

Sborník geologických věd	Ložisk. geol., mineral., 30	Pages 43-90	7 obr.	4 tab.	I příl.	Praha 1992 ISBN 80-7075-105-3 ISSN 0581-9180
--------------------------------	-----------------------------------	----------------	-----------	-----------	------------	--

Bentonity ve východní části Doupovských hor

Bentonites in the eastern part of the Doupovské hory Mts.

JOSEF FRANČE¹

Předloženo 17. listopadu 1989

1 : 50 000
12-11, 11-22

*Bentonite
Volcanoes
Geophysics
Doupovské hory Mts.*

FRANČE, J. (1992): Bentonity ve východní části Doupovských hor. – Sbor. geol. Věd, ložisk. Geol. Mineral., 30, 43–90. Praha.

V ý t a h: Výzkumnými pracemi v letech 1980–1985 bylo prokázáno, že území v. části Doupovských hor je mimořádně významným potenciálním zdrojem kvalitních bentonitů pro slévárny i jiné účely. Významná ložiska bentonitu jsou zde vázána na bazální pyroklastika, vyvinutá v pruhu asi 15 × 20 km, těžebně dostupné terény jsou v s. části území na Kadaňsku a v j. části na Podbořansku, značná část území je překryta lávovými příkrovy a sedimenty pětipeské pánve. K faciálnímu rozlišení vulkanitů a k vymezení prognóz byla využita letecká magnetometrie, doplněná pozemními geofyzikálními pracemi a vrtů. Ze studia procesu zvětvávání jsou odvozena tři pásma bentonitizace a vymezeny typy bentonitu vhodné k úpravě na formu Na. V práci jsou shrnuty poznatky získané o geologické stavbě území a zákonitostech vzniku a vývoje ložisek bentonitu a poznatky o metodice vyhledávání, průzkumu a hodnocení ložisek bentonitu.

¹ GTS, Jasmínová 2699/57, 106 00 Praha 10

Úvod

Území, označované jako v. část Doupovských hor, leží v severních Čechách v okresech Chomutov a Louny. Zaujímá v., sv. a jv. část Doupovských hor až zhruba po linii Klášterec nad Ohří–Lubenec. V severní a v. části území jsou vulkanity překryty sedimenty uhelných pánví, v j. části jsou obnaženy podložní horniny permokarbonu. Morfologicky se na stavbě území uplatňují svahy Doupovských hor, přecházející na V do mírně zvlněné žatecké plošiny. Na S vystupují svahy Krušných hor, na J je mírná pahorkatina Podbořanska. Z Doupovských hor vybíhají směrem k SV horniny stře-zovského sedla, oddělující pětipeskou pánev od chomutovské části severočeské pánve. Nadmožské výšky jsou nejnižší v údolí Ohře (kolem 220 m n. m.), nejvyšší při z. okraji území (kolem 600 m n. m.), odkud dále stoupají do centra Doupovských hor.

O montmorillonitickém charakteru některých tufitických hornin na Kadaňsku se zmiňuje již W. Zartner v roce 193330, jako nálezné na bentonity jsou označovány vrtů

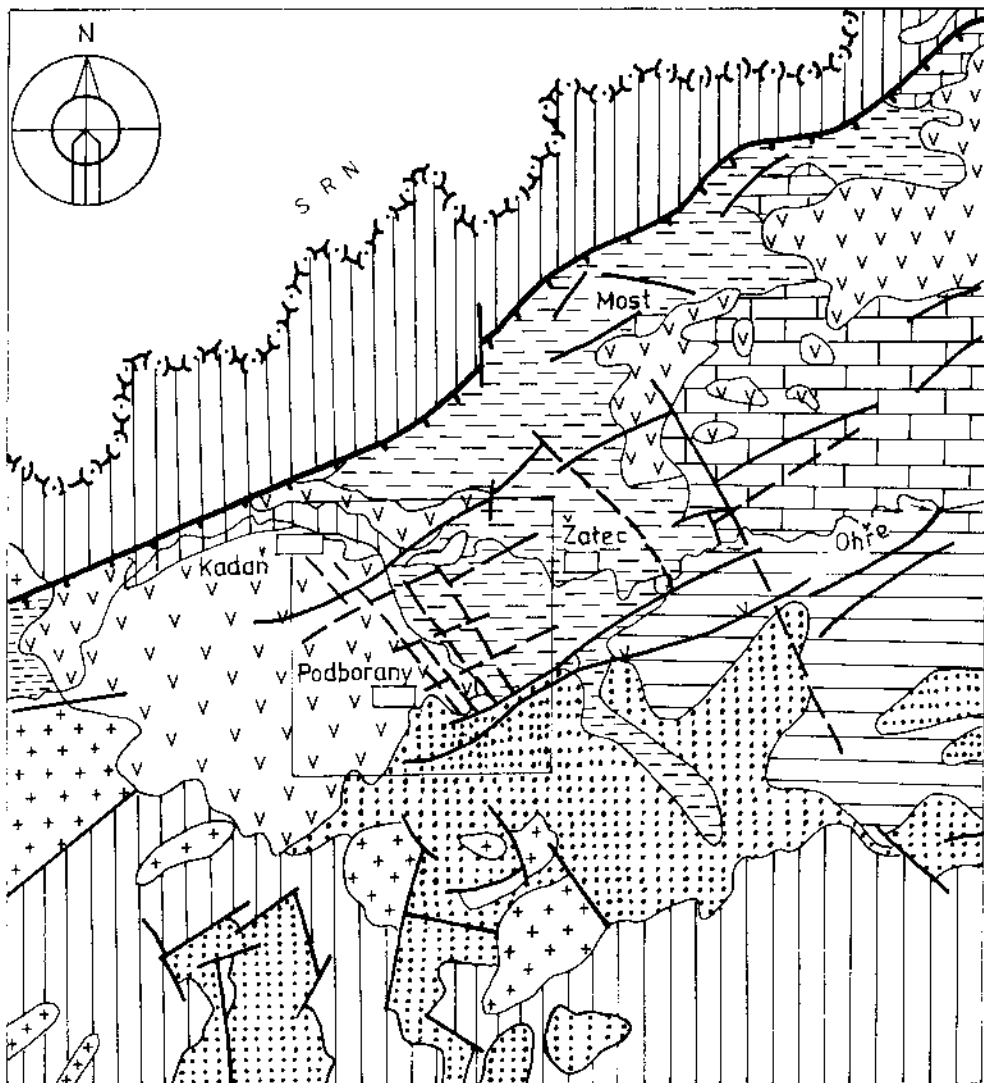
v oblasti podlesického výběžku hnědouhelné pánve u Nové Vsi v roce 1960, provedené n.p. Geologický průzkum Praha při ověřování uhelných výchozů. V letech 1960–1968 byla provedena řada vrtů v rámci průzkumu doprovodných surovin i samostatného ložiskového průzkumu ve Vysokých Třebušicích. Výsledky těchto průzkumných prací jsou shrnuty v závěrečných zprávách například CÍLKA (1965) a SHRBNÉ (1971). Podle jakostního hodnocení ověřených zásob bentonitů jde o méně hodnotné bentonity, vhodné ke zúrodňování zemědělských půd. I další průzkumné práce, zaměřené na bentonity pro slévárenské účely (MÍKA et al. 1978), byly uzavřeny s negativními výsledky.

Nové poznatky o výskytu bentonitů přinesly průzkumné práce na kaolíny v letech 1976–1977 (MÍKA et al. 1977), vcelku však stále převládal názor, že bentonity ve v. části Doupovských hor jsou méně hodnotné a nejsou vhodné pro použití ve slévárenském průmyslu. Bylo třeba objasnit úložní poměry a genezi ložisek a zpracovat metodiku jejich výzkumu a průzkumu, aby byl vyvrácen tento názor, tradovaný po dvě desetiletí. Nový průzkum bentonitů, zahájený v roce 1980, byl vyvolán požadavkem slévárenského průmyslu na zabezpečení jakostních slévárenských bentonitů, odpovídajících požadavkům normy ČSN 72 1350, platné od 1. 1. 1977. V průběhu let 1980 až 1985 byla zjištěna řada nových poznatků, jež vedly k přehodnocení dosavadních názorů. To umožnilo rozvoj geologicko-průzkumných prací, kterými byly ověřeny rozsáhlé zásoby kvalitních bentonitů pro slévárenský průmysl. Výsledky těchto prací jsou dokumentovány v závěrečných zprávách a studiích (FRANČE 1980; KŘELINA et al. 1981; ŠINDELÁŘ 1982; ČERNÁ et al. 1982; FRANČE 1982a, 1982b; KŘELINA et al. 1984; RAUS et al. 1984; FRANČE 1985; KRUTSKÝ et al. 1984; JÍCHA et al. 1989). Východní část Doupovských hor se tak stala mimořádně významným ložiskovým územím. V této práci jsou shrnuty poznatky získané o geologické stavbě území a zákonitostech vzniku a vývoje zdejších ložisek bentonitů a o metodice jejich vyhledávání, průzkumu a hodnocení.

Geologické a tektonické podmínky vzniku ložisek bentonitů v neovulkanitech Českého masívu

Saxonské vrásnění a s ním spjatý vulkanismus

Výraz saxonské vrásnění se používá pro tektonický neklid, který postihl Český masív po paleozoiku. Výraz „vrásnění“ není zcela vhodný, protože saxonské deformace jsou převážně zlomové. Jsou provázány epeirogenetickými pohyby celého Českého masívu nebo jeho částí a činností vulkanickou. Saxonský tektonický neklid začíná na našem území v mezozoiku v době sedimentace střední křídý, popř. jury. Trvá v terciéru i v pliocénu a jeho poslední dozvuky lze sledovat až do dnešní doby (sine 1961). Saxonské pohyby se přimykaly svými směry k starým dílčím jednotkám a sledovaly hlubokou stavbu Českého masívu, v níž se stále ještě projevovaly nedostatečně zacelené jizvy. Saxonské vrásnění se projevilo jednak vyklenováním a vyzdvihováním, jednak vznikem zlomů. Centrem výsledné klenby byla moldanubická oblast; současně vznikaly na obvodu další klenby, na S a SZ deprese, omezené zlomy (vznik příkopových propadlin) a za nimi na obvodu Českého masívu val automorfních hrástí, svažujících se místy



1. Tektonická mapa území severočeských vulkanitů s vymezením studované oblasti. Podle tektonické mapy ČSSR (sine 1961), upraveno a doplněno autorem

1 – terciérní sedimenty; 2 – terciérní vulkanismus; 3 – křída; 4 – permokarbon; 5 – variské a jiné granitoidy; 6 – platformní základ Českého masívu

plynule k okraji masívu. Saxonské vrásnění doprovázelo vznik tří systémů zlomů: krušnohorského, sudetského a jizerského (rýnského). Pro řešení tektonických poměrů

a geologické stavby území v části Doupovských hor mají největší význam systémy zlomu krušnohorského a sudetského směru (obr. 1).

Systém zlomů krušnohorského směru probíhá od ZJZ k VSV a sleduje hlavně staré strukturální linie assyntské a starovariské. Uplatňuje se především v oblasti Krušných hor a Českého středohoří. Systém zlomů sudetského směru probíhá zhruba od SZ k JV, avšak s odchylkami v jednotlivých oblastech. V severní a sz. části Českého masívu mají zsz. – vjv. směr jako v Polabí. Zlomy sudetského směru sledují staré mladokaledonské linie. Jsou úzce spjaty s křídovou pánví (deprezí) Českého masívu a navazují na průběh středosaského zlomu. Třetí systém saxonských zlomů, rýnský nebo jizerský, má zhruba sj. směry a sleduje staré poruchy asturské a sálské, zejména „brázdy“. Uplatňuje se na stavbě Českého masívu nejméně.

Saxonské vrásnění bylo doprovázeno převážně povrchovou sopečnou činností, jež je pomezozoická a je vázána na pokleslé oblasti nebo na jejich okolí. Hlavními vulkanickými centry jsou Doupovské hory a České středohoří. Vedle nich jsou saxonské vulkanity roztroušeny v širokém oblouku od Chebu přes podrudohorský prolom a sousedící Krušné hory, přes křídovou pánev, Jizerské hory až do východních Čech. Samostatné menší sopečné centrum je v Jeseníkách a na Ostravsku. České středohoří tvoří množství samostatných sopečných těles různého stáří, kdežto Doupovské hory jsou jednotným velikým stratovulkánem: Drobná roztroušená vulkanická tělesa mimo České středohoří a Doupovské hory jsou jednak žíly a sopouchy, jednak příkrovky a vyvěřelé kupy. Pyroklastické uloženiny jsou daleko hojnější v Doupovských horách a v Českém středohoří než na jiných místech.

Vulkanismus oherského riftu

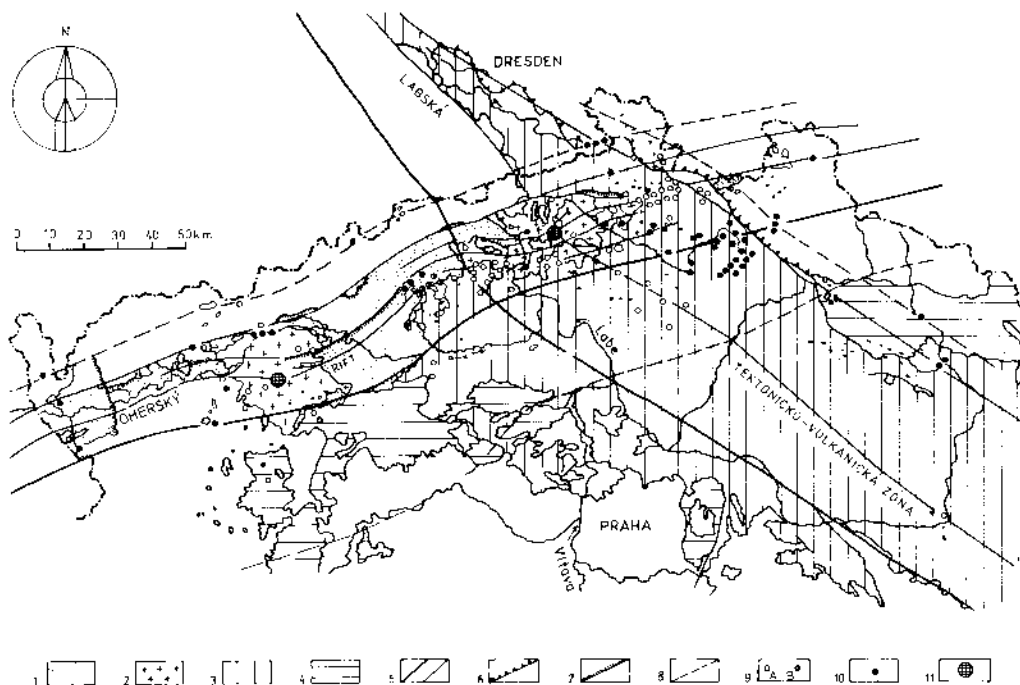
Podle novějších výzkumů náleží třetihorní vulkanismus Českého středohoří a Doupovských hor k neoidnímu vulkanismu oherského riftu, který byl jako součást středoevropské riftové soustavy vyčleněn KOPECKÝM (1972, 1977, 1985) – obr. 2.

Oherský rift je ca 280 km dlouhý a ve střední části ca 25 km široký neoidní tektonický příkop vsv. směru, zčásti vyplněný terciárními až kvartérními sedimenty tektonicky oddělených pánví a produkty alkalické aktivity paleocenního až kvartérního stáří. Jeho hlavní součástí je tzv. podkrušnohorský prolom, zjz. ukončení tvoří neovulkanity a terciární sedimenty Smrčín v SRN, vsv. okraj představuje spodnomiocenní žitavská hnědouhelná pánev a neovulkanity v okolí Zhořelce v Polsku. Tektonická a magmatická aktivita se v oherském riftu generelně posouvá od SZ a JV, kde končí kvartérní sedimentací a vulkanismem.

Vznik riftových struktur je doprovázen vyklenutím oblasti, kterou příkopová struktura protíná. Reliktem této stavby oherského riftu je vyzvednutá sz. (krušnohorská) bočná kra, kde křídové platformní sedimenty jsou mírně nakloněny k SZ.

Oherský rift je vymezen dvěma okrajovými (hlavními) riftovými zlomy, krušnohorským na SZ a litoměřickým na JV. Podle gravimetrických projevů zapadají oba okrajové zlomy pod riftovou strukturu pod sklonem ca 65°. Středem riftu probíhá linie centrálního hlubinného zlomu.

Vulkanická aktivita oherského riftu proběhla na území Československa ve čtyřech fázích. Samostatnost jednotlivých fází je podložena geologickými fakty a potvrzena



2. Náčrt struktury oherského riftu (podle L. Kopeckého 1977)

1 – sedimenty terciérních pánví; 2 – terciérní alkalické vulkanity; 3 – svrchnokřídové platformní sedimenty; 4 – mladopaleozoické platformní sedimenty; 5 – hlavní riftové zlomy; 6 – terénní stupně; 7 – okraj pánví; 8 – odvozené subkrustální linie II. a III. neovulkanické fáze; 9 – alkalické trachyty (A) a fonolity (B); 10 – melilitické žedičové horniny a polzenity; 11 – hlavní vulkanická centra

radiometrickým měřením stáří hornin K-Ar-metodou. Podle geologických vztahů jsou oddělitelné pouze tři neovulkanické fáze: I. oligomiocenní ($35\text{--}17 \cdot 10^6$ let), II. pliocenní ($9\text{--}6 \cdot 10^6$ let) a kvartétní ($2,7\text{--}0,86 \cdot 10^6$ let). Produkty první fáze spočívají na nejstarších (eocenních) sedimentech příkopové struktury a jsou překryty spodnomiocenními sedimenty hnědouhelných pánví. Produkty druhé fáze pronikají spodnomiocenními sedimenty hnědouhelné pánve. Produkty třetí fáze prostupují sedimenty pánve a blíže neurčenou kvartétní říční terasou. Na základě radiometrického datování je nutno vydělit iniciální (paleocenní) neovulkanickou fází ($60\text{--}65 \cdot 10^6$ let), k níž náleží především melilitické vyvřeliny, jež jsou geneticky vázány na okrajové riftové zlomy. Nejstarší a rovněž nejmladší magmatity oherského riftu jsou nejbazičtější (melilitické horniny), salické typy vykazují střední stáří (trachyty, fonolity). Podle chemismu se řadí všechny vyvřeliny k alkalickým horninám. Oligomiocenní (hlavní) vulkanická fáze počíná olivinickými žediči v oblasti podruhoorského prolomu v západních Čechách a v Českém středohoří. Hlavní rozvoj vulkanické činnosti spadá do miocénu, kdy vznikla převážná část Českého středohoří a Doupovských hor i ostatních osamocených výlevů. Je to vedle hornin obsahujících pouze feldspatoidy (hlavně leucitity) bohatá série

tefritických hornin a bazanity, horniny přechodné k fonolitům (často s hauynem), fonolity, trachyty i horniny odpovídající andezitům s alkalickým pyroxenem a amfibolem. Nejbazičtějši formy (melilitické olivinické nefelinity, olivinické melilitity a polzenity) jsou vázány na blízkost hluboko sahajících dislokací. Po hlavní vulkanické fázi se tvořily spodnomiocenní sedimenty (s hnědouhelnými slojemi), do kterých na z. okraji Českého středohoří intrudovaly svrchnomiocenní bazanity, olivinické čediče a olivinické nefelinity. Nejmladší – pliocenní až pleistocenní – vulkanická fáze je jednak soustředěna do západních Čech, kde je velmi slabá a produkuje ultrabazické olivinické melilitity a nefelinity s hojným hauynem, jednak v mohutnější formě produkuje naopak lávy relativně velmi kyselé – olivinické čediče, vzácně olivinické nefelinity.

Ve studovaném území se setkáváme s vulkanickou činností stratovulkánu Doupovských hor a se středovským vulkanismem, který představuje propojení doupovského vulkanismu s vulkanismem Českého středohoří pod miocenními sedimenty.

Vulkanické horniny nasedají na bazální terciární souvrství nebo přímo na horniny krystalinika (na S), případně permokarbonu (na J). Vulkanická činnost započala koncem oligocénu mohutnými erupcemi podél celého středovského zlomu na tektonických liniích krušnohorského směru za vzniku obrovských množství pyroklastik, transportovaných v první fázi vulkanické činnosti v peneplenizovaném terénu nejspíše větrem. V mělkém vodním prostředí došlo nejprve k mísení tufů se sedimenty bazálního terciárního souvrství, postupně se uplatnily v profilu již samotné tufy, případně jemně přeplavené tufity. Pozdně paleogenní peneplení byl v průběhu vulkanické činnosti narušen postupným vyklenutím centrální části krušnohorsko-oherské tektonicko-vulkanické zóny a vývojem miocenní podkrušnohorské deprese.

