany ciśnienia docisku w centralnym obszarze siatki punktów pomiarowych, którego obniżenie powoduje podwyższenie wartości natężenia światła. Prawidłowość ta obowiązywała do ciśnienia docisku 142-122-102 bar.

Zależność obserwowana w pierwszym zakresie, czyli poprawa parametrów świetlnych, wynika między innymi ze zmniejszenia gęstości własnej próbek. Zmiana ta jest wynikiem mniejszej wagi wyprasek, co jest efektem mniejszego ciśnienia docisku, czyli dostarczania w tej samej jednostce czasu mniejszej ilości materiału. Dalsze obniżanie ciśnienia docisku powoduje pojawienie się deformacji i odkształceń, co wyraźnie wykazały pomiary wykonane z wykorzystaniem projektora optycznego. Pogorszenie wyników na krańcach powodowane jest przez większe odkształcenia elementów optycznych, które postępują wraz z oddalaniem się od środka soczewki. Wyniki badań przedstawiono na rysunku 9.

Tabela 1. Zestawienie przeprowadzonych testów

Nr testu	Profil docisku [bar]
Test 1	150-130-110
Test 2	148-128-108
Test 3	146-126-106
Test 4	144-124-104
Test 5	142-122-102
Test 6	140-120-100
Test 7	138-118-98
Test 8	136-116-96
Test 9	134-114-94
Test 10	132-112-92
Test 11	130-110-90



Rys. 9. Wpływ zmian ciśnienia docisku formy na natężenie światła emitowane przez lampę

Wnioskiem z tych badań jest potwierdzenie pozytywnego wpływu zmniejszenia wartości ciśnienia docisku na poprawę parametrów fotometrycznych, jest to jednak obserwowane jedynie w centralnym obszarze siatki punktów pomiarowych, czyli centralnej części soczewki. Efektem ubocznym jest deformacja (wygięcie) elementu, jak również pojawiające się zmiany w odwzorowaniu wewnętrznych soczewek poduszkowych, które powodują stopniowe pogarszanie się parametrów optycznych w skrajnych zakresach. Omawiane deformacje związane są z niepełnym odwzorowaniem wypraski z powodu nie wystarczającego ciśnienia. Efekt ten pogłębia się wraz ze wzrostem odległości od środka wypraski, który w tym przypadku jest jednocześnie punktem wtrysku tworzywa termoplastycznego.

Badania wykazały możliwość poprawy parametrów natężenia światła poprzez zmianę wartości ciśnienia, jednak zmiany te powinny być w niewielkim zakresie, maksymalnie o 5% obecnych parametrów wtrysku z zaznaczeniem ryzyka wprowadzenia deformacji, które w początkowym zakresie obniżania parametrów są mało zauważalne niemniej jednak wraz z dalszym obniżaniem parametrów docisku pogłębiają się i wpływają niekorzystnie na parametry fotometryczne jak również na geometrię wytwarzanego elementu.

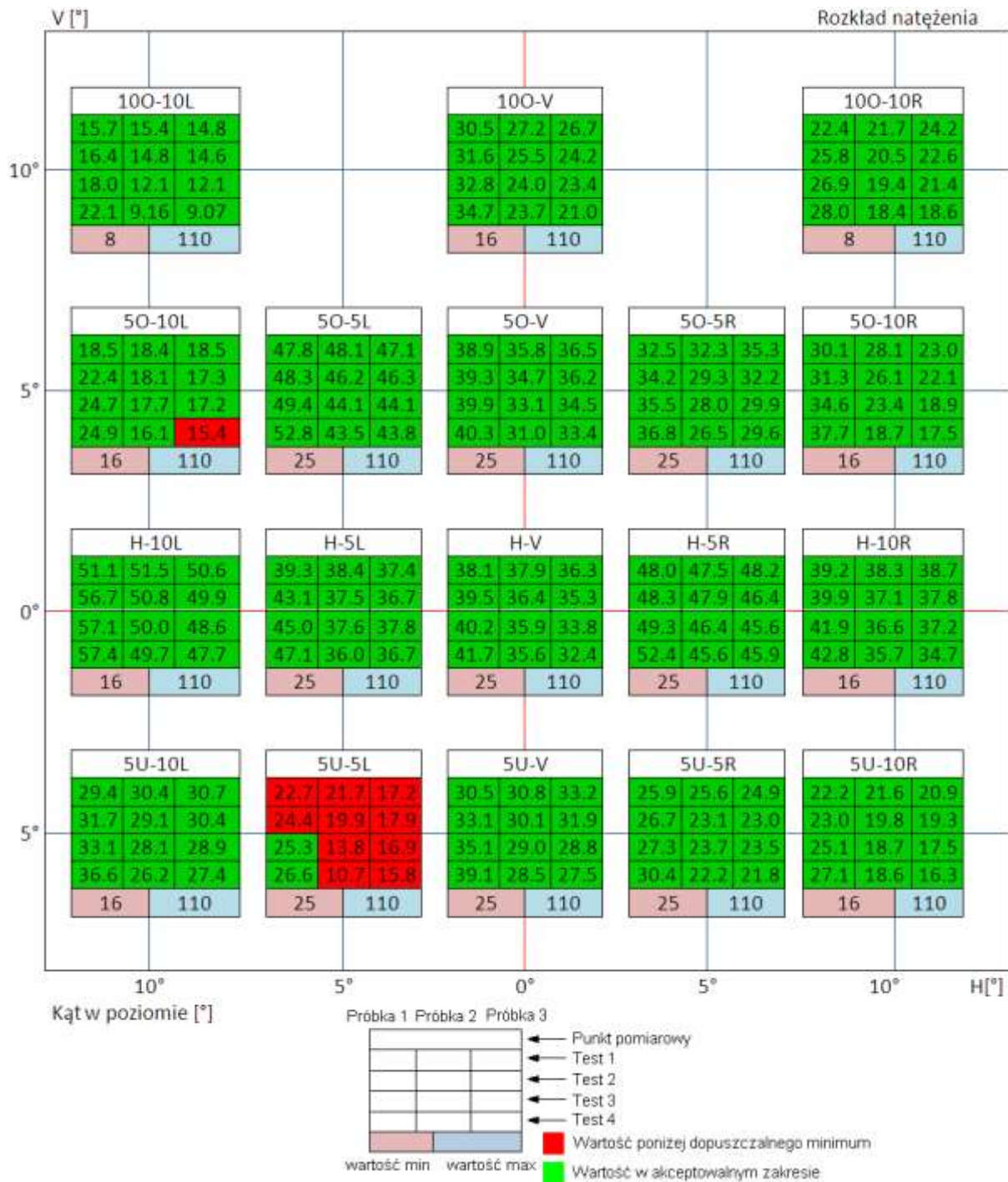
4.4.3. Wpływ zmian prędkości wtrysku – c(n)

