

Metody wytwarzania kompozytów włóknistych

Metoda ręcznego przesycania (kontaktowa/na mokro)



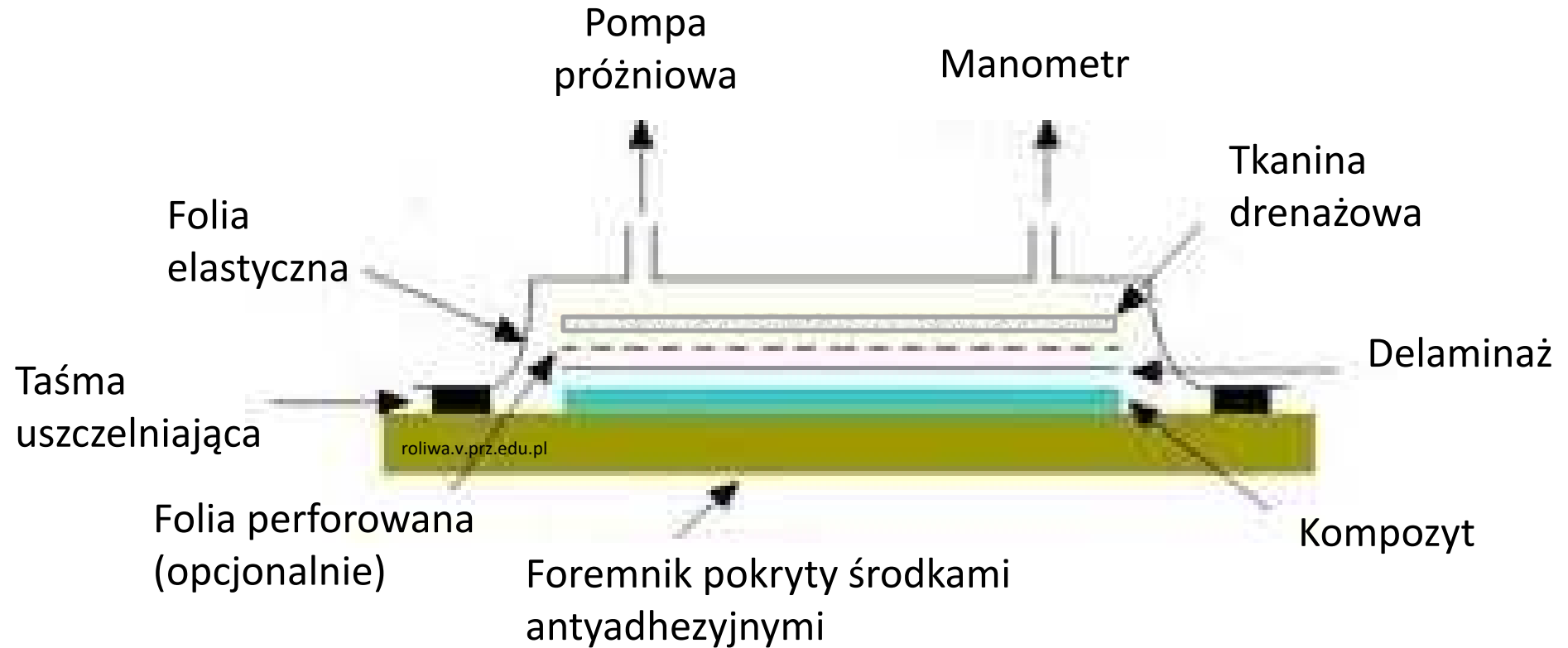
Zalety metody:

- Jest tania. Nie wymaga stosowania skomplikowanych form i oprzyrządowania

Wady metody:

- Duża pracochłonność i materiałochłonność – nie nadaje się do produkcji masowej
- Znikoma przydatność do produkcji wyrobów o skomplikowanych kształtach
- Uzyskane wyroby posiadają tylko jedną stronę o zadowalającej gładkości
- Trudno uzyskać powtarzalność wyrobów – duży wpływ czynnika ludzkiego. Występowanie wad produkcyjnych w postaci pęcherzy powietrza lub połamanych włókien
- Należy działać szybko mając na uwadze czas życia mieszanki sycącej

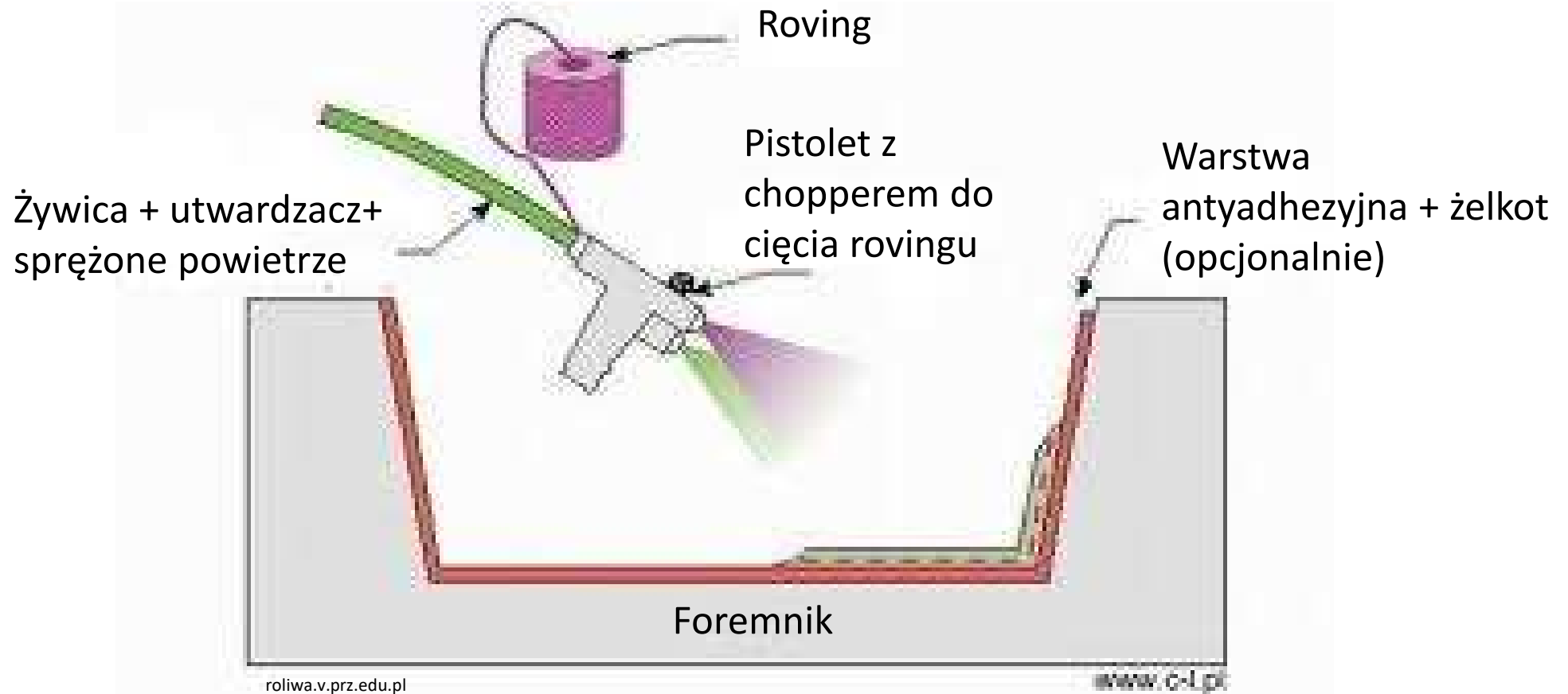
Metoda próżniowa



Metoda próżniowa c. d.



Metoda natryskowa



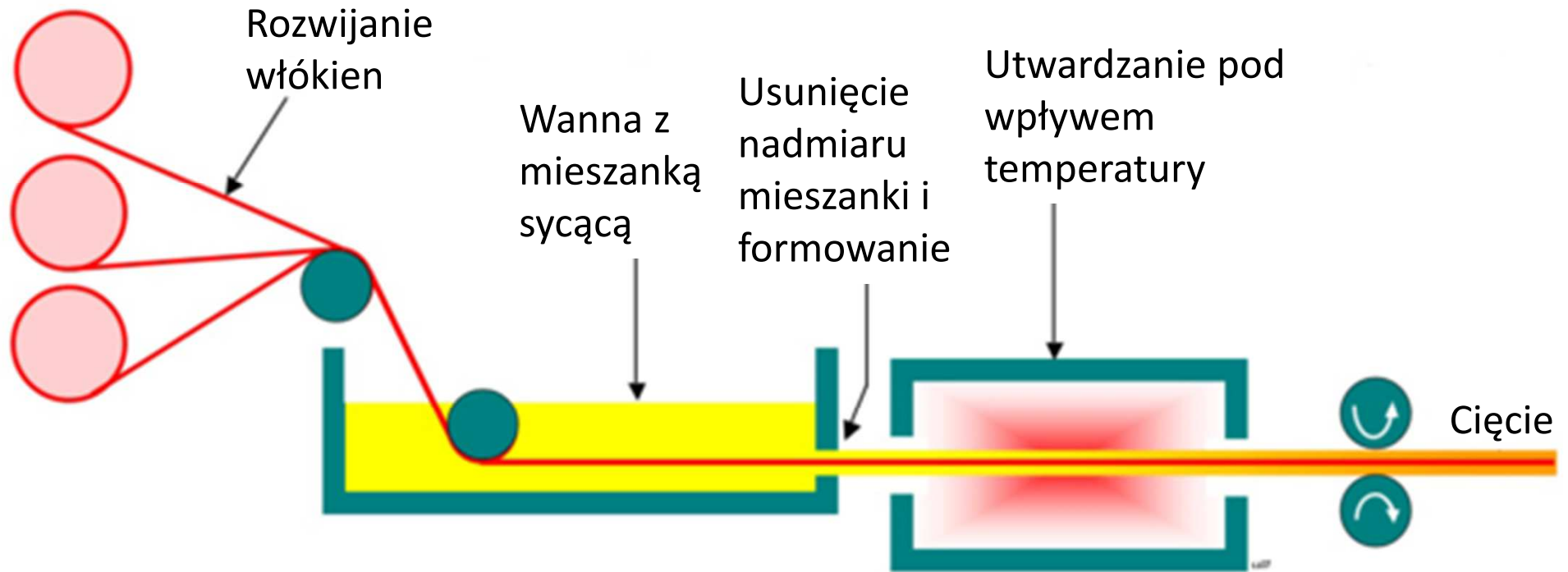
Zalety

- Metoda ta w porównaniu z formowaniem kontaktowym jest bardziej ekonomiczna oraz pozwala na szybkie wykonanie wyrobów o dużych gabarytach oraz wykładzin w zbiornikach, kanałach itp.
- Powstaje jednorodny wyrób o przewidywalnych właściwościach

