

Kompozyty

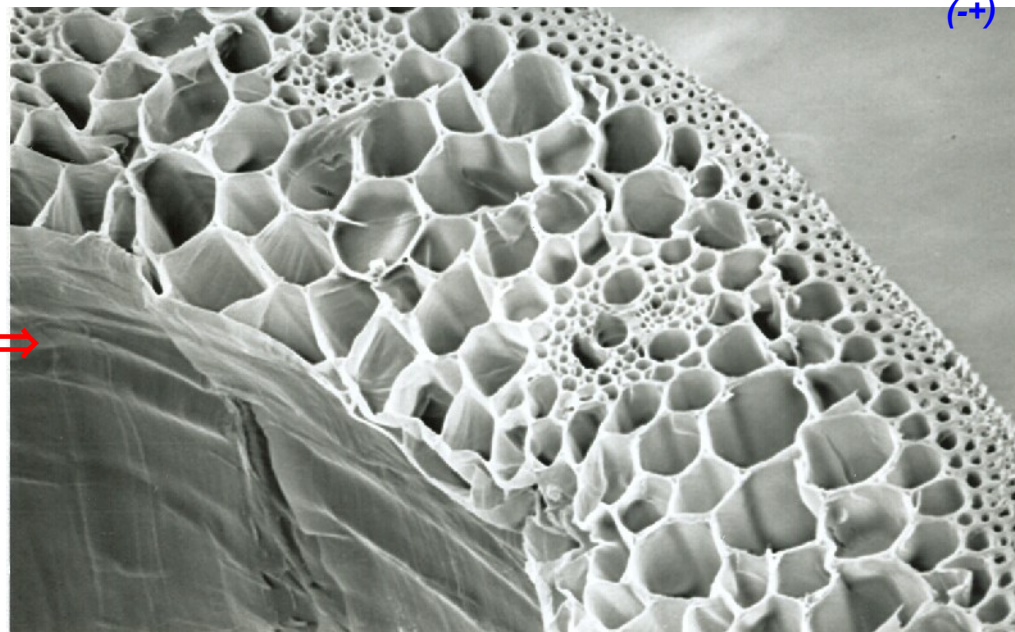
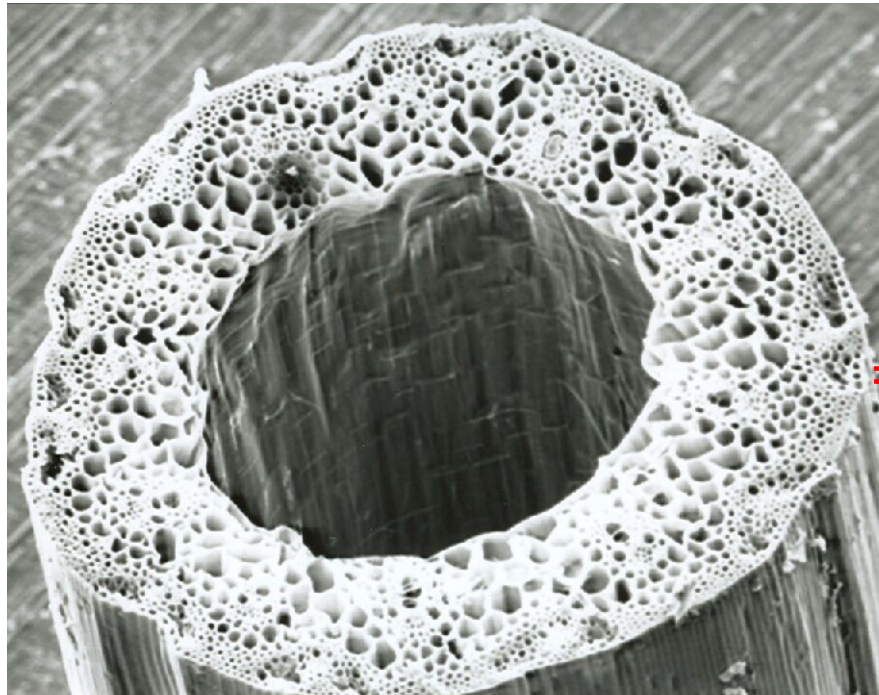
(+)

- nie można ich zdefiniować w sposób prosty, a jednocześnie całkowicie jednoznaczny,

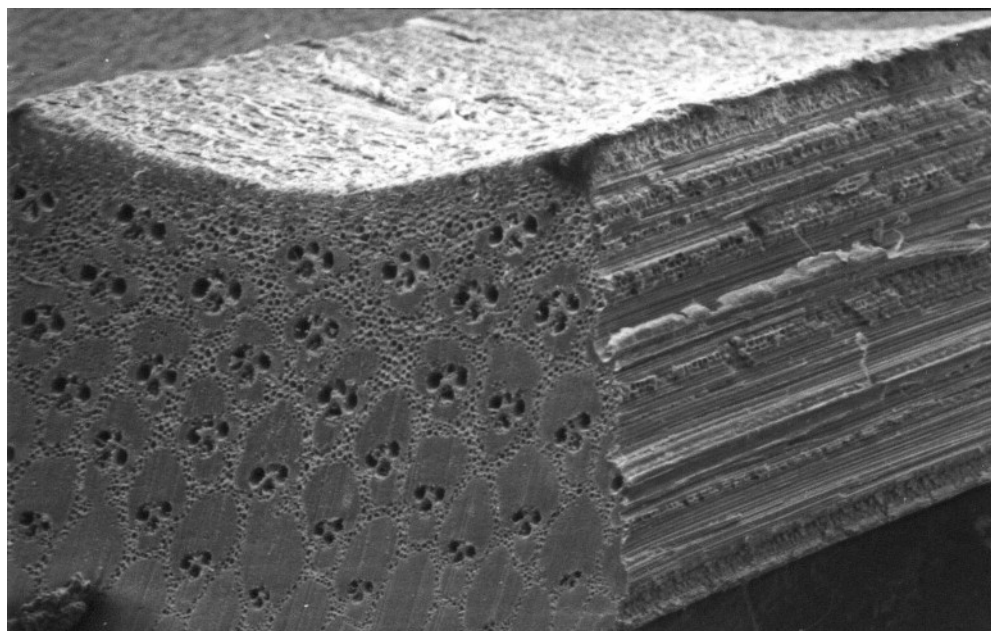
Kompozyt jest to materiał utworzony z co najmniej ***dwóch komponentów*** (faz) o różnych właściwościach w taki sposób, że ma właściwości lepsze od możliwych do uzyskania w każdym z komponentów osobno oraz lepsze niż wynik prostego ich sumowania.

(wg M. Blicharskiego, również słownik PWN)

- ***materiały wielofazowe*** (zwykle dwufazowe),
 - najczęściej wyróżniamy:
 - ***osnowa kompozytu*** (faza ciągła i otaczająca cząstki innej fazy nazywanej umacniającą),
 - ***faza umacniająca*** o różnej geometrii i względnej ilości, otoczona osnową,
 - istotne znaczenie ma ***wytrzymałość granic międzyfazowych*** (pryczepność, kohezja),
- ***kompozyty naturalne*** „stworzyła przyroda” (na drodze ewolucji),
 - wszędzie tam gdzie warunkiem istnienia było przenoszenie dużych obciążeń,
 - łodygi roślin, gałęzie i pnie drzew,
 - kości zwierząt, ptaków oraz człowieka,
 - mięśnie,



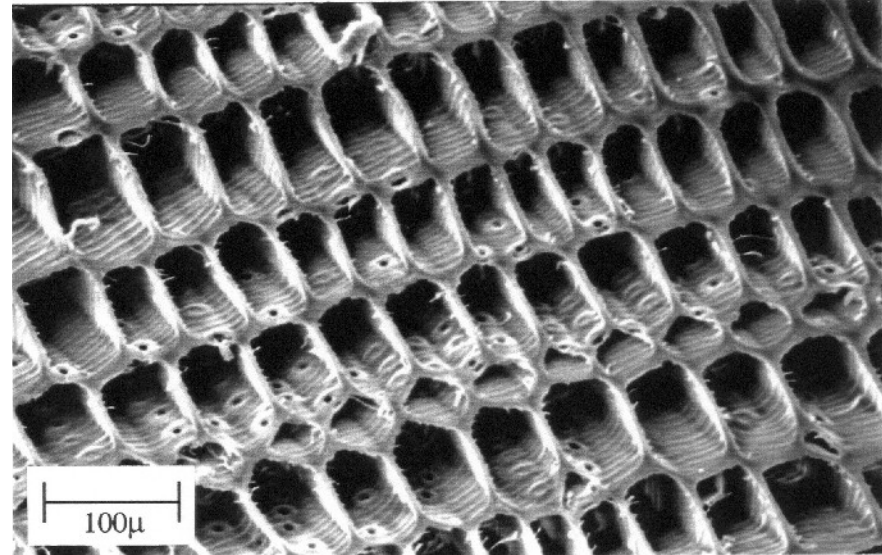
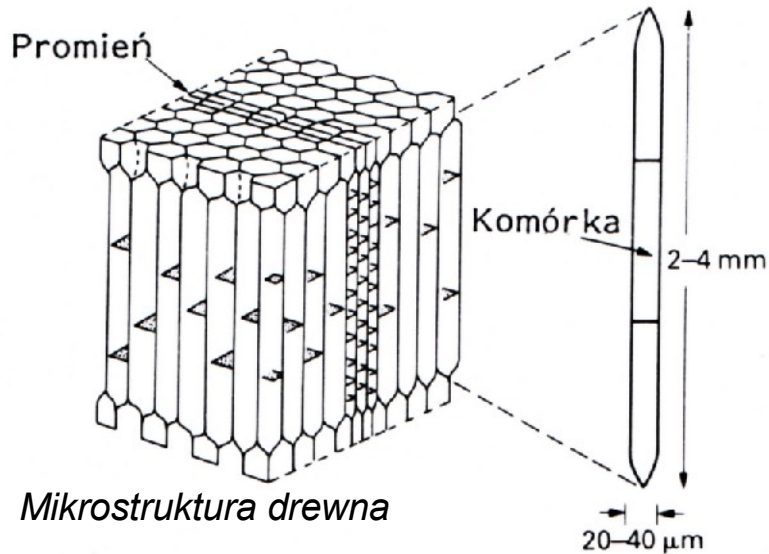
łodyga trawy



ścianka bambusa

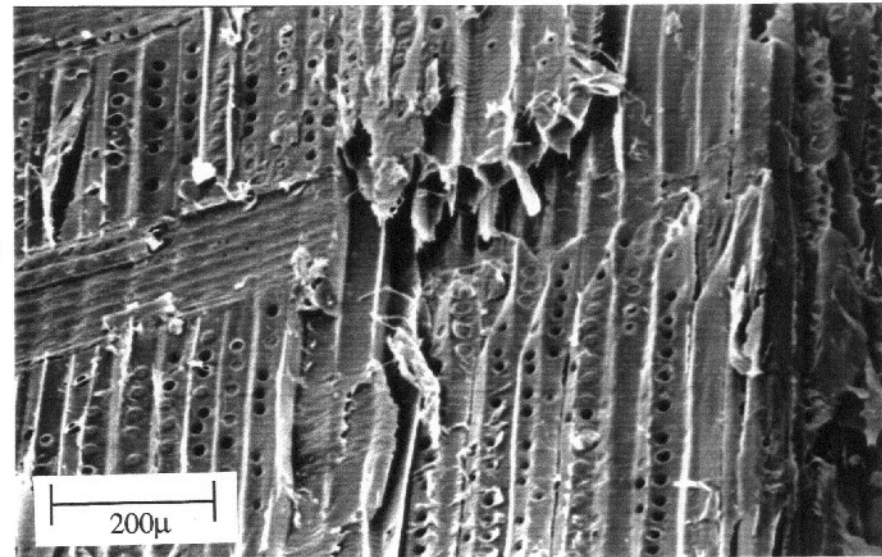
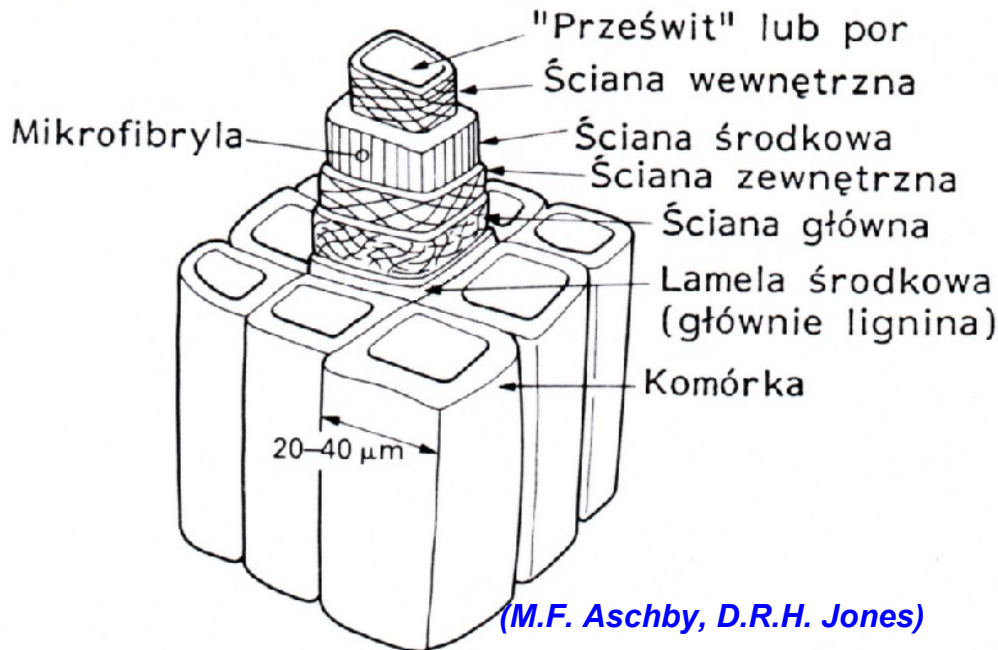
Drewno

(-+)



przekrój poprzeczny

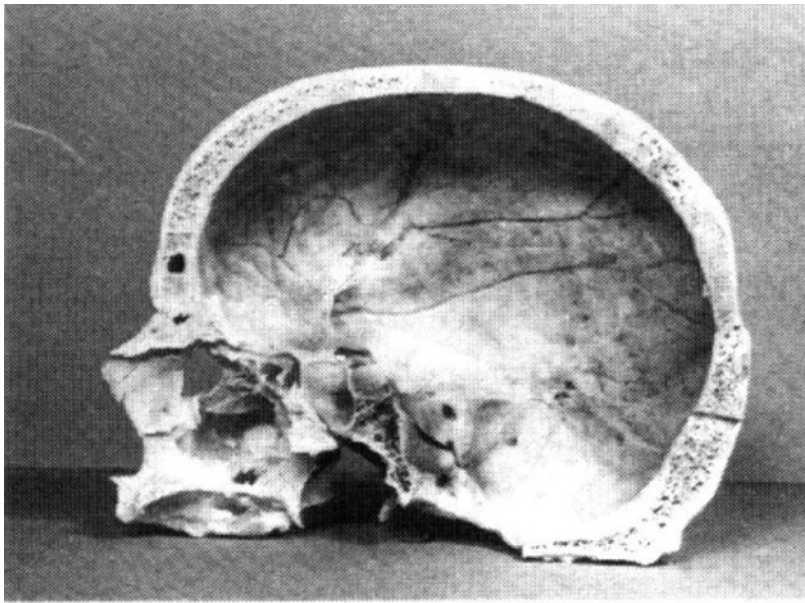
świerk norweski



przekrój wzdłużny

Struktura ścianki komórki drewna
(włókna celulozy w osnowie hemicelulozy i ligniny)

(web.mit.edu/dmse/csg/recent.html)

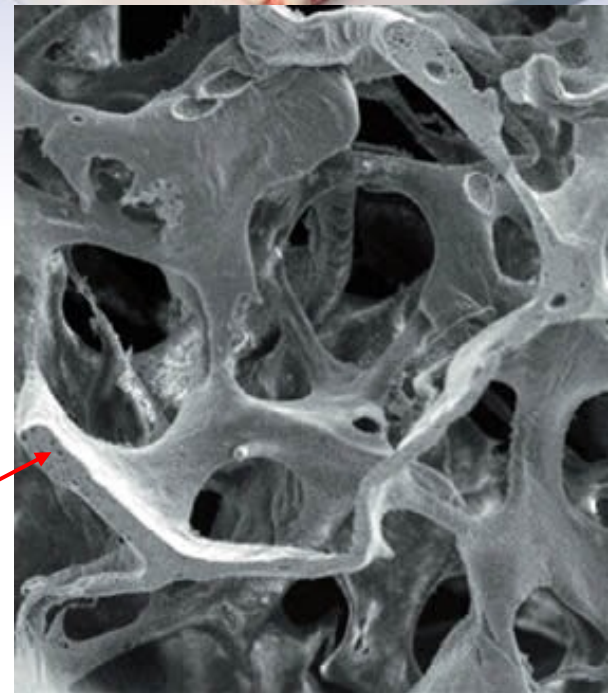
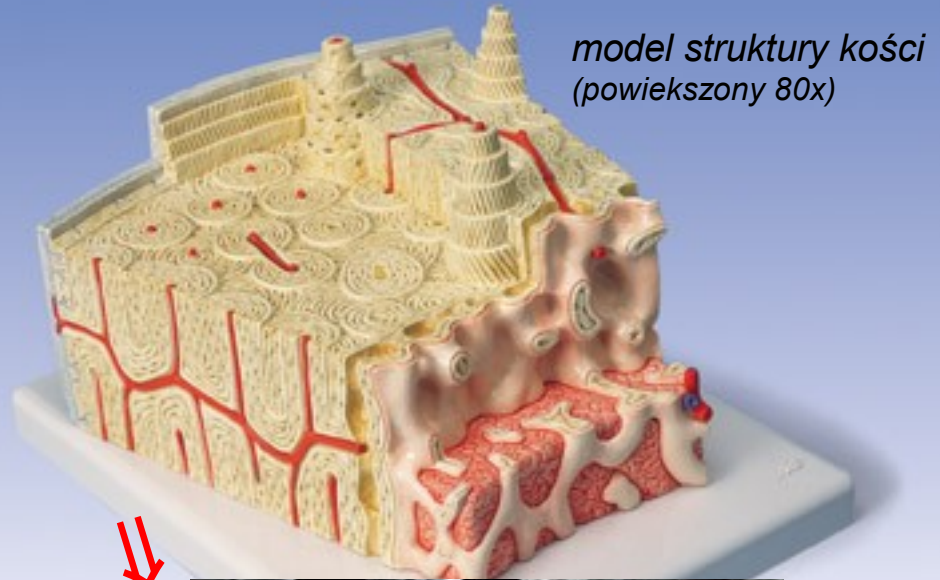


czaszka ludzka oraz kość skrzydła ptaka jako przykład konstrukcji typu „sandwich”

struktura piankowa o ściankach z kompozytu włóknistego

(www.jintai100.com/products/A79.html)

(-+)



([http://web.mit.edu/dmse/csg/recent.html#Natural cellular materials](http://web.mit.edu/dmse/csg/recent.html#Natural%20cellular%20materials))

(www.brsoc.org.uk/osteobw.htm)

• **kompozyty sztuczne** są wytwarzane od tysięcy lat, np:

- suszona na słońcu gliniana cegła wzmocniana słomą i końskim włosiem,
 - asfalt naturalny wzmocniany słomą, końskim włosiem, tkaninami itp.,
 - polska kopia husarska (ok. 5 m długości, sklepane wydrążone połówki z drewna osiki owijane następnie pasmami włókien i rzemieni nasączanych klejem),
- najczęściej celem tworzenia kompozytu jest **podwyższenie własności mechanicznych**:
- sztywności,
 - wytrzymałości,
 - odporności na pękanie,
 - odporności na ścieranie,
- różnorodność celów tworzenia kompozytów jest bardzo duża, np:
- obniżenie ciężaru,
 - obniżenie kosztów,
 - obniżenie modułu sprężystości, np. pianki (polimer + powietrze),
 - zmiana przewodności cieplnej i elektrycznej,
 - zmiana współczynnika rozszerzalności cieplnej,

