

Příloha I

Texty uplatněných certifikovaných metodik

Výsledek projektu: TB010CBU003

Predikce horninových struktur na základě stávajících geologických poznatků,
vedoucích k možnému vybudování dalších podzemních zásobníků pro
uskladňování zemního plynu

Poskytovatel: Česká republika – technologická agentura České republiky

Příjemce: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Řešitel: prof. Ing. Vladimír Slivka, CSc., dr. h. c. a kol.

Listopad 2013

V této příloze uvádíme texty uplatněných metodik včetně originálů odborných posudků, posudků ze strany státní správy, kopii smlouvy s uživatelem metodik a osvědčení státní správy o uznání uplatněných certifikovaných metodik. Autoři včetně jejich mentálního podílu jsou uvedeni u jednotlivých metodik.

Smlouva s uživatelem metodik, posudky a osvědčení vydané Českým báňským úřadem tvoří nečíslovanou součást každé metodiky.

Originály textů metodik včetně příslušných posudků a osvědčení zde uvádíme pro předání výsledků projektu do IS VaV RIV a jejich uznání.

Metodika laboratorního testování horninového prostředí a jeho kolektorských vlastností za podmínek in situ

prof. Ing. Petr Bujok, CSc. (podíl práce 40%)

Ing. Martin Klempa (podíl práce 30%)

Ing. Jindřich Šancer, Ph.D. (podíl práce 25%)

Ing. Jiří Mališ, Ph.D. (podíl práce 5%)

I) Cíl metodiky

Cílem této metodiky je stanovení petrofyzikálních, geotechnických a dalších doprovodných parametrů nutných pro celkové poznání nově budovaných podzemních zásobníků plynu (dále jen PZP) všech typů a pro jejich následný bezpečný provoz. Patří sem zejména:

nutnost stanovení štěpících gradientů pro vrstvy bezprostředního nepropustného nadloží, nutnost stanovení kapilárních prahových tlaků pro nepropustné vrstvy nadloží, nutnost stanovení základních kolektorských parametrů a stability skeletu.

Dále je cílem metodiky stanovit laboratorní postupy měření příslušných parametrů, které budou v mezích možností odpovídat podmínkám in situ. Metodika laboratorního testování je určena jak pro nadloží, izolační horizonty (cap rock) tak pro zájmové uskladňovací obzory (reservoir rock) PZP a bezprostřední podloží, resp. zápolí.

Uvedená metodika vychází z České technické normy vztahené k problematice zřízení a provozu PZP, která je českou verzí evropské normy (použité evropské normy mají status českých technických norem) a EN 1918-2 zavedené v ČSN EN 1981-2 Systémy zásobování plynem – Podzemní zásobníky plynu – Část 2: Provozní požadavky pro zásobníky v ropných a plynových ložiscích (38 6490).

II) Vlastní popis metodiky

II.1 Obecné požadavky pro odběr vzorků hornin z průzkumných a těžebních sond

Druh a rozsah získávání vzorků hornin z těžebních a průzkumných sond určených pro podzemní zásobníky plynu musí být předem specifikován v souladu s účelem projektu, geologickými a hydrogeologickými podmínkami a předpokládanými terénními a laboratorními zkouškami. Techniky a metody odběrů vzorků hornin jsou pro tyto účely specifické a musí být vybrány v souladu s účelem průzkumu ve vztahu k očekávaným geologickým a hydrogeologickým poměrům. Při použití různých metod odběrů vzorků lze očekávat rozdílná porušení a kontaminaci vzorků. Při odběru vzorků mohou obecně vznikat následující porušení:

- mechanické porušení vzorku stlačením, smýkáním, prouděním nebo vibrací v průběhu vrtání;
- porušení v důsledku odstranění původní napjatosti in situ a odpovídajícího odlehčení;
- změnami materiálových a chemických složek jako jsou obsah vrstevních kapalin a plynů.

Před zahájením odběrů vzorků hornin by měly být dostupné tyto následující předběžné informace:

- cíl odběrů vzorků hornin;
- situování plánovaných sond;
- orientace, sklon a přípustné odchylky;
- požadavky na zaměření a očekávané geologické a hydrogeologické poměry;
- požadovaná přesnost a nejistota laboratorního měření v souladu s *Průvodcem pro vyjádření nejistoty měření*;

- četnost laboratorního měření daných vzorků hornin;
- rizika z hlediska životního prostředí a bezpečnostní rizika spojená např. s typem výplachu resp. použitými pracovními kapalinami;
- určení a navrhovaná hloubka vrtů a dále hloubka a interval jednotlivých odběrů vzorků;
- metoda odběru vzorků;
- požadavky na číslování vrtů a vzorků;
- balení vzorků, skladování a zamýšlená doprava a následná úprava vzorků;
- péče o životní prostředí;
- nouzová opatření;
- jména kontaktních osob;
- plánovaný tok informací.

Manipulace se vzorky hornin se řídí normou ISO 22475 již při vyjmutí z odběrného přístroje (jádrovák). Každý vzorek musí být pečlivě uložen do přepravek a řádně označen, dokumentován a popsán (označení projektu, číslo vrtu, datum odběru, označení vzorku, hloubka odběru). Pro přepravu z místa odběru do laboratoře je nutné vzorky zajistit proti poškození a znehodnocení v závislosti na způsobu dopravy a vzdálenosti.

Vzorkovnice na jádra musí být konstruovány jako dostatečně pevné, aby vyloučily ohýbání jádra při uchopení vzorkovnice za její konce. Na koncích každého návrtu musí být vloženy fixační vložky. Je zakázáno lámání jádra pro jeho uložení do vzorkovnic. Využitelná délka vzorkovnic má být o 5% větší než délka jádra (např. vzorkovnice délky 105 cm pro jádro délky 100 cm).

Jednotlivé vzorky hornin musí být skladovány takovým způsobem, aby se nezměnily odpovídající charakteristiky. Vzorky hornin nesmí být vystaveny účinkům mrazu. Měly by být uskladňovány v chladu (ideální podmínky jsou 6 – 12°C a vlhkost 85 – 100%).

II.2 Definování technických vlastností horninových vzorků

Soubor vlastností, které podmiňují nebo vyjadřují projev hornin a zákonitosti tohoto projevu, včetně vlivů, jež ho modelují, se označují jako **technické vlastnosti hornin**. Tyto technické vlastnosti lze dále dělit na:

- vlastnosti fyzikální,
- vlastnosti mechanické,
- vlastnosti technologické.

Fyzikální vlastnosti – jsou to vlastnosti, které popisují horninu jako hmotu a lze jich využít pro vystižení fyzikálního stavu horniny. Tyto vlastnosti bud:

- popisují horninu jako hmotu (tíha horniny, zrnitost, atd.) a jsou označovány jako *vlastnosti popisné*;
- vyjadřují určité fyzikálně technické vlastnosti hornin (např. schopnost být nádržní horninou, schopnost vytvářet elektrovodivé nebo nevodivé prostředí, radioaktivní vlastnosti, schopnost vést teplo, atd.) – tyto vlastnosti se označují jako *vlastnosti fyzikálně technické*;
- vyjadřují reaktivnost hornin vzhledem k jejich složení a osvětlují děje při kontaktu rozdílných fází – jsou označovány jako *fyzikálně chemické vlastnosti*.

To vše představuje soubor fyzikálních vlastností hornin, vyjadřujících fyzikální stav masívu, využitelných při popisu hornstva jako prostředí, v němž se odehrávají technologické procesy a při určování kritických okamžiků napjatosti při vtláčení a těžbě zemního plynu.

Mechanické vlastnosti hornin – zahrnují mechanický projev hornin a horstva, vyjádřený jeho přetvárnou a pevnostní charakteristikou – tyto vlastnosti představují soubor pevnostních, přetvárných a reologických vlastností horninových tělísek definovaného tvaru při definovaném způsobu a rychlosti namáhání.

Technologické vlastnosti hornin – představují projev hornin při jejich uvolňování, rozpojování a opracovávání různými technologickými způsoby. Jsou to v podstatě první vlastnosti, se kterými se vrtná praxe setkává, přímo se projevující v technologickém rozpojovacím procesu. Jedná se obvykle o složitý projev komplexu některých fyzikálních a mechanických vlastností hornin, někdy o společný projev horniny a rozpojovacího nástroje, které je obtížné teoreticky definovat, neboť teoretická skladba projevu je složitá a pro praktické účely jen obtížně použitelná v rozložené podobě (např. rozpojitelnost hornin, abrazivnost a tvrdost hornin, apod.).

Uvedené vlastnosti hornin jsou jedním z mnoha faktorů, které významně ovlivňují celý proces zřizování a provozu PZP. Tyto vlastnosti působí především:

- 1) v období provádění vrtných prací, které mají za cíl vytvoření komunikací mezi vlastním úložním prostorem a zařízením na povrchu. Tyto vlastnosti hornin společně s technickými a technologickými činiteli ve vrtu ovlivňují rychlost a kvalitu prováděných vrtných prací. Jedná se tedy především o ty vlastnosti provrtávaných hornin, které bezprostředně ovlivňují vlastní proces vrtání a které se v průběhu hloubení mění v závislosti na geologickém profilu zájmové oblasti. Patří sem především:
 - technologické vlastnosti hornin:
 - tvrdost,
 - abrazivnost,
 - rozpojitelnost (vrtatelnost a řezný odpor hornin),
 - mechanické vlastnosti hornin:
 - pevnostní vlastnosti hornin (pevnosti tlakové – redukovaná pevnost vlačná, pevnost v prostém tlaku, pevnosti tlakové a pevnosti tečné – smykové a stříhová pevnost),
 - přetvárné vlastnosti hornin (moduly pružnosti a přetvárnosti hornin, energetická bilance hornin).

Tyto vlastnosti ovlivňují především vlastní proces rozpojování, některé další však ovlivňují kvalitu provedeného důlního díla po jeho odvrtání – např. boční tlačivost hornin, rozbředavost, bobtnavost aj. ovlivňují stabilitu stěn vrtu.

- 2) v období zřizování i vlastního provozu struktury PZP, na kvalitu uložení zásob skladovaného média, limitují také kapacitní možnosti struktury. Tyto vlastnosti ovlivňují činnost skladovacího prostoru po celou dobu jeho provozu. Ovlivňují především:
 - I. hermetičnost celého systému –
 - a) fyzikální vlastnosti hornin technické – pórovitost, propustnost;
 - b) fyzikální vlastnosti popisné – kompaktnost hornin;
 - c) mechanické vlastnosti hornin pevnostní – pevnost tlaková, tahová a tečná;
 - II. propustnost kolektoru –
 - a) fyzikální vlastnosti hornin technické (nádržní vlastnosti) – pórovitost a propustnost hornin;
 - b) fyzikální vlastnosti hornin popisné – zrnitost a kompaktnost hornin;
 - c) mechanické vlastnosti hornin přetvárné – moduly pružnosti a přetvárnosti hornin;
 - III. stabilitu přívrtové části kolektoru –
 - a) mechanické vlastnosti hornin přetvárné – boční tlačivost hornin, Poissonovo číslo, moduly pružnosti hornin;

- b) mechanické vlastnosti hornin pevnostní – pevnost tečná, tlaková a tahová;
- c) fyzikální vlastnosti hornin technické (nádržní vlastnosti) – nasákavost a vodonasycenost hornin;
- d) fyzikálně chemické vlastnosti hornin – bobtnavost a rozbředavost.

