

3P52

Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta,
Ústav geochemie, mineralogie a nerostných zdrojů

Bazalty a jejich využití pro tavené výrobky

Bakalářská práce

Anna Burdová



Vedoucí bakalářské práce: Doc. Mgr. Richard Přikryl, Dr.

Praha 2007

PODĚKOVÁNÍ

Na úvod bych ráda poděkovala mému školiteli Doc. Mgr. Richardu Přikrylovi, Dr., za ochotu, podnětné připomínky a pomoc při psaní této bakalářské práce. Mnoho díky také patří mému strýci Michalu Burdovi, který mne k tomuto tématu přivedl a dal mi mnoho cenných rad a informací. V neposlední řadě bych ráda vzpomněla Prom. geol. Petra Jakeše, PhD, který bohužel již není mezi námi. Měla jsem možnost poznat zajímavou práci jeho týmu při vývoji nového způsobu výroby nekonečného čedičového vlákna. Toto téma mne už tehdy velmi zaujalo a následně se stalo impulzem k napsání této bakalářské práce. Na závěr děkuji i své rodině a přátelům za podporu při psaní této práce.

OBSAH

1. ÚVOD	1
2. CHARAKTERISTIKA BAZALTŮ	2
2.1. Rozdělení magmatických hornin vzhledem k použití pro petrurgii	2
2.1.1. Rozdělení magmatických hornin podle chemického složení	2
2.1.2. Rozdělení magmatických hornin podle uložení v zemské kůře	2
2.1.3. Rozdělení magmatických hornin podle stáří	2
2.2. Minerální složení bazaltických hornin	3
2.3. Chemické složení bazaltických hornin	3
3. VYUŽITÍ ČEDIČE PRO TAVENÉ VÝROBKY	4
3.1. Výroba čedičových odlitků	4
3.1.1. Požadavky na surovinu	4
3.1.2. Postup výroby	4
3.1.3. Základní požadavky na taveninu a na rekrystalovanou horninu	5
3.1.4. Vliv chemického složení suroviny na výrobu čedičových odlitků	5
3.1.5. Výrobky a jejich využití	6
3.1.6. Výrobky	6
3.2. Výroba čedičových vláken	8
3.2.1. Suroviny k výrobě horninových vláken	8
3.2.2. Chemické složení suroviny vhodné pro výrobu vláken	9
3.2.3. Hlavní požadavky na taveninu	9
3.2.4. Způsoby výroby krátkých vláken:	10
3.2.5. Vlastnosti čedičových vláken	11
3.2.6. Využití čedičových vláken	12
3.2.7. Výroba nekonečných vláken	12
3.2.8. Podmínky nutné k výrobě nekonečných vláken	12
3.2.9. Výroba nekonečných vláken v mikrovlnné peci	13
3.2.10. Použití nekonečných vláken	13
3.2.11. Bazaltová versus skleněná vlákna	14
4. LOŽISKA BAZALTŮ VHODNÝCH K TAVENÍ	15
4.1. Výskyt bazaltů v ČR	15
4.2. Hlavní těžená ložiska bazaltů	15
5. ZÁVĚR	17
6. POUŽITÁ LITERATURA	18

1. ÚVOD

Hlavním podnětem pro zpracování tématu zaměřeného na bazalty a jejich využití pro tavené výrobky bylo doporučení mého strýce Michala Burdy, který spolupracoval s Prom. geol. Petrem Jakešem, PhD v laboratoři MDI-Technologies. Tato laboratoř se zabývala výrobou nekonečných bazaltových vláken. Jejich práce mne velice zaujala a rozhodla jsem se o bazaltech vědět více. Jak vznikají, z čeho se skládají, kde se nacházejí, jak se zpracovávají a k čemu se využívají. A tyto informace má bakalářská práce obsahuje.

Čediče jsou nejrozšířenější výlevné magmatické horniny na povrchu Země. Vzhledem k dobré celkové i cenové dostupnosti a vynikajícím fyzikálním vlastnostem představují výhodnou surovinou pro průmysl. A to pro stavební, jako kamenivo a pro petrurgický, kde se čedič taví pro výrobu odlitků a vláken.

Nejstarším využitím čediče je jako stavební kámen (kamenivo do silnic), dále se využívá sloupcovitého bazaltu jako kamene pro vodní stavby (mořské hráze).

Výroba čedičových odlitků v České republice byla zahájena v roce 1951 v podniku EUTIT ve Staré Vodě u Chebu. Vyrábějí se dvěma základními způsoby a to: odléváním do pískových a kovových forem, dále odstředivým litím do formy.

Mezi přednosti čedičových odlitků patří jejich odolnost proti oděru, chemikáliím, vlhkosti a proti vysokým i nízkým teplotám (v rozmezí od -200 do +700 °C). Toto je předurčuje k využití pro těžké provozy, kanalizace, potrubí, zátěžové dlažby atd.

Dalším možným využitím čediče je výroba vláken. Nejdříve byla vyvinuta výroba krátkých vláken, známé jako horninová vata. Vyrábí se třemi základními způsoby: čedičová vlákna vyráběná odstředivým způsobem za použití rozvláknovacího kotouče, horninová vata vyráběná odstředivým způsobem na stroji s horizontální rotační osou a horninová vlákna vyráběná rozfukováním. Čedičová vata dobře odolává vlhkosti, studené i teplé vodě, vysokým i nízkým teplotám a také chemikáliím. Dále má výborné tepelné a zvukově izolační schopnosti. Vzhledem ke své odolnosti a pevnosti se také využívá jako plnivo a výztuže do betonů.

Druhý typ vláken jsou tzv. „nekonečná“ vlákna. Technologii výroby nekonečných vláken mají vyvinutou především v Rusku. Pro tavení čediče využívají plynové pece a tažení se provádí přes platinové trysky. V České republice se výrobou těchto vláken zabývala laboratoř MDI-Technologies, která zkoumala způsob výroby pomocí mikrovlnné pece a bez platinových trysek.

Využití nekonečných vláken je různorodé. Vlákna se dají tkát pro výrobu teplovzdušných oděvů, speciálních vojenských oděvů, geotextilií. Dále se dají využít jako armování do betonů, nahrazení azbestových vláken atd.

2. CHARAKTERISTIKA BAZALTŮ

Bazalt (čedič) je nejhojnější výlevná magmatická hornina na povrchu Země, Měsíce a patrně i jiných těles sluneční soustavy. Na Zemi tvoří více než 90 % výlevných hornin. Čediče se nacházejí v různých geotektonických prostředích, např. na střeooceánských hřbetech, ostrovních obloucích – uvnitř desek, dále i v riftových zónách. Převážně vznikají tavením svrchního pláště Země (Petránek 1993).

2.1. Rozdělení magmatických hornin vzhledem k použití pro petrurgii

2.1.1. Rozdělení magmatických hornin podle chemického složení

Magmatické horniny dělíme do tří základních skupin a to na základě obsahu oxidu křemičitého.

Kyselé magmatické horniny (např. žula, porfyr) mají obsah SiO_2 nad 65 hm. %, obsahují velké množství křemene a to většinou ve formě větších krystalů. Dále obsahují hodně kyselých živců. Z pohledu využití pro petrurgii jsou tyto horniny nevhodné, jelikož se velmi obtížně taví a kvůli kyselým živcům mají vysokou viskozitu a zabraňují homogenizaci taveniny.

