

Možnosti simulace technologického procesu pulruze

Jiří Křenek

Bakalářská práce
2005



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Vložit oficiální zadání diplomové/bakalářské práce

Chtěl bych tímto poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce Doc. Ing. Antonínu Blahovi, CSc. za odborné vedení, cenné rady a připomínky, které mi poskytoval v průběhu vypracování bakalářské práce.

Dále bych chtěl poděkovat Doc. RNDr. Vojtěchu Křesálkovi, CSc., Ing. Richardu Pavlicovi, Ph.D. a Pavlu Drábovi za konzultace a poskytnutou literaturu k řešenému problému.

Prohlašuji, že jsem na celé bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval.

Ve Zlíně, 01. 06. 2005

.....

jméno diplomanta

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá technickým řešením výrobního postupu kompozitních materiálů ve firmě 5M s. r. o. Dává možný návod na řešení některých problémů pultruzní linky, především měření teploty skelných vláken po mikrovlnném ohřevu před pultruzní vytlačovací hlavou a následném zpracování dat pomocí realizačního prostředí Control Web 2000 v počítači.

This bachelor's thesis focuses on the technical solution of the composite material production process in 5M ltd. It offers solutions for some problems of pultrusion line, especially for temperature measurement of glass fibres that have to microwave heating in front of the extrusion head and the subsequent data processing by Control Web 2000.

OBSAH

ÚVOD	6
1. TEORETICKÁ ČÁST	7
1.1 SKLENĚNÁ VLÁKNA	7
1.1.1 Historie skleněných vláken	7
1.1.2 Současnost a budoucnost skleněných vláken	8
1.2 KOMPOZITNÍ MATERIÁL	9
1.2.1 Definice	9
1.2.2 Materiálové složení	9
1.2.3 Pultruze	10
1.2.4 Popis výroby	12
1.2.5 Realizace	13
1.3 MATEMATICKÉ MODELOVÁNÍ TECHNOLOGICKÉHO PROCESU PULTRUZE	15
1.3.1 Matematický model	15
1.3.2 Metody měření reakčních parametrů na DSC	16
1.3.3 Měření na DSC za konstantní teploty	16
1.3.4 Dielektrická analýza	16
1.3.5 Analýza procesu	18
1.4 MĚŘENÉ A REGULOVANÉ VELIČINY PŘI PULTRUZI	19
1.4.1 Vytápění	19
1.4.2 Měření teploty a regulace	19
1.4.3 Připojení k formě	20
2 PRAKTICKÁ ČÁST	21
2.1 POLOPROVOZNÍ EXPERIMENTY	21
2.2 MĚŘENÍ TEPLoty BEZDOTYKOVÝM ZPŮSOBEM	26
2.2.1 Charakteristika	26
2.2.2 Výběr zařízení pro měření teploty bezdotykovým způsobem	26
DISKUSE	28
ZÁVĚR	29
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	30
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	31
SEZNAM OBRÁZKŮ	33
SEZNAM TABULEK	34
SEZNAM PŘÍLOH	35
PŘÍLOHY	36

ÚVOD

V posledních 20-ti letech jsou předmětem zájmu odborníků všech profesí kompozity plněné skleněnými vlákny. Mezi nejnovější a nejekonomičtější technologie jejich výroby patří tažení dlouhovláknitých kompozitních materiálů, tzv. pultruze. Je to kontinuální proces, jehož principem je vedení dlouhých impregnovaných vláken (výztuží) vytvrzovací formou (pultruzní hlavou), kde dochází k fixování tvaru polymerní matrice.

Tato technologie zaznamenává obrovský rozmach co se týká produkce. Nejvíce se rozvíjí na americkém kontinentu a Japonsku. V České republice se rozvíjí pomaleji, ale zaznamenává čím dál tím víc větší ohlasy.

Původní vojenské využití kompozitních materiálů za druhé světové války podnítilo jejich aplikace v padesátých letech. Dnes si průmysl chemický, strojírenský, energetický, a jiný nedokáže představit svoji materiálovou základnu bez použití kompozitních materiálů. Příkladem může být postavení silničního mostu v USA s těchto profilů a nebo konzoly pro kabely v tunelu pod kanálem La Manche.

Jako každý proces je i pultruze rentabilní při dostatečně vysoké produkci výrobků. Hlavními faktory ovlivňující rychlost produkce je teplota, odtahová rychlost, druh matrice, stupeň konverze. Celá technologie by nefungovala, kdyby nebyly všechny veličiny a součásti synchronizovány.

V dnešní době, kdy zavádění nových technologií a výrobních postupů je příliš nákladné, se vyplatí požadovanou výrobu simulovat pomocí realizačního prostředí v počítači. Tato metoda je méně nákladná, ale časově náročná. Týká se to především vytvoření matematického modelu pultruze, který je i tak náročný na výpočet, přestože v sobě nezahrnuje všechny veličiny.

Převod do realizačního prostředí je složitější, protože měřené veličiny musí být mezi sebou kompatibilní.

Dá se předpokládat, že materiály vyrobené pultruzí budou hrát stále větší roli v našem i celosvětovém průmyslu.

1. TEORETICKÁ ČÁST

1.1 Skleněná vlákna

Oproti masivnímu sklu mají vlákna především vyšší pevnost v tahu a mohou se použít pro výrobu moderních kompozitních materiálů. Skleněná vlákna jsou tradičním výrobkem českého průmyslu a vyrábějí se ve formě stříže nebo nekonečných vláken vhodných pro další využití ve stavebních, chemických i konstrukčních odvětvích průmyslu.

1.1.1 Historie skleněných vláken

Výroba skla [12, 13, 14] byla známa již Egyptanům okolo roku 1800 př. n. l. a můžeme s jistotou tvrdit, že první výrobci skla znali i skleněná vlákna, která dokázali snadno vytáhnout z roztavené skloviny. Egyptské vázy okolo roku 1600 př. n. l. byly již zdobeny hrubými skleněnými vlákny. Archeologické nálezy v Číně (dynastie Han 206 let př. n. l. až 220 let n.l.) obsahovaly tlustá skleněná vlákna o složení obdobném současnému E - sklu.

V 16. a 17. stol. n. l. začali benátská skláři zdobit ve větší míře své výrobky skleněnými vlákny. Laboratorní výrobu a technické použití skleněných vláken uvádějí ve svých pracích zakladatelé moderní fyziky Hooke a Réaumur (17. až počátek 18. století). Koncem 19. stol. se objevují první zmínky o technickém využití skleněného vlákna v patentové literatuře. Nejstarší dochovaná zmínka je z roku 1880 a zabývá se drátem pro telegraf opředeným skleněnou izolací. Veřejný zájem o skleněná vlákna byl vzbuzen na Světové výstavě v Chicagu v roce 1893, kdy E. D. Lingey vytáhl pramence vláken z rozzhavených konců tyčí a namotal je na otáčející se buben velkého průměru.

V roce 1916 podává R. Kemp první patent na vlákna vyztužený plast a od roku 1934 jsou průmyslově vyráběna tepelně-izolační skleněná vlákna v Newarku (Ohio, USA). V následujících letech probíhal vývoj E-skloviny pro skleněná vlákna a v roce 1951 získává patent na allylsilanovou povrchovou úpravu vláken R. Steinman.

1.1.2 Současnost a budoucnost skleněných vláken

Skleněná vlákna [15, 16] jsou vlákna anorganická s širokou škálou použití. Ceněná jsou hlavně pro svoje výborné technické vlastnosti jako jsou vysoká pevnost, vysoká hodnota Youngova modulu v tahu, odolnost vůči vysokým teplotám, nehořlavost, dobrá chemická odolnost a dobré elektrické vlastnosti. Vynikajících tepelně a zvukově izolačních vlastností využívá v široké míře stavební průmysl.