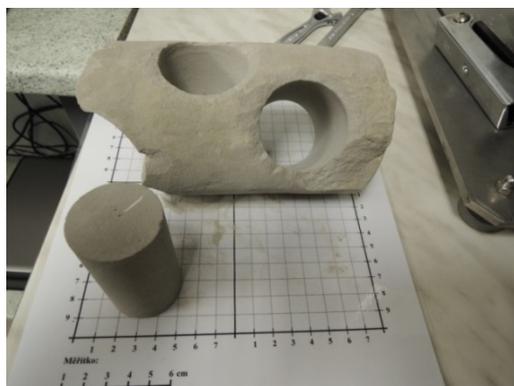
II.3 Metodika laboratorního výzkumu petrofyzikálních parametrů vzorků kolektorských a nadložních hornin

Veškeré laboratorní práce by měly být prováděny v následujících krocích:

- úprava horninových vzorků (vrtných jader);
- odvrtání testovacích jader z horninových vzorků (vrtných jader) – pro sledování kolektorských parametrů při radiální filtraci;
- sušení jader a úlomků hornin při teplotě cca 105°C;
- stanovení měrné a objemové hmotnosti;
- stanovení celkové pórovitosti;
- stanovení efektivní pórovitosti;
- měření absolutní propustnosti pro plyn (N₂);
- sycení solankou nebo destilovanou vodou;
- měření absolutní propustnosti pro vodu;
- měření kapilárních tlaků plyn – voda (efektivní pórovitost);
- měření prahových (treshold) kapilárních tlaků;
- měření fázových propustností plyn voda (efektivní propustnost);
- měření změny propustnosti vlivem stlačení (nadložního tlaku);
- měření změny pórovitosti vlivem stlačení (nadložního tlaku).

II.3.1 Příprava vzorků hornin pro laboratorní výzkum

Jako nádržní vlastnosti hornin jsou označovány ty vlastnosti hornin, které se podílejí na schopnosti hornin nést a propouštět kapaliny a plyny. Pro vlastní laboratorní výzkum je třeba si vzorek horniny (jádro) připravit tak, aby získané výsledky byly reprezentativní a co nejvíce odpovídaly reálné situaci. Jádro odebrané ze sondy musí mít takový průměr, aby z něj šlo kolmo na osu jádra odvrtat testovací jádérko o požadovaném průměru (např. 1“ nebo 1,5“) a příslušné délce (do 3“), viz obr. č. II.1. Takto připravená testovací jádérka jsou nutná při výzkumech respektujících radiální směr filtrace tekutin ke stvolu vrtu. Je vhodné využít rotačního jádrového vrtání na sucho příslušnou vrtnou korunkou.



Obr. č. II.1: Jadérko připravené pro vlastní laboratorní výzkum

II.3.2 Petrofyzikální parametry

II.3.2.1 Pórovitost

Póry lze definovat jako prostory různého tvaru, velikosti a původu v půdě nebo mezi zrny hornin, nevyplněné tuhou fází. Lze rozlišit:

- pórovitost celkovou (absolutní, úplnou);
- pórovitost otevřenou (komunikující);
- pórovitost účinnou (efektivní, dynamickou).

Pórovitost celková:

Zahrnuje celkový objem pórů v hornině, bez ohledu na jejich komunikaci.

$$P_c = \frac{V_{pc}}{V_{hc}} (\%),$$

kde:

V_{pc} – součet objemů všech pórů v hornině;

V_{hc} – celkový objem horniny včetně pórů.

Celková pórovitost se stanovuje na základě rozdílů v měrné a objemové hmotnosti.

Pórovitost otevřená:

Zahrnuje objem všech navzájem komunikujících pórů (V_{po}) v hornině:

$$P_o = \frac{V_{po}}{V_{hc}} (\%).$$

Hodnota otevřené pórovitosti se laboratorně stanovuje na vzorcích horniny, vysušených za teploty 105°C, při které dochází k uvolnění pevně (fyzikálně) vázané vody z povrchu horninových částic.

Pro výpočet koeficientu otevřené pórovitosti je nutno znát alespoň dva z objemů charakterizujících zkoumaný vzorek horniny, tj. skutečný objem horniny (V_{hc}) a objem navzájem komunikujících pórů (V_{po}) nebo čistý objem horniny (V_h).

Pórovitost účinná (P_u):

Zahrnuje objem pórů (V_{pu}) účastnících se filtračních procesů v daném geohydrodynamickém systému. Je tedy různá pro různé systémy a mění se rovněž v čase:

$$P_u = \frac{V_{pu}}{V_{hc}} (\%).$$

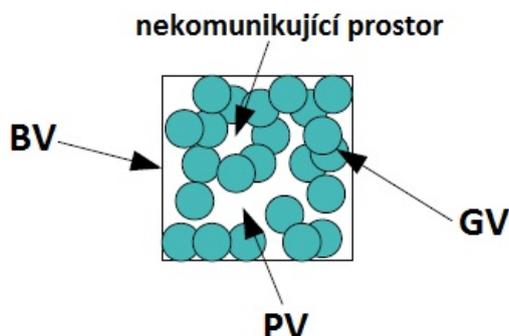
Koeficient otevřené a účinné pórovitosti nemusí být veličinou nezávislou na způsobu měření a proto je vždy nutné uvádět, jakým způsobem byl stanoven.

Metodika měření hlavních stanovovaných parametrů – pórovitost (porosita)

Při měření porosity je nutno odlišovat tyto parametry:

- objem vzorku (BV): zdánlivý objem vzorku,
- objem rostlé části (GV): objem všech „zrn“ včetně pojiva, ze kterých je vzorek složen,
- celkový objem pórů (PV): objem volného prostoru vzorku (volné i vázané prostory),

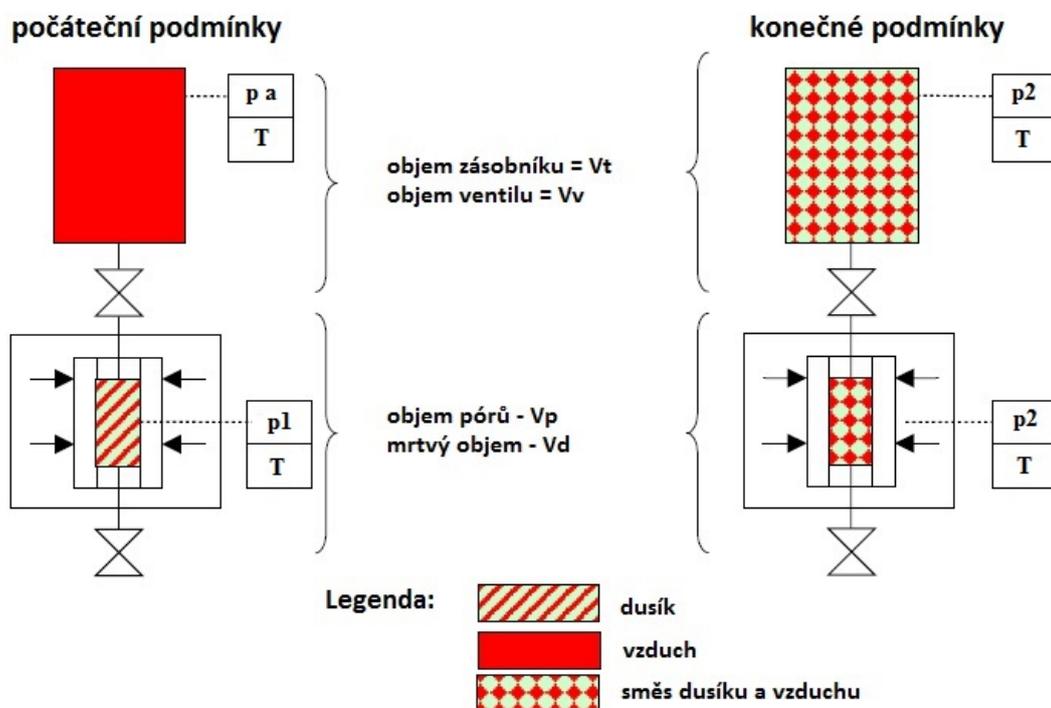
- efektivní objem pórů (PVe): objem komunikujících prostor vzorku (viz. obr. č. II.2).



Obr. č. II.2: Znárodnění rozdílných prostorů ve vzorku

Princip měření při aplikaci plynného média

Navržená metodika měření vychází z doporučení API (API recommended practice 40, únor 1998, strany 5 – 12 / 5 – 18) a pracuje podle tzv. *Boyle's Law Single Cell Method* pro měření volného prostoru. Objem pórů je stanoven pomocí referenční cely naplněné plynem o referenčním objemu a počátečním tlaku, který je poté přepuštěn do pórového prostranství daného vzorku. Vzorek je umístěn v jádrovnicovém držáku a upevněn v elastické manžetě. Izostatický stlačovací tlak (napětí) je vyvozen elastickou manžetou. Celý experiment je izotermický. Na obr. č. II.3 je znázorněno schéma fungování přístroje pro stanovování pórovitosti.



Obr. č. II.3: Schéma fungování přístroje pro stanovování pórovitosti

Měření porosity na vzorcích testovacích jader vykazuje rozptyl přibližně $0,1 \text{ cm}^3$ na vzorek o objemu 50 cm^3 , tvárná porositní odchylka je $\pm 0,2 \%$ od skutečné hodnoty.

K možným měřeným veličinám patří tyto:

- objem pórů V_p (cm^3),
- porosita vzorku ϕ (%),
- objem vzorku V_b (cm^3),
- objem rostlé části vzorku V_g (cm^3),
- hustota vzorku G_d (g/cm^3),
- propustnost pro plyn K_g (mD),
- slip faktor b (psi),
- počáteční odpor (rezistivita) β (ft^{-1}),
- turbulentní faktor α (μm).

Měření je postaveno na základě metod pro neustálené prostředí, kde objem pórů je stanovován pomocí Boylova zákona a měření permeability vychází z Darcyho zákona. Ostatní získané parametry jsou doprovodným výsledkem měření hlavních parametrů.

Velmi vhodné je pro dané horninové vzorky stanovení výše zmíněných parametrů za teplotně tlakových podmínek „in situ“. Dále je nutné stanovit hysterezi (v přiměřeném kroku – minimálně však 6 hodnot) do maximálního tlaku 15% nad předpokládaný ložiskový tlak. V neposlední řadě je žádoucí i stanovení extrémní hystereze (v přiměřeném kroku – minimálně však 6 hodnot) pro trojnásobek předpokládaného ložiskového tlaku (maximálně však 10 000 psi = 68,95 MPa).

II.3.2.2 Permeabilita (propustnost)

Propustnost hornin je schopnost hornin propouštět kapalinu a plyn při určitém tlakovém spádu a vyjadřuje ji „součinitel propustnosti K_p “, který vyjadřuje proteklé množství kapaliny nebo plynu o jednotkové viskozitě jednotkovým průřezem horniny při jednotkovém tlakovém spádu. Hodnota koeficientu propustnosti je závislá na rozměrech, tvaru a počtu mezipórových kanálků v daném průřezu hornin, tedy na hodnotě tzv. účinné (efektivní) pórovitosti.

Pro číselné vyhodnocení se využívá nejčastěji Darcyho zákon, jehož tvar pro laminární jednosměrné proudění kapalin je:

$$K_p = \frac{Q \cdot \mu \cdot l}{F \cdot \Delta p} (\text{m}^2), \text{ kde:}$$

- Q – proteklé množství za jednotku času;
- μ – dynamická viskozita;
- l – délka vzorku;
- F – plocha průřezu vzorku;
- Δp – tlakový spád resp. tlakový gradient (rozdíl tlaků na vstupu a výstupu) –
 $\Delta p = p_1 - p_2$.

Stanovení koeficientu propustnosti lze provádět pomocí následujících metod:

- výpočtem pomocí empirických vztahů,
- měřením na horninových vzorcích v laboratorních přístrojích,
- zpracováním údajů získaných při hydrodynamickém výzkumu kolektorských vrstev,
- vyhodnocením geofyzikálních měření.

Hodnoty koeficientu propustnosti, stanovené pomocí celé řady empirických vztahů (např. Zamarinův, Hazenyho, aj.), které zohledňují geometrické vlastnosti filtračního prostředí a vliv teploty mohou být použity pouze jako hodnoty orientační.