Druhou skupinou jsou středně kyselé magmatické horniny (např. syenity) s obsahem SiO_2 mezi 65 a 52 hm. %. Tyto horniny mají již menší podíl křemene, ale stále hodně živců, tavenina je značně viskózní. Také nejsou vhodné pro petrurgii.

Poslední a pro výrobu tavených výrobků nejdůležitější je skupina bazických magmatických hornin (bazalty) s obsahem SiO_2 menším než 52 hm. %. Mají velmi malý obsah křemene a podíl živců je převážně zatlačen lehce tavitelnými pyroxeny (Pelikán 1955). Tyto horniny jsou kvůli rychlému utuhnutí většinou jemnozrnné a sklovité (Lorenz a Gwosdz 2003). Tavenina má vlivem malého obsahu SiO_2 nízkou viskozitu a dá se dobře odlévat. S nízkou viskozitou a vysokou bazicitou souvisí též velká krystalizační schopnost a tak jsou vhodné pro petrurgii (Pelikán 1955).

2.1.2. Rozdělení magmatických hornin podle uložení v zemské kůře

Magmatické horniny se vyskytují v různých polohách zemské kůry, zde také rozlišují tři skupiny.

Prvními jsou bazická hlubinná tělesa, vzácná a špatně přístupná. Tavenina krystalizuje velmi pomalu, za vysokých teplot a tlaků, což vede k tvorbě velmi hrubozrnné stavby. Pro petrurgii tyto horniny nejsou vhodné (např. gabra).

Druhý typ uložení magmatických hornin jsou žilná tělesa. Obvykle mají malou mohutnost. Jsou znečištěné na styčných plochách a obsahují uzavřeniny z okolních hornin. Pro petrurgii se také nevyužívají (např. dolerit).

Poslední typ jsou výlevné horniny (efusiva). Ve většině případech vytvářejí mohutné a snadno přístupné povrchové útvary. Magma na povrchu rychle utuhlo a tak jsou jemně zrnité a často obsahují sklo, to usnadňuje tavení. Výlevné horniny jsou využívány pro petrurgii (např. bazalty) (Pelikán 1955).

2.1.3. Rozdělení magmatických hornin podle stáří

Rozeznávají se dvě základní období vzniku magmatických hornin. A to starší paleovulkanická (předtřetihorní) efusiva, která jsou již značně zvětralá a obsahují přeměněné fáze. Jsou to např. žuly, syenity, melafyry, diabasy atd. Pro výrobu tavených hornin jsou nejdůležitější mladší neovulkanická (třetihorní a mladší) efusiva, patří sem právě čedičové horniny (Pelikán 1955).

2.2. Minerální složení bazaltických hornin

Bazaltické horniny jsou převážně složeny z vyrostlic klinopyroxenu (augit, 50 hm. %), bazického plagioklasu (30 hm. %), Fe-Ti-oxidů (magnetit, 10 hm. %; titanomagnetit; ilmenit), olivínu (15-20 hm. %) a ortopyroxenu. Dále jsou bazalty tvořeny základní hmotou, ve které se uplatňují výše uvedené nerosty, rudní minerály (magnetit, titanomagnetit, ilmenit) a zejména sklo (Holub 2002, Jamborová 2003).

2.3. Chemické složení bazaltických hornin

Jak již bylo výše uvedeno, svým chemickým složením patří bazalty mezi bazické vyvřeliny s obsahem SiO_2 menším než 52 hm. %. Tyto horniny se dále dělí také podle obsahu oxidu křemičitého na tři skupiny:

- bazické čediče s obsahem SiO_2 do 42 hm. %
- středně kyselé čediče s obsahem SiO_2 od 43 do 46 hm. %
- kyselé čediče s obsahem SiO_2 nad 46 hm. % (Jamborová 2003, Pelikán 1955).

Vlastnosti a využití jednotlivých skupin budou popsány dále v textu.

3. VYUŽITÍ ČEDIČE PRO TAVENÉ VÝROBKY

3.1. Výroba čedičových odlitků

Jako petrurgické bazalty jsou označovány druhy vhodné k výrobě čedičových odlitků a minerálních vláken.

Historie zpracování přírodních hornin na výrobky je více než 100 let stará. V České republice je čedič pro výrobu odlitků zpracováván od roku 1951 v podniku EUTIT ve Staré Vodě u Chebu. Na Slovensku byla výroba zahájena o dva roky později v Nové Bani.

Technologie výroby odlitků není příliš rozšířena. Ostatními výrobci jsou Kalenborn v Německu, firma Abresist v USA, dále se odlitky vyrábějí i v Číně (Jakeš a kol. 2002).

3.1.1. Požadavky na surovinu

a) Hornina musí být homogenní tj. její složení musí být v celém lomu stejné. Také nesmí obsahovat tělesa jiného složení (jako jsou kyselější nebo bazičtější žilné diferenciáty nebo drobné magmatické odmišleniny). Škodlivé jsou také cizí uzavřeniny, zvláště úlomky podložních hornin, např. zrnka křemene-při tavení se neprotaví (při chladnutí způsobí popraskání odlitků) (Kopecký a Voldán 1959). Dále nesmí obsahovat větší vyrostlice olivínu nebo pyroxenu (přes 2 mm) (Kužvart a kol. 1983).

b) Hornina nesmí být hrubozrnná – se stoupající velikostí krystalů se prodlužuje doba protavení a zhoršuje se homogenizace. Větší množství porfyrických vyrostlic, zvláště těžko tavitelných minerálů, jakým je v čedičích olivín, je na závadu, neboť jeho krystaly se včas neprotaví a klesají pak vzhledem k větší specifické váze ke dnu tavicí pece či homogenizačního bubnu. U odlitků se velmi zhoršuje pevnost i ostatní vlastnosti. Usazováním olivínu se tavenina ochuzuje o MgO a FeO, čímž se zvyšuje její viskozita (Kopecký a Voldán 1959).

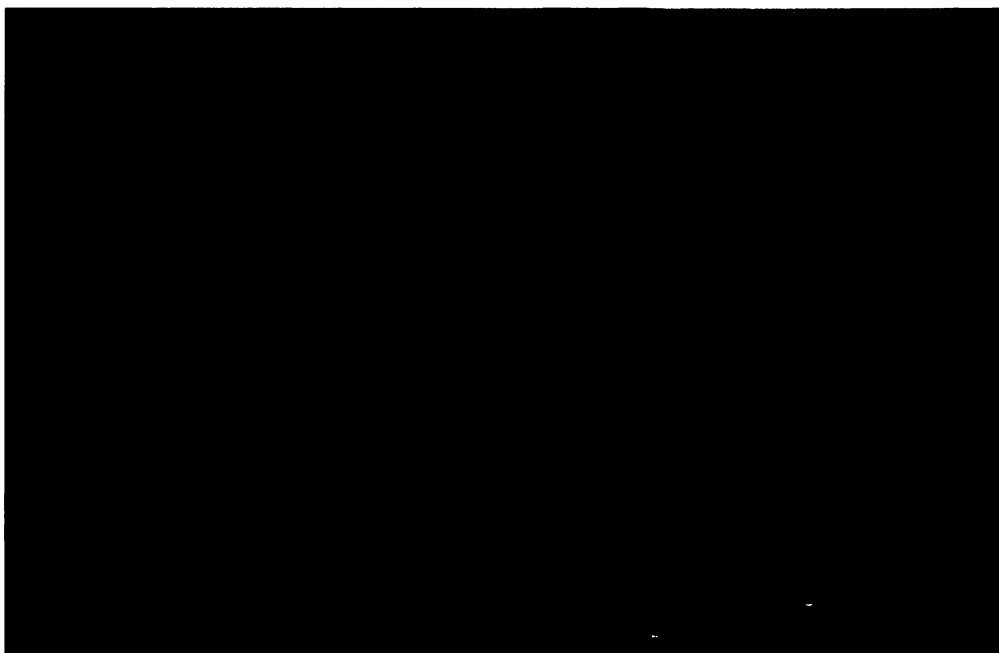
c) Hornina musí být čerstvá, neztvrdlá, neboť větráním dochází ke změnám v chemickém i nerostném složení. Zvláště nebezpečné může být znečištění skrývkovým materiálem.

Těžba nemá být prováděna komorovými odstřely, aby nedocházelo ke znečištění suroviny navětralými materiály od povrchu. Také u transportu a skladování je nutné surovinu udržet neznečištěnou (Kopecký a Voldán 1959).

3.1.2 Postup výroby

Tento výrobní proces je využíván v podniku EUTIT.

Surovina (slapanský bazalt) je drcena na velikost šterku 8 až 15 cm. Dále putuje do komorové pece vytápěné plynem, kde se čedič taví při teplotách cca 1300°C. Vlastní tavení trvá přibližně hodinu. Základním požadavkem je, aby surovina byla řádně protavena bez neprotavených částic (především těžce tavitelných vyrostlic olivínu). Po roztavení postupuje tavenina do homogenizačního bubnu, kde se zchladí na teplotu 1200 až 1160°C. Tavenina se zde promíchává a vznikají krystalizační zárodky magnetitu, který pak po odlití urychluje krystalizaci výrobků. Takto připravená tavenina se odlévá do forem (Kužvart a kol. 1983). Povrch výrobku téměř okamžitě vychladne na sklo. Po 2 až 3 minutách (u silnostěnných odlitků po 5 až 8 minutách) tavenina začíná krystalizovat. Aby výrobek řádně vykrytalizoval, je nutné ho přenést do chladicí pece (viz obr.1.). V její úvodní části je výrobek opět temperován na 850 až 900°C. Tím se dosáhne dokončení krystalizace. Následně je výrobek postupně zchlazován po dobu 16 až 24 hodin, tak aby se z výrobků odstranilo vnitřní pnutí (Jakeš a kol. 2002).



Obr. 1. Tunelová chladicí pec, ve které se chladí dlaždice (EUTIT).

Odlévání roztaveného čediče se provádí:

- * statickým litím do kovové formy (dlaždice) nebo do pískové formy (spec. tvarovky);
- * dynamickým (odstředivým) litím do formy (roury) (Jakeš a kol. 2002).

3.1.3. Základní požadavky na taveninu a na rekrystalovanou horninu:

Nejdůležitějšími fyzikálně-chemickými vlastnostmi taveniny, které musíme během výroby sledovat jsou viskozita, teplota likvidu a krystalizace.

Viskozita získané taveniny musí být za provozních teplot nízká, aby se tavenina snadno homogenizovala, vyčeřila a dobře zatékala do odlévací formy. Viskozitu snižuje přítomnost olivínu.

Teplota likvidu je taková teplota, při které tavením zmizí všechny krystalky a získáme pouze kapalnou fázi. Při tavení čediče první taje augit, při zvyšování teploty dále magnetit a nakonec olivín. Teplota likvidu čedičů kolísá od 1250 až 1350°C, přičemž stoupá s rostoucím obsahem olivínu.

Odlitek z taveniny musí snadno rekrystalovat, jeho struktura má být co nejjemnozrnější.

V tavených horninách působí olivín jako krystalizační aktivátor, podobně jako magnetit, ten však vytváří skutečné krystalizační zárodky.

Hotový výrobek po vychlazení nesmí prskat, musí mít určitou mechanickou pevnost a především oděruvzdornost (Kopecký a Voldán 1959).

3.1.4 Vliv chemického složení suroviny na výrobu čedičových odlitků

Ne každá čedičová hornina je vhodná pro petrugické účely. Podle obsahu SiO_2 se dělí na tři skupiny: bazické, středně kyselé a kyselé čedičové horniny.

Bazické čedičové horniny (olivinický melilit, melilit, olivinický nefelinit a nefelinit) mají obsah SiO_2 do 42 hm. % a obsahují nefelin. Při teplotách okolo 1300°C mají velmi nízkou viskozitu. Tavenina je řídká

a pohyblivá, tím se dobře odlévá a dobře rekrystalizuje. Vlivem hrubozrnné krystalizace a vyššímu obsahu MgO nebo FeO dochází k praskání odlitků (Pelikán 1955).

Středně kyselé čedičové horniny (bazanity, leucitity, olivinické leucitity) obsahují 43-46 hm. % SiO₂. Nejvýznamnější jsou bazanity, které splňují petrugické požadavky pro odlévání výrobků. Od bazických čedičových hornin se liší tím, že kyselější obsahují plagioklas. Při rekrystalizaci se vylučují tytéž fáze jako u bazických tj. augit, magnetit, olivín a ve skelné fázi zůstává nefelin a plagioklas.

Vzhledem k vyšší viskozitě je krystalizace pomalejší a jemnozrnnější, čímž se zvyšuje mechanická pevnost a odolnost výrobků proti obrusu. Dále mají výrobky větší tepelnou odolnost, menší tepelnou roztažnost a křehkost a nejeví sklon k praskání (Pelikán 1955).

Kyselé čedičové horniny (čedič, olivinický čedič a tefrity) obsahují více než 46 hm. % SiO₂. Tavenina je již značně viskózní, tím se hůře homogenizuje a odlévá. Rekrystalizace je pomalejší a vzniká velmi jemnozrnná hmota. Výhodou jemnozrnnosti je, že výrobek má lepší mechanické vlastnosti a zvýšenou chemickou odolnost vůči kyselinám. Nevýhoda pomalejší rekrystalizace je, že povrch výrobku, především hrany a rohy, přechladnou a zůstávají skelné (Pelikán 1955).

Tab. 2. Chemické složení čedičových hornin pro tavné účely. (Kužvart a kol. 1983)

Složení	Český čedič [hm %]
SiO ₂	42 – 52,5
TiO ₂	1,5 – 3,5
Al ₂ O ₃	15 – 19,5
FeO	6,5 – 11,5
MnO	0,25 – 0,35
MgO	2,6 – 5,2
CaO	6 – 11,3
Na ₂ O	3,8 – 20,3
K ₂ O	2 – 4
P ₂ O ₅	0,4 – 0,8

3.1.5. Výrobky a jejich využití

Vzhledem k vynikajícím mechanickým vlastnostem mají výrobky široké pole využití.

Vynikající fyzikální vlastnosti otevírají široké pole použití litých čedičových výrobků. Mezi hlavní výhody patří vysoká pevnost, tvrdost, ořezuvzdornost, chemická odolnost, stejné vlastnosti v celém průřezu výrobku. Proti výrobkům z legovaných ocelí má tavený čedič 5-20x vyšší odolnost proti otěru (Jakeš a kol. 2002). Další výhodou tohoto materiálu je ekologická a zdravotní nezávadnost (www.eutit.cz).

Využívají se v těžkých provozech a to při pneumatické či hydraulické potrubní dopravě tvrdých materiálů (hlušiny, uhlí, koks, rud, písku atd.). Dále se využívají při vyzdění a vyložení namáhaných ploch podlah zásobníků, uhelných ramp, skluzů, odlučovačů koks, cyklonů, hydrocyklonů, odstruskovačů apod. (Kužvart a kol. 1983).

3.1.6. Výrobky

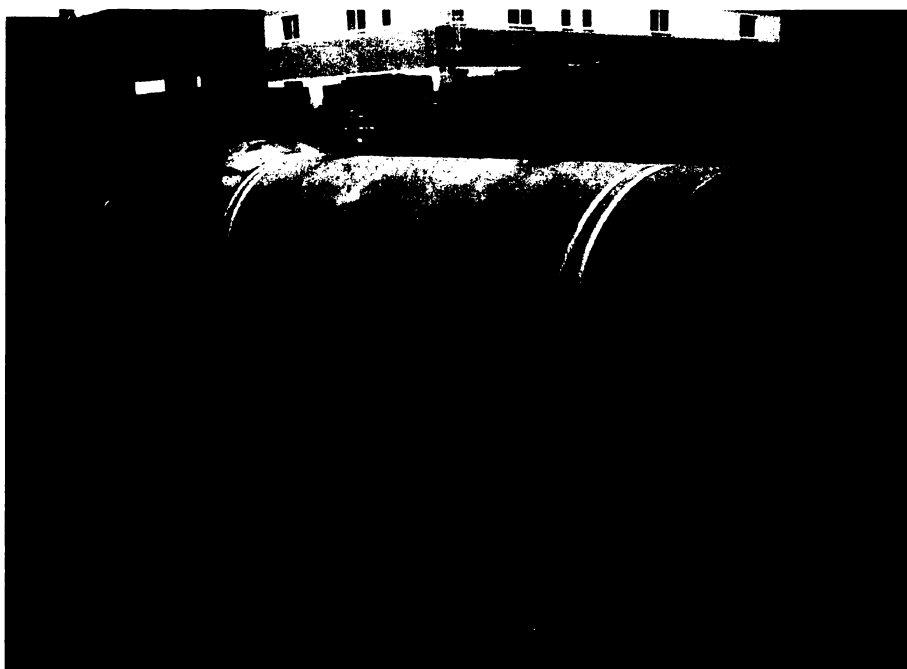
Mezi hlavní typy výrobků z taveného čediče patří dlažba a tvarovky používané pro potrubí, kanalizace apod. Dlažby z taveného čediče jsou pro svou tvrdost a odolnost převážně používané jako velmi

namáhané podlahy průmyslových objektů. Využití těchto dlaždic nenajdeme pouze v průmyslu, ale pro svou estetickou hodnotu i v interiérech obytných budov.

V podniku EUTIT se vyrábějí různé typy dlažeb a to jsou: průmyslové, interiérové, protiskluzné, variabilní a atypické dlažby (www.eutit.cz).

Pro kanalizace byl vyvinutý stokový žlab (viz Obr. 2.). Tím, že je vyroben z taveného čediče, má vysokou odolnost proti abrasivním účinkům suspendovaných a po dně sunutých anorganických částic. Dále vysoká chemická odolnost čediče je v tomto odvětví neocenitelná, jelikož v odpadní vodě je mnoho agresivních látek, které mohou stoku poškodit. Má několikanásobně delší životnost než dříve používané technologie.

Pro kanalizace se v EUTITu vyrábějí: žlaby (Obr. 3.), trouby, kanalizační cihly, tvarovky (www.eutit.cz).



Obr. 2. Stoka s čedičovým žlábkem, vyrobeno v podniku EUTIT.



Obr. 3. Žlaby z čediče, vyrobeno v podniku EUTIT.

Výrobky z čediče pro potrubí se používají zejména jako otěruvzdorné vložky potrubních dílů. Čedičové vložky se používají pro hydraulickou či pneumatickou dopravu v dolech, přepravu různých abrasivních nebo chemických materiálů apod. Speciální odlitky (oblouky, odbočky, T-kusy, Y-kusy, trysky, cyklony a podobně) nahradily díly z vysoce legovaných ocelí a zvýšily životnost zařízení na pěti až dvacetinásobek.

3.2. Výroba čedičových vláken

Z čediče, podobně jako ze skla, lze vyrobit vlákna. Čedičová vlákna se dají vyrobit dvěma základními způsoby. Nejběžnější je výroba tzv. „krátkých“ vláken (ve formě stříže) a druhý způsob je výroba „nekonečných“ vláken.

Dříve byl problém s tzv. poměrnou krátkostí vlákna (tj. krátkým intervalem zpracovatelnosti vlákna), proto mohla být vyráběna pouze krátká vlákna. V zemích bývalého Sovětského svazu se nekonečná vlákna vyrábějí, ale s velkými ekonomickými náklady. V laboratoři MDI-Technologies (nyní již není v provozu) byla vytvořena technologie, kdy lze vyrobit i vlákna nekonečná za cenu nízkých energetických nákladů (Jamborová 2003). Tento způsob výroby je však stále ve stádiu výzkumu.

3.2.1. Suroviny k výrobě horninových vláken

K výrobě čedičových vláken se obvykle používá čedič kyselého složení s obsahem SiO_2 46 až 52 hm. %. Základní požadavky na horninu a na vlákna jsou následující:

- 1) výchozí hornina musí mít konstantní složení a složení jednotlivých dodávek se nesmí příliš lišit;
- 2) dobrá dostupnost suroviny;
- 3) snadná tavitelnost horniny, musí rychle přecházet v taveninu bez zbytku krystalických fází;
- 4) pro vytvoření kvalitních vláken musí hornina obsahovat dostatek kyselých kyslíčků, zejména SiO_2 a Al_2O_3 ;

- 5) roztavená hornina musí být homogenní, nesmí pěnit a při pracovní teplotě musí mít vhodnou viskozitu;
- 6) vlákna musí mít sklovitou strukturu, a nesmí tedy rekrystalizovat při provozních teplotách;
- 7) vlákna musí být dostatečně dlouhá, pružná, chemicky stálá a odolná proti povětrnostním vlivům, vodě, chemikáliím i vysokým teplotám (Lehner a Surý 1975).

3.2.2. Chemické složení suroviny vhodné pro výrobu vláken

Aby bylo vlákno kvalitní a s dobrými mechanickými vlastnostmi musí se dbát na správné chemické složení suroviny. Zásadní význam pro podmínky tavení a výslednou kvalitu vlákna mají obsahy hlavních oxidů (SiO_2 , Al_2O_3 , MgO , CaO , FeO , Fe_2O_3) (Krutský a Polášková 1980).

Jako orientační kritérium slouží tzv. modul kyselosti (vzorec (1)), který představuje poměr kyselých a bazických oxidů. Jeho hodnota by se měla pohybovat v rozmezí od 1,1 do 3,5, podle druhu vyráběného vlákna a použité pece (Krutský a Polášková 1983). Do tohoto rozmezí spadají bazické až ultrabazické vyvřeliny (Krutský a Polášková 1980).

$$M_k = \frac{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3}{\text{CaO} + \text{MgO}} \quad (1)$$

Modul kyselosti se zpřesňuje koeficientem S_1 (viz vzorec (2)), který v sobě zahrnuje vzájemný vztah a vliv Fe-oxidů k hlavním oxidům. Do jisté míry zhodnocuje vliv jednotlivých oxidů na viskozitu. Jeho hodnota by měla být od 1,0 do 1,5 (Krutský a Polášková 1980).

$$S_1 = \frac{\text{SiO}_2 + 0,5 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3}{1,5 \cdot \text{MgO} + \text{CaO} + 0,5 \cdot (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})} \quad (2)$$

Obsahy oxidů v surovině pro výrobu vláken by měly být v rozmezí: SiO_2 38-47 %, Al_2O_3 8-15 %, CaO 8-20 %, MgO 5-20 %, Fe_2O_3 2-15 % (Krutský a Polášková 1983).

3.2.3. Hlavní požadavky na taveninu

Jedna z nejpodstatnějších vlastností tavených hornin je „poměrná krátkost“, tj. krátký interval jejich zpracovatelnosti. V průběhu procesu je důležité sledovat fyzikálně-chemické vlastnosti roztavené horniny. Nejdůležitější jsou: teplota likvidu, viskozita taveniny a krystalizace.

Mělo by být snahou připravit taveninu pokud možno s nízkou teplotou likvidu a úměrně s ní i příslušnou pracovní viskozitu (pokud je vysoká teplota likvidu, vzrůstá teplota potřebná k rozvlákňování a tím vzrůstají požadavky na energii, kvalitu a činnost zařízení). Je dobré udržovat z technologického hlediska interval mezi pracovní teplotou a teplotou likvidu roztavené horniny v rozmezí 50-100°C.

Viskozita je funkcí teploty, přičemž s rostoucí teplotou exponenciálně klesá. Viskozita ovlivňuje homogenizaci taveniny. Je také důležitým činitelem při krystalizačních vlastnostech taveniny. Dále souvisí s vývojem určité krystalické fáze, což je nežádoucí jev, a má další vliv při procesu tvarování vlákna. S rostoucí viskozitou krystalizační schopnost taveniny postupně klesá až k hodnotě ($\log \eta=6$), kdy krystalizace prakticky končí.

V procesu výroby čedičových vláken jde o tzv. zachování vlastností skel, tudíž aby nedocházelo ke krystalizaci. Z tohoto důvodu se teplota zvyšuje nad likvidus, a tím se ničí krystalizační zárodky. Pokud

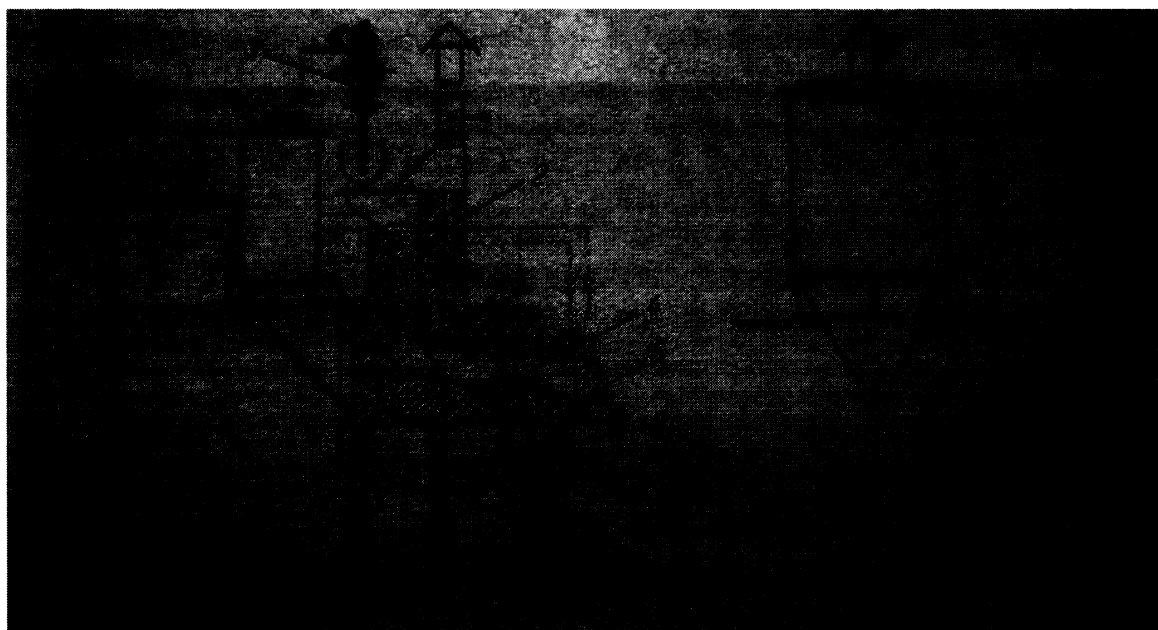
by došlo i k velmi nepatrné krystalizaci, způsobí vysokou křehkost a lámavost vláken (Lehner a Surý 1975).

3.2.4. Způsoby výroby krátkých vláken:

Krátká vlákna, neboli horninová vata se vyrábí třemi způsoby a to: odstředivým způsobem za použití rozvlákňovacího kotouče, odstředivým způsobem na stroji s horizontální rotační osou a poslední způsob výroby horninových vláken je rozfukováním (Lehner 1960).

Při výrobě čedičových vláken odstředivým způsobem za použití rozvlákňovacího kotouče (viz Obr. 4) se přírodní čedičová hornina nejprve drtí a třídí na velikost 8 až 10 cm. Štěrk se zaváže dopravním zařízením (1) do násypky pece. Tavicím agregátem je šachtová pec (2). Z násypky padá surovina do šachty pece (3), postupně jí prochází a odcházejícími spalnými plyny se zahřívá. Dále přichází na plošinu tavicího prostoru, kde se roztavuje. Roztavený čedič stéká po tavicí plošině do zásobní jímky (4), kde se homogenizuje a teplotně vyrovnává. Odtud přitéká chlazeným odtokovým můstkem, protéká šamotovým kuželovým výtokovým otvorem (5) a vtéká do středu rozvlákňovacího kotouče (6), který se otáčí v horizontální rovině. Rotační osa je vertikální (Lehner a Surý 1975).

Působením odstředivé síly teče v tenké vrstvě k jeho obvodu až k drážkované části, kde se rovnoměrně rozdělí. Z obvodu se oddělují drobné kapičky, které odlétají velkou rychlostí od kotouče a vytahují se ve vlákna. Tato vlákna jsou dopravována pneumaticky do zásobníku (Jamborová 2003).



Obr. 4. Schéma výroby čedičového vlákna odstředivým způsobem (Lehner a Surý 1975).

Při výrobě horninové vaty odstředivým způsobem na stroji s horizontální rotační osou je osa rotace horizontální a tavenina se rozvlákňuje prudce se otáčejícím válcem. Tavenina vytéká výtokovým žlábkem z tavicí pece do středu otáčejícího se bubnu. Buben je vyroben ze žáruvzdorné oceli a jeho přední strana je šikmě zkosená s radiálním drážkováním. Buben musí být dostatečně zahřátý, aby tavenina ke kovu přilnula a v tenké vrstvě tekla po zkosené části bubnu k jeho okraji. Na okraji se odtrhují od bubnu jemné kapičky a ty se vytahují ve vlákna. Poté se vlákna zachycují na dopravním zařízení a dále se zpracovávají (Lehner a Surý 1975).

Dále se horninová vlákna vyrábí tzv. rozfukováním. Hornina je drcena na velikost 1 až 3 cm. Poté je dopravena na šikmou tavicí plochu, kde se taví. Tavenina stéká do malé jímky, kde dochází k homogenizaci a teplotnímu vyrovnání. Postupně přetéká do přední části pece, kde je umístěn výtokový otvor. Výtokový otvor je zvnějšku zakryt platinovou píčkou, která je elektricky zahřívána. Roztavený čedič tak proteče píčkou, rozdělí se na několik proudů a vtéká do výtokových trysek. Vytékající pramínky přicházejí do parní dyšny, kde jsou rozšlehány prudce proudící párou. Tímto se kapičky taveniny vytahují na jemná vlákna (Lehner a Surý 1975). V odtahové troubě se volně letící vlákna postříkují šlichtou a dále se usazují na dopravníkovém páse (Jamborová 2003).

Dále se používají tzv. kombinované výrobní metody, ve kterých se využívá odstředivého způsobu i rozfukování (Lehner 1960).

3.2.5. Vlastnosti čedičových vláken

Čedičová vlákna mají sklovitou strukturu. Jejich povrch je hladký, průřez kruhový a plný. Barevnost vláken závisí především na surovinách, ze kterých byla vyrobena a to zejména na obsahu oxidů železa. Čedičová vlákna jsou hnědá, hnědošedá a hnědozelená.

Délka vláken závisí na způsobu výroby. Vlákno, které je vyrobené odstředivým způsobem za použití rozvlákňovacího kotouče, má průměrnou délku 50-90 mm. Čedičové vlákno vyrobené tažením tryskami o malém průměru a navíjením na kotouč má délku nekonečnou.

Důležitou vlastností je také obsah granálií, což jsou nevláknité přímíseniny v horninové vatě. Jsou to nevytažené zbytky taveniny ve tvaru jehliček a kuliček. Jejich obsah by měl být co nejmenší.

Z fyzikálních vlastností je nejdůležitější pevnost v tahu a tepelná vodivost. Pevnost v tahu stoupá se zmenšující se tloušťkou vláken (tato závislost platí do tloušťek okolo 1 μm). Největší vliv na pevnost vláken mají teploty nad 700°C a některá kyselá prostředí. Čedičová vlákna mají výbornou tepelnou odolnost, lze jich využít do teplot 700 až 800°C (vlákna skleněná lze použít do teplot 400°C). Jsou nehořlavá. Horninová vlákna jsou také výborným izolačním materiálem. Oproti vláknům skleněným mají výhodu, že se dají použít ve vyšších teplotách a v agresivnějších prostředích (převážně alkalických). Dále fungují jako dobrý zvukově izolační materiál a to díky jejich vláknité struktuře a vysoké pórovitosti.

Čedičová vlákna dobře odolávají vlhkosti, studené i teplé vodě. Dále mají vysokou odolnost proti louhům (větší než vlákna skleněná). Naproti tomu odolnost proti kyselinám je menší než u skleněných vláken. Nespornou výhodou je, že nejsou napadána mikroorganismy ani plísněmi (Lehner 1960, Lehner a Surý 1975).

3.2.6. Využití čedičových vláken

Čedičová vata se uplatňuje v izolační technice pro vysoké (do 700 °C) i velmi nízké teploty (až -200°C). Dobře odolává vlhkosti a změnám teploty.

Čedičová vlákna se přidávají do cementu jako tužící kostra. Dále se využívají jako plniva a výztuže do betonů. Také se horninová vlákna přidávají do různých omítek, štuk, malt a všude tam, kde se vyžaduje vyšší pevnost a odolnost. Vláken se také využívá do různých filtrů a to především pro tepelně a chemicky namáhané plynové a kapalinové filtry.

Výrobky z čedičových vláken: vyrábějí se izolační rohože, matrace, desky, plsti, tvarové kusy, skruže. Těchto výrobků se běžně používá k izolaci tepelných agregátů, pecí, kotlů, kouřovodů, plynových a odtahových kanálů, cisteren, motorů, potrubí atd. Dále se využívají k stavebním zvukovým izolacím (Lehner 1960). Nejvýznamnějším světovým výrobcem horninové vaty je firma Rockwool.

3.2.7. Výroba nekonečných vláken

Nekonečná bazaltová vlákna se nyní vyrábí především v bývalém Sovětském svazu (Rusku, Arménii, Ukrajině a Kazachstánu). Většina vláken na trhu pochází právě z Ruska (Jakeš a kol.2002).

Způsob výroby je obdobný jako u skleněných vláken. Bazalty se taví v plynových pecích a tažení se provádí přes platinové trysky. Z toho plynou tyto nevýhody: energetická náročnost tavení, dlouhá stabilizace a krátká životnost platinových trysek (platina je velice drahý materiál).

Nový způsob výroby nekonečných čedičových vláken je pomocí mikrovlnné pece. Tato metoda je ekonomicky výhodnější (Jamborová 2003). Na výzkumu této metody se zasloužil především Prom. geol. Petr Jakeš, PhD. se svými spolupracovníky v laboratoři MDI-Technologies a dále např. Ing. Milan Hájek, CSc. z Akademie věd (Ústav chemických procesů AV ČR).

3.2.8. Podmínky nutné k výrobě nekonečných vláken

Na rozdíl od čedičové vaty jsou při výrobě nekonečných vláken nároky na surovinu a výsledné vlákno mnohem vyšší. Tažené vlákno musí být v celém objemu skelné, bez zbytků krystalů (které vedou k jeho lámání). Jeho složení musí být homogenní, konstantního průměru a musí být pružné.

Z toho vyplývají požadavky na primární taveninu. Jsou to co nejvyšší homogenita v chemickém složení a reologických vlastnostech. V tavenině nesmí být žádné mikrokristaly, zbytky po tavení, či nečistoty, které by sloužily jako nukleační centra vzniku krystalů při chladnutí. Právě pro tyto vlastnosti by bazalt měl mít úzký rozsah teplot mezi solidem a likvidem (tedy velice úzký krystalizační interval) (Jakeš a kol. 2002).

3.2.9. Výroba nekonečných vláken v mikrovlnné peci

Stručný popis výroby nekonečných vláken v mikrovlnné peci je následující: čedič se drtí na šterk o velikosti 0,6 – 0,8 cm. Ten se předehřívá na teplotu okolo 600°C a putuje do mikrovlnné pece. Zde se pomocí směrových magnetronů hornina roztaví (teploty dosahují až 1550°C) a poté homogenizuje. Roztavená surovina putuje k tryskám, kde se zvlákňuje a navíjí na kotouč (Jamborová 2003).

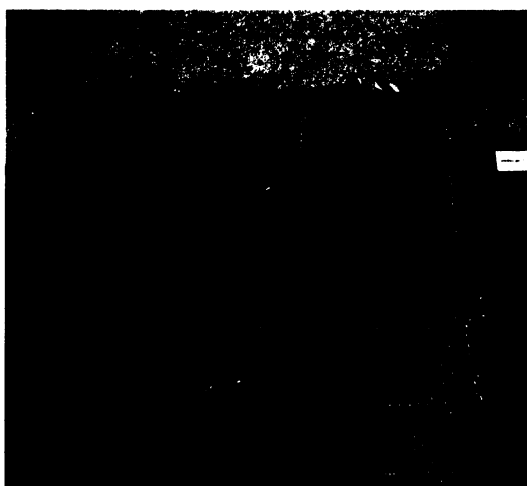
Mikrovlnný ohřev je výhodný ve způsobu vedení tepla. K ohřevu dochází v celém objemu tj. zevnitř k povrchu, tím nedochází k úniku tepla a tavení je několikanásobně rychlejší než v klasické peci. V klasické peci je přesun tepla z povrchu dovnitř, tím dochází k úniku tepla a pec se musí dobře izolovat (Jamborová 2003).

Další výhodou je využívání levných materiálů. Ruští výrobci používají k tažení vláken platinové trysky, které jsou velmi drahé. U mikrovlnné pece se využívaly trysky z keramického materiálu (Jamborová 2003).

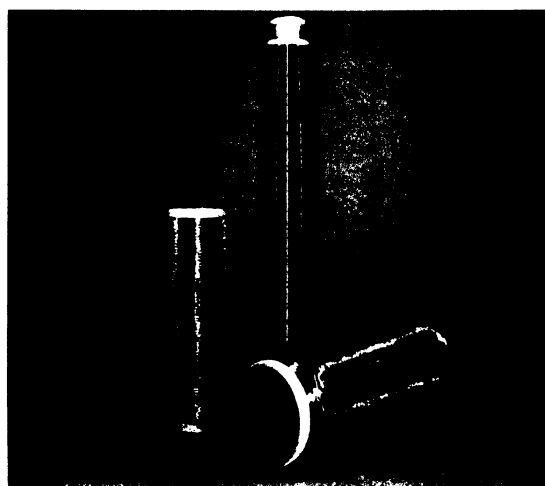
3.2.10. Použití nekonečných vláken

Vzhledem k tomu, že lze vyrobit nekonečně dlouhá vlákna, otevírají se další možnosti využití tohoto materiálu. Vlákna se mohou tkát (viz obr. 5.), nebo se sekají a vyrábějí se z nich netkané textilní materiály (Jakeš a kol. 2002).

Pro textilní zpracování se nekonečná vlákna vyrábějí pro zpracování na nitě – roving (na obrázku 6.), čedičové nitě skané, druzené a kordy. Čedičová příze se dále zpracovává na plošné a délkové textilní útvary, jako jsou provazce, hadice, popruhy a prostorové technické útvary. Obvykle se vyrábějí vlákna o průměru 9 -13 μm (www.basaltex.cz).



Obr. 5. Tkaniny vyrobené z nekonečného bazaltového vlákna (www.basaltex.cz).



Obr. 6. Nítě-roving z nekonečného bazaltového vlákna (www.basaltex.cz).

Příklady využití:

- výroba izolačních tkaných látek (např. teplovzdorné oděvy, tkaniny proti chemikáliím), dále se vyrábějí tepelně izolační směsi pro stavebnictví, jako jsou žáruvzdorné stavební hmoty, plniva do tmelů apod.;
- uplatnění ve vojenství (absorbéry radarového záření, dále jako „maskovací materiál“, který nemůže být detekován přístroji dálkového průzkumu, jelikož bazalt vydává signál shodný se signálem přirozeného pozadí horniny a půdy) (Jakeš a kol.2002);
- geotextilie (např. mřížky k opravě silnic);
- armovací tkaniny a vlákna (např. do betonu);
- nahrazení azbestových vláken (např. v brzdných destičkách pro automobily);
- dají se vyrobit výztužné tkaniny do kompozitů a sekaná vlákna do plastických hmot;
- bytové a interiérové nehořlavé textilie (tapety, podkladové textilie atd.) (www.basaltex.cz).

3.2.11. Bazaltová versus skleněná vlákna

Skleněná vlákna se začala vyrábět dříve než bazaltová. Taktéž existují dva druhy vláken – krátká a nekonečná. Na rozdíl od bazaltových vláken, je výroba i zpracování skleněných nekonečných vláken již vyvinuta. Využívají se zejména do kompozitních materiálů.

K nevýhodám využití skleněných vláken patří ztráta mechanických vlastností při vysokých teplotách (okolo 400°C), energeticky náročná výroba (vysoká teplota tavení a tažení) a také vyšší cena surovin. Vlákna se táhnou s použitím platinových trysek, které se opotřebovávají a musejí se často měnit. Výhodou je, že skleněná vlákna jsou bezbarvá (Jamborová 2003).

Tab. 3. Srovnání vlastností bazaltového a skelného vlákna (<http://basalt-alf.narod.ru>).

Parametr	Bazaltové vlákno	Skelné vlákno
Pracovní teplota °C	-260 až +700	-60 až +460
Teplota měknutí °C	1050	600 (986 ^R)
Tepelná vodivost W/m/K	0,031 - 0,038	0,034 - 0,4 (1,0 ^E)
Měrný el. odpor Ω.m	1x 10 ¹²	1x10 ¹¹ (1x10 ¹²) ^E
Průměr vlákna μm	9 – 13	6 – 17
Tex, g/km	28 – 120	17 – 480
Hustota, kg/m ³	2500 – 2800	2540 - 2600
Modul pružnosti GPa	90 – 100	72 (86 ^R)
Stabilita v tahu při teplotách		
20°C	100%	100%
200°C	95%	92%
400°C	82%	52%
Chemická odolnost: hmotnostní ztráty v % po 3 hod. vaření:		
H ₂ O	1,6	6,2
2 M NaOH	2,75	6,0
2 M HCl	2,2	38,9

^E – E-glass, ^R – R-glass

4. LOŽISKA BAZALTŮ VHODNÝCH K TAVENÍ

4.1. Výskyt bazaltů v ČR

Čediče jsou v České republice hojné zvláště v Českém středohoří (62 % všech efuzív) a Doupovských horách (Petránek 1993). Dále tvoří velmi početné drobné výskyty rozptýlené v západních, severních a východních Čechách nebo také v Nížkém Jeseníku na Bruntálsku (Holub 2002).

4.2. Hlavní těžená ložiska bazaltů

Slapaný

Ložisko slapanského čediče se nachází nedaleko města Cheb. Je tvořeno olivinickým čedičem a mocnost ložiska je 35 až 50 m. Hornina obsahuje vyrostlice olivínu, které dosahují velikosti i přes 1 cm (Kužvart a kol. 1983). Surovina těžená ve Slapanech se využívá pro výrobu odlitků v EUTITU.

Libochovany

Lokalita Libochovany se nachází v blízkosti města Litoměřice. Těží se zde nefelinický bazanit, který má nízký obsah nefelínu i olivínu. Hornina z tohoto lomu je využívána především ke stavebním účelům jako silniční kamenivo. V minulosti byla využívána k výrobě horninového vlákna ve sklárně v Duchcově, ale pro vysoký obsah Al_2O_3 a nízký obsah MgO se přestala využívat jako petrurgická surovina (Kužvart a kol. 1983).

Stráž nad Ohří

Toto ložisko se nachází u Karlových Varů v Doupovských horách. Hornina je jemně zrnitá s četnými vyrostlicemi pyroxenů a magnetitů (Jamborová 2003).

Chuchelna

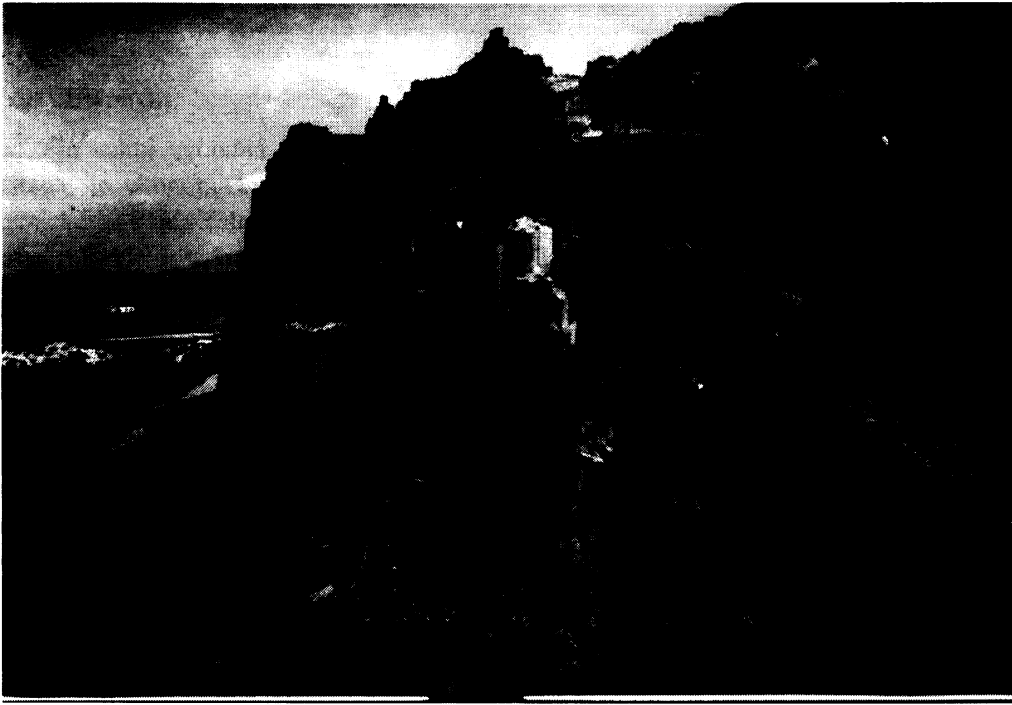
V ložisku Chuchelna u Semil jsou zastoupeny 4 typy bazanitů. Jsou to: sklovité až silně sklovité, sklovité až silně sklovité nefelinické, nefelinické a velmi jemnozrné až sklovité. Barvu mají černošedou a obsahují drobné vyrostlice olivínu (Jamborová 2003).

Březín

Lokalita Březín se nachází mezi Plzní a Karlovými Vary v Tepelské vrchovině. Těžený čedič v tomto ložisku je velmi jemnozrný až celistvý, má tmavošedou až černomodrou barvu.(Jamborová 2003)

Dalšími významnými ložisky jsou Chraberce (okr. Louny), Smrčí II (okr. Semily), Libá u Chebu, Vinařická hora (olivinický nefelinit), Mokrý (olivinický nefelinit), Hradištský vrch (leucitický bazanit), Dobkovičky (olivinický čedič), Všechlapy (olivinický nefelinit), Polevsko (olivinický čedič), Císařský (čedič), Proseč-Záhoří (olivinický čedič), Bílčice (nefelinický bazanit), Kamenický Šenov atd.

Kamenický Šenov, neboli Panská skála. Na fotografii (obr. 7.) je vidět sloupcový rozpad čediče. Lom je částečně zatopen a již se zde netěží, ale je to velmi oblíbený cíl turistů.



Obr. 7. Opuštěný lom Kamenický Šenov, sloupcový rozpad čediče (Bárta J. 1961, www.geology.cz)

5. ZÁVĚR

Čedič je velmi výhodná surovina. Vzhledem k tomu, že se jedná o dostupnou surovinu na mnoha místech, je ekonomicky výhodný z hlediska ceny suroviny i ceny dopravy. Vzhledem ke svému chemickému a mineralogickému složení se hodí pro výrobu odlitků i vláken. U čedičových odlitků hraje hlavní roli odolnost, tvrdost a dlouhá životnost materiálu.

Krátká vlákna se vyrábějí především pro svou odolnost proti vysokým teplotám (až do 700 °C), proti chemikáliím, vlhkosti. Vyrábějí se z nich tepelné i zvukové izolace.

Nové a perspektivní odvětví petruurgie tvoří výroba nekonečných vláken. Z těchto vláken se dají spřádat textilie, čímž vznikají nové možnosti využití čediče.

Čedičová vlákna, jak krátká tak nekonečná, dělají konkurenci vláknům skleněným, které se začaly vyrábět dříve, ale suroviny pro jejich výrobu jsou dražší, výroba je ekonomicky náročnější, při vysokých teplotách ztrácejí dříve mechanické vlastnosti (již při 400°C) a v alkalických prostředích jsou méně odolné.

Dále se nesmí opomenout, že čedič je čistě přírodní materiál, tím pádem je ekologicky a zdravotně nezávadný a snadno recyklovatelný.

6. POUŽITÁ LITERATURA

Čtyroký V., Fabík M., Franče J., Gabriel M., Grunnerová E., Grym V., Hašlar O., Hejtmánek D., Klement K., Kopecký L., Kovařík J., Kouřimský J., Krejčíř M., Krutský N., Kruťa T., Křelina B., Kužvart M., Kvaček M., Květoň P., Macoun J., Mátl V., Mrázek I., Novák F., Polášek S., Procházka J., Reichmann F., Rybařík V., Ryšavý P., Švenek J., Tichý L., Voda O., Vohanka L., Voldán J., Žurek V., 1983. *Ložiska nerudných surovin ČSR*. Univerzita Karlova, 521 str.

Holub F., 2002. *Obecná a magmatická petrologie*. Univerzita Karlova v Praze–Nakladatelství Karolinum, 214 str.

Jakeš P., Potužák M., Johnová R., Haloda J., 2002. *Tercierní čediče slapanského tělesa a jejich prostorová variace (čediče pro petrurgii a tažení vlákna)*. Závěrečná zpráva ke grantu GAUK GEO 199/2000, Přírodovědecká fakulta UK, Praha, 27 str.

Jamborová J., 2003. *Pevnost čedičových vláken*. Diplomová práce, TU Liberec, fakulta textilní, 56 str.

Kopecký L., Voldán J., 1959. *Krystalisace tavených hornin*. Nakladatelství Československé akademie věd, 218 str.

Krutský N., Polášková I., Grenar A., 1980. Výzkum hornin pro výrobu minerálních vláken. *Geologický průzkum*, 2(254): 33-36

Krutský N., Polášková I., 1983. Mineral and chemical composition of rocks for production of mineral fibres. In: *Proceedings symposium New Mineral Raw Materials*, Karlovy Vary, May 31 – June 2, 1983, str. 70-73

Lehner J., 1960. *Skleněná, horninová a strusková vlákna*. Státní nakladatelství technické literatury, 212 str.

Lehner J., Surý L., 1975. *Silikátová vlákna v průmyslu a stavebnictví*. SNTL – nakladatelství technické literatury, 367 str.

Lorenc W., Gwosdz W., 2003. Manual on the Geological-technical Assessment of Mineral Construction Materials. *Geologisches Jahrbuch Sonderhefte, Heft SH 15*, Hannover, str. 230-236.

Pelikán A., 1955. *Tavené horniny*. Vydavatelstvo ROH – PRÁCE, 247 str.

Petránek J., 1993. *Malá encyklopedie geologie*. Nakladatelství JIH České Budějovice, 246 str.

Internetové stránky:

www.basaltex.cz, 2.8.2007

<http://basalt-alf.narod.ru>, 12.7.2007

www.eutit.cz, 16.7.2007

www.geology.cz, 2.8.2007

