

# Využití betonu při výrobě forem

Roman Hein

---

Bakalářská práce  
2012



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2011/2012

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Roman HEIN**  
Osobní číslo: **T090007**  
Studijní program: **B 3909 Procesní inženýrství**  
Studijní obor: **Technologická zařízení**

Téma práce: **Využití betonů při výrobě forem**

Zásady pro vypracování:

### 1.Studie

- formy pro zpracování polymerů, rozdělení, způsoby použití
- materiály na výrobu forem
- technologie výroby forem
- betonové formy
- souhrn studie

### 2.Praktická část

- zadání praktické části, výběr materiálu forem a výrobku
- experimentální práce, výroba forem
- vyhodnocení experimentů
- ekonomické srovnání betonových forem

### 3.Závěr

- aplikace pro praxi

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

**KOCMAN, Karel. Speciální technologie: obrábění.3.,přeprac a dopl.vyd.Brno:CERM, 2004. 227 s. ISBN 80-214-2562-8**

**PTÁČEK, Luděk. Nauka o materiálu I..Brno: CERM, 2001.505 s. ISBN 8072041932**

**DAĎOUREK, K.: Kompozitní materiály-druhy a jejich využití, Technická univerzita v Liberci, 1. vydání, 113 s., 2007, ISBN 978-80-7372-79-1**

Vedoucí bakalářské práce:

**doc. Ing. Zdeněk Dvořák, CSc.**

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

**13. února 2012**

Termín odevzdání bakalářské práce:

**25. května 2012**

Ve Zlíně dne 9. února 2012

  
doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.  
*děkan*



  
prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.  
*ředitel ústavu*

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby <sup>1)</sup>;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 <sup>2)</sup>;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně .....

.....

---

<sup>1)</sup> zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

<sup>2)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacího zařízení (školní dílo).

<sup>3)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

## **ABSTRAKT**

Bakalářská práce se zabývá využitím betonu a polymerbetonu při výrobě forem. Především jeho fyzikálními a technologickými vlastnostmi. Cílem této práce bylo zmapovat použitelnost materiálů a technologie výroby. Jelikož se předpokládá využít při zpracování polymerů dielektrický ohřev, byly připraveny vzorky z hydrobetonu a polymerbetonů pro stanovení jejich dielektrického chování. Bylo zkoumáno rozložení teplotních polí při dielektrickém ohřevu v mikrovlnné komoře.

Klíčová slova: beton, forma, hydrobeton, polymerbeton, dielektrický ohřev, zpracování polymerů

## **ABSTRACT**

My bachelor's thesis is focused on mold fabrication by using concrete and polymer concrete, concentrating mainly on its physical and technological properties. The aim of this bachelors thesis is to describe the usability of materials and production technology. The usage of dielectric heating at polymers processing is anticipated so samples from hydroconcrete and polymer concrete are prepared for determining their dielectric behavior. Distribution of the temperature fields are examined through dielectric heating in the microwave.

Keywords: mold, concrete, hydroconcrete, Polymerconcrete, dielectric heating , polymer processing

Děkuji vedoucímu své bakalářské práce doc. Ing. Zdeňku Dvořákovi, CSc., za odborné vedení, cenné připomínky a rady, které mi poskytoval v průběhu vypracování bakalářské práce.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně

.....

Podpis studenta

# OBSAH

|  |           |
|--|-----------|
| <b>ÚVOD</b> .....  | <b>10</b> |
| <b>1 TEORETICKÁ ČÁST</b> .....                                   | <b>11</b> |
| <b>1 FORMY PRO ZPRACOVÁNÍ POLYMERŮ</b> .....                     | <b>12</b> |
| 1.1 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ FOREM PODLE ZPRACOVÁVANÉHO MATERIÁLU..... | 12        |
| 1.1.1 Lisovací a přetlačovací formy .....                        | 13        |
| 1.1.2 Vstřikovací formy.....                                     | 13        |
| <b>2 MATERIÁLY NA VÝROBU FOREM</b> .....                         | <b>16</b> |
| 2.1 JEDNOTLIVÉ DRUHY OCELÍ POUŽÍVANÉ NA FORMY .....              | 16        |
| 2.1.1 Používané druhy ocelí .....                                | 16        |
| 2.1.2 Konstrukční oceli .....                                    | 17        |
| 2.1.3 Cementační oceli .....                                     | 18        |
| 2.1.4 Kalitelné oceli .....                                      | 19        |
| 2.1.5 Antikorozní oceli.....                                     | 19        |
| 2.1.6 Oceli k nitridování.....                                   | 19        |
| 2.1.7 Martensiticky vytvrditelné oceli.....                      | 20        |
| 2.2 SLITINY MĚDI.....  | 20        |
| 2.3 SLITINY HLINÍKU.....   | 21        |
| <b>3 TECHNOLOGIE VÝROBY FOREM Z KOVŮ</b> .....                   | <b>22</b> |
| 3.1 SOUSTRUŽENÍ.....   | 22        |
| 3.2 FRÉZOVÁNÍ.....   | 23        |
| 3.3 VRTÁNÍ A VYVRTÁVÁNÍ.....                                     | 23        |
| 3.4 HOBLOVÁNÍ A OBRÁŽENÍ.....                                    | 23        |
| 3.5 BROUŠENÍ.....  | 23        |
| 3.6 NEKONVEČNÍ METODY OBRÁBĚNÍ .....                             | 24        |
| <b>4 BETONOVÉ FORMY</b> .....                                    | <b>25</b> |
| 4.1 POLYMERBETONY.....   | 25        |
| 4.1.1 Plniva.....  | 25        |
| 4.1.2 Pojivo .....   | 25        |
| 4.1.3 Výztužné materiály.....                                    | 26        |
| 4.2 HYDROBETONY .....  | 27        |
| 4.2.1 Cement .....   | 27        |
| A. Bílý cement .....   | 27        |
| B. Barevné cementy .....   | 28        |
| 4.2.2 Kamenivo .....   | 29        |
| A. Základní kamenivo.....  | 29        |
| B. Korekční kamenivo .....                                       | 30        |
| 4.2.3 Voda .....   | 31        |
| A. Záměsová voda .....   | 31        |
| B. Atmosférická vlhkost .....                                    | 32        |



|           |   |           |
|-----------|---|-----------|
|           | C. Voda na ošetřování tvrdnoucího betonu.....                 | 33        |
| <b>5</b>  | <b>TECHNOLOGIE VÝROBY VÝROBKŮ Z BETONU .....</b>              | <b>34</b> |
| 5.1       | DÁVKOVÁNÍ .....   | 34        |
| 5.2       | MÍCHÁNÍ .....   | 34        |
| 5.3       | ODLÉVÁNÍ.....   | 35        |
| 5.4       | ZHUTŇOVÁNÍ.....   | 35        |
| 5.5       | VYTVRZOVÁNÍ SMĚSI .....                                       | 36        |
| <b>6</b>  | <b>SOUHRN TEORETICKÉ PRÁCE .....</b>                          | <b>37</b> |
| <b>II</b> | <b>PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>                                   | <b>38</b> |
| <b>7</b>  | <b>CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI PRÁCE .....</b>                       | <b>39</b> |
| <b>8</b>  | <b>VYUŽITÉ MATERIÁLY NA VÝROBU VZORKŮ A FOREM.....</b>        | <b>40</b> |
| <b>9</b>  | <b>PŘÍPRAVA VZORKŮ PRO EXPERIMENTY .....</b>                  | <b>42</b> |
| 9.1       | POUŽITÉ FORMY .....   | 42        |
| 9.2       | VÝROBA VZORKŮ - NIVELAČNÍ HYDROBETON .....                    | 42        |
| 9.3       | VÝROBA VZORKŮ – POLYMERBETON .....                            | 44        |
| <b>10</b> | <b>PŘÍPRAVA FOREM PRO EXPERIMENTY .....</b>                   | <b>47</b> |
| 10.1      | POUŽITÉ FORMY .....   | 47        |
| 10.2      | VÝROBA FORMY – NIVELAČNÍ HYDROBETON.....                      | 48        |
| 10.3      | VÝROBA FORMY – POLYMERBETON (E).....                          | 49        |
| <b>11</b> | <b>MĚŘENÍ A EXPERIMENTY .....</b>                             | <b>51</b> |
| 11.1      | POUŽITÁ ZAŘÍZENÍ.....   | 51        |
| 11.2      | DIELEKTRICKÝ OHŘEV ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ .....                    | 52        |
| 11.2.1    | Nivelační betonové vzorky.....                                | 54        |
| 11.2.2    | Polymerbetonové vzorky (z epoxidové pryskyřice).....          | 55        |
| 11.2.3    | Polymerbetonové vzorky (z polyesterové pryskyřice) .....      | 57        |
| 11.3      | DIELEKTRICKÝ OHŘEV FOREM .....                                | 59        |
| 11.3.1    | Nivelační betonová forma .....                                | 59        |
| 11.3.2    | Polymerbetonová forma (z epoxidové pryskyřice) .....          | 61        |
| <b>12</b> | <b>VYHODNOCENÍ EXEPRIMENTŮ A MĚŘENÍ PRAKTICKÉ ČÁSTI .....</b> | <b>64</b> |
| <b>13</b> | <b>EKONOMICKÉ SROVNÁNÍ.....</b>                               | <b>65</b> |
|           | <b>ZÁVĚR .....</b>  | <b>66</b> |
|           | <b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>                        | <b>67</b> |
|           | <b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>               | <b>69</b> |
|           | <b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>                                   | <b>70</b> |
|           | <b>SEZNAM TABULEK.....</b>                                    | <b>72</b> |

## ÚVOD

Beton je univerzálním stavebním materiálem, používá se na nosné konstrukce, v dopravním stavitelství. Beton hlavním materiálem pro výstavbu mostů a vozovek. Beton se může použít na suchu nebo pod vodou, jeho vlastnosti se tím nemění. Beton má příznivé vlastnosti, minimální nároky na údržbu, nízká cena a vysoká životnost. Proto je beton využíván v širokém odvětví. Ve výrobě modelů rozeznáváme hydrobetony – obecně nazývané betony a polymerbetony.

Hydrobeton je kompozitní stavební materiál. Hydrobeton se skládá z pojiva, plniva a vody. Po zatuhnutí pojiva vznikne pevný umělý „slepeneček“. Nejčastějším druhem betonu je tzv. cementový beton, kde je pojivem cement a plnivem kamenivo, dalším materiálem pro výrobu je voda. [12]

Polymerbeton je řazen do skupiny částicových kompozitních materiálů. Polymerbeton se skládá z vytvrditelné matrice a výztuže. Matrice je dvoukomponentní, která se skládá z pryskyřice (např. epoxidová, polyesterová, polyuretanová) a vytvrzovacím prostředkem. Jako výztuž se používají přírodní nebo umělé materiály (např. křemenec, žula, oceli).

Cílem této práce je vyrobit vzorky z hydrobetonu a polymerbetonů. A následně je nechat vystavovat dielektrickému ohřevu v mikrovlnné troubě. Hlavní výhodou moderního mikrovlnného ohřevu je několikanásobně rychlejší ohřev materiálu. Mikrovlnná zařízení nejsou prostorově náročná a jejich provoz je bezpečný.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

# 1 FORMY PRO ZPRACOVÁNÍ POLYMERŮ

Forma dává tavenině po ochlazení výsledný tvar a rozměry výrobku, při zachování požadovaných fyzikálních a mechanických vlastností. Její dobrá kvalita plní požadavky: [7]

- technické, které zaručují správnou funkci formy, která musí vyrobit požadovaný počet součástí v náležité kvalitě a přesnosti. Má splňovat podmínky snadné manipulace i obsluhy při výrobě součástí
- ekonomické, které se vyznačují nízkou pořizovací cenou, snadnou a rychlou výrobou dílů při vysoké produktivitě práce. Také vysokým využitím plastu.

## 1.1 Základní rozdělení forem podle zpracovávaného materiálu

Podle technologické zpracovatelnosti materiálů známe různé způsoby výroby součástí. Snahou je docílit efektivní výroby s co nejnižšími náklady. Proto je vyžadována úzká spolupráce konstruktéra a technologa. Podle zadaných parametrů se navrhne vhodná technologie výroby. S tím je úzce spjat i výběr vhodného materiálu pro zhotovení formy a stanovení vhodných podmínek výrobní technologie. [15]

Například technologií lisování můžeme zhotovovat polotovary a výrobky jak z kovů tak z elastomerů. Je samozřejmé, že u jednotlivých materiálů se musí zajistit odlišné technologické postupy. [13]

Rozdělení plastových materiálů podle chování za tepla:

- Termoplasty
- Reaktoplasty
- Elastomery

Rozdělení formy podle použité technologie:

- Lisovací a přetlačovací formy
- Vstříkovací formy

### 1.1.1 Lisovací a přetlačovací formy

Při lisování je lisovaná hmota (látka) vložena do dutiny formy, působením tepla a tlaku je roztavena a vzápětí je tvářena do tvaru výlisku. Technologie lisování se uplatňuje na výrobu součástí z kovů, plastů (např. reaktoplasty, skelné lamináty) i elastomerů. [15]

Při přetlačování je lisovaná hmota vložena do vyhřáté přetlačovací komory lisovací formy, zde je převedena do plastického stavu a působením pístu je přetlačena rozváděcími kanály do dutiny formy, kde získává konečný tvar. [15]

### Lisování a přetlačování reaktoplastů

Přímé lisování - teplem vytvrditelná hmota ve formě prášku, granulí nebo tablet se vloží v předepsaném množství do tvarové dutiny formy a tlakem tvárníku se lisuje. Forma i tvárník jsou temperovány elektrickými tělesy na teplotu 140 až 180 °C. Vlivem tlaku a tepla vyplní hmota dutinu formy. [15]

Přetlačování - do vyhřáté přetlačovací komory, která je součástí stroje se vloží dávka zpracovávané hmoty. Působícím teplem je hmota převedena do plastického stavu a tlakem hydraulicky ovládaného válce, převedena plnicími kanály do tvarové dutiny formy, kde se vytvrdí. [15]

Z technologických parametrů lisovacího i přetlačovacího procesu jasně vyplívají požadované vlastnosti tvarové dutiny formy. Na zhotovení tvarové dutiny se používají nástrojové a speciální oceli. [15]

### 1.1.2 Vstřikovací formy

Formy pro vstřikování, ale i lisování a přetlačování jsou vystaveny silnému namáhání, které vyplývá z použití vysokých tlaků a teplot. Navíc je povrch tvářecí dutiny obrušován např. hmotami a minerálními plnivými a též i chemicky napadán. [1]

Formy jsou nákladné nástroje sestavené z funkčních a pomocných dílů. Při výrobě výstřiku se od nich vyžaduje dosažení požadované kvality, životnosti a nízkých pořizovacích nákla-

dů. [2]

Pro výrobu forem se používají takové materiály, které splňují provozní požadavky v optimální míře. Jejich široký výběr byl zredukován na úzký sortiment jakostí a rozměrů. Všeobecně se dává přednost materiálům univerzálních typů s širokým rozsahem užitečných vlastností. Takové druhy představují: [16]

- Oceli vhodných jakostí
- Neželezné slitiny kovů (Cu,Al,...)
- Ostatní materiály (izolační, tepelně nevodivé,...). [2]

Jednotlivé díly forem nemají stejnou funkci. Proto vyžadují i svoje specifické požadavky na volbu materiálu, ze kterého jsou vyrobeny. Jejich výběr a doporučená řada má odpovídat požadované funkci součásti, s ohledem na opotřebení a životnost. [2]

Od použitých materiálů na formy se vyžaduje především:

- Dostatečná mechanická pevnost
- Dobrá obrobiteľnosť [2]

Konstrukční části forem (upínací desky, kotevní desky, rozpěrky, vyhazovací desky, apod.) se zhotovují z konstrukčních ocelí. [1]

Tvářecí části forem (tvárníky, tvárnice, jádra), přetlačování písty a komory, vtokové vložky, vyhazovače, vodící sloupky a pouzdra, dorazy apod. vyžadují speciální oceli. [1]

Jsou používány převážně cementační legované oceli s tvrdým lešitelným povrchem a houževnatým jádrem. Kalené oceli se používají pro ploché litiny a pro díly forem silně namáhané otěrem. Zušlechťené oceli se uplatňují pro velké formy, které by se mohly při kalení deformovat. Formy z nitridačních ocelí splňují nejvyšší požadavky na rozměrovou stálost. Tenké tvrdé okraje jsou však citlivé na nevhodné zacházení. Korozi odolné oceli s velkým obsahem chromu jsou nezbytné pro zpracování polymerů, jako je PVC, apod. Jsou doporučovány i při intenzivně chlazených formách, kdy voda kondenzující na povrchu může vyvolat korozi. Tvářecí části forem mohou být kvůli větší chemické odolnosti tvrdě chromovány. [1]

Převážnou část spotřeby ocelí pro výrobu forem tvoří oceli konstrukční třídy 11 dle ČSN.

Vyrábí se z nich méně namáhané díly, jako jsou desky forem. Jsou to především oceli 11 500, 11 600 a 11 700. Z třídy 12 jsou to především oceli 12 050, 12 060, 12 061, ty se používají pro desky forem s větší pevností a životností. Zušlechťující se na tvrdost 55 HRC. Pro části forem, jako jsou tvarové vložky, vtokové vložky a vodící prvky se používají oceli 14 220, 15 260, 19 015, 19 436, 19 437, 19 486, 19 550, 19 552, 19 786. Tyto materiály se používají ve stavu přírodním nebo zušlechtěném. Jako antikorozi ocel se nejčastěji používají 17 029 s výslednou tvrdostí po kalení 51 HRC. [2]

## 2 MATERIÁLY NA VÝROBU FOREM

Formy jsou nákladné nástroje sestavené z funkčních a pomocných dílů. Při výrobě výstřiků se od nich vyžaduje dosažení požadované kvality, životnosti a nízkých pořizovacích nákladů. Významný činitel pro splnění těchto podmínek je materiál forem, který je ovlivněn provozními podmínkami výroby, určené: [7]

- Druhem vstřikovaného plastu
- Přesností a jakostí výstřiku
- Podmínkami vstřikování
- Vstřikovacím strojem

Pro výrobu forem se tedy používají takové materiály, které splňují provozní požadavky v optimální míře.

Oceli jsou daleko nejvýznačnějším druhem používaných materiálů na výrobu forem. Svou pevností a dalšími mechanickými vlastnostmi se dají jen obtížně nahradit.

Ale i ostatním druhům materiálů je třeba věnovat pozornost. Některé jejich fyzikální i ostatní vlastnosti ( tepelně vodivé, izolační, ...) je předurčují pro speciální použití na některé díly forem. Bylo by obtížné se bez nich obejít. [7]

### 2.1 Jednotlivé druhy ocelí používané na formy

Úspěšným předpokladem dostatečné životnosti a funkční vhodnosti je také účelná konstrukce, dostatečné rozměry, správné zacházení i údržba. I způsob výroby a tepelné zpracování materiálu může celý výsledek ovlivnit. Nedostatečná kvalita povrchu zhoršuje vyjímání, vyleštěný povrch je rovněž prostředkem k ochraně proti korozi, atd. z těchto požadavků vyplývají i nároky na čistotu oceli. [7]

#### 2.1.1 Používané druhy ocelí

Úspěšný vývoj univerzálních typů ocelí s širokým rozsahem užitných vlastností, může plnit v maximální míře funkční požadavky výroby na materiál. Takový trend stále pokračuje. Z širokého sortimentu jakosti ocelí se současně pro výrobu forem používají následující skupiny: [7]



- Oceli konstrukční k použití v přírodním i zušlechtěném stavu
- Oceli k snadnému opracování a tváření, pro cementování a zušlechtování
- Oceli uhlíkové k zušlechtování
- Oceli nástrojové legované se sníženou i velkou prokalitelností a odolností proti otěru
- Oceli k nitridování
- Oceli antikorozi, používané při zpracování plastů, které chemicky ovlivňují

### 2.1.2 Konstrukční oceli

Převážnou část spotřeby oceli pro výrobu forem tvoří oceli konstrukční třídy 11. Vyrábí se z nich méně náročné a namáhané díly. Jsou to především oceli 11373, 11523, 11600. Tyto obvykle zůstávají v přírodním, nebo normalizačně žíhaném stavu. Jejich přehled a použití je zřejmé z následující tabulky: [7]

| Užití    | ČSN    | Zpracování            | Poznámka              |
|----------|--------|-----------------------|-----------------------|
| Rozpěrky | 11 373 | dobrá obrobiteľnosť   | pevnost 370 - 450 MPa |
|          | 11 375 |                       | pevnost 370 - 450 MPa |
|          | 11 500 |                       | pevnost 500 - 620 MPa |
|          | 11 600 |                       | pevnost 600 - 720 MPa |
| Dorazy   | 11 600 | dobrá obrobiteľnosť   | pevnost 600 - 720 MPa |
|          | 11 700 |                       | pevnost 600 - 720 MPa |
| Desky    | 11 373 | dobrá obrobiteľnosť   | málo namáhané         |
|          | 11 375 |                       | málo namáhané         |
|          | 11 500 |                       | středně namáhané      |
|          | 11 600 |                       | značné namáhané       |
| Šrouby   | 11 109 | výborná obrobiteľnosť | málo namáhané         |
| Šroubení | 11 600 | dobrá obrobiteľnosť   | značné namáhané       |

Tabulka 1. Přehled oceli pro výrobu forem třídy 11

Na výrobu desek, u kterých se vyžaduje vyšší pevnost se používají konstrukční ocel uhlíková ušlechtilá 12 060, 12 050, které se mohou použít v přírodním stavu, nebo zušlechtit až na hodnotu 850 MPa. [7]

Nejvíce namáhané součásti tvarů desek apod. se vyrábí z cementačních ocelí 14 220 a nástrojové oceli 19 786, které jsou v těchto případech cementovány a kaleny na výslednou pevnost kolem 1000 MPa. [7]

### 2.1.3 Cementační oceli

Tato skupina ocelí má poměrně nízkou pevnost v žíhaném stavu. Z toho plynoucí dobrou obrobitelnost, tvářitelnost a malou náchylnost k praskání při kalení.

Proto se s výhodou používají na tvárnice, vyráběné vtlačováním za studena. Vyšší pevnost a tvrdost se dosáhne cementací funkční povrchové vrstvy. [7]

Velmi důležitou vlastností cementačních ocelí je kalitelnost a prokalitelnost, která určuje pevnost jádra po tepelném zpracování. Není-li jádro dostatečně pevné, může se v místě lokální koncentrace tlakových napětí snadno promáčknot.

Pro široké použití se používá chrommanganová ocel 19 487, určená ke kalení v oleji. Má vysokou houževnatost a dobrou odolnost proti opotřebení.

U méně náročných dílů se nahrazují cementační nástrojové oceli podobnými, ale méně jakostními cementačními ocelemi 12 010, 12 020 nebo legovanými 14 220, 14 221, které mají vyšší pevnost v jádře, než oceli uhlíkové, přehled ukazuje tabulka: [7]

| Užití        | ČSN    | Zpracování  | Použitelnost                       |
|--------------|--------|-------------|------------------------------------|
| Funkční díly | 12 010 | cementování | vtlačování                         |
| Pouzdra      | 14 220 | cementování | dobrá obrobitelnost i leštitelnost |
| Kolíky       | 19 486 | cementování | dobrá leštitelnost                 |
|              | 19 487 | cementování | dobrá leštitelnost                 |

Tabulka 2. Oceli u méně náročných dílů

#### 2.1.4 Kalitelné oceli

Kalitelné oceli s malou prokalitelností se uplatňují na málo výkonné formy jednodušších tvarů a pomocných dílů forem. Při kalení ve vodě se prokaluje jen menší povrchová vrstva a jádro zůstává měkké. Jsou to oceli 19 083, 19 191. U těchto ocelí jsou deformace při kalení značné. [7]

Legované oceli k zušlechťování se zvýšenou prokalitelností jsou určeny pro rozměrnější formy s vyšší trvanlivostí. Vyznačují se menšími deformacemi při kalení. Jsou to oceli manganové 19 312 a 19 314. Obě oceli mají dobrou obrobitelnost, větší prokalitelnost i dobrou houževnatost. Využívají se hlavně na výrobu vyhazovačů. [7]

Skupinu ocelí se zvětšenou houževnatostí a malými deformacemi při kalení, představuje také chrommolybdenovanadová ocel 19 550. Je vhodná i při zvýšených provozních teplotách. Při popouštění na 550°C si udržuje tvrdost 53 HRC a proto jí lze i nitridovat. Zvýší se tím otěruvzdornost. [7]

#### 2.1.5 Antikorozi oceli

Oceli tohoto druhu se používají na tvarové části forem, které zpracovávají chemicky agresivní plasty (PVC,...). Nejpoužívanější je ocel 17 029. Je to nástrojová nerezavějící chromová ocel, určená ke kalení v oleji. Má velkou prokalitelnost (75 mm), zvýšenou odolnost proti korozi a dobrou stálost rozměru při kalení. Zvýšená odolnost proti korozi se projevuje v kaleném a popouštěném stavu. Tuto ocel nelze doporučit v tepelně nezpracovaném stavu. [7]

Tvarové části se někdy povrchově upravují tvrdým chromováním. Zvýší se tím tvrdost, lesk i ochrana povrchu, při zpracování abrazivních a chemicky agresivních plastů. Taková úprava se provádí po předchozím tepelném zpracování. [7]

#### 2.1.6 Oceli k nitridování

Nitridováním se zvýší tvrdost povrchové vrstvy u dobře zakalených a popouštěných součástí. Proces probíhá při teplotě 500 až 560°C a dosahuje se tvrdosti 800 až 1200HV. Vyu-

živá se především ke zvýšení otěruvzdornosti u těch dílů, u nichž postačí nižší pevnost v jádře (1000 až 1300 MPa). [7]

Oceli musí mít dostatečnou odolnost proti popouštění, aby jejich tvrdost v jádře nepoklesla. Tuto podmínku splňují jen některé oceli, jako např. 19 550, 19 573. Výhodné jsou zejména ty, které jsou legovány Al, Cr. Hloubka vrstvy se pohybuje kolem 0,0 až 0,05 mm. [7]

### 2.1.7 Martensiticky vytvrditelné oceli

Oceli vysoce legované Cr, Ni, Co, Mo a jsou tepelně vytvrditelné při nízkých teplotách mají velmi nízký obsah C. Tyto oceli jsou velmi drahé a proto se doporučují jen na nejnáročnější díly forem s vysokými požadavky na houževnatost, leštitelnost a velkou stálost rozměrů. Polotovary jsou dodávány v měkkém austenizačně zpracovaném stavu. Přesto je třeba počítat se zhoršenou obrobiteľností. Díly se vyrábí na hotovo a pak se vytvrzují při teplotě 480°C na tvrdost HRC. [7]

## 2.2 Slitiny mědi

Na výrobu forem se mimo ocelí začínají stále více prosazovat slitiny mědi. Nejen pro chladicí trny tenkých tvárnků, ale i na tvarové vložky, vytáčecí matice a šrouby, vyhazovací kolíky, vodící a středící pouzdra, různá vedení apod. To proto, že mají některé výhody oproti ocelím. [7]

Jsou to především:

- velmi dobrá tepelná vodivost
- dobrá chemická odolnost
- dobré kluzné vlastnosti

Vhodným využitím těchto vlastností se dosáhne:

- zkrácení pracovního cyklu vstřikování (kratší chladicí čas)
- vyšší kvalita výstřiku (výhodnější technologickými časy, ...)

- vyšší funkční bezpečnost (hladší plochy, vhodnější kluzné vlastnosti, ...)

Velká tepelná vodivost Cu slitin jako jedna z nejdůležitějších vlastností, je oproti ocelím cca 4x vyšší. Chladicí čas u ocelových forem je cca 70% celého cyklu. Jeho zkrácení o 20 až 50% využitím slitin Cu, se dosáhne výrazného zkrácení celého pracovního cyklu a tím snížení i ceny výstřiku. Výhodnější technologické časy zlepšují kvalitu struktury plastu, dosahují jakostnější povrch i přesnější geometrii tvaru. Nevýhodou Cu slitin je jejich horší opracovatelnost elektroerozivními metodami. Význačnou vlastností těchto slitin je i nízký koeficient tření, výhodný zvláště pro pohyblivé díly. [7]

### 2.3 Slitiny hliníku

Formy ze slitin hliníku a některých dalších kovů mají své speciální použití. Nejsou tak pevné a odolné proti opotřebení jako oceli. Zato mají jiné dobré vlastnosti (velkou tepelnou vodivost, korozivzdornost), které lze s výhodou u forem využít.

Používají se např. na formy pro strukturní pěny. Zde je vyžadován intenzivní chladicí účinek, dobrá chemická odolnost proti korozi a ostatním činidlům, vznikajícím při vstřikování plastů s nadouvadlem. Jejich vstřikovací tlaky jsou nižší (až 10x) oproti formám na vstřikování kompaktních plastů a proto nevyžadují tak velkou pevnost. [7]

### 3 TECHNOLOGIE VÝROBY FOREM Z KOVŮ

#### 3.1 Soustružení

Je to třískové obrábění nástrojem s jedním ostřím. Hlavní pohyb provádí většinou obrobek, vedlejší pohyb vykonává nástroj (soustružnický nůž).

*Způsob soustružení:*

Podle směru posuvu

- Podélné: posuv nože je rovnoběžný s osou otáčení obrobku
- Příčné: posuv nože je kolmý na osu otáčení obrobku

Podle místa obrábění

- vnější,
- vnitřní,
- čelní,
- válcové. [3]

*Základní práce na soustruhu:*

- Soustružení vnitřních a vnějších ploch
- Soustružení kuželových ploch
- Soustružení tvarových ploch
- Zarovnávání čel
- Zapichování a upichování
- Řezání závitů očkem, závitníky
- Vrtání
- Soustružení na trnech. [3]

### 3.2 Frézování

Frézování je jedním z nejpoužívanějších způsobů strojního třískového obrábění. Frézováním je možno obrábět jednoduché rovinné plochy, různé složité nepravidelné tvary i rotační plochy. Lze frézovat ozubená kola a hřebeny, závity, mohou se vrtat otvory v přesných roztečích, souřadnicích nebo na roztečné kružnici. [3]

### 3.3 Vrtání a vyvrtávání

Díry se vrtají do plného materiálu. Vyvrtáváním se předvrtané díry zvětšují. Patří sem i vyhrubování, vystružování a zahlubování. Vystružován je zvláštní dokončovací způsob vyvrtaných děr. Zahlubováním se zarovnávají čelní plochy, zkosují hrany a zahlubují díry např. pro válcové stěny šroubů. [3]

### 3.4 Hoblování a obrážení

Je to druh třískového obrábění. Používá se pro obrábění vnějších, případně vnitřních rovinných nebo přímkových ploch jednobřítým nástrojem. Nástroj je velice podobný soustružnickému noži. [3]

Tento typ obrábění je v moderní době nahrazován produktivnějším a to především frézováním. Ovšem někdy je, z ekonomických nebo jiných důvodů, lepší použít hoblování (popřípadě obrážení). Hlavní pohyb je přímočarý vratný a vedlejší pohyb je posuv. Posuv je přerušovaný a kolmý na hlavní pohyb. Posuv se koná v době, kdy se nástroj nedotýká obrobku. Nástroj je namáhán rázem, protože nástroj zabírá do plného průřezu třísky. Aby nástroj nenarážel do materiálu svou špičkou, bývá úhel ostří záporný. [3]

### 3.5 Broušení

Broušení jednak dosahujeme konečné přednosti obrobků a upravujeme zároveň jejich povrch, jednak ostříme nástroje. Používáme k tomu brusných látek - prášků nebo různých kotoučů a tyčinek. [3]

Oddělování třísek při broušení je podobné jako při frézování. Na rozdíl od frézky jsou břity

brousícího kotouče tvořeny zrny brusiva, nepravidelně rozmístěné po obvodu nástroje a mají nestejnou geometrii břitu. Řezný odpor při broušení je větší než při frézování, neboť průřezy odebíraných třísek jsou malé. [3]

### 3.6 Nekonvenční metody obrábění

Jednotlivé nekonvenční metody obrábění se odlišují zejména dle fyzikálních účinků použitých pro obrábění. [4]

NMO s elektro-tepelným principem využívají převážně teplo pro řízené odtavování materiálu. Elektrochemické obrábění kovů je založeno na intenzivní elektrolýze známé z galvanických procesů. S ohledem na přímé působení elektrického proudu na úběr materiálu zahrnuje elektroerozivní a elektrochemické obrábění pod společným názvem elektrické metody obrábění. [4]

Podstatou NMO s chemickým principem je přímé využití chemických reakcí pro obrábění (chemické obrábění a termické obrábění otřepů). [4]

Mechanické (abrazivní) metody obrábění jsou založeny na stimulaci abrazivních nebo erozivních účinků vhodných látek, např. brusiv a kapalin. [4]

Rozdělení nekonvenčních metod obrábění podle využívaného fyzikálního principu: [4]

- elektricko - tepelné principy:

- Elektro erozivní obrábění
- Obrábění paprsky koncentrované energie

- elektro - chemický princip

- chemický princip

- mechanické principy:

- Obráběním ultrazvukem
- Obráběním kapalinovým paprskem [4]



## 4 BETONOVÉ FORMY

### 4.1 Polymerbetony

Polymerbeton je řazen do skupiny částicových kompozitních materiálů. Z polymerbetonu mohou být vyráběny odlitky v řádů několika kilogramů až několika tun, což dává široké možnosti pro jeho další využití. Největší část odlitků vyráběných z polymerbetonu je v současné době určena pro lože a podstavce výrobních a obráběcích strojů, které našly využití ve všech průmyslových odvětvích. [8]

Polymerbetony se mohou lišit celou řadou použitých materiálů, z hlediska různých výztužných materiálů a druhem pojivem. Pojivo bývá dvoukomponentní tvořeno pryskyřicí a vytvrzovacím prostředkem.

#### 4.1.1 Plniva

Jako plniva polymerbetonů se využívají přírodní i umělé vyráběné materiály. Z přírodního kameniva se využívá křemen, vápenec, břidlice a další.

Dalším typem je umělé vyráběné pórovité kamenivo. Pórovité kamenivo se využívá pro méně namáhané lehčené betony.

Dalším z plniv pro betony je pěnové sklo. Jedná se o anorgatickou skleněnou ztuhlou pěnu s pravidelnými neprodyšně uzavřenými póry. Pěnové sklo má především tepelně izolační schopnosti, nenavlhá, tudíž se navlhavost nemění i u betonu. Ve stavebnictví se v kombinaci s dalšími materiály využívá především pro izolaci střech, stropů a podlah. [9]

#### 4.1.2 Pojivo

Jako pojivo se v polymerbetonech využívají pryskyřice:

- Epoxidové
- Polyesterové
- Polyuretanové
- Polyakrylové
- Methylmetakrylátové

### 4.1.3 Výztužné materiály

Nejčastěji jsou používány kovové materiály. Cementový beton vyztužený ocelovými tyčemi označujeme jako železobeton. Stavební oceli se dodávají jako výrobky zpracované válcováním, tažením nebo protlačováním. K vyztužování železobetonových konstrukcí se vyrábí celá řada průřezů ve tvaru tyčí, které se případně spolu svařují. Tím jsou vytvářeny sítě s různě velkými oky. Tyče jsou při výrobě zality do betonu, tak aby při předpokládané deformaci byly natahovány. [9], [10]

Betonářská ocelová výztuž se vyrábí především z ocelí třídy 10, některé druhy též z ocelí třídy 11. Stavební oceli jsou vyráběny s povrchem hladkým nebo upraveným různými žebírky. Úprava povrchu má za účel zlepšení soudržnosti mezi ocelí a betonem. V nutných případech se používají betonářské výztuže i z korozivzdorných ocelí nebo opatřené organickými povlaky nebo kovovými povlaky. Důvodem je snížení rizika vzniku koroze výztuže po degradaci krycí vrstvy betonu v agresivním prostředí. Zkorodovaná výztuž pak snižuje únosnost konstrukce. [9], [10]

Pro nahrazení klasických ocelových výztuží se využívá vláknové výztuže do betonů a polymerbetonů.

Typy vláken pro prostorové vyztužení matrice polymerbetonu:

- Ocelová vlákna
- Polymerní vlákna
- Skelná vlákna
- Uhlíková vlákna

Ocelová vlákna přispívají ke zvýšení únosnosti, polymerní vlákna zvyšují například požární odolnost. Vlákna obecně zvyšují houževnatost materiálu. Prvky z vláknobetonu jsou subtilnější, čímž se snižují přepravní náklady v porovnání s klasickou betonářskou výztuží. Využívají se v podlahových konstrukcích nebo také pro povrchové vrstvy betonu u tunelů. [10]

## 4.2 Hydrobetony

Beton je kompozitní stavební materiál sestávající z pojiva a plniva. Po zatuhnutí pojiva vznikne pevný umělý slepenec. Nejčastějším druhem betonu je tzv. cementový beton, kde je pojivem cement a plnivem kamenivo, dalším materiálem pro výrobu je voda. [12]

Během hydratace a tvrdnutí probíhají v betonu fyzikální a chemické procesy (provázené uvolňováním tepla), při kterých beton získává mechanickou pevnost a odolnost a vytváří se chemická stabilita v materiálu. Beton neztvrdne tím, že vyschne, ale že postupně během týdnů vykrytalizuje. Tento proces začne asi hodinu po namíchání a čím je tepleji, tím je krystalizace rychlejší. Beton při tuhnutí není závislý na atmosféře a proto tuhne i pod vodou. Pevnost betonu závisí především na vlastnostech cementu, dalšími ovlivňujícími faktory jsou vlastnosti vody a kameniva. [12]

### 4.2.1 Cement

Betony je možno vytvářet všemi běžnými vyráběnými druhy portlandských cementů. Jejich výběr závisí především od nároků, od vlastností zatvrdnutého betonu (pevnost v tlaku, v tahu apod.) respektive od osobitých požadavků na urychlené tvrdnutí betonu při působení tepla. Z těchto hledisek je nutno zvážit použití cementu a pro konkrétní výrobu betonu je nevyhnutelné je odzkoušet. [11]

Při běžných cementů je barva závislá od minerální skladby a má různé syté odstíny. Můžou se vyskytnout z technologických nebo materiálových příčin i výraznější barevné odchylky (např. hnědý odstín cementu). Cementářský závod má na ně upozornit a cement s výraznými barevnými odchylkami, resp. s barevnou variabilitou se nesmí používat pro hydrobetony. Na dosažení jednotného barevného odstínu betonové plochy nebo celého objektu je důležité použít jednoho druhu a třídy cementů té stejné cementárny. Ucelené části betonových ploch je třeba vytvářet z jedné dodávky cementu. [11]

#### *A. Bílý cement*

Bílý cement je v podstatě vysokohodnotný portlandský cement s minimálním obsahem barevných oxidů. Bílá barva se zabezpečuje účelným výběrem surovin, osobním výrobnotechnologickým postupem a obvykle vyšší jemnosti mletí oproti běžným šedým cementům. [11]

Podle nejnižší předpisové pevnosti v tlaku za 28 dní se bílý cement rozděluje na tři třídy (325, 400, 475). Průměrné pevnosti bílého cementu nesmí být nižší, jako jsou hodnoty uvedené pro jednotlivé třídy (tab.3): [11]

| Čas uložení zkušebních těles |         |        | Nejmenší průměrná pevnost cementu $\sigma$ (MPa) zjištěná na zkušebních tělesech pro cementy třídy |         |         |         |         |         |
|------------------------------|---------|--------|--|---------|---------|---------|---------|---------|
| Ve vlhkém Uložení            | Ve vodě | Spolu  | 325  |         | 400     |         | 475     |         |
|                              |         |        | v ohybu  | v tlaku | v ohybu | v tlaku | v ohybu | v tlaku |
| 1 den                        | 2 dny   | 3 dny  | 2,5  | 13      | 3,5     | 18      | 4,5     | 23      |
| 1 den                        | 27 dní  | 28 dní | 5,5  | 32,5    | 6,5     | 40      | 7       | 47,5    |

Tabulka 3. Průměrné pevnosti bílého cementu pro jednotlivé třídy

Bělost určovaný koeficientem odrazu v procentech ideální stupnice musí být:

- -při prvním stupni maximálně 80%
- -při druhém stupni minimálně 75%
- -při třetím stupni minimálně 68%

Začátek tuhnutí bílého cementu nastává nejdříve za 45minut. Tuhnutí se ukončí po 12 hodinách. Bílý cement je objemově stálý. [11]

### ***B. Barevné cementy***

Barevné cementy jsou architektonicky velmi přitažlivým stavebním materiálem. Svoji barvou bezprostředně a trvale ovlivňují barevný odstín neopracované barevné plochy. Můžou se vyrábět více způsoby. V podstatě je možno jejich výrobu rozdělit do dvou skupin:

- Výroba barevných cementů
- Výroba bílého, respektive šedého portlandského cementu a přimíchaného barevného pigmentu.