1. poziom klasyfikacji ze względu na materiał osnowy

MATERIAŁY KOMPOZYTOWE

kompozyty o osnowie metalowej
MMCs (metal-matrix composites)

kompozyty o osnowie międzymetalicznej
IMCs (intermetallic-matrix composites)

kompozyty o osnowie ceramicznej
CMCs (ceramic-matrix composites)

kompozyty o osnowie organicznej
OMCs (organic-matrix composites)

kompozyty o osnowie węglowej (carbon-matrix composites) często nazywane kompozytami węglowo-węglowymi CCCs (carbon-carbon composites)

kompozyty o osnowie polimerowej
PMCs (polymer-matrix composites)

2. poziom klasyfikacji ze względu na rodzaj składników wzmacniających

(+-)

MATERIAŁY KOMPOZYTOWE

kompozyty wzmacniane cząstkami

duże cząstki

utwardzane dyspersyjnie

kompozyty wzmacniane włóknami

włókna ciągłe

tkaniny

włókna nieciągłe

zorientowane

rozmieszczone przypadkowo

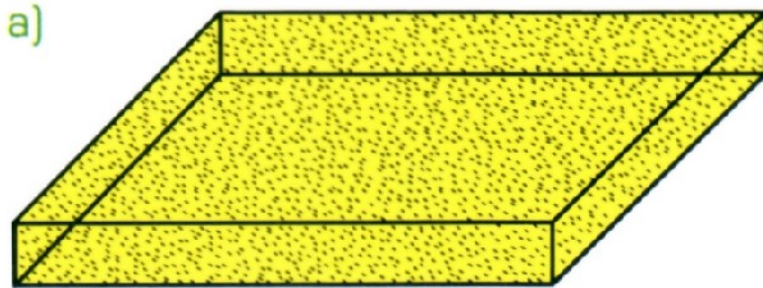
kompozyty strukturalne

warstwowe

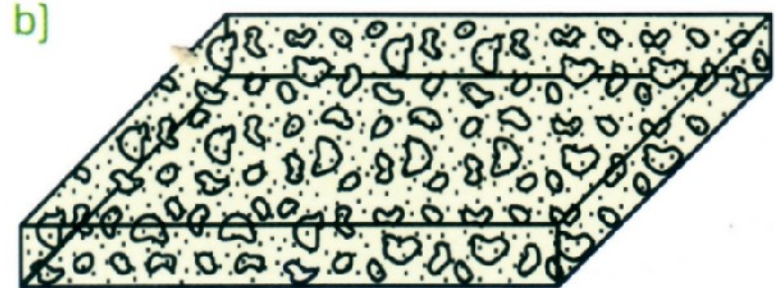
z rdzeniem z materiałów lekkich

• przykłady elementów wzmacniających materiały kompozytowe

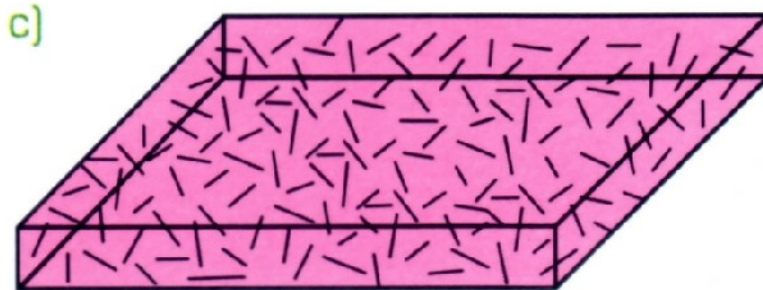
(+)



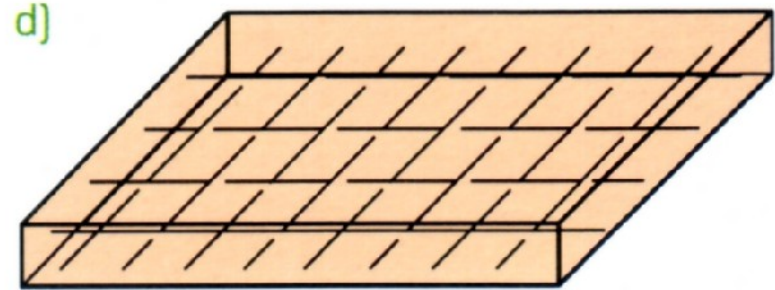
cząstki o różnym stopniu dyspersji



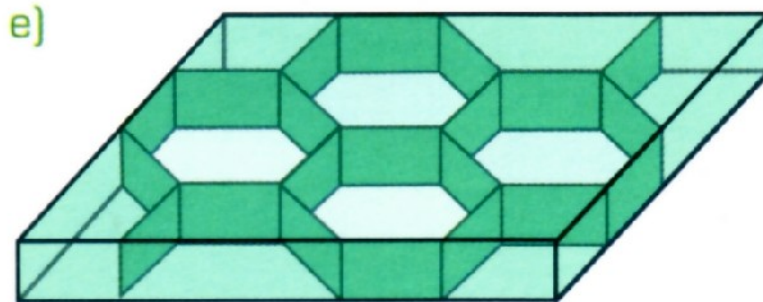
płatki (różna wielkość i materiały)
(płytki szklane, talk, mika)



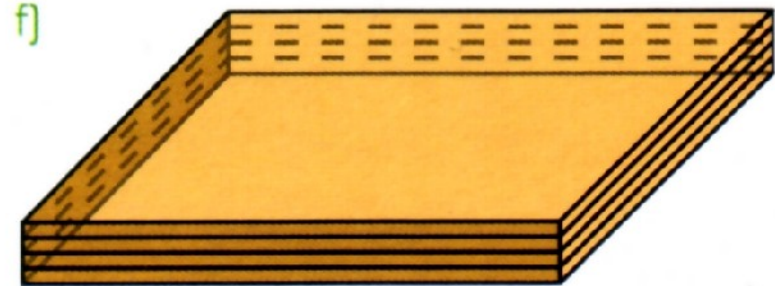
włókna nieciągłe (szklane, węglowe)



włókna ciągłe (jednokierunkowe, tkaniny, maty)
(szklane, węglowe, aramidowe itd.)



szkieletowo (w konstrukcjach typu „sandwich”)



warstwowo w laminatach

- **cząstki wzmacniające stosowane w kompozytach polimerowych**,
(w nomenklaturze tworzyw sztucznych używany jest termin „**napełniacze**”)
 - **napełniacze mineralne** – najczęściej ziarna lub kulki $> 1 \mu\text{m}$,
 - zmielona kreda, kamień wapienny, marmur, strącany węglan wapnia ($< 0,7 \mu\text{m}$),
 - mączka kwarcowa, kaolin, skaień, wodorotlenek glinu, krzemionka,
 - **napełniacze kuliste** (poprawiają płynięcie tłoczyw, zmniejszają skurcz, zwiększają trwałość kształtu),
 - pełne kulki szklane ($< 50 \mu\text{m}$) – poprawiają też E , R_m , R_c , twardość ,
 - puste kulki popiołów lotnych ($5\div 250 \mu\text{m}$) – duża odporność na ściskanie, zmniejszenie masy wyrobu,
- **włókna wzmacniające nieciągłe stosowane w kompozytach polimerowych**,
 - rozdrobnione włókna drzewne ($< 150 \mu\text{m}$ średnicy),
 - krajanka włókien na bazie celulozy, sizalu, juty,
 - włókna szklane, coraz częściej węglowe,
 - włókna polimerowe: PAN, PET, PVC, PA6 itp.
- **włókna wzmacniające ciągłe stosowane w kompozytach polimerowych**,
 - włókna szklane (rowing, tkaniny, izotropowe maty) – niskoalkaliczne E , wysokowytrzymałe S ,
 - włókna węglowe (rowing, tkaniny, rzadziej izotropowe maty) – duża różnorodność gatunków i ceny,
 - włókna aramidowe (Kewlar) – rowing, tkaniny,
 - mieszanki włókien (szklane-węglowe, szklane-aramidowe, węglowe-aramidowe),
 - włókna polimerowe (PAN, PET, PVC, PA6, PA66),

włókna stosowane w kompozytach polimerowych

Nazwa handlowa	Nazwa ogólna	Producent	Skład	Gęstość ρ , g/cm ³	Moduł sprężystości wzdluznej E , GPa	Wytrzymałość na rozciąganie R_m , MPa	Moduł sprężystości właściwy $E/(g \cdot \rho)$, Mm	Wytrzymałość właściwa $R_m/(g \cdot \rho)$, km	Wydłużenie, %	Współczynnik rozszerzalności cieplnej, 10 ⁻⁶ /K	Średnica włókna, μ m	Maksymalna temperatura pracy, °C	Szacowane koszty, USD/kg
Włókna naturalne													
...	Kenaf	Kafus	63% celulozy	1,52	90	1000	6	67	2	150	0,5÷1
Włókna szklane tlenkowe													
...	szkło E	Owens-Corning, PPG, Vetrotex	borokrzemian	2,54	76 +79	3100 +3800	3,1 +3,2	124 +153	4,8	5	5÷20	500	1,5÷4
...	szkło S	Owens-Corning, Vetrotex, Nittobo	krzemian magnezowo-aluminiowy	2,48	88 +91	4400	3,6 +3,7	181	5,7	2,9	5+10	750	10 +13
astrokwarec	kwarc	Vetrotex	krzemionka 99,999%	2,15	69	3400	3,3	161	5	0,5	9	1050	260
Włókna aramidowe													
Technora T-200	o niskim module	Teijin	poli- <i>p</i> -fenyleno-tereftalamid (aramid)	1,39	70	3000	5,1	220	4,4	...	12	160	20
Twaton	o średnim module	Akzo		1,45	121	3100	8,5	218	2	3,5	12	160	...
Kevlar 149	o wysokim module	DuPont		1,47	179	3500	12,4	243	2	-2	12	160	...
Włókna węglowe i grafitowe													
Panex	o średnim module	Zoltek	węgiel	1,74	228	3600	13,4	211	1,5	...	8	500	20
Torayca T1000	o wysokiej wytrzymałości	Toray	węgiel	1,82	294	7100	16,5	398	2,4	...	7	500	...
Thornel K-100X	o bardzo wysokim module	BP Amoco	węgiel	2,18	966	3100	45,2	145	0,3	-1,5	10	500	...

najniższa cena, tańsze od polimeru

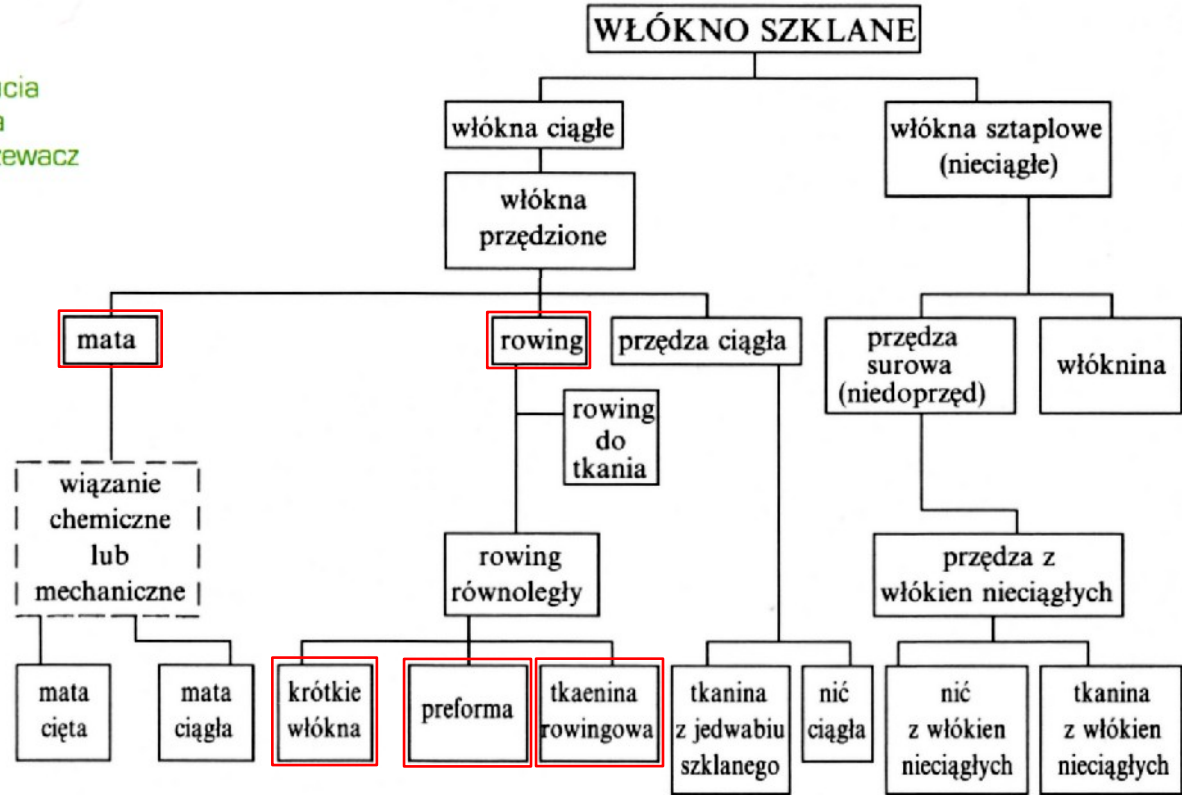
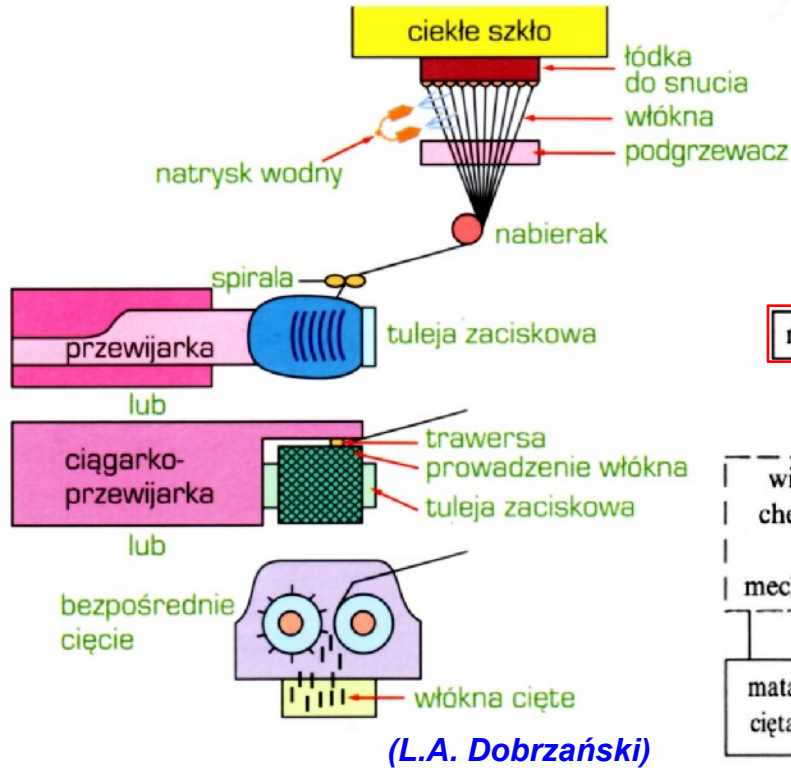
~ 10 \$/kg w 2007

(L.A. Dobrzański)

• schemat wytwarzania włókna szklanego

• przegląd produktów wytworzonych z włókna szklanego

(-+)



• wybrane rodzaje włókien szklanych:

- E** - włókna ze szkła niskoalkalicznego, odporne na korozję, niska przewodność elektryczna,
- S** - włókna o wysokiej wytrzymałości,
- M** - włókna o wysokim module sprężystości,
- C** - włókna o wysokiej trwałości chemicznej,

(H. Saechtling)

• schemat wytwarzania włókna węglowego

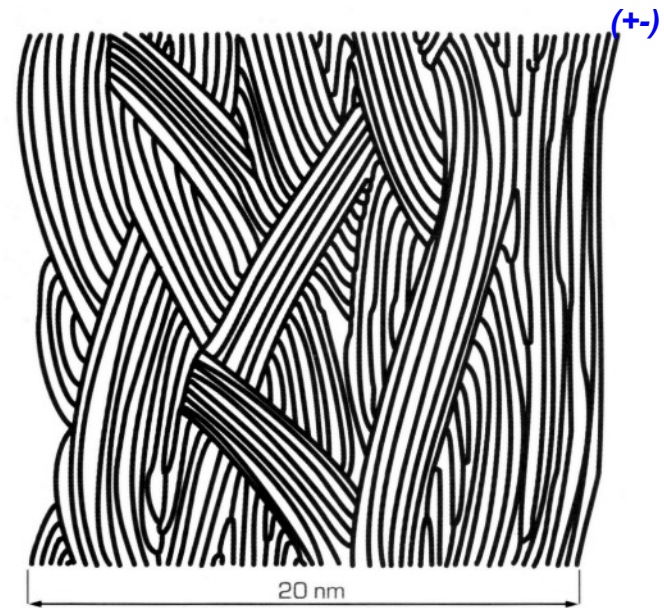
*(w wyniku pirolizy następuje
zwęglenie prekursorów)*



(L. A. Dobrzański wg D.R. Askelanda)

prekursory (produkty wyjściowe) do produkcji włókien węglowych:

- najczęściej włókna PAN (poliakrylonitryl),
- smoła,
- sztuczny jedwab, lignina, różne pochodne celulozy,
- fenol, imidy, amidy, polimery winylu,

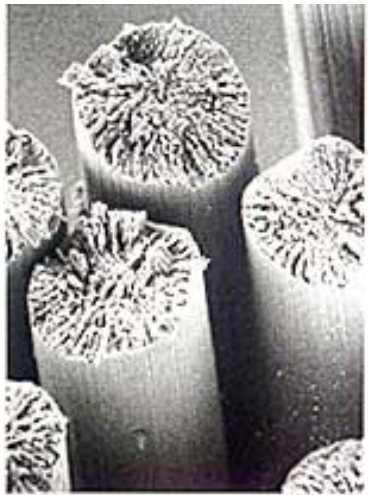


**Schemat wstęgi włókien węglowych
wytwarzanych z PAN**

(L. A. Dobrzański wg R.J. Diefendorfa)