Laboratorní měření propustnosti se provádí tak, že vzorkem horniny známých geometrických rozměrů se nechá proudit kapalina nebo plyn při daném tlakovém spádu, změní se objem profiltrované kapaliny nebo plynu v čase a pomocí upraveného Darcyho zákona se vypočítá propustnost vzorku pro dané fluidum. Nejvhodnější je provádět měření pouze v oblasti lineárního proudění se započítáním Klinkenbergova efektu skluzu na rozhraní plyn – pevná látka, jehož vliv se zvyšuje se snižující se propustností horniny.

Pro vlastní měření je vhodné tlakový permeametr, pracující s inertním plynem – dusíkem. Na vstupní straně vzorku se tlak postupně zvyšuje, na výstupní straně vzorku se tlak nemění, ale je vždy nižší než na vstupní straně. Výsledky měřené na jednotlivých vzorcích nemusí být reprezentativní pro celý obzor a plošnou rozlohu kolektoru, hodnota koeficientu propustnosti závisí na způsobu měření a to na tlakovém spádu, není tedy konstantní pro všechny spády, tak jak to předpokládá Darcyho zákon pro stejnorodé izotropní filtrační prostředí určitého mechanického složení.

Vedle termínu „koeficient propustnosti K_p “ se velmi často používá termínu „koeficient filtrace k_f “. Vztah mezi těmito dvěma součiniteli je následující:

$$K_p = k_f \cdot \frac{\mu}{\gamma} (m \cdot s^{-1}), \text{ kde}$$

μ - dynamická viskozita kapaliny ($N \cdot s/m^2$),
 γ - měrná tíha horniny (N/m^3).

Základní vztahy pro výpočet propustnosti vzorku jsou upravovány pro různé typy vrstevních médií.

Rozlišujeme tři základní typy propustnosti:

a) **celkovou (absolutní) propustnost**

kolektor obsahuje pouze jednu fázi, chemicky inertní vůči poréznímu prostředí; jednotkou je m^2 ;

b) **efektivní (fázovou) propustnost**

schopnost porézního prostředí propouštět svými póry jednu libovolnou tekutinu za daného stupně nasycení; jednotkou je m^2 ;

c) **poměrnou (relativní) propustnost**

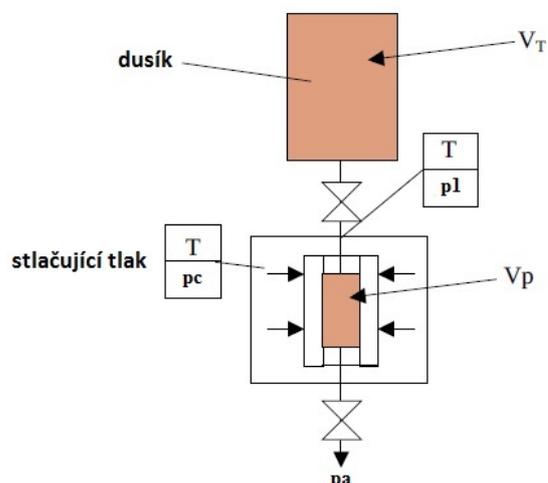
je dána poměrem efektivní propustnosti porézního prostředí pro určitou tekutinu k jeho celkové propustnosti.

Teorie měření hlavních stanovovaných parametrů – propustnost

Permeabilita je specifická vlastnost pórového prostředí a je měřena jako jeho schopnost propouštět tekutiny. Převrácená hodnota permeability představuje viskózní rezistivitu, tedy, že pórové prostředí vyjadřuje průtok kapaliny za předpokladu, že převládne hodnota nízkého průtoku.

Princip měření

Proces vlastního měření (při aplikaci plynu jako pracovního média) se řídí podle API doporučení (API, Recommended practice 40, únor 1998, část 6.4). Měření vychází z fixního objemu plynu v zásobníku. Ten je umístěn v blízkosti vzorku a odtud plyn proudí do vzorku a je měřen. Tlakový pokles zařízení využívá protisměrný plynový manifold, tak že je napojený na držák vzorku schopný uplatnit hydrostatické napětí na válcovém vzorku o průměru D a délce L . Tento způsob měření permeability má rozsah od 0,001 do 5 000 mD. Obr. č. II.4 znázorňuje schéma fungování plynového permeamtru.



Obr. č. II.4: Schéma tlakového plynového permeamtru

Mono fázová permeabilita

Mono fázová permeabilita ukazuje schopnost proudit nebo přenášet jeden typ média horninovým prostředím. Pro laminární proudění vycházíme z Darcyho zákona:

$$Q = \frac{K_p}{\mu} \cdot \frac{\Delta p}{L} F,$$

kde Q je průtok ($\text{m}^3 \cdot \text{s}$), K_p je permeabilita (m^2), μ je viskozita ($\text{Pa} \cdot \text{s}$), Δp je rozdíl tlaků na vstupu a výstupu (Pa), L je délka vzorku (m) a F je plocha průřezu vzorku (m^2).

V případě výzkumu prováděného s využitím amerických „standardních“ jednotek (viz. Tabulka č. II.1) je nutno do rovnice začlenit přepočtový koeficient (S_k).

Tabulka č. II.1: Převodová tabulka do jednotek SI

standardní jednotky	SI jednotky
1 cc/min	$10^{-6}/60 \text{ m}^3/\text{s}$
1 psi	6894,76 Pa
1 cP	$10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$
$1,01325 \cdot 10^{15} \text{ mD}$	1 m^2
1 cm^2	10^{-4} m^2
1 mm	10^{-3} m

Mono fázová permeabilita pro kapaliny je dána vztahem:

$$K_p = \frac{Q}{\Delta p} \cdot \mu \cdot \frac{L}{F} \cdot S_k,$$

kde Q je průtok (cc/min), K_p je permeabilita (mD), μ je viskozita (cP), ΔP je rozdíl tlaků na vstupu a výstupu (psi), L je délka vzorku (mm), A je vtláčecí plocha (cm^2) a S_k – přepočtový koeficient ze „standardních“ jednotek ($S_k = 24,49593767$).

Pro úspěšné měření fázových propustností je třeba splnit několik Darcyho podmínek:

- vzorek musí být 100% nasycen kapalinou,
- proudící kapalina je nestlačitelná,
- proudění je horizontální, ustálené a v laminárním režimu,
- proudící kapalina nesmí reagovat s horninovým prostředím.

Mono fázová permeabilita pro plyn je v základu podobná fázové permeabilitě pro kapaliny. Hlavním rozdílem ovšem je stlačitelnost plynu. Podle Boylova zákona za konstantních teplot platí:

$$Q_1 p_1 = Q_2 p_2 = Q_{prům} p_{prům}$$

Darcyho rovnice pak ve vztahu k proudícímu plynu může být vyjádřena:

$$Q_{prům} = \frac{K_p}{\mu} \cdot \frac{(p_1 - p_2)}{L} \cdot F.$$

Pak tedy může být mono fázová permeabilita pro plyn vyjádřena:

$$K_p = \frac{Q_2 \cdot 2 \cdot \mu \cdot L \cdot p_2}{F \cdot (p_1^2 - p_2^2)},$$

kde Q_2 je hodnota průtoku plynu na výstupu ze vzorku ($m^3 \cdot s^{-1}$), K_p je permeabilita (m^2), μ je viskozita (Pa·s), p_1 je vstupní tlak (Pa), p_2 je výstupní tlak (Pa), L je délka vzorku (m), a F je plocha průřezu vzorku (m^2).

Tak jako u permeability pro kapaliny, je potřeba při použití „standardních“ jednotek vynásobit uvedenou rovnici přečtovým koeficientem ($S_k = 24,49593767$).

Stanovení dvou fázové propustnosti (relativní propustnost)

Laboratorní experimenty pro stanovení relativní permeability jsou v současnosti nejlepším výstupem popisujícím procesy v horninovém prostředí, kde dochází k interakci dvou a více nemísitelných médií. Pokud vzorkem horninového prostředí protéká jedna tekutina, která beze zbytku vyplňuje jeho pórové prostranství, stanovuje se tzv. permeabilita absolutní. Jsou-li ve vzorku přítomny tekutiny dvě, z nichž jedna je přítomna v minimálním množství, daném vlastnostmi tekutiny a horniny (např. kde díky smáčivosti vzorku vodou již není voda mobilní a není tak dále ze vzorku vytěšňována), stanovuje se permeabilita pro druhou tekutinu, tedy za přítomnosti určitého množství první fáze. Jde o tzv. permeabilitu efektivní. Poměr efektivní a absolutní permeability se nazývá relativní permeabilita a vyjadřuje mobilitu jednoho média za přítomnosti určitého množství druhého média, ve srovnání s mobilitou za přítomnosti pouze jedné fáze.

Obecné zásady pro laboratorní výzkum propustnosti hornin pro kapaliny:

- je třeba zabránit vysušení vzorku pod úroveň odpovídající nasycení vodou v místě odběru;
- dodatečné zvlhčování vysušeného vzorku není možné;
- není vhodné používat zbytečně vysoké tlakové gradienty (spády); je-li zjišťována propustnost odpovídající podmínkám v místě odběru, je vhodnější použít i odpovídající tlakový gradient;
- je třeba dbát na ustálenost toku tím, že při měření zajistíme průtok dostatečného množství kapaliny;
- je vhodné ověřit si ustálenost toku provedením více po sobě jdoucích měření;

- je-li nutné dosáhnout úplného nasycení vzorku vodou, je nutné použít odvzdušněnou vodu (převařením a s chlazením bez přístupu vzduchu), případně vést tok vody vzorkem vertikálně proti působení zemské tíže;
- je vhodné ověřit, zda bude měření probíhat v oblasti platnosti Darcyho zákona provedením několika měření při různých tlakových gradientech;
- je nutno brát na zřetel možné stlačení sledované horninové hmoty v místě aplikace a přizpůsobit tomu podmínky laboratorní zkoušky;
- při sledování vodopropustnosti vzorků vystavených výhradně filtraci vody je výhodnější vyjadřovat propustnost pomocí koeficientu filtrace K_f ;
- při sledování propustnosti vzorků vystavených filtraci jiných kapalin než vody, je výhodnější používat vyjádření pomocí koeficientu propustnosti K_p .

Obecné zásady pro laboratorní výzkum propustnosti hornin pro plyny:

Při provádění srovnávacích testů mezi jednotlivými vzorky zpravidla v suchém stavu, tj. vzorky jsou vysušeny do konstantní hmotnosti:

- vysušené vzorky je třeba před vlastním měřením uchovávat v exsikátoru, aby nedošlo k jejich opětovnému navlhnutí; rovněž měření je třeba provádět a s použitím suchého filtrujícího plynu (např. 99,9% N_2);
- před zahájením měření série vzorků obdobných vlastností je důležité zjistit, zda se při daném rozmezí propustností budeme při zvolených tlakových gradientech pohybovat v oblasti viskózního či viskózně – setrvačného toku plynu. Za tímto účelem je nutno provést řadu měření objemové rychlosti toku při rozdílu tlaků (minimálně 4 – 5 hodnot) na vstupní a výstupní straně vzorků. Vynesením závislostí získaných hodnot lze získat představu o charakteru toku;
- je-li tok viskózní, provede se vyhodnocení propustnosti podle Klinkenbergovy závislosti;
- je-li ve zvoleném rozsahu objemových rychlostí toku tok částečně viskózní a částečně viskózně – setrvačný, provede se vyhodnocení podle převládající oblasti a při dalších měřeních se dbá na to, aby dosahované rychlosti toku ležely v této oblasti;
- chce-li se udržet proudění v oblasti viskózního toku, je vhodné používat při měření protitlaku, takže se mění jen tlak plynu uvnitř testovaného vzorku při toku, ale nikoliv tlakový rozdíl ovlivňující nejvýrazněji rychlost toku;
- se zvyšujícím se tlakem plynu uvnitř testovaného vzorku se zvyšuje odpovídajícím způsobem i tlak na upínající manžetu; musí se ovšem bedlivě sledovat, zda se se stoupajícím stlačením testovaného vzorku nesnižuje i jeho propustnost, což by mohlo zcela zkreslit výsledek měření.

