

MODELOWANIE PRZEBIEGU PEŁZANIA DREWNA BUKA.
WERYFIKACJA PRZYDATNOŚCI MODELI REOLOGICZNYCH

Gabriel Czachor

Instytut Inżynierii Rolniczej, Uniwersytet Przyrodniczy
ul. Chełmońskiego 37/41, 51-630 Wrocław
e-mail: gabriel.czachor@up.wroc.pl

Streszczenie. W pracy przedstawiono metodę oraz wyniki weryfikacji przydatności modeli reologicznych do prognozowania zmian odkształcenia próbek drewna buka w czasie znacznie wykraczającym poza czas t realizacji testu. Wykorzystano analizę zmienności błędów aproksymacji uśrednionego przebiegu odkształcenia w funkcji czasu. Dla analizowanych modeli określono minimalny czas testu t_{min} , który pozwalał z zadaniem błędem aproksymacji prognozować zmiany odkształcenia w czasie t_n , gdzie $t_n \geq t > t_{min}$. Sporządzono ranking przydatności modeli. Stwierdzono, że przydatność konkretnego modelu do celów prognozowania uwarunkowana jest stabilizacją wartości jego parametrów w funkcji czasu.

Słowa kluczowe: pełzanie, modele reologiczne, weryfikacja, prognozowanie

WSTĘP

Drewno i materiały drewnopochodne ze względu na dostępność surowca, cenę, łatwość technologicznego przetwarzania a także swoje właściwości użytkowe są powszechnie stosowanymi materiałami konstrukcyjnymi między innymi w meblarstwie i w budownictwie (Gonet 1991, Piotrkowski i Strykowski 2002). Weryfikacja przydatności materiałów w konstrukcjach budowlanych wymaga przede wszystkim określenia ich cech reologicznych, wyznaczonych w zadanych warunkach obciążenia w testach trwających przez wiele miesięcy (Bengtsson 2001, Hannah i in. 2007). W trakcie realizacji testów pojawiają się cykliczne zmiany wilgotności i temperatury powietrza, w znacznym stopniu wpływające na właściwości badanego materiału. Ponieważ drewno i konstrukcyjne materiały drewnopochodne wykazują cechy ciała liniowo-lepkosprężystego, do aproksymacji przebiegów pełzania tych materiałów wykorzystuje się równania opracowane na pod-

stawie uogólnionego modelu Kelvina-Voigta (Dubois i in. 2005) oraz czteroparametrowego modelu Burgersa (Clorius i in. 2000, Gonet 1991, Mukudai i Yata 1986, Siegel 1985). Także stosuje się modyfikacje modelu Burgersa w postaci trzy lub pięcioparametrowego modelu Lethersicha. Wszystkie te modele mogą być przedstawione w postaci mechanicznego analogu, zestawionego z odpowiedniego układu ciał idealnie sprężystych Hooke'a oraz płynu doskonale lepkiego Newtona (Derski i Ziomba 1968). Jest to konsekwencją założenia, że badanym obiektem jest jednorodne kontinuum, podlegające małym odkształceniom (Kisiel 1980, Wilczyński 2001).

Drewno i materiały drewnopochodne podlegają w zakresie sprężystym znacznie większym odkształceniom niż stal, co wynika z dysproporcji wartości ich modułów sprężystości. Dlatego celowym jest zastosowanie modeli nieliniowych, utworzonych poprzez dodanie do modelu liniowego, nieliniowych składników (Gołacki i Stropek 2001). Alternatywnie można także utworzyć nowy model (Konstankiewicz i in. 1996). Oczekiwaną korzyścią, oprócz poprawy stopnia dopasowania do rejestrowanego przebiegu, jest także możliwość prognozowania zachowania się badanego obiektu. Celem badań była weryfikacja przydatności rozpatrywanych modeli reologicznych do prognozowania zmian odkształcenia próbek drewna buka w przedziale czasowym, znacznie wykraczającym poza czas realizacji testu pełzania.

MATERIAŁ I METODYKA

Testowi pełzania poddano próbki drewna buka (*Fagus sylvatica* L.), pozyskanego z pełnowartościowego surowca. Próbki o wymiarach 10×10×28 mm wycinano z kłody w kierunku wzdłuż włókien. Materiał badawczy sezonowano celem zapewnienia wilgotności, zawierającej się w przedziale od 8% do 10%. Test jednoosiowego ściskania realizowano na maszynie Instron 5566, z wykorzystaniem głowicy pomiarowej o zakresie do 10 kN. Prędkość przemieszczania belki roboczej maszyny ustalono na poziomie $8,333 \cdot 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Badania realizowano w dwóch etapach. W pierwszym, przeprowadzono testy jednoosiowego ściskania i wyznaczono wartość wytrzymałości na ściskanie R_c . W drugim etapie przeprowadzono testy pełzania w czasie $t_n = 3,4 \cdot 10^5 \text{ s}$ przy obciążeniu wstępnym ustalonym na poziomie 50% wyznaczonej wartości R_c . Wykonano sześć powtórzeń a następnie matematycznie wyznaczono uśredniony przebieg $\varepsilon_u(t)$. Tak uzyskany przebieg $\varepsilon_u(t)$ poddano matematycznej analizie z wykorzystaniem odpowiednich równań. Wyznaczono istotność statystyczną współczynnika zmienności V (Krysicki i in. 2000).

Weryfikację przydatności poszczególnych modeli reologicznych dokonano na podstawie porównania zmienności wartości błędów aproksymacji A_e uśrednione-

go przebiegu $\varepsilon_u(t)$ w funkcji czasu t realizacji testu pełzania. Na tej podstawie określono minimalne przedziały czasowe Θ_{min} , powyżej których błędy aproksymacji Δ_ε nie przekraczały zadanego poziomu.

Błąd aproksymacji Δ_ε wyznaczono poprzez porównanie w zadanym przedziale czasowym Θ_n , wartości uśrednionego odkształcenia $\varepsilon_u(\Theta_n)$ z odpowiadającą mu wartością teoretyczną $\varepsilon_i(\Theta_n)$, według następującego wzoru:

$$\Delta_\varepsilon = \frac{\varepsilon_u(\Theta_n) - \varepsilon_i(\Theta_n)}{\varepsilon_u(\Theta_n)} \cdot 100\% \quad (1)$$

Wartości $\varepsilon_i(\Theta_n)$ obliczono w przedziale czasowym Θ_n w oparciu o wartości parametrów konkretnego modelu, określone w przedziale Θ_i , przy czym $\Theta_n \geq \Theta_i$. W dokonanych obliczeniach przyjęto stałą wartość $\Theta_n = 3,4 \cdot 10^5$ s, a przedziały czasowe Θ_i zwiększano, poczynając od $\Theta_1 = 0-t_1$, $\Theta_2 = 0-t_2$ aż do wartości granicznych $\Theta_n = 0-t_n$. Tym sposobem wyznaczono współrzędne kolejnych punktów, co przedstawiono na rysunkach 4, 5, 6.

Analizę dokładności matematycznego opisu pełzania próbek drewna buka dokonano w oparciu o uogólniony model Kelvina –Voigta, przedstawiony w postaci zależności:

$$\varepsilon(t) = \sum_{i=1}^n a_i \cdot (1 - e^{-b_i \cdot t}) \quad (2)$$

gdzie: $\varepsilon(t)$ – odkształcenie względne, t – czas realizacji testu pełzania a_i , b_i – współczynniki.

Analizowano dwu-, cztero-, sześciu- i ośmioparametrowe modele Kelvina –Voigta, oznaczone umownie jako K-V(2), K-V(4), K-V(6), K-V(8). Rozpatrywano również model Burgersa, oznaczony umownie jako B(4):

$$\varepsilon(t) = a \cdot (1 - e^{-b \cdot t}) + c \cdot t + d \quad (3)$$

oraz jego modyfikacje w postaci równania Lethersicha, oznaczonych odpowiednio Lt (3), Lt (5):

$$\varepsilon(t) = \sum_{i=1}^2 a_i \cdot (1 - e^{-b_i \cdot t}) + c \cdot t \quad (4)$$

gdzie: a_i , b_i , c , d – współczynniki.

Istotą przedstawionych powyżej zależności jest możliwość idealizowania zjawiska fizycznego, jakim jest pełzanie drewna, przy wykorzystaniu zestawu znanych symboli (Derski i Ziemia 1968). Dzięki czemu możliwe jest opisanie zachowania się obiektu w określonych warunkach badań a poprzez to porównanie

reakcji różnych materiałów. Zastosowane w tych formułach człony $a \cdot (1 - e^{-b \cdot t})$ oraz $c \cdot t$ jednoznacznie determinują właściwości modeli. W przypadku materiałów rzeczywistych charakter ich reakcji może znacznie odbiegać od modelowego, utrudniając tym samym prognozowanie zmian odkształcenia próbki w czasie znacznie wykraczającym poza czas realizacji testu. Uwzględniając możliwość wykorzystania modeli nieliniowych, wybrano w sposób subiektywny modele eksperymentalne, zapisane w postaci następujących zależności:

$$\varepsilon(t) = a \cdot (1 - e^{-b \cdot t}) + c \cdot t^d \quad - \text{oznaczono jako - E1(4)} \quad (5)$$

$$\varepsilon(t) = c \cdot t^d \quad - \text{oznaczono jako - E2(2)} \quad (6)$$

$$\varepsilon(t) = a \cdot (1 - e^{-b \cdot t}) + g \cdot \left[1 - (1 + h \cdot t^k)^{-1} \right] \quad - \text{oznaczono jako - E3(5)} \quad (7)$$

$$\varepsilon(t) = g \cdot \left[1 - (1 + h \cdot t^k)^{-1} \right] \quad - \text{oznaczono jako - E4(3)} \quad (8)$$

$$\varepsilon(t) = g \cdot \left[1 - (1 + h \cdot t^k)^{-1} \right] + m \cdot t \quad - \text{oznaczono jako - E5(4)} \quad (9)$$

gdzie: a, b, c, d, g, h, k, m – współczynniki równań; E1(4), E2(2), ..., Ei(l_p), Ei, – kolejny model eksperymentalny, l_p – liczba parametrów modelu.

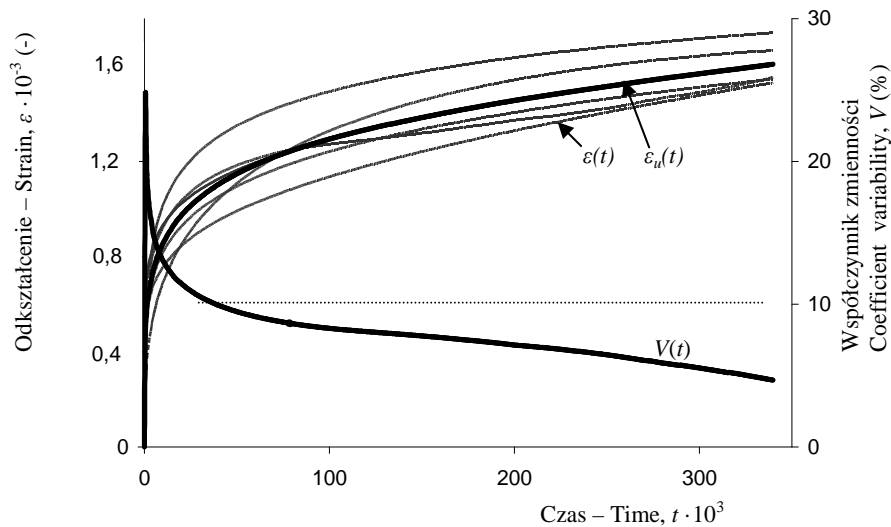
Równania (5) oraz (6) zawierają człon $c \cdot t^d$, w którym wartość współczynnika d różna od jedności, wskazuje na stopień nieliniowości funkcji. Taki zapis funkcji znajduje zastosowanie w opisie nieliniowych elementów sprężystych i lepkich (Gołacki i Stropek 2001). W równaniach (7), (8), (9) zastosowano funkcję wyznaczoną eksperymentalnie i zastosowaną w pracy (Bohdziewicz 2008). Parametry tej funkcji nie mają odwzorowania fizycznego tak jak parametry modeli liniowych.

Do wyznaczenia zmian wartości współczynnika zmienności V oraz do analizy dokładności matematycznego opisu zmian odkształcenia próbek drewna w funkcji czasu realizacji testu pełzania wykorzystano pakiet statystyczny Statistica 8.

WYNIKI I DYSKUSJA

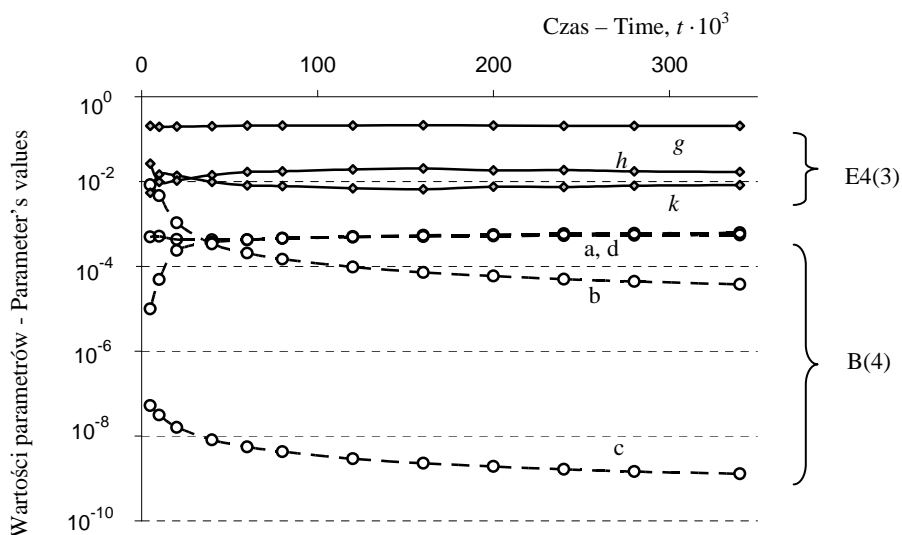
Rejestrowane w czasie kolejnych testów pełzania zmiany wartości odkształcenia $\varepsilon(t)$ oraz ich matematyczne uśrednienie $\varepsilon_u(t)$ zestawiono na rysunku 1. Dodatkowo zestawiono zmiany wartości współczynnika zmienności V . Linia przerywaną zaznaczono poziom $V = 10\%$. Ponieważ wartości tego współczynnika po

przekroczeniu czasu testu $t = 3 \cdot 10^4$ s systematycznie się obniżają poniżej 10%, to można stwierdzić, że uśredniony przebieg zmian odkształcenia $\varepsilon_u(t)$ dobrze reprezentuje próbę. Zmiany $\varepsilon_u(t)$ są charakterystyczne dla reakcji drewna buka, dlatego weryfikację modeli dokonano w oparciu o ten przebieg.



Rys. 1. Zmiany odkształcenia $\varepsilon(t)$ oraz wartości współczynnika zmienności V w czasie t
Fig. 1. Strain changes $\varepsilon(t)$ and values of variability coefficient V in time t

Dla zadanych przedziałów czasowych $\Theta_1, \Theta_2, \dots, \Theta_i$ obliczono wartości parametrów przyjętych modeli: $a_i, b_i, c_i, d_i, g_i, h_i, k_i, m_i$, w oparciu o zastosowaną metodę dopasowania przebiegu teoretycznego do rzeczywistego. Następnie analizowano pozorne zmiany wartości tych parametrów w funkcji czasu. Stwierdzono, że w przedziale czasowym od 0 s do $3,4 \cdot 10^5$ s w przypadku modeli opisanych wzorami (2), (3), (4) oraz (5), (7) i (9) wartości przynajmniej jednego z analizowanych parametrów podlegają zmianom przekraczającym jeden rząd wielkości. Dotyczy to równań zawierających człony $a \cdot (1 - e^{-b \cdot t})$ oraz $c \cdot t$. Dla modeli opisanych jako E2(2) oraz E4(3), wartości wszystkich analizowanych parametrów podlegają niewielkim zmianom. Na rysunku 2 przedstawiono jako przykład pozorne zmiany wartości parametrów modelu oznaczonego jako B(4) oraz modelu oznaczonego jako E4(3). Obserwowana zależność pozornych zmian wartości analizowanych parametrów modeli w funkcji czasu t stanowi istotne ograniczenie możliwości dokładnej ekstrapolacji przebiegu $\varepsilon_u(t)$.



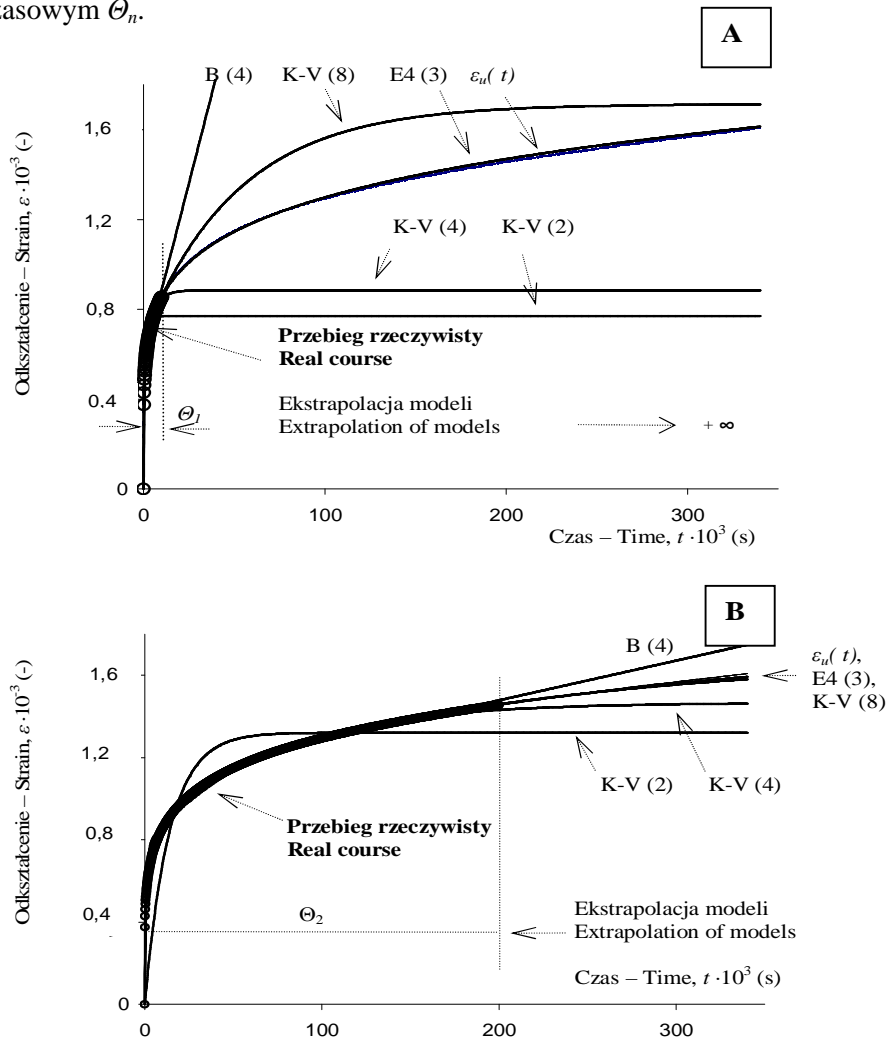
Rys. 2. Zmienność wartości parametrów modelu E4(3) oraz B(4) w funkcji czasu t , gdzie: a, b, c, d, g, h, k – parametry równań (3), (8)

Fig. 2. Variability of parameter values for models E4(3) and B(4) as a function of time t , where: a, b, c, d, g, h, k – parameters of equations (3), (8)

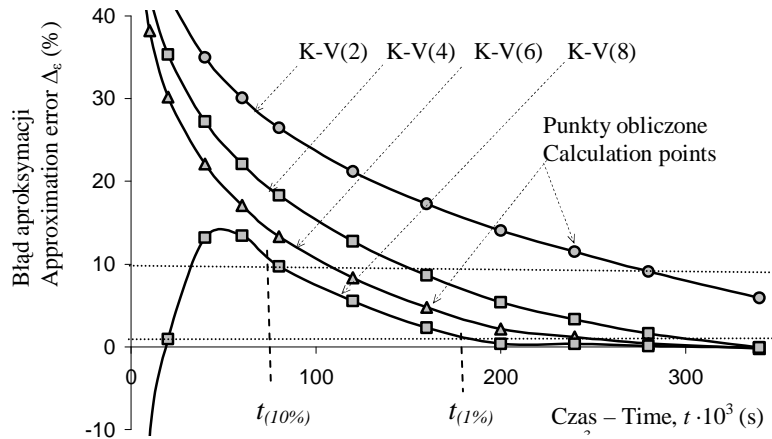
Na rysunku 3 przedstawiono przykład aproksymacji i ekstrapolacji dla wybranych modeli w dwóch przedziałach czasowych: $\Theta_1 = 10^4$ s oraz $\Theta_2 = 2 \cdot 10^5$ s. Na podstawie analizy tego rysunku można wnioskować o wyraźnym wpływie szerokości przedziałów czasowych Θ_i na dokładności dopasowania przebiegów ekstrapolowanego do rzeczywistego $\varepsilon_u(t)$. Dotyczy to szczególnie wieloparametrowych modeli Kelvina-Voigta. Dla przedziału $\Theta_1 = 10^4$ s dwu- i czteroparametrowe modele Kelvina-Voigta są nieprzydatne, podobnie jak model Burgersa. Przydatność ośmioparametrowego modelu Kelvina-Voigta jest wątpliwa. Zwiększenie szerokości przedziału do wartości $\Theta_2 > 50\% \Theta_n$ skutkuje dokładniejszą ekstrapolacją wszystkich rozpatrywanych modeli. Model oznaczony jako E4(3) w obu przedziałach Θ_1 oraz Θ_2 , nie wykazuje tej cechy.

Dokładność ekstrapolacji oceniano poprzez analizę rozkładów błędów aproksymacji Δ_ε w funkcji czasu t . Na rysunkach 4, 5, 6 zestawiono zmiany wartości błędów aproksymacji Δ_ε w czasie t dla wszystkich weryfikowanych modeli. Dla poziomów błędów aproksymacji $\pm 10\%$ oraz $\pm 1\%$ wyznaczono współrzędne czasu $t_{10\%}$ oraz $t_{1\%}$ (na rysunku 4 zaznaczone linią przerywaną). Tym samym określono minimalny czas t_{min} realizacji testu pełzania próbek drewna buka, który z zada-

nym błędem pozwalał prognozować wartości odkształcenia ε w czasie t_n , znacznie wykraczającym poza czas minimalny t_{min} . Zakres prognozowania ograniczono do czasu $t_n = 3,4 \cdot 10^5$ s. Dla rozpatrywanych modeli nieliniowych a szczególnie dla modelu E4(3) zakres ten można znacznie wydłużyć, ze względu na stabilizację wartości błędu aproksymacji Δ_ε na poziomie 1% w całym badanym przedziale czasowym Θ_n .

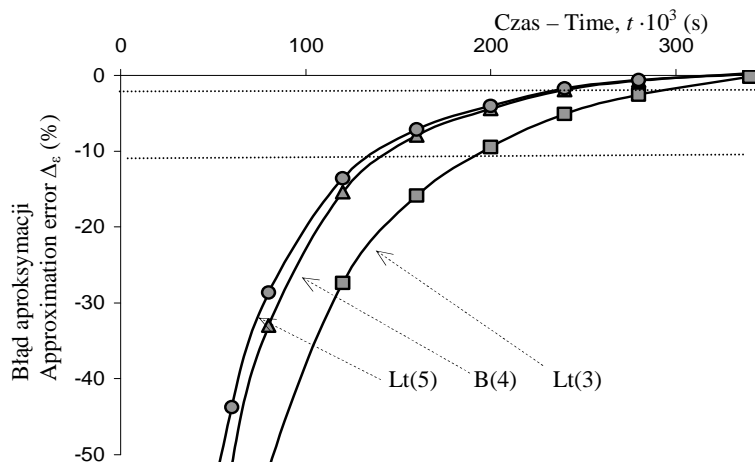


Rys. 3. Aproksymacja i ekstrapolacja zależności $\varepsilon_u(t)$ następującymi modelami: K-V(2), K-V(4), K-V(8), B(4), E4(3) w przedziałach czasowych: $\Theta_1 = 10^4$ s (**A**) oraz $\Theta_2 = 2 \cdot 10^5$ s (**B**)
Fig. 3. Approximation and extrapolation of the relation $\varepsilon_u(t)$ with the following models: K-V(2), K-V(4), K-V(8), B(4) in time sections: $\Theta_1 = 10^4$ s (**A**) and $\Theta_2 = 2 \cdot 10^5$ s (**B**)



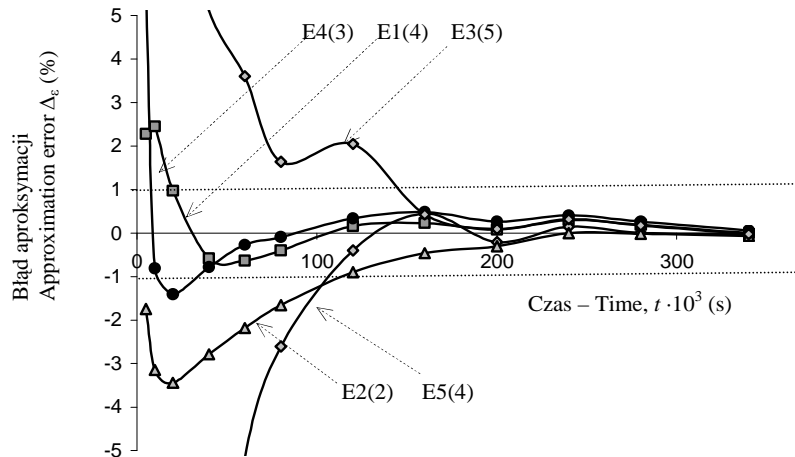
Rys. 4. Zestawienie błędów aproksymacji Δ_ε w funkcji czasu t , wyznaczonych dla dwu-, cztero-, sześciu- oraz ośmioparametrowych modeli Kelvina-Voigta

Fig. 4. Approximation errors Δ_ε as a function of time t , determined for two-, four-, six- and eight-parameter Kelvin-Voigt models



Rys. 5. Zestawienie błędów aproksymacji Δ_ε w funkcji czasu t dla czteroparametrowego modelu Burgersa B(4) oraz trzy- i pięcioparametrowych modeli Lethersicha: Lt(3), Lt(5)

Fig. 5. Approximation errors Δ_ε as a function of time t , determined for four-parameter Burgers model B(4) and three- and five-parameter Lethersich models Lt(3), Lt(5)



Rys. 6. Zestawienie błędów aproksymacji Δ_ε w funkcji czasu t , dla modeli oznaczonych jako : E1(4), E2(2), E3(5), E4(3), E5(4)

Fig. 6. Approximation errors Δ_ε as a function of time t , determined for models designated as E1(4), E2(2), E3(5), E4(3), E5(4)

Wartości czasów $t_{10\%}$ oraz $t_{1\%}$ przyjęto jako kryterium przydatności modeli do prognozowania zachowania się próbek drewna w przedziałach czasowym wykraczającym poza czas testu pełzania. W tabeli 1 przedstawiono ranking modeli, w którym uwzględniono również, wartości współczynnika determinacji r^2 oraz liczbę parametrów danego modelu (l_p). Wartości współczynnika r^2 uśredniono z wartości wyznaczonych w przedziale czasowym $1,6 \cdot 10^5$ - $3,4 \cdot 10^5$ s.

Z analizy tabeli 1 wynika, że eksperymentalne modele cechują się najlepszą przydatnością do celów prognozowania zmian odkształcenia próbek drewna buka. W przypadku modelu E4(3) wystarczy przeprowadzić test pełzania w czasie, co najmniej 10^4 s, aby z błędem 1% określić przewidywaną wartość $\varepsilon_u(t)$ w czasie 30-krotnie dłuższym. W modelach E1(4) oraz E3(2) dominującą rolę odgrywa człon $c \cdot t^d$. W modelach E3(5) i E4(5) człony liniowe, $a \cdot (1 - e^{-b \cdot t})$ oraz $g \cdot t$, mają znaczenie marginalne.

W przypadku uogólnionego modelu Kelvina-Voigta zwiększanie ilości parametrów oznacza zwiększenie liczby składowych funkcji regresji, co poprawia stopień odwzorowania przebiegu $\varepsilon_u(t)$, wzrastają wartości współczynnika r^2 . Poprawia się także przydatność wieloparametrowych modeli Kelvina-Voigta do prognozowania poprzez zmniejszanie się wartości czasu $t_{10\%}$. Relacje pomiędzy

wartościami czasu $t_{10\%}$, a liczba parametrów l_p można określić następującą zależnością:

$$t_{10\%} = 489 \cdot l_p^{-0,881} \quad (10)$$

Z analizy tej zależności wynika, że zwiększanie liczby parametrów l_p , powyżej sześciu nie ma uzasadnienia, ponieważ oczekiwane korzyści w postaci spadku wartości $t_{10\%}$ są coraz mniejsze. Również dwuparametrowe modele Kelvina-Voigta cechują się małą praktyczną przydatnością. Czteroparametrowy model Burgersa oraz pięcioparametrowy model Lethersicha wykazują podobną przydatność, co czteroparametrowy model Kelvina-Voigta.

Tabela 1. Ranking modeli

Table 1. Ranking of models

Nr No	Oznaczenie modelu Model designation	Współczynnik Coefficient, r^2	Czas – Time, $t \cdot 10^3$ (s)	
			$t_{10\%}$	$t_{1\%}$
1	E4(3)	0,999	0	10
2	E1(4)	0,999	0	20
3	E2(2)	0,999	0	100
4	E3(5)	0,999	20	180
5	E5(4)	0,999	50	100
6	K-V(8)	0,999	80	190
7	K-V(6)	0,999	100	260
8	K-V(4)	0,989	140	300
9	Lt(5)	0,997	140	> 340
10	B(4)	0,982	150	> 340
11	Lt(3)	0,941	200	> 340
12	K-V(2)	0,658	270	> 340

WNIOSKI

1. Weryfikacja modeli dokonana metodą analizy rozkładów błędów aproksymacji, wykazała ograniczoną przydatność wieloparametrowych modeli liniowych, do prognozowania zmian $\varepsilon(t)$. Stwierdzono, że modele eksperymentalne pozwalają, z zadaną dokładnością, ekstrapolować przebieg odkształcenia próbek drewna buka w przedziale czasowym, znacznie wykraczającym poza czas realizacji testu pełzania.

2. Warunkiem determinującym przydatność modelu jest stabilizacja wartości parametrów zastosowanego modelu dla danych wejściowych w całym badanym przedziale czasowym. Takie oczekiwania spełnia model opisany następującą zależnością:

$$\varepsilon(t) = g \cdot \left[1 - \left(1 + h \cdot t^k \right)^{-1} \right]$$

W przypadku modeli zawierających człony liniowe $a \cdot (1 - e^{-b \cdot t})$ oraz $c \cdot t$, zmiany warunków brzegowych skutkują zmianą wartości ich parametrów, co ogranicza ich przydatność do prognozowania, szczególnie w dłuższym przedziale czasu.

PIŚMIENNICTWO

- Bengtsson C., 2001. Mechano-sorptive bending creep of timber – influence of material parameters. *Holz als Roh und Werkstoff*, 59, 229-236.
- Bohdziewicz J., 2007. Modelowanie przebiegu odkształceń tkanek parenchymy warzyw w warunkach quasi-statycznych zmian obciążeń. Rozprawa habilitacyjna, Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, 557.
- Clorius C. O., Pedersen M. U., Hoffmeyer P., Damkilde L., 2000. Compressive fatigue in wood. *Wood Science and Technology*, 34, 21-37.
- Derski W., Ziemia S., 1968. Analiza modeli reologicznych. PWM, Warszawa.
- Dubois F., Randriambololona H., Petit C., 2005. Creep in Wood Under Climate Conditions: Numerical Modeling and Experimental Validation. *Mechanics of Time Dependent Materials*, 9, 173-202.
- Gogolin M. R., 1994. Model reologiczny drewnianego złącza klejowego. Badania dla meblarstwa, Wydawnictwo Akademii Rolniczej w Poznaniu, 21-30.
- Gołacki K., Stropiek Z., 2001. Przegląd modeli reologicznych materiałów roślinnych o dużej zawartości wody. *Inżynieria Rolnicza*, 2, 63-68.
- Gonet B., 1991. Reologiczne właściwości drewna. *Przemysł Drzewny*, 3, 3-5.
- Hannah E., Johansson M., Kliger R., Westin M., 2007. Bending creep performance of modified timber. *Holz Roh Werkstoff*, 65, 343 - 351.
- Kisiel I., 1980. Reologiczne równania stanu ośrodków quasiliniowych. PAN, Wrocław.
- Konstankiewicz K., Pukos A., Zdunek A., 1996. Teorie odkształceń materiałów biologicznych w świetle relaksacji naprężeń. *Zesz. Prob. PNR*, 443, 353-363.
- Krysicki W., Bartos J., Dyczka W., Królikowska K., Wasilewski M., 2000. Rachunek prawdopodobieństwa i statystyka matematyczna w zadaniach. Cz. II Statystyka matematyczna. PWN, Warszawa.
- Mukudai J., Yata S., 1986. Modeling and simulation of viscoelastic behaviour (tensile strain) of wood under moisture change. *Wood Sci. Technol.* 20, 335-348.
- Piotrkowski Z., Strykowski W., 2002. Niektóre nowoczesne materiały drewnopochodne produkowane w Ameryce Północnej i Europie. *Przemysł Drzewny*, 53, 02, s. 5-10.
- Siegel J., 1985. Urcenie materiałowych charakteristik z Burgersovho modelu pro lepene drevo. *Drev. Vysk.*, 107, 66-78.
- Wilczyński K., 2001. Reologia w przetwórstwie tworzyw sztucznych. WNT Warszawa, 74-94.

CREEP COURSE SIMULATION FOR BEECH WOOD.
VERIFICATION OF USEFULNESS OF RHEOLOGICAL MODELS

Gabriel Czachor

Institute of Agricultural Engineering, University of Environmental and Life Sciences
ul. Chełmońskiego 37/41, 51-630 Wrocław
e-mail: gabriel.czachor@up.wroc.pl

Abstract. The paper presents a method and results of verification of rheological models usefulness for prognosis of changes of beech wood samples deformation in time exceeding the test time t . Analysis of variability of approximation errors of the averaging deformation course as the function of time was applied. For analysed models the minimum test time t_{min} was determined which permitted, with an adopted error of approximation, to predict changes of deformation in time t_n , where $t_n > t > t_{min}$. There was prepared a ranking of the usefulness of the models. It was found that the usefulness of a specific model for the prediction of creep was dependent on stabilisation of its parameters values as the function of time.

Key words: the creep, rheological models, the verification, prognosis