Wady

- Nie pozwala natomiast na wykonywanie wyrobów zbrojonych włóknem ciągłym
- Uzyskane wyroby posiadają tylko jedną stronę o zadowalającej gładkości

Pultruzja/przesycanie pasm rovingu

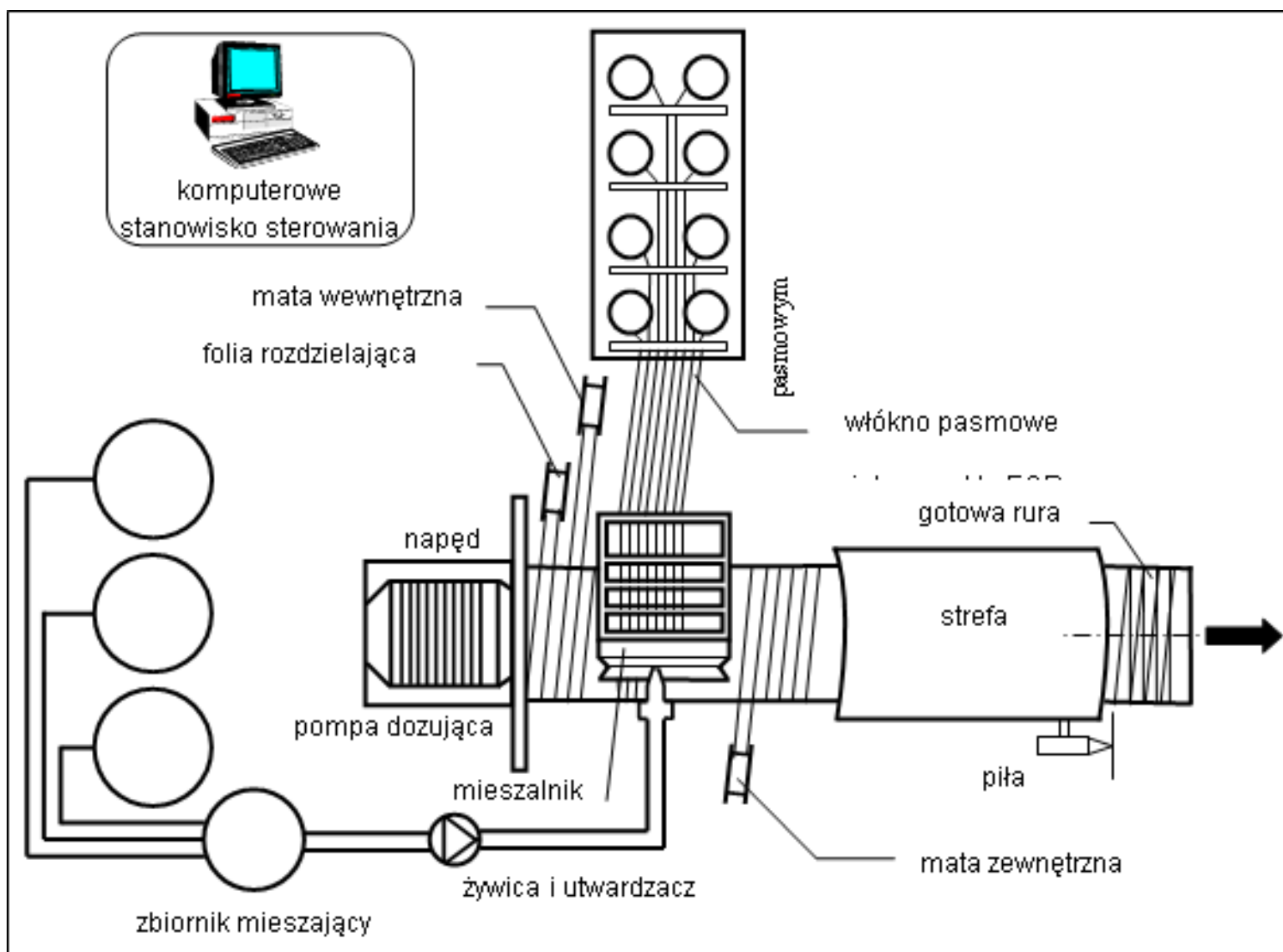


<http://www.baltazarkompozyty.pl/>

Zalety:

- Doskonałe wzajemne połączenie składników kompozytu
- Gładkość powierzchni wyrobu
- Powtarzalność właściwości
- Duża wytrzymałość w kierunku wzdłużnym

Metoda ciągłego nawijania



<http://www.baltazarkompozyty.pl/>

Wytwarzanie zbiorników ciśnieniowych

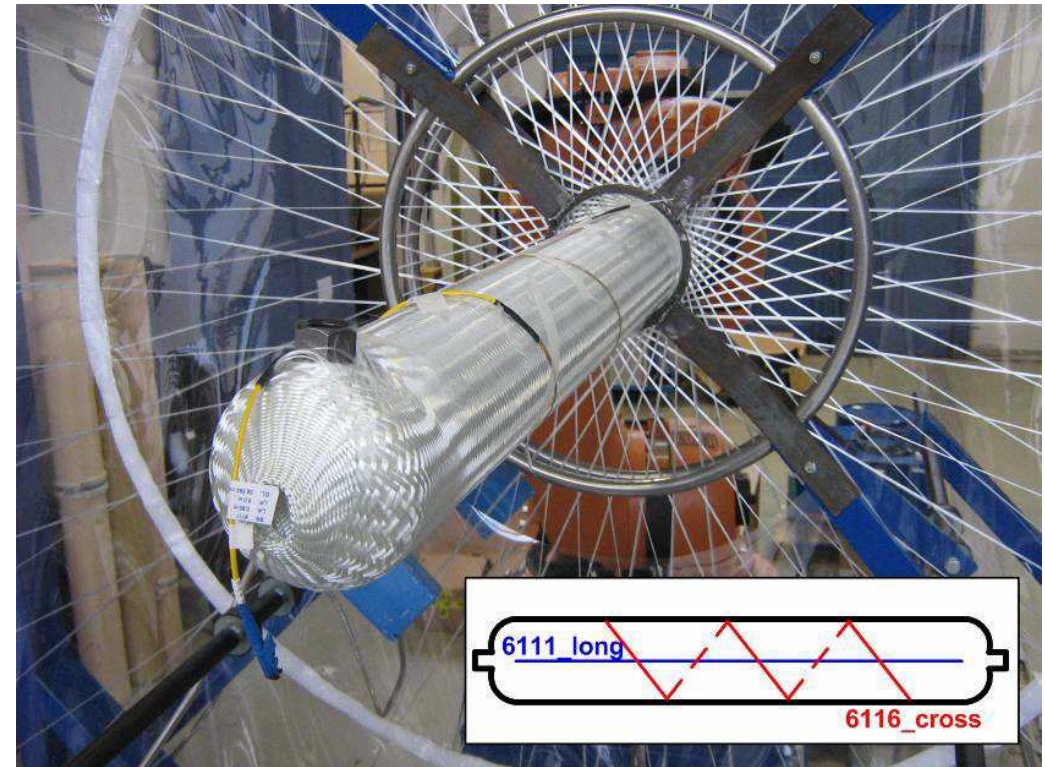
- Metoda ciągłego nawijania
- Metoda wyplatania



Wysokociśnieniowe zbiorniki kompozytowe do gromadzenia wodoru, J. Kaleta, P. Gąsior