Szpula rowingu – postać handlowa



X1,500

SEM



X3,000

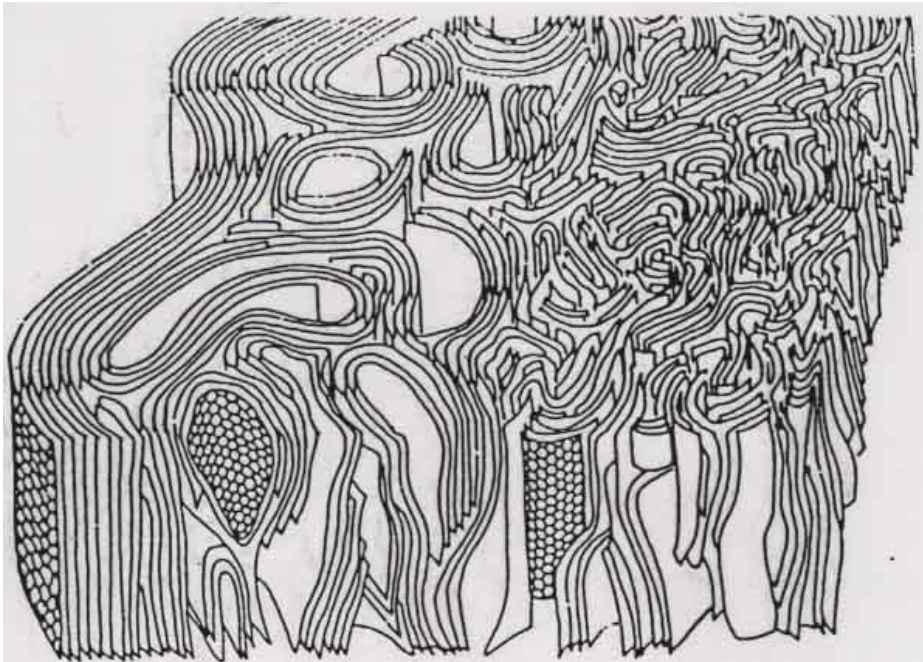


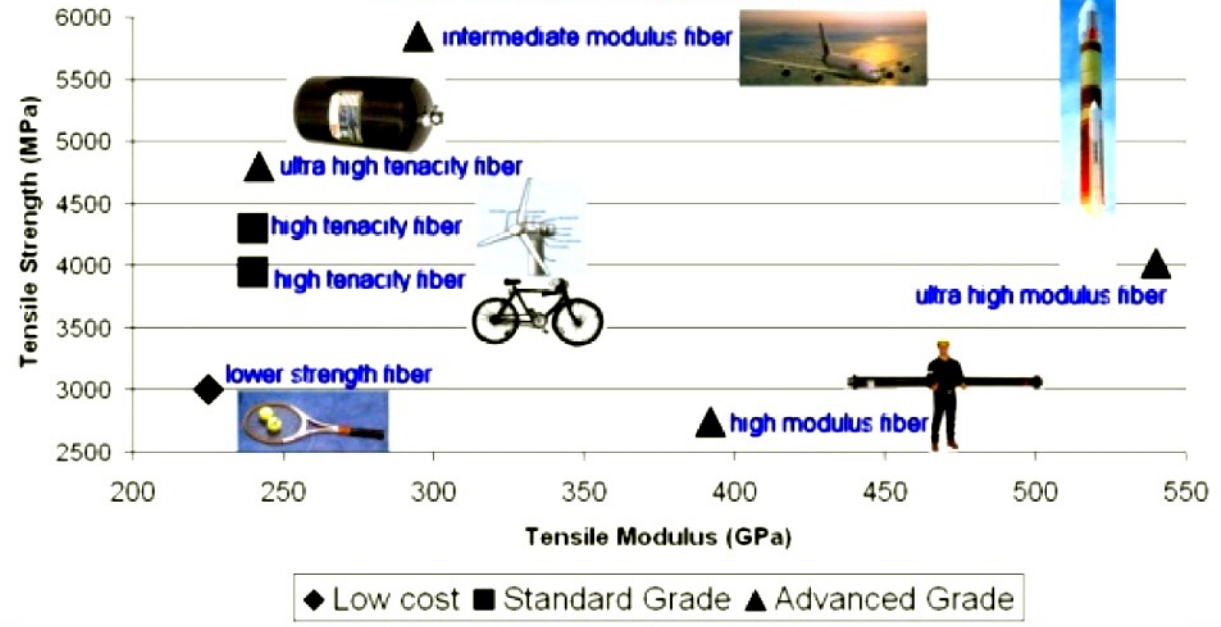
Fig 2 Schematic model of transverse structure in Type I PAN-based carbon fibre with skin/core heterogeneity



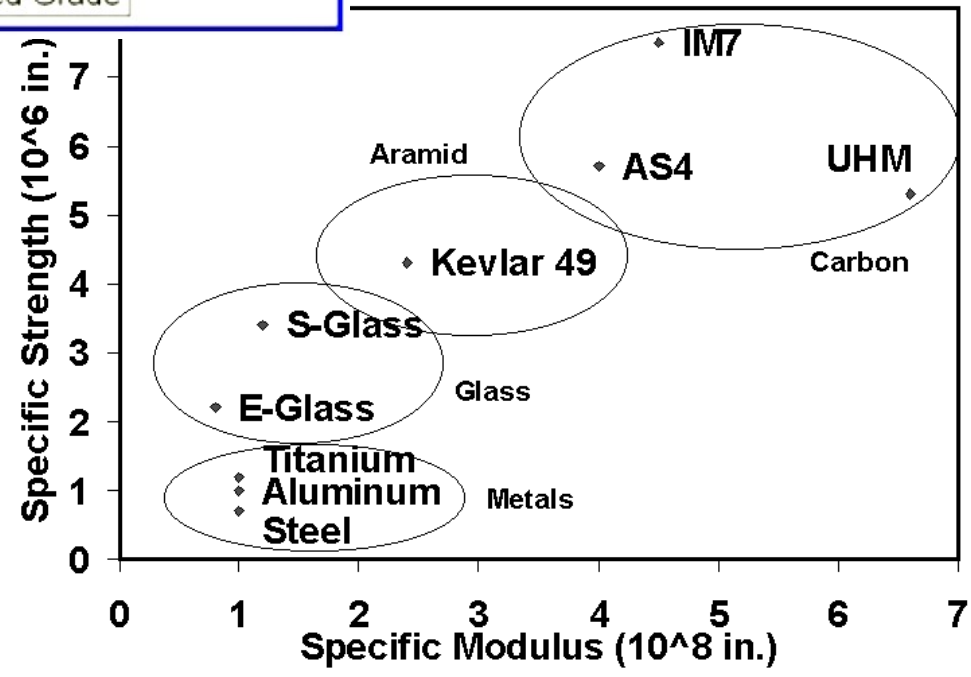
X20,000

SEM

Mechanical Properties of PAN based Carbon Fibers & some typical applications.



(Vince Kelly, www.carbon-fiber.com)

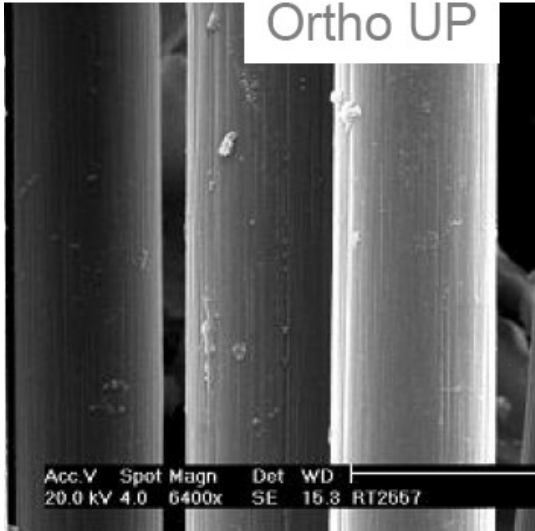


• jakość połączenia włókna węglowego z osnową (różne żywice duroplastyczne),

(-)

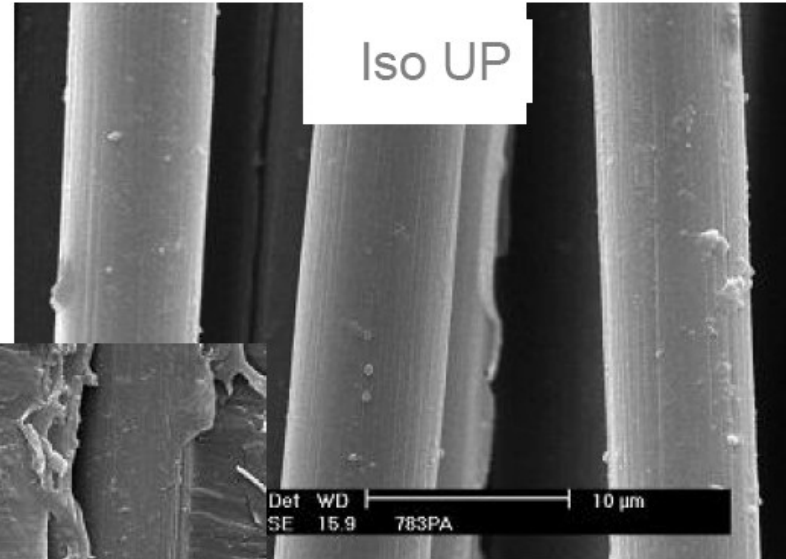
- przełomy z prób rozciągania poprzecznego do włókien,

Ortho UP



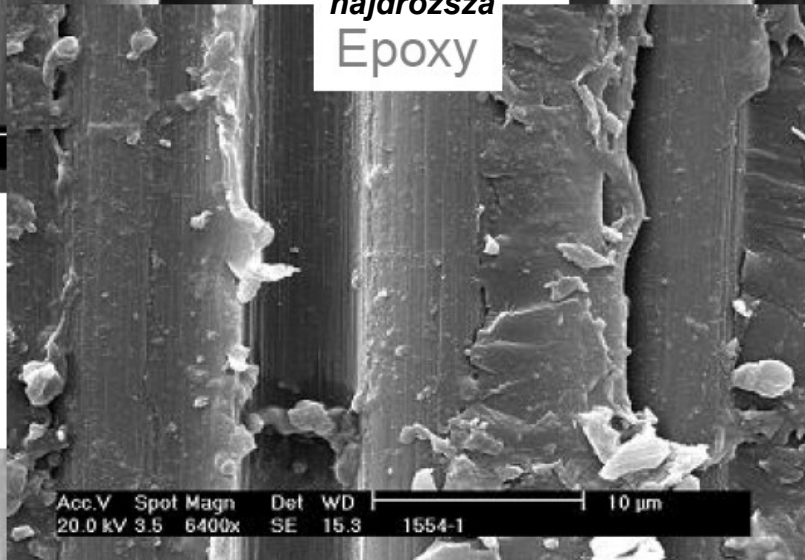
Acc.V Spot Magn Det WD
20.0 kV 4.0 6400x SE 15.3 RT2657

Iso UP



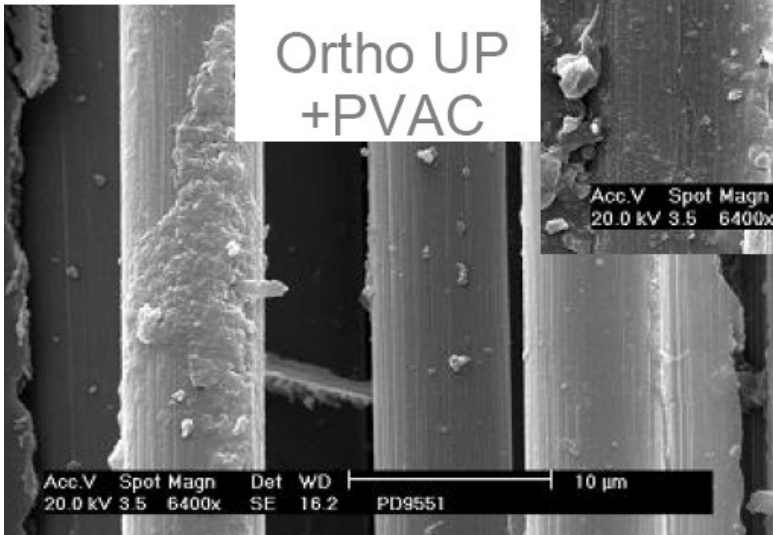
Det WD |-----| 10 µm
SE 15.9 783PA

najdroższa
Epoxy



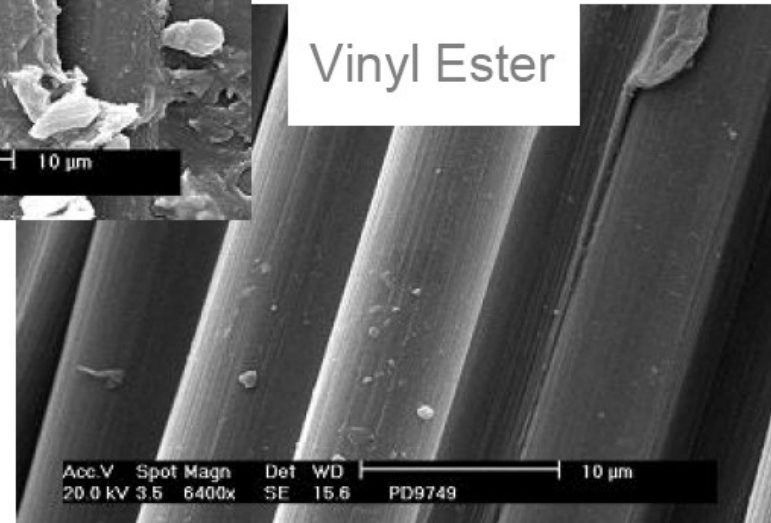
Acc.V Spot Magn Det WD |-----| 10 µm
20.0 kV 3.5 6400x SE 15.3 1554-1

Ortho UP
+PVAC



Acc.V Spot Magn Det WD |-----| 10 µm
20.0 kV 3.5 6400x SE 16.2 PD9551

Vinyl Ester

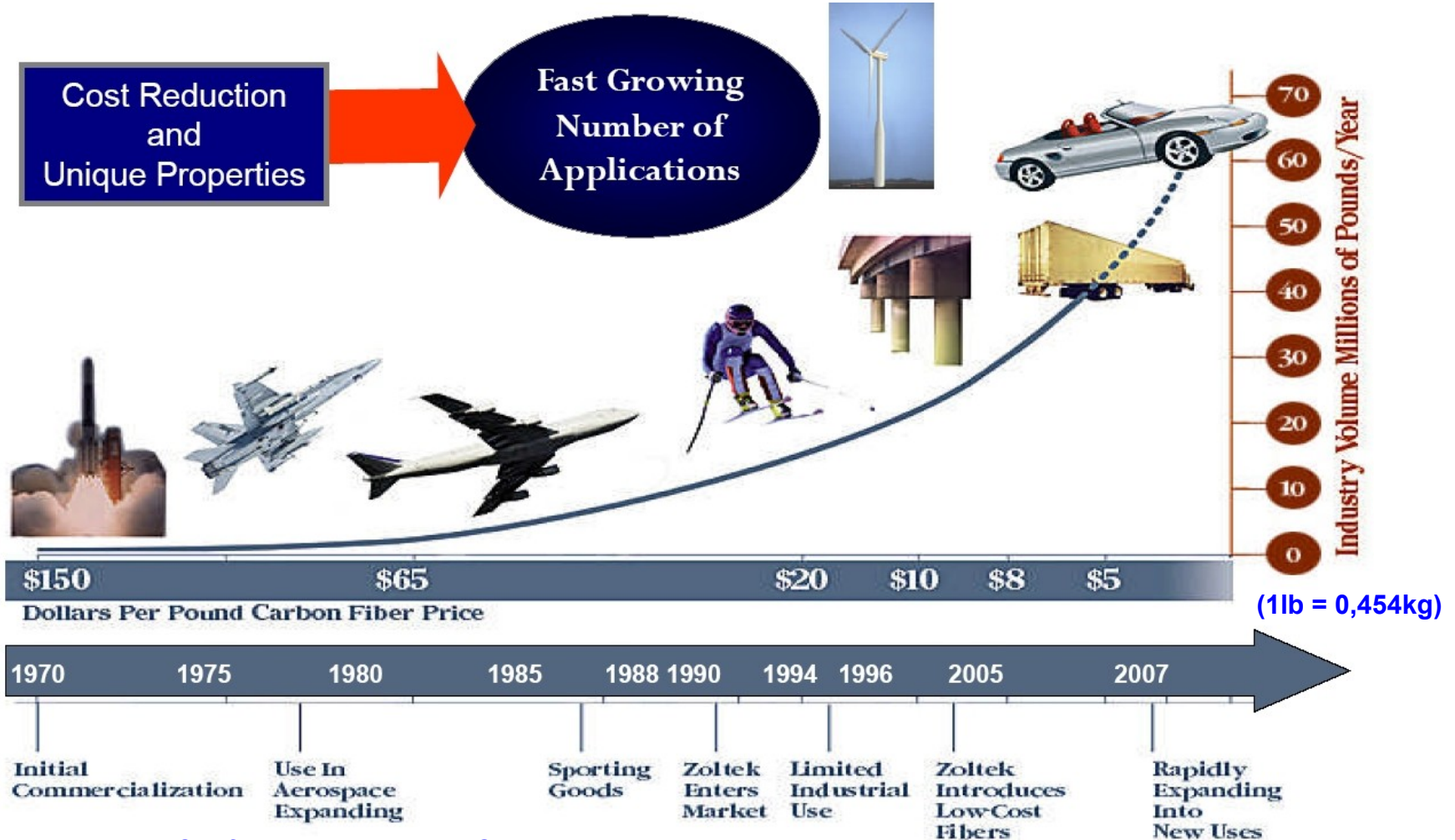


Acc.V Spot Magn Det WD |-----| 10 µm
20.0 kV 3.5 6400x SE 15.6 PD9749

(ALBOS Programme, N.A. Warrior, University of Nottingham)

Obecnie rozpoczyna się gwałtowny wzrost produkcji i zastosowania włókien węglowych

- rok 2005 ogłoszono (w znaczących kręgach producentów) *rokiem włókna węglowego*, (+-)
- początek wielkich inwestycji oraz kontraktów
(np. amerykański ZOLTEK COMPANIES, INC. zainwestował ok. 100 mln \$ na Węgrzech),
- „*czarne złoto lekkich konstrukcji*” – termin używany ostatnio w Niemczech,
- prognozuje się cenę odmian „low cost” na poziomie ok. **10\$/kg w 2007 roku**,



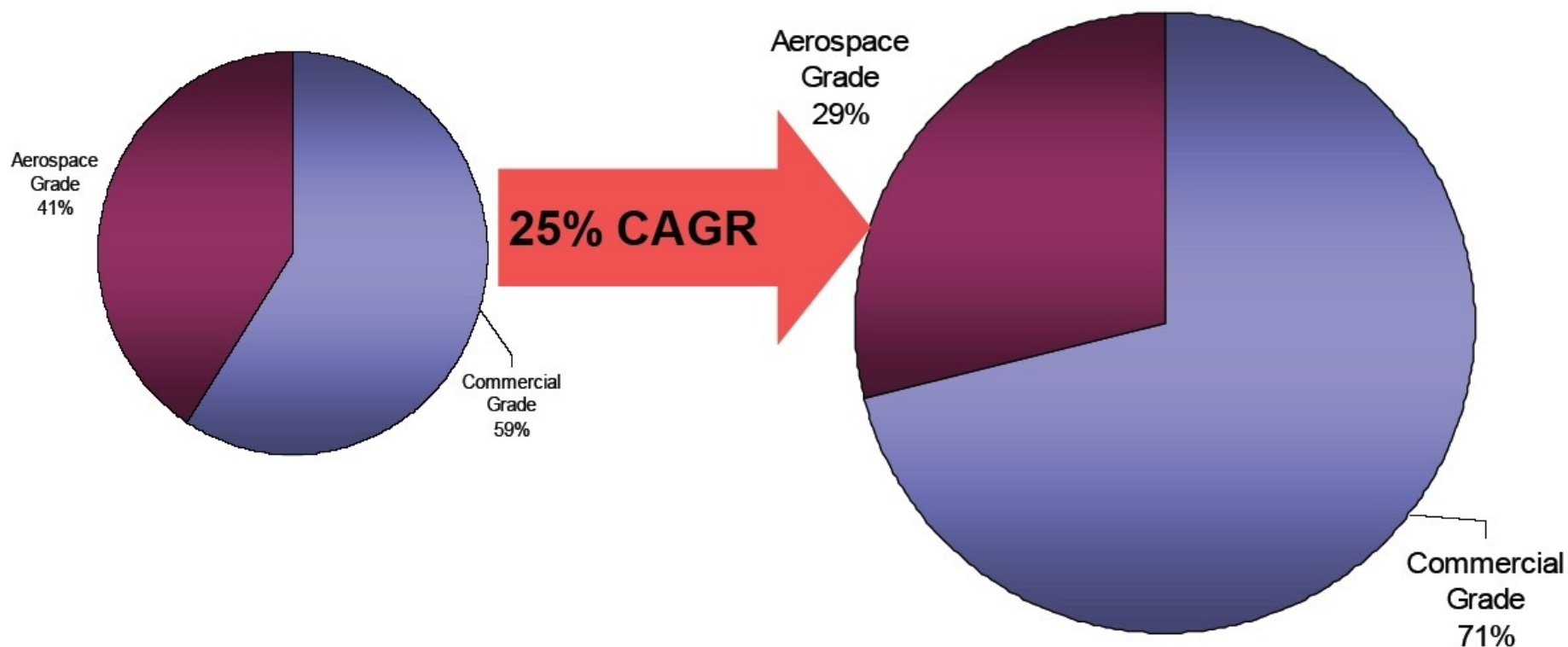
(Carbon Fiber 2006 Conference, Budapest, October 2006)

(www.zoltek.com)

