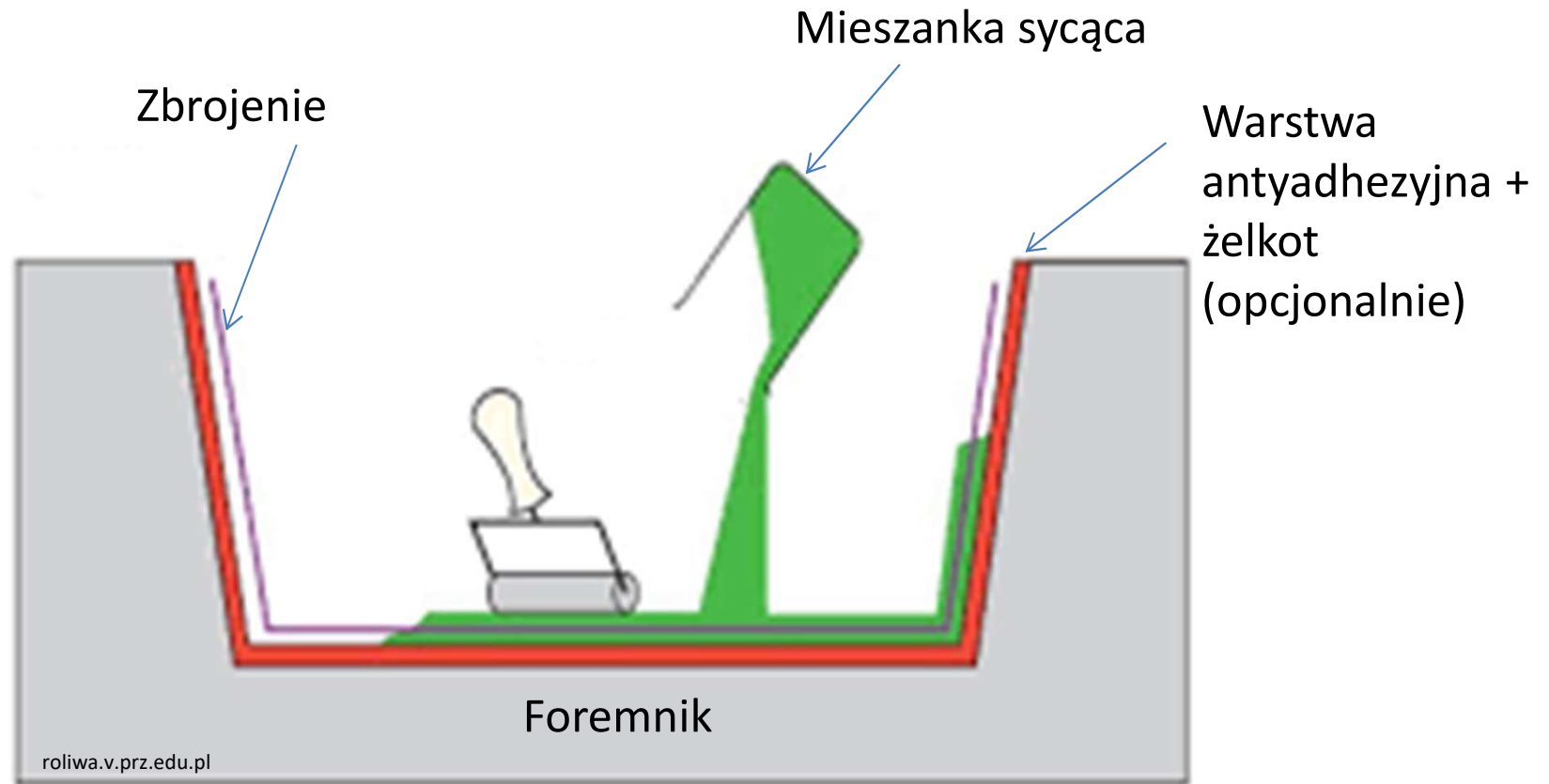


# **Metody wytwarzania kompozytów włóknistych**

# Metoda ręcznego przesycania (kontaktowa/na mokro)



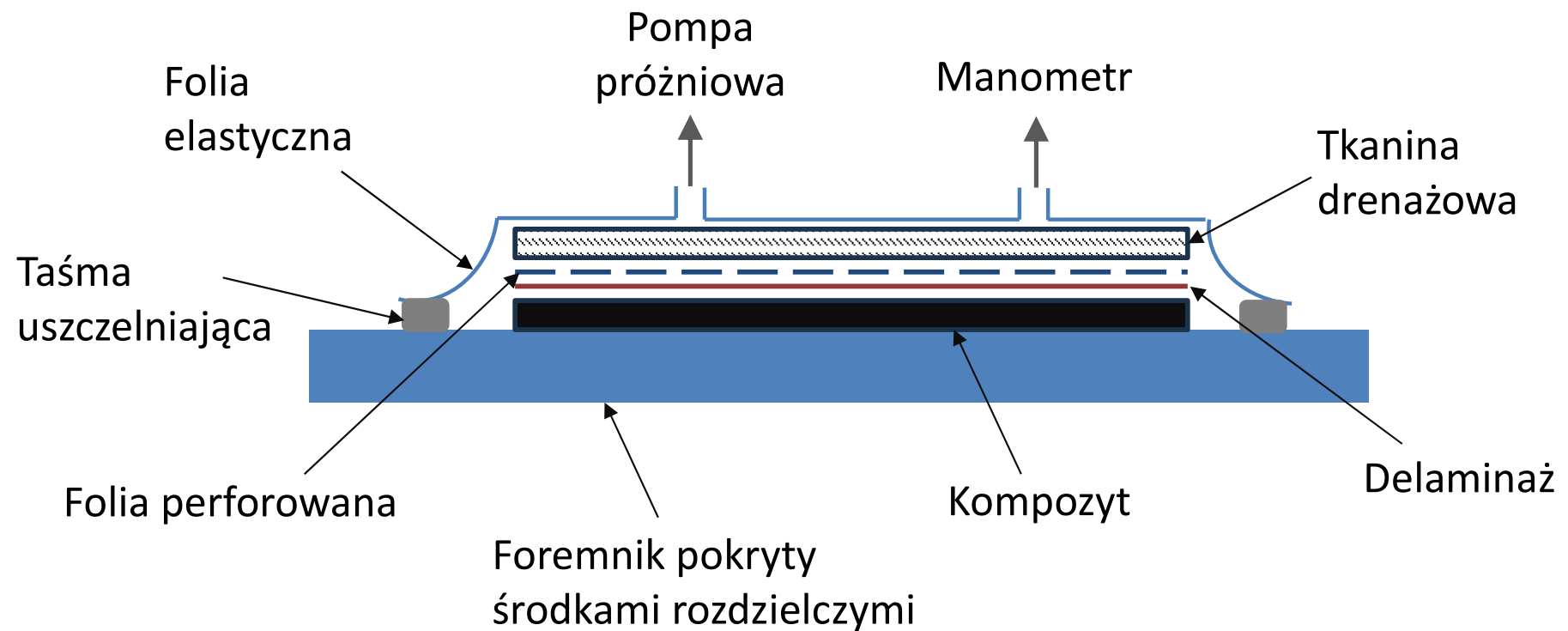
## Zalety metody:

