Letní škola mechaniky kompozitních materiálů

Královky 197, Jince 13.- 15.9.2017

MATERIÁLOVÉ VLASTNOSTI, VÝROBNÍ PROCESY A KONSTRUKCE Z VYZTUŽENÝCH TERMOPLASTŮ

Josef Křena

Latecoere Czech Republic, s.r.o., Praha

Základní pojmy

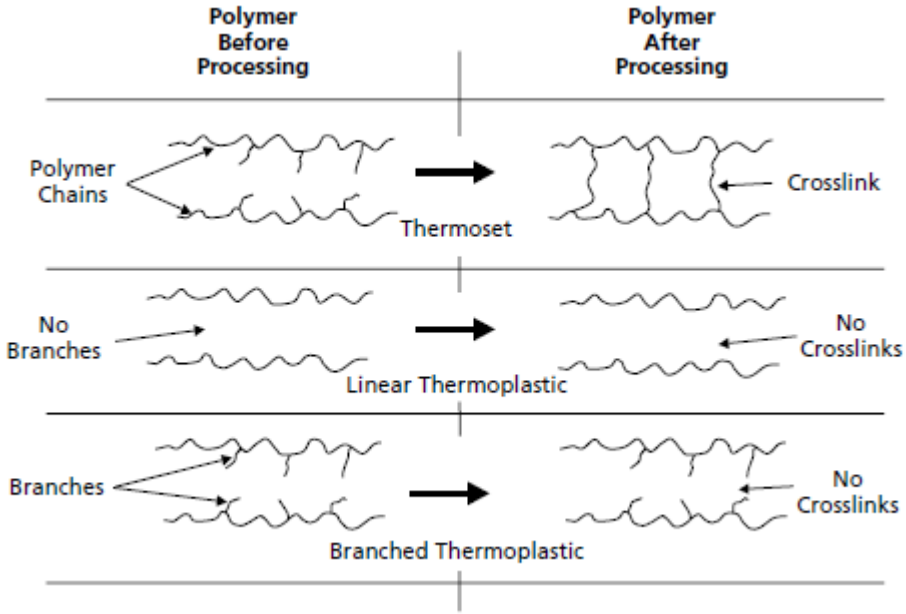
MATRICE

TERMOPLASTOVÁ

Při zpracování neprobíhají v matrici nevratné chemické změny.

TERMOSETOVÁ

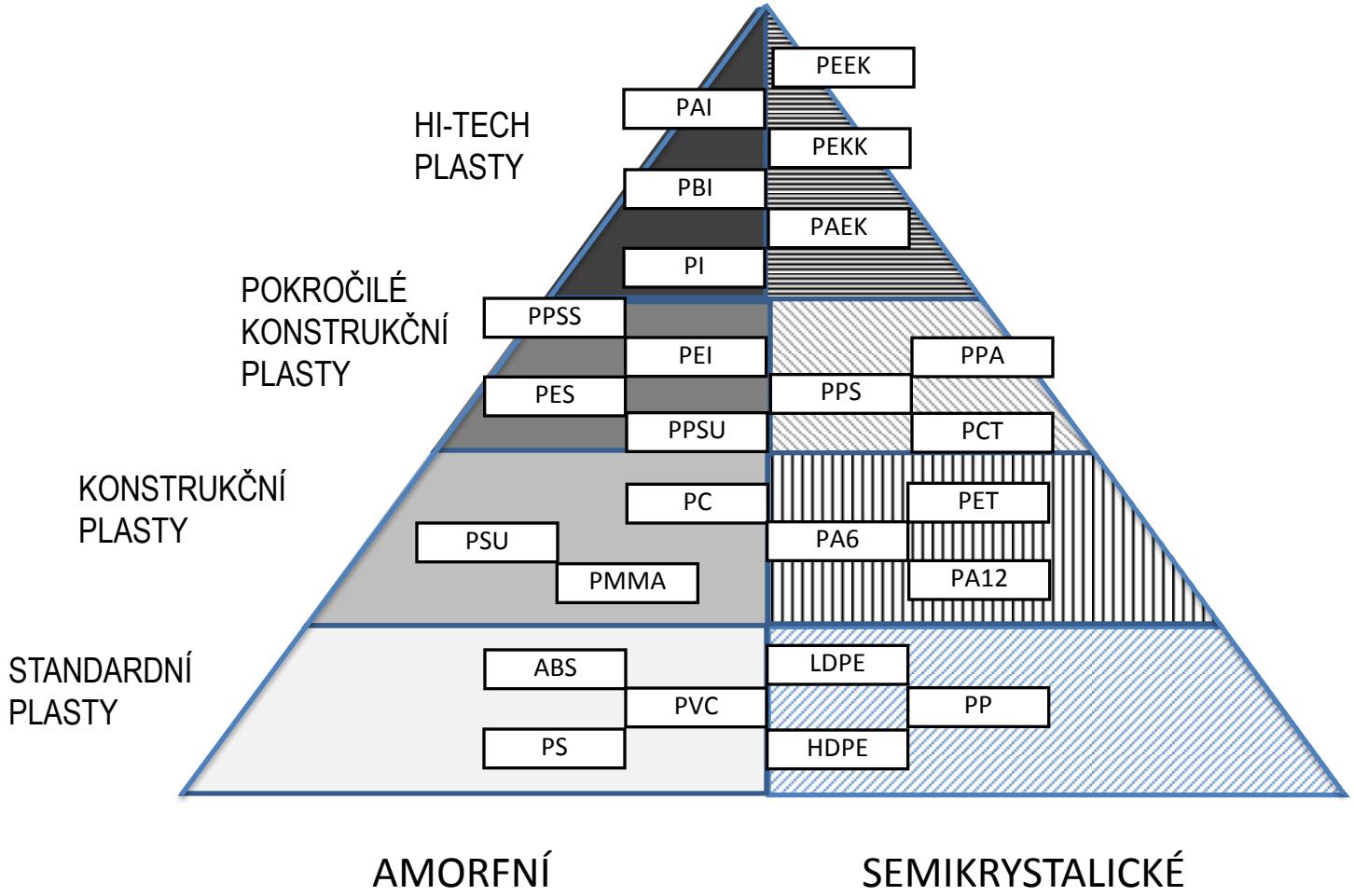
Při vytvrzování proběhne v matrici chemická změna



Historie

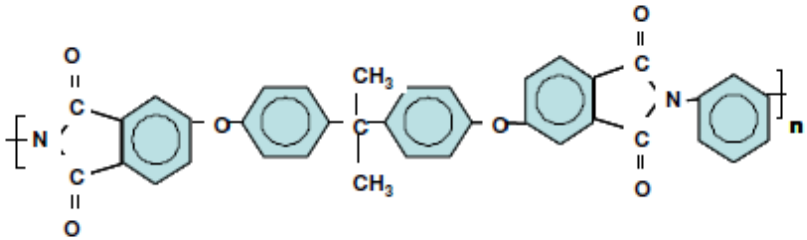
- PEEK v 80 tých letech jako náhrada za tehdy velmi křehké termosetové matrice. PEEK byl však drahý a technologie zpracování byla obtížná.
- PEI začal v 1989. Velmi dobré mechanické a FST vlastnosti. Nižší chemická odolnost.
- PPS přišel v 1997. Oproti PEI má lepší zpracovatelnost a chemickou odolnost.
- PEKK se používá od 2003. Dobrá zpracovatelnost a výborné termomechanické vlastnosti.
- PAEK, PPSS a další typy se začínají ověřovat nyní.

Typy termoplastů

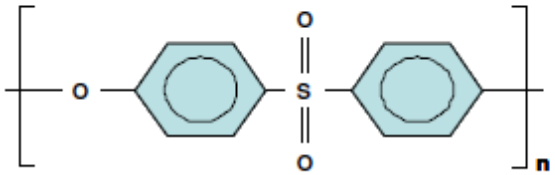


Typy termoplastů

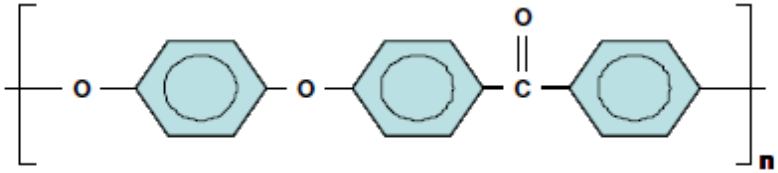
Poly Ether Immide (PEI)



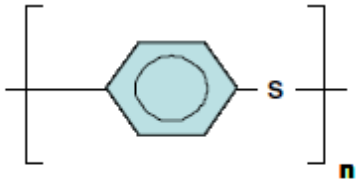
Poly Ether Sulphide (PES)



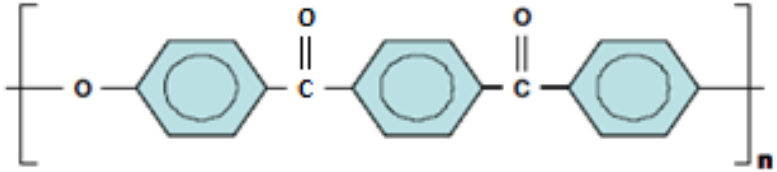
Poly Ether Ether Ketone (PEEK)



Poly Phenil Sulphide (PPS)

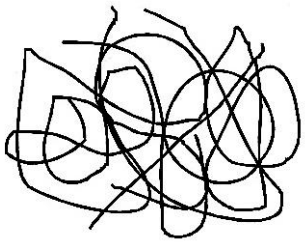


Poly Ether Ketone Ketone (PEKK)

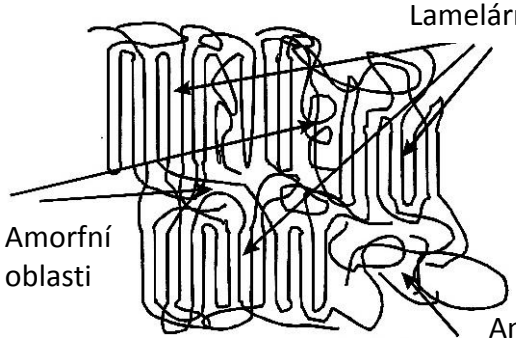


Struktura termoplastů

Morfologie



Plně amorfní struktura



Amorfní
- řetězce uloženy neuspořádaně
- méně chemicky odolný

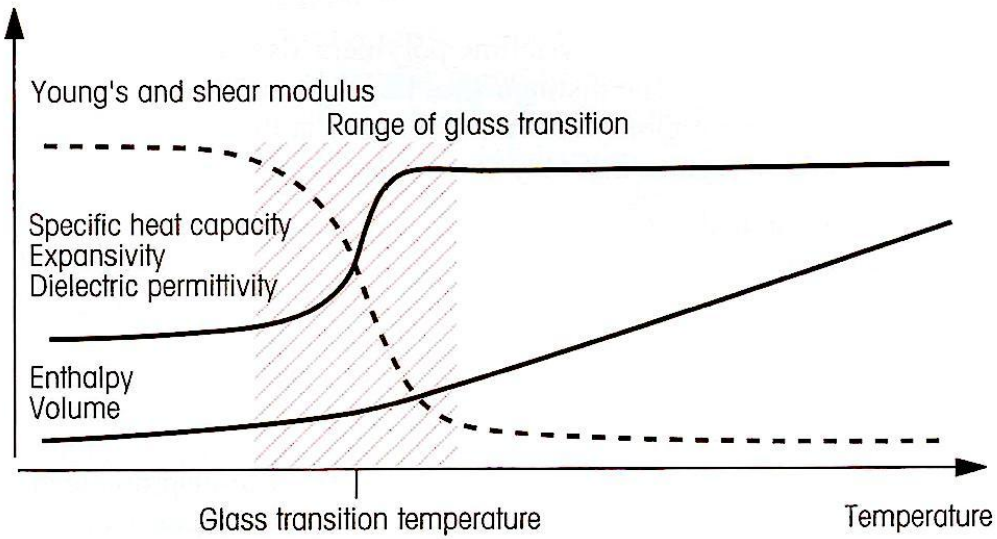
Semikrystalický
- amorfní oblasti houževnaté
- krystaly zajišťují tuhost a tvrdost

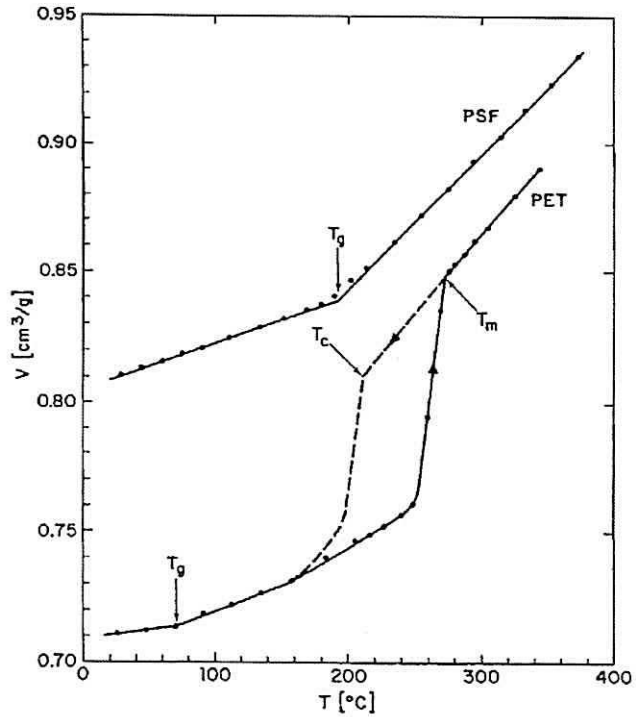
Řetězec: - pravidelnost
- boční větve

Adheze k vláknu je horší než u termosetů
z důvodů: - vyšší viskozita při zpracování
- bez chemické vazby (zesíťování)