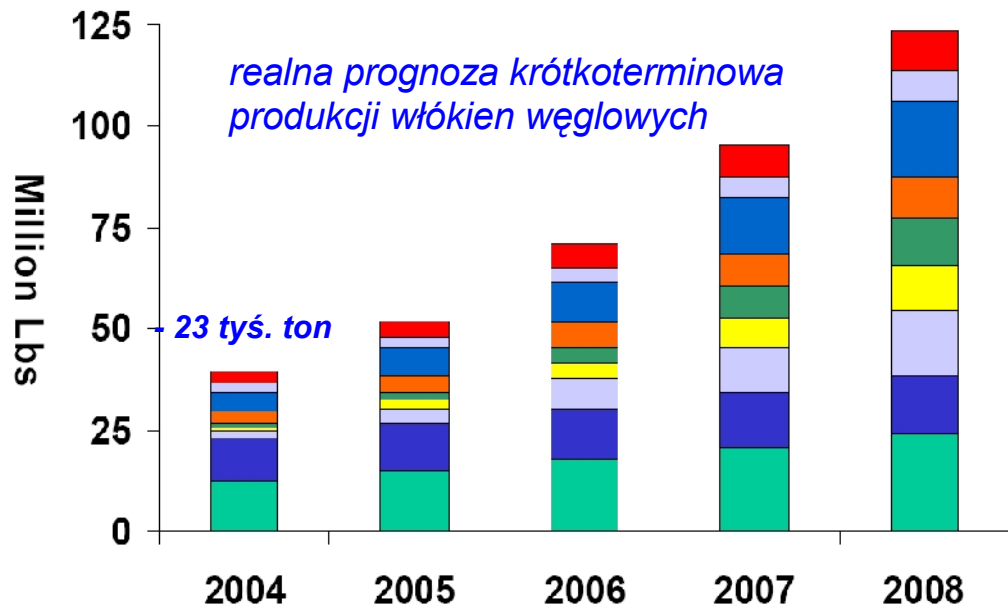
- gwałtowny wzrost oraz postępujące rozproszenie rynku włókien węglowych: (-)

2006 – \$880 million Market

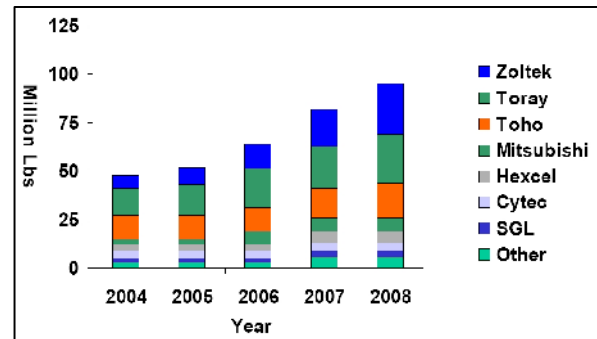
2010 – \$2 billion Market



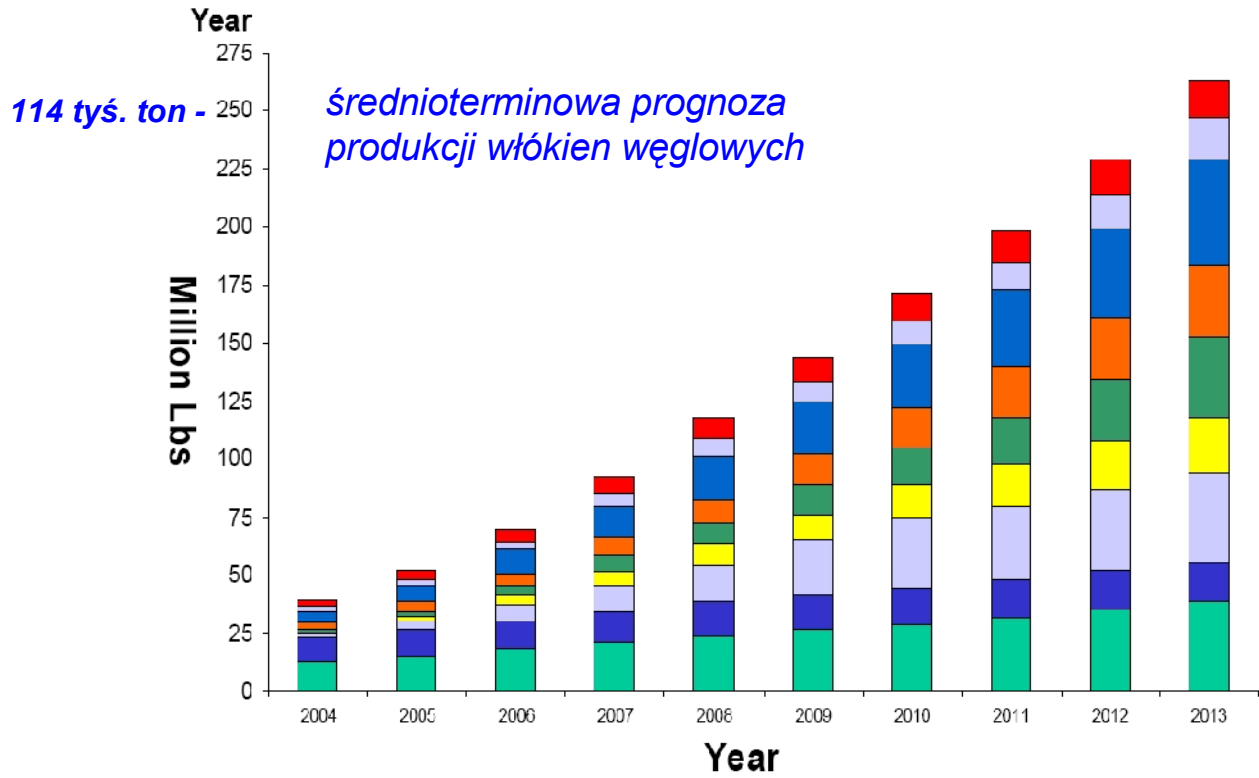
CAGR - Compound Annual Growth Rate
(roczna składana stopa wzrostu - GUS)



- Thermoplastic / Electronics
- Transportation / Marine
- Industrial
- Infrastructure / Construction
- Automotive
- Oil/Off-shore Drilling
- Alternate Energy / Wind Energy
- Sporting Goods
- Aircraft / Aerospace



Zoltek – na tle innych producentów



- Thermoplastic / Electronics
- Transportation / Marine
- Industrial
- Infrastructure / Construction
- Automotive
- Oil/Off-shore Drilling
- Alternate Energy / Wind Energy
- Sporting Goods
- Aircraft / Aerospace

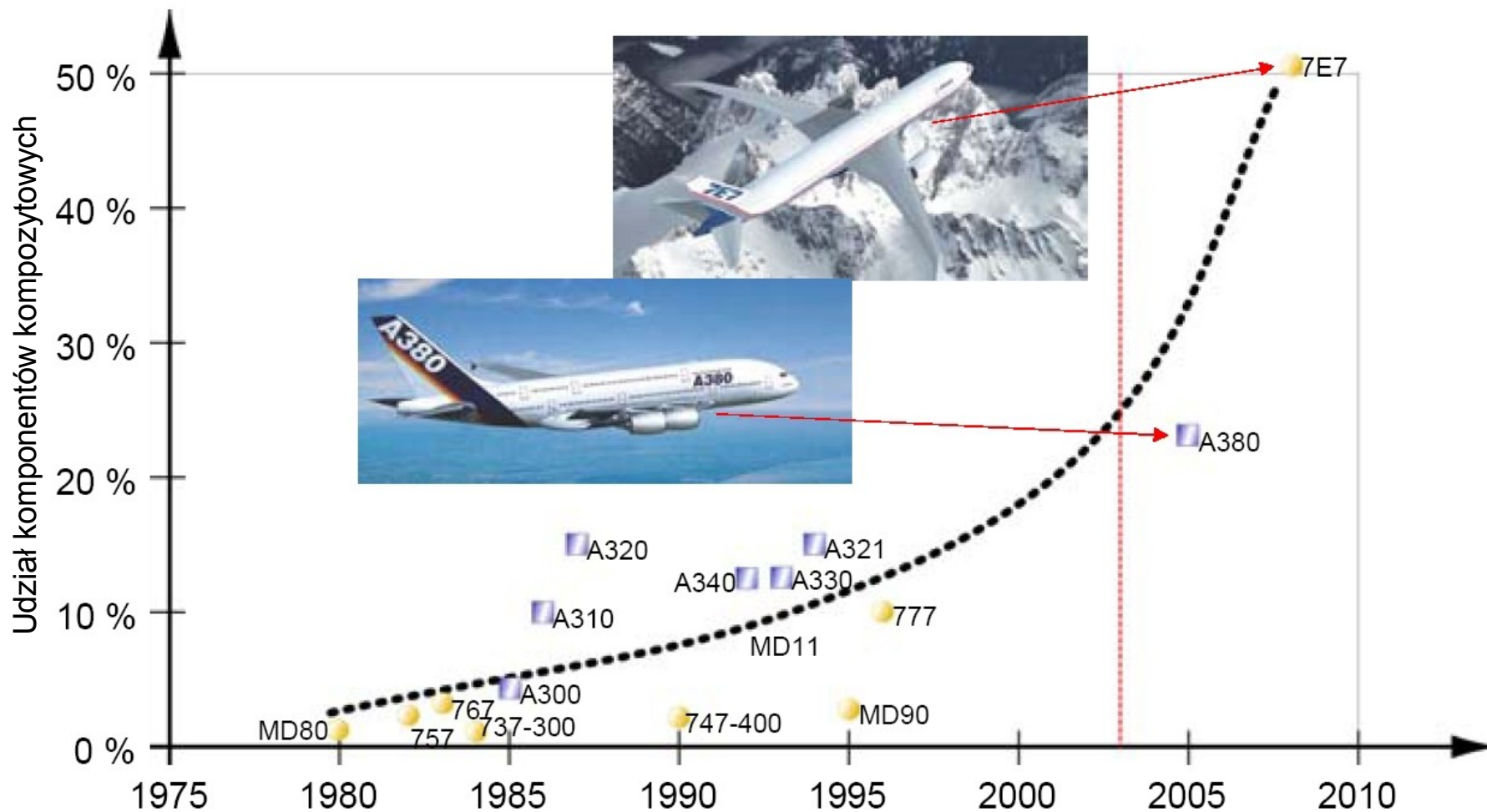
• przyczyny gwałtownego wzrostu zapotrzebowania na włókna węglowe:

a) tradycyjnie przemysł lotniczy (ogólnie wzrost o ok. **50%** w okresie 2004÷2008),

- wzrost udziału kompozytów węglowych w wielkich konstrukcjach: (+)

- Airbus A-380, A-350 ⇒ ok. **50%**,

- Boeing B-787 ⇒ ok. **60%**,



(wg DLR Braunschweig)

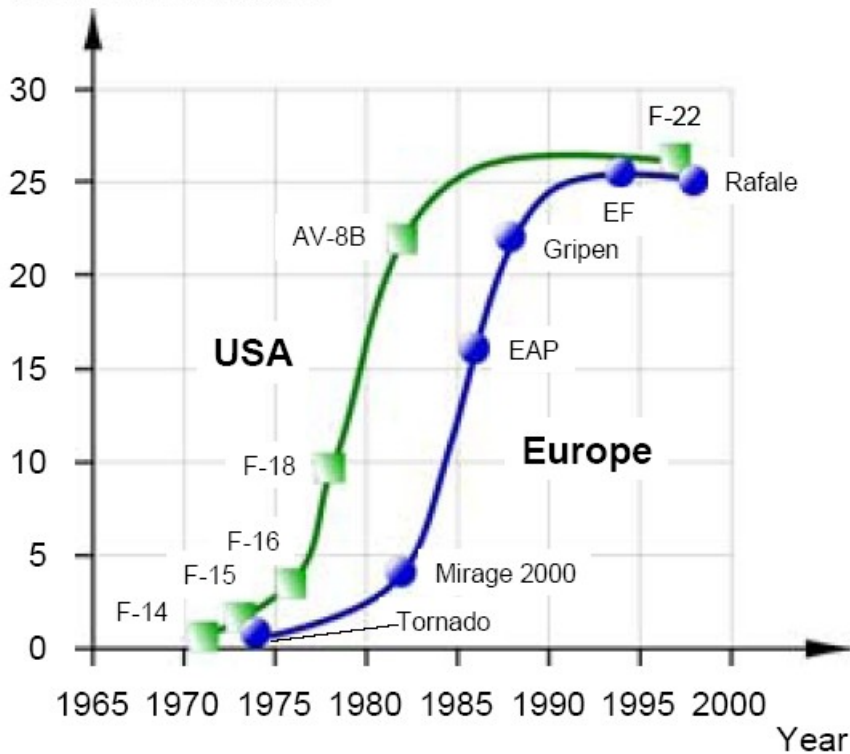
(EADS Deutschland GmbH, Corporate Research Centre)

Year

- wzrost udziału kompozytów w samolotach bojowych,

- CFRP
- Aluminium
- Titanium
- GFRP
- Aluminium-casting

Fibre Composite
% of Structural Mass



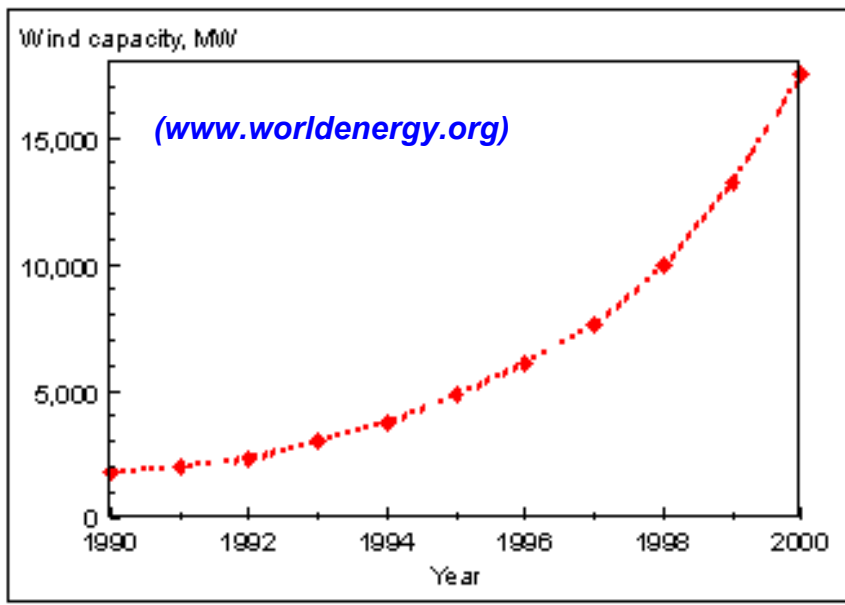
composite parts of the Eurofighter

b) **siłownie wiatrowe** – nowe inwestycje w produkcję seryjną oraz prototypy,

- włókna węglowe umożliwiają konstrukcje odpowiednio duże i lekkie (wydajność)
- (prototypy turbin wiatrowych o mocy powyżej 3.5 MW oraz średnicz wirnika 100÷120 m),



Offshore
(2000/2001)



- w roku 2000:
 Dania – powyżej 2 000 MW
 Niemcy – powyżej 6 000 MW
 Świat – ok. 18 000 MW

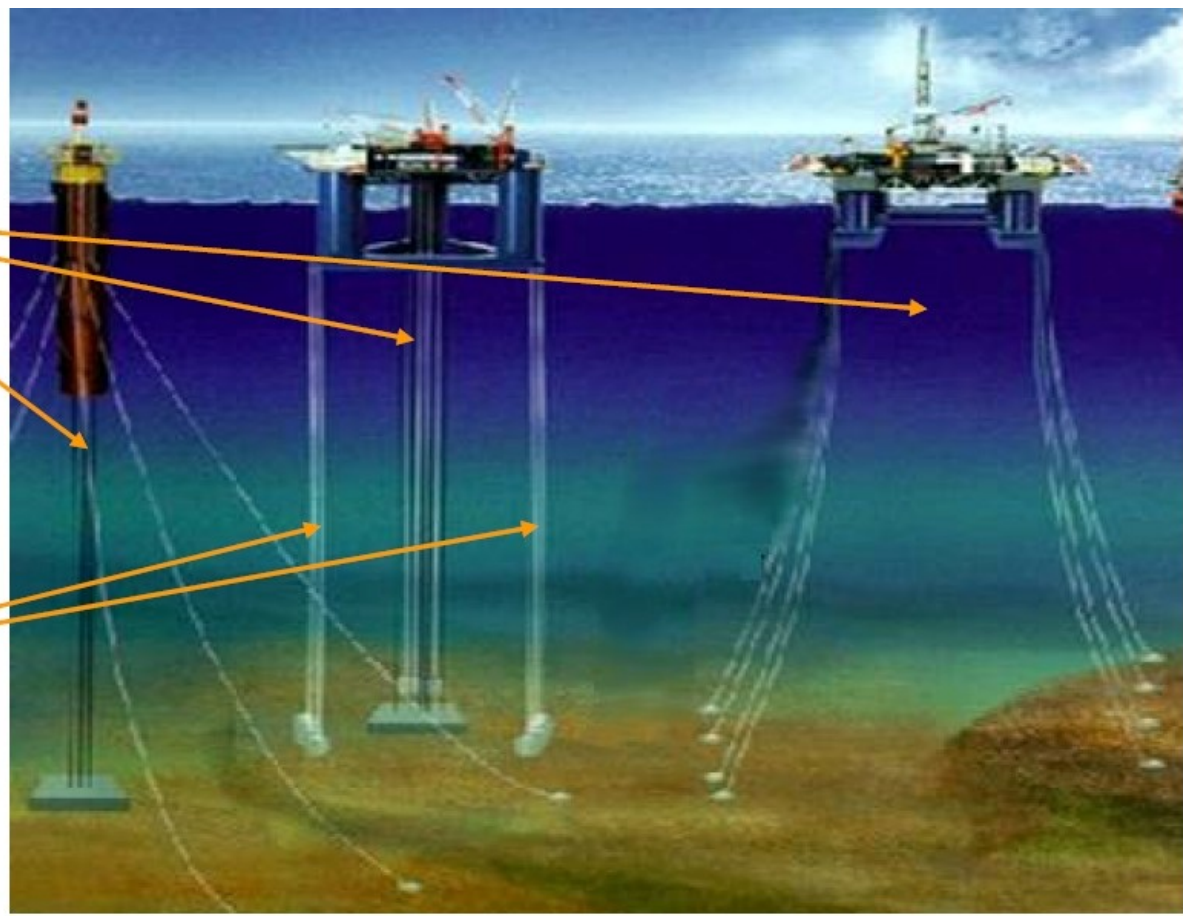
Koszty uzyskiwania energii:
(w małych siłowniach o wydajności ~ 10 KW)

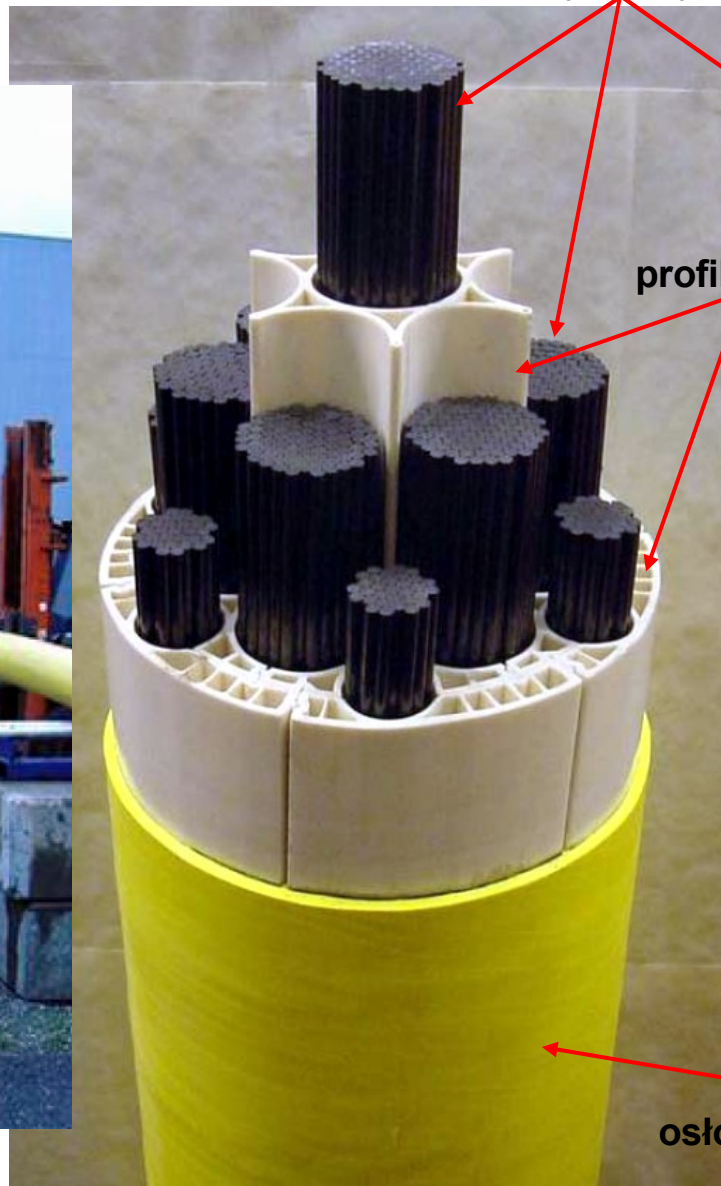
Micro-Hydro	~ US\$ 0.21/kWh
Wind	~ US\$ 0.48 /kWh
Diesel	~ US\$ 0.80/kWh
Sieć energet.	~ US\$ 1.02/kWh