Principálně odlišná možnost výroby barevných cementů je přimíchávání a dokonalé homogenizaci barevných pigmentů v bílém nebo portlandském cementu. Když se jako základ používá šedý portlandský cement, je možno z něho vyrobit především tmavší barevné odstíny, hlavně černé, červené nebo hnědé cementy. Světlé barevné odstíny se dosahují bílým cementem barvami pigmentu. Vhodný je pro barevné odstíny jako jsou barva slonové kos-

ti, světle žlutá, kmenová, světle růžová, růžové odstíny apod. V porovnání s šedým cementem stačí přimíchat menší množství pigmentu a barevná efekt je více výraznější. [11]

Jako barvy pigmentu se používají anorganické syntetické nebo přírodní pigmenty. Můžou se přidávat do cementu v rozsahu 3,5 až 10% z jejich hmotnosti, hranice negativně vyplývá na fyzikálně-mechanické vlastnosti barevných betonů. [11]

Výroba kvalitních barevných cementů si vyžaduje určité nároky na bílý cement. Kromě vyhovujících fyzikálně-mechanických vlastností je důležitý obsah CaO a SO<sub>3</sub> v cementu, protože při jejich zvýšeném obsahu jsou předpoklady tvorby výkvětů, resp. zákalů povrchu barevných betonů. Barvy pigmentu jsou látky z vysokou krycí schopností a kromě barevných vlivů se od nich vyžaduje dlouhotrvající odolnost proti alkalickému prostředí, barevná stálost a schopnost dokonalého smíšení s cementem. [11]

#### **4.2.2 Kamenivo**

Výběr vhodného materiálu kameniva na výrobu hydrobetonu se u nás na začátku nevěnovala dostatečná pozornost. Spoléhání se na absolutní samoúčinnost použití bílého a barevného cementu vedlo k podceňovanému vlivu kameniva a bylo jednou z hlavních příčin neúspěchu některých stavebních realizací. [11]

Požadavky na kvalitu a barvu kameniva se řadila podle toho, jakou mírou bude kamenivo vystupovat na betonové ploše, či bude zakryté vrstvičkou cementové malty nebo odkryté některou z rozličných možných opracovatelských technologií. [11]

##### ***A. Základní kamenivo***

Pro hydrobetony je možno v zásadě použít drcené nebo tažené kamenivo. Hydrobeton se může vyrábět přidáním lehkých plniv (přírodních i umělých). Použití lehkých plniv ovlivňuje i vlastnosti zatvrdnutého betonu, tzn. i fyzikálně-technické vlastnosti betonových ploch. Formu jejich projevu na vizuálních betonových plochách uzavřených a zejména opracovaných, třeba předem ověřit. Třeba zvážit fyzikální vlastnosti lehkého plniva s ohledem na vliv povětrnostním. S ohledem na jejich pórovitou strukturu je třeba prověřit zejména také vlastnosti, jakou jsou: nasákavost, mrazuvzdornost apod., které jsou souvisí s možností zvětrávání, intenzivnějšího znečištění a s přímým vlivem na jejich trvanlivost. [11]

*Drcené kamenivo.* Charakterizuje ho ostrohranný tvar zrn a monominerální skladba, která mu obvykle dává stejný barevný odstín. V používání to znamená, že se předpokládá jedna těžební lokalita. I přitom však existují možné rozdíly podle konkrétních těžebních míst, proto i při ustáleném odběru kameniva s jedné lokality jeho kvalitu třeba stále kontrolovat pravidelným odběrem vzorků. Drcené kamenivo se technologicky hůře zpracovává a vyžaduje (v porovnání s těženým) vyšší obsah cementu a vody na dosažení stejných reologických vlastností. [11]

*Těžené kamenivo.* Charakterizuje ho poliminerální skladba, oblý tvar zrn a rozmanitá barevnost. Jeho použitím betonové směsi mají příznivé technologické vlastnosti (konzistenci, zpracovatelnost). Při těžbě z vody nebo praní kameniva bývá obvykle nízké zastoupení nejjemnějších pískových frakcí. Zrna pod 0,25 mm se při těžbě vyplavují. Absence jemných frakcí kameniva zhoršuje i technologické vlastnosti betonových směsí a zvyšuje jejich náchylnost na odlučování vody. Nahradit je zvýšeným obsahem cementu a vytvoření vyššího obsahu cementové kaše není technologický správný postup. Překročením optimálního množství cementového tmelu v objemové jednotce betonu se nezlepšují jeho fyzikálně-technické vlastnosti ale naopak. Zatvrdnutý cementový kámen není nejpevnější složkou betonu, tj. v hutním betonu téměř nezbytné vždy kamenivo. Správný technologický postup předpokládá náhradu k chybějící frakce a vylepšení zrnitosti kameniva korekční složkou. [11]

### ***B. Korekční kamenivo***

Korekční kamenivo se přidává k základnímu kamenivu obvykle formou pískové frakce nebo kamenné moučky na zlepšení:

- Barvicích vlastností kameniva ,a tím i barevných vlastností zatvrdnutého hydrobetonu
- Technologických vlastností betonových směsí
- Fyzikálně-technických vlastností zatvrdnutých betonů (trvanlivost, smršťování atd.)
- Ekonomie výroby (úspory cementu)

Korekčním kamenivem může být např. křemičitý písek s frakcí 0 - 0,5mm, mikromletý vápenec s frakcí s 0 -0.5mm apod. Vliv korekčního kameniva třeba prověřit komplexně,

protože jeho příznivý účinek na zlepšení žádoucím vlastností betonových směsí a zatvrdnutých betonů může nežádoucně až škodlivě ovlivňovat na jiné vlastnosti. [11]

Pro betonové plochy s uzavřeným povrchem je takový technologický požadavek: součet jemných složek betonů čili cementů, kameniva a barevných přísad, nemá být nižší jako  $550 - 555 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  hotového betonu. Platí to pro maximální zrno kameniva do 16mm. Třeba citlivě kontrolovat i horní hranice obsahu těchto složek, protože vysoký podíl jemných frakcí způsobuje lepivost betonové směsi, čímž se zhoršuje její mísitelnost ale zejména zpracovatelnost a to i tehdy, kdy konzistence je v požadovaných hranicích. Z hlediska požadovaných 28denních pevností betonu se jeví optimální obsah kamenných frakcí pod 0,25mm v rozsahu 5 - 15%. Jejich zvýšený obsah může snížit pevnost betonu. [11]

### 4.2.3 Voda

Voda přichází do styku s betonovou směsí, resp. s tvrdnutím či zatvrdnutím betonu ve formě:

- Záměšové vody
- Atmosférické vlhkosti
- Vody na ošetřování

#### A. Záměšová voda

Voda v betonové směsi způsobuje a umožňuje průběh chemické reakce s cementem a je rozhodující složkou maltové části. Výrazně vyplývá na zmenšení vnitřního tření mezi kamennými zrny v směsi, a tím ovlivňuje její zpracovatelnost. Na výrobu hydrobetonu se může použít jen čistá voda. Voda má mít přibližně neutrální reakci. Bez vykonání zkoušek a bez obav možno jako záměšovou vodu použít pitnou vodu, ne minerální vodu. Voda do betonu nemá obsahovat: [11]

- Olej, ropné produkty, tuky,
- Rašelinu a uhelné látky,
- Volný oxid uhličitý,
- Cukr (zpomaluje tuhnutí a tvrdnutí betonové směsi),

- Sloučeniny zinku, mědi a olova,
- Více jako 1% chlóru, 0,3% oxidu sírového,
- Zvýšený obsah rozpustných síranů, solí, chloridu a dusičnanů

Dávkování množství vody do objemové jednotky betonu závisí od granulometrie plniva množství cementu, technologie výroby, požadavek na vlastnosti betonové směsi a zatvrdnutého betonu. Všechny tyto požadavky nemožno zohlednit ideálně, jejich vliv třeba posoudit komplexně. Pro betonovou směs a zatvrdnutý beton je stejný, škodlivý i nedostatek záměsové vody, a její nadbytek. Vedle vlivů na reologické vlastnosti betonových směsí a fyzikálně-mechanické vlastnosti zatvrdnutého betonu se dávkování záměsové vody projeví i v barevném odstínu betonové plochy. Přitom platí, že zvýšený obsah vody dává cementový tmel ze zvýšenou pórovitostí, a tím jeho světlejší barevný tón, a naopak cementový tmel s nižším obsahem záměsové vody bývá tmavší. Takováto nežádoucí barevná rozdílnost se může projevit i na jedné ucelené ploše z uzavřeným povrchem po její výšce. Redukování množství záměsové vody se dosáhne stejnými technologickými opatření jako při konstrukčních betonech: [11]

- Úpravou křivky zrnitosti kameniva
- Množstvím použití maximálního zrna kameniva
- Volbou optimální dávky cementu
- Použitím plastifikačních přísad

Dokud na přípravu běžného betonu se může použít jako záměsová voda i návratný kondenzát z procesů proteplování dílců, pro hydrobetony je použití takovéto záměsové vody nepřijatelné. Na návratný kondenzát proteplovacího systému obvykle znečišťuje rez, olej, cementový tmel a jiné látky, které podporují vznik barevných defektů na betonové ploše. [11]

### ***B. Atmosférická vlhkost***

Atmosférická vlhkost se může dostat do kamenných složek betonové směsi formou dešťové vody, sněhu či ledu, zejména během jejich uložení na volné skládce. Změnou vlhkosti jednotlivých složek se takto může dostat do betonové směsi i několik desítek litrů vody více v objemové jednotce, a to může negativně ovlivnit reologické vlastnosti betonové



směsi a zatvrdnutého betonu. Voda se může dostat do kameniva dešťovou vodou přímo nebo jeho podmáčením na nevhodné vyspárování a špatně situované skládce. Vlhkost kameniva třeba zkorigovat podle skutečného stavu vlhkosti a určit dávkování záměsové vody. [11]

### ***C. Voda na ošetřování tvrdnoucího betonu***

Základním požadavkem na vodu, kterou se ošetřuje tvrdnoucí beton je, aby byla čistá. Bez rizika znečištění možno použít pitnou vodu z vodovodu. Beton se nemá ošetřovat ostrým proudem vody, nejvhodnější je kropení . [11]

## 5 TECHNOLOGIE VÝROBY VÝROBKŮ Z BETONU

Proces výroby odlitků z betonu se dá rozdělit do pěti hlavních fází:

- Dávkování
- Míchání
- Odlévání
- Zhutnění
- Vytvrzení

### 5.1 Dávkování

Dávkování lze provádět objemově dávkovacími šneky nebo také dávkovacími čerpadly. Využívá se i gravimetrického vážení na přesných vahách. Podstatou výhodou u automatizované výroby je rychlá změna složení dávkované směsi. [16]

Všechny složky ( plniva, pryskyřice, tvrdidla, barvy ) jsou do stroje dodávány z oddělených zásobníků. Poté se podle zvolené receptu v co nejkratším čase nadávkují. Následně jsou tyto složky v míchačce promíchány do homogenní směsi. [5]

### 5.2 Míchání

Míchání polymerbetonové směsi probíhá dvoufázově.

První fáze – oddělené promíchávání plniva různých frakcí podle křivky zrnitosti a promíchávání tvrdidla s pryskyřicí. [16]

Druhá fáze – smíchání všech složek na výsledné složení směsi. Důležité je, aby všechna zrna byla důkladně obalena pryskyřičným pojivem. Přestože má výsledná směs vyšší viskozitu, dobře se odlévá. [5]

*Pro míchání v první a druhé fázi se používají:*

- Diskrétní korýtkové míchačky
- Plynulé míchání šneky

Obě metody jsou z hlediska kvality smáčení a stupně promíchání srovnatelné. Šnekové míchačky se ale na rozdíl od klasických míchaček lépe vyjímají, mají vyšší výkon a jsou snadnější automatizovatelné. Moderní dávkovače a míchací zařízení mají kapacitu 6-24 tun za hodinu. Pro automatické vymývání šneků je možné použít malé množství acetonu. [14]

### 5.3 Odlévání

Odlévání do forem může probíhat buď přímo z míchačky, nebo pomocí licích pánví. Protože odlití objemných odlitků může trvat i několik hodin, je možné, dle potřeby, nastavit dobu zpracovatelnosti směsi s epoxidovým pojivem v rozmezí 2-6 hodin. [5]

Vhodné je odlévat hned několik odlitků najednou, aby míchací zařízení bylo nepřetržitě v provozu a nemuselo být čištěno. Integrované funkční části odlitku musí být očištěny a odmaštěny, čímž se docílí dokonalá přilnavost. Tyto připravené díly se ustaví na jednotlivé desky formy, která je posléze smontována a ustavena na vibrační stůl k následnému odlévání. [16]

### 5.4 Zhutňování

Po odlití následuje setřásání směsi k zhutnění a odvzdušnění. Zhutněním, vibrací, dusáním nebo lisováním je třeba zabránit nakypření k němuž došlo během míšení směsí. Rovněž je třeba odstranit vzduch v systému. Mohou přitom pomoci odpěňující a povrchově aktivní přísady, pokud neruší polymerační reakci. Příznivých výsledků se dosahuje míšením ve vakuu. Zhutnění často účinně podpoří i mírné zvýšení teploty, tím dojde ke snížení viskozity matrice. [6]

Mezi nejpoužívanější principy zhutnění patří střešovací stoly. Rovněž se využívá vibračních motorů připevněných na vnější stranu formy. Vibrační tyče používané v betonářství se pro polymerní směsi neosvědčily. Tvar a rozměry formy ovlivňující sílu a frekvenci střešování. Pokud střešujeme deskový typ formy je výhodnější použití vyšších frekvencí při malé síle.

