Werner Hufenbach¹, Lothar Kroll², Martin Lepper³, Albert Langkamp⁴, Andrzej Czulak⁵ Technische Universität Dresden, Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik, 01062 Dresden, Germany

ANALIZA KONCENTRACJI NAPRĘŻEŃ DLA DREWNA WZMOCNIONEGO MATERIAŁEM TEKSTYLNYM

W Insitut für Leichtbau und Kunststofftechnik (ILK) rozwinięto modele obliczeń analitycznych do opisu koncentracji naprężeń w konstrukcjach drewnianych wzmacnianych materiałem tekstylnym, wykonanym z włókien szklanych lub węglowych. Prezentowany model oparto na teorii wzmocnionego laminatu w kombinacji z metodą złożonych funkcji przemieszczeń i odwzorowań konforemnych. Pozwoliło to na uzyskanie rozwiązań naprężeń i przemieszczeń. Właściwości materiałowe konieczne do obliczeń określono w ILK w wyniku rozległych badań eksperymentalnych, z użyciem nowoczesnych technik pomiarów 3D. Ponadto, badania te przeprowadzono w celu weryfikacji wyprowadzonych rozwiązań.

STRESS CONCENTRATION ANALYSIS AND EVALUATION OF NOTCHED STRENGTH FOR TEXTILE-REINFORCED WOODEN CONSTRUCTIONS

For the description of stress concentrations of wooden constructions with textile reinforcement made of glass or carbon fibres, analytical calculation models have been developed at the Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik (ILK). The model presented here is based on the enhanced laminate theory combined with the method of complex-valued displacement functions and the method of conformal mappings. Using these, adapted solutions for the stresses and displacements are obtained. The material properties needed for the calculations are determined at the ILK within extensive experimental studies using modern optical 3D measuring techniques. Furthermore, these experiments are applied for the verification of the derived solutions.

WSTĘP

Nośne konstrukcje drewniane w praktyce są często osłabione przez karby wykonane w formie wykrojów i wgłębień w celu np. wprowadzenia sił. Można wzmocnić te strefy poprzez odpowiednie zbrojenie tekstylne, spełniając wymogi strumienia przenoszenia sił w obszarze zakłóconym karbem, co prowadzi do znacznego zwiększenia obciążenia granicznego. Stan naprężeń w konstrukcjach drewnianych wzmocnionych włóknami szklanymi lub weglowymi wywołany karbem jest w porównaniu z izotropowymi materiałami konstrukcyjod charakterystyki właściwości, nymi zależny a w szczególności od stopnia anizotropii drewna (stosunek sztywności równolegle i prostopadle do kierunku włókna) i właściwości wzmocnienia tekstylnego. Ponadto, w obszarze karbu ujawniają się skomplikowane, niezwykłe efekty naprężeń i zniekształceń, tak że dla procesu interpretacji nie można podawać żadnych ogólnych współczynników koncentracji naprężeń w pobliżu karbu. Przeciwnie, należy ustalać pojedynczo współczynniki naprężeń karbu na podstawie udoskonalonych obliczeń dla każdej konstrukcji wzmacniającej i każdego przypadku obciążenia [1, 2]. Dodatkowo wymaga to w przypadku niesymetrycznej budowy sprzężenia problemu przy działaniu sił w płaszczyźnie (in plane) i prostopadle do płaszczyzny (out of plane) przez odpowiednie nadrzędne równanie różniczkowe. Ignorowanie powyższego sprzężenia rozciągania i zginania może doprowadzić do znacznych błędów [3].

Niezawodna analiza naprężenia karbu w przypadku konstrukcji wzmocnionych włóknami zakłada całkowite uwzględnienie macierzy sztywności laminatu (np. [4, 5]). Rysunek 1 w sposób schematyczny przedstawia drewnianą próbkę wzmocnioną warstwami sztucznego tworzywa z włóknami i karbem okrągłym.



Rys. 1. Schematyczne przedstawienie próbki drewnianej wzmocnionej włóknami z otworem kolistym

Fig. 1. Sketch of a textile-reinforced wood specimen with circular hole

¹ prof. dr hab. inż., ² dr inż., ³ dr inż., ⁴ mgr inż., ⁵ mgr inż.

UOGÓLNIONE RÓWNANIE PŁYTY

Dla rzeczywistej analizy naprężenia karbu konstrukcji drewnianych wzmocnionych włóknami wybrano model matematyczny dla nieskończenie szerokiego laminatu (wielowarstwowca (WW)) z centrycznym wykrojem. Ponieważ konstrukcje tego rodzaju są cienkościenne, można je przedstawić za pomocą klasycznej teorii tworzyw warstwowych. Dla założonego tu liniowo-elastycznego zachowania WW obowiązuje:

$$\begin{pmatrix} N_{x} \\ N_{y} \\ N_{y} \\ \frac{N_{xy}}{M_{x}} \\ M_{y} \\ M_{xy} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{16} & B_{11} & B_{11} & B_{16} \\ A_{22} & A_{26} & B_{22} & B_{26} \\ A_{66} & \text{symm.} & B_{66} \\ N_{11} & D_{12} & D_{16} \\ D_{22} & D_{26} \\ D_{66} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mathcal{E}_{x}^{0} \\ \mathcal{E}_{y}^{0} \\ \frac{\mathcal{E}_{y}^{0} \\ \mathcal{E}_{y}^{0} \\$$

Przy czym N_l , M_l (l = x, y, xy) są wynikającymi siłami tnącymi lub momentami, A_{ij} , B_{ij} , D_{ij} (i,j = 1, 2, 6)sztywnością rozciągania, sprzężenia lub zginania, N_l^T , M_l^T oraz N_l^Q , M_l^Q siły tnące lub momenty uwarunkowane przez temperaturę i media.

W celu uwzględnienia efektów sprzężenia w przypadku niesymetrycznej budowy WW zostały wliczone jako poszerzenie teorii Kirchhoffa przy równowadze sił i momentów w zróżnicowanym elemencie płytowym $dV = dx \cdot dy \cdot h$ (*h* - grubość płyty), obok obciążeń płyty (momenty M_x , M_y , M_{xy} , siły poprzeczne Q_x , Q_y , obciążenie płyty p(x, y)), siły normalne N_x , N_y , N_{xy} problemu warstwowego:

$$\frac{\partial N_x}{\partial x} + \frac{\partial N_{xy}}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial N_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial N_y}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial Q_x}{\partial x} + \frac{\partial Q_y}{\partial y} + p(x, y) = 0$$
(2)
$$\frac{\partial M_x}{\partial x} + \frac{\partial M_{xy}}{\partial y} - Q_x = 0$$

$$\frac{\partial M_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial M_y}{\partial y} - Q_y = 0$$

Równanie struktury (1), jak i stosunki odkształcenie/przemieszczenie dla małych odkształceń

$$\begin{pmatrix} \varepsilon_{x} \\ \varepsilon_{y} \\ \gamma_{xy} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} \\ \frac{\partial v}{\partial y} \\ \frac{\partial v}{\partial y} \\ \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{\partial u_{0}}{\partial x} \\ \frac{\partial v_{0}}{\partial y} \\ \frac{\partial u_{0}}{\partial y} + \frac{\partial v_{0}}{\partial x} \end{pmatrix} + z \begin{pmatrix} -\frac{\partial^{2} w_{0}}{\partial x^{2}} \\ \frac{\partial^{2} w_{0}}{\partial y^{2}} \\ \frac{\partial u_{0}}{\partial y} + \frac{\partial v_{0}}{\partial x} \end{pmatrix} =$$
$$= :\begin{pmatrix} \varepsilon_{x}^{0} \\ \varepsilon_{y}^{0} \\ \gamma_{xy}^{0} \end{pmatrix} + z \begin{pmatrix} \kappa_{x} \\ \kappa_{y} \\ \kappa_{xy} \end{pmatrix}$$
(3)

gdzie u_0 , v_0 , w_0 - przemieszczenia neutralnej płaszczyzny,

dostarczają za pomocą (2) uogólnione równanie płyty dla laminatów (wielowarstwowców), zawierające sprzężenie problemu tarczy/płyty i w całości przedstawiają równanie różniczkowe ósmego rzędu dla *w*₀.

W specjalnym przypadku symetrycznego laminatu znikają sprzężenia macierzy sztywności B_{ij} w ten sposób, że uogólnione równanie płyt rozpada się na dwa rozprzężone równania różniczkowe czwartego rzędu. Przy czym tylko jedna część zawiera macierz sztywności zginania D_{ij} i przedstawia "klasyczne" równanie płyt dla materiałów anizotropowych

$$\left(D_{11}\frac{\partial^{4}}{\partial x^{4}} + 4D_{16}\frac{\partial^{4}}{\partial x^{3}\partial y} + 2\left(D_{12} + 2D_{66}\right)\frac{\partial^{4}}{\partial x^{2}\partial y^{2}} + 4D_{26}\frac{\partial^{4}}{\partial x\partial y^{3}} + D_{22}\frac{\partial^{4}}{\partial y^{4}}\right)w_{0} = p\left(x, y\right)$$
(4)

podczas gdy druga część zawiera macierz sztywności rozciągania A_{ij} i przedstawia "czysty anizotropowy" problem warstwowy. Pozwala to na ekwiwalentne przedstawienie w znanym sformułowaniu naprężenia jako

$$\begin{pmatrix} S_{22} \frac{\partial^4}{\partial x^4} - 2S_{26} \frac{\partial^4}{\partial x^3 \partial y} + (2S_{12} + S_{66}) \frac{\partial^4}{\partial x^2 \partial y^2} - \\ -2S_{16} \frac{\partial^4}{\partial x \partial y^3} + S_{11} \frac{\partial^4}{\partial y^4} \end{pmatrix} F(x, y) = 0$$

$$(5)$$

z (globalną) sprężystością rozciągania S_{ij}, zgodnie z [S_{ij}] $= = h [A_{ii}]^{-1}$ oraz funkcją naprężenia Airy'ego F(x, y).

FUNKCJE ZESPOLONE PRZEMIESZCZEŃ I ODWZOROWANIE KONFOREMNE

Rozbudowanie metody funkcji zespolonej do rozwiązania uogólnionego równania płyt dla anizotropowych struktur WW polega na założeniu odpowiedniej funkcji zespolonej dla przemieszczeń. W przypadku obcią- żenia mechanicznego funkcja ma następującą postać:

$$w_0 = 2 \operatorname{Re}\left(\sum_{k=1}^4 \Psi_k(Z_k)\right) \tag{6}$$

z czteroma analitycznymi funkcjami $\Psi_k(Z_k)$, które odnoszą się do czterech różnych płaszczyzn zespolonych Z_k $= x + \mu_k y$ (k = 1...4). Parametry zespolone otrzymuje się poprzez wstawienie wzoru (6) do równania charakterystycznego uogólnionego płyt, przy czym dla materiarzeczywistych osiem pierwiastków łów tworzy parami sprzężone liczby zespolone: $\overline{\mu_5} = \mu_1$, $\overline{\mu_6} = \mu_2$,

$$\mu_7 = \mu_3, \ \mu_8 = \mu_4$$

Przemieszczenia u_0 i v_0 wynikają z dwóch równań różniczkowych, które wywodzą się z uogólnionego równania płyty. Z powyższych przemieszczeń wynikają przy pomocy kinematycznych związków (3) odkształcenia ε_l i krzywizny κ_l , które z prawa materiału (1) pozwalają obliczyć momenty siły tnace i tnace N_{l} M_l (l = x, y, xy). Celem zestawienia warunków brzegowych dla problemu karbu zostanie odwzorowany konforemnie obszar karbu na zewnątrz koła jednostkowego

$$Z = \omega(\zeta) = R\left(\zeta + \sum_{\kappa=1}^{\infty} \rho_{\kappa} \zeta^{-\kappa}\right) + C$$
(7)

przy czym liczby zespolone R i C powodują obrót połączony ze zmianą długości lub

translację. Wyrazy ρ_k tego szeregu muszą być ustalone odpowiednio. Do opisania elementarnych eliptycznych szczelin z półosiami a i b służy np. odwzorowanie

WYNIKI OBLICZEŃ

Analiza otrzymanych równań analitycznych wraz z określeniem wyrazów szeregu dla konforemnego odwzorowania nie jest możliwa bez udziału maszyn liczących [5]. Dlatego też został sporządzony program komputerowy, który realizuje te obliczenia i przedstawia wyniki gotowe w formie poglądowej. Program ten pozwala na szybką analizę wyników i skuteczne przeprowadzenie analizy parametrów.

Na rysunku 2 został przykładowo przedstawiony rozkład naprężeń wokół karbu dla deski z drewna świerkowego wzmocnionej kompozytem z włókna szklanego w tworzywie polimerowym (GFRP: glass fibre reinforced plastics). Parametry geometryczne znajdują się na rysunku 1.

OKREŚLENIE KIERUNKOWYCH WŁASNOŚCI MATERIAŁÓW

Konieczne do analizy naprężenia karbu podstawowe dane identyfikujące materiał, jak moduł elastyczności, moduł sprężystości poprzecznej, współczynnik Poissona i parametry wytrzymałościowe (współczynniki interakcyjne, kierunek pękania, odporność na pękanie) poszczególnych materiałów, drewno lub drewno wzmocnione włóknami, badano w ILK w zależności od różnych warunków wilgotności. Dla wybranych materiałów w tabeli 1 przedstawiono podstawowe wartości stałych sprężystości. Rysunek 3 obrazuje moduły sprężystości w zależności od kierunku. dla różnych GFRP i drewna.

TABELA 1. Sprężyste wartości znamionowe wybranych materiałów wzmacniających, drewna i GFRP

TABLE 1. Elastic material properties of choice wood and **GFRP** reinforcement



Rys. 2. Analitycznie obliczone naprężenia styczne dla drewna świerkowego z GFRP Fig. 2. Analytically calculated tangential stress for spruce wood reinforced with GFRP weave

Materiał	E_1, E_z GPa	E_2, E_r GPa	<i>V</i> 12, <i>V</i> zr	G ₁₂ , G _{zr} GPa
Drewno świerkowe	11,9	0,79	0,323	0,6
GFRP:				
Wzmocnienie-UD	42,5	11,0	0,28	4,2
Wzmocnione włóknem	26,9	29,9	0,115	4,2
Wzmocnienie wieloosiowe	21,2	21,2	0,3	8,14

Wytrzymałość dla tworzyw polimerowych wzmocnionych włóknami szklanymi (GFRP) została ustalona za pomocą próbek płaskich w badaniach rozciągania i ściskania, jak również za pomocą próbek rurkowych w badaniach rozciągania i ściskania ze skręcaniem (próby-Z/D-T). W przypadku prób-Z/D-T nastąpiło wprowadzenie krytycznych kombinacji naprężeń wzdłuż założonej drogi obciążeń za pomocą nowoczesnej, wieloosiowej maszyny badawczej z zamocowanym tensometrem rozciągającym i skręcającym (rys. 4).

Wykorzystując pomiary tensometryczne, można ustalić krzywe naprężeń normalnych w zależności od wydłużenia oraz krzywe naprężeń stycznych w zależności od kąta skręcania.



Rys. 3. Porównanie modułów Younga w układzie biegunowym ($\theta = 0^{\circ}$: kierunek ułożenia włókien wzmocnienia)

Fig. 3. Comparison of orthotropic Young's modulus ($\theta = 0^{\circ}$: fibre direction)







- Rys. 4. Doświadczenia rozciągania/ściskania-skręcania: a) Z/D-T stanowisko badawcze, b) próbka rurowa z tensometrem rozciągania-skręcania
- Fig. 4. Tension/compression-torsion fracture tests: a) Z/D-T testing facility, b) tube specimen with stretch-twist extensioneter

Badania przeprowadzone na próbkach rurkowych służą ponadto z jednej strony do określenia naprężeń zerwania, jak i przynależnym kątom płaszczyzn pękania, a z drugiej strony do scharakteryzowania podstawowych typów przełomów. Uzyskane dodatkowe informacje odnośnie do kąta przełomu i typu przełomu umożliwiają dalsze szczegółowe opisanie skomplikowanych przypadków przełomów dla heterogenicznych laminatów (wielowarstwowców). Krzywa zerwania (σ_2, τ_{21}) powierzchni naprężenia dla jednokierunkowo wzmocnionych (UD) materiałów zawiera następujące typy przełomu: zerwanie poprzecznie normalne, zerwanie poprzecznie-poprzecznie styczne oraz zerwanie poprzecznie-podłużnie styczne. Duża ilość informacji, jaką dostarcza próba Z/D-T, pozwala na fizyczne wyjaśnienie zjawiska przełomu.

Na rysunku 5 przedstawione zostały wyniki badań – Z/D-T na próbkach ze spiralnie nawiniętymi włóknami z żywic epoksydowych (GFRP: E-Glas/LY556/HT976) dla powierzchni (σ_2 , τ_{21}). Wzrost obciążenia do zerwania nastąpił równomiernie wzdłuż założonych dróg obciążenia, dla których stosunek obciążenia σ_2 do τ_{21} musi być utrzymywany jako stały.



Rys. 5. Wytrzymałości, krzywa zerwania i kąt przełomu dla spiralnie nawiniętych GFRP- próbek

Fig. 5. Strength, fracture curve and fracture angle of tangentially wound GFRP tube specimens

Zmierzone wytrzymałości wykazują bardzo małe rozproszenie, co świadczy o dobrej odtwarzalności badań. Przebieg ten, który teoretycznie, wg kryterium Hashin-Puck [6, 8] na bazie wytrzymałości podstawowych R_{\perp}^{-} , R_{\perp}^{+} i $R_{\perp\parallel}$ obliczonej krzywej, pokazuje bardzo dobrą zgodność z wartościami zniszczenia w przypadku nakładających się obciążeń. Wyraźnie można rozpoznać wzniesienie krzywej przełomu w miejscu nacisku i skręcania na podstawie "wewnętrznego tarcia" zgodnie z hipotezą Coulomba.

BADANIA WERYFIKACYJNE WYPRACOWANYCH MODELI SYMULACYJNYCH

W celu eksperymentalnego sprawdzenia i zabezpieczenia wyników obliczeń przeprowadzone zostały w ILK obszerne badania obciążeń na wybranych GFRP i płytach drewnianych, jak i na hybrydowych strukturach (drewno/GFRP). Wykorzystano do tego nowoczesną technologię pomiaru pola przemieszczeń za pomocą ESPI (Electronic Speckle Pattern Interferometry) i metody korelacji szarych wartości. Do pomiaru odniesienia została zastosowana wypróbowana technika wykorzystania tensometrów foliowych (DMS). Technologie pomiaru pola wokół karbu wymagają wprawdzie relatywnie wysokich nakładów w czasie przeprowadzenia i analizy badań, dostarczaja natomiast w przeciwieństwie do techniki DMS nie tylko lokalnych wartości, ale odpowiedzi dotyczących rozkładu przemieszczeń i odkształceń w całym zakresie pomiarowym. Dla prób zginania i rozciagania zostały wykonane w ILK wielowarstwowe próbki, z jednej strony za pomocą techniki ręcznego laminowania, z drugiej strony z wykorzystaniem autoklawu, przy czym jako wzmocnienia użyto GFRP Multiaxial-Gelege (produkowane w Instytucie Techniki Tekstylii i Odzieży na Politechnice w Dreźnie) oraz inne standardowe wzmocnienia GFRP (rys. 6).

a)





- Rys. 6. Wykonanie struktur drewnianych wzmocnionych włóknami technologią autoklawową: a) konstrukcja produkcyjna w autoklawie, b) przygotowanie próbki do badań
- Fig. 6. Manufacture of textile-reinforced wood structures with the vacuum autoclave technology: a) set-up for the autoclave, b) preparation of specimen manufacturing

Do zbadania struktury drewna z GFRP próbki wyposażono, w czterech miejscach, w tensometry DMS: na stronie górnej i dolnej płyty każdorazowo na osi x i osi y w odległości 3 mm od krawędzi karbu (rys. 7). Przy czym z reguły zastosowano podwójne rozety tensometryczne DMS. Jedynie na kilku wybranych próbkach zaaplikowano także 2 x 5-krotne łańcuchy DMS.

Rysunek 8 przedstawia obliczone za pomocą metody korelacji wartości pola odkształcenia w próbie rozciągania jednokierunkowego próbki GFRP/drewno z karbem okrągłym. Wyniki badań dla hybrydowych wielowarstwowców GRFP/drewno służą do weryfikacji analitycznych i numerycznych modeli symulacji.



- Rys. 7. Sposób umocowania tensometrów pomiarowych na strukturach drewnianych-GFRP i próbek GFRP
- Fig. 7. Positioning of strain gauges on wood-GFRP structures and GFRP specimen

a)

b)



- Rys. 8. Pola odkształceń UD-GFRP/drewno przy rozciąganiu: a) odkształcenie względne ε_y w kierunku obciążenia, b) odkształcenie postaciowe γ_{xy}
- Fig. 8. Strain fields of UD-GFRP/wood structures with tensile loads: a) strain in load direction ε_{y} , b) shear strain γ_{yy}

WNIOSKI

Analityczne metody obliczeniowe dla rozpatrywanych problemów naprężeń karbu w przypadku anizotropowego wzmocnienia konstrukcji drewnianych z podstawowymi obciażeniami mechanicznymi polegaja na metodzie funkcji zespolonych przemieszczeń w połączeniu z metodą odwzorowań konforemnych. Poprzez zastosowanie teorii Kirchhoffa można uwzględnić także laminaty niesymetryczne. Przeprowadzona analiza pokazuje, że dla rozpatrywanych zasadniczych problemów wartości brzegowych jest możliwe opracowanie analitycznego rozwiązania posiadającego znaczną przewage nad metodami numerycznymi. Dlatego że obok skrócenia czasu obliczeń pozwalają one dodatkowo na przejrzystość fizycznych powiązań dla problemów związanych z karbami. Następnie na tej podstawie można opracować dla praktyki przemysłowej odpowiednio dopasowane równania.

Dotychczas przeprowadzone w ILK pomiary wykazują dobrą zgodność analitycznych, numerycznych (z wykorzystaniem MES) i eksperymentalnych metod dla mechanicznego obciążenia hybrydowych laminatów (wielowarstwowców) z karbami [9]. Obecnie przebiegają zakrojone na szeroką skalę badania dla różnych gatunków drewna wzmocnionych GFRP, dodatkowo z uwzględnieniem temperatury i innych czynników zewnętrznych.

Podziękowania

Autorzy dziękują Niemieckiej Wspólnocie Badawczej za finansową pomoc w przeprowadzenia badań.

LITERATURA

- Lekhnitskii S.G., Anisotropic plates, Übs. der 2. russ. Auflage. Gordon and Breach, New York 1968.
- [2] Hufenbach W., Kroll L., Stress analysis of notched anisotropic finite plates under mechanical and hygrothermal loads, Archive of Applied Mechanics 1999, 69, 145-159.
- [3] Whitney J.M., Structural analysis of laminated anisotropic plates, Technomic, Lancaster 1987.
- [4] Becker W., Complex method for the elliptical hole in an unsymmetric laminate, Archive of Applied Mechanics 1993, 63, 159-169.
- [5] Lepper M., Kerbspannungsanalyse anisotroper Mehrschichtverbunde mit symmetrischem und unsymmetrischem Strukturaufbau. Dissertation, TU Clausthal 1999.
- [6] Puck A., Festigkeitsanalyse von Faser-Matrix-Laminaten -Modelle f
 ür die Praxis, Carl Hanser Verlag, M
 ünchen 1995.
- [7] Kroll L., Hufenbach W., Physically based failure criterion for dimensioning of thick-walled laminates, Applied Composite Materials 1997, 4, 321-332.
- [8] Hufenbach W., Kroll L., Langkamp A., Gude M., Realistische Festigkeitskriterien f
 ür Faserverbundwerkstoffe mit spröder Matrix. In: Verbundwerkstoffe und Werkstoffverbunde, Hg. K. Schulte und K.U. Kainer, Wiley-VCH, 1999, 319-324.
- [9] Hufenbach W., Kroll L., Lepper M., Theoretische und experimentelle Kerbspannungsanalyse mehrschichtiger Faser-Kunststoff-Verbunde, In: Verbundwerkstoffe und Werkstoffverbunde, Hg. K. Schulte und K.U. Kainer, Wiley-VCH, 1999, 103-108.

Recenzent Andrzej Bochenek