Druhým hlavním důvodem výzkumu plynopropustnosti je snaha o zachycení této vlastnosti za podmínek odpovídajícím oblasti „in situ“. V tomto případě se neměří plynopropustnost ve vysušeném stavu, ale při odpovídajícím obsahu vody. Pak je obvykle nutné dodržet následující doporučení:

- vzorek je sycen vodou velmi opatrně tak, aby příliš rychlým sycením nedošlo k porušení gelových blan mezi póry; postup sycení by se měl co nejvíce blížit podmínkám oblasti odběru;
- vhodné je u zkoumaného vzorku provést několik měření při různém obsahu vody, pohybujícím se okolo hodnoty v oblasti odběru; získá se tak závislost efektivní propustnosti na stupni nasycení;
- aby byl zachycen skutečný obsah vody v pórech při měření, je třeba stanovení vlhkosti provést vždy na stejném vzorku až po měření propustnosti; za zcela suchý lze považovat vzorek vysušený do konstantní hmotnosti při 105°C;
- pro stanovení plynopropustnosti se používá vždy stejný tlakový gradient, jaký lze očekávat v místě odběru;
- výsledkem měření plynopropustnosti je efektivní propustnost, odpovídající danému nasycení vodou a danému tlakovému gradientu; efektivní propustnost se vyhodnocuje přímo pomocí

základní formulace Darcyho zákona pro plyn; aplikace Klinkenbergova zákona je v těchto případech nevhodná;

- zvláště velký důraz je třeba dbát na to, aby se měřilo při ustáleném toku, neboť během měření může docházet k postupnému vytlačování vody z průchozích kanálků, což přináší výrazné změny propustnosti a značně prodlužuje ustalování toku.

Velmi vhodné je pro dané horninové vzorky stanovení výše zmíněných parametrů za předpokládaných ložiskových tlaků a teplot (podmínek in situ). Dále je nutné stanovit hysterezi pórového prostranství (v přiměřeném kroku) do maximálního tlaku 15% nad předpokládaný ložiskový tlak. V neposlední řadě je žádoucí i stanovení extrémní hystereze (v přiměřeném kroku) pro trojnásobek předpokládaného ložiskového tlaku (maximálně však 5 000 psi = 34,47 MPa).

II.3.2.3 Kapilární tlaky

Obecně se kapilarita popisuje jako jev vyskytující se u trubiček velmi malého průměru – kapilár nebo pórovitým prostředí. Jsou-li adhezní síly větší než kohesní, vystoupí kapalina v kapiláře do určité výšky, označované jako kapilární elevace. V opačném případě, kdy kohesní síly jsou větší než adhezní, zůstává kapalina v kapiláře o výšce h níže než hladina okolní kapaliny. Tato výška je označována jako kapilární deprese.

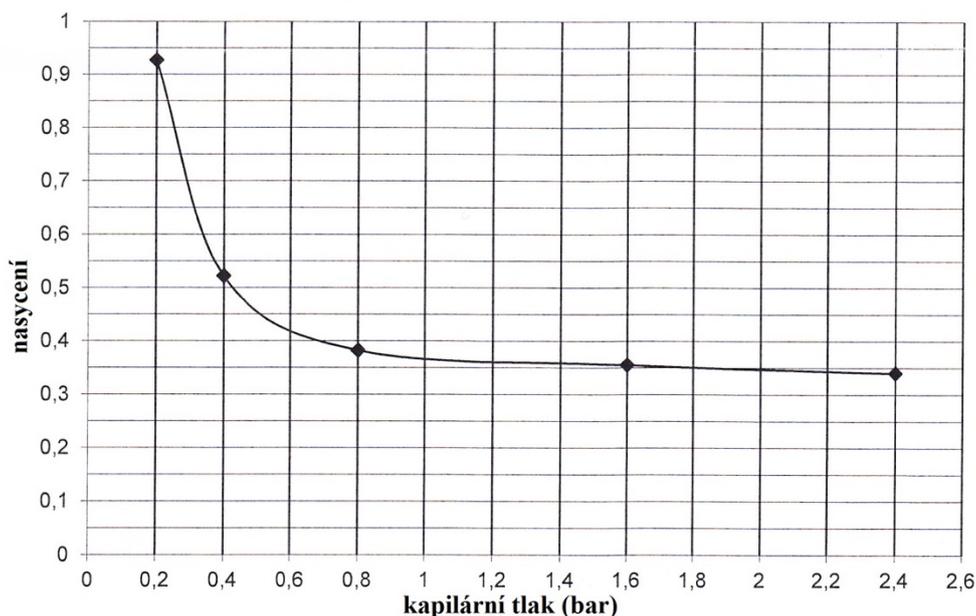
Na kapilární elevaci mají vliv teplota a mineralizace kapaliny. Se vzrůstající teplotou se snižuje povrchové napětí kapaliny a tím se zmenšuje i výška kapilární elevace. Se zvýšenou koncentrací solí v kapalině se zvyšuje její povrchové napětí, proto se mineralizovaná voda v kapiláře zvedne výše než destilovaná. Při překročení určitého stupně mineralizace se však výška kapilární elevace opět zmenšuje. Na kapilaritu má však vliv nejen stupeň, ale i druh mineralizace (tj. chemické složení rozpuštěné látky).

Kapilární tlaky – molekulární působení na rozhraní fází v porézním prostředí. Je to tedy síla potřebná na vytlačení kapaliny z pórů dané velikosti. Výstupními hodnotami tedy jsou:

- křivka kapilárních tlaků vs. sycení;
- konečné hodnoty sycením plynem (efektivní pórovitost), resp. vodou (zbytkové sycení vodou).

Prahový (threshold) kapilární tlak – je to tlak, při kterém se začne ze 100% nasyceného vzorku horniny vytěsňovat voda. Měření se provádí na upraveném permeometru se speciálně upravenou „haslerovou“ celou s možností aplikovat tlak na vzorku uzavřeném gumovou manžetou do 40 MPa.

Vzorky hornin (jádra) jsou plně nasyceny kapalinou a zváženy. Následně jsou vloženy do cely na příslušnou keramickou desku (také nasycenou) na níž je vrstvička tvořená např. nasyceným diatomitem. Poté je cela bezpečně uzavřena víkem (utěsněna gumovou manžetou) a natlakována na hodnotu příslušného tlaku. Analyzovanou veličinou je hmotnostní ztráta za daných tlakových podmínek. Měření se postupně musí opakovat za nových tlakových podmínek. Výsledné hodnoty jsou vynášeny do grafu závislosti nasycení na kapilárním tlaku (obr. č. II.5).



Obr. č. II.5: Příklad výstupu z laboratorního měření

II.3.2.4 Nasycenost (saturace)

Pro laboratorní stanovení celkové nasycenosti vodou (volnou i vázanou) a zbytkové nasycenosti jinou ložiskovou kapalinou, např. ropou (při konverzi ropného ložiska na PZP) lze použít retortovou pec. Saturace, která je stanovena laboratorně může být odlišná od nasycenosti in situ. Tento rozdíl je dán zejména:

- průnikem vrtného výplachu do pórového prostranství jádra;
- únikem tekutin v průběhu vytahování jádra z vrtu na povrch (změna p , T podmínek);
- chyby při manipulaci se vzorky jader.

Vzorky testované horniny jsou pro retortovou analýzu připraveny buď ve formě vrtného jádra (průměr 1" nebo 1,5"; délka max. 3") anebo je vzorek horniny rozdrčen na menší frakci a to v závislosti na odhadu propustnosti daného typu horniny. Váha testovaného vzorku se musí pohybovat okolo 125 g. Připravené vzorky jsou zváženy, je stanovena hustota, a jsou vloženy do nerezového válce. Ten je postupně zahříván až do teploty 650 °C. Do připravené zkumavky jsou v průběhu pokusu zachytávány přes chladicí lázeň kapalné kondenzáty. Při dosažení teploty 540 °C je odečtena hodnota zachyceného kondenzátu, následně je vzorek schlazen na hodnotu 400 °C, aby bylo posléze dosaženo teploty 650 °C, za které je odečteno finální množství zachyceného kondenzátu.

Ze zachyceného kondenzátu se odečte objemové množství vody a (je-li přítomna) objemové množství ropy. Následně je možno po příslušných korelacích stanovit následující parametry:

- množství ropy ve vzorku (Ob);
- množství vody ve vzorku (Wb);
- orientační porositu (ϕ);
- celková saturace vodou (Stw);
- zbytkové nasycení ropou (Sro).

II.4 Metodika laboratorního výzkumu geomechanických vlastností vzorků kolektorských a nadložních hornin

Cílem je hodnotit vybrané fyzikálně - mechanické vlastnosti hornin, které tvoří horninové prostředí (cap rock a reservoir rock) všech typů PZP. Znalost povahy horninového prostředí spolu se znalostí hodnoty přirozené původní napjatosti v horninovém prostředí umožňuje efektivně vést důlní díla (těžební sondy, resp. kaverny) a hlavně je v mnohých případech rozhodující pro zajištění těsnosti, stability a bezpečnosti těchto zásobníků.

Účelem je tedy vytipování nejvýznamnějších fyzikálně - mechanických vlastností hornin, ovlivňující kapacitu, stabilitu, těsnost a bezpečnost PZP. Výběr stanovovaných vlastností hornin se může lišit od jednotlivých typů podzemních zásobníků plynu. Vybrané vlastnosti hornin by se pak měly stanovovat v průběhu průzkumu a výstavby podzemních zásobníků. V přípravné fázi projektu výstavby PZP musí být navržena lokalizace míst odběru vzorků hornin (minimální četnost) a minimální množství vzorků dostačující pro stanovení potřebných vlastností.

Všechny zkoušky se musí provádět podle schválených jednotných postupů, daných především platnými evropskými normami tak, aby výsledky byly srovnatelné a mohly objektivně hodnotit kvalitu zkoumaných hornin.

II.4.1 Fyzikální vlastnosti hornin

Pro výpočet tíhy nadloží (resp. odhad vertikální složky napětí v masívu) je nezbytné stanovit **objemovou hmotnost** všech makropetrograficky odlišných vrstev masívu. Neméně důležitými fyzikálními vlastnostmi jsou **měrná hmotnost** (potřebná pro stanovení celkové pórovitosti) a **pórovitost** (celková a efektivní). Stanovení měrné a objemové hmotnosti hornin, celkové a otevřené pórovitosti se stanovuje dle ČSN EN 1936. Pro potřeby této normy je potřeba odebrat minimálně 6 ks vzorků horniny splňující požadavky této normy (nejlépe válečky o průměru a výšce 5 cm – dále použitelné pro ostatní zkoušky).

Vzhledem ke skutečnosti, že díky charakteru odběru vzorků (jádrové vrtání s výplachem), nebude možné stanovit přirozenou vlhkost hornin, je vhodné stanovit rovněž **nasákavost hornin**. Nasákavost hornin se stanovuje dle ČSN EN 13755 a pro potřeby této normy mohou být využity vzorky pro potřeby stanovení objemové hmotnosti.

Dále by měly být stanoveny **sorpční a filtrační vlastnosti** ke vztahu ke skladovaným médiím (viz. předešlé kapitoly). Neměly by být opominuty případné fyzikálně - chemické interakce, které by mohly mít za následek zhoršení fyzikálně mechanických vlastností hornin tvořících horninový masív.

II.4.2 Mechanické vlastnosti hornin

V této souvislosti musí být hodnoceny vlastnosti charakterizující jak **pevnostní vlastnosti hornin** (pevnost v tlaku, tahu a pevnosti při objemovém namáhání), tak **přetvárných vlastností** (modul pružnosti, Poissonovo číslo).