Vlastnosti skleněných vláken jsou výhodné zvláště ve výrobě kompozitních materiálů jako vyztužující kontinuální vlákna nebo ve formě stříže. Skleněná vlákna jsou používána ke konstrukci vláknových kompozitů o vysoké kvalitě s vysokými nároky na mechanické a tepelné vlastnosti. Konečné výrobky se využívají především v automobilovém průmyslu, ve stavebnictví, leteckém průmyslu, chemickém průmyslu, elektrotechnice a v jiných odvětvích. V elektrotechnickém průmyslu se aplikují zejména ve výrobě laptopů, počítačů a mobilních telefonů. V současné době se věnuje větší pozornost výrobě a použití skleněných vláken ve formě nekonečného vlákna.

Moderní kompozitní konstrukční materiály se bez skleněných výztuží neobejdou. V roce 2001 byla celosvětová výroba skleněných vláken na úrovni 2,5 milionu tun [6]. V roce 2000 byla v Evropě spotřeba sklolaminátů rozdělena následovně: 37 % dopravní aplikace, 25 % elektrické a elektronické výrobky, 31 % stavební prvky, 5 % výrobky pro sport a volný čas a 2 % ostatní aplikace. Technologie zpracování moderních kompozitních prvků zahrnuje kromě klasického ručního kladení a prosycování textilních vrstev využití autoklávové techniky, navíjení vláken, tažení profilů (pultruze), injekční vstřikování, tlakové prosycování pryskyřicemi (resin transfer molding) a další způsoby.

1.2 Kompozitní materiál

1.2.1 Definice

Kompozitem je každý materiálový systém, který je složen z více, nejméně však dvou složek, z nichž alespoň jedna je pevná, s makroskopicky rozeznatelným rozhraním mezi složkami, a který dosahuje vlastností, které mohou být dosaženy kteroukoliv složkou samostatně ani prostou sumací.

1.2.2 Materiálové složení

Termosetové kompozitní materiály jsou složeny ze dvou fází:

- matrice (pojivo)
- plnivo (výztuž)

Matrice je polymerní materiál, kterým se impregnuje výztuž. Pojivo rozvádí mechanické namáhání rovnoměrně na všechna vlákna výztuže a chrání je před mechanickým nebo chemickým poškozením, tj. dodává kompozitu odolnost proti chemickým, povětrnostním a jiným vlivům.

Jako matrice se nejčastěji používá polyesterová pryskyřice ortoftalového typu. Z nich lze vyrábět nejrůznější výrobky, na které nejsou kladeny požadavky zvýšené chemické odolnosti. Pokud mají být výrobky vystaveny působení lehce agresivních médií, používají se pryskyřice izovtalového typu. Pokud se agresivita média zvyšuje, je možné použít pryskyřice vinylesterové, pro některá speciální prostředí fenolické popř. furanové pryskyřice. Pro některé aplikace se rovněž používají pryskyřice epoxidové.

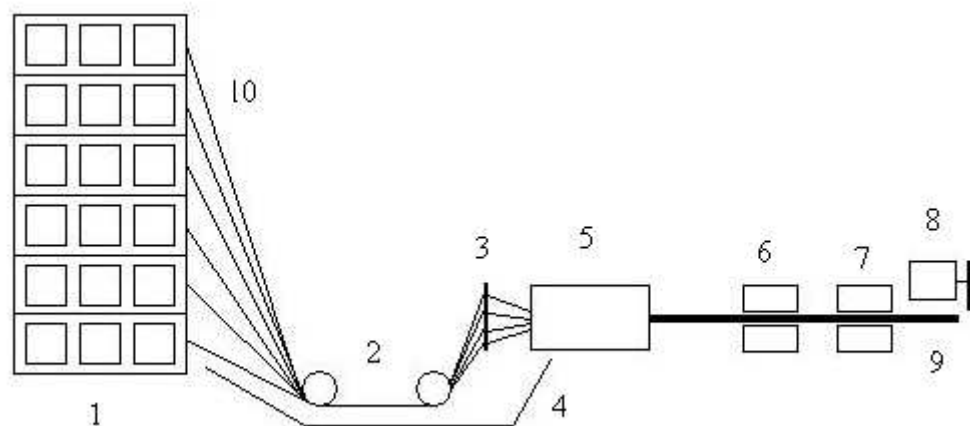
1.2.3 Pultruze

Pultruze (nebo také proces tažení profilů) patří mezi perspektivní výrobní technologie produkující kompozitní materiály na bázi polymerní matrice vyztužené dlouhými vlákny.

Pultruzní tažení je automatizovaný a kontinuální proces výroby kompozitních profilů a desek. Princip technologie je založen na tažení vláken pryskyřičnou lázní, následném tvarování průřezu profilů a tepelném vytvrzení pryskyřice. Následuje řezání hotového profilu na požadované délky. Rychlost tažení kompozitních profilů je závislá na použití matrice (reaktoplastické do 3m/min, termoplastické až 10 m/min), velikosti profilu, jeho komplikovatelnosti a technické úrovni technologického zařízení (pultruderu).

Použití tažení kompozitních profilů a desek má oproti ostatním způsobům výroby kompozitů tyto hlavní přednosti:

- Jednoduchý proces výroby
- Neomezené kombinace materiálů
- Rychlá změna matrice nebo vyztužovacích vláken
- Výroba různých profilů
- Snadná manipulace s výslednými výrobky
- Snadný transport výrobků



Obr.1. Náskres linky na výrobu profilů pultruze.

1. zásoba rovingu, tkaných i netkaných rohoží, vláken
2. nádoba, ve které se vlákna namočí v pryskyřici pomocí otočných válečků, které vlákna pryskyřicí prosytí uvnitř
3. deska s naváděcími otvory
4. odtoková deska zachycující přebytečnou pryskyřici
5. vyhřívaná pultruzní vytlačovací hlava
6. odtahové zařízení I
7. odtahové zařízení II
8. pila rozdělující nekonečný profil
9. profil vyrobený pultruze
10. vlákna

1.2.4 Popis výroby

Rovingy, rohože, vlákna, roušky jsou navinuty na cívkách. Tato vláknová výztuž vstupuje do namáčecí vany, kde se impregnuje pryskyřicí za pomoci systému válečků upravujících obsah pryskyřice a eliminujících vzduchové bubliny. Odtud jsou vlákna vedena skrz naváděcí desku tak, aby impregnované svazky přicházely do vytvrzovací hlavy a vytvrdily se v polohách nejideálnějších pro dosažení nejvýhodnějších mechanických vlastností. Přebytečná pryskyřice odkapává na sběrnou desku a stéká zpět do vany. Vlákna vstupují do pultruzní hlavy. Jelikož jsou syceny pryskyřicí vytvrzují se teplem, je hlava elektricky vyhřívaná na předepsanou teplotu. Většinou se toto vyhřívání realizuje pomocí odporových topných elementů. Tento poměrně nákladný způsob vyhřívání je vhodný pro tenké profily, u nichž dochází k rychlému přenosu tepla do celého objemu profilu a vytvrzení tedy probíhá velmi rychle a lze profil táhnout velkou rychlostí. Chceme-li však táhnout profil s velkou tloušťkou, docházelo by při kondukčním přenosu tepla do celého objemu profilu k nerovnoměrnostem a profil by se musel táhnout déle při nižší teplotě. Vyšší teplotu hlavy nelze použít, protože by docházelo k pnutí (rychlá exotermická reakce na povrchu, doprovázená smrštěním, by proběhla velmi rychle, zatímco uvnitř by zůstalo nereagované jádro s velkým objemem, po jehož zreagování by tuhá slupka na povrchu byla příliš velká, což by mělo za následek vznik trhlin uvnitř).

Jako nejlepší řešení tohoto problému se jeví radiofrekvenční ohřev, tedy rovnoměrné prohřívání celého objemu mikrovlnným zářením. I velké průřezy se pak vytvrdí rovnoměrně.