- farma wiatrakowa w pobliżu Kopenhagi,
 - 20 turbin, każda o mocy 2 MW,
 - piasta na wysokości 60 m,
 - rotor o średnicy 76 m,
 - ale tylko 3% zapotrzebowania Kopenhagi,

c) eksploatacja ropy i gazu z dna morskiego – elementy platform,

- eksploatacja na dużych głębokościach ⇒ problem ciężaru rur, lin kotwiczących i kabli zasilających,
- wdrażany prototyp 2006 (Zoltek Companies oraz Aker Kvaerner) platformy do wydobywania z 2600 m (ciężar elementów, ok. 10 000 ton stali, zmniejszono o 53% dzięki włóknom węglowym) ,





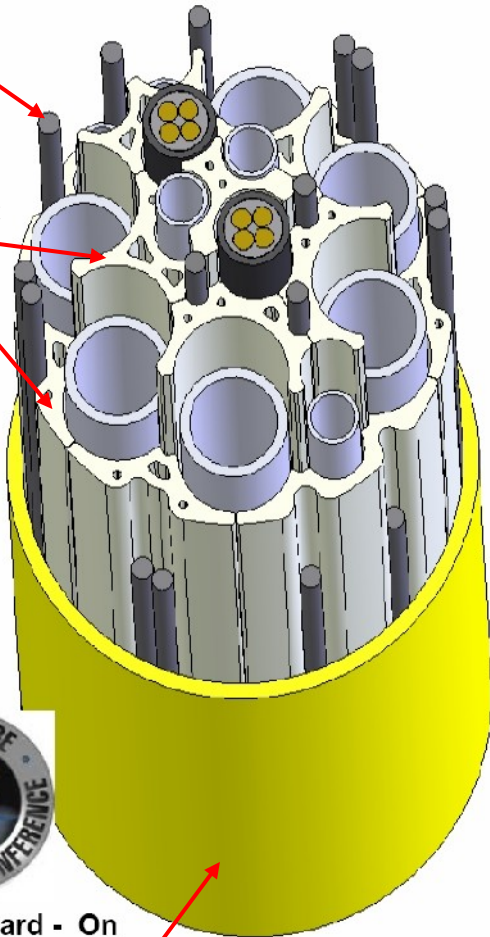
wiązki prętów z włóknem węglowym

profile PVC



OTC Award - On New Technology

osłona zewnętrzna z PE



**d) budowa większych okrętów,
specjalistycznych statków
oraz jachtów**

*-przykładowo szwedzka korweta klasy „Visby”
(dotychczas konstrukcja typu sandwich w większości
oparta na GFRP)*



www.globalsecurity.org/military/world/europe/visby



długość: 73 m,
szerokość: 10,4 m,
wyporność: 600 ton,
szybkość: 38 węzłów (max),
napęd: 5370 KM (turbina),
2x1760 KM (diesel),
hangar dla śmigłowca,
załoga: 48 osób,

Wybrane zagadnienia z zakresu technologii kompozytów:

- **tradycyjne kompozyty o osnowie termoplastycznej,**
 - termoplasty formowane metodą wtrysku,
 - wzmocnienie krótkim włóknem szklanym,
 - wzmocnienie cząstkami napełniaczy mineralnych (np. kulki szklane),
 - wzmocnienie mieszane,
- **tradycyjne kompozyty o osnowie duroplastycznej,**
 - duroplasty formowane metodą BMC,
 - wzmocnienie ciętym włóknem szklanym i/lub napełniaczami mineralnymi,
 - duroplasty formowane metodą SMC,
 - wzmocnienie ciętym włóknem szklanym,
- **zaawansowane („advanced”) kompozyty o osnowie duroplastycznej,**
 - A-SMC o osnowie duroplastycznej,
 - wzmocnienie ciętym lub ciągłym włóknem węglowym,
 - wzmocnienie mieszane (cięte włókno szklane oraz ciągłe włókno węglowe),
- **zaawansowane technologie kompozytów o osnowie termoplastycznej,**
 - CFRTP, LFT o osnowie termoplastycznej (łatwy i przyjazny recykling),
 - wzmocnienie ciętym włóknem węglowym, szklanym lub mieszane,
 - wzmocnienie wielowarstwowe ciągłym włóknem węglowym, szklanym lub mieszane,
 - technologia „tailored blanks” (wielowarstwowa o zmiennej grubości i strukturze)

• przykłady elementów z tradycyjnych kompozytów o osnowie termoplastycznej:

- termoplast + krótkie włókno szklane + ew. napełniacze mineralne (np. kulki szklane),
- elementy formowane najczęściej metodą wtrysku,



*przepustnica silnika
(Renault, Peugeot)
PA6.6 + GF30*

www.tworzywa.com.pl



*pokrywa rozrzędu (VW Passat, Audi A4)
PA6.6 + (GF25 + M15)*

www.tworzywa.com.pl



*osłona modułu kontrolnego „Easytronic”
(Opel Corsa)*

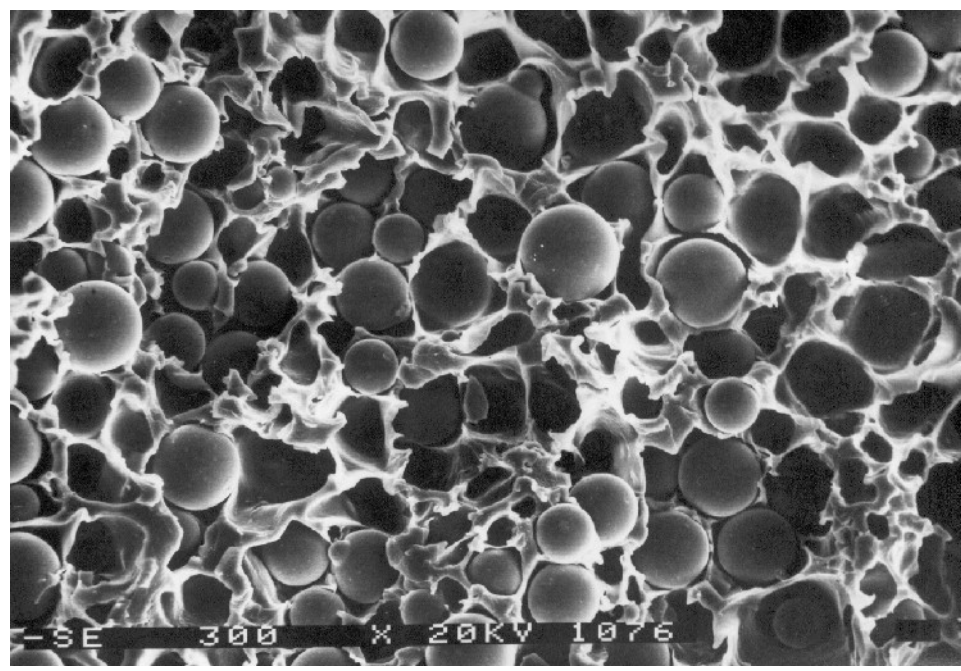
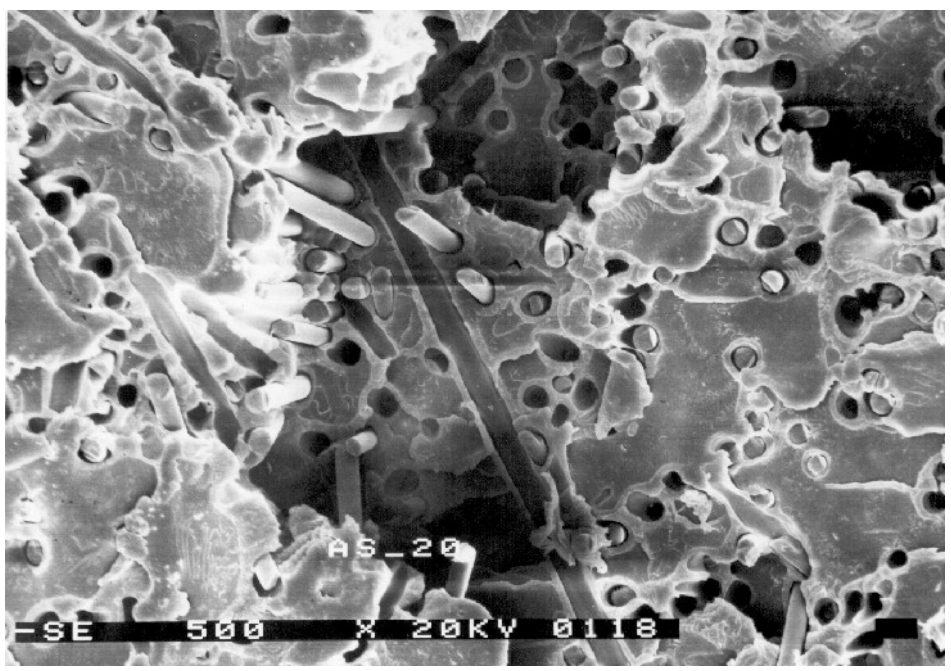
politereftalan butylenu PBT + GF50

www.all4engineers.com

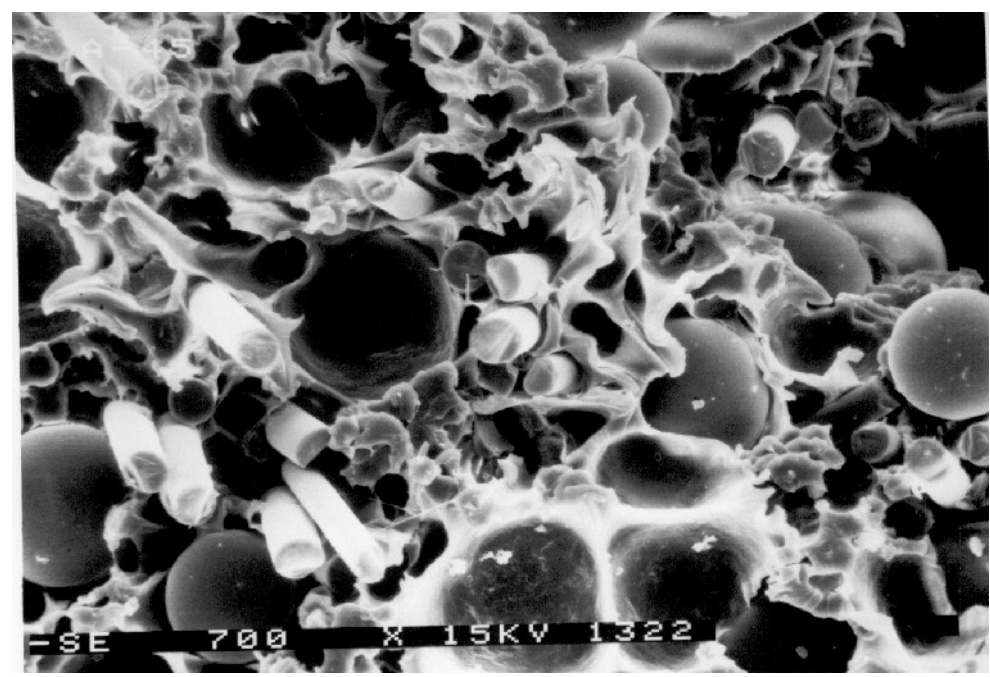
www.basf.de

• przykłady przełamów kompozytów PA + krótkie włókna szklane lub/i kulki szklane

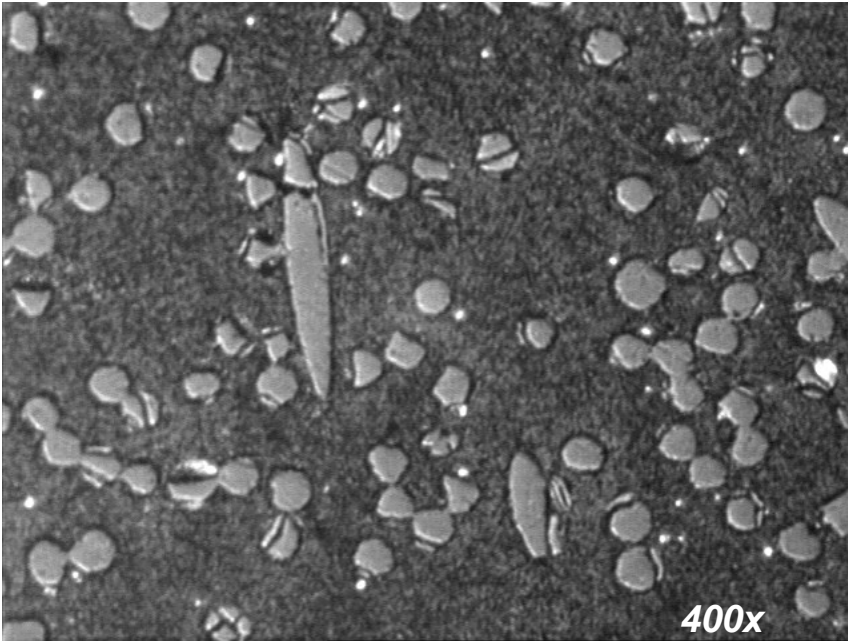
(-+)



PA + GF25

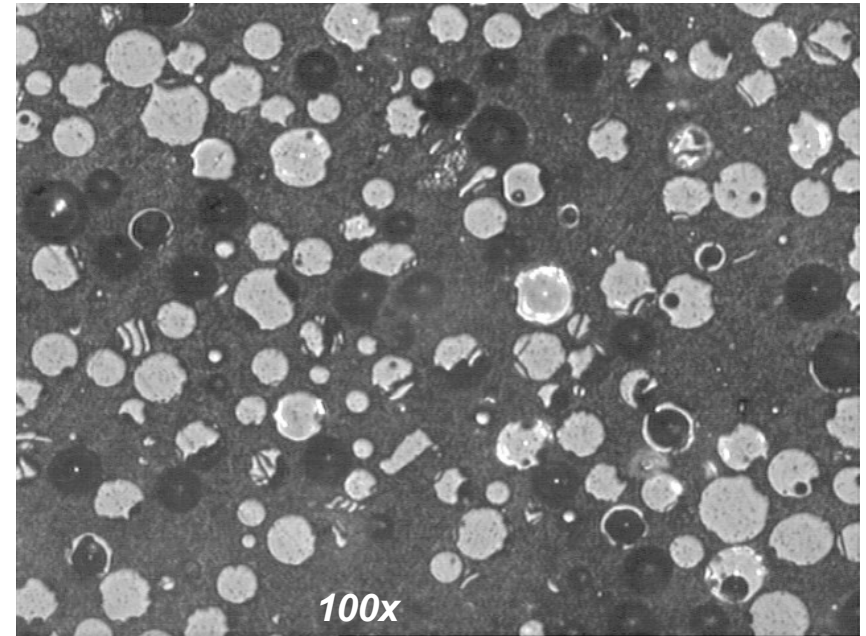


SEM



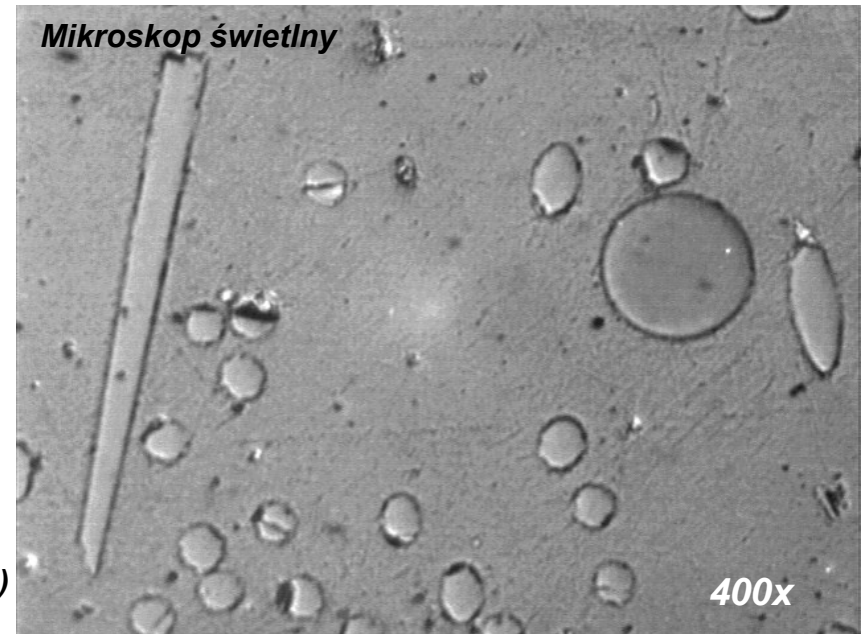
PA6 + GF30

(krótkie włókna szklane z wyraźną orientacją wzdłuż kierunku płynięcia – prostopadle do przekroju)



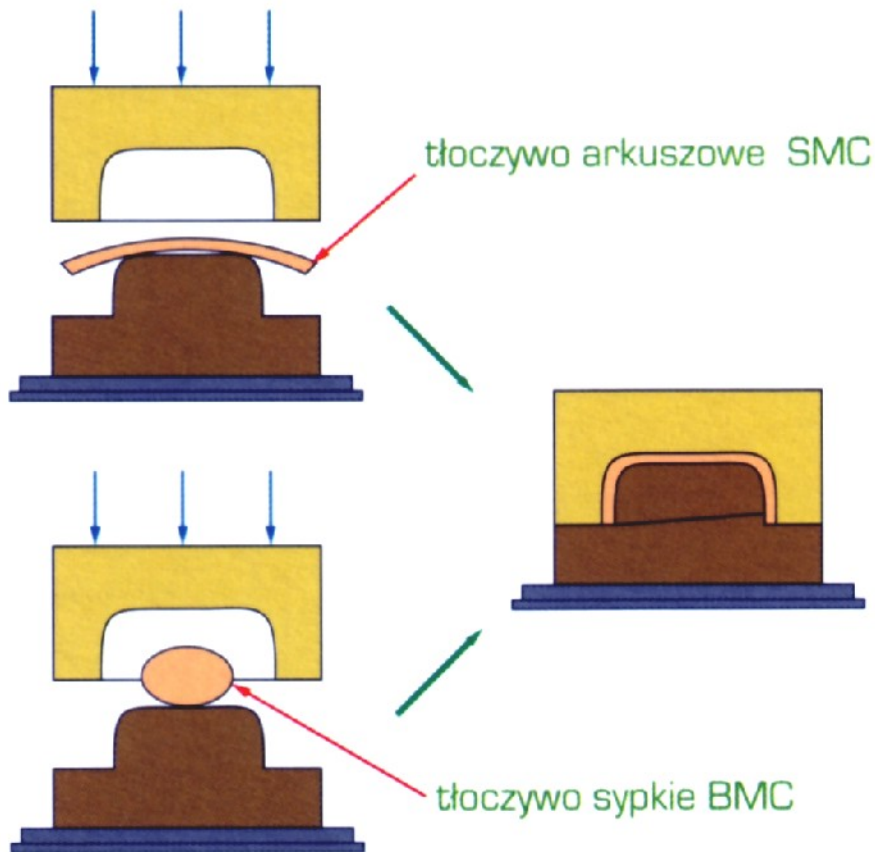
PET + M40 (kulki szklane)

PC + (GF15 + M10)



400x

- schematy wytwarzania kompozytów metodą BMC oraz SMC,
 - tłoczywo duroplastyczne wzmacniane najczęściej krótkim, ciętym włóknem szklanym,



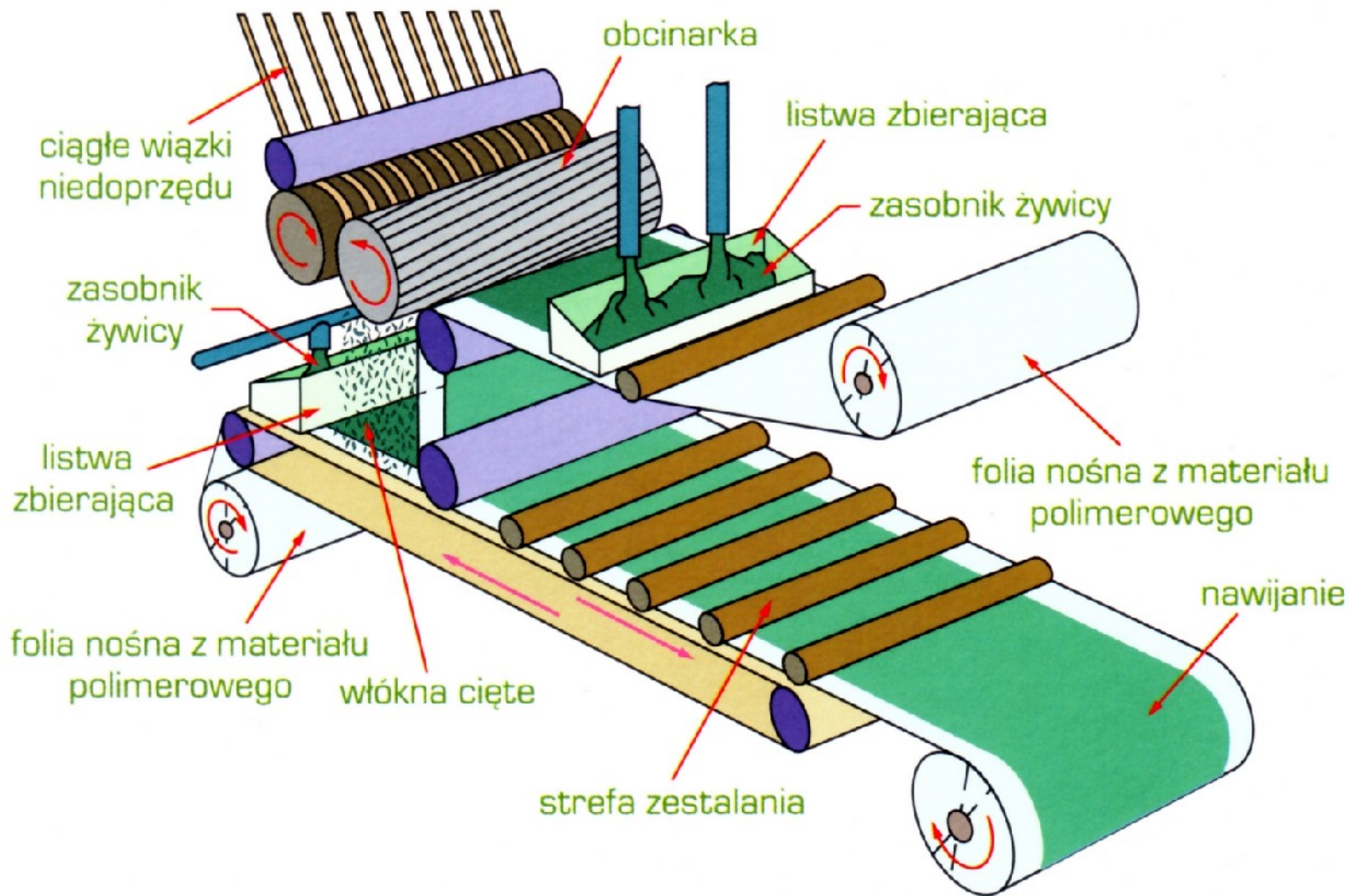
(L.A. Dobrzański, wg K.G. Budinskiego)

- BMC (*bulk molding compounds*) – wł. szklane + cząstki mineralne,
- SMC (*sheet molding compounds*) – wł. szklane,

(duropłast w obu przypadkach jest w stanie stałym ale jeszcze termoplastycznym ⇒ podgrzanie ⇒ ⇒ przejście w stan lepko-ciekły ⇒ ostateczne sieciowanie i utwardzenie polimeru)

• schemat technologii SMC formowania tloczywa arkuszowego (półprodukt SMC)

(+)



Why SMC?

(+)

From the automaker standpoint, SMC/BMC offers an attractive alternative to other materials

- zmniejszenie ciężaru
- zmniejszenie liczby części
- swoboda projektowania
- odporność na wgniecenia
- niski koszt inwestycji
- sposobność wkomponowania systemu antenowego



SMC obecnie to:
krótke włókna szklane,
duroplast jako osnowa,
↑↓
zapowiedź dużych zmian:
włókna węglowe krótkie
oraz ciągłe (rowing)
oraz
termoplast jako osnowa,

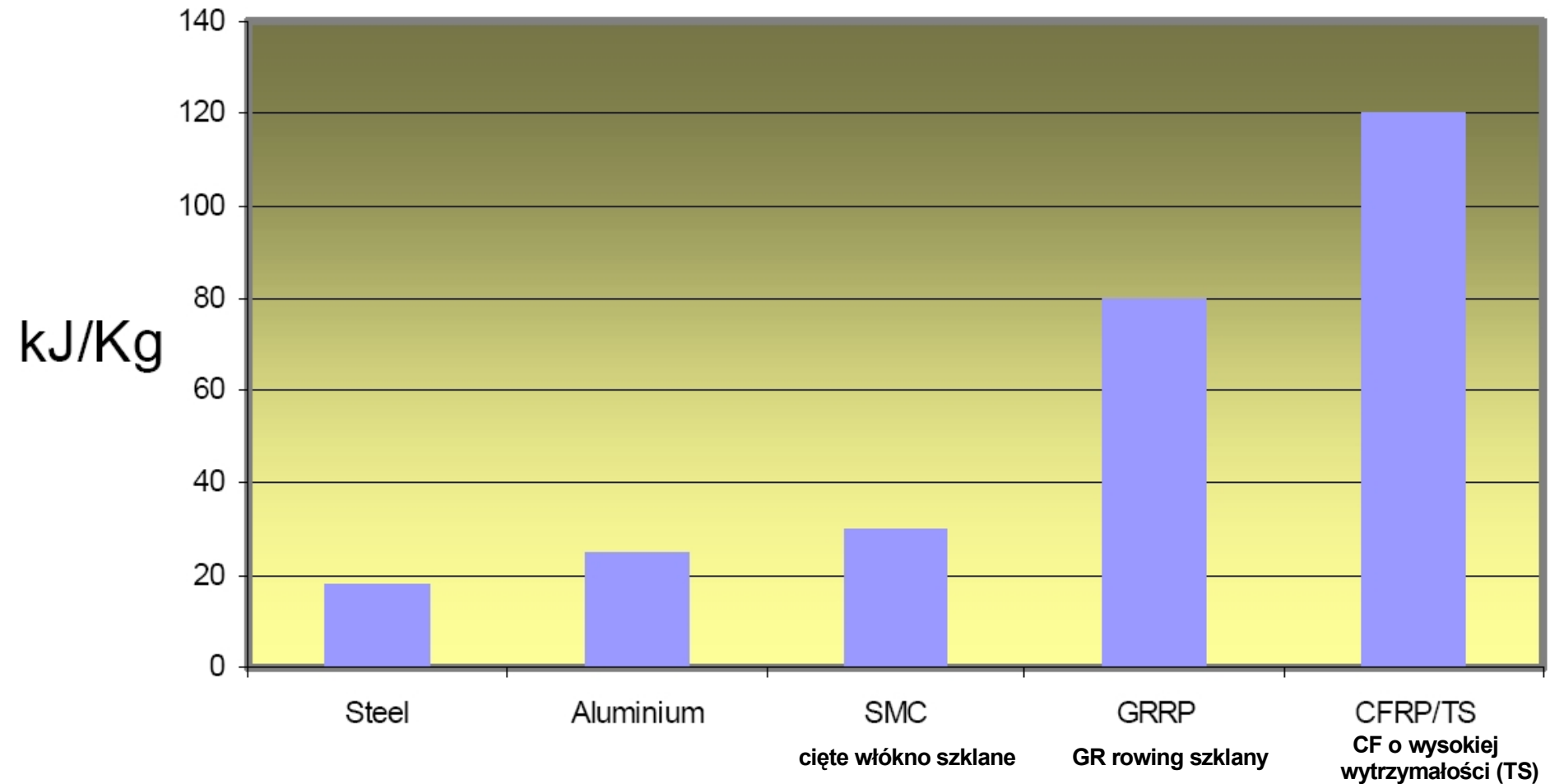


Lista części samochodowych używanych w Europie w 2002:

- ponad 500 pozycji technologią SMC,
- ok. 75 pozycji technologią BMC,

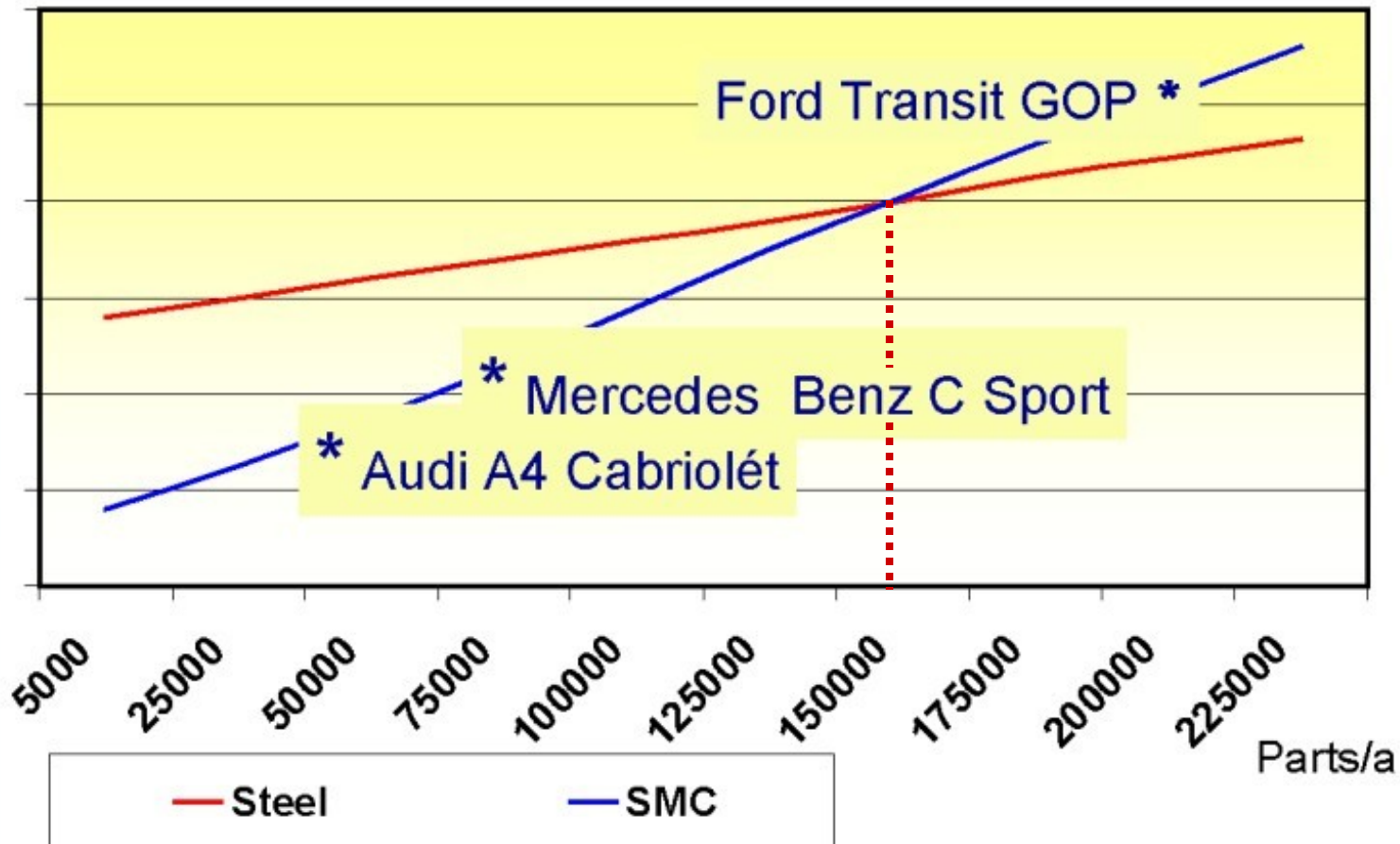
(F. Harbers, DSM Composite Resins)

Specific energy absorption



- opłacalność elementów z kompozytów SMC w odniesieniu do elementów ze stali, (+)
 - materiał kompozytowy jest droższy niż stal,
 - wykorzystuje się różnice w kosztach narzędzi (opłacalne przy krótszych seriach),
 - narzędzia do tłoczenia stali ok. 2 mln EUR,
 - narzędzia do tłoczenia SMC ok. 200 tyś. EUR (ok. 10x tańsze),

Cost efficiency of different technologies



(Composites for Automotive Industry Conference, Minch, December 2003)

- przykład wykorzystania technologii SMC w budowie karoserii,

RENAULT AVANTIME - Bodypanels in SMC



Partlist

1. Roof
2. Roof frame
3. Roof extensions
4. Tailgate (3-pieces
5. Side panel+ l/r attachment
6. Side panel rear
7. Side panel door
9. Rocker panel
10. fender
11. Heat shield
12. Air channel
13. Dashboard



• przykłady wykorzystania technologii SMC (różne elementy konstrukcyjne),

(-)



GOR Peugeot 206



Spare wheel housing Peugeot 607



GOR Citroen Xantia

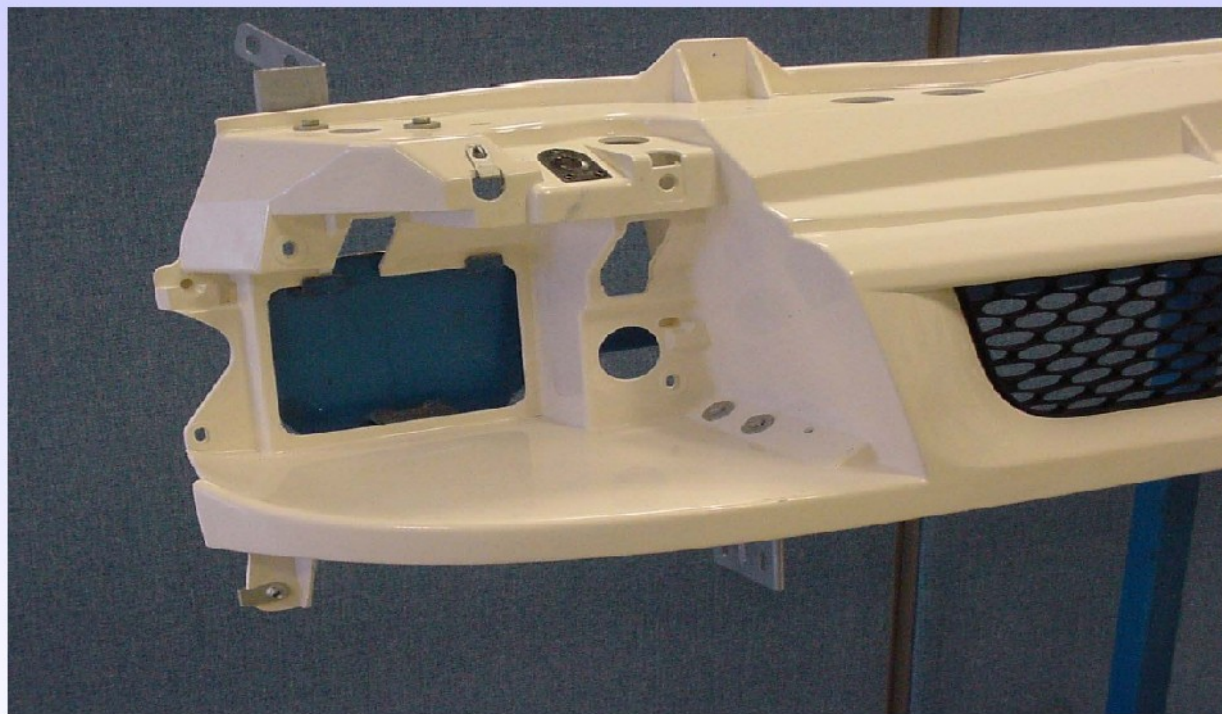


GOR Ford galaxy/ VW sharan



FORD TRANSIT Grille Opening Panel

(-)



850 szt/dzień
waga 6,8 kg

(F. Harbers, DSM Composite Resins)



Picture @ Wieck Media



- Toyota Tacoma (NAIAS 2005, Detroit)**
- oszczędność 50% na kosztach narzędzi,
 - zmniejszenie ciężaru o 10%,
 - zysk konsumenta 200\$,

Picture @ Wieck Media



Picture @ Wieck Media



Honda Ridgeline 2006 (NAIAS 2005, Detroit)
- wykonawca „Meridian Automotive Systems”