Pevnostní vlastnosti hrají významnou roli při dimenzování a posuzování stability důlních děl. Aby bylo možné charakterizovat mezní stavy hodnocených hornin, je potřeba stanovit **pevnost v prostém tlaku** (ČSN EN 1926), **pevnosti přiřízném v tahu** (Brazilská zkouška – metoda schválená ISRM) a **pevnosti při objemovém namáhání** (triaxiální zkoušky). Pro potřeby těchto zkoušek je potřeba použít nejméně 12 ks vzorků pravidelného tvaru (nejlépe válečků o průměru a výšce 5 cm).

Znalost přetvárných vlastností je nezbytná pro posuzování deformace důlních děl při zatěžování (např. změna tlaku). Tyto vlastnosti jsou rovněž nezbytné pro sledování a monitorování horského masívu geofyzikálními metodami (např. významně ovlivňují rychlost šíření seizmických vln). Z přetvárných vlastností je důležité stanovovat **modul pružnosti** (ČSN EN 14580 – statický modul pružnosti), resp. (ČSN

EN 14146 – dynamický modul pružnosti). Neméně důležité je stanovení **Poissonova čísla**. Hodnota Poissonova čísla může být stanovena v rámci měření pevnosti hornin při objemovém namáhání, případně v rámci stanovení statického modulu pružnosti (nutnost přidání senzorů na měření příčné deformace). Pro potřeby těchto zkoušek je potřeba použít nejméně 6 ks vzorků pravidelného tvaru (nejlépe válečků o průměru a výšce 5 cm).

Pro měření fyzikálních a mechanických vlastností hornin z hlediska geomechanického posouzení, je potřeba připravit minimálně 24 ks horninových vzorků (při maximálním využití vzorků).

II.4.3 Přirozená původní napjatost v horninovém prostředí

Problematiku spojenou s vedením hornické činnosti (budování PZP) do značné míry ovlivňuje stav horského masivu před vytvořením důlních děl (vtlačně výtlačné sondy, kaverny). Předně realizátory projektu musí zajímat původní napěťový stav horského masivu, ze kterého lze do jisté míry odhadnout (např. matematickým modelováním), sekundární (hornickou činností vyvolané) napěťové pole. Přesnost matematických modelů je přímo závislá na vstupních údajích (fyzikálně - mechanické vlastnosti hornin, původní napěťové pole a tvar a rozměry důlních děl).

Samotné stanovování původního napětí v horském masivu představuje technický problém, protože do místa, kde se má napětí stanovovat, se musí nějakým způsobem dostat s měřicí technikou. Nejčastěji se k místu měření lze dostat průzkumným vrtem. Vrt ale rovněž jako důlní dílo představuje zásah do horského masivu a kolem tohoto vrtu dojde ke změně působícího napětí. Pokud se stanovuje působící napětí v těsné blízkosti tohoto vrtu, musí se naměřené hodnoty korigovat na změny způsobené vrtem. To je jeden z důvodů, proč stanovování napětí v horském masivu je velmi složitá záležitost, z čehož vyplývají i vysoké náklady na toto měření. Je to rovněž důvodem, proč se dosud nedaří získávat potřebné informace o vyšší působícího napětí v provozním měřítku.

Z výše uvedených důvodů bude měření napětí v horském masivu pouze doporučujícího charakteru.

II.5 Odběr reprezentativních vzorků vrtných jader z průzkumných sond včetně následných vhodných analýz

Pro laboratorní stanovování kvalitativních dat o budovaném PZP je nutné, aby každý průzkumný vrt, který bude realizován, byl jádrován podle následujících pravidel:

- bezprostřední nadloží kolektoru (cap rock) – pro laboratorní výzkum je potřebné mít k dispozici minimálně 15 m vrtného jádra, ze kterého budou odebrány k analýzám vzorky co 5 m;
- vlastní zájmový kolektor (reservoir rock) – pro laboratorní výzkum je potřebné, aby celý uskladňovací horizont byl odjádrován; z každého metru jádra budou odebrány vzorky pro výše zmíněné analýzy;
- bezprostřední podloží kolektoru - pro laboratorní výzkum je potřebné mít k dispozici minimálně 10 m vrtného jádra, ze kterého budou odebrány k analýzám minimálně dva vzorky.

Součástí závěrečné zprávy z laboratorních měření musí být i makro popis každého analyzovaného vzorku. Dále je vhodné provést detailní chemickou, krystalografickou a morfologickou charakteristiku

analyzovaných vrtných jader. Vhodným zařízením k těmto analýzám je elektronová mikrosonda (např. FEI Quanta 650 FEG). Další doporučenou analýzou je kvalitativní a kvantitativní analýza mineralogického – fázového složení daných vzorků pomocí RTG difrakce. Doporučeným rozšířením detailních znalostí vrtných jader z průzkumných sond je analýza šíření tekutin do porézního nebo porušeného prostředí.

III) Srovnání „novosti postupů“

Metodika stanovující postupy a metody laboratorního výzkumu horninových vzorků z nadložních a kolektorských vrstev určených pro budování PZP doposud neexistovala. Z tohoto hlediska se jedná o metodiku zcela novou. Nicméně tato metodika obsahuje postupy a metody, které jsou obecně známé a používané v geologickém průzkumu a hornické činnosti. Nově je v metodice provedeno jejich hodnocení s ohledem na celkový záměr tj. budování PZP.

IV) Popis uplatnění Certifikované metodiky

Metodika laboratorního testování horninového prostředí a jeho kolektorských vlastností za podmínek in situ je primárně určena pro ekonomické subjekty, které se budováním a provozem všech typů PZP zabývají.

V) Ekonomické aspekty

Do vyčíslení nákladů na zavedení postupů uvedených v metodice je nutno zahrnout provedení celého komplexu uváděných laboratorních testů a to zvláště pro tělesa kolektorů a zvláště pro tělesa izolátoru.

Předpokládané náklady na provedení tohoto komplexního výzkumu pro jeden průzkumný vrt odhadujeme na 110 tis. Kč.

Při vyčíslení ekonomického přínosu vycházíme z principu negace – tedy ze situace, kdy komplexní výzkum nebude proveden a neznalost klíčových dat (např. prahových kapilárních tlaků) může způsobit porušení těsnosti stvolu sondy, případně těsnosti nepropustného nadloží. Toto porušení těsnosti (a následná náprava) by nutně vedlo k odstavení postižené sondy (resp. sond) z provozu, v krajním případě by byl z provozu vyřazen na nějaký čas celý objekt PZP.

V současné době se cena za 1 dodanou MWh pohybuje v rozmezí 1000,- - 2000,- Kč (1 m³ plynu = 10,5 kW/h). Můžeme tedy uvažovat s cenou až 20,- Kč /m³. U provozních sond na PZP můžeme obecně uvažovat s denním výkonem v rozmezí 10 000 m³ – 100 000 m³. Finanční ztráty při jednodenním odstavení sondy by se mohly pohybovat v rozmezí 200 000,- až 2 000 000,- Kč.

Při odstavení celého provozu zásobníku (maximální denní těžební výkon u PZP Lobodice $Q_{\max} = 3,6$ mil. m³ (nejnižší ze zásobníků) a u PZP Dolní Dunajovice, $Q_{\max} = 16$ mil. m³ (nejvyšší ze zásobníků) by se finanční ztráty pohybovaly v rozmezí 72 až 320 mil. Kč.

VI) Seznam použité související literatury

- Faruk Civan: Reservoir Formation Damage – Fundamentals, Modeling, Assessment and Mitigation. Gulf Professional Publishing, Elsevier, 2012. ISBN: 978-0-7506-7738-7.
- Djebbar Tieb, Erle C. Donaldson: Petrophysics – Theory and Practice of Measuring Reservoir Rock and Fluid Transport Properties. Gulf Professional Publishing, Elsevier, 2012. ISBN: 978-0-12-383848-3.
- John R. Fanchi: Shared Earth Modeling – Methodologies for Integrated Reservoir Simulations. Butterworth – Heinemann, Elsevier, 2008. ISBN: 0-7506-7522-5.
- Geotechnický průzkum a zkoušení – Odběr vzorků a měření podzemní vody – Část 1: Zásady provádění: Česká technická norma ČSN EN ISO 22475-1. Prosinec 2006.



- Directive 2012/18/EU of the European parliament and of the council of 4 July 2012 on the control of major-accident hazards involving dangerous substances, amending and subsequently repealing Council Directive 96/82/EC
- EUROPEAN COMMISSION. Accompanying document to the Proposal for a directive of the European parliament and of the council on the control of major-accident hazards involving dangerous substances: Impact assessment [online]. Brussels, 2010 [cit.2012-10-10]. Dostupné z: http://ec.europa.eu/environment/seveso/pdf/sec_2010_1590_ia_en.pdf
- Ritschelová, I. (2013): Rok 2013 – rok, kdy česká energetika stojí před řadou výzev. Energetika, 2/2013, Ročník 63, ISSN 0375-8842, s. 63-66
- Černý, L. (2013): Energetická účinnost: směr hlavního úsilí současné evropské (= i české) energetiky. Energetika, 2/2013, Ročník 63, ISSN 0375-8842, s. 101-107
- Malý, S. (2013): Energetika patří mezi odvětví s vysokou úrovní bezpečnosti. Energetika, 2/2013, Ročník 63, ISSN 0375-8842, s. 125-128
- Aktuální přehled platné legislativy včetně vyhlášek (výňatek) 2013: Energetika, 2/2013, Ročník 63, ISSN 0375-8842, s. 135-137
- Kotek, L. (2013): Nové požadavky na bezpečnost podzemních zásobníků zemního plynu. Plyn/Gas, 11, 2012, ročník XCII, ISSN 0032-1761, s. 256-258

VII) Seznam publikací, které předcházely metodice

- EN 1918-1 zavedená v ČSN EN 1981-1 Systémy zásobování plynem – Podzemní zásobníky plynu – Část 1: Provozní požadavky pro zásobníky v aquiferech (38 6490)
- EN 1918-2 zavedená v ČSN EN 1981-2 Systémy zásobování plynem – Podzemní zásobníky plynu – Část 2: Provozní požadavky pro zásobníky v ropných a plynových ložiscích (38 6490)
- EN 1918-3 zavedená v ČSN EN 1981-3 Systémy zásobování plynem – Podzemní zásobníky plynu – Část 3: Provozní požadavky pro zásobníky ve vyloužených solných kavernách (38 6490)
- EN 1918-4 zavedená v ČSN EN 1981-4 Systémy zásobování plynem – Podzemní zásobníky plynu – Část 4: Provozní požadavky pro zásobníky v horninových kavernách (38 6490)
- EN 1918-5 zavedená v ČSN EN 1981-5 Systémy zásobování plynem – Podzemní zásobníky plynu – Část 5: Provozní požadavky pro povrchová zařízení (38 6490)
- Vyhláška ČBÚ č. 26/1989 Sb., o bezpečnosti a ochraně zdraví při práci a o bezpečnosti provozu při hornické činnosti a při činnosti prováděné hornickým způsobem na povrchu, ve znění vyhlášek č. 340/1992 Sb., č. 8/1994 Sb. a č. 236/1998 Sb.
- Vyhláška ČBÚ č. 51/1989 Sb., o bezpečnosti a ochraně zdraví při práci a o bezpečnosti provozu při úpravě a zušlechťování nerostů, ve znění vyhlášek č. 340/1992 Sb., č. 9/1994 Sb. a č. 237/1998 Sb.
- Zákon č. 44/1988 Sb., o ochraně a využití nerostného bohatství (horní zákon), ve znění zákona ČNR č. 541/1991 Sb. (úplné znění vyhlášeno pod č. 439/1992 Sb.), ve znění zákonů č. 10/1993 Sb. a č. 168/1993 Sb.
- Zákon č. 59/2006 Sb., o prevenci závažných havárií, v platném znění. Sbíрка zákonů ČR
- Bujok et al. (1989) Projektování výstavby a provozu podzemních zásobníků plynu. Skriptum pro PGS, VŠB Ostrava.