Z hlavy již vystupuje tuhý profil (i když místo s nejvyšší teplotou může být mimo samotnou hlavu – díky probíhající exotermní reakci). Teplotní profil podél celé hlavy je monitorován soustavou čidel. Tento profil je vytahován buďto dvěma proti sobě se otáčejícími pásy a nebo dvěma soustavami dvou proti sobě přítlačných hydraulicky ovládaných desek, posouvajících se a předávajících si profil vytahovaný z hlavy. Tento způsob odtahu je výhodnější a lze zatěžovat větší plochou, takže deformační tlak na kompozit je menší. Na konci linky jsou profily řezány na potřebnou délku.

Pultruzní výrobky se v menší míře používají v elektrotechnickém průmyslu pro různé rozvodné komponenty a kabeláže. Tyto oblasti vykazují nižší růst produkce zapříčiněný v první řadě cenami.

Hlavní uplatnění pultruzní výrobky našly v námořní dopravě, elektrárnách, stavebnictví a vojenském průmyslu.

1.2.5 Realizace

V technické praxi se setkáváme s velkým množstvím řešení linek na výrobu pultruzních profilů. Každá firma zabývající se výrobou pultruzních výrobků má strojní vybavení úplně jiné než její konkurent. Základ těchto linek je však stejný. Liší se provedením odtahu profilu a způsobem řízení celé linky. Řízení bývá svěřeno počítači, který si podle zadaného programu kontroluje celý proces, tzn. Rychlost odtahu, temperaci formy i stav rovingů v zásobnících a případné odchylky a nesrovnalosti, které jsou kontrolovány pomocí zpětné vazby, ihned hlásí obsluze.

Zásobník rovingů

K ukládání a zavádění rovingů výrobního procesu slouží zásobníky. Z těchto zásobníků jsou vlákna tažena přes detekční čidla, které kontrolují celistvost vláken a při přetržení výsledek hlásí ihned obsluze. Poté vlákna pokračují přes regulátor, kterým lze regulovat výšku a úhel.

Namáčecí ústrojí

V případě, že výrobní postup nevyžaduje přímé vstřikování pryskyřice do pultruzní vytlačovací hlavy, je za osnovní regulátor zařazeno namáčecí ústrojí. Zde dochází k vlastnímu smáčení rovingů pryskyřicí. Odtud pokračují přes naváděcí desku opatřenou keramickými vložkami a dále přes stírací desky. Takto připravené rovingy postupují do pultruzní vytlačovací hlavy.

Pultruzní vytlačovací hlava

Hlava používaná při pultruzi není hlavou vytlačovací, ale ve své podstatě hlavou protahovací. S tím souvisí mnohé problémy. Musí se určit poměr složek aby si profil zafixoval svůj tvar v přesně určený okamžik. Ne dřív ani později. S tímto problémem souvisí i rozmístění tepelných zón v osovém směru pultruzní hlavy. Konstrukci lze provést jen se znalostí výrobního procesu. Teplota je zprostředkována pomocí temperančních těles. Jejich výkon je řízen pomocí elektrických tyristorových regulátorů. Temperanční zóny se volí v závislosti na délce pultruzní hlavy. U menších hlav se volí tři pásma, z nichž poslední pásmo slouží jako chladicí. Kontrola teploty se provádí přímo na pultruzní hlavě pomocí termočlánků. Na délce temperančních zón závisí i odtahová rychlost.

Odsávací zařízení

Z důvodů unikání par se za pultruzní hlavu umísťuje odsávací zařízení. Odsáté páry se mohou použít na předehřev, případně na vytápění místnosti.

Lože

Je to konstrukce na niž jsou umístěny zařízení na odtah, řezání a ovládací ústrojí. Slouží také pro transport pultruzního výrobku.

Odtahové zařízení

Pro vlastní výrobu je odtahové zařízení nepostradatelnou součástí. Provedení je u jednotlivých výrobců pultruzních profilů různé. Nejčastěji bývá pomocí dvou pásových dopravníků, které jsou umístěny nad sebou. Odtah lze realizovat i pomocí hydraulických nebo pneumatických zařízení, ale mají značnou nevýhodu, která spočívá v náročném rozvodu tlakových medií a umístění vlastních aparatur. Zařízení jsou umístěna za sebou za pultruzní hlavou.

Měřicí zařízení

Slouží k měření délky a bývá umístěno mezi prvním a druhým stupněm odtahu. Je přímo spojeno s řezacím zařízením.

Řezací zařízení

Slouží k dělení pultruzního profilu na požadovanou délku. Řezání spočívá v pohybu řezného nástroje společně s taženým profilem. Rychlost pohybu řezného nástroje musí být stejná jako rychlost odtahová. Po dokončení řezání daného výrobku se vrací zpět do výchozí polohy.

1.3 Matematické modelování technologického procesu Pultruze

1.3.1 Matematický model

Price [1] jako první rozvedl jednoduchý matematický model pultruzního procesu. Aylward [2] přišel s metodou konečných prvků pro průchod tepla a pro analýzu síťování, avšak nepublikoval žádné experimentální výsledky konkrétní pultruze. Han [3] prezentoval metodu konečných prvků řešený model rozměrný v cylindrických souřadnicích. Tento model zanedbal axiální vodivost a neměl experimentální výsledky. Jiný model řešený metodou konečných prvků byl pro přestup tepla a tažnou sílu a stále zůstal u dvou rozměrného modelu v cylindrických souřadnicích. Tento model prezentoval Batch [4] a také zanedbal axiální vodivost a neměl experimentální výsledky přestupu tepla. Byl to první model, který obsahoval mechanické důsledky pultruze. Batch [5] rozvinul model konečných prvků pro přestup tepla pro všechny hlavy a kompozity. Tento model obsahoval nestacionární jedno rozměrnou geometrii se zanedbatelnou axiální vodivostí. Model platil díky empirickým opravám axiální vodivosti. Všechny tyto modely a studie braly pultruzní hlavu jako reagující válec, který má ve všech místech stejnou rychlost, ale mnoho literatury potvrzuje, že existuje tenká vrstva pryskyřice mezi stěnou hlavy a samotným kompozitem. Jako první zahrnul tuto vrstvu do svého modelu Walsh [6], který předpokládal rychlostní profil této vrstvy jako lineární.

1.3.2 Metody měření reakčních parametrů na DSC

DSC měří rozdíly tepla pohlceného nebo vyvinutého. Používá se pro měření parametrů kinetiky sítování termosetů buď isothermním módu nebo dynamickém. DSC termogramy obvykle zahrnují předpoklady, že exotermické teplo uvolněné během reakce je úměrné rozsahu reakce. Nadto je také předpokládáno, že specifické teplo materiálu buď zůstane na konstantní hladině a nebo stoupá lineárně s měřicí teplotou během měření zatím co se obojí jak teplota tak stupeň sítování mění současně.

1.3.3 Měření na DSC za konstantní teploty

První metoda využívá jednoduchý DSC termograf k vyhodnocení kinetických parametrů jako aktivační energie, E , kinetický řád reakce, n , a celkové teplo reakce, H . Navrhl ji Ellerstein [7] a je založena na kalkulaci Bochartha a Danielse [8] pro kondenzaci. Kondenzační sítování bychom mohli zapsat následujícím výrazem.



1.3.4 Dielektrická analýza

Dielektrická analýza (DA) umožňuje měřit změnu „iontové viskozity“ přímo v průběhu vytvrzování, a to i uvnitř vyztužených plastů. Studium chemoreologických vlastností polymerní matrice lze provádět klasickým měřením viskozity maximálně do stupně gelace, což ke komplexní charakterizaci reaktoplastických polymerních systémů nestačí. Z měřeného průběhu DA je možno určit kinetiku vytvrzování a charakteristické body vytvrzování. Na základě stupně gelace, lze stanovit čas a teplotu potřebnou k úplnému vytvrzení pojivového systému.

