

TAVENÉ HORNINY

Výrobky na bázi tavených hornin představují v současnosti velmi používanou skupinu **silikátových materiálů**, která našla své uplatnění jak ve **stavebnictví**, tak v řadě **ostatních průmyslových odvětví**. Základem všech těchto výrobků jsou **přírodní horniny**, které se, buď samostatně nebo spolu s různými korekčními složkami, taví a vzniklá **tavenina** je dále zpracovávána buď **odléváním** nebo **rozvlákňováním**. Z tohoto pohledu lze výrobky z tavených hornin rozdělit na:

- **odlévané výrobky** (odlitky), které vznikají odléváním horninové taveniny do forem a jejím postupným chladnutím; na základě technologické podobnosti s metalurgií (hutnictvím) bývá tento obor označován jako **petrurgie** (z řečtiny petra = skála, kámen),
- **rozvlákňované výrobky** (minerální vlákna, resp. minerální vlna), které se vyrábějí odstředivým rozvlákňováním horninové taveniny v proudu vzduchu a následným vytvrzením silikátového vlákna.

Pro přípravu silikátové taveniny lze využít celé řady přírodních hornin. V současnosti jsou jednoznačně nejpoužívanějšími horninami **bazaltoidy** (**olivinické bazalty**, nefelinické bazanity), známo je však také užití fonolitů (znělců), granitů, opuk nebo amfibolitů. Z druhotných surovin byly, pro výrobu minerálních vláken, používány především metalurgické strusky.

Největší význam v technologii tavených hornin mají bazalty. **Bazalty** (čediče) jsou neovulkanické **bazické výlevné** (efuzivní) **horniny** tvořené dvěmi základními horninotvornými minerály – **bazickým plagioklasem** o bazicitě $An > 50$ (labradorit, bytownit, vzácněji anortit) a monoklinickým **pyroxenem** (augit, titanový augit). Z dalších minerálů může být přítomen **olivín**, případně rombický pyroxen, amfibol nebo biotit. Olivín zpravidla tvoří **vyrostlice** (fenokrysty) v jemnozrnné základní hmotě horniny, tyto vyrostlice mohou činit technologické problémy při tavení horniny. Z rudních (opakních) minerálů bývá hojně zastoupen **magnetit** (až 10 – 15%, ojediněle 20%), titanomagnetit nebo ilmenit. V závislosti na rychlosti tuhnutí lávy mohou čediče obsahovat také vulkanické sklo. Z hlediska chemismu jsou bazalty tvořeny především **SiO₂** (44 – 52%), dále jsou významně zastoupeny **Al₂O₃** (13 – 17%), **CaO**, **MgO** a oxidy Fe (**FeO** a **Fe₂O₃**). Charakteristickým znakem čedičů bývá sloupcovitá odlučnost (Obr. 1). Bazalty představují jednu z nejběžnějších výlevných hornin na současném zemském povrchu. Teplota tavení bazaltů je závislá na konkrétním mineralogickém složení, obecně se pohybuje přibližně v rozmezí **1250 – 1350°C**.

Čedičová hornina pro tavné účely musí splňovat poměrně **úzkou normu vhodného chemického složení**:

SiO_2 ... 43,5 – 47,0%

MnO ... 0,2 – 0,3%

TiO_2 ... 2,0 – 3,5%

MgO ... 8,0 – 11,0%

Al_2O_3 ... 11,0 – 13,0%

CaO ... 10,0 – 12,0%

Fe_2O_3 ... 4,0 – 7,0%

Na_2O ... 2,0 – 3,5%

FeO ... 5,0 – 8,0%

K_2O ... 1,0 – 2,0%

P_2O_5 ... 0,5 – 1,0%

Vedle požadavků na chemické složení existují poměrně **přísné požadavky na fyzikální vlastnosti petrugické suroviny**. Hornina musí být v ložisku **homogenní**, **nesmí obsahovat cizí uzavřeniny** (xenolity) a **větší vyrostlice** olivínu nebo pyroxenu (přes 2mm), musí být **jemnozrnná a nezvětralá**.

Jak petrugie, tak výroba minerální vlny na bázi přírodních hornin je, po technologické stránce, velmi **podobná výrobě skla a skleněných vláken**. Roztavením výchozích surovin totiž vždy vzniká skelná fáze a původní surovinové rozdíly se tak, do jisté míry, stírají. V případě anorganických vláken navíc existuje také velká funkční podobnost výrobků získaných rozvlákňováním hornin a analogických výrobků z rozvlákněného skla.



Obr. 1. Typická podoba sloupcovité odličnosti bazaltoidních hornin (*vlevo* – celkový pohled na tzv. čedičové varhany, *vpravo* – detail pěti- až šestiúhelníkových průřezů čedičových sloupců, NPP Panská skála u obce Prácheň nedaleko Kamenického Šenova)

Technologie petrurgické výroby a základní typy odlévaných výrobků

Základy petrurgie byly položeny již **před druhou světovou válkou**, a to zejména ve Francii (průmyslová výroba od r. 1923), v Německu a v tehdejším Sovětském svazu (Gregerová, 1996). K zemím, které výrazně rozvíjely tento obor během druhé poloviny 20. století patřilo také bývalé **Československo**, kde byly experimenty s tavenými horninami prováděny od roku **1949** v bývalém Státním výzkumném ústavu sklářském (SVÚS) v Hradci Králové. Průmyslová výroba odlévaného čediče byla v Československu zahájena v roce **1951**.

V současné době je monopolním výrobcem odlitků z taveného čediče v České republice firma **Eutit, s.r.o.**, Stará Voda u Mariánských Lázní. Tato firma je zároveň **jediným výrobcem** interiérové čedičové dlažby na světě a celkově produkuje přibližně **jednu třetinu celosvětové produkce** litého čediče. Roční produkce dosahuje v současnosti 16500 tun výrobků.

Pro výrobu odlévaných čedičových výrobků je používán čedič z lomu **Slapany** u Chebu (Obr.2. a Obr.3.). Tento čedič je celosvětově unikátní svým chemickým složením, při tavně se totiž nemusejí přidávat žádné další přísady (Kužvart a kol, 1983). Původně, v prvopočátcích výroby (50. léta 20. století), byl používán čedič z lomu **Libochovany** u Litoměřic.

Těžba na lomu **Slapany** byla zahájena v roce **1969**, celková těžba dosahuje hodnoty zhruba 50.000 tun/ročně. Po petrurgické účely se používá **frakce 63-150mm**, a to v množství cca **20.000 tun za rok**.



Obr. 2. Lom Slapany u Hrozňatova poblíže Chebu (stav z roku 1957, foto Jan Bárta, přístupno z <http://www.geology.cz/aplikace/fotoarchiv/>)



Obr. 3. Čedičový lom Slapany u Hrozňatova poblíže Chebu (stav z roku 2007)

Surovina z lomu Slapany je z hlediska mineralogického složení obsahuje **15 – 20% olivínu**, **40 – 60% augitu** (pyroxenu), **10 – 30% plagioklasu**, **5 – 10% magnetitu** a cca **5% nefelínu a zeolitů**. Průměrné **chemické složení** suroviny je následující:

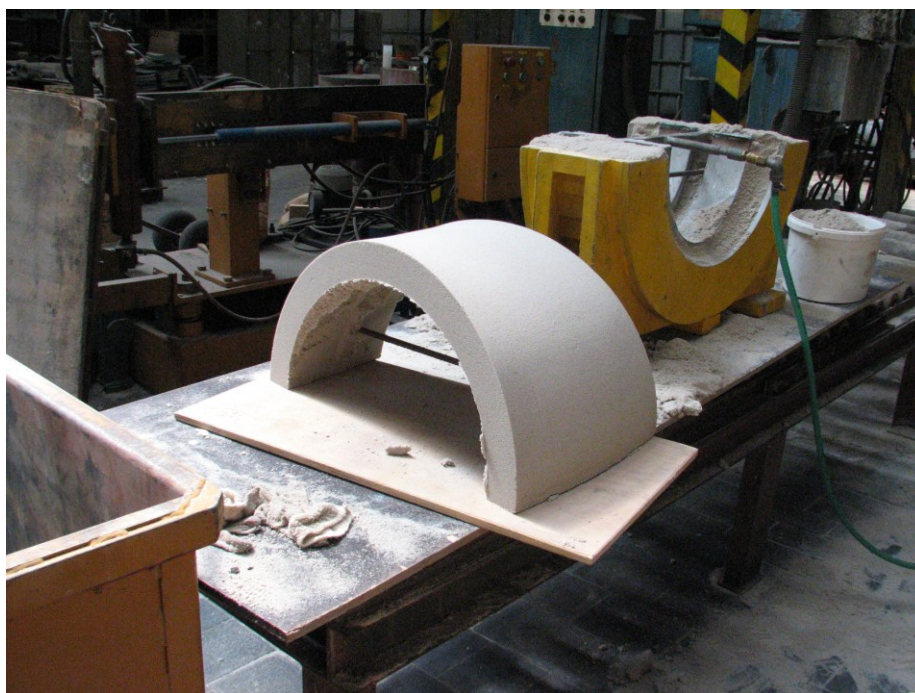
SiO₂ ... 44,2%	MnO ... 0,2%
TiO₂ ... 2,0%	MgO ... 12,2%
Al₂O₃ ... 12,7%	CaO ... 12,1%
Fe₂O₃ ... 5,4%	Na₂O ... 2,5%
FeO ... 6,7%	K₂O ... 1,1%
	P₂O₅ ... 0,4%