Dedikace

Metodika je výsledkem řešení výzkumného projektu TAČR programu BETA č. TB 010CBU003: „Predikce horninových struktur na základě stávajících geologických poznatků, vedoucích k možnému vybudování dalších podzemních zásobníků pro uskladňování zemního plynu“

Metodika pro dotěžovaná, resp. dotěžená ložiska uhlovodíků

Prof. Ing. Petr Bujok, CSc. (podíl práce 30%)

Ing. Martin Klempa (podíl práce 25%)

Ing. Michal Porzer (podíl práce 15%)

Ing. Ján Pavluš (podíl práce 5%)

Doc. Ing. Petr Pánek, CSc. (podíl práce 10%)

Ing. Jindřich Šancer, Ph.D. (podíl práce 10%)

Ing. Jiří Mališ, Ph.D. (podíl práce 5%)

I) Cíl metodiky

Hlavním cílem metodiky je popis postupu hodnocení vhodnosti konverze dotěžovaných, resp. dotěžených ložisek uhlovodíků na podzemní zásobníky plynu (PZP).

II) Vlastní popis metodiky

Při přípravě a zpracování metodiky bylo vycházeno z platných zákonů a vyhlášek ČR, směrnice EU (Evropského parlamentu a Rady) a rovněž České technické normy vztažené k problematice zřizování a provozu podzemních zásobníků plynu (dále jen PZP), které jsou českou verzí evropských norem (použité evropské normy mají status českých technických norem). Jedná se o:

- EN 1918-2 zavedená v ČSN EN 1981-2 Systémy zásobování plynem – Podzemní zásobníky plynu – Část 2: Provozní požadavky pro zásobníky v ropných a plynových ložiscích (38 6490)
- EN 1918-5 zavedená v ČSN EN 1981-5 Systémy zásobování plynem – Podzemní zásobníky plynu – Část 5: Provozní požadavky pro povrchová zařízení (38 6490)
- Zákon č. 222/1994 Sb., o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o Státní energetické inspekci, ve znění zákona č. 83/1998.

II.1 Metodika průzkumu vhodných struktur – hodnocení dotěžovaných, resp. dotěžených ložisek uhlovodíků

Vytěžená ložiska zemního plynu, případně i ropy, nabízení nejjednodušší a nejspolehlivější možnost jejich skladování. Prokázala schopnost akumulovat plyn (ropu) v průběhu trvání ložiska a byla probádána v průběhu své produkční fáze z hlediska geologického a ložiskového průzkumu. K dispozici jsou poznatky o zásobách, režimu, těžebních kapacitách sond, pórovitosti a permeabilitě kolektoru, její stimulaci a jsou zde těžební zkušenosti – např. s výnosem písku, tvorbou vodních kuželů apod.

Zapotřebí jsou jenom doplňující sondy a instalace povrchových zařízení. Výhodnější pro výstavbu PZP jsou plynová ložiska. Opuštěné ložisko zemního plynu zahrnuje v době přestavby již určitou část potřebné základní plynové náplně, která se musí u zásobníku ve zvodněné vrstvě vytvářet cestou odtlačení vody a osušování pórů kolektoru.

Informace o geologicko-režimových vlastnostech je možné extrapolovat do budoucna, aniž by se dosahovalo výsledků s příliš velkými chybami, takže mohou být realizovány plánované optimální provozní podmínky. Mimoto se zde dá počítat s nepropustnými krycími vrstvami a uzavřenými strukturami, pokud se nepřekročí mezní tlak.

Uskladňovací kapacita plynového ložiska je závislá od velikosti vyskytujícího se pórového objemu a od tlaku a teploty v ložisku. Při dané teplotě, jež se při skladování výrazně změní, se může pracovat

v tlakovém rozmezí, jehož horní hranice se musí zvolit tak, abychom se vyhnuli nebezpečí, že porušíme krycí vrstvu.

Rovněž minimální tlak nelze považovat za hodnotu nahodilou, závisí však na režimu vrstvy a technických požadavcích při těžbě a transportu plynu.

Potřebné ložiskové výpočty lze s úspěchem provádět na základě metodiky platné pro těžbu plynových ložisek. Výpočet změn tlaku v ložisku v závislosti na vtláčeném, či odebíraném plynu je možný pomocí metody poklesu tlaku.

Rovněž filtrace plynu v ložisku, tlakové ztráty, potenciální produkce sond, přípustné odběry z hlediska výnosu písku a tvorby vodních kuželů, skin efekt a jiné potřebné výpočty pro vedení optimálního provozu sond lze úspěšně kalkulovat podle metodik známých z těžby plynových ložisek.

Úkolem zásadní důležitosti, zejména pro zjištění tlakového vývoje podzemního zásobníku během jeho vytváření a normálního provozu jak vtláčení, tak odběru plynu, je výzkum režimu uskladňovací vrstvy.

Bude vycházet z výsledku hydrogeologického výzkumu struktury a celého přilehlého regionu a z výsledků hydrogeologické spojitosti a hydrodynamické vodivosti vrstvy.

Znalost o režimu uskladňovací vrstvy bude základním podkladem pro vypracování správné metodiky vytváření podzemního zásobníku, odpovídající specifickým hydrogeologickým podmínkám struktury, ve které bude zásobník vytvářen.

U podzemních zásobníků plynu vytvářených ve vytěžených plynových ložiscích je těsnost nadložních hornin potvrzena samotnou existencí ložiska. Pouze v případě provozování PZP při vyšších tlacích, které převyšují počáteční tlak plynu v ložisku, je třeba vyšetřit, zda ložisková past byla před těžbou ložiska zcela naplněna a zda nemůže při vyšších tlacích plynu docházet k únikům plynu mimo past.

Těsnost nadložního vrstevního komplexu je požadována pochopitelně nejen z toho důvodu, aby se zamezilo ztrátám uskladňovaného plynu, nýbrž i proto, aby nemohlo dojít k nebezpečným důsledkům z hlediska zdraví a existenčních podmínek obyvatel v blízkosti podzemního zásobníku. Jednotlivé etapy výzkumu těsnosti nadložní uskladňovací vrstvy jsou uvedeny dále.

Metoda laboratorních analýz hornin

Touto metodou se zjišťuje hodnota propustnosti hornin odebraných v nadložních vrstvách. V rámci laboratorních metod se rovněž předpokládá výzkum hodnot kapilárního tlaku jader nadložních krycích hornin, jakož i měření stupně deformace vzorku v závislosti na velikosti tlaku. Tento tlak se vyvozuje v trojosém působení (v triaxiálu). Na základě zvýšení deformace bude možno usuzovat na velikost sil, jež způsobují přilnutí, popř. sevření pažnicové kolony (u cementového prstence horninou).

Metoda hydrogeochemického výzkumu

Bude-li v nadloží nalezena propustná vrstva o větším plošném rozsahu, bude možno v tomto případě aplikovat metody hydrogeochemického výzkumu těsnosti nadložních vrstev analýzou koncentračního hloubkového spádu (iontové rovnováhy) typických asociací minerálních složek i popř. plyných složek rozpuštěných ve vodách. Je zde ovšem otázka, do jaké míry může být tento koncentrační spád narušen případnou intenzivní výměnou vod ve vrstevních komplexech i v důsledku povrchové infiltrace vody.

Metoda hydrogeologického interferenčního výzkumu těsnosti nadložního krytu

Tato metoda by mohla odhalit případné netěsnosti nadložního vrstevního krytu za předpokladu, že se v nadloží uvažovaného uskladňovacího kolektoru nacházejí propustné vrstvy většího plošného rozsahu tak, jak se o tom uvažuje u předchozí metody. Jde o aplikaci metody, při níž se sleduje vliv tlakových změn v jednom hydrogeologickém celku na případný vývoj tlaku ve druhém sledovaném komplexu. Tlakové změny se ponejvíce vyvozují odběrem vody z vrstvy.

Plynoprospekční metoda

Tato metoda spočívá v odběru půdního vzduchu a ve stanovení mikrokvant složek plynu, z nichž některé jsou zcela typické jen pro cizí plyny, obsažené ve vytvářeném podzemním zásobníku. Časově kvalitativní a kvantitativní změny přítomných složek plynu v půdním vzduchu dovolují usuzovat na stupeň těsnosti nadložních vrstev.

Analýza případného vlivu eventuálně dříve provedených vrtů na těsnost nadloží

V případě, že v oblasti uvažované struktury pro vytvoření podzemního zásobníku se takový vrt nachází, je třeba pečlivě analyzovat průběh jeho vrtání i jeho současný stav se zřetelem k nebezpečí úniku plynu, jenž je uskladňován ve vrstvě takovým vrtem otevřeně.

Ověřování těsnosti sond

Těsnost sond – jak na PZP vytvářených ve vytěžených plynových ložiscích, tak i u PZP ve zvodnělých vrstvách – se ověřuje karotážními metodami a tlakovými zkouškami.

Při karotážních metodách klasické postavení zaujímají zejména aplikace neutron – gama měření v sondách, jakož i měření teplotního spádu za pažnicovými kolonami. Ze srovnání systematiky prováděných měření lze pak usuzovat na změny v syčení plynem v horninách za pažnicemi; soudit tedy na eventuálně i sekundární změny v důsledku případného pronikání plynu.

Tlakové zkoušky jsou založeny na vyvolání tlaku v sondě, a to buď kompresorem (při tlakových zkouškách plynem) nebo čerpadlem (při tlakových zkouškách vodou). V obou případech se po dosažení požadovaného tlaku registruje pokles tlaku za určitou časovou jednotku; hermetičnost je předpokládána v případě měření tlaku v rámci dovoleného poklesu. Touto metodou jsou v podstatě kontrolovány spoje pažnic.

II.2 Stanovení základních parametrů PZP

II.2.1 Obecné pojmy a požadavky

Hlavní technologické parametry pro zásobníky jsou:

- celková objemová náplň zásobníku
- objem základní náplně
- aktivní pracovní (roční) skladovací kapacity
- rozsah pracovních tlaků, hodnoty maximálního a minimálního tlaku
- vtláčně-odběrové denní výkony zásobníku
- počet a konstrukce činných sond
- výkon kompresorových stanic
- světlost přívodového potrubí.

Všechny tyto parametry na sebe navzájem navazují a změna jednoho parametru ovlivní bezprostředně ekonomiku plynového zásobníku.

Pro stanovení těchto parametrů je nutné mít k dispozici následující výchozí geologicko-ložiskové údaje:

- objemové vymezení skladovacího prostoru (ložiska) a jeho uzavřenosti
- mocnost a úložné poměry skladovacího horizontu a jeho změny
- litologické formování a petrografické složení skladovacího horizontu

- geomechanické vlastnosti horninového prostředí
- kolektorské vlastnosti skladovacího horizontu a jejich uspořádání plošné i vertikální
- chování horizontu při zvýšené rychlosti a jejich chování během odběru média (vody nebo plynu). Vývoj vrstevního tlaku na změně objemu média
- výkonové parametry sond a uskladňovací vrstvy
- hermetické vlastnosti krycích vrstev a podloží horizontu
- chemické složení a fyzikální vlastnosti plynu a vody v ložisku nebo plynu uvažovaného pro uskladňování.

Některé vybrané údaje budou vzhledem ke své významnosti zpracovány detailněji.

Na základě analýzy technicko-ekonomických údajů, tj. různých způsobů krytí nerovnoměrnosti poptávky a distribucí plynu plynárenským systémem se určuje úloha daného PZP. Buď zásobník bude sloužit jako sezónní zdroj anebo bude využíván pro krátkodobé regulační účely. To znamená, že se určuje jeho racionální a ekonomické účinné využití.