Kinetika vytvrzování se řídí Arrheniovou rovnicí [9-11]

$$\frac{d\alpha}{dt} = kf(\alpha) \quad (2)$$

Kde: k - rychlostní konstanta závislá na teplotě (s^{-1})

$f(\alpha)$ - funkce závislá na stupni konverze.

Rychlostní konstanta závislá na teplotě je dána Arrheniovým vztahem [9]

$$k = k_0 \cdot \exp\left[-\frac{E}{RT}\right] \quad (3)$$

Kde: k_0 - frekvenční faktor (s^{-1})

E - aktivační energie (J)

R - univerzální plynová konstanta (J/K.mol))

T - vytvrzovací teplota. ($^{\circ}C$)

Nejčastěji je kinetika vytvrzování, která určuje technologické parametry v pultruzní hlavě popisována pomocí uvolněného tepla, které je přímým dosaženému stupni konverze.

$$\alpha = \frac{\Delta H_t}{\Delta H_R} \quad (4)$$

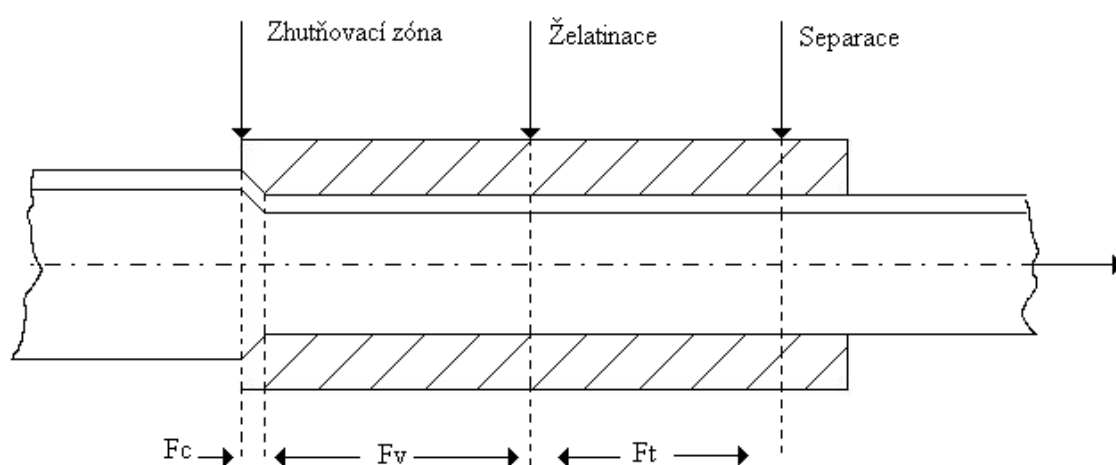
Kde: ΔH_t - uvolněné teplo v čase t (J/mol)

ΔH_R - celkové teplo při dosažení konverze. (J/mol)

Tato metoda je však metodou nepřímou, kdy je nutno změřit teplotu a teprve z ní usuzovat přes sdílení tepla na množství uvolněného tepla a z něj dosažený stupeň konverze.

1.3.5 Analýza procesu

Proces je téměř komplexní a při navrhování každého systémového modelu se musí zvažovat vzájemné působení mezi kinetickou reakcí, přenosem tepla, správné proudění pryskyřice a tření mezi stěnou pultruzní vytlačovací hlavy. Jednoduchý model procesu byl vynalezen ve snaze se pokusit určit sílu. Model je znázorněn na obrázku 2.



Obr. 2. Model procesu.

Celková tažná síla je dána:

$$F = F_c + F_v + F_t \quad (5)$$

Kde: F_c – kompaktní síla při vstupu do pultruzní vytlačovací hlavy (odhaduje se z tažné rychlosti) [N]

F_v – síla objevující se v želatinovém stádiu [N]

F_t – třecí síla mezi stěnou pultruzní hlavy a profilem [N]

1.4 Měření a regulované veličiny při Pultruzi

1.4.1 Vytápění

Součástí pultruzní linky je řízení na regulaci vytápění forem (pultruzní vytlačovací hlava). Elektrické prvky tohoto zařízení jsou umístěny v rozvaděčích RM0, RM1 a RM2.

Celý stroj je připojen na elektrickou síť 3+NPE 400V/230V 50 Hz TN-S prostřednictvím hlavního přívodu do rozvaděče RM0, který je přiveden na svorky L1, L2, L3, n a PE svorkovnice X0. Svorky umožňují přívodní kabel s vodiči o průřezu 10 mm².

Z rozvaděče RM0 jsou napájeny jak rozvaděče RM1 a RM2, tak i rozvaděč tažného zařízení (RM). Celý stroj se

1.4.2 Měření teploty a regulace

Zařízení na regulaci vytápění forem má celkem 8 samostatných sekcí a umožňuje nezávisle regulovat teplotu až 8 forem.

Každá sekce se stává z jednoho digitálního měřiče teploty (P1 až P8) a jednoho PID regulátoru teploty (N1 až N8). Každý ze strojů má svůj termočlánek. S ohledem na rozsah jsou použity termočláanky typu J.

Pro indikaci teploty vyhřívané formy je použit digitální měřič XA 100C a pro její regulaci programovatelný PID regulátor TLK 39. Na displeji regulátoru je rovněž zobrazována teplota vyhřívané formy. Tato duplicita zobrazení měřené teploty pomáhá vyloučit chyby při měření a regulaci (špatné přiložení čidel nebo jejich špatná funkce či porucha). Funkce obou přístrojů se nastavují tlačítky na jejich čelních panelech.

Výstup K1 regulátoru slouží k vlastní regulaci, výstup K2 pro signalizaci poruchy. Na kontakty K1 jednotlivých regulátorů N1 až N8 jsou zapojeny stykače KM 10 až KM80 pro spínání topidel, kontakty K2 ze všech regulátorů jsou připojeny na akustickou signálku HA1. Červené kontrolky HL12 až HL82 TOPENÍ připojené paralelně ke stykačům signalizují akční zásah.

1.4.3 Připojení k formě

Topidla se připojují pomocí standardních zásuvek 230V ~ / 16A. Zásuvky sekcí 1 až 4 jsou umístěny v rozvaděči RM1 a sekcí 5 až 8 v RM2. Z každé sekce je také vyvedena patřičná dvojice termočlánků. Termočlánky jsou připojeny na kompenzační svorky v RM1 a RM2 a jejich signály jsou do Rm0 přivedeny kompenzačním vedením.

Jedna sekce umožňuje připojení až 4 topidel. V rámci jedné sekce jsou zásuvky jištěny vždy ve dvojicích XC11-12 (až XC81-82) jedním jističem QE11 (až QF 81) a XC13-14 (až XC83-84) druhým jističem QF12 (až QF82). Všechny jističe mají hodnotu 16A.

Jednotlivé stykače KM10 až KM80 zapínají a odpínají v každé sekci vždy všechny 4 zásuvky. Přitom je uvažováno s maximálním úhrnným topným výkonem 5kW na jednu sekci.

2 PRAKTICKÁ ČÁST

2.1 Poloprovozní experimenty

Na testovacím zařízení byl připravován kompozitní profil o průměru 10 mm při teplotách formy 170 až 200 °C a rychlostech tažení 15 až 40 cm/min. Reálné rychlosti se od nastavených mírně lišily, viz tab. 1, kde jsou uvedeny i ostatní sledované parametry, jako bylo minimum signálu (DA), maximum teploty měřené termočlánkem, a časy dosažení toho minima a maxima. Z těchto časů pak byla vypočtena vzdálenost ve formě, kdy k minimu (DA) resp. maximu teploty došlo.

