

1. ÚVOD	5
2. OBSAH A CÍL DISERTAČNÍ PRÁCE	6
3. TEORETICKÁ ČÁST	7
3.1 Popis formovacích směsí	7
3.2 Vybrané pojivové směsi a jejich vliv na životní prostředí a hygienu práce	7
3.2.1 Metoda Cold-Box Ashland	7
3.2.2 SO₂ proces	8
3.2.3 Metoda Betaset	8
3.2.4 Rezol – CO₂	8
3.2.5 Metoda Hot-Box	8
3.2.6 Metoda Croning	9
3.2.7 Samotuhnoucí furanové směsi	9
3.2.8 Směsi s biogenními pojivy	9
3.3 Seznam škodlivých látek používaných při použití organických pojivových systémů a jejich účinky na životní prostředí a hygienu práce	13
4. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	15
4.1 POUŽITÉ SUROVINY	15
4.1.1 Ostřivo	15
4.1.2 Pojivo	16
4.2 METODA WB	19
4.2.1 Složení zkušebních jádrových směsí pro metodu WB	19
4.2.2 Příprava zkušebních jádrových směsí pro metodu WB	20
4.2.3 Výroba normalizovaných zkušebních trámečků pro metodu WB	20

4.2.4 Grubbsův test	22
4.2.5 Hodnoty pevnosti v ohybu zkušebních jádrových směsí při použití metody WB	23
4.3 METODA MIKROVLNNÉHO VYTVRZOVÁNÍ ...	28
4.3.1 Podstata mikrovlnného ohřevu	28
4.3.2 Příprava zkušebních jádrových směsí pro metodu mikrovlnného vytvrzování	28
4.3.3 Výroba normalizovaných zkušebních trámeček pro metodu mikrovlnného vytvrzování	28
4.3.4 Hodnoty pevnosti v ohybu zkušebních jádrových směsí při použití mikrovlnného vytvrzování	31
4.3.5 Test významnosti rozdílu mezi středními hodnotami jestliže rozptyly nejsou stejné	35
4.4 ZBYTKOVÉ PEVNOSTI ZKUŠEBNÍCH SMĚSÍ...	36
4.4.1 Zbytkové pevnosti směsí vytvrzených v teplém jaderníku	37
4.5 TGA VYBRANÝCH POJIV	40
4.5.1 TGA pojiva TOPAZ SPECIÁL	40
4.5.2 TGA pojiva TOPAZ I	41
4.6 OVĚŘENÍ PEVNOSTI VYBRANÝCH ZKUŠEBNÍCH SMĚSÍ PŘESNÝM MĚŘENÍM NA PŘÍSTROJI LRU-D.....	42
4.7 RECYKLOVATELNOST SMĚSÍ S BIOGENNÍM POJIVEM TOPAZ SPECIÁL.....	45
4.8 ZKOUŠKY ODLÉVÁNÍ AI SLITINY DO SMĚSÍ S BIOGENNÍMI POJIVY	47
4.9 TEKUTOST JÁDROVÝCH SMĚSÍ S BIOGENNÍMI POJIVY.....	54

4.10 ZTRÁTA ŽÍHÁNÍM A VÝVIN PLYNŮ ZE SMĚSÍ S VYBRANÝMI BIOGENNÍMI POJIVY.....	61
4.10.1 Ztráta žiháním zkušebních směsí s biogenními pojivy ve stavu po vytvrzení	61
4.10.2 Vývin plynů ze zkušebních směsí s biogenními pojivy	61
4.10.3 Srovnání ztráty žiháním se směsmi PUCB a FURAN ve stavu po vytvrzení.....	62
4.10.4 Vývin plynů ze srovnávacích směsí s pojivovými systémy PUCB a FURAN	63
4.11 OBALENÍ ZRN OSTŘIVA POJIVEM A POJIVOVÉ MŮSTKY	65
4.12 EKOLOGICKÉ VLASTNOSTI VYBRANÝCH BIOGENNÍCH POJIV	69
4.12.1 Obsah škodlivin ve vybraných biogenních pojivech	69
4.12.2 Obsah škodlivin v použitých jádrových směsích s vybranými biogenními pojivy	69
4.12.3 Obsah škodlivin v plynných spalinách jádrové směsi s pojivem TOPAZ SPECIÁL	70
4.13 PROVOZNÍ ZKOUŠKA JÁDROVÉ SMĚSI S BIOGENNÍM POJIVEM KOŽNÍ KLIIH K-2 PŘI ODLÉVÁNÍ ODLITKU Z AI SLITINY	72
5. ZÁVĚR	75
6. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A INTERNETOVÝCH ZDROJŮ.....	76
7. PUBLIKAČNÍ ČINNOST K ŘEŠENÉMU TÉMATU	77
8. SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	78
9. PŘÍLOHY	79

SEZNAM OBRÁZKŮ	79
SEZNAM TABULEK	81
SEZNAM GRAFŮ	83
SEZNAM BEZPEČNOSTNÍCH LISTŮ A PROTOKOLŮ O ZKOUŠKÁCH	85
TABULKY	86
BEZPEČNOSTNÍ LISTY A PROTOKOLY O ZKOUŠKÁCH	112

1. ÚVOD

Slévárenská výroba, tvořící nedílnou součást strojírenství, je zdrojem produkujícím životnímu prostředí nebezpečné odpady. Jedná se o odpady pevné, plynné i kapalně. Podstatnou část těchto škodlivých odpadů ve slévárenství produkuje výroba forem a jader. Vyhnout se zcela produkci těchto odpadů není možné, je však možné je redukovat použitím vhodných technologií výroby a vhodných surovin používaných pro výrobu slévárenských forem a jader. Zdrojem škodlivin jsou především pojiva, tvrdidla a katalyzátory používané k pojení ostřiva. Zde musí docházet ke kompromisu mezi ekologičností procesu výroby a požadovanými technologickými vlastnostmi vyrobených forem a jader, také ekonomičnost výroby musí být přijatelná.

Mezi důležité technologické vlastnosti, jejichž nositelem jsou především použítá pojiva, patří dobrá tekutost formovacích a zvláště jádrových směsí, dostatečná pevnost forem a jader po vytvrzení, nízký vývin plynů z těchto směsí během odlévání, možnost řízeného vytvrzování formovacích a jádrových směsí, nízká eroze forem a jader během odlévání, dobrá rozpadavost těchto směsí po odlití a dostatečná skladovatelnost zhotovených forem a jader. Z hlediska jak ekologického tak i ekonomického je velice důležitá možnost regenerovat či recyklovat použité formovací a jádrové směsi a komponenty (např. katalyzátory) použité k jejich výrobě. Důležitá (opět z obou výše zmíněných hledisek) je i energetická náročnost výrobního procesu a možnost případné regenerace či recyklace použitých formovacích a jádrových směsí.

V současnosti používaná pojiva lze rozdělit na dvě skupiny, jež se poněkud liší svými vlastnostmi.

První skupinu (a historicky dříve rozšířenou) tvoří pojiva anorganická, k nimž patří především pojiva jílová, sodné silikáty (vodní skla), pojiva na bázi anorganických solí a v malé míře také cementy a sádra. Neustálý vývoj probíhající především v oblasti pojiv na bázi sodných silikátů (DESIL J, DILAB, CORDIS, INOTEC, AWB...) geopolymérů (RUDAL, GEOPOL...) a anorganických solí (HYDROBOND, BEACH BOX, LAEMPE KB...) vylepšil technologické vlastnosti těchto pojiv na úroveň často již srovnatelnou s druhou skupinou pojiv, kterou tvoří pojiva organická. Velkou výhodou pojiv anorganických je jejich minimální škodlivost pro životní prostředí. Technologické vlastnosti směsí s tradičními a hojně rozšířenými anorganickými pojivy však často zaostávají za směsmi pojenými organickými pojivy, což omezuje sortiment odlitků, pro které jsou tyto směsi použitelné.

Naopak směsi s organickými pojivy, jež tvoří druhou skupinu používaných směsí, dovolují díky svým lepším technologickým vlastnostem odlévat širší sortiment odlitků, ovšem za cenu mnohdy velmi negativních dopadů na životní prostředí a hygienu práce. Při používání organických pojivových systémů se často během pracovního procesu uvolňují zdraví škodlivé exhalace (fenol, formaldehyd...) včetně polyaromatických uhlovodíků (benzen, toluen, xylen, naftalen...), které mohou mít i karcinogenní nebo mutagenní účinky. Také samotné komponenty organických pojivových směsí velmi často patří mezi škodlivé látky. Tyto skutečnosti mají i ekonomický dopad – deponie odpadů je drahá, provozy pracující s těmito látkami musí investovat značné částky na ochranu pracovního a životního prostředí. I v oblasti organických pojivových systémů však existují materiály, jejichž použití je šetrné k životnímu prostředí a které zachovávají většinu výhod, kvůli nimž jsou organická pojiva používána, patří do relativně nové skupiny tzv. biogenních pojiv (GMBOND®).

Při zkoumání nových pojivových systémů je nutno kromě výše zmíněných hledisek vzít v úvahu i možnost použití stávajících zařízení ve výrobních provozech aby se minimalizovaly náklady nutné pro zavedení nových pojivových technologií do provozní praxe.

2. OBSAH A CÍL DISERTAČNÍ PRÁCE

Disertační práce se zabývá zkoumáním použitelnosti v České republice dostupných surovin na bázi biopolymerů jako pojiv pro slévárenské formovací a jádrové směsi.

Cílem práce je zjistit technologické a ekologické vlastnosti několika biopolymerních materiálů na bázi kožního klišu a technické želatiny, jejich chování během technologického procesu výroby jader. Je zjišťována pevnost jádrových směsí po dehydratačním vytvrzení (v horkém jaderníku a mikrovlnným ohřevem) v ohybu v závislosti na teplotě ohřevu, vliv teploty ohřevu vytvrzených vzorků na zbytkovou pevnost (rozpadavost), vliv času na pokles pevností vytvrzených vzorků (skladovatelnost), tekutost (vstřelovatelnost) připravených směsí před vytvrzením, chování vybraných jádrových směsí při odlévání a obsah některých škodlivých látek v těchto surovinách jakož i v pevných a plynných odpadech vzniklých po odlití zkušebních forem. Byla zkoumána také možnost recyklace vybraných směsí.

3. TEORETICKÁ ČÁST

3.1 Popis formovacích směsí

Formovací a jádrové směsi používané v procesu výroby odlitků se skládají ze 2 hlavních komponent: z ostřiva (zrnitý materiál většinou minerálního původu), jež tvoří drtivou většinu objemu a hmotnosti (obvykle nad 90 %) těchto směsí a pojiva, které tvoří spojovací můstky mezi zrny ostřiva. Vlastnosti těchto můstků (velikost adheze a koheze) jsou rozhodující pro pevnostní vlastnosti vytvrzených směsí a také pro případnou regeneraci formovacích a jádrových směsí.

Vývoj pojiv se ubírá dvěma směry podle kterých lze pojiva rozdělit na skupiny. Jednu skupinu tvoří **pojiva anorganická** mezi něž patří především jíly a vodní sklo, menší míře jsou používány také sádra a cement. Výhodou těchto pojiv je jejich malá škodlivost pro životní prostředí, malý vývin plynů při odlévání. Značnou nevýhodou některých rozšířených pojiv z této skupiny (vodní skla) jsou jejich horší vlastnosti pevnostní (nižší pevnost po vytvrzení a naopak vyšší zbytkové pevnosti po odlití – mají horší rozpadavost), také jejich regenerovatelnost bývá podstatně horší ve srovnání s organickými pojivy. U nově vyvinutých anorganických pojiv, kam patří geopolymerní pojiva a pojiva na bázi anorganických solí se již podařilo výrazně zlepšit jejich vlastnosti a mohou tedy konkurovat druhé skupině pojiv, kterou tvoří **pojiva organická**. Organická pojiva se vyznačují vyššími pevnostmi po vytvrzení, nižšími zbytkovými pevnostmi, vyšším vývinem plynů při odlévání, lepší regenerovatelností ale také bohužel větším negativním vlivem na životní prostředí, výjimku tvoří materiály patřící do skupiny biogenních materiálů, jejichž vliv na životní prostředí není škodlivý.

3.2 Vybrané pojivové systémy formovacích směsí a jejich vliv na životní prostředí a hygienu práce

3.2.1 Metoda Cold-Box Ashland

Používá se kombinované pojivo skládající se z umělé, vytvrditelné pryskyřice (epoxidová, alkydová, polyesterová, fenolformaldehydová, nejčastěji fenolická) [1] rozpuštěné v rozpouštědle aktivátoru (polyizokyanát). Mezi těmito složkami probíhá pomalá reakce (síťování molekul), která je urychlována katalyzátorem. Jako katalyzátor se používá triethylamin ($C_2H_5)_3N$, dimetyletylamin $C_2H_5N(CH_3)_2$, dimetylisopropylamin $(CH_3)_2CHN(CH_3)_2$ a trimethylamin $(CH_3)_3N$.

Při použití triethylaminu se spojují OH skupiny fenolické pryskyřice s NCO skupinami polyisokyanátu a vzniká tak uretanová pryskyřice [2]. Trimethylamin je organická zásaditá kapalina, je těkavá, hořlavá, a ve směsi se vzduchem výbušná. Spodní hranice výbušnosti je 50 g/m^3 vzduchu [1]. Zapáchá po čpavku, je 3,5-krát těžší než vzduch.

Při použití dimetylamínu probíhá síťování molekul rychleji ale vydává intenzivnější zápach.

Aminové katalyzátory je třeba po použití ve vytvrzovacím procesu zneškodňovat – spálit nebo neutralizovat v kyselině fosforečné, případně jímat do kyseliny sírové, přičemž vzniká aminofosfátová sůl, z níž lze amin opět získat pro další použití.

Škodlivé látky obsažené v pojivovém systému nebo vznikající při použití tohoto pojivového systému jsou: fenol, polyisokyanát (polyaromatický uhlovodík) a aminy (patří mezi jedy).

3.2.2 SO₂ proces

Principem vytvrzování je polykondenzace buď furanové nebo epoxidové pryskyřice v kyselém prostředí kyseliny sírové. Přiváděný oxid siřičitý SO₂ je oxidován na oxid sírový SO₃ a ten chemisorpcí ve vodě vytváří kyselinu sírovou H₂SO₄. Jako katalyzátor se používá metyletylketon = peroxid (MEKP) a peroxid vodíku (H₂O₂), u varianty s epoxidovou pryskyřicí organický peroxid. Přebytek SO₂ je neutralizován hydroxidem sodným při vzniku síranu sodného. SO₂ patří mezi jedy, velice silně páchne, zjistitelný je již při koncentraci 2 ppm. Při 20 ppm dráždí oči a nutí ke kašli. Metyletylketon může způsobit při kontaktu s okem oslepnutí [1].

Škodlivé látky obsažené v pojivovém systému nebo vznikající při použití tohoto pojivového systému jsou: SO₂ a metyletylketon.

3.2.3 Metoda Betaset

Vytvrzování pojiva (fenolformaldehydový kaliem kondenzovaný rezol) s obsahem volného formaldehydu do 0,5 % a volného fenolu do 3,0 % probíhá při profouknutí zplyněným metylformiátem (HCO-OCH₃). Polymerací přechází pojivo v pevnou nerozpustnou makromolekulární formu při vzniku kaliumformiátu a metanolu (hydrolytické produkty) a vody a alkoholu (po odlití zůstávají v jádrové směsi). Metylformiát je těkavá, velice hořlavá látka tvořící se vzduchem výbušnou směs při objemové koncentraci 5,05 – 22,7 objemových % [1]. Je to narkotická látka dráždící sliznice. Po odlití mohou být v odpadech zbytky fenolu, formaldehydu, metylformiátu, metanol, xylen, toluen, benzen, naftalen.

Škodlivé látky používané (nebo vznikající) při použití této metody jsou metylformiát, formaldehyd, fenol, metanol, xylen, toluen, benzen, naftalen.

3.2.4 Rezol – CO₂

Probíhá alkalická kondenzace, fenolformaldehydová pryskyřice je profukovaná CO₂, pryskyřice obsahuje méně než 0,5 % volného formaldehydu a méně než 1,5 % volného fenolu.

Škodlivé látky používané u této metody jsou fenol a formaldehyd. Škodlivé vlivy této metody na životní a pracovní prostředí jsou malé.

3.2.5 Metoda Hot-Box

Používají se pojiva na bázi pryskyřic (močovino-formaldehydová, melamino-formaldehydová, furanová a nejčastěji používaná fenol-formaldehydová) a jejich kombinace se sacharidy. Vytvrzování se děje polykondenzací v přítomnosti kyseliny pomocí ohřevu od zahřátého kovového jaderníku řetězením benzenových jader pomocí metylenových můstků. Při vytvrzování a po odlití se uvolňuje dráždivý zápach, při výrobě se uvolňuje formaldehyd.

Škodlivé látky používané u tohoto pojivového systému jsou: fenol, formaldehyd, močovina,

furan.

3.2.6 Metoda Croning

Jako pojivo se používá termoplastická fenolformaldehydová pryskyřice, která se za studena (po rozpuštění v alkoholovém rozpouštědle), nebo novolaková pryskyřice, která se za tepla (roztavením pryskyřice v mísiči pomocí horkého ostřiva) obalí na zrna ostřiva. Odpaření alkoholu (odpaření není dokonalé) nebo ve druhém případě po ochlazení směsi vzniká tzv. obalovaná směs, která je velmi sypká. Po ohřevu takové směsi teplem modelové desky nebo jaderníku se pojivo natavuje a dále po spojení zrn ostřiva pojivovými můstky teplem vytvrzuje. Jako katalyzátor je ve směsi přítomen hexametylentetramin (urotropin).

Škodlivé látky používané u této metody jsou: fenol, formaldehyd, alkohol.

3.2.7 Samotuhnoucí furanové směsi

Jako pojivo se používají tři druhy furanových pryskyřic: pryskyřice **furanaminoaldehydové** (na bázi furalu, furfurylalkoholu, močoviny a formaldehydu), pryskyřice **furanketonaldehydové** (na bázi furalu, acetonu a formaldehydu) a pryskyřice **furalové**. Jako tvrdidla pro vytvrzování (polykondenzaci) se používají kyselé katalyzátory: kyselina trihydrogenfosforečná, kyselina arylsulfonová a kyselina paratoluensulfonová [1]. Pro zvýšení rychlosti vytvrzování při nízkých teplotách lze použít kyselinu sírovou.

Škodlivé látky používané při použití této metody jsou: furan, furfurylalkohol, močovina, formaldehyd, aceton a kyseliny.

3.2.8 Směsi s biogenními pojivy

Pojiva těchto směsí tvoří biogenní látky, tedy látky vznikající při průběhu „živých procesů“ v živočišné nebo rostlinné říši (při růstu živých organismů nebo při jejich látkové výměně).

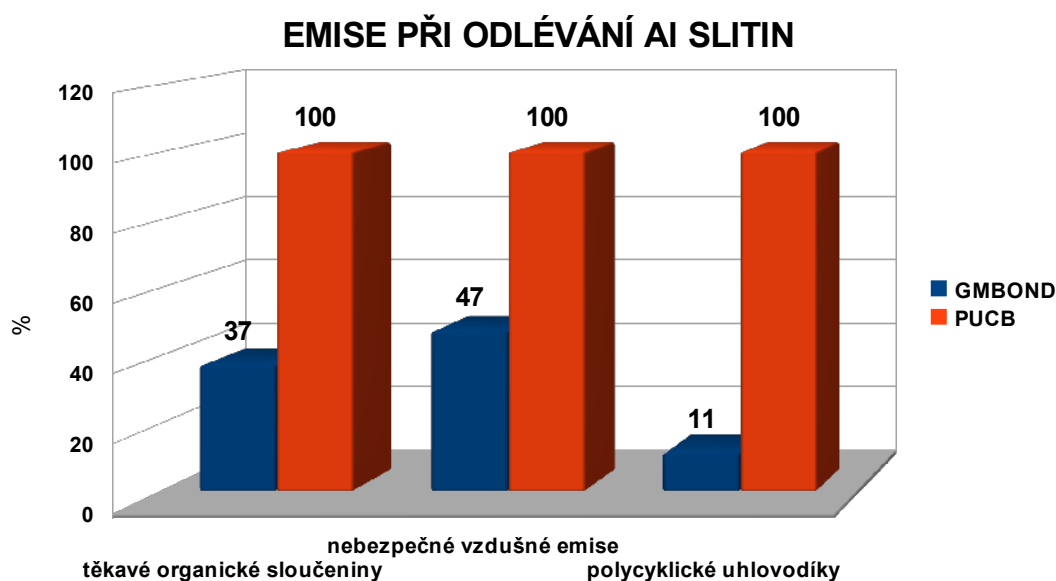
Takové pojivo vyvinula firma General Motors a vyrábí ho firma Hormel Foods Corporation pod názvem GMBOND[®] pro výrobu jader při výrobě odlitků především z Al slitin. Základem tohoto pojiva jsou proteiny (bílkoviny). Jsou to materiály pocházející z přírodních, obnovitelných zdrojů. Většinu pojivového systému tvoří kombinace různých typů polypeptidových molekul a dlouhých řetězců aminokyselin. Pro zrychlení termické degradace pojiva v jádrech po odlití je přidáno malé množství oxidů železa, zajišťujících dostatek kyslíku pro tepelnou degradaci. Tepelná degradace tak probíhá při teplotách nižších než 450 °C [3]. Pojivo GMBOND[®] bylo testováno Programem pro redukcí slévárenských emisí (Casting Emission Reduction Program = CERP), což je výzkumná skupina spolupracující s různými americkými federálními agenturami včetně ministerstva obrany, a přitom bylo zjištěno, že při použití tohoto pojiva klesají emise organických těkavých látek o více než 90 % [4] v porovnání s použitím pojiv s fenolickými uretanovými reziny. Pojivo je naprosto netoxické, při práci s ním není nutno používat ochranné pomůcky. GMBOND[®] má formu vodou rozpustného prášku, který po rozpuštění ve vodě, nabalení na zrna ostřiva, a následném vysušení

utváří biopolymerové vazby. Tyto vazby jsou reverzibilní, vadná jádra vyrobená za použití tohoto pojiva je tedy možné recyklovat.

Pro výrobu jader s použitím tohoto pojiva je možné používat nejen křemenné ostřívo, jádra jsou rozměrově přesná, pojivo není termoplastické. Jádrové směsi mají vysokou pevnost v tahu – od 250 psi ($\approx 1,723$ MPa) výše [4]. Po odlití forem při ohřevu jader odlévanou slitinou klesá pevnost pojiva v závislosti na teplotě a čase rychleji než u pojiv používaných u polyuretanového CB [5]. To umožňuje snadnější odstraňování jader (bez nutnosti sekundárního ohřevu odlitků s neodstraněnými jádry), snižuje škody vznikající při odstraňování jader a umožňuje odlévat odlitky s menší tloušťkou stěn. Vliv vratné jádrové směsi s pojivem GMBOND® (spálená jádrová směs a rozdrčené známky jader) na kvalitu bentonitové formovací směsi je minimální, mírně se zvyšuje vlhkost směsi (při zachování stejné spěchovatelnosti směsi) a taktéž mírně se snižuje obsah aktivního jílu. Změna těchto vlastností probíhá při počátečních licích cyklech ale vlastnosti bentonitové formovací se s počtem licích cyklů rychle stabilizují [6].

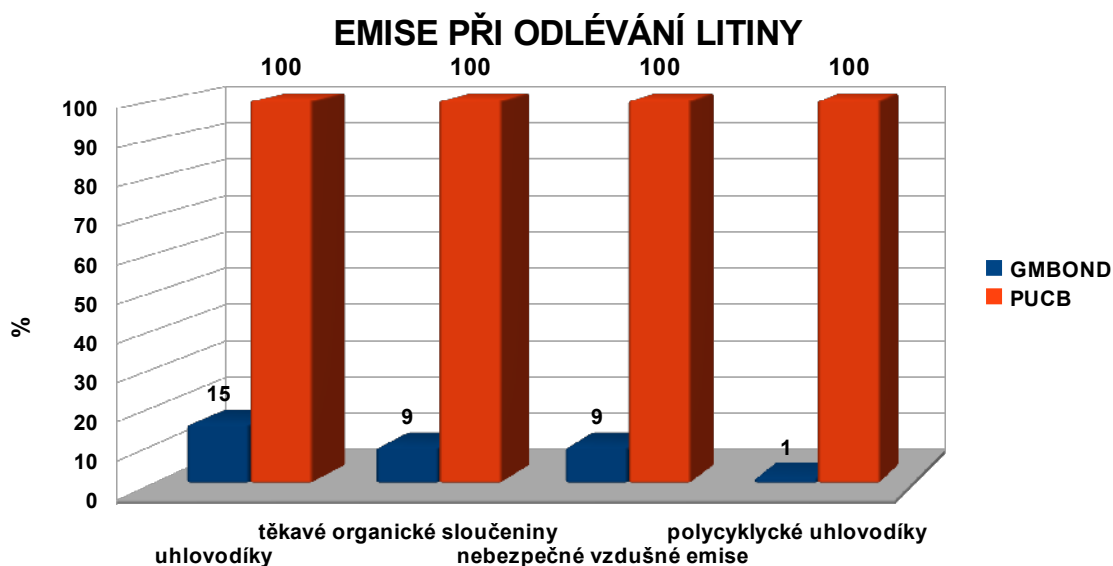
Pojivo v odpadním písku není toxické a navíc biodegraduje, vyvážený písek tedy nemá charakter odpadu a je použitelný dokonce i v zemědělství [7].

Dle [8] při použití pojiva GMBOND® dochází ke snížení emisí polyaromatických uhlovodíků, těkavých organických sloučenin a dalších škodlivin ve srovnání s metodou polyuretanového CB (PUCB) o desítky procent viz grafy 1 a 2:



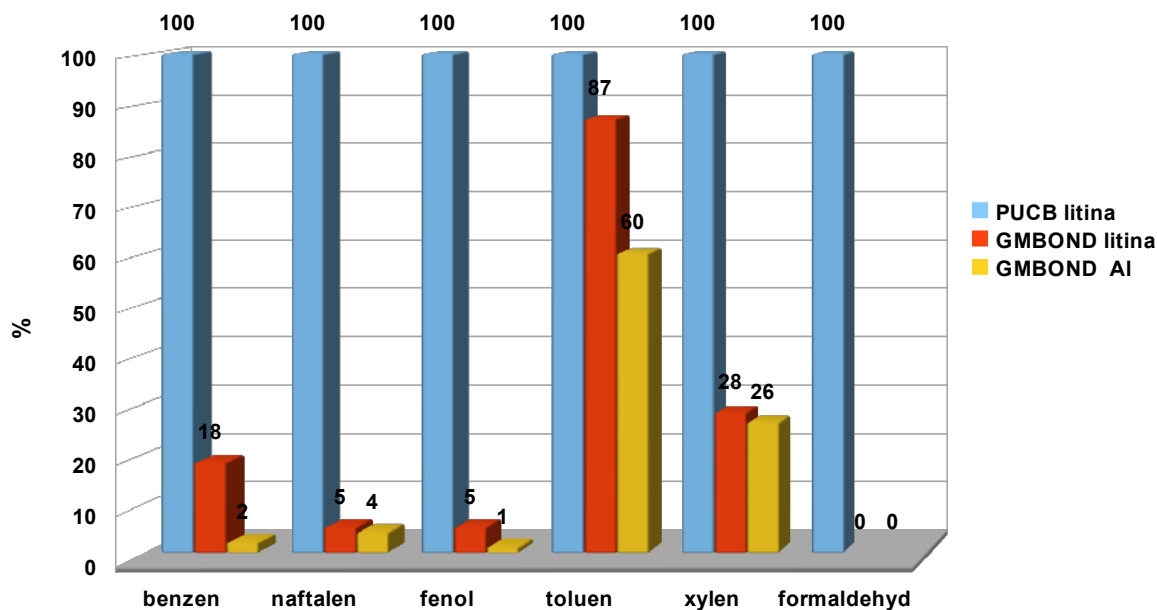
Graf 1: srovnání emisí PAU metod GMBOND® a PUCB při odlévání Al slitin

V [9] je konkretizováno snížení emisí benzenu, naftalenu, fenolu, toluenu, xylenu a formaldehydu ve srovnání s použitím PUCB viz graf 3:



Graf 2: srovnání emisí metod GMBOND® a PUCB při odlévání litiny

SNÍŽENÍ EMISÍ BENZENU, NAFTALENU, FENOLU, TOLUENU, XYLENU A FORMALDEHYDU PŘI POUŽITÍ POJIVA GMBOND VE SROVNÁNÍ S PUCB



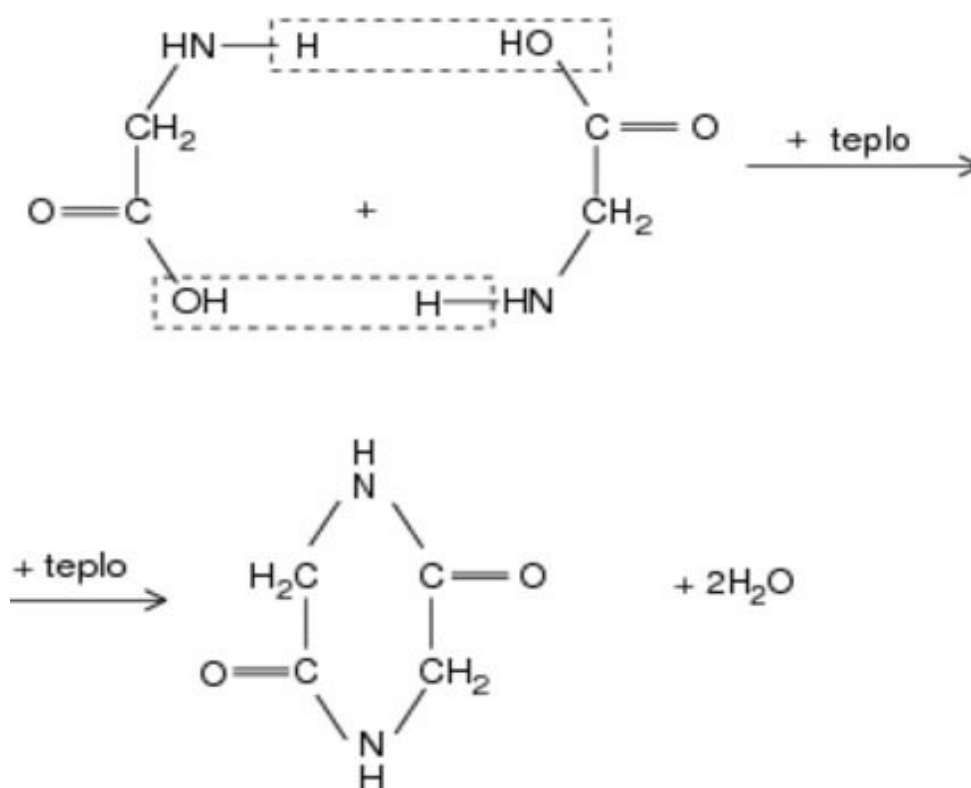
Graf 3: snížení emisí benzenu, naftalenu, fenolu, toluenu, xylenu a formaldehydu ve srovnání s použitím PUCB

Proteiny (bílkoviny) patří mezi biopolymery, skládají se z aminokyselin které jsou vzájemně spojeny peptidovou vazbou $-CO-NH-$. Proteiny obsahují více než 100 aminokyselin (obvykle několik set až několik tisíc) [10]. Biopolymery jsou přírodní, vysokomolekulární látky s relativní molekulární hmotností řádově 10^3 až 10^6 g/mol. Minimální molární hmotnost bílkovin je 10 000 g/mol, menší konjugáty aminokyselin se řadí mezi peptidy [11]. Proteiny jsou podstatou všech živých organismů, plní různé funkce, např.: stavební (kolagen, elastin, keratin), skladovací a transportní (hemoglobin, transferin)... [12]. Díky této své podstatě je toto pojivo netoxické (ovšem existují i jedovaté proteiny – jedy hadů a

mořských živočichů), ve srovnání s ostatními organickými pojivy má mnohem nižší emise nebezpečných látek a také menší množství škodlivin v pevných odpadech. Molekuly proteinů mohou vytvářet protáhlé, vláknité, ve vodě nerozpustné struktury (skleroproteiny) a kulovité nebo elipsoidní, ve vodě rozpustné struktury (sferoproteiny) [12].

Pevnostní charakteristiky biopolymerního materiálu souvisí s obsahem různých aminokyselin. Dle [13] se jako vhodné jeví aminokyseliny: prolin, glycin, alanin, arginin, kyselina glutamová a kyselina asparagová. Naopak nevhodný je cystein, který tvoří disulfidové vazby a tak znemožňuje rozpouštění proteinové molekuly ve vodě, čímž brání použití vody jako ekologicky nezávadného rozpouštědla.

Vytvrzování pojiva na bázi biopolymeru probíhá dle schematu na obr. 1. Jedná se o děj fyzikální (dehydratace) a nikoliv chemický. Je to děj reverzibilní, což je výhodné z hlediska případné recyklace směsi s takovým pojivem. Nevýhodou ovšem je, že pojivo může navlhat během skladování a pevnost vytvrzené formovací nebo jádrové směsi s proteinovým pojivem může postupem času při nevhodných skladovacích podmínkách klesat.



Obr. 1: dehydratace pojiva na bázi biopolymerů [14]

3.3 Seznam škodlivých látek používaných při použití organických pojivových systémů a jejich účinky na životní prostředí a hygienu práce

Tyto látky jsou buď obsažené v pojivových systémech, nebo se tvoří během tepelné expozice složek pojivových systémů při odlévání.

aceton – je značně hořlavý, ve směsi se vzduchem (2,5 – 12,8 % acetonu) je výbušný. Může oxidovat na nestabilní peroxidy které jsou velmi citlivé na tření a náraz. Vysoké koncentrace par acetonu jsou dráždivé, působí tlumivě na centrální nervový systém [15]. Výpary acetonu v atmosféře degradují působením UV záření s poločasem 22 dnů. Aceton je dobře rozpustný ve vodě a může kontaminovat spodní vodu.

alkohol – je hořlavý, páry alkoholu ve směsi se vzduchem mohou být při určité koncentraci výbušné.

aminy – jsou těkavé hořlavé kapaliny, jejich páry tvořit se vzduchem výbušnou směs. Nepříjemně páchnou, při vyšší koncentraci jsou toxické. Mohou být karcinogenní.

benzen – je hořlavý, toxický a karcinogenní. Vdechování malého množství benzenu způsobuje bolest hlavy, pocit únavy, zrychlení srdečního tepu a ztrátu vědomí, velká koncentrace benzenu může způsobit smrt. Poškozuje kostní dřeň a způsobuje chudokrevnost, je klasifikován jako karcinogen skupiny 1 (rakovinotvorný pro člověka). Způsobuje především rakovinu plic a leukémii [16].

fenol – je toxický, žíravý a vysoce korozivní, má leptavé účinky na lidské tkáně, do lidského organismu se vstřebává rychle všemi cestami (v tekuté formě i ve formě par) včetně pokožky. Dráždí pokožku, poškozuje játra a ledviny. Způsobuje bolest hlavy, poruchy dýchacího a oběhového systému, má tlumící účinek na centrální nervovou soustavu, při vysokých dávkách (řádově v gramech) může způsobit i smrt. Je slabě karcinogenní [9].

formaldehyd – Má štiplavý zápach, dráždí oči, pokožku a dýchací cesty. Vyvolává bolesti hlavy, záněty nosní sliznice, vyrážky na pokožce. Vyšší koncentrace může způsobit respirační problémy a ztrátu zraku. Může poškozovat centrální nervovou soustavu [17]. Je klasifikován jako pravděpodobný karcinogen [18].

furfurylalkohol – páry furfurylalkoholu ve směsi se vzduchem mohou být výbušné.

furan - je vysoce těkavý, hořlavý, toxický a může být karcinogenní.

metanol – je těkavý, hořlavý a silně jedovatý. Páry metanolu způsobují ospalost, závratě a křeče. Způsobuje útlum centrální nervové soustavy, při požití (již 4 – 10cm³) může způsobit trvalou slepotu.

metyletylketon – je hořlavý, jeho páry ve směsi se vzduchem mohou být výbušné.

metylformiát – je těkavý, hořlavý (jeho páry ve směsi se vzduchem mohou být výbušné), zapáchá.

močovina – delší působení může dráždit narušenou pokožku, při požití může způsobovat nevolnost a letargii.

naftalen – patří mezi aromatické uhlovodíky, je těkavý, vysoce hořlavý a toxický. Štiplavě zapáchá,

způsobuje bolesti hlavy, zvracení, křeče a průjmy. Při dlouhodobém působení může způsobit rozklad červených krvinek (hemolýza) a nekrózu jater [19].

SO₂ – je to štiplavě páchnoucí, jedovatý plyn. Dráždí dýchací cesty, dlouhodobá expozice způsobuje rozedmu plic, poškozuje srdeční sval. Je toxický pro flóru – reaguje s chlorofylem a narušuje tak fotosyntézu.

toluen – je těkavý, jeho páry tvoří se vzduchem výbušnou směs. Patří mezi aromatické uhlovodíky. Dráždí oči a dýchací cesty, tlumí centrální nervovou soustavu a kardiovaskulární systém, při dlouhodobé expozici způsobuje poruchy zraku a rovnováhy. Vdechování par toluenu může poškodit mozek.

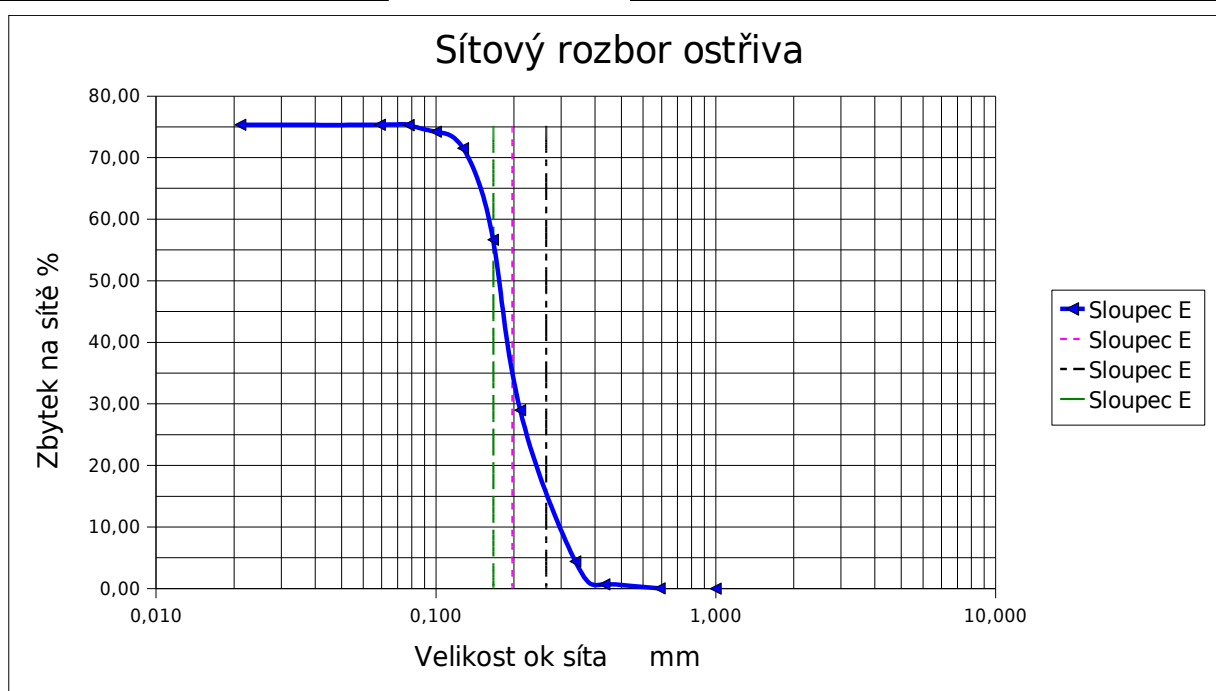
xylen – patří mezi aromatické uhlovodíky, je hořlavý. Dráždí dýchací cesty a trávicí ústrojí, poškozuje játra a ledviny, tlumí centrální nervovou soustavu, zhoršuje rovnováhu. Při velkých koncentracích způsobuje bezvědomí a útlum dýchání (může vést i ke smrti).

4. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

4.1 Použité suroviny

4.1.1 Ostřivo: bylo použito ostřivo ŠH 22 o vlastnostech viz. tabulky 1 a 2:

VUT v Brně, FSI-ÚMI odb.slévárenství		Granulometrický rozbor ostřiva	
Vzorek č.:	Sajdkové Humence	Zákazník:	VUT Brno - písková laborař
Označení:	ostřivo ŠH 22	Zpracoval:	Cupák
Datum odběru:	17.1.2009	Datum:	23.01.09
Datum zkoušky:	22.1.2009		



Ostřivo po výplavu	49,9
Vyplavitelné látky	0,1
%	0,2

Síť mm	zbytek		součet
	g	%	%
1,000	0,00	0,0	0,0
0,630	0,02	0,0	0,0
0,400	0,32	0,6	0,7
0,315	1,86	3,7	4,4
0,200	24,56	24,6	29,0
0,160	13,81	27,7	56,7
0,125	7,41	14,9	71,5
0,100	1,34	2,7	74,2
0,080	0,54	1,1	75,3
0,063	0,03	0,1	75,3
0,020	0,00	0,0	75,3

ρ_s Sypná obj. hmotnost ostřiva g/cm ³	0
S_{th} Teoretický povrch cm ² /g:	112,47
MK_{calc} Střední velikost zm mm	0,215
AFS	64,1
d_{50} mm:	0,187
d_{75} mm:	0,160
d_{25} mm:	0,247
Pravidelnost zmitosti ostřiva d_{75}/d_{25} %	64,7
log w	56,3
log w %	54,1
Podíly ostřiva pod 0,1 mm %	1,14
n_{th} Teoretický specifický počet zm ks/g	121734,94
S_w Specifický měrný povrch cm ² /g	neodef.

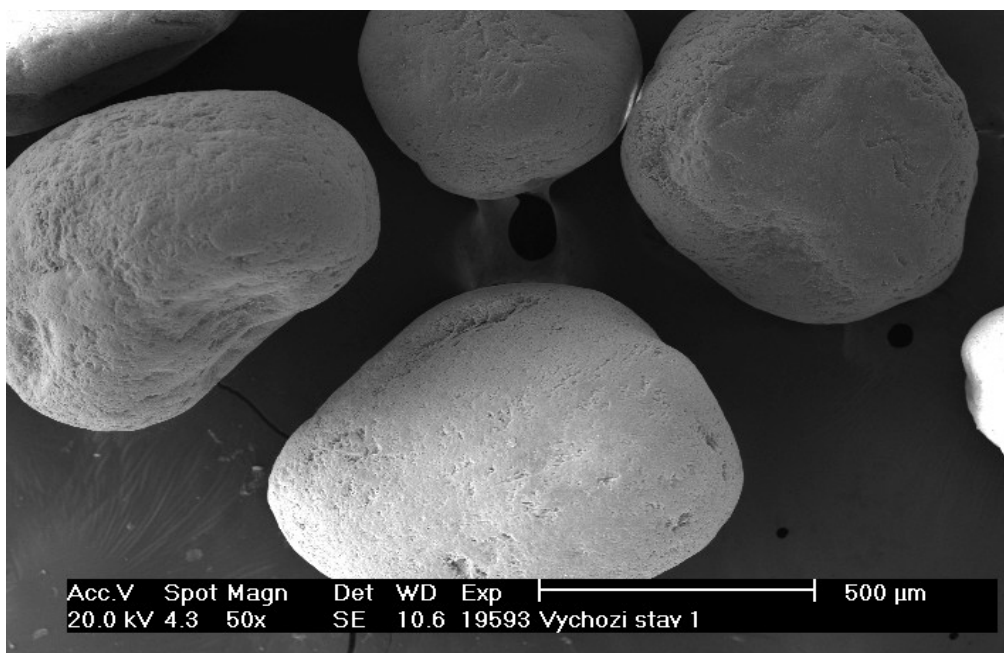
Tabulka 1: granulometrický rozbor ostřiva ŠH 22

Chemické a fyzikální hodnoty ostřiva ŠH 22 :

pH	7,72
ztráta žiháním (%)	0,32
nasákavost vodou (%)	0,4
ADV (ml HCl)	7

Tabulka 2: chemický a fyzikální rozbor ostřiva ŠH 22

Ostřivo se vyznačuje zrny kulovitěho tvaru s hladkým povrchem viz obr. 2 :



Obr. 2: zrna ostřiva ŠH 22

4.1.2 Pojivo

Jako pojivo byly použity následující suroviny na bázi kožního klišu:

TOPAZ SPECIÁL

Je to kožní kliš v suchém, zrnitém stavu, žluté až tmavohnědé barvy. Je vyráběn z přírodní suroviny a neobsahuje žádné nebezpečné látky. Je dobře biologicky odbouratelný, po naředění jej lze likvidovat v biologické čistírně odpadních vod [20].

Výrobce udává o tomto materiálu následující údaje:

bod tání: 31 °C

báze:	kožní kliš v suchém stavu
barva:	žlutá až tmavohnědá
charakter filmu:	tvrdý
viskozita:	5 – 6 Engler (min)
popel:	do 3 %
pracovní teplota:	60 - 80 °C
obsah vody:	do 15 % (max)
pokles viskozity:	10 – 15 (max)
pH 1 % roztoku:	6 -7,5
pevnost gelu:	280 – 340 Bloom/g (min)
obsah tuku:	4 %

TOPAZ I

Je kožní kliš v suchém zrnitém stavu, světle žluté barvy. Je vyráběn z přírodní suroviny a neobsahuje žádné nebezpečné látky. Je dobře biologicky odbouratelný, po naředění jej lze likvidovat v biologické čistírně odpadních vod [20].

Výrobce udává o tomto materiálu následující údaje:

bod tání:	31 °C
báze:	kožní kliš v suchém stavu
barva:	žlutá až tmavohnědá
charakter filmu:	tvrdý
viskozita:	4 – 4,5 Engler (min)
popel:	do 3 %
pracovní teplota:	60 - 80 °C
obsah vody:	do 15 % (max)
pokles viskozity:	25 (max)
pH 1 % roztoku:	6,5 -7,5
pevnost gelu:	250 – 280 Bloom/g (min)
obsah tuku:	0,4 – 0,8 %

TECHNICKÁ ŽELATINA

Je velmi čistý a jemný kožní kliš v suchém zrnitém stavu, žluté až tmavohnědé barvy. Je vyráběn z přírodní suroviny a neobsahuje žádné nebezpečné látky. Je dobře biologicky odbouratelný, po naředění jej lze likvidovat v biologické čistírně odpadních vod [20].

Výrobce udává o tomto materiálu následující údaje:

bod tání:	31 °C
báze:	kožní kliš v suchém stavu
barva:	světle žlutá
charakter filmu:	tvrdý
viskozita:	3 – 5,5 Engler (min)
popel:	do 1 - 2 %
pracovní teplota:	60 - 80 °C

obsah vody:	do 14 % (max)
pokles viskozity:	10 – 15 (max)
pH 1 % roztoku:	6,5 -7,2
pevnost gelu:	200 – 350 Bloom/g (min)
obsah tuku:	0,3 – 0,5 %

KOŽNÍ KLIH K-2

Je kožní klich v suchém zrnitém stavu, žluté až tmavohnědé barvy. Je vyráběn z přírodní suroviny a neobsahuje žádné nebezpečné látky. Je dobře biologicky odbouratelný, po naředění jej lze likvidovat v biologické čistírně odpadních vod [20].

Výrobce udává o tomto materiálu následující údaje:

bod tání:	31 °C
báze:	kožní klich v suchém stavu
barva:	žlutá až tmavohnědá
charakter filmu:	tvrdý
viskozita:	2,5 – 3,2 Engler (min)
popel:	do 3 %
pracovní teplota:	60 - 80 °C
obsah vody:	do 15 % (max)
pokles viskozity:	25 (max)
pH 1 % roztoku:	6,5 -7,5
pevnost gelu:	150 – 200 Bloom/g (min)
obsah tuku:	0,4 – 0,8 %

KLIH MODIFIKOVANÝ

Je to modifikovaný kožní klich v suchém zrnitém stavu, medové barvy. Používá se jako rychleschnoucí nízkotavné lepidlo především v papírenském a polygrafickém průmyslu. Je biologicky dobře odbouratelný, po naředění jej lze likvidovat v biologické čistírně odpadních vod, neobsahuje žádné nebezpečné látky ani látky podléhající povinnému označení [21].

Výrobce udává o tomto materiálu následující údaje:

báze:	modifikovaný kožní klich v suchém stavu
barva:	medová
charakter filmu:	elastický nebo tvrdý dle požadavků odběratele
viskozita:	závisí na přípravě pracovního roztoku mPas (min)
popel:	do 3 %
pracovní teplota:	55 - 60 °C, krátkodobě možno zvýšit až na 75 °C

Jedná se o látky na bázi kožního klichu a technické želatiny, jejich složkami jsou glutin a jeho

štěpné produkty. Glutin je bílkovinná želatina a hlavní složka zvířecího kůže . Jako hlavní složka želatiny a kostního kůže se glutin získává vyvařováním ze zvířecích kostí, chrupavek, kůží a rybích kostí. Při této činnosti, která může probíhat také pod tlakem, vzniká vodní roztok kolagenu, jako "kostra" vazivových tkání ve vodě které jsou pomocí hydrolyzy převedeny na glutin a během ochlazování opět tuhnou v rosol. V čisté formě je glutin také nazýván želatinou. Glutin se používá jako lepidlo na dřevo, lepenku, papír a textilie, dále se používá jako pojivo kůžových barev a pojivový komponent temperových barev. Glutinový kůž je používán také jako zpoždovací prostředek pro štukatérskou sádku.

Všechna pojiva jsou rozpustná ve vodě, po vysušení opět přechází v tuhou látku. Pro vytvrzení směsí s těmito pojivy je nutno odstranit vodu ze zkušebních směsí, kde je pojivo přítomno jako vodní roztok. Reálné možnosti k odstranění vody jsou buď dehydratací v teplém jaderníku (metody WB nebo HB) nebo působením mikrovlnného záření. Pro vytvrzení zkušebních vzorků byly použity obě metody, jako první metoda WB.

4.2 METODA WB

4.2.1 Složení zkušebních jádrových směsí pro metodu WB

Složení zkoušených jádrových směsí je uvedeno v tabulce č. 3:

Číslo směsi	pojivo	Množství pojiva [hm. %]	ostřivo	Množství ostřiva [hm. %]	Voda [hm. %]
1	TOPAZ SPECIÁL	1	ŠH 22	99	4
2	TOPAZ I	1	ŠH 22	99	4
3	TECHNICKÁ ŽELATINA	1	ŠH 22	99	4
4	KOŽNÍ KLIH K-2	1	ŠH 22	99	4
5	KLIH MODIFIKOVANÝ	1	ŠH 22	99	4

Tabulka 3: složení zkušebních jádrových směsí

Voda je použita pouze jako rozpouštědlo, není součástí směsi po vytvrzení, proto je uváděna jako podíl nad 100 hmotnostních %.

4.2.2 Příprava zkušebních jádrových směsí pro metodu WB

Do mísiče typu mixer značky Kitchen Aid je vloženo 1980 g ostřiva ŠH 22. Do laboratorní kádinky je naváženo 20 g pojiva, přidáno 80 ml vody, za neustálého míchání je tato směs zahřáta na 70 až 80 °C aby se rozpouštění urychlilo. Po dokonalém rozpuštění pojiva je roztok postupně (během asi 20 vteřin) vmíchán do ostřiva ve spuštěném mísiči Kitchen Aid (viz. obr. 3). Doba mísení je 3 minuty.



Obr. 3: mísič Kitchen Aid

4.2.3 Výroba normalizovaných zkušebních trámečků pro metodu WB

Připravené vlhké jádrové směsi byly vloženy do vstřelovacího stroje Laempe L1-LAB-1 (viz. obr. 4) s chlazenou vstřelovací hlavou a pneumaticky svíraným, elektricky ohřívaným kovovým jaderníkem pro výrobu tří kusů normalizovaných zkušebních trámečků o čtvercovém průřezu 500 mm² a délce 170 mm.



Obr. 4: vstřelovací stroj Laempe L1-LAB-1

Ohřev obou polovin jaderníku je regulován pomocí termočlánků a regulátoru (viz. obr. 5) s přesností regulace na 0,1 °C.



Obr. 5: regulátor vyhřívání jaderníku

Vstřelovací tlak byl zvolen ve výši asi 2/3 maximálního možného vstřelovacího tlaku, konkrétně 0,6 MPa.

Protože vytvrzení těchto pojiv není děj chemický ale pouze fyzikální (jde o odpaření rozpouštědla –

vody), měla by pro vytvrzení stačit teoreticky teplota 100 °C. Všech pět pojiv bylo po vstřelení do jaderníku vytvrzováno postupně při teplotách 100, 110, 120, 130, 140, 150 a 160 °C a byly sledovány dosažené pevnosti v ohybu ihned po vytvrzení zkušebních vzorků (pevnost za tepla), pevnost po ochlazení vzorků na teplotu 25 °C (pevnost za studena) a pevnost po 24 hodinách. Teploty 100 a 110 °C se ukázaly jako nedostatečné, vytvrzení zkušebních trámečků bylo z provozního hlediska neúměrně dlouhé (více než 5 minut), proto bylo od těchto vytvrzovacích teplot upuštěno. Při vyšších teplotách postačovalo ke spolehlivému vytvrzení 3 minuty. Měření bylo prováděno na hydraulickém pevnostním přístroji GF (viz obr. 6) vždy v počtu pěti měření pro každou teplotu vytvrzování u každého pojiva.



Obr. 6: hydraulický pevnostní přístroj GF

Protože byla opakovaně měřena stejná veličina (pevnost v ohybu) za stejných podmínek (vstřelovací tlak 0,6 MPa, doba vytvrzování 3 minuty), je třeba vyloučit případné hodnoty měření, které by mohly být způsobeny hrubou chybou při měření, a které by tedy zkreslily celkový výsledek měření. Všechny hodnoty získané měřením byly proto podrobeny statistické kontrole, tak zvanému Grubbsovu testu, který je schopen odhalit, zda odchylky krajních naměřených hodnot (minima a maxima) v sérii měření jsou důsledkem hrubé chyby při měření a je tedy nutné je ze souboru naměřených hodnot vyloučit, nebo zda jsou všechny výsledky měření použitelné.

4.2.4 Grubbsův test

nulová hypotéza: H_0 : $x_{(1)}$ není hrubá chyba respektive $x_{(n)}$ není hrubá chyba.

Testovaná veličina:
$$\tau = \frac{\bar{x} - x_{(1)}}{s}$$

eventuelně:
$$\tau = \frac{x_{(n)} - \bar{x}}{s}$$

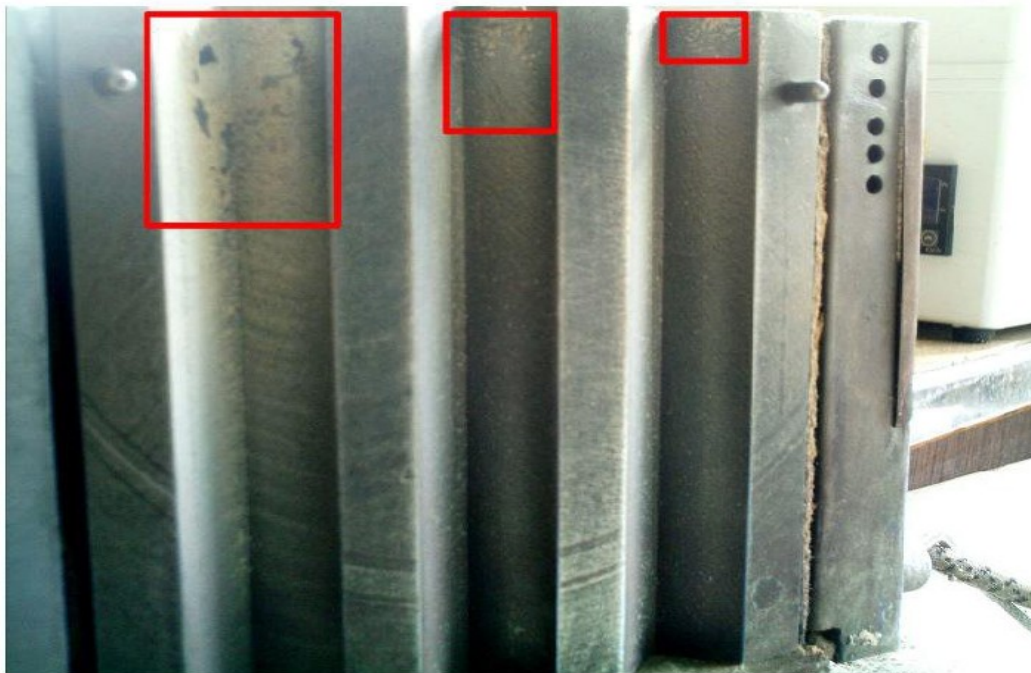
kde $\bar{x} = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n x_i$ je výběrový aritmetický průměr a $s = \sqrt{\frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$ je výběrová směrodatná odchylka a n je počet měření.

Jestliže $\tau > T_p$ kde T_p jsou kritické hodnoty Grubbsova testu z tabulky [22], pak na úrovni pravděpodobnosti $\alpha = p$ zamítneme nulovou hypotézu. V případě zamítnutí H_0 vyloučíme příslušné odlehle pozorování ze souboru použitelných hodnot a musíme opravit výběrový aritmetický průměr a výběrovou směrodatnou odchylku. Byla zvolena úroveň pravděpodobnosti $p = 0,01$, tedy 99 %. Pro tuto úroveň pravděpodobnosti a počet měření $n = 5$ je $T_p = 1,955$.

4.2.5 Hodnoty pevnosti v ohybu zkušebních jádrových směsí při použití metody WB

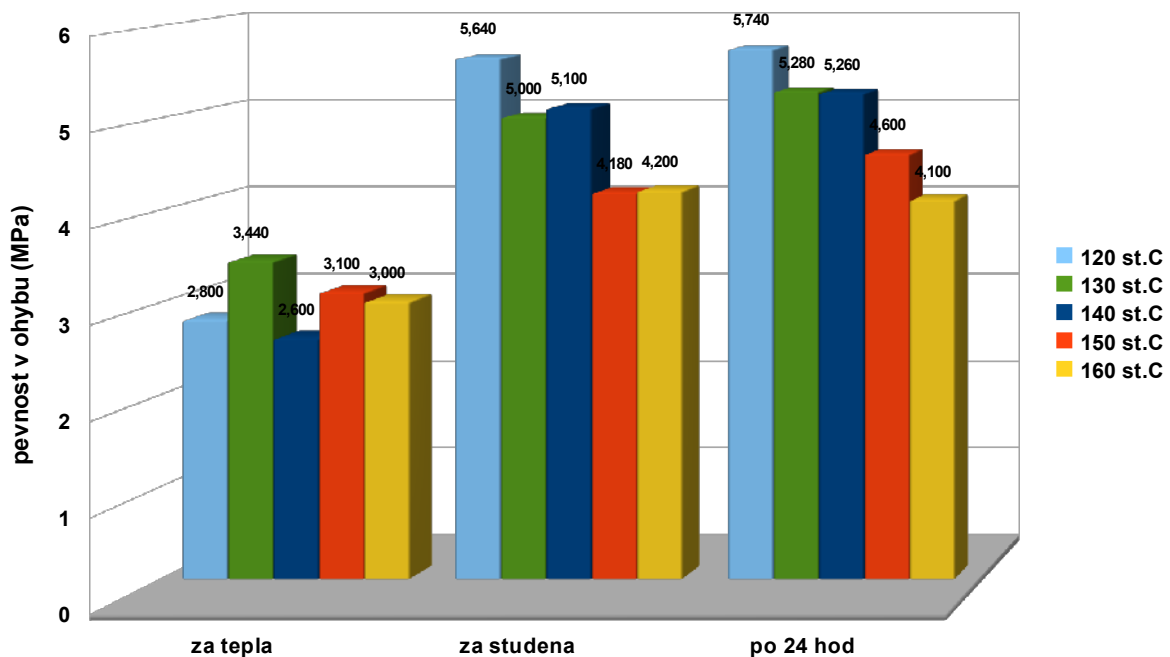
Naměřené hodnoty, včetně jejich kontroly Grubbsovým testem, jsou uvedeny v tabulkách č. 4, 5, 6, 7 a 8. (Počínaje tabulkou č.4 jsou tabulky uvedeny nikoliv v textu ale v přílohách). Pro větší názornost jsou výsledky měření pevností znázorněny i v grafech č. 4, 5, 6, 7 a 8. Během přípravy zkušebních směsí také byla sledována rozpustnost pojiv ve vodě a při výrobě zkušebních trámečků byla sledována lepidlost směsi na jaderník po vytvrzení. Zahřátý jaderník byl separován silikonovým olejem ve spreji před každým vstřelem.

Pojivo s názvem KLIH MODIFIKOVANÝ se špatně rozpouštělo ve vodě, tím vzrůstal čas potřebný k výrobě směsí. Pojivo s názvem TECHNICKÁ ŽELATINA způsobovalo vysokou lepidlost směsi k jaderníku, jádra se špatně z jaderníku vyjímala a po několika vstřelech narostla na stěně jaderníku vrstva připečeného pojiva. Připečené pojivo je zřetelně vidět v červeně ohraničených oblastech na obrázku č. 7. Toto pojivo bylo možné snadno odstranit navlhčenou tkaninou.



Obr. 7: vrstva připečeného pojiva na jaderníku při použití pojiva TECHNICKÁ ŽELATINA

PEVNOSTI V OHYBU SMĚSI S POJIVEM TOPAZ SPECIÁL



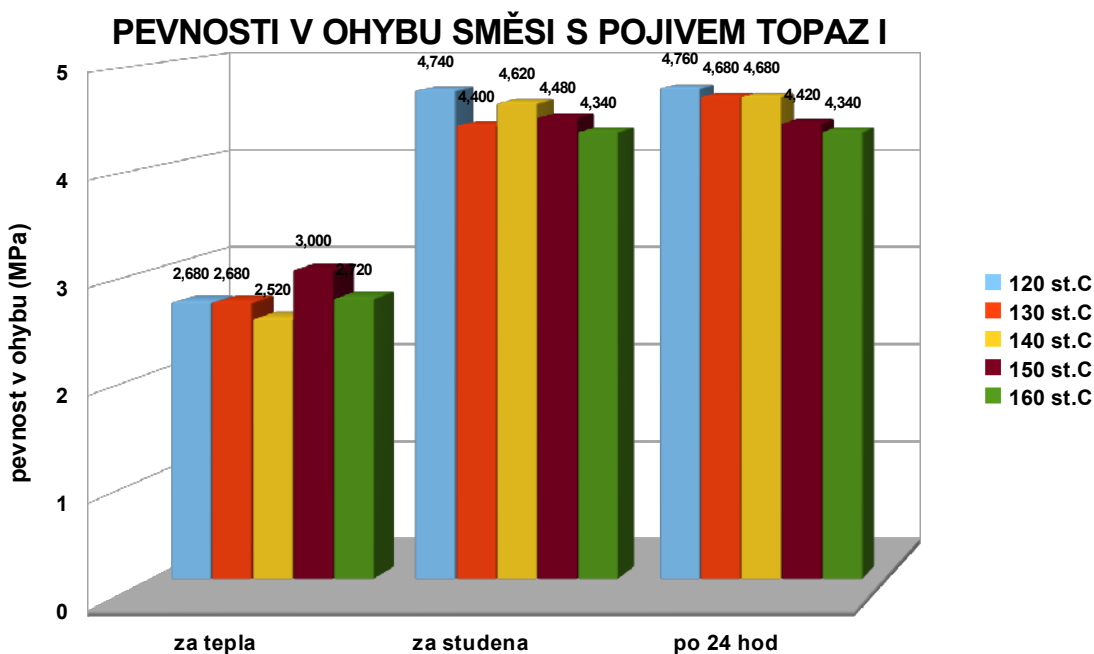
Graf 4: pevnosti v ohybu směsi s pojivem TOPAZ SPECIÁL

Z tabulky č. 4 a grafu č. 4 je zřejmé, že pevnosti směsi s pojivem TOPAZ SPECIÁL mají tendenci klesat se vzrůstající teplotou vytvrzování. Nejednoznačný výsledek u pevností za tepla je zřejmě způsoben kolísáním teploty měřených vzorků zapříčiněné nutným přesunem vzorků od vstřelovacího stroje k pevnostnímu přístroji, doba trvání přesunu (řádově ve vteřinách) nebyla vždy absolutně stejná vzhledem k proměnlivé obtížnosti vyjímání zkušebních trámečků z jaderníku, navíc teplejší vzorky chladnou rychleji než vzorky zahřáté při vytvrzování na nižší teplotu. S vyrovnáváním teplot zkušebních vzorků po odstátí vzorků je tento trend jednoznačný.

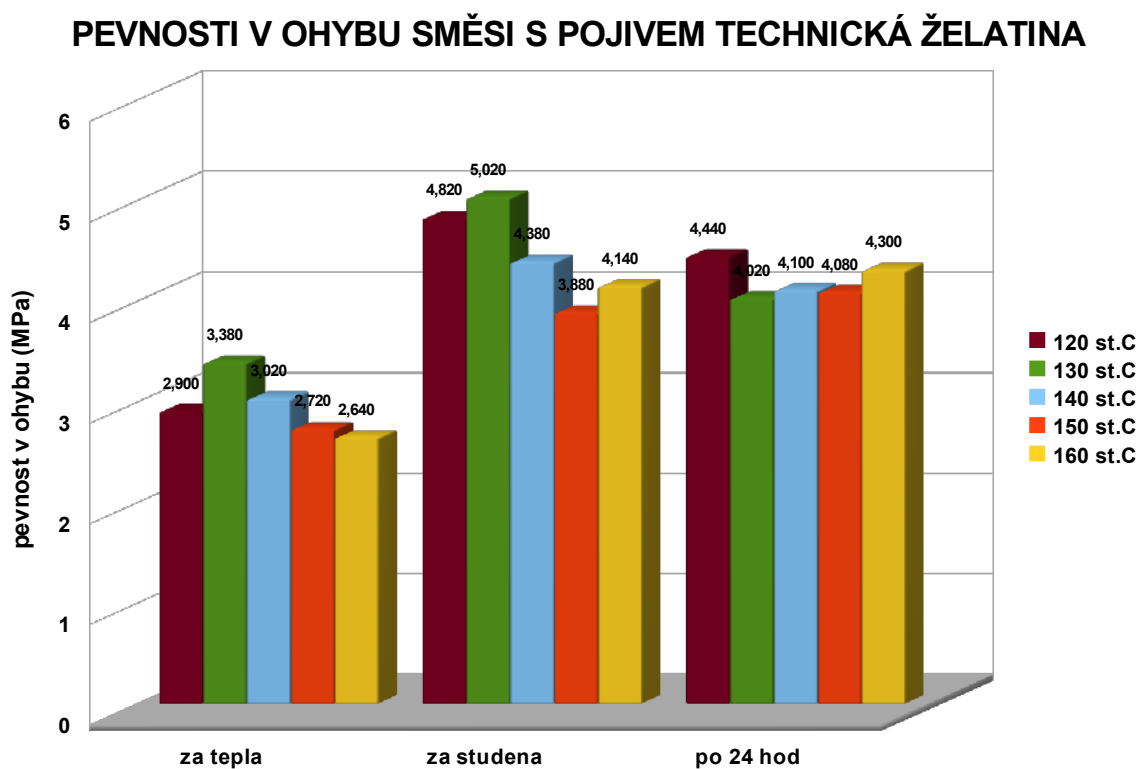
I z tabulky č. 5 a grafu č. 5 je zřejmé, že výsledné pevnosti zkušební směsi s pojivem TOPAZ I mírně klesají s rostoucí teplotou vytvrzování. Pokles pevností je však oproti pojivu TOPAZ SPECIÁL asi čtyřikrát menší.

Z tabulky č. 6 a grafu č. 6 je vidět, že pojivo TECHNICKÁ ŽELATINA nevykazuje zřetelný pokles pevností při vyšších vytvrzovacích teplotách (zřetelné u pevností v ohybu měřených po 24 hodinách).

Pevnosti v ohybu směsi s pojivem KOŽNÍ KLIH K-2 opět zřetelně klesají s rostoucí teplotou vytvrzování (viz. graf č. 7).

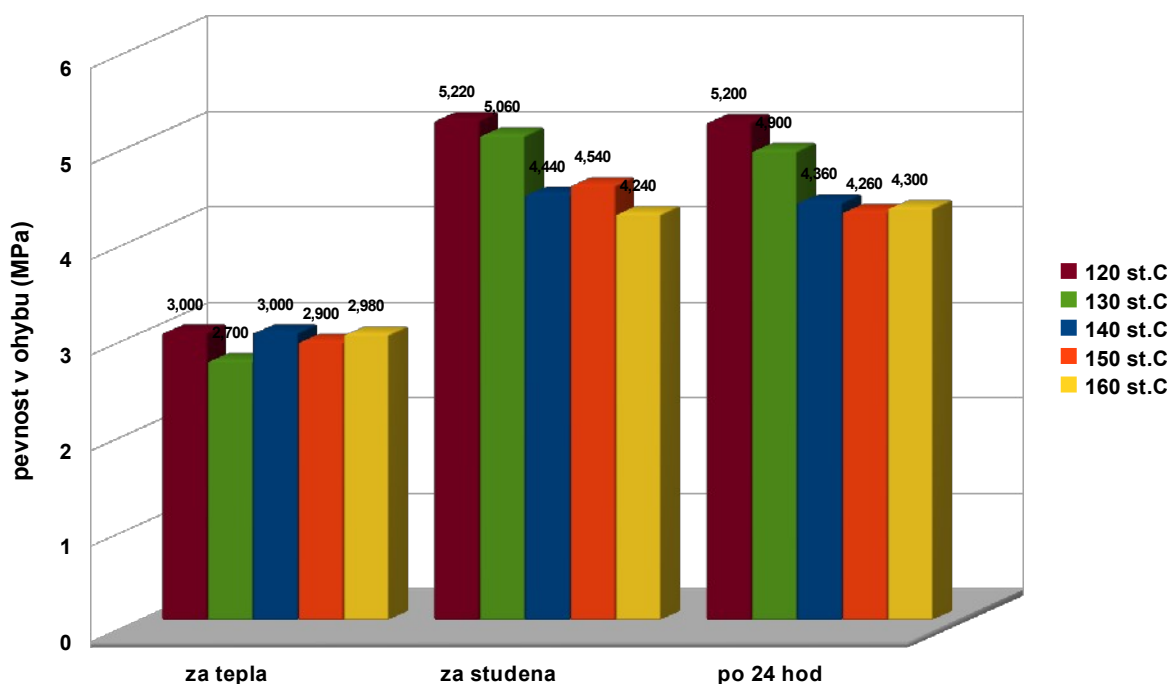


Graf 5: pevnosti v ohybu směsi s pojivem TOPAZ I



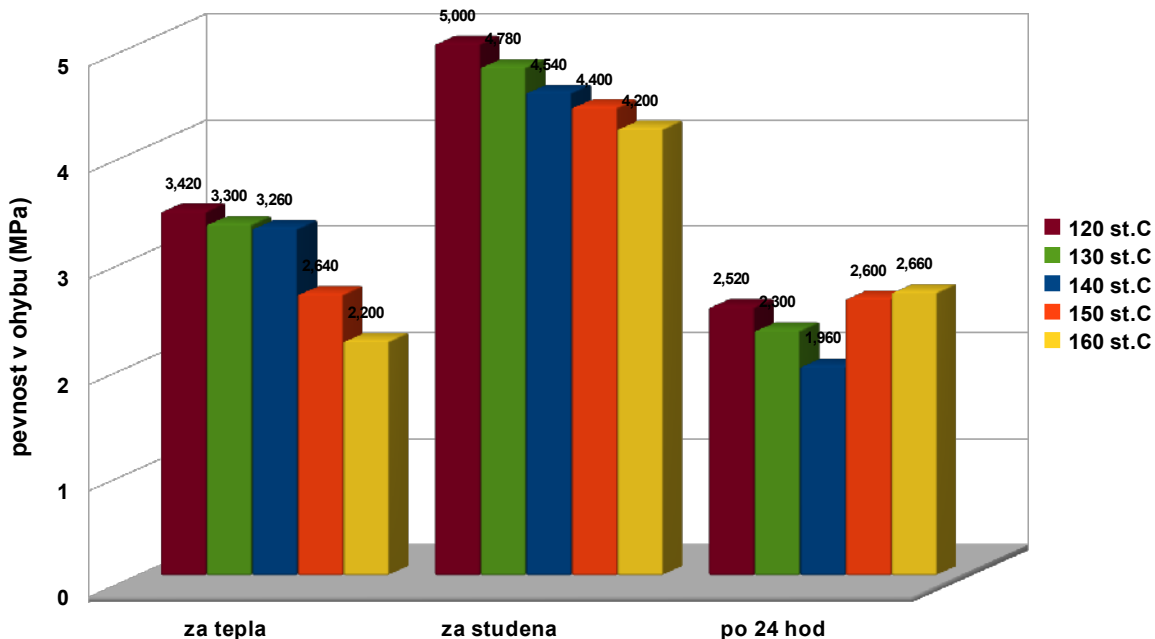
Graf 6: pevnosti v ohybu směsi s pojivem TECHNICKÁ ŽELATINA

PEVNOSTI V OHYBU SMĚSI S POJIVEM KOŽNÍ KLIH K-2



Graf 7: pevnosti v ohybu směsi s pojivem KOŽNÍ KLIH K-2

PEVNOSTI V OHYBU SMĚSI S POJIVEM KLIH MODIFIKOVANÝ

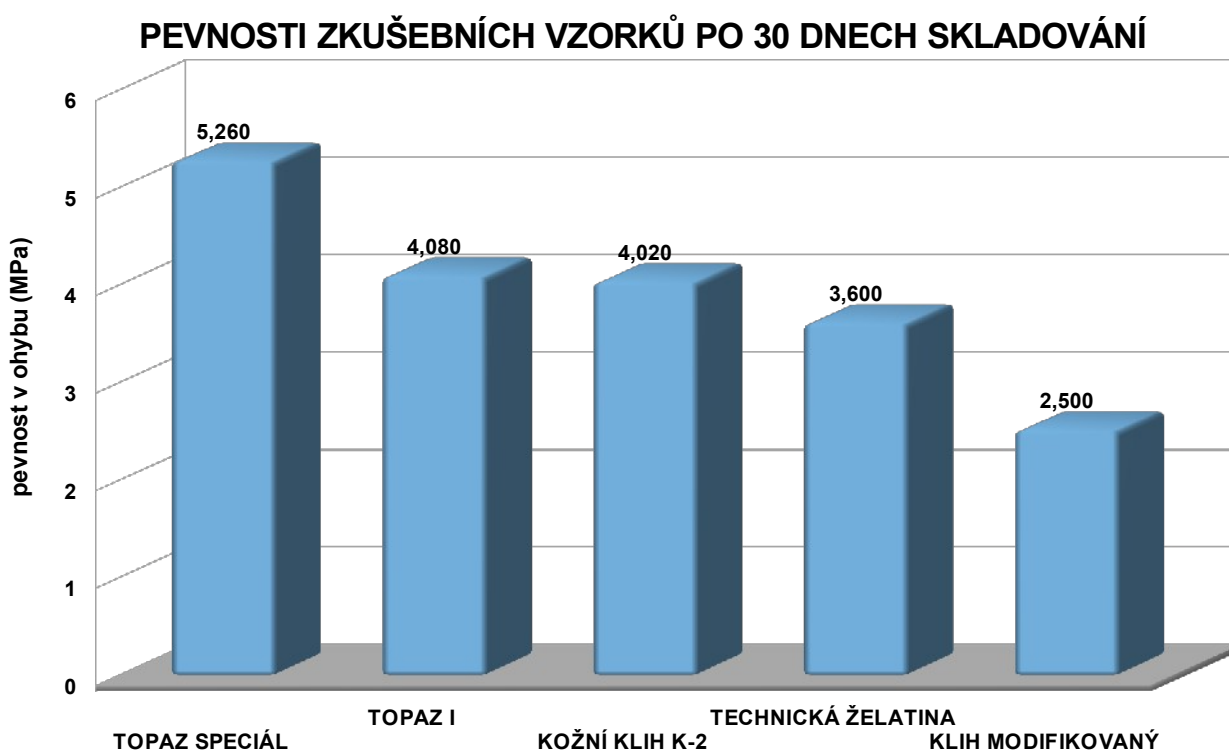


Graf 8: pevnosti v ohybu směsi s pojivem KLIH MODIFIKOVANÝ

Pojivo KLIH MODIFIKOVANÝ vykazuje ve stavu za tepla a za studena také pokles pevnosti v závislosti na stoupající teplotě vytvrzování a po odstátí 24 hodin velký pokles pevnosti (viz. graf č. 8).