Zestawienie wartości prędkości wtrysku dla różnych temperatur formy przedstawiono w tabeli 2.

Analiza wyników badań przedstawionych na rysunku 10 wskazuje zmianę parametrów fotometrycznych badanej lampy wraz ze zmianą prędkości wtrysku tworzywa. W pierwszym przypadku, w którym forma wtryskowa miała nominalną wartość temperatury, obniżenie prędkości wtrysku spowodowało poprawę parametrów fotometrycznych. Jednak dla przypadku, gdy temperatura była obniżona o wartość $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ i $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, zależność ta przebiegała w odwrotnym kierunku tzn. obniżenie prędkości wtrysku spowodowało obniżenie się wartości natężenia światła. Wiedząc, że prędkość wtrysku ma wpływ na temperaturę wtryskiwanego materiału wynikającą z przepływu przez kanał wlewowy, możemy wnioskować, iż w pierwszym przypadku obniżenie prędkości spowodowało zmniejszenie tarcia, a tym samym obniżenie wpływu prędkości wtrysku na wzrost temperatury, dodatkowo mniejsza prędkość spowodowała wydłużenie czasu wtrysku, a tym samym poprawę odwzorowania i jakości wyprasek. W następnych dwóch przypadkach obniżenie prędkości, a tym samym zmniejszenie wzrostu temperatury wynikające z samego procesu wtryskiwania materiału nałożyło się na dodatkowe wymuszone obniżenie temperatury, co spowodowało pogorszenie parametrów wypraski.

Tabela 2. Zestawienie przeprowadzonych testów

	Próbka nr 1 Nominalna temp. formy	Próbka nr 2 Obniżona temp. o 5°C	Próbka nr 3 Obniżona temp. o 10°C
Test 1 [mm/s]	24 – 38 – 26	24 – 38 – 26	24 – 38 – 26
Test 2 [mm/s]	22 – 36 – 24	22 – 36 – 24	22 – 36 – 24
Test 3 [mm/s]	20 – 34 – 22	20 – 34 – 22	20 – 34 – 22
Test 4 [mm/s]	18 – 32 – 20	18 – 32 – 20	18 – 32 – 20



Rys. 10. Badanie zmian parametrów fotometrycznych lampy przy zmianach prędkości wtrysku

Przeprowadzone badania wykazały, że istnieje możliwość obniżania prędkości wtrysku przy dotychczasowej temperaturze formy, niemniej jednak wydłuża to czas cyklu, a tym samym zwiększa koszty. Istotny jest również wniosek o wpływie zmian temperatury formy, co powinno wymuszać lepsze i bardziej precyzyjne nadzorowanie układów odpowiadających za utrzymanie temperatury na odpowiednim poziomie.

5. Podsumowanie

W artykule przedstawiono wyniki badań wpływu poszczególnych elementów konstrukcyjnych oraz procesu technologicznego wykonania soczewki zewnętrznej na parametry fotometryczne trzeciej lampy sygnalizującej wykonywanie manewru hamowania typu CHMSL stosowanej w samochodach osobowych, ciężarowych i autobusach. Rozwiązania, które są obecnie wykorzystywane w przemyśle samochodowym takie jak diody LED jako źródło światła, czy też nowo rozwijane diody laserowe, stawiają przed konstruktorami i producentami zupełnie nowe wyzwania, a od procesu wytwarzania wymagają większej dokładności, powtarzalności oraz stabilności.