Pozn.: Slabě zvýšený obsah MgO oproti normě chemického složení může pouze poněkud zvýšit rychlost krystalizace a vyloučení vyššího podílu Mg-olivínu (forsteritu) v rekrytalovaném odlitku.

Tavba kusového čediče probíhá v **šachtových pecích** při teplotě **1250 – 1300°C**, vlastní tavení je celkem krátkodobé (asi 1 hodina). Po roztavení postupuje tavenina do homogenizačního bubnu, kde se mírně ochladí, k **odlévání** dochází při teplotě **1160 - 1200 °C**. Problémy při tavbě způsobují zejména větší vyrostlice, případně kumuláty olivínu, který má ze všech hlavních horninotvorných minerálů přítomných v čediči nejvyšší teplotu tání. Olivín

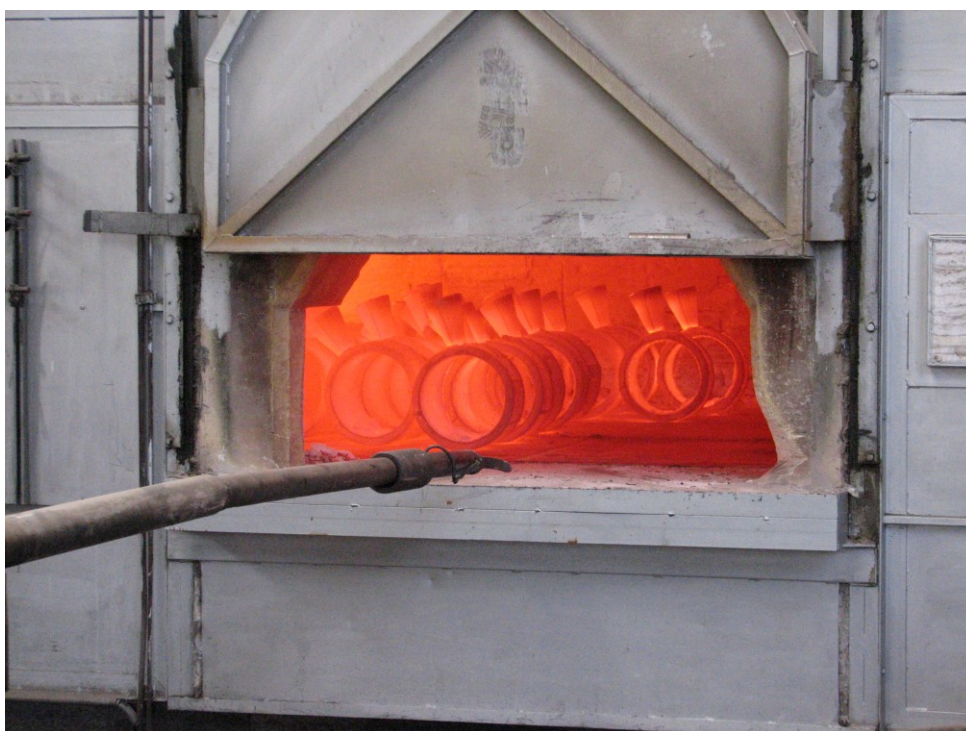
je důležitý pro krystalizaci výrobku, ale při velikosti do cca 1mm. Větší, neprotavené olivíny naopak způsobují praskání výrobku při chlazení v tunelové peci.

Roztavená hornina je odlévána do pískových forem (Obr. 4.) nebo kovových kokil, pro výrobu trub se používá technika dynamického (odstředivého) lití. Doba odlévání činí zhruba **2 – 3 minuty** u tenkostěnných výrobků a **5 – 8 minut** u výrobků silnostěnných a během něj nastává rychlé ochlazení povrchové vrstvy odlitku.



Obr. 4. Pískové formy pro odlévání čedičových výrobků

Bezprostředně po odlití se pak výrobky, již bez formy, vkládají do **chladicí tunelové pece** (Obr.5. a Obr.6.). Úkolem tunelové pece je pomalé, řízené **ochlazení výrobku** a **rekrytalizace taveniny**, a to zejména u rychle zchlazené, povrchové vrstvičky odlitku. Teplota na počátku tunelové pece dosahuje přibližně **800°C**. Zpětná krystalizace taveniny probíhá ve **dvou stupních** (Gregerová, 1996). V prvním dochází ke krystalizaci **magnetitu**, který působí jako nukleátor pro další (druhou) krystalickou fázi, v níž krystalizuje **pyroxen**. Pyroxen je hlavní a nejdůležitější minerální fázi v krystalické hmotě tavených bazaltů (tvoří **70-85%** objemu taveného čediče, zatímco ve vstupní surovině je zastoupen jen 40-50%). Pomalým ochlazováním je zároveň zaručena absence pórů v zatuhlé struktuře (Svoboda a kol., 2004). Doba chlazení dosahuje v současnosti asi **4 hodin** (v minulosti se však pohybovala mezi 16 až 20 hodinami), po zchlazení obsahují výrobky asi **85-90% krystalické fáze** a **10-15% fáze skelné** (Hlaváč, 1988, Gregerová, 1996).



Obr. 5. Chlazení výrobků v tunelové peci – počátek procesu ochlazování



Obr. 6. Chlazení výrobků v tunelové peci – konec procesu ochlazování

Tavený čedič se používá zejména díky svým **vynikajícím fyzikálně-mechanickým vlastnostem**. Z nich je třeba uvést především **vysokou pevnost v tlaku, vysokou tvrdost,**

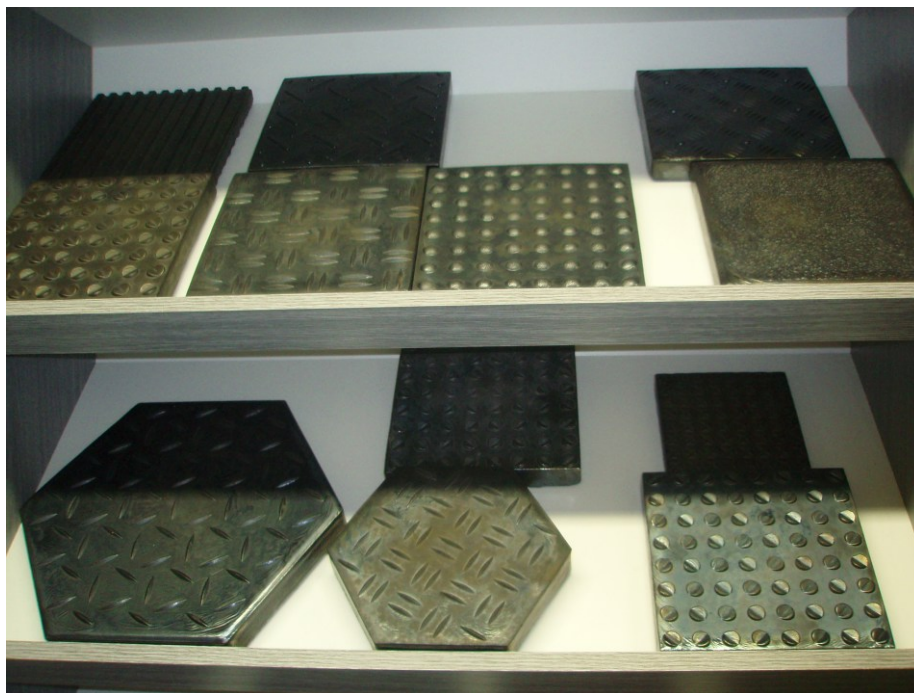
vysokou otěruvzdornost, která dosahuje až 4x nižších hodnot než manganová ocel, **vysokou chemickou odolnost** vůči působení kyselin a zásad, **mrazuvzdornost**, **dlouhodobou životnost** i v nejnáročnějších podmínkách a celkovou **ekologickou a hygienickou nezávadnost** (Svoboda a kol., 2004). Přehled hodnot základních vlastností taveného čediče uvádí Tab.1.

Tab. 1. Základní vlastnosti taveného čediče

Vlastnost	Jednotka	Průměrná hodnota
Objemová hmotnost	kg.m ⁻³	2900 - 3000
Nasákavost	%	0
Zdánlivá pórovitost	%	0
Tepelná vodivost (v rozsahu 20 - 1000 °C)	Wm ⁻¹ K ⁻¹	1,9 – 2,2
Koeficient délkové teplotní roztažnosti (0 – 400°C)	K ⁻¹	max. 9.10 ⁻⁶
Tvrdost podle Mohse	-	8
Obrusnost	cm ³ .50cm ⁻²	max. 5
Pevnost v tlaku	MPa	300 - 450
Pevnost v tahu za ohybu	MPa	min. 45
Rozpustnost v H ₂ SO ₄	%	max. 9
Nerozpustnost v Na(OH)	%	min. 98,5

Z taveného čediče se v současnosti vyrábí velmi **široký sortiment odlitků**:

- **dlaždice** (pro podlahy interiérů – např. historických budov, restaurací, obchodů, autosalónů, mechanicky i chemicky velmi namáhaných podlah průmyslových objektů jako jsou mořirny, koželužny, papírny, sklady chemikálií, mlékárny, pivovary, provozy masné výroby; dlažbu lze použít také v exteriéru – např. na nástupišťích stanic veřejné dopravy, jako signální pruhy pro nevidomé, u čerpadel pohonných hmot, na nájezdových rampách, na chodnících) – Obr.7. a Obr.8.,
- **trouby** (roury, vložky) – pro pneumatickou nebo hydraulickou dopravu silně abrazivních materiálů, např. plavené nebo foukané základky do dolů; v současnosti se vyrábějí odlitky o průměru až 660mm – Obr.9.,
- **kanalizační prvky** – cihly, klíny a žlaby pro kanalizační systémy – Obr.10.,
- **protlačovací trouby pro bezvýkopové technologie**,
- **speciální odlitky** (oblouky, odbočky, T-kusy, Y-kusy jako doplňky potrubních řádů, roštové válce, trysky, cyklony, obložení zásobníků rud, uhlí, odlučovačů popílků, vyložení řetězových dopravníků, míchaček betonu.



Obr. 7. Různé formáty čedičové dlažby s protiskluznou úpravou povrchu



Obr. 8. Aplikace čedičové dlažby v interiéru (vstupní hala firmy Eutit, s.r.o.)



Obr. 9. Trouby z taveného čediče



Obr. 10. Vyložení dílu kanalizační stoky čedičovou tvarovkou

Kromě výrobků z litého čediče produkuje firma Eutit, spol. s r.o. také speciální odlitky z **korundo-baddeleyitové** taveniny, a to pod obchodním označením **EUCOR**. Tento materiál je **vysoce žáruvzdorný**, vyznačuje se **vysokou pevností v tlaku**, **vysokou odolností vůči chemickým činidlům** a zejména pak **extrémně vysokou otěruvzdorností**. Odolnost proti otěru je několikanásobně vyšší než u taveného čediče a řádově vyšší než u speciálních legovaných ocelí nebo litin. EUCOR vykazuje odolnost vůči deformaci v žáru při zatížení 0,2 MPa 1700°C a lze jej jako otěruvzdorného materiálu použít bez nebezpečí do 1000°C, krátkodobě až do 1100°C. Používá se tedy v prostředích s vysokou abrazí a tepelným zatížením, kde výrobky z taveného čediče již nevyhoví. Přehled hodnot základních fyzikálně-mechanických vlastností korundo-baddeleyitového materiálu uvádí Tab.2.

Tab. 2. Základní vlastnosti korundo-baddeleyitového materiálu (EUCORU)

Vlastnost	Jednotka	Průměrná hodnota
Měrná hmotnost (hustota)	kg.m ⁻³	3850 - 3900
Objemová hmotnost	kg.m ⁻³	min. 3500
Skutečná pórovitost	% obj.	max.10
Zdánlivá pórovitost	% obj.	max. 5
Tvrdost podle Mohse	-	9
Obrusnost	cm ³ .50cm ⁻²	max. 0,75
Pevnost v tlaku	MPa	min. 300
Pevnost v tahu za ohybu	MPa	min. 50
Rozpustnost v H ₂ SO ₄	%	max. 0,75
Nerozpustnost v Na(OH)	%	min. 98,5

Eucor se vyrábí tavením elektrokorundu (Al₂O₃) a baddeleyitu (ZrO₂) při teplotě zhruba **2000°C**. Vzniklá tavenina se odlévá do kovových nebo pískových forem. Současná produkce dosahuje 300 tun výrobků za rok. Z taveniny Al₂O₃ – ZrO₂ je možno vyrobit prakticky stejný výrobkový sortiment jako v případě taveného čediče (Obr. 11.):

- **dlaždice** (podlahy, stěny a skluzy, které jsou extrémně mechanicky, chemicky otěrem nebo tepelně namáhány),
- **trouby, oblouky** (vhodné zejména pro pneumatickou dopravu zvláště abrazivních materiálů, dopravovaných značnými rychlostmi i za vysokých teplot),
- **speciální tvarovky** – přechody, trysky, cyklony, radiální desky, vyzdívky sklářských pecí nad úrovní taveniny, obložení hořákových stěn, koksárenských ramp.



Obr. 11. Příklady výrobků z taveniny $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{ZrO}_2$

Technologie výroby minerálních vláken

Termínem **minerální vlákna** se ve stavebnictví označují anorganická vlákna, vyráběná **rozvlákněním přírodních hornin**, silikátových průmyslových odpadů (**strusky**) nebo jejich směsí a používaná zejména pro **tepelně- a zvukově izolační účely** (Svoboda a kol., 2004).

Pro účely rozvláknování se dnes používají především **bazické efuzivní horniny** (bazaltoidy), z minulosti je známo také využívání sedimentů (opuky) nebo metamorfitů (amfibolitů). Z druhotných surovin (průmyslových odpadů) byla dříve hojně používána **metalurgická struska**, a to např. pro výrobu tepelně izolačního vlákna Vistemat, které produkoval od 60. do konce 80. let 20. století vysokopeční závod Vítkovice.

Z důvodu výrazné funkční podobnosti je možno do skupiny minerálních vláken zařadit také **vlákna skleněná a azbestová** (osinková). Azbestová vlákna se však v současném stavebnictví nesmějí používat, neboť byla jednoznačně prokázána zdravotní závadnost (karcinogenita) azbestu. Nejzávažnějším škodlivým efektem, vyvolaným vdechováním azbestových vláken, je vznik pleurálního nebo peritoneálního mesotheliomu (zhoubného nádoru výstelky plic, hrudníku a břišní dutiny), pozorovaného často až po 15 – 30 letech po expozici azbestem (Svoboda a kol., 2004). Vdechování azbestu může rovněž způsobit tzv. azbestózu (fibrózu plic a následné problémy dýchání, případně i smrt) a rakovinu plic.

Nejobvykleji používanými minerálními vlákny jsou v současnosti **vlákna z čedičovo-struskové směsi**, často nepřesně označovaná jako vlákna čedičová. Příklady těchto vláken jsou např. vlákna Rockwool nebo Orsil.

Zásadním kritériem pro využití anorganických materiálů k výrobě minerální vlny je **modul kyselosti** M_k :

$$M_k = \frac{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3}{\text{CaO} + \text{MgO}}$$

Jeho hodnota by se pro přírodní horniny měla pohybovat od 1,1 do 3,0 (Krutský a kol., 1980). Ideální podmínky pro rozvlákňování jsou pak reprezentovány hodnotou $M_k = 1,65$ (Fediuk, Fediuková 1985). Podle ČSN 72 7308 by měl poměr strusky a čediče volit tak, aby koeficient kyselosti měl hodnotu 1,4 pro vlákna určená pro běžné použití a hodnotu 1,6 pro vlákna, která jsou určena do vlhkostně a tepelně náročnějších podmínek.

Jistým zpřesněním hodnoty M_k je tzv. **koeficient** S_1 , který v sobě zahrnuje vzájemný vztah a vliv Fe-oxidů a alkalických oxidů k oxidům hlavním (Krutský a kol., 1980) :

$$S_1 = \frac{\text{SiO}_2 + 0,5\text{Al}_2\text{O}_3}{1,5\text{MgO} + \text{CaO} + 0,5(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})}$$

Koeficient S_1 do jisté míry zhodnocuje vliv jednotlivých oxidů na viskozitu a jeho hodnota by se v případě použití horniny jako suroviny do kupolové pece měla pohybovat v rozmezí **1,0 - 1,5** (Krutský et al. 1980).

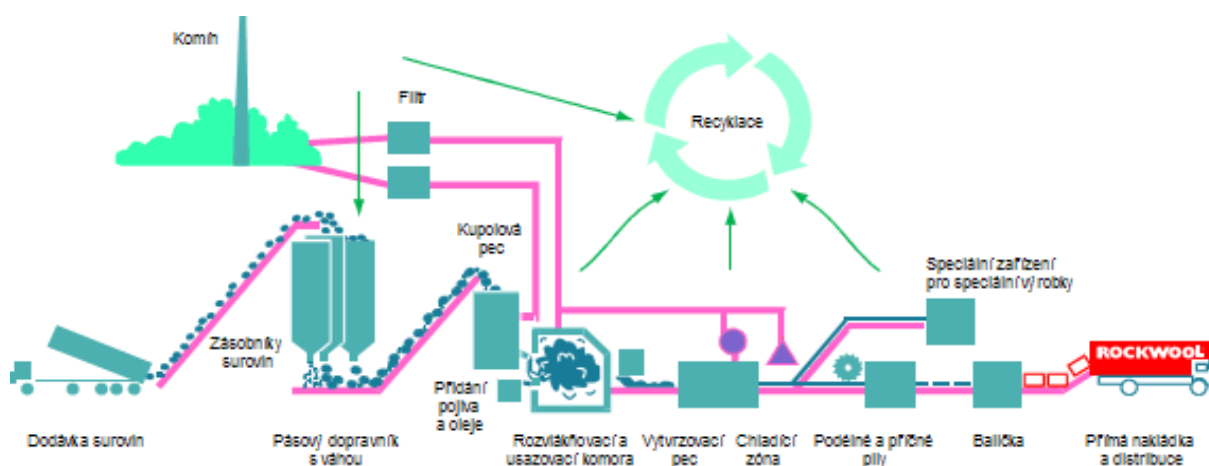
Pro výrobu čedičovo-struskového vlákna ve firmě Rockwool, a.s. se v současnosti používá olivinický čedič z lomu **Císařský u Šluknova**. V minulosti byl využíván olivinický čedič z lomu **Bílčice u Bruntálu**. Surovina z lomu **Bílčice** je z hlediska mineralogického složení obsahuje **15 – 20% olivínu**, **37 - 45% augitu** (pyroxenu), **20 – 30% plagioklasu**, **10 - 25% magnetitu** a cca **1 -3% nefelínu** a skla. Rozptyl **chemického složení** suroviny je následující:

SiO₂ ... 43,7 – 45,0%	MnO ... 0,1 – 0,2%
TiO₂ ... 1,9 – 2,3%	MgO ... 7,5 – 15,1%
Al₂O₃ ...13,1 – 14,5%	CaO ... 10,4 – 15,3%
Fe₂O₃ ... 1,0 – 5,8%	Na₂O ...3,4 – 3,7%
FeO ... 5,3 – 11,0%	K₂O ... 0,7 - 1,2%

Čedičovo-strusková vlákna se vyrábějí z výrobní směsi, tvořené přibližně 75 – 80% čediče a 20 – 25% vysokopeční strusky. Surovinová směs se taví v tzv. **kupolové peci** při teplotách **1350 – 1450°C**. Tavenina následně vytéká na rotující válce (**rozvlákňovací kotouče**). Vlivem

odstředivé síly se kapičky taveniny v proudu ofukovacího vzduchu změni v **jemné vlákno**. Chladnější kapičky se již nemohou protáhnout a odletují od kotoučů jako drobná zrnka (tzv. **granálie**). Granálie z větší části padají do spodní části rozvlákňovacího stroje, odkud jsou, spolu s dalšími nerozvlákněnými podíly, vráceny zpět do pece. Rozvlákněná hmota, spolu s určitým podílem granálií je vzduchem unášena do **usazovací komory**. V usazovací komoře jsou vlákna ještě za vzhledu **zkrápěna** vodním roztokem **pojiva** (fenolformaldehydového rezolu), **vodoodpudivými přísadami** (hydrofobizačním, silikonovým olejem), **protiplísňovými** a dalšími **přísadami**. Smočená vlákna se následně v usazovací komoře rovnoměrně usadí ve formě pásu (vrstvy), který pokračuje do **vytvrzovací komory**, kde se spolu s pojivem a všemi přísadami teplem vytvrzuje. Ve vytvrzovací komoře dochází k odparu vody a polykondenzaci fenolformaldehydového pojiva. Teplota ve vytvrzovací komoře se pohybuje v rozmezí **180 – 220°C**. Z vytvrzovací pece vychází pás kamenné vlny přes přítlačné zařízení, které spolu s rychlostí posuvu pásu a intenzitou přísunu vláken zajišťuje požadovanou objemovou hmotnost a tloušťku konkrétního výrobku. Přes **chladicí komoru** se nekonečný pás kamenné vlny dostává k **diamantové pile**, která ořezem na danou šířku výrobek formátuje. Ořezané okraje se **recyklují**, tj. vrací do tavicí pece. Nařezané výrobky postupují buď jako polotovary na speciální linku pro speciální výrobky (potrubní pouzdra, kaširované desky, lamelové rohože apod.) nebo přes baličku na pásový dopravník, směřující přímo na expedici.

Schematicky je technologie výroby čedičovo-struskového vlákna znázorněna na Obr. 12.



Obr. 12. Obecné technologické schéma výroby minerální vlny z čedičovo-struskové směsi (přístupno z <http://www.rockwool.cz/>)

Z čedičovo-struskového vlákna se vyrábějí především **tepelněizolační desky** pro **izolaci šikmých a plochých střech, příček, stropů, stropních podhledů**, provětrávaných a kontaktních **fasád**, sendvičového **obvodového zdiva, podlah**. Výrobky mohou sloužit také jako **technické izolace** pro tepelnou a zvukovou izolaci kotlů, pecí, rozvodů tepelných médií, vzduchotechnických zařízení, komínových těles, výfuků apod.

Doporučená literatura ke kapitole Tavené horniny

1. ČSN 72 7308 Minerální vlákna. Technické požadavky, 1988.
2. Fediuk F., Fediuková E.: Acta Univ. Carol., Geol., Neužil Vol., 4, 355-382 (1985).
3. Gregerová, M.: Petrografie technických hmot. – Skripta PřF Masarykovy university v Brně, 1996, 139 s.
4. Hlaváč, J.: Základy technologie silikátů. – SNTL / Alfa, Praha, 1988, 515 s.
5. Krutský N., Polášková I., Grenar A. : Geol. Průzkum, 22, 2(254), 33-36 (1980).
6. Kužvart, M. a kol.: Ložiska nerudných surovin ČSR. – Univerzita Karlova v Praze, 1983, 521 s.
7. Svoboda, L. a kol.: Stavební hmoty. – JAGA Bratislava, 2004, 471 s.

Vybrané internetové odkazy ke kapitole Tavené horniny

výrobní firmy:

www.eutit.cz – Eutit, s.r.o., Slévárna čediče a eucoru, Stará Voda

www.rockwool.cz – Rockwool, a.s., výrobní závod Bohumín

www.isover.cz – Saint-Gobain Orsil, s.r.o., Častolovice

časopisy: www.ceramics-silikaty.cz – časopis Ceramics - SILIKÁTY

vysoké školy: www.vscht.cz/sil/ - Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Fakulta chemické technologie, Ústav skla a keramiky