• przykłady technologii SMC

(www.smc-alliance.com)
5th Automotive Seminar,
17-18 May 2006, Landshut,
Germany



SMC oil sump Volvo FM9 truck



Roof opening panel VW Caddy



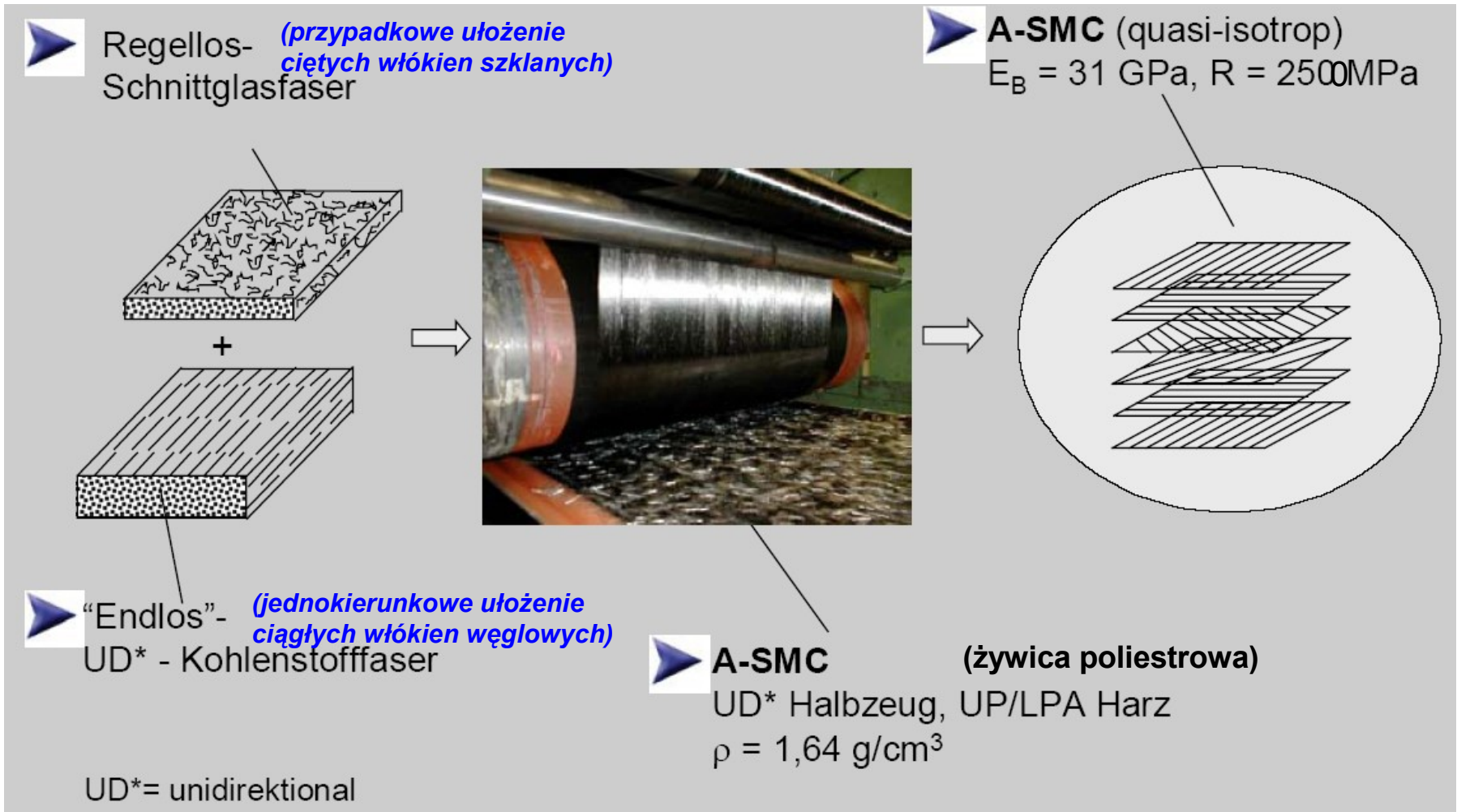
MB CLK500

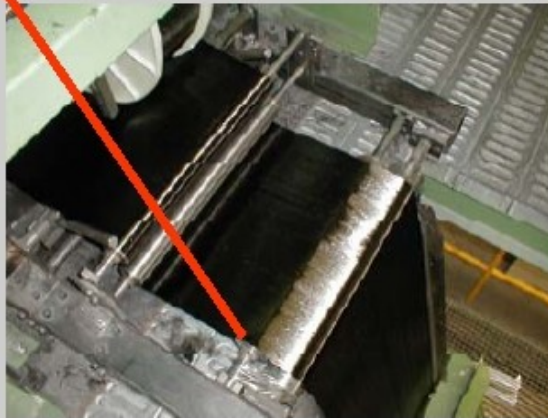
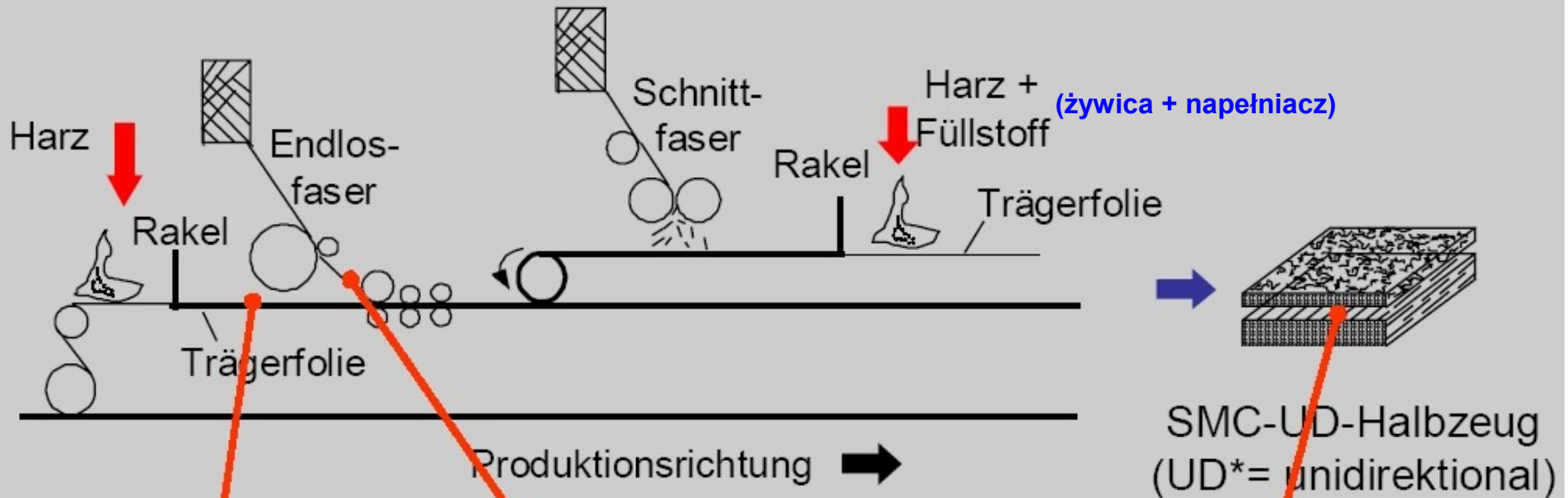


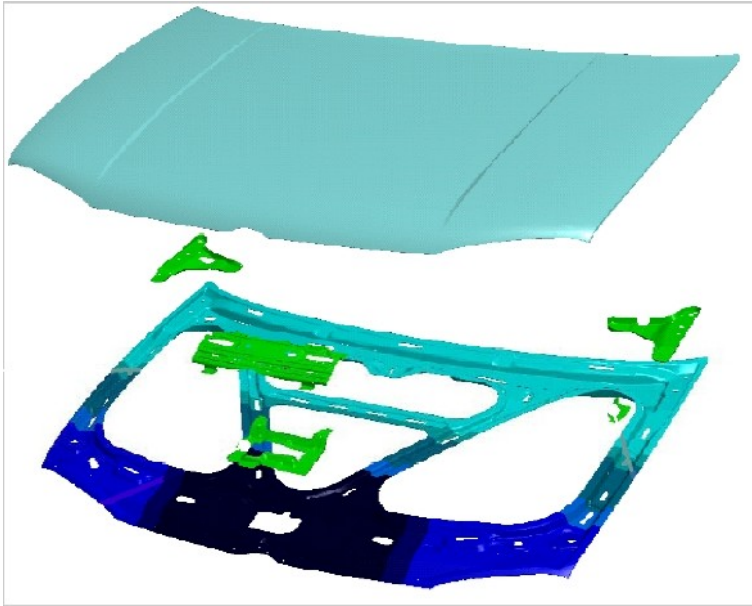
New VW Eos SMC decklid

• **A-SMC** ⇐ zaawansowana („advanced”) technologia SMC

- wprowadzenie warstw włókien ułożonych jednokierunkowo (UD),
- zastosowanie włókien węglowych,
- kolejnym etapem powinno być zastosowanie polimerów termoplastycznych,

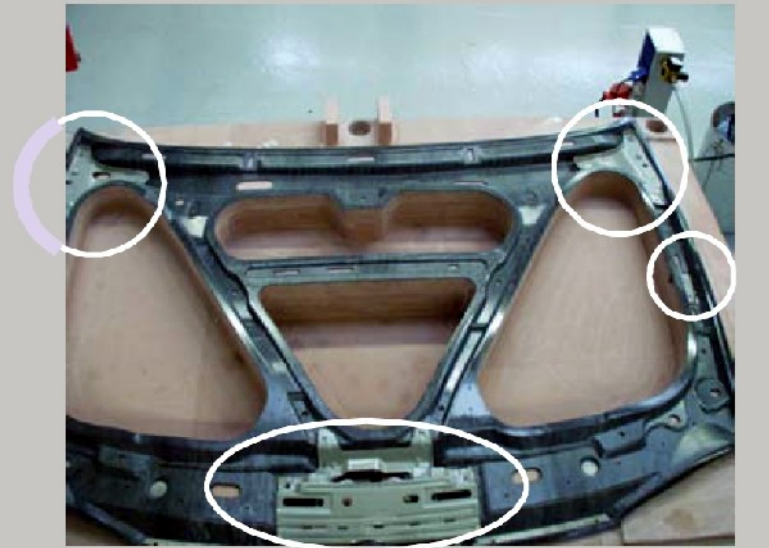




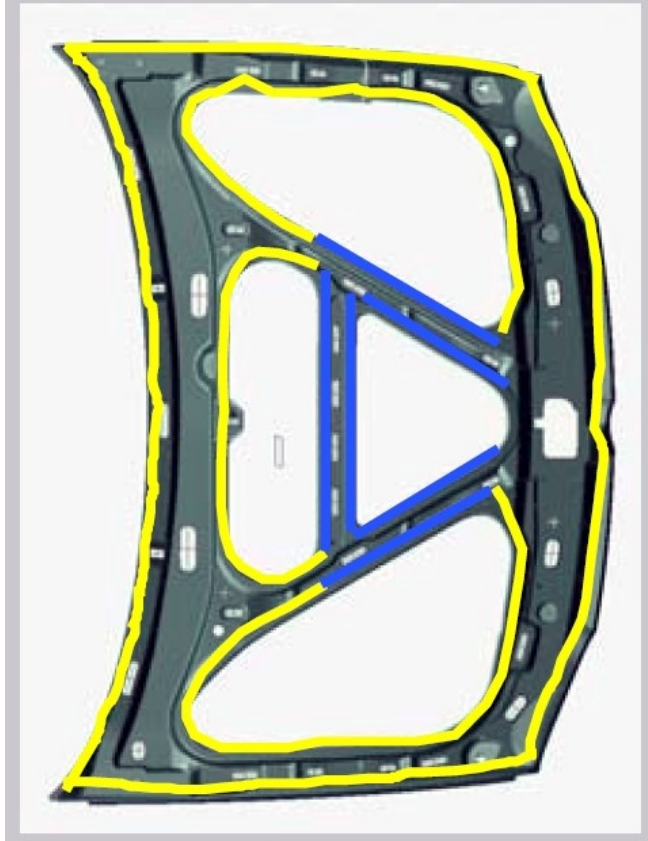


- ok. 5 kg lżejsza (o ok. 37%) od kłapy stalowej,

15 Niete pro Frontklappe



Klebebereiche

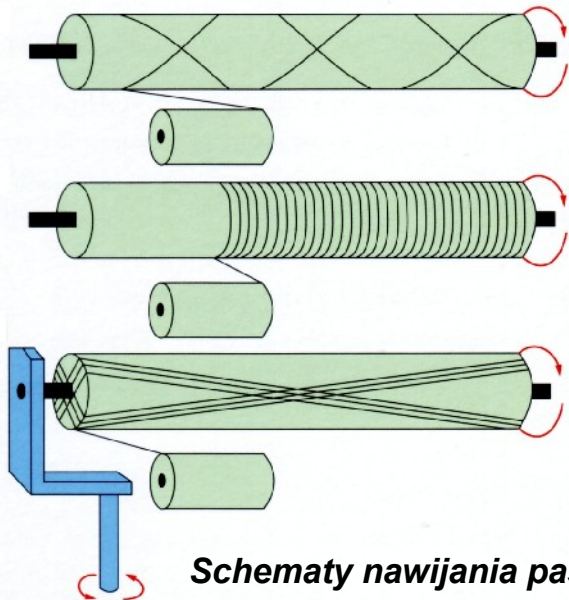


- karoseria kompozytowa z włóknem węglowym, np. Daimler – McLaren SLR Roadster, (-)
- wiele elementów wykonanych technologią SMC (duroplast + cięte włókna węglowe) – niższy koszt,



• przykłady technologii wytwarzania rur oraz zbiorników ciśnieniowych

(-+)



Schematy nawijania pasm włókien

(L.A. Dobrzański)



Automatyczna nawijarka zbiorników ciśnieniowych

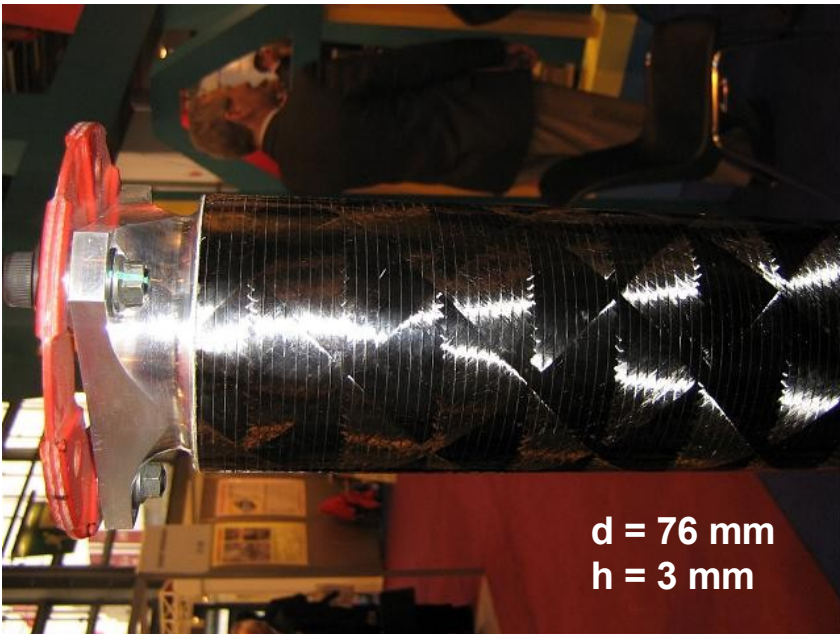
(JEC, Paryż 2006, fot. W. Błażejowski)



(JEC, Paryż 2006, fot. W. Błażejowski)



www.carbonfiber.gr.jp/tanso/use05.html



d = 76 mm
h = 3 mm

Wał napędowy bolidu Formuły 1



(JEC, Paryż 2006, fot. W. Błażejowski)

- **zaawansowane technologie kompozytów o osnowie termoplastycznej⁽⁺⁾ wzmocnianych włóknami ciągłymi (węglowe, szklane oraz mieszane)**
- **łatwy oraz przyjazny dla środowiska recykling odpadów a później zużytych części,**
- **skrócenie czasu formowania (przechodzenia w stan stały) do ok. 1 min,**
- **wielowarstwowe wzmocnienie w technologii „tailored blanks”:**
 - **możliwość optymalnego projektowania własności elementu,**
 - **minimalizacja ciężaru elementu oraz zużycia surowców,**
- **stworzenie spójnego i kompletnego systemu procesu technologicznego:**
 - **projektowanie układu oraz lokalnej ilości warstw z różnym wzmocnieniem,**
 - **automatyczne (roboty) wycinanie i układanie warstw,**
 - **automatyczne formowanie i obróbka wykończeniowa,**
- **używane nazewnictwo: CFRTP – continuous-fibre reinforced thermoplastics (USA)**
LFT – long-fibre thermoplastics (composites) - Europa,
Tailored LFT,
 - **w wielu środowiskach producentów pojazdów uważa się, że dopiero tak wytwarzane elementy mogą zagrozić dominacji stali oraz konkurencji stopów lekkich,**

- opracowany w latach 2002÷2005 proces technologiczny (Fiberforge, Inc)

(-+)

- pomysł młodych inżynierów (Andrew Burkhard i David Cramer), chroniony patentami USA,
- szeroko dyskutowany oraz cytowany (przyjęło się określenie: technologia lub proces fiberforge),

- przykład etapów wykonywania części w technologii fiberforge



Part Design



Analysis



Blank Design



Blank fabrication



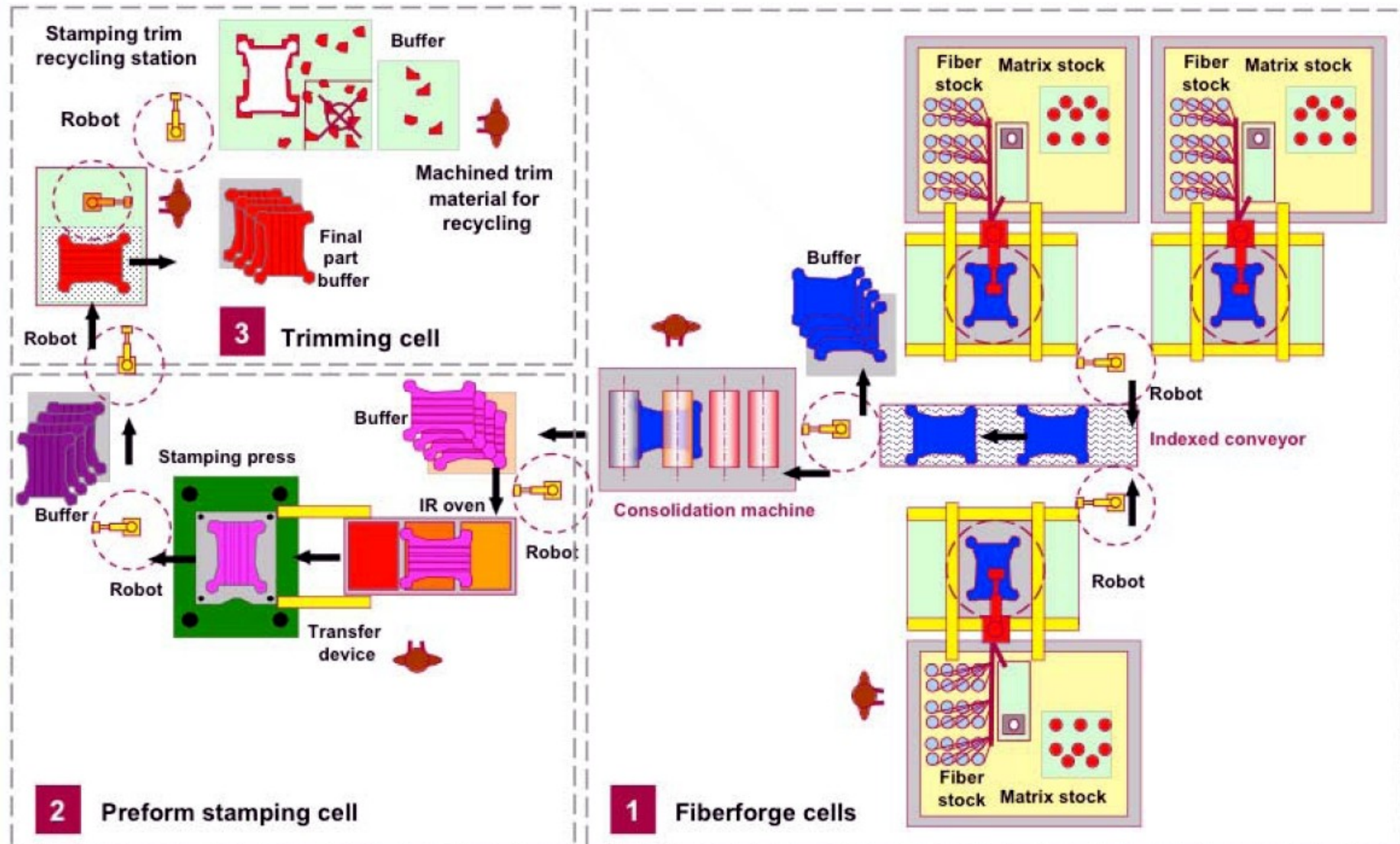
Forming



Final product

• kompleksowy schemat procesu technologicznego „fiberforge”

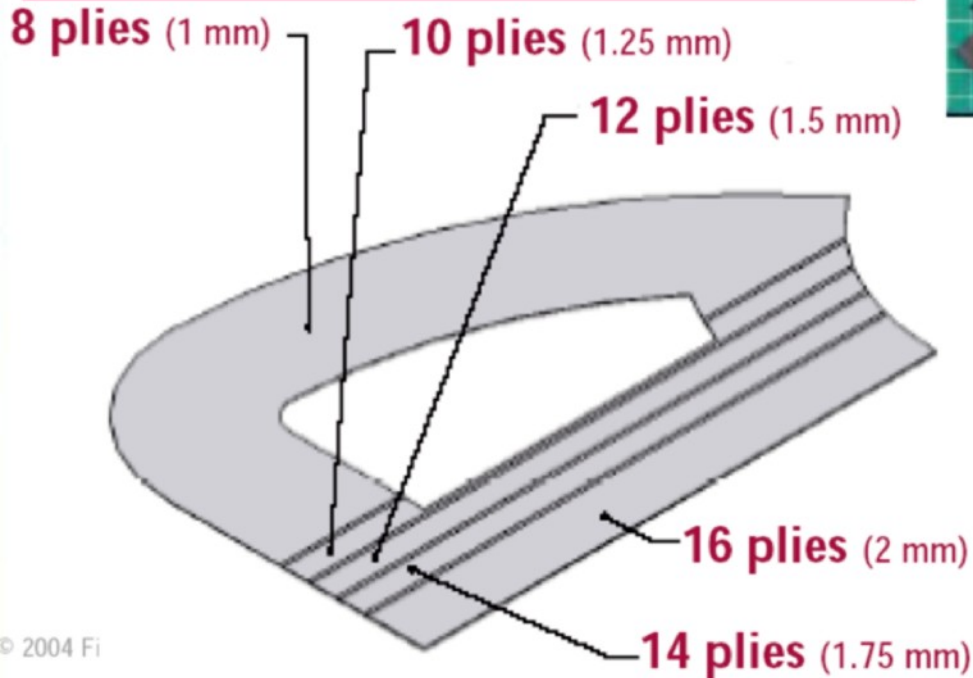
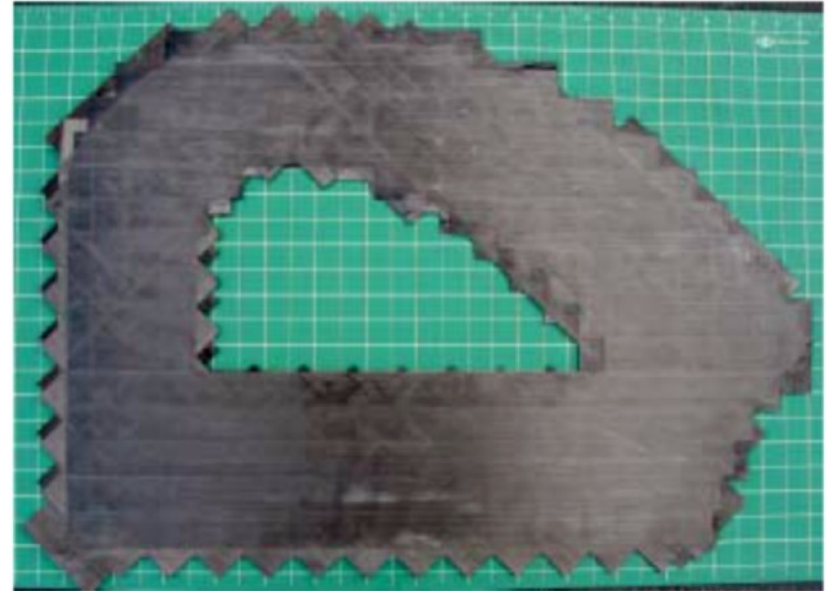
(-)



(www.fiberforge.com)

What is the Fiberforge Process?

- » Flat, semi-consolidated laminate
- » Precise fiber orientation in each ply
- » Fiber orientation is tailored to part-specific loading
- » Multiple fiber types and volume fractions possible within a part
- » Shape tailored to part geometry
- » Variable thickness



Spare wheel well design

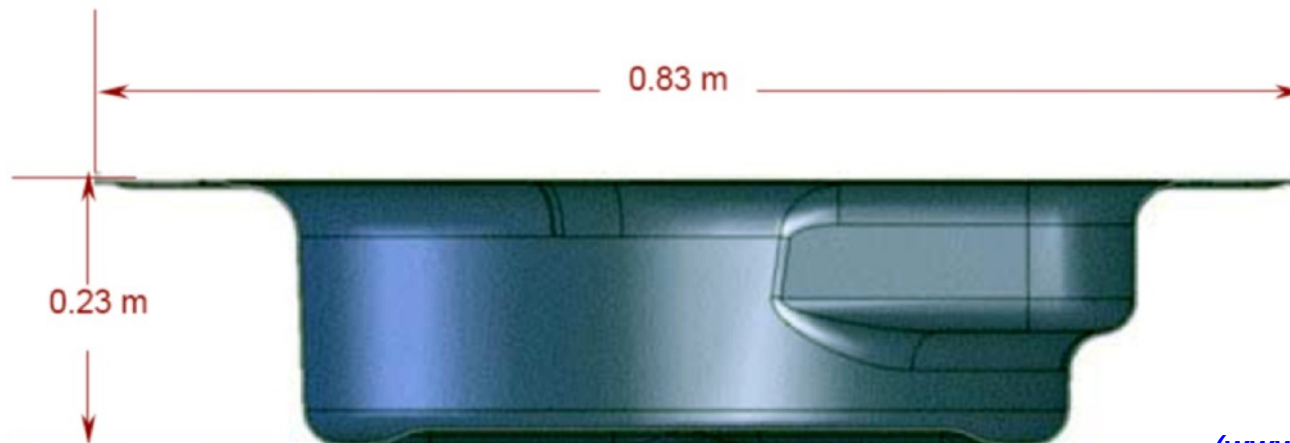
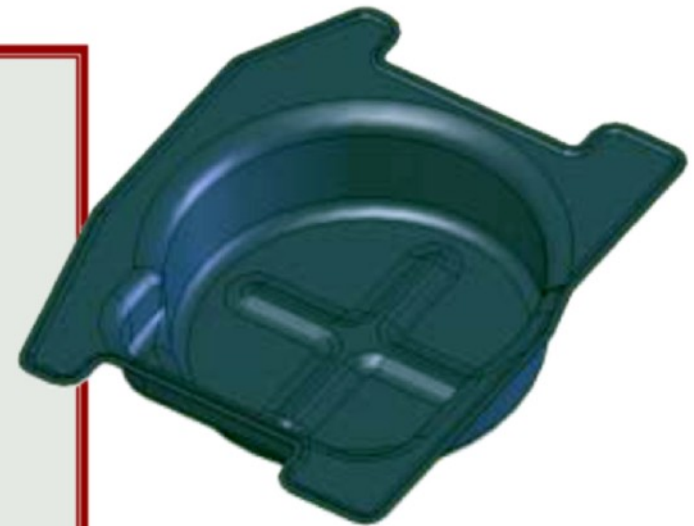
» Part characteristics & assumptions

- > 2.5 mm thick
- > 3-kg mass with carbon fiber, 4-kg mass with glass fiber
- > Quasi-isotropic lay-up
- > 50% fiber volume fraction
- > Polyamide matrix

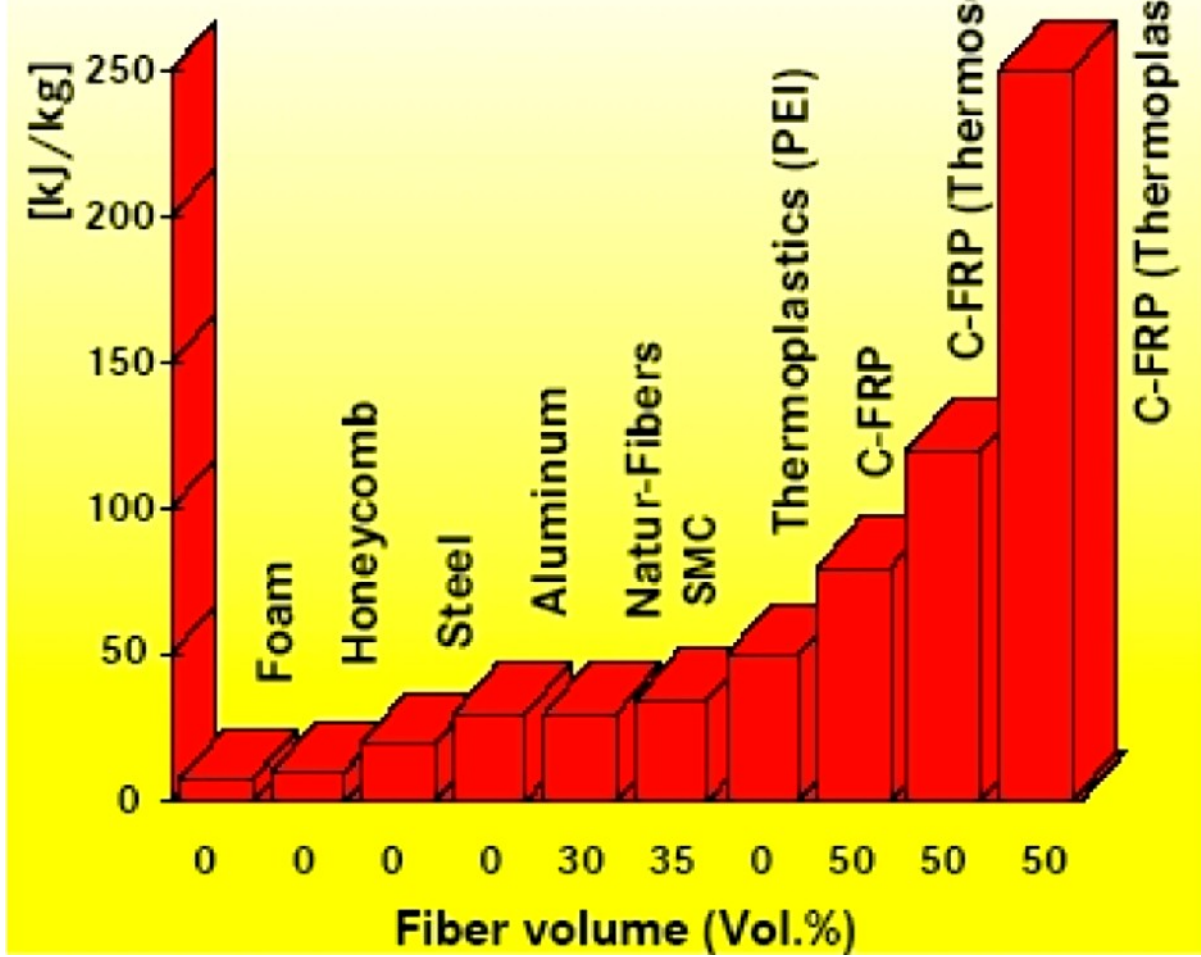
» Baseline mass savings relative to steel

- > 50% mass savings for carbon-fiber parts
- > 35% mass savings for glass-fiber parts

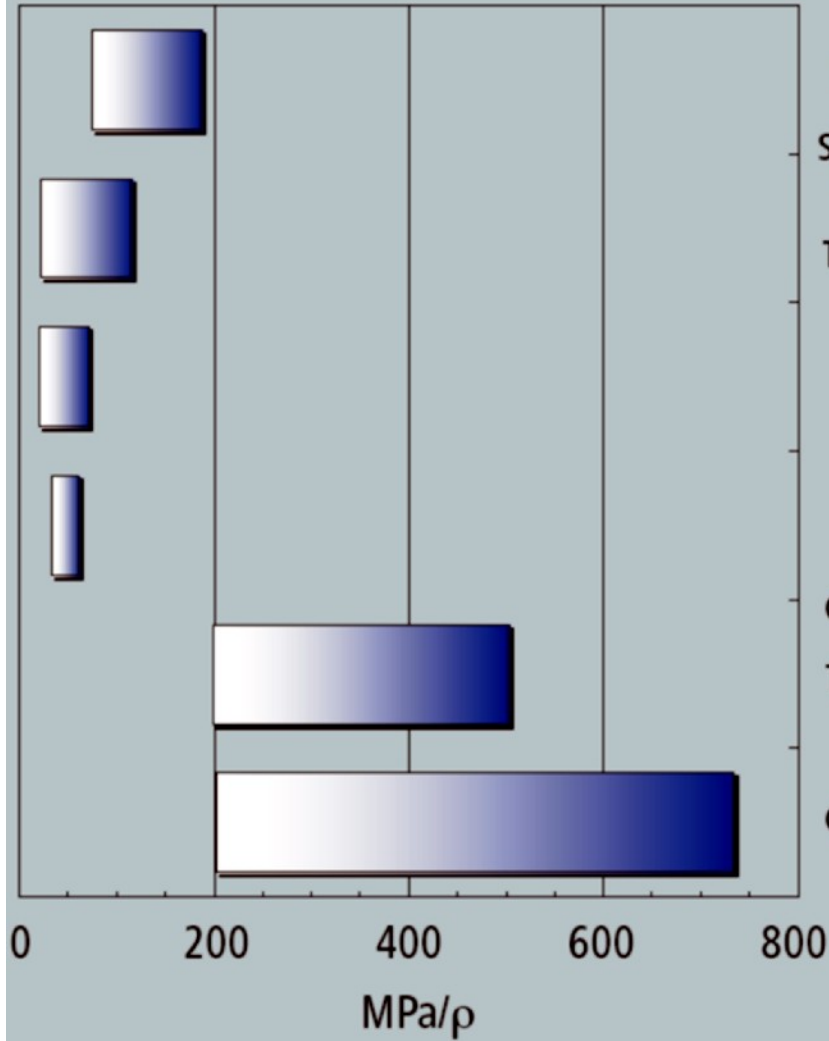
» Producing with in-house production equipment



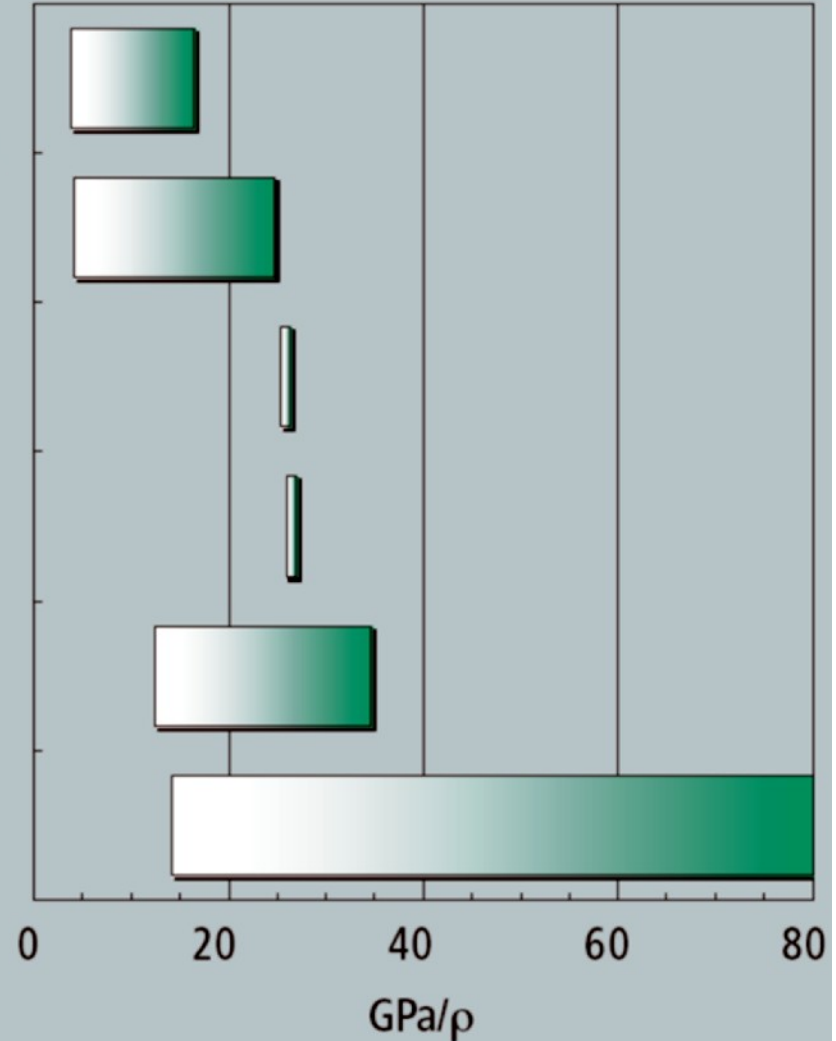
Specific Energy Absorption (progressive crushing):



Specific Tensile Strength



Specific Tensile Stiffness



• reprezentatywne właściwości kompozytów Fiberforge®

- osnowa PA6 (Nylon),
- włókna węglowe (ułożenie jednokierunkowe w pojedynczej warstwie)

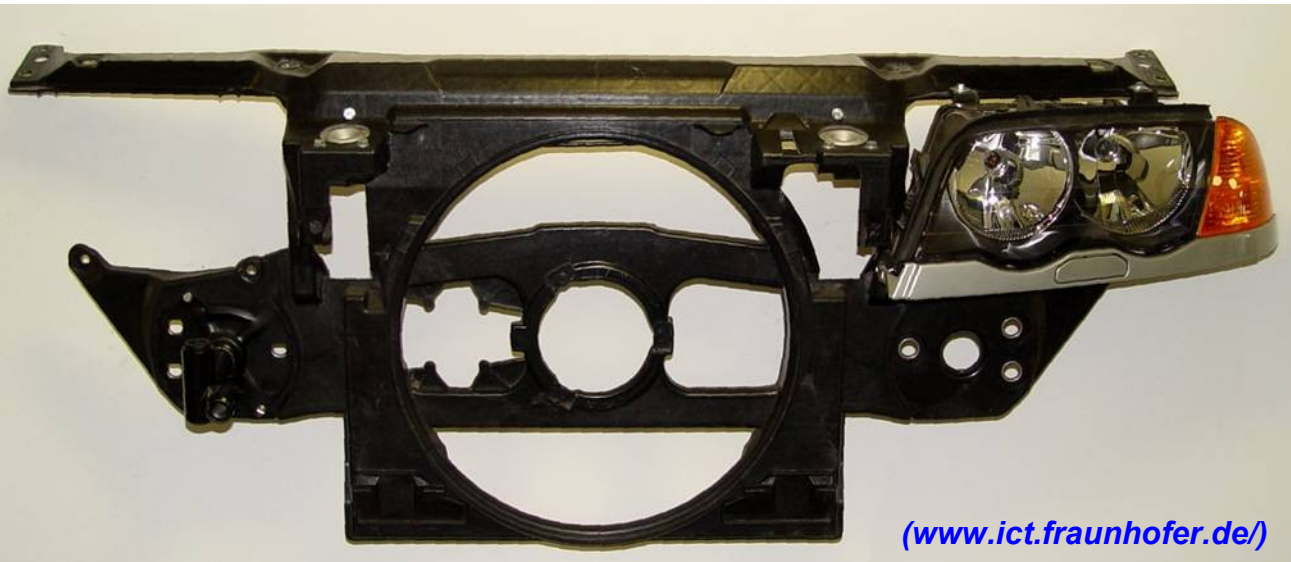
Fiber			Carbon	Carbon	Carbon
Matrix			PA6	PA6	PA6
Laminate Orientation			[0] _n	[0/90] _s	[0/45/90/-45] _s
<i>Property</i>	<i>Test Standard</i>	<i>Units</i>			
Fiber Content by Weight	ASTM D 3171	%	65	65	65
Areal Weight		g/m ²	360	720	1,440
Density	ASTM D 3173	g/cm ³	1.5	1.5	1.5
Minimum Blank Thickness		mm	0.125	0.5	1.0
<i>Property</i>	<i>Test Standard</i>	<i>Units</i>	<i>Longitudinal</i>	<i>Transverse</i>	
Tensile Strength	ASTM D 3039	MPa	1,100	50	800
Modulus	ASTM D 3039	GPa	120	7.1	54
Elongation at Break	ASTM D 3039	%	0.92	0.68	1.5
Flexural Strength	ASTM D 790	MPa	1,700	84	1,100
Flexural Modulus	ASTM D 790	GPa	190	16	74
Compressive Strength*		MPa	1,000	110	530
Compressive Modulus*		MPa	87	5.4	51

- przykład procesu technologicznego „Tailored LFT” - Niemcy

Faserrobo



- w pełni zautomatyzowany proces wytwarzania, (transfer i dystrybucja komponentów, impregnacja tkaniny, formowanie, przycinanie)
- ciągle włókno szklane,
- czas trwania cyklu ok. 35 sekund,



**BMW E46 (3er series)
made of Tailored LFT (2005)**

- PP + LFG
- 30% lżejszy niż element stalowy,
- 10% lżejszy niż wariant hybrydowy (polimer + metal)

• porównanie własności mechanicznych niektórych kompozytów i wybranych innych materiałów,

(Ashby M.F., Jones D.R.H.: *Materiały inżynierskie 2. Warszawa, WNT 1996*)

(-+)

Material	Gęstość ρ Mg · m ⁻³	Moduł Younga E GPa	R_m MPa	K_{Ic} MPa · m ^{1/2}	E/ρ	R_m/ρ
Kompozyty*						
Żywica poliestrowa wzmocniana włóknami szklanymi (włókna stanowią 50% obj.)	2,0	48	1240	42–60	24	620
Żywica epoksydowa wzmocniana włóknami węglowymi (włókna stanowią 58% obj.)	1,5	189	1050	32–45	126	700
Żywica epoksydowa wzmocniana włóknami Kevlar (włókna stanowią 60% obj.)	1,4	76	1240	–	54	886
Drewno (dąb)	0,69	16,6	97	4,0	24	141
Beton	2,45	45–50	20–30	0,2	18–20	8–12
Metale						
Wysokowytrzymała stal	7,8	207	1500	50	27	190
Stop tytanu	5,0	120	1400	–	24	280
Stop aluminium	2,8	71	500	28	25	179
* Własności mechaniczne kompozytów włóknistych dotyczą obciążenia równoległego do osi włókien.						