Z technologického hlediska se jedná o dva velmi důležité údaje, neboť minimum (DA) určuje, kdy je viskozita použité polymerní matrice nejnižší, tj. bod, ve kterém dochází k lepší impregnaci výztuže a zároveň začíná převládat efekt zvyšování viskozity v důsledku síťování nad efektem snižování viskozity v důsledku zvyšování teploty polymerní matrice. Za tímto bodem dochází k fixování finálního tvaru profilu, a je nutno, aby byl ve formě v její části o konstantním průřezu, ale zároveň ne příliš blízko konci.

Maximum teploty určuje bod, ve kterém rychlost vytvrzování dosáhla svého maxima, a kdy už je tvar profilu dostatečně fixován. Od tohoto bodu dochází k chladnutí profilu a tedy jeho smršťování v důsledku efektu teplotní roztažnosti a zvyšujícího se stupně konverze. Za tímto bodem již profil přestává být v kontaktu s formou, tj. forma již není nezbytná a je tedy žádoucí, aby tento bod byl co nejblíže konce formy.

Rychlost (m/min)	T formy (°C)	DA min (s)	DA min (m)	T max (s)	T max (m)	T max (°C)	DA min (V)
0,141	180	110	0,258	224	0,525	189	0,532
0,205	170	90	0,308	166	0,568	177	0,609
0,197	180	84	0,276	165	0,542	188	0,442
0,244	170	75	0,305	131	0,532	175	0,594
0,244	180	72	0,293	133	0,541	186	0,535
0,244	190	70	0,285	131	0,532	197	0,544
0,244	200	66	0,268	132	0,537	204	0,349
0,300	180	56	0,280	104	0,520	184	0,562
0,390	180	51	0,331	86	0,559	181	0,566

Tab. 1. Přehled výsledků měření teploty a (DA) v pultruzním profilu.

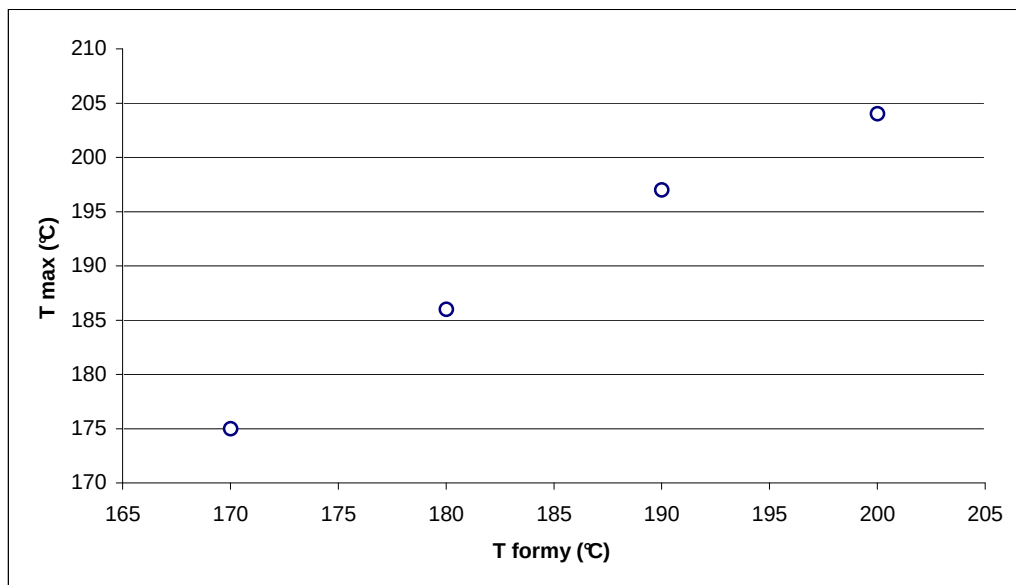
Pro porovnání efektu jednotlivých technologických parametrů, v tomto případě rychlosti tažení profilu a teploty formy, byly provedeny dvě sady měření: Měření za konstantní rychlosti tažení a měření za konstantní teploty formy.

Rychlost (m/min)	T formy (°C)	DA min (s)	DA min (m)	T max (s)	T max (m)	T max (°C)	DA min (V)
0,244	170	75	0,305	131	0,532	175	0,594
0,244	180	72	0,293	133	0,541	186	0,535
0,244	190	70	0,285	131	0,532	197	0,544
0,244	200	66	0,268	132	0,537	204	0,349

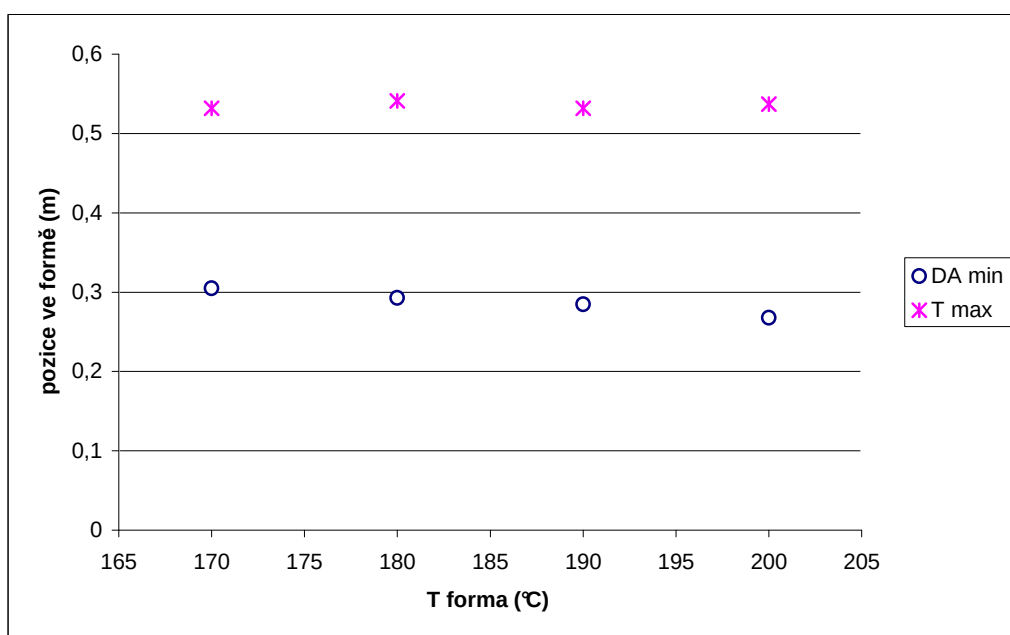
Tab. 2. Přehled výsledků měření za konstantní rychlosti tažení a teploty formy a (DA) v pultruzním profilu.

Na grafických závislostech je možno odečíst čas, kdy se měřicí sonda dostala do kontaktu s formou (počátek křivky), čas ve kterém byla navedena celá do formy (první zlom na křivce), čas minima DA, čas maxima dosažení teploty během tažení, čas kontaktu měřicí sondy z koncem hlavy (třetí křivky – ztráta signálu).

Na následujících obrázcích je patrná závislost maxima dosažené teploty profilu na teplotě formy, obr. 3 a závislost pozice minima (DA) a maxima teploty na teplotě formy, obr. 4. Obecně lze říci, že s rostoucí teplotou formy lze zvyšovat stupeň konverze polymerní matrice, neboť roste maximální dosažená teplota v profilu a tím i dosažený stupeň konverze, protože toto maximum je téměř ve stejném místě formy při různých teplotách formy. Zároveň klesá vzdálenost pozice minima (DA) od začátku formy, což znamená, že sice zkracuje čas nutný pro prosycení skleněných vláken polymerní matricí, ale zároveň prodlužuje čas jejího vytvrzení a zafixování tvaru.



Obr. 3. Závislost maxima teploty na teplotě formy při rychlosti tažení 24,4 cm/min.