Pokračující vulkanickou činností se v souvislosti s činností tektonickou postupně vytvořil stratovulkán Doupovských hor. Středovský vulkanismus naproti tomu se v důsledku vzniku pánevní deprese podél středovského zlomu ponořil do značných hloubek a na dnešním povrchu nakonec zůstaly jen jeho zbytky ve formě středovského sedla. Další činností doupovského stratovulkánu se vytvořily příkrovy, většinou diskordantně uložené na dřívějších vulkanických horninách nebo počátečních pánevních sedimentech. Po přerušení vulkanické činnosti ve středním a svrchním miocénu došlo k prohlubování podkrušnohorských depresí a k jejich vyplnění jílovými sedimenty a ke vzniku uhelných slojí. Koncem miocénu a počátkem pliocénu se znovu oživil vulkanismus, který zasáhl oblast Doupovských hor jen ojedinělými projevy (výlevy trachytů a fonolitů).

Ve studovaném území se výrazně projevuje především tektonika krušnohorského směru (zlomová saxonská tektonika, poruchy směru SJZ–VSV) a tektonika sudetského směru (poruchy SZ–JV). Nejvýraznější je linie středovského zlomu. Po ní se patrně vytvářel již dříve okraj permokarbonské pánve, neboť blízkým vrtem u Maštova j. od středovského zlomu byly zastíženy permokarbonské sedimenty o mocnosti kolem 800 metrů, zatímco s. od středovského zlomu byly zastíženy jen horniny připomínající reliktly permokarbonu. V jižní části území je z dřívějšího geologického mapování i z průzkumu ložisek kaolínu uváděna řada tektonických linií krušnohorského směru, paralelně probíhajících s linií litoměřického zlomu. Z příčné tektoniky sudetského směru je nejvýraznější linie Poláky–Libědice, nazvaná autorem „libědický zlom“, která poměrně ostře vymezuje z. hranici výskytu křídových sedimentů v podloží terciárních sedimentů a vulkanitů.

Vulkanity Doupovských hor vytvářejí okrouhlou uzavřenou oblast okolo Doupova v průměru asi 25–30 km. Vybíhají k v. hřbetu vjv. od Kadaně, na JV zasahují výběžky vulkanitů k Podbořanům. KOPECKÝ et al. (1963) definují Doupovské hory jako strato-vulkán, jenž tvoří okrouhlé, mírně k centru se zvedající pohoří, rozryté radiálními údolními potoky. Výškový rozdíl okrajových vrcholů oproti centrální části deprese je 200–400 m.

Hlavní přívodní kanál vyplněný essexitem je v centru pohoří. Přívodní dráhy jsou vázány na linie krušnohorského směru. Nejprve vyvěly bazické a ultrabazické lávy (leucitity, olivinické leucitity), pak lávy s obsahem foidů a s plagioklasem (tefritické typy) a nakonec čistý čedič bez olivínu a ojedinělé olivinické čediče. Diferenciace magmatu pokračovala přes tefritické formy opět k bazickým členům. Ke konci sopečné činnosti pronikly stratovulkánem, zvláště jeho periferní částí, převážně k centru vulkánu radiálně orientovanými trhlinami diferencované lávy, poněkud nefelinity a leucitity a jejich olivinické variety.

Stratovulkán Doupovských hor tvoří více pyroklastika než lávy. Na bázi celého stratovulkánu na jeho okrajích vystupuje 50–100 m mocná poloha pyroklastik, která v podloží pětipeské pánve ještě dále nabývá na mocnosti. Pod pojem pyroklastika zahrnujeme jednak sladkovodní, zčásti smíšené sedimenty – tufity, jednak suchozemské tufy a aglomeráty různých typů. Bazální pyroklastika lze podle obsahu volných krystalů členit na spodní biotitické a svrchní augiticko-olivinické tufy a fufity s přechodní polohou, obsahující jak biotit, tak augit. Jejich složení a vývoji byla věnována zvláštní pozornost, neboť představují matečnou horninu bentonitových ložisek.

Ve vývoji bazálních pyroklastik lze pozorovat ve studovaném území některé zákonitosti. Mocnost biotitických tufů z. od linie Nepomyšl–Maštov je poměrně malá (ca 20 m), místy zcela chybějí, naproti tomu v. od této linie jejich mocnost generálně narůstá, zejména pak v podloží pětipeské pánve, kde jsou velké akumulace pyroklastik zřejmě spojeny se středovským vulkanismem. V jižní části území, kde se vulkanická tělesa s vlastními přívodními kanály objevují jen sporadicky, mají bazální pyroklastika velké plošné rozšíření, jež zpravidla souvisí s tektonickou stavbou území. V jejich vertikálním vývoji můžeme pozorovat nejprve bazální tufity, představující splachy tufů s kaolinizovaným profilem, a dále několik poloh tufů ukončených jemně přeplavenými tufity v různém stupni bentonitizace. Přebývá barva šedozeleň, žlutozeleň, mramorování, ale též fialové a červené zbarvení, svědčící o intenzivních pochodech bentonitizace ve vyšších polohách a uvolnění sloučenin železa. V severní části území mají bazální pyroklastika odlišný vývoj oproti j. části. Protože zde probíhala podél středovského zlomu hned zpočátku intenzivní vulkanická tektonická činnost na liniích krušnohorského směru s vlastními přívodními kanály, mají hlavní akumulace bazálních pyroklastik charakter strmě zaklesnutých deskovitých těles stejně orientovaných (tj. krušnohorským směrem), přičemž jejich nepravá mocnost může být značná a může přesahovat i 100 m. Také jejich petrografický charakter je zřejmě mnohem proměnlivější a navíc z pohledu horizontálního vývoje značně rozdílný. Tyto akumulace bazálních pyroklastik jsou diskordantně překryty pozdějšími lávovými příkrovy stratovulkánu. Bentonitizaci i zde mohl ovlivnit paleoreliéf před začátkem vulkanické činnosti, mnohem více

ji však mohla ovlivnit tektonika a výlevy vulkanitů, jež mohly vytvořit zcela nové vodní bazény, v nichž byly příznivé podmínky k přeměně vulkanického materiálu na bentonit.

Ve střední části území můžeme očekávat vývoj bazálního pyroklastického souvrství velmi rozdílný. Dříve ověřovaná ložiska bentonitu (Račetice, Podlesice) jsou vázána převážně na svrchní část pyroklastik, respektive na pyroklastika vyšších příkrovů, zatímco biotitické tufy a tufity jsou zde situovány hlouběji. S ohledem na pokračující diferenciaci jsou pyroklastika vyšších příkrovů relativně kyselějšího charakteru a jako matečná hornina pro bentonit méně vhodná. V jílovém podílu se vedle montmorillonitu uplatňují i další jílové minerály, čímž lze vysvětlit i neúspěšné výsledky s úpravou této suroviny. O stavbě střední části území máme málo dokladů. Naprostá většina vrtů zde skončila v povrchové části vulkanických hornin, do podloží prošly jen vrty v j. části území, zaměřené na průzkum kaolínu.

Střezovský vulkanismus

Střezovský vulkanismus je vázán na pásmo hlubinného střezovského zlomu a tektonické linie, sledující jeho směr po obou stranách zlomu. Na povrch dnešního terénu vystupují vulkanity v oblasti střezovského sedla, největší akumulace vulkanitů jsou v s. části pětipeské pánve v podloží jejich sedimentů. Rozsah vulkanismu je zde vymezen z interpretace magnetického měření (FRANČE 1980). Podle toho jej můžeme rozdělit na části v. a z., oddělené od sebe linií příčného „libědického zlomu“. Podle toho, že v z. části jsou vulkanity střezovského vulkanismu překryty lávovými proudy doupovského stratovulkánu, usuzujeme, že střezovský vulkanismus představuje starší vulkanickou fázi, od níž můžeme odvodit genezi obrovských kvant zjílovělých bazálních pyroklastik jv. odtud, převážně již v podloží pětipeské pánve. Z vrtné dokumentace Severočeských hnědouhelných dolů lze usuzovat, že největší akumulace těchto hornin jsou v prostoru j. od Blova, odkud dále pokračují v podloží pánevních sedimentů k Podbořanům, kde vystupují na povrch. Bazální pyroklastika tak vytvářejí široký pruh, od linie zhruba Nepomyšl–Klášteřec nad Ohří na V, přibližně až k „libědickému zlomu“, široký asi 15 km, probíhající kolmo na střezovský zlom od Kadaně k Podbořanům, ca 20 km dlouhý. Západní část tohoto pruhu je překryta příkrovy Doupovských hor, v. část je ponořena do značných hloubek pod sedimenty pánve.

Tektonická stavba studovaného území v. části Doupovských hor vytváří dvě samostatné ložiskové oblasti: v s. části poblíž Kadaně oblast označovanou jako Kadaňsko, v j. části oblast označovanou jako Podbořansko.

Geologické a ložiskové poměry na Kadaňsku

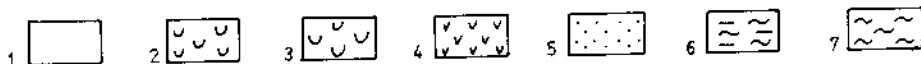
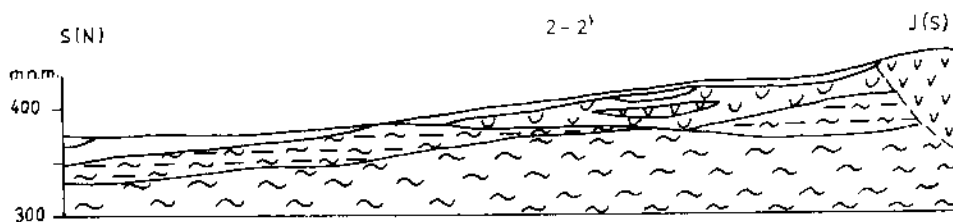
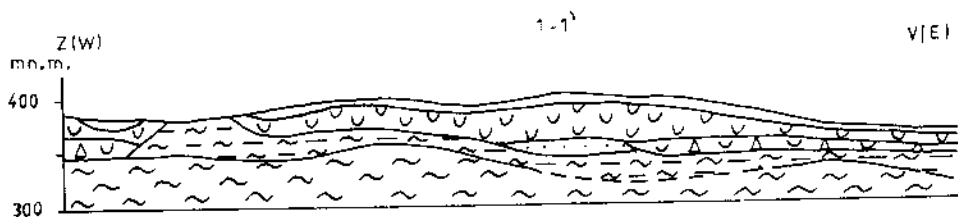
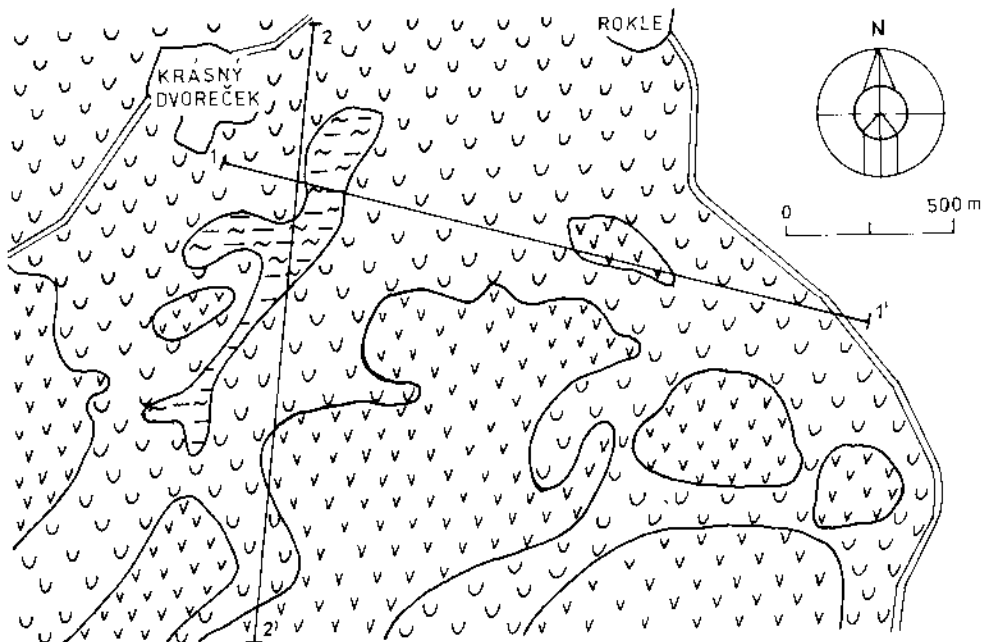
Celá širší oblast bentonitů na Kadaňsku náleží regionálně k periferní oblasti doupovského stratovulkánu. Nejstarší jsou zde krystalinické ortoruly oherského typu. Celý rulový komplex podlehl na svém povrchu předterciární kaolinitizaci. Ruly vycházejí na povrch na mnoha místech, zejména v údolí Ohře. Počátek terciární sedimentace je reprezentován kaolínovými písiky, pískovci a křemenci, jež jsou obdobou bazálního souvrství

terciéru na Podbořansku. V území s. od střešovského zlomu je na bázi vulkanogenního terciárního souvrství vyvinuta několik desítek metrů (až 110 m) mocná poloha jemnozrných pyroklastik. Na spodu mají pyroklastika několikametrovou polohu smíšených sedimentů (tufitických písčitých jíílů), výše přecházejí do biotitických tufů o značné mocnosti (30 až 90 metrů) s vložkami sladkovodních vápenců s měkkyší faunou a zuhelnatělými úlomky dřev. Ve svrchní části pyroklastik je pak poloha pyroxenických a olivinicko-pyroxenických tufů o mocnosti 10–15 m, s přechody k tufovým aglomerátům. V nadloží pyroklastik leží zpravidla méně mocné efúze masivních vyvřelin, střídající se s polohami tufových aglomerátů, v terénech ložiskově příznivých tyto chybějí. V příkrovech se biotitické tufy objevují jen vzácně v menších mocnostech. Jižně od střešovského zlomu mají vulkanity podstatně vyšší mocnost (kolem 300 m) a střídají se zde pyroklastika a lávové příkrovy v různém stupni bentonitizace.

V celé širší oblasti doupovského stratovulkánu se vedle vulkanitů, náležejících přímo ke komplexu centrálního stratovulkánu, vyskytují i samostatná eruptivní tělesa, vázaná zpravidla na význačné tektonické linie. Základním tektonickým fenoménem je centrální hlubinný zlom oherského riftu, v jehož linii se vytvořila i přírodní dráha doupovského stratovulkánu. Projevem tohoto hlubinného zlomu je střešovský zlom směru ZJZ–VSV. Popsaný zjednodušený stratigrafický sled je ovšem v detailu narušován řadou odlišností. Jsou to především vulkanogenní konglomeráty, zjřlovělé jen částečně, vyplňující část polohy pyroklastik, u nichž ČERNÁ et al. (1982) předpokládají, že sem byly přemístěny mohutnými sesuvy, anebo jde o ronové sedimenty, které byly najednou v obrovské kubatuře přemístěny ze svahů vulkánu na jeho úpatí. Jinde se v bazálních pyroklastikách objevují zcela zjřlovělé vyvřeliny. Zpravidla je také obtížné určit, zda jde o tufit nebo tuf.

Geologické poměry ložisek bentonitu na Kadaňsku lze nejlépe demonstrovat na ložisku Rokle (ČERNÁ et al. 1982). Na vlastním území ložiska (obr. 3) jsou skalním podkladem jemnozrné ruly oherského krystalinika. Na svém povrchu jsou místy silně kaolinitizované, a to do hloubky až 35 metrů. Přechod z pevné ruly do primárního kaolínu bývá plynulý. Kaolín byl v depresích erodován, větší mocnosti kaolínu se zachovaly na svazích a elevacích předterciárního povrchu krystalinika. Výrazný hřbet s velkou mocností kaolínu je u obce Krásný Dvoreček. Bazální terciární sedimenty jsou reprezentovány sekundárním kaolínem, kaolinitickým pískem a v ojedinělých případech pískovcem, případně kaolinitizovaným deluviem ruly (kaolinitizované suti). Souvrství bazálních pyroklastik, které je hlavní matečnou horninou bentonitů, je v detailním pohledu velice variabilní a ovlivňuje kvalitativní skladbu bentonitů. Makroskopický vzhled horniny ve vrtech není jednotný. Vyskytují se všechny odstíny a kombinace šedé, zelené, hnědé, rudé, modré, fialové a žluté barvy. Ačkoliv podle petrologického určení jde téměř vždy o tufity, ve vrtných jádrech zřetelné znaky tufitů většinou zcela chybějí. Ve spodních partiích se nepravidelně vyskytují drobnější polohy uhelných jíílů či tufogenních vápenců. Ojediněle se vyskytují v pyroklastikách i zcela tvrdé čedičové horniny, patrně čedičové pumy, jež se při explozi dostaly do tufitu.

Bentonitizovaná pyroklastika z Kadaňska jsou na rozdíl od klasických bentonitů z Mostecká (Braňany, Černý vrch) vzhledově značně odlišná, a to zejména pro značnou variabilitu v pevnosti horniny. Hornina, ač jsou všechny její součásti zcela zjřlovělé – montmorillonitizované, je dosti pevná, těžko rýpatelná a někdy by ani neměla být považována za bentonit. Vyšší pevnosti zdejšího bentonitu jsou způsobeny diagene-



3. Schéma geologické stavby ložiska bentonitu Rokle na Kadaňsku

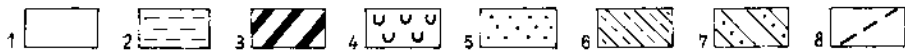
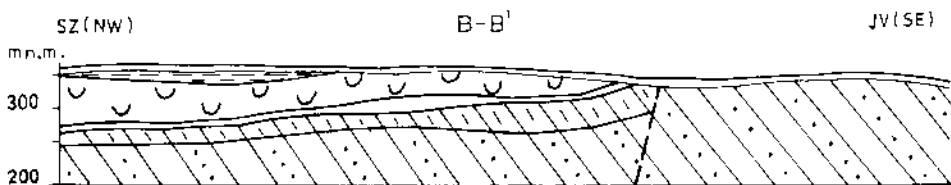
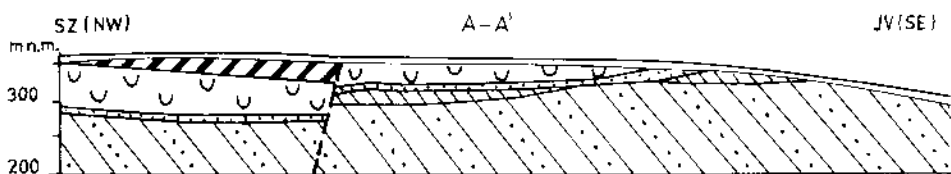
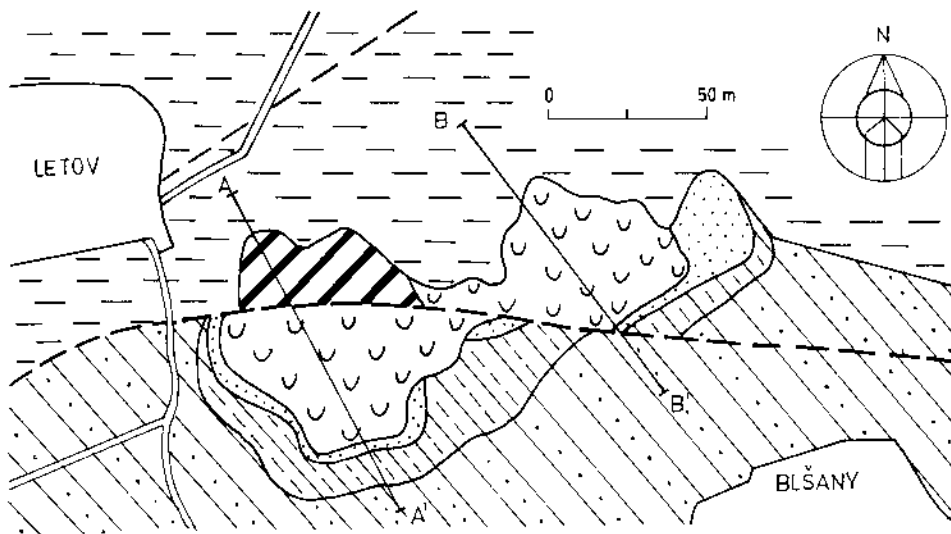
1 – kvartérní pokryvy; 2 – bentonit; 3 – bentonitizované neovulkanity a konglomeráty; 4 – zbytky čedičového příkrovu; 5 – bazální terciérní sedimenty (kaolínové písky); 6 – kaolín, kaolinitizovaná rula; 7 – rula

tickými pochody nebo sekundárním zpevněním karbonátem z vyšších poloh. Vedle barvy, textury a pevnosti bentonitizovaných pyroklastik je významná i přítomnost akcesorických minerálů. Jemné lupínky biotitu indikují bazální biotitická pyroklastika, na něž se váže výskyt kvalitních bentonitů. Petrografický výzkum charakterizuje horninové typy v ložisku Rokle jako biotitové tufy a tufity, tufitické jílovce a augiticko-biotitové tufy v různém stupni zjilování. Hlavním zjištěným jílovým minerálem bentonitů je montmorillonit, podružně je přítomen kaolinit a chlorit. V klastickém podílu je ve větším množství křemen, biotit, živec, nezvětralé zbytky vulkanických hornin a úlomky krystalických hornin. Akcesorický je kalcit, dolomit a siderit. Polohy bentonitů jsou po nepravidelných trhlinkách prostoupeny hydroxidy železa. Porovnání petrografických zjištění s technologickým hodnocením naznačuje, že matečným materiálem lepších druhů bentonitů jsou biotitické tufy a tufity, zbarvené po zjilování zelenošedě, zeleně nebo šedo zeleně. Přibývání hnědých odstínů signalizuje určité zhoršení jakosti bentonitu, stejně jako přítomnost prouhelných zbytků rostlin. Rezavé nebo rudé skvrny při bázi bentonitizovaných tufů často signalizují přítomnost lepších druhů bentonitu. Klastický podíl bentonitů ze zdejší oblasti zjištěný síťovým rozbořem za mokra není jednoznačným ukazatelem jakosti. Pro ložisko Rokle je charakteristický vysoký podíl bentonitů vhodných pro aktivaci sodou na natrifikované typy Sabenil, požadované slévárenským průmyslem.

Geologické a ložiskové poměry na Podbořansku

Tektonickými pohyby se zhruba na dnešní linii střežovského zlomu snížila relativní úroveň krystalinika v j. části oblasti v průběhu permokarbonu o 800 až 1 000 m (strukturní vrty u Maštova a Zlovědic) oproti s. části, což bylo doprovázeno sedimentací permokarbonských uloženin.

Pro Podbořansko a okolí je charakteristický výskyt permokarbonských uloženin v hlubším podloží vulkanické série. Sedimentační prostor permokarbonu má tvar pánvovité deprese, kterou vyplňují rudohnědé, případně šedé arkóзовé pískovce a arkózy, v menší míře též slepence nebo šedé jílovce. Celková mocnost permokarbonských sedimentů v podbořanské oblasti je kolem 800 až 1 000 m. Ve svrchní části permokarbonu je facie šedobílých podbořanských arkóзовých pískovců různě kaolinitizována. Pískovce jsou středně zrnité, přecházejí plynule do rudohnědých pískovců nebo vytvářejí nejprve zónu střídání obou hornin. Křída zasahuje u Liběšovic svými nejzápadnějšími výběžky v tzv. měcholupském příkopu sladkovodním cenomanem v pískovcové facii, výše též glaukonitickými pískovci spodního turonu. Bázi terciéru tvoří krásnodvorské souvrství. Jsou to málo mocné nesoudržné křemenné písky, poloha pískovců až křemenců, eventuálně i bazální slepencová poloha. Následují vulkanoklastické uloženiny. Počátek vulkanické činnosti spadá do spodního až středního oligocénu. Ve vývoji pyroklastické série lze podle KOPECKÉHO (1967) rozlišit spodní biotitické a svrchní augiticko-olivinitické tufy a tufity. V bazálních pyroklastikách bývají vyvinuty bentonitizované tufity. Uvnitř augiticko-biotitických tufů a tufitů došlo k prvním výlevům leucitu. Další efuziva mají charakter tefritů, bazanitů, augititů, čedičů apod. Na svrchní hranici vulkanogenního souvrství navazuje souvrství podložních jíílů a miocenní uhlo-nosné souvrství pětipesko-žatecké pánve. Kvartér představují písčité a sprašové hlíny.



4. Schéma geologické stavby ložiska bentonitu Blšany-Letov na Podbořansku

1 - kvartérní pokryv; 2 - jílovitopískité sedimenty pětipesko-žatecké pánve; 3 - uhlí, uhelné jíly pětipesko-žatecké pánve; 4 - bentonit; 5 - kaolinitické jíly, písky a pískovce bazálního terciéru; 6 - kaolín, kaolinitizované podbořanské arkóзовé pískovce (permokarbon); 7 - rudohnědé arkóзовé pískovce (permokarbon); 8 - tektonická linie

Bentonity na Podbořansku se zpravidla vyskytují v nadloží kaolinitizovaných permokarbonských arkóz. Komplexní průzkum kaolínů a bentonitů byl proveden na ložisku

Blšany (KŘELINA et al. 1981, 1984) a Nepomyšl–Velká (RAUS 1984). Charakteristické úložní poměry jsou znázorněny na obr. 4.

Bazální vulkanogenní uloženiny v prostoru Blšany–Letov jsou charakterizovány jako zelenošedé, žlutookrové, nafialovělé psamitické až lapillové tufy, někdy slabě biotitické, nebo tufitické jíly v různém stupni bentonitizace. Přechod mezi bazálními kaolinitickými sedimenty a vulkanogenním souvrstvím představují tufitické jíly (zpravidla silně písčité) s kaolinitickou příměsí nebo střídáním vrstev kaolinitických písků s tufitickými jíly. V prostoru Blšany–Letov byla zjištěna maximální mocnost pyroklastické série ve vrtu BL-47 – 71,4 m, v širším území Podbořanska však dosahuje mocnosti i přes 100 m. Vývoj kvalitních aktivovatelných bentonitů je na rozdíl od Kadaňska vázán pouze na svrchní část spodní pyroklastické série, kde byly příznivé podmínky pro ukončení procesu bentonitizace. Polohy bentonitizovaných pyroklastik přecházejí do podloží miocenních sedimentů pětipesko-žatecké pánve, kde jsou zpravidla zachovány v celé původní mocnosti.

Bentonity, které vykazují příznivé technologické vlastnosti, mají v čerstvém stavu i po vysušení vždy zelené zbarvení. Lze vymezit dva základní typy: žlutozelený až zelenožlutý (označován jako žlutý), obvykle s biotitem, a šedo zelený (označován jako zelený), často s karbonátem a někdy se zřetelnou klastickou příměsí. Žlutý bentonit se v typickém vývoji vyskytuje ve svrchních částech profilů. Zelené bentonity naproti tomu představují uloženiny hlubší nebo málo větrané části jezerní facie, kde se ukládala pyroklastika a docházelo k procesu bentonitizace. Oba jakostní typy mají vysoký obsah montmorillonitu, velmi malou nebo žádnou příměs kaolinitu. Podle rentgenového výzkumu lze rozlišit u žlutého bentonitu montmorillonit s nižším stupněm uspořádání základních trojvrsteví, zatímco zelený bentonit má strukturálně středně až dobře uspořádaný montmorillonit. Žlutý bentonit je představitelem bentonitu se zcela ukončenou hydratací; je dobře aktivovatelný, s uvolněnými kationty Fe (typ A), zatímco u zeleného bentonitu není tento vývoj zcela ukončen (typ B) a aktivace může být v provozních podmínkách spojena s určitými obtížemi.

Vedle žlutých a zelených bentonitů se vyskytuje celá řada dalších barevných typů, zejména variety hnědé, zeleně šmouhované. Jsou celistvé, někdy až s lasturnatým lomem, po vysušení se rozpadají na ostrohranné střípky; v jejich mineralogickém složení se však již významně uplatňuje kaolinit (až do 50 %) a jsou tedy reprezentanty pokračující degradace svrchní části profilu zvětrávání (nastupující kaolinitické zvětrávání). Dalším typem jsou okrově zbarvené celistvé, prachovité, případně písčité sedimenty. Jde většinou o jílové nebo drobové sedimenty, v jejichž složení je v naprosté převaze zastoupen kaolinit a jako vedlejší goethit. Náleží již k uloženinám pětipesko-žatecké pánve. Barevně pestré typy bentonitů z nižších částí profilů jsou naproti tomu montmorillonitové nebo jen s malou příměsí hematitu.

Ověřená ložiska a ložiskové prognózy bentonitů

V severní části zkoumaného území na Kadaňsku bylo v r. 1984 vyhodnoceno v průmyslových kategoriích naše největší ložisko bentonitu *Rokle* (KRUTSKÝ et al. 1984). Ložisko má průměrnou mocnost 24 m, s největšími mocnostmi kolem 40 m. Z bilančních zásob bentonitu je ca 60 % aktivovatelných. Průměrná hodnota výměny

kationtů je 45–52 mekv/100 g. Bentonit je podle ČSN 721350 hodnocen pro slévárenské účely, podle informativních zkoušek je vhodný i pro stavební účely. V části podloží ložiska bentonitu jsou kaolíny vhodné pro papírenský průmysl. Bilanční zásoby bentonitu by bylo možno ještě rozšířit využitím čediče z nadloží k výrobě drceného kameniva. Ložisko je od r. 1983 v těžbě. Bentonit se upravuje v úpravárnách Severočeských keramických závodů v Kadani a Obrnicích.

Na ložisko Rokle územně navazují prognózní zásoby v prostoru *Blov-Vinaře* (příloha 1) vyhodnocené v kategorii D 1 a zčásti již převedené do kategorie C 2 (Krutský et al. 1985). Prognózy byly vymezeny na základě magnetometrického měření a ověřeny vrty. V jihozápadní části tohoto ložiskového území je ložisko *Vlkaň*, nalezené při komplexním průzkumu kaolínu (Míka et al. 1977). Jeho kvalita i mocnosti jsou variabilní. Výměna bází se pohybuje od 45 do 55 mekv/100 g, ojediněle však dosahuje až 65 mekv/100 g, mocnost od 14 do 54 m. Část bentonitu lze aktivovat na slévárenský bentonit typu Sabenil.

V jižní části studovaného území na Podbořansku je nejvýznamnějším ložiskem slévárenského bentonitu ložisko *Blšany*, objevené při komplexním průzkumu kaolínu v prostoru *Blšany-Letov* (KŘELINA et al. 1981). Zásoby bentonitu a kaolínu na tomto ložisku byly převedeny do průmyslových kategorií v letech 1982–1983 (KŘELINA et al. 1984), k těžbě ložiska však dosud nedošlo pro vysoké bonitní třídy zemědělské půdy nad ložiskem. Ložisko bentonitu má průměrnou mocnost 16 m, zcela převládají aktivovatelné typy bentonitů. Bentonit byl úspěšně vyzkoušen i pro stavební účely.

Na ložisko Blšany územně navazují rozsáhlé prognózní zásoby slévárenského bentonitu v prostoru *Podbořany* a *Letov-Liběšovice*. Další prognózní území jsou v prostoru *Krásný Dvůr-Vysoké Třebušice*, *Chrástany-Velká Ves*, *Němčany* a *Buškovice* (příloha 1). Tyto prognózy byly stanoveny na základě magnetometrického měření a zpřesněny podle výsledku vrtných prací. Zčásti byly již převedeny do kategorie C 2 (JÍCHA et al. 1989).

Rozsáhlé území ložiska zemědělského bentonitu *Vysoké Třebušice* bylo vyhodnoceno podle obecných kondic pro zemědělský bentonit (CÍLEK 1969). Slévárenský bentonit zde nebyl vyhodnocen pro vysoký obsah hrubozrných příměsí, i když vlastní jílová hmota je velmi kvalitní (80 % montmorillonitu). Ložisko bylo po určitou dobu těženo pro zemědělské účely, poloprovozní ověření pro zúrodňování půd úspěšně provedl Výzkumný ústav meliorací ve Zbraslavi (SHRBENÁ 1971). Průměrná mocnost ložiska je 28 m, skrývkové poměry jsou příznivé (v těžené části ca 2 m).

Malé ložisko bentonitu bylo nalezeno při komplexním průzkumu ložiska kaolínu *Nepomyšl-Velká* (RAUS 1984).

Ve střední části zkoumaného území v prostoru *Račetice-Podlesice* nebyly kvalitní slévárenské bentonity nalezeny. Dříve vyhodnocené bentonity jsou využitelné pro melioraci zemědělských půd (KAPITÁN 1968, MÍKA 1978).

Zákonitosti vzniku a vývoje ložisek bentonitu

Jak již bylo uvedeno v úvodu, byly nové výzkumné a průzkumné práce v oblasti v části Doupovských hor zaměřeny především na zpracování metodiky samostatného vyhle-

dávání ložisek bentonitu, neboť až dosud byla ložiska bentonitu nalézána jen jako doprovodná surovina při průzkumu uhelných pánví nebo ložisek kaolínu. To vyžadovalo shrnout a revidovat dosavadní názory na vznik bentonitu a aplikovat je na podmínky zkoumaného území. Zvláštní pozornost byla věnována vysvětlení kvalitativního vývoje ložisek, zejména pak zákonitostí vzniku a výskytu aktivovatelných typů bentonitu. Závěry ke zdůvodnění vzniku a výskytu nejjakostnějších typů slévarenských typů bentonitu vedou k vymezení dvou vývojových fází v průběhu zvětrávacího procesu.

Obecné podmínky pro vznik bentonitu

Ložiska bentonitu jsou produktem procesu zvětrávání. Tento soubor fyzikálních a chemických procesů způsobujících kvalitativní přeměnu výchozích materiálů za vzniku nových hornin a minerálů definovali JACKSON a SHERMAN (1953) jako změny v konsolidaci a složení, odehrávající se v zemské kůře v dosahu atmosférických a hydrosférických procesů. Fyzikální a chemická stránka zvětrávání se navzájem prolínají. Jejich hnací silou je princip chemické rovnováhy. Chemická rovnováha matečných hornin a minerálů vzniklých převážně za vysokých tlaků a teplot ve velkých hloubkách se po jejich vyzdvihnutí naruší; následkem změny tlaku, teploty a působením atmosférických faktorů nastává proces dispergace a chemické přeměny. Nejdůležitějšími činiteli v procesu zvětrávání jsou vlastnosti reagujících složek, tj. pevné fáze ve formě primární horniny (resp. minerálu) a roztoku působícího na pevnou fázi. Činiteli, které tento proces více nebo méně modifikují, jsou voda, kyslík, oxid uhličitý, kyseliny, organismy, kolísání teploty, biologická aktivita, oxidačně redukční potenciál prostředí a měrný povrch zvětrávajícího minerálu.

Oxidace je podmíněna vysokým kyslíkovým potenciálem při povrchu zemské kůry, který s přibývajícím hloubkou rychle klesá. Horninotvorné minerály primárních hornin, vzniklé v hlubinných částech zemské kůry, jsou na kyslík deficitní nebo jej obsahují v nízkovalemtních vazbách. Proto jsou vlivem okysličovadel ve zvětralinovém plášti nestabilní a přeměňují se ve vysokovalemtní sloučeniny kyslíku. Neaktivnějším okysličovadlem je atmosférický kyslík nebo kyslík rozpuštěný ve vodě. Oxidačních reakcí se zúčastní též voda, oxid uhličitý, sloučeniny řady prvků vyšší formy oxidace, minerální kyseliny. Během oxidace minerály primárních hornin, reprezentované bezkyslíkatými nebo nízkovalemtními kyslíkatými sloučeninami, přecházejí do kyslíkatých forem, jež jsou v přìpovrchových podmínkách stálejší. Část meziproductů a konečných productů oxidačních reakcí je rozpustná a vyluhuje se. Druhá část těchto productů je naopak těžce rozpustná a hromadí se ve formě rezidua.

Hydratace vede k tvorbě adsorpčních minerálních systémů, které svým povrchem vážou vodu a udržují si ji v určitém proměnném množství, daném velikostí povrchu a tenzí vodních par v okolním prostředí. Voda přitom může vstupovat do mřížky minerálu (hydroxylová voda), do dutin krystalové mřížky (zeolitová voda), tvořit pevný roztok (krystalová voda) nebo může být sorbována minerálem (adsorbovaná voda). Procesy hydratace v mnohém určují, jak se bude ve zvětralinovém plášti chovat hliník, železo, mangan.

Hydrolýza je spjata s výměnnými reakcemi mezi zásadami minerálů primárních hornin a vodíkovými ionty elektrolyticky disociované vody. Intenzita tohoto procesu je závislá na koncentraci vodíkových iontů (pH) (obr. 5), přítomnosti oxidu uhličitého, minerálních kyselin a na teplotě vody. Při hydrolýze se rozruší silikáty a na jejich místě se hromadí jílové minerály, z uvolněných kationtů se tvoří oxidy a hydroxidy Al, Si, Fe, Mn, které za určitých podmínek přecházejí do roztoku a jsou vylouženy, kdežto za jiných se srážejí v podobě stabilních oxidů, hydroxidů, zásaditých a kyselých solí.

Minerální přeměny ve zvětralinovém pláští, spojené s oxidací, hydratací a hydrolýzou, probíhají jak bez porušení krystalické mřížky, tak s její přestavbou. Mřížka je zpravidla zachována při hydrataci, kdy určité ionty minerálů mohou být nahrazovány jinými, nebo částice hmoty se mohou lokalizovat mezi jednotlivými skupinami elementárních buněk. Mřížka je však zpravidla rozrušena při hydrolýze a místo ní vzniká nová krystalická konstrukce.

Stadiovost je důležitou zvláštností geochemických přeměn ve zvětralinovém pláští. Zvětrávání v počátečním stadiu probíhá v alkalickém prostředí, v němž jsou z hornin vynášeny lehce rozpustné soli: sírany a chloridy draslíku, sodíku, vápníku a hořečku, uhličitany alkalických a alkalicko-zemitých kovů a rovněž oxid křemičitý. Současně dochází k hydrolýze silikátů a alumosilikátů. Hromadí se hliník, železo a mangan. V pozdějším stadiu začíná kyselé zvětrávání příznačné redistribucí a výnosem hydroxidů Al, Fe a Mn. Tento proces vede k postupné přeměně původních minerálů přes řadu přechodných sloučenin až ke konečným produktům rozpadu. Trvanlivost přechodných minerálů může být velmi dlouhá i zanedbatelně krátká v závislosti na jejich stabilitě při dané hodnotě pH prostředí.

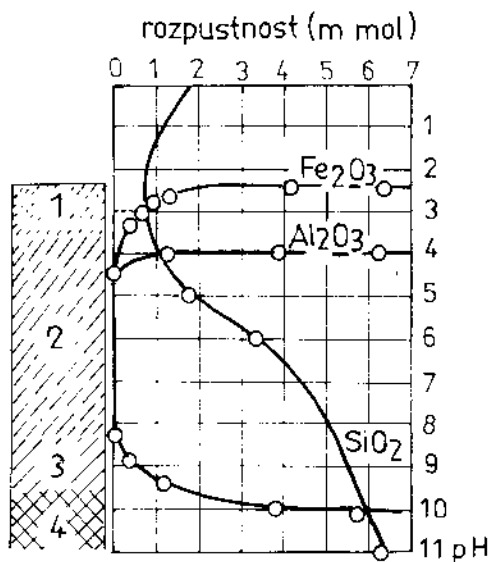
Rychlost rozkladu horninových minerálů na zvětralinovém pláští je různá. Bazické a hořečnaté silikáty se rozkládají rychleji než kyselé a železité. Nejdůležitější horninotvorné minerály sestavené podle zvyšování jejich odolnosti vůči zvětrávání:

olivín	plagioklas vápenatý
hypersten	plagioklas sodnovápenatý
augit	plagioklas vápenatosodný
amfibol	plagioklas sodný
biotit	draselný živec
	muskovit
	křemen

Migrace prvků. V průběhu zvětrávání mohou být různé meziprodukty i konečné produkty rozkladu rozpouštěny a vynášeny přívodními vodami. K jejich migraci dochází v podobě suspenzí, koloidních i pravých roztoků. V koloidních roztocích může ze zvětralinového pláště migrovat oxid křemičitý, oxid hlinitý, sloučeniny železa, manganu a dalších kovů. Iontovými roztoky může být přenášena ještě širší škála prvků, a to zejména v raném vývoji tvorby zvětralinového pláště, zejména při oxidaci sulfidů a chloridů a jiných aktivních rozpouštědel, nacházejících se v primárních horninách. V důsledku migrace může být zvětralinový plášť v některé části svého profilu o určité prvky ochuzován, v jiné části naopak obohacován. Vývoj zvětralinového pláště je značně ovlivněn chováním jednotlivých prvků a jejich sloučenin v prostředí o různé

5. Srovnání rozpustnosti oxidu železitého, křemičitého a hlinitého v závislosti na pH roztoku (podle V. I. Smirnova 1983)

Zóny zvětralinového pláště: 1 – zbytková; 2 – neúplného zvětrání; 3 – polorozložených primárních hornin; 4 – primární horniny



hodnotě pH. Jsou to zejména hliník, křemík, železo, mangan, alkalické zeminy a alkalické prvky. Z uvedených prvků se v reziduálním zvětralinovém plášti hromadí převážně sloučeniny hliníku, dále železa a manganu, částečně křemíku; v přemístěných produktech se koncentrují sloučeniny křemíku, vápníku a hořčíku, částečně železa a manganu; nejsnadněji jsou ze zvětralinového pláště vynášeny alkálie, poměrně snadno prvky alkalických zemín, obtížněji, avšak přece jen za určitých podmínek mohou být vyloučeny sloučeniny křemíku.