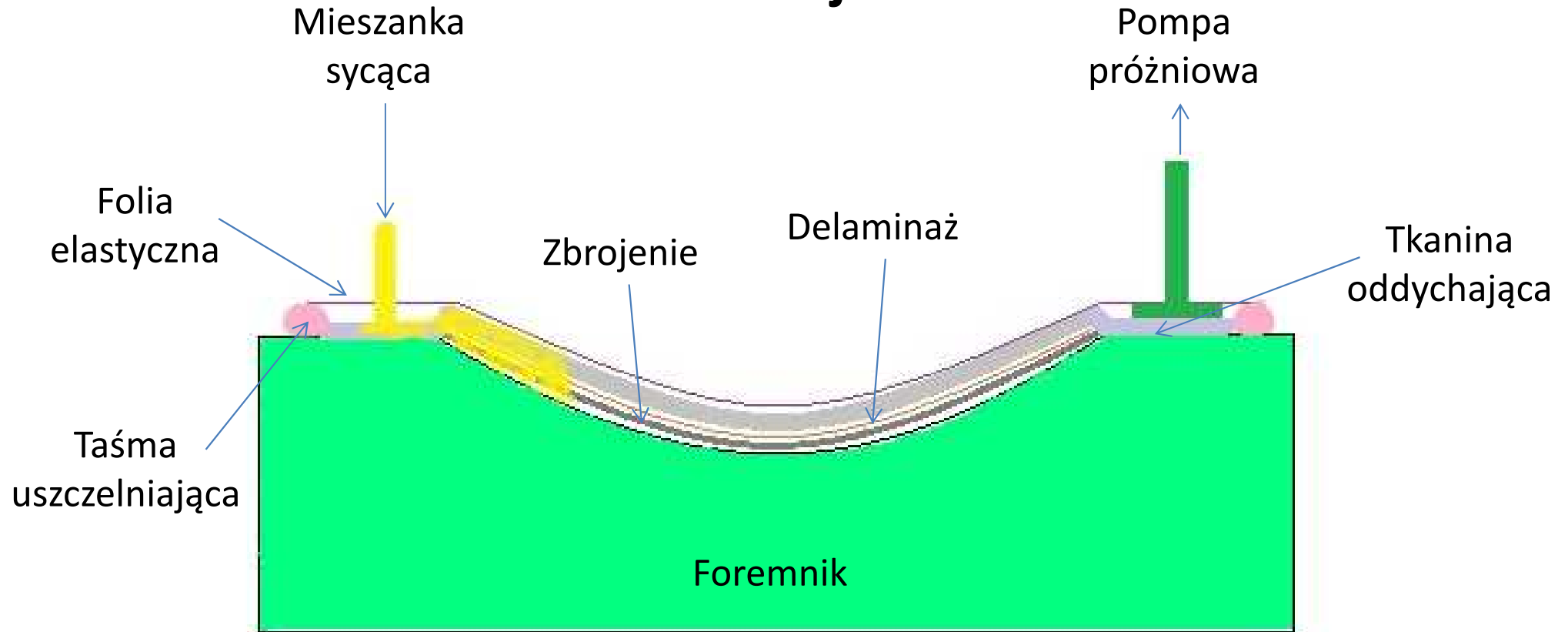


Wysokociśnieniowe zbiorniki kompozytowe do gromadzenia wodoru, J. Kaleta, P. Gąsior



Wysokociśnieniowe zbiorniki kompozytowe do gromadzenia wodoru, J. Kaleta, P. Gąsior

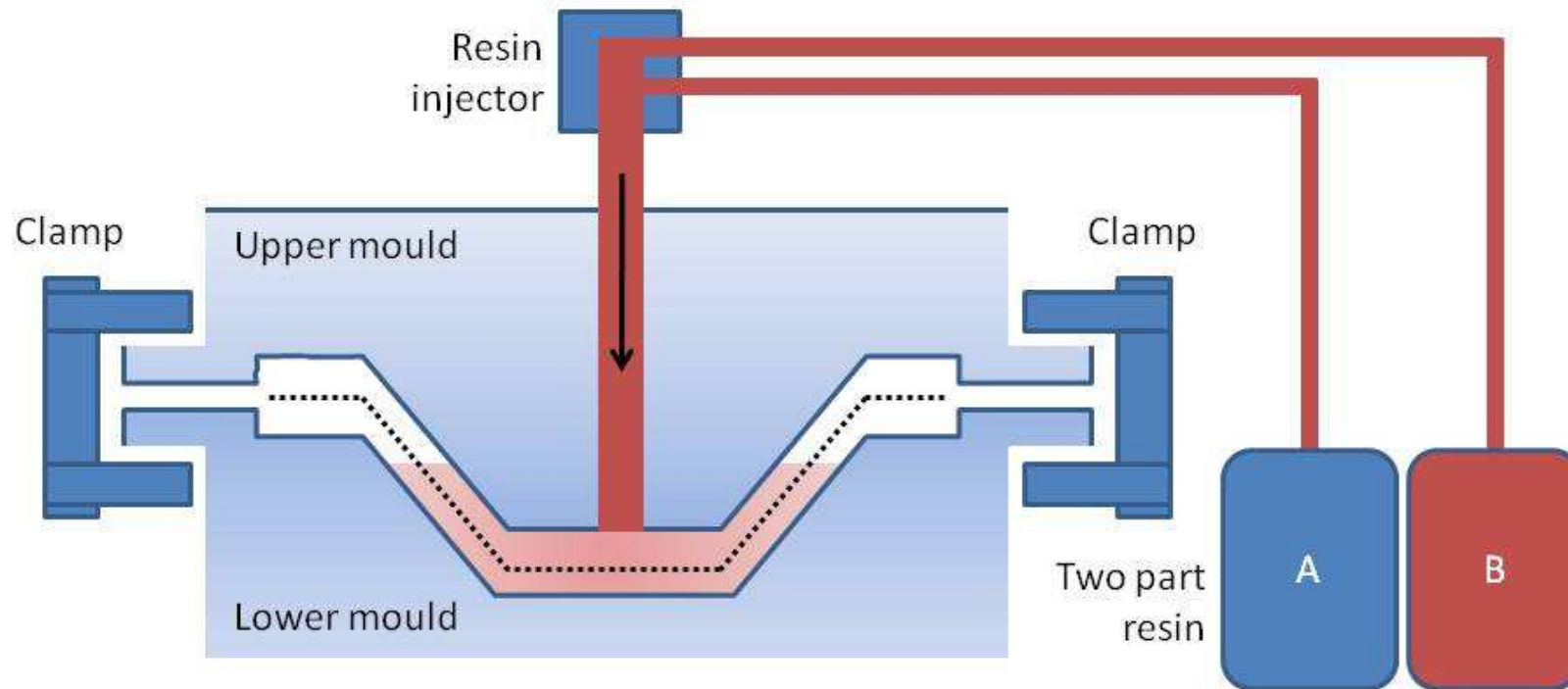
Infuzja



Zaletą tej metody jest jej łatwość i powtarzalność wyrobów nawet o dużych gabarytach oraz krótki cykl produkcyjny. Uzyskane wyroby charakteryzują się bardzo dobrymi i powtarzalnymi właściwościami mechanicznymi, małą liczbą wad w strukturze kompozytu, dużą powtarzalnością i stabilnością wymiarową. Zaletą tej metody jest również ograniczenie emisji szkodliwych substancji w trakcie produkcji wyrobów.

Do wad metody infuzji zaliczyć można duży koszt oprzyrządowania produkcji w dużych seriach, co sprawia, że jest to metoda opłacalna przy wytwarzaniu mniejszych serii wyrobów.

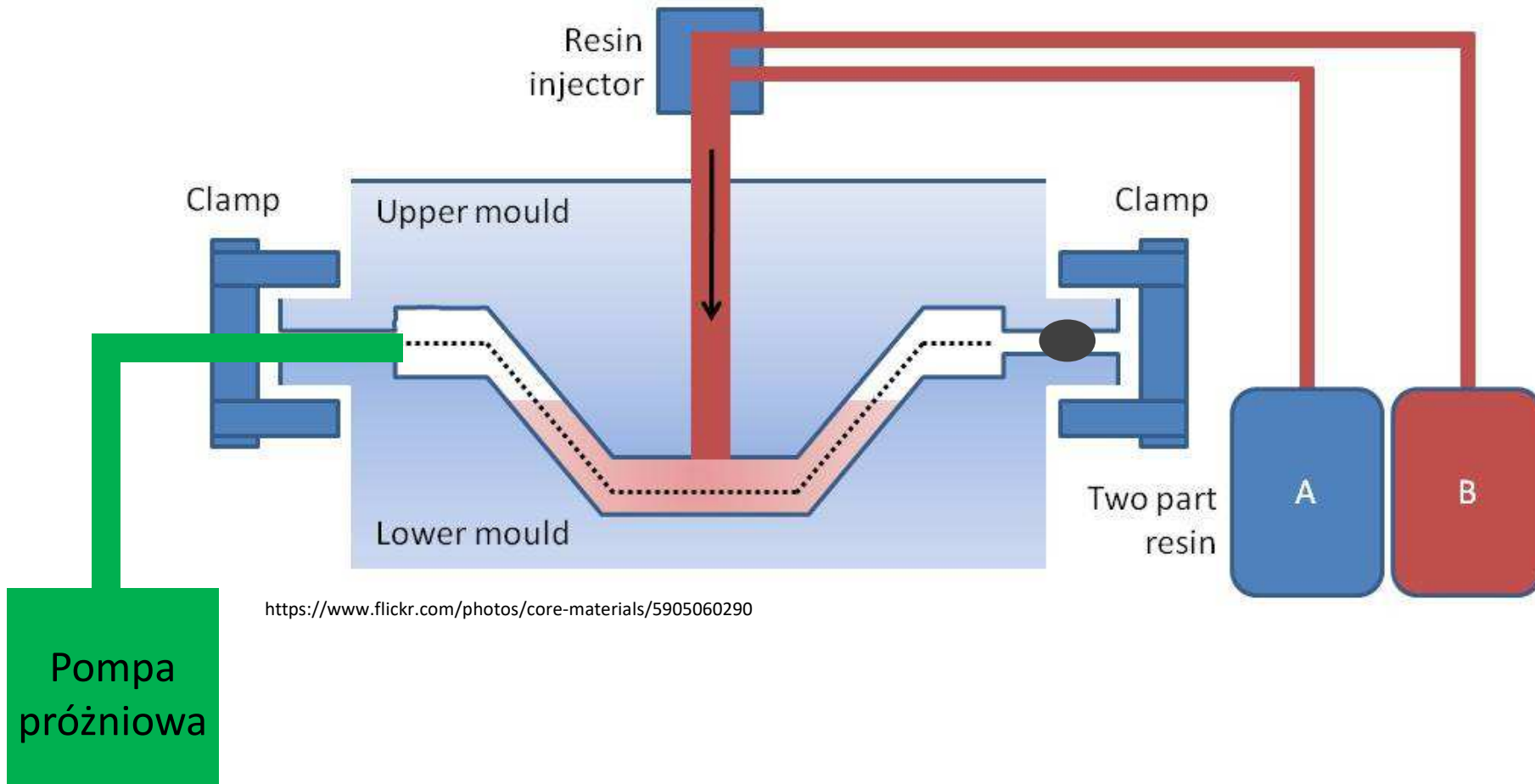
Resin Transfer Moulding (RTM)



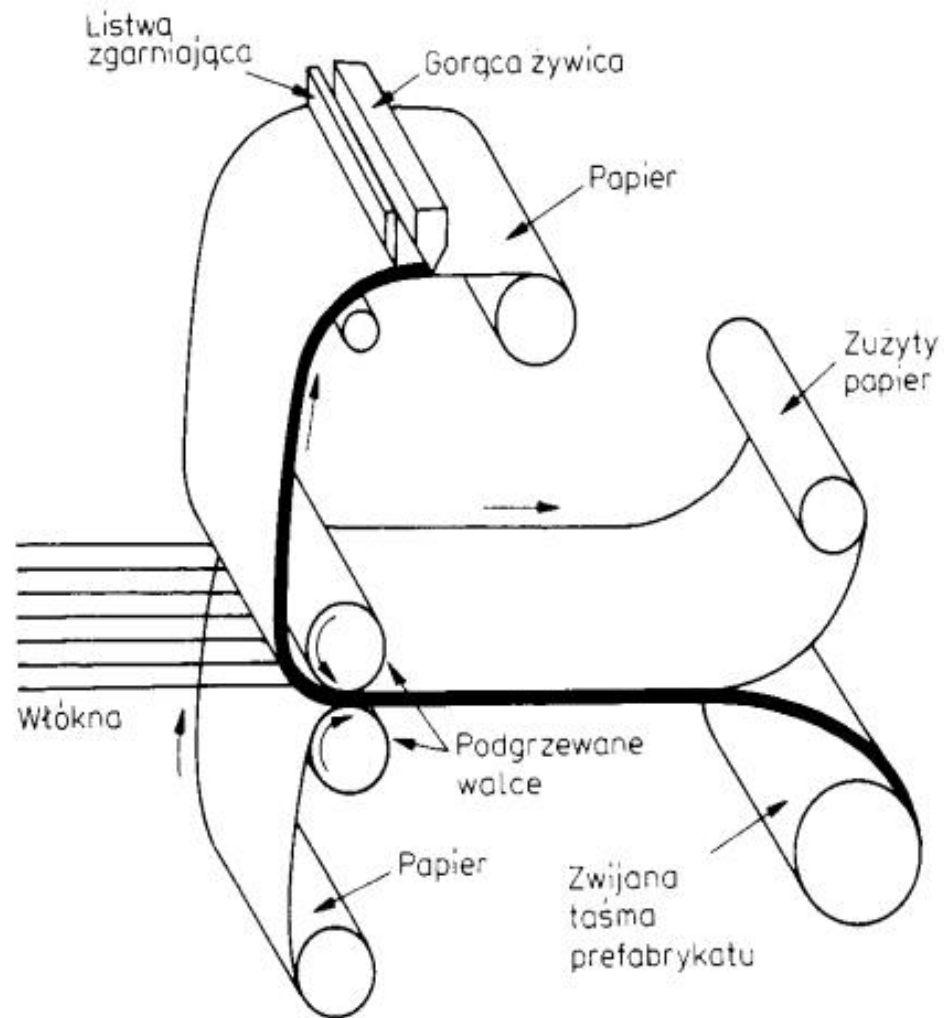
<https://www.flickr.com/photos/core-materials/5905060290>

Zaletami wyrobów wytwarzanych tą metodą są jednorodne i powtarzalne właściwości mechaniczne, duża gładkość obu powierzchni, mała liczba wad i pełna powtarzalność jakości.

Vacuum Assisted Resin Injection (VARI)/ Vacuum Assisted Resin Transfer Moulding (VARTM)



Preimpregnaty



http://www.baltazarkompozyty.pl/index.php?option=com_content&view=article&id=225&catid=39&Itemid=215

Utwardzanie w autoklawie



<http://www.wzl1.mil.pl/oferta/uslugi/kompozyty>

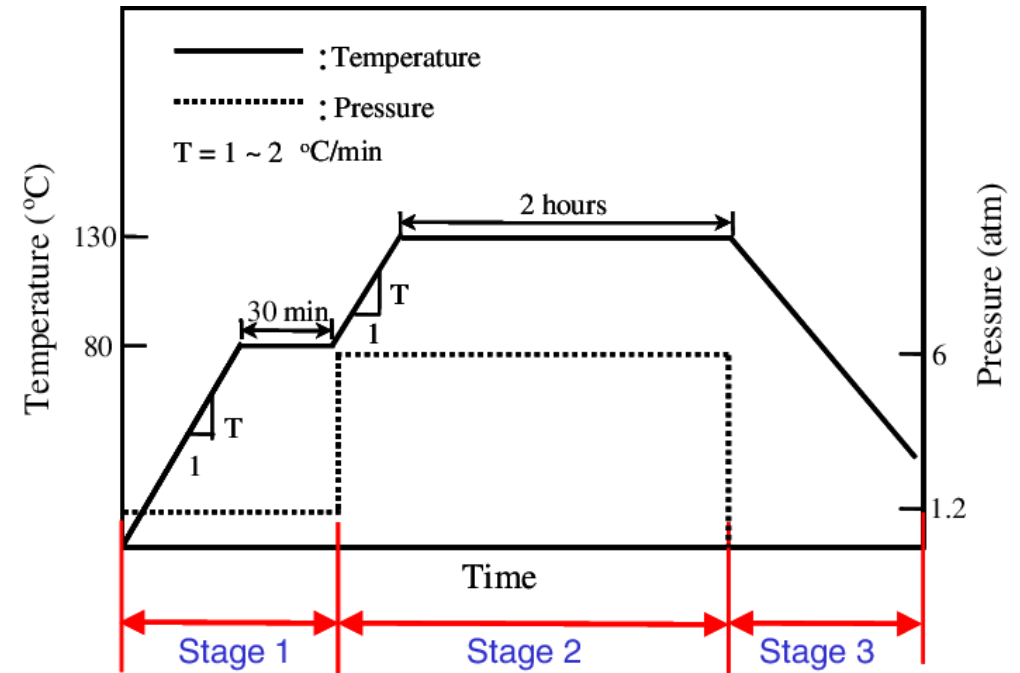


<http://www.boeingimages.com/archive/Massive-Autoclave-for-Curing-Composite-Materials-2F3XC55W5W5.html>

Utwardzanie w autoklawie c. d.



http://www.baltazarkompozyty.pl/index.php?option=com_content&view=article&id=225&catid=39&Itemid=215



H.-K. Kang et al., Cure monitoring of composite laminates using fiber optic sensors

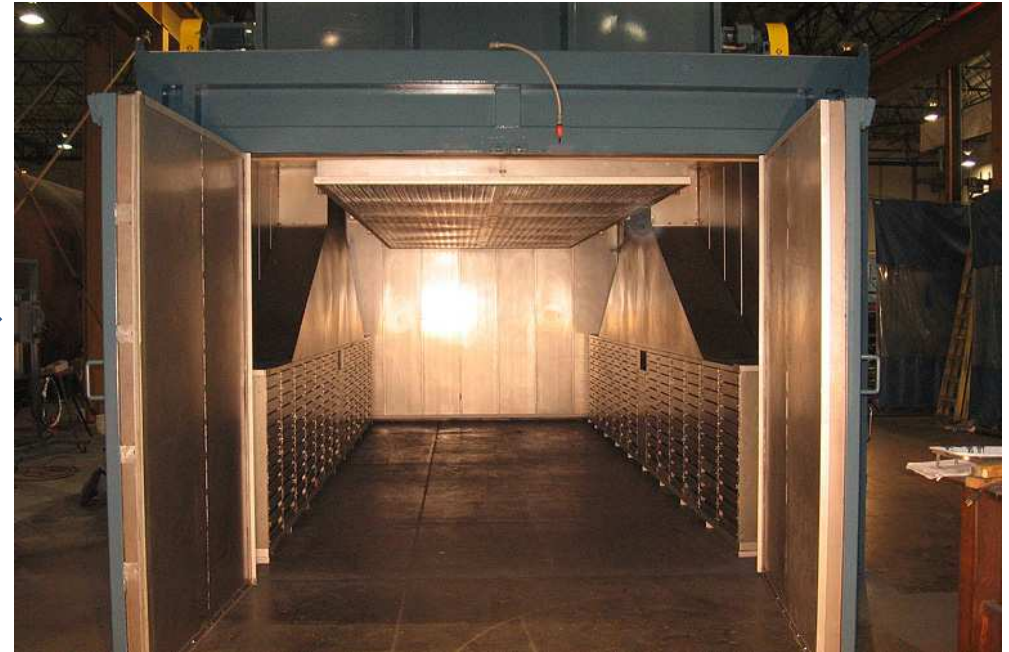
Utwardzanie w autoklawie wyrobów z preimpregnatów pozwala uzyskać wyroby o bardzo dobrej jakości, małej porowatości oraz dokładności wymiarowej i jest często stosowane przy seryjnym wytwarzaniu części wyrobów komercyjnych, m. in. dużych samolotów transportowych.

Wadą zastosowania autoklawu jest bardzo wysoki koszt jego zakupu oraz użytkowania, ponieważ zużywa dużo energii. Ponadto wyroby utwardzane w autoklawie są ograniczone jego wymiarami, czyli im większy wyrób chcemy wytworzyć, tym większym (i droższym!) autoklawem musimy dysponować.

Metoda out of autoclave (OOA)



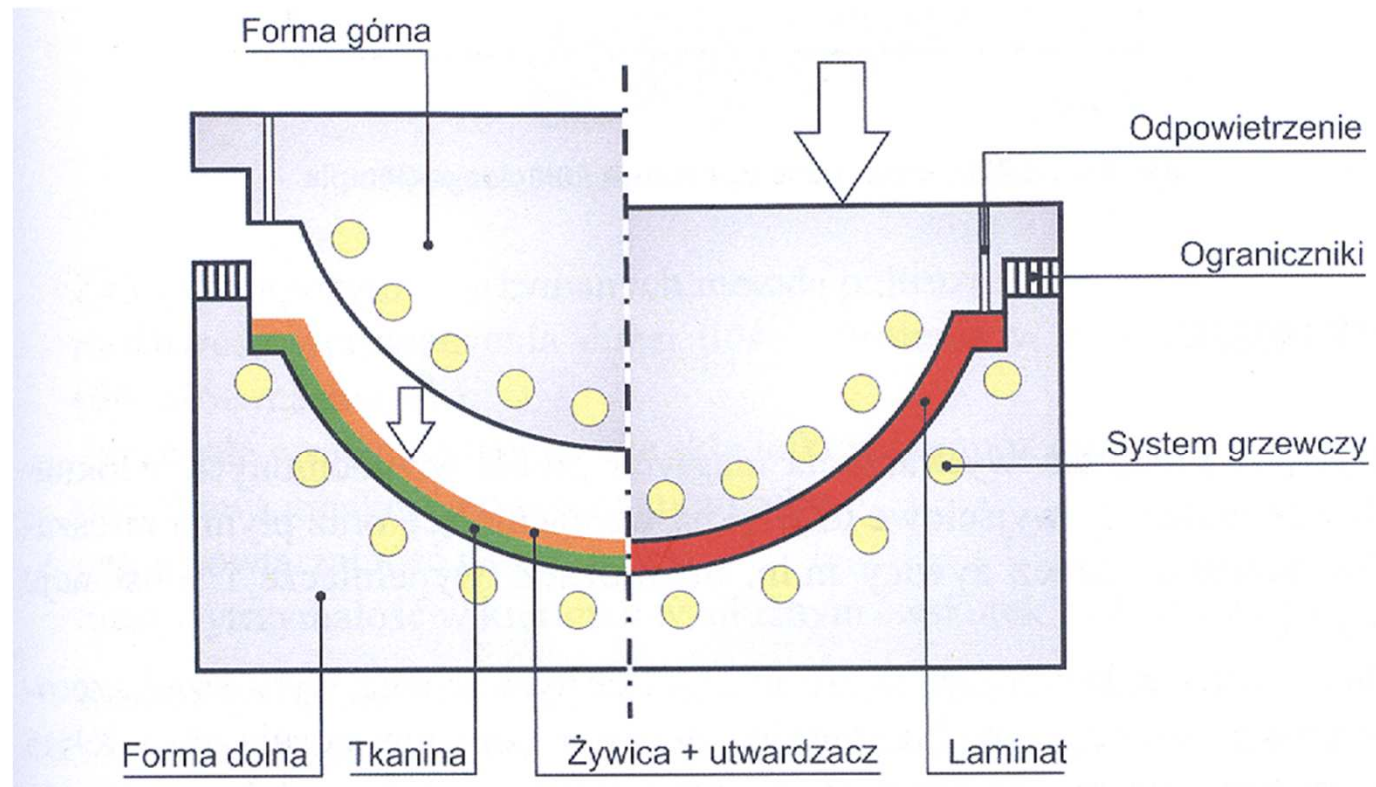
<http://www.kompozyty.milar.pl/worek-prozniowy/>



<http://www.aschome.com/index.php/en/products/ovens/out-of-autoclave-process>

Zaletą metody OOA są dużo niższe koszty w porównaniu z metodą utwardzania w autoklawie.

Formowanie w prasie

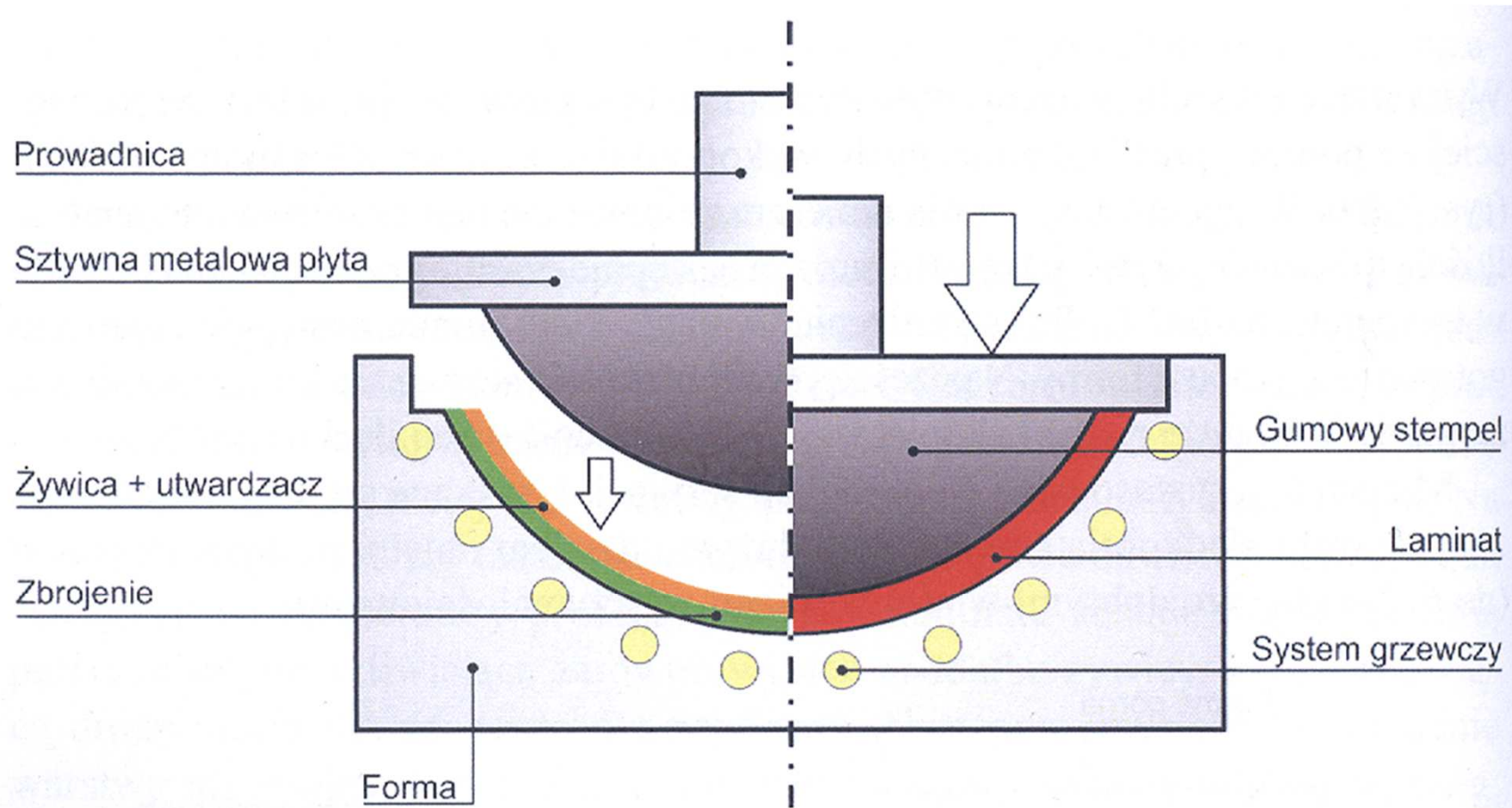


A. Boczkowska, Kompozyty i techniki ich wytwarzania

Metoda ta stosowana jest do produkcji seryjnej. Uzyskane wyroby charakteryzują się dużą gładkością powierzchni, dużym udziałem objętościowym zbrojenia i bardzo dobrymi właściwościami wytrzymałościowymi.

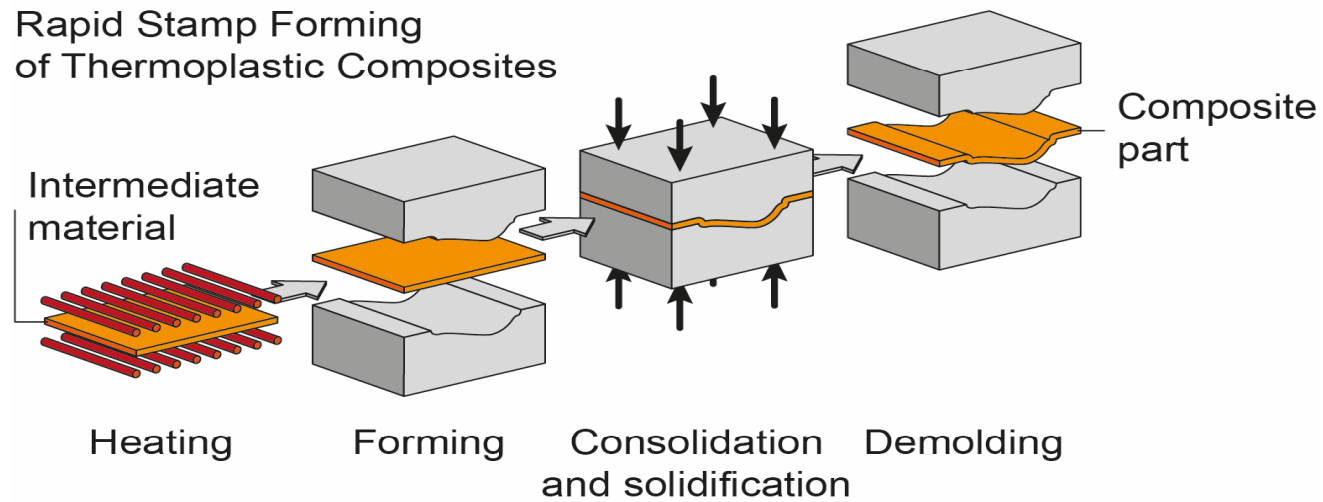
Wadą jest duży koszt oprzyrządowania.

Formowanie w prasie z gumowym stemplem

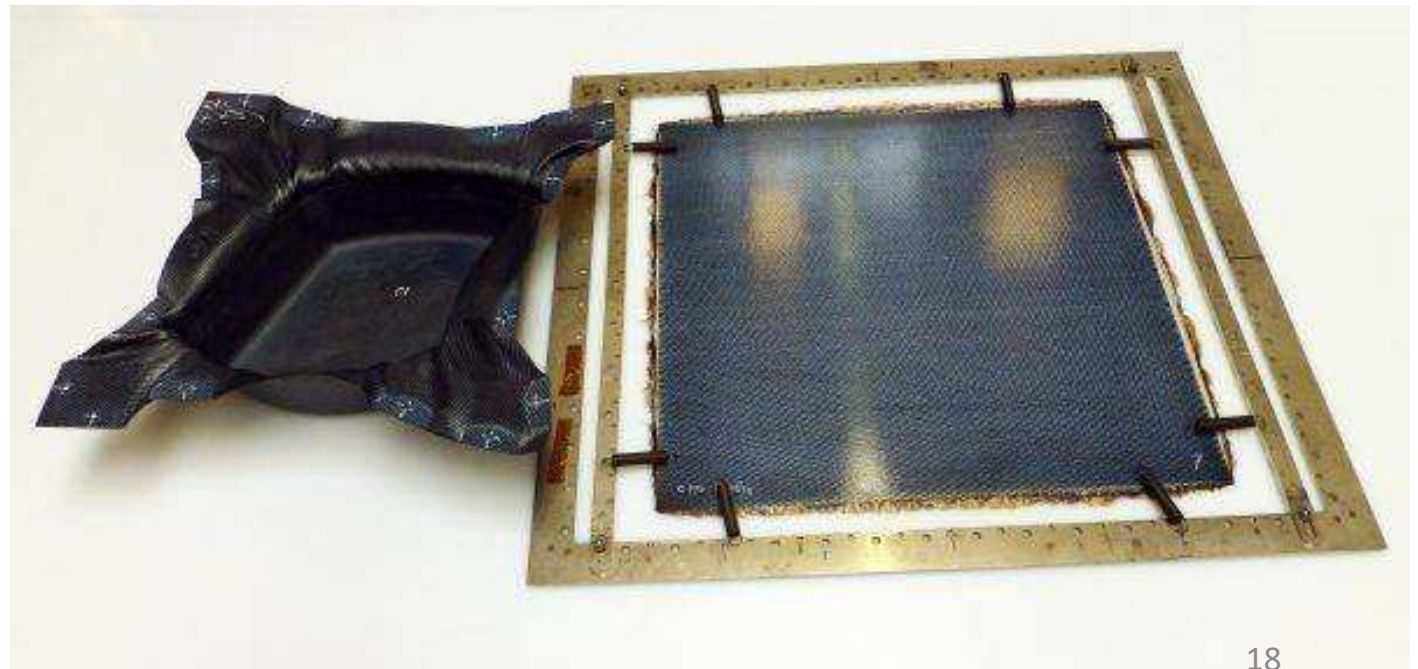


A. Boczkowska, Kompozyty i techniki ich wytwarzania

Formowanie w prasie (termoplasty)



<http://www.structures.ethz.ch/research/composite-materials-and-processing/bicomponent-fibers.html>



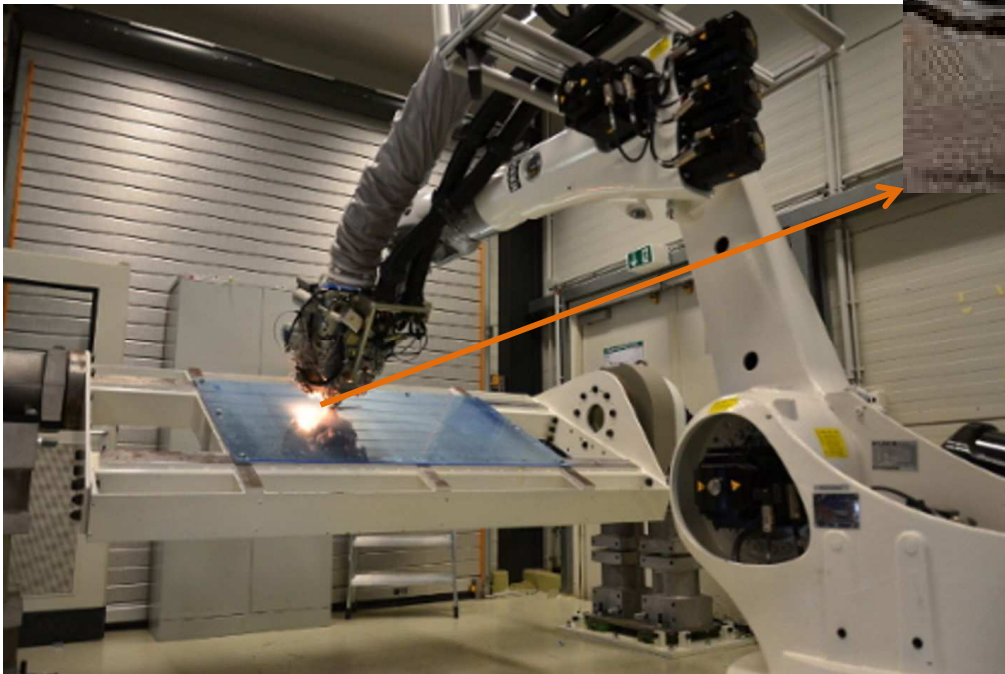
Robot (AFP – Automatic Fiber Placement)

Zalety:

- Duża precyzja ukierunkowania włókien
- Możliwość układania skomplikowanych kształtów
- Brak wad materiałowych



<http://www.coriolis-software.com/solutions-software/automated-fiber-placement.html>



Wady:

- Bardzo duży koszt oprzyrządowania
- Możliwość używania tylko taśm jednokierunkowych

<https://www.lcc.mw.tum.de/en/research-groups/process-technology-for-fibers-and-textiles/automated-fiber-placement/>

Rodzaje foremników



<http://cncdelta.pl/foremnik-do-laminowania/>



Materiały na foremniki:

- Metale: stal, aluminium, invar (stop żelaza i niklu)
- Tworzywa sztuczne, np. płyty epoksydowe
- Kompozyty: szklane i węglowe

Wytwarzanie foremników kompozytowych



M. Szender



M. Szender



M. Szender

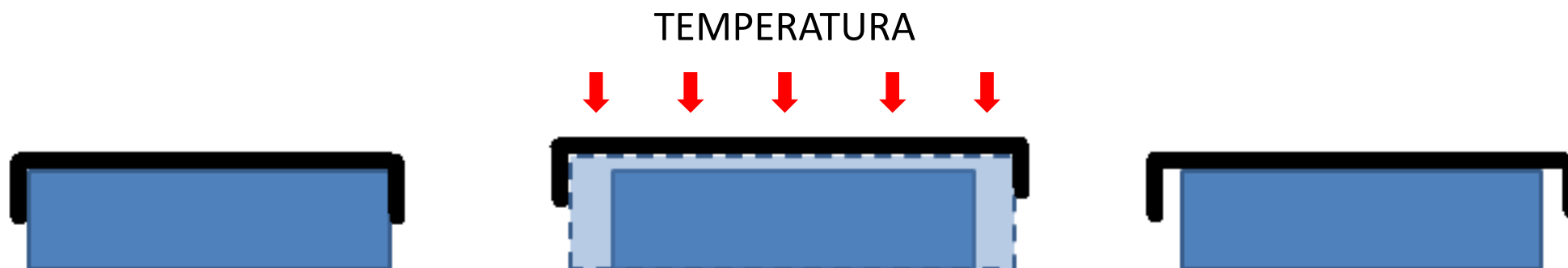
Wytwarzanie
foremnika

Master model

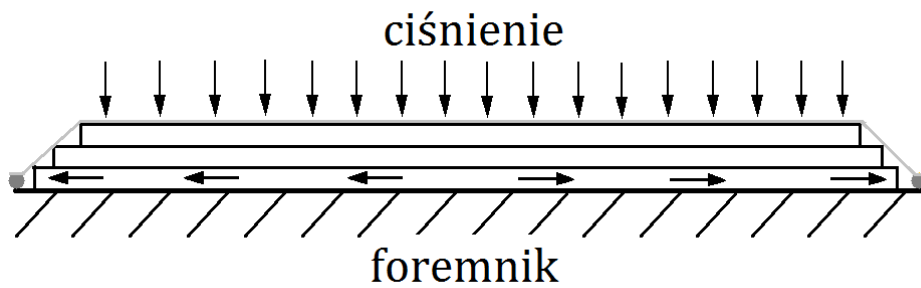
Problemy występujące w czasie wytwarzania kompozytów włóknistych