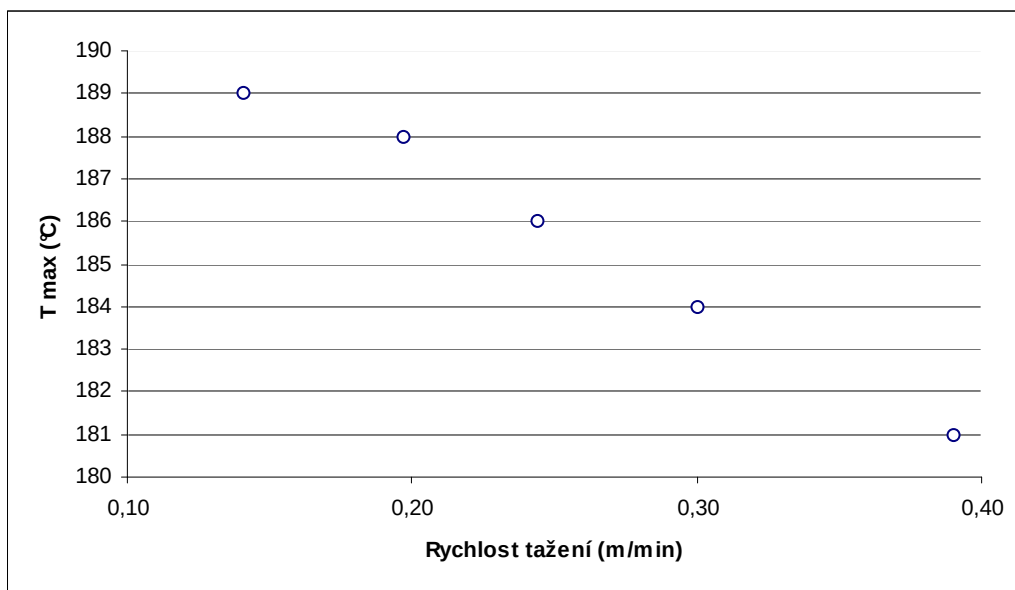


Obr. 4. Závislost polohy, maxima teploty a minima (DA) na teplotě formy při rychlosti tažení 24,4 cm/min.

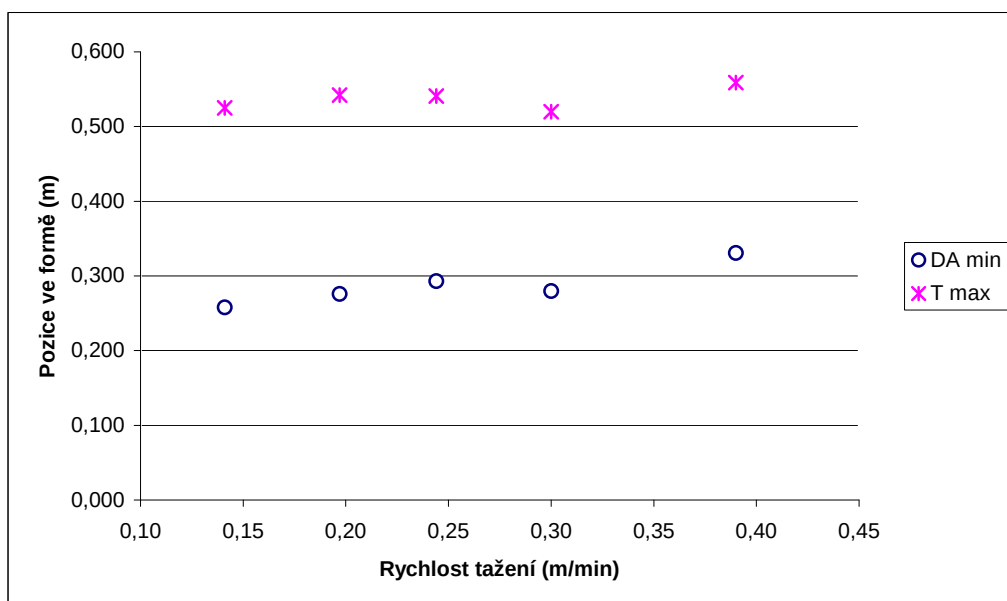
Dalším parametrem, který určuje stupeň konverze a tím i kvalitu tažného profilu je rychlost tažení. Výsledky jsou shrnuty v tab. 1. a zaznamenány na obr. 5. a 6. Ze získaných závislostí lze říci, že dostatečné maximum teploty klesá v daném intervalu rychlostí téměř lineárně s rostoucí rychlostí tažení, což je dáno kratší dobou setrvání profilu ve formě a tím i menším předaným teplem, které iniciuje vytvrzování. Je tedy patrné, že s rostoucí rychlostí stupeň vytvrzení (stupeň konverze) profilu klesá. Toto maximum se také posuzuje blíže ke konci formy, stejně jako minimum (DA). Minimum (DA) se posuzuje ke konci formy rychleji, než maximum teploty. Z toho plyne, že profil má tak kratší čas i kratší dráhu kontaktu z formou na zafixování tvaru s rostoucí rychlostí tažení profilu. Na průběhu změn maximální teploty, její pozice ve formě a pozice teplotního minima nelze nalézt žádný zlom, tudíž snižování stupně konverze a tím i kvality profilu se děje pozvolna a nelze určit zlomovou charakteristickou hodnotu rychlosti tažení. Kvalitu profilu je tedy nutno určit z mechanických zkoušek a zpětně stanovit optimální hodnotu minima DA a maxima, které je pak možno použít jako kontrolní během výroby profilu.

Rychlost (m/min)	T formy (°C)	DA min (s)	DA min (m)	T max (s)	T max (m)	T max (°C)	DA min (V)
0,141	180	110	0,258	224	0,525	189	0,532
0,197	180	84	0,276	165	0,542	188	0,442
0,244	180	72	0,293	133	0,541	186	0,535
0,300	180	56	0,280	104	0,520	184	0,562
0,390	180	51	0,331	86	0,559	181	0,566

Tab. 3. Přehled výsledků měření teploty a (DA) v pultruzním profilu tažení při konstantní teplotě formy 180 °C.



Obr. 5. Závislost dosažené maximální teploty na rychlosti tažení při teplotě formy 180 °C.



Obr. 6. Závislost pozice maxima teploty a minima DA na rychlosti tažení při teplotě formy 180°C.

Z výše získaných výsledků lze říci, že rostoucí tažení snižuje stupeň konverze polymerní matrice při dané teplotě formy, zatímco teplota formy tento stupeň konverze zvyšuje. Platí tedy, že jeden parametr je možné kompenzovat druhým. Při zvýšení rychlosti tažení lze tedy zvýšit i teplotu formy a tím dosáhnout stejného stupně konverze taženého profilu, jaký byl před změnou. Toho lze využít při optimalizaci výrobního procesu, protože pokud je stanoveno tak, aby se tyto body kryly při nových podmínkách s body při původních podmínkách. Pomocí DA lze tuto skutečnost velmi jednoduše kontrolovat, čímž je možné sledovat kvalitu procesu pultruze v jejích průběhu a případně kontrolovat, čímž je možné sledovat kvalitu procesu pultruze v jejím průběhu a případně dělat zásahy nutné ke korekci nepříznivých odchylek od ideálního stavu.

2.2 Měření teploty bezdotykovým způsobem

2.2.1 Charakteristika

Bezkontaktní měření teploty je založeno na snímání intenzity infračerveného záření měřeného povrchu. Své uplatnění zde proto nachází infradektory splňující požadavky na vysokou detektivitu, rychlou odezvu, nízkou cenu a výrobní možnosti spojené s miniaturizací.

2.2.2 Výběr zařízení pro měření teploty bezdotykovým způsobem

Pro měření teploty bezdotykovým způsobem bych navrhoval měřicí zařízení Compact MID od firmy TSI Systém s. r. o. [17]



Obr. 7. Compact MID.

Snímač s miniaturní hlavicí pro hromadné nasazení v MaR. Díky rozměrům optické hlavice a robustní skřínce s elektronikou s vysokým krytím je vhodný zejména při

monitorování technologie v průmyslovém prostředí. Univerzální analogové výstupy a možnost digitální komunikace s vizualizací pomocí SW Data Temp umožňuje snadnou integraci do stávajících systémů. Další měřicí jednotky jsou uvedeny v příloze.

DISKUSE

Zaměřil jsem se na výrobu kompozitních materiálů pultruzí. Jedná se o výrobu, produkující kompozitní materiály na bázi polymerní matrice vyztužené dlouhými vlákny. Hlavní důraz jsem kladl na způsoby měření veličin tohoto procesu jako jsou teplota nebo odtahová rychlost a zvolení realizačního prostředí k možnému simulování.

Nejdůležitějším faktorem, který ovlivňuje celou výrobu kompozitních materiálů je teplota. V dnešním provozu se měří teplota jen v pultruzní formě, ale neměří se před ní, kde dochází k mikrovlnnému předehřevu skelných vláken.

Tato forma se skládá až z osmi sekcí ve kterých se měří teplota pomocí termočlánků. Byl vynalezen jednoduchý model ve snaze se pokusit určit sílu, protože je zde důležité vzájemné působení mezi kinetickou reakcí, přenosem tepla, správného proudění pryskyřice a tření mezi stěnou formy. Na délce temperačních zón závisí i odtahová rychlost.

Pro měření teploty skelných vláken bych navrhoval bezdotykové měření teploty pomocí pyrometru, jelikož vlákna jsou v pohybu a nemůžeme se jich dotýkat. Jde o nejlepší způsob získání informací o teplotním stavu, ale i tak vystihuje teplotu jen na povrchu. Teplotu uvnitř můžeme předpokládat pomocí teplotního pole.

Pro bezdotykové měření teploty jsem vybral přístroj Compact MID od firmy TSI Systém s. r. o. Jde o finančně dostupné zařízení s možností digitální komunikace. Další přístroje pro měření teploty bezdotykovým způsobem jsem uvedl v příloze, kde jsou rozepsány i jejich parametry. K výběru pyrometru jsem vzal v úvahu několik provozních parametrů jako je velikost, nebo rozsah měřené teploty.

Jako realizační prostředí bych zvolil vývojový systém Control Web 2000, který je spíše určen pro řešení technických a technologických problémů, zatímco vývojové prostředí Visual Basic 6.0 je určeno pro práci s daty a vývoj aplikací kompatibilních s ostatními produkty firmy Microsoft. Mohli bychom použít kombinaci těchto dvou vývojových prostředí, která by se určitě ukázala jako velmi účelná.

ZÁVĚR

Bakalářská práce v teoretické části shrnuje základní znalosti o způsobu výroby kompozitních materiálů pultruzí a jejich chemické a mechanické vlastností. Dále se zajímá o měření technických parametrů, které zásadně ovlivňují celý chod výroby.

Experimentální část se soustředila na měření a regulaci teploty. Jsou v ní uvedeny způsoby měření teploty dané výroby. Nejvíce se doporučuje bezdotykové měření teploty a kompatibilita výsledných signálů pro další zpracování pomocí počítače.

Navržené měření teploty skelných vláken bezdotykovým způsobem a zpracování výsledků ve vybraném realizačním prostředí je jednou z možností modelování tohoto procesu. V budoucnu po dosažení přijatelného matematického modelu může sloužit k možnému automatickému řízení pultruze.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

k	- rychlostní konstanta (s^{-1})
k_0	- frekvenční faktor (s^{-1})
E	- aktivační energie (J)
R	- univerzální plynová konstanta ($J/(k.mol)$)
T	- vytvrzovací teplota ($^{\circ}C$)
H_t	- uvolněné teplo (J/mol)
H_R	- celkové teplo při dosažení konverze (J/mol)
Δ	- rozdíl
F	- celková síla (N)
F_c	- kompaktní síla (N)
F_v	- síla objevující se v želatinovém stádiu (N)
F_t	- třecí síla (N)

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] PRICE, H. L.: Curing and Flow of Thermosetting Resins for Composite Material Pultrusion. Ph. D. Dissertation, Old Dominion University 1979.
- [2] AYLWARD, L.; DOGLAS, C.; ROYLANCE, D.: A TRAnsient FInite Element Model for Pultrusion Processing., Polymer Process Engineering, 3, 1985, č.3, s. 247.
- [3] HAN, C. D.; LEE D. S.; CHIN H DEVELOPMENT of a Matematical Model for Pultrusion Process. Polymer Engineering Science, 26, 1986, č. 3, s. 393.
- [4] BATCH, G. L.; MACOSKO, C. W.: A computer Analysis of Temperature and Pressure Distributions in a Pultrusion Die., Session 2-B in Proceedings of 42nd Annual Conference, February 2-6, 1987. Composites Institute, The Society of Plastic Industry, s 1-7.
- [5] BATCH, G. L.: Analysis and Optimizing of Heater Placement in a Pultrusion Die., Session 7-C in Proceeding of 45nd Annual Conference, February. Composites Institute, The Society of Plastic Industry, s. 1 – 10.
- [6] WALSH, S. M.; CHARAMCHI, M.: Heat Transfer Characteristics of a Pultrusion Process., 25th National Heat Transfer Conference, Houston, July, 1988, s. 23 – 28.
- [7] ELLERSTEIN, S. M.: Analytical Calorimetry., R. S. Porter and J. F. Johnson Edit., Plenum, Press, N. Y. 1968, s. 279.
- [8] BORCHARDT, H. J.; DANIELS, F.; AMER, J.: Chem. Soc., 79,41 (1957).
- [9] SALL, J.M., RAMIS, X. Polym Eng Sci. 1996, 36, s. 835.
- [10] HATAKEYAMA, T., QUINN, F.X. Thermal Analysis . John Wiley & Sons, New York 1994.
- [11] MARTIN, J.L., CADENATO, A., SALLA, J.M. Thermochim Acta. 1997, 306, s. 115.
- [12] LEHNER, J. - SURÝ, L.: Silikátová vlákna v průmyslu a stavebnictví, SNTL, PRAHA, 1981
- [13] LEHNER, J.: Skleněná, horninová a strusková vlákna, SNTL, Praha, 1960

- [14] GUPTA, P.K.: Glass Fibers for Composite Materials in Fibre Reinforcements for Composite Materials, ed. Bunsell A.R., Elsevier, Amsterdam 1988
- [15] BULTJER, U.: The Production of Glasfibre Reinforced Plastics (GRP) in Europe 1999/2000, sborník XXI. Vyztužené plasty, DT Plzeň 2001, str. 8
- [16] REINFORCED PLASTICS, 2002 časopis dostupný na www.reinforcedplastics.com
- [17] Internetová stránka <http://www.tsisystem.cz>

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.	11
Obr. 2.	18
Obr. 3.	23
Obr. 4.	23
Obr. 5.	25
Obr. 6.	25
Obr. 7.	26

SEZNAM TABULEK

Tab. 1.	21
Tab. 2.	21
Tab. 3.	24

SEZNAM PŘÍLOH

P I: Thermalert TX

P II: Thermalert SX

P III: Compact MID

P IV: Compact MIM

P V: Compact GP

P VI: ProfiTemp ST20

PŘÍLOHY

Thermalert TX

[rozsah]	-18 až 2000°C
[optika]	33:1, 50:1, 60:1
[zaměřování]	
[spektrum]	2,2 až 14μm

vlastnosti

- snadná, dvou vodičová instalace
- analogový výstup 4-20 ma, u pokročilých provedení současně digitální komunikace přes převodník hart/rs232
- kompaktní odolný senzor s krytím ip 65
- v síti lze instalovat až 15 senzorů
- software pod windows pro dálkovou konfiguraci a monitorování
- Široký výběr ohniskových vzdáleností
- speciální modely pro použití na sklo a plasty

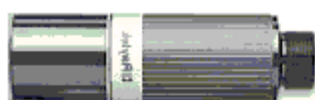
doplňky

- základní provedení 4 až 20ma
- smart model s převodníkem hart/rs232

charakteristika

Integrovaný snímač s mnoha spektrálními rozsahy. Široká škála provedení objektivů a spektrálních rozsahů umožňuje aplikace při měření povrchové teploty různých cílů včetně skla a tenkých plastových fólií.