- 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

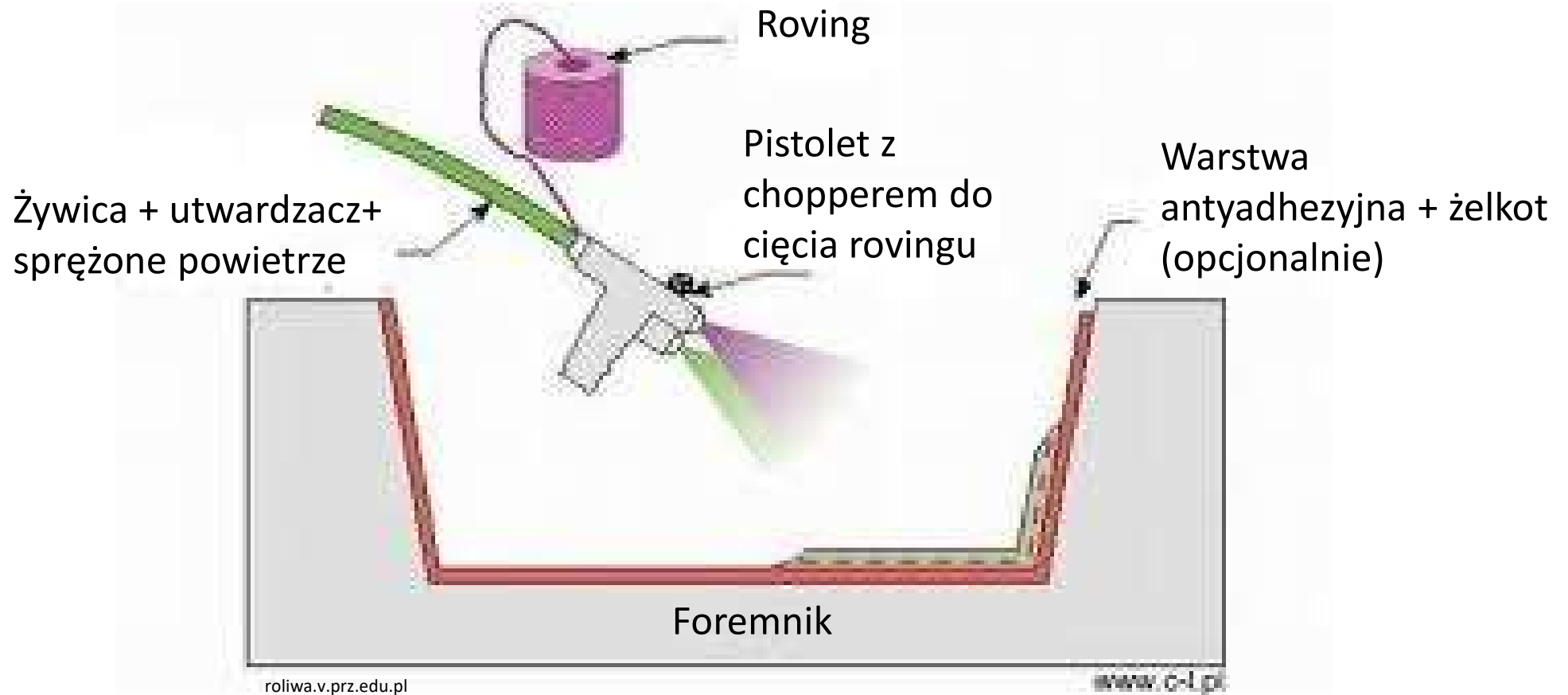
# Metoda próżniowa



# Metoda próżniowa c. d.



# Metoda natryskowa



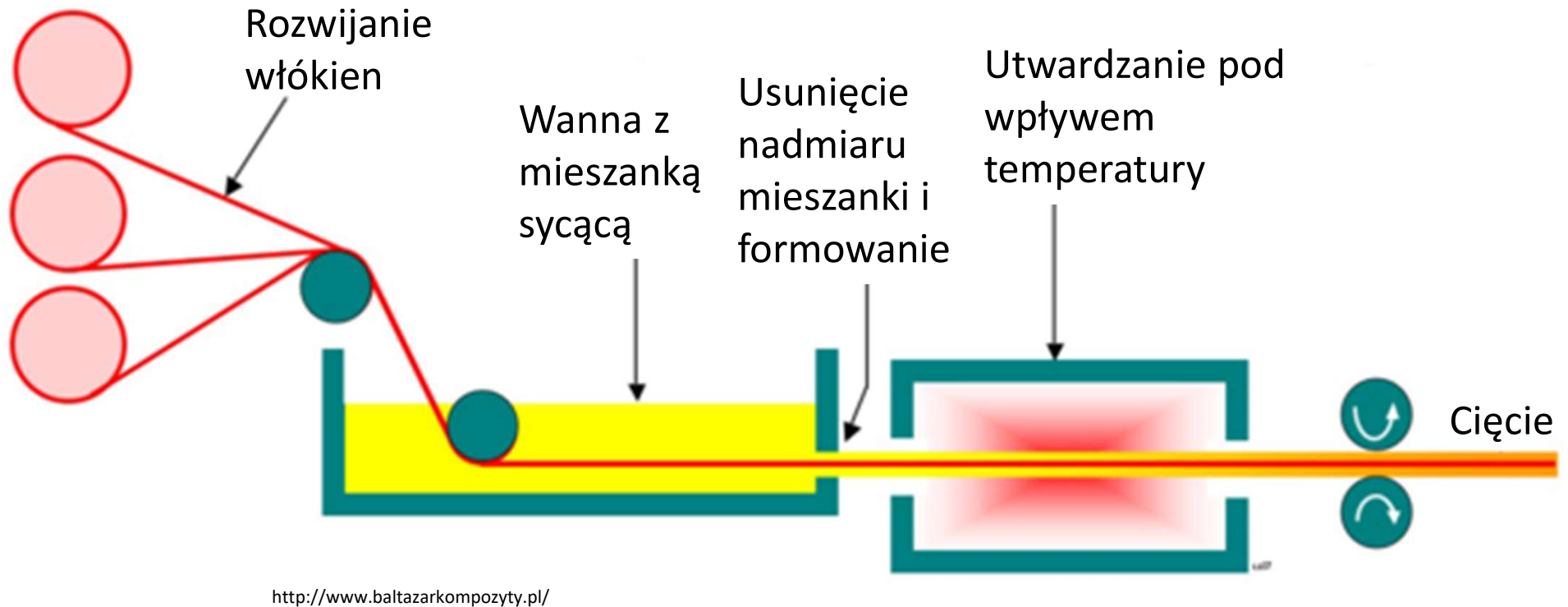
## Zalety

- 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

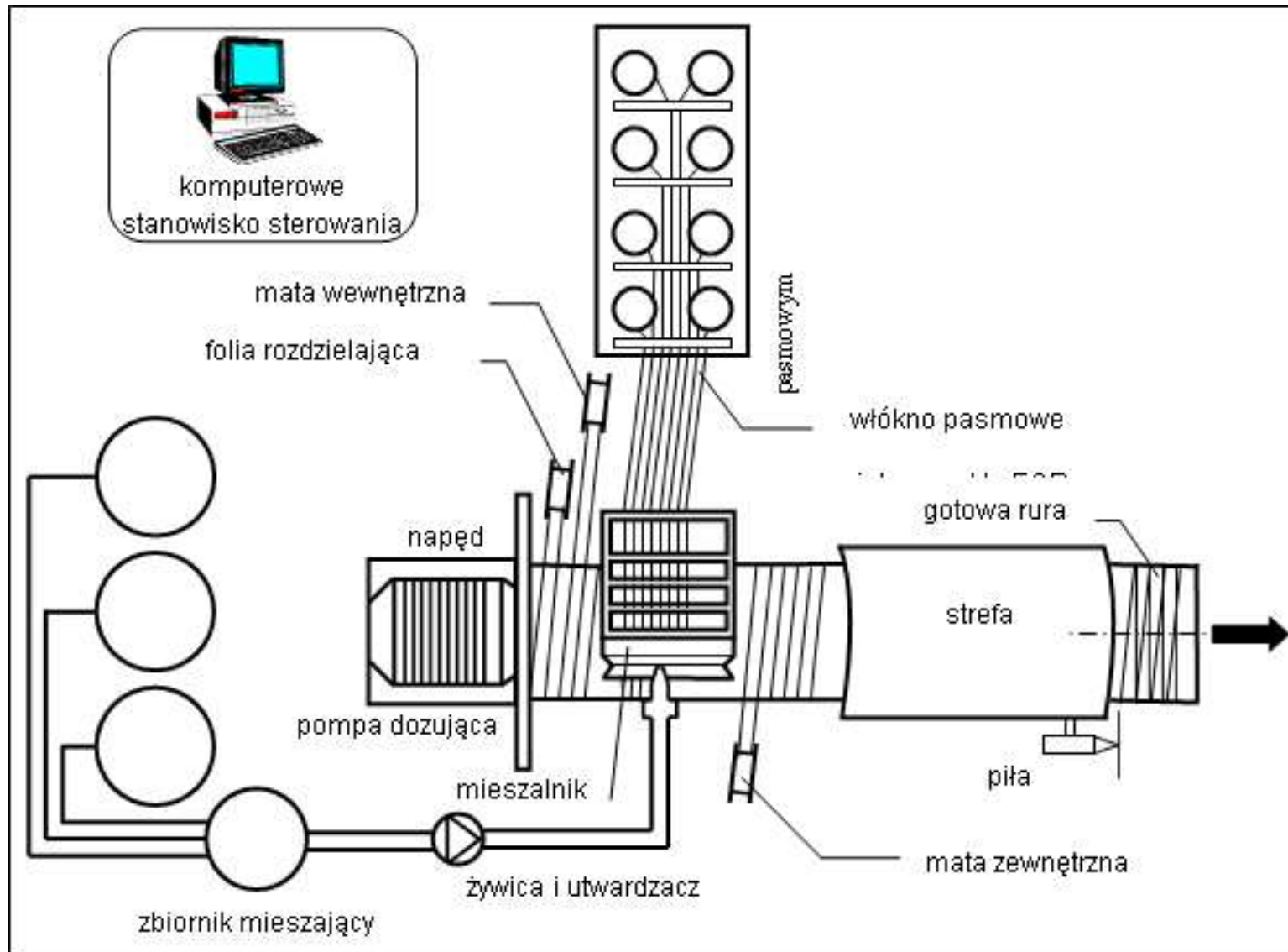
# Pultruzja/przesycanie pasm rovingu



## 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

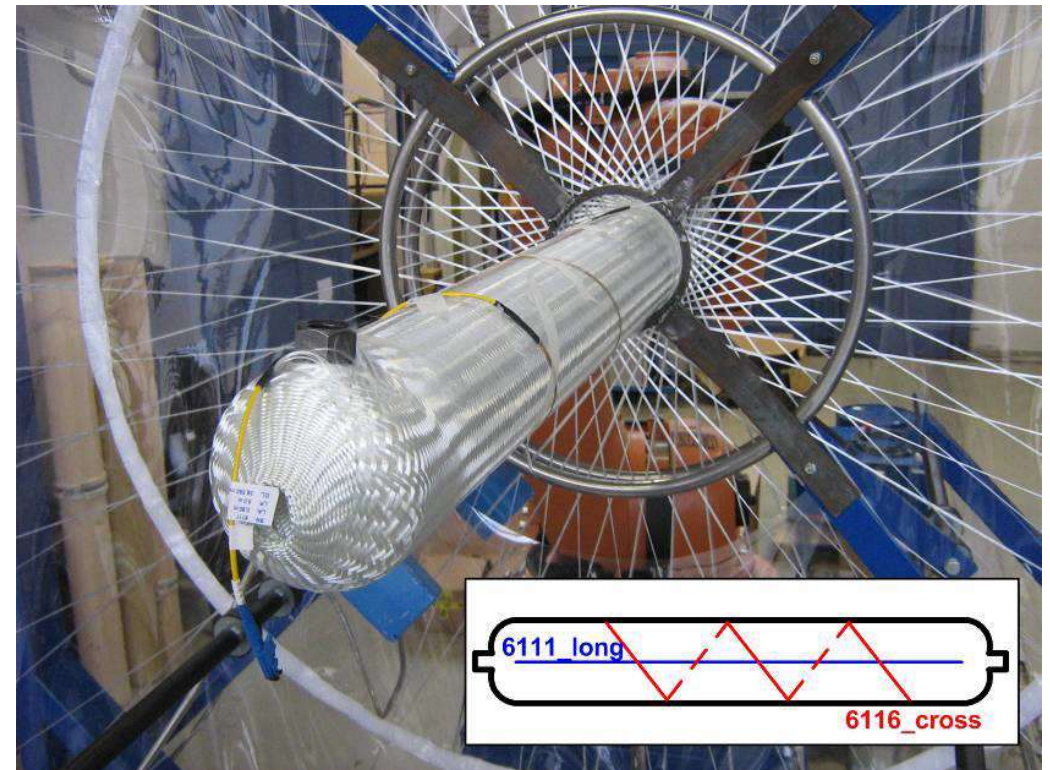