Dále na základě bilance tlakových ztrát v uvažovaném sběrném systému, povrchovém technologickém zařízení a sondách se určuje minimální pracovní tlak na výstupu ze zásobníku. Je to tlaková hranice P_{\min} , která omezuje výši plynového objemu základní náplně a umožňuje na konci odběrového období dosáhnout minimální odběrové kapacity a její dopravy do místa spotřeby. Minimální pracovní tlak by neměl připustit vniknutí ložiskové vody do zásobníku aquiferového typu. Znamená to, že P_{\min} by měl odpovídat hodnotě tlaku na kontaktu plyn-voda.

Velikost objemu aktivní náplně je závislá na velikosti komprimace, tj. na úrovni maximálního pracovního tlaku P_{\max} a nesmí překročit původní ložiskový (vrstevní) tlak P_{lo} . Čím větší je rozsah pracovních tlaků $P_{\max} - P_{\min} = V_{akt}$, tím větší je aktivní objem a čím větší je P_{\max} , tím větší je počáteční odběrový výkon zásobníku. Aktivní náplň zásobníku a využitelnost její kapacity je závislá tedy na bilanční potřebě plynárenského systému v celostátním nebo krajském měřítku. Celková náplň zásobníku je pak součtem výše uvedených objemových podílů a u vyčerpaných ložisek plynu představují tzv. těžitelné zásoby plynu.

$$G_{cel.} = G_{akt.} + G_{zák.}$$

Základní náplň (poduška) činí zpravidla 45 až 60 % celkové náplně a aktivní 40 až 55 %. U zásobníků zřízených ve vyčerpaných ložiscích je snaha udržet minimální poměr 1 : 1. U umělých aquiferových zásobníků je poměr 1 : 2 ve prospěch základní podušky s ohledem na specifické hydrodynamické problémy tohoto typu zásobníku.

Charakteristické pro podzemní zásobníky vybudované v porézních strukturách je, že počáteční těžební výkony činí maximálně 1 % aktivní náplně a v průběhu sezónní těžby rychle klesají s poklesem ložiskového tlaku. Tím, že v období požadavku na jeho maximální výkon bývá již odtěženo 25 až 35 % aktivní náplně, tato skutečnost nedovoluje jeho použití jako špičkového zdroje. Během vytěžování aktivního pracovního objemu plynu je důležité znát objemový gradient, tj. množství odebraného plynu připadající na pokles ložiskového tlaku o 0,1 MPa. Tato hodnota je velmi důležitým parametrem pro regulování výše denních výkonů s ohledem na vývoj tlaku v čase a uspokojení dispečerských požadavků.

Objemový gradient zásobníků vybudovaných ve vytěžených ložiscích je znám z těžební vývoje ložiska a stanoví se těžební křivkou závislosti vývoje redukováného ložiskového tlaku P/Z na objemovém stavu těžných zásob plynu.

II.2.1.1 Posouzení geomechanických vlastností horninového prostředí.

V rámci této části metodiky by se měly hodnotit vybrané fyzikálně-mechanické vlastnosti hornin, které tvoří horninové prostředí budoucího podzemního zásobníku plynů. Znalost povahy horninového prostředí spolu se znalostí hodnoty přirozené původní napjatosti v horninovém prostředí umožňuje efektivně vést důlní díla a hlavně je v mnohých případech rozhodující pro zajištění těsnosti, stability a bezpečnosti těchto zásobníků.

Obsahem této části metodiky by mělo být vytipování nejvýznamnějších fyz.-mech. vlastností hornin, ovlivňující kapacitu, stabilitu, těsnost a bezpečnost podzemních zásobníků. Výběr stanovovaných vlastností hornin se může lišit od druhu podzemního zásobníku. Vybrané vlastnosti hornin by se pak měly stanovovat v průběhu průzkumu a výstavby podzemních zásobníků. V metodice by měla být navržena lokalizace míst odběru vzorků hornin (minimální četnost) a minimální množství vzorků dostačující pro stanovení potřebných vlastností.

Všechny zkoušky se budou provádět podle schválených jednotných postupů, daných především platnými evropskými normami tak, aby výsledky byly srovnatelné a mohly objektivně hodnotit kvalitu zkoumaných hornin.

Fyzikální vlastnosti hornin

Pro výpočet tíhy nadloží (resp. odhad vertikální složky napětí v masívu) je nezbytné stanovit objemovou hmotnost všech makropetrograficky odlišných vrstev masívu. Neméně důležitými fyzikálními vlastnostmi jsou měrná hmotnost (potřebná pro stanovení celkové pórovitosti) a pórovitost (celková a efektivní). Stanovení měrné a objemové hmotnosti hornin, celkové a otevřené pórovitosti se stanovuje dle ČSN EN 1936. Pro potřeby této normy je potřeba odebrat minimálně 6 ks vzorků horniny splňující požadavky této normy (nejlépe válečky o průměru a výšce 5 cm – dále použitelné pro ostatní zkoušky).

Vzhledem ke skutečnosti, že díky charakteru odběru vzorků (jádrové vrtání s výplachem), nebude možné stanovit přirozenou vlhkost hornin, je vhodné stanovit rovněž nasákavost hornin. Nasákavost hornin se stanovuje dle ČSN EN ... a pro potřeby této normy mohou být využity vzorky pro potřeby stanovení objemové hmotnosti.

Dále by měly být stanoveny sorpční a filtrační vlastnosti ke vztahu ke skladovaným médiím. Neměly by být opominuty případné fyzikálně-chemické interakce, které by mohly mít za následek zhoršení fyzikálně-mechanických vlastností hornin tvořících horninový masív.

Mechanické vlastnosti hornin

V této souvislosti budou hodnoceny vlastnosti charakterizující jak pevnostní vlastnosti hornin (pevnost v tlaku, tahu a pevnosti při objemovém namáhání), tak přetvárných vlastností (modul pružnosti, Poissonovo číslo).

Pevnostní vlastnosti hrají významnou roli při dimenzování a posuzování stability důlních děl. Aby bylo možné charakterizovat mezní stavy hodnocených hornin, je potřeba stanovit pevnost v prostém tlaku (ČSN EN 1926), pevnosti příčném v tahu (Brazilská zkouška – metoda schválená ISRM) a pevnosti při objemovém namáhání (triaxiální zkoušky). Pro potřeby těchto zkoušek je potřeba použít nejméně 12 ks vzorků pravidelného tvaru (nejlépe válečků o průměru a výšce 5 cm).

Znalost přetvárných vlastností je nezbytné pro posuzování deformace důlních děl při zatěžování (např. změna tlaku). Tyto vlastnosti jsou rovněž nezbytné pro sledování a monitorování horského masívu geofyzikálními metodami (např. významně ovlivňují rychlost šíření seizmických vln). Z přetvárných vlastností je důležité stanovovat modul pružnosti (ČSN EN 14580 – statický modul pružnosti), resp. (ČSN EN 14146 – dynamický modul pružnosti). Neméně důležité je stanovení poissonova čísla. Hodnota poissonova čísla může být stanovena v rámci měření pevnosti hornin při objemovém namáhání, případně v rámci stanovení statického modulu pružnosti (nutnost přidání senzorů na měření příčné deformace). Pro

potřeby těchto zkoušek je potřeba použít nejméně 6 ks vzorků pravidelného tvaru (nejlépe válečků o průměru a výšce 5 cm).

Pro měření fyzikálních a mechanických vlastností hornin je potřeba připravit minimálně 24 ks horninových vzorků (při maximálním využití vzorků).

Přirozená původní napjatost v horninovém prostředí

Problematiku spojenou s vedením hornické činnosti do značné míry ovlivňuje stav horského masivu před vytvořením důlních děl. Předně nás zajímá původní napěťový stav horského masivu, ze kterého lze do jisté míry odhadnout (např. matematickým modelováním), sekundární (hornickou činností vyvolané) napěťové pole. Přesnost matematických modelů je přímo závislá na vstupních údajích (fyz.-mechanické vlastnosti hornin, původní napěťové pole a tvar a rozměry důlních děl).

Samotné stanovování původního napětí v horském masivu představuje technický problém, protože do místa, kde se má napětí stanovovat, se musíme nějakým způsobem dostat s měřicí technikou. Nejčastěji se k místu měření dostáváme vrtem. Vrt ale rovněž jako důlní dílo představuje zásah do horského masivu a kolem tohoto vrtu dojde ke změně působícího napětí. Pokud stanovujeme působící napětí v těsné blízkosti tohoto vrtu, musíme naměřené hodnoty korigovat na změny způsobené vrtem. To je jeden z důvodů, proč stanovování napětí v horském masivu je velmi složitá záležitost, z čehož vyplývají i vysoké náklady na toto měření. Je to rovněž důvodem, proč se dosud nedaří získávat potřebné informace o výši působícího napětí v provozním měřítku.

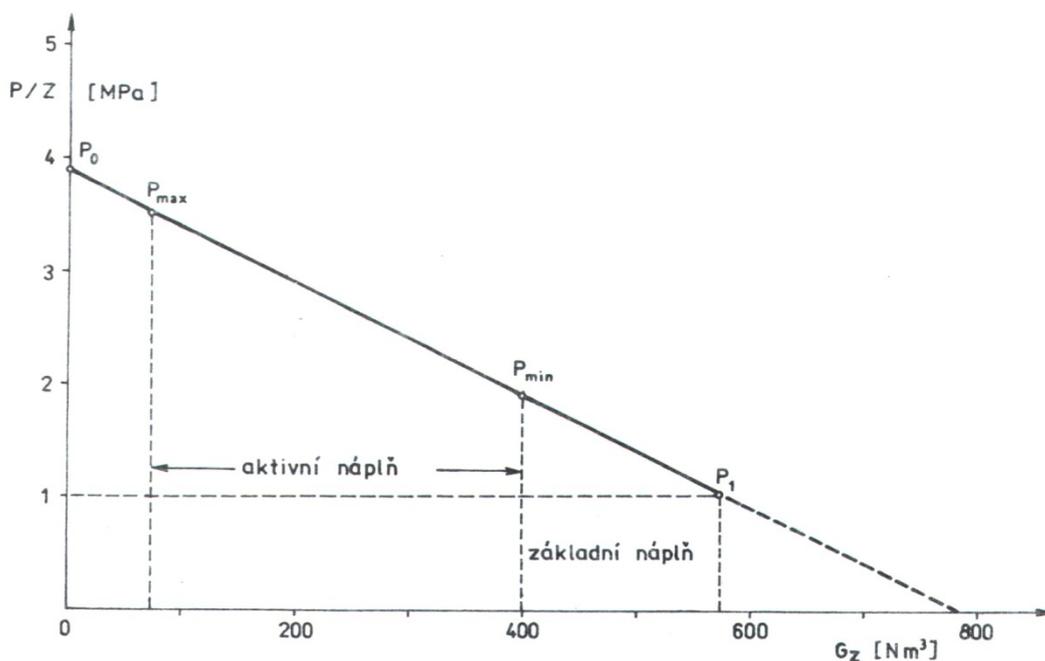
Z výše uvedených důvodů bude měření napětí v horském masivu pouze doporučujícího charakteru.

II.1.1.2 Vlastní stanovení uskladňovacích a kapacitních parametrů zásobníku konvergovaného ložiska plynu

Geologicko-ložiskové parametry vytěženého ložiska jsou známy z průběhu provozu „History – Matsch“. Technicko-ekonomické údaje potřeb jsou rovněž známy a na základě těchto je vypracován investiční záměr se zadanými technologickými parametry budoucího zásobníku. K ověření a potvrzení projektovaných technologických parametrů se postupuje následovně.