Vlastnosti termoplastů

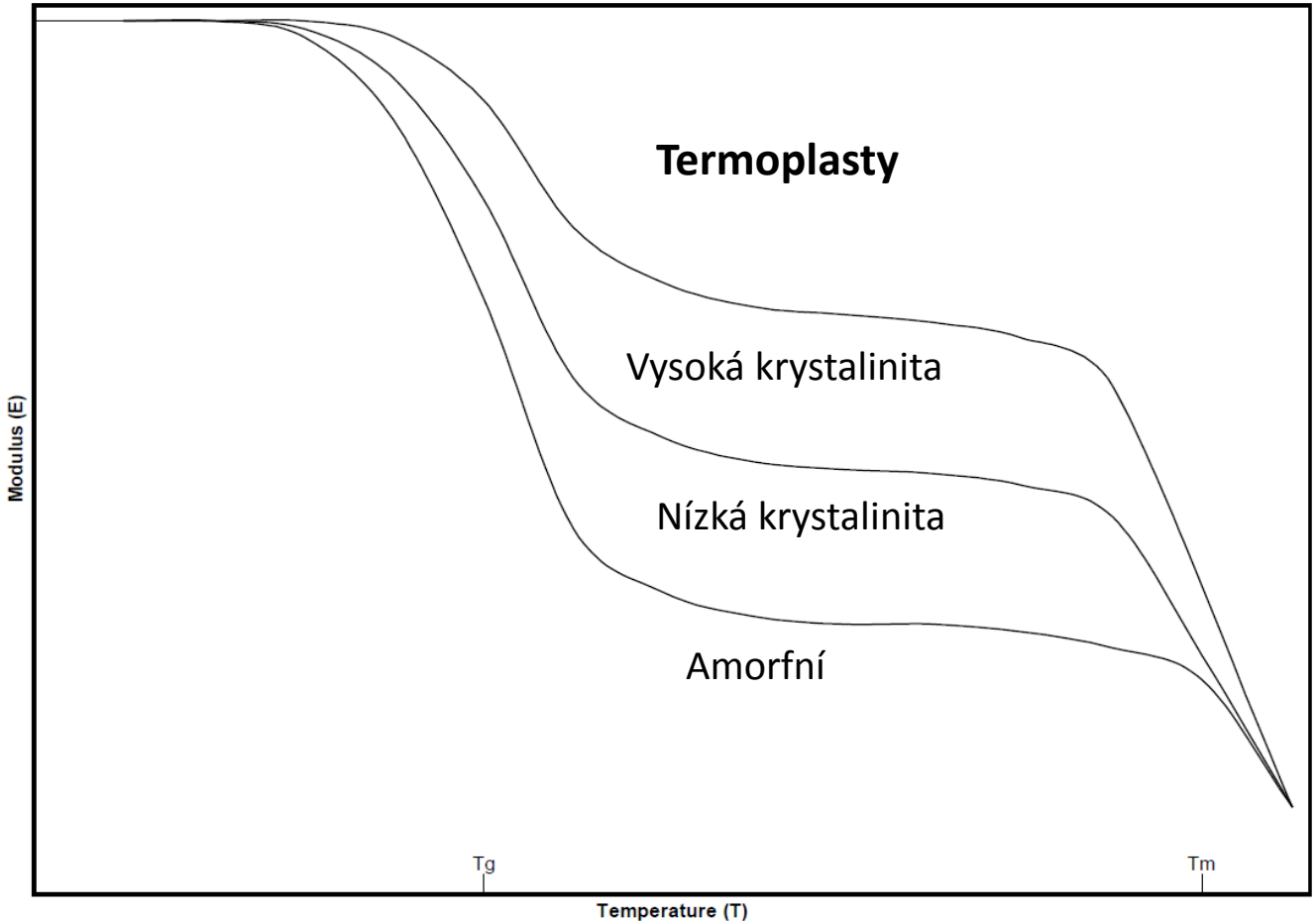
Vliv teploty



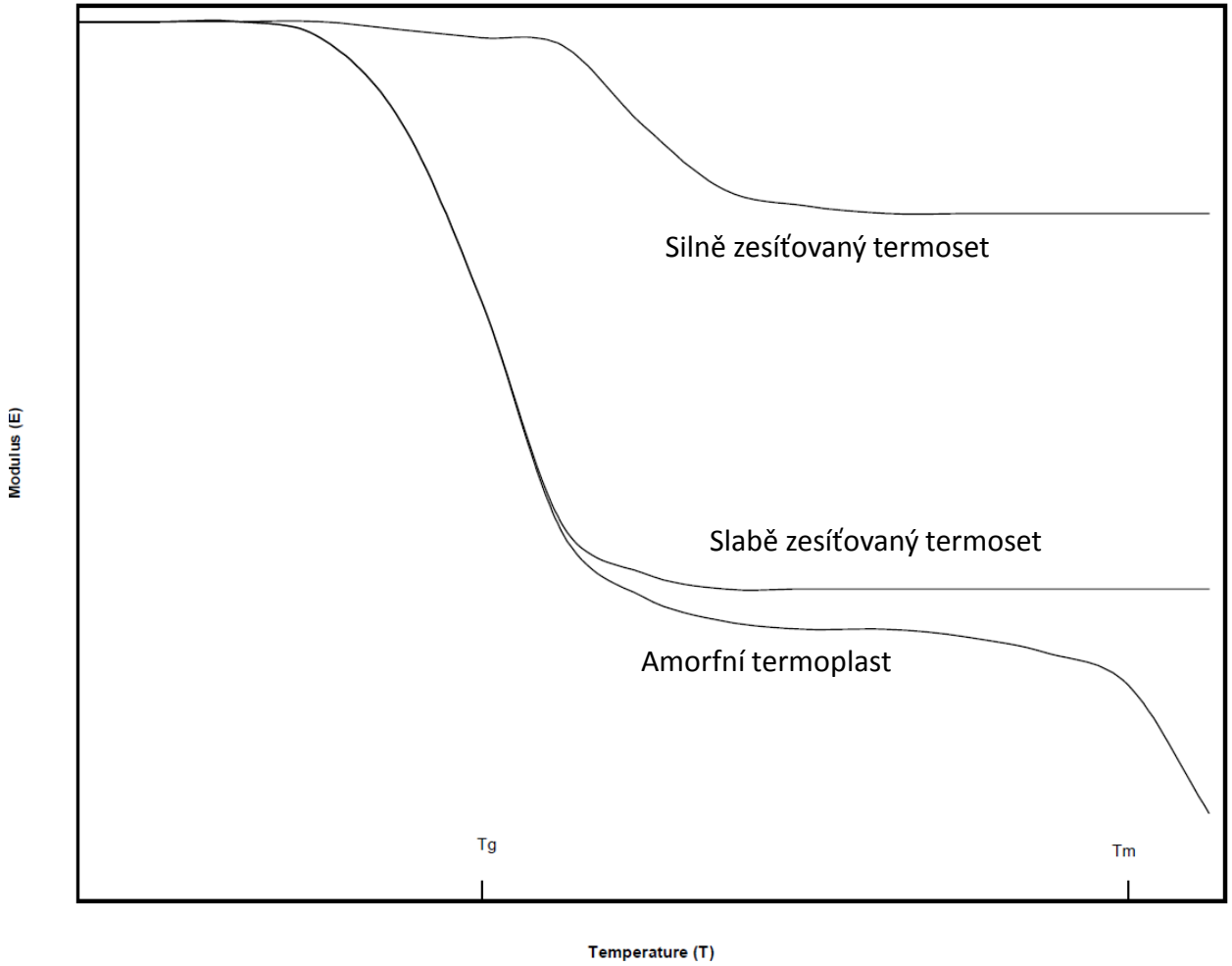


Tg – teplota skelného přechodu
Tm – teplota tavení
Tc – teplota krystalizace

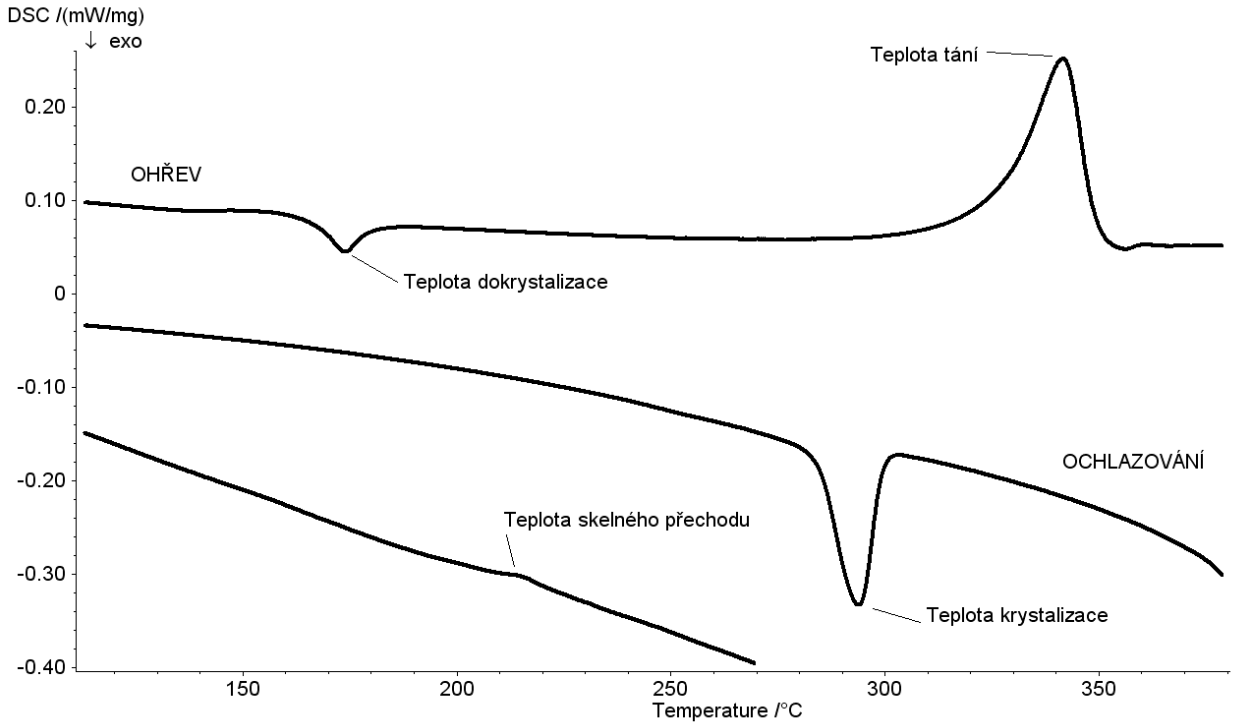
Vlastnosti termoplastů



Vlastnosti termoplastů

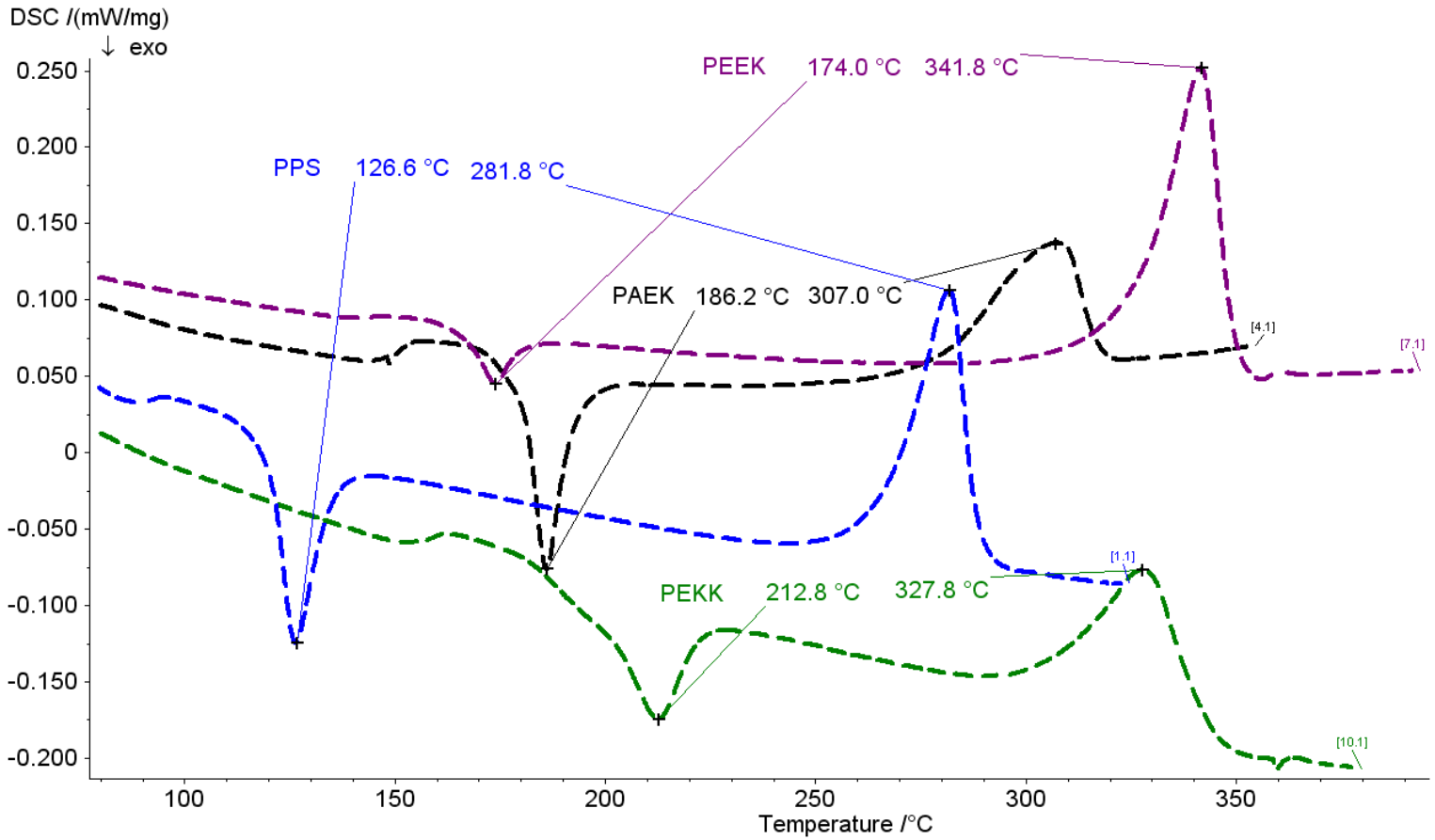


Vlastnosti termoplastů



Diferenciální skenovací kalorimetrie DSC

Vlastnosti termoplastů

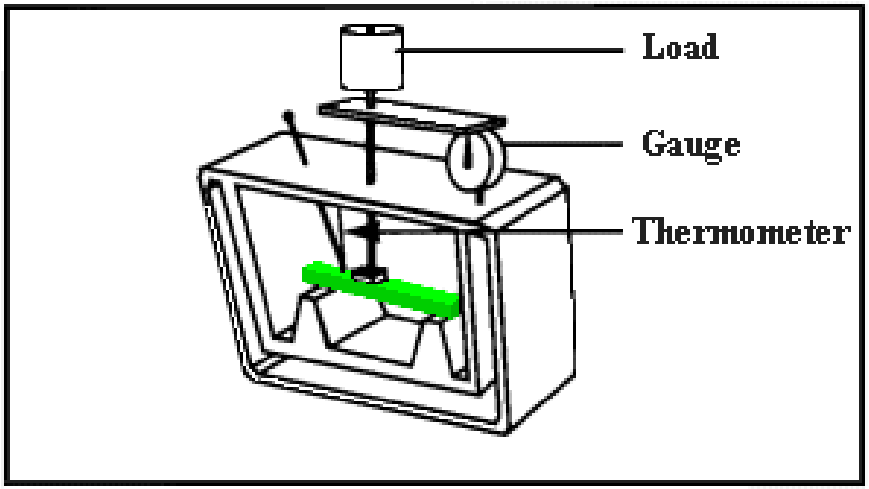


Vlastnosti termoplastů

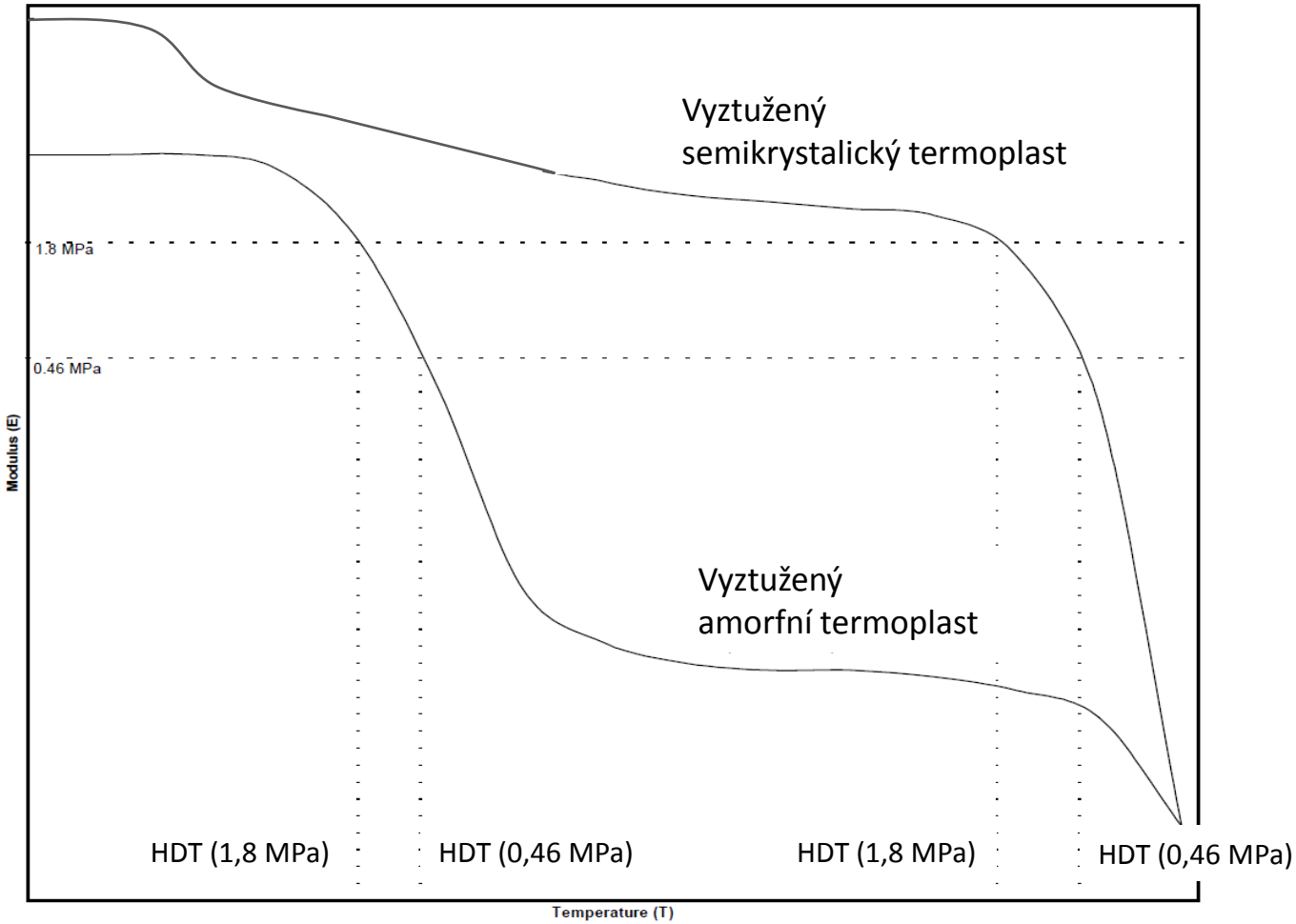
HDT – Heat deflection temperature

ASTM D648

Vzorek materiálu je zatížen ohybem s napětím v něm 1,8 MPa nebo 0,46 MPa. Teplota stoupá rychlostí 2°C/min. HDT je teplota, při níž se vzorek prohne o 0,25 mm.



Vlastnosti termoplastů

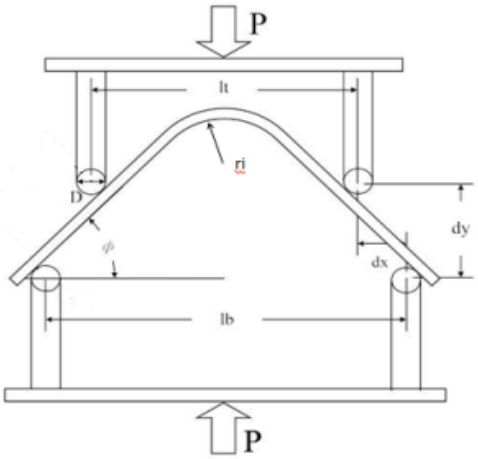


HDT pro amorfní je pod Tg

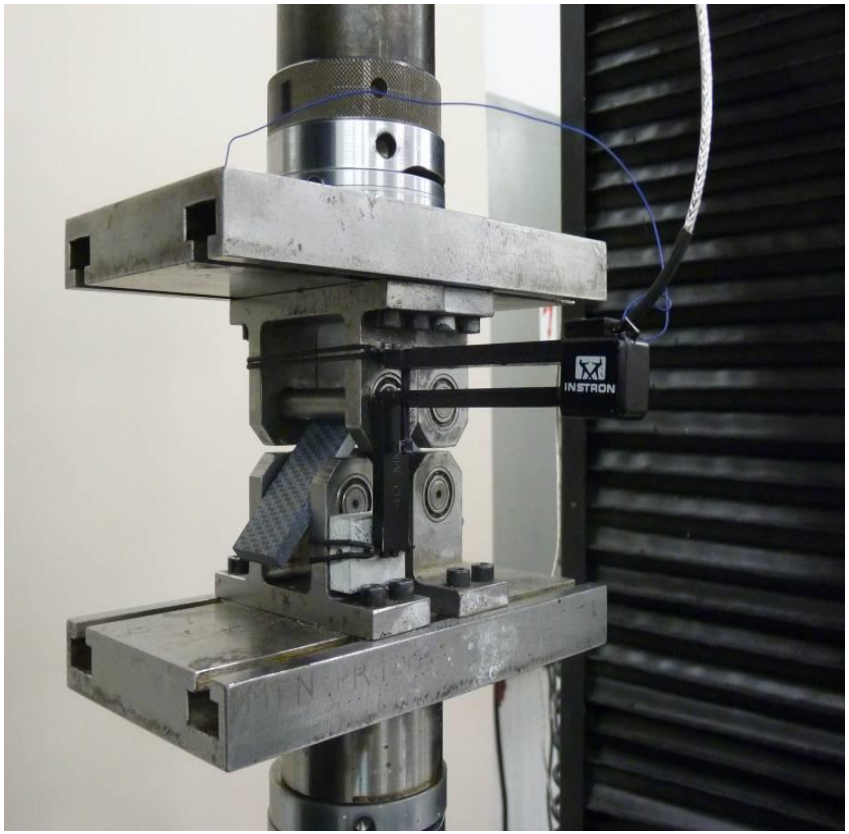
HDT pro semikrystalické je nad Tg

Vlastnosti termoplastů

ILTS – Interlaminar tensile strength

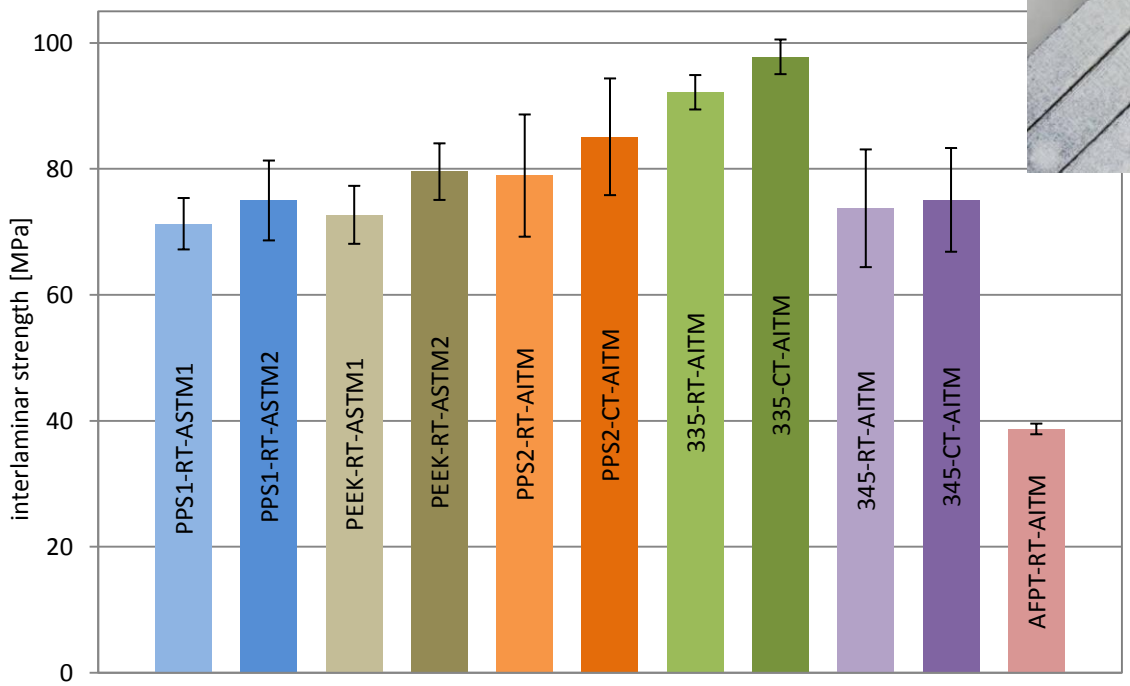


ASTM D6415



Vlastnosti termoplastů

ILTS – Interlaminar tensile strength



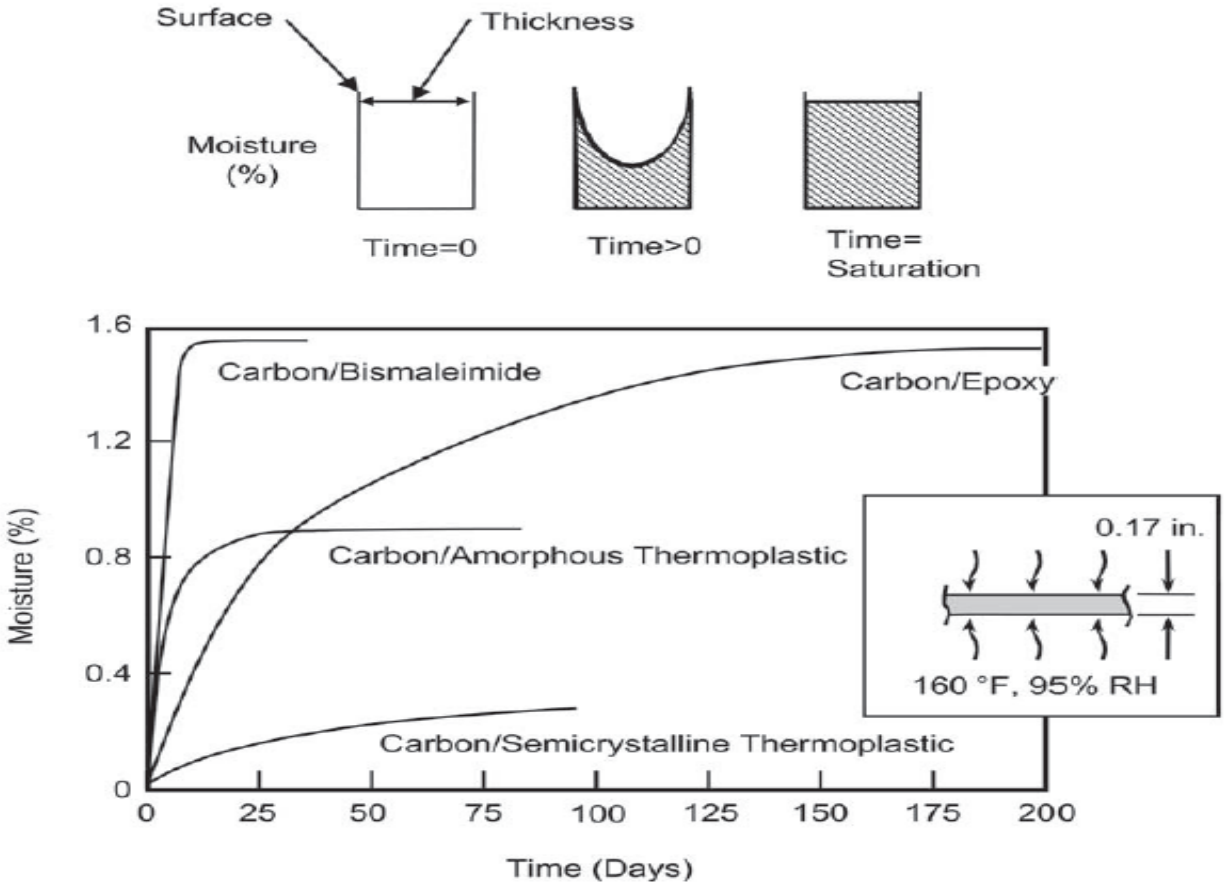
Vlastnosti termoplastových matric

Typ pojiva	Značení	Teplota skelného přechodu	Teplota tavení	Teplota zpracování	Typ morfologie
		°C	°C	°C	
Polyfenylensulfid	PPS	88	285	329-343	Semikrystalický
Polyeterimid	PEI	218	--	316-360	Amorfní
Polyetereterketon	PEEK	143	345	382-399	Semikrystalický
Polyeterketonketon	PEKK	156	310 - 343	327-360	Semikrystalický
Polyaryleterketon	PAEK	147	305	325 -350	Semikrystalický
Polyfenylensulfidsulfon	PPSS	206	--	n/a	Amorfní

Vlastnosti termoplastových matric

Typ pojiva	Značení	Hustota g/cm^3	Absorpce vlhkosti %
Polyfenylensulfid	PPS	1,35	0,02
Polyeterimid	PEI	1,27	1,25
Polyetereterketon	PEEK	1,30	0,40
Polyeterketonketon	PEKK	1,31	0,30
Polyaryleterketon	PAEK	n/a	n/a
Epoxi	Epoxi	1,20	2 ÷ 4

Vlastnosti termoplastových matric



Absorpce vlhkosti v kompozitech s polymerní matricí

Vlastnosti vyztužených termoplastů

C/PPS – tkanina 285 g/m^2 5HS, hmotnostní podíl PPS 43%

Vlastnosti ve směru pramenců

Parametr	Jednotky	Teplota	Podmínky	Hodnota	Podmínky	Hodnota
Pevnost v tahu	MPa	- 55°C	za sucha	780		
Pevnost v tahu	MPa	23°C	za sucha	750		
Pevnost v tahu	MPa	80°C	za sucha	650	za vlhka	650
Pevnost v tahu	MPa	100°C	za sucha	620	za vlhka	620
Pevnost v tahu	MPa	140°C	za sucha	580	za vlhka	530
Modul v tahu	GPa	- 55°C	za sucha	56		
Modul v tahu	GPa	23°C	za sucha	58		
Modul v tahu	GPa	80°C	za sucha	58	za vlhka	56
Modul v tahu	GPa	100°C	za sucha	56	za vlhka	58
Modul v tahu	GPa	140°C	za sucha	55	za vlhka	55

AIMS 05-09-002 Airbus document

Vlastnosti vyztužených termoplastů

C/PPS – tkanina 285 g/m^2 5HS, hmotnostní podíl PPS 43%

Vlastnosti ve směru pramenců

Parametr	Jednotky	Teplota	Podmínky	Hodnota	Podmínky	Hodnota
Pevnost v tlaku	MPa	- 55°C	za sucha	610		
Pevnost v tlaku	MPa	23°C	za sucha	590		
Pevnost v tlaku	MPa	80°C	za sucha	480	za vlhka	475
Modul v tlaku	GPa	- 55°C	za sucha	52		
Modul v tlaku	GPa	23°C	za sucha	53		
Modul v tlaku	GPa	80°C	za sucha	53	za vlhka	53

AIMS 05-09-002 Airbus document

Vlastnosti vyztužených termoplastů

C/PPS – tkanina 285 g/m^2 5HS, hmotnostní podíl PPS 43%

Vlastnosti ve směru pramenců

Parametr	Jednotky	Teplota	Podmínky	Hodnota	Podmínky	Hodnota
Pevnost ve smyku	MPa	- 55°C	za sucha	120		
Pevnost ve smyku	MPa	23°C	za sucha	105		
Pevnost ve smyku	MPa	80°C	za sucha	99	za vlhka	92
Pevnost ve smyku	MPa	100°C	za sucha	88	za vlhka	88
Pevnost ve smyku	MPa	140°C	za sucha	73	za vlhka	73
Smykový modul	GPa	- 55°C	za sucha	4,4		
Smykový modul	GPa	23°C	za sucha	4,1		
Smykový modul	GPa	80°C	za sucha	2,5	za vlhka	2,9
Smykový modul	GPa	100°C	za sucha	1,4	za vlhka	1,4
Smykový modul	GPa	140°C	za sucha	0,48	za vlhka	0,84

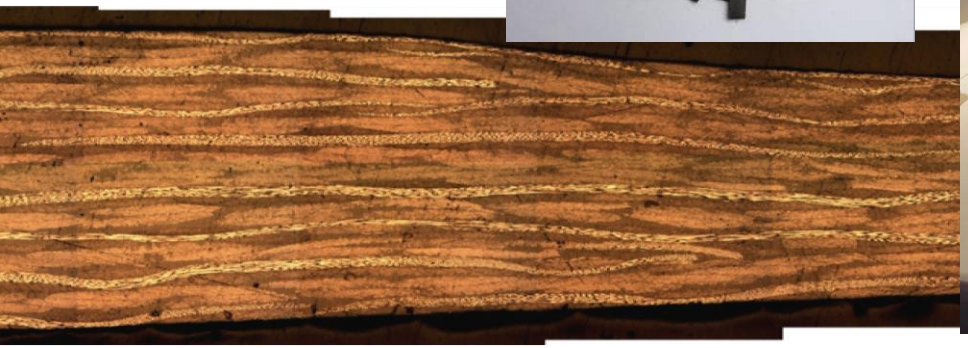
AIMS 05-09-002 Airbus document

Porovnání TS a TP

TERMOSETY	TERMOPLASTY
•výroba dílu je nevratný chemický proces	•opakovatelný výrobní proces
•skladování polotovarů vyžaduje mrazicí box	•neomezený čas skladování za normálních podmínek
•mnoho pomocných materiálů	•žádné pomocné materiály
•zavedená technologie	•nová netradiční technologie
•relativně křehký materiál	•houževnatý materiál
•pevnost v tlaku je výborná	•pevnost v tlaku je dobrá
•únavová životnost je výborná	•únavová životnost je dobrá
•damage tolerance je dobrá	•damage tolerance je výborná
•dielektrické vlastnosti jsou dobré	•výborné dielektrické vlastnosti
•absorbuje vodu až 2%	•absorbuje vodu jen do 0,1%
•FST parametry jsou dobré	•výborné FST vlastnosti
•teplota zpracování 120-200 °C	•teplota zpracování je 320-420°C
•doba vytvrzování je dlouhá	•velmi krátká doba zpracování
•tlak pro zpracování je do 0,7 MPa	•tlak pro zpracování je 2-10 MPa
• fixace vrstev při skladbě po sekvencích	•fixace každé vrstvy při skladbě
•skladba v čisté místnosti	•skladba v normálních podmínkách
•spojování lepením nebo mechanickými spoji	•spojování lepením, mechanickými spoji a svařováním

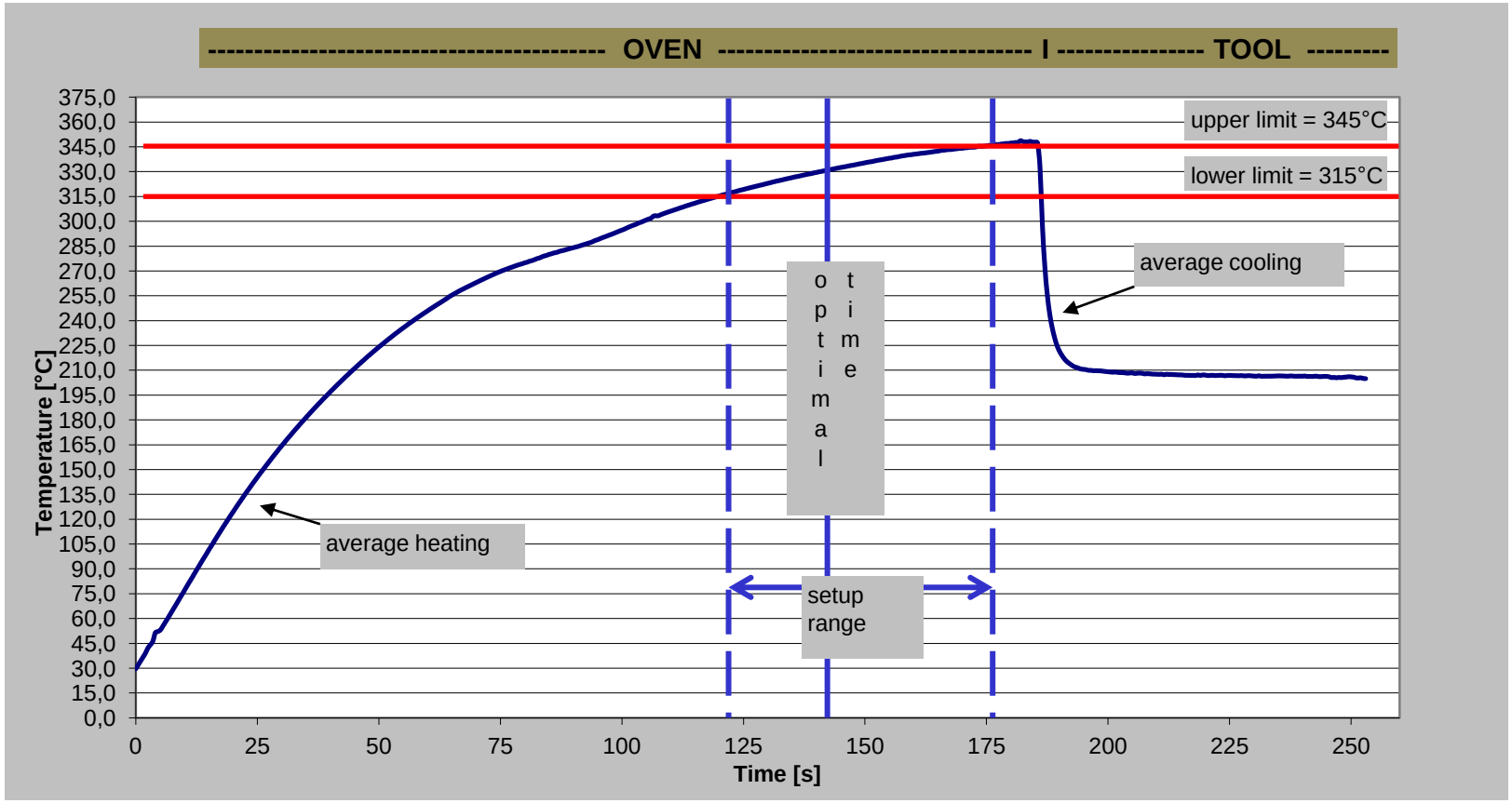
Polotovary pro vyztužené termoplasty

- Semipregy
- UD pásy
- Pelety
- Hybridní tkanina nebo pramenec
- Monolitní desky



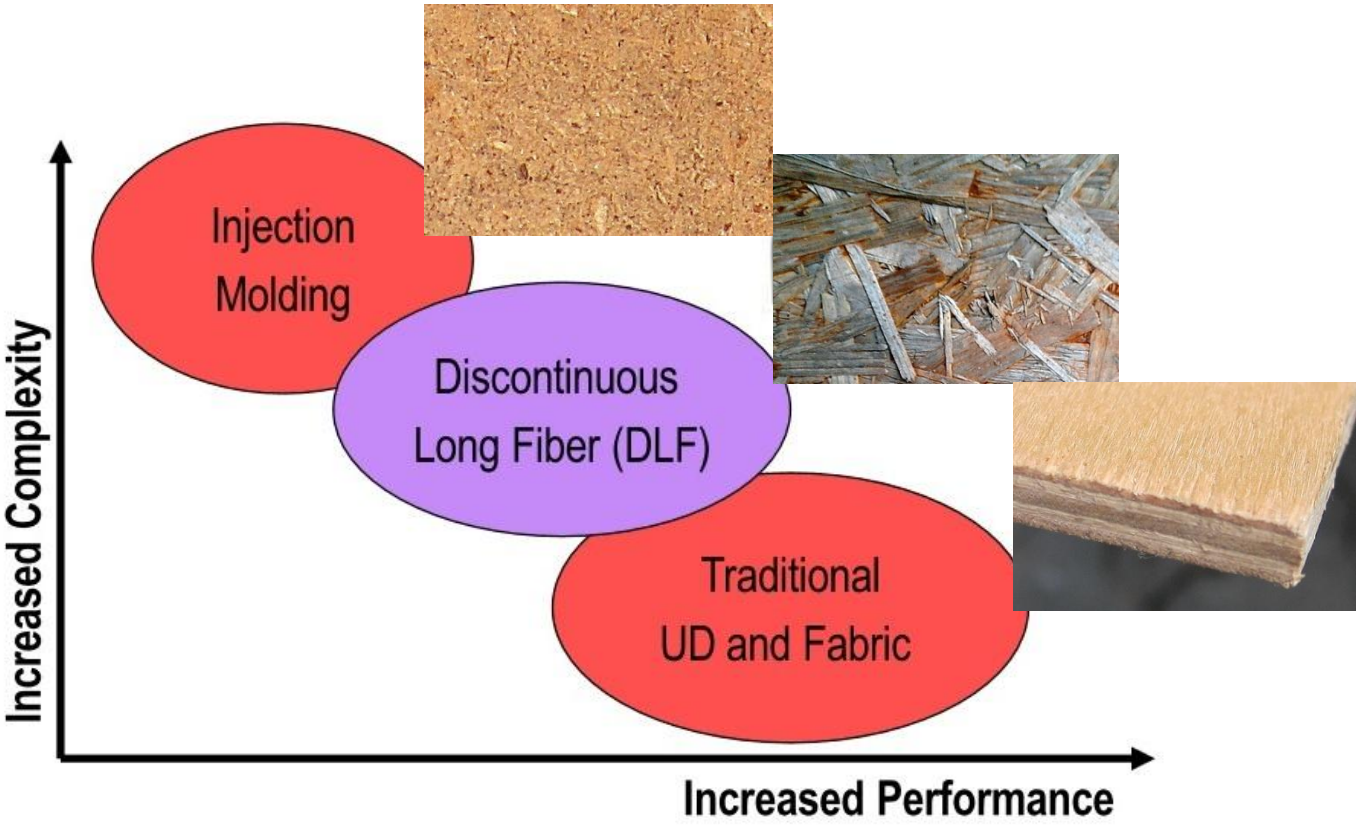
Zpracovatelské procesy

Procesní okno (časové a teplotní parmetry)



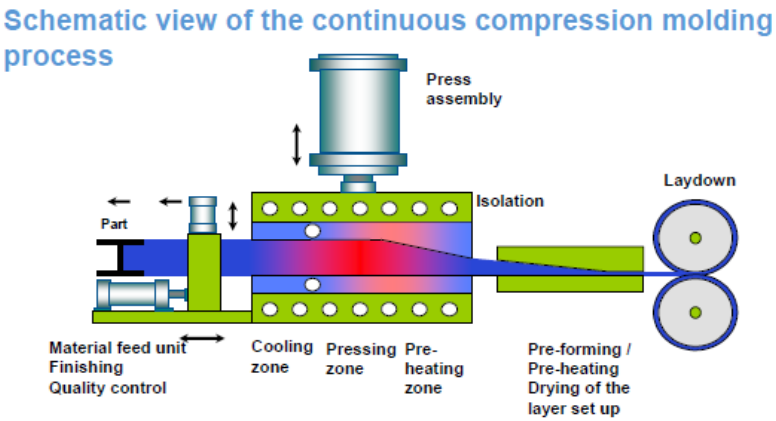
Zpracovatelské procesy

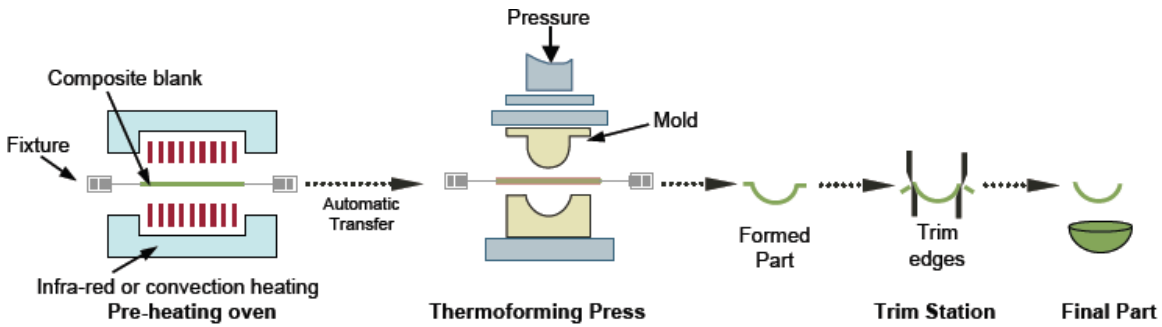
Volba procesu v závislosti na tvaru dílu



Zpracovatelské procesy

- Termoforming
- Autokláv
- Kontinuální proces
- Tváření, BMC
- Kladení in-situ
- Overmoulding



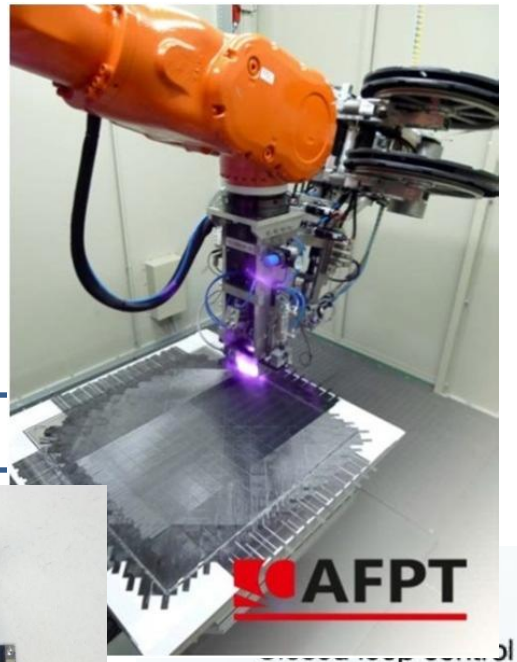


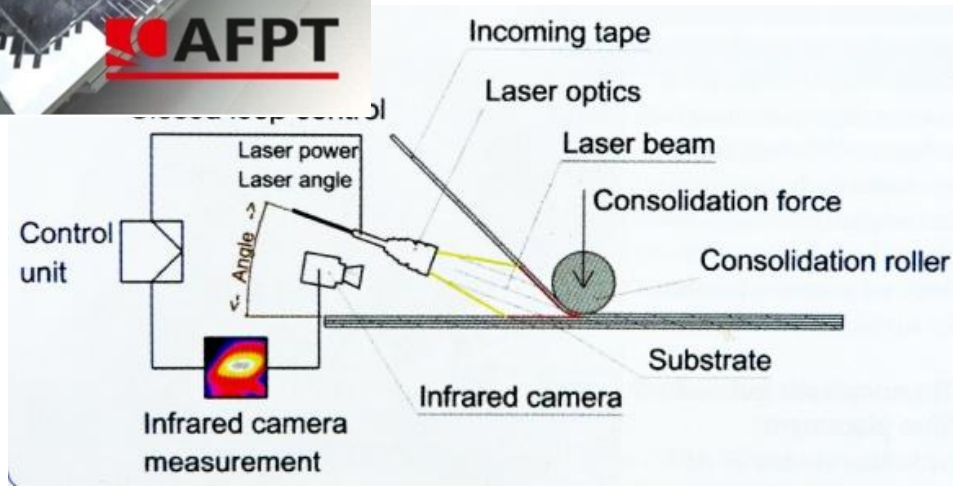
Zpracovatelské procesy

- Termoforming
- Autokláv
- Kontinuální proces
- Tváření, BMC
- Kladení in-situu

Zpracovatelské procesy

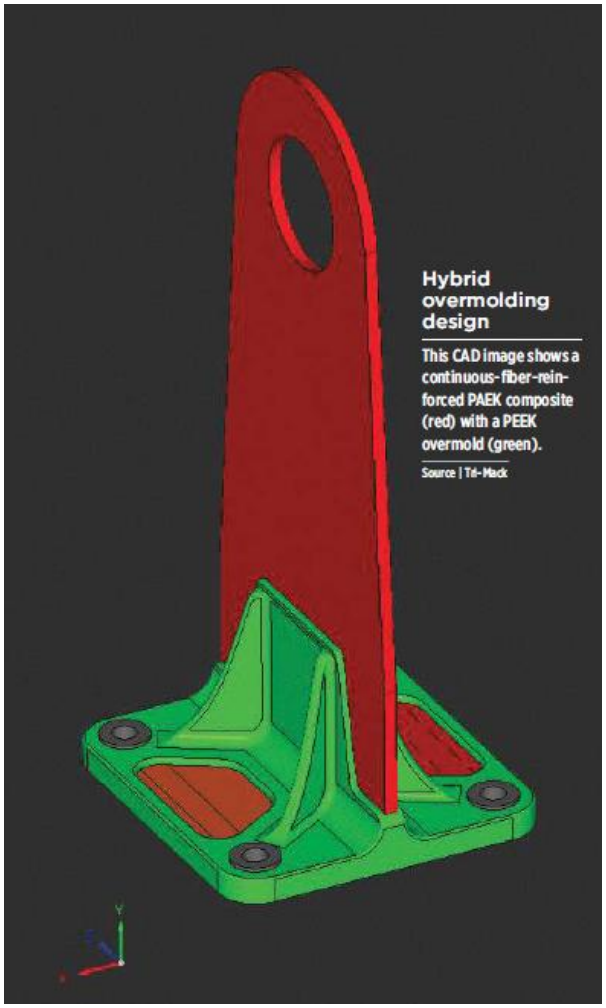
- Termoforming
- Autokláv
- Kontinuální proces
- Tváření, BMC
- Kladení in-situ



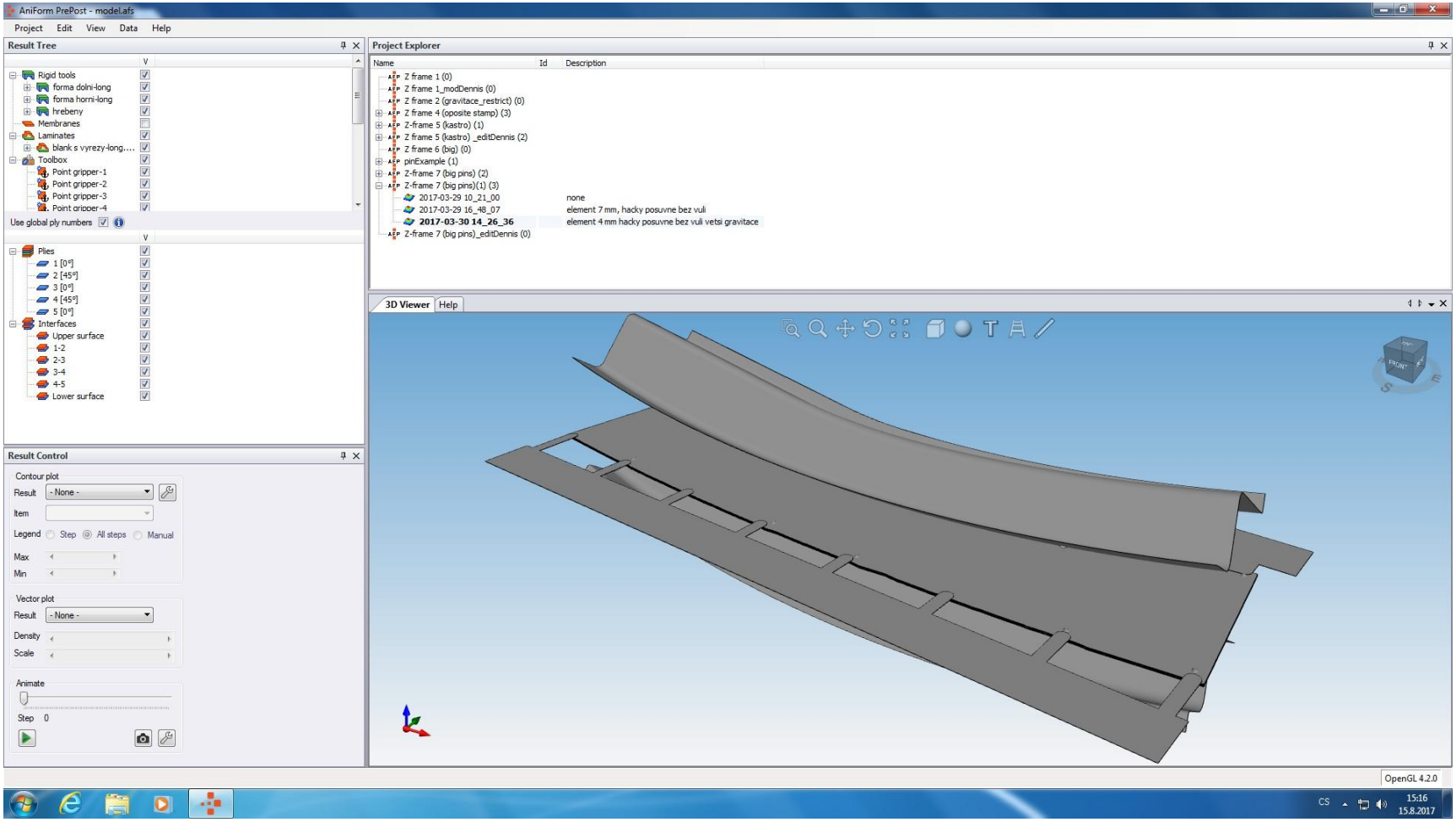


Zpracovatelské procesy

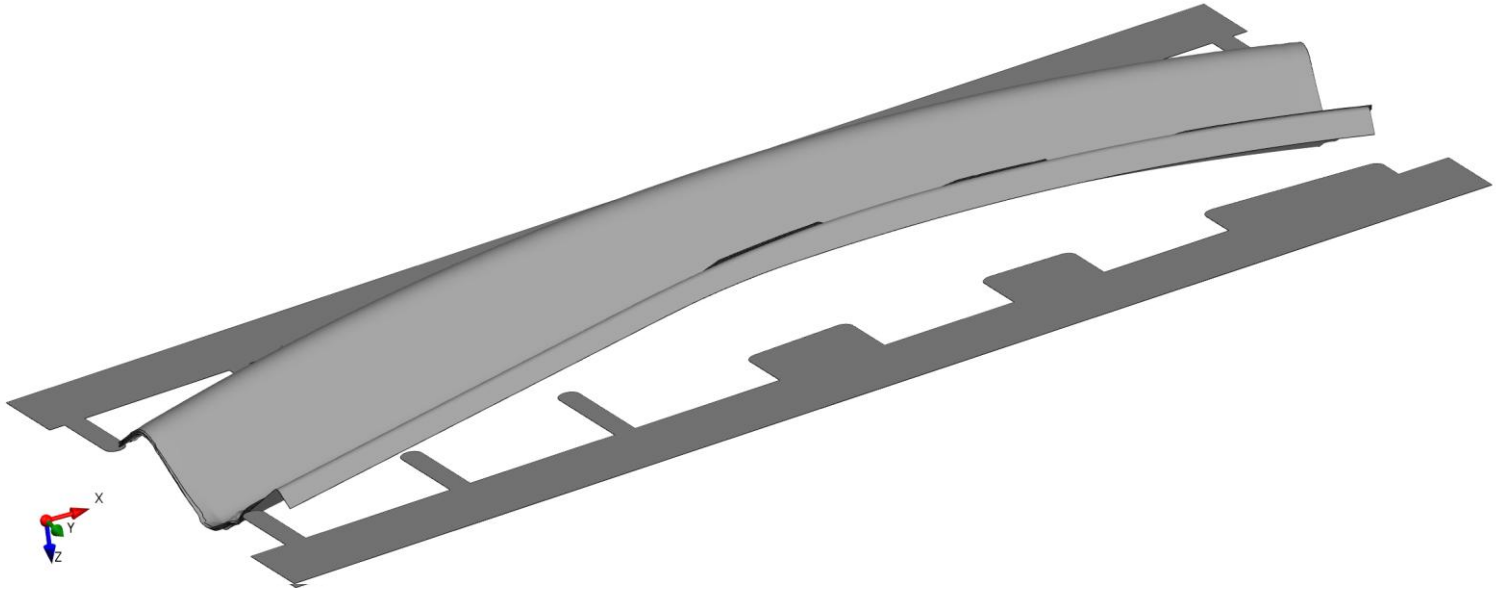
- Termoforming
- Autokláv
- Kontinuální proces
- Tváření, BMC
- Kladení in-situ
- Overmoulding



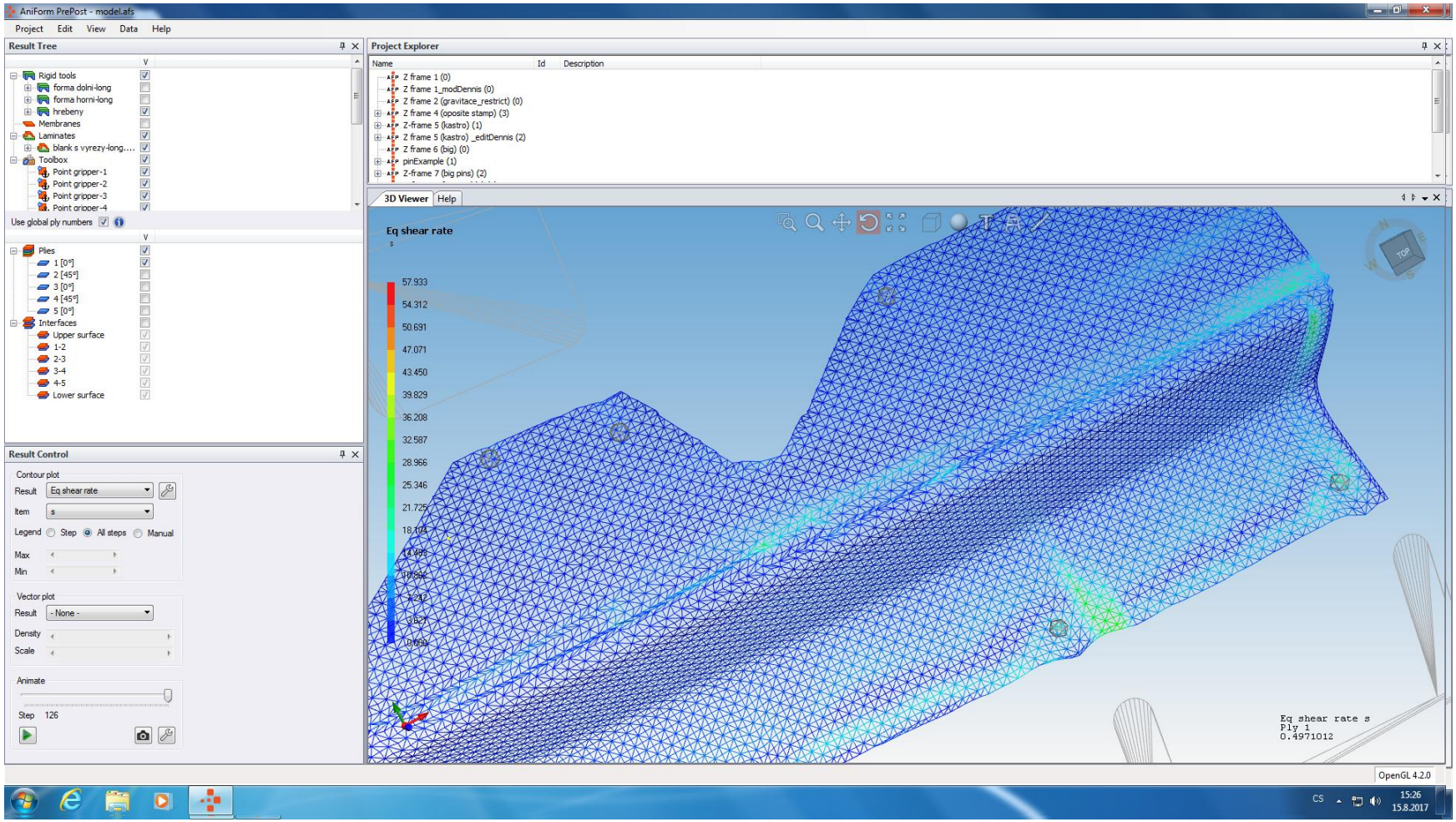
Simulace termoformingu



Simulace termoformingu

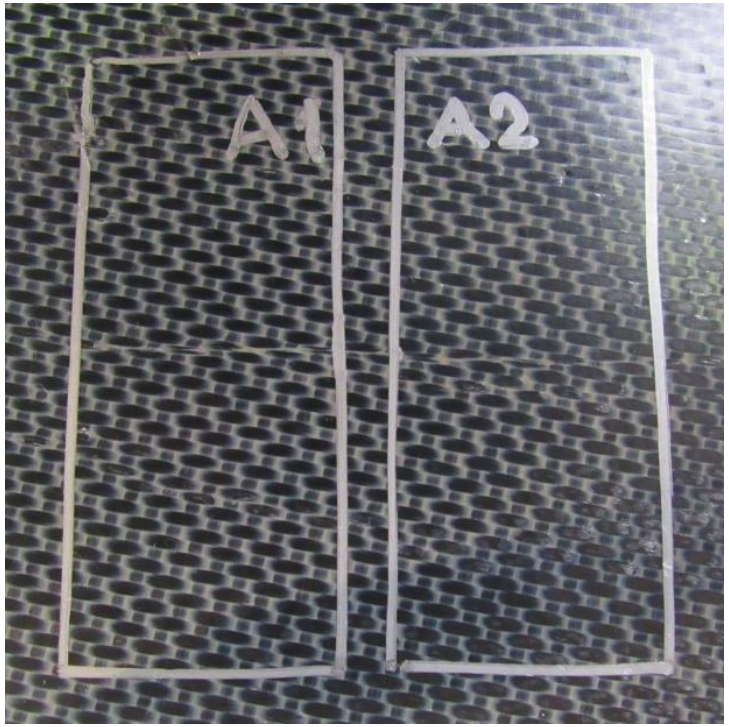


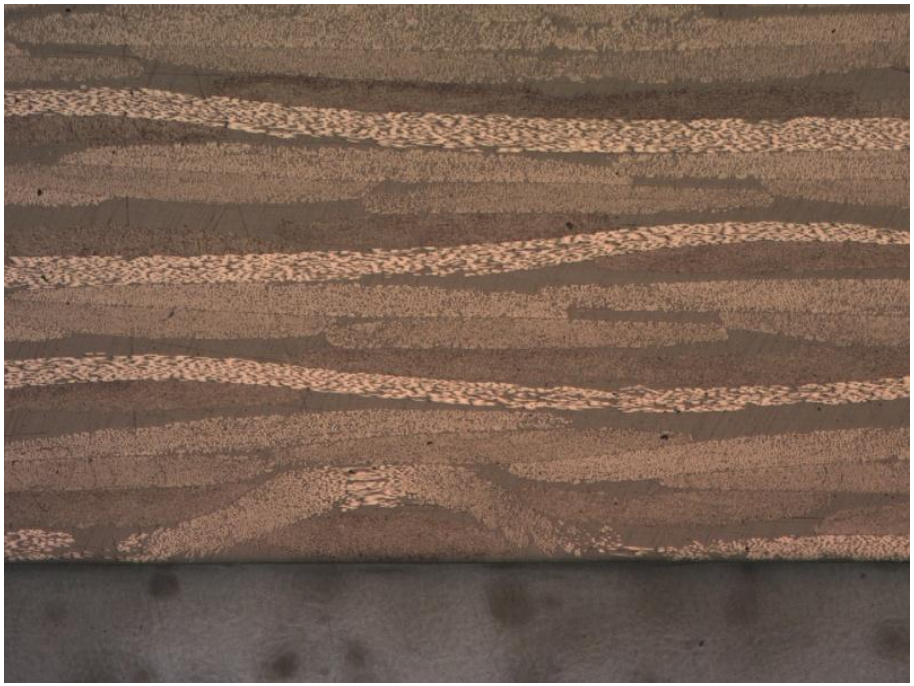
Simulace termoformingu



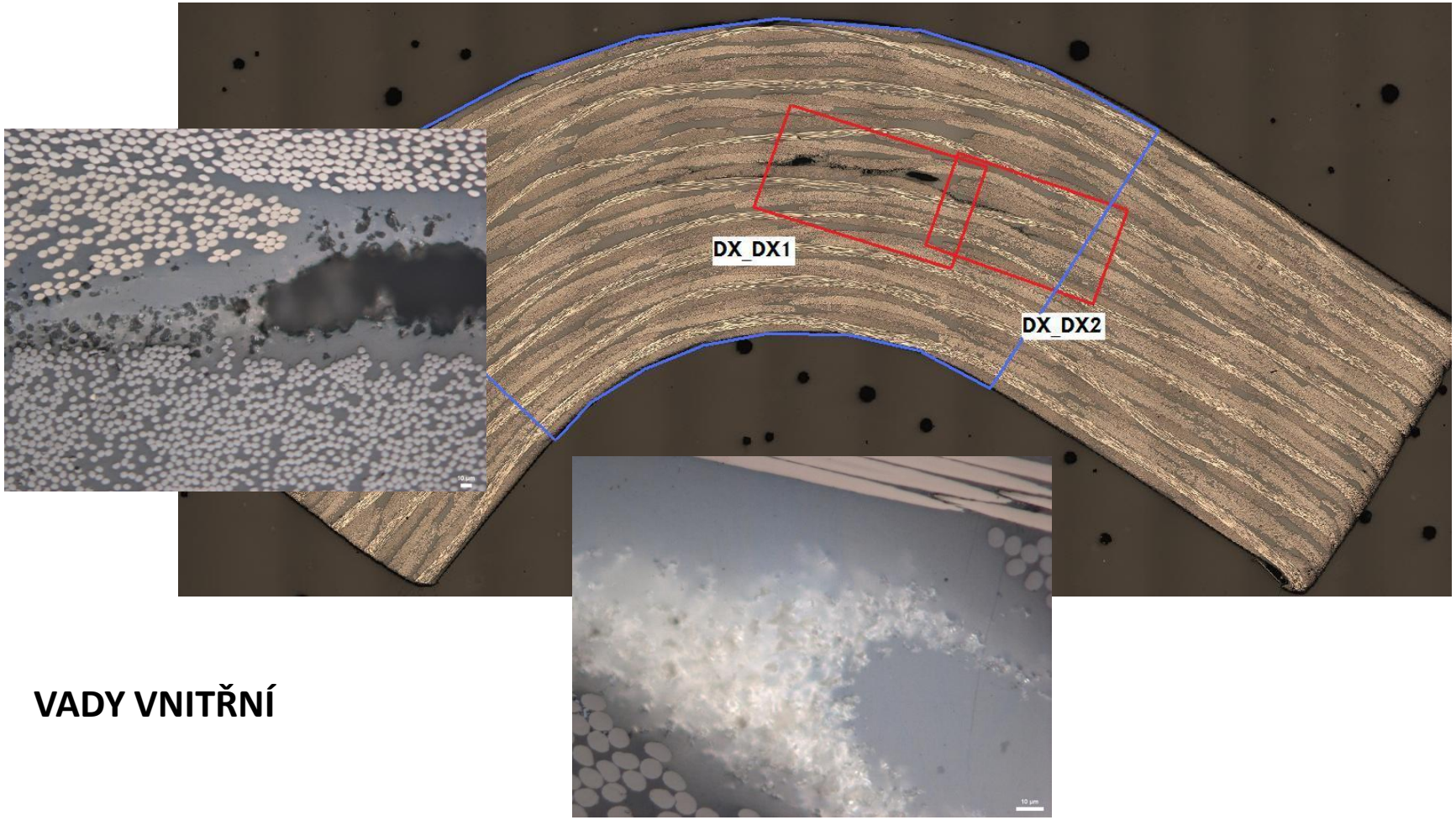
Materiálové vady

VADY POVRCHOVÉ





Materiálové vady

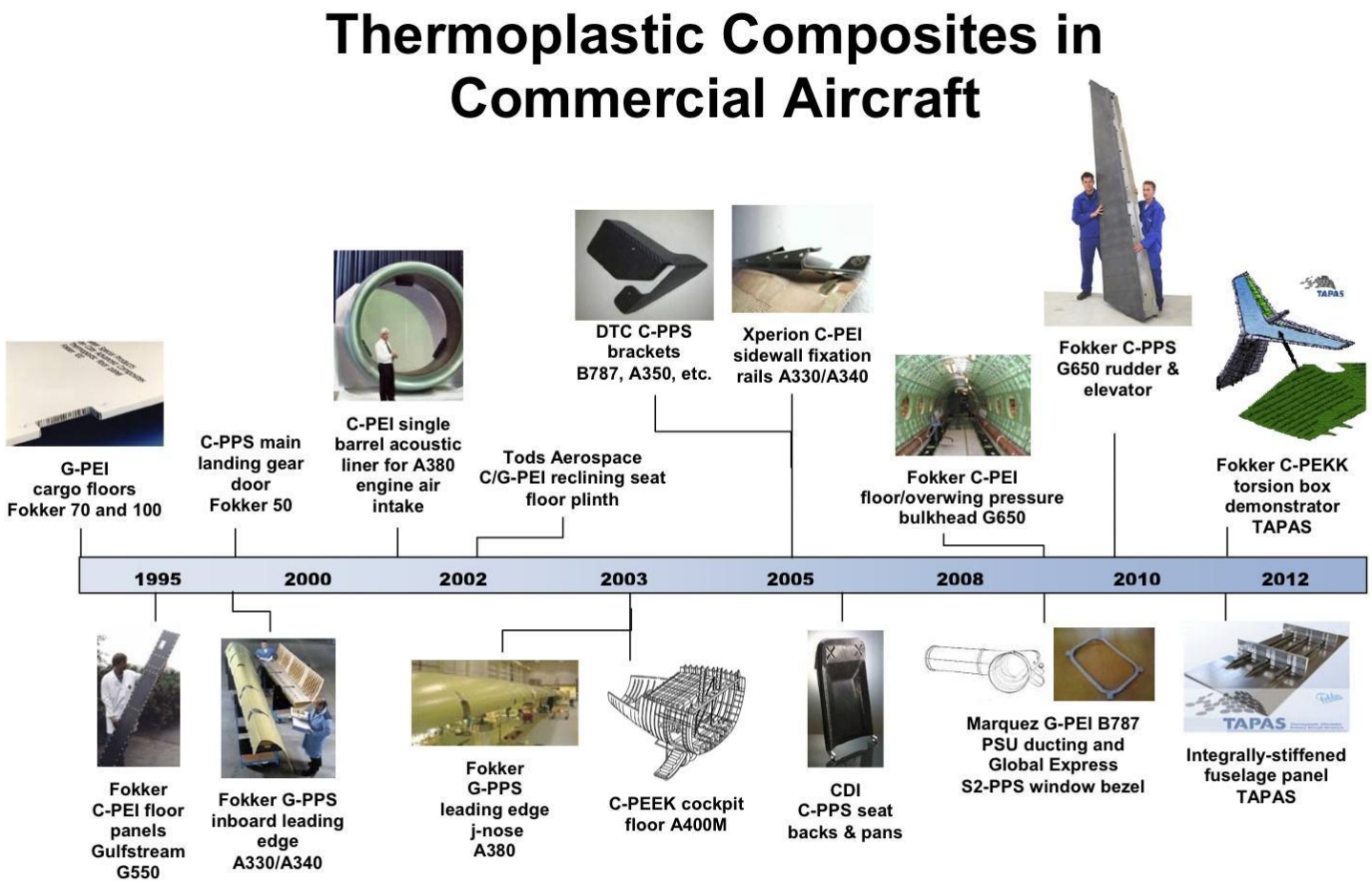


VADY VNITŘNÍ

Ceny materiálů

Výztuž	Matrice	Cena
C tkanina	Epoxi	3 800 Kč/kg
UD uhlík	Epoxi	2 470 Kč/kg
C tkanina	PPS	3 650 Kč/kg
UD uhlík	PPS	2 240 Kč/kg
Diskontinuální C vlákno (BMC)	PPS	2 500 Kč/kg

Praktické aplikace



Praktické aplikace

PEEK

- *Airbus A320 vertical stabilizer brackets*
- *EH-101 helicopter floor*
- *F-117 rudder assembly*
- *F-22 weapons bay doors*
- *F-22 access covers*

PEI

- *737 smoke detector pans*
- *737/757 galleys*
- *747 stowage bins*
- *767 aircraft acoustical tiles*
- *767 and other Boeing aircraft brackets*
- *Airbus A320 bulk cargo floor sandwich structural Panels*
- *Airbus A330 lower wing fairings*
- *A3XX main stair case (developmental)*

PPS

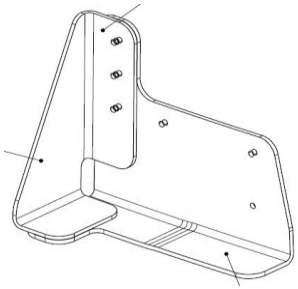
- *Airbus A320-200 rudder nose ribs*
- *Airbus A340 aileon ribs*
- *Airbus A340-500/600 inboard wing leading edge assemblies*
- *Airbus A340-500/600 inboard wing access panels*
- *Airbus A340-500/600 keel beam connecting angles*
- *Airbus A340-500/600 keel beam ribs*
- *Airbus A340-500/600 pylon panels*
- *Fokker 50 main landing gear door*

Praktické aplikace

Clipy v trupu Airbus 350 XWB

Foto Airbus

Praktické aplikace

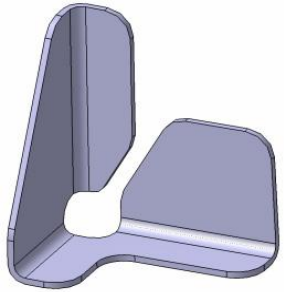


Airbus 2007

Letov 2007

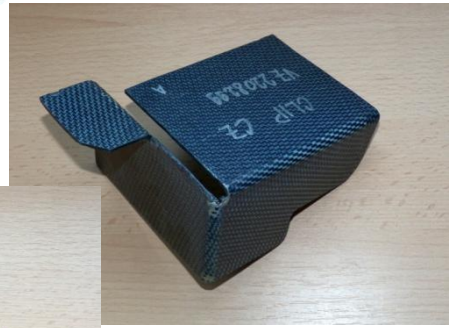
Letov 2008

SAMPE 2009



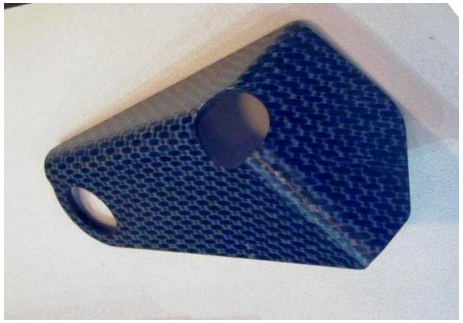
Airbus 2009

Letov 2009



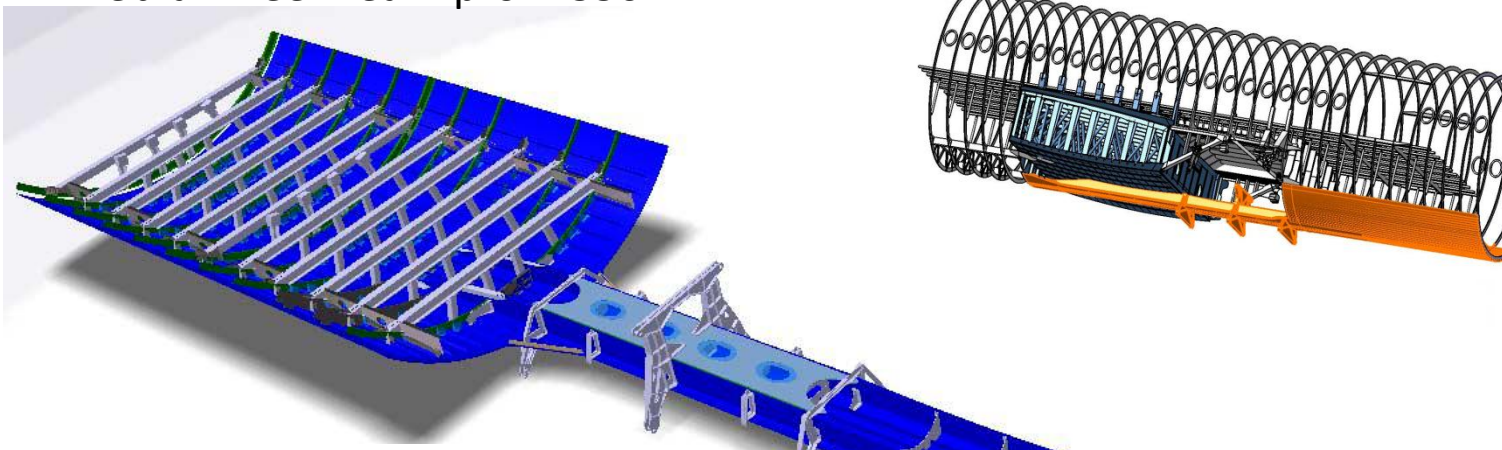
Letov 2012

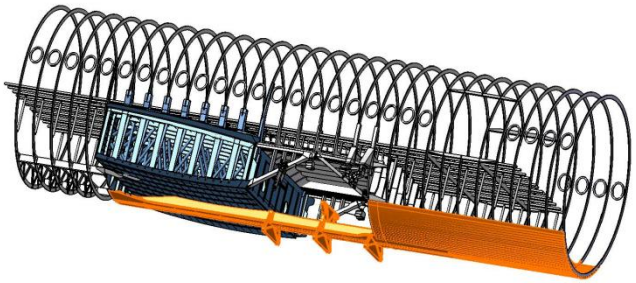
JEC 2015

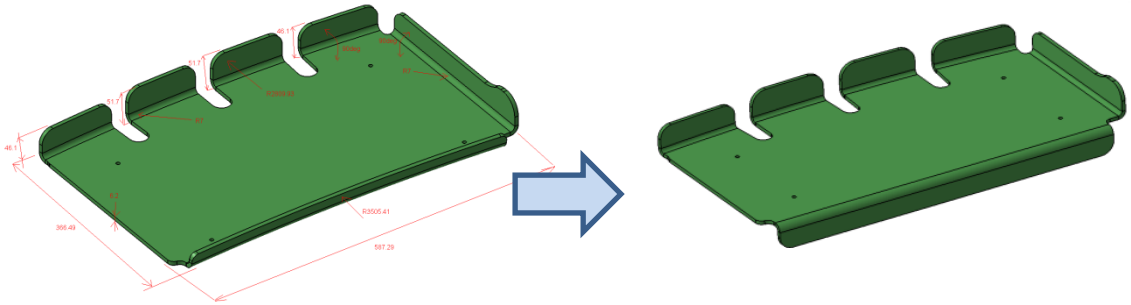


Praktické aplikace

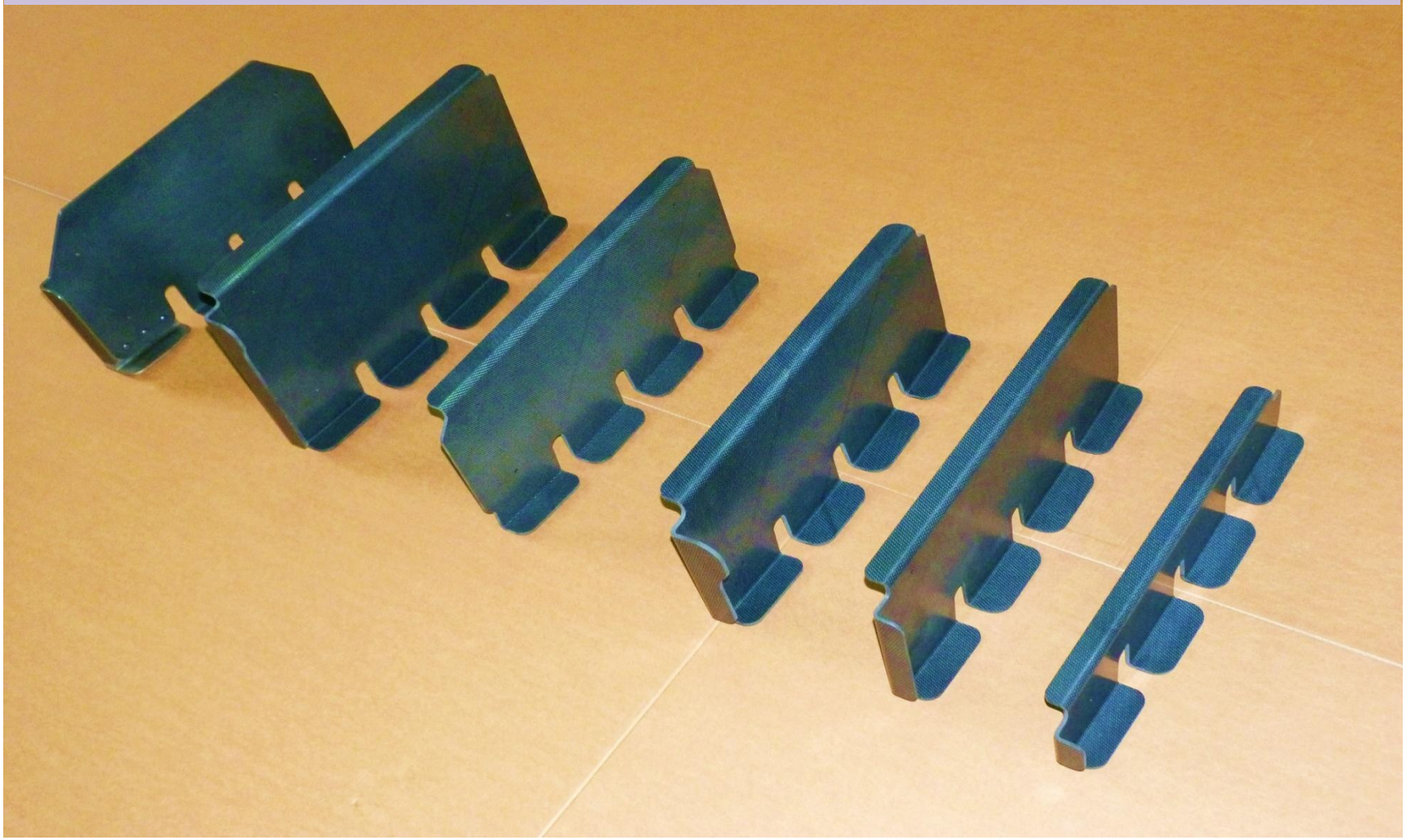
Žebra v Keel Beam pro A 350



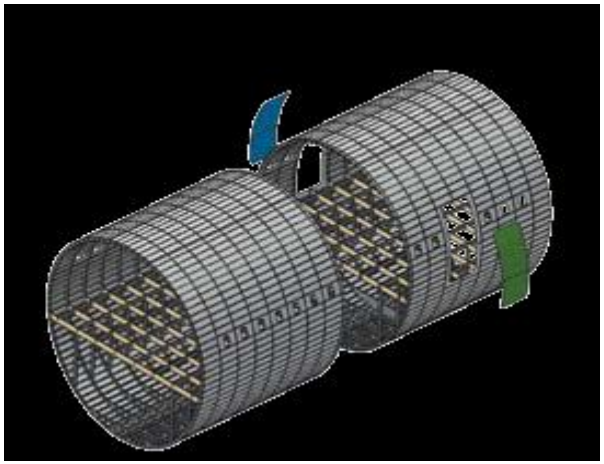


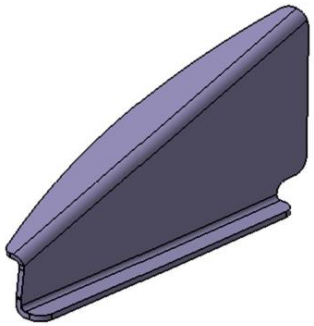


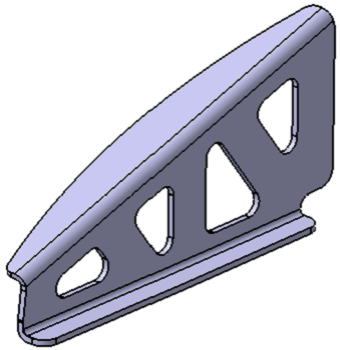
Praktické aplikace

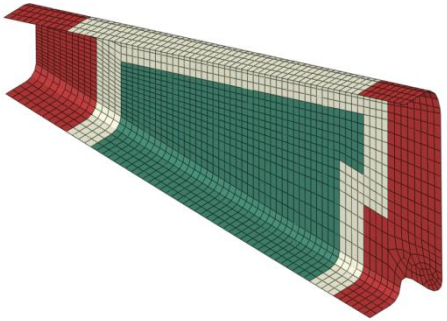


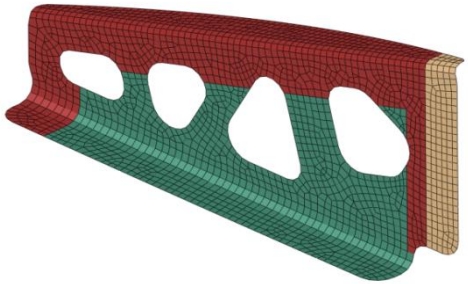
Praktické aplikace

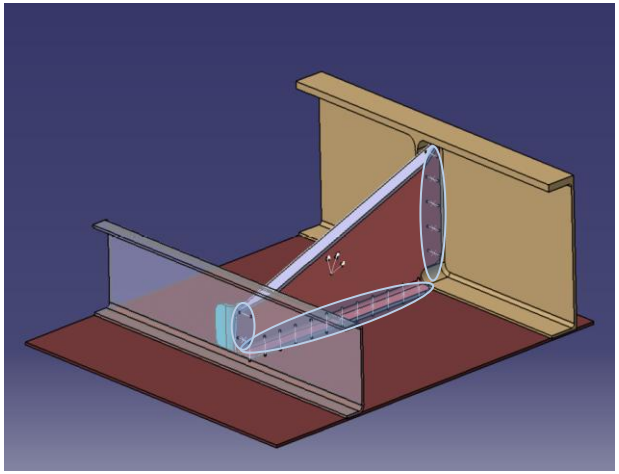








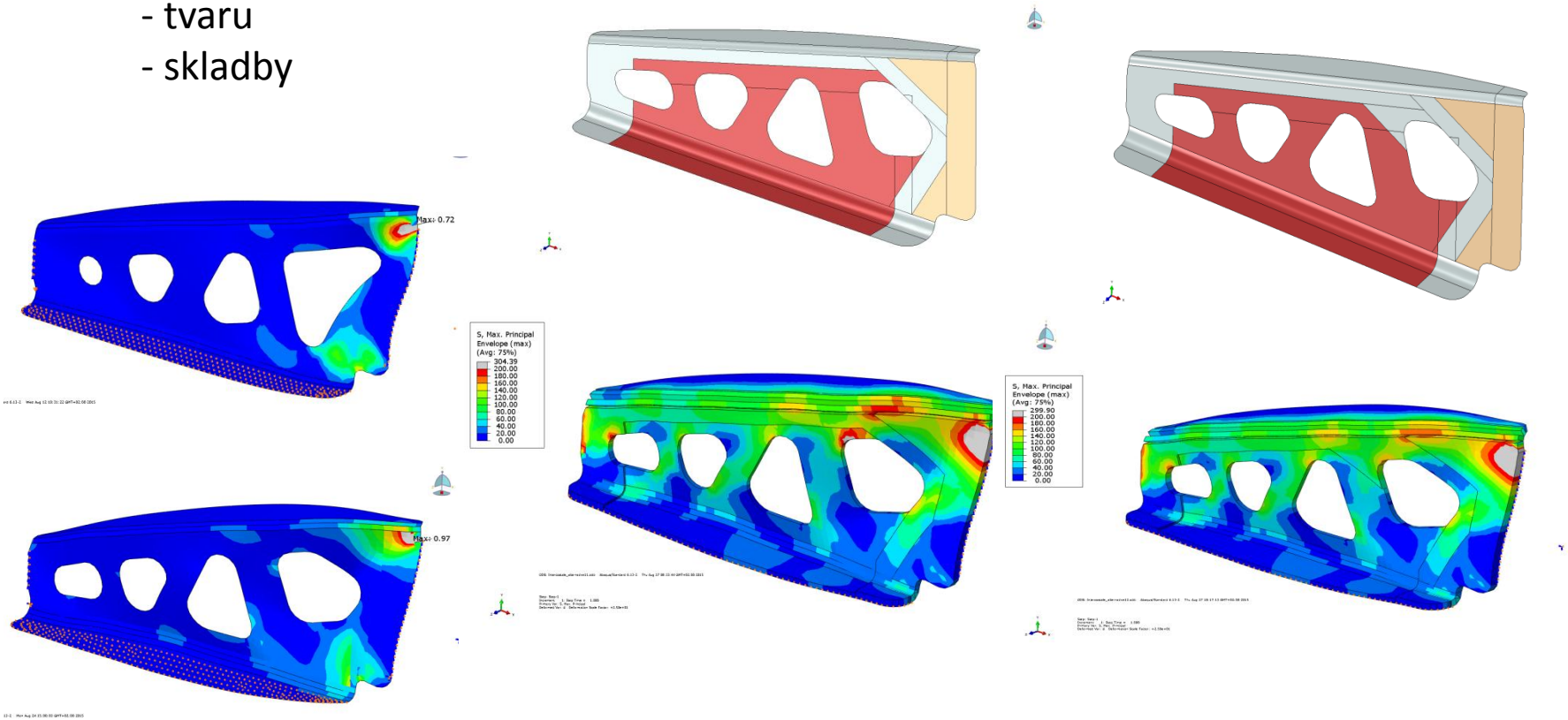




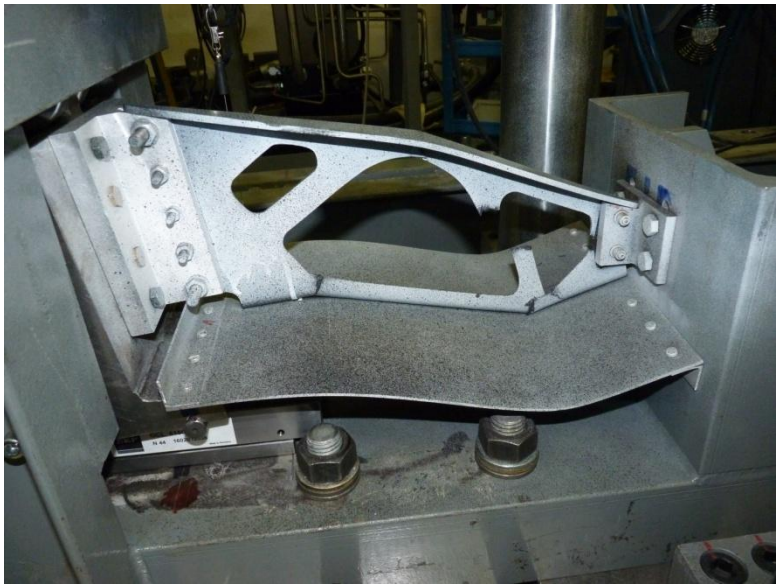
Praktické aplikace

Optimalizace

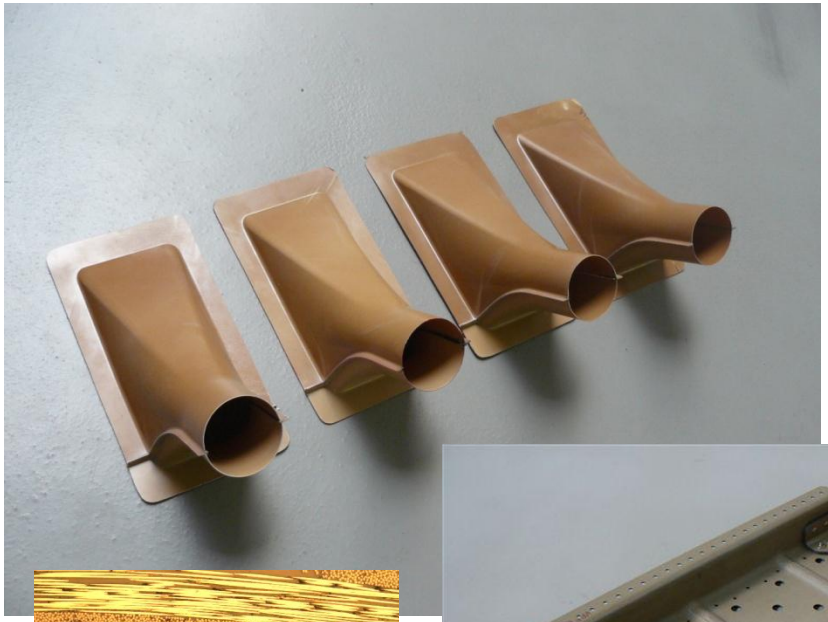
- tvaru
- skladby

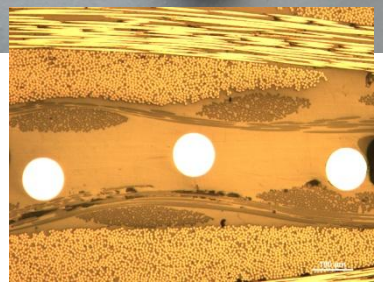


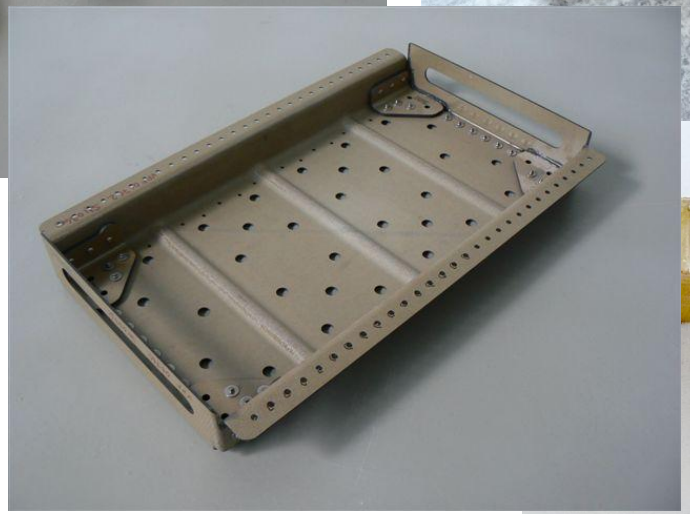
Praktické aplikace

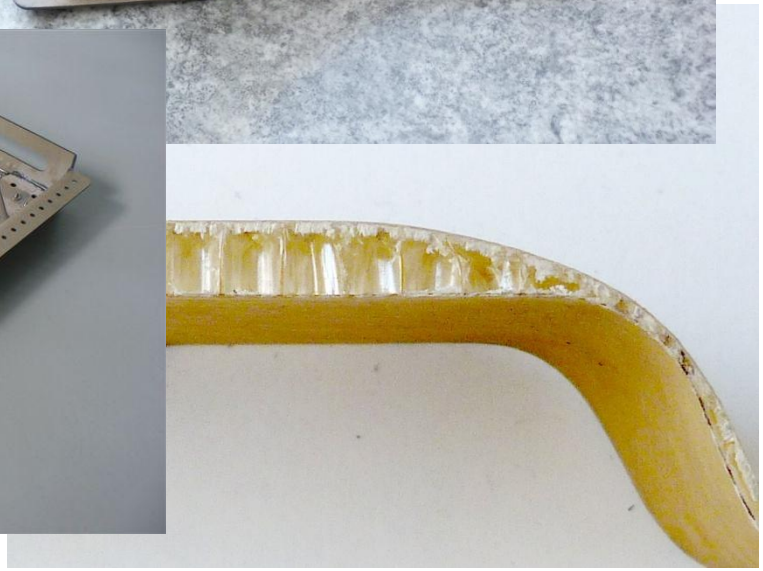


Praktické aplikace





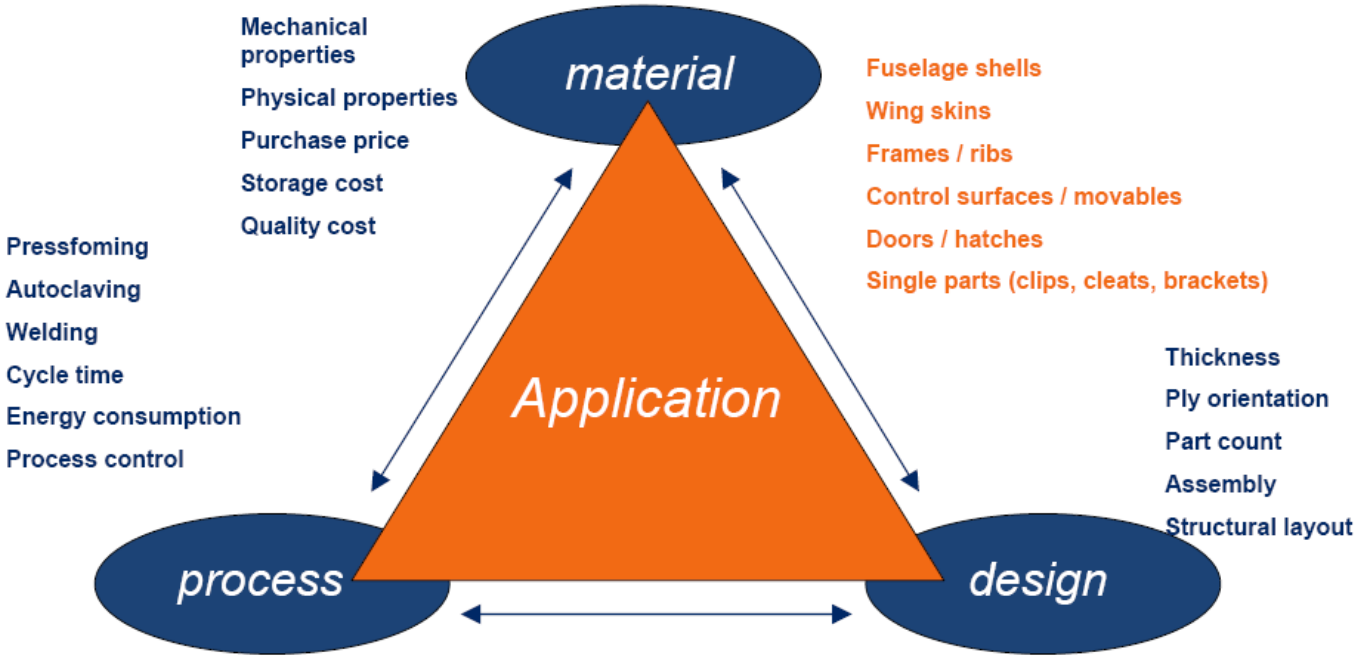




Konstruktérský přístup

CETEX – new application development

For comparisons with other technologies take into acount the three cornerstones



Použitá literatura

- Prof.P.C.Pandey, Dept.of Civil Eng., IISc Bangalore, Composite materials
- J. D. Muzzy, Thermoplastics, Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA, USA
- Luche, E., TAPAS Thermoplastic stiffened panels for fuselage Application, SAMPE conference SEICO 13
- Black, S., Reinforced thermoplastics in aircraft primary structure, High – Performance Composites, July 2008
- JEC Composite magazine
- TenCate documentation
- Victrex Technical Data Sheets
- ABS 5045 Airbus document
- Biron, M., Thermoplastic and thermoplastic composites
- F. C. Campbell, Structural Composite Materials, ASM International 2010
- Jeníková, Z., Měření DSC termoplastových matric

Prezentované vývojové práce byly provedeny s podporou MPO a TAČR
v rámci projektů TIP FR-TI1/463 a ALFA TA03010209

Děkuji za pozornost