Zvětralinový plášť. V důsledku rozkladu minerální hmoty primárních hornin a rozdílné migrace prvků vznikají zvětralinové pláště různého složení nebo různého zvětrávacího profilu s adekvátními ložisky nerostných surovin. Pro zvětralinové pláště různého profilu je typická zonální změna nerostného a chemického složení ve vertikálním směru od primárních, slabě přeměněných hornin k horninám vycházejícím na zemský povrch a obnaženým.

Profil zvětralinového pláště se obvykle definuje stupněm rozložení horninotvorných silikátů, který je dán intenzitou vyloužení oxidu křemičitého, projevující se poměrem křemíku a hliníku v nerostné hmotě zvětralinového pláště. Rozlišuje se:

1. typ tzv. hlinitého (nasyčeného sialického) zvětrávání: nasycený sialický neboli hydroslídový profil je příznačný přeměnou primárních silikátů, hlavně hydratací a hydrolyzou bez podstatné migrace oxidu křemičitého. Typomorfní minerály tohoto profilu jsou hydroslídy a hydrochlority, zčásti také beidellit, montmorillonit;
2. typ tzv. kaolinického (nenasyčeného sialického) zvětrávání: nenasyčený sialický neboli jílový profil se vyznačuje určitým deficitem oxidu křemičitého, který byl ze zvětralinového pláště do jisté míry odnesen. Typomorfní minerály jsou kaolinit, halloysit, nontronit, křemen;
3. typ tzv. lateritického (alického) zvětrávání: alický neboli lateritický profil je charakterizován úplným nebo téměř úplným rozrušením vazeb mezi hliníkem a křemí-

kem a intenzivním odnosem křemíku ze zvětralinového pláště. Typomorfní minerály jsou reprezentovány hydroxidy hliníku (gibbsit), popř. i oxidy a hydroxidy železa a částečně metahalloysitem.

Ložiska bentonitu jsou součástí hlinitého (nasyčeného sialického) zvětrávacího profilu.

Podle této hypotézy jsou hydrosílový a jílový typ chápány jako postupné mezikategorie ve zrání zvětralinového pláště, vyvinuté v rozmezí lateritického profilu. Vývoj pláště v závislosti na klimatických podmínkách se může zastavit v mezistadiích, proto jsou v přírodě známy všechny typy zvětrávacích profilů.

Základní skupiny bentonitu podle stupně hydratace

Podle stupně hydratace lze rozlišit dvě základní skupiny bentonitu:

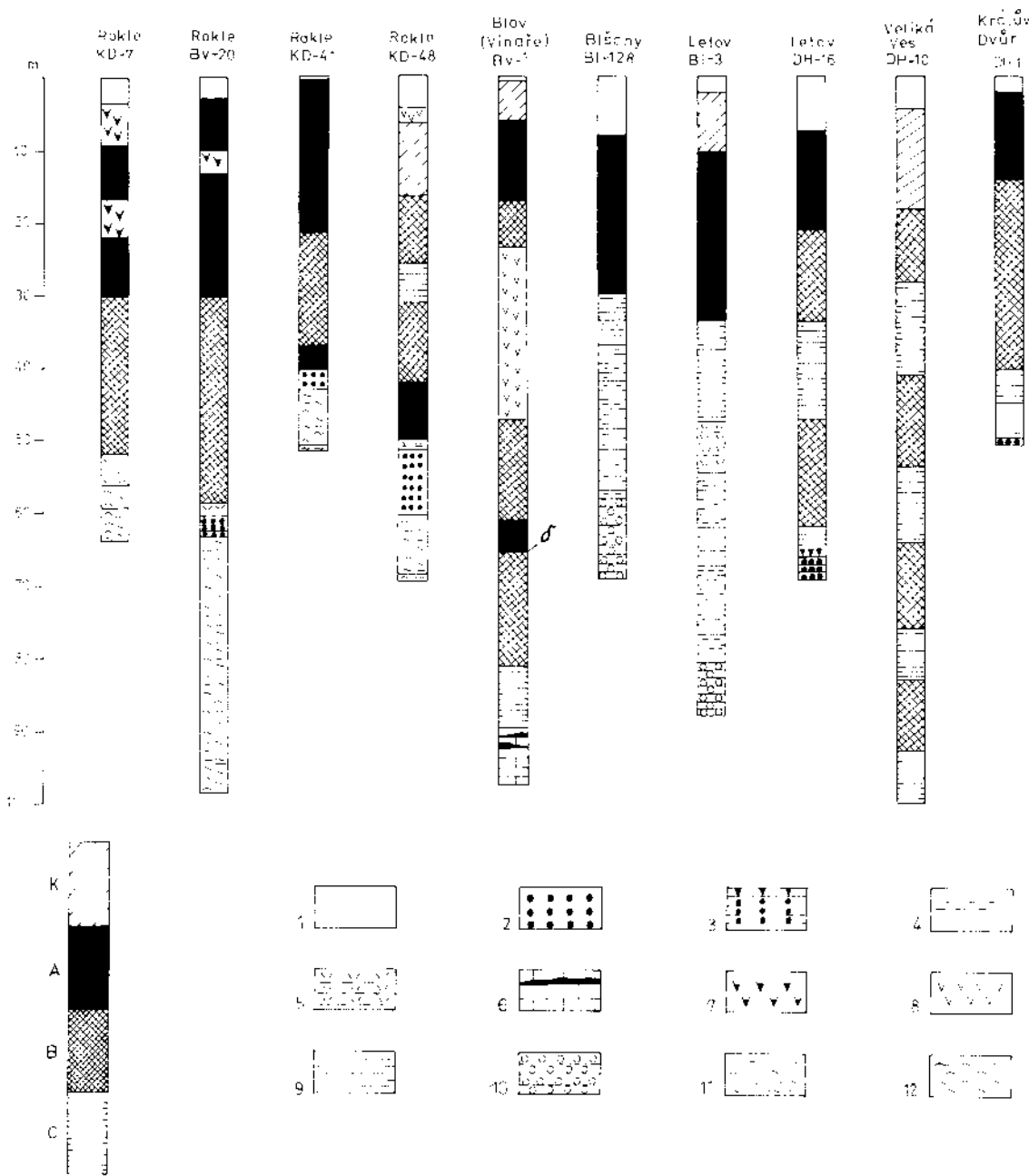
- a) ukončená hydratace, charakterizovaná přítomností montmorillonitu a hydrátů Fe,
- b) neukončená hydratace, charakterizovaná přítomností montmorillonitu, převážná část Fe však zůstává ve formě silikátů nebo oxidů.

Z charakteristiky profilů zvětrávání (obr. 6) sestavených autorem lze odvodit i zřetelný vztah ukončené či neukončené hydratace ke schopnosti aktivace bentonitů, tj. snadnosti či obtížnosti přeměny jejich kationtového obsazení na formu Na. Bentonity s ukončenou hydratací lze dobře aktivovat na formu Na, zatímco bentonity s neukončenou hydratací se aktivují obtížně.

V ložiskovém profilu se tyto procesy projevují vznikem charakteristických pásem, jež vyjadřují stupeň rozkladu původních nerostů, odstranění uvolněných složek z fázového rozhraní a přestavbu zbytku původní horniny:

- A – pásmo dokonale bentonitizovaných hornin, kde proběhl v celém rozsahu proces rozkladu minerálů s kationty první i druhé skupiny (GOLDSCHMIDT 1937) a došlo k odnosu uvolněných složek z fázového rozhraní (úplná hydratace);
- B – pásmo nedokonale rozložených hornin, kde došlo k dokonalému rozkladu jen minerálů s kationty první skupiny a jen k částečnému rozkladu minerálů druhé skupiny a k částečnému odnosu uvolněných složek z fázového rozhraní (neúplná hydratace);
- C – pásmo nedokonale rozložených hornin, kde došlo k dokonalému rozkladu jen minerálů s kationty první skupiny a k obohacení bentonitu o uvolněné roztoky z pásem A a B a vzniku novotvořených minerálů (neúplná hydratace, cementace).

Na rozdíl od zvětrávacích profilů většiny kyselých a bazických hornin, popisovaných např. SMIRNOVEM (1983), je pro zvětrávání alkalických hornin v neovulkanitech Doupovských hor typické cyklické opakování uvedených profilů tak, jak probíhaly za sebou jednotlivé erupce; uvedená pásma mohou být vertikálně seřazena v různém pořadí a mohou se opakovat i několikrát (obr. 6). Horniny pásma A, představující dokonale hydratované bentonity, nacházíme zpravidla ve svrchním horninovém cyklu, neboť jeho



6. Charakteristické profily zvětrávání neovulkanitů ve v. části Doupských hor

K – bentonitizace s přechodem ke kaolinizaci; A – pásmo A-bentonitizace: úplná hydratace hornin, dobře aktivovatelný bentonit; B – pásmo B-bentonitizace: neúplná hydratace, bentonit obtížněji aktivovatelný; C – pásmo C-bentonitizace: neúplná hydratace a cementace (siderit, kalcit, dolomit), horší typy bentonitů; 1 – kvartérní pokryv; 2 – bazální terciér v písčitém vývoji; 3 – bazální terciér, pískovce až křemence; 4 – bazální terciér v jílovitém vývoji; 5 – tufitické jíly – přechodné pásmo; 6 – sladkovodní křída s proplásky ublí; 7 – bentonitizovaný žedič; 8 – pevný žedič; 9 – kaolín, kaolinizované permokarbonské arkózy; 10 – permokarbonské pískovce a arkózy; 11 – kaolín, kaolinizovaná oherská rula; 12 – oherská rula

průběh ovlivňovaly procesy ve svrchní aerační části zvětrávacího profilu. Pokud byly příznivé podmínky pro pohyb pozemních vod atmosférického původu i v hlubší části profilu (např. při bázi vulkanických hornin navazující na dobře propustné podloží – pískovce, písky bazálního terciéru), pak nacházíme horniny pásma A i zde a v extrémním případě i v celé mocnosti vulkanických hornin. Horniny pásma B, představující nedokonale hydratované bentonity, nacházíme v jednom nebo i ve více cyklech vulkanických hornin, a to i pod vulkanickými příkrovy, které následovaly za sebou v relativně rychlém časovém sledu, což svědčí o velké rychlosti první fáze přeměny pyroklastik na bentonit. Horniny pásma C, představující nedokonale hydratované bentonity v různém stupni cementace, nacházíme pod bentonity pásma A nebo B, z nichž byly přemístěny uvolněné roztoky alkalických zemin a železa, jež vytvořily nové minerály (kalcit, dolomit, siderit). V nejsvrchnější části pásma A se někdy setkáváme ještě s postupující hydrolýzou, kdy část bentonitového profilu přerůstá do kaolinického zvětrávání. Tyto horniny si sice stále ještě udržují vnější znaky bentonitu, mají však již vyšší příměs kaolinitu, a tudíž nepříznivé technologické vlastnosti.

Geneze ložisek bentonitu v oblasti Doupovských hor

Ložiska technologicky vhodných bentonitů v Čechách jsou vázána na produkty třetí-horního vulkanismu. V současné době jsou v oblasti neovulkanitů známa ložiska bentonitů v Českém středohoří a ve v. a sz. části Doupovských hor. Souhrnné pojednání o jejich ložiskových poměrech a kvalitativní skladbě zpracoval FRANČE (1982a, 1982b, 1985). Mezi nejvýznamnější faktory ovlivňující jejich vznik, úložní poměry a kvalitativní skladbu je možno uvést složení matečné horniny, reliéf podloží a charakter podložních hornin, přítomnost vodního prostředí v době ukládání vulkanoklastik, teplotu prostředí, projevy tektoniky a následné projevy vulkanické činnosti a eroze a oběh podzemních vod atmosférického původu.

Složení matečné horniny

Bentonity vznikly bentonitizací pyroklastik, především tufů a tufitů, jsou však doklady i o bentonitizaci brekcií a aglomerátů a lávových proudů. Matečná hornina ovlivňuje významně složení produktů jejího rozkladu – bentonitu. Bazické horniny dávají předpoklad vzniku vyššího obsahu montmorillonitu, zatímco v kyselých diferenciacích zůstávají nerozložené podíly nebo jejich rozkladem vznikají další jílové minerály, zejména hydroslídy a kaolinit. V diferenciací řadě stratovulkánu Doupovské hory byly příznivé podmínky na jejím počátku a konci, kdy vznikaly bazické čedičové horniny. Z toho můžeme usuzovat, že i pyroklastika produkovaná na počátku vulkanické činnosti jsou vhodným matečným materiálem ke vzniku bentonitů. Můžeme je ještě dále rozčlenit podle obsahu volných minerálů na biotitická a augitická, přičemž biotitická tufa a tufity představují nejvýznamnější matečnou horninu, neboť odpovídají bazickým

členům diferenciační řady a současně lépe podléhají vlastní bentonitizaci. Tyto názory jsme si mohli v průběhu let 1980–1985 ověřit na řadě lokalit.

Reliéf podloží a charakter podložních hornin

Na všech známých ložiskách bentonitu se zachovaly zbytky bazálního terciárního souvrství ve formě přeplavených hornin (kaolinitických písků, křemenných písků, pískovců až křemenců) nebo jílovito-písčitých sedimentů. Z průzkumných prací na kaolín můžeme usuzovat, že výškové rozdíly tohoto terénu se pohybovaly nejvýše v několika málo desítkách metrů. V mělkých pánvích byly příznivé podmínky pro bentonitizaci pyroklastik hned od počátku vulkanické činnosti, po určitou dobu se však materiály mísily s terrigenním materiálem, takže kvalitní bentonity nacházíme tam, kde již nedocházelo k mísení pyroklastik se staršími sedimenty. Horniny v hlubším podloží podle dosavadních zkušeností bezprostředně neovlivňují procesy vzniku ložisek bentonitu. Na dosud známých ložiskách bentonitu se setkáváme v hlubším podloží s křídovými slínami (Černý vrch, Střímice, Braňany v Českém středohoří), karlovarskou žulou (Hroznětín na Karlovarsku), oherským krystalinikem (ložiska na Kadaňsku) a s permokarbonskými sedimenty (ložiska na Podbořansku). Všechny tyto horniny byly na svém povrchu kaolinitizovány (u křídových slín došlo k jejich odvápnění) a peneplenizovány. Vznikla na nich málo mocná poloha bazálního terciárního souvrství, která se ve vysychajících částech území vyvinula až do křemencové polohy, ve vodním prostředí se pak vytvořily polohy písků, písčitých jílů nebo kaolinitických písků. Procesy vzniku bentonitu však mohly významně ovlivnit horniny bazálního terciéru v bezprostředním podloží bentonitizovaných pyroklastik, a to zejména v tom případě, kdy šlo o horniny dobře propustné (pískovce, písčky), umožňující oběh podzemních vod atmosférického původu.

Vodní prostředí

K přeměně pyroklastik na bentonit je třeba vodního prostředí. Příznivé podmínky k tomu mohly být vytvořeny několika způsoby: tvarem paleoreliéfu před začátkem vulkanické činnosti, tektonickou činností, jež doprovázela činnost vulkanickou, případně i lávovými proudy v průběhu vulkanické činnosti (v takových případech mohly být vytvořeny podmínky pro bentonitizaci i ve vnitřní části vulkanického komplexu). Pro vznik bentonitu je důležitá alkalická reakce vodního prostředí. Protože před začátkem vulkanické činnosti probíhala na předterciárním reliéfu kaolinitizace, vyžadující kyselé prostředí, musela se nutně nejprve změnit reakce tohoto vodního prostředí v alkalickou, nejspíše spadem jemného vulkanického materiálu, zejména jemnozrnných tufů, do vodního prostředí. Rozklad jemné skeletné hmoty probíhal patrně velmi rychle. Přítomnost hydrotermálních roztoků, které předpokládá CÍLEK (1965), nelze rovněž vyloučit, zvláště když se nám dnes jeví jako velice významná tektonická činnost. Dokladem hydrotermální činnosti ve studovaném území je výskyt hydrotermálního

nerostu seladonitu, zřejmě však vliv hydrotermální činnosti byl stejně výjimečný jako výskyt tohoto nerostu.

Teplota prostředí

Vulkanická činnost nepochybně přinesla i celkové oteplení území. V některých obdobích nebo v některých vodních bazénech mohla teplota vodního prostředí dosáhnout i značných výšek. Dokladem toho jsou žilky aragonitu, které nacházíme i v bentonitizovaných horninách.

Nicméně kvalitní bentonity nacházíme i ve zcela okrajové části areálu vulkanické činnosti, kde doklady o vyšší teplotě nemáme. V nejkvalitnějších bentonitech se aragonit nevyskytuje, proto vyšší teplotu prostředí nepovažujeme za podmínku vzniku ložisek bentonitu, mohla probíhající procesy pouze urychlit.

Tektonická činnost

Vliv tektoniky na vznik ložisek bentonitu je zřejmě mnohem větší, než bylo možno dříve předpokládat. Z magnetometrického měření je vidět, že osa nulové anomálie, představující osu deprese s největší mocností bentonitizovaných hornin, má směr shodný s hlavními tektonickými liniemi. Lze předpokládat, že na styku dvou různě ukloněných tektonických ker byly podmínky nejen pro vznik vodního bazénu, ale též pro značný hloubkový dosah bentonitizace, přičemž nastaly mj. i příznivé podmínky k odnosu volných sloučenin Fe. Na rozdíl od dřívějších obecných představ, že bentonit je pro koloběh podzemní vody téměř nepropustný, nás zkušenosti z průzkumu ložisek bentonitu, zejména pak ze specializovaného hydrogeologického průzkumu ložiska Hroznětín, přesvědčily, že u vápenatohořečnatých bentonitů může existovat čilý koloběh spodních vod.

Následné projevy vulkanické činnosti a eroze

Následná vulkanická činnost značně ovlivnila fyzikálně-mechanické vlastnosti bentonitu. Například na Kadaňsku (ložisko Rokle) se setkáváme se silně diageneticky zpevněným bentonitem, což lze vysvětlit vlivem teploty a lávových proudů, kterými byly bentonitové polohy překryty. Ložiska bentonitu tak byla chráněna před erozí.

Kvalitativní skladba bentonitů

Rozkladem vulkanického materiálu ve vodním prostředí na jílové minerály skupiny smektitu (montmorillonit, příp. další minerály) proběhla pouze první fáze vzniku

bentonitu. V tomto procesu, který za příznivých okolností mohl proběhnout velmi rychle (ještě před uložením pyroklastik, případně lávových příkrovů z další erupce), dochází v podmínkách alkalického prostředí k uvolňování kationtů s iontovým potenciálem menším než 3 [tj. 1. skupina ve smyslu Goldschmidtova členění, GOLDSCHMIDT (1937)], tj. zejména Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , které v průběhu zvětrávání vytvářejí pravé roztoky. K tomu, aby vznikl bentonit s požadovanými vlastnostmi, tj. bentonit schopný snadné přeměny kationtového obsazení z formy Ca-Mg na formu Na (přísadou čtyřprocentní Na_2CO_3 ve smyslu platné ČSN), tzv. aktivovatelný nebo též natrifkovatelný bentonit, je třeba dalších pochodů k uvolnění kationtů druhé Goldschmidtovy skupiny s iontovým potenciálem 3–10, zejména pak Fe^{3+} , které se těžko uvolňují a převážně se koncentrují v nově vzniklé tuhé fázi. Uvolňování probíhá v silně alkalickém i silně kyselém prostředí, je pozvolné a podmíněno oběhem podzemních vod atmosférického původu. Tento typ bentonitu proto nacházíme ve svrchní části bentonitového profilu, někdy ale též při bázi bentonitového profilu, a to na dobře propustných podložních horninách, např. pískovcích nebo píscích bazálního terciéru. Výjimečně mohou být obě polohy propojeny. Vysrážením roztoků ze svrchní části profilu vznikají v nižších polohách bentonity s obsahem novotvořených karbonátů (siderit, kalcit, dolomit) a jsou z hlediska současných jakostních požadavků slévárenského průmyslu nepoužitelné. Podle průběhu druhé fáze vzniku bentonitu pak můžeme bentonity rozčlenit do tří skupin:

- A – dobře aktivovatelný bentonit, který charakterizuje vysoký obsah montmorillonitu, dokonalá přeměna skelné fáze a živců v 1. fázi alterace ve vodním prostředí, uvolnění a odnos karbonátů, dokonalý rozklad minerálů železa a uvolnění kationtů Fe^{3+} z fázového rozhraní;
- B – běžný bentonit, obtížněji aktivovatelný. Charakterizuje jej vysoký stupeň zjřívání v 1. fázi alterace ve vodním prostředí, avšak nedokonalé uvolnění a odnos dalších kationtů, zejména Fe^{3+} ;
- C – bentonit s obsahem novotvořených minerálů, vysrážených z roztoků, zejména Fe-, Ca- a Mg-karbonátů.

Z hlediska genetické klasifikace KUŽVARTA (1984) lze vznik jakostních aktivovatelných bentonitů vysvětlit kombinací dvou procesů:

- argilitizace v jezerním prostředí bezprostředně po uložení popela, jehož teplo mohlo ohřátím vody mělkých nádrží přispět k usnadnění proměny,
- následným zvětráváním na povrchu působením atmosférických vod.

Metodika vyhledávání, výzkumu a hodnocení ložisek bentonitu

Vyhledávání ložisek bentonitu

Základní metodický postup vyhledávání ložisek bentonitu použitý ve v. části Doubovských hor v období let 1980–1985 zahrnul následující dokumentaci a průzkumné práce:

- rešerše vrtné dokumentace a zpracování mapy prozkoumanosti,
- zpracování účelové geologické mapy,

- vyhodnocení výsledků leteckého magnetometrického měření a zpracování mapy faciálního vývoje vulkanitů,
- pozemní geofyzikální práce,
- vymezení prognózních území a ověřování existence prognóz vrtnými pracemi,
- zpracování mapy prognóz.

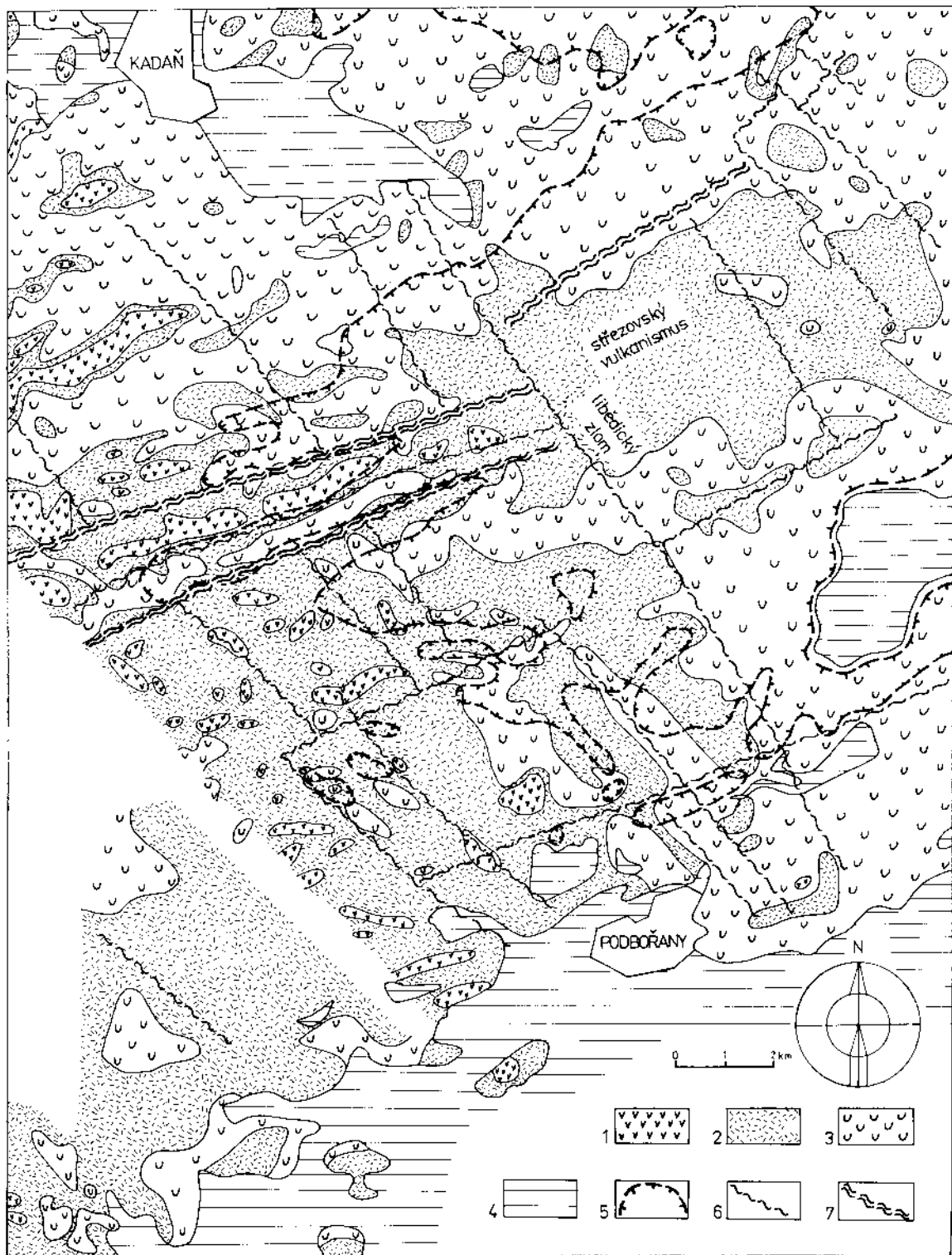
Mapa prozkoumanosti byla zpracována v měřítku 1 : 25 000 (FRANČE 1980). Zahnuje jednak vymezení jednotlivých průzkumných akcí a vyhodnocení zásob, jednak studium vrtnů, případně jiných technických prací, provedených v daném území. Geologická mapa byla zpracována nejprve v měřítku 1 : 25 000 (FRANČE 1980), později v měřítku 1 : 50 000 (FRANČE 1985). Vulkanické horniny jsou v této mapě členěny na čediče (bez bližšího rozlišení), světlé vulkanity (fonolity, trachyty) a tufy, tufity, aglomeráty a bentonit. Z podložních hornin je vyznačeno bazální terciární souvrství, krystalinikum bez rozlišení (včetně primárních kaolínů) a permokarbon bez rozlišení (včetně kaolinitizovaných arkóz). Miocenní sedimenty jsou uvedeny bez dalšího členění, je však samostatně vyznačen výchoz uhelné slaje.

Pro geologickou interpretaci magnetometrických měření bylo použito základního geofyzikálního výzkumu ČSR. Letecké magnetometrické měření v daném území provedla Geofyzika Brno v roce 1977. Letecké snímkování bylo provedeno ve dvou úrovních letu, 50 a 300 m nad terénem. Převážně bylo snímkováno při letu 50 m nad terénem, v části území u Nepomyšle na úrovni 300 m, v části území Doupovských hor nebylo snímkování ukončeno. Magnetometrické měření bylo vyhodnoceno v mapách 1 : 25 000 (ŠALANSKÝ - MANOVÁ 1977). Pro potřebu vyhledávání bentonitů byla zavedena autorem této studie nová geologická interpretace tohoto měření, která je ve zjednodušené formě na obrázku 7.

Aplikace magnetometrického měření na vyhledávání bentonitu vychází z poznatku, že všechny horniny alkalické provincie jsou horninami silně magnetickými, což platí především pro vlastní lávové intruze. Zjilovělá efuziva mají značný podíl železa vázaný v hydratované formě a při magnetometrickém měření poskytují výrazně nižší hodnoty nT. Přestože v celém komplexu Doupovských hor převládají pyroklastika, hlavní podíl na složitém magnetickém poli mají vlastní vulkanity. Nejvýrazněji se projevují mocné pravé žíly a lávové výplně sopouchů. Méně výrazné jsou lávové proudy. Nemalý vliv na průběh magnetického pole má i složitá morfologie Doupovských hor. Amplitudy anomálií jsou neobyčejně vysoké a nemají s výjimkou středoečeské magnetické anomálie a větších ultrabazických areálů v Českém masívu obdoby. Anomálie 8 000 nT jz. od Doupova je největší v Českém masívu a je autory geofyzikálního měření označována jako „magnetický pól“ Českého masívu. Ve studovaném území se vyskytují převážně

7. Geologická interpretace leteckého magnetometrického měření (upraveno a zjednodušeno podle mapy faciálního vývoje vulkanitů, J. Franče 1985)

1 - mocné polohy pevných čedičových hornin; 2 - mocné polohy pevných pyroklastik, místy částečně bentonitizovaných, málo mocné polohy pevných čedičových hornin; 3 - mocné polohy bentonitizovaných pyroklastik, málo mocné polohy lávových přikrovů, velmi malé mocnosti vulkanitů v blízkosti podložních hornin; 4 - podložní horniny; 5 - výchoz uhelné slaje, vymezuje přibližně plošný rozsah souvrství hnědouhelných slojí v nadloží vulkanitů; 6 - tektonické linie; 7 - hlubinné zlomy. Prognózy ložisek bentonitu, odvozené z faciálního vývoje vulkanitů, jsou v příloze 1



izometrické anomálie kladné polarity σ hodnotami zcela běžně kolem 1 000 nT, a to zejména v pruhu podél krušnohorského a střešovského zlomu. Tyto anomálie mohou indikovat buď mocné pravé žíly, nebo vulkanity zaplněné hluboké příkopy, což je pravděpodobnější, neboť pásma jsou široká až 600 m. Velmi rozšířené jsou hodnoty v rozmezí 200 až 500 nT, jež můžeme považovat za mocné polohy lávových příkrovů. Průběh magnetické intenzity neodporuje dosavadním představám o stavbě Doupovských hor. Snad jen více zdůrazňuje dominantní krušnohorský směr pro výstupy láv po trhlínách tohoto směru.

Relativně vysoké hodnoty kladných anomálií byly zjištěny i v s. části pětipeské pánve pod sedimentární výplní pánve. Jsou dokladem intenzivní činnosti podél celého střešovského zlomu. Tento vulkanismus, který označujeme jako střešovský (FRANČE 1980), vyvinutý převážně v podloží sedimentů pětipeské pánve, představuje zřejmě propojení doupovského vulkanismu s vulkanismem Českého středohoří. Nemá charakter periferních vulkanických těles Doupovského stratovulkánu, ale pravých mocných žil a sopouchů s mocnými plošnými výlevy láv.

Ve srovnání s dosavadní geologickou interpretací, opírající se převážně o povrchové mapování, ukazuje magnetické měření na významná tělesa vulkanitů s jejich přívodními drahami a naopak potlačuje v důsledku celkem nízkých anomálií značné plochy některých příkrovů, jež zdánlivě vytvářejí na povrchu velká tělesa. Svědčí to o jejich malé mocnosti a o převládajícím obsahu tufů v nich.

Hlavním úkolem geologické interpretace magnetického měření bylo vymezení prostorů s převládajícími výskyty zjilových pyroklastik. Tyto horniny jsou indikovány v magnetickém měření hodnotami kolem nuly, případně velmi nízkými kladnými anomáliemi (do 75, max. 100 nT) při snímkování 50 m nad terénem. Vyhodnocením těchto nízkých anomálií lze získat podklady pro orientaci dalších průzkumných prací na bentonity.

Hodnoty získané z leteckého magnetometrického měření byly použity v mapě faciálního vývoje vulkanitů k rozlišení tří základních typů vulkanických hornin:

1. mocné polohy bentonitizovaných pyroklastik, málo mocné polohy lávových příkrovů a velmi malé polohy vulkanitů v blízkosti podložních hornin jsou vyjádřeny nízkými hodnotami nT, převážně kolem nuly, nejvýše 75 až 100 nT,
2. mocné polohy pevných pyroklastik, místy částečně bentonitizovaných, a málo mocné polohy pevných čedičových hornin jsou vyjádřeny hodnotami do 400 až 500 nT,
3. mocné polohy pevných čedičových hornin, zpravidla i s vlastním přívodním kanálem, indikují hodnoty přes 400 až 500 nT. V blízkosti krušnohorského a střešovského zlomu dosahují naměřené hodnoty až 2 000 nT.

Mapa prognóz (příloha 1) byla zpracována ve dvou fázích. Z podkladů získaných při zpracování přehledné geologické mapy a z výsledků mapy faciálního vývoje vulkanitů byla vymezena prognózní území, ověřovaná dále jednak pozemními geofyzikálními pracemi, jednak vrty. K detailnějšímu vymezení prognózních území byly provedeny pozemní geofyzikální práce (MAROUŠEK 1985). K rozlišení hornin na pevné – čedičové – a jílové zvětraliny – bentonit – bylo použito symetrické odporové profilování (SOP) s hloubkovým dosahem ca 20 – 25 m nebo odporové varianty velmi dlouhých vln (VDV-R), jejichž hloubkový dosah je v prostředí s vyšším odporem větší. Krok měření byl 10 m, vzdálenosti mezi profily v průměru 100 m.

Při srovnání výsledku geofyzikálního měření se jako modelové velmi dobře osvědčilo v době měření již geologicky ověřené ložisko Rokle, j. od obce Krásný Dvůrček, působící odporové anomálie po obou stranách údolí potoka. Podobně byla interpretována i anomálie v. a jv. od ložiska Rokle. Další oblast nízkých odporů byla zaznamenána v jz. části lokality. Při ověřování naměřených hodnot vrty bylo zjištěno, že problematické výsledky naproti tomu dávají profily s rychlým střídáním čedičových příkrovů s vrstvami tufů. Z výsledků měření lze usuzovat, že pevnou čedičovou horninu značné mocnosti lze očekávat v místech s nejvyššími zdánlivými měrnými odpory – řádově stovky ohm metrů. Naopak místa s relativně mocnými zvětralinami a rozloženou čedičovou horninou, kde je největší naděje na výskyt bentonitů, můžeme očekávat v místech s nejnižšími odpory, prakticky do 30 Ω .m.

Vrtné průzkumné práce byly provedeny Geindustrií, s.p., Praha. Po laboratorním vyhodnocení vzorků z vrtů byly vymezeny ložiskové prognózy s výpočtem prognózních zásob.

Ložiskové prognózy první a druhé fáze jsou vyznačeny v mapě ložiskových prognóz. Ze srovnání výsledků první a druhé fáze je zřejmá značná nadějnost vyhodnocených prognózních území na podkladě magnetometrického měření. V mapě ložiskových prognóz jsou vyznačena i ložiska bentonitu, prozkoumaná dnes již v kategoriích ložiskových zásob.

Metodika mineralogického výzkumu bentonitů

Metodologické zásady vycházejí z prací ŠINDELÁŘE (1982, 1987). Byly použity v průběhu výzkumu a geologického průzkumu ložisek bentonitu jak ve v. části Doupovských hor, tak i na dalších ložiskách a umožnily tak jednotné zhodnocení a vzájemné srovnání zjištěných výsledků.

Makroskopický popis

Základním kritériem je barva bentonitu, podmíněná zpravidla obsahem volně vázané vody a oxidací. Jinak zbarvené jsou bentonity čerstvé, jinak mohou vypadat bentonity po vysušení. Bentonity jsou bílé, šedé, žluté, zelené, šedozelené, tmavošedé až černé, rudé, rezavě nebo fialově šmouhované. Zvětrávacími pochody bentonity zesvětlují. Nejčastější a zpravidla zejména ve vulkanickém území Doupovských hor jsou bentonity zelené, šedozelené a žluté. Kvalitnější bentonity, zejména v čerstvém stavu, mívají charakteristický voskový vzhled, celistvé typy mají lasturnatý lom, zrnité typy kostičkový rozpad. Pouhým okem je na lomných plochách často viditelná okatá textura, na vzduchu po vysušení vzniká charakteristický systém prasklin a puklin. Okamžité rozpojení bentonitu ve vodě odlišuje bentonit od některých podobných hornin. K nejvýznamnějším vlastnostem bentonitu patří bobtnavost. Přítomnost akcesorických či vedlejších nejlivých nerostů v bentonitech dokresluje odhad pravděpodobné jakosti bentonitu. Nejčastěji to bývají oxyhydráty železa, ať už v zrnech nebo jemně rozptýlené, slídy, křemen, úlomky matečných hornin, křídových nebo karbonických sedimentů, rul

apod. Celkový obsah těchto součástí jako zbytek na síte o velikosti od 0,063 mm by měl být do 5 %. Optická analýza při použití binokuláru nebo polarizačního mikroskopu dokresluje některé strukturální prvky, podle nichž lze většinou dobře rozlišit původní matečné horniny, lávy od pyroklastik a sedimentů, rozpoznat velikost a jakost původních zrn a určit nejčlové součástky, zejména karbonáty, křemen, slídy a cizorodé součástky.

Zrnitostní analýzy se provádějí síťováním a plavením. Pískový podíl a hrubší podíly nad 0,063 mm identifikujeme binokulární lupou. Prachový a jílový podíl bentonitu, podsítné, se dále frakcionuje při sedimentační analýze většinou podle Andreasena a dále určuje dalšími metodami. Při sedimentační analýze přírodních bentonitů nedochází k absolutnímu rozpojení částí. Vedle granulometrické křivky přírodního bentonitu se obvykle pořizuje i křivka sodou upraveného bentonitu. Z rozdílu mezi granulometrickými křivkami přírodního a sodou aktivovaného bentonitu lze usuzovat, jak snadno lze ten který bentonit aktivovat.

Rentgenová analýza

Rentgenová analýza poskytuje základní informaci o přítomnosti jílových a jiných přímíšených nerostů. Pokusy o kvantitativní stanovení montmorillonitu (ať už s použitím vnitřního nebo vnějšího standardu) jsou vždy zatíženy větší či menší chybou, závislou v podstatě na strukturálním uspořádání nerostu. Za použití vhodného zařízení (např. Guinierovy komůrky) a úpravy vzorku (lépe je neorientovaný preparát) lze však dosáhnout alespoň údaje o relativních obsazích jednotlivých nerostů ve studovaných vzorcích. VELIKOV et al. (1973) použili k tomu fotometrických záznamů pořizovaných v Guinierově komůrce.

Rentgenové údaje jsou dále významné pro posouzení strukturální uspořádanosti montmorillonitu. Využívá se linie s $d = 4,47 \cdot 10^{-1}$ nm a s $d = 2,56 \cdot 10^{-1}$ nm. Ostré linie znamenají vysoký stupeň uspořádanosti základních trojvrství nad sebou a jsou vyjádřením triklinické polytypie. Taková vlastnost má negativní vliv například na schopnost natřifikace. Naproti tomu difúzní linie svědčí o méně dobře až špatně uspořádané monoklinické (pseudomonoklinické) struktuře montmorillonitu, který lze sodou snadno aktivovat.

Infračervená spektroskopie

Infračervené absorpční křivky vhodně doplňují rentgenové studium, zejména pokud jde o příslušnost smektitu k triklinické nebo monoklinické polytypii. Podle poznatků VELIKOVA et al. (1973) bývá u montmorillonitu bohatšího hliníkem zesílen nepravidelný posun základních trojvrství (modifikace 1 M nebo 2 M), kdežto u montmorillonitu chudého na Al je střídání trojvrství nad sebou pravidelnější (modifikace 3 T). Kromě toho infračervená absorpční spektroskopie pomáhá vysvětlit způsob vazby některých prvků v montmorillonitu. Tyto poznatky mohou pomoci osvětlit zejména otázky aktivovatelnosti bentonitu na sodnou formu.

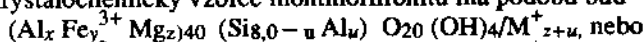
Termické analýzy

Diferenční a gravimetrické termické křivky dovoňují zjistit množství volně vázané molekulární vody (platí za určitých podmínek úpravy) a vody strukturně vázané (hydroxylové) a podle dalších endotermních a exotermních reakcí určit případně některé termicky aktivní přimíšené nerosty (např. oxyhydráty železité, karbonáty a další jílové nerosty. Pokud jde o informace, týkající se strukturních vlastností montmorillonitu, jsou velmi orientační. Mohou se např. týkat posouzení sorbovaných kationtů alkálií a alkalických zemin, které se projeví na průběhu první mohutné endotermní prodlevy mezi 20 a 300 °C. Další informaci poskytuje endotermní prodleva odpovídající dehydroxylaci, která obvykle nastává v oblasti 560–750 °C. Je-li tato teplota snížena, usuzujeme na zvýšený obsah železa v oktaedrické vrstvě, neboť vazba mezi železem a hydroxyly je mnohem slabší než mezi hliníkem a hydroxyly.

Podle obsahu hydroxylové vody lze rovněž vcelku dobře odhadnout procento montmorillonitu ve studovaném vzorku.

Chemická analýza

Podíl bentonitu pod 1 μm vykazuje vždy největší koncentraci montmorillonitu v daném vzorku a na základě jeho analýzy lze vypočítat přibližný krystalochemický vzorec montmorillonitu, který kromě kvantitativních informací o jednotlivých vzorcích umožňuje zjistit velikost negativního náboje, který vzniká substitucí Al za Si v tetraedrech a zastupováním Al^{3+} méněvalentními kationty (Na, Ca, Mg) v oktaedrech. Krystalochemický vzorec montmorillonitu má podobu buď



$(Al_x Fe_y^{3+} Mg_z)_{2,0} (Si_{4,0-u} Al_u) O_{10} (OH)_2 / M^{z+u}$, kde M^+ je velikost negativního náboje vznikajícího substitucí, který je kompenzován vyměnitelnými kationty. Tento údaj snížený o znečišťující nerosty a o hodnotu, kterou ovlivňuje např. stupeň krystaličnosti, udává tedy kapacitu výměnných kationtů montmorillonitu. Naprostá většina bentonitů má jako vyměnitelný kationt Ca a Mg. Mezi ně patří i studované bentonity. Bentonity s Na^+ jsou nepoměrně vzácnější (např. některé typy Wyoming). Podle ROSSE a HENDRICKSE (1945) vykazuje tzv. průměrný montmorillonit 84 mekv/100 g. Předpokládá se, že asi 80 % vyměnitelných kationtů je uzavřeno mezi silikátovými vrstvičkami a zbylých 20 % na okrajích. Negativní náboj je velký (1), střední (0,6–1) nebo nízký (0,6). Náboj určuje nejen výměnnou kapacitu, ale i všechny vlastnosti souhrnně označované jako sorpční.

Určení bobtnavosti

Bobtnání náleží k základním vlastnostem smektitů. Je způsobeno roztažitelností krystalické mřížky ve směru krystalové osy c přínosem molekul vody. Ty jsou nepravidelně uloženy mezi silikátovými vrstvičkami. Pohlcování a uvolňování vody je zvrtný pochod až do teploty dehydroxylace (550 °C a výše). Montmorillonity nasycené

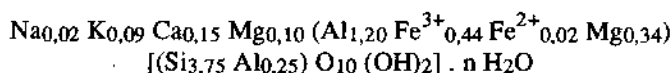
vyměnitelnými ionty sodíku bobtnají silněji než montmorillonity nasycené ionty alkalicích zemin (Ca, Mg). Metodu používáme pro základní orientaci při práci v terénu nebo při třídění vzorků. Sodný typ bentonitu se projeví několikanásobným růstem objemu. Pro přesné určení bobtnavosti v laboratoři je zpracován pracovní předpis (např. pracovní předpis Ústavu nerostných surovin v Kutné Hoře).

Další zkoušky

K doplnění podrobného mineralogického výzkumu mohou sloužit další zkoušky. Jsou to zejména elektronoptické metody k určení strukturního rozložení elementárních částic v montmorillonitu (GÜVEN a PAESE 1975) a v poslední době i Mössbauerova spektroskopie. Ta jednak dovozuje vymezení přesné umístění železa ve struktuře smektitu, jednak umožňuje zjistit přítomnost železem bohatých příměsí v montmorillonitech (TAYLOR et al. 1968, GOODMAN 1978). Nemělo by se zapomínat i na poměrně jednoduché určování celkového povrchu částic, které napovídá o pochodech, které vedou k dezagregaci bentonitů. V poslední době se významně uplatňuje i metoda stanovení sorpce metylenovou modří k určení obsahu aktivního jílu, a to zejména pro použití bentonitu k melioraci půd. Metoda je již dlouhou dobu běžně užívána ve slévárenských laboratořích.

Strukturní složení montmorillonitu v bentonitu

ŠINDELÁŘ (1982) propočítal strukturní složení osmi vzorků ze severozápadních Čech a provedl jejich vzájemné srovnání. Jde o čtyři analýzy z oblasti Doupovských hor (vzorky z ložisek Blšany, Vysoké Třebušice, Rokle, Hroznětín) a čtyři z Českého středohoří (Brňany, Černý vrch, Střimice, Stránce). Kromě přírodních bentonitů, jejichž analýzy jsou uvedeny v tabulce 1, bylo stanoveno chemické složení podílů pod 1 μm , které představují maximální nahromadění smektitového nerostu (tab. 2). Výsledky chemických analýz vypreparovaných jílových podílů byly použity k vypočítání krystalochemických vzorců. Vzorce byly počítány na 22 aniontových valencí podle modifikovaného způsobu FOSTEROVÉ (1962). Přestože většina studovaných vzorků se opticky od sebe nápadně odlišovala, jsou jejich krystalochemické vzorce značně podobné. Z tabulky 3 byl vypočítán průměrný vzorec, který lze psát:



nebo zjednodušeně na místo výměnných kationtů uvést průměrný náboj $\text{M}_0^{0,61}$. Z výpočtů vyplývá, že hlavními vyměnitelnými kationty jsou vápník a hořčík, v nepatrné míře draslík a sodík. V oktaedrické koordinaci je vedle hliníku trojmocné železo a významné množství hořčíku. V tetraedrické koordinaci je část křemíku nahrazena hliníkem. Oběma nevyváženými substitucemi vzniká středně velký až velký náboj,

Tabulka 1

Chemické analýzy přírodních bentonitů (hmot. %, podle J. Šindeláře 1982)

oxidy	Braňany	Černý vrch	Střimice	Stránce	Bíšany	Vysoké Třebušice	Rokle	Hroznětín
SiO ₂	56,93	52,86	47,40	50,52	54,48	50,37	53,40	52,37
Al ₂ O ₃	22,98	15,80	16,49	17,13	15,58	16,84	14,14	13,29
Fe ₂ O ₃	3,88	11,24	13,19	13,77	7,85	10,18	8,62	8,74
FeO	0,98	0,04	0,04	0,08	0,20	0,05	0,20	2,77
MnO	0,01	0,04	0,01	0,02	0,01	0,07	0,03	0,08
MgO	2,64	4,56	3,92	2,71	4,58	4,23	3,30	3,54
CaO	1,44	1,34	2,78	0,94	2,83	2,53	2,34	2,75
Na ₂ O	0,19	0,01	0,57	0,07	0,10	0,40	0,15	0,10
K ₂ O	0,40	0,02	0,83	0,38	0,67	0,90	1,20	1,67
TiO ₂	1,27	3,36	3,35	3,58	4,35	3,26	4,44	5,29
P ₂ O ₅	0,37	0,22	0,68	0,26	0,60	0,75	0,78	0,82
CO ₂	0,34	0,60	2,25	0,09	0,10	1,18	0,42	3,08
H ₂ O ⁺	8,16	9,21	8,10	10,12	8,37	8,88	9,77	5,28

Tabulka 2

Chemické analýzy bentonitových podílů <1 μm (hmot. %, podle J. Šindeláře 1982)

oxidy	Braňany	Černý vrch	Střimice	Stránce	Bíšany	Vysoké Třebušice	Rokle	Hroznětín
SiO ₂	59,97	54,74	51,56	50,50	51,99	49,75	52,34	52,53
Al ₂ O ₃	18,84	17,32	18,41	17,99	15,95	17,90	16,23	14,16
Fe ₂ O ₃	5,36	9,08	8,95	8,66	9,26	8,10	8,21	10,23
FeO	0,71	0,08	0,04	0,35	0,08	0,43	0,26	0,35
MnO	0,01	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03
MgO	3,89	4,24	3,55	3,98	4,17	3,94	4,14	3,75
CaO	1,15	1,21	3,00	1,41	3,72	2,66	1,91	2,91
Na ₂ O	0,11	0,02	0,39	0,13	0,07	0,22	0,08	0,06
K ₂ O	0,55	0,27	0,90	0,78	0,65	1,06	0,85	1,64
TiO ₂	1,50	3,08	3,02	4,96	5,11	6,12	5,52	6,26
P ₂ O ₅	0,31	0,67	0,72	0,52	0,72	1,00	0,85	0,97
CO ₂	0,08	0,25	0,80	0,11	0,12	0,10	0,18	0,44
H ₂ O ⁺	7,20	8,95	8,38	9,15	8,27	8,63	8,96	6,70
celkem	99,68	99,95	99,75	98,56	100,13	99,93	99,56	100,03

způsobující poměrně vysoké hodnoty kationtové výměnné kapacity, které jsou u přírodních bentonitů snižovány přimíšenými nerosty a pohybují se u studovaných vzorků od 55 až 75 mval/100 g.

Tabulka 3

Krystalochemické vzorce montmorillonitu v bentonitu podle J. Šindeláře 1982

Braňany	$\text{Na}_{0,01}\text{K}_{0,04}\text{Ca}_{0,16}\text{Mg}_{0,09}(\text{Al}_{1,31}\text{Fe}_{0,26}^{3+}\text{Fe}_{0,01}^{2+}\text{Mg}_{0,42})[(\text{Si}_{3,88}\text{Al}_{0,12})\text{O}_{10}(\text{OH})_2] \cdot n\text{H}_2\text{O}$
Černý vrch	$\text{Na}_{0,001}\text{K}_{0,02}\text{Ca}_{0,07}\text{Mg}_{0,16}(\text{Al}_{1,23}\text{Fe}_{0,47}^{3+}\text{Fe}_{0,01}^{2+}\text{Mg}_{0,30})[(\text{Si}_{3,81}\text{Al}_{0,19})\text{O}_{10}(\text{OH})_2] \cdot n\text{H}_2\text{O}$
Střimice	$\text{Na}_{0,05}\text{K}_{0,08}\text{Ca}_{0,15}\text{Mg}_{0,07}(\text{Al}_{1,26}\text{Fe}_{0,48}^{3+}\text{Fe}_{0,02}^{2+}\text{Mg}_{0,24})[(\text{Si}_{3,69}\text{Al}_{0,31})\text{O}_{10}(\text{OH})_2] \cdot n\text{H}_2\text{O}$
Stránce	$\text{Na}_{0,09}\text{K}_{0,07}\text{Ca}_{0,10}\text{Mg}_{0,16}(\text{Al}_{1,23}\text{Fe}_{0,40}^{3+}\text{Fe}_{0,02}^{2+}\text{Mg}_{0,28})[(\text{Si}_{3,60}\text{Al}_{0,40})\text{O}_{10}(\text{OH})_2] \cdot n\text{H}_2\text{O}$
Bířany	$\text{Na}_{0,01}\text{K}_{0,06}\text{Ca}_{0,27}\text{Mg}_{0,04}(\text{Al}_{1,08}\text{Fe}_{0,50}^{3+}\text{Fe}_{0,02}^{2+}\text{Mg}_{0,41})[(\text{Si}_{3,73}\text{Al}_{0,27})\text{O}_{10}(\text{OH})_2] \cdot n\text{H}_2\text{O}$
Vysoké Třebošice	$\text{Na}_{0,03}\text{K}_{0,10}\text{Ca}_{0,20}\text{Mg}_{0,09}(\text{Al}_{1,19}\text{Fe}_{0,44}^{3+}\text{Fe}_{0,03}^{2+}\text{Mg}_{0,03})[(\text{Si}_{3,65}\text{Al}_{0,35})\text{O}_{10}(\text{OH})_2] \cdot n\text{H}_2\text{O}$
Rokle	$\text{Na}_{0,01}\text{K}_{0,08}\text{Ca}_{0,08}\text{Mg}_{0,11}(\text{Al}_{1,24}\text{Fe}_{0,45}^{3+}\text{Fe}_{0,01}^{2+}\text{Mg}_{0,01})[(\text{Si}_{3,84}\text{Al}_{0,16})\text{O}_{10}(\text{OH})_2] \cdot n\text{H}_2\text{O}$
Hrozňetín	$\text{Na}_{0,01}\text{K}_{0,15}\text{Ca}_{0,18}\text{Mg}_{0,03}(\text{Al}_{1,03}\text{Fe}_{0,56}^{3+}\text{Fe}_{0,02}^{2+}\text{Mg}_{0,02})[(\text{Si}_{3,82}\text{Al}_{0,18})\text{O}_{10}(\text{OH})_2] \cdot n\text{H}_2\text{O}$

Vzájemná krystalochemická podobnost všech studovaných vzorků bentonitů z oblasti Českého středohoří a Doupovských hor, prokázaná ŠINDELÁŘEM (1982), významně ovlivnila metodiku průzkumných prací. Umožnila soustředit se při geologickém výzkumu na terény s mocnými polohami zjřilovělých vulkanických hornin, indikovanými nízkými hodnotami nT při leteckém magnetickém snímkování, případně nízkými hodnotami při doplňkovém pozemním elektrickém sondování a k průzkumu tak využít všech dostupných terénů vulkanických hornin a bezprostředně přistoupit k technologickému ověřování bentonitu z vrtných prací.

Metodika technologického výzkumu bentonitů

Od samého počátku průzkumných prací na bentonitových ložiskách byl výzkum technologických vlastností surovin zaměřen převážně na použitelnost bentonitů ve slévárenství. Na přelomu padesátých a šedesátých let se objevil též zájem o hodnocení bentonitu pro zemědělství. V poslední době stoupá zájem o hodnocení bentonitů i pro další účely, zejména pro stavebnictví a hlubinné vrtání. Základem však zůstává metodika technologického zkoumání bentonitů pro jejich použitelnost ve slévárenství.

Charakteristické vlastnosti bentonitu

Bentonit je geneticky reziduální hornina, technologicky jílovitá zemina, vyznačující se v porovnání s jinými druhy jílovitých zemin mohutnou sorpční schopností, charakterizovanou vysokou hodnotou výměny kationtů, dále vnitřním bobtnáním ve styku s vodou a značnou plastičností a vazností. Tyto vlastnosti způsobuje obsah montmorillonitu v jílovém podílu.

Praktická aplikace bentonitu vyplývá především z mimořádného charakteru této suroviny v rozsahu reologických, koloidních a sorpčních vlastností. Bentonit se používá jako 1. pojivo, 2. suspenze, 3. sorbent.

Použití bentonitu jako pojiva ve slévárenství pro zhotovování pískových slévárenských forem se stalo v ČSR hlavním a po dlouhou dobu téměř jediným způsobem využití bentonitu. Jakostní hodnocení bentonitu pro slévárenské účely vychází z tzv. vaznosti slévárenské směsi, vyjádřené pevností slévárenské směsi za syrova (původně v g/cm^2 , dnes pascalech) při dané vlhkosti. Jakostní třídy jsou dosud vyjadřovány hodnotami pevnosti v g/cm^2 (druhy bentonitu 450, 550, 650, 750), přičemž hranice bilančnosti zásob se postupně posunula z druhu 450 na 550 a má tendenci se posunout na hodnotu 650, respektive jen do oblasti aktivovatelných bentonitů. Dřívější hodnoty lze převést na jednotky Pa vynásobením koeficientem 98,0665.

Další vývoj ve slévárenství vede k požadavku na úpravu kationtového obsazení (tj. nahrazení iontů Ca^{2+} a Mg^{2+} ionty Na^+), což je označováno jako natrifikace nebo aktivace. Pro aktivaci je nutno použít kvalitní bentonit. Aktivované bentonity jsou u nás označovány obchodním názvem Sabenil. Vyznačují se především poměrně vysokou pevností při převlhčení, a tudíž vysokou provozní spolehlivostí. Další je využití bentonitu jako vazné složky pro peletizaci rud, pro výrobu krmných směsí a granulaci semen. Jinou možností je využití bentonitů jako přísady pro zvýšení plastičnosti vazné složky při výrobě žárovzdorných a izolačních materiálů.

Použití bentonitu pro vrtnou techniku, stavebnictví, výrobu barev a laků aj. nabývá na významu. Toto využití vyžaduje bentonity s vysokým obsahem montmorillonitu, přičemž stále více je požadován natrifikovaný bentonit. K tomu přistupují požadavky na možnost výroby organoderivátů bentonitu pro náročné způsoby využití (barvy, mazací oleje, vrtné výplachy, speciální slévárenské směsi). Tyto speciální druhy bentonitu jsou zpravidla odvozovány od vyšších jakostních druhů aktivovatelných slévárenských bentonitů. V poslední době se bentonit u nás uplatnil ve stavebnictví při výstavbě vodních děl (Gabčíkovo).

Použití bentonitu jako sorbentu: Pro účely obalové techniky jsou po zvláštní úpravě využívány některé druhy bentonitu pod obchodním označením Dehydrosil (PNK 66 8471). Výrobek nahrazuje dříve dovážené vysoušedlo Silikagel.

K odbarvování olejů jak minerálních, tak rostlinných se používají kyselce (H_2SO_4) aktivované bentonity, které mají větší odbarvovací schopnost. Z našich bentonitů jsou k tomu účelu vhodné jen některé bazální polohy tzv. modrých bentonitů. Jakost těchto bentonitů je vyjadřována v procentech odbarvovacího efektu po úpravě kyselou aktivací. Bentonity lze aktivovat na formu Al nebo Fe a použít je jako částečnou nebo plnou náhradu flokulačních činidel. Významná může být např. aplikace Al bentonitu na likvidaci odpadů z čistíren odpadových vod, kde přítomný bentonit příznivě ovlivňuje využitelnost těchto odpadů pro hnojení zemědělských půd (ŠEBEK 1987). Další možné využití sorpčních vlastností bentonitu je pro výrobu katalyzátorů a jako nosiče pesticidních prostředků. Použití bentonitu k zúrodňování půd se využívá zejména v procesu rekultivace. Jakostní požadavky na využitelnost bentonitu pro zemědělství nově rozpracovala PEKÁRKOVÁ (1988).

Hodnocení bentonitů pro slévárenské účely

V současné průzkumné praxi je používána následující metodika určování jakosti slévárenských bentonitů:

a) Odběr a homogenizace vzorku

Z vrtného jádra uloženého v typizované jádrovnici určí technolog ve spolupráci s geologem segmenty, které mají být shrnuty do jednoho vzorku pro technologické zkoušky. Vzorkový segment je volen podle makroskopického vzhledu suroviny s uvážením případné minimální mocnosti ještě ekonomicky vytižitelné. Pokud by surovina získaná z vrtu vykazovala petrografickou homogenitu v mocnosti přesahující 2 m, je tato poloha rozdělena do více vzorků. Vzorek pro technologické zkoušky je odebrán průběžně z celého segmentu, obvykle je to polovina jádra. Hmotnost jednoho vzorku se pohybuje od 3 do 5 kg. Pro laboratorní zkoušky je každý ze vzorků homogenizován, aby reprezentoval průměrnou jakost celého vzorkovaného segmentu. Vzorek je usušen při 60–70 °C a pak zdrobněn na čelisťovém drtiči na zrnitost pod 20 mm. Z takto upraveného vzorku se oddělí kvartací podíl o hmotnosti asi 500 g pro stanovení zbytků na sítích. Zbylý podíl se mele na dezintegrátoru na zrnitost pod 4 mm. Kvartací se oddělí přibližně 30 g vzorku pro stanovení alkality a výměnné kapacity. Zbytek mletého vzorku je uložen v dokumentačním skladu. Podle výsledku základních zkoušek určí technolog, které vzorky je možno sloučit k provedení zkoušek vaznosti. Z dokumentačních vzorků se provede sesyp v poměru mocnosti základních segmentů tak, aby sloučený vzorek měl hmotnost asi 3 000 g. Tento vzorek je znovu sušen při 60–70 °C a dvojnásobným mletím na desitegračním mlýnu typu Alpine s vzdušným tříděním se zjemní na zrnitost, odpovídající maximálnímu zbytku 30 % na síti o velikosti ok 0,063 mm. Takto upravený vzorek slouží k provedení laboratorních zkoušek vaznosti.

b) Laboratorní zkoušky

Laboratorní zkoušky jakostních znaků bentonitů se provádějí podle ČSN 72 1350 (tab. 4). Rozhodujícím znakem pro klasifikaci bentonitu je jeho vaznost při určité vlhkosti

Tabulka 4
 ČSN 72 1350 Bentonit pro slévárenské účely

vlastnost		slévárenský bentonit					
		neaktivovaný			aktivovaný		
		Normál 550	Standard 650	Speciál 750	Sabemil 450	Sabemil 550	Sabemil 650
vlhkost při nakládání		7 až 14					
rozmezí [%]							
zbytek na síť [mm]		1,0					
max. [%]		30,0					
vaznost při vlhkosti [%]							
3,0 ± 0,1		54	64	74	78	88	98
6,0 ± 0,2		nevymezeno					
10 ± 1,0		nevymezeno					
		35	44	44	44	54	64

formovací směsi složené ze 7 % bentonitu a 93 % normového písku. Mimo zkoušky předepsané normou se v průzkumných laboratořích stanovuje ještě obsah a vzhled hrubších částic, a to ve frakcích větších než 0,2 mm, 0,1 mm a 0,063 mm. Toto stanovení slouží jako informace o charakteru matečné horniny, druhotném znečištění suroviny, případně o její melitelnosti. Dále se stanovuje při základních laboratorních zkouškách alkalita a kapacita výměny kationtů neupravené suroviny. Výsledky těchto zkoušek jsou považovány do určité míry za informativní ukazatel množství montmorillonitu v surovině. Dlouholeté zkušenosti ukázaly, že surové bentonity, které vykazují výměnu kationtů menší než 40 mekv $\text{NH}_4/100$ g sušiny, nejsou vhodné k dalšímu zpracování. Výsledek výměny kationtů tedy slouží k eliminaci nevhodných poloh ložiska. Polohy s nižší výměnou kationtů než 40 mekv $\text{NH}_4/100$ g nejsou již podrobovány dalším zkouškám.