A. Objemy budoucího zásobníku

Na základě křivky závislosti P/Z na Q (celková produkce plynu v mil. m³) extrapolací lze stanovit geologické a těžební zásoby plynu v daném ložisku (viz obr. č. 1)



Obr. č. 1: Vývoj redukovaného tlaku P/Z na těženém plynu

B. Objem volných pórů

$$V_o = S \cdot h \cdot m (1 - S_w)$$

kde:

S – plocha ložiska (m^2)

h – průměrná mocnost uskladňovacího obzoru (m)

m – efektivní porozita (%)

S_w – koeficient vodonasycenosti (%)

C. Celková objemová náplň při počátečním ložiskovém tlaku $P_{1\text{poč.}}$

$$G_o = V_o \cdot \frac{P_{l0}}{Z_o} \cdot \frac{273}{T}$$

G_o – celková objemová náplň (Nm^3)

$P_{l0\text{poč.}}$ – počáteční ložiskový tlak (MPa)

$Z_{o\text{poč.}}$ – koeficient kompresibility

T – průměrná ložisková teplota ($^{\circ}K$)

V důsledku nepřesností zapříčiněných průměrnými hodnotami uvedených ložiskových parametrů je nutno tento výpočet objemovou metodou doplnit, tzv. dynamickým přepočtem z poklesu tlaku na množství odebraného plynu, tj. metodou materiálové bilance. Je nutno znát energetické poměry ložiska (ložiskový režim) a to jedná-li se o expanzní, smíšený režim nebo režim pružné stlačené vody mající rozsáhlé zvodnělé zázemí (aquifer).

Pro expanzní režim:

$$G_o = Q \frac{P_o/Z_o}{P_o/Z_o - P_1/Z_1}$$

Q – množství vytěženého plynu (Nm³)

P₁, Z₁ – ložiskový tlak a kompresibilita po vytěžení Q plynu

Pro snížený režim a režim aktivní okrajové vody se celková objemová náplň vypočítává přibližně dle vztahu

$$G_o = Q \left(1 - \frac{P_1/Z_1}{P_o/Z_o}\right) \cdot \left[1 - \frac{V_w}{V_{Go}} \cdot C_w (P_o - P_1)\right]$$

V_w – objem vniklé (vytěžené) vody za danou periodou (m³)

V_G – počáteční objem plynu (m³)

C_w – stlačitelnost vody

D. Stanovení potřebného aktivního objemu plynu a rozsah pracovních tlaků

Lze použít těžební křivku ložiska (obr. č. 1) anebo na základě známé objemové bilance vypočítat objem plynu aktivní náplně zásobníku v rozsahu pracovních tlaků dle vztahu:

$$G_A = G_o \frac{P_{max}/Z_{max} - P_{min}/Z_{min}}{P_{max}/Z_{max}} \quad (\text{Nm}^3)$$

Základní náplň pal lze odvodit ze vztahu

$$G_o = G_A + G_{zak.}$$

E. Stanovení vtačno-odběrové kapacity zásobníku

Charakterním rysem podzemního zásobníku je, že uskladnění nebo vytěžení objemu aktivního pracovního objemu G_A plynu se děje na rozdíl u těžných ložisek ve velmi krátkém čase cca 120 dnů. Platí tedy vztah:

$$q_{24} \text{ h} = \frac{G_A}{t}$$

q₂₄ – denní výkon (Nm³/24 h)

Jestli t = const., pak průměrný denní výkon q₂₄ h lze zvýšit zvětšením aktivního objemu zásobníku.

Pro krytí krátkodobých špičkových odběrů v plynárenském systému nebo havarijních výpadků se požaduje výkonová rezerva. Tuto lze zabezpečit počtem a výkonem činných zásobníkových sond, kde platí vztah:

$$q_{24} = \sum n \cdot Q$$

n – počet sond

Q – denní kapacita jedné fiktivní sondy (Nm³/24 h)

Výpočet nezbytného počtu „n“ sond pro krytí požadovaného maximálního výkonu a provoz zásobníku se provádí na základě znalostí výkonových charakteristik existujících ložiskových sond. Extrapolují se zde poznatky získané menším počtem ložiskových sond na počet větší. Provádějí se produkční testy při stávajících tlakových poměrech, zkoumají se kapacitní vlastnosti uskladňovací vrstvy, stanoví se mezní podmínky kapacit jako výnos horninového materiálu, vytváření vodního kužele aj., tj. určuje se hydrodynamicky přípustnou tlakovou represí (depresí) a také mírou interference sond. Při výpočtu průměrných výkonnostních vlastností nových sond se počítá s účinností uvažovaných intenzifikačních

operací na sondách. Zkrátka, všechny výpočty směřují ke stanovení průměrné kapacity jedné fiktivní sondy neovlivněné interferencí.

Množství provozních sond „n“ je pak určeno pouhým dělením požadované aktivní uskladňovací kapacity přípustným odběrem z jedné fiktivní sondy při maximálním pracovním tlaku P_{\max} . $Q_{\text{akt.}} / q_{\text{sondy}}$

K tomuto počtu sond se přidává 10 % havarijní rezervy.

II.3 Metodika koncepce vytváření a provozu PZP

Vytváření a provozování podzemního zásobníku plynu je v podstatě založeno na přesné bilanci tlakových ztrát plynu. Vycházíme-li od primárního zdroje plynu, kterým je v našem případě plynovod dopravující na zásobník plyn, potom na základě kalkulací tlakových ztrát při vtlačení, uskladnění a těžbě můžeme rozhodnout, zda zásobník bude pracovat kompresorovým či bezkompresorovým způsobem represe; můžeme také zjistit potřebnou velikost základní náplně, uskladňovací kapacitu, eventuálně můžeme i snížit maximálně přípustné těžební deprese.

K vyjasnění koncepce vytváření a provozu zásobníku musíme mít k dispozici hodnotu tlaku vtlačného plynu, hodnotu tlaku při předávání uskladňovaného plynu zpět do plynovodní sítě, výpočet ztrát tlaku plynu v sondě při těžbě, tlakové ztráty při vtlačení a těžbě v povrchovém zařízení zásobníku a základní ložiskové zpracování.

Na základě těchto výše uvedených podkladů lze řešit koncepci zásobníku metodou výpočtu možných variant provozu a vzájemným srovnáním doporučit k realizaci variantu, která je považována za optimální ze všech hledisek.

II.3.1 Výstavba podzemní části PZP

V dnešní době se projevování otvírky plynových ložisek a podzemních zásobníků plynu provádí na základě hlubokých teoretických znalostí z oboru filtrace plynu v ložisku do sond. Tyto vědecké poznatky jsou uplatňovány pro dosažení hlavního hlediska sledovaného při otvírce, kterým je snaha po dosažení maximální možné těžby plynu z jednotlivých sond a využívat tak v největší možné míře každou sondu a další těžební zařízení pro vlastní provoz zásobníku. Celou problematiku výpočtu nezbytného počtu sond a jejich rozložení po ploše zásobníku si můžeme rozdělit na tyto dva základní problémy, které se však vzájemně ovlivňují.

II.3.1.1 Výpočet nezbytného počtu sond pro provoz zásobníku

Výpočet nezbytného počtu sond se provádí několikrát s postupným upřesňováním, které je umožněno získáváním nových poznatků o fyzikálních vlastnostech vrstvy. V případě výstavby PZP ve vytěženém plynovém ložisku jsou k dispozici poznatky o režimu ložiska, jeho zásobách, těžebních kapacitách sond a vývoji těchto kapacit v čase, o propustnosti kolektoru a jeho stimulaci; jsou zde těžební zkušenosti s výnosem písku, tvorbou vodních kuželů apod.

Výchozím podkladem pro výpočet nezbytného počtu sond je těžební kapacita sond, na ložisku provedených. Hodnotí se jak těžební kapacita sond v pravidelné těžbě, tak se i přihlíží k těm sondám, které zastihly ložisko v těžbě nevhodném vývoji. Protože při těžební otvírce pro účely uskladňování plynu bude provedena zpravidla podstatně větší počet sond nových nežli byl počet sond na ložisku dosud těžných, můžeme tuto etapu výpočtu sond pokládat za orientační. Extrapolují se zde poznatky získané menším počtem sond na počet větší, což zejména u kolektoru s nepravidelným vývojem fyzikálních vlastností může znamenat, že průměrné vlastnosti sond starých nemusí odpovídat průměrným vlastnostem sond nových.

Kapacita každé sondy je ohraničena buď výnosem ložiskové horniny, tvorbou vodních kuželů nebo z technických důvodů. Mezi technické důvody patří i hodnota předávacího tlaku plynu vystupujícího ze zásobníku, která je limitována tlakem plynovodu pro dopravu uskladňovaného plynu. Kapacita sondy je pak tedy závislá na hodnotě násobku propustnosti a mocnosti vrstvy a na čtverci maximálně dovolené deprese.

Pro výpočet průměrných těžebních vlastností sond nových se vychází – jak již bylo výše řečeno – z vlastností sond starých, a to těch, které jsou v ploše ložiska, na které se otvírka bude provádět. K sondám nevhodným pro otvírku se nepřihlíží v těch případech, leží-li v té části ložiska, která byla pro provádění nových sond vyloučena. Jsou to zpravidla okrajové části ložiska.

Způsob těžby plynového ložiska a podzemního zásobníku je značně rozdílný, především v délce těžby. Zatímco plynové ložisko se zpravidla těží asi 8 – 12 let, aktivní náplň uskladňovaného plynu, tvořící v průměru polovinu počátečních zásob ložiska, má se vytěžít za dobu asi 100 dní. Takovému tempu odběru, které je při těžbě plynových ložisek zcela neznámé, musí odpovídat i fond sond. S hustotou sond úzce souvisí i míra interference, která je značná při provozu podzemního zásobníku plynu.

Interferencí se snižují vypočtené kapacity nových sond, protože výpočet vychází z těžebních výsledků sond interferencí daleko méně ovlivněných anebo vůbec neovlivněných – pak se vychází z měření potenciálních produkcí, které se prováděly v době nečinnosti ostatních sond.

Z těchto důvodů výpočet kapacity nových sond směřuje k výpočtu průměrné kapacity jedné fiktivní sondy neovlivněné interferencí.

Množství provozních sond je pak určeno pouhým dělením požadované kapacity přípustným odběrem z jedné fiktivní sondy.

Výpočet snížení kapacity fiktivní sondy vlivem interference se provádí pomocí analogového modelování nebo na samočinných počítačích.

V první etapě projektování otvírky PZP lze vliv interference sond na snížení kapacity „fiktivních“ sond korigovat ve formě počtu dalších doplňujících sond, které mají za úkol svoji kapacitou nahradit snížení kapacit sond. V závislosti od vzdálenosti mezi sondami, vlastností kolektorské vrstvy, doby těžby sond a jiných parametrů lze orientačně předpokládat, že počet těchto doplňujících sond bude zhruba činit 5 – 10 % celkového počtu sond.

Při plánování celkového počtu sond na zásobníku je nezbytné rovněž uvažovat o rezervních sondách, které nahradí ztrátu kapacity provozních sond v době jejich oprav nebo v důsledku těžebních komplikací, havárií apod. Pro projektování otvírky se doporučuje, aby se počet rezervních sond pohyboval mezi 15 – 20 % celkového počtu sond.

V druhé etapě projektování se počet sond zpřesňuje na základě modelování. Výsledkem modelování je zpravidla návrh skutečné otvírky. Zde se sondy již nerozlišují jako „fiktivní“ a doplňující, ale vliv interference se přímo promítá do produkce každé sondy.

Konečný počet sond na zásobníku je prakticky dán skutečnou kapacitou nových sond a toto definitivní upřesnění lze provádět v době poloprovozu zásobníku.

II.3.1.2 Navržení vstrojení zásobníkových sond

Obecné pojmy a hlediska

Provozní sondy podzemních zásobníků plynu jsou nejdůležitějším objektem. Jsou spojovacím článkem mezi produktivním výkonem, tj. skladovacím horizontem a nadzemním technologickým i dopravním zařízením. Produkční sonda a skladovací horizