

FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A
DÍLCŮ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND
COMPONENTS

VÝROBA A ZKOUŠENÍ PĚNOKERAMICKÝCH FILTRŮ

PRODUCTION AND EXAMINATION OF FOAM CERAMIC FILTERS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Jan Ondrášek

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. LENKA NEVŘIVOVÁ, Ph.D.

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607R020 Stavebně materiálové inženýrství
Pracoviště	Ústav technologie stavebních hmot a dílců

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Jan Ondrášek
Název	Výroba a zkoušení pěnokeramických filtrů
Vedoucí bakalářské práce	Ing. Lenka Nevřivová, Ph.D.
Datum zadání bakalářské práce	30. 11. 2012
Datum odevzdání bakalářské práce	24. 5. 2013
V Brně dne 30. 11. 2012	

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

1. HANYKÝŘ, Vladimír a Jaroslav KUTZENDÖRFER. Technologie keramiky. 2.vyd., V Silikátovém svazu 1. Praha: Silikátový svaz, 2008, 387 s., [9] s. barev. obr. příl. ISBN 978-80-86821-48-1.
2. VALENTA, Ladislav. Keramická příručka. 2., V Silikátovém svazu 1., dopl. a upr. vyd. Praha: Silikátový svaz, 2007, 417 s. ISBN 978-80-86821-46-7.
3. SAŠEK Ladislav a BARTUŠKA Miloslav. Laboratorní metody v oboru silikátů, Nakladatelství technické literatury Praha, 1981, 319 s. ISBN 04-824-81.
4. MICHNA Štefan a LUKÁČ Ivan. Encyklopedie hliníku, 2005, 701 s. ISBN 80-89041-88-4.
5. ROUTSCHKA Gerald und WUTHNOW Hartmut. Handbook of Refractory Materials. 347 s. Germany 2012, ISBN 978-3-8027-3162-4.

Zásady pro vypracování

Úkolem bakalářské práce je detailní zpracování problematiky výroby, zkoušení a využití pěnokeramických filtrů. Pěnokeramické filtry jsou používány při plnění forem při odlévání slitin hliníku. Úkolem práce je obecný popis problematiky filtrace, popis surovin používaných pro výrobu pěnokeramických filtrů, popis technologie výroby keramických suspenzí a definice charakteristických vlastností suspenzí. Dále pak popis technologie výroby pěnokeramických filtrů, požadavky kladené na filtry a druhy filtrů. Práce by se měla zabývat také metodikou zkoušení základních vlastností filtrů.

Cílem praktické části práce je zhodnotit vliv vstupních parametrů keramické suspenze na finální pevnosti a celkové technologické smrštění výrobku. Bakalářskou práci rozčleňte:

1. Úvod - Obecný vstup do problematiky.
2. Teoretická část – obecný popis problematiky filtrace, popis surovin, které se při výrobě pěnokeramického filtru používají, obecný popis technologie výroby, požadavky na filtry, rozdělení filtrů, metodika zkoušení fyzikálně mechanických vlastností filtrů.
3. Experimentální část – Testování vlivu viskozity keramické suspenze na výsledné pevnosti filtru a na celkové smrštění výrobku sušením a výpalem.
4. Diskuse výsledků a závěr.

Rozsah práce cca 45-50 stran.

Předepsané přílohy

.....
Ing. Lenka Nevřivová, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

Abstrakt v českém a anglickém jazyce

ČJ

Cílem této práce je popis surovin a výroby pěnokeramických filtrů. Součástí práce je i popis tvorby keramického střepu, vlastnosti keramické suspenze a zkoušky prováděné jak na surovinách tak na vypáleném pěnokeramickém filtru a dále experimentální část, která obsahuje zhodnocení vlivu viskozity na výslednou pevnost filtru a jeho smrštění sušením a výpalem.

ENG

The aim of this thesis is to describe manufacture of the ceramic foam filters and its materials. Thesis includes description of manufacture of ceramic shard, properties of ceramic suspension and testing carried out not only on materials, but also on fired ceramic filter. Furthermore this thesis includes experimental part which includes evaluation of influence of viscosity on final firmness of the filter and its contraction by desiccation and firing.

Klíčová slova v českém a anglickém jazyce

ČJ: pěnokeramické, filtr, suspenze, výroba, surovina

ENG: foam ceramic, filter, suspension, production, material

Bibliografická citace VŠKP

ONDRÁŠEK, Jan. *Výroba a zkoušení pěnokeramických filtrů*. Brno, 2013. 48 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce Ing. Lenka Nevřivová, Ph.D.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 24. 5. 2013

.....
podpis autora

Jan Ondrášek

Poděkování:

Chtěl bych tímto poděkovat vedoucí bakalářské práce Ing. Lence Nevřivové, Ph.D. za ochotu a trpělivost a firmě Láník s.r.o. za poskytnuté informace ke zhotovení bakalářské práce.

REJSTŘÍK

1. Úvod.....	9
2. Způsoby tvorby keramického střepu.....	10
2.1 Vytváření z tvárného plastického těsta	10
2.2 Lisování ze suché nebo zavlhlé směsi	12
2.3 Lití suspenze do forem.....	13
3. Filtrace kovů	14
3.1 Historie filtrace	15
3.2 Princip filtrace	15
3.3 Druhy filtrů a jejich použití	17
3.3.1 Objemové filtry.....	17
3.3.2 Ploché filtry	19
4. Keramická suspenze.....	20
4.1 Suroviny pro výrobu keramické suspenze	21
4.2 Reologie keramické suspenze	22
4.3 Postup přípravy keramické suspenze.....	25
5. Polyuretanová pěna	26
6. Postup výroby pěnokeramického filtru	27
6.1 Řezání polyuretanové matrice	29
6.2 Práce na lince (1. prolev)	29
6.3 Práce na odstředivce (2. prolev)	29
6.4 Práce na stříkání (2. prolev)	30
6.5 Sušení.....	30
6.6 Výpal.....	31
6.7 Expedice.....	32

7. Zkoušky prováděné na surovinách k výrobě pěňokeramických filtrů	32
7.1 Viskozita	32
7.2 Měření pH	33
7.3 Granulometrie	33
8. Zkoušky prováděné na vypálených pěňokeramických filtrech	34
8.1 Rozměr	34
8.2 Hmotnost	34
8.3 Porezita - ppi	35
8.4 Pevnost v tlaku	35
8.5 Vlhkost a zpěťná navlhavost.....	36
8.6 Zkouška průtočnosti filtru	36
8.7 Zkouška mechanické odolnosti okrajů filtru	37
8.8 Objemová hmotnost	37
8.9 Měření tlakové ztráty	38
8.10 Pevnost v tahu za ohybu.....	38
9. Experimentální část.....	39
9.1 Příprava vzorků	39
9.2 Pevnost v tlaku	40
9.3 Pevnost v tahu za ohybu	42
9.4 Smrštění sušením a výpalem	43
9.5 Diskuze výsledků.....	44
10. Závěr.....	45
11. Seznam literatury	46
12. Seznam zkratek a symbolů	48

1. Úvod

Tato práce popisuje materiály a postup výroby pěnokeramických filtrů. Hlavním důvodem vzniku pěnokeramických filtrů byla potřeba odstranění nečistot z kovu. V minulosti se používaly složité vtokové soustavy, které byly tvořeny odstruskovačem nebo jamkami, ve kterých se nečistoty zachytávaly v důsledku proudění. V dnešní době existuje spousta druhů filtrů, např. tkaninové, lisované, extrudované, pěnokeramické filtry a kovová sítky a cedítka, z nichž nejpoužívanější je pěnokeramický typ. Pěnokeramický filtr je základní stavební složkou filtrační soustavy. Je to žáruvzdorný materiál, který je schopen filtrovat kov za vysoké teploty. Skládá se z retikulované polyuretanové pěny a keramické suspenze. Polyuretanová pěna tvoří nosnou kostru filtru při výrobě a při výpalu vyhoří. Tvar keramického střepu lze zhotovit z tvárného plastického těsta, lisováním ze suché a zavlhlé směsi a litím keramické suspenze do sádrových forem. U keramické suspenze pro výrobu pěnokeramických filtrů záleží při výrobě na viskozitě a tixotropii. Složení keramické suspenze určuje výsledné vlastnosti a možnost použití k filtraci různých kovů. Je zapotřebí zvolit nejideálnější složení jak pro výrobu, tak pro vlastnosti výsledného keramického střepu. Nanášení keramické suspenze na polyuretanovou pěnu lze provádět na výrobní lince, odstředivce a stříkáním tlakovou pistolí. Mezi každou operací se filtry suší v komorových, nebo mikrovlnných sušárnách a pálí se v komorových, či tunelových pecích. V průběhu výroby se na vyrobeném polotovaru kontroluje velikost, rozměr a hmotnost. Při výstupní kontrole se na keramickém filtru kontroluje opět rozměr, váha a vizuálně se porovnává s etalonem. Pevností v tlaku se zjišťuje manipulační pevnost. Existuje řada zkoušek, které lze na filtru provádět, ale jsou spíše orientační pro výrobce.

V experimentální části budeme zkoumat vliv viskozity použité při výrobě na výslednou pevnost keramického střepu.

2. Způsoby tvorby keramického střepu

Keramické výrobky řadíme do kategorie silikátů, které jsou tvořeny převážně z přírodních surovin bohatých na obsah křemíku.

Již v minulosti se keramika definovala jako pálená hlína. Keramika je pevná anorganická polykrystalická látka vyrobená keramickým výrobním způsobem z minerálních surovin s převládající složkou jílovitých minerálů, vytvarovaná a potom vypálená na vysokou teplotu nad 900°C. Tvorba keramického střepu závisí na mineralogickém, granulometrickém složení, dostatečné hutnosti po vytvarování, sušení a na optimálním průběhu zpevňování (výpalu). Stavební keramika se vyrábí třemi základními způsoby tvorby keramického střepu:

- Vytváření z tvárného (plastického) těsta
- Lisování ze suché směsi (granulát), nebo zavlhle směsi (drolenky)
- Litím suspenze (keramické břčky) do sádrových forem

Výroba keramických filtrů je specifická svou výrobou, protože způsob její výroby je jedinečný.[1] [2]

2.1 Vytváření z plastického těsta

Je to nejstarší způsob výroby. Obsah vody se pohybuje v rozmezí od 15 % do 25 %. Podle způsobu působení vnějších sil na výrobek lze rozdělit na čtyři kategorie způsobu výroby.

- vytváření tažením
- vytváření ražením
- vytváření vytáčením
- vytváření stříkáním

Hlavním aspektem pro vytváření z plastického těsta je plastičnost neboli tvárnost. Plastičnost (tvárnost) je vlastnost pevné látky měnit tvar působením vnějších sil, při kterém nevzniká porušení struktury (trhlínky).

Plastická deformace keramického těsta je součet relativních posunů částic disperzní fáze. Tvárnost lze popsat pomocí vztahu:

$$T = \frac{\sigma_T}{\tau} = \frac{\sigma_T}{\eta}$$

σ_Tpevnost v tahu v MPa

τtečné napětí v Pa

ηviskozita těsta v Pa·s

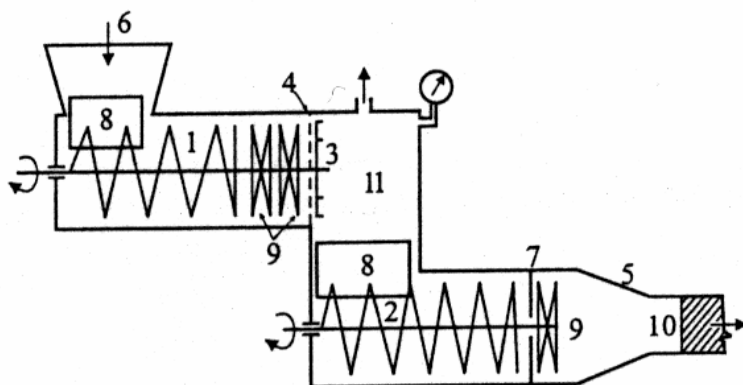
Čím nižší bude tečné napětí nebo viskozita a vyšší pevnost v tahu, tím bude lepší tvárnost. Nepřímá metoda pro stanovení tvárnosti je Pfefferkornova metoda deformace válečku padajícím závažím. [1] [2]

Vytváření tažením

Parametr	Měkké	Polotuhé	Tuhé
Obsah vlhkosti[%]	20 - 27	15 - 20	12 - 15
Deformační poměr	1,8 - 2,8	1,3 - 1,8	1,3
Mez toku [kPa]	48 - 29	102 - 48	102
Lisovací tlak[MPa]	1,4 - 0,4	2,5 - 1,4	5,0 - 2,5

Tab. 1: Rozdělení tažení podle tuhosti těsta

Technické zařízení pro tvorbu výrobku je vakuový šnekový lis. Může být horizontální, nebo vertikální. Na nevertikálním šnekovém lisu se vytváří cihly, krytina a na horizontálním šnekovém lisu se vytváří kameninové trouby. Šnekový lis plní v keramice šest funkcí a těmi jsou zhutňování, homogenizace, lisovací tlak, rozdělení rychlosti výtlaku a na výrobku vytváří hladký povrch.



Obr. 1: Vakuový šnekový lis - 1. mísící šnek, 2. lisovací šnek, 3. odřezávací rozeta ve vakuové komoře, 4. protlačovací síto, 5. lisovací hlava, 6. podávací otvor, 7. protinože, 8. podávací válec, 9. koncová hlava šneku, 10. ústí lisu, 11. vakuová komora [1]

Vytváření ražením

Tímto způsobem se vyrábí krytina nebo kachle. Vytvořený polotovár na šnekovém lisu se přelisuje na mechanickém, nebo hydraulickém lisu. Na jedno vyražení se vyrobí jedna až pět tašek. Šestiboký buben se přetržitě otáčí a v každé poloze se vytvoří jedna výrobní operace.

Vyšší prvky, jako jsou hřebenače, se lisují na podobných lisech, avšak po jednom kuse. Materiál na tvorbu forem je sádra nebo kov.



Obr. 2: Ústí vakuového šnekového lisu [17] Obr. 3: Stroj na ražení tašek [17]

Vytváření vytáčením

Vytáčením se zhotovují rotačně symetrické výrobky (nádoby, misky). Jedním ze způsobů je vytáčení na hrnčířském kruhu. Tato metoda se již řadí do uměleckých řemesel. Na tvorbu se používá mechanické zařízení. Rozděluje se dle polohy rotující sádrové formy:

- Vytáčení přes formu
- Vytáčení do formy

Pro odstranění napětí při formování se používá válcované vytáčení. Statická forma je nahrazena rotující hlavou. Výrobek se zhotovuje mezi rotující formou a hlavou. [1] [2]

2.2 Lisování ze suché směsi (granulát) nebo zavlhle směsi (drolenky)

Lisování je působení tlaku (jednoosého nebo triaxiálního) na směs, ze které se vytvoří pevný výlisek. Lisování rozdělujeme podle obsahu vlhkosti na suché (1 - 8 %) a zavhlé (8 - 15%). Dle obsahu vlhkosti, struktury a tvaru výrobku volíme technické zařízení a lisovací tlaky. U zavhlé směsi má lisovací tlak hodnotu 20 - 40 MPa. Principem lisování je, že se při stlačování drolenky deformují jílové částice obalené kapalinou a vytlačují se vzduchové póry. Po vytlačení všech vzduchových pórů se mezery vyplní kapalinou a systém se stává dvoufázovým a příslušný lisovací tlak je tlakem optimálním. Zavhlou směs lze zpevňovat dusáním elektrickým pěchem v rozebíratelných formách. Tímto způsobem se zhotovují výrobky složitých tvarů a velkých rozměrů.

U suchých směsí se používá ke zpevnění působení jednoosého tlaku. Tímto způsobem se vyrábí ve stavební keramice obkladačky a dlaždice. První etapou je lisování při nízkém tlaku.

Hutnost je lineárně závislá na lisovacím tlaku. Částice se vzájemně posouvají a vyplňují mezery mezi sebou tak, aby byl výrobek co nejhutnější. Další zhutňování nastává plastickou deformací jílových a rozrušováním aglomerovaných částic. Závislost tlaku na hutnosti je exponenciální. Třetí etapou je lisování vysokým tlakem, kdy se částice jen málo posouvají a drtí. Hutnost výrobku se dostává k maximální hodnotě.

2.3 Litím suspenze (břečky) do forem

Keramická břečka je koloidní disperzní systém. Její vlastnosti jsou určeny viskozitou, koncentrací pevných částic a optimálním obsahem elektrolytů a tixotropií.

Suspenze je směs pevné látky rozptýlené v kapalině. Kolem částice pevné látky se v suspenzi vytváří elektrická dvojvrstva a na fázovém rozhraní mezi vrstvou kapaliny adsorpčně vázané a volné kapalině v disperzním prostředí vzniká elektrokinetický potenciál, který ovlivňuje tok suspenze. Čím je vyšší elektrokinetický potenciál, který je závislý na tloušťce kapaliny pevně svázané na povrchu částice, tím je nižší viskozita. Jestliže se dostane hodnota elektrokinetického potenciálu na kritickou hodnotu, částice se začnou shlukovat ve větší celky. Při nulové hodnotě potenciálu suspenze koaguluje. Ztekucující přísady (elektrolyty) vedle viskozity také ovlivňují tixotropii a rychlosti tvorby střepu.

Jako ztekucující přísady se používá bezvodá soda Na_2CO_3 , která urychluje tvorbu střepu, ale prodlužuje jeho zpevňování a hladkost povrchu, vodní sklo Na_2SiO_3 , které prodlužuje dobu tvorby střepu, ale tvoří pevný střep s hladkým povrchem, pyrofosforečnan sodný, který $\text{Na}_2\text{P}_2\text{O}_7$ ztekucuje břečku a snižuje tixotropii a další ztekucovadla jako hexafosforečnan sodný a šťavelan amonný. Používané elektrolyty jsou rozpustné soli. Na stabilitu břečky a její ztekucení působí huminan sodný a pevnost výsušku zvyšuje lignosulfonan sodný a karboxyceluloza.

U stavební keramiky se používají vyšší viskozity a zhotovuje se takto sanitární keramika. Rychlost tvorby keramického střepu závisí na tloušťce keramického střepu, na jemnosti pevných částic v suspenzi a na viskozitě suspenze. Když jsou zrna jemněji mletá, tak se doba tuhnutí zvyšuje z důvodu většího odporu proti odsávání vody, ale výsledný keramický střep je stabilnější. Snižováním viskozity se tvorba keramického střepu urychluje, ale lze keramickou suspenzi také zahřát a tím klesne viskozita suspenze na polovinu – horké lití.

Používají se technologie lití na střep s vyléváním břečky, lití na jádro, tlakové a odstředivé lití. Tlakové lití urychluje tvorbu střepu. Vytvořený střep je pevnější a má menší smrštění. Musí se používat pevnější formy (speciální sádry, kapilárně pórovité plasty). [1] [2]

Lítí na střep

Forma je zhotovena ze sádry. Tvar finálního výrobku je vytvořen na jedné straně jednostranné neuzavíratelné formy, do které se nalije licí břecha. Přebytečná břecha se přes hranu formy odebere. Vlhkost obsažená v licí břechce je odebrána z jedné strany formou.

Lítí na jádro

Uvnitř formy je vytvořen prostor, který odpovídá tvaru výrobku. Vlhkost licí břechky je odebírána z obou stran formy.



Obr. 4: Forma pro lití na střep [15]



Obr. 5: Forma pro lití na jádro [16]

Postup výroby keramického střepu:

- Nalítí břechky do formy (bez bublin)
- Tvorba střepu ve formě (voda odsávána povrchem formy), dolévání keramické břechky do formy
- Odlítí nepotřebné břechky, nebo dolítí na jádro
- Tuhnutí střepu, rapidní snížení obsahu vody ve vysušku
- Doformování, očištění a dosušení
- Očištění formy, sestavení a vysušení

3. Filtrace kovu

Filtrace je proces, při kterém dochází k oddělování dvou fází pomocí propustného materiálu, ve kterém se jedna fáze zachytí. V dnešní době lze filtrovat kov až do teploty 1700 °C. Filtrovaným materiálem můžou být slitiny neželezných kovů, litina a slitiny oceli. Keramický filtr je jedním z nejúčinnějších filtrů, co se týče kvality filtrace a ceny v porovnání s jinými filtry. Dokáže velice dobře hloubkově filtrovat a zklidnit proudění kovu. Životnost filtrů

záleží na použití. Slévárenské filtry mají životnost v řádech sekund až minut a filtry hutní v řádech hodin

3.1 Historie filtrace

Hlavním důvodem řešení filtrace ve slévárenství je zvyšování kvality odlitků a zvýšení efektivity výroby. Slévaři se již od prvopočátku snažili zvyšovat kvalitu výrobku zvyšováním čistoty výroby, kvalitnějším povrchem a lepšími vlastnostmi a tím museli snížit množství nečistot.

Ve 30. letech 20. století se s využitím zákonů o proudění a empirických zkušeností započalo systematickým přístupem ke konstrukci a dimenzování vtokových soustav. Důvodem bylo řešení zachytávání vměstků v jamkách, v odstruskovačích nebo ve speciálních sekcích vtokové soustavy. Většina soustav se řešila na principu, že hustota vměstku je menší jak hustota kovu. Tento princip lze používat u železa, kde je hustota výrazně rozdílná. U slitin se používají jiné principy, protože vměstky u slitin mají skoro totožnou hustotu. Jedním ze způsobů, jak lze odstraňovat vměstky je, že se vměstky zachycují na stěnách ve vtokové soustavě ve formě oxidických blan. Nevýhodou všech popsaných metod jsou velké vtokové soustavy, které snižují využití tekutého kovu a prodražují výrobu.

Přibližně od poloviny 60. let se začala používat keramická cedítka, která se umísťovala do vtokové jamky (odstranění strusky).

Ke konci 70. let se začaly do vtokové soustavy dávat keramické filtry na zachycení vměstků (letecký průmysl). Problémem filtrace kovu byla teplota. Z důvodu vysoké teploty litého kovu, která dosahovala teploty až 1700 °C.

Největší nárůst používání filtrů byl v 80. - nejvíce v 90. letech, kdy se filtrace oceli pomocí keramických filtrů používala jen zřídka a to na speciální odlitky. Největší průlom filtrace oceli nastal v 21. století, kdy z důvodu zvedání cen kovů a nárůstu technologie přímého lití kovu přes nálitek za použití exotermických obkladů a speciálních filtrů na bázi uhlíku. [3]

3.2 Princip filtrace

Keramický filtr, jakožto výrobek má hlavní funkci odstraňovat znečišťující látky v kovu. Zároveň ale ovlivňuje i spoustu jiných faktorů při odlévání. Tím, že je filtr osazen ve vtokové soustavě, tak dokáže eliminovat turbulentní proudění kovu na laminární a tím zabrání reoxidaci kovu, snižuje riziko eroze formy, umožňuje zjednodušení vtokové soustavy a snižuje vliv lidského faktoru.

Filtrační mechanismy

- Filtrace cezením
- Tvoření filtračního koláče
- Hlubková filtrace

U výše uvedených filtračních mechanismů záleží během lití na druhu odlévané slitiny, na teplotě a rychlosti lití. [4]

Zachycované vměstky:

- Pevná forma (např.: písek, nerozpuštěné legury)
- Kapalná forma (např.: struska)

Filtrace cezením

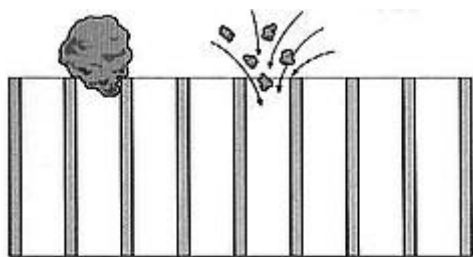
Zachycování částic a vměstků na čelní (přítokové straně filtru), které jsou větší, než je otvor filtru.

Tvoření filtračního koláče

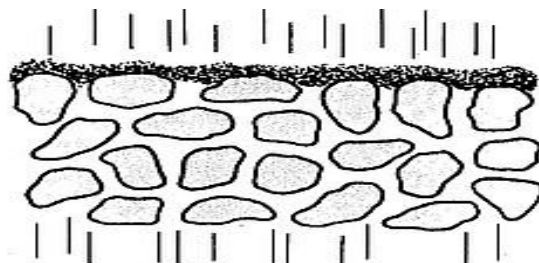
Na přítokové části filtru se usazují vměstky, na které se postupně zachycují další menší částice, z důvodu tekutosti vměstku, až do úplného uspaní filtru.

Hlubková filtrace

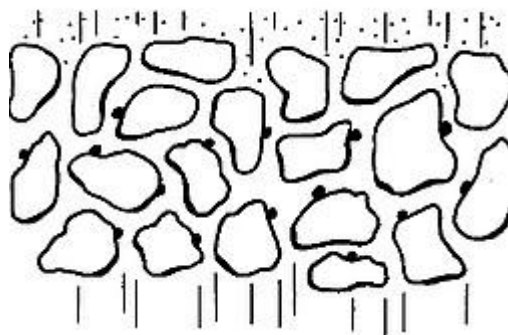
Probíhá v celém objemu filtru. Na stěny keramického filtru se nalepují vměstky, na které se v průběhu filtrace nalepují další vměstky a shlukují se.



Obr. 6: Zachycení hrubých nečistot



Obr. 7: Vznik filtračního koláče



Obr. 8: Hlubková filtrace

3.3 Druhy filtrů a jejich použití

Podle materiálu, ze kterého jsou filtry vyrobeny, je rozdělujeme na keramické, kovové, tkaninové. Podle způsobu filtrace se dělí na ploché a objemové.

3.3.1 Objemové filtry

- A-Filtry

filtry určeny pro filtraci **litiny a neželezných kovů** při teplotách do **1480°C**. Lze je používat do vtokového systému formy i v kombinaci s exotermickými nástavci pro přímé lití na filtr. Lze jej použít taktéž i pro kontinuální filtraci barevných kovů.

Chemické složení licí břečky: SiC - 79%, Al₂O₃ - 15%, mikrosilika - 5%, 30% roztok koloidního SiO₂ a bentonit 1%

- B- Filtry

filtry určeny především pro filtraci **slitín hliníku a ostatních neželezných kovů** do teploty **1350 °C**. Jsou určeny jak pro jednorázovou filtraci, tak pro trvalé ponoření do taveniny pro filtrování větších objemů.

Chemické složení: Al₂O₃ - 93%, Mastek - 3%, Jíl - 1% , Lupek - 3% a 30% roztok koloidního SiO₂



Obr. 9: A – filtry [3]



Obr. 10: B – filtry [3]

- C -Filtry

filtry určeny pro **jednorázovou filtraci hliníku a hliníkových slitin** do teploty **850 °C**. Používají se výhradně pro uložení do vtokového systému formy nebo při umístění do filtrační nálevky z izolačních materiálů nebo pro exotermických nástavců.

Chemické složení: Lupek - 75%, mikrosilika - 10%, Grafit - 15%, vodní sklo(sodné)
-pálí se v redukční atmosféře



Obr. 11:D – filtry

- D-Filtry

filtry určeny pro filtraci **oceli, především vysoce legovaných ocelových slitin**, kde je požadovaná vysoká spolehlivost a chemická čistota. Má vysokou mechanickou pevnost.

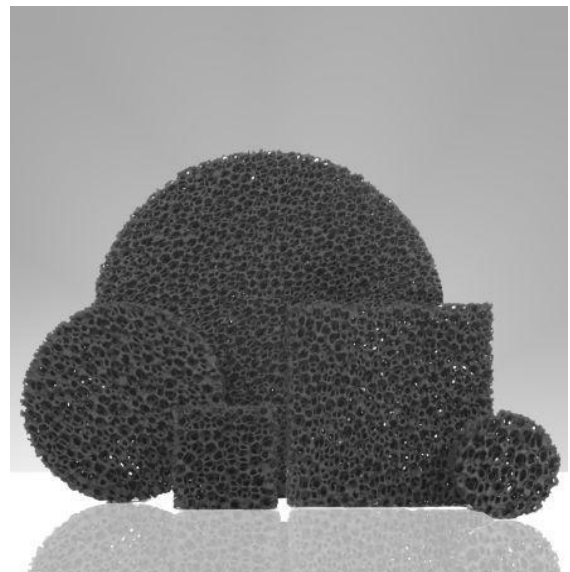
Chemické složení: ZrO_2 - 95%, Al_2O_3 - 1-2%, organické pojivo (fosforečnany)

- E-Filtry

filtry jsou určeny pro filtraci **slitin oceli** do teplot až **1700°C**. Mají dobrou tepelnou vodivost a nízkou hmotnost a minimalizují tepelné ztráty. Svými vlastnostmi jsou přímo předurčeny pro přímé lití odlitků přes exo-nálitky pro filtraci větších litinových odlitků. Jsou na bázi Al_2O_3 a uhlíku. [4]



Obr. 12: D – filtry



Obr. 13: E - Filtry

3.3.2 Ploché filtry

- **Kovová sítká**

Jsou jedním z nejstarších a nejméně používaných systémů pro filtraci kovu. Používají se pro filtraci slitin hliníku, hořčíku a mědi. Používá se při systému gravitačního a nízkotlakého lití. Nevýhodou používání ocelových sítok je, že se brzy ucpou. Zachytávají pouze větší vměstky a to do velikosti 1 mm a sítko při filtraci zůstává zalito ve vtokové soustavě.

Rozlišujeme tři druhy sítok a těmi jsou:

- Kovové plátky s vytvořenými otvory - jedná se o sítká vytvořená z plechu nebo z tahokovu.
Tvar otvorů je buď lichoběžníkový, nebo kruhový. Průtočná plocha bývá 50 -70 %.
- Kovové sítky z ocelového drátu - jedná se o sítká z poměděného drátu nebo kovového drátu. Průtočná plocha je 45 - 60 %.
- Kovová vlna – jedná se o sítká tvořená z kovových vláken, která jsou přelisována do požadovaného tvaru.

- **Tkaninové filtry**

Tkaninové filtry zachytávají především hrubé vměstky a oxidické pleny. Používají se především k filtraci slitin lehkých kovů. Používají se v kovových kokilách a pro filtraci ingotů v hliníkárenských hutích. Vyrábí se tkaním žárovzdorných vláken a pro zpevnění se jejich povrch napouští fenolickými pryskyřicemi. Tvar filtru je buď plošný nebo vytvarovaný do potřebného tvaru. Nejčastější použití pro filtraci hliníku se používají filtry na bázi skelných vláken. Průtočná plocha je 20 - 60 %.

- **Cedítka**

Cedítka zachytávají hrubé nečistoty, urychlují zaplnění vtokové jamky, eliminují vznik vírů nad vtokovým kulem a snižují tedy turbulenci kovu. Jsou umístěny v dělicí rovině formy na dně vtokového kúlu. Kvůli možnému vzniku podtlaku pod cedítkem se navrhuje průřez otvoru cedítka větší, než je průřez vtokového kúlu. Vytváří se lisováním a průtočná plocha se pohybuje v rozmezí 10 – 45 %. Používají se pro filtraci slitin železných kovů.

- **Lisované filtry**

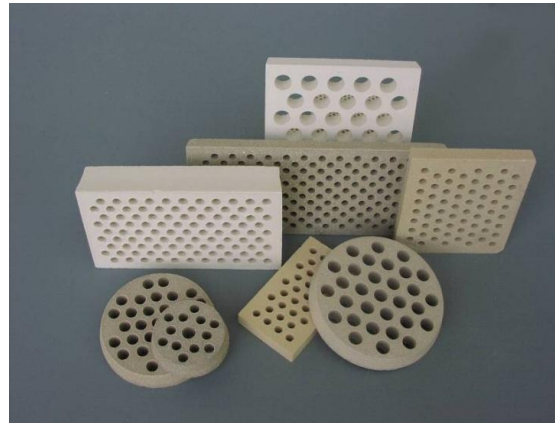
Jsou vyráběny lisováním z polosuché keramické hmoty. Jejich tvar je čtvercový, obdélníkový nebo kruhový. Jejich průtočná plocha je 35 – 65 %. Používají se pro filtraci šedé a tvárné litiny případně oceli a nezelezných kovů. Uplatňuje se u filtrování tvorba filtračního koláče a hloubková filtrace. Nevýhodou je vysoká tepelná kapacita.

- **Extrudované filtry**

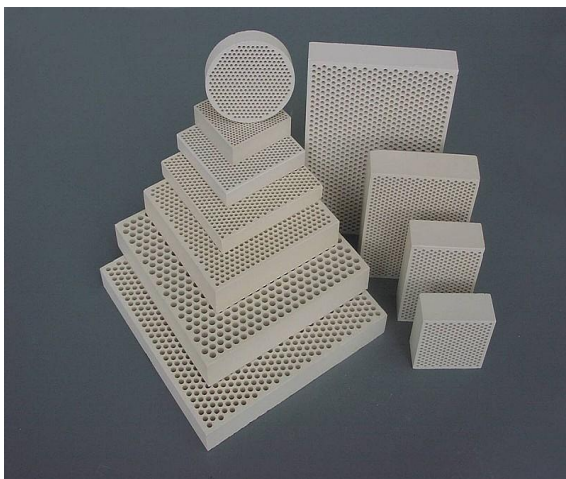
Filtry s přímými kanálky čtvercového nebo trojúhelníkového tvaru. Vyrábí se protlačováním keramické hmoty přes formu, která udává tvar filtru. Po extrudování se filtry nařezou do požadované tloušťky. Používají se k filtraci litin. Jejich průtočná plocha je asi 60 -70 %. Čím má filtr větší výšku, tak roste účinnost hloubkové filtrace, ale roste množství tepla odebrané kovu. Z důvodu ceny se filtry používají velice zřídka. [4]



Obr. 14: Tkaninové filtry



Obr. 15: Lisovaná cedítka



Obr. 16: Lisované filtry



Obr. 17: Extrudované filtry

4. Keramická suspenze (břečka)

Keramická suspenze je nositelem pevnosti a tvaru filtru po vypálení. Pro výrobu břeček se používají vysoce čisté látky SiC -98%, Al₂O₃ > 99,5%, ZrO₂ -99% a pojivovou složku tvoří

koloidní SiO_2 nebo vodní sklo (Na_2SiO_3). Jemnost mletí je Al_2O_3 D50 5-8 μm , SiC D50 11- 33 μm , ZrO_2 D50 5- 20 μm , Lupek D 50 13-24 μm .

4.1 Suroviny pro výrobu keramické suspenze

Oxid hlinitý

Je bílá prášková látka, která vzniká při spalování hliníku nebo dehydratací hydroxidu hlinitého. Hliník se v přírodě nachází přibližně ve 250-ti různých minerálech a mezi nejdůležitější patří korund, diaspor, boehmit, spinel, gibbsit, kyanit, andalusit, silimanit, kaolinit, alunit a nefelin. Ekonomicky nejvýhodnější pro výrobu je Bauxit. Skládá z hydratovaných oxidů hliníku zejména gibbsitu, boehmitu, diasporu a nečistot. Výroba oxidu hlinitého z bauxitu má dvě fáze. V první fázi se musí bauxit zbavit nečistot podle Bayerovy metody, ve které dochází k dehydratování hlinité rudy až na hydroxid hlinitý. Všechny znečišťující látky se rozpustí až na oxid křemičitý. Po následné filtraci se odstraní oxidy železa a roztok se ochladí. V druhé fázi se pevná fáze kalcinuje, čímž dojde ke vzniku oxidu hlinitého. [5]

Vodní sklo (sodné)

Je kapalina vzniklá rozpuštěním taveného skla ve vodě. Sodnokřemičité sklo se taví s křemičitého písku při teplotě 1300 - 1400 $^{\circ}\text{C}$. Po roztavení sklovina teče z pece a granuluje se ochlazováním vodou. Takto utavené sklo se převádí po podrcení na roztok za zvýšené teploty a tlaku v autoklávu.

Oxid zirkoničitý

Je to bílá krystalická látka. V přírodě se nachází ve formě baddeleitu. Vyrábí se z minerálu se stejnojmenným názvem zirkon, který je chemicky křemičitanem zirkoničitým ZrSiO_4 . Způsob výroby spočívá v odkřemičnění zirkonu žíháním se směsí CaO/MgO při 1500 $^{\circ}\text{C}$.

Silicium karbid SiC

Vzniká reakcí uhlíku s křemíkem (SiO_2) příp. oxidu uhelnatého s křemíkem (SiO_2). V přírodě se vyskytuje velice zřídka a to v minerálu moissanitu a proto se vyrábí převážně uměle. Je to velmi tvrdý materiál. Používá se jako brusivo a do žáruvzdorných materiálů. [6]

Koloidní SiO_2

Koloid- je roztok obsahující částice o velikosti zrn od 1nm do 1000nm. Používaný koloid má 30% obsahu oxidu křemičitého a hustotu 1200 kg/m^3 Köstrosol.

Lupek

Je to sedimentární hornina vzniklá usazováním vrstev jílovce. Tvoří vrstvy a lupeny, které lze snadno rozdělit v pravidelných útvarech. Je převážně tvořen minerálem kaolinitem. Pálí se v rotačních pecích na teplotu minimálně 1200°C.

Grafit

Neboli tuha, je stejně jako diamant chemický prvek uhlík. Je černošedý až černý, měkký žáruvzdorný materiál. Těžení se z regionálně metamorfovaných hornin, které vznikly přeměnou z uhelných slojí a z ložisek ropy. [6]

Mikrosilika

Jsou odpadem z některých hutních provozů. Je to jemný křemičitý prášek a má velký měrný povrch. Zvyšuje výslednou pevnost filtru.

Mastek

Je minerál, světle zelený, tmavě zelený, šedý či bílý a odolný vůči vysokým teplotám, který vznikl hydrotermálním přínosem oxidu křemičitého do hornin bohatých hořčíkem.

Bentonit

Je jílovitá hornina, která vznikla zvětráváním mateční horniny čediče. Obsahuje montmorillonit, kaolinit, illit a beidelit. Bentonit velice bobtná, je plastický, má vysokou sorpční schopnost a vysokou hodnotu výměny kationtů.

4.2 Reologické vlastnosti keramické suspenze

Viskozita

Keramická suspenze se svým reologickým chováním řadí do neneutonských kapalin (nelineárně viskózních kapalin).

Nelineárně viskózní látky jsou takové látky, u kterých není rychlost deformace úměrná napětí. Neplatí tedy Newtonův zákon viskozity.

Pro neneutonskou kapalinu platí analogická rovnice s rovnicí newtonských kapalin. [1] [6]

$$\tau = K D^n$$

Viskozita se u neneutonských kapalin vyjadřuje dvěma způsoby:

- zdánlivá viskozita..... $\eta = \frac{\tau}{D}$
- diferenciální viskozita..... $\eta' = \frac{d\tau}{dD} = n K D^{n-1}$

Protože zdánlivá ani diferenciální viskozita nejsou pro neneutonskou kapalinu konstantní, je třeba pro fyzikální ohodnocení těchto suspenzí udávat jejich závislost na smykovém napětí.

U výroby keramických filtrů je viskozita jedním z nejdůležitějších výrobních faktorů.

Použití ve výrobě:

- druh vyráběného filtru
čím je vyšší hodnota ppi, tím je používaná hmota řidší.
př. 10 ppi smykové napětí na výrobní lince $\tau = 450 - 500 \text{ Pa}$
60 ppi smykové napětí na výrobní lince $\tau = 380 - 450 \text{ Pa}$
- způsob výroby - výrobní linka..... smykové napětí $\tau = 440 - 500 \text{ Pa}$
 - odstředivka..... smykové napětí $\tau = 230 - 280 \text{ Pa}$
 - nanášení stříkáním..... smykové napětí $\tau = 60 - 120 \text{ Pa}$

Hmota s nízkou viskozitou se používá s nízkou pórovitostí, aby keramická suspenze dokonale obalila všechna vlákna polyuretanové pěny. Keramická suspenze s vysokou viskozitou se používá u výroby filtrů s velkou pórovitostí z důvodu lepší přilnavosti k polyuretanové pěně, hmota pak neztéká.

Viskozita keramické suspenze se určuje podle normy:

- **ČSN 72 10 88** – Stanovení doby průtoku průtokovým viskozimetrem

Podstatou zkoušky je zjištění doby průtoku 100ml suspenze průtokovým viskozimetrem.

Přístroje, zařízení a pomůcky: průtokový viskozimetr, širokohrdlé polyetylenové láhve o objemu 600 - 800 ml, desetiprocentní roztok uhličitanu sodného, destilovaná voda, technické váhy s přesností 0,2 g, pipeta na 3 ml, byreta na 100 ml, laboratorní tyčinkový teploměr s měřicím rozsahem -10 až +50 °C s dělením po 0,5 °C, stopky, kontrolní síto o délce strany oka 5 mm (příp. jiné velikosti), elektrické míchadlo s vrtulkou o průměru 52 - 57 mm s frekvencí 800 – 1000 otáček za minutu.

Průtokový viskozimetr- skládá se ze skelné trubice o průměru $30 \pm 1 \text{ mm}$ o objemu 100 ml. Trubice je vymezena horní a dolní hlavní ryskou. Výška plnění je vymezená horní pomocnou ryskou, která je 20 mm od horní hlavní rysky a 3 mm od horního okraje viskozimetru. Viskozimetr je na spodním konci opatřen pryžovou zátkou. Její horní hrana je umístěna na dolní hlavní mezní rysce. Uprostřed pryžové zátky je umístěna mosazná trubice o průměru $4,5 + 0,12 \text{ mm}$ o délce 65 mm. Horní okraj mosazné trubice je nadsazen nad hranu pryžové zátky o 5 mm.

Příprava vzorků: U běžných zpravidla kaolinitických materiálů se podrtí vzorek na velikost zrn pod 5mm (příp. menší) a vysuší se při teplotě 110 ± 5 do ustálené hmotnosti. Do širokoúhlé polyetylenové láhve se pipetou odměří 3ml desetiprocentního roztoku uhličitanu sodného a byretou se přidá 197 ml destilované vody. Vrtulkové míchadlo se uvede do chodu a

po dobu jedné minuty se přisype 200g vzorku. Po pěti minutách se míchadlo vypne a suspenze se neprodyšně uzavře a nechá se 24h v klidu. V případě jiného materiálu lze volit jiné hodnoty keramické suspenze.

Postup zkoušky: Po 24 h se obsah láhve znovu míchá po dobu 5 min. Před měřením musí být viskozimetr suchý a čistý. Výtokový otvor viskozimetru se ucpe prstem a keramická suspenze se nalije do viskozimetru po horní rysku. Po nalití se prst uvolní a stopkami se měří doba, za kterou se viskozimetr vyprázdní od horní hlavní rysky po dolní hlavní rysku. Měření se provádí nejméně třikrát a doba průtoku se vyjádří jako aritmetický průměr v sekundách. [7]

Tixotropie

Je definována jako časově závislé postupné rozrušování struktury při pohybu suspenze a její pozvolné obnovování v klidovém stavu.

Výsledkem rozrušováním struktury suspenze je snižování hodnoty viskozity a meze toku a zvyšování tečného napětí.

Tixotropie keramické suspenze se určuje koeficientem tixotropie. Vypočítá se jako poměr viskozit změřených po jedné a pěti minutách v klidu. Zvýšená tixotropie zhoršuje tvorbu keramického filtru a tím ovlivňuje jeho výslednou kvalitu. (pevnost, rozměr atd.)

Ke stabilizaci struktury se používá Peptapon 205.

Peptapon 205

Je to béžově zbarvený prášek, objemová hmotnost je 650 g/l. Ve vodě se rozkládá a tvoří gel. Viskozita je při (1%, 20°C) asi 1000 mPas. Dávka je od 0,05 – 0,3 % ze sušiny.

Vlhkost

Definice: množství vody, které je obsaženo v pevné látce.

Početně jde vlhkost vypočítat pomocí vzorce: $w = \frac{m_w}{m_d} 100\% = \frac{m - m_d}{m_d} 100\%$

V praxi se vlhkost stanovuje pomocí vlhkoměrů. Měření probíhá před výpalem. Běžná vlhkost před výpalem je 12-13 %. Maximální hodnota nesmí přesahovat 30 %, filtr by se při výpalu roztrhal



Obr. 18: Dotykový vlhkoměr [8]

4.3 Postup přípravy keramické suspenze

Postup výroby je takřka totožný s výrobou jakékoli jiné běžné suspenze či hmoty. Před započítím výroby si je potřeba nachystat dané složky pro vyráběný druh filtru a provedeme zkoušku laserovým analyzátozem velikosti částic. Dané složky se zpracovávají v disolverových mísičích.

Disolverový mísič- mísič se stabilním bubnem. Míchací systém je sestaven ze soustavy lopatek. První část lopatek stírá hmotu ze stěn bubnu a druhá sestava lopatek ve středu bubnu vykonává promíchávání suspenze. Vysoké otáčky zapříčiní dokonalému promíchání. Systém lopatek na hřídeli je vyosen z důvodu lepší manipulace a nakládky materiálu.



Obr. 19: Disolverový mísič



Obr. 20: Lopatky disolverového mísiče

První surovinou, která se vloží do disolverového mísiče je tekutá složka. Další surovinou jsou skelná vlákna, která se přidávají jen do některých druhů keramické suspenze z důvodu vyšších provozních pevností daného výrobku a pak se přidávají další složky podle daného technického listu. Doba míchání je přibližně 60 minut. Po namíchání se měří hodnota viskozity pomocí rotačního viskozimetru s upraveným křížovým nástavcem. Odležení břečky je maximálně 1 den.

Chemická kontrola namíchané keramické suspenze se nedělá. Po odležení se břečka znovu promíchá a je připravená k aplikaci na polyuretanovou pěnu dle daného postupu.

5. Polyuretanová pěna

Polyuretanová pěna je jednou ze základních stavebních složek keramického filtru. Určuje tvar, pórovitost a celkový vzhled filtru.

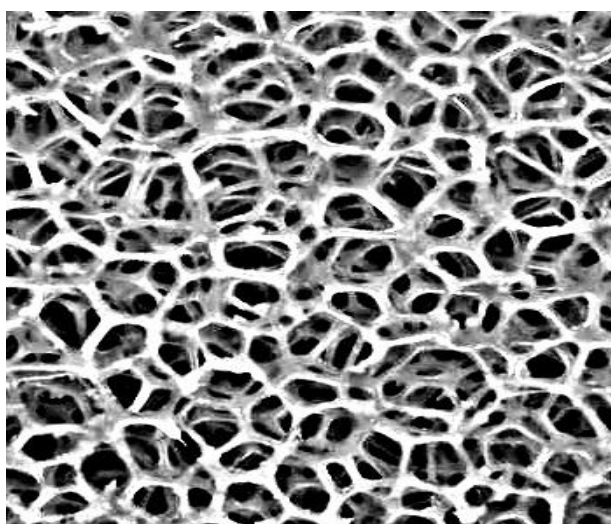
Polyuretanová pěna je makromolekulární konstrukční materiál na převážně organické bázi. Vzniká vzájemnou exotermní reakcí polyadicí diphenyldiisocyanátu a směsí vícesytných polyeter a polyester alkoholů, aktivátorů, katalyzátorů, stabilizátorů, retardérů hoření, vody a pomocných nadouvad. Vlivem teploty chemické reakce a tvořícího se kysličníku uhličitého CO_2 se vznikající polyuretanová hmota napěňuje a vytváří uzavřenou mikroskopickou buněčnou strukturu a následně se retikuluje, aby se odstranily stěny pentaedru a filtr tak mohl propouštět filtrovaný materiál.

Retikulace - je děj, při kterém dochází k odstraňování stěny pentaedru. Do komory se vloží polyuretanová pěna a odsaje se kyslík a vytvoří se vakuum. Do komory se pak vhaní směs kyslíku a vodíku. Zapálí se a následným vytvořeným výbuchem se roztrhají blány ve stěnách pentaedru.

Rozložení vláken polyuretanové pěny tvoří buňky tvaru pentaedru. Nejpoužívanější polyuretanové pěny jsou od firmy Eurofoam a Foam Partner. [6] [9]

Tab. 2: Tabulka požadovaných hodnot pro PUR pěnu Regicel 25, schwarz od firmy FoamPartner [9]

Fyzikální vlastnosti	jednotka	minimum	maximum
hustota sítě	Kg.m ⁻³	27	33
pevnost v tahu	kPa	120	-
CLD 40%	kPa	2,5	4
prodloužení při přetržení	%	180	-
pórovitost	Ppi	20	24
pokles tlaku	Pa	18	26



Obr. 21: Struktura polyuretanové pěny



Obr. 22: Tvar buňky

Další důležitou vlastností je pórovitost, která určuje využití a způsob výroby pěnokeramického filtru.

6. Postup výroby pěnokeramických filtrů

Základem výroby je nařezání polyuretanové matrice do daných tvarů a rozměrů. Vyřezává se z bloků o rozměrech 0,3 m x 1,2 m x 2 m. Prvním krokem je řezání požadované tloušťky filtru (běžně 15-50 mm) a z této plotny se následně rozřeže na menší již hotové filtry daných rozměrů. Souběžně s procesem řezání polyuretanové matrice se zhotovuje keramická suspenze, která se míchá ve vysokootáčkových disolverových mísičích. Viskozita keramické suspenze je důležitá pro optimální nanášení suspenze na polyuretanovou pěnu.

Dalším krokem je nanesení první vrstvy keramické suspenze na polyuretanovou pěnu. Polyuretanová pěna se ponoří do keramické suspenze. Přebytečná keramická suspenze se odstraní pomocí dvou rotujících válců, mezi kterými se polotovár protlačí a následně se vysuší v mikrovlnných sušárnách. Aby keramický filtr byl dokonale pokryt keramickou suspenzí a byla dostatečně pevná keramická vlákna, tak se na filtr nanáší druhá vrstva formou stříkání suspenze nebo ponořením do suspenze a následným odstředěním v odstředivkách. Po nanesení druhé vrstvy se filtr opět vysuší v sušárnách. Po druhém sušení se filtr vypálí ve vypalovací peci. Při výpalu polyuretanová pěna vyhoří a vytvořená keramická hmota se zpevní.

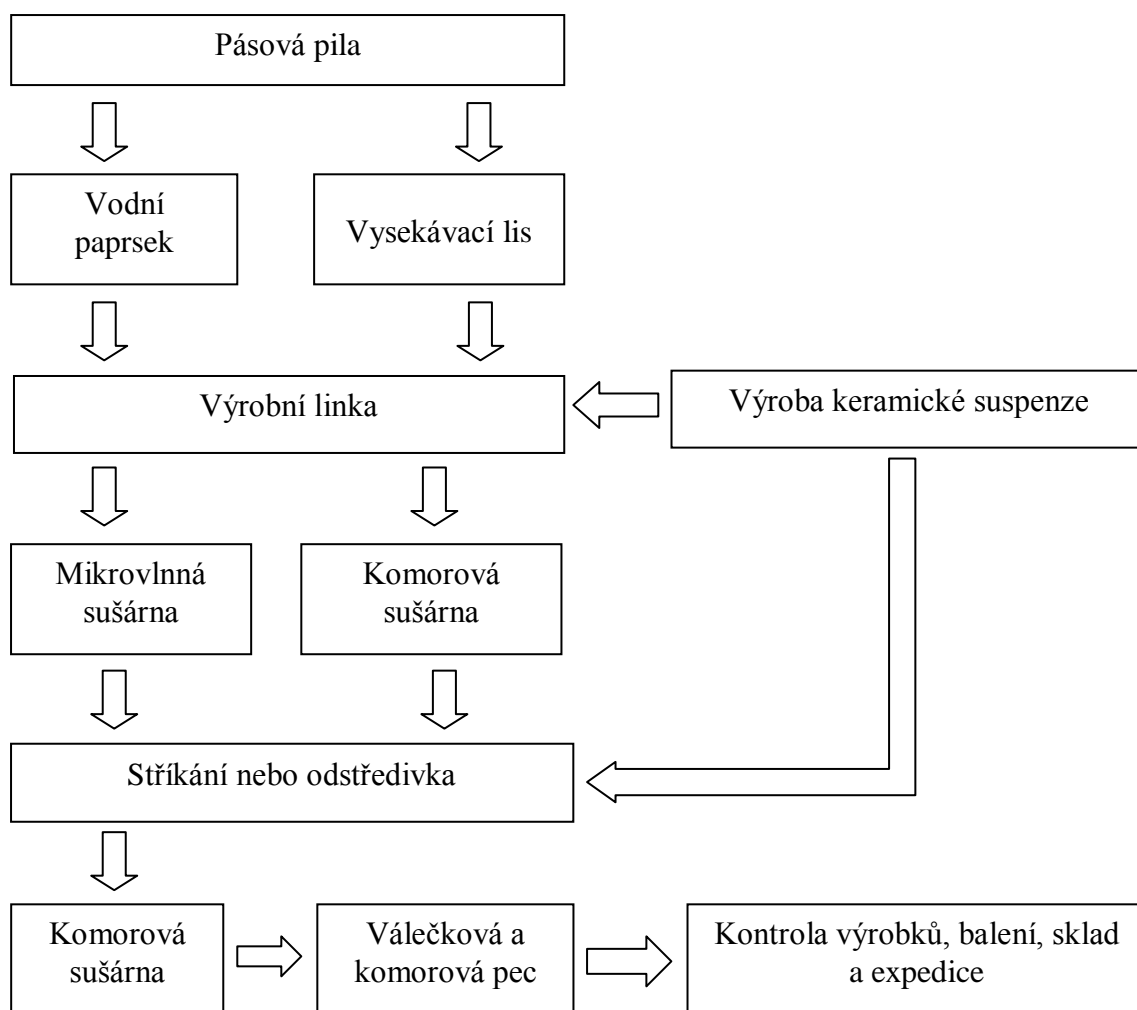
Teplota, při které polyuretan vyhořívá je 280 – 310 °C.

chemický vzorec polyuretanu: $C_{25}H_{42}N_2O_6$

Rovnice hoření polyuretanu je: $2 C_{25}H_{42}N_2O_6 + 65 O_2 = 50 CO_2 + 42 H_2O + 2 N_2$

Po vyhoření polyuretanové pěny se v keramickém filtru vytvoří mikrodutinky.

Po výpalu se vybrané kusy filtru vyzkouší, přeměří, zabalí, označí a je připraven k expedici.



Obr. 23: Vývojový diagram výroby

6.1 Řezání polyuretanové matrice

Pásová pila

- podélný řez - z kvádrů o rozměrech 0,3 x 1,2 x 2 m se odřežou boční strany z důvodu nevhodné pórovitosti. Z připraveného polotovaru se nařežou podélné pláty o výsledné tloušťce, ze kterých se na vysekávacím lisu zhotoví finální tvar filtru.
- Příčný řez - ze zhotovených pásů na pile s podélným řezem se příčným řezem zhotoví tvar velkoplošného filtru, u kterého se následně zhotoví zkosená hrana.

Vodní paprsek – na vodním paprsku se vyřezávají složitější tvary filtrů, filtry s větší tloušťkou a filtry, které prošly celým procesem namáčení polyuretanové matrice. Tyto filtry se řezou až před výpalem ze zhotovených desek z důvodu přesnosti výsledného filtru.

Vysekávací lis – na raznici, na které jsou sestaveny nože, podle tvaru filtru se položí pás z polyuretanové matrice, který byl nařezán na pásové pile a přes pryžovou desku se vyrazí polotovar filtru.

6.2 Práce na lince (1. prolev)

Linka je sestavena několika proti sobě rotujících válců. První dva válce se nazývají namáčecí, druhá dvojice válců je vymačkávací a třetí dvojice je stabilizující. Na počátku linky je automatický podavač, který podává polyuretanovou matici pomocí dopravního pásu do první dvojice válců, na kterou je z horní strany pomocí čerpadla přivedena keramická suspenze. Pomocí první dvojice se na polyuretanovou matici nabaluje licí břečka. Další dvojice válců slouží k odstranění přebytečné hmoty a to tak, že se nastavuje poloha horního válce. Čím blíže se válec přibližuje ke spodnímu válci, tak je hmota více vytlačována. Po projetí válci nabalené filtry projíždí na speciálním kevraloteflonovém pásu mikrovlnou sušárnou. Na konci linky jsou filtry odebrány na děrované plechy, vloženy do vozíku pro použití na nanesení druhé vrstvy

6.3 Práce na odstředivce (2. prolev)

Pracoviště odstředivky se dělí na dvě části a to na namáčecí část a vlastní odstředování.

Do namáčecí bedny se nelije hmota o požadované viskozitě, která se případně upravuje zředěním pojivem a promícháním vrtačkou. Z připraveného vozíku po prvním prolevu se z plechu přesune daný počet filtrů do namáčecího koše pomocí podložky a pravítka. Koš

s filtry se přiklopí podložkou a namočí se do břečky. Po vyjmutí koše se přes bednu nasunou příčné tyče, přes které se přebytečná hmota vyklepe. Po vyklepání se vloží koš do odstředivého stroje, na kterém se nastaví požadovaná rychlost otáčení podle druhu a hustoty filtrů. Posledním krokem je vyjmutí koše z odstředivého stroje a následným vyfoukáním vzduchem z obou stran se zajistí průchodnost filtru. Po ukončení se vozík zaveze do komorové sušárny.

6.4 Práce na stříkání (2. prolev)

Druhým způsobem nanášení druhé vrstvy je pomocí tlakové pistole. Tento způsob není tak přesný. Hmota není dokonale rozprostřena na vyrobeném polotovaru. Namíchaná suspenze se naředí na potřebnou viskozitu. Na tlakové pistoli si nastavíme požadovaný tlak, tak aby stříkaná suspenze tvořila mlhovinu. Filtry vytvořené na lince vložíme i s plechem na otočnou hlavici uvnitř stříkacího boxu. Tlakovou pistolí rovnoměrně nastříkáme, otočíme hlavici o 180° a nastříkáme znovu. Na nastříkané filtry položíme podložku, obrátíme je a nastříkáme stejným způsobem, jako prvním případě. Nastříkané filtry odsuneme od sebe, aby se neslepily, a dáme sušit do sušárny.

6.5 Sušení

Pro sušení keramických filtrů se používají dva typy sušáren:

- Mikrovlnná sušárna
- Komorová sušárna

Mikrovlnné sušárny jsou umístěny přímo za výrobní linkou. Sušení v mikrovlnné sušárně probíhá pomocí proudění mikrovln, které reagují s vodou ve vyrobeném filtru. Voda je vysoce polární látka, která dobře absorbuje mikrovlnnou energii, kterou téměř bezzbytku mění na teplo. Oproti klasickému sušení horkým vzduchem nebo kouřovými plyny je mikrovlnné sušení rozdílné. Neohřívá se jen povrch materiálu, ale pomocí mikrovlnných vln se materiál suší v celé své šíři. Nevzniká tak, jak u klasického sušení, suchá nepropustná vrstva na povrchu sušeného výrobku a je tak výrobek dokonale vysušen. Další nespornou výhodou je, že se sušené výrobky mají stejné podmínky z důvodu kontinuálního posunu po pásech a neprohýbají se (nedeformují). Hlavní problém nastává v případě, že před vstupem do mikrovlnné sušárny výrobek nestihl dostatečně zrelaxovat. Filtr tedy budou po vysušení vykazovat větší rozměry než po výrobě polyuretanové matrice. Při nabalování keramické suspenze a projíždění polyuretanové pěny mezi dvojicí válců se pěna deformuje. Při výrobě se

tedy musí počítat se zvětšením filtru. Suší se při teplotě okolo 100°C a doba sušení je přibližně 4 minuty.

K sušení v komorových sušárnách se používá přebytečné teplo z válečkové tunelové pece. V případě nedostatku tepla z pece má každá svá komora samostatný hořák. Suší se na teplotu 130°C a doba sušení je přibližně 1 hodinu. Před vstupem do sušárny musí filtr půl hodny relaxovat. V komorových sušárnách se suší filtry po nanesení druhé vrstvy nebo filtry, které se vyrábí na lince bez mikrovlnné sušárny.

6.6 Výpal

Druhy pecí:

- Válečková tunelová pec
- Komorová pec – klasická
- Komorová pec – s ochrannou atmosférou
- Komorová pec – vysokoteplotní

Jedním z nejsledovanějších momentů při výpalu filtru je vyhořívání polyuretanové pěny. Polyuretanová pěna vyhořívá při teplotě 250 - 350 °C, a proto počátek pálící křivky musí mít pozvolný nárůst, protože při počátku vyhořívání pěny teplota rapidně stoupá, a mohlo by dojít k úplné destrukci filtru. Po vyhoření polyuretanové pěny se postupně navyšuje teplota na požadovanou hodnotu výpalu. Izotermická výdrž je přibližně 1 hodinu, a potom se filtr začíná postupně ochlazovat až na výstupní teplotu, která je asi 50 - 60 °C.

Ve válečkové peci se pálí filtry menších rozměrů na filtrování litiny. Teplota výpalu je přibližně 1270°C. Doba výpalu je asi 4 hodiny.

V komorových pecích se pálí všechny druhy filtrů. V klasické komorové peci se pálí na teplotu 1400°C Doba výpalu je 12 hodin. V peci s ochrannou atmosférou dusíku se pálí filtry, jejichž hmota je složena z grafitu. V normální peci by se grafit mohl spálit. Doba výpalu u této pece je 8 hodin. Třetím typem je vysokoteplotní komorová pec a v té se pálí filtry na filtrování oceli. Teplota výpalu je 1600°C a doba výpalu je 16 hodin.



Obr. 24: tunelová válečková pec [10]



Obr. 25: komorová pec[11]

6.7 Expedice (balírna)

Posledním krokem výroby je kontrola a balení filtrů. Balí se do krabic, které jsou vystlány fólií s bublinkami proti rozbití. Mezi jednotlivé filtry se dávají vícevrstvé papírové proklady. Některé druhy filtrů se oblepují expandační páskou, která zlepšuje těsnost při usazení do vtokové soustavy. Po zabalení se na krabice nalepí potřebné údaje a jsou převezeny do skladu, kde se nachystají na palety a připraví se k expedici.

7. Zkoušky prováděné na surovinách k výrobě pěnokeramických filtrů

7.1 Viskozita

Viskozita keramické suspenze se měří na rotačním viskozimetru se speciálně upravenou hlavicí do tvaru kříže. Měřenou hodnotou je smykové napětí, které nám udává hodnotu konzistence keramické suspenze. Měření se provádí při míchání keramické suspenze, která se míchá na smykové napětí 900 - 1200 Pa. Před každou výrobní operací se ředí hmota koloidním roztokem na danou viskozitu a poté se provádí měření. V průběhu výroby se provádí každé dvě hodiny kontrolní měření, které musí splňovat kritéria daná výrobním postupem. Případná změna viskozity se upravuje buď přidáním husté keramické suspenze, nebo dalším zředěním.



Obr. 28: rotační viskozimetr



Obr. 29: křížový nástavec

7.2 Měření pH

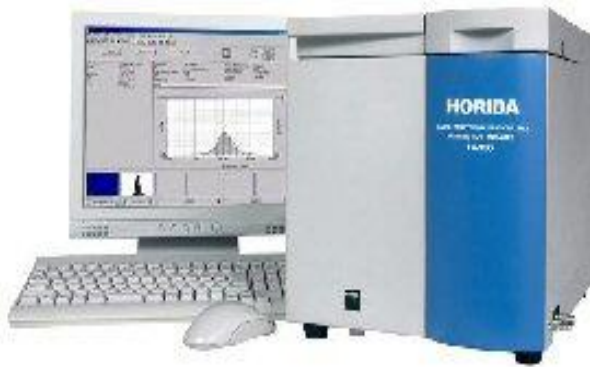
Měření se provádí pomocí pH metru. Koloidní roztok oxidu křemičitého má pH kolem 10. Po přidání plniva pH klesá. Hodnota pH nesmí klesnout pod 9, protože by koloidní roztok oxidu křemičitého mohl začít gelovatět, což je nežádoucí pro další zpracování a snižuje výslednou kvalitu filtru.

7.3 Granulometrie

Měření velikosti částic se provádí pomocí stroje Horiba La-300. Jedná se o laserový analyzátor velikosti částic. Ve skutečnosti neměří velikost částic, ale měří úhel a intenzitu rozptýleného světla od částic v měřeném vzorku. Tyto hodnoty se pomocí programu přepočítají na velikosti částic ve vzorku. Rozsah velikosti částic je od 0,1 - 600 μ m a výsledky měření mohou být již po dvaceti sekundách. [13]



Obr. 30: pH metr [14]



Obr. 31: Horiba La-300 [13]

8. Zkoušky prováděné na vypálených pěnokeramických filtrech

8.1 Kontrola rozměrů

Rozměry výrobků se kontrolují po každé výrobní operaci. Záleží na postupu výroby a druhu použité licí břečky. Při výrobě na výrobní lince s mikrovlnnou sušárnou se musí počítat se zvětšením filtru z důvodu deformace polyuretanové pěny a nedostatečnou relaxací zhotoveného polotovaru. Při sušení v komorových sušárnách a po výpalu se filtr smršťuje. Podle dané keramické suspenze a způsobu výroby se volí rozměr při výrobě polyuretanového polotovaru pro eliminaci výsledné velikosti filtru, vyřezávají se buď větší či menší rozměry, než je požadovaná finální velikost filtru žádaná odběratelem. Smrštění po výpalu bývá 1 – 8 %.

Rozměry filtru se měří posuvným měřítkem osazeným ploškami, které eliminují strukturu měřeného filtru. Měření probíhá na jednom procentu filtrů z každé výrobní šarže.

Větší rozměr filtru zapříčiní nedokonalé usazení na určené místo, nevejde se do jamky. Naopak u menšího rozměru dochází po aplikaci do vtokového systému k obtékání filtrovaným materiálem a způsobuje nedokonalou filtraci.

8.2 Kontrola hmotnosti

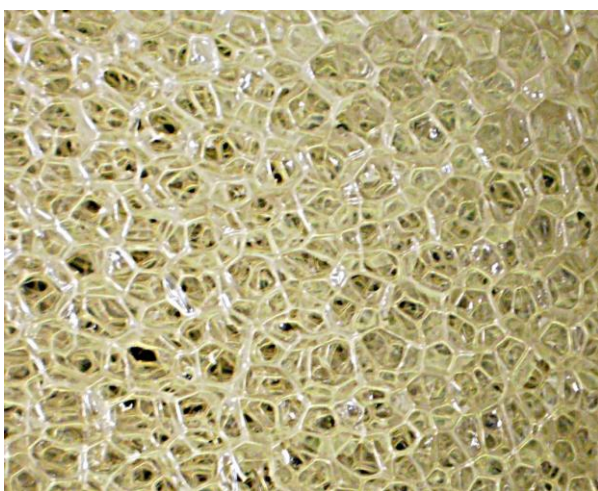
Jak rozměr, tak i hmotnost se kontroluje po každé výrobní operaci. Měří se na váhách s přesností 0,1 - 1g. Vliv hmotnosti na výslednou kvalitu filtru je tloušťka vláken a požadovaný průtok filtru. Oba tyto parametry se analogicky mění s rostoucí hmotností, pakliže je filtr kvalitně vyroben.

Měření se provádí na jednom procentu z výrobní šarže, nebo u některých druhů filtrů se váží každý kus.

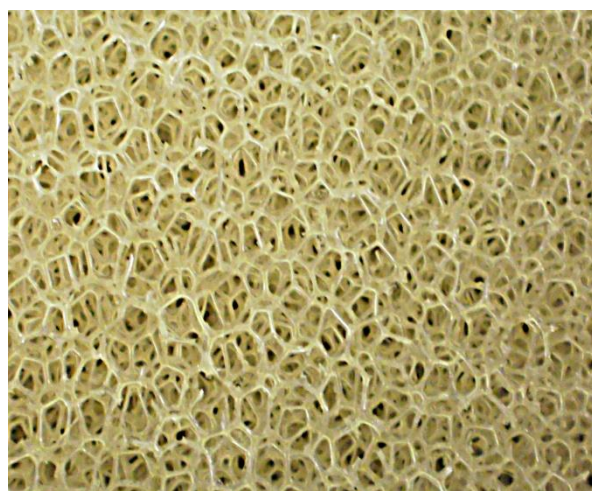
8.3 Porezita – ppi

Měření se provádí vizuálně v porovnání s etalonem.

Porezita ovlivňuje průtočnost filtru a vůbec schopnost filtrace. Zkouška se provádí jak při kontrole PUR pěny tak u hotového filtru.



Obr. 26: Nevhodná pěna pro výrobu



Obr. 27: Vhodná pěna pro výrobu

8.4 Penetrační test (Pevnost v tlaku)

Nejedná se o normovanou zkoušku, ale o interní zkoušku výrobce, který pomocí výsledné hodnoty udává kvalitu výrobku.

Princip zkoušky spočívá ve vtlačování pístku o průměru 28 mm do struktury filtru s časovým omezením 40 s a zatěžovacím posunem 4mm za 60s. Výsledná hodnota udává mechanické vlastnosti filtru za studena, jde tedy především o manipulační pevnosti filtru.

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad [\text{Pa}]$$

F.....Síla potřebná k porušení tělesa v N
A.....Zatěžovací plocha mm²

Dalšími možnostmi zkoušení pevnosti v tlaku jsou center test 24, pro který se používá průměr pístku 24 mm a rychlost pístku je 20 mm/min s časovým omezením 15 s a Plate test, který má průměr pístku 55 mm a zatěžovací rychlost je 20 mm/min s časovým limitem 15 a 30 s.

Název penetrační test je z důvodu zanedbávání různých faktorů jako při normové zkoušce.(např. Tlačí se pístkem a u normové zkoušky celoplošně)

8.5 Vlhkost a zpětná navlhavost

- Vlhkost

Jedná se o volnoprostorovou vlhkost. Vzorek se odebere z balírny, kde musí být alespoň 24h po výpalu, aby dosáhl své přirozené vlhkosti. Poté se zváží. Po zvážení se dá vysušit do sušárny o teplotě 105 ± 5 °C na dobu 3h. Poté se filtr vloží do exsikátoru. Po snížení teploty na okolní teplotu se filtr opět zváží. Vlhkost se vypočte pomocí vztahu:

$$w = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100 [\%]$$

m_1hmotnost před vysušením v g

m_2hmotnost po vysušení v g

- Zpětná navlhavost

Zkouška slouží jako kontrola chování filtru při zachycování vzdušné vlhkosti při skladování.

Zkouška se provádí na vysušeném filtru, který se vloží do uzavřené nádoby o stoprocentní vlhkosti po dobu 24 hodin. Po ukončení se změří hmotnost filtru a porovná se s hmotností filtru před zahájením zkoušky. Množství vody nám udává množství zachycené vody.

Vzdušná vlhkost filtru se uvolňuje při použití filtru. Důsledkem uvolňování této vlhkosti je možnost naplynění taveniny nebo může způsobovat nerovnost odlitku. [12]

$$NV = \frac{m_3 - m_2}{m_2} \cdot 100 [\%]$$

m_3hmotnost po vystavení stoprocentní vlhkosti v g

m_2hmotnost po vysušení v g

8.6 Zkouška průtočnosti filtru

Zkouška se provádí za předpokladu, že filtrovaná tavenina má takřka totožnou kinetickou viskozitu jako voda.

System spočívá v nádobě o objemu 10 l, výtokovým otvorem a uzavíratelným ventilem. Přes zkoušený filtr, který musí mít oblepen hrany páskou, aby filtrovaná kapalina tekla jen ve směru toku, se uvolní ventil od nádoby a voda se filtruje přes filtr. Měří se doba průtoku celých deseti litrů vody. S vzrůstající hmotností a porezitou daného filtru roste i doba průtoku. Výslednou hodnotou pro vyhodnocení zkoušky je čas v sekundách.

Vedle času se sleduje tvar a turbulentnost proudící kapaliny na výtokové straně filtru. [12]

8.7 Zkouška mechanické odolnosti okrajů filtru

Principem zkoušky je zjistit povrchovou pevnost filtru a ukazuje množství ulomených vláken při mechanickém působení. Slouží k porovnání filtrů stejného složení a výsledky jsou vhodné k porovnání s pevností v tlaku (penetrační zkouškou)

Měření probíhá na sítovačce se sítím s oky 3mm a doba vibrace je jedna minuta. Před měřením filtr zvážíme a po měření upadené zbytky oklepeme a opět zvážíme. Výsledná hodnota je udávána v procentech. Měření probíhá na deseti vzorcích totožného složení. Váží se s přesností na 0,01g. Výsledná hodnota se uvádí s přesností na 0,01 %.[12]

$$HU = \frac{(m_1 - m_2)}{m_1} \cdot 100 [\%]$$

m_1hmotnost filtru před měřením v

m_2hmotnost filtru po provedení zkoušky v g

8.8 Objemová hmotnost

Stanovuje se na keramickém střepu o hmotnosti větší jak 10 g. Vzorek se očistí a vysuší v sušárně o teplotě 110 ± 5 °C. Před vážením se vloží vzorek do exsikátoru, kde se ochladí na teplotu okolí. Měření se provádí až do konstantní hmotnosti.

Po dosažení konstantní hmotnosti vzorek vložíme do varné nádoby a zalijeme vodou až 2cm nad okraj vzorku. Překryjeme vařící nádobu víkem a ohříváme vodu na bod varu. Bod varu by měl být dosažen za 30 až 60 minut a udržujeme vodu ve varu po dobu 2 hodin. Po ukončení necháme nádobu vychladnout po dobu 24h. Připravíme si sestavu pro hydrostatické vážení, vzorky vyjmeme z varné nádoby, osušíme a zvážíme v závěsu pod vodou. A nakonec zvážíme vzorky vytažené z vody a otřené lněnou utěrkou.

$$OH = \frac{m_s}{(m_n - m_n')} \cdot \rho_n \text{ [g} \cdot \text{cm}^{-3}\text{]}$$

m_n hmotnost vzorku nasyceného kapalinou, váženého na vzduchu v g

m_s hmotnost suchého vzorku v g

m_n' zdánlivá hmotnost zkušební tělesa ponořeného do kapaliny v g

ρ_n hustota kapaliny v $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$

8.9 Měření tlakové ztráty

Měření tlakové ztráty je nedestruktivní zkouška, při které se mění tlak vzduchu, který prochází zkoušeným filtrem. Měří se hodnota tlaku před filtrem a za ním. Výsledná hodnota tlakové ztráty vypovídá o struktuře a charakteru filtru. Měření se provádí jak na polyuretanové pěně, tak i na vypáleném keramickém filtru. Čím je ppi filtru vyšší a tloušťka vlákna silnější, tím je tlaková ztráta větší. Dále tlakovou ztrátu ovlivňuje zalepení jednotlivých stran buňky filtru, tím se průchodnost zhoršuje. [12]

8.10 Pevnost v tahu za ohybu

Jedná se o orientační zkoušku výrobce. Provádí se na trámečcích o rozměrech 100 x 15 x 5 mm zhotovených z keramické suspenze, na trámečcích vyřezaných z filtrů o rozměrech 20 x 20 x 100 mm, nebo přímo na filtrech.

Forma na přípravu trámečků se nastříká silikonovým olejem a vnese se keramická suspenze. Po zahlázení povrchu se opět forma nastříká silikonem. Hmota ve formě tuhne asi 1 den. Po vyjmutí z formy se trámeček očistí a případné nerovnosti se obrousí. Na trámečku se změří rozměry průřezu pod horním břitem. Zatěžovací cyklus trvá maximálně 40 s a zatěžovací rychlost je 4 mm za minutu.

Trámečky z filtrů se vyřezávají z větších desek na vodním paprsku. Postup zkoušky je stejný jako u trámečků z keramické suspenze.

$$\sigma = \frac{3 \cdot F \cdot l}{2 \cdot b \cdot h^2} \quad [\text{MPa}]$$

F..... maximální zatížení v N

l..... vzdálenost mezi podpěrnými břity v mm

b.....šířka průřezu v mm

h.....výška průřezu v mm

9. Experimentální část

Jednou z řady výstupních vlastností polyuretanového filtru je jeho pevnost, kterou se budeme zabývat v poslední části bakalářské práce. Budeme zkoumat vliv viskozity keramické suspenze na pevnost filtru a jeho smrštění v jednotlivých stádiích jeho výroby.

9.1 Příprava vzorků

Vzorky byly vyrobeny takřka analogickým způsobem s běžnou velkovýrobou polyuretanových filtrů v laboratorních podmínkách.

V první fázi byly nachystány suroviny pro výrobu polyuretanových filtrů. Polyuretanová pěna byla vyrobena klasickým způsobem a to z kvádrů polyuretanové pěny se nařezaly tři pásy, ze kterých se na vysekávacím lisu vyseklo tři sta kusů polyuretanové matrice o rozměrech 50 x 50 x 22 mm. Keramická suspenze byla vyrobena ve výrobním procesu v disolverovém míšiči podle daných parametrů výrobcem pod obchodním názvem hmoty VUKOPOR S s viskozitou 1200 Pa. (v kapitole 3.3.1 A - filtry) Následným zředěním koloidním roztokem SiO₂ na požadované hodnoty pro první vrstvu. (545 Pa, 695 Pa, 757 Pa), která byla měřena na rotačním viskozimetru. První vrstva byla laboratorně simulována válečkem, kterým se po namočení do keramické suspenze přebytečná hmota odstraňovala převálením jedné a druhé strany přiměřenou silou. Od každé viskozity bylo vyrobeno sto kusů a každý filtr se před vysušením v laboratorní sušárně o teplotě 105 ± 5 °C vyvažoval na 16 – 18 g. Po vyrobení jedné dávky se filtry daly vysušit.

Druhá vrstva se vyráběla odstředováním pomocí ručního vytřepávání hmoty a vyfoukávání přebytečné hmoty a otevírání pórů pomocí vzduchové pistole. Filtry se vyvažovaly na hmotnost 28 až 30 g před sušením a keramická suspenze se naředila na hodnoty 216 Pa, 244 Pa a 299 Pa. Po nanesení druhé vrstvy se filtry opět vysušily v laboratorní sušárně o teplotě 105 ± 5 °C.

Popis vzorků:

Řídká suspenze - viskozita na lince 542 Pa a na odstředivce 216 Pa

Standardní suspenze - viskozita na lince 695 Pa a na odstředivce 244 Pa

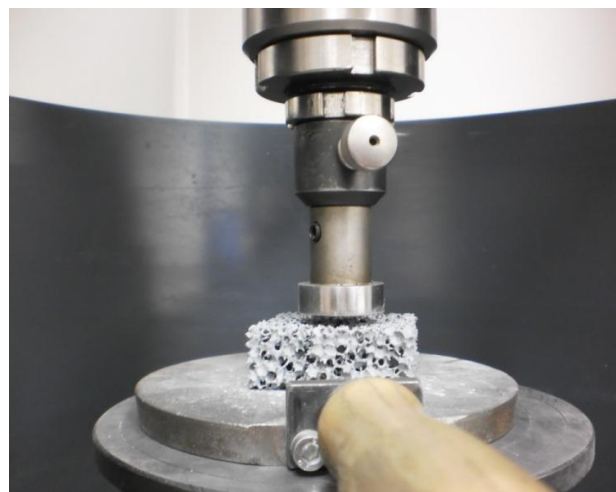
Hustá suspenze - viskozita na lince 757 Pa a na odstředivce 299 Pa

9.2 Penetrační test (pevnost v tlaku)

Zkouška pevnosti v tlaku se prováděla podle postupu uvedeném v kapitole 8.4, na čtyřiceti kusech od každého druhu či viskozity. Konečným výsledkem je průměrná hodnota každých čtyřiceti měření pevnosti v tlaku.



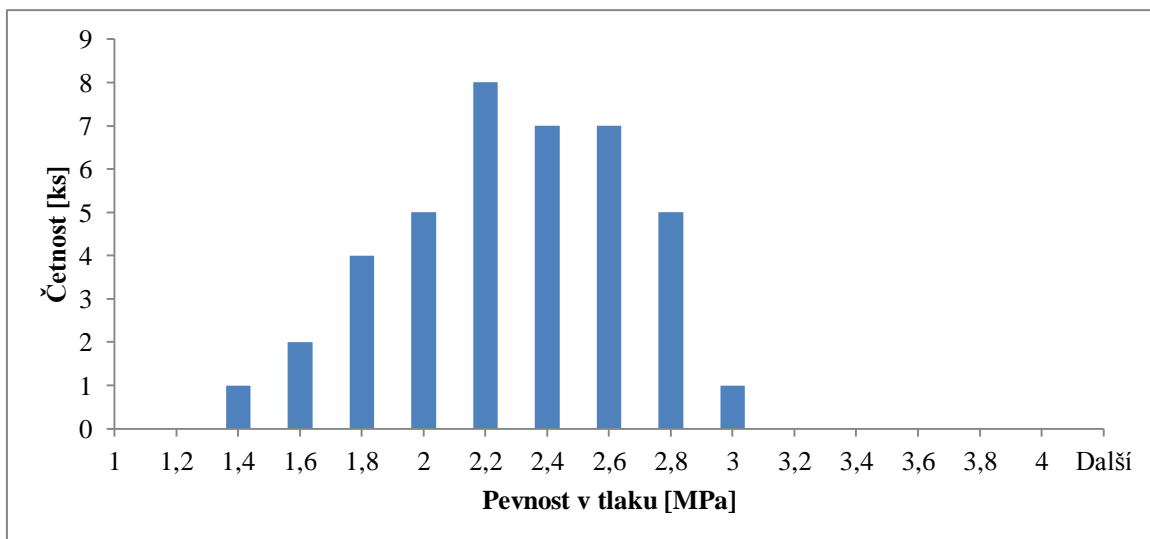
Obr. 32: Lis na zkoušku pevnosti v tlaku



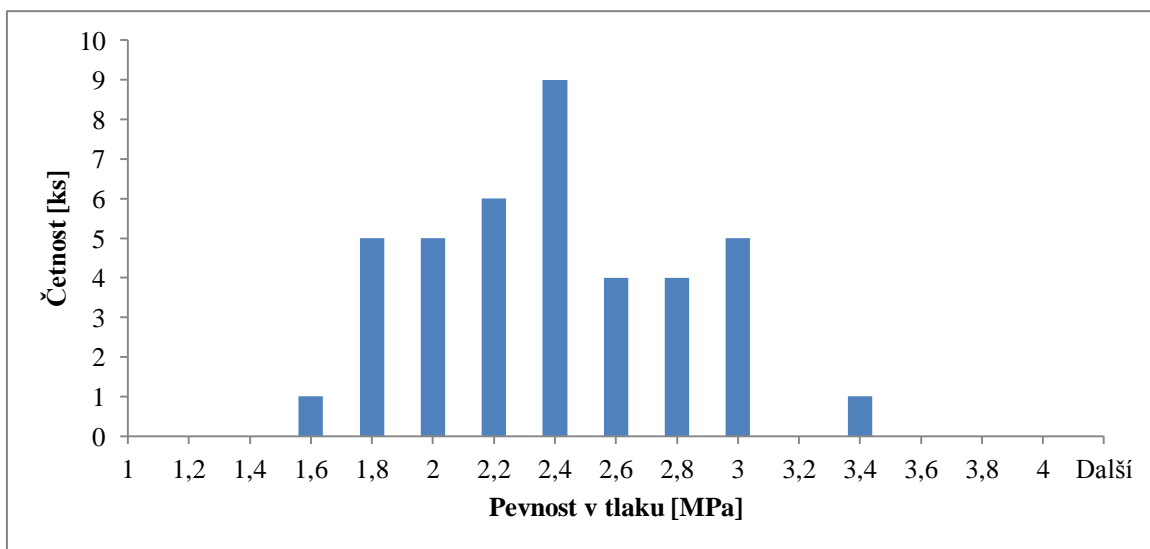
Obr. 33: Detail provedení zkoušky

Tab. 3: Výsledky penetračního testu

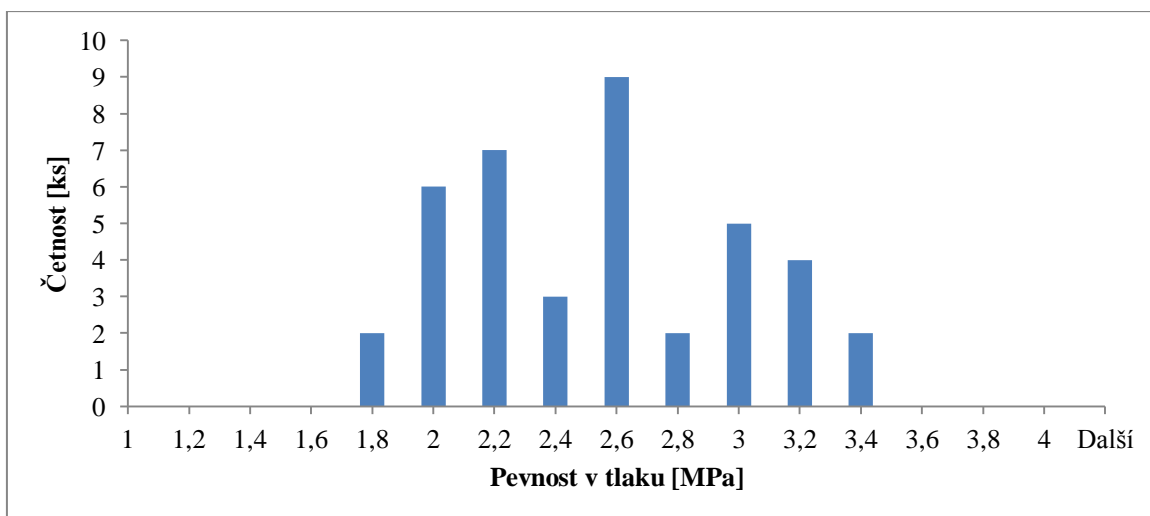
	Penetrační test [MPa]					
	Řídká suspenze		Standardní suspenze		Hustá suspenze	
1.	2,98	1,85	2,00	2,52	2,09	2,58
2.	2,72	2,00	2,25	2,46	2,1	2,26
3.	1,77	2,70	1,54	1,66	2,2	2,53
4.	1,78	2,21	2,11	3,35	2,25	2,67
5.	2,54	1,63	2,13	1,73	3,39	2,99
6.	1,47	2,41	2,35	2,19	2,84	2,56
7.	1,58	2,03	2,76	1,76	2,83	2,19
8.	2,08	1,71	2,32	2,72	2,75	2,54
9.	2,09	2,36	2,45	1,86	1,78	1,84
10.	2,13	2,34	2,24	2,30	1,89	2,39
11.	1,91	2,43	3,00	2,28	2,59	3,30
12.	2,15	2,44	1,78	2,63	3,08	3,20
13.	2,06	2,33	1,99	1,95	2,51	2,57
14.	1,24	2,36	2,94	2,87	2,87	2,10
15.	2,74	2,80	2,61	2,41	3,15	1,97
16.	1,95	2,55	2,34	2,29	2,44	1,98
17.	1,86	2,21	2,06	1,70	2,86	1,96
18.	2,02	2,62	2,82	2,34	3,15	2,58
19.	2,59	2,48	1,98	2,97	1,78	2,02
20.	2,10	2,26	2,18	2,10	1,98	2,12
Průměr	2,19		2,30		2,47	



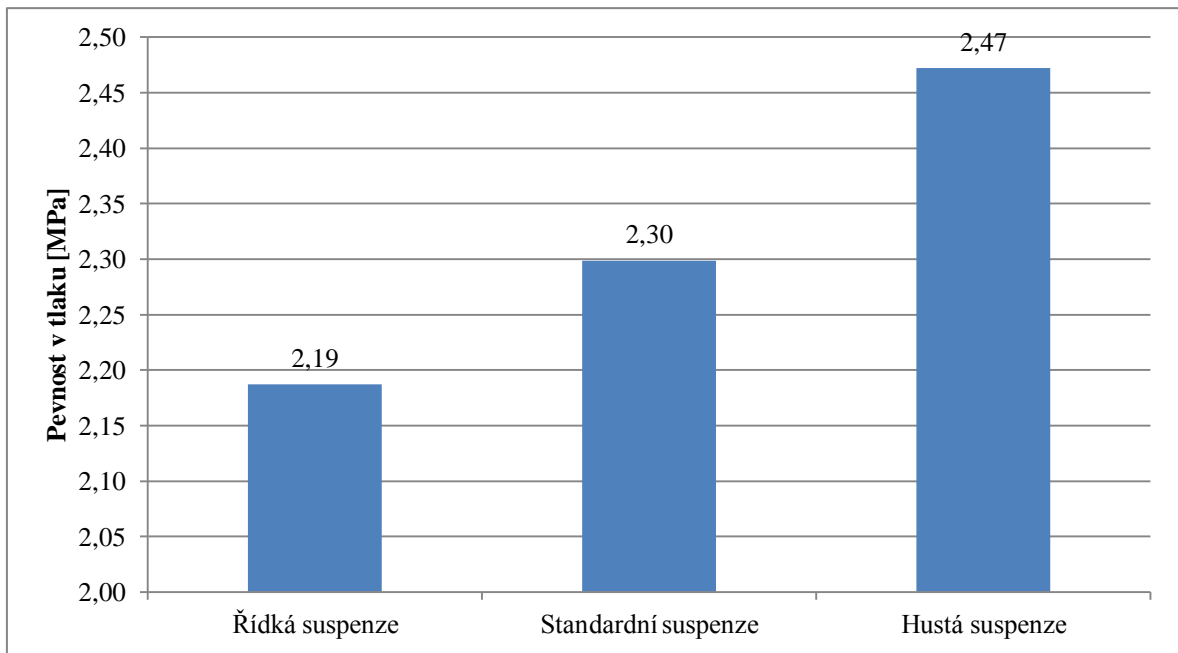
Obr. 34: Histogram – Řídká suspenze



Obr. 35: Histogram – Standardní suspenze



Obr. 36: Histogram – Hustá suspenze



Obr. 37: Závislost pevnost v tlaku na viskozitě

9.3 Pevnost v tahu za ohybu

Zkouška pevnosti v tahu za ohybu se prováděla podle postupu uvedeném v kapitole 8.10, na deseti vzorcích od každého trámečku. Zkouška se provádí na trámečcích o rozměrech 100 x 15 x 5 mm. Rozteč podpor je 80 mm.



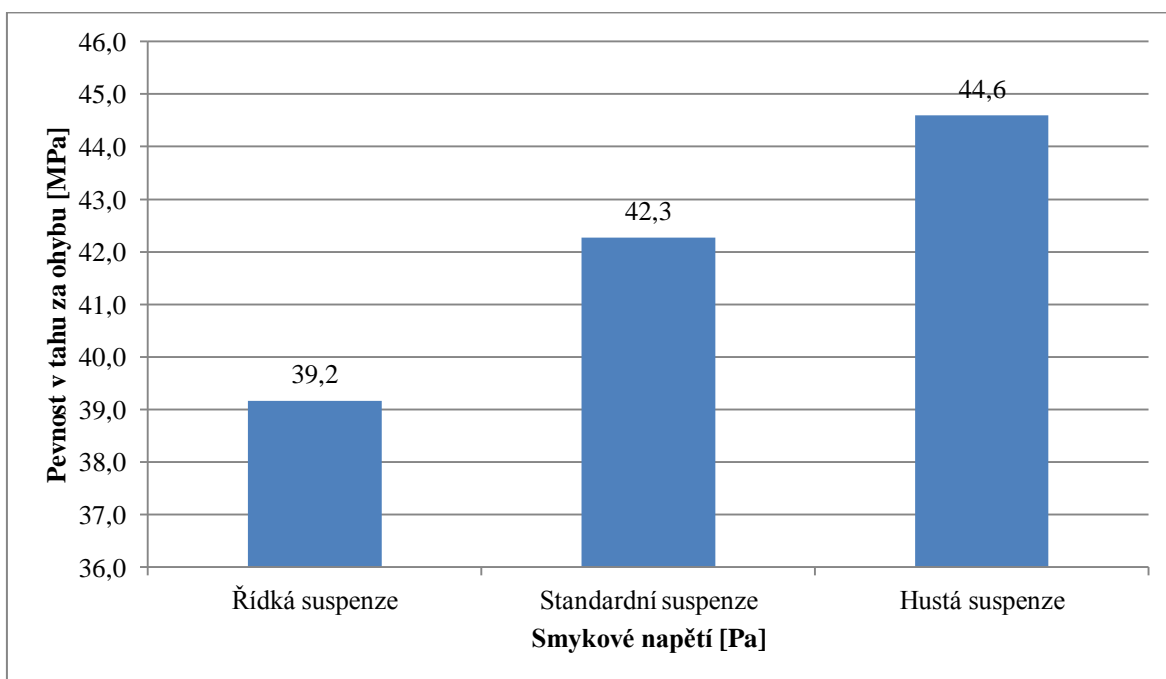
Obr. 38: Lis na zkoušku pevnosti v tahu za ohybu



Obr. 39: zkušební vzorky 100 x 15 x 5

Tab. 4: Výsledky pevností v tahu za ohybu

	Pevnost v tahu za ohybu [Mpa]		
	Řídká suspenze	Standardní suspenze	Hustá suspenze
1.	35,6	36,1	47,5
2.	45,0	42,1	55,3
3.	34,8	39,6	50,3
4.	40,5	47,6	43,8
5.	35,3	36,5	36,5
6.	42,9	48,6	44,2
7.	39,7	42,3	37,8
8.	38,2	42,8	45,8
9.	41,5	45,2	48,5
10.	38,2	41,8	36,3
průměr	39,2	42,3	44,6



Obr. 38: závislosti pevnosti vtahu na smykovém napětí

9.4 Smrštění sušením a výpalem

Smrštění sušením – neprovádí se, protože nelze dostatečně přesně změřit velikost filtru před sušením. (filtr je lepkavý a deformuje se při manipulaci).

Smrštění výpalem - měření velikosti se provádělo před a po výpalu na sto kusech filtrů od každého druhu či viskozity posuvným měřítkem s ploškami. Výslednou hodnotou byl aritmetický průměr smrštění ze všech sto kusů filtrů.

Vzorec pro výpočet smrštění:

$$DP = \frac{l_s - l_p}{l_s} \cdot 100 [\%]$$

l_pdélka po výpalu v mm

l_sdélka po vysušení v mm

Tab. 5: Smrštění výpalem

označení	Smrštění v %
Řídká suspenze	0,64
Standardní suspenze	0,69
Hustá suspenze	0,61

9.5 Diskuze výsledků

Cílem experimentální práce bylo posouzení vlivu viskozity keramické suspenze na užité vlastnosti keramického filtru. Posuzován byl vliv konzistence na pevnost keramického filtru a na smrštění filtru při výpalu.

Zkoušené filtry byly vyrobeny z polyuretanové pěny s ppi 10 s hmoty s obchodním názvem Vukopor S. Za účelem objektivního zhodnocení daných závislostí bylo připraveno 100 zkušebních těles od každé z posuzovaných viskozit, zkušební tělesa byla vyrobena ze třech keramických suspenzí, které se lišily svojí viskozitou. Celkem bylo připraveno 300 zkušebních těles. Na vypálených vzorcích byl pak zkoumán vliv viskozity na pevnost a smrštění filtru.

Jako nejpevnější se jevil filtr z husté suspenze s nejvyšším smykovým napětím (tzn. s nejnižším obsahem pojivové kapaliny). Filtr z řídké suspenze vyšel po vyhodnocení jako nejméně pevný a filtr ze standardní suspenze jako středně pevný. Pevnost v tahu má opět vzestupnou tendenci. Čím je vyšší hodnota viskozity, tím je větší pevnost v tahu za ohybu. Potvrzuje se tím předpoklad, že nižší obsah pojivové kapaliny znamená vyšší hodnoty mechanické pevnosti.

Při průmyslové výrobě je ale potřeba zvolit optimální poměr výsledných vlastností výrobku a schopností výrobek kvalitně vyrobit. Při výrobě se hledá optimum mezi zpracovatelností a pevností. Z husté suspenze je možné vyrobit velmi pevný filtr, ale filtrace přes něj nebude

dostatečně rychlá nebo nebude vůbec žádná. Při extrémně husté keramické suspenzi již není možné filtr vyrobit vůbec.

Rozdíl výsledných pevností filtrů z různě viskózní keramické suspenze nebyl příliš velký, protože rozptyl zvolených viskozit byl malý. Díky velkému množství zkušebních těles byl však v rámci experimentální části práce předpoklad závislosti pevnosti keramického filtru na viskozitě suspenze potvrzen.

10. Závěr

V teoretické části bakalářské práce byly popsány způsoby výroby keramického střepu z různých konzistencí keramické hmoty. Detailně se v práci popisují suroviny pro výrobu keramické suspenze i keramická suspenze, jako pracovní hmota. Jsou popsány vlastnosti, které jsou na keramických břečkách sledovány a jejich vliv na výsledné charakteristiky výrobku.

Dále se práce zabývá popisem filtračního procesu a rozděluje ho podle principu a podle použití filtrů. Detailně jsou popsány jednotlivé technologické kroky vedoucí k výrobě keramického filtru a vlastní zkoušení finálního produktu.

V praktické části práce byl posouzen vliv viskozity keramické suspenze na pevnost keramického filtru a na jeho smrštění pálením. Díky velkému množství zkušebních těles byl prokazatelně potvrzen předpoklad přímé závislosti pevnosti filtru na viskozitě suspenze. Vzorky vyrobené ze suspenze s vyšší viskozitou se jeví jako pevnější naopak s nižší viskozitou jako méně pevné, ale lépe zpracovatelné. Smrštění pálením v daném rozmezí viskozit bylo takřka totožné, tudíž viskozita v daném rozmezí neměla na smrštění vliv.

11. Literatura

- [1] PYTLÍK, Petr; SOKOLÁŘ, Radomír. *Stavební keramika: Technologie, vlastnosti a využití*. Brno: Akademické nakladatelství CERM s.r.o., 2002. 287 s. ISBN 80-7204-243-3.
- [2] HANYKÝŘ, Vladimír; KUTZENDÖRFER, Jaroslav. *Technologie keramiky*. Praha 5: Silikátový svaz, 2008. 387 s. ISBN 978-80-86821-48-1.
- [3] LANIK [online]. Historie filtrace, typy filtrů a jejich použití. Dostupné z WWW: <<http://www.lanik.eu/>>.
- [4] LÁNÍK, Boris; TOMEK, Ladislav; kolektiv. *Filtry, filtrace a filtrování, Příručka*.
- [5] MICHNA, Štefan; LUKÁČ, Ivan; OČENÁŠEK, Vladivoj; KOŘENÝ, Rudolf; DRÁPALA, Jaromír; SCHNEIDER, Heinz; MIŠKUFOVÁ, Andrea; kolektiv. *Encyklopedie hliníku*. Prešov: Adin, s.r.o., 2005. 722 s. ISBN 80-89041-88-4.
- [6] WIKIPEDIA [online] 2001, 2012 [cit. 2013-02-16]. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Hlavn%C3%AD_strana>.
- [7] ČSN 72 1088: *Stanovení doby průtoku suspenze průtokovým viskozimetrem*, 1984.
- [8] MICRONIX [online]. 2009, 2013 [cit. 2013-03-15]. Dostupné z WWW: <<http://eshop.micronix.cz/merici-technika/neelektricke-veliciny/teplota-a-vlhkost/vlhkost-materialu/vlhkomery/gmk-100.html>>.
- [9] FOAM PARTNER, *Product specification: Regicell 25, schwarz*. Leverkusen: Reigies Schaumstoffe GmbH. 1 s.
- [10] LABGAS [online]. 2007, 2013 [cit. 2013-05-19]. Dostupné z WWW: <http://www.labgas.cz/fotogalerie/valeckova_pec_1250_stc.html>.
- [11] ČESKÝ PORCELÁN [online]. 2009, 2013 [cit. 2013-05-11]. Dostupné z WWW: <<http://www.cesky.porcelan.cz/cs/profil-spolecnosti/technologie>> .

[12] Holečkova konference 2009 Brno, SEHNAL, Vojtěch.

[13] *HORIBA SCIENTIFIC* [online]. 1996, 2013 [cit. 2013-04-10]. Dostupné z WWW:
<<http://www.horiba.com/scientific/>>.

[14] *CARLROTH* [online]. 2013, [cit. 2013-04-14]. Dostupné z WWW:
<<http://www.carlroth.com/catalogue/catalogue.do?act=showBookmark&favOid=00000002000259d500010023&lang=pl-pl&market=PL>>.

[15] *DOVEDNÉ RUCE* [online]. 2009, 2012 [cit. 2013-03-15]. Dostupné z WWW:
< <http://www.dovedneruce.cz/karta/?zbozi=713>>.

[16] *FLER* [online]. 2009, 2013 [cit. 2013-03-15]. Dostupné z WWW:
< <http://www.fler.cz/zbozi/sadrova-forma-na-hrnek-vlasta-452525>>

[17] *KERAMIKA* [online]. 2013 [cit. 2013-03-31]. Dostupné z WWW:
<<http://geologie.vsb.cz/loziska/suroviny/keramika.html>>

[18] LACH, Vladimír. *Keramika*. 3. vyd. Brno: Nakladatelství VUT Brno, 1992, 172 s. ISBN 80-214-0332-2.

[19] SOKOLÁŘ, Radomír. *Keramika* [online]. [cit. 2013-02-10]. Studijní opory BJ01-M01. VUT FAST Brno, 176 s.

[20] KUTZENDÖRFER, Jaroslav a František TOMŠŮ. *Žáruvzdorné materiály*. Vyd. 1. Praha: ČSVTS - Silikátová společnost České republiky, 2008. 99 s. ISBN 978-80-02-02076-9.

12. Seznam použitých zkratek a symbolů

[%]	procento
[°C]	stupeň Celsia
[MPa]	megapascal
[mm]	milimetr
[g]	gram
[kPa]	kilopascal
[Pa·s]	pascal sekunda
[ml]	mililitr
[m]	metr
[s]	sekunda
[ppi]	počet pórů na délkový palec
[μm]	mikrometr
[g/cm ³]	gram na centimetr krychlový
[l]	litr
[g/l]	gram na litr