Różnice w rozszerzalności cieplnej

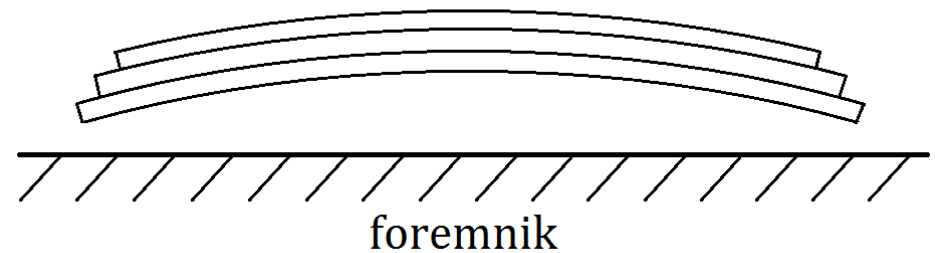
Materiał	Rozszerzalność cieplna
Kompozyt węglowo-epoksydowy w kierunku włókien/ w poprzek włókien	$-0,3 - 0,5 \times 10^{-6} / 35 - 77 \times 10^{-6} [1/^\circ\text{C}]$
Kompozyt szklano-epoksydowy w kierunku włókien/ w poprzek włókien	$\sim 10 \times 10^{-6} / \sim 20 \times 10^{-6} [1/^\circ\text{C}]$
Stopy aluminium	$19 - 25 \times 10^{-6} [1/^\circ\text{C}]$
Stal	$9,9 - 17,3 \times 10^{-6} [1/^\circ\text{C}]$
Invar	$0 - 2 \times 10^{-6} [1/^\circ\text{C}]$
Płyta epoksydowa	$35 - 45 \times 10^{-6} [1/^\circ\text{C}]$



Mechanizma 'Tool-part interaction'

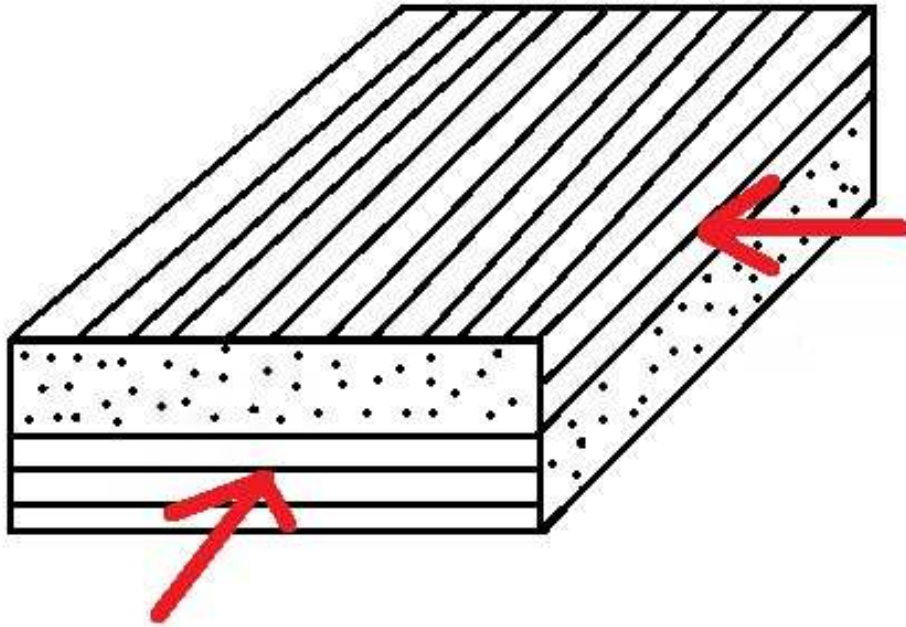


Utwardzanie

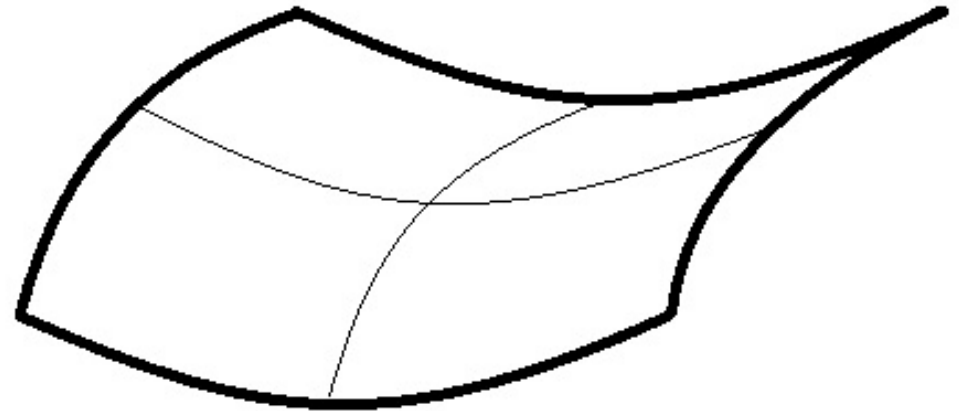


Po utwardzeniu

Niesymetryczny układ warstw

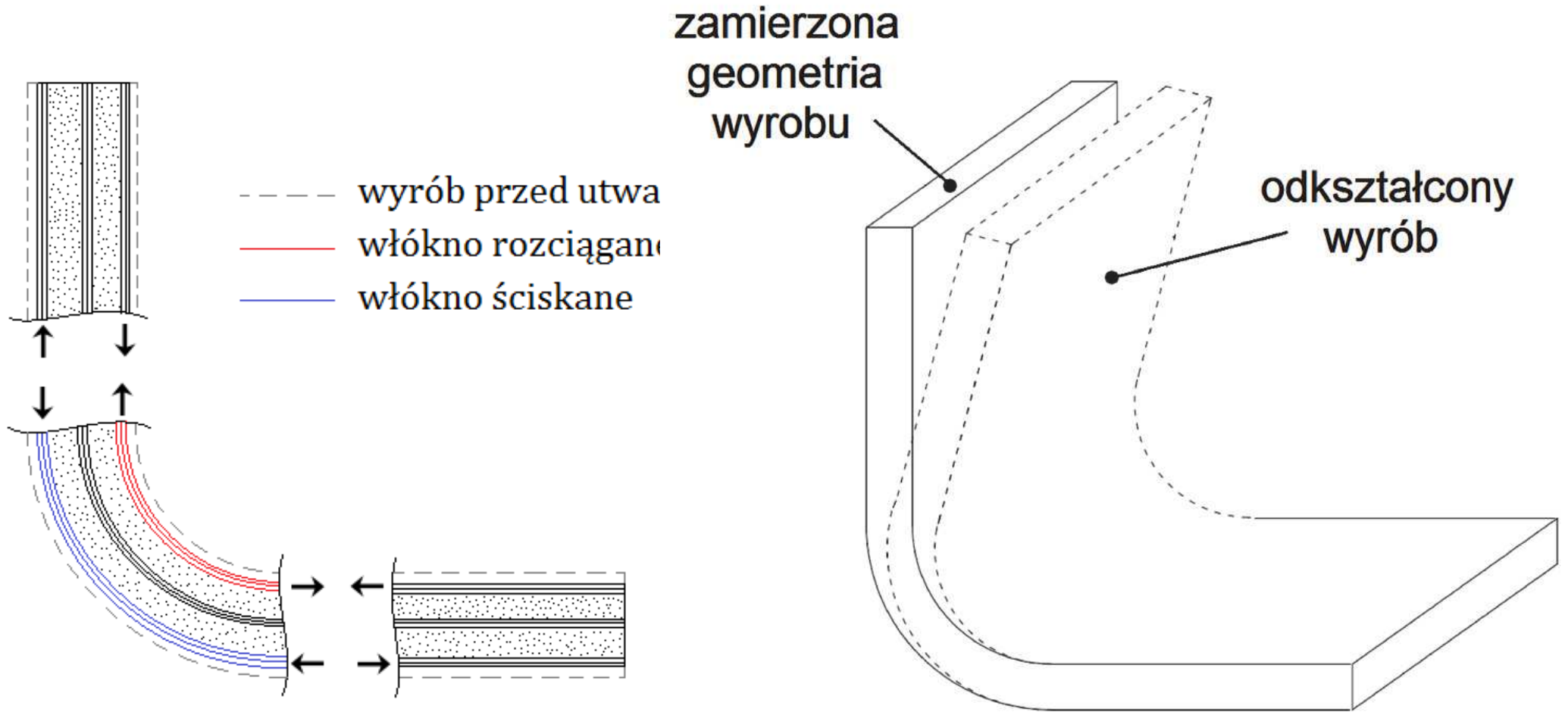


Naprężenia wewnętrzne

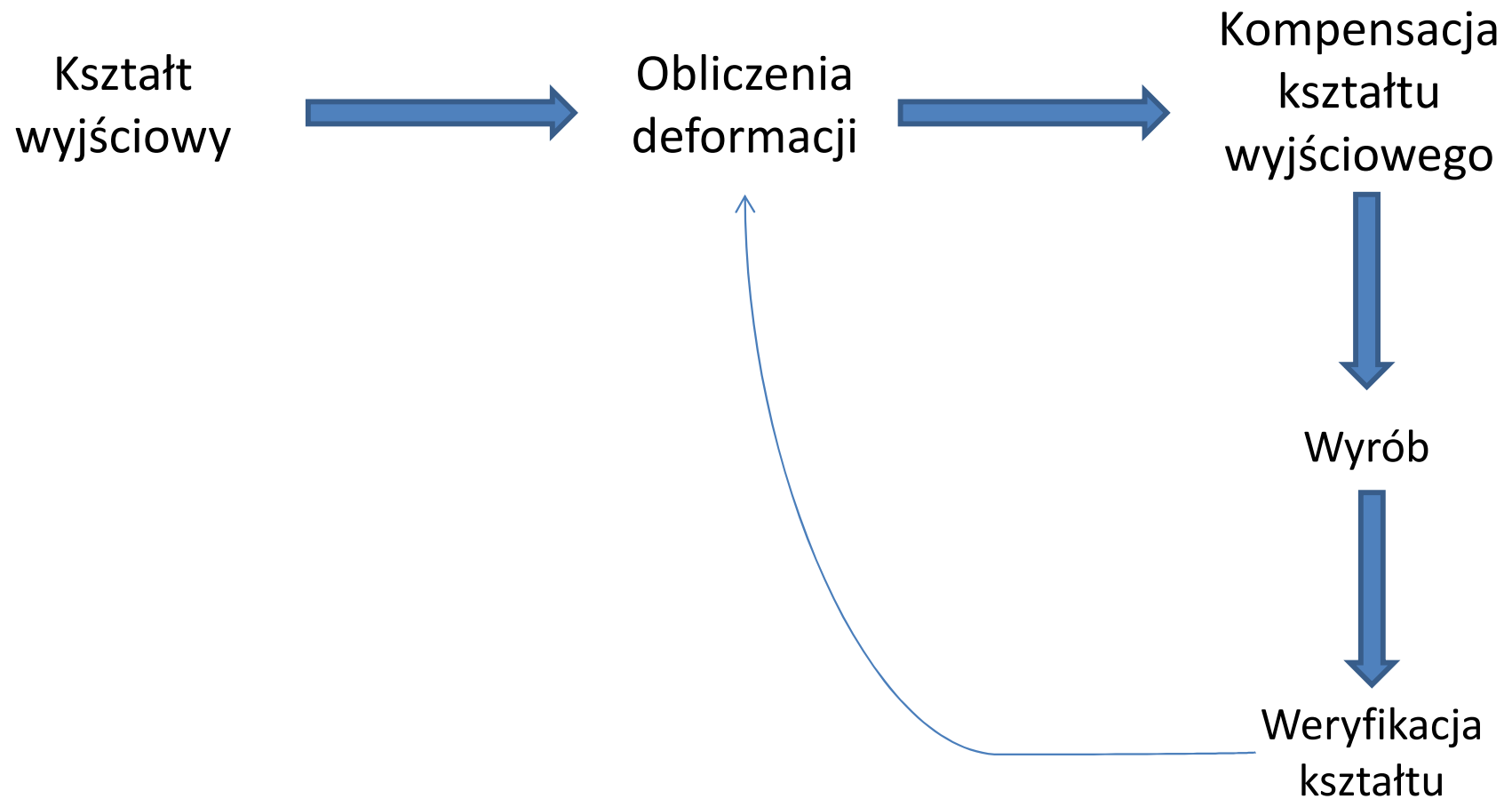


Po utwardzeniu

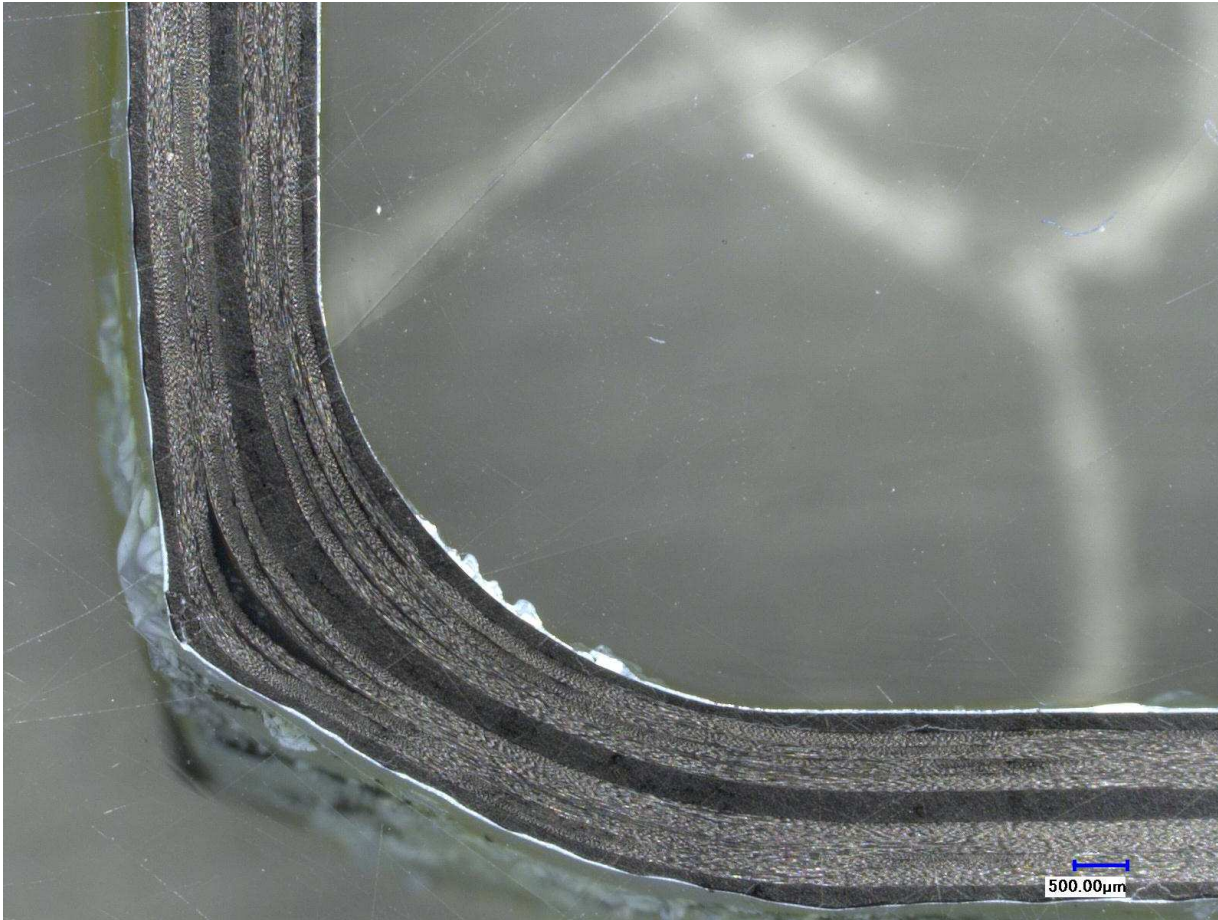
Mechanizm Spring-in



Rozwiązanie problemu - kompensacja



Wady produkcyjne

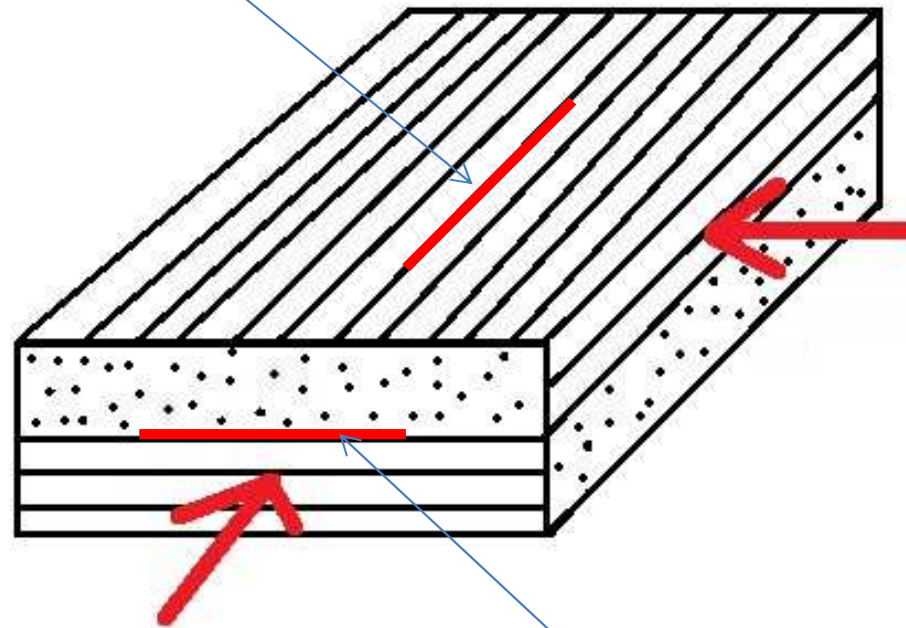


- Brak spoiwa
- Nadmiar spoiwa
- Porowatość
- Marszczenie się włókien

Pomarszczone włókna w narożu wyrobu węglowo-epoksydowego utwardzanego w metodą OOA

Wady produkcyjne c. d.

Pęknięcie



Delaminacja