- Metoda ciągłego nawijania
- Metoda wyplatania



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

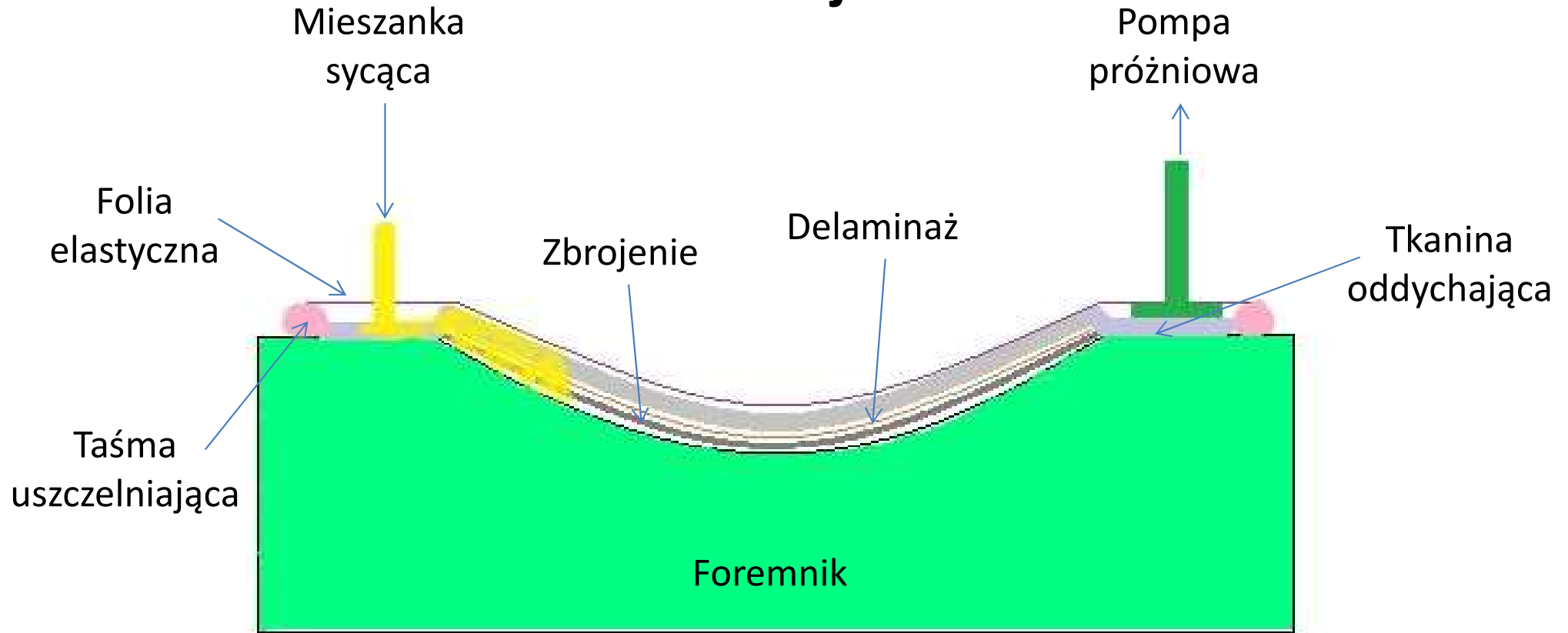


Wysokociśnieniowe zbiorniki kompozytowe do gromadzenia wodoru, J. Kaleta, P. Gąsior



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

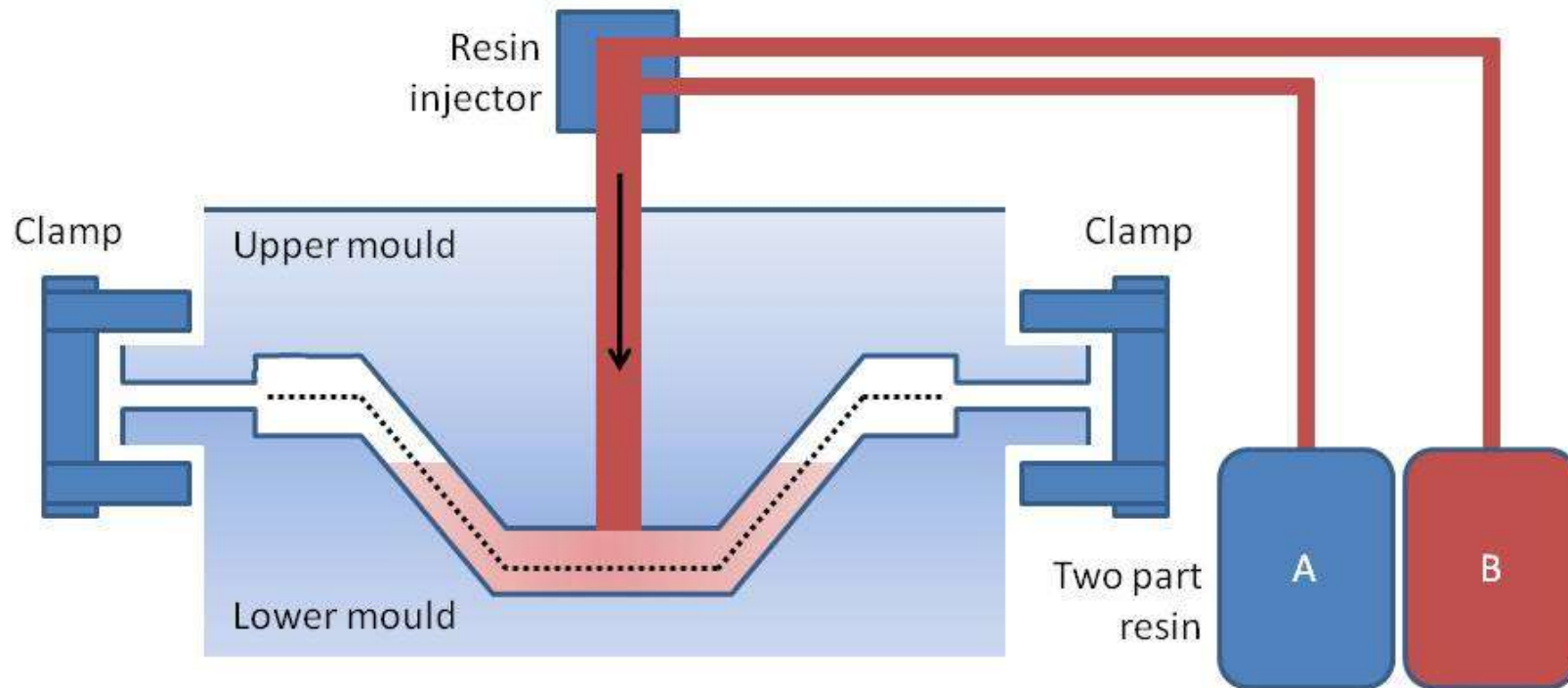
# Infuzja



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.

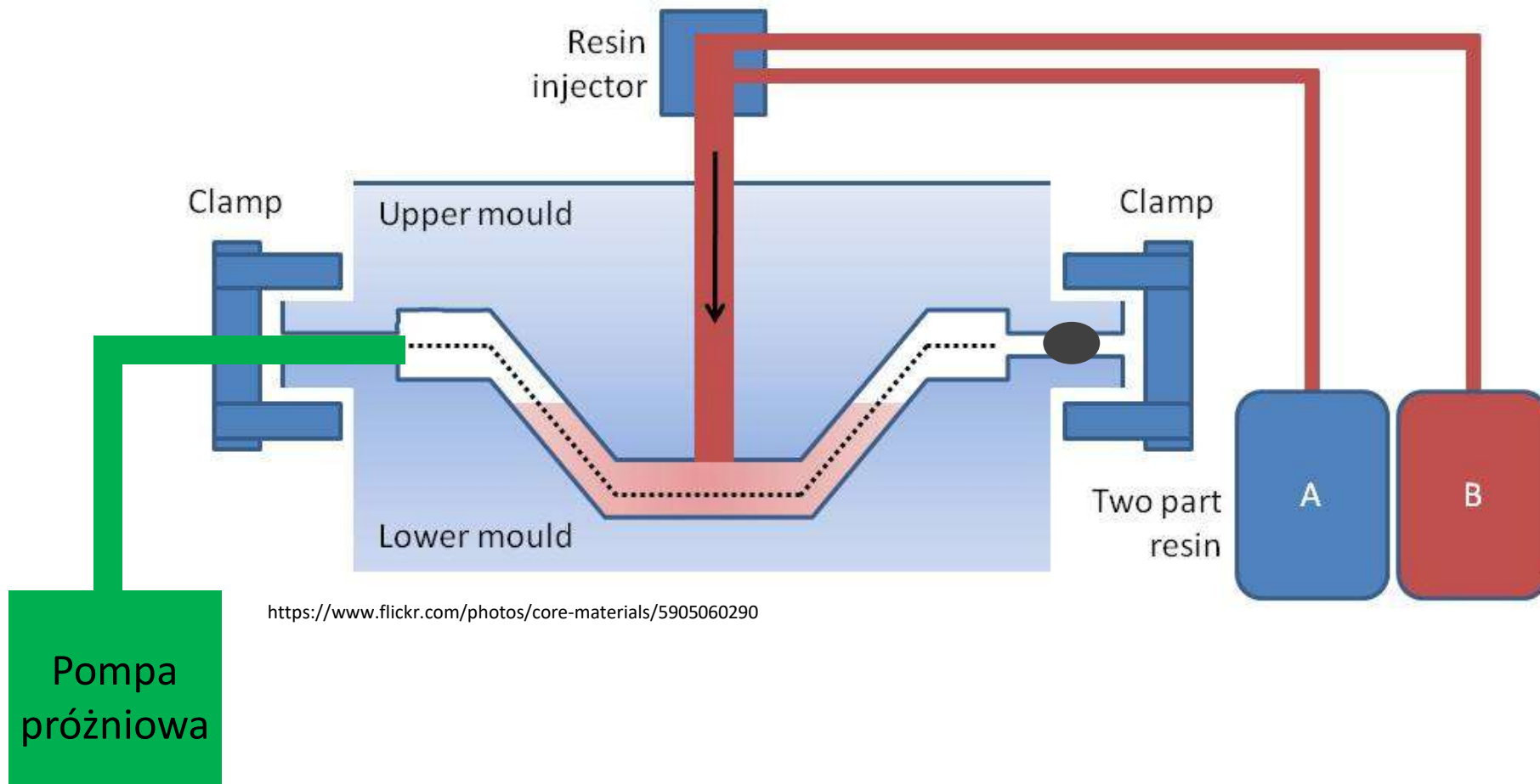
# Resin Transfer Moulding (RTM)



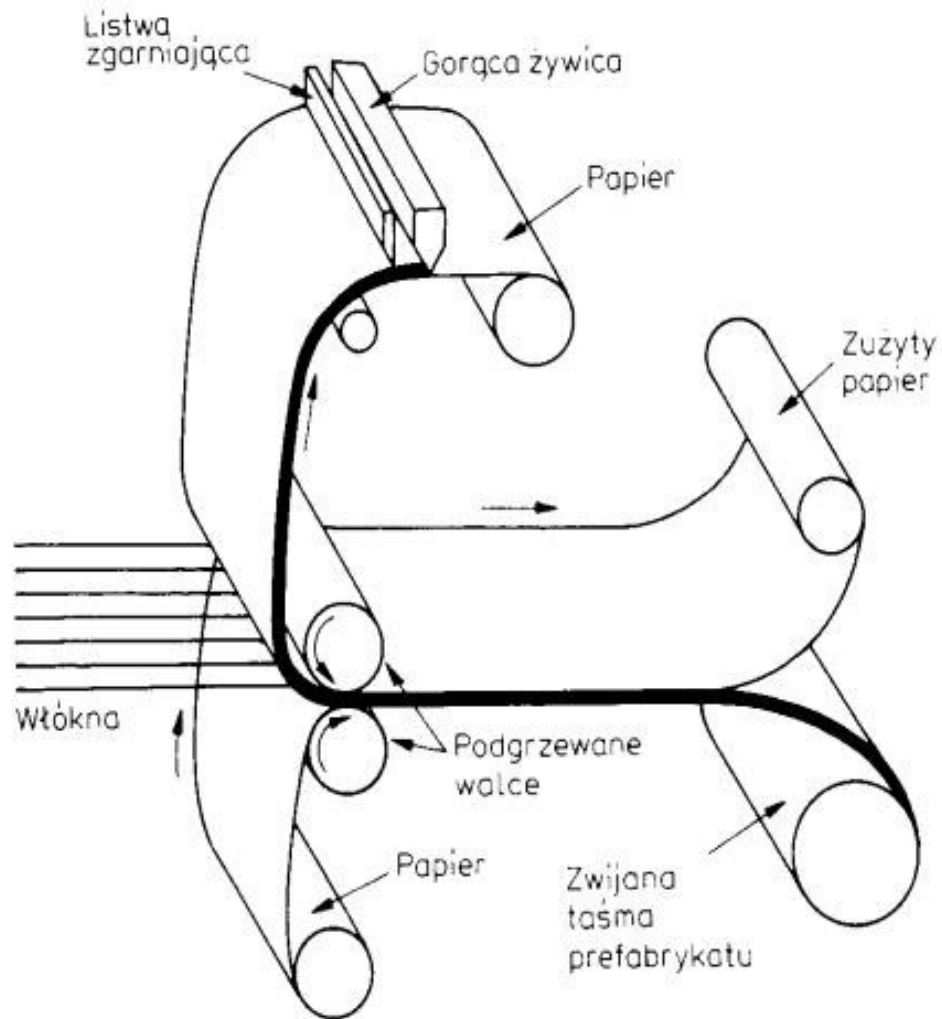
<https://www.flickr.com/photos/core-materials/5905060290>

Zaletami wyrobów wytwarzanych tą metodą są jednolite 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](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>

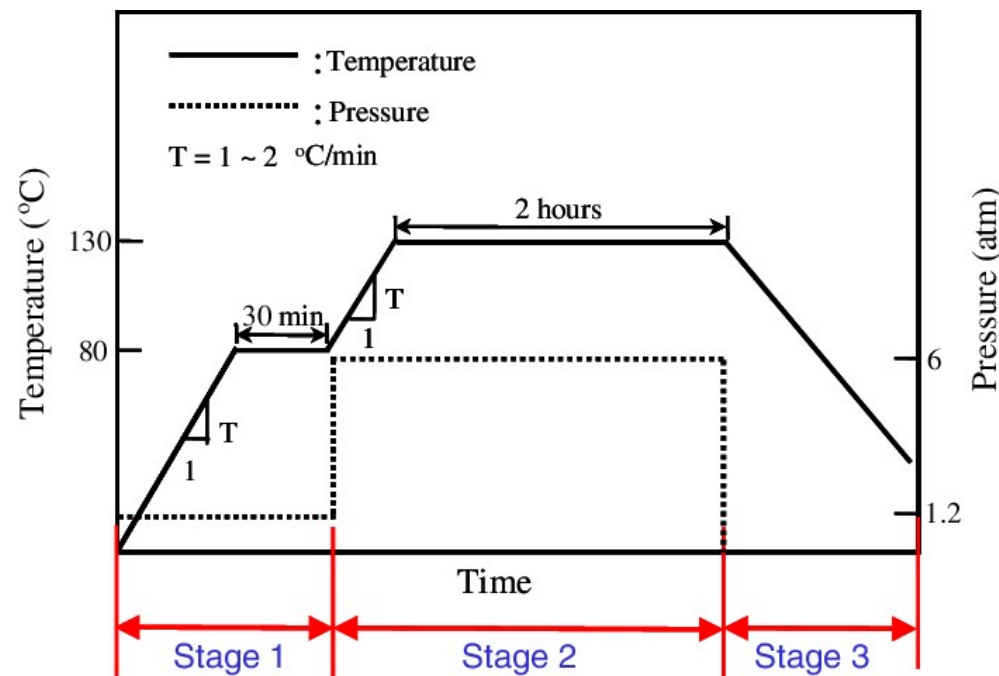
# Utwardzanie w autoklawie c. d.



[http://www.baltazarkompozyty.pl/index.php?option=com\\_content&view=article&id=225&catid=39&Itemid=215](http://www.baltazarkompozyty.pl/index.php?option=com_content&view=article&id=225&catid=39&Itemid=215)

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.



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

# Metoda out of autoclave (OOA)



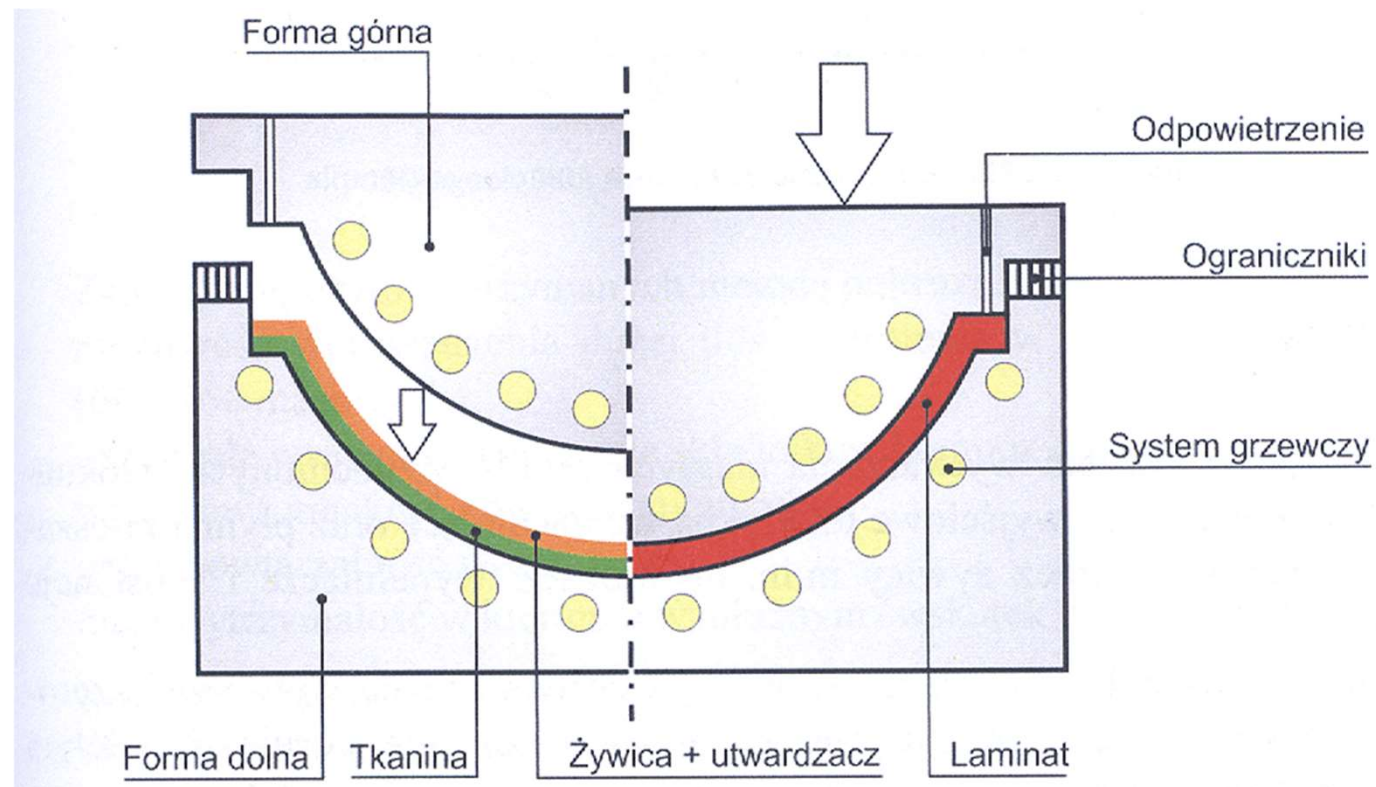
<http://www.kompozyty.milar.pl/worek-prozniowy/>



<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

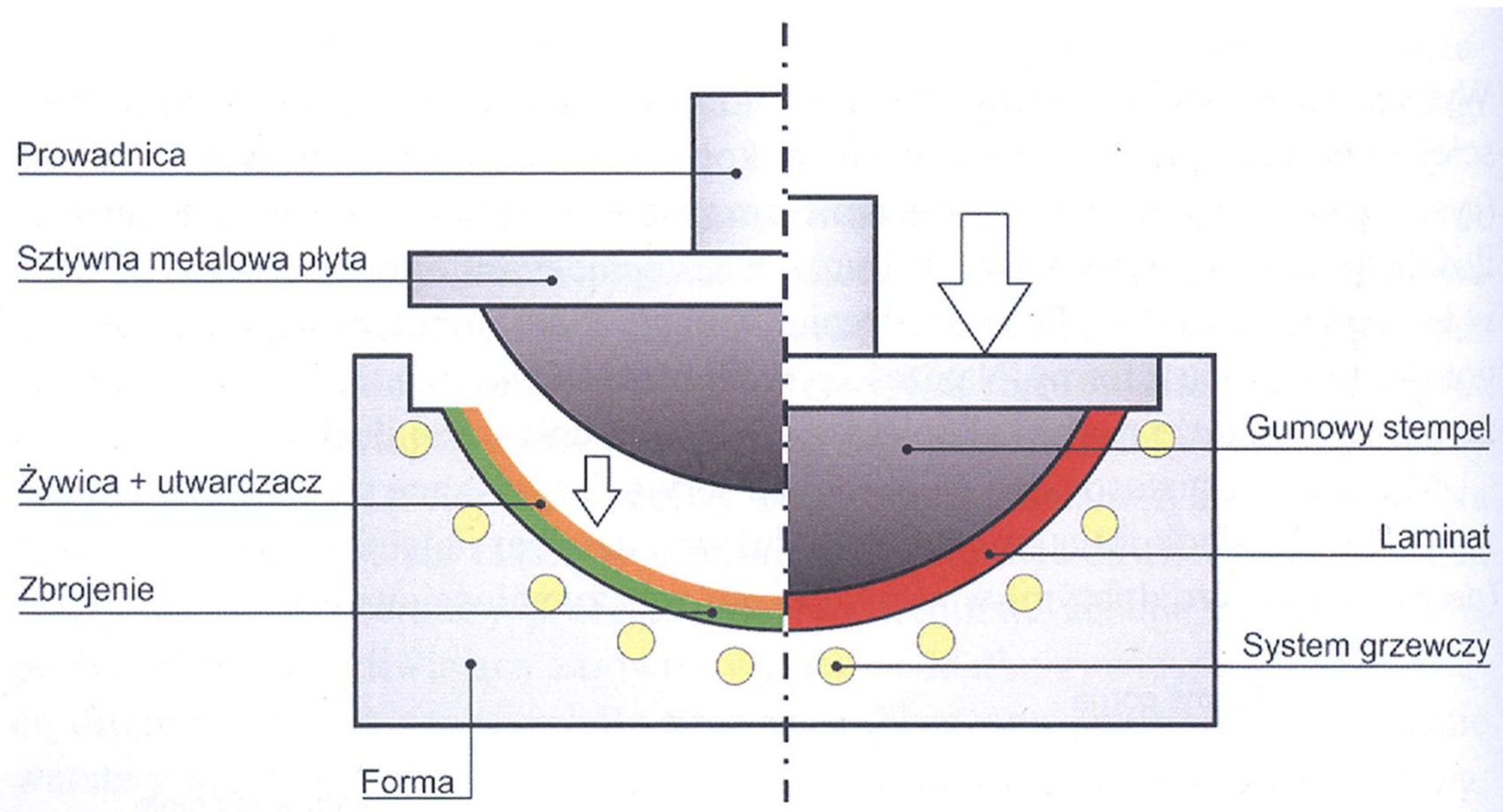


A. Boczkowska, Kompozyty i techniki ich wytwarzania

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.

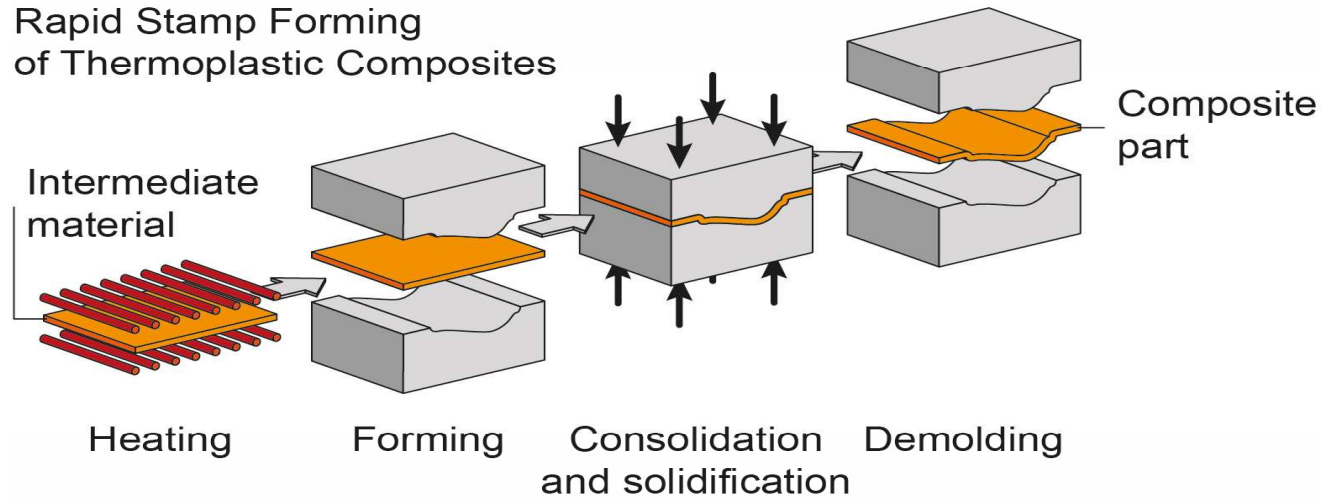
# Formowanie w prasie z gumowym stemplem



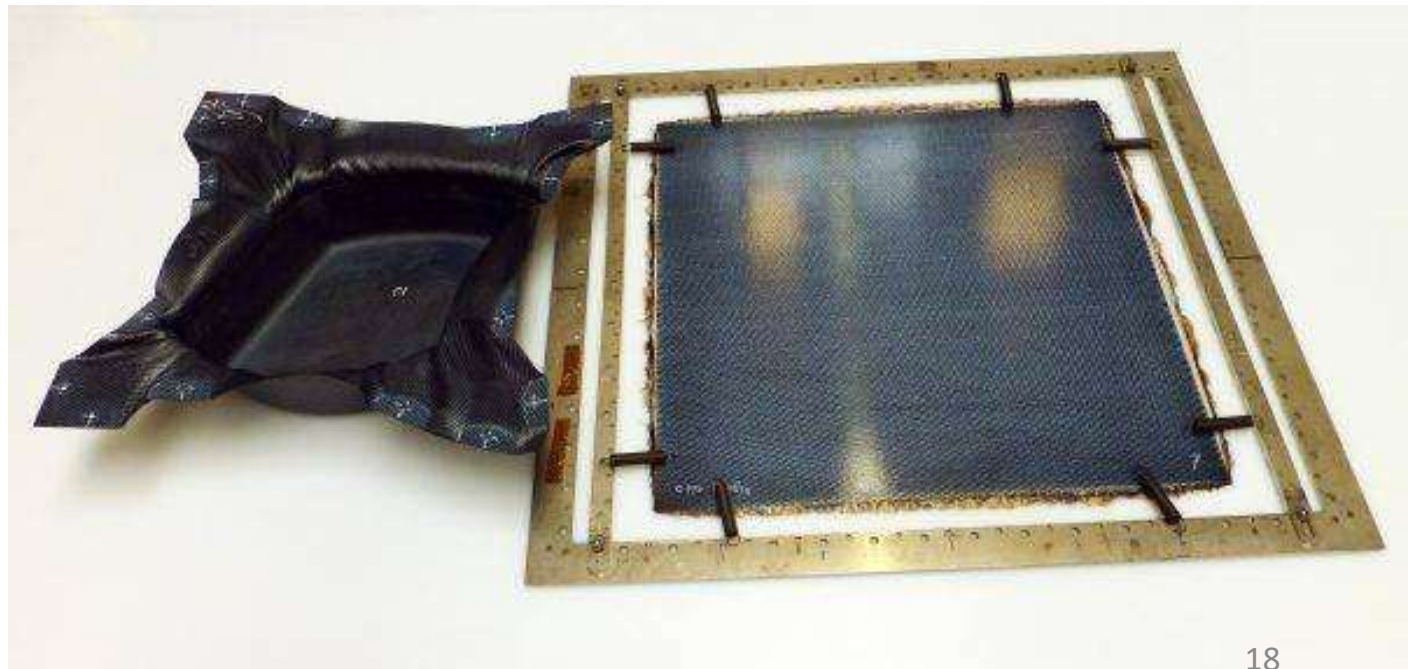
A. Boczkowska, Kompozyty i techniki ich wytwarzania

# Formowanie w prasie (termoplasty)

## Rapid Stamp Forming of Thermoplastic Composites



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



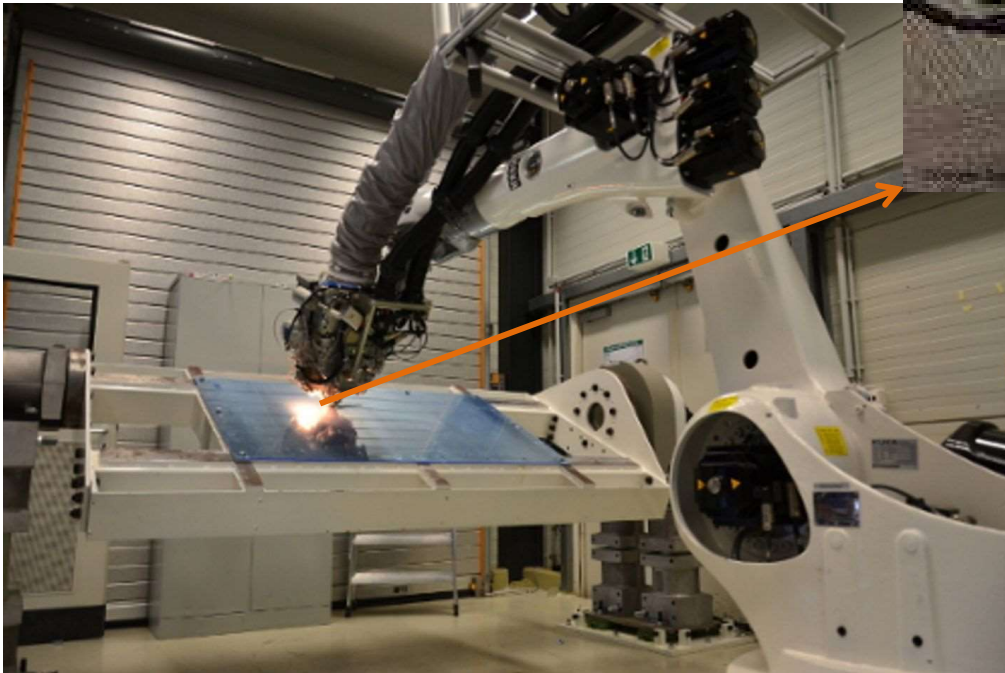
# Robot (AFP – Automatic Fiber Placement)

## Zalety:

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



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



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

## Wady:

- Bardzo duży koszt oprzyrządowania
- Możliwość używania tylko taśm jednokierunkowych

# Rodzaje foremników



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



## Materiały na foremnik:

- 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

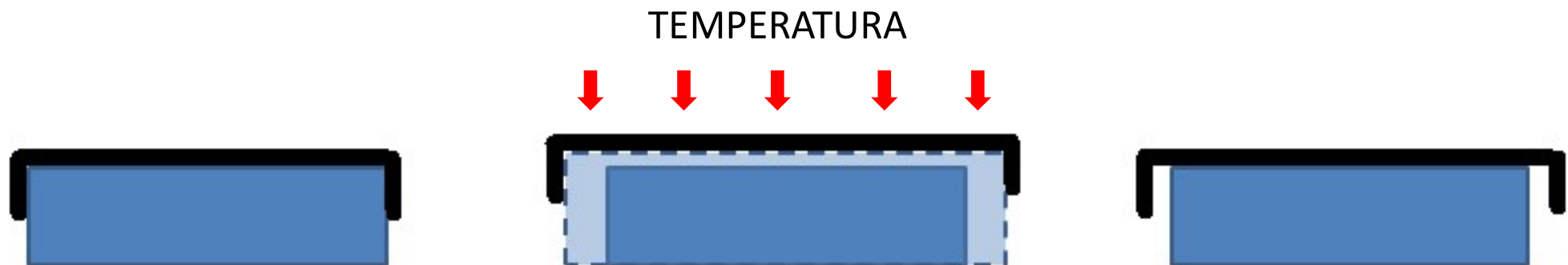
Wytwarzanie  
foremnika

Master model

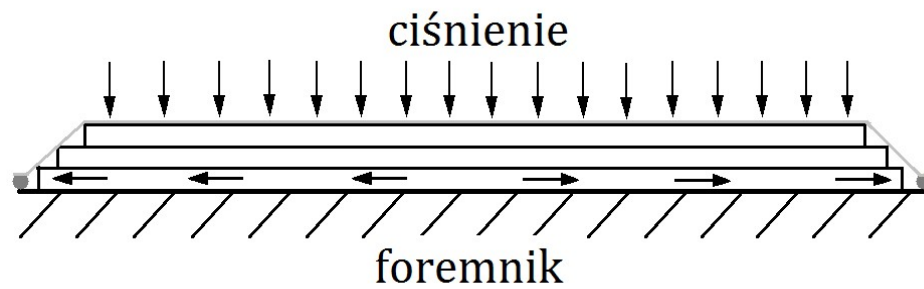
# **Problemy występujące w czasie wytwarzania kompozytów włóknistych**

# Różnice w rozszerzalności cieplnej

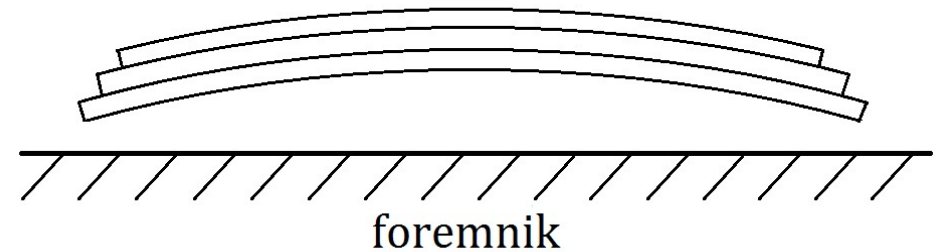
| Materiał                                                             | Rozszerzalność cieplna                                           |
|----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| Kompozyt węglowo-epoksydowy<br>w kierunku włókien/ w poprzek włókien | -0,3 - 0,5 x 10 <sup>-6</sup> /35 - 77 x 10 <sup>-6</sup> [1/°C] |
| Kompozyt szklano-epoksydowy<br>w kierunku włókien/ w poprzek włókien | ~10 x 10 <sup>-6</sup> / ~20 x 10 <sup>-6</sup> [1/°C]           |
| Stopy aluminium                                                      | 19 – 25 x 10 <sup>-6</sup> [1/°C]                                |
| Stal                                                                 | 9,9 – 17,3 x 10 <sup>-6</sup> [1/°C]                             |
| Invar                                                                | 0 – 2 x 10 <sup>-6</sup> [1/°C]                                  |
| Płyta epoksydowa                                                     | 35 – 45 x 10 <sup>-6</sup> [1/°C]                                |



# Mechanizma 'Tool-part interaction'

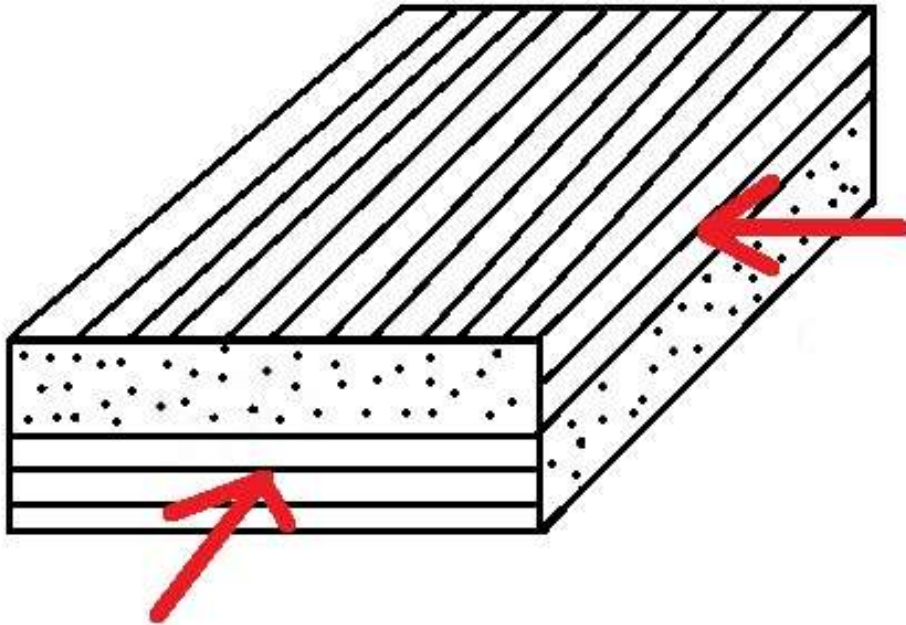


Utwardzanie

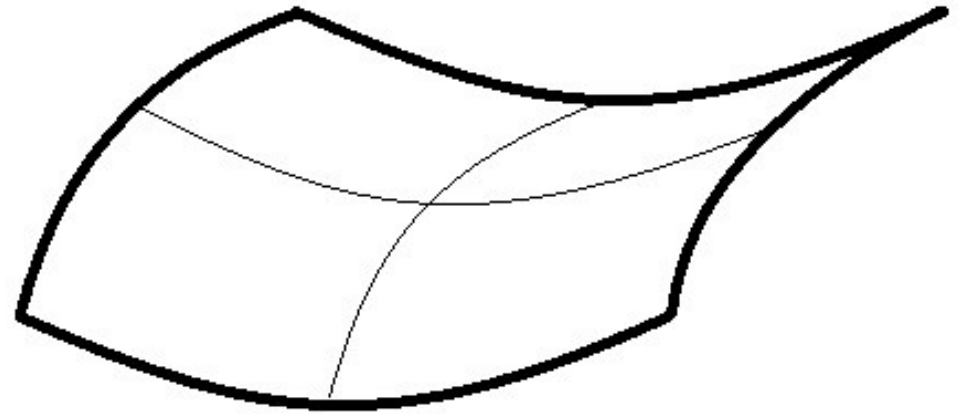


Po utwardzeniu

# Niesymetryczny układ warstw

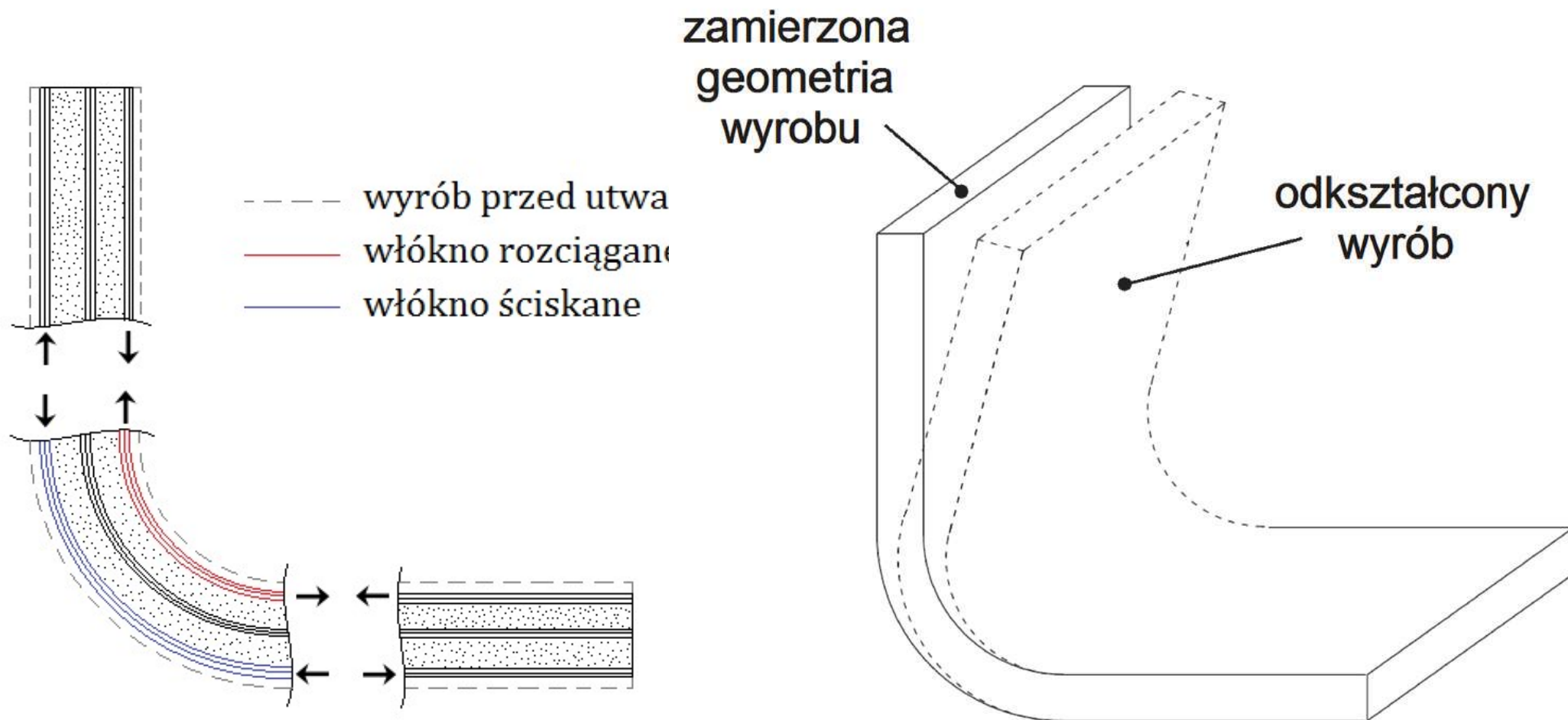


Naprężenia wewnętrzne

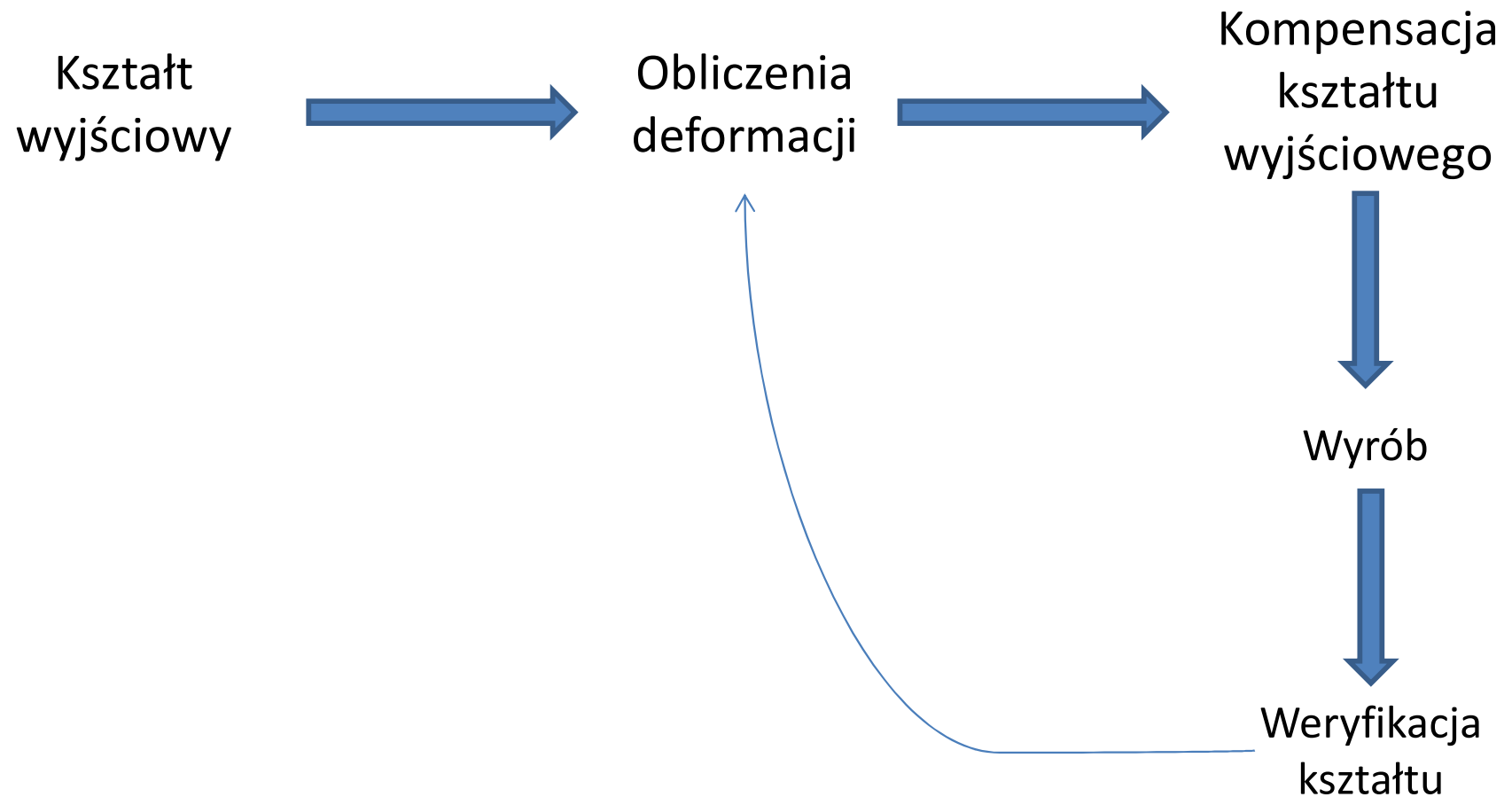


Po utwardzeniu

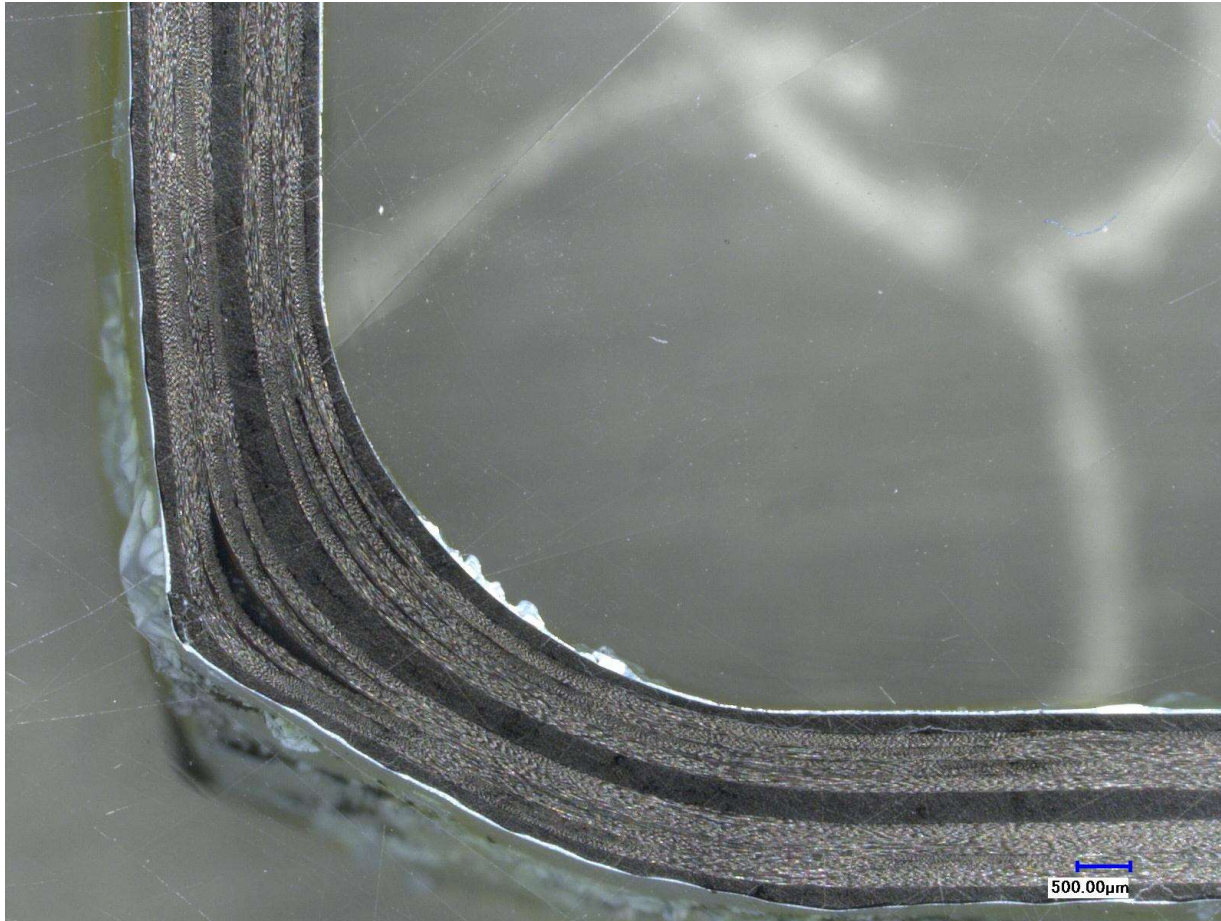
# Mechanizm Spring-in



# Rozwiązanie problemu - kompensacja



# Wady produkcyjne

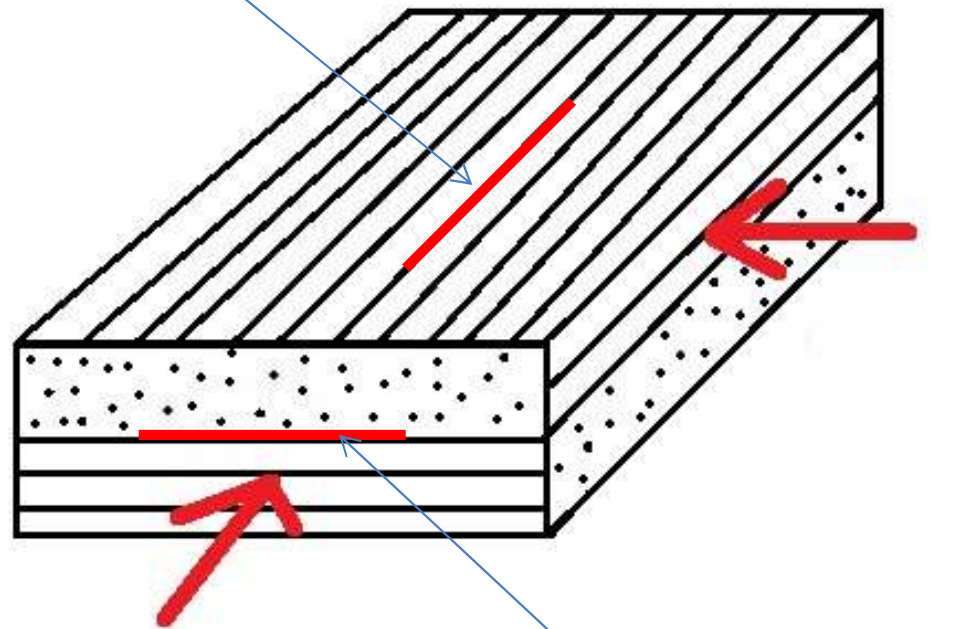


- Brak spoiwa
- Nadmiar spoiwa
- Porowatość
- Marszczenie się włókien

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

# Wady produkcyjne c. d.

Pęknięcie



Delaminacja