Příloha P I - Thermalert TX

Thermalert SX

[rozsah]	-18 až 2000°C
[optika]	33:1, 15:1, 60:1
[zaměřování]	Laserové nebo optické
[spektrum]	2,2 až 14μm

vlastnosti

- laserové, nebo optické zaměřování průhledem přes objektiv
- jednoduchá dvou vodičová instalace
- analogový výstup 4-20 ma, digitální komunikace s převodníkem hart/rs232
- kompaktní odolná hlavice s krytím ip 65
- Široký teplotní rozsah od -18 °c do 2000 °c
- v síti lze instalovat až 15 senzorů
- software pod windows pro dálkovou konfiguraci a monitorování
- Široký výběr ohniskových vzdáleností
- speciální modely pro použití na sklo a plasty

doplňky

- modely pro sklo a plasty
- speciální optická charakteristika
- s integrovaným chladičím krytem

charakteristika

Snímače s optickým nebo laserovým zaměřováním. Teplotní rozsah i elektrické a optické vlastnosti shodné se snímači Thermalert TX. Možnost precizního zaměřování cíle pomocí laserového svazku nebo opticky průhledem přes objektiv rozšiřuje aplikační možnosti.

Příloha P II - Thermalert SX

Compact MID

[rozsah]	-40 až 600°C
[optika]	2:1 nebo 10:1
[zaměřování]	
[spektrum]	8 až 14μm

vlastnosti

- speciální modely pro zpracování skla a kovů
- 1%-přesnost v celém teplotním rozsahu
- uživatelsky volitelný výstup 0/4 – 20 ma, 0 – 5 v, termočlánekový výstup j nebo k
- teplota okolí hlavičky až 85 °C bez chlazení
- záměnné hlavičky senzoru
- nastavitelná emisivita, propustnost, podržení maxima, podržení minima, střední hodnota
- pomocný 5-ti místný podsvícený LCD displej
- příslušenství pro chlazení a ofukování
- provedení s možností digitální komunikace rs232 nebo rs485
- vícebodová síť (max
- 32 detektorů s rs485)

doplňky

- modely s laserovým zaměřováním
- provedení pro sklo 150 až 850°C
- provedení mtb 200 až 1200°C

charakteristika

Snímač s miniaturní hlavičkou pro hromadné nasazení v MaR. Díky rozměrům optické hlavičky a robustní skříňce s elektronikou s vysokým krytím je vhodný zejména při monitorování technologie v průmyslovém prostředí. Univerzální analogové výstupy a možnost digitální komunikace s vizualizací pomocí SW DataTemp umožňuje snadnou integraci do stávajících systémů MaR.

Příloha P III - Compact MID**Compact MIM**

[rozsah]	-40 až 600°C
[optika]	2:1 nebo 10:1
[zaměřování]	
[spektrum]	8 až 14μm

vlastnosti

- napájení 5 v, nebo 12 v
- přesnost 1% v celém teplotním rozsahu
- speciální modely pro měření při zpracování skla a kovů
- výstup 0 – 5 v
- teplota okolí hlavičky senzoru až 85 °C bez chlazení
- záměnné hlavičky
- nastavitelná emisivita, propustnost, podržení maxima, podržení minima, střední hodnota
- příslušenství pro chlazení a ofukování

doplňky

- volitelná délka kabelu s hlavičkou
- provedení pro sklo 150 až 850°C
- provedení mtb 200 až 1200°C

charakteristika

Snímač s miniaturní hlavičkou pro hromadné nasazení v OEM. Varianta odvozená ze standardního provedení MID je určena pro zákaznické aplikace. Elektronická část snímače je upravena pro zapájení do plošného spoje. Hlavička na kabelu je připojena k elektronické jednotce přes konektor. Nastavení parametrů se provádí přes rozhraní RS232 na vývojovém kitu za použití SW Multidrop.

hlavička a robustní skříňce s elektronikou s vysokým krytím je vhodný zejména při monitorování technologie v průmyslovém prostředí. Univerzální analogové výstupy a možnost digitální komunikace s vizualizací pomocí SW DataTemp umožňuje snadnou integraci do stávajících systémů MaR.

Příloha P IV - Compact MIM

Compact GP

[rozsah]	-18°C až 538°C
[optika]	50:1
[zaměřování]	Laserové nebo nepřímé zaměřování
[spektrum]	7,6 až 18μm

vlastnosti

- varianty hlavice v miniaturním (gpm), standardním (gpr) provedení nebo s laserovým zaměřováním (gps)
- kompaktní digitální monitor 1/8 din s velkým 4-místným displejem a vstupem pro jakékoliv senzory s výstupy 0-5 v nebo 4-20 ma
- monitor umožňuje připojení termočlánků typu j, k, e, n, r, s a t
- uživatelsky volitelný výstup 0/4 – 20 ma, 0 – 5 v, termočlánekový výstup j nebo k
- nastavení emisivity a kompenzace okolní teploty
- nastavitelné teplotní meze a signalizace jejich překročení
- optika ve standardním i speciálním provedení
- příslušenství pro chlazení a ofukování
- snadná výměna hlavice

doplňky

- miniaturní hlavice gpm
- standardní hlavice gpr
- hlavice s laserovým zaměřováním

charakteristika

Řada hlavice pro připojení na panelový zobrazovač GP Monitor. Tři varianty provedení umožňují pokrýt širokou škálu běžných aplikací při měření nízkých teplot. Napájení zajištěno z panelového zobrazovače GP Monitor.

monitorování technologie v průmyslovém prostředí. Univerzální analogové výstupy a možnost digitální komunikace s vizualizací pomocí SW DataTemp umožňuje snadnou integraci do stávajících systémů MaR.

Příloha P V - Compact GP**ProfiTemp ST20**

[rozsah]	-30°C až 400°C
[optika]	12:1
[zaměřování]	Laserové jednobodové
[spektrum]	8 až 14 μm

vlastnosti

- vysoká přesnost měření (1%) i opakovatelnosti měření (0,5%)
- přehledný displej
- funkce max

doplňky

- provedení s kalibračním certifikátem

charakteristika

Lze jej použít všude tam, kde potřebujete spolehlivý přístroj pro běžné aplikace. Široký teplotní rozsah, funkce zobrazení maximální hodnoty a volitelný laserové zaměřování výrazně usnadňuje měření. Uplatní se v automobilovém průmyslu, servisu topení a klimatizace, stavebnictví, požární bezpečnosti, údržbě i výrobě.

- miniaturní hlavice gpm
- standardní hlavice gpr
- hlavice s laserovým zaměřováním

charakteristika

Řada hlavice pro připojení na panelový zobrazovač GP Monitor. Tři varianty provedení umožňují pokrýt širokou škálu běžných aplikací při měření nízkých teplot. Napájení zajištěno z panelového zobrazovače GP Monitor.

monitorování technologie v průmyslovém prostředí. Univerzální analogové výstupy a možnost digitální komunikace s vizualizací pomocí SW DataTemp umožňuje snadnou integraci do stávajících systémů MaR.

Příloha P VI - ProfiTemp ST20