Procedura setřásání a zhutňování nesmí trvat příliš dlouho, aby nedošlo k narušení homogenity polymerbetonové směsi. [16]

## 5.5 Vytvrzování směsi

Při vytvrzování pojiv probíhá silně exotermická reakce, provázená téměř vždy objemovým smrštěním. Druh chemické reakce, která probíhá při vytvrzování reaktoplastů nemá rozhodující význam, neboť případné vznikající nízkomolekulární vedlejší produkty je možno vázat vhodnou přísadou. [6]

Množství tepla, které vzniklo při vytvrzování, je vázáno rychlostí s jakou materiál nabývá své pevnosti. Vzhledem k nízké teplotní vodivosti polymerbetonů vzniká teplo rychleji, než může být disponováno. Podle druhu použitého materiálu tedy může dojít ke značnému vzrůstu teploty až na 80°C. V závislosti na způsobu vedení reakce (rychlost, teplota, ...), objemu tělesa, teplotní kapacitě plniva, podmínkách okolního prostředí vznikají ve struktuře polymerbetonu složité stavy napětí. Toto se děje zejména v prostorách mezi částicemi. [16]

Během dalšího vytvrzování tepelný efekt zmizí a po zhruba 12-14 hodinách může být odlitek vyjmut z formy. Zpravidla pro výrobu jednoho odlitku v jedné formě stačí jeden den. Po 24 hodinách má odlitek konečné vlastnosti a lze jej dále mechanicky opracovávat. [5]

## 6 SOUHRN TEORETICKÉ PRÁCE

Cílem literární studie této práce bylo zmapovat materiály a technologie výroby výrobků z betonu a polymerbetonu. Základní rozdělení materiálu pro polymerbeton a hydrobeton. Také technologie výroby těchto betonů (např. míchání, dávkování, odlévání...). Část teoretické práce pojednává o základním rozdělení forem, materiálech a technologiích na výrobu forem z kovů a výrobě forem.

## II. PRAKTICKÁ ČÁST

## 7 CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI PRÁCE

Hlavní cíle této experimentální bakalářské práce je:

- Vyrobení zkušebních vzorků z nivelačního betonu a polymerbetonů
- Vyrobení zkušebních forem z nivelačního betonu a polymerbetonu
- Vystavení těchto vzorků a forem dielektrickému ohřevu
- Následné změření teplot na povrchu vzorků a forem vystavené postupnému dielektrickému ohřevu.
- Přehledné zaznamenání a zpracování naměřených výsledků do tabulek a jejich porovnání průměrných hodnot do grafů

## 8 VYUŽITÉ MATERIÁLY NA VÝROBU VZORKŮ A FOREM

1. Polymerbeton je směs - epoxidová pryskyřice + křemičitý písek

- polyesterová pryskyřice+ křemičitý písek

Před výrobou zkušebních vzorků bylo nutné odstranit vlhkost a nečistoty z křemičitého písku. Sušení písku probíhalo v dielektrickém poli po dobu 5 minut při výkonu 850 W.



*Obr. 1. Sušení písku*



*Obr. 2. Přesívání písku*



## 2. Nivelační hydrobeton

Pro experimenty byl použitý komerční hydrobeton Nivel typ Ceresit.

Příprava betonové směsi spočívala ve smíchání základního prášku s definovaným množstvím vody. Tato směs je relativně tekutá a má dobrou zabíhavost do tvaru výrobku. Před odléváním je nutno formu nivelovat.



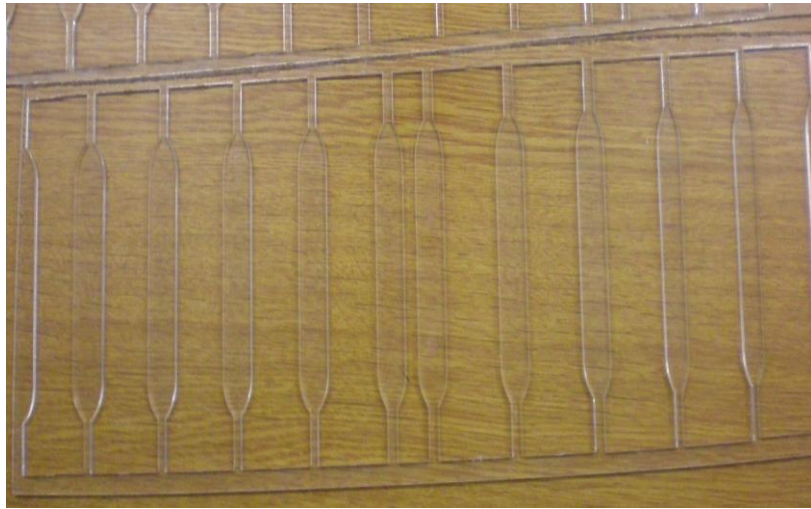
*Obr. 3. Nivelační beton*

## 9 PŘÍPRAVA VZORKŮ PRO EXPERIMENTY

Příprava vzorků pro stanovení dielektrického chování. Přenos povrchové informace.

### 9.1 Použité formy

Jako formu pro výrobu zkušebních vzorků bylo využito odpadní polymerní desky, která zbyla po řezání laserem. Spodní částí formy byla skleněná deska.



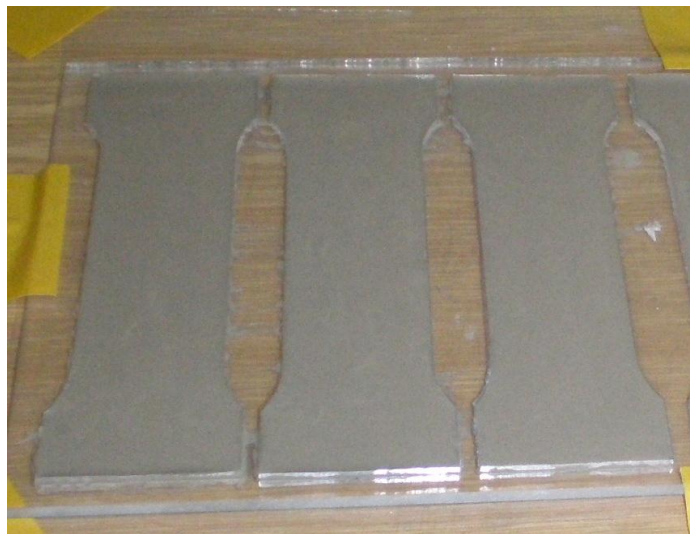
*Obr. 4. Forma na vzorky*

### 9.2 Výroba vzorků - nivelační hydrobeton

Betonová směs byla dle doporučení výrobce míchána v poměru 100g materiálu betonu na 24ml vody. Potřebné množství směsi bylo zhruba 200g na odlití tří zkušebních vzorků. Následně byla směs po důkladném promíchání nalita do formy.

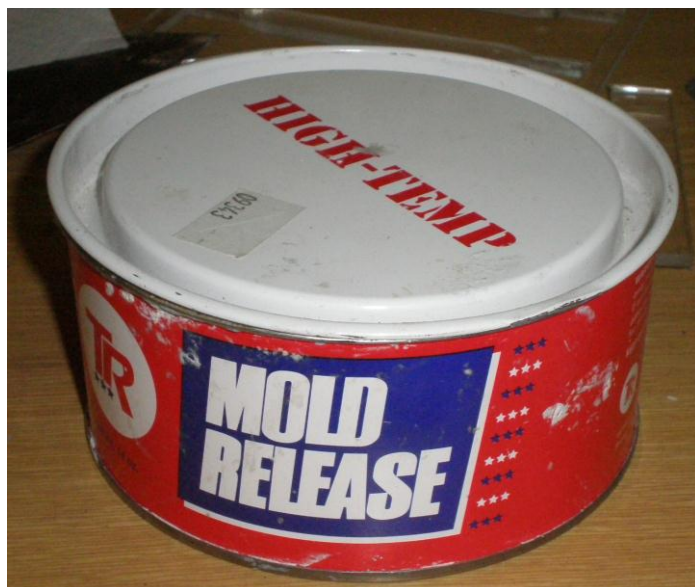


*Obr. 5. Směs betonu*



*Obr. 6. Tuhnutí vzorků ve formě*

K úplnému zatuhnutí proběhlo po 24 hodinách. Po té byly vzorky odformovány a připraveny k dalším experimentům. Vyskytl problém kdy při použití doporučeného voskového separátoru došlo k vytvoření adheze mezi vzorky a formou (Obr.xx).



*Obr. 7. Voskový separátor*



*Obr. 8. Odformování*

Výroba zkušebních vzorků se musela opakovat. Postup výroby byl stejný, ale jako separátor byla zvolena polyesterová folie. Tentokrát se výroba vzorků povedla. Odformování bylo snadné, bez poškození vzorků.

### **9.3 Výroba vzorků – polymerbeton**

Na výrobu vzorků z polymerbetonu byly použity dva druhy pryskyřice:

- epoxidová ( poměr činidla 40:100%)

- polyesterová (poměr činidla 1,5:100%)

Jak bylo uvedeno směs polymerbetonu byly tvořena z pryskyřice a křemičitého písku, v poměru 60% písku a 40% pryskyřice. Počet vyrobených vzorků byli 3 kusy z polyesterové a epoxidové pryskyřice.



*Obr. 9. Směs polymerbetonu*



*Obr. 10. Nalítá směs ve formě*

Odformování probíhalo bez větších problémů, v jednom případě došlo k poškození vzorku. Pro separaci byl použit voskový separátor (Obr. 7).



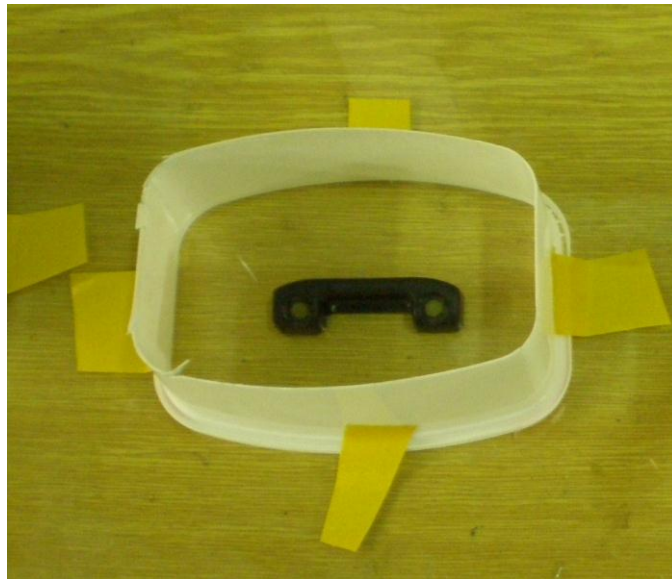
*Obr. 11. Vzorok po odformování*

## 10 PŘÍPRAVA FOREM PRO EXPERIMENTY

K dalším experimentálním pracím byly navrženy jednoduché formy (Obr. 12), které by sloužily k výrobě tvarových součástí (článek polymerního dopravníku) forem.

### 10.1 Použité formy

Forma byla vyrobena odléváním dle následujícího postupu z hydrobetonu a polymerbetonu s epoxydovou pryskyřicí.



*Obr. 12. Jednoduchá forma*



*Obr. 13. Článek tvarové části formy*

## 10.2 Výroba formy – nivelační hydrobeton

K zhotovení formy bylo využito zhruba 500g betonové směsi. Ta byla následně nalitá do připravené formy. Jako separátor byl použit včelí vosk rozpuštěný v benzínu.



*Obr. 14. Nalitá směs ve formě*

Po zatuhnutí směsi dochází k odformování. Oddělení skla a plastového kelímku od formy bylo snadné. Nedošlo k žádnému poškození formy. K problému došlo při oddělování střední části. Ta se nedala odformovat aniž by nedošlo k poškození formy, u okrajů došlo k ulomení.



*Obr. 15. Odformování tvarové části betonové formy*



Poškozenou formu bylo nutno opravit. Střední část byla vrácena do formy. Znovu bylo namícháno malé množství betonové směsi a nalito na poškozená místa. Tentokrát bylo odformování snadnější a nedošlo k ulomení okrajů.



*Obr. 16. Oprava úlomků*

### **10.3 Výroba formy – polymerbeton (E)**

Ke zhotovení formy bylo využito zhruba 600g polymerbetonové směsi, která byla tvořena 60% písku a 40% epoxidové pryskyřice. Pak byla následně nalitá do připravené formy. Jako separátor byla využita polyesterová folie.



*Obr. 17. Připravená směs polymerbetonu*

Po zatuhnutí směsi dochází k odformování. Oddělení separátoru (polyesterová folie) od formy bylo v pořádku. Krajiní částí formy byl kelímkem, ten se nedal oddělit bez jeho poškození (Obr.18).



*Obr. 18. Odformování polymerbetonové formy*

Stejně jako tomu bylo u odformování betonové formy, tak i zde byl problém oddělit tvarovou část formy. Při oddělování tvarové části se musela vyvinout značná síla. Došlo k poškození okrajů.



*Obr. 19. Odformování tvarové části polymerbetonové formy*

## 11 MĚŘENÍ A EXPERIMENTY

Hlavní částí mojí práce byl přenos povrchové informace zkušebních vzorků a forem, při dielektrickém ohřevu.

### 11.1 Použitá zařízení

K ohřevu bylo použito laboratorní zařízení, komerční mikrovlnná trouba typu PROFESSOR MTE-235BX:

- Výkon 900 W
- Příkon 1400 W
- Vnitřní rozměry komory 215 x 350 x 330 mm (v x š x h)



*Obr. 20. Mikrovlnná komora*

K měření teploty byl využit komerční Infračervený teploměr FLUKE 574:

- Měřicí rozsah -30 až 900°C



*Obr. 21. Infračervený teploměr*

## **11.2 Dielektrický ohřev zkušebních vzorků**

U každého jednotlivého druhu betonu (nivelační beton, polymerbeton z E a PE) jsou vyrobené tři zkušební vzorky, které byly následně vystaveny dielektrickému ohřevu. Dielektrický ohřev probíhal vkládáním jednotlivých zkušebních vzorků do mikrovlnné komory. Kde se vzorky ohřívaly při různých výkonech komory po dobu 300s. Samotné měření a zaznamenávání teplot probíhalo po dobu 30s.



*Obr. 22. Ohřev vzorku v mikrovlnné komoře*

Po dobu 30s se vzorky vyndaly z komory a změřila se infračerveným teploměrem jejich povrchová teplota. Měření muselo probíhat rychle, aby nedošlo k velkým výkyvům teplot po dobu, co jsou vzorky mimo komoru.



*Obr. 23. Měření teplot infračerveným teploměrem*

### 11.2.1 Nivelační betonové vzorky

Naměřené teploty a zpracované výsledky jednotlivých betonových vzorků při různých výkonech mikrovlnné komory. U betonových vzorků měření probíhalo pouze po dobu 240s, protože teplota už se za tento čas ustálila a dále nestoupala.

| čas [s] | teplota [°C] |    |    |        |              |
|---------|--------------|----|----|--------|--------------|
|         | 1.           | 2. | 3. | průměr | sm. odchylka |
| 30      | 40           | 44 | 46 | 43,3   | 3,1          |
| 60      | 50           | 54 | 54 | 52,7   | 2,3          |
| 90      | 57           | 60 | 62 | 59,7   | 2,5          |
| 120     | 62           | 64 | 65 | 63,7   | 1,5          |
| 150     | 64           | 67 | 67 | 66,0   | 1,7          |
| 180     | 67           | 67 | 68 | 67,3   | 0,6          |
| 210     | 67           | 68 | 69 | 68,0   | 1,0          |
| 240     | 68           | 68 | 69 | 68,3   | 0,6          |

Tabulka 4. Naměřené teploty betonových vzorků při výkonu 100%

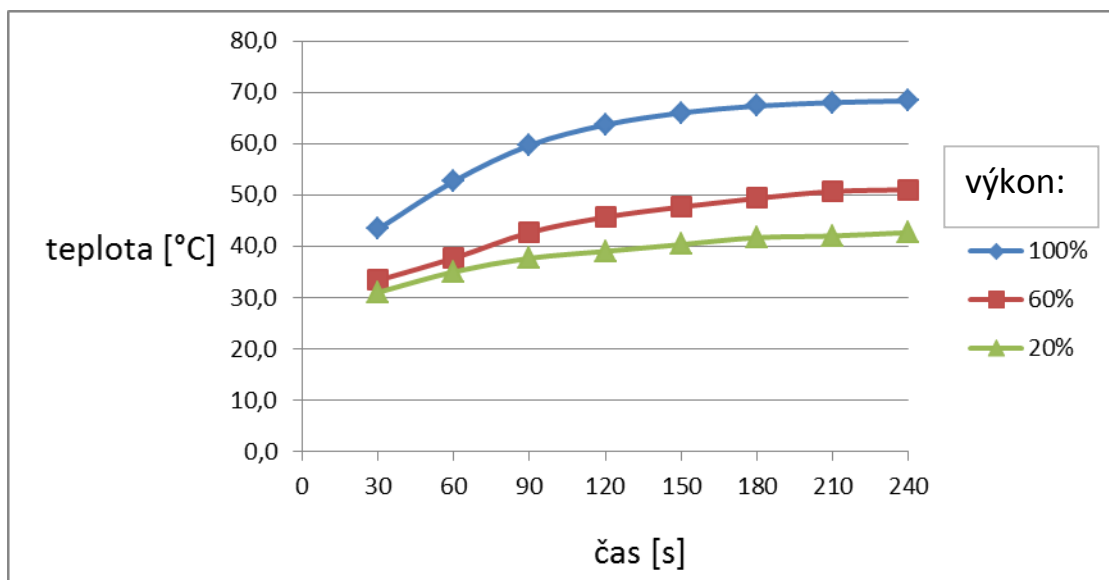
| čas [s] | teplota [°C] |    |    |        |              |
|---------|--------------|----|----|--------|--------------|
|         | 1.           | 2. | 3. | průměr | sm. odchylka |
| 30      | 33           | 34 | 33 | 33,3   | 0,6          |
| 60      | 38           | 38 | 37 | 37,7   | 0,6          |
| 90      | 41           | 44 | 43 | 42,7   | 1,5          |
| 120     | 42           | 48 | 47 | 45,7   | 3,2          |
| 150     | 44           | 50 | 49 | 47,7   | 3,2          |
| 180     | 46           | 50 | 52 | 49,3   | 3,1          |
| 210     | 47           | 52 | 53 | 50,7   | 3,2          |
| 240     | 48           | 52 | 53 | 51,0   | 2,6          |

Tabulka 5. Naměřené teploty betonových vzorků při výkonu 60%

| čas [s] | teplota [°C] |    |    |        |              |
|---------|--------------|----|----|--------|--------------|
|         | 1.           | 2. | 3. | průměr | sm. odchylka |
| 30      | 32           | 31 | 30 | 31,0   | 1,0          |
| 60      | 37           | 35 | 33 | 35,0   | 2,0          |
| 90      | 39           | 38 | 36 | 37,7   | 1,5          |
| 120     | 42           | 39 | 36 | 39,0   | 3,0          |
| 150     | 42           | 41 | 38 | 40,3   | 2,1          |
| 180     | 43           | 42 | 40 | 41,7   | 1,5          |
| 210     | 43           | 42 | 41 | 42,0   | 1,0          |
| 240     | 43           | 43 | 42 | 42,7   | 0,6          |

Tabulka 6. Naměřené teploty betonových vzorků při výkonu 20%

Teploty vzorků při určitém čase se zprůměrovaly a byl z nich zpracován graf.



Obr. 24. Průměrné teploty betonových vzorků

### 11.2.2 Polymerbetonové vzorky (z epoxidové pryskyřice)

Naměřené teploty a zpracované výsledky jednotlivých polymerbetonových vzorků z epoxidové pryskyřice při různých výkonech mikrovlnné komory.

| čas [s] | teplota [°C] |    |    |        |              |
|---------|--------------|----|----|--------|--------------|
|         | 1.           | 2. | 3. | průměr | sm. odchylka |
| 30      | 38           | 38 | 40 | 38,7   | 1,2          |
| 60      | 44           | 45 | 47 | 45,3   | 1,5          |
| 90      | 50           | 50 | 53 | 51,0   | 1,7          |
| 120     | 56           | 57 | 60 | 57,7   | 2,1          |
| 150     | 65           | 64 | 67 | 65,3   | 1,5          |
| 180     | 68           | 68 | 70 | 68,7   | 1,2          |
| 210     | 74           | 72 | 77 | 74,3   | 2,5          |
| 240     | 78           | 77 | 80 | 78,3   | 1,5          |
| 270     | 80           | 80 | 82 | 80,7   | 1,2          |
| 300     | 81           | 83 | 83 | 82,3   | 1,2          |

Tabulka 7. Naměřené teploty polymerbetonových (E) vzorků při výkonu 100%

| čas [s] | teplota [°C] |    |    |        |              |
|---------|--------------|----|----|--------|--------------|
|         | 1.           | 2. | 3. | průměr | sm. odchylka |
| 30      | 33           | 36 | 35 | 34,7   | 1,5          |
| 60      | 40           | 41 | 43 | 41,3   | 1,5          |
| 90      | 46           | 51 | 48 | 48,3   | 2,5          |
| 120     | 53           | 60 | 53 | 55,3   | 4,0          |
| 150     | 57           | 65 | 60 | 60,7   | 4,0          |
| 180     | 62           | 70 | 67 | 66,3   | 4,0          |
| 210     | 67           | 76 | 72 | 71,7   | 4,5          |
| 240     | 74           | 74 | 76 | 74,7   | 1,2          |
| 270     | 78           | 79 | 79 | 78,7   | 0,6          |
| 300     | 80           | 81 | 80 | 80,3   | 0,6          |

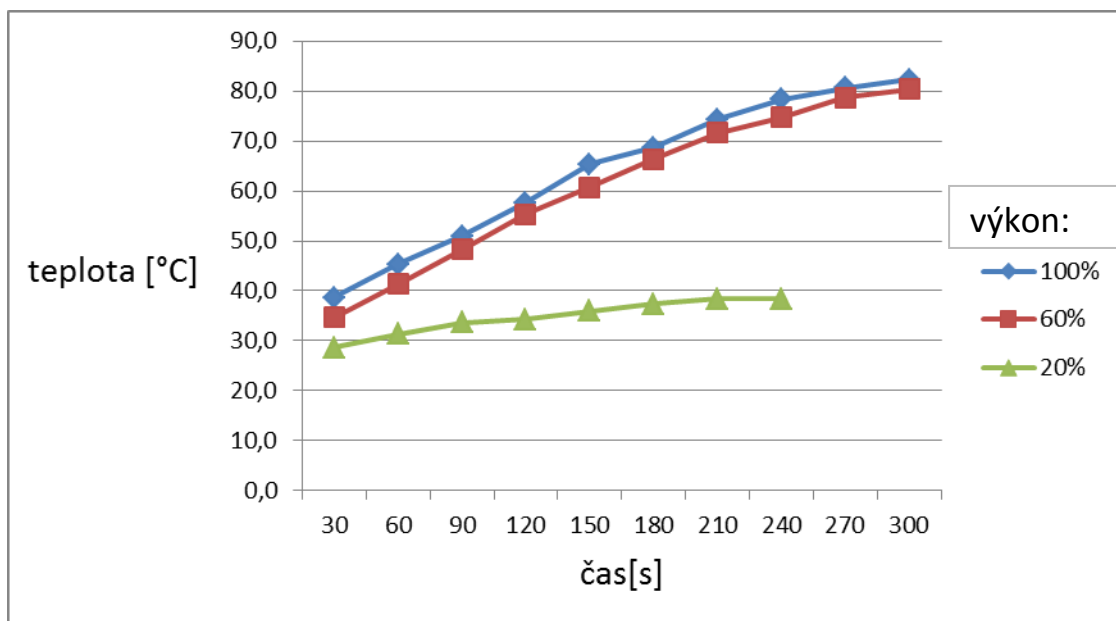
Tabulka 8. Naměřené teploty polymerbetonových (E) vzorků při výkonu 60%

| čas [s] | teplota [°C] |    |    |        |              |
|---------|--------------|----|----|--------|--------------|
|         | 1.           | 2. | 3. | průměr | sm. odchylka |
| 30      | 29           | 28 | 29 | 28,7   | 0,6          |
| 60      | 31           | 31 | 32 | 31,3   | 0,6          |
| 90      | 34           | 33 | 34 | 33,7   | 0,6          |
| 120     | 35           | 34 | 34 | 34,3   | 0,6          |
| 150     | 36           | 36 | 36 | 36,0   | 0,0          |
| 180     | 37           | 37 | 38 | 37,3   | 0,6          |
| 210     | 37           | 39 | 39 | 38,3   | 1,2          |
| 240     | 37           | 39 | 39 | 38,3   | 1,2          |

Tabulka 9. Naměřené teploty polymerbetonových (E) vzorků při výkonu 20%



Teploty vzorků při určitém čase se zprůměrovaly a byl z nich udělán graf. Jak je vidět z naměřených teplot, při snížení výkonu 100% na 60% u polymerbetonových (E) vzorků se teplota snížila jen o pár stupňů.



Obr. 25. Průměrné teploty polymerbetonových (E) vzorků

### 11.2.3 Polymerbetonové vzorky (z polyesterové pryskyřice)

Naměřené teploty a zpracované výsledky jednotlivých polymerbetonových vzorků z polyesterové pryskyřice při různých výkonech mikrovlnné komory.

| čas [s] | teplota [°C] |    |    |        |              |
|---------|--------------|----|----|--------|--------------|
|         | 1.           | 2. | 3. | průměr | sm. odchylka |
| 30      | 36           | 38 | 36 | 36,7   | 1,2          |
| 60      | 43           | 46 | 43 | 44,0   | 1,7          |
| 90      | 48           | 49 | 47 | 48,0   | 1,0          |
| 120     | 52           | 50 | 50 | 50,7   | 1,2          |
| 150     | 53           | 52 | 52 | 52,3   | 0,6          |
| 180     | 55           | 53 | 54 | 54,0   | 1,0          |
| 210     | 56           | 53 | 55 | 54,7   | 1,5          |
| 240     | 56           | 54 | 55 | 55,0   | 1,0          |

Tabulka 10. Naměřené teploty polymerbetonových (PE) vzorků při výkonu 100%

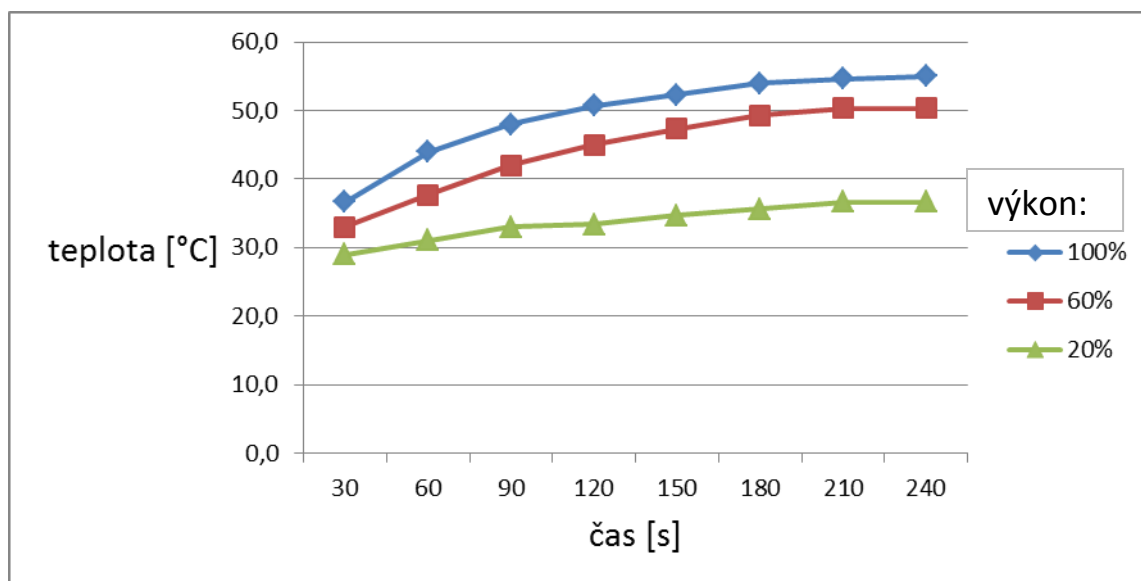
| čas[s] | teplota [°C] |    |    |        |              |
|--------|--------------|----|----|--------|--------------|
|        | 1.           | 2. | 3. | průměr | sm. odchylka |
| 30     | 32           | 33 | 34 | 33,0   | 1,0          |
| 60     | 38           | 39 | 36 | 37,7   | 1,5          |
| 90     | 42           | 44 | 40 | 42,0   | 2,0          |
| 120    | 46           | 47 | 42 | 45,0   | 2,6          |
| 150    | 49           | 47 | 46 | 47,3   | 1,5          |
| 180    | 52           | 48 | 48 | 49,3   | 2,3          |
| 210    | 52           | 49 | 50 | 50,3   | 1,5          |
| 240    | 52           | 49 | 50 | 50,3   | 1,5          |

Tabulka 11. Naměřené teploty polymerbetonových (PE) vzorků při výkonu 60%

| čas [s] | teplota [°C] |    |    |        |              |
|---------|--------------|----|----|--------|--------------|
|         | 1.           | 2. | 3. | Průměr | sm. odchylka |
| 30      | 28           | 30 | 29 | 29,0   | 1,0          |
| 60      | 30           | 32 | 31 | 31,0   | 1,0          |
| 90      | 34           | 33 | 32 | 33,0   | 1,0          |
| 120     | 35           | 33 | 32 | 33,3   | 1,5          |
| 150     | 35           | 35 | 34 | 34,7   | 0,6          |
| 180     | 36           | 35 | 36 | 35,7   | 0,6          |
| 210     | 37           | 36 | 37 | 36,7   | 0,6          |
| 240     | 37           | 36 | 37 | 36,7   | 0,6          |

Tabulka 12. Naměřené teploty polymerbetonových (PE) vzorků při výkonu 20%

Teploty vzorků při určitém čase se zprůměrovaly a byl z nich zpracován graf.



Obr. 26. Průměrné hodnoty polymerbetonových (PE) vzorků

### 11.3 Dielektrický ohřev forem

Pro experimenty byly vyrobeny dvě betonové formy, které byly následně vystaveny dielektrickému ohřevu. Dielektrický ohřev probíhal vkládáním jednotlivých forem do mikrovlnné komory. Kde se formy ohřívaly při různých výkonech komory po dobu 300s. Samotné měření a zaznamenávání teplot probíhalo po dobu 30s.

Po dobu 30s se formy vyndaly z komory a změřila se infračerveným teploměrem jejich povrchová teplota. Měření muselo probíhat rychle, aby nedošlo k velkým výkyvům teplot po dobu, co jsou vzorky mimo komoru.

#### 11.3.1 Nivelační betonová forma

Naměřené teploty a zpracované výsledky nivelační betonové formy při různých výkonech mikrovlnné komory. Mezi jednotlivými pokusy měření se forma musela nechat zchladnout.

| čas [s] | teplota [°C] |     |     |        |              |
|---------|--------------|-----|-----|--------|--------------|
|         | 1.           | 2.  | 3.  | průměr | sm. odchylka |
| 30      | 38           | 36  | 36  | 36,7   | 1,2          |
| 60      | 47           | 45  | 48  | 46,7   | 1,5          |
| 90      | 53           | 54  | 53  | 53,3   | 0,6          |
| 120     | 61           | 62  | 60  | 61,0   | 1,0          |
| 150     | 72           | 71  | 70  | 71,0   | 1,0          |
| 180     | 80           | 79  | 78  | 79,0   | 1,0          |
| 210     | 87           | 87  | 85  | 86,3   | 1,2          |
| 240     | 97           | 95  | 95  | 95,7   | 1,2          |
| 270     | 103          | 102 | 102 | 102,3  | 0,6          |
| 300     | 107          | 105 | 105 | 105,7  | 1,2          |

Tabulka 13. Naměřené teploty betonových forem při výkonu 100%

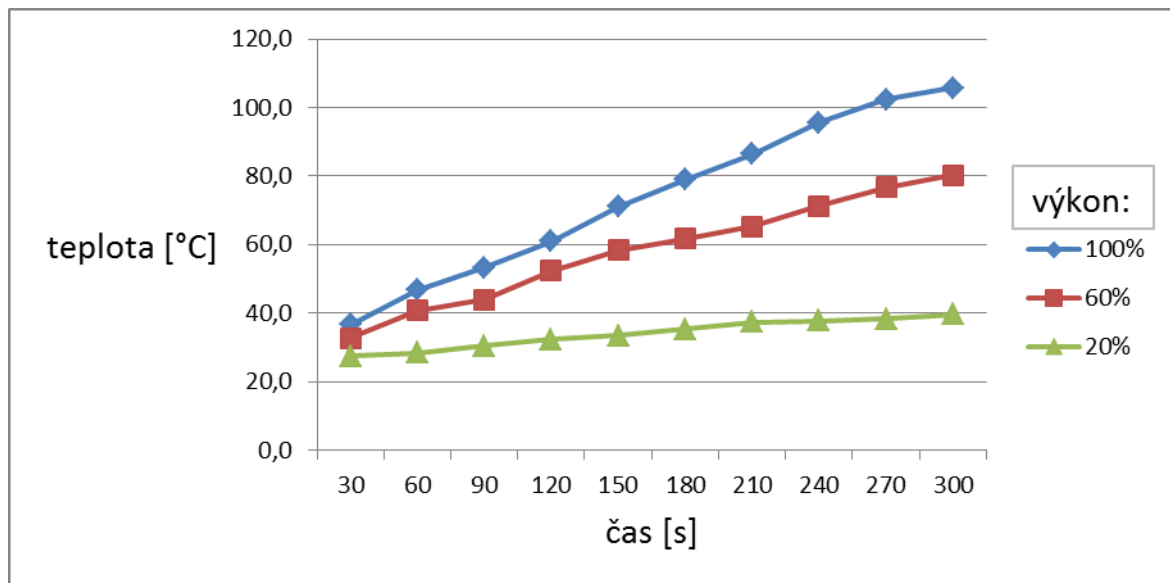
| čas [s] | teplota [°C] |    |    |        |              |
|---------|--------------|----|----|--------|--------------|
|         | 1.           | 2. | 3. | průměr | sm. odchylka |
| 30      | 33           | 33 | 32 | 32,7   | 0,6          |
| 60      | 42           | 40 | 40 | 40,7   | 1,2          |
| 90      | 45           | 44 | 43 | 44,0   | 1,0          |
| 120     | 53           | 51 | 53 | 52,3   | 1,2          |
| 150     | 58           | 58 | 59 | 58,3   | 0,6          |
| 80      | 61           | 63 | 61 | 61,7   | 1,2          |
| 210     | 65           | 66 | 65 | 65,3   | 0,6          |
| 240     | 71           | 72 | 71 | 71,3   | 0,6          |
| 270     | 77           | 78 | 75 | 76,7   | 1,5          |
| 300     | 81           | 80 | 80 | 80,3   | 0,6          |

Tabulka 14. Naměřené teploty betonových forem při výkonu 60%

| čas [s] | teplota [°C] |    |    |        |              |
|---------|--------------|----|----|--------|--------------|
|         | 1.           | 2. | 3. | průměr | sm. odchylka |
| 30      | 27           | 28 | 27 | 27,3   | 0,6          |
| 60      | 28           | 29 | 28 | 28,3   | 0,6          |
| 90      | 30           | 31 | 30 | 30,3   | 0,6          |
| 120     | 32           | 32 | 33 | 32,3   | 0,6          |
| 150     | 33           | 33 | 34 | 33,3   | 0,6          |
| 180     | 35           | 35 | 36 | 35,3   | 0,6          |
| 210     | 37           | 37 | 38 | 37,3   | 0,6          |
| 240     | 38           | 37 | 38 | 37,7   | 0,6          |
| 270     | 38           | 38 | 39 | 38,3   | 0,6          |
| 300     | 39           | 40 | 40 | 39,7   | 0,6          |

Tabulka 15. Naměřené teploty betonových forem při výkonu 20%

Teploty formy se při určitém čase zprůměrovaly a byl z nich sestrojen graf.



Obr. 27. Průměrné hodnoty betonové formy

### 11.3.2 Polymerbetonová forma (z epoxidové pryskyřice)

Naměřené teploty a zpracované výsledky polymerbetonové formy při různých výkonech mikrovlnné komory. Mezi jednotlivými pokusy měření se forma musela nechat zchladnout.

| čas [s] | teplota [°C] |    |    |        |              |
|---------|--------------|----|----|--------|--------------|
|         | 1.           | 2. | 3. | průměr | sm. odchylka |
| 30      | 33           | 33 | 32 | 32,7   | 0,6          |
| 60      | 41           | 40 | 39 | 40,0   | 1,0          |
| 90      | 45           | 44 | 43 | 44,0   | 1,0          |
| 120     | 53           | 51 | 51 | 51,7   | 1,2          |
| 150     | 57           | 57 | 56 | 56,7   | 0,6          |
| 180     | 64           | 64 | 62 | 63,3   | 1,2          |
| 210     | 70           | 71 | 69 | 70,0   | 1,0          |
| 240     | 80           | 79 | 79 | 79,3   | 0,6          |
| 270     | 87           | 86 | 86 | 86,3   | 0,6          |
| 300     | 97           | 97 | 95 | 96,3   | 1,2          |

Tabulka 16. Naměřené teploty polymerbetonových (E) forem při výkonu 100%

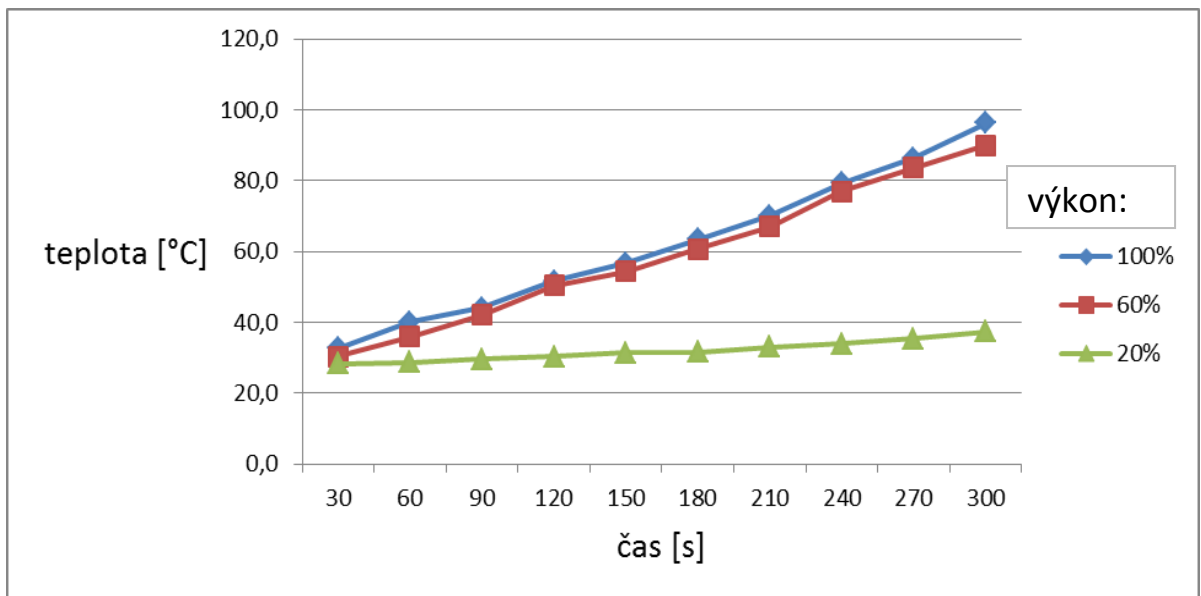
| čas [s] | teplota [°C] |    |    |        |              |
|---------|--------------|----|----|--------|--------------|
|         | 1.           | 2. | 3. | průměr | sm. odchylka |
| 30      | 31           | 30 | 30 | 30,3   | 0,6          |
| 60      | 37           | 35 | 36 | 36,0   | 1,0          |
| 90      | 43           | 42 | 41 | 42,0   | 1,0          |
| 120     | 51           | 50 | 50 | 50,3   | 0,6          |
| 150     | 55           | 53 | 55 | 54,3   | 1,2          |
| 180     | 62           | 60 | 60 | 60,7   | 1,2          |
| 210     | 69           | 67 | 65 | 67,0   | 2,0          |
| 240     | 78           | 77 | 76 | 77,0   | 1,0          |
| 270     | 85           | 83 | 83 | 83,7   | 1,2          |
| 300     | 91           | 90 | 89 | 90,0   | 1,0          |

Tabulka 17. Naměřené teploty polymerbetonových (E) forem při výkonu 60%

| čas [s] | teplota [°C] |    |    |        |              |
|---------|--------------|----|----|--------|--------------|
|         | 1.           | 2. | 3. | průměr | sm. odchylka |
| 30      | 28           | 28 | 29 | 28,3   | 0,6          |
| 60      | 28           | 29 | 29 | 28,7   | 0,6          |
| 90      | 30           | 29 | 30 | 29,7   | 0,6          |
| 120     | 30           | 30 | 31 | 30,3   | 0,6          |
| 150     | 31           | 31 | 32 | 31,3   | 0,6          |
| 180     | 32           | 31 | 32 | 31,7   | 0,6          |
| 210     | 33           | 33 | 33 | 33,0   | 0,0          |
| 240     | 34           | 33 | 35 | 34,0   | 1,0          |
| 270     | 35           | 35 | 36 | 35,3   | 0,6          |
| 300     | 37           | 38 | 37 | 37,3   | 0,6          |

Tabulka 18. Naměřené teploty polymerbetonových (E) forem při výkonu 20%

Teploty formy se při určitém čase zprůměrovaly a byl z nich sestaven graf. Jak tomu bylo u vzorků z epoxidové pryskyřice, tak i zde je vidět z naměřených teplot, při snížení výkonu 100% na 60% u polymerbetonové formy se teplota snížila jen o několik stupňů.



Obr. 28. Průměrné hodnoty pomýmerbetonové (E) formy

## 12 VYHODNOCENÍ EXPERIMENTŮ A MĚŘENÍ PRAKTICKÉ ČÁSTI

Experimentální práce byly provedeny v přípravě vzorků, jejich polymeraci a tvrdnutí a následné studium dielektrického ohřevu. Závěry z provedených prací byly shrnuty do následujících bodů:

- při výrobě experimentálních vzorků a forem z nivelačního betonu a polymerbetonu je důležité věnovat pozornost separačním prostředkům. Špatná volba separátu může vést ke špatnému odformování a poškození odlitku.
- jedním z hlavních problémů při výrobě experimentálních forem se vyskytl při odformování tvarové části. Tvarová část se nedala oddělit a odformovat bez toho aniž by nedošlo k poškození vyrobené formy. U formy připravené z nivelačního betonu došlo k ulomením okrajů. U polymerbetonové formy k ulomením okrajů nedošlo, ale při oddělování tvarové části se musela vyvinout značná síla.
- vyrobené vzorky a formy byly vystavovány dielektrickému ohřevu při různých výkonech mikrovlnné komory. Měření probíhalo po 30s, kdy bylo vzorku, formě změřena její povrchová teplota infračerveným teploměrem. Toto měření jednoho experimentu probíhalo u každého vzorku po dobu do 300s.
- změřené teploty byly zpracovány v závislosti do tabulek. Kde byly vypočítány průměry jednotlivých teplot při různých výkonech mikrovlnné trouby. Z těchto hodnot byly zpracovány jednotlivé grafy závislosti nárůstu teploty na čase pro různé materiály vzorků a forem.



### 13 EKONOMICKÉ SROVNÁNÍ

Plné ekonomické srovnání studované problematiky zasluhuje samostatnou bakalářskou nebo diplomovou práci a přesahuje rozsahem práci výše uvedenou. Z toho důvodu je zpracováno pouze ekonomické srovnání.

Použitý materiál forem:

- pro běžné výroby forem jsou používány kovy, případně polymery. Cenová relace proti betonům a polymer betonům je řádově nižší.

Zpracovatelská technologie:

- základní zpracovatelské technologie zpracování betonů a polymer betonů nevyžaduje obvykle obrábění na přesných obráběcích strojích. Vyžaduje zpravidla výrobu modelů. Přesnost formy a výrobku lze uvažovat max. 0,1 mm, podle jejich velikosti.

Zpracovatelská teplota:

- zpracovatelské teploty, pokud jsou vyžadovány, jsou docilovány dielektrickým ohřevem, případně endotermickým teplem z polymeračního procesu, přímo zpracovávaného polymeru.

## ZÁVĚR

Na základě provedené literární rešerše, bylo přistoupeno ke stanovení cílů práce. K experimentům byly vybrány netradiční materiály a technologie zpracování polymerů. Hlavní využití je předpokládáno v technologii zpracování kompozitů s matricí na bázi reaktoplastů. Provedené experimenty potvrdily, že využití betonových a polymerbetonových forem společně s dielektrickým ohřevem mohou být jednou z použitelných technologií pro zpracování polymerů. Potvrzují to závěry provedeného experimentu. Kdy byly naměřeny maximální teploty u nivelační betonové formy 107°C a u polymerbetonové formy 97°C. Teploty vzorků se pohybovaly s maximální teplotou u nivelačního betonu 68°C, polymerbetonu (E) 83°C a u polymerbetonu (PE) 55 °C.

Ekonomická návratnost uvedené technologie bude prokazatelná v závislosti na zodpovězení podmínek uvedených v ekonomickém zhodnocení.

Tato práce měla také za úkol vstoupit do tradičních technologií a poukázat na další netradiční možnost zpracovatelských technologií polymer. Předpokládá se provést další práce zejména v oblasti omezené přesnosti tvarové a rozměrové u formy a výrobku, stanovení technologických podmínek, zejména teplota, čas a tlak, vývoj vhodných separátorů apod.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] Štěpek, J., *Technologie zpracování a vlastnosti plastů*. SNTL v Praze, 1989. 638 s. 04-602-89
- [2] Škrobák, A., *Konstrukce vstřikovací formy pro vstřikování elastomerů*. Zlín, 2010. 111 s. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně: [online] Dostupné WWW: <<http://dspace.knihovna.utb.cz/>>
- [3] Dvořák, Z., *Základy výrobních procesů: (Výrobní technologie zpracování kovů)*. Zlín 2007 [online], dostupné z WWW: <<http://www.ft.utb.cz/czech/uvi/czech/index.htm>>
- [4] Morávek, R., *Nekonvenční metody obrábění*. druhé. Plzeň, 1999, 102 s. ISBN 80-7082-518-9
- [5] MRÁZ, P., TALÁCKO, J.: *Konstrukce stroj s kompozitními materiály*, VUT Praha, 1. vydání, 226 s., Nakladatelství ČVUT, 2006, ISBN 80-01-03540-9
- [6] BAREŠ, Richard. *Kompozitní materiály*. Vyd. 1. Praha: SNTL, 1988. 325 s
- [7] BOBČÍK, Ladislav. *Formy pro zpracování plastů: vstřikování termoplastů*. Díl 1.2. upr. vyd. Brno: Uniplast, 1999. 133 s
- [8] Polymerbeton. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 4. 6. 2006, last modified on 13. 7. 2009 [cit. 2011-05-24]. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Polymerbeton>>.
- [9] *Stavební hmoty I*. Praha: ČVUT, 1976. 274 s
- [10] KUCHARCZYKOVÁ, Barbara. *Ústav stavebního zkušebnictví* [online]. 2011 [cit. 2011-05-25]. Ústavu stavebního zkušebnictví fakulty stavební, VUT v Brn\_. Dostupné z WWW: <[http://147.229.27.214/vyuka/CI57/CI57\\_Specialni%20druhy%20betonu.pdf](http://147.229.27.214/vyuka/CI57/CI57_Specialni%20druhy%20betonu.pdf)>.
- [11] MARKO, Ladislav. *Architektonický beton*. Vyd. Bratislava, 1989. 312 s, ISBN 80-05-00137-1

[12] Beton. In Wikipedia : the free encyclopedia [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 4.6.2006, last modified on 13.7.2009 [cit. 2012-02-29]. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/beton>>.

[13] Kaštánek, O., *Strojírenské materiály a technologie*. první. Brno: Rektorát Vysoké učení technické v Brně, leden 1980. 308 s

[14] Buksa, J. *Polymerbetonový rám svislého soustruhu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 60 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Bronislav Foller, Ph.D.

[15] Tichá, P. *Nové technologie a materiály výroby modelů a forem*. Bakalářská práce. Zlín: UTB 2011

[16] Valenta, T. *Konstrukční materiál polymerbeton*. Bakalářská práce. Zlín: UTB 2011

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

|                 |                             |       |
|-----------------|-----------------------------|-------|
| t               | Teplota                     | °C    |
| Cu              | Měď                         |       |
| Al              | Hliník                      |       |
| $\sigma$        | Pevnost v tahu              | [MPa] |
| PVC             | Polyvinilchlorid            |       |
| HRC             | Tvrдость podle Rockwella    |       |
| HV              | Tvrдость podle Vickerse     |       |
| Cr              | Chrom                       |       |
| Co              | Kobalt                      |       |
| Ni              | Nikl                        |       |
| C               | Uhlík                       |       |
| Mo              | Molybden                    |       |
| NMO             | Nekonvekční metody obrábění |       |
| CaO             | Oxid vápenatý               |       |
| SO <sub>3</sub> | Oxid sírový                 |       |
| E               | Epoxid                      |       |
| PE              | Polyester                   |       |

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

|   |    |
|---|----|
| Obr. 1. Sušení písku.....                                     | 40 |
| Obr. 2. Přesívání písku.....                                  | 40 |
| Obr. 3. Nivelační beton.....                                  | 41 |
| Obr. 4. Forma na vzorky.....                                  | 42 |
| Obr. 5. Směs betonu.....                                      | 43 |
| Obr. 6. Tuhnutí vzorků ve formě.....                          | 43 |
| Obr. 7. Voskový separátor.....                                | 44 |
| Obr. 8. Odformování .....                                     | 44 |
| Obr. 9. Směs polymerbetonu.....                               | 45 |
| Obr. 10. Nalítá směs ve formě.....                            | 46 |
| Obr. 11. Vzorky po odformování.....                           | 46 |
| Obr. 12. Jednoduchá forma.....                                | 47 |
| Obr. 13. Článek tvarové části formy.....                      | 47 |
| Obr. 14. Nalítá směs ve formě.....                            | 48 |
| Obr. 15. Odformování tvarové části betonové formy.....        | 48 |
| Obr. 16. Oprava úlomků .....                                  | 49 |
| Obr. 17. Připravená směs na odlití.....                       | 49 |
| Obr. 18. Odformování polymerbetonové formy.....               | 50 |
| Obr. 19. Odformování tvarové části polymerbetonové formy..... | 50 |
| Obr. 20. Mikrovlnná komora.....                               | 51 |
| Obr. 21. Infračervený teploměr.....                           | 52 |
| Obr. 22. Ohřev vzorku v mikrovlnné komoře .....               | 53 |
| Obr. 23. Měření teplot infračerveným teploměrem.....          | 53 |
| Obr. 24. Průměrné teploty betonových vzorků.....              | 55 |

---

|  |    |
|--|----|
| Obr. 25. Průměrné teploty polymerbetonových (E) vzorků.....  | 57 |
| Obr. 26. Průměrné hodnoty polymerbetonových (PE) vzorků..... | 58 |
| Obr. 27. Průměrné hodnoty betonové formy.....                | 61 |
| Obr. 28. Průměrné hodnoty pomymmerbetonové (E) formy .....   | 63 |

**SEZNAM TABULEK**

|   |    |
|---|----|
| Tabulka 1. Přehled ocelí pro výrobu forem třídy 11 .....                        | 17 |
| Tabulka 2. Oceli u méně náročných dílů.....                                     | 18 |
| Tabulka 3. Průměrné pevnosti bílého cementu pro jednotlivé třídy.....           | 28 |
| Tabulka 4. Naměřené teploty betonových vzorků při výkonu 100%.....              | 54 |
| Tabulka 5. Naměřené teploty betonových vzorků při výkonu 60%.....               | 54 |
| Tabulka 6. Naměřené teploty betonových vzorků při výkonu 20%.....               | 55 |
| Tabulka 7. Naměřené teploty polymerbetonových (E) vzorků při výkonu 100%.....   | 56 |
| Tabulka 8. Naměřené teploty polymerbetonových (E) vzorků při výkonu 60%.....    | 56 |
| Tabulka 9. Naměřené teploty polymerbetonových (E) vzorků při výkonu 20%.....    | 56 |
| Tabulka 10. Naměřené teploty polymerbetonových (PE) vzorků při výkonu 100%..... | 57 |
| Tabulka 11. Naměřené teploty polymerbetonových (PE) vzorků při výkonu 60%.....  | 58 |
| Tabulka 12. Naměřené teploty polymerbetonových (PE) vzorků při výkonu 20%.....  | 58 |
| Tabulka 13. Naměřené teploty betonových forem při výkonu 100%.....              | 59 |
| Tabulka 14. Naměřené teploty betonových forem při výkonu 60%.....               | 60 |
| Tabulka 15. Naměřené teploty betonových forem při výkonu 20%.....               | 60 |
| Tabulka 16. Naměřené teploty polymerbetonových (E) forem při výkonu 100%.....   | 61 |
| Tabulka 17. Naměřené teploty polymerbetonových (E) forem při výkonu 60%.....    | 62 |
| Tabulka 18. Naměřené teploty polymerbetonových (E) forem při výkonu 20%.....    | 62 |