Ostatní způsoby využití bentonitu

Zlepšení metodiky technologického průzkumu nových ložisek by mělo přispět k dokonalějšímu jakostnímu charakterizování bentonitových surovin. To vyžaduje, aby soubor zkoušek, až dosud zaměřený skoro výlučně na klasifikační znaky bentonitů pro slévárenské účely, byl rozšířen o zkoušky, kterými by se určovaly jakostní znaky vyžadované ostatními spotřebitelskými odvětvími. Při komplexním posuzování technologických vlastností bentonitu se sledují zejména následující způsoby využití:

Keramika. V tomto průmyslovém odvětví je bentonit používán jako plastifikátor méně vazných surovin. Jakostní požadavky jsou určovány PNK 72 1359 – Keramický bentonit. Vzhledem k náročným požadavkům na obsah Fe_2O_3 (max. 2,5 %) nepřipadá využití severočeských bentonitů pro tento účel v úvahu.

Farmaceutický průmysl. Požadavky jsou specifikovány PNK 72 1357 – Bentonit pro farmaceutické účely. Pro využití severočeských bentonitů ve farmacii je závadná barva suroviny (požaduje se bílý nebo slabě nažloutlý bentonit) a nebezpečí přítomnosti As (As nesmí být přítomen ani ve stopách).

Hlubinné vrtání. Používá se bentonitické suspenze jako hustého výplachu jednak k vynášení úlomků hornin ze dna vrtu, jednak k dočasné stabilizaci stěn vrtu. Požadavky na jakost jsou vyjádřeny v návrhu oborové normy pro výrobek značky Bentogan (PNK 72 1351). Jakostní požadavky a metodika zkoušení jsou odvozeny z americké normy API CODE RP - 29.

Stavebnictví. Používá se bentonitů jako těsnících hmot při vodo hospodářských stavbách. Požadavky byly standardizovány podnikovou normou Severočeských keramických závodů Most PNK 72 1360 – Bentonit pro stavební účely. Obchodní značka bentonitu pro stavební účely je Sabenil G.

Obalová technika. Využívá se vlastnosti bentonitů pohlcovat atmosférickou vlhkost. Požadavky na jakost výrobku obchodní značky Dehydrosil jsou obsaženy v podnikové normě SKZ Most PNK 66 8471 – Vysoušedlo pro obalovou techniku.

Bělení minerálních a rostlinných olejů a tuků: používá tzv. bělicí hlinku, což je sušený, mletý a minerálními kyselinami za varu aktivovaný bentonit. V současné době platí jakostní předpis ČSN 72 1599 Beliacia hlinka z roku 1978. Hlavním ukazatelem

je odbarvovací schopnost, vyjádřená porovnáním se standardem (100 %). Tato nemá být menší než 90 %.

Pro peletizační účely je bentonit hodnocen PNK 72 1356, severočeské bentonity nespĺňujú některé požadavky tohoto předpisu (obsah $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2$).

Zemědělství: Starší jakostní požadavky se omezovaly na stanovení sorpční kapacity, která měla být min. 40 mekv/100 g pro I. třídu a min. 30 mekv/100 g pro II. třídu. Návrh nových jakostních kondic (PEKÁRKOVÁ 1988) navazuje na obecné kondice ministerstva stavebnictví z r. 1979, definuje nově jejich technologické vlastnosti a doplňuje ložiskové parametry u neprůmyslového způsobu dobývání. Byly navrženy následující soubory laboratorních zkoušek:

Základní zkoušky prováděné u všech vzorků, charakterizující litofaciální poměry:

1. stanovení výměnné kapacity;
2. zmitostní rozbor za mokra (u neupravených vzorků) – frakce 8 mm, 2 mm, 1 mm, 0,25 mm, 0,063 mm, v případě hrubě zmitého vzorku doplnit o frakce 100 mm, 30 mm;
3. stanovení jílových částic, frakce pod 0,002 mm.

Zkoušky doplňkové, používané u všech vzorků, charakterizující petrograficko-technologické typy nebo sdružené těžební úseky ložiska:

4. stanovení sorpce metylénovou modří (obsah aktivního jílu);
5. stanovení Na-, K-, Ca- a Mg-kationtů v sorpčním komplexu;
6. stanovení rtg.-analýzou (kvalitativní, semikvantitativní);
7. stanovení uhlíčanů (celkových – vyjádřených jako CaCO_3);
8. silikátový chemický rozbor (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , FeO, TiO_2 , CaO, MgO, Na_2O , K_2O , MnO, SO_3 , CaCO_3 , MgCO_3 , volný SiO_2 , ztráta žiháním, nerozpustný zbytek);
9. stanovení pH (aktivní a výměnné);
10. stanovení organických látek;
11. stanovení bobtnavosti;
12. spektrální analýza;
13. orientační mineralogicko-petrografický popis zbytků na sítích se semikvantitativním hodnocením;
14. stanovení přirozené rozpadavosti. Zkouška se provádí podle metodiky, kterou zpracoval Výzkumný ústav meliorací.

Kvalitativní kritéria zemědělských bentonitů (návrh)

1. Základní vlastnosti

- převaha jílových částic (nad 50 % částic pod 0,002 mm),
- podstatný obsah minerálů skupiny montmorillonitu (nejméně 25 %), případně jiného bobtnavého materiálu (minerálu),
- sorpční kapacita nejméně 30 mval/100 g pro průzkumné dílo (do suroviny lze zahrnout polohy se sorpcí min. 25 mval/100 g),
- převaha Ca-, Mg-kationtů v sorpčním komplexu,
- dobrá přirozená rozpadavost.

2. Závadné příměsi

- větší příměs kaolinitu (nad 25 %),
- větší příměs volného SiO_2 – např. křemen, cristobalit (nad 25 %),
- větší příměs kyseliny křemičité – amorfní formy (nad 10 %),
- příměs hrubě zrnitých pevných částic 30–100 μm do 5 % hmotnostních (např. klastická příměs, železito-vápenaté konkrce),
- látky poškozující ekosféru – limitní množství sledovaných prvků.

Pro jednorázovou aplikaci je nutné zajistit minimálně 500 tis. t bentonitu, což je v souladu s minimálním množstvím bilančních zásob podle obecných kondic pro ložiska bentonitu.

Základní technologické typy bentonitu a možnosti jejich úpravy a využití

Jak již bylo uvedeno v kapitole o procesu zvětrávání a vzniku bentonitu, je pro zvětrávání alkalických neovulkanitů charakteristické vytváření tří pásem. Jednotlivým pásmům odpovídají i charakteristické typy bentonitů:

Typ A: dobře aktivovatelný typ bentonitu. Charakterizuje jej vysoký obsah montmorillonitu, dokonalá přeměna – bentonitizace skelné hmoty a živců v průběhu první fáze alterace ve vodním prostředí, uvolnění a odnos karbonátů a dokonalý rozklad minerálů železa na limonitovou formu ve druhé fázi alterace. V makroskopickém popisu se bentonit jeví jako žluté až žlutozeleně zbarvené, jílovitě rozložené psamitické nebo pelitové tufy či tufity, někdy rezavě hnědě šmouhované, na puklinách s limonitickými povlaky, event. též jako zeleně či šedozeleň zbarvené tufy s červenými či fialovými šmouhami; vzácně je přítomen biotit nebo zcela chybí. Karbonáty jsou rozložené a zpravidla přemístěny do nižších poloh. V technologickém hodnocení je charakteristická vysoká výměna kationtů (kolem 50 mekv/100 g), v nejsvrchnější, dokonale alterované části je někdy patrný i mírný pokles výměny kationtů (počátek kaolinitického zvětrávání). Bentonit má vysoké hodnoty vaznosti při 3 % a při 6 % obsahu vody, snadno se převádí na formu Na natrifikační sodou, aktivovaný bentonit si podržuje vysokou vaznost i při 10 % převlhčení. Hlavní využití tohoto typu bentonitu je ve slévárnictví a ve stavebnictví.

Typ B: běžný typ bentonitu, obtížněji aktivovatelný. Charakterizuje jej vysoký obsah montmorillonitu, zpravidla úplné zjilování skelné hmoty a živců v průběhu první fáze alterace ve vodním prostředí, avšak neukončená alterace dalších minerálů, zejména kalcitu, a minerálů železa. V makroskopickém popisu se bentonit jeví jako jílovitě rozložené psamitické, pelitové, popřípadě aglomerátové tufy nejružnějšího zbarvení. Velmi časté je zbarvení v šedých a zelenošedých, případně modrošedých odstínech, probíhající, avšak neukončený proces přeměny minerálů železa vyjadřuje rezavě červené, popřípadě fialové šmouhování. Železo je přítomno zčásti ve formě biotitu. Karbonáty jsou přítomny v nerozložené nebo částečně rozložené formě (žilky kalcitu nebo aragonitu). V technologickém hodnocení je charakteristická vysoká výměna kationtů (kolem 50–60 mekv/100 g), vysoká vaznost při 3 % i při 6 % obsahu vody. Bentonit se obtížněji převádí na formu Na aktivací sodou, pro aktivovaný bentonit je charakte-

ristický určitý pokles vaznosti při 10 % převlhčení. Tento typ bentonitu lze doporučit po speciální úpravě pro účely obalové techniky (Dehydrosil) k aktivaci na formu H (kyselé aktivované bentonity k odbarvování olejů), k aktivaci na formu Al pro sedimentaci odpadových vod, bez úpravy pro použití v zemědělství. Ke zlepšení vlastností tohoto typu bentonitu pro slévárenské účely by bylo nutno vytvořit příznivé podmínky k dokončení jeho hydratace, tj. k dokončení hydratace minerálů s kationty druhé Goldschmidtovy skupiny, zejména Fe^{3+} , a k uvolnění produktů rozkladu z fázového rozhraní. Z křivky rozpustnosti Fe_2O_3 (obr. 5) je zřejmé, že jsou obecně dvě možnosti. Vedle kyselého prostředí ($pH = 2-3$) se účinně projevuje i prostředí silně alkalické ($pH = 10$). Proto ke zlepšení aktivovatelnosti bentonitu lze přistupovat dvěma zásadními způsoby úpravy:

1. přirozenou cestou – tzv. zráním natěžené suroviny v oxidačním kyselém prostředí,
2. umělou cestou – v alkalickém prostředí za přísady NaOH v průběhu procesu aktivace (tzv. směsná aktivace).

Typ C: horší typ bentonitu, obtížněji aktivovatelný. Má v podstatě obdobné složení jako typ B, avšak v důsledku cementace uvolněných roztoků z pásma A, příp. B, a vzniku novotvořených minerálů – zejména kalcitu, pelosideritu, případně dolomitu – došlo k podstatnému zhoršení technologických vlastností suroviny z hlediska jakostních požadavků sléváren. Tento typ však může být velmi dobře využit pro zúrodnování půd.

Shrnutí výsledků

Výzkumnými pracemi v letech 1980–1985 bylo prokázáno, že území v části Doupovských hor je potenciálně nadějně na zajištění nových zásob slévárenských bentonitů, odpovídajících vyšším jakostním požadavkům slévárenské normy ČSN 72 1350. Na ploše ca 500 km² byla nejprve zpracována rešerše dosavadních průzkumných prací a účelová přehledná geologická mapa. Dále byla ověřena aplikace leteckého magnetometrického měření. Z těchto podkladů byly vymezeny základní faciální typy vulkanických hornin pro stanovení prognóz. V první fázi to bylo vymezení prognózních území, jež byla ve druhé fázi ověřována pozemními geofyzikálními pracemi a vrty. Ze srovnání výsledků první a druhé fáze prognóz (příloha 1) je zřejmá vysoká nadějnost vyhodnocených prognózních území.

Nové poznatky ze studia geologických a tektonických podmínek pro vznik ložisek bentonitu se opírají hlavně o geologickou interpretaci letecké magnetometrie (obr. 7). Ta potvrdila strukturální stavbu stratovulkánu Doupovských hor, definovanou КОРЕЦКÝМ (1963), potvrdila dva tektonické systémy – krušnohorský a sudetský, přičemž ještě více zdůraznila vazbu vulkanické činnosti na krušnohorské směry tektoniky, zejména podél krušnohorského a střežovského zlomu. Na střežovský zlom se podle interpretace magnetometrie váže rozsáhlý vulkanismus v podloží s. části pětipeské pánve, označený autorem jako „střežovský vulkanismus“, který patrně představuje propojení vulkanismu Doupovských hor a Českého středohoří. Zlomky sudetského směru se významně uplatňují na stavbě terénu v kombinaci se zlomy krušnohorského směru zejména v j. části území (Podbořansko), nejvýraznější je linie zlomu sudetského směru Poláky–Libědice,

označená autorem jako „libědický zlom“. Tato linie představuje z. omezení křídových sedimentů v podloží pětipeské pánve.

Významná ložiska bentonitu jsou vázána na bazální pyroklastika o mocnosti 30 až 50 m, místy i větší, jež jsou vyvinuta v pruhu širokém asi 15 km od linie libědického zlomu směrem k linii Nepomyšl–Kláštevec nad Ohří a dlouhém asi 20 km, tj. napříč studovaným územím od Kadaně až po Podbořany, převážně však v podloží pětipeské pánve. Příznivé podmínky pro průzkum ložisek bentonitu jsou v s. části území v prostoru Vlkaň–Blův–Krásný Dvůrček–Rokle (kadaňská oblast) a v j. části území v okolí Podbořan (příloha 1).

Ze studia procesu zvětrávání hornin je odvozen vznik bentonitu ve dvou fázích. V první fázi dochází k argilitizaci vulkanického skla a části minerálů při vniknutí vulkanického popela do vodního prostředí, ve druhé fázi v průběhu přirozeného stadijního zvětrávání nastává různý stupeň hydratace zbylých minerálů. Podle průběhu přirozeného stadijního zvětrávání lze rozlišit v závislosti na stupni hydratace základní skupiny bentonitu: bentonit s ukončenou hydratací, charakterizovaný přítomností montmorillonitu a hydrátů železa (pásma A), bentonit s neukončenou hydratací charakterizovaný rovněž přítomností montmorillonitu, převážná část železa však zůstává ve formě silikátů nebo oxidů (pásma B); rozložené karbonáty se koncentrují v nižších polohách bentonitu a vytvářejí zde pásmo cementace (pásma C).

Na příkladu 10 vrtů (obr. 6) jsou uváděny charakteristické profily zvětrávání ve v. části Doupovských hor. Nejvýznamnějšími faktory ovlivňujícími vznik, úložné poměry a kvalitativní skladbu ložisek bentonitu jsou: složení matečné horniny, reliéf podloží, charakter podložních hornin, ukládání vulkanoklastik do vodního prostředí, teplota prostředí, projevy tektoniky, následné projevy vulkanické činnosti a eroze a oběh podzemních vod atmosférického původu.

Z hlediska genetické klasifikace KUŽVARTÁ (1984) lze vznik jakostních aktivovatelných bentonitů v neovulkanitech Doupovských hor vysvětlit kombinací dvou procesů:

- argilitizace v jezerním prostředí bezprostředně po uložení popela, jehož teplo mohlo ohřátím vody v mělkých nádržích přispět k usnadnění proměny,
- následným zvětráváním působením atmosférických vod.

Na podkladě definice procesu zvětrávání lze vymezit i základní typy bentonitu, odpovídající jednotlivým pásmům zvětrávacího profilu:

Typ A – dobře aktivovatelný typ bentonitu. Má vysoký obsah montmorillonitu, dokonale je přeměna – bentonitizace skelné hmoty a živců v průběhu první fáze alterace ve vodním prostředí, uvolnění a odnos karbonátů a dokonalý rozklad minerálů železa na limonitovou formu ve druhé fázi alterace.

Typ B – běžný typ bentonitu, obtížněji aktivovatelný. Má vysoký obsah montmorillonitu, zpravidla úplné zjištění skelné hmoty a živců v průběhu první fáze alterace ve vodním prostředí, avšak neukončenou alteraci dalších minerálů, zejména kalcitu a minerálů železa. V závislosti na podmínkách rozpustnosti Fe_2O_3 jsou uváděny dva zásadní způsoby zlepšení aktivovatelnosti tohoto typu bentonitu: 1. přirozenou cestou, tzv. zráním natěžené suroviny v oxidačním kyselém prostředí a 2. uměle – v alkalickém prostředí za přísady NaOH v průběhu procesu aktivace (tzv. směsná aktivace).

Typ C – horší typ bentonitu, obtížněji aktivovatelný. Je podobný typu B, avšak v důsledku cementace uvolněných roztoků z pásma A, příp. B, a vzniku novotvořených karbonátů došlo k podstatnému zhoršení technologických vlastností suroviny. Charakteristická je přítomnost pelosideritu, kalcitu, popřípadě dolomitu.

Ze srovnání základní geologické stavby ložisek bentonitu v s. části území (Kadaňsko) a v j. části území (Podbořansko) lze vysledovat odlišný průběh druhé fáze vzniku ložisek bentonitu, tj. různý průběh přirozeného stadijního zvětrávání. Na Kadaňsku byla bazální pyroklastika původně překryta mocnými lávovými proudy, které byly v průběhu vytváření pětipeské pánve na linii střežovského zlomu denudovány. To vyvolalo značné diagenetické zpevnění bentonitu a dvojí hydrataci: na povrchu bazálních pyroklastik a při jejich bázi, neboť zde docházelo i k hydrataci bentonitů na styku s porézním podložím vlivem pohybu spodních vod atmosférického původu. Na Podbořansku došlo při okraji pětipeské pánve k podstatně menšímu překrytí bazálních pyroklastik. Malé výškové rozdíly a rozdílné podloží způsobily vznik dobře hydratovaných bentonitů (pásma A) jen ve svrchní části bentonitizovaných tuřů.

Získané poznatky byly využity k vymezení prognóz a k jejich průzkumu pro zabezpečení potřeb slévárenského průmyslu. Značné ověřené zásoby umožňují bentonit využívat v širokém rozsahu i v jiných průmyslových oborech a v zemědělství.

K tisku doporučil J. Vtělenský

Literatura

- ČLEK, V. (1965): Ložiska bentonitů na východním úpatí Doupovských hor. – Acta Univ. Carol., Geol., 3, 203–226. Praha.
- (1969): Závěrečná zpráva o průzkumu bentonitu pro zemědělské účely Vysoké Třebovice. – MS Geoindustria, s. p. Praha.
- ČERNÁ, M. et al. (1982): Závěrečná zpráva Kadaň-jih (ložisko Rokle). – MS Geoindustria, s. p. Praha.
- ČÍČEL, B. - NOVÁK, I. - HORVÁTH, I. (1981): Mineralógia kryštalochémia slov. – Slov. akad. věd. Bratislava.
- FOSTER, M. D. (1962): Interpretation of the composition and classification of the chlorites. – Geol. Surv. profess. Pap., 414–A. Washington.
- FRANČE, J. (1980): Doupovské hory – bentonit. Studie východní části Doupovských hor. – MS Geoindustria, s. p. Praha.
- (1982a): Bentonit-Lagerstätten im Tchechischen Massiv. – Z. angew. Geol., 28, 2, 51–57, 3, 122–126. Berlin.
- (1982b): Nový průzkum bentonitu v ČSR. – Geol. Průzk., 1, 25–27. Praha.
- (1985): Geologie ložisek bentonitu ve východní části Doupovských hor, metodika jejich průzkumu a prognóz. (Kandidát. disert. práce.) – Univ. Karl. Praha.
- GOLDSCHMIDT, V. M. (1937): The principles of the distribution of chemical elements in minerals and rocks. – J. Chem. Soc., 655–672. London.
- GOODMAN, B. A. (1978): An investigation by Mössbauer and EPR spectroscopy of the possible presence of iron-rich impurity phases in some montmorillonites. – Clay Miner., 13, 351–6. Washington.
- GÜVEN, N. - PAESE, R. W. (1975): Electron-optical investigation on montmorillonites, II. – Clays and Clay Miner., 23, 182–191. Washington.

- JACKSON, M. L. - SHERMAN, G. D. (1953): Chemical weathering of minerals in soils. – Adv. in Agronomy, 3, Acad. Press., 219–318. New York.
- JENNY, H. (1950): Origin of soils. – 1–386, Wiley and sons. New York.
- JIČHA, J. et al. (1989): Závěrečná zpráva úkolu Doupovské hory – bentonit. – MS Geoindustria, s. p. Praha.
- KAPITÁN, J. et al. (1968): Závěrečná zpráva úkolu Račetice-Podlesice. – MS Geoindustria, s. p. Praha.
- KOPECKÝ, L. (1967): Genetické typy bentonitických hornin v neovulkanitech Českého masívu. – Sborník konference o severočeských bentonitech, 27.–29. 6. 1967, 35–38. Ústí n. L.
- (1972): Relationship between fenitization, alkaline magmatism, sulphide-barite-fluorite mineralization and deep fault tectonics in the Bohemian Massif and in the Rhine graben. – XXIVth Sess. Int. Geol. Congr. Canada, sect. Mineralogy, 41–50. Montreal.
- (1977): Současný pohled na geologii Českého středohoří. – Sborník k 125. výročí narození J. E. Hibsche, 47–60. Krajské muzeum Teplice.
- KOPECKÝ, L. et al. (1963): Třetihorní vulkanismus. – Vysvětlivky k přehledné geol. mapě ČSSR 1 : 200 000 M-33-XIV Teplice a M-33-VIII Chabařovice, 154–182. – Ústí, úst. geol. Praha.
- KOPECKÝ, L. - KVĚT, R. - MAREK, J. (1985): K otázkám existence krušnohorského zlomu. – Geol. Průzk., 6, 164–168. Praha.
- KRUTSKÝ, N. et al. (1984): Závěrečná zpráva o průzkumu bentonitu a kaolínu Rokle. – MS Geoindustria, s. p. Praha.
- KŘELINA, B. et al. (1981): Závěrečná zpráva úkolu Blšany – Letov. – MS Geoindustria, s. p. Praha.
- (1984): Závěrečná zpráva úkolu Blšany II. – MS Geoindustria, s. p. Praha.
- KUŽVART, M. (1984): Geologie ložisek nerudných surovin. – Čs. akad. věd. Praha.
- (ed.) (1977): Ložiska nerudných surovin ČSR, 2/1. In: J. Franče: Bentonit, 354–378. – Čes. geol. úřad. Praha.
- (1983): Ložiska nerudných surovin ČSR. In: J. Franče: Bentonit, 189–200. – Univ. Karlova, Praha.
- MAROUŠEK, J. (1985): Blou – Krásný Dvůrček – geofyzikální práce. – MS Geoindustria, s. p. Praha.
- MIKA, J. et al. (1977): Závěrečná zpráva o průzkumu kaolínu a bentonitu Vlkáň. – MS Geoindustria, s. p. Praha.
- (1978): Závěrečná zpráva o průzkumu bentonitu Račetice. – MS Geoindustria, s. p. Praha.
- PEKÁRKOVÁ, R. (1988): Bentonity pro zemědělské účely. – MS Úst. nerost. sur. Kutná Hora.
- RAUS, M. (1984): Závěrečná zpráva úkolu Nepomyšl-Velká. – MS Geoindustria, s. p. Praha.
- ROSS, C. S. - HENDRICKS, S. B. (1945): Minerals of the montmorillonite group. – U. S. Geol. Surv. Prof. Pap., 205 – B, 23–79. Washington.
- ROSS, C. S. - SHANNON, E. V. (1926): Minerals of bentonite and related clays and their physical properties. – Am. Ceram., 9, 77–96. New York.
- SEDLICKI, I. D. (1941): Klassifikacija mineralov kory vyvetrivaniya. – Sov. Geol., 23–35. Moskva.
- ŠHRBENÁ, B. (1971): Mineralogicko-petrografická charakteristika bentonitu z Vysokých Třebešic a zhodnocení jeho významu pro zemědělství. – Věd. Práce Výzk. Úst. Melior., 249–261. Praha.
- SMIRNOV, V. I. (1983): Geologie ložisek nerostných surovin. – St. nakl. techn. lit. Praha.
- STEVENS, R. E. - CARRON, M. K. (1948): Simple field tests for distinguishing minerals by abrasion Ph. – Amer. Mineral., 33, 31–42. Washington.
- ŠALANSKÝ, K. - MANOVÁ, M. (1977): Základní geofyzikální výzkum ČSR. Letecké geofyzikální mapování 1 : 25 000. XX. Severozápadní Čechy – jižní část. – MS Geofyzika. Praha.
- ŠEBEK, V. (1987): Využití přírodních sorbentů. – Sborník Využití bentonitů v zemědělství, 74–88. Dům techniky ČSVTS. Ústí nad Labem.
- ŠINDBLÁR, J. (1982): Chemické složení některých bentonitů v severozápadních Čechách. – Acta Univ. Carol., Geol., 1–2, 143–150. Praha.
- (1987): Metody mineralogického výzkumu a výskytu bentonitů v Čechách. – Sborník Využití bentonitů v zemědělství, 1–17. Dům techniky ČSVTS. Ústí nad Labem.
- TAYLOR, G. L. et al. (1968): Analysis of iron in layer silicates by Mössbauer spectroscopy. – Clays and Clay Miner., 16, 381–391. Washington.
- VELIKOV, D. et al. (1973): Srovnávací studie o bentonitech z ložisek Ginovci a Rankovci, Makedonie. – Acta Univ. Carol., Geol., 1–2, 51–77. Praha.
- vine (1961): Tektonický vývoj Československa. – Čs. akad. věd. Praha.

Bentonites in the eastern part of the Doupovské hory Mts.

(Summary of the Czech text)

JOSEF FRANČE

Received November 17, 1989

Research into bentonites in the eastern part of the Doupovské hory Mts. was induced by higher quality requirements of the Czechoslovak foundry industry on foundry bentonite resulting from the new quality standard valid from January 1, 1977 (tab. 4). The area under study is part of Tertiary alkaline volcanism in NW Bohemia. It is known from previous works that pyroclastic rocks prevail here considerable part of which succumbed to argillization and bentonitization. The recent research has concentrated on 1. elucidation of geological and tectonic conditions of the origin of the bentonite deposits, 2. study of the regularities in the formation and development of bentonite deposits, 3. processing of methods of detection, research and evaluation of bentonite deposits.

Geological and tectonic conditions for the formation
of bentonite deposits
in neovolcanites of the Bohemian Massif

Tertiary volcanism in NW Bohemia is linked with Saxonian folding which was in the Bohemian Massif accompanied by epeirogenetic movements. Saxonian tectonics is manifested by the formation of three fault systems. In the studied area the faults of the Krušné hory direction (NE-SW) and Sudeten direction (NW-SE) (fig. 1) dominate. According to the latest opinion volcanism in this area is linked with the formation of the Ohře rift delimited by KOPECKÝ (1972, 1977, 1985) as part of the Central Bohemian rift system – fig. 2. The Ohře rift is about a 280 km long and in midpart 25 km wide neoid tectonic trench of ENE direction, partly filled with Tertiary to Quaternary sediments of tectonically separated basins and products of alkaline magmatic activity of Paleocene up to Quaternary age. The Ohře rift is demarcated by two marginal rift faults: the Krušné hory fault in the NW and Litoměřice fault in the SE. Through the centre of the rift runs a line of the central deep-seated fault.

In the area under study we find the volcanic activity of the Doupovské hory strato-volcano and Střezov volcanism representing older volcanic activity overwhelmingly covered with younger deposits of the Pětipsy basin. During the volcanic activity the differentiation from basic volcanite members toward more acid ones terminated by basic members again was passing off. The deposits of high-rate bentonite types are restricted to products of basic volcanism, to a thick formation of basal pyroclastic rocks stretching in an approximately 15 km wide and 20 km long belt transversally to the line of the Ohře rift in the area between Kadaň and Podbořany (fig. 7). The volcanic rocks set on here on the basal Tertiary formation or directly on the rocks of the crystalline

complex (in the N) or the Permo-Carboniferous rocks (in the S). Volcanic activity here started by the end of the Oligocene by mighty eruptions along the whole Krušné hory fault. Enormous quantities of pyroclastic rocks were formed being in the first phase of the volcanic activity most probably wind-transported over the peneplained terrain. In a shallow water environment first the tuffs mixed with the deposits of the basal Tertiary formation, later tuffs or finely redeposited tuffites prevailed in the profile. The late Paleogene peneplain is within the course of the volcanic activity disrupted by successive vaulting of the central part of the Krušné hory-Ohře tectono-volcanic zone and the development of the Miocene Krušné hory-Piedmont Basin. The continuing volcanic activity accompanied by tectonic activity give rise to the stratovolcano of the Douvovské hory Mts. Sřezov volcanism, on the other hand, owing to the basin depression formed along the Sřezov fault, plunges into greater depths and what we observe today on the surface are just its remnants in form of the Sřezov Valley.

Figs. 7 and 8 show schematized geological conditions of the deposits in the N part in the Kadaň area and in the S part in the Podbořany area. Of the N part remains of lava sheets in places complicating the mining conditions are typical. Due to the previous extensive overlap by lava flows, high diagenetic solidification of bentonite and its uncommon colour varieties are typical of this area. When worked, bentonite is liable to quick weathering, disintegrates and passes into usual yellowgreen or greygreen shades. As the basement is porous, groundwaters of atmospheric origin circulated not only in the upper part of pyroclastic rocks but also at their base which has led to great thickness of the exploitable raw material. Bentonite derived from this area is of high-rate quality exploitable by foundry industry. In the southern margin of the studied area near Podbořany basal pyroclastic rocks along the margin of the Pětipsy basin were in a substantially smaller extent superimposed. Small altitude differences and different basement caused that well hydrated bentonites occur here only in the upper part of bentonitized rocks. Bentonite from this area also displays high-quality composition suitable for exploitation by the foundry industry. For the both areas deposit prognoses have been worked out. Search for bentonite deposits performed at selected localities disclosed extensive deposit reserves. The Rokle deposit has been worked since 1983, bentonite is treated by activation into Na form and distributed into foundries under the commercial designation Sabenil.

Regularities of the formation and development of bentonite deposits

The result of the study is an accentuation of the zonal structure of the weathered mantle and explanation of the bentonite origin as two-phase, depending on the behaviour of cations in the weathering process according to Goldschmidt's classification (1937). In the first phase volcanic glass and part of the minerals were argillitized during the penetration of volcanic ash into the water environment, during the second phase two fundamental bentonite groups were formed in dependence upon the hydratation degree in the course of natural gradual weathering: bentonite with terminated hydratation characterized by the presence of montmorillonite and iron hydrates, and bentonite with unfinished hydratation characterized also by the presence of montmorillonite, the

prevailing part of iron remains however in form of silicates or oxides. Beside the mentioned hydration process decomposition and release of carbonates takes place, the released solutions concentrate in lower-situated layers of bentonite and constitute here a cementation belt – bentonite with high carbonate contents. The decomposition processes during the weathering of alkaline rocks into bentonite can be classified into three zones given in fig. 6. The ten boreholes in fig. 6 exemplify typical weathering profiles in the eastern part of the Doupovské hory Mts. The most significant factors influencing the origin, depositional conditions and qualitative composition of bentonite is the composition of the parent rock, relief of the basement, character of the underlying rocks, presence of water environment in the time of pyroclastic rock deposition, environmental temperature, tectonic manifestations, successive manifestations of volcanic activity and erosion, and circulation of groundwaters of atmospheric origin. From the viewpoint of Kužvar's (1984) genetic classification the origin of high-quality activatable bentonites in neovolcanites of the Doupovské hory Mts. can be explained by combination of the two processes:

- argillization in a lacustrine environment immediately after the ash deposition heating the water of shallow basins which could support the alteration,
- successive weathering by the atmospheric water action.

Methods of prospecting for bentonite deposits, their investigation and evaluation

The basic methodological approach to the prospecting for the deposits applied in the eastern part of the Doupovské hory Mts. involves the following documentation and exploration works:

- study of the drilling documentation and compilation of the preliminary research map,
- compilation of a special-purpose geological map (1 : 25 000),
- evaluation of results of airborne magnetometric measurement and compilation of the map of facies development of volcanites,
- surface geophysical measurements,
- delimitation of prognostic areas and verification of prognoses by drilling works,
- processing of the map of prognoses.

Application of magnetometric measurement in bentonite detection is based on the fact that all the rocks of the alkaline provenance are strongly magnetic which holds particularly for the lava intrusions. Argillitized effusive rocks contain a considerable proportion of iron bound in a hydrated form and during magnetic measurements their nT values are strikingly lower. Aerial photographs were taken at 50 and 300 m above the terrain. The pictures from the 50 m altitude appeared to be the most convenient. Based on the results of this measurement a map of facies development of volcanites was compiled distinguishing them into 3 groups:

1. Thick layers of bentonitized pyroclastic rocks, thin layers of lava sheets and very thin volcanite layers near the underlying rocks having nT values mostly around zero, 75–100 nT as maximum.

2. Thick layers of solid pyroclastic rocks, in places partly bentonitized and thin layers of solid basaltic rocks reaching the values of 400 up to 500 nT as maximum.
3. Thick layers of solid basaltic rocks, as a rule with their own vent indicated by the values exceeding 400 or max. 500 nT. In the proximity of the Krušné hory and Střezov faults the measured values reach up to 2 000 nT.

The facies development of volcanites is schematized in fig. 7. The map of the facies development of volcanites was the basis for delimitation of prognostic areas in the second phase verified by surface geophysical measurements and drillings. From the comparison of results from the first and second prognostic phases (pl. 1) it follows that the evaluated prognostic areas, based on magnetometric measurements, are very promising.

The part on the investigation and evaluation of bentonite deposits describes characteristic properties of bentonite from neovolcanites of the Bohemian Massif and methods of mineralogical and technologic investigations. Chemical analyses of bentonites and corresponding crystallochemical formulae are given in tabs. 1–3. The investigated bentonites here represent the localities Blšany (s. part of the studied area) and Rokle (n. part). Methodology of the technologic research is focussed on the employment of bentonite in foundry industry (tab. 4 – Czechoslovak quality standard for bentonite used in foundry industry for moulding of raw bentonite). The quality standards and requirements for other kinds of bentonite exploitation are given too. The most significant is the strength test of a foundry compound at 10 % overhumidification. Only well activatable bentonites can meet the required strength values of this test, i.e. bentonites well transferable from Ca-Mg form to Na form (substitution of Ca-Mg cations by Na ones by a 4 % admixture of Na_2CO_3).

Based on the definition of a weathering process the basic bentonite types corresponding to the individual zones of the weathering profile can be specified:

Type A – well activatable bentonite type with high montmorillonite contents, perfect alteration – bentonitization of the glassy mass and feldspars in the course of the first alteration phase in water environment, release and removal of carbonates and total decomposition of iron minerals into a limonite form in the second alteration phase.

Type B – common bentonite type with lowered activatability, with high montmorillonite contents, as a rule total argillitization of the glassy mass and feldspars in the course of the first alteration phase in water environment but unfinished alteration of other minerals, namely calcite and Fe minerals. In dependence upon the solubility conditions of Fe oxide two principal ways of how to improve the activatability of this bentonite type are reported: 1) natural way, i.e. aging of the worked raw material in oxidizing acid environment, and 2) artificial way – in alkaline environment with NaOH admixed during the activation process (so-called mixture activation).

Type C – bentonite of worse type, hardly activatable. It has virtually similar composition as the B type bentonite, however due to cementation of solutions released from the belt A and/or B and origin of newly-formed carbonates (Fe, Ca, Mg), the technological properties of the raw material have considerably aggravated as to the quality requirements of the foundry industry. Raw material of this type is exploitable in agriculture for soil reclaiming.

Explanation of tables

Table 1. Chemical analyses of natural bentonites (wt %).

Table 2. Chemical analyses of bentonite ratios <1 μm (wt %).

Table 3. Crystallochemical formulae of montmorillonite in bentonite.

Table 4. Czechoslovak state standard (ČSN) 72 1350 – Bentonite for foundry purposes.

Explanation of text-figures

1. Tectonic map of the area of N Bohemian volcanites with delimitation of the studied area. According to the Tectonic Map of the CSSR (since 1961), schematized and supplemented by the author.
1 – Tertiary sediments; *2* – Tertiary volcanism; *3* – Cretaceous; *4* – Permo-Carboniferous; *5* – Variscan and other granitoids; *6* – platform basement of the Bohemian Massif.
2. Structure of the Ohře rift. Schematized after L. Kopecký (1977).
1 – sediments of the Tertiary basins; *2* – Tertiary alkaline volcanites; *3* – Upper Cretaceous platform sediments; *4* – Early Paleozoic platform sediments; *5* – principal rift faults; *6* – terrain steps; *7* – margin of the basins; *8* – inferred subcrustal lines of the 2nd and 3rd neovolcanic phases; *9* – alkaline trachytes (A) and phonolites (B); *10* – melilitic basaltic rocks and polzenites; *11* – main volcanic centres.
3. Scheme of the geological structure of the bentonite deposit Rokle in the Kadaň area.
1 – Quaternary cover; *2* – bentonite; *3* – bentonitized neovolcanites and conglomerates; *4* – remainders of a basalt nappe; *5* – basal Tertiary sediments (kaolin sands); *6* – kaolin, kaolinized gneiss; *7* – gneiss.
4. Scheme of the geological structure of the bentonite deposit Blšany-Letov in the Podbořany region.
1 – Quaternary cover; *2* – clay and sandy sediments of the Pětipsy-Žatec basin; *3* – coal, coal clays of the Pětipsy-Žatec basin; *4* – bentonite; *5* – kaolinic clays, sands and sandstones of the basal Tertiary; *6* – kaolin, kaolinic Podbořany arcose sandstones (Permo-Carboniferous); *7* – reddish-brown arcose sands (Permo-Carboniferous); *8* – tectonics.
5. Comparison of the solubility of Fe, Si and Al oxides in dependence on pH of the solution. According to V. I. Smirnov (1983).
1-4 zones of the weathered mantle: *1* – of remains; *2* – of incomplete weathering; *3* – of half-decomposed primary rocks; *4* – of primary rocks.
6. Characteristic weathering profiles of neovolcanites in the eastern part of the Doupovské hory Mts.
K – bentonitization with transition to kaolinization; A – zone of A bentonitization: total hydration of rocks, well activatable bentonite; B – zone of B bentonitization: incomplete hydration, hardly activatable bentonite; C – zone of C bentonitization: incomplete hydration and cementation (siderite, calcite, dolomite), worse bentonite types. *1* – Quaternary cover; *2* – basal Tertiary in a sandy development; *3* – basal Tertiary, sandstones to quartzstones; *4* – basal Tertiary in a clayey development; *5* – tuffitic clays – transgressive zone; *6* – freshwater chalk with intercalations of coal; *7* – bentonitized basalt; *8* – solid basalt; *9* – kaolin, kaolinized Permo-Carboniferous arcose; *10* – Permo-Carboniferous sandstones and arcose; *11* – kaolin, kaolinized Ohře gneiss; *12* – Ohře gneiss.
7. Geological interpretation of airborne magnetometric measurements. Schematized and simplified according to the Map of facies development of volcanites (J. Franče 1985).
1 – thick layers of solid basaltic rocks; *2* – thick layers of solid pyroclastic rocks in places partly bentonitized, thin layers of solid basaltic rocks; *3* – thick layers of bentonitized pyroclastic rocks, thin layers of lava sheets, very thin volcanite layers close to the underlying rocks; *4* – underlying rocks; *5* – outcrop of a coal-seam, it roughly delimitates the areal extent of the formation of brown-coal seams above volcanites; *6* – tectonic lines; *7* – deep-seated faults. Prognoses of bentonite deposits inferred from the facies development of volcanites are given in plate 1.

Explanation of plate 1

Prognoses of bentonite deposits in the Kadaň and Podbořany regions.

1-3 – volcanic rocks differentiated on the strength of airborne magnetometry: *1* – basaltic rocks of greater thickness; *2* – thick layers of solid pyroclastic rocks in places partly bentonitized, thin layers of basaltic rocks;

3 – thick layers of bentonitized pyroclastic rocks, thin layers of lava sheets, very thin layers of volcanites in the proximity of the underlying rocks; 4 – underlying rocks; 5 – outcrop of a coal seam roughly delimiting the extent of the formation of brown-coal seams above volcanites; 6 – prognostic area delimited on the strength of airborne magnetometry; 7 – prognostic reserves verified by field works (1st phase of drilling works); 8 – explored deposits in the categories of deposit reserves (C2, C1); 9 – tectonic lines; 10 – deep-seated faults.

Бентониты в восточной части Доуповских гор

Исследовательскими работами в 1980–1985 гг. доказано, что область восточной части Доуповских гор обладает чрезвычайно важными потенциальными ресурсами доброкачественных бентонитов для литейного производства и других целей. Значительные месторождения бентонита здесь связаны с базальными пирокластическими породами, залегающими полосой приблизительно в 15 X 20 км. Доступные для разработки участки находятся в сев. части данной области в окрестностях г. Кадань и в южной части в окрестностях г. Подборжаны, а значительная часть данной области перекрыта лавовыми покровами и отложениями Петипесского бассейна. Для фациального различения вулканитов и определения прогнозов применялась аэромагниторазведка, дополненная полевыми геофизическими и буровыми работами. Из изучения процесса выветривания выведено определение трех зон бентонитизации и трех типов бентонита, удобных для обогащения в натриевую форму. В представленной работе подытожены приобретенные сведения о геологическом строении вышеупомянутой области, о закономерностях образования в ней и развития месторождений бентонита и о методике их поисков, разведки и оценки.

Přeložil A. Kříž