Z výše uvedených údajů vyplývá, že optimální teplota při vytvrzování v teplém jaderníku je 120 °C. Při vyšších teplotách dochází ke snižování výsledných pevností, při nižších teplotách trvá vytvrzení příliš dlouho. Urychlit vytvrzení by bylo pravděpodobně možné pomocí profouknutí jaderníku horkým vzduchem. Zkoušená pojiva vykazují dostatečné pevnosti za tepla (což můžeme považovat za pevnost manipulační, nutnou k vyjmutí jádra z jaderníku) i za studena. S klesající teplotou vytvrzených zkušebních jader jejich pevnost vzrůstá. Po odstátí po dobu 24 hodin však u pojiva KLIH MODIFIKOVANÝ dochází k prudkému poklesu pevnosti. Pro ověření průběhu pevnosti vytvrzených vzorků v závislosti na čase (což lze chápat jako skladovatelnost) byly vyrobeny další zkušební trámečky ze stejným složením směsí opět při vstřelovacím tlaku 0,6 MPa. Byly vytvrzovány při teplotě 120 °C po dobu 3 minut a byla změřena jejich pevnost po 30 dnech skladování. Během skladování vzorky ležely volně na laboratorním stole při teplotách 22 – 25 °C a vlhkosti vzduchu 70 – 75 %. po uplynutí této doby byla opět změřena pevnost vzorků v ohybu na hydraulickém přístroji GF. Naměřené výsledky byly opět překontrolovány Grubbsovým testem na úrovni pravděpodobnosti $\alpha=0,01$.

Získané výsledky jsou uvedeny v tabulce č. 9 a grafu č.9.



Graf 9: pevnosti zkušebních vzorků po 30 dnech skladování

Z hodnot v tabulce č. 9 a grafu č. 9 plyne, že nejvyšší pevnost vykazuje směs s pojivem TOPAZ SPECIÁL, která nebyla délkou skladování téměř ovlivněna, a naopak nejnižší pevnost směs s pojivem KLIH MODIFIKOVANÝ, kde ovšem k tomuto výraznému poklesu pevnosti došlo již po odstátí v délce 24 hodin. Toto pojivo se jeví jako nepoužitelné pro provozní praxi, neboť v reálných podmínkách nelze zajistit okamžité založení jádra do formy a odlití formy.

4.3 METODA MIKROVLNNÉHO VYTVRZOVÁNÍ

4.3.1 Podstata mikrovlnného ohřevu

Při tomto způsobu ohřevu dochází k přeměně energie střídavého elektrického pole o velmi vysoké frekvenci na tepelnou energii. Děje se tak působením pole na polární molekuly materiálu. Dipóly molekul se otáčejí podle okamžitého směru elektromagnetického pole a takto mění svou orientaci až několik miliardkrát za sekundu. Přitom dochází ke dvěma jevům: k mezimolekulárnímu tření, k němuž dochází při překonávání mezimolekulárních přitažlivých sil a k hysterezi, která vzniká mezi působícím polem a indukovanou elektrickou odezvou vlivem setrvačnosti, jež závisí na elektrickém náboji, hmotě a tvaru molekul.

Díky těmto jevům je ohřev materiálu rychlý a probíhá v celém objemu, ve kterém působí elektromagnetické pole na polární materiál.

Mikrovlny patří do frekvenčního pásma 300 MHz až 300 GHz. Zařízení pro průmyslový mikrovlnný ohřev se konstruuje na nejčastěji používané frekvenci okolo 2450 MHz, případně na frekvenci okolo 915 MHz (výhodou této frekvence je větší průnik vln do ohřívajícího materiálu). Mikrovlnná energie působí řádově několik centimetrů až desítek centimetrů do hloubky materiálu [23].

Účinnost ohřevu závisí na schopnosti daného materiálu absorbovat elektromagnetické pole – tuto vlastnost mají materiály obsahující alespoň malé množství polárních molekul (voda, soli, uhlík ...). Takový materiál elektromagnetické vlny zahřívají, naopak materiály, které tyto vlny odrážejí (především kovy) nelze takto ohřívát. Další skupinu materiálu představují materiály transparentní („průsvitné“), které nemají bipolární elektrické náboje a na elektromagnetické pole nereagují. Patří k nim např. plyny, některé druhy skla, polyetylén, teflon, polystyren.

Voda je vysoce polární látka, která výborně absorbuje mikrovlnnou energii, jež se s velmi vysokou účinností mění na teplo. Navíc, ve srovnání s běžně používanými způsoby ohřevu je ohříván celý průřez (v závislosti na hloubce průniku vln do konkrétního materiálu při dané frekvenci vln) materiálu obsahujícího vodu a sušení je tedy velice efektivní.

4.3.2 Příprava zkušebních jádrových směsí pro metodu mikrovlnného vytvrzování

Bylo použito stejné složení směsí jako pro metodu WB. Složení směsí je uvedeno v tabulce č.3.

4.3.3 Výroba normalizovaných zkušebních trámečků pro metodu mikrovlnného vytvrzování

Jádra byla z namísených směsí ručně pěstována do rozebíratelného dřevěného jaderníku, zvláště vyrobenému pro tento účel. Jaderník je rozměrově uzpůsoben tak, aby se vešel na rotační talíř použité mikrovlnné trouby a je možné v něm najednou zaformovat 3 normalizované zkušební trámečky (viz. obr. 8). Povrch jaderníku není při výrobě zkušebních trámečků ošetřen žádným separačním prostředkem.



Obr. 8: jaderník pro mikrovlnné vytvrzování se zapěchovanými jádry a teploměrem SUMMIT SDT8

Mikrovlnný ohřev byl prováděn v mikrovlnné troubě IGNIS AKL 256/IG/WH o pracovní frekvenci 2450 MHz, max. příkonu 1250 W a maximálního výkonu 750 W (viz. obr. 9) s možností nastavení času a výkonu ohřevu.



Obr. 9: mikrovlnná trouba IGNIS AKL 256/IG/WH



Obr. 10: teploměr SUMMIT SDT8

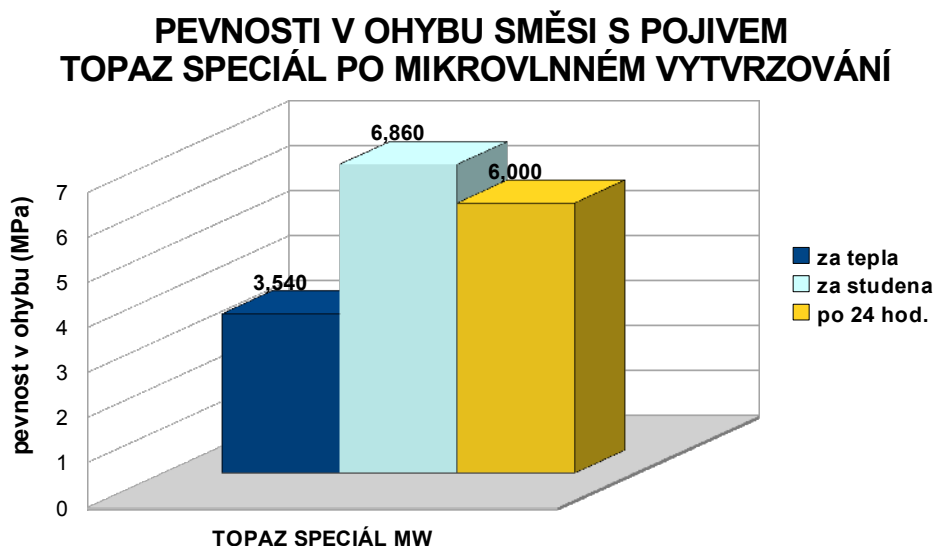


Obr. 11: infračervený pyrometr AMIR 7811 – 45

Při časech nižších než 7 min a výkonech ohřevu nižších než 750 W nebyly vzorky dokonale vysušené a vytvrzené, proto byly jako hodnoty času a výkonu pro zkoušky použit čas vytvrzování 7 min a výkon ohřevu 750 W.

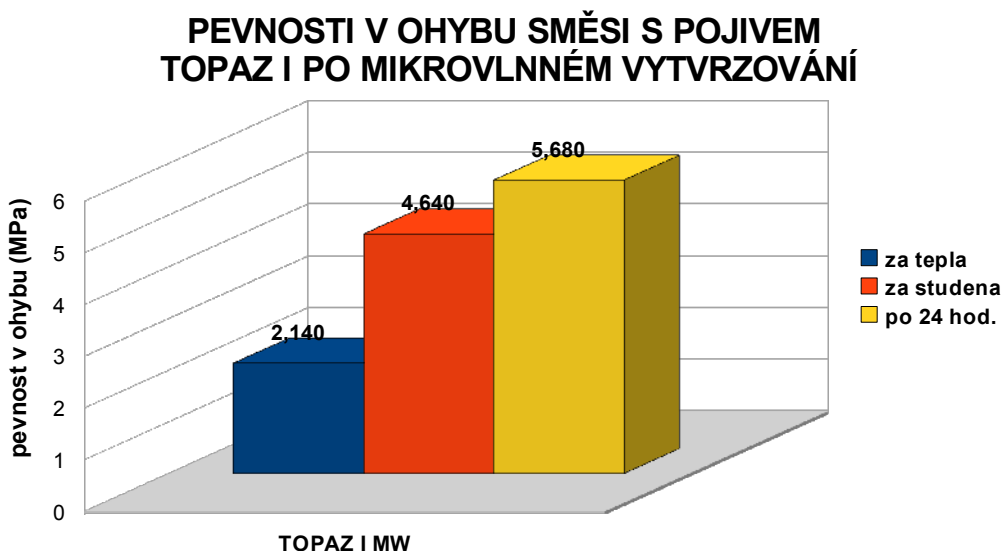
Bylo měřeno vždy opět 5 vzorků („za tepla“, „za studena“ a po odstátí 24 hodin), naměřené výsledky byly opět kontrolovány Grubbsovým testem (opět na úrovni pravděpodobnosti $\alpha = 0,01$) kvůli vyloučení hrubých chyb měření. Zjištěné výsledky jsou uvedeny v tabulkách č. 10 – 14 a v grafech č. 10 – 14.

4.3.4 Hodnoty pevnosti v ohybu zkušebních jádrových směsí při použití mikrovlnného vytvrzování



Graf 10: pevnosti v ohybu směsi s pojivem TOPAZ SPECIÁL po mikrovlnném vytvrzování

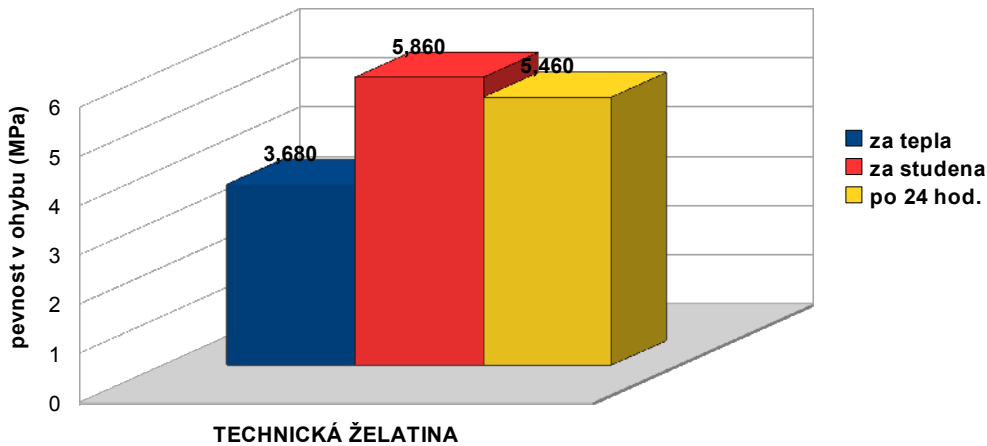
Povrchová teplota zkušebních vzorků po vyjmutí z mikrovlnné pece byla v rozmezí 100 – 120 °C, rozložení teplot po délce vzorku bylo nepravidelné. Měření povrchových teplot vytvrzených vzorků bylo prováděno infračerveným pyrometrem AMIR 7811 – 45. Směs s pojivem TOPAZ SPECIÁL jako jediná po vytvrzení nelepila na povrch jaderníku. Z tabulky č. 10 i grafu č. 10 je patrný značný nárůst pevnosti vzorku po vychladnutí, i mírné snížení pevnosti během odstátí po dobu 24 hodin.



Graf 11: pevnosti v ohybu směsi s pojivem TOPAZ I po mikrovlnném vytvrzování

Povrchová teplota vzorků po vyjmutí z mikrovlnné pece byla opět v rozmezí 100 – 120 °C, rozložení teplot po délce vzorku bylo také nepravidelné. Z tabulky č. 11 i grafu č. 11 je zřejmá nízká pevnost za tepla i vysoký nárůst pevností během chladnutí a odstátí zkušebních vzorků. I po vychladnutí lepí zkušební trámečky na jaderník, vyjmutí trámeček z rozebraného jaderníku ale nečiní problémy.

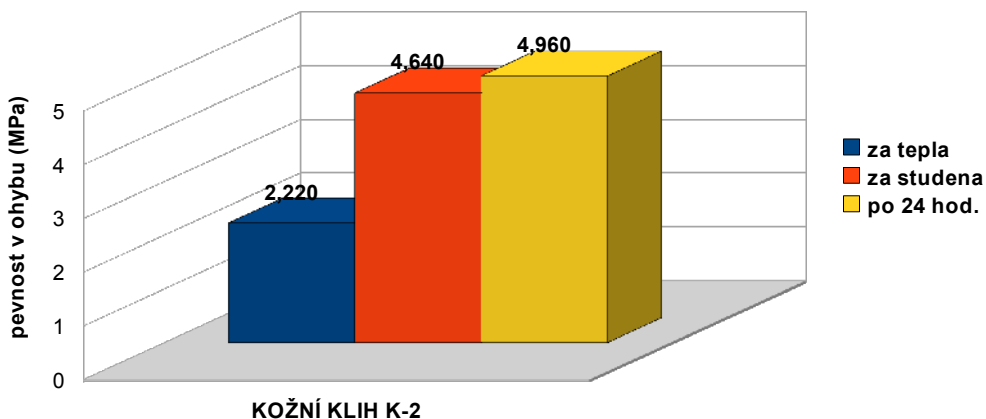
PEVNOSTI V OHYBU SMĚSI SPOJIVEM TECHNICKÁ ŽELATINA PO MIKROVLNNÉM VYTVRZOVÁNÍ



Graf 12: pevnosti v ohybu směsi s pojivem TECHNICKÁ ŽELATINA po mikrovlnném vytvrzování

Povrchová teplota vzorků po vyjmutí z mikrovlnné pece byla opět v rozmezí 100 – 120 °C, rozložení teplot po délce vzorku bylo také nepravidelné. Z tabulky č. 12 i grafu č. 12 je patrný značný nárůst pevnosti vzorku po vychladnutí, i mírné snížení pevnosti během odstátí po dobu 24 hodin. I po vychladnutí lepší zkušební trámečky na jaderník, při vyjímání trámeček z rozebraného jaderníku byl jeden vzorek zničen.

PEVNOSTI V OHYBU SMĚSI S POJIVEM KOŽNÍ KLIH K-2 PO MIKROVLNNÉM VYTVRZOVÁNÍ

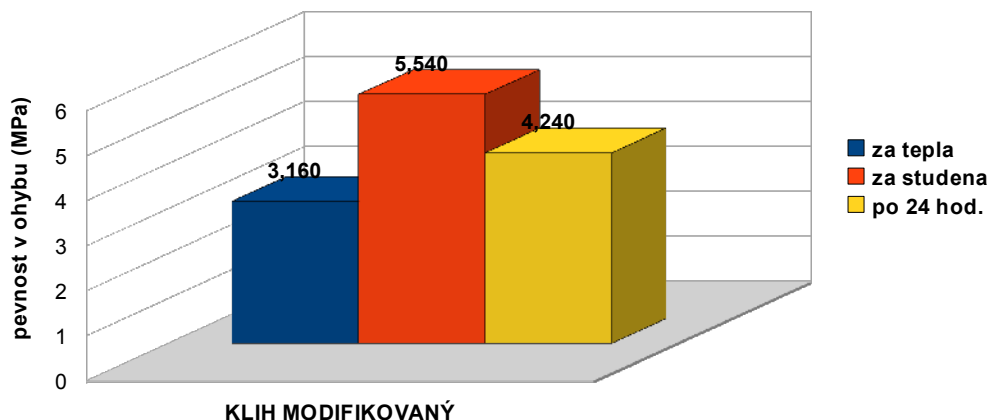


Graf 13: pevnosti v ohybu směsi s pojivem KOŽNÍ KLIH K-2 po mikrovlnném vytvrzování

Povrchová teplota vzorků po vyjmutí z mikrovlnné pece byla opět v rozmezí 100 – 120 °C, rozložení teplot po délce vzorku bylo také nepravidelné. Z tabulky č. 13 a grafu č. 13 je patrný značný nárůst pevnosti vzorku po vychladnutí, a mírné zvýšení pevnosti během odstátí po dobu 24 hodin. Po

vychladnutí vzorky lehce lepí na jaderník, vyjmutí trámečků z rozebraného jaderníku ale nečiní problémy.

PEVNOSTI V OHYBU SMĚSI S POJIVEM KLIH MODIFIKOVANÝ PO MIKROVLNNÉM VYTVRZOVÁNÍ

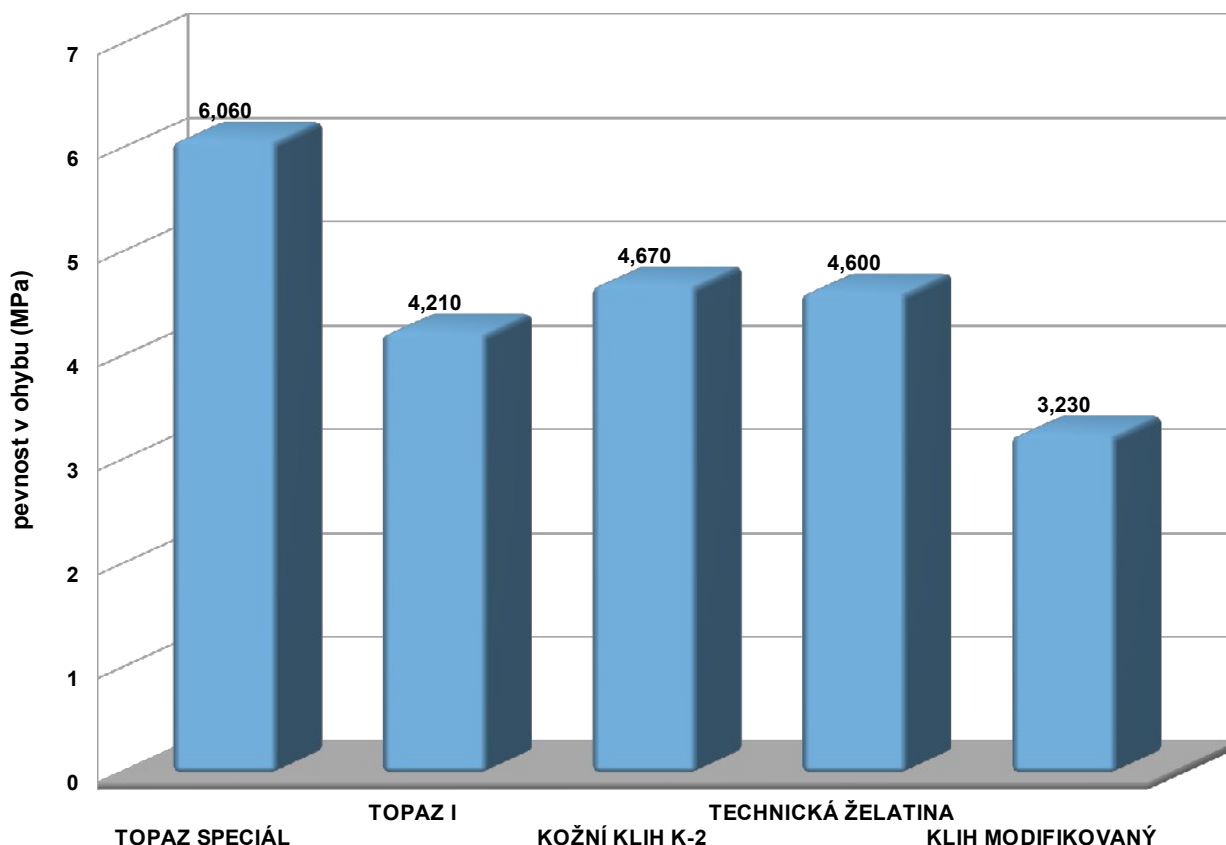


Graf 14: pevnosti v ohybu směsi s pojivem KLIH MODIFIKOVANÝ po mikrovlnném vytvrzování

Povrchová teplota vzorků po vyjmutí z mikrovlnné pece byla opět v rozmezí 100 – 120 °C, rozložení teplot po délce vzorku bylo také nepravidelné. Z tabulky č. 14 i grafu č. 14 je patrný znatelný nárůst pevnosti vzorku po vychladnutí, i snížení pevnosti během odstátí po dobu 24 hodin. I po vychladnutí lepí zkušební trámečky na jaderník, při vyjímání trámečků z rozebraného jaderníku bylo několik vzorků zničeno.

Pro ověření průběhu pevnosti vytvrzených vzorků v závislosti na čase byly vyrobeny další zkušební trámečky ze stejným složením směsi a za použití stejného výkonu a doby vytvrzování. Během skladování vzorky ležely opět 30 dní volně na laboratorním stole při teplotách 22 – 25 °C a vlhkosti vzduchu 70 – 75 %, tedy za stejných podmínek, jako vzorky vyrobené metodou WB. Po uplynutí této doby byla opět změřena pevnost vzorků v ohybu na hydraulickém přístroji GF. Naměřené výsledky byly opět překontrolovány Grubbsovým testem na úrovni pravděpodobnosti $\alpha = 0,01$. Získané výsledky jsou uvedeny v tabulce č. 15 a grafu č. 15.

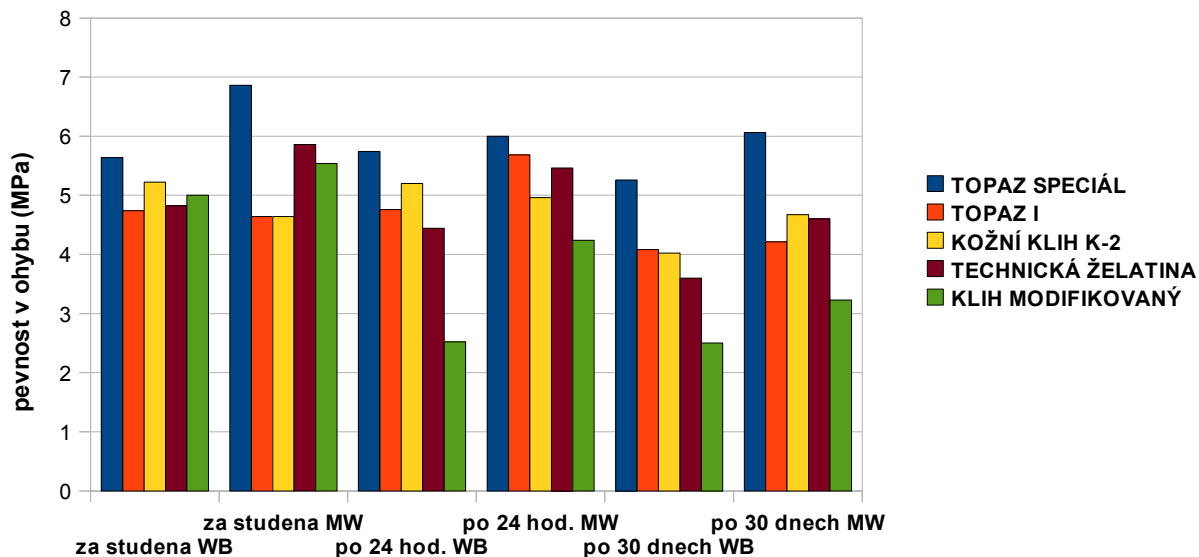
PEVNOSTI ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ VYTVRZENÝCH MIKROVLNNÝM OHŘEVEM PO 30 DNECH SKLADOVÁNÍ



Graf 15: pevnosti zkušebních vzorků vytvrzených mikrovlnným ohřevem po 30 dnech skladování

Ze srovnání hodnot pevností v ohybu vzorků vytvrzených v teplém jaderníku a vzorků vytvrzených mikrovlnným ohřevem znázorněných v grafu č. 16 je vidět, že vzorky vytvrzené mikrovlnným zářením mají vesměs vyšší pevnost. Je to znatelné zvláště u směsí s pojivy TOPAZ SPECIÁL, TECHNICKÁ ŽELATINA a KLIH MODIFIKOVANÝ. U ostatních pojiv nejsou tyto rozdíly v pevnostech tak znatelné, nebo jsou dokonce pevnosti po mikrovlnném ohřevu o něco nižší než po ohřevu v teplém jaderníku. Pro tvrzení, že mikrovlnný ohřev zvyšuje pevnosti směsí po vytvrzení je to výsledek ne zcela přesvědčivý, navíc je třeba vzít v úvahu i rozdílný způsob výroby zkušebních trámečků: u metody WB byly vzorky vstřeleny do jaderníku za použití konstantního tlaku (0,6 MPa) čelem trámečku, vzorky pro mikrovlnné vytvrzování byly pýchovány ručně podélnou stranou trámečku. To má pravděpodobně vliv na zhutnění vzorků a tedy i na pevnosti po vytvrzení. Ověření je možné provést srovnáním hmotností zkušebních trámečků vyrobených na vstřelovacím stroji a ručně a následným výpočtem, zda případné rozdíly v hmotnostech jsou nebo nejsou statisticky významné. Opět byla použita úroveň pravděpodobnosti $\alpha = 0,01$. Nejdříve bylo náhodně vybráno 10 vzorků vyrobených vstřelením a 10 vzorků vyrobených ručním pýchováním, tyto zkušební trámečky byly zváženy na laboratorní elektronické váze s přesností na 0,01 gramu a byl proveden Grubbsův test, zda všechny takto získané hodnoty jsou použitelné (nejsou zatíženy hrubou chybou měření).

SROVNÁNÍ PEVNOSTÍ V OHYBU DOSAŽENÝCH METODOU WB A MIKROVLNNÝM OHŘEVEM



Graf 16: srovnání pevností v ohybu dosažených metodou WB a mikrovlnným ohřevem

Ze zjištěných hmotností, uvedených v tabulce č.16, je zřejmé, že ručně pýchované trámečky mají vyšší hmotnosti, výsledky Grubbsova testu uvedené také v tabulce č. 16 ukazují, že zjištěné hmotnosti nejsou zatíženy hrubou chybou měření a lze je tedy použít pro výpočet, zda zjištěné rozdíly hmotností vzorků jsou statisticky významné. Pro tento výpočet byl použit „test významnosti rozdílu mezi středními hodnotami, jestliže rozptyly nejsou stejné“, neboť oba soubory naměřených hmotností zkušebních trámečků (vstřelovaných a ručně pýchovaných) mají rozdílné střední hodnoty i rozptyly.

4.3.5 Test významnosti rozdílu mezi středními hodnotami jestliže rozptyly nejsou stejné

μ_1 a μ_2 jsou střední hodnoty souborů a δ_1^2 a δ_2^2 jsou rozptyly souborů

\bar{x}_1 a \bar{x}_2 jsou aritmetické průměry výběrových souborů

s_1^2 a s_2^2 jsou rozptyly výběrových souborů

$\delta_1^2 \neq \delta_2^2$ hladina pravděpodobnosti $\alpha = p$

nulová hypotéza H_0 : $\mu_1 = \mu_2$

testovací veličina :
$$t = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{\sqrt{c_1 + c_2}} \quad \text{kde} \quad c_1 = \frac{s_1^2}{n_1 - 1} \quad c_2 = \frac{s_2^2}{n_1 - 1}$$

kritická hodnota :
$$t_{(p)} = \frac{t_{n_1-1}(p) * c_1 + t_{n_2-1}(p) * c_2}{c_1 + c_2}$$

kde $t_{n_1-1}(p)$ a $t_{n_2-1}(p)$ jsou kritické hodnoty Studentova rozdělení z tabulky [24].

vlastní výpočet:

TEST VÝZNAMNOSTI ROZDÍLU HMOTNOSTÍ MEZI VSTŘELOVANÝMI A RUČNĚ PĚCHOVANÝMI ZKUŠEBNÍMI TRÁMEČKY

TEST VÝZNAMNOSTI ROZDÍLU MEZI STŘEDNÍMI HODNOTAMI JESTLIŽE ROZPTYLY NEJSOU STEJNÉ

WB je označení pro vstřelované vzorky vytvrzené v teplém jaderníku

MW je označení pro ručně vyráběné vzorky vytvrzené mikrovlnným ohřevem

$$\sigma_{WB}^2 \neq \sigma_{MW}^2$$

kritická hodnota=3,250 pro 9 měření a $\alpha=0,01$

nulová hypotéza $\mu_{WB} = \mu_{MW}$

aritmetický průměr	$X_{WB} =$	134,075	rozptyly:	$S_{WB}^2 =$	0,696
	$X_{MW} =$	138,279		$S_{MW}^2 =$	5,342
	$C_{WB} =$	0,077			
	$C_{MW} =$	0,594			

testovací veličina t= 5,133

kritická hodnota $t^*(p)=$ 3,250

$t > t^*(p)$ tzn. že nulová hypotéza neplatí a rozdíl středních hodnot je statisticky významný

Způsob výroby zkušebních trámeček má vliv na jejich hmotnost.

Z výsledku výpočtu vyplývá, že rozdílný způsob výroby zkušebních trámeček má vliv na jejich hmotnost a tedy i velikost zhutnění. To znamená, že vyšší pevnost v ohybu zkušebních trámeček vyráběných ručním pēchováním (použitým při výrobě zkušebních trámeček pro mikrovlnné vytvrzování) je pravděpodobně způsobena jejich vyšším zhutněním a **nelze proto říci, že mikrovlnný ohřev způsobuje vyšší pevnost vzorků.**

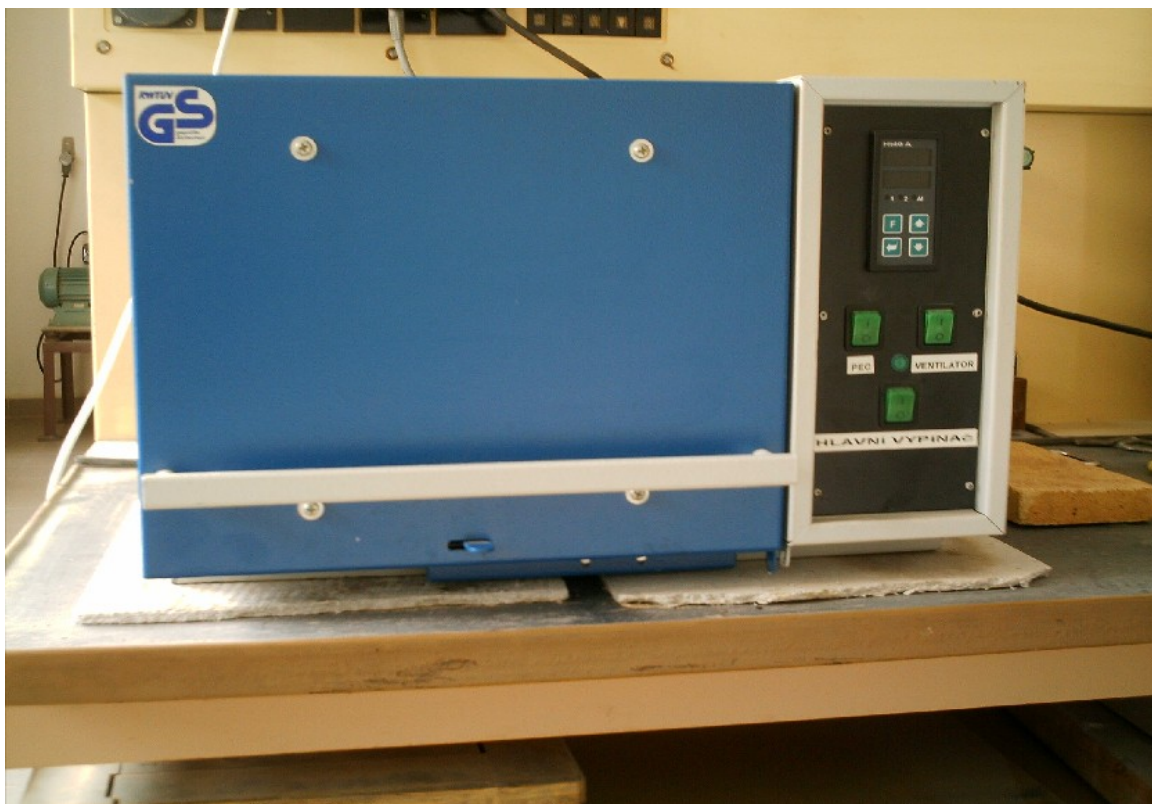
4.4 ZBYTKOVÉ PEVNOSTI ZKUŠEBNÍCH JÁDROVÝCH SMĚSÍ A TGA POJIV

Zbytková pevnost formovací nebo jádrové směsi je pevnost směsi, která již prošla tepelným zatížením které přináší odlití formy tekutým kovem. Na její velikosti závisí takzvaná rozpadavost směsi, což je schopnost ztratit pevnost po odlití formy, nebránit tak smršťování odlitku během

chladnutí a posléze umožnit snadné odstranění formovací a jádrové směsi z odlitku. S klesající zbytkovou pevností směsi stoupá její rozpadavost a naopak. Důležité je také, při jakých teplotách dochází k poklesu pevnosti směsi (teplota termodestrukce), neboť to má vliv na to, jaké slitiny je možno odlévat při použití konkrétního pojiva. Zjištění zbytkových pevností a teploty termodestrukce je možno provést tak, že vzorky zhotovené ze zkušebních směsí se postupně zahřívají a měří se jejich pevnosti v závislosti na teplotě. Přesnější stanovení teplot termodestrukce lze provést pomocí termogravimetrické analýzy (TGA), kdy se měří úbytek hmotnosti vzorku pojiva v závislosti na teplotě.

4.4.1 Zbytkové pevnosti směsí vytvrzených v teplém jaderníku

Pro zjištění zbytkových pevností byly vyrobeny vstřelováním zkušební trámečky ze směsí se všemi pojivy o složení uvedeném v tabulce č. 1, byly opět vstřeleny pod tlakem 0,6 MPa do kovového jaderníku zahřátého na teplotu 120 °C, při které mají zkušební směsi nejvyšší pevnosti. Doba vytvrzování byla opět 3 minuty. Zkušební trámečky byly postupně podrobeny tepelnému zatížení 200 °C, 300 °C a 400 °C. Zkouška probíhala tak, že zkušební vzorky byly po odstátí po dobu 24 hodin vkládány do laboratorní pece LINN LM 312:10 (viz. obr. 12) zahřáté na výše uvedené teploty. Po vložení vzorků do pece došlo vždy k určitému poklesu teploty, po vyrovnání teploty na požadovanou hodnotu trval ohřev vzorků 30 minut. Poté byla pec vypnuta a vzorky se samovolně ochlazovaly s pecí až do teploty 25 °C. Následně byly měřeny pevnosti v ohybu zkušebních trámeček na hydraulickém pevnostním přístroji GF. Naměřené výsledky byly opět podrobeny Grubbsovu testu s úrovní pravděpodobnosti $\alpha = 0,01$ pro zjištění, zda žádná naměřená hodnota není výsledkem hrubé chyby při měření.



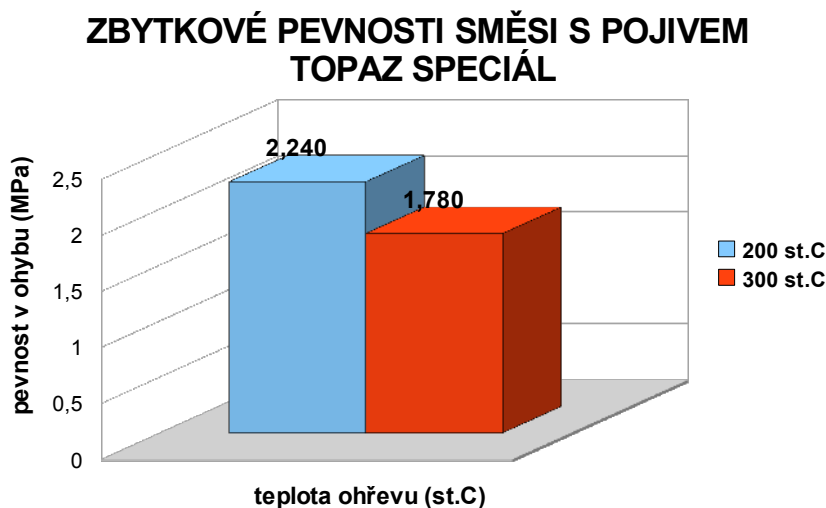
Obr. 12: laboratorní pec LINN LM 312.10

Výsledky měření jsou uvedeny v tabulkách č. 17 až 21 a grafech č. 17 až 21. Při teplotě 400 °C byly vzorky ze všech zkušebních směsí rozpadlé na několik kusů (viz obr. 13, to znamená, že teplota termodestrukce leží mezi teplotami 300 a 400 °C.

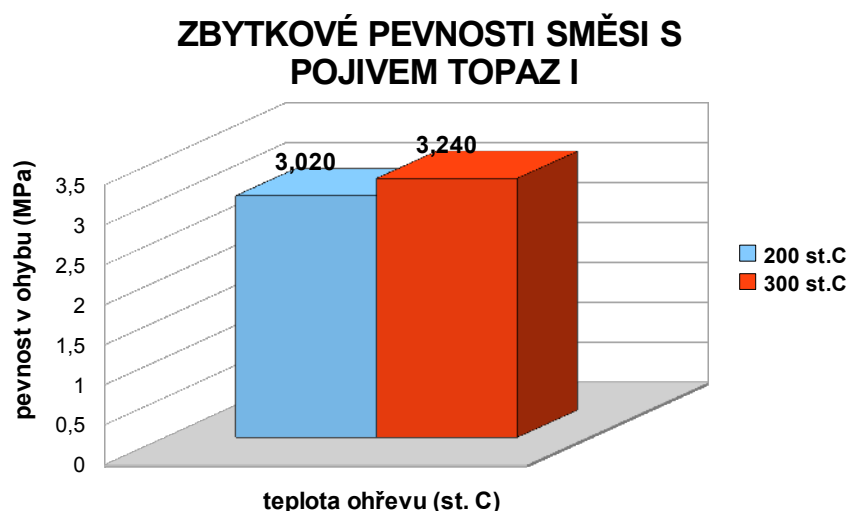
Dochází k mírnému poklesu pevnosti po ohřevu na 200 °C, přičemž vzorky barvu téměř nemění (maximálně nepatrně zhnědnou), a k vysokému poklesu u teploty 300 °C, kdy vzorky již mají barvu tmavě hnědou. Pouze u pojiva TOPAZ I dochází při teplotě 300 °C k mírnému zvýšení pevnosti oproti teplotě 200 °C, i v tomto případě však došlo k celkovému citelnému poklesu pevnosti oproti počáteční pevnosti.

Vzhledem k takto nízké teplotě termodestrukce se nabízí možnost používat zkoušená pojiva při odlévání slitin s nižší lící teplotou (slitiny Al), kde nedochází k tak vysokému tepelnému zatížení forem a jader jako při odlévání slitin železa. Nízká teplota termodestrukce je v takovém případě výhodná, protože odlitky s dosud nerozpadnutými jádry se nemusí podrobovat dalšímu ohřevu za účelem tepelné destrukce pojiva pro usnadnění šetrného odstraňování jader [4].

Zkušební trámečky, které byly ohřáty na teploty 200 °C a 300 °C ztratily schopnost rozpouštět se ve vodě.

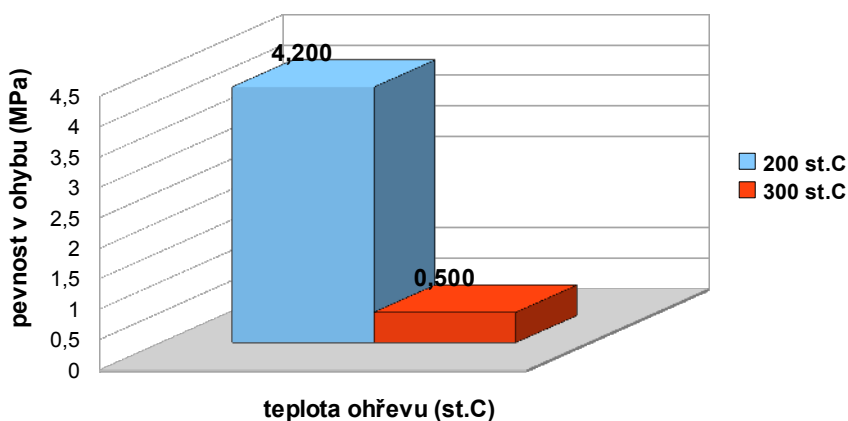


Graf 17: zbytkové pevnosti směsi s pojivem TOPAZ SPECIÁL



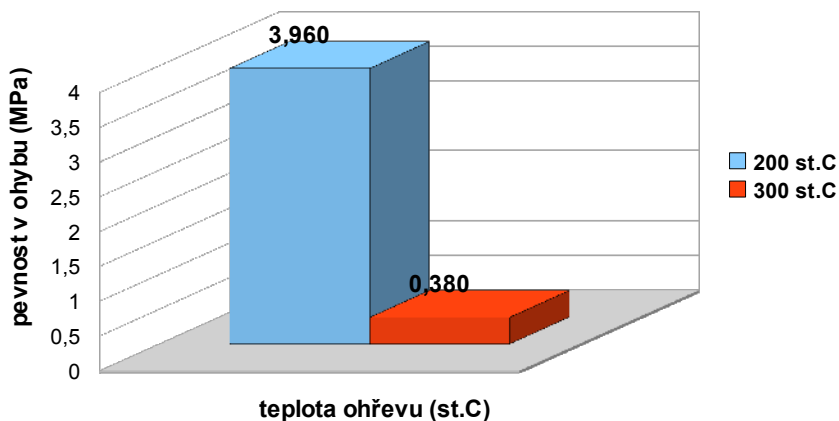
Graf 18: zbytkové pevnosti směsi s pojivem TOPAZ I

ZBYTKOVÉ PEVNOSTI SMĚSI S POJIVEM KOŽNÍ KLIH K-2



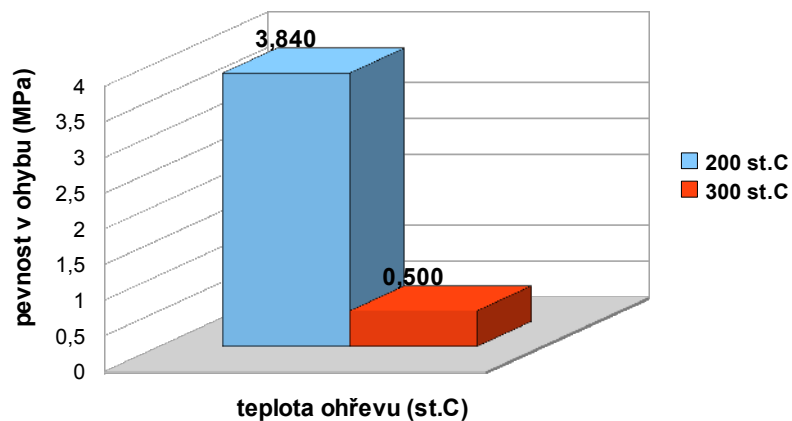
Graf 19: zbytkové pevnosti směsi s pojivem KOŽNÍ KLIH K-2

ZBYTKOVÉ PEVNOSTI SMĚSI S POJIVEM TECHNICKÁ ŽELATINA



Graf 20: zbytkové pevnosti směsi s pojivem TECHNICKÁ ŽELATINA

ZBYTKOVÉ PEVNOSTI SMĚSI S POJIVEM KLIH MODIFIKOVANÝ



Graf 21: zbytkové pevnosti směsi s pojivem KLIH MODIFIKOVANÝ



Obr. 13: zkušební trámečky po ohřevu na 400 °C

4.5 TGA VYBRANÝCH POJIV

Čtyři z pěti zkoušených pojiv se při zkoušce zbytkových pevností chovaly podobně - TOPAZ SPECIÁL, KOŽNÍ KLIH K-2, TECHNICKÁ ŽELATINA a KLIH MODIFIKOVANÝ vykazovaly pokles pevnosti v ohybu s rostoucí teplotou ohřevu, pouze pojivo TOPAZ I vykazovalo mezi teplotami 200 °C a 300 °C nárůst pevnosti, proto byla provedena TGA u pojiv TOPAZ SPECIÁL a TOPAZ I.

4.5.1 TGA pojiva TOPAZ SPECIÁL

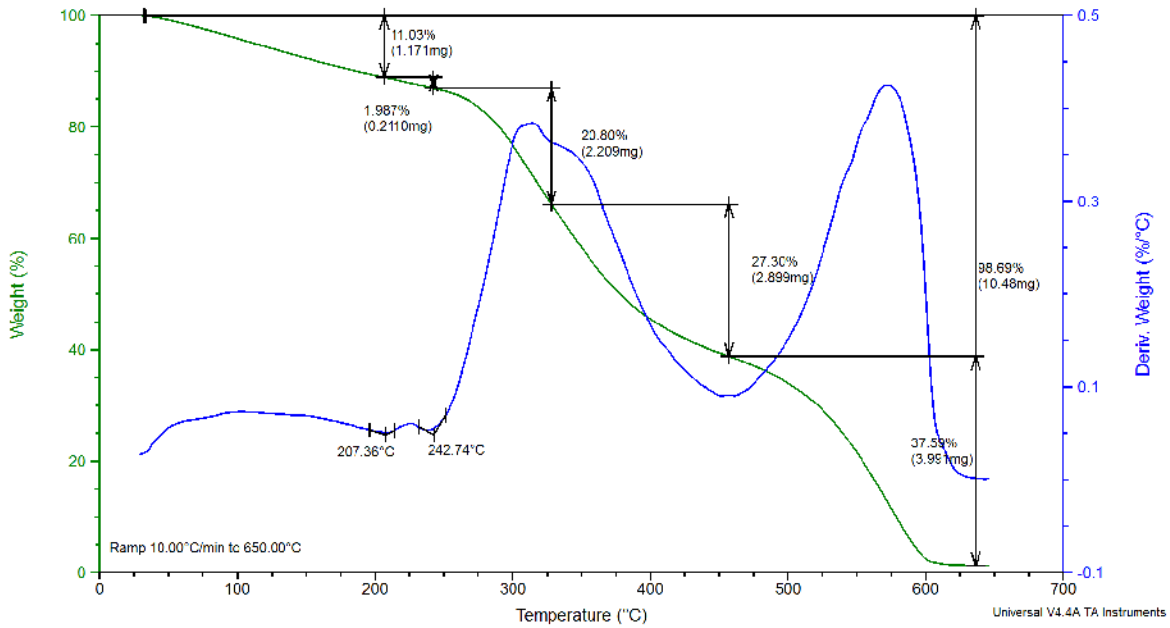
Průběh TGA pojiva TOPAZ SPECIÁL je uveden v grafu č. 22. Podmínky měření, 10°C/min, Pt otevřená pánvička, dynamická atmosféra vzduchu 60 ml/min, měření od 30°C do 650°C, navážka vzorku 10,6180 mg, měřeno na přístroji TA Instruments Q500.

Zelená křivka představuje hmotnost vzorku v % (TG), modrá je její teplotní derivace (DTG). DTG umožňuje lepší rozlišení jednotlivých kroků. Do teploty cca 200°C se uvolňují těkavější složky a přítomná vlhkost. Jak je vidět na DTG křivce, vykazuje dvě minima kolem 207 a 242°C. Těžko se rozlišuje, který z nich je počátek tepelné degradace pojiva. Minimum 207°C může být pouze náznak 2 kroku uvolnění těkavější frakce, je spojen s relativně malým úbytkem hmotnosti jak je vidět na TG křivce. Kolem 242 °C je patrný náhlý pokles hmotnosti, který lze přiřadit k degradaci. Ta, jak je vidět na grafu, proběhla ve 2-3 hlavních krocích naznačených na TG křivce (opět odpovídají minimum na DTG křivce). Celkový úbytek při 650°C je 98,69%, popel byl bílé barvy, jedná se pravděpodobně o minerální příměsi. Pro kontrolu bylo provedeno druhé měření, výsledek byl totožný.

Sample: Topaz special 2659
 Size: 10.6180 mg
 Comment: Topaz special 2659

TGA

File: P:\...Cupak\Topaz special 2659.001
 Operator: PP
 Run Date: 19-May-2010 10:15
 Instrument: TGA Q500 V20.10 Build 36



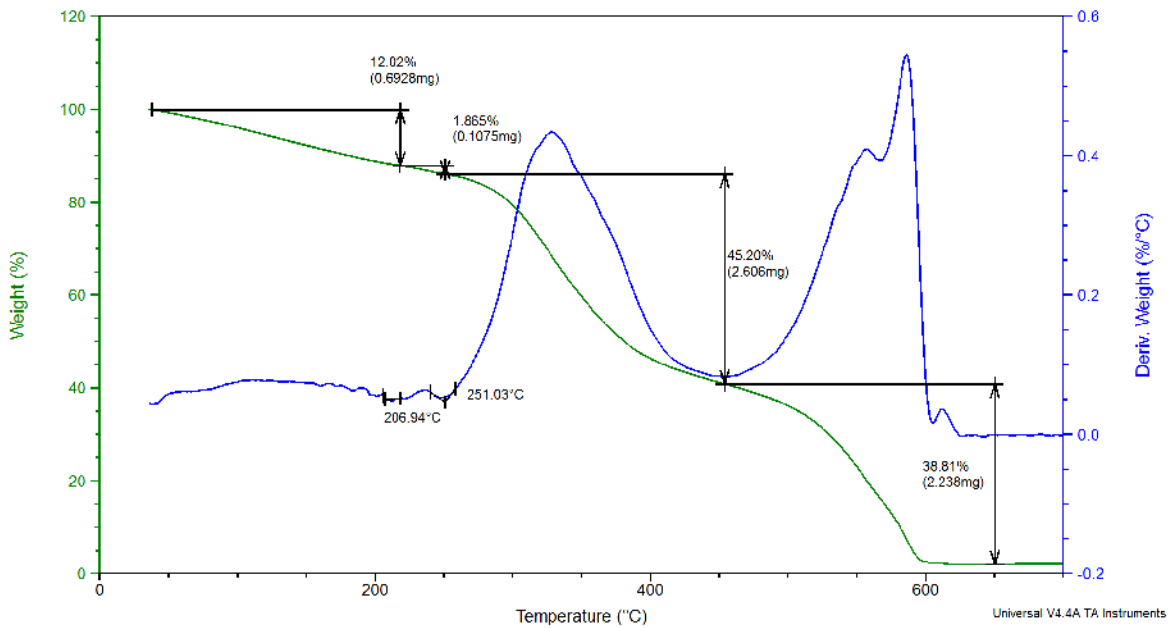
Graf 22: TGA pojiva TOPAZ SPECIÁL

4.5.2 TGA pojiva TOPAZ I

Sample: topaz 1
 Size: 5.7660 mg
 Method: FRC

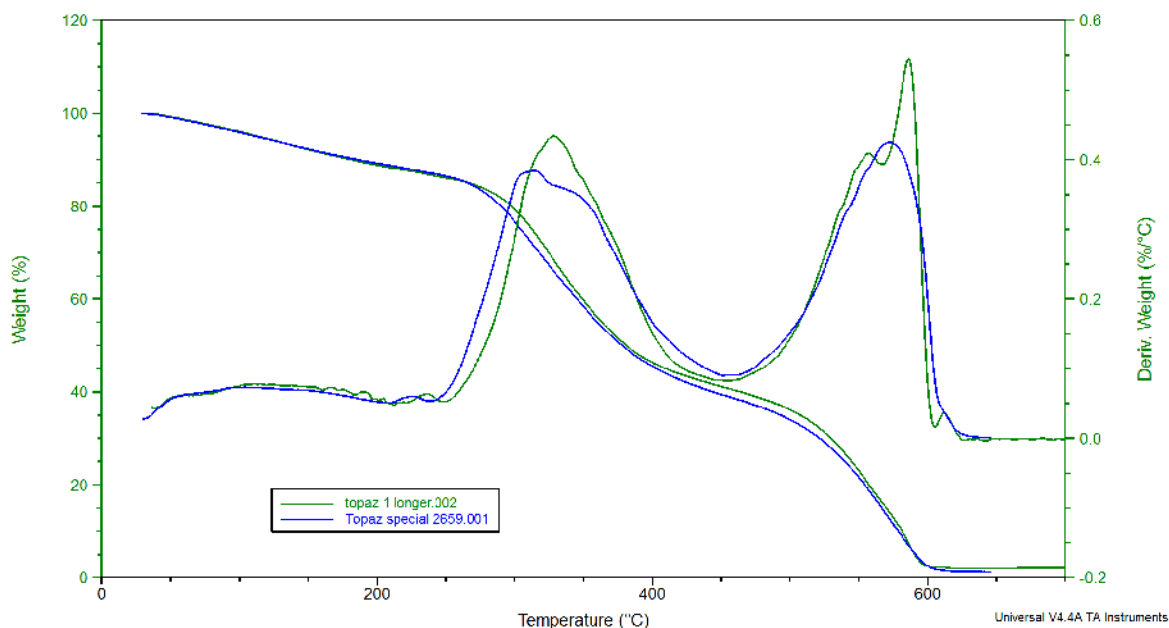
TGA

File: P:\...kucerik\Cupak\topaz 1 longer.002
 Operator: JK
 Run Date: 23-Jun-2010 14:40
 Instrument: TGA Q500 V20.10 Build 36



Graf 23: TGA pojiva TOPAZ I

Průběh TGA pojiva TOPAZ I je uveden v grafu č. 23. Podmínky měření, 10°C/min, Pt otevřené pánvičky, dynamická atmosféra vzduchu 60 ml/min, měření od 30°C do 650°C, navážka vzorku 5,7660 mg, měřeno na přístroji TA Instruments Q500. Průběhy obou křivek jsou velmi podobné průběhům křivek u pojiva TOPAZ SPECIÁL (viz graf č. 24), teplota počátku degradace je nepatrně vyšší, rozdíl je však tak malý, že jím nelze s jistotou vysvětlit odlišnost chování zkušební vzorku s pojivem TOPAZ I při zkoumání zbytkových pevností. Navážka vzorku pro měření je přibližně poloviční, protože u pojiva TOPAZ I docházelo k většímu nárůstu objemu zkoušeného pojiva než u pojiva TOPAZ SPECIÁL a hrozilo poškození čidel měřícího přístroje.



Graf 24: srovnání TGA pojiv TOPAZ SPECIÁL a TOPAZ I

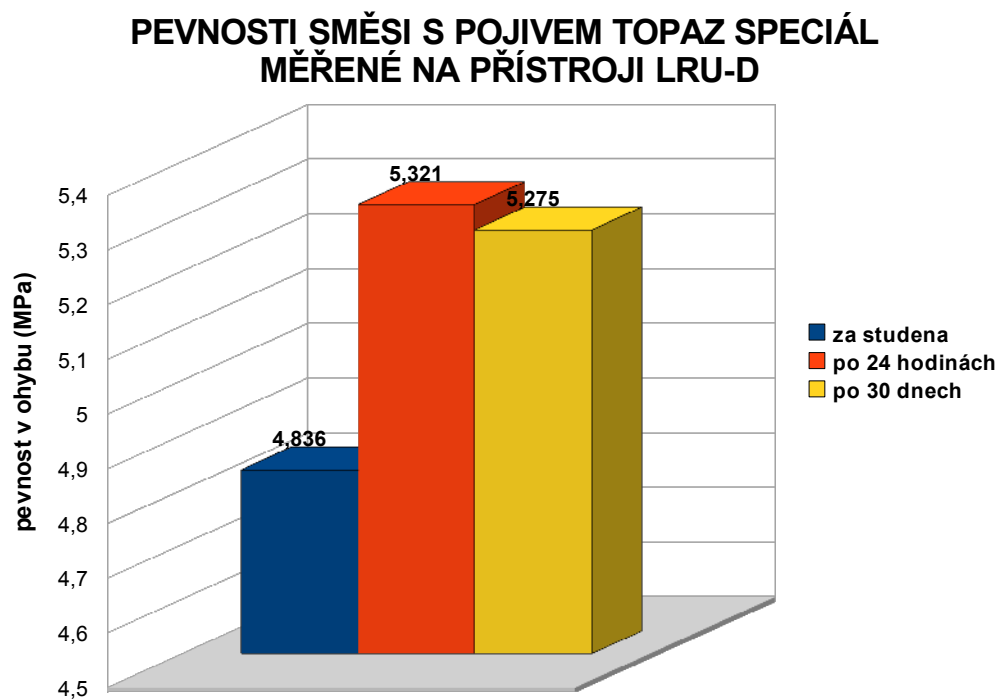
4.6 OVĚŘENÍ PEVNOSTÍ VYBRANÝCH ZKUŠEBNÍCH SMĚSÍ PŘESNÝM MĚŘENÍM NA PŘÍSTROJI LRU-D

Protože byl v laboratoři formovacích hmot zprovozněn mechanický pevnostní přístroj LRU-D (obr. 14), umožňující odstranit lidský faktor při zatěžování zkušebních vzorků, byly vzorky z jádrových směsí, které vykazovaly při předchozích zkouškách nejlepší výsledky (vzorky s pojivy: TOPAZ SPECIÁL, TOPAZ I a KOŽNÍ KLIH K-2) ještě podrobeny měření na tomto přístroji. Zatěžování vzorků na tomto přístroji je prováděno mechanicky tak, že závaží je motoricky posouváno konstantní rychlostí po rameni (páče) a tak je nárůst zatížení lineární bez vlivu obsluhy přístroje. Pro ověření pevností v ohybu a zbytkových pevností byl použit tentokrát dvojnásobný počet měření, tedy 10. Byla měřena pevnost zkušebních trámečků za studena, po 24 hodinách a po 30 dnech. Trámečky byly opět vstřeleny pod tlakem 0,6 MPa do kovového jaderníku zahřátého na 120 °C. Stejně vyrobené trámečky byly podrobeny i ohřevu na 200, 300, a 400 °C a po odstátí po dobu 24

hodin byla opět měřena jejich zbytková pevnost. Výsledky všech měření byly opět kontrolovány Grubbsovým testem pro vyloučení hrubé chyby měření. Výsledky měření pevností v ohybu jsou uvedeny v tabulkách č. 22 až 24 a grafech č. 25 až 27.

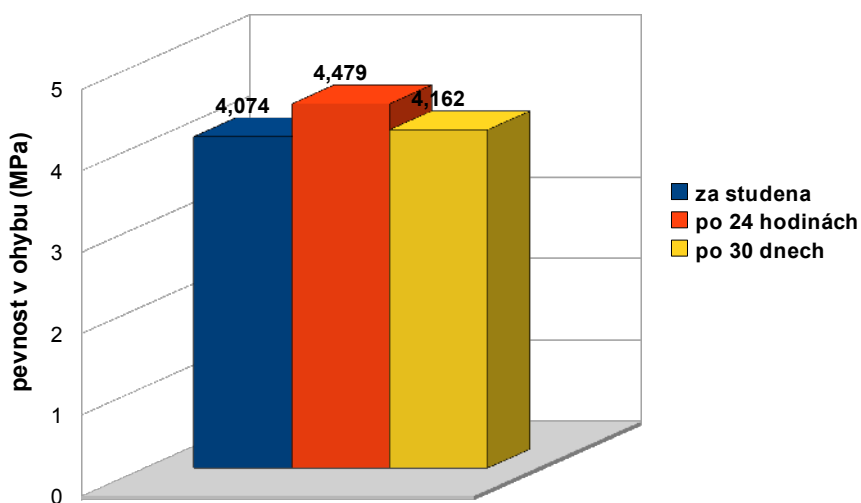


Obr. 14: pevnostní přístroj LRU-D



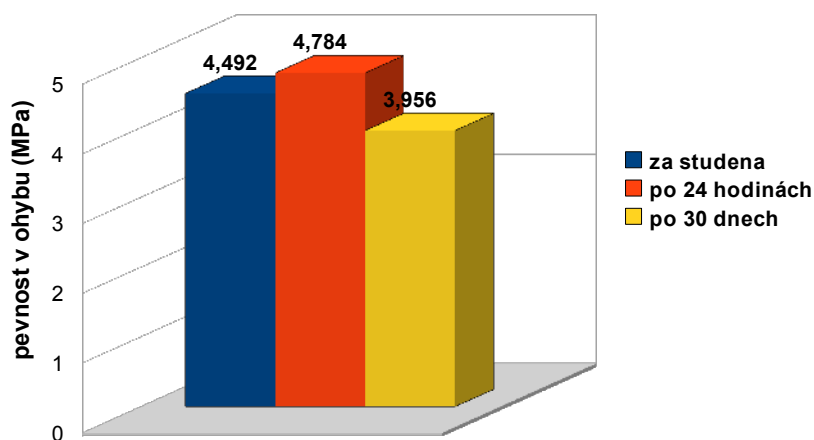
Graf 25: pevnosti v ohybu směsi s pojivem TOPAZ SPECIÁL měřené na přístroji LRU-D

PEVNOSTI SMĚSI S POJIVEM TOPAZ I MĚŘENÉ NA PŘÍSTROJI LRU-D



Graf 26: pevnosti v ohybu směsi s pojivem TOPAZ I měřené na přístroji LRU-D

PEVNOSTI SMĚSI S POJIVEM KOŽNÍ KLIH K-2 MĚŘENÉ NA PŘÍSTROJI LRU-D



Graf 27: pevnosti v ohybu směsi s pojivem KOŽNÍ KLIH K-2 měřené na přístroji LRU-D

Srovnání pevností směsí s pojivy TOPAZ SPECIÁL, TOPAZ I a KOŽNÍ KLIH K-2 získaných měřeními na přístroji GF a na přístroji LRU-D ukazuje, že při přesnějším měření na LRU-D se získají hodnoty pevností nižší než na přístroji GF kde je měření ovlivněno lidskou chybou. Rozdíl v naměřených pevnostech se snižuje s délkou doby odstátí zkušebních trámečků, přičemž u vzorků měřených po 30 dnech skladování je rozdíl minimální, maximálně jen 2 % směrem jak nahoru (TOPAZ I) tak i dolů (KOŽNÍ KLIH K-2) od hodnot naměřených na přístroji GF.

4.7 RECYKLOVATELNOST SMĚSI S BIOGENNÍM POJIVEM TOPAZ SPECIÁL

Možnost opětovného použití již použité formovací nebo jádrové směsi je důležitá vlastnost která má vliv na ekonomičnost a ekologičnost určité technologie. Rozlišujeme recyklaci směsi a regeneraci směsi. Recyklací rozumíme opětovné použití směsi, která ještě neprošla tepelným zatížením při odlití formy a pojivo tak nebylo ovlivněno vysokou teplotou, která může způsobit až jeho termodestrukci. Jedná se především o nepoužitá zmetková jádra nebo formy. Pojivo je ve směsi přítomno a není nutné ho před opětovným použitím směsi odstranit. Recyklovaná směs bývá pouze rozdrčena a přidána jako větší či menší podíl ke směsi nově připravené (používané např. u výroby jader metodou PUCB). Při regeneraci směsi je naopak nutné odstranit ze směsi pojivo které již bylo ovlivněno vysokou teplotou a zčásti může být vysokou teplotou degradováno. Rozpustnost biogenních pojiv, včetně pojiv zkoumaných v této práci, ve vodě dovoluje snadné odstranění pojiva z ostřiva a tedy regeneraci mokrou cestou.

Všechna zkoušená pojiva umožňují snadný rozklad vytvrzených nespálených jader ve vodě. Zkušební trámečky po vstřelení a vytvrzení se po vložení do kádinky s vodou samovolně rozpadly v čase asi 60 až 90 sekund, pouze trámečky s pojivem TOPAZ SPECIÁL bylo nutno podrobit minimálnímu silovému působení. Trámečky s tímto pojivem ve vodě změkly, ale držely si svůj tvar, samotná hmotnost vzorku nestačila k jeho samovolné destrukci.

Pro recyklaci směsi je jednodušší, než pojivo rozpouštět ve vodě a pak směs sušit na přijatelnou vlhkost, použít pouhé rozdrčení směsi v suchém stavu (např. ve vibračním drtiči) a následně zvlhčení rozdrčené směsi. Směs s pojivem TOPAZ SPECIÁL byla podrobena zkoušce recyklovatelnosti, byl použit následující postup: Ze směsi s 1% pojiva TOPAZ SPECIÁL byly vstřeleny do teplého jaderníku zkušební trámečky (pod tlakem 0,6 MPa), vytvrzeny při 120 °C/3 min. Na přístroji LRU-D byla změřena pevnost poloviny počtu vyrobených zkušebních trámeček za studena a po době odstátí 24 hodin. Pak byla druhá polovina počtu vyrobených zkušebních trámeček rozdrčena v malém vibračním drtiči viz obr. 15. Drtič je používán pro drcení zbytků jader z PUCB a nelze ho dokonale vyčistit, proto je směs kontaminována pojivovým systémem PUCB – dokazoval to i typický zápach rozdrčené zkušební směsi po projití drtičem. Z provozních důvodů (drtič pracuje ve komerční firmě) bylo bohužel možno provést pouze jeden cyklus drcení.

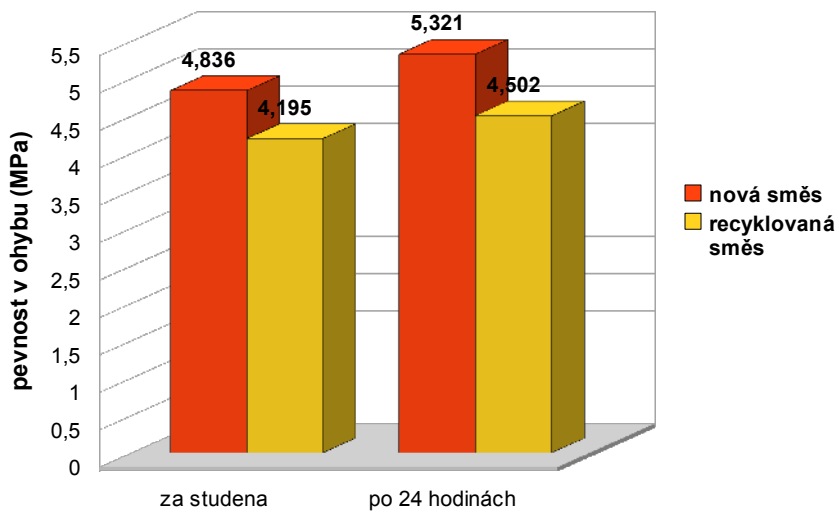
Rozdrčená směs byla prosáta přes síto o velikosti oka 1 mm, vložena do mísiče Kitchen Aid, mísená 1 minutu s přídatkem 4% vody, pak nechána 2 minutu odstát aby voda měla čas rozpustit pojivo a následně opět mísená 2 minuty. Takto připravená směs byla opět použita k výrobě zkušebních trámeček výše uvedeným postupem. Pro výrobu trámeček byla tedy použita pouze recyklovaná směs bez podílu nové směsi. Na přístroji LRU-D byly následně změřeny pevnosti v ohybu trámeček z recyklované směsi za studena a po době odstátí 24 hodin, výsledky měření byly opět zkontrolovány Grubbsovým testem a testem významnosti rozdílu mezi středními hodnotami a jsou uvedeny v tabulce č. 25. Ovlivnění pevnosti zkušebních trámeček použitím takto zrecyklované směsi (100 % recyklátu bez přídatku dalšího pojiva) je zřejmé z grafu č.28. Je zřejmé, že použitím 100 % recyklátu došlo ke snížení pevnosti v ohybu o asi 15 % což je dobrý výsledek vzhledem k tomu, že běžně se přidává do nové směsi jen určitý podíl (např. 10 %) recyklátu. Snížení pevnosti je zřejmě ovlivněno jistým úbytkem pojiva během drcení (nechtěným odprášením jemných podílů pojiva setřeného během drcení ze zrn ostřiva).

Vzhledem k nemožnosti použít jiné drtičí zařízení, které by bylo možno dokonale vyčistit od provozně používané PUCB směsi, nebylo bohužel možné specifikovat vliv znečištění recyklované směsi pojivovým systémem PUCB na její pevnost.



Obr. 15: zkušební trámečky ve vibračním drtiči

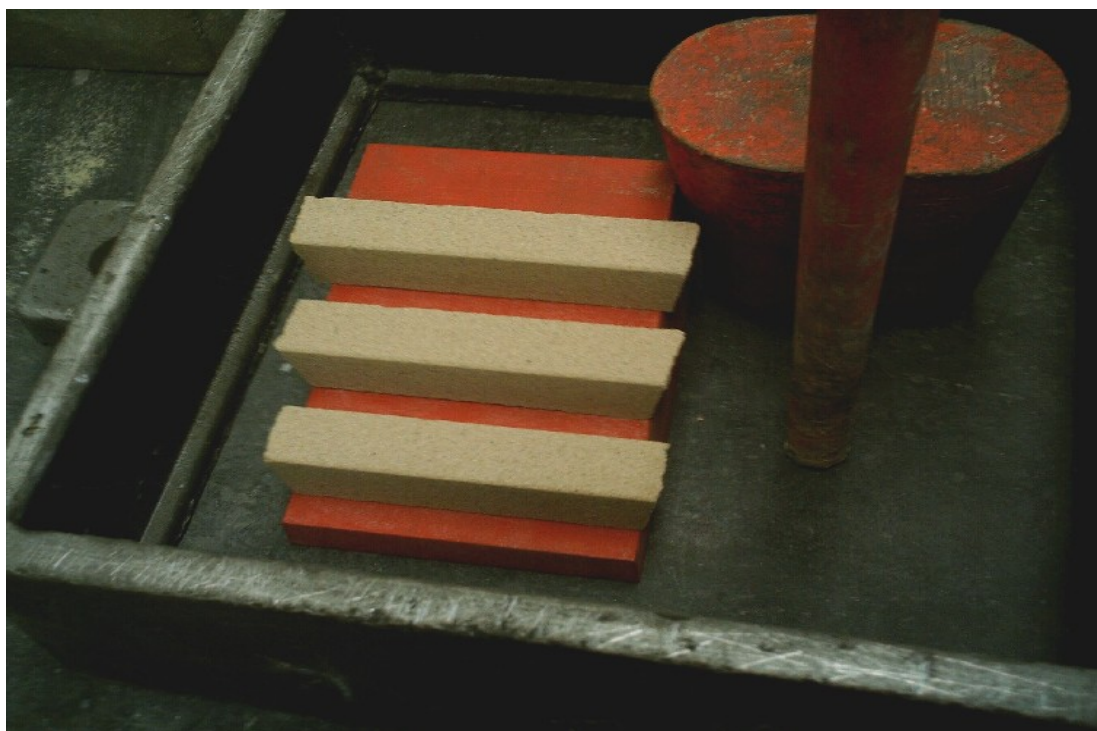
PEVNOSTI V OHYBU NOVÉ A RECYKLOVANÉ SMĚSI S POJIVEM TOPAZ SPECIÁL



Graf 28: Pevnosti v ohybu u nové a recyklované zkušební směsi s pojivem TOPAZ SPECIÁL

4.8 ZKOUŠKY ODLÉVÁNÍ Al SLITINY DO SMĚSÍ S BIOGENNÍMI POJIVY

Pojiva, která dosahovala dobré výsledky u předchozích zkoušek, konkrétně TOPAZ SPECIÁL, TOPAZ I a KOŽNÍ KLIH K-2, byla použita pro výrobu částí zkušební formy a jader pro odlévání Al slitiny. Al slitina byla zvolena z důvodu nízké teploty termodestrukce použitých pojiv. Byly opět vyrobeny zkušební trámečky metodou teplého jaderníku (vstřelovací tlak 0,6 MPa, teplota jaderníku 120 °C a doba vytvrzování 3 minuty), trámečky s pojivem TOPAZ SPECIÁL byly použity jako součást zkušební formy schodovitěho tvaru, přičemž byly umístěny do hran formy viz obr.16 a 17. Tyto hrany tvoří po odlití formy tekutým kovem vnitřní hrany odlitku a jsou tedy maximálně tepelně exponovány.



Obr. 16: umístění zkušebních trámečků na modelu před zaformováním formy



Obr.17: hrany formy tvořené zkušebními trámečky

Formovací směs pro formu byla samotuhnoucí, jako ostřivo byl použit písek ŠH 27, pojivový systém byl vodní sklo – ester. Na formu nebyl použit žádný ochranný nátěr. Forma byla odlita slitinou $AlSi8Cu3$, lící teplota byla $745\text{ }^{\circ}C$ (teplota byla měřena sondou THERM 2280-2), odlévalo se se sklonem. Po odlití a vytlučení formy byly plochy odlitku, vytvořené pomocí zkušebních trámečků, bez připečenin nebo jiných slévárenských vad viz obr. 18.



Obr. 18: zkušební odlitek z Al slitiny

Další zkouškou bylo použití zkušebních trámečků jako jader umístěných v tepelné ose nálitků aby se dosáhlo maximálního tepelného zatížení zkušebních směsí. Trámečky ze směsí s pojivy TOPAZ SPECIÁL, TOPAZ I a KOŽNÍ KLIH K-2 byly upevněny svisle do dna formy nálitků tak, že kopírovaly geometrickou a tedy i tepelnou osu nálitků. Opět nebyl použit žádný ochranný nátěr. Horní část jader nebyla nijak upevněna, jádra tedy byla fixována jen v jednom bodě ve dnu formy. Po odlití forem stejnou Al slitinou při stejné lící teplotě (stejná tavba), byly formy po ztuhnutí kovu a ochlazení na teplotu okolí otočeny spodkem nahoru, opatrně rozbity a z otvorů po jádrech v nálitcích byla vysypána jádrová směs se spáleným pojivem pro další zkoušky viz obr. 19. Síla stěny odlitků okolo jader se pohybuje od 30 do 40 mm. Odlitky byly rozřezány v rovině procházející podélnou osou otvorů a byl hodnocen povrch a tvar otvorů. Otvory nebyly zdeformovány, přesně kopírovaly tvar, rozměry a orientaci jader, lze tedy potvrdit, že jádra se během lití a tuhnutí odlitku nezdeformovala. V otvorech se nenacházely žádné připečeniny. Na stěnách otvorů a v jejich blízkosti se nacházely pouze vady plynoucí z umístění jader v tepelné ose nálitku – mikrostaženiny a trhliny viz obrázky 20 až 22. Pro ověření, že se jedná skutečně o vady typu mikrostaženin a nikoliv bublin, bylo okolí otvorů prohlédnuto pod optickým mikroskopem, kde bylo zjištěno, že tvar nehomogenit v materiálu skutečně neodpovídá bublinám (viz obr. 23 až 25). Pokud by se jednalo o dutiny způsobené plyny vznikajícími v jádre při ohřevu, byly by pravděpodobně soustředěny více nad vrcholem jádra a nikoliv na bocích vrcholu jádra. Rozmístění dutin navíc kopíruje polohu tepelného uzlu nálitku, proto se domnívám, že se skutečně jedná o mikrostaženiny.



Obr. 19: otvory v nálitcích po odstraněných zkušebních jádrech



Obr. 20: otvor po jádru s pojivem TOPAZ SPECIÁL



Obr. 21: otvor po jádru s pojivem TOPAZ I

Na obrázku č.20 jsou v okolí otvorů po jádrech vidět mikrostaženiny soustředěné pod vrcholem nálitku.

Na obrázku č. 21 je v okolí otvorů po jádrech vidět menší množství mikrostaženin soustředěných pod vrcholem nálitku. Na povrchu otvoru pravé poloviny nálitku je vpravo pod vrcholem nálitku zřetelná trhlinka vzniklá při tuhnutí nálitku. Trhlinka se nachází v oblasti, kde náletek tuhne nejpozději.

Na obrázku č. 22 jsou v okolí otvorů po jádrech vidět mikrostaženiny soustředěné pod vrcholem nálitku. Na povrchu otvoru levé poloviny nálitku je pod vrcholem nálitku zřetelná trhlinka vzniklá při tuhnutí nálitku.



Obr. 22: otvor po jádru s pojivem KOŽNÍ KLIH K-2



Obr. 23: mikrostaženiny v okolí otvoru po jádře s pojivem TOPAZ SPECIÁL



Obr. 24: mikrostaženiny v okolí otvoru po jádře s pojivem TOPAZ I



Obr. 25: mikrostaženiny v okolí otvoru po jádře s pojivem KOŽNÍ KLIH K-2

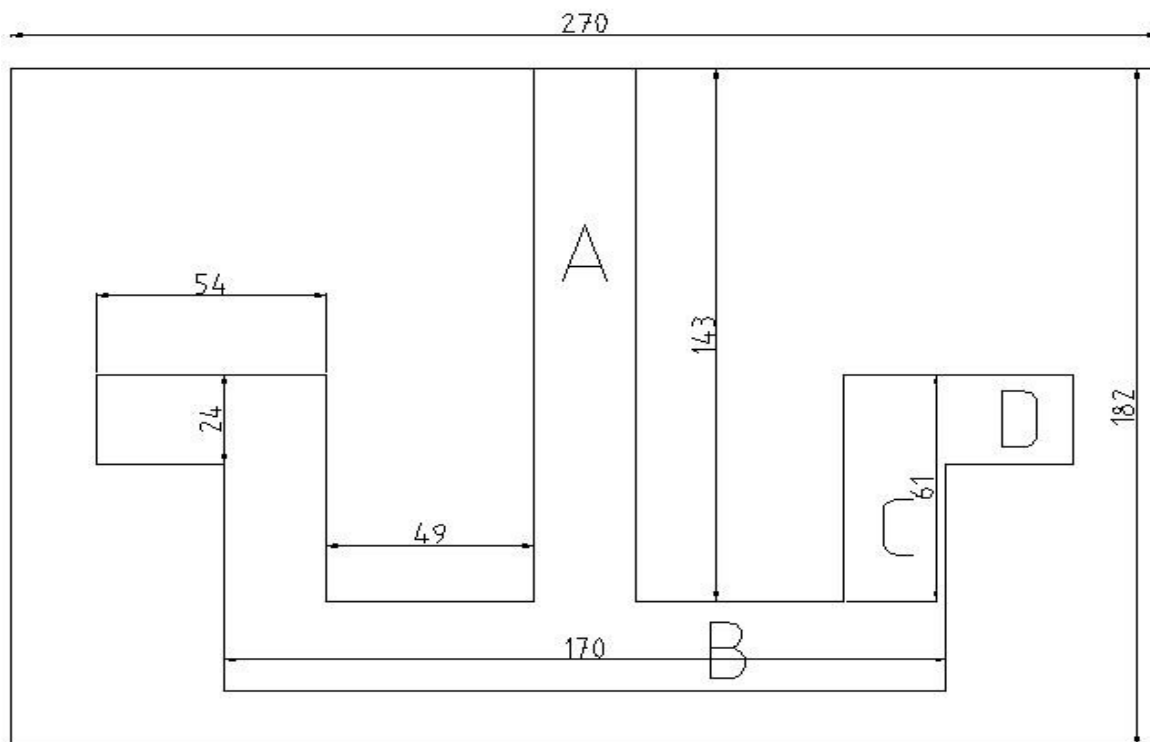
Na obrázku č. 23 je vidět okolí otvoru po jádře ze směsi s pojivem TOPAZ SPECIÁL, tvar malých otvorů na ploše řezu nálitkem odpovídá mikrostaženinám, nikoliv bublinám, které by mohly být způsobeny vývinem plynů z jádra během lití.

Na obrázku č. 24 je vidět okolí otvoru po jádře ze směsi s pojivem TOPAZ I, tvar malých otvorů na ploše řezu nálitkem také odpovídá mikrostaženinám, nikoliv bublinám, které by mohly být způsobeny vývinem plynů z jádra během lití.

Na obrázku č. 25 je vidět okolí otvoru po jádře ze směsi s pojivem KOŽNÍ KLIH K-2, tvar malých otvorů na ploše řezu nálitkem také odpovídá mikrostaženinám, nikoliv bublinám, které by mohly být způsobeny vývinem plynů z jádra během lití.

4.9 TEKUTOST JÁDROVÝCH SMĚSÍ S BIOGENNÍMI POJIVY

Důležitou vlastností formovacích a jádrových směsí je jejich schopnost kopírovat tvar modelu nebo jaderníku. Existuje více metod zkoušení tekutosti směsí (např. tzv. Shatter test), protože je snaha vyrábět co nejvíce menších jader strojním způsobem na vstřelovacích strojích, byl zvolen test tekutosti odpovídající této výrobní metodě. Do zkušební jaderníku (vyrobeného dle návrhu VŠB-TU Ostrava, fakulta metalurgie a materiálového inženýrství, katedra slévárenství) o průřezu dutiny 24 x 24 mm (viz obr. 26) byly vstřelovány zkušební jádrové směsi s pojivy TOPAZ SPECIÁL, TOPAZ I a KOŽNÍ KLIH K-2 při vstřelovacích tlacích 0,4 MPa, 0,5 MPa a 0,6 MPa. Bylo dbáno na to, aby vstřelovací hlava stroje byla vždy zcela zaplněna zkušební směsí a nemohlo tak dojít k „nedostřelení“ jádra z důvodu jejího nedostatku. Po vyjmutí jaderníku ze vstřelovacího stroje bylo hodnoceno vyplnění dutiny jaderníku (pole A až D) zkušební jádrovou směsí. Obrázky 25 až 33 dokumentují výsledky zkoušky tekutosti.



Obr. 26: zkušební jaderník pro zkoušku tekutosti jádrových směsí



Obr. 27: vstřelená směs s pojivem TOPAZ SPECIÁL při vstřelovacím tlaku 0,4 MPa

Obrázek č. 27 ukazuje, že zkušební jádrová směs s pojivem TOPAZ SPECIÁL při vstřelovacím tlaku 0,4 MPa dokonale zaplnila pole B, C a D. Pole A („vtokový kanál“ jaderníku) není zaplněno zcela, horní čtvrtina je prázdná. Došlo k mírnému prostřelení jádrové směsi do dělicí roviny jaderníku.

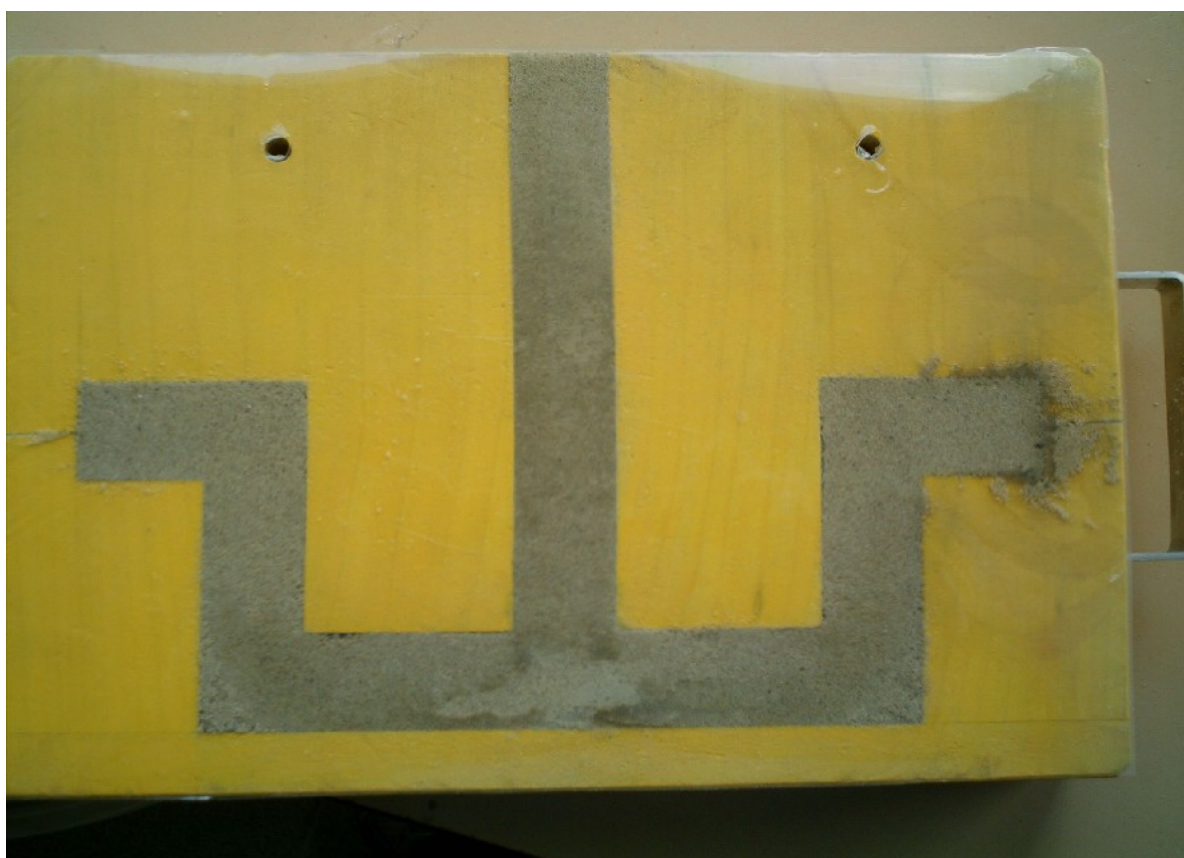
Zkušební jádrová směs s pojivem TOPAZ SPECIÁL při vstřelovacím tlaku 0,5 MPa opět dokonale zaplnila pole B, C a D (viz obr. 28). Pole A není zaplněno zcela, horní třetina je prázdná, zvýšení vstřelovacího tlaku z 0,4 na 0,5 MPa mělo mírně negativní vliv na zaplněnost jaderníku. Opět došlo k mírnému prostřelení jádrové směsi do dělicí roviny jaderníku.

Zkušební jádrová směs s pojivem TOPAZ SPECIÁL při vstřelovacím tlaku 0,6 MPa téměř dokonale zaplnila všechna pole jaderníku (viz obr. 29). Zvýšení vstřelovacího tlaku z 0,5 na 0,6 MPa mělo pozitivní vliv na zaplněnost jaderníku. Opět došlo k mírnému prostřelení jádrové směsi do dělicí roviny jaderníku.

Zkušební jádrová směs s pojivem TOPAZ I při vstřelovacím tlaku 0,4 MPa téměř dokonale zaplnila všechna pole jaderníku (viz obr. 30). Prostřelení směsi do dělicí roviny jaderníku je minimální.



Obr. 28: vstřelená směs s pojivem TOPAZ SPECIÁL při vstřelovacím tlaku 0,5 MPa



Obr. 29: vstřelená směs s pojivem TOPAZ SPECIÁL při vstřelovacím tlaku 0,6 MPa



Obr. 30: vstřelená směs s pojivem TOPAZ I při vstřelovacím tlaku 0,4 MPa



Obr. 31: vstřelená směs s pojivem TOPAZ I při vstřelovacím tlaku 0,5 MPa



Obr. 32: vstřelená směs s pojivem TOPAZ I při vstřelovacím tlaku 0,6 MPa

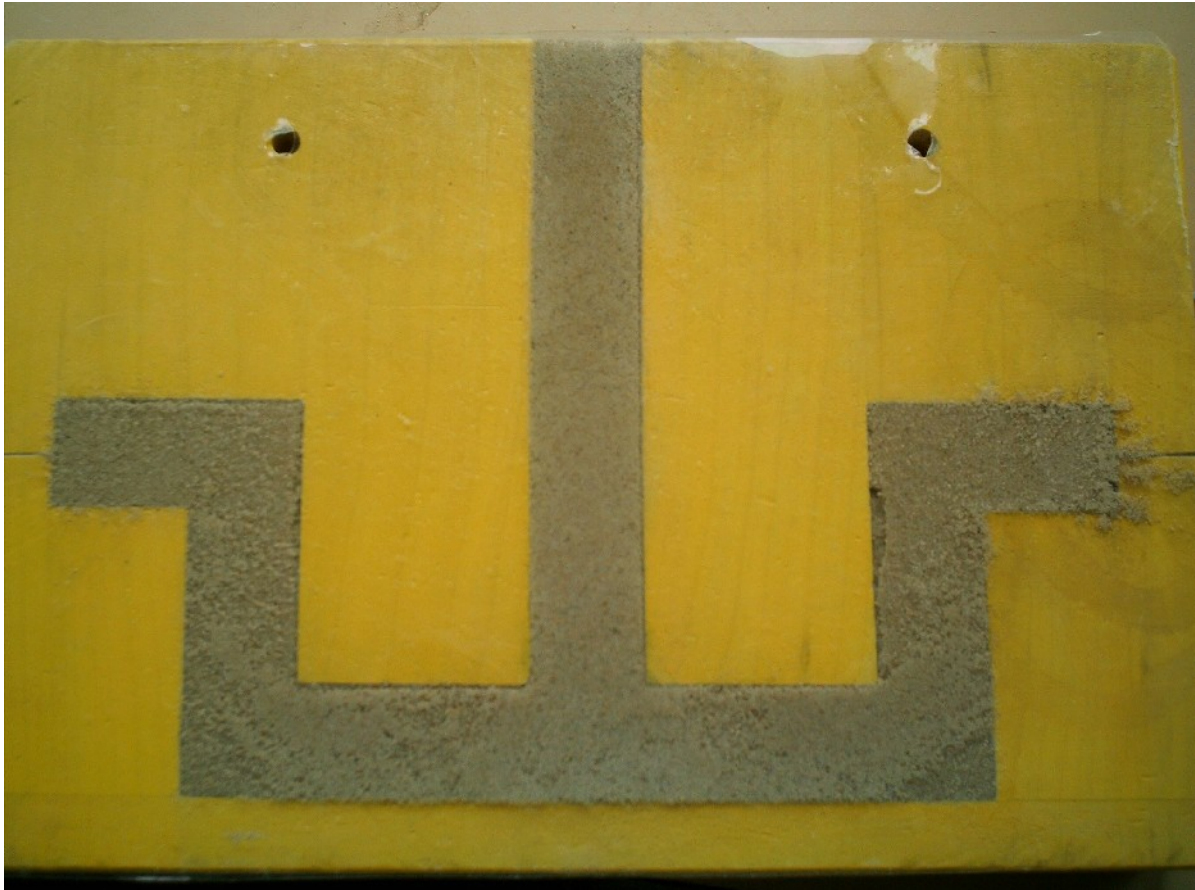


Obr. 33: vstřelená směs s pojivem KOŽNÍ KLIH K-2 při vstřelovacím tlaku 0,4 MPa

Zkušební jádrová směs s pojivem TOPAZ I při vstřelovacím tlaku 0,5 MPa nedokonale zaplnila pole C jaderníku, došlo k vytvoření „stínů“ v obou polích C (viz obr. 31). Zvýšení vstřelovacího tlaku z 0,4 na 0,5 MPa mělo negativní vliv na zaplněnost jaderníku. Prostřelení směsi do dělicí roviny jaderníku je minimální.

Zkušební jádrová směs s pojivem TOPAZ I při vstřelovacím tlaku 0,4 MPa téměř dokonale zaplnila všechna pole jaderníku (viz obr. 32), pouze v pravé části jaderníku v poli C se nachází malá „bublina“ nezaplňená směsí. Nedošlo k prostřelení směsi do dělicí roviny jaderníku. Zvýšení vstřelovacího tlaku z 0,5 na 0,6 MPa mělo pozitivní vliv na zaplnění jaderníku.

Obrázek č. 33 ukazuje, že zkušební jádrová směs s pojivem KOŽNÍ KLIH K-2 při vstřelovacím tlaku 0,4 MPa dokonale zaplnila všechna pole jaderníku. Nedošlo k prostřelení směsi do dělicí roviny jaderníku.



Obr. 34: vstřelená směs s pojivem KOŽNÍ KLIH K-2 při vstřelovacím tlaku 0,5 MPa

Po zvýšení vstřelovacího tlaku z 0,4 na 0,5 MPa nezaplnila směs s pojivem KOŽNÍ KLIH K-2 dokonale pravé pole C jaderníku, nachází se zde malý „stín“ nezaplňený jádrovou směsí (viz obr. 34). Došlo k mírnému prostřelení jádrové směsi do dělicí roviny pravé části jaderníku (vznik „stínu“ může mít souvislost s tímto prostřelením). Zvýšení vstřelovacího tlaku mělo mírně negativní vliv na zaplnění jaderníku.



Obr. 35: vstřelená směs s pojivem KOŽNÍ KLIH K-2 při vstřelovacím tlaku 0,6 MPa

Po zvýšení vstřelovacího tlaku z 0,5 na 0,6 MPa došlo k dokonalému zaplnění všech polí zkušebního jaderníku směsí s pojivem KOŽNÍ KLIH K-2 bez prostřelení směsi do dělicí roviny jaderníku (viz obr. 35).

Zhodnocení tekutosti zkušebních jádrových směsí:

Nejlepších výsledků dosáhla směs s pojivem KOŽNÍ KLIH K-2, zaplnění jaderníku bylo nejlepší při použití všech tří vstřelovacích tlaků, vliv výšky vstřelovacího tlaku na zaplněnost jaderníku byl minimální. Jako druhá nejlepší směs se ukázala směs s pojivem TOPAZ SPECIÁL, při nižších vstřelovacích tlacích sice docházelo k nezaplnění „vtokového kanálu“ jaderníku, to však lze řešit opakovaným vstřelem směsi do jaderníku. Nedocházelo ke tvorbě „stínů“ v jaderníku, pole B, C a D byla dokonale zaplněna při použití všech tří hodnot vstřelovacího tlaku. Nejhorších výsledků dosáhla směs s pojivem TOPAZ I, při tlaku 0,5 MPa došlo k vytvoření značných „stínů“ v poli C jaderníku. Směs s tímto pojivem nejvíce lepila na jaderník.

4.10 ZTRÁTA ŽÍHÁNÍM A VÝVIN PLYNŮ ZE SMĚSÍ S VYBRANNÝMI BIOGENNÍMI POJIVY

Hodnota zkoušky ztráty žíháním formovacích a jádrových směsí je důležitý parametr směsí, ze kterého lze usuzovat, jak vysoké bude nebezpečí vzniku vad typu bublin způsobených formovacími a jádrovými směsmi v odlitcích do těchto směsí odlévaných. Směsi s pojivy TOPAZ SPECIÁL, TOPAZ I a KOŽNÍ KLIH K-2 byly podrobeny této zkoušce ve stavu směsí po vytvrzení. Výhodnější je měřit přímo vývin plynů z těchto směsí během ohřevu a zkušební jádrové směsi byly tedy podrobeny i zkoušce kinetiky vývinu plynů.

4.10.1 Ztráta žíháním zkušebních směsí s biogenními pojivy ve stavu po vytvrzení

Vzorky jádrových směsí s pojivy TOPAZ SPECIÁL, TOPAZ I a KOŽNÍ KLIH K-2 byly rozdrceny a sušeny při konstantní teplotě 115 °C do konstantní hmotnosti. Následně byly žíhány při teplotě 900 °C po dobu 2 hodin v oxidační atmosféře. Byla zjištěna hmotnost před a po žíhání a z rozdílu byla vypočtena ztráta žíháním. Zkouška se vždy opakovala třikrát, výsledky se od sebe lišily jen nepatrně, proto nebyl prováděn Grubbsův test na odhalení hrubé chyby měření. Výsledky zkoušek jsou uvedeny v tabulce č. 27. Zprůměrované hodnoty ztráty žíháním ze tří měření jsou pro jednotlivé směsi následující:

směs s pojivem TOPAZ SPECIÁL 1,11 %

směs s pojivem TOPAZ I 1,09 %

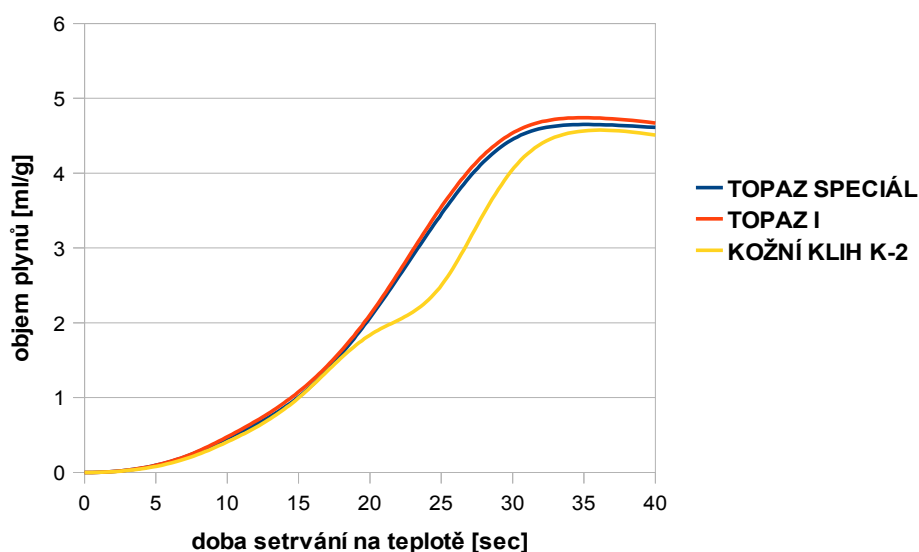
směs s pojivem KOŽNÍ KLIH K-2 1,10 %.

Hodnoty se tedy pohybují těsně nad 1 %, což lze považovat za velice dobrý výsledek.

4.10.2 Vývin plynů ze zkušebních směsí s biogenními pojivy

Jádrové směsi s pojivy TOPAZ SPECIÁL TOPAZ I a KOŽNÍ KLIH K-2 byly podrobeny (na VŠB-TU Ostrava, fakultě metalurgie a materiálového inženýrství, katedře slévárenství) zkoušce na vývin plynů, byla zjišťována kinetika vývinu plynů. Zkouška spočívá v ohřevu vzorku směsi (rozdrcené a homogenizované) za současného měření množství plynů, které se ze vzorku uvolňuje. Pro provedení zkoušky byla použita teplota 900 °C. Byly provedeny vždy 3 měření, výsledky se od sebe lišily jen nepatrně, proto nebyl prováděn Grubbsův test na odhalení hrubé chyby měření. Výsledky zkoušek jsou uvedeny v tabulce č. 28 a grafu č. 29. Průběh vývinu plynů z jednotlivých zkušebních směsí se příliš neliší (zvláště mezi pojivy TOPAZ SPECIÁL a TOPAZ I není prakticky žádný rozdíl).

KINETIKA VÝVINU PLYNŮ ZE ZKUŠEBNÍCH SMĚSÍ S BIOGENNÍMI POJIVY



Graf 29: kinetika vývinu plynů ze směsí s pojivy TOPAZ SPECIÁL, TOPAZ I a KOŽNÍ KLIH K-2

4.10.3 Srovnání ztráty žiháním se směsmi PUCB a FURAN ve stavu po vytvrzení

Pro srovnání bylo provedeno měření ztráty žiháním i u směsí s pojivovým systémem polyuretanového CB (PUCB) a u samotuhnoucí furanové směsi (FURAN). Provedení zkoušky bylo stejné jako v případě směsí s biogenními pojivy.

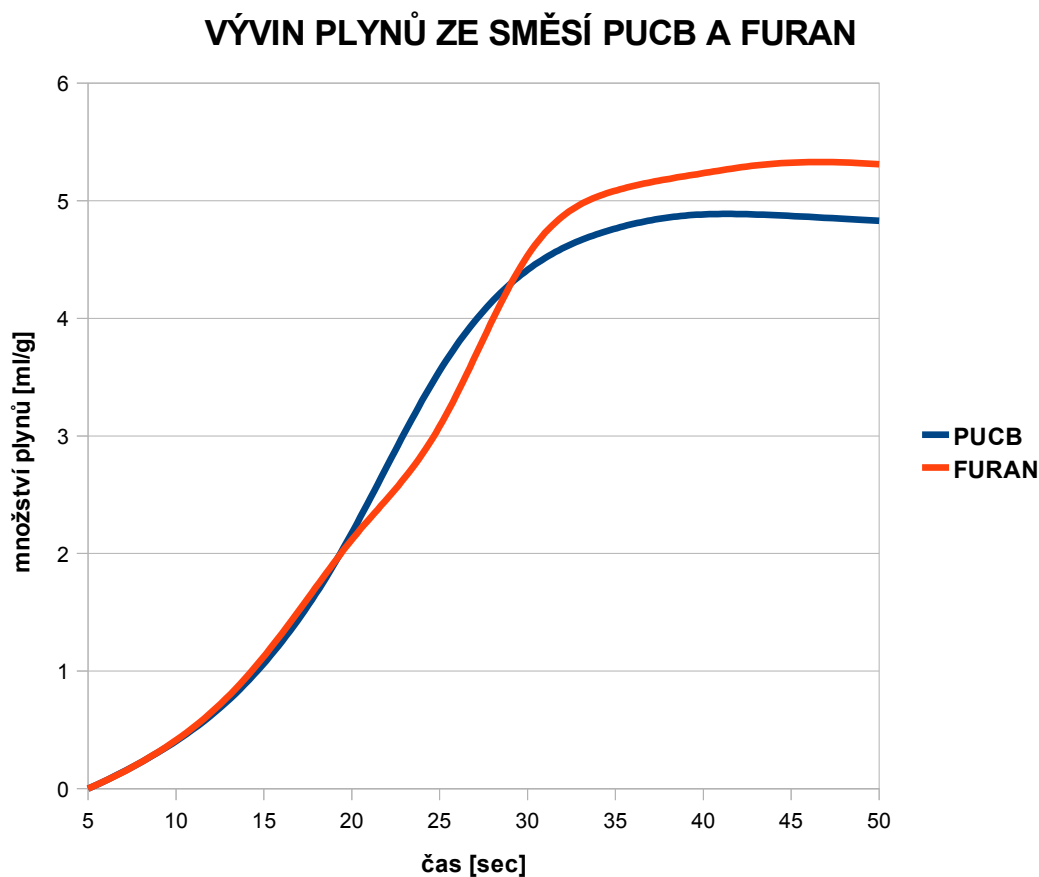
Zprůměrované hodnoty ztráty žiháním ze tří měření jsou pro jednotlivé směsi následující:

směs s pojivovým systémem PUCB	1,35 %
směs s pojivovým systémem FURAN	1,70 %

Ztráty žiháním těchto směsí jsou tedy vyšší než u biogenních pojiv. Množství pojiv a katalyzátorů použitých u těchto směsí bylo ovšem vyšší než u směsí s biogenními pojivy, konkrétně 1,2 % pojiva a 1,2 % tvrdidla u směsi PUCB a 1,2 % pojiva a 0,84 % aktivátoru u směsi FURAN.

4.10.4 Vývin plynů ze srovnávacích směsí s pojivovými systémy PUCB a FURAN

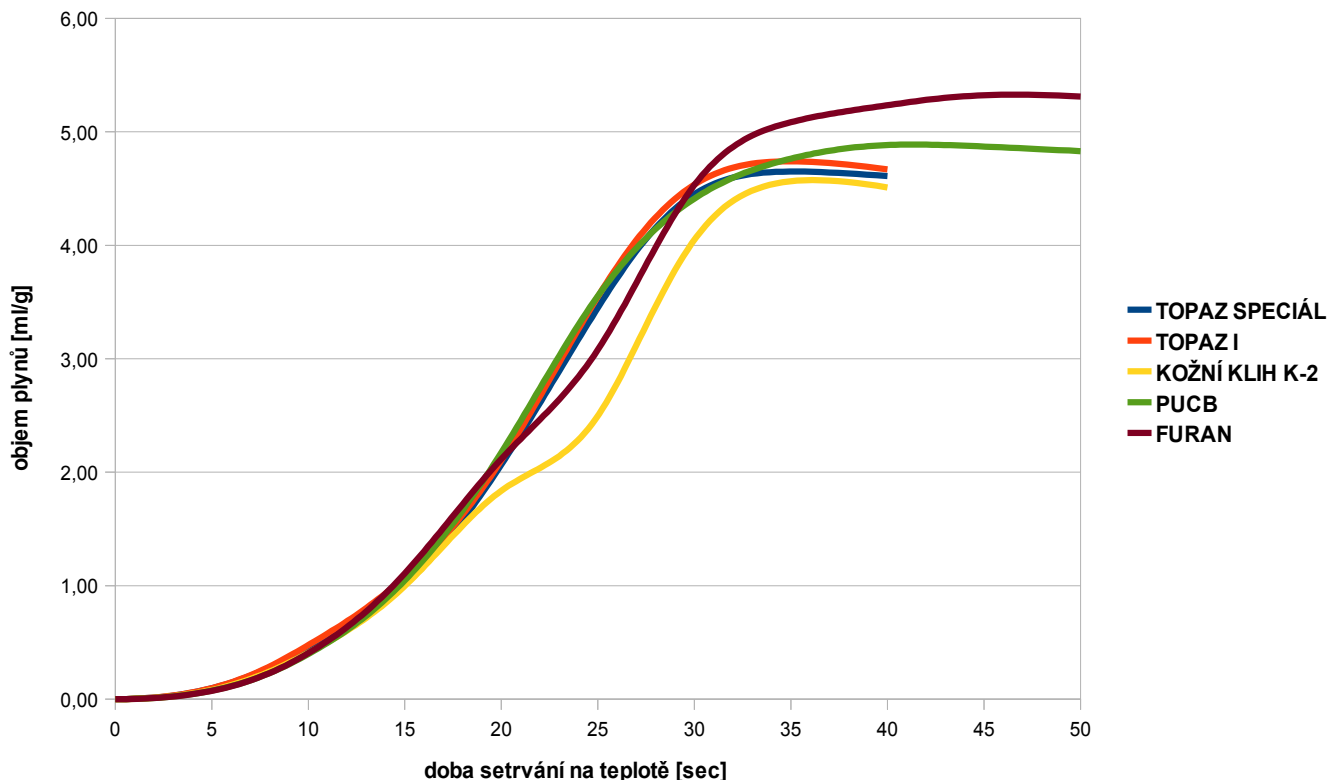
Za stejných podmínek jako u biogenních směsí byl zkoumán i vývin plynů ze směsí PUCB a FURAN.



Graf 30: kinetika vývinu plynů ze směsí PUCB a FURAN

Ze srovnání křivek z grafů č. 29 a 30 které je provedeno v grafu č. 31 je zřejmé, že pojivové systémy PUCB a FURAN mají posunut vrchol křivky vývinu plynů asi o 10 vteřin (na dobu asi 40 až 45 vteřin od počátku měření).

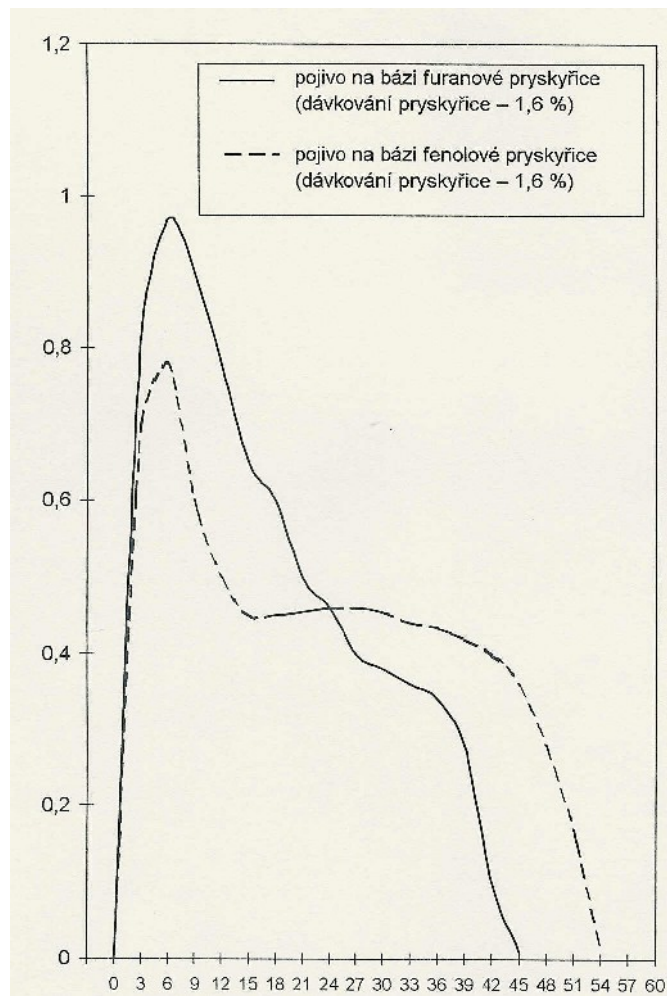
KINETIKA VÝVINU PLYNŮ SROVNÁNÍ



Graf 31: srovnání kinetiky vývinu plynů ze směsí s biogenními pojivy a ze směsí PUCB a FURAN

Pro srovnání je uveden i graf kinetiky vývinu plynů 2 směsí technologie HOT-BOX (viz graf č. 32) s pojivy na bázi furanové a fenolové pryskyřice, tato zkouška byla provedena při teplotě 1000 °C [25]. Zkoušky vývinu plynů u směsí s biogenními pojivy a u směsí pro technologii HOT-BOX nebyly bohužel provedeny za stejných podmínek, ale pro hrubé srovnání jsou použitelné.

Srovnání obou grafů ukazuje, že vývin plynů u biogenních pojiv je časově posunut: u furanové a fenolové pryskyřice je vrchol křivek u přibližně 9 sekund, u biogenních pojiv u přibližně 30 až 35 sekund. Tak velký rozdíl není pravděpodobně způsoben jen rozdílem mezi použitými teplotami u zkoušek.

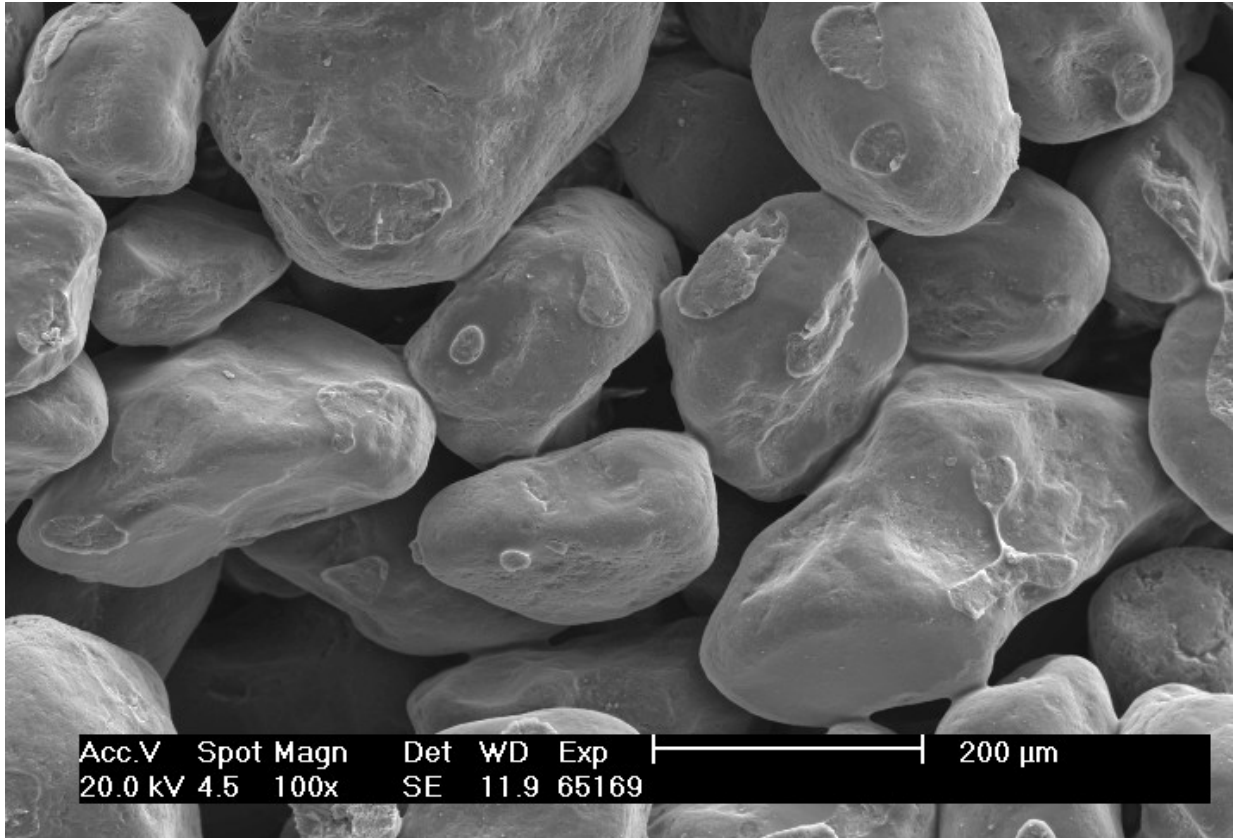


Graf 32: kinetika vývinu plynů z HB směsi s furanovou a fenolovou pryskyřicí [25]

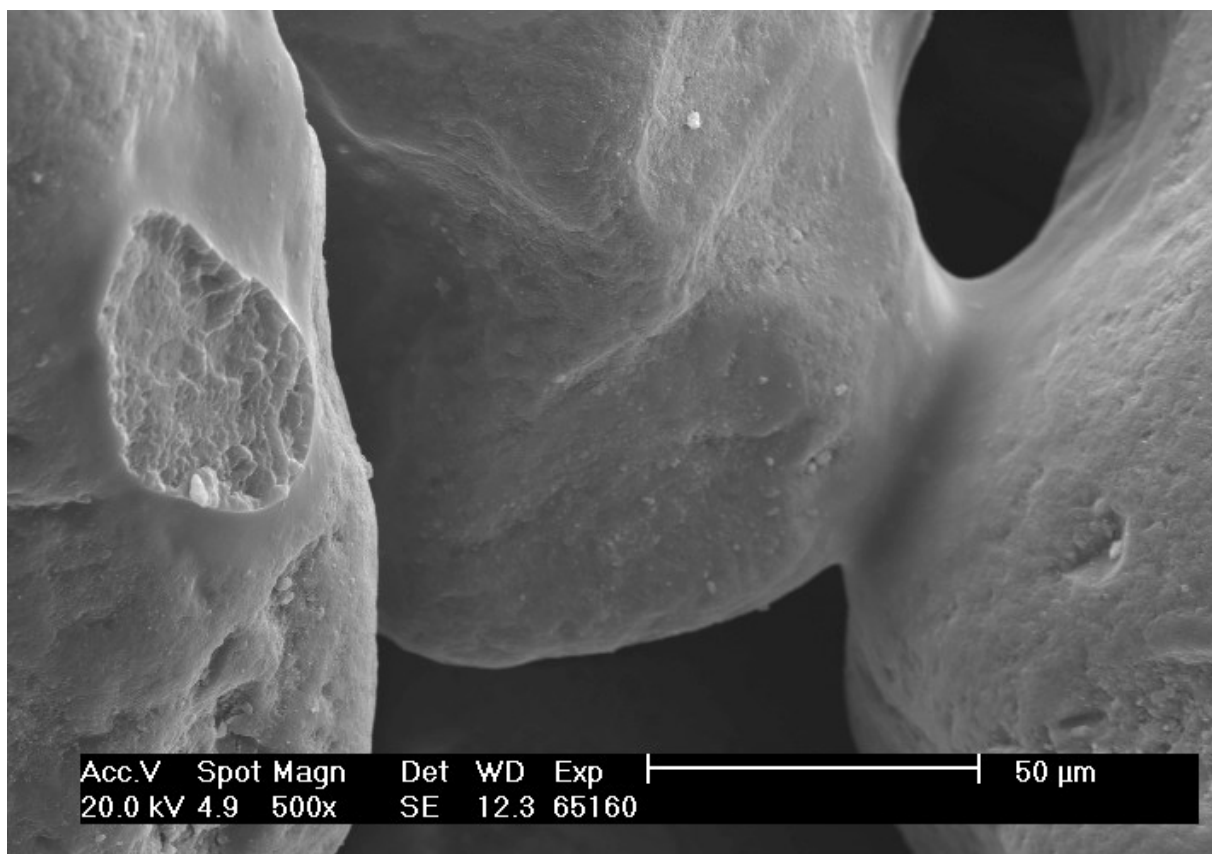
4.11 OBALENÍ ZRN OSTŘIVA POJIVEM A POJIVOVÉ MŮSTKY

Lomová plocha zkušebního trámečku z jádrové směsi s pojivem TOPAZ SPECIÁL byla po destrukci (zlomení trámečku v přístroji LRU-D) nasnímaná elektronovým rastrovacím mikroskopem pro zjištění kvality obalení zrn ostřiva (ŠH 22) a pro zjištění druhu destrukce pojivových můstků.

Na obrázcích 36 až 41 je patrné, že obalení zrn pojivem je výborné (napomáhá tomu jistě i kulatý tvar zrn ostřiva). Na kvalitu obalení zrn ostřiva pojivem má vliv způsob přípravy směsi [26, 27] včetně typu mísiče na kterém probíhá příprava směsi. Dle [27] se nejlépe osvědčila příprava směsi na prototypové válcovací stolici při které se využívá střižných sil působících na zrna. Při tomto způsobu přípravy směsi je obalení zrn nejlepší a následně jsou i nejvyšší pevnostní charakteristiky směsi. V této práci však není vliv přípravy směsi na obalení zrn ostřiva pojivem studován. Porušení pojivových můstků mezi zrny je adhezního typu.



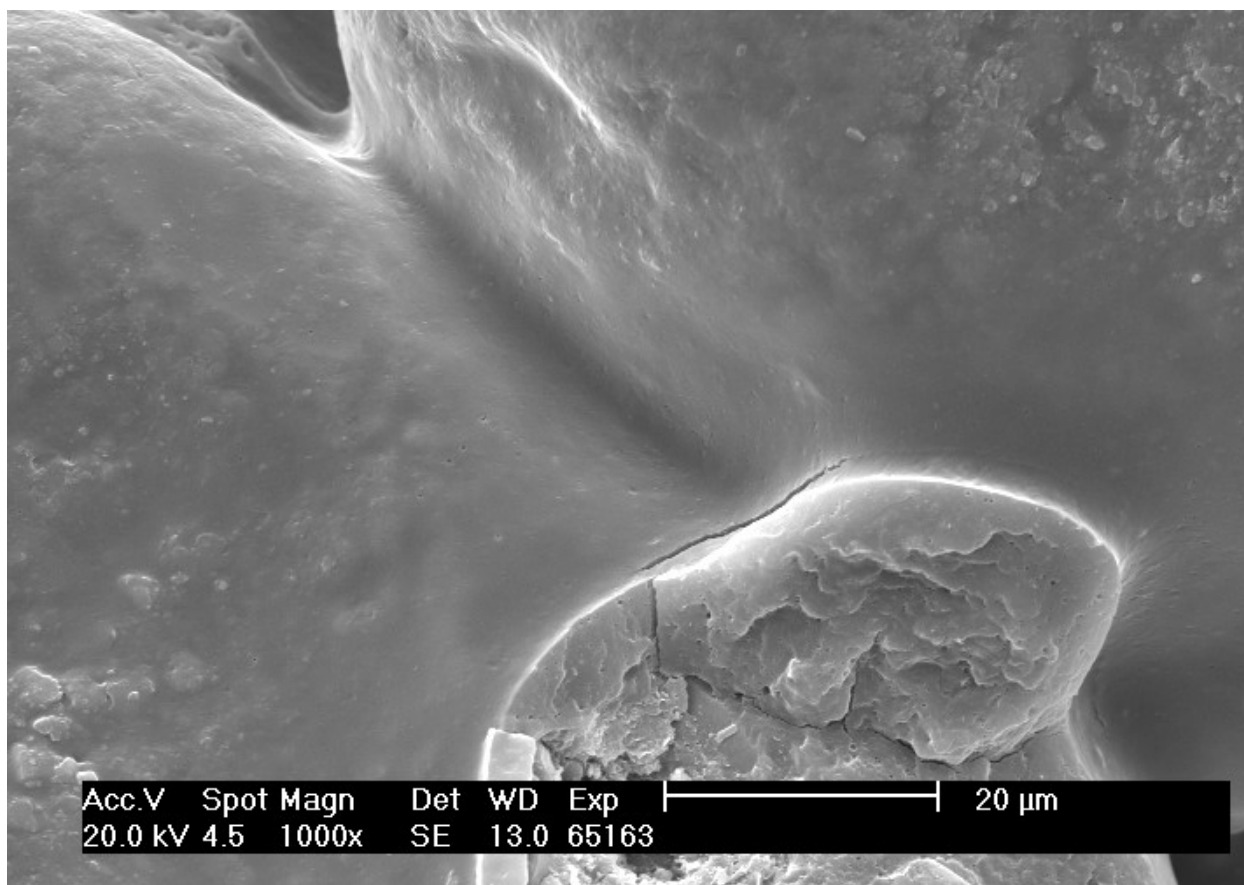
Obr. 36: zrna ostřiva obalená pojivem



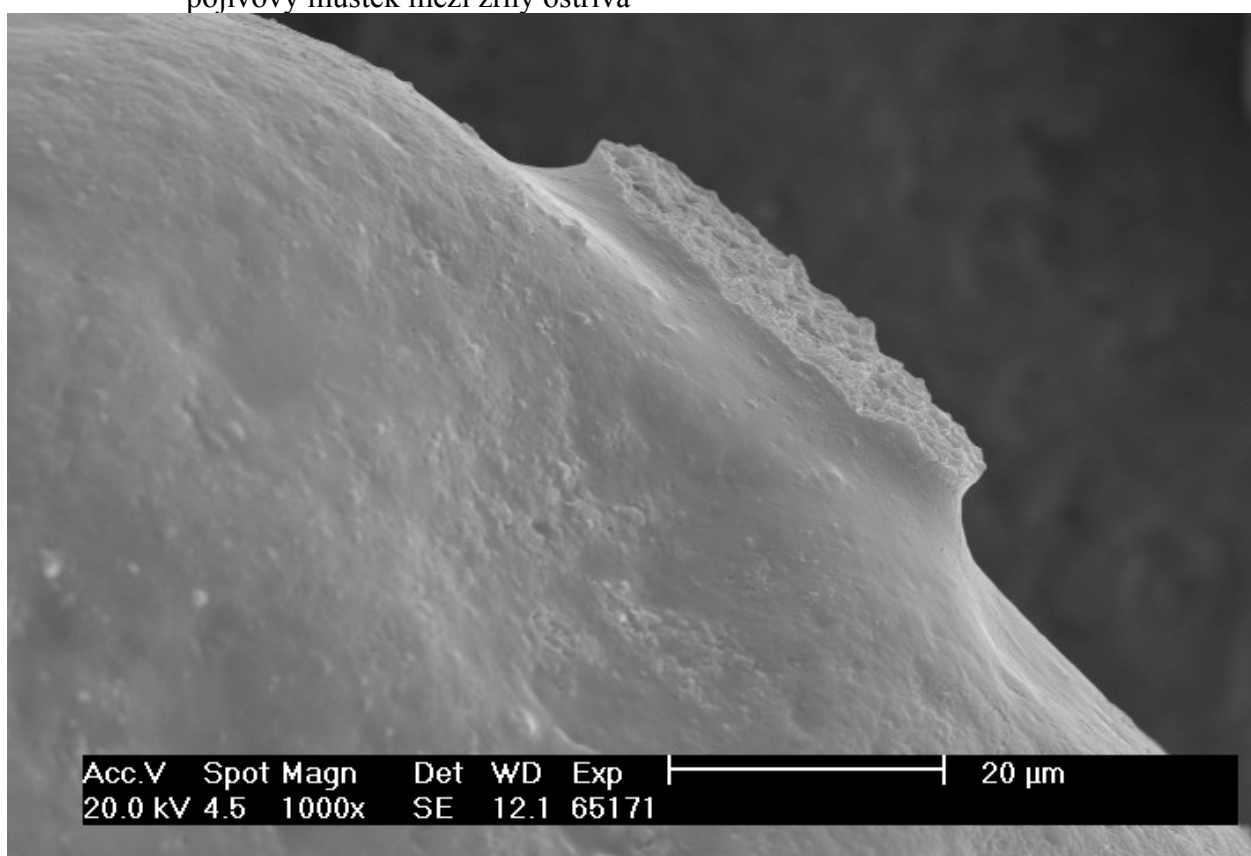
Obr. 37: pojivový můstek mezi zrny ostřiva a stopa po adhezním odtržení pojivového můstku od zrna ostřiva



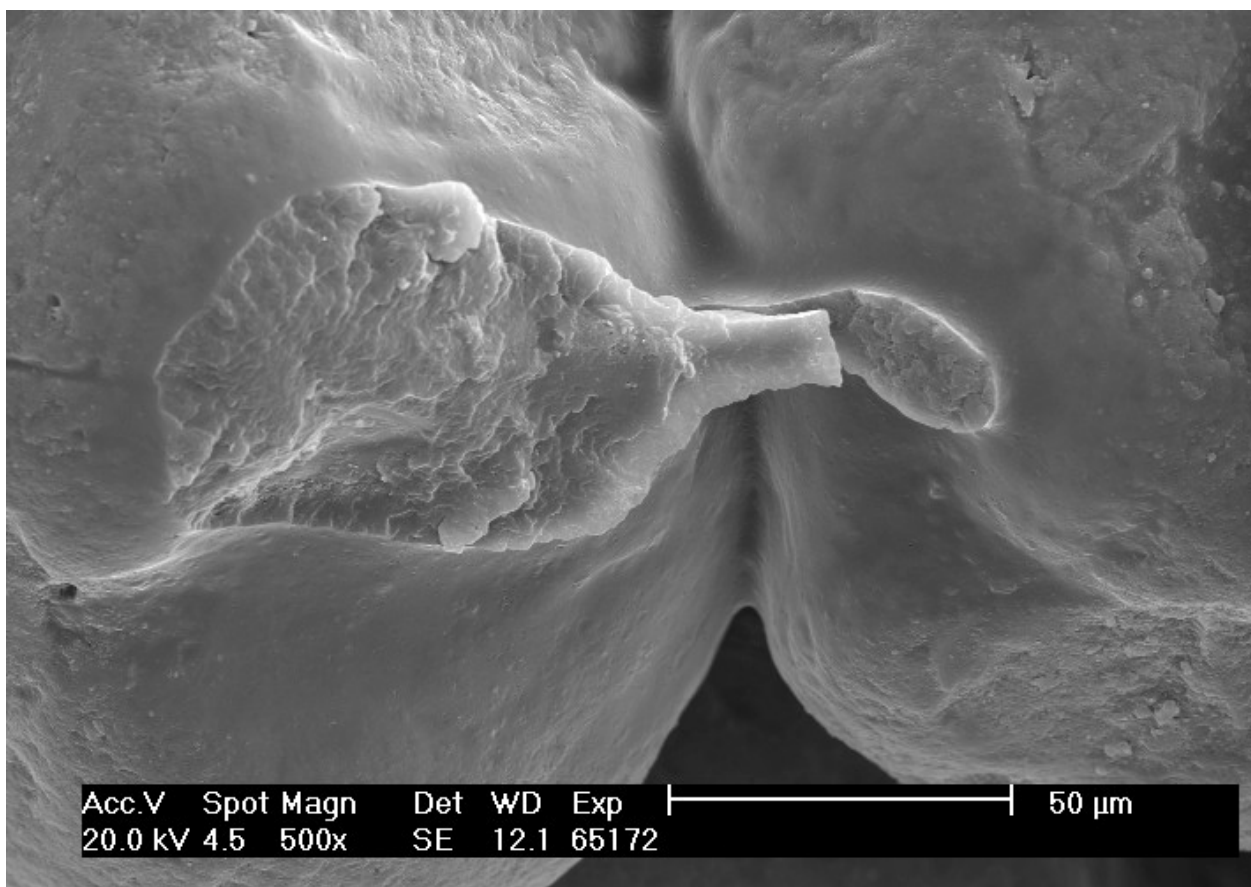
Obr. 38: stopa po adhezním odtržení pojivového můstku od zrna ostřiva a pojivový můstek mezi zrny ostřiva



Obr. 39: zvětšený obrázek stopy po adhezním odtržení pojivového můstku od zrna ostřiva a pojivový můstek mezi zrny ostřiva



Obr. 40: adhezní porušení pojivového můstku



Obr. 41: pojivový můstek mezi zrny ostřiva a adhezní porušení pojivového můstku

4.12 EKOLOGICKÉ VLASTNOSTI VYBRANÝCH BIOGENNÍCH POJIV

4.12.1 Obsah škodlivin ve vybraných biogenních pojivech

U pojiv TOPAZ SPECIÁL, TOPAZ I a KOŽNÍ KLIH K-2 byl zjišťován obsah polyaromatických uhlovodíků (PAU), obsah organického uhlíku a spalitelné síry. Analýzu provádělo akreditované pracoviště (Česká geologická služba, Zkušební laboratoř č. 1049.2 akreditovaná ČIA, o.p.s., Leitnerova 22, 658 69 Brno), výsledky jsou uvedeny v tabulce č.31 a v příloze č. 5.

4.12.2 Obsah škodlivin v použitých jádrových směsích s vybranými biogenními pojivy

Jádrové směsi, použité pro výrobu zkušebních jader do formy odlité Al slitinou (viz. kap.4.8) byly po odlití zkušebních odlitků ve tvaru nálitků také analyzovány na obsah PAU, organického uhlíku a spalitelné síry. Analýzu opět provádělo stejné akreditované pracoviště jako analýzu pojiv. Výsledky jsou uvedeny v tabulce č. 32 a v příloze č. 5. Souhrnné hodnoty PAU u jednotlivých pojiv jsou:

TOPAZ SPECIÁL: max. 0,0194 mg/g

TOPAZ I: max. 0,0188 mg/g

KOŽNÍ KLIH K-2: max. 0,0234 mg/g

Hodnoty jsou uváděny jako maximální proto, že obsah některých měřených polyaromatických uhlovodíků byl nižší než citlivost měřicího zařízení. V součtu byly proto použity hodnoty citlivosti zařízení. Srovnání těchto naměřených hodnot PAU s hodnotami uvedenými v Příloze č. 5 k vyhlášce č. 341/2008 Sb. [28] ukazuje, že použité („spálené“) jádrové směsi patří do třídy I dle této vyhlášky (v této třídě je povolené maximální množství PAU 3 mg/g) a dle Přílohy č. 6 k vyhlášce č. 341/2008 Sb. [29] jsou tedy použitelné „pro použití na povrchu terénu užívaného nebo určeného pro zeleň u sportovních a rekreačních zařízení včetně těchto zařízení v obytných zónách s výjimkou venkovních hracích ploch“. S deponiemi takového odpadu by tedy neměl být zásadní problém. Přítomnost PAU ve „spálené“ jádrové směsi je pravděpodobně způsobena nedokonalým spalováním pojiva v jádře v důsledku nedostatku kyslíku (vzduchu) přítomného v mezizrnových prostorách (pórech) jádra.

4.12.3 Obsah škodlivin v plynných spalinách jádrové směsi s pojivem TOPAZ SPECIÁL

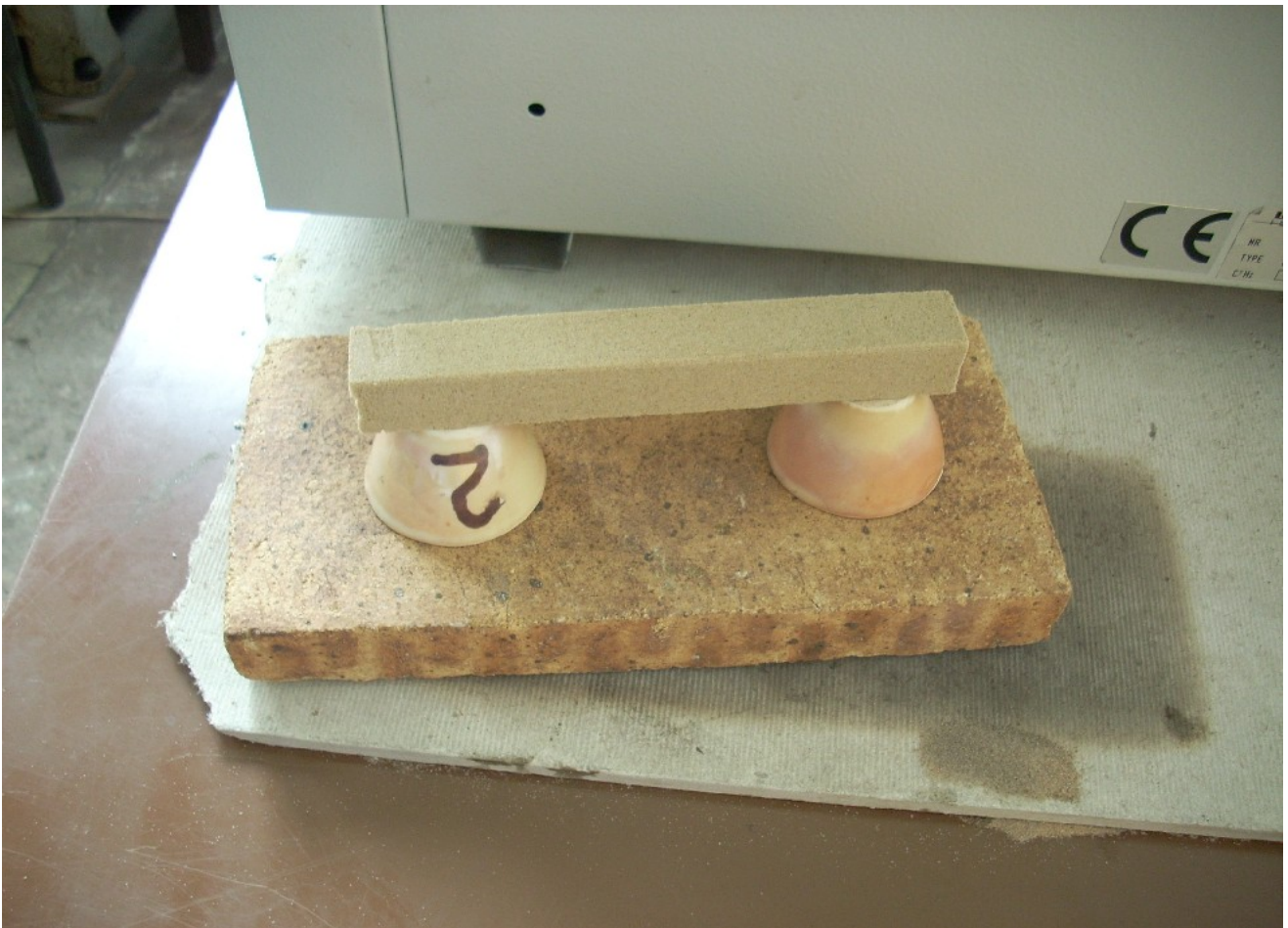
Obsah škodlivin, konkrétně PAU ve spalinách byl z finančních důvodů měřen pouze u jádrové směsi s pojivem TOPAZ SPECIÁL, měření prováděla akreditovaná firma (Laboratoř pro kontrolu emisí a imisí Detekta s.r.o., Franzova 63, 614 00 Brno, autorizovaná rozhodnutím MŽP ČR č.j. 2215/740/05 ze dne 29. 6. 2005).

Zkouška probíhala tak, že zvážený zkušební trámeček, vyrobený vstřelením z jádrové směsi s pojivem TOPAZ SPECIÁL byl uložen na 2 podpěry umístěné na žáruvzdorné destičce (viz. obr. 42) a poté vložen do laboratorní pece rozehřáté na 800 °C kde setrval 30 minut. Ihned po vložení vzorku do pece začal odběr spalin pro analýzu a trval po celou dobu, kdy vzorek setrval v peci. Na obrázku č. 43 je zařízení použité pro provedení odběru spalin. Vzorek se tedy postupně prohříval a rozpadal se tak, jak docházelo k tepelné degradaci pojiva. Po vyjmutí vzorku z pece byl vzorek dokonale rozpadlý (viz. obr. 44). Zkouška byla postupně provedena na třech vzorcích o hmotnostech 134,14 g, 134,46 g a 135,25 g. Výsledky jsou uvedeny v tabulce č. 33 a v příloze č. 6.

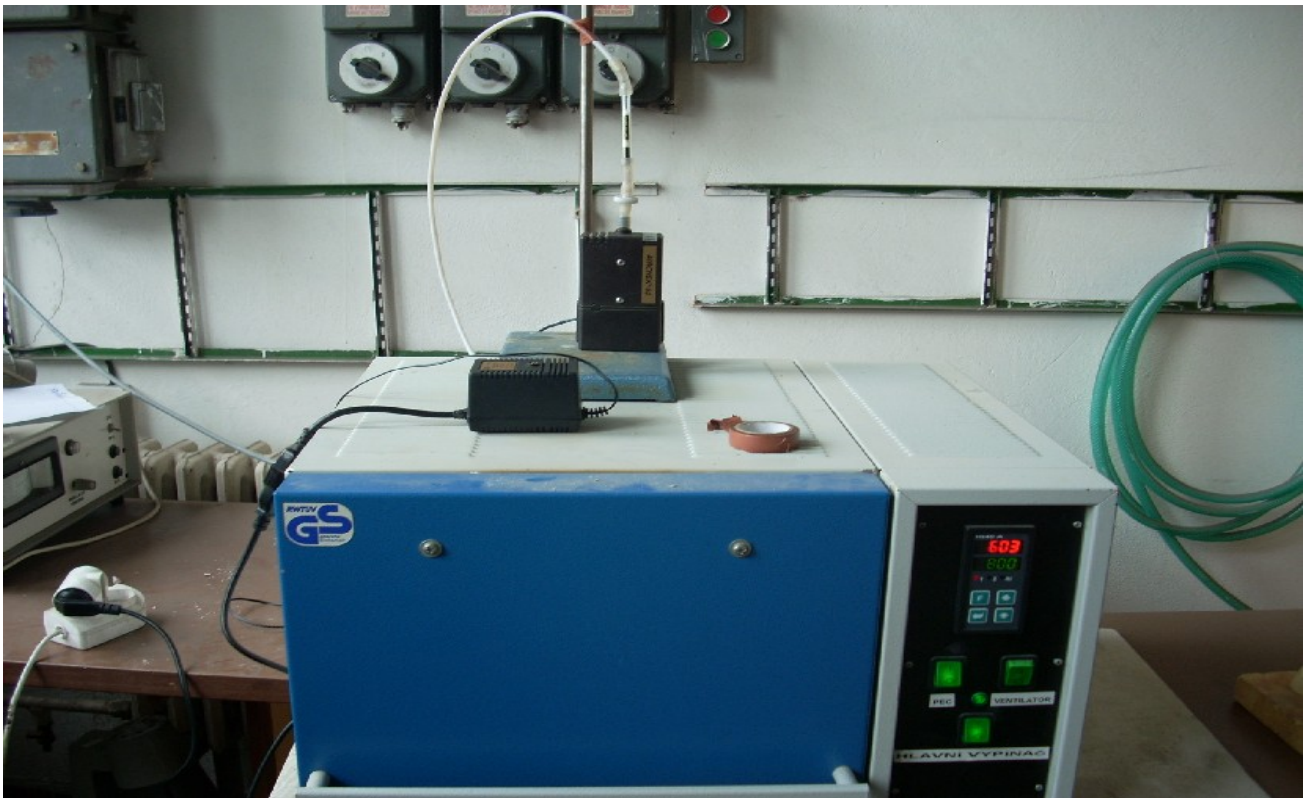
Průměrné hodnoty PAU (průměr ze 3 měření) ve spalinách jsou následující:

benzen	0,02627 mg/m ³
toluen	<0,00628 mg/m ³
ethylbenzen	<0,00628 mg/m ³
meta- & para- xylen	<0,00628 mg/m ³
ortho-xylen	<0,00628 mg/m ³
suma xylenů	<0,01256 mg/m ³
suma BTEX	0,03612 mg/m ³
cis-1,2-dichlorethen	<0,01256 mg/m ³
trichlorethen	<0,01256 mg/m ³
tetrachlorethen	0,05154 mg/m ³

Suma BTEX ve spalinách je maximálně 0,03612 mg/m³ (hodnoty u některých polyaromatických uhlovodíků byly opět nižší než práh citlivosti zkušební metody). Vztažení na objem spalin není příliš vypovídající hodnota, neboť ji lze ovlivnit objemem odtahovaných spalin nicméně uvádí ji i Příloha č. 1 k Nařízení vlády č. 615/2006 Sb. která se zabývá emisními limity v plynných odpadech. V této příloze není uveden limit PAU pro slévárenskou výrobu, pouze pro zdroje emisí při zpracování uhlí a tento limit činí pro tzv. velký zdroj 0,2 mg/m³. Tento limit je tedy o řád vyšší než naměřené hodnoty. Při vztažení na hmotnost zkoušené jádrové směsi jde o 0,008394 mg/kg jádrové směsi.



Obr. 42: zkušební trámeček na podporách před vložením do laboratorní pece



Obr. 43: zařízení pro měření PAU ve spalinách



Obr. 44: stav vzorku po vyjmutí z laboratorní pece

4.13 PROVOZNÍ ZKOUŠKA JÁDROVÉ SMĚSI S BIOGENNÍM POJIVEM KOŽNÍ KLIH K-2 PŘI ODLÉVÁNÍ ODLITKU Z Al SLITINY

Pro provozní zkoušku jádrových biogenních pojiv bylo použito (z provozních důvodů) pouze pojivo KOŽNÍ KLIH K-2. Byla namíšena jádrová směs (100 kg) o složení:

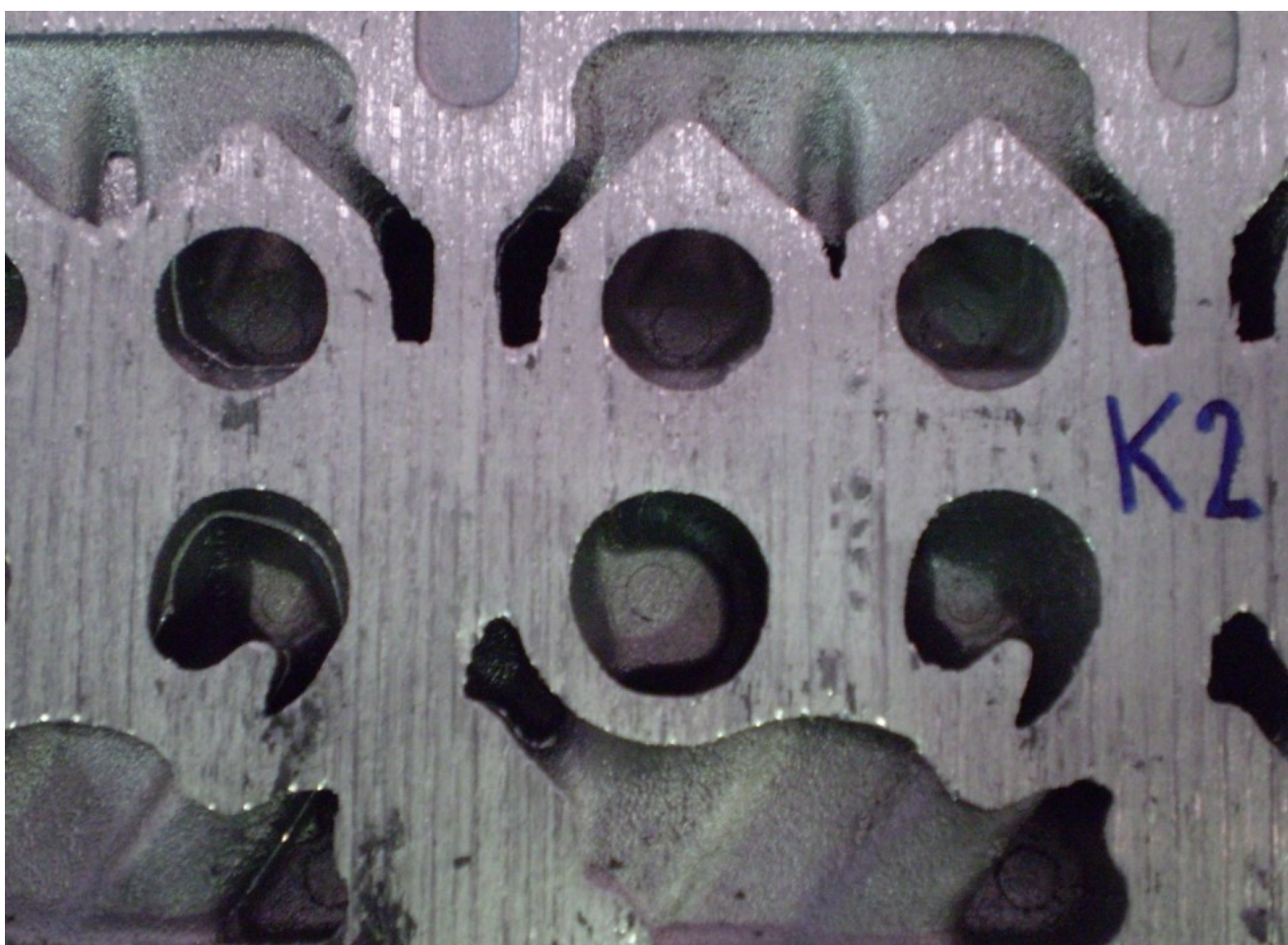
- 100 hmotnostních dílů ostřiva (70 % ŠH 32 a 30 % ŠH 30)
- 1,2 hmotnostních dílů pojiva KOŽNÍ KLIH K-2
- 1,9 hmotnostního dílu vody

Z této směsi bylo vstřeleno jádro hlavy motoru (viz obr. 45), teplota jaderníku se během procesu výroby jádra (vstřelení a vytvrzení) pohybovala v rozmezí 130 až 145 °C. Jádro bylo použito k odlití odlitku za slitiny $AlSi7Mg0,3$, lící teplota byla 710 – 720 °C.

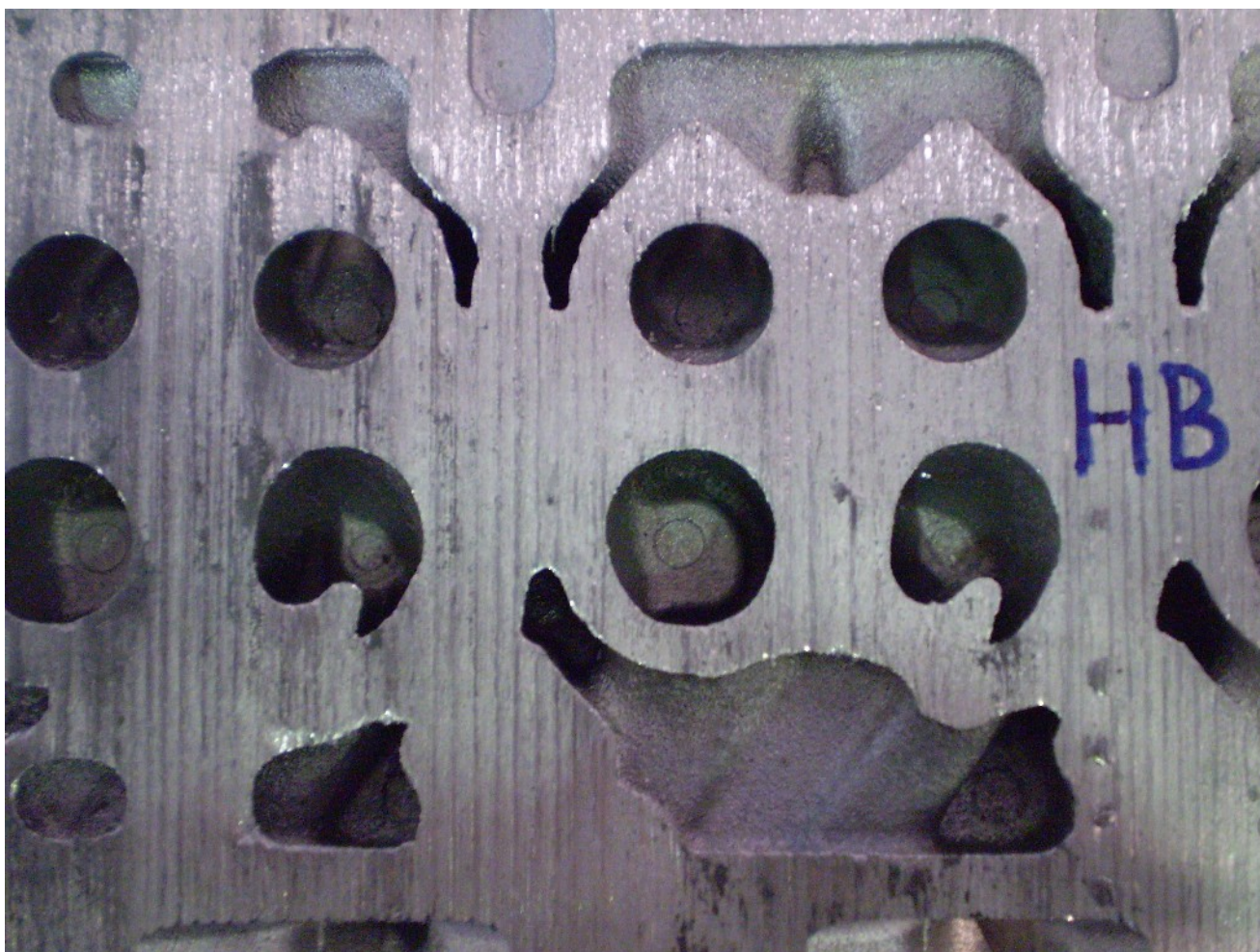


Obr. 45: jádro hlavy motoru

Odstranění jádrové směsi z odlitého odlitku bylo bezproblémové. Odlitek byl rozříznut aby bylo možno zkontrolovat kvalitu povrchu otvorů vytvořených zkušebním jádrem (viz obr. 46). Nebyla zjištěna žádná vada povrchu otvorů. Bylo provedeno i vizuální srovnání s povrchem otvorů v odlitku odlitého s běžně používaným jádrem vyrobeným technologií HB (viz obr. 47 a nebyl zjištěn žádný viditelný rozdíl.



Obr. 46: otvory v odlitku vytvořené jádrem s pojivem KOŽNÍ KLIH K-2



Obr. 47: otvory v odlitku vytvořené pomocí jádra vyrobeného technologií HB

5. ZÁVĚR

Disertační práce se zabývá zkoumáním možnosti použití biogenních látek jako pojiv slévárenských jádrových směsí. Zaměřuje se na materiály běžně dostupné na domácím trhu, vyráběné tuzemskou firmou TANEX Vladislav. Byly zkoušeny technologické vlastnosti jádrových směsí, ve kterých byly jako pojiva použity látky na bázi kožního klihu a technické želatiny s názvy TOPAZ SPECIÁL, TOPAZ I, KOŽNÍ KLIH K-2, KLIH MODIFIKOVANÝ a TECHNICKÁ ŽELATINA. Jádrové směsi byly vytvrzovány teplem, pojivo rozpuštěné ve vodě bylo teplem dehydrováno a směs tak získala pevnost. Ohřev byl prováděn pomocí kovového předeřátého jaderníku (metoda WB) a také pomocí mikrovláknového záření. Ze srovnání pevností dosažených oběma metodami vyplývá, že pevnosti dosažené oběma způsoby jsou obdobné. Po provedení části zkoušek byly materiály KLIH MODIFIKOVANÝ a TECHNICKÁ ŽELATINA z dalších zkoušek vyřazeny z těchto důvodů:

KLIH MODIFIKOVANÝ - rychlý pokles pevnosti v ohybu v závislosti na čase, pomalé rozpouštění ve vodě při přípravě vodního roztoku pojiva.

TECHNICKÁ ŽELATINA - vysoká lepivost směsi na horký jaderník, připékání pojiva na jaderník a obtížné vyjímání jádra z jaderníku.

Zbývající tři materiály jsou použitelné pro výrobu jader k odlévání Al slitin. Rozpustnost pojiv ve vodě dovoluje snadnou recyklaci jádrové směsi s nespáleným pojivem (TOPAZ SPECIÁL) a také snadné a k odlitkům šetrné odstranění těch částí jader, které nebyly dostatečně prohřáté aby se rozpadly.

Jádrové směsi s těmito pojivy nepodléhají během odlévání Al slitin tepelným deformacím, mají dostatečnou pevnost po vytvrzení, vysokou rozpadavost po odlití, hotová jádra lze skladovat. Směsi mají malý úbytek žíháním, při ohřevu vyvíjí málo plynů a mají příznivou kinetiku vývinu plynů ve srovnání s používanými pojivy technologie HB.

Důležitou vlastností je, že samotná pojiva i použité jádrové směsi se spálenými pojivy obsahují velmi malá množství PAU, dle Přílohy č. 5 k vyhlášce č. 341/2008 Sb. [28] patří použité („spálené“) jádrové směsi do třídy I dle této vyhlášky a dle Přílohy č. 6 k vyhlášce č. 341/2008 Sb. [29] jsou tedy použitelné „pro použití na povrchu terénu užívaného nebo určeného pro zeleň u sportovních a rekreačních zařízení včetně těchto zařízení v obytných zónách s výjimkou venkovních hracích ploch“. Deponie takového odpadu tedy nepůsobí ekologické škody, což by se mělo příznivě projevit i v ekonomičnosti výroby.

Plynné spaliny směsi s pojivem TOPAZ SPECIÁL obsahují o jeden řád nižší emise PAU než povoluje Příloha č. 1 k Nařízení vlády č. 615/2006 Sb. I když se tento limit netýká přímo slévárenské výroby, srovnání naměřených a povolených hodnot ukazuje, že použití biogenních pojiv je i v oblasti plynných odpadů ekologicky příznivé.

Pro používání zkoušených biogenních pojiv není nutné investovat do nového zařízení, lze použít zařízení pro metodu HB nebo WB buď zcela bez úprav nebo s přidáním finančně nenáročného zařízení pro profukování vstřelených jader v jaderníku horkým vzduchem (pro urychlení vytvrzování).

6. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A INTERNETOVÝCH ZDROJŮ:

- [1] JELÍNEK, P.: Slévárenské formovací směsi II. část - Pojivové soustavy formovacích směsí. VŠB Ostrava, 1996. 180 s. s.164 -166. ISBN 80-7078-326-5.
- [2] RUSÍN, K.: Disperzní formovací materiály. SNTL Praha, 1985, 184 s. s. 153 – 156.
- [3] EASTMAN, J.:Protein Based Binder Update: Performance Put to the Test. Modern Casting, October 2000, s. 32 – 34.
- [4] PARKER, D.: Benefits of organic sand binder in the core making process. Foundry Trade Journal, 2004, ISSN 0015-9042.
- [5] Testing by the Casting Emission Reduction Program has proven that GMBOND reduces VOC emissions by more than 90% in baseline comparisons to cores made with phenolic urethane resins. www.gmbond.com, 2005.
- [6] GIESE, S., R., THIEL, G., R.: Influence of GMBOND® Coated Olivine Core Sands on Olivine Green Sand Molding Properties. www.gmbond.com, 2005.
- [7] PARKER, D., HERREID, R.: Staying competitive with enviromentally friendly sand binders. <http://www.gmbond.com>, 2005.
- [8] Goverment – funded testing program finds GMBOND® sand binder significantly reduces casting emissions. <http://www.gmbond.com/info/cerpsummary.pdf>, 2001.
- [9] Six Foundry Chemicals and Their Effect on Human Health. http://www.gmbond.com/info_kit.htm, Health Shorts, 2010.
- [10] VELÍŠEK, J., HAJŠLOVÁ, J.: Chemie potravin I. OSSIS, 2009, ISBN 978-80-86659-15-2, s. 3.
- [11] KODÍČEK, M.: Biochemické pojmy: výkladový slovník. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha 2004, s. 130, ISBN 80-7080-551-X.
- [12] REISENAUER, R.: Co je to? Příručka pro každý den. Praha, 1982, s. 260.
- [13] KRAMÁŘOVÁ, D.: Možnosti využití biopolymerů jako složek pojiv IV. Generace. Disertační práce, VUT FCH, Brno, 2003, s.55.
- [14] SHI, J.,HUANG,T., SHI, H., HE, Z.: Technology and mechanism of a New Protein-based Core Sand for Aluminium Casting. Trans. Nonferrous Met. Soc. China, August 2001, Vol. 11, No. 4, p. 488 – 491.
- [15] Canadian Centre for Occupational Health and Safety: Health Effects of Acetone. http://ccohs.ca/oshanswers/chemicals/chem_profiles/acetone/heath_ace.html, 2010.

- [16] International Agency of Research on Cancer: Benzene – Summaries & Evaluations. <http://www.inchem.org/documents/iarc/suppl7/benzene.html>, 2010.
- [17] Integrovaný registr znečišťování. <http://www.irc.cz/latky/formaldehyd>, 2007.
- [18] Směrnice pro kvalitu ovzduší v Evropě. MŽP ČR, 1996, ISBN 80-7212-000-X.
- [19] Integrovaný registr znečišťování. <http://www.irc.cz/latky/naftalen>, 2007.
- [20] Bezpečnostní list ŽIVOČIŠNÝ KLIH "TOPAZ" – TECHNICKÁ ŽELATINA. TANEX Vladislav, a.s., 1999.
- [21] Bezpečnostní list GLUTINOVÉ LEPIDLA "GLUTAM DRY". TANEX Vladislav, a.s., 1999
- [22] GRUBBS, F.: Procedures for Detecting Outlying Observations in Samples. Technometrics, February 1969, Vol. 11, No. 1, p. 1-21.
- [23] www.romill.cz. 2010.
- [24] http://www.hlpc.cz/Validace/Prilohy_validace.htm. 2010.
- [25] VONDRÁČEK, R., GIENIEC, A.: Výroba jader metodou Hot box. Slévárenství, 2000, č. 4, s. 183 -185.
- [26] CUPÁK, P., RUSÍN, K.: Zkušenosti s výrobou a použitím jader s biogenním pojivem. Slévárenství, 2006, č. 1, s. 19–21, ISBN 0037-6825.
- [27] LAICHMAN, L.: Pojiva formovacích směsí IV. generace na bázi biogenních polymerů. Disertační práce, VUT FCH, Brno, 2008, s. 60.
- [28] Příloha č. 5 k vyhlášce č. 341/2008 Sb.
- [29] Příloha č. 6 k vyhlášce č. 341/2008 Sb.

7. PUBLIKAČNÍ ČINNOST K ŘEŠENÉMU TÉMATU

- [1] CUPÁK, P., RUSÍN, K.: Zkušenosti s výrobou a použitím jader s biogenním pojivem. Slévárenství, 2006, č. 1, s. 19–21, ISBN 0037-6825.
- [2] CUPÁK, P.: Biogenní pojiva jako ekologická alternativa k metodám HB a WB. 47. Slévárenské dny, Brno, 23.-24. června 2010, na CD, ISBN 978-80-904020-6-5.

8. SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

MEKP	metyletylketon peroxid	[-]
ppm	jedna miliontina celku (1% = 10 000 ppm)	[-]
CERP	Casting Emission Reduction Program, výzkumná skupina v USA	[-]
psi	jednotka tlaku (libra na čtvereční palec), 1 psi \approx 6 894,757 Pa	[lb _f /inch ²]
PUCB	metoda polyuretanového Cold - Boxu	[-]
PAU	polyaromatické uhlovodíky	[-]
pH	kyselost	[-]
ADV	Acid Demand Value = stanovení čísla kyselosti dle spotřeby kyseliny	[ml HCl]
Engler	jednotka kinematické viskozity (1 Engler = 7,581 x 10 ⁻⁶ m ² /s)	[m ² /s]
HB	metoda Hot – Box	[-]
WB	metoda Warm – Box	[-]
hm.%	hmotnostní procento	[-]
MW	metoda mikrovlnného ohřevu	[-]
TGA	termogravimetrická analýza	[-]
TG	křivka změny hmotnosti vzorku při TGA	[%]
DTG	derivace změny hmotnosti vzorku při TGA dle teploty	[% /°C]
BTEX	suma exhalací PAU	[mg/m ³]
TOC	organický uhlík	[-]
TS	spalitelná síra	[-]

9. PŘÍLOHY

SEZNAM OBRÁZKŮ:

Obr. 1: dehydratace pojiva na bázi biopolymerů

Obr. 2: zrna ostřiva ŠH 22

Obr. 3: mísič Kitchen Aid

Obr. 4: vstřelovací stroj Laempe L1-LAB-1

Obr. 5: regulátor vyhřívání jaderníku

Obr. 6: hydraulický pevnostní přístroj GF

Obr. 7: vrstva připečeného pojiva na jaderníku při použití pojiva TECHNICKÁ ŽELATINA

Obr. 8: jaderník pro mikrovlnné vytvrzování se zapěchovanými jádry a teploměrem SUMMIT SDT8

Obr. 9: mikrovlnná trouba IGNIS AKL 256/IG/WH

Obr. 10: teploměr SUMMIT SDT8

Obr. 11: infračervený pyrometr AMIR 7811 – 45

Obr. 12: laboratorní pec LINN LM 312.10

Obr. 13: zkušební trámečky po ohřevu na 400 °C

Obr. 14: pevnostní přístroj LRU-D

Obr. 15: zkušební trámečky ve vibračním drtiči

Obr. 15: umístění zkušebních trámeček na modelu před zaformováním formy

Obr. 17: hrany formy tvořené zkušebními trámečky

Obr. 18: zkušební odlitek z Al slitiny

Obr. 19: otvory v nálitcích po odstraněných zkušebních jádrech

Obr. 20: otvor po jádru s pojivem TOPAZ SPECIÁL

Obr. 21: otvor po jádru s pojivem TOPAZ I

Obr. 22: otvor po jádru s pojivem KOŽNÍ KLIH K-2

Obr. 23: mikrostaženiny v okolí otvoru po jádře s pojivem TOPAZ SPECIÁL

- Obr. 24: mikrostaženiny v okolí otvoru po jádře s pojivem TOPAZ I
- Obr. 25: mikrostaženiny v okolí otvoru po jádře s pojivem KOŽNÍ KLIH K-2
- Obr. 26: zkušební jaderník pro zkoušku tekutosti jádrových směsí
- Obr. 27: vstřelená směs s pojivem TOPAZ SPECIÁL při vstřelovacím tlaku 0,4 MPa
- Obr. 28: vstřelená směs s pojivem TOPAZ SPECIÁL při vstřelovacím tlaku 0,5 MPa
- Obr. 29: vstřelená směs s pojivem TOPAZ SPECIÁL při vstřelovacím tlaku 0,6 MPa
- Obr. 30: vstřelená směs s pojivem TOPAZ I při vstřelovacím tlaku 0,4 MPa
- Obr. 31: vstřelená směs s pojivem TOPAZ I při vstřelovacím tlaku 0,5 MPa
- Obr. 32: vstřelená směs s pojivem TOPAZ I při vstřelovacím tlaku 0,6 MPa
- Obr. 33: vstřelená směs s pojivem KOŽNÍ KLIH K-2 při vstřelovacím tlaku 0,4 MPa
- Obr. 34: vstřelená směs s pojivem KOŽNÍ KLIH K-2 při vstřelovacím tlaku 0,5 MPa
- Obr. 35: vstřelená směs s pojivem KOŽNÍ KLIH K-2 při vstřelovacím tlaku 0,6 MPa
- Obr. 36: zrna ostřiva obalená pojivem
- Obr. 37: pojivový můstek mezi zrny ostřiva a stopa po adhezním odtržení pojivového můstku od zrna ostřiva
- Obr. 38: stopa po adhezním odtržení pojivového můstku od zrna ostřiva a pojivový můstek mezi zrny ostřiva
- Obr. 39: zvětšený obrázek stopy po adhezním odtržení pojivového můstku od zrna ostřiva a pojivový můstek mezi zrny ostřiva
- Obr. 40: adhezní porušení pojivového můstku
- Obr. 41: pojivový můstek mezi zrny ostřiva a adhezní porušení pojivového můstku
- Obr. 42: zkušební trámeček na podporách před vložením do laboratorní pece
- Obr. 43: zařízení pro měření PAU ve spalínách
- Obr. 44: stav vzorku po vyjmutí z laboratorní pece
- Obr. 45: jádro hlavy motoru
- Obr. 46: otvory v odlitku vytvořené jádrem s pojivem KOŽNÍ KLIH K-2
- Obr. 47: otvory v odlitku vytvořené pomocí jádra vyrobeného technologií HB

SEZNAM TABULEK:

Tabulka 1: granulometrický rozbor ostřiva ŠH 22

Tabulka 2: chemický a fyzikální rozbor ostřiva ŠH 22

Tabulka 3: složení zkušebních jádrových směsí

Tabulka 4: pevnosti v ohybu směsi s pojivem TOPAZ SPECIÁL

Tabulka 5: pevnosti v ohybu směsi s pojivem TOPAZ I

Tabulka 6: pevnosti v ohybu směsi s pojivem TECHNICKÁ ŽELATINA

Tabulka 7: pevnosti v ohybu směsi s pojivem KOŽNÍ KLIH K-2

Tabulka 8: pevnost v ohybu směsi s pojivem KLIH MODIFIKOVANÝ

Tabulka 9: pevnosti zkušebních směsí po 30 dnech skladování

Tabulka 10: pevnost v ohybu směsi s pojivem TOPAZ SPECIÁL po mikrovlnném vytvrzování

Tabulka 11: pevnost v ohybu směsi s pojivem TOPAZ I po mikrovlnném vytvrzování

Tabulka 12: pevnost v ohybu směsi s pojivem TECHNICKÁ ŽELATINA po mikrovlnném vytvrzování

Tabulka 13: pevnost v ohybu směsi s pojivem KOŽNÍ KLIH K-2 po mikrovlnném vytvrzování

Tabulka 14: pevnost v ohybu směsi s pojivem KLIH MODIFIKOVANÝ po mikrovlnném vytvrzování

Tabulka 15: pevnosti zkušebních směsí vytvrzených mikrovlnným ohřevem po 30 dnech skladování

Tabulka 16: srovnání hmotností vstřelovaných a ručně pěstovaných zkušebních trámeček a kontrola, zda naměřené hodnoty hmotností nejsou zatíženy hrubou chybou měření

Tabulka 17: zbytkové pevnosti směsi s pojivem TOPAZ SPECIÁL

Tabulka 18: zbytkové pevnosti směsi s pojivem TOPAZ I

Tabulka 19: zbytkové pevnosti směsi s pojivem KOŽNÍ KLIH K-2

Tabulka 20: zbytkové pevnosti směsi s pojivem TECHNICKÁ ŽELATINA

Tabulka 21: zbytkové pevnosti směsi s pojivem KLIH MODIFIKOVANÝ

Tabulka 22: pevnost v ohybu směsi s pojivem TOPAZ SPECIÁL měřená na přístroji LRU-D

- Tabulka 23: pevnost v ohybu směsi s pojivem TOPAZ I měřená na přístroji LRU-D
- Tabulka 24: pevnost v ohybu směsi s pojivem KOŽNÍ KLIH K-2 měřená na přístroji LRU-D
- Tabulka 25: pevnost v ohybu směsi z nové a recyklované směsi za studena s pojivem TOPAZ SPECIÁL měřená na přístroji LRU-D
- Tabulka 26: pevnost v ohybu směsi z nové a recyklované směsi po 24 hodinách s pojivem TOPAZ SPECIÁL měřená na přístroji LRU-D
- Tabulka 27: ztráta žíháním směsí s pojivy TOPAZ SPECIÁL, TOPAZ I a KOŽNÍ KLIH K-2
- Tabulka 28: vývin plynů ze směsí s pojivy TOPAZ SPECIÁL, TOPAZ I a KOŽNÍ KLIH K-2
- Tabulka 29: ztráta žíháním směsí s pojivy TOPAZ SPECIÁL, TOPAZ I a KOŽNÍ KLIH K-2
- Tabulka 30: vývin plynů ze směsí s pojivy PUCB a FURAN
- Tabulka 31: obsah organického uhlíku, spalitelné síry a PAU ve vybraných biogenních pojivech
- Tabulka 32: obsah organického uhlíku, spalitelné síry a PAU v použitých jádrových směsích s vybranými biogenními pojivy
- Tabulka 33: obsah PAU ve spalinách jádrové směsi s pojivem TOPAZ SPECIÁL

SEZNAM GRAFŮ:

- Graf 1: srovnání emisí PAU metod GMBOND® a PUCB při odlévání Al slitin
- Graf 2: srovnání emisí metod GMBOND® a PUCB při odlévání litiny
- Graf 3: snížení emisí benzenu, naftalenu, fenolu, toluenu, xylenů a formaldehydu ve srovnání s použitím PUCB
- Graf 4: pevnosti v ohybu směsi s pojivem TOPAZ SPECIÁL
- Graf 5: pevnosti v ohybu směsi s pojivem TOPAZ I
- Graf 6: pevnosti v ohybu směsi s pojivem TECHNICKÁ ŽELATINA
- Graf 7: pevnosti v ohybu směsi s pojivem KOŽNÍ KLIH K-2
- Graf 8: pevnosti v ohybu směsi s pojivem KLIH MODIFIKOVANÝ
- Graf 9: pevnosti zkušebních vzorků po 30 dnech skladování
- Graf 10: pevnosti v ohybu směsi s pojivem TOPAZ SPECIÁL po mikrovlnném vytvrzování
- Graf 11: pevnosti v ohybu směsi s pojivem TOPAZ I po mikrovlnném vytvrzování
- Graf 12: pevnosti v ohybu směsi s pojivem TECHNICKÁ ŽELATINA po mikrovlnném vytvrzování
- Graf 13: pevnosti v ohybu směsi s pojivem KOŽNÍ KLIH K-2 po mikrovlnném vytvrzování
- Graf 14: pevnosti v ohybu směsi s pojivem KLIH MODIFIKOVANÝ po mikrovlnném vytvrzování
- Graf 15: pevnosti zkušebních vzorků vytvrzených mikrovlnným ohřevem po 30 dnech skladování
- Graf 16: srovnání pevností v ohybu dosažených metodou WB a mikrovlnným ohřevem
- Graf 17: zbytkové pevnosti směsi s pojivem TOPAZ SPECIÁL
- Graf 18: zbytkové pevnosti směsi s pojivem TOPAZ I
- Graf 19: zbytkové pevnosti směsi s pojivem KOŽNÍ KLIH K-2
- Graf 20: zbytkové pevnosti směsi s pojivem TECHNICKÁ ŽELATINA
- Graf 21: zbytkové pevnosti směsi s pojivem KLIH MODIFIKOVANÝ
- Graf 22: TGA pojiva TOPAZ SPECIÁL

Graf 23: TGA pojiva TOPAZ I

Graf 24: srovnání TGA poživ TOPAZ SPECIÁL a TOPAZ I

Graf 25: pevnosti v ohybu směsi s pojivem TOPAZ SPECIÁL měřené na přístroji LRU-D

Graf 26: pevnosti v ohybu směsi s pojivem TOPAZ I měřené na přístroji LRU-D

Graf 27: pevnosti v ohybu směsi s pojivem KOŽNÍ KLIH K-2 měřené na přístroji LRU-D

Graf 28: pevnosti v ohybu u nové a recyklované zkušební směsi s pojivem
TOPAZ SPECIÁL

Graf 29: kinetika vývinu plynů ze směsi s pojivy TOPAZ SPECIÁL, TOPAZ I a KOŽNÍ KLIH K-2

Graf 30: kinetika vývinu plynů ze směsi PUCB a FURAN

Graf 31: srovnání kinetiky vývinu plynů ze směsi s biogenními pojivy a ze směsi PUCB a FURAN

Graf 32: kinetika vývinu plynů z HB směsi s furanovou a fenolovou pryskyřicí [25]

SEZNAM BEZPEČNOSTNÍCH LISTŮ A PROTOKOLŮ O ZKOUŠKÁCH:

příloha 1: BEZPEČNOSTNÉ ÚDAJE O MATERIÁLI KREMENNÝ PIESOK

příloha 2: MATERIAL SAFETY DATA SHEET GMBOND® Sand Binder

příloha 3: BEZPEČNOSTNÍ LIST ŽIVOČIŠNÝ KLIH "TOPAZ" – TECHNICKÁ ŽELATINA,
TANEX Vladislav, a.s., 1999

příloha 4: BEZPEČNOSTNÍ LIST GLUTINOVÉ LEPIDLA "GLUTAM DRY", TANEX Vladislav,
a.s., 1999

příloha 5: Protokol o zkoušce číslo PZK2010031801A (Česká geologická služba)

příloha 6: Protokol o zkoušce číslo PZK2010033001A (Česká geologická služba)

příloha 7: Protokol o zkoušce č. 108/2010 (Detekta)

TABULKY
TOPAZ SPECIÁL WB

		teplota vytvrzování				
		120°C	130°C	140°C	150°C	160°C
Naměřená pevnost v ohybu (MPA) za tepla		2,7	3,3	2,4	2,8	2,8
		2,7	3,3	2,5	3	2,8
		2,8	3,4	2,7	3	3
		2,9	3,6	2,7	3,3	3,2
		2,9	3,6	2,7	3,4	3,2
aritmetický průměr		2,800	3,440	2,600	3,100	3,000
směrodatná odchylka		0,100	0,152	0,141	0,245	0,200
Grubbsova kritéria	t1=	1,000	0,923	1,414	1,225	1,000
	t2=	1,000	1,055	0,707	1,225	1,000
Kritická hodnota $T_p(n=5, \alpha=0,01)=$		1,955	1,955	1,955	1,955	1,955
minimální naměřená hodnota		vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje
maximální naměřená hodnota		vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje

		teplota vytvrzování				
		120°C	130°C	140°C	150°C	160°C
Naměřená pevnost v ohybu (MPA) za studena		5,4	4,4	4,6	3,7	4
		5,5	4,9	4,7	4,2	4,2
		5,6	5,1	5,3	4,3	4,2
		5,7	5,3	5,3	4,3	4,3
		6	5,3	5,6	4,4	4,3
aritmetický průměr		5,640	5,000	5,100	4,180	4,200
směrodatná odchylka		0,230	0,374	0,430	0,277	0,122
Grubbsova kritéria	t1=	1,042	1,604	1,162	1,730	1,633
	t2=	1,564	0,802	1,162	0,793	0,816
Kritická hodnota $T_p(n=5, \alpha=0,01)=$		1,955	1,955	1,955	1,955	1,955
minimální naměřená hodnota		vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje
maximální naměřená hodnota		vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje

		teplota vytvrzování				
		120°C	130°C	140°C	150°C	160°C
Naměřená pevnost v ohybu (MPA) po 24 hod		5,6	5,2	5,2	4,3	4
		5,6	5,2	5,2	4,4	4
		5,7	5,3	5,3	4,5	4,1
		5,8	5,3	5,3	4,9	4,1
		6	5,4	5,3	4,9	4,3
aritmetický průměr		5,740	5,280	5,260	4,600	4,100
směrodatná odchylka		0,167	0,084	0,055	0,283	0,122
Grubbsova kritéria	t1=	0,837	0,956	1,095	1,061	0,816
	t2=	1,554	1,434	0,730	1,061	1,633

Tabulka 4: pevnosti v ohybu směsi s pojivem TOPAZ SPECIÁL

TOPAZ I WB

		teplota vytvrzování				
		120°C	130°C	140°C	150°C	160°C
Naměřená pevnost v ohybu (MPA) za tepla		2,6	2,4	2,3	2,7	2,5
		2,6	2,6	2,4	2,9	2,6
		2,7	2,7	2,5	3	2,7
		2,7	2,8	2,7	3,1	2,8
		2,8	2,9	2,7	3,3	3
aritmetický průměr		2,680	2,680	2,520	3,000	2,720
směrodatná odchylka		0,084	0,192	0,179	0,224	0,192
Grubbsova kritéria	t1=	0,956	1,456	1,230	1,342	1,144
	t2=	1,434	1,144	1,006	1,342	1,456
Kritická hodnota	TP(n=5,α=0,01)=	1,955	1,955	1,955	1,955	1,955
minimální naměřená hodnota		vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje
maximální naměřená hodnota		vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje

		teplota vytvrzování				
		120°C	130°C	140°C	150°C	160°C
Naměřená pevnost v ohybu (MPA) za studena		4,6	3,8	4,3	4,4	4,1
		4,6	3,8	4,6	4,4	4,3
		4,7	4,6	4,7	4,5	4,4
		4,9	4,8	4,7	4,5	4,4
		4,9	5	4,8	4,6	4,5
aritmetický průměr		4,740	4,400	4,620	4,480	4,340
směrodatná odchylka		0,152	0,566	0,192	0,084	0,152
Grubbsova kritéria	t1=	0,923	1,061	1,664	0,956	1,583
	t2=	1,055	1,061	0,936	1,434	1,055
Kritická hodnota	TP(n=5,α=0,01)=	1,955	1,955	1,955	1,955	1,955
minimální naměřená hodnota		vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje
maximální naměřená hodnota		vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje

		teplota vytvrzování				
		120°C	130°C	140°C	150°C	160°C
Naměřená pevnost v ohybu (MPA) po 24 hod		4,5	4,5	4,4	4,2	4,2
		4,6	4,6	4,5	4,2	4,3
		4,6	4,6	4,6	4,4	4,3
		4,9	4,8	4,8	4,5	4,4
		5,2	4,9	5,1	4,8	4,5
aritmetický průměr		4,760	4,680	4,680	4,420	4,340
směrodatná odchylka		0,288	0,164	0,277	0,249	0,114
Grubbsova kritéria	t1=	0,902	1,095	1,009	0,884	1,228
	t2=	1,527	1,339	1,514	1,526	1,403
Kritická hodnota	TP(n=5,α=0,01)=	1,955	1,955	1,955	1,955	1,955
minimální naměřená hodnota		vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje
maximální naměřená hodnota		vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje

Tabulka 5: pevnosti v ohybu směsi s pojivem TOPAZ I

TECHNICKÁ ŽELATINA WB

		teplota vytvrzování				
		120°C	130°C	140°C	150°C	160°C
Naměřená pevnost v ohybu (MPa) za tepla		2,7	2,9	2,9	2,6	2,6
		2,8	3,1	3	2,7	2,6
		2,9	3,4	3	2,7	2,6
		3	3,7	3	2,8	2,7
		3,1	3,8	3,2	2,8	2,7
aritmetický průměr		2,900	3,380	3,020	2,720	2,640
směrodatná odchylka		0,158	0,383	0,110	0,084	0,055
Grubbsova kritéria	t1=	1,265	1,252	1,095	1,434	0,730
	t2=	1,265	1,095	1,643	0,956	1,095
Kritická hodnota	Tp(n=5,α=0,01)=	1,955	1,955	1,955	1,955	1,955
minimální naměřená hodnota		vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje
maximální naměřená hodnota		vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje

		teplota vytvrzování				
		120°C	130°C	140°C	150°C	160°C
Naměřená pevnost v ohybu (MPa) za studena		4,4	4,7	4,2	3,6	4
		4,8	4,9	4,4	3,8	4
		4,9	5	4,4	3,9	4,1
		5	5,1	4,4	4	4,2
		5	5,4	4,5	4,1	4,4
aritmetický průměr		4,820	5,020	4,380	3,880	4,140
směrodatná odchylka		0,249	0,259	0,110	0,192	0,167
Grubbsova kritéria	t1=	1,687	1,236	1,643	1,456	0,837
	t2=	0,723	1,468	1,095	1,144	1,554
Kritická hodnota	Tp(n=5,α=0,01)=	1,955	1,955	1,955	1,955	1,955
minimální naměřená hodnota		vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje
maximální naměřená hodnota		vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje

		teplota vytvrzování				
		120°C	130°C	140°C	150°C	160°C
Naměřená pevnost v ohybu (MPa) po 24 hod		4,3	3,4	3,1	4	4,2
		4,4	4,1	3,4	4	4,2
		4,4	4	3,5	4,1	4,3
		4,5	4,3	3,6	4,1	4,3
		4,6	4,3	3,6	4,2	4,5
aritmetický průměr		4,440	4,020	3,440	4,080	4,300
směrodatná odchylka		0,114	0,370	0,207	0,084	0,122
Grubbsova kritéria	t1=	1,228	1,675	1,640	0,956	0,816
	t2=	1,403	0,756	0,772	1,434	1,633
Kritická hodnota	Tp(n=5,α=0,01)=	1,955	1,955	1,955	1,955	1,955
minimální naměřená hodnota		vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje
maximální naměřená hodnota		vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje

Tabulka 6: pevnosti v ohybu směsi s pojivem TECHNICKÁ ŽELATINA

KOŽNÍ KLIH K-2 WB

		teplota vytvrzování				
		120°C	130°C	140°C	150°C	160°C
Naměřená pevnost v ohybu (MPa) za tepla		2,8	2,6	2,7	2,6	2,8
		2,9	2,6	2,8	2,9	2,9
		2,9	2,7	3	2,9	3
		3	2,8	3,2	3	3,1
		3,4	2,8	3,3	3,1	3,1
	aritmetický průměr	3,000	2,700	3,000	2,900	2,980
	směrodatná odchylka	0,235	0,100	0,255	0,187	0,130
Grubbsova kritéria	t1=	0,853	1,000	1,177	1,604	1,381
	t2=	1,706	1,000	1,177	1,069	0,920
Kritická hodnota	Tp(n=5,α=0,01)=	1,955	1,955	1,955	1,955	1,955
	minimální naměřená hodnota	vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje
	maximální naměřená hodnota	vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje

		teplota vytvrzování				
		120°C	130°C	140°C	150°C	160°C
Naměřená pevnost v ohybu (MPa) za studena		5,1	5	4	4,2	3,9
		5,2	5	4,3	4,4	4,2
		5,2	5	4,4	4,5	4,3
		5,2	5,1	4,7	4,8	4,4
		5,4	5,2	4,8	4,8	4,4
	aritmetický průměr	5,220	5,060	4,440	4,540	4,240
	směrodatná odchylka	0,110	0,089	0,321	0,261	0,207
Grubbsova kritéria	t1=	1,095	0,671	1,371	1,304	1,640
	t2=	1,643	1,565	1,122	0,997	0,772
Kritická hodnota	Tp(n=5,α=0,01)=	1,955	1,955	1,955	1,955	1,955
	minimální naměřená hodnota	vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje
	maximální naměřená hodnota	vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje

		teplota vytvrzování				
		120°C	130°C	140°C	150°C	160°C
Naměřená pevnost v ohybu (MPa) po 24 hod		4,9	4,4	4	4	4,2
		5	4,5	4	4,1	4,2
		5,2	5,1	4,1	4,2	4,3
		5,4	5,2	4,8	4,3	4,3
		5,5	5,3	4,9	4,7	4,5
	aritmetický průměr	5,200	4,900	4,360	4,260	4,300
	směrodatná odchylka	0,255	0,418	0,451	0,270	0,122
Grubbsova kritéria	t1=	1,177	1,195	0,799	0,962	0,816
	t2=	1,177	0,956	1,199	1,629	1,633
Kritická hodnota	Tp(n=5,α=0,01)=	1,955	1,955	1,955	1,955	1,955
	minimální naměřená hodnota	vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje
	maximální naměřená hodnota	vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje

Tabulka 7: pevnosti v ohybu směsi s pojivem KOŽNÍ KLIH K-2

KLIIH MODIFIKOVANÝ WB

		teplota vytvrzování				
		120°C	130°C	140°C	150°C	160°C
Naměřená pevnost v ohybu (MPa) za tepla		3,3	3,2	3,2	2,5	2
		3,4		3,2	2,6	2,2
		3,4	3,3	3,2	2,7	2,2
		3,5		3,3	2,7	2,3
		3,5	3,4	3,4	2,7	2,3
aritmetický průměr		3,420	3,300	3,260	2,640	2,200
směrodatná odchylka		0,084	0,100	0,089	0,089	0,122
Grubbsova kritéria	t1=	1,434	1,000	0,671	1,565	1,633
	t2=	0,956	1,000	1,565	0,671	0,816
Kritická hodnota	Tp(n=5,α=0,01)=	1,955	1,955	1,955	1,955	1,955
minimální naměřená hodnota		vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje
maximální naměřená hodnota		vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje

		teplota vytvrzování				
		120°C	130°C	140°C	150°C	160°C
Naměřená pevnost v ohybu (MPa) za studena		4,7	4,7	4,4	4,3	4
		4,9	4,7	4,5	4,3	4,1
		5	4,7	4,6	4,4	4,2
		5,1	4,9	4,6	4,4	4,3
		5,3	4,9	4,6	4,6	4,4
aritmetický průměr		5,000	4,780	4,540	4,400	4,200
směrodatná odchylka		0,224	0,110	0,089	0,122	0,158
Grubbsova kritéria	t1=	1,342	0,730	1,565	0,816	1,265
	t2=	1,342	1,095	0,671	1,633	1,265
Kritická hodnota	Tp(n=5,α=0,01)=	1,955	1,955	1,955	1,955	1,955
minimální naměřená hodnota		vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje
maximální naměřená hodnota		vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje

		teplota vytvrzování				
		120°C	130°C	140°C	150°C	160°C
Naměřená pevnost v ohybu (MPa) po 24 hod		2,2	2,1	1,8	2,4	2,4
		2,3	2,3	1,9	2,5	2,6
		2,5	2,3	1,9	2,6	2,7
		2,7	2,3	2	2,7	2,8
		2,9	2,5	2,2	2,8	2,8
aritmetický průměr		2,520	2,300	1,960	2,600	2,660
směrodatná odchylka		0,286	0,141	0,152	0,158	0,167
Grubbsova kritéria	t1=	1,117	1,414	1,055	1,265	1,554
	t2=	1,327	1,414	1,583	1,265	0,837

Tabulka 8: pevnost v ohybu směsi s pojivem KLIIH MODIFIKOVANÝ

**PEVNOST V OHYBU ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ PO 30 DNECH SKLADOVÁNÍ
VYTVRZENO PŘI 120 °C WB**

	TOPAZ SPECIÁL	TOPAZ I	KOŽNÍ KLIH K-2	TECHNICKÁ ŽELATINA	KLIH MODIFIKOVANÝ
	5	3,9	3,9	3,4	2,3
	5,2	3,9	4	3,5	2,5
	5,3	4	4	3,6	2,5
	5,4	4,2	4,1	3,7	2,5
	5,4	4,4	4,1	3,8	2,7
aritmetický průměr	5,260	4,080	4,020	3,600	2,500
směrodatná odchylka	0,167	0,217	0,084	0,158	0,141
Grubbsova kritéria					
t1=	1,554	0,830	1,434	1,265	1,414
t2=	0,837	1,476	0,956	1,265	1,414
Kritická hodnota $T_p(n=5, \alpha=0,01)=$	1,955	1,955	1,955	1,955	1,955

Tabulka 9: pevnosti zkušebních vzorků po 30 dnech skladování

TOPAZ SPECIÁL MW

Naměřená pevnost v ohybu (MPA) za tepla		3
		3,5
		3,5
		3,8
		3,9
	aritmetický průměr	3,540
	směrodatná odchylka	0,351

Grubbsova kritéria	t1=	1,540
	t2=	1,026
Kritická hodnota	$Tp(n=5, \alpha=0,01)=$	1,955
minimální naměřená hodnota		vyhovuje
maximální naměřená hodnota		vyhovuje

Naměřená pevnost v ohybu (MPA) za studena		6,4
		6,5
		6,7
		6,8
		7,9
	aritmetický průměr	6,860
	směrodatná odchylka	0,602

Grubbsova kritéria	t1=	0,763
	t2=	1,726
Kritická hodnota	$Tp(n=5, \alpha=0,01)=$	1,955
minimální naměřená hodnota		vyhovuje
maximální naměřená hodnota		vyhovuje

Naměřená pevnost v ohybu (MPA) po 24 hod		5,8
		6
		6
		6
		6,2
	aritmetický průměr	6,000
	směrodatná odchylka	0,141

Grubbsova kritéria	t1=	1,414
	t2=	1,414
Kritická hodnota	$Tp(n=5, \alpha=0,01)=$	1,955
minimální naměřená hodnota		vyhovuje
maximální naměřená hodnota		vyhovuje

Tabulka 10: pevnost v ohybu směsi s pojivem TOPAZ SPECIÁL po mikrovlnném vytvrzování

TOPAZ I MW

Naměřená pevnost v ohybu (MPA) za tepla		1,8
		2
		2
		2,3
		2,6
	aritmetický průměr	2,140
	směrodatná odchylka	0,313

Grubbsova kritéria	t1=	1,086
	t2=	1,469
Kritická hodnota $T_p(n=5, \alpha=0,01)=$		1,955
minimální naměřená hodnota		vyhovuje
maximální naměřená hodnota		vyhovuje

Naměřená pevnost v ohybu (MPA) za studena		3,9
		4,7
		4,7
		4,7
		5,2
	aritmetický průměr	4,640
	směrodatná odchylka	0,467

Grubbsova kritéria	t1=	1,585
	t2=	1,199
Kritická hodnota $T_p(n=5, \alpha=0,01)=$		1,955
minimální naměřená hodnota		vyhovuje
maximální naměřená hodnota		vyhovuje

Naměřená pevnost v ohybu (MPA) po 24 hod		5,2
		5,4
		5,7
		6
		6,1
	aritmetický průměr	5,680
	směrodatná odchylka	0,383

Grubbsova kritéria	t1=	1,252
	t2=	1,095
Kritická hodnota $T_p(n=5, \alpha=0,01)=$		1,955
minimální naměřená hodnota		vyhovuje
maximální naměřená hodnota		vyhovuje

Tabulka 11: pevnost v ohybu směsi s pojivem TOPAZ I po mikrovlnném vytvrzování

TECHNICKÁ ŽELATINA MW

Naměřená pevnost v ohybu (MPA) za tepla		3,5
		3,6
		3,7
		3,7
		3,9
	aritmetický průměr	3,680
	směrodatná odchylka	0,148

Grubbsova kritéria	t1=	1,214
	t2=	1,483
Kritická hodnota	$T_p(n=5, \alpha=0,01)=$	1,955
	minimální naměřená hodnota	vyhovuje
	maximální naměřená hodnota	vyhovuje

Naměřená pevnost v ohybu (MPA) za studena		5,7
		5,8
		5,8
		5,8
		6,2
	aritmetický průměr	5,860
	směrodatná odchylka	0,195

Grubbsova kritéria	t1=	0,821
	t2=	1,744
Kritická hodnota	$T_p(n=5, \alpha=0,01)=$	1,955
	minimální naměřená hodnota	vyhovuje
	maximální naměřená hodnota	vyhovuje

Naměřená pevnost v ohybu (MPA) po 24 hod		5,1
		5,4
		5,5
		5,6
		5,7
	aritmetický průměr	5,460
	směrodatná odchylka	0,230

Grubbsova kritéria	t1=	1,564
	t2=	1,042
Kritická hodnota	$T_p(n=5, \alpha=0,0)=$	1,955
	minimální naměřená hodnota	vyhovuje
	maximální naměřená hodnota	vyhovuje

Tabulka 12: pevnost v ohybu směsi s pojivem TECHNICKÁ ŽELATINA po mikrovlnném vytvrzování

KOŽNÍ KLIH K-2 MW

Naměřená pevnost v ohybu (MPA) za tepla		2
		2
		2,1
		2,3
		2,7
	aritmetický průměr	2,220
	směrodatná odchylka	0,295

Grubbsova kritéria	t1=	0,746
	t2=	1,627
Kritická hodnota	$T_p(n=5, \alpha=0,01)=$	1,955
minimální naměřená hodnota		vyhovuje
maximální naměřená hodnota		vyhovuje

Naměřená pevnost v ohybu (MPA) za studena		3,6
		4,6
		4,6
		4,8
		5,6
	aritmetický průměr	4,640
	směrodatná odchylka	0,713

Grubbsova kritéria	t1=	1,459
	t2=	1,347
Kritická hodnota	$T_p(n=5, \alpha=0,01)=$	1,955
minimální naměřená hodnota		vyhovuje
maximální naměřená hodnota		vyhovuje

Naměřená pevnost v ohybu (MPA) po 24 hod		4,5
		4,9
		5
		5,1
		5,2
	aritmetický průměr	4,940
	směrodatná odchylka	0,270

Grubbsova kritéria	t1=	1,629
	t2=	0,962
Kritická hodnota	$T_p(n=5, \alpha=0,01)=$	1,955
minimální naměřená hodnota		vyhovuje
maximální naměřená hodnota		vyhovuje

Tabulka 13: pevnost v ohybu směsi s pojivem KOŽNÍ KLIH K-2 po mikrovlnném vytvrzování

KLIIH MODIFIKOVANÝ MW

Naměřená pevnost v ohybu (MPA) za tepla		2,8
		3,1
		3,2
		3,3
		3,4
	aritmetický průměr	3,160
	směrodatná odchylka	0,230

Grubbsova kritéria	t1=	1,564
	t2=	1,042
Kritická hodnota	$T_p(n=5, \alpha=0,01)=$	1,955
minimální naměřená hodnota		vyhovuje
maximální naměřená hodnota		vyhovuje

Naměřená pevnost v ohybu (MPA) za studena		5,3
		5,5
		5,5
		5,6
		5,8
	aritmetický průměr	5,540
	směrodatná odchylka	0,182

Grubbsova kritéria	t1=	1,321
	t2=	1,431
Kritická hodnota	$T_p(n=5, \alpha=0,01)=$	1,955
minimální naměřená hodnota		vyhovuje
maximální naměřená hodnota		vyhovuje

Naměřená pevnost v ohybu (MPA) po 24 hod		4
		4,2
		4,2
		4,3
		4,5
	aritmetický průměr	4,240
	směrodatná odchylka	0,182

Grubbsova kritéria	t1=	1,321
	t2=	1,431
Kritická hodnota	$T_p(n=5, \alpha=0,01)=$	1,955
minimální naměřená hodnota		vyhovuje
maximální naměřená hodnota		vyhovuje

Tabulka 14: pevnost v ohybu směsi s pojivem KLIIH MODIFIKOVANÝ po mikrovlnném vytvrzování

**PEVNOST V OHYBU ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ PO 30 DNECH SKLADOVÁNÍ
VYTVRZENO PŘI VÝKONU 750 W PO DOBU 7 MIN METODOU MW**

	TOPAZ SPECIÁL	TOPAZ I	KOŽNÍ KLIH K-2	TECHNICKÁ ŽELATINA	KLIH MODIFIKOVANÝ	
	5,8	3,8	4,2	4,1	2,95	
	5,85	4,05	4,55	4,6	3	
	6	4,2	4,7	4,65	3,3	
	6,1	4,4	4,95	4,7	3,4	
	6,55	4,6	4,95	4,95	3,5	
aritmetický průměr	6,060	4,210	4,670	4,600	3,230	
směrodatná odchylka	0,299	0,309	0,313	0,310	0,244	
itéria						
t1=	0,870	1,327	1,499	1,612	1,148	
t2=	1,640	1,262	0,893	1,128	1,107	
Tp(n=5,α=0,01)=	1,955	1,955	1,955	1,955	1,955	

Tabulka 15: pevnosti zkušebních vzorků vytvrzených mikrovlnným ohřevem po 30 dnech skladování

SROVNÁNÍ HMOTNOSTÍ VSTŘELOVANÝCH A RUČNĚ PĚCHOVANÝCH ZKUŠEBNÍCH TRÁMEČKŮ

		GRUBBSŮV TEST	
		pojivo	
hmotnosti trámečků (g)		vstřelované (WB)	ručně pěchované (MW)
	KOŽNÍ KLIH K-2	132,77	134,46
	KOŽNÍ KLIH K-2	133,04	135,84
	KOŽNÍ KLIH K-2	133,30	135,82
	KOŽNÍ KLIH K-2	133,86	137,54
	KOŽNÍ KLIH K-2	133,86	138,35
	TOPAZ I	134,13	138,44
	TOPAZ I	134,44	139,33
	TOPAZ I	134,86	139,62
	TOPAZ I	135,21	141,58
	TOPAZ I	135,28	141,81
	aritmetický průměr	134,075	138,279
	směrodatná odchylka	0,879	2,436
	rozptyl	0,696	5,342
Grubbsova kritéria	t1=	1,484	1,567
	t2=	1,370	1,449
Kritická hodnota	Tp(n=10,α=0,01)=	2,540	2,540
minimální naměřená hodnota		vyhovuje	vyhovuje
maximální naměřená hodnota		vyhovuje	vyhovuje

všechny naměřené hmotnosti patří do výběru a nejsou zatíženy hrubou chybou.

Tabulka 16: srovnání hmotností vstřelovaných a ručně pěchovaných zkušebních trámečků a kontrola, zda naměřené hodnoty hmotností nejsou zatíženy hrubou chybou měření

ZBYTKOVÉ PEVNOSTI TOPAZ SPECIÁL WB

		teplota ohřevu	
		200°C	300°C
Naměřená pevnost v ohybu (MPa)		4	1,6
		4,2	1,8
		4,2	1,8
		4,3	1,8
		4,5	1,9
	aritmetický průměr	4,240	1,780
	směrodatná odchylka	0,182	0,110
Grubbsova kritéria	t1=	1,321	1,643
	t2=	1,431	1,095
Kritická hodnota	Tp(n=5,α=0,01)=	1,955	1,955
minimální naměřená hodnota		vyhovuje	vyhovuje
maximální naměřená hodnota		vyhovuje	vyhovuje

Tabulka 17: zbytkové pevnosti směsi s pojivem TOPAZ SPECIÁL

ZBYTKOVÉ PEVNOSTI TOPAZ I WB

		teplota ohřevu	
		200°C	300°C
Naměřená pevnost v ohybu (MPa)		2,9	3,1
		3	3,2
		3	3,2
		3,1	3,3
		3,1	3,4
aritmetický průměr		3,020	3,240
směrodatná odchylka		0,084	0,114
Grubbsova kritéria	t1=	1,434	1,228
	t2=	0,956	1,403
Kritická hodnota	TP(n=5,α=0,01)=	1,955	1,955
minimální naměřená hodnota		vyhovuje	vyhovuje
maximální naměřená hodnota		vyhovuje	vyhovuje

Tabulka 18: zbytkové pevnosti směsi s pojivem TOPAZ I

ZBYTKOVÉ PEVNOSTI KOŽNÍ KLIH K-2

		teplota ohřevu	
		200°C	300°C
Naměřená pevnost v ohybu (MPa)		3,9	0,3
		4	0,4
		4,3	0,4
		4,4	0,7
		4,4	0,7
aritmetický průměr		4,200	0,500
směrodatná odchylka		0,235	0,187
Grubbsova kritéria	t1=	1,279	1,069
	t2=	0,853	1,069
Kritická hodnota	TP(n=5,α=0,01)=	1,955	1,955
minimální naměřená hodnota		vyhovuje	vyhovuje
maximální naměřená hodnota		vyhovuje	vyhovuje

Tabulka 19: zbytkové pevnosti směsi s pojivem KOŽNÍ KLIH K-2

ZBYTKOVÉ PEVNOSTI TECHNICKÁ ŽELATINA WB

		teplota ohřevu		
		200°C	300°C	
Naměřená pevnost v ohybu (MPa)		3,7	0,2	
		3,9	0,3	
		4	0,4	
		4	0,5	
		4,2	0,5	
aritmetický průměr		3,960	0,380	
směrodatná odchylka		0,182	0,130	
Grubbsova kritéria		t1=	1,431	1,381
		t2=	1,321	0,920
Kritická hodnota $T_p(n=5, \alpha=0,01)=$		1,955	1,955	
minimální naměřená hodnota		vyhovuje	vyhovuje	
maximální naměřená hodnota		vyhovuje	vyhovuje	

Tabulka 20: zbytkové pevnosti směsi s pojivem TECHNICKÁ ŽELATINA

ZBYTKOVÉ PEVNOSTI KLIH MODIFIKOVANÝ WB

		teplota ohřevu		
		200°C	300°C	
Naměřená pevnost v ohybu (MPa)		3,6	0,3	
		3,7	0,4	
		3,8	0,4	
		3,9	0,6	
		4,2	0,8	
aritmetický průměr		3,840	0,500	
směrodatná odchylka		0,230	0,200	
Grubbsova kritéria		t1=	1,042	1,000
		t2=	1,564	1,500
Kritická hodnota $T_p(n=5, \alpha=0,01)=$		1,955	1,955	
minimální naměřená hodnota		vyhovuje	vyhovuje	
maximální naměřená hodnota		vyhovuje	vyhovuje	

Tabulka 21: zbytkové pevnosti směsi s pojivem KLIH MODIFIKOVANÝ

TOPAZ SPECIÁL WB na LRU-D

teplota vytvrzování		120°C
Naměřená pevnost v ohybu (MPA) za studena		4,630
		4,631
		4,766
		4,788
		4,890
		4,913
		4,919
		4,919
		4,921
		4,982
aritmetický průměr		4,836
směrodatná odchylka		0,126
Grubbsova kritéria	t1=	1,634
	t2=	1,160
Kritická hodnota	Tp(n=10,α=0,01)=	2,540
minimální naměřená hodnota		vyhovuje
maximální naměřená hodnota		vyhovuje

teplota vytvrzování		120°C
Naměřená pevnost v ohybu (MPA) po 24 hod		5,190
		5,221
		5,245
		5,289
		5,321
		5,359
		5,378
		5,388
		5,410
		5,413
aritmetický průměr		5,321
směrodatná odchylka		0,081
Grubbsova kritéria	t1=	1,616
	t2=	1,126
Kritická hodnota	Tp(n=10,α=0,01)=	2,540
minimální naměřená hodnota		vyhovuje
maximální naměřená hodnota		vyhovuje

teplota vytvrzování		120°C
Naměřená pevnost v ohybu (MPA) po 30 dnech		4,942
		5,102
		5,190
		5,225
		5,233
		5,359
		5,367
		5,421
		5,453
		5,455
aritmetický průměr		5,275
směrodatná odchylka		0,168
Grubbsova kritéria	t1=	1,983
	t2=	1,075

Tabulka 22: pevnost v ohybu směsi s pojivem TOPAZ SPECIÁL měřená na přístroji LRU-D

TOPAZ I WB na LRU-D

teplota vytvrzování		120°C
Naměřená pevnost v ohybu (MPA) za studena		3,786
		3,811
		3,809
		3,997
		4,070
		4,105
		4,232
		4,345
		4,508
		4,520
aritmetický průměr		4,118
směrodatná odchylka		0,278
Grubbsova kritéria	t1=	1,196
	t2=	1,445
Kritická hodnota	Tp(n=10,α=0,01)=	2,540
minimální naměřená hodnota		vyhovuje
maximální naměřená hodnota		vyhovuje

teplota vytvrzování		120°C
Naměřená pevnost v ohybu (MPA) po 24 hod		4,127
		4,146
		4,270
		4,304
		4,480
		4,523
		4,620
		4,700
		5,005
		5,209
aritmetický průměr		4,538
směrodatná odchylka		0,358
Grubbsova kritéria	t1=	1,149
	t2=	1,873
Kritická hodnota	Tp(n=10,α=0,01)=	2,540
minimální naměřená hodnota		vyhovuje
maximální naměřená hodnota		vyhovuje

teplota vytvrzování		120°C
Naměřená pevnost v ohybu (MPA) po 1 měsíci		3,908
		4,120
		4,134
		4,146
		4,150
		4,230
		4,345
		4,378
		4,399
		4,406
aritmetický průměr		4,222
směrodatná odchylka		0,161
Grubbsova kritéria	t1=	1,951
	t2=	1,147
Kritická hodnota	Tp(n=10,α=0,01)=	2,540
minimální naměřená hodnota		vyhovuje
maximální naměřená hodnota		vyhovuje

Tabulka 23: pevnost v ohybu směsi s pojivem TOPAZ I měřená na přístroji LRU-D

KOŽNÍ KLIH K-2 WB na LRU-D

teplota vytvrzování		120°C
Naměřená pevnost v ohybu (MPA) za studena		4,202
		4,285
		4,304
		4,356
		4,494
		4,500
		4,568
		4,599
		4,607
		4,809
aritmetický průměr		4,472
směrodatná odchylka		0,185
Grubbsova kritéria	t1=	1,462
	t2=	1,820
Kritická hodnota	TP(n=10,α=0,01)=	2,540
minimální naměřená hodnota		vyhovuje
maximální naměřená hodnota		vyhovuje

teplota vytvrzování		120°C
Naměřená pevnost v ohybu (MPA) po 24 hod		4,200
		4,264
		4,309
		4,483
		4,789
		4,790
		4,790
		4,891
		5,207
		5,241
aritmetický průměr		4,696
směrodatná odchylka		0,373
Grubbsova kritéria	t1=	1,332
	t2=	1,461
Kritická hodnota	TP(n=10,α=0,01)=	2,540
minimální naměřená hodnota		vyhovuje
maximální naměřená hodnota		vyhovuje

teplota vytvrzování		120°C
Naměřená pevnost v ohybu (MPA) po 1 měsíci		3,190
		3,225
		3,821
		3,856
		3,890
		3,957
		4,220
		4,289
		4,407
		4,668
aritmetický průměr		3,952
směrodatná odchylka		0,477
Grubbsova kritéria	t1=	1,599
	t2=	1,502
Kritická hodnota	TP(n=10,α=0,01)=	2,540
minimální naměřená hodnota		vyhovuje
maximální naměřená hodnota		vyhovuje

Tabulka 24: pevnost v ohybu směsi s pojivem KOŽNÍ KLIH K-2 měřená na přístroji LRU-D

SROVNÁNÍ PEVNOSTÍ V OHYBU TRÁMEČKŮ Z NOVÉ SMĚSI A Z RECYKLOVANÉ SMĚSI S POJIVEM TOPAZ SPECIÁL ZA STUDENA

WB měřeno na LRU-D

ZA STUDENA

GRUBBSŮV TEST

	nová směs	recyklovaná směs	
pevnost v ohybu	4,630	3,944	
	4,631	3,982	
	4,766	3,997	
	4,788	4,109	
	4,890	4,112	
	4,913	4,119	
	4,919	4,296	
	4,919	4,338	
	4,921	4,486	
	4,982	4,564	
aritmetický průměr	4,836	4,195	
směrodatná odchylka	0,126	0,216	
rozptyl	0,014	0,042	
Grubbsova kritéria	t1=	1,634	1,162
	t2=	1,160	1,711
Kritická hodnota $T_p(n=10, \alpha=0,01)=$	2,540	2,540	
minimální naměřená hodnota	vyhovuje	vyhovuje	
maximální naměřená hodnota	vyhovuje	vyhovuje	

všechny naměřené hmotnosti patří do výběru a nejsou zatíženy hrubou chybou.

TEST VÝZNAMNOSTI ROZDÍLU MEZI STŘEDNÍMI HODNOTAMI JESTLIŽE ROZPTYLY NEJSOU STEJNÉ

$$\sigma_N^2 \neq \sigma_R^2$$

kritická hodnota=3,250 pro 9 měření a $\alpha=0,01$

nulová hypotéza $\mu_N = \mu_R$

aritmetický průměr	$x_N =$	4,836	rozptyly:	$s_N^2 =$	0,014
	$x_R =$	4,195		$s_R^2 =$	0,042
	$c_N =$	0,002			
	$c_R =$	0,005			

testovací veličina t= 8,115

kritická hodnota $t^*(p)=$ 2,429

$t > t^*(p)$ tzn. že nulová hypotéza neplatí a rozdíl středních hodnot je statisticky významný

Tabulka 25: pevnost v ohybu směsi z nové a recyklované směsi za studena s pojivem TOPAZ SPECIÁL měřená na přístroji LRU-D

SROVNÁNÍ PEVNOSTÍ V OHYBU TRÁMEČKŮ Z NOVÉ SMĚSI A Z RECYKLOVANÉ SMĚSI S POJIVEM TOPAZ SPECIÁL PO 24 HODINÁCH

WB měřeno na LRU-D PO 24 HODINÁCH
GRUBBSŮV TEST

		nová směs	recyklovaná směs
pevnost v ohybu		5,190	4,218
		5,221	4,321
		5,245	4,459
		5,289	4,474
		5,321	4,484
		5,359	4,541
		5,378	4,583
		5,388	4,586
		5,410	4,590
		5,413	4,759
		5,321	4,502
aritmetický průměr		5,321	4,502
směrodatná odchylka		0,081	0,151
rozptyl		0,006	0,021
Grubbsova kritéria	t1=	1,616	1,877
	t2=	1,126	1,705
Kritická hodnota	Tp(n=10,α=0,01)=	2,540	2,540
minimální naměřená hodnota		vyhovuje	vyhovuje
maximální naměřená hodnota		vyhovuje	vyhovuje

všechny naměřené hmotnosti patří do výběru a nejsou zatíženy hrubou chybou.

TEST VÝZNAMNOSTI ROZDÍLU MEZI STŘEDNÍMI HODNOTAMI JESTLIŽE ROZPTYLY NEJSOU STEJNÉ

$$\sigma_N^2 \neq \sigma_R^2$$

kritická hodnota=3,250 pro 9 měření a α=0,01

nulová hypotéza $\mu_N = \mu_R$

aritmetický průměr	$X_N =$	5,321	rozptyly:	$s_N^2 =$	0,006
	$X_R =$	4,502		$s_R^2 =$	0,021
	$C_N =$	0,001			
	$C_R =$	0,002			

testovací veličina t= 15,115

kritická hodnota t*(p)= 2,522

t>t*(p) tzn. že nulová hypotéza neplatí a rozdíl středních hodnot je statisticky významný

PEVNOST V OHYBU ZA STUDENA RECYKLOVANÉ SMĚSI JE NIŽŠÍ NEŽ U NOVÉ SMĚSI

Tabulka 26: pevnost v ohybu směsi z nové a recyklované směsi po 24 hodinách
s pojivem TOPAZ SPECIÁL měřená na přístroji LRU-D

Ztráta žiháním [%] směsí s pojivy TOPAZ SPECIÁL, TOPAZ I a KOŽNÍ KLIH K-2

vzorek	kelímek/g/	.+ vzorek	hmotnost vzorku/g/	rozdíl po žihání /g/	úbytek žiháním /g/	úbytek žiháním /%/	průměrný úbytek žiháním /%/
Topaz I	14,1437	19,6793	5,5356	19,6177	0,0616	1,113	1,09
	13,3706	18,9103	5,5397	18,8512	0,0591	1,067	
	14,9062	23,4250	8,5188	23,3333	0,0917	1,076	
Topaz Speciál	16,2247	25,1314	8,9067	25,0321	0,0993	1,115	1,11
	15,4863	21,5888	6,1025	21,5213	0,0675	1,106	
	15,1958	21,1195	5,9237	21,0536	0,0659	1,112	
KOŽNÍ KLIH K-2	17,5437	24,0343	6,4906	23,9627	0,0716	1,103	1,10
	14,5156	21,4094	6,8938	21,3342	0,0752	1,091	
	12,8780	26,5180	13,6400	26,3677	0,1503	1,102	

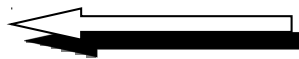
Tabulka 27: ztráta žiháním směsí s pojivy TOPAZ SPECIÁL, TOPAZ I a KOŽNÍ KLIH K-2

Kinetika vývinu plynů ze směsí s biogenními pojivy [ml.g⁻¹]

	doba setrvání na teplotě [sec.]								
	0	5	10	15	20	25	30	35	40
TOPAZ I			0,5	1,0	2,0	3,7	4,8	4,8	4,7
			0,4	1,1	2,0	3,6	4,7	4,7	4,7
			0,5	1,0	2,0	3,6	4,8	4,8	4,7
			0,46	1,00	2,00	3,63	4,76	4,78	4,67
TOPAZ S			0,5	1,0	2,0	3,5	4,8	4,7	4,6
			0,5	0,8	1,9	3,5	4,6	4,7	4,5
			0,4	0,9	2,1	3,5	4,7	4,6	4,7
			0,46	0,90	2,00	3,50	4,70	4,67	4,61
KOŽNÍ KLIH K-2			0,4	0,9	2,0	2,1	4,5	4,8	4,6
			0,4	0,9	2,0	2,1	4,6	4,6	4,5
			0,4	0,9	2,0	2,1	4,4	4,7	4,5
			0,38	0,90	2,00	2,12	4,50	4,65	4,51

Úprava vzorku : vzorky (trámečky) drceny,
homogenizace

Teplota stanovení 900°C



Tabulka 28: vývin plynů ze směsí s pojivy TOPAZ SPECIÁL, TOPAZ I a KOŽNÍ KLIH K-2

Ztráta žiháním [%] směsí PUCB a FURAN

vzorek	kelímek/g/	.+ vzorek		žihání		%	x
PUCB	13,4854	22,6247	9,1393	22,5005	0,1242	1,359	1,35
	16,2292	25,3834	9,1542	25,2606	0,1228	1,341	
	14,5840	23,4347	8,8507	23,3153	0,1194	1,349	
FURAN	12,8881	24,4392	11,5511	24,2421	0,1971	1,706	1,70
	14,9106	28,2389	13,3283	28,0128	0,2261	1,696	
	15,1738	21,1558	5,9820	21,0536	0,1022	1,708	

Tabulka 29: ztráta žiháním směsí s pojivky PUCB a FURAN

Kinetika vývinu plynů ze směsí PUCB a FURAN [ml.g⁻¹]

	doba setrvání na teplotě [sec.]										
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
PUCB			0,4	0,9	2,1	3,7	4,4	4,7	4,8	4,8	4,8
			0,3	1,1	2,1	3,8	4,6	4,7	5,0	4,8	4,8
			0,3	0,9	2,1	3,6	4,5	4,9	4,9	5,0	4,8
			0,34	0,96	2,10	3,68	4,50	4,79	4,92	4,87	4,83
Furan			0,4	1,0	2,2	2,8	4,8	5,1	5,2	5,3	5,2
			0,3	1,0	2,2	2,8	4,9	5,1	5,1	5,2	5,3
			0,3	1,1	2,2	3,0	4,7	5,2	5,4	5,5	5,4
			0,33	1,03	2,20	2,87	4,80	5,12	5,23	5,36	5,31

Úprava vzorku :vzorky (trámečky) drceny, homogenizace

Teplota stanovení 900°C

Tabulka 30: vývin plynů ze směsí s pojivky PUCB a FURAN

Označení vzorku zákazníkem			TOPAZ SPECIAL	KOZNI KLIH K-2	TOPAZ I
Evidenční č. vz. ZL			941730	941730A	941730B
Ukazatel		Jednotka	Výsledky		
PAU	a				
1	Naftalen	(mg/kg)	<0,054	<0,054	<0,054
2	Acenaften	(mg/kg)	<0,054	<0,054	<0,054
3	Fluoren	(mg/kg)	0,09	<0,054	<0,054
4	Fenanthren	(mg/kg)	2,37	0,13	0,08
5	Anthracen	(mg/kg)	0,05	<0,006	<0,006
6	Fluoranthen	(mg/kg)	0,80	<0,054	<0,054
7	Pyren	(mg/kg)	0,36	0,03	<0,027
8	Benz[a]antracen	(mg/kg)	0,06	<0,027	<0,027
9	Chrysen	(mg/kg)	0,25	<0,011	<0,011
10	Benzo[b]fluoranthen	(mg/kg)	0,10	<0,054	<0,054
11	Benzo[k]fluoranthen	(mg/kg)	0,05	<0,011	<0,011
12	Benzo[a]pyren	(mg/kg)	<0,027	<0,027	<0,027
13	Dibenz[a,h]anthracen	(mg/kg)	<0,022	<0,022	<0,022
14	Benzo[ghi]perylen	(mg/kg)	0,11	<0,107	<0,107
15	Indeno[1,2,3-cd]pyren	(mg/kg)	<0,054	<0,054	<0,054
Organický uhlík (TOC)			a		
16	TOC	(% hm.)	45,9	42,5	43,0
17	TS	(% hm.)	0,42	0,31	0,30

Poznámka:

Výsledky jsou přepočteny na sušinu.

a akreditovaná zkouška

TOC organický uhlík

TS spalitelná síra

Tabulka 31: obsah organického uhlíku, spalitelné síry a PAU ve vybraných biogenních pojivech

Označení vzorku zákazníkem			TOPAZ SPECIAL	KOZNI KLIH K-2	TOPAZ I
Evidenční č. vz. ZL					
Ukazatel		Jednotka	Výsledky		
PAU	a				
1	Naftalen	(mg/kg)	0,0036	0,0018	0,0012
2	Acenaften	(mg/kg)	0,0001	0,0001	0,0001
3	Fluoren	(mg/kg)	0,0005	0,0006	0,0006
4	Fenanthren	(mg/kg)	0,0103	0,0110	0,0150
5	Anthracen	(mg/kg)	0,0006	0,0004	0,0005
6	Fluoranthren	(mg/kg)	0,0019	0,0021	0,0027
7	Pyren	(mg/kg)	0,0016	0,0019	0,0024
8	Benz[a]antracen	(mg/kg)	0,0001	0,0002	0,0002
9	Chrysen	(mg/kg)	0,0001	0,0001	0,0001
10	Benzo[b]fluoranthren	(mg/kg)	<0,0001	<0,0001	<0,0001
11	Benzo[k]fluoranthren	(mg/kg)	<0,0001	<0,0001	<0,0001
12	Benzo[a]pyren	(mg/kg)	<0,0001	<0,0001	<0,0001
13	Dibenz[a,h]anthracen	(mg/kg)	<0,0001	<0,0001	<0,0001
14	Benzo[ghi]perylen	(mg/kg)	<0,0001	<0,0001	<0,0001
15	Indeno[1,2,3-cd]pyren	(mg/kg)	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Organický uhlík (TOC)					
16	TOC	(% hm.)	0,19	0,17	0,18
17	TS	(% hm.)	<0,02	<0,02	<0,02

Poznámka:

Výsledky jsou přepočteny na sušinu.

a akreditovaná zkouška

TOC organický uhlík

TS spalitelná síra

Tabulka 32: obsah organického uhlíku, spalitelné síry a PAU v použitých jádrových směsích s vybranými biogenními pojivy

Měření číslo		1	2	3	Ø
Datum		10.5.2010	10.5.2010	10.5.2010	
Doba odběru	[hod]	9:37 - 10:08	10:15 - 10:45	11:00 - 11:30	
Naměřená koncentrace - benzen	[mg/vzorek]	0,00146	0,00065	0,00042	
" - toluen	[mg/vzorek]	< 0,00020	< 0,00020	< 0,00020	
" - ethylbenzen	[mg/vzorek]	< 0,00020	< 0,00020	< 0,00020	
" - meta- & para-xylen	[mg/vzorek]	< 0,00020	< 0,00020	< 0,00020	
" - ortho-xylen	[mg/vzorek]	< 0,00020	< 0,00020	< 0,00020	
" - suma xylenů	[mg/vzorek]	< 0,00040	< 0,00040	< 0,00040	
" - suma BTEX	[mg/vzorek]	0,00146	< 0,00100	< 0,00100	
" - cis-1,2-dichlorethen	[mg/vzorek]	< 0,00040	< 0,00040	< 0,00040	
" - trichlorethen	[mg/vzorek]	< 0,00040	< 0,00040	< 0,00040	
" - tetrachlorethen	[mg/vzorek]	0,00338	< 0,00080	< 0,00080	
" - nepolární extrahovatelné látky	[mg/vzorek]	0,00240	< 0,00200	< 0,00200	
Odběrové podmínky:					
prošlý objem plynoměrem:	[m ³]	0,0326	0,0315	0,0315	
průměrný tlak na plynoměru:	[Pa]	0	0	0	
průměrná teplota	[°C]	29,0	29,3	30,1	
atmosférický tlak:	[Pa]	97950	97950	97950	
Přepočtené konc. - benzen *	[mg/m ³]	0,04485	0,02063	0,01333	0,02627
Přepočtené konc. - toluen	[mg/m ³]	< 0,00614	< 0,00635	< 0,00635	< 0,00628
Přepočtené konc. - ethylbenzen	[mg/m ³]	< 0,00614	< 0,00635	< 0,00635	< 0,00628
Přepočtené konc. - meta- & para-xylen	[mg/m ³]	< 0,00614	< 0,00635	< 0,00635	< 0,00628
Přepočtené konc. - ortho-xylen	[mg/m ³]	< 0,00614	< 0,00635	< 0,00635	< 0,00628
Přepočtené konc. - suma xylenů	[mg/m ³]	< 0,01229	< 0,01270	< 0,01270	< 0,01256
Přepočtené konc. - suma BTEX	[mg/m ³]	0,04485	< 0,03175	< 0,03175	0,03612
Přepočtené konc. - cis-1,2-dichlorether	[mg/m ³]	< 0,01229	< 0,01270	< 0,01270	< 0,01256
Přepočtené konc. - trichlorethen	[mg/m ³]	< 0,01229	< 0,01270	< 0,01270	< 0,01256
Přepočtené konc. - tetrachlorethen	[mg/m ³]	0,10384	< 0,02540	< 0,02540	0,05154
Přepočtené konc. - nep. ex. látky	[mg/m ³]	0,07373	< 0,06349	< 0,06349	0,06691
* koncentrace za podmínek měření ve vlhkém plynu					
< - tj. pod mezí detekce metody stanovení					

Tabulka 33: obsah PAU ve spalinách jádrové směsi s pojivem TOPAZ SPECIÁL

BEZPEČNOSTNÍ LISTY A PROTOKOLY O ZKOUŠKÁCH