Celem przeprowadzonych badań było opisanie zmienności procesu wytwarzania i wpływu tych zmian na wielkość wyjściową, którą było natężenie światła emitowane przez lampę CHMSL. Przedstawione badania i obserwacje są wycinkiem optymalizacji procesu wytwarzania. Optymalizacja może być przeprowadzana różnymi metodami, począwszy od analizy teoretycznej, poprzez symulacje cyfrowe, czy też prowadzenie badań polegających na symulowaniu zmienności procesu w celu określenia akceptowalnego pola tolerancji dla procesowych zmiennych wejściowych takich jak: parametry geometryczne elementów lampy, parametry prowadzenia procesu wtrysku, itd.

Wykonane analizy wykazały proporcje wpływu zmiennych wejściowych na sygnał wyjściowy, co było do tej pory jedynie wielkością szacowaną.

Wpływ zmian parametrów prowadzenia procesu wtrysku oprócz wykazania pewnych anomalii zwłaszcza związanych z temperaturą procesu wtrysku, spowodował zmianę systemu przeglądów okresowych wtryskarek, gdyż wykazana niestabilność procesu (w rzeczywistości często związana ze stanem technicznym) szczególnie w przypadku badanej soczewki zewnętrznej jest krytyczna dla parametrów całego systemu świetlnego.

Na podstawie przeprowadzonych badań można ustalić podstawowe parametry wpływające na jakość wykonywanych elementów konstrukcyjnych lamp typu CHMSL. Całość przedstawionych badań i doświadczeń, często polegających na wymuszaniu skrajnych warunków prowadzenia procesu technologicznego przyczyniła się do lepszego poznania procesu i jego dalszej optymalizacji. Wyniki badań będą sukcesywnie wdrażane do procesu technologicznego wytwarzania lamp typu CHMSL oraz innych lamp o zbliżonej budowie.

Literatura

1. Agreement concerning the adoption of uniform technical prescriptions for wheeled vehicles, equipment and parts which can be fitted and/or be used on wheeled vehicles and the conditions for reciprocal recognition of approvals granted on the basis of these prescriptions, 2010.
<http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/r7rev5e.pdf>
[źródło: 2012.11.25].
2. Bogucki M., Stączek P.: Zastosowanie metody największego spadku w optymalizacji procesu wtryskiwania. *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability* 2003; 2:18-20.
3. Boguta A., Ostrowski S., Ozimek H.: Energooszczędne półprzewodnikowe źródła światła stosowane w technice motoryzacyjnej. *Przegląd Elektrotechniczny*, ISSN 0033-2097, R. 86, 2007; 7: 224-226.
4. Eichhorn K.: *LEDs In Automotive Lighting. Light-Emitting Diodes: Research, Manufacturing and Applications*, Germany 2006.

5. Freeman M. H., Hull C.C.: Optics. Butterworth-Heinemann, an imprint of Elsevier, 2003.
6. GO-x Series Hardware Manual, 02/2009 LMT Lichtmesstechnik GmbH, Berlin.
7. Hofmann M., Byrne M.: Comparison of LED Circuits. Techzone Magazine, Digi-Key, 2010; 44-49.
8. Kang B., Yong B., Park K.: Performance evaluations of LED headlamps. International Journal of Automotive Technology 2010; 5:737-742.
9. Lukacs L., Dassanayake M., Magalhaes R.: Benefits and challenges of controlling a LED AFS (adaptive front-lighting system) using fuzzy logic. International Journal of Automotive Technology 2011;4:579-588.
10. Łukasik M.: Układ do oceny stopnia zabrudzenia powierzchni przepuszczających światło. Prace Instytutu Elektrotechniki, zeszyt 234, 2008: 181-195.
11. Moćko W.: Analiza wpływu wartości luminancji i pola powierzchni świetlnej klosza światła hamowania na widoczność sygnałów świetlnych. Transport Samochodowy, 2011; 1:87-97.
12. Neumann R., Kubena V.: Future rear lighting trends – safety and styling aspects. Progress in automobile lighting, held laboratory of lighting technology, HERBERT UTZ VERLAG GMBH, 2001; 723-732.
13. Ortega A.V., Silva I.N.: Neural network model for designing automotive devices using SMD LED. International Journal of Automotive Technology 2008;2:203-210.
14. Saechling H.: Tworzywa sztuczne – poradnik. WNT, Warszawa, 2000.
15. Sylvester J.: Automotive Laser Diodes Soon to Light up the road <http://www.palomarttechnologies.com/blog/bid/80740> [źródło:2012.11.25].
16. The Long-Term Effectiveness of Center High Mounted Stop Lamps In Passenger Cars and Light Trucks” NHTSA Technical Report, March 1998, U.S Department of Transportation.
17. Wordenweber B., Wallaschek J., Boyce P., Hoffman D.: Automotive Lighting and Human Vision. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007.
18. Zawistowski H., Frenkler D.: Konstrukcja form wtryskowych do tworzyw termoplastycznych. WNT, Warszawa, 1984.
19. Żagan W.: Podstawy techniki świetlnej. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2005.