

st. kpt. dr inż. Paweł Ogrodnik

dr inż. Daniel Pieniak

Szkoła Główna Służby Pożarniczej

Badanie wytrzymałości na przebicie podeszwy wybranego obuwia specjalnego stosowanego w jednostkach ochrony przeciwpożarowej

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki porównawczych badań wytrzymałości na przebicie stylusem obuwia specjalnego, stosowanego obecnie w jednostkach ochrony przeciwpożarowej. W celu porównawczym badania przeprowadzono z wykorzystaniem ostrza znajdującego się w temperaturze normalnej 20°C oraz podwyższonej, wynoszącej 200°C. Do badań wykorzystano dwie nieużywane pary obuwia specjalnego skórzanego. Obuwie tego typu charakteryzuje się wzmocnieniem podeszwy oraz noska buta. Materiał, z którego zostały wykonane charakteryzuje duża odporność w warunkach atmosferycznych w zakresie temperatur od -20°C do +40°C.

W strażackim obuwiu specjalnym materiał wierzchni mogą stanowić m.in.: skóry naturalne, np. bukaty bydlęce licowe, welurowe, dwoiny bydlęce kryte lub welurowe, materiały skóropodobne, PVC, poliuretan, tkaniny impregnowane, inne materiały [8]. Technologia ta powoduje zwiększenie napięcia powierzchniowego cząsteczek wody, co wstrzymuje przesiąkanie (materiały hydrofobowe). Do wykonania spodów najczęściej wykorzystuje się poniższe materiały i procesy technologiczne [9]: GUMA/GUMA – dwustopniowa wulkanizacja elektromechaniczna, PU/TPU – dwustopniowy wtrysk poliuretanu, PU/PU – dwustopniowy wtrysk poliuretanu o dwóch gęstościach, PU – jednostopniowy wtrysk poliuretanu, PU/GUMA – bezpośredni wtrysk poliuretanu na wkładkę gumową, INNE – łączenie nitrylu, PVC, gumy.

W produkcji obuwia ochronnego wykorzystuje się najczęściej podnoski metalowe, stalowe oraz kompozytowe, a także stalowe i kompozytowe wkładki antyprzebiciowe.

Badania wytrzymałościowe wybranych modeli butów o odmiennej konstrukcji, zostały wykonane na specjalnie skonstruowanym innowacyjnym stanowisku

opartym na maszynie wytrzymałościowej LabTest 6.100SP.1-2-2300. Skonstruowany układ grzejny ostrza o łącznej mocy 240 w i napięciu wynoszącym 24 v pozwala na swobodę regulację temperatury w zakresie 20-500°C. Wyniki badań wykazały wyraźne różnice w odporności spodów badanych modeli butów. Ponadto wykazano niekorzystny wpływ działania gorącego stylusa, perforacja spodów butów następowała przy mniejszych siłach. Wartość charakteryzująca odporność oraz stopień jej pogorszenia pod działaniem dodatkowego czynnika termicznego, zależy od materiałów warstw spodów i ich konstrukcji.

Badania przeprowadzono w ramach projektu badawczo-rozwojowego Nr O ROB/0011/03/001 „Opracowanie innowacyjnego systemu stanowisk do badań ochron osobistych”.

Słowa kluczowe: obuwie specjalne, przebicie, innowacyjne stanowisko

The Strength Tests of the Selected Special Boots, Used in Fire Departments, Exposed to the Sole Puncture

Abstract

The article presents the results of the comparative strength tests of the special boots used in fire units which are exposed to the sole puncture with the stylus. The tests have been carried out using the blade in normal 20 °C and higher 200°C temperature. Two pairs of special boots have been used for the tests. The boots have specially protected soles and toecaps. The material used for their production has a high weatherproof quality , from – 20°C till +40°C.

The outside layers of the firefighters' special boots can be made of the following materials: natural leathers such as , cow leather grain, cow leather suede, covered cow leather split or suede as well as the leatherette materials.

pvc, polyurethane, impregnated textures and other materials (8). That technology causes the increase water particles surface tension which stops soaking (hydrophobic materials). To produce the soles the mentioned below materials and technological processes are commonly used(9): GUMA/GUM – two stage electromechanical cure, PU/TPU – two stage polyurethane injection, PU/PU – two stage polyurethane injec-

tion with two densities, PU – one stage polyurethane injection, PU/GUMA – direct polyurethane injection on the rubber pad, OTHER – nitrile bonding, PVC, rubber.

For the production of the protective boots the most commonly used are the metal, steel and composite toecaps as well as steel and composite antipuncture pads.

The strength tests of the selected boot models of different design have been carried out on the specially constructed innovative stand based on the testing machine the LabTest 6. 100SP.1-2-2300. The constructed blade heating system of the total power – 240 W and of the voltage – 24 V makes the free regulation of the temperature within 20–500°C possible. The results have shown the significant differences in the strength of the tested boot soles. Moreover the unfavorable influence of the hot stylus has been shown. The sole punctures were observed at smaller powers. The value characteristic for the strength and the level of its worsening, because of the additional thermic factor, depends on the soles material layers as well as on their design.

The tests have been carried out in the framework of the R&D project No. O ROB/0011/03/001 'Development of an innovative stands system for testing personal protection'

Keywords: special boots, puncture, innovative stand

1. WSTĘP

Środki ochrony osobistej strażaków należą do grupy środków stanowiących bezpośrednią ochronę ratownika podczas licznych zagrożeń, które mogą wystąpić w czasie prowadzenia działań ratowniczych. Jednym z elementów ochrony indywidualnej strażaka-ratownika są buty specjalne. Zgodnie z obowiązującymi normatywnymi obuwie o cechach ochronnych, w odróżnieniu od obuwia roboczego, jest głównie przeznaczone do ochrony użytkowników przed szeregiem urazów, które mogą mieć miejsce podczas wypadków [1]. W odróżnieniu od obuwia roboczego, które zapewnia przede wszystkim wygodę użytkownika i walory higieniczne, obuwie o cechach ochronnych zabezpiecza użytkownika przed licznymi urazami występującymi na stanowisku pracy. Buty strażackie mają za zadanie zabezpieczyć nogi przed urazami mechanicznymi, czynnikami szkodliwymi, wysokimi i niskimi temperaturami, wilgocią, prądem elektrycznym, poślizgiem [2, 3]. Dlatego cechuje je specjalna konstrukcja (rys. 1).



Rys.1. Buty strażackie, wiodącego producenta, w przekroju

Źródło: <http://safetech.net.pl/buty.html> [9]

Ze względu na poziom zagrożeń, przed którymi obuwiu powinno chronić został unormowany podział na trzy kategorie przedstawione w tabeli 1.

Tabela 1. Sposób oznaczenia kategorii obuwia

Kategoria obuwia	Symbol	Ochrona palców stopy	Norma określająca wymagania	Wytrzymałość na uderzenia z energią
BEZPIECZNE	S – „safety”	podnosek	PN-EN ISO 20345:2012E	200 J
OCHRONNE	P – „protective”	podnosek	PN-EN ISO 20346 :2007P	100 J
ZAWODOWE	O – „occupational”	podnosek	PN-EN ISO 20347 :2012E	brak

Źródło: opracowanie własne na podstawie [5,6,7]

Wszystkie rodzaje obuwia o cechach ochronnych ze względu na rodzaj zastosowanego materiału i technologie wytwarzania można podzielić na obuwie klasyfikacji I (wykonane ze skóry i innych materiałów, z wyłączeniem obuwia całogumowego lub całotworzywowego) oraz obuwie klasyfikacji II (całogumowe – całkowicie wulkanizowane lub całotworzywowe – całkowicie formowane). Dostępne konstrukcje obuwia klasyfikacji I oraz II to: typ A – obuwie z niską cholewą, typ B – trzewik, typ C – obuwie do połowy łydki, typ D – obuwie do kolana oraz typ E – obuwie z cholewką powyżej kolana. W przypadku obuwia dla strażaków powinno ono odpowiadać modelom od B do E.

W normie EN 15090:2012E [4] zastała określona kwestia izolacyjności cieplnej obuwiaw kontakcie z gorącym podłożem. Zaproponowano trzy poziomy ochrony wprowadzając jednocześnie dla nich odpowiednie symbole do znakowania (H11, H12 i H13). Obuwie należy zatem zakwalifikować do jednego z trzech typów:

Typ 1. (na przykład H11÷ H13) to obuwie przeznaczone do ogólnych akcji ratowniczych i zwalczania ognia na polach uprawnych, plantacjach i pastwiskach oraz w lasach.

Typ 2. (na przykład H12, H13) obuwia jest odpowiedni podczas ratowniczych akcji gaśniczych, działań zabezpieczających w budynkach i innych pomieszczeniach zamkniętych, w tym także pojazdach i na statkach lub podobnych środkach uczestniczących w pożarze lub sytuacji nagłego zagrożenia.

Typ 3. to obuwie całogumowe i całotworzywowe przeznaczone głównie do stosowania w nagłych wypadkach z udziałem niebezpiecznych materiałów, związanych z uwolnieniem lub zagrożeniem uwolnienia do środowiska niebezpiecznych chemikaliów, które mogą powodować utratę życia, zranienie osób lub zniszczenie mienia i środowiska. Obuwie przydatne także do działań ratowniczych, gaszenia ognia i zabezpieczania mienia w samolotach, budynkach, zamkniętych pomieszczeniach, pojazdach, na statkach lub podobnych środkach uczestniczących w pożarze lub sytuacji nagłego zagrożenia.

2. MATERIAŁ BADAWCZY I METODYKA WYKONANIA BADAŃ

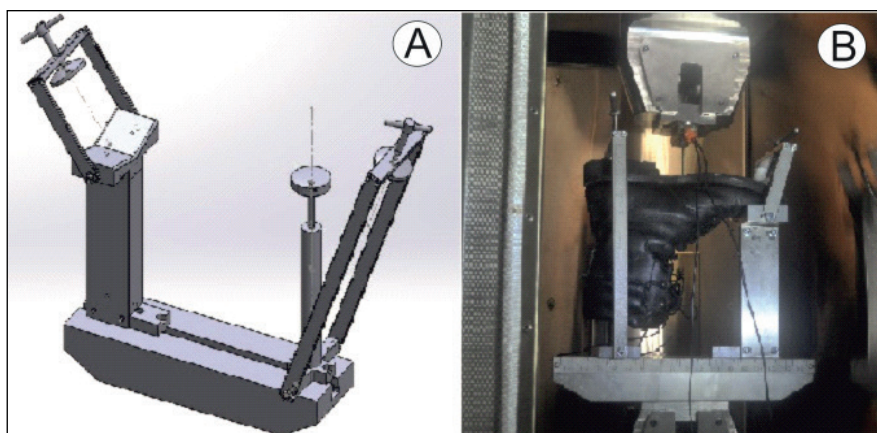
2.1. *Materiał badawczy*

W badaniach wykorzystano dwie nieużywane (fabrycznie nowe) pary obuwia specjalnego skórzanego. W obydwu przypadkach konstrukcja butów

specjalnych została wzmocniona, w przypadku buta „v” metalową a buta „B” z kompozytu polimerowego wzmocnionego kevlarem, wkładką przeciwpzebiciową podeszwy. Materiał, z którego zostały wykonane, charakteryzuje duża odporność w warunkach atmosferycznych w zakresie temperatur od -20°C do $+40^{\circ}\text{C}$. Materiał wierzchni stanowi specjalnie impregnowana skóra.

2.2. Stanowisko do wykonania badań

W celu przeprowadzenia badań w ramach prowadzonych prac projektowych zostało zaprojektowane i wykonane stanowisko badawcze umożliwiające zbadanie wytrzymałości na przebicie podeszwy z wykorzystaniem gorącego ostrza (stylusa). Stanowisko oparto na maszynie wytrzymałościowej LaboTest 6.10OSP.1-2-2300, która umożliwia obciążenie siłą statyczną oraz utrzymanie jej w układzie pionowym na stałym założonym poziomie. Maksymalna wytwarzana przez maszynę siła statyczna wynosi 100 kN. Urządzenie jest wyposażone w trzy głowice pomiarowe, w czasie badania wykorzystywano głowice pomiarowa o nominalnej wartości równej 10 kN. W badaniach użyty został zakres prędkości przesuwu trawersy wynoszący 10mm/min.



Rys. 2. A) Suport specjalny do zamocowania buta, B) But zamocowany na stanowisku badawczym

Źródło: Opracowanie własne

W celu zamontowania obuwia wykorzystano specjalny suport umożliwiający montaż całego obuwia w przestrzeni roboczej maszyny wytrzymałościowej.

W czasie badania but opiera się w trzech punktach podparcia i jest jednocześnie zamocowany za pomocą uchwytów, co pozwala na unieruchomienie podeszwy buta (rysunek 2).

W górnych szczękach maszyny wytrzymałościowej znajduje się układ grzejny wraz z ostrzem (styllosem) o długości 65mm i średnicy 3mm. Układ grzejny ostrza składa się z 4 grzałek, każda z grzałek posiada moc 80 w. Nominalne napięcie zasilania wynosi 24 v. W czasie badania grzałki są ze sobą połączone równolegle i pracują jednocześnie. Regulacja temperatury odbywa się przy wykorzystaniu grzałek na stałe połączone równolegle i zawsze pracują wszystkie. Zasilenia grzałek odbywa się przy wykorzystaniu zasilacza laboratoryjnego, regulowanego VOLTcraft DPPS-32-20. Pomiar temperatury ostrza odbywa się za pomocą kamery termowizyjnej Optris PI400. Kamera jest zdolna do przechwytywania i zapisywania obrazów termicznego w pełnej rozdzielczości przy użyciu częstotliwości pomiaru sięgającej 80Hz. Kamera Optris PI450 osiąga rozdzielczość termiczną rzędu 40mK i może być wykorzystywana do wykrywania niewielkich różnic temperatury. Urządzenie pozwala na pomiar temperatury w zakresie -20°C ÷ 900°C z dokładnością wynoszącą $\pm 2^{\circ}\text{C}$.

2.3 *Metodyka wykonania badań*

W badaniach wykorzystano dwie pary obuwia specjalnego producentów zagranicznych posiadające niezbędne dokumenty dopuszczające je do obrotu i sprzedaży w Polsce. Przed przystąpieniem do montażu obuwia w maszynie wytrzymałościowej oceniono stan obuwia i jego zgodność z opisem producenta. Następnie po zamontowaniu obuwia w uchwycie i maszynie wytrzymałościowej przystąpiono do badań wytrzymałościowych. W pierwszym etapie wykonano badania wytrzymałości na przebicie styllosem, którego temperatura wynosiła 20°C . Dla każdego z badanego obuwia wykonano przebicie w trzech wybranych miejscach środkowej części podeszwy. Badanie uznawano za zakończone w momencie całkowitego przebicia podeszwy, co zostało oznaczone na wykresie. Przed przystąpieniem do badania gorącym styllosem następowало uruchomienie układu grzejnego. Temperatura ostrza była mierzona za pomocą kamery termowizyjnej Optris PI450. Po osiągnięciu temperatury 150°C przystępowano do przebicia podeszwy. Również w przypadku badania rozgrzanym styllosem wykonano po trzy próby dla każdego

z wybranych rodzajów obuwia specjalnego. Rejestracja wyników siły przebicia odbywała się za pomocą oprogramowania maszyny wytrzymałościowej LabTest 6.10OSP.1-2-2300.

3. WYNIKI BADAŃ

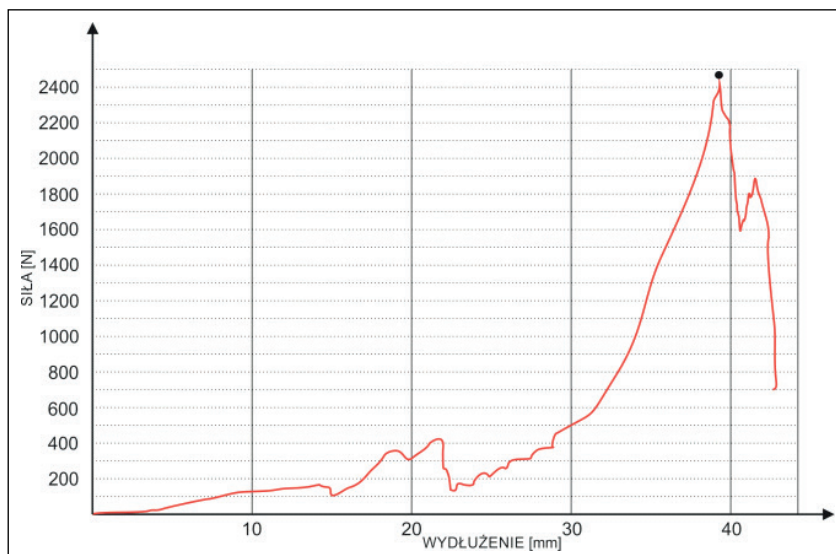
Porównanie wytrzymałości na przebicie wybranego obuwia specjalnego stylusem w temperaturze normalnej 20°C oraz nagrzanego do temperatury 150°C zostało przedstawione w tabeli 2.

Tabela 2. Porównanie wytrzymałości na przebicie podeszwy wybranego obuwia specjalnego zimnym i gorącym stylusem

Rodzaj obuwia	Temperatura Stylusa [°C]	Siła Przebicia [N]	Wartość Średnia [N]	Odchylenie. Std. [N]	Współczynnik wariancji
Obuwie rodzaju „B”	20	2522,5	2666,98	188,4	7,06
	20	2880,1			
	20	2598,4			
	150	2499,5	2281,07	267,6	11,73
	150	2361,1			
	150	1982,6			
Obuwie rodzaju „V”	20	1715,9	1734,49	19,4	1,12
	20	1732,9			
	20	1754,6			
	150	1265,0	1307,93	56,0	4,28
	150	1371,3			
	150	1287,5			

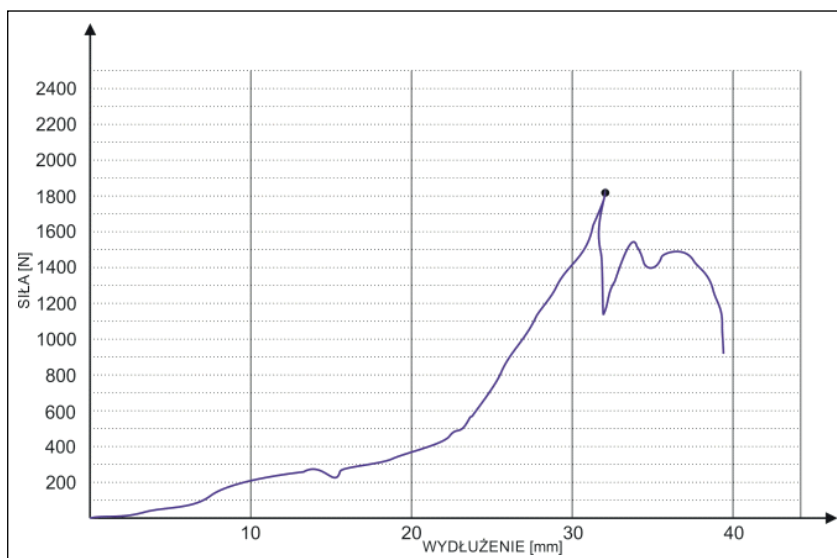
Źródło: opracowanie własne

Przykładowe wykresy uzyskane w czasie badań wytrzymałościowych zostały przedstawione na rysunkach 3 oraz 4.



Rys. 3. Charakterystyka siły w funkcji przemieszczenia ogrzanego do 150°C styllusa uzyskana w próbie odporności na przebicie podeszwy buta strażackiego rodzaju „B” w strefie środkowej

Źródło: opracowanie własne



Rys. 4. Charakterystyka siły w funkcji przemieszczenia w próbie odporności na przebicie podeszwy buta strażackiego rodzaju „v” w strefie środkowej

Źródło: opracowanie własne

4. WNIOSKI

Na podstawie analizy przeprowadzonych badań można wysunąć następujące wnioski:

1. Wyższą odpornością na przebicie cechowały się buty „B”. Uzyskana odporność była ponad dwukrotnie wyższa od wymaganej, zawartej we właściwej normie technicznej.
2. Na wykresach dotyczących buta „B”: widoczna jest wyraźnie moment przebicie elastomerowej podeszwy i kontaktu ze znacznie wytrzymałą i sztywniejszą wkładką. Uprawnione wydaje się stwierdzenie, że proces przebijania jest etapowy, a o wytrzymałości pakietu warstw pomiędzy podłożem a stopą decyduje wkładka z twardego tworzywa sztucznego lub metalu.
3. Proces przebijania sztywnej wkładki jest etapowy i wymaga przemieszczenia się stylusa na ok 3 mm w przypadku buta „B” i 5,5 mm w bucie „V”. Prawdopodobnie but „V” wyposażony jest grubszą wkładkę wykonaną z materiału o niższej wytrzymałości od wkładki buta „B”.
4. Wpływ oddziaływania gorącym stylusem jest jednoznacznie niekorzystny, odporność na przebicie podeszwy jest niższa. Zależność ta dotyczy obydwu badanych modeli butów. Warto zaznaczyć, że wymagania normatywne nie uwzględniają badania gorącym stylusem.
5. Większa wrażliwością na działanie gorącego stylusa cechuje się but „V”.

LITERATURA

- [1] Kamińska W.; „Środki ochrony indywidualnej – obuwie. Wymagania aktualnych norm”, RUCH S.A., *Bezpieczeństwo Pracy* 12/2007.
- [2] Andrzejewska A., Bartkowiak G., Makinen H., „Odzież, rękawice i obuwie chroniące przed czynnikami gorącymi – dobór i stosowanie”, CIOP-PIB, Warszawa 2005.
- [3] Raport z badań projektu Nr O ROB/0011/03/001 „Opracowanie innowacyjnego systemu stanowisk do badań ochron osobistych”.
- [4] EN 15090:2012E: „Obuwie dla strażaków”.
- [5] PN-EN ISO 20345:2012E: „Środki ochrony indywidualnej – Obuwie bezpieczne”.

- [6] PN-EN ISO 20346 :2007P: „Środki ochrony indywidualnej – Obuwie ochronne”.
- [7] PN-EN ISO 20347 :2012E: „Środki ochrony indywidualnej – Obuwie zawodowe”.
- [8] Rozporządzenie ministra spraw wewnętrznych i administracji z dnia 20 czerwca 2007 r. w sprawie wykazu wyrobów służących zapewnieniu bezpieczeństwa publicznego lub ochronie zdrowia i życia oraz mienia, a także zasad wydawania dopuszczenia tych wyrobów do użytkowania (DzU nr 143 pz. 1002).
- [9] <http://safetech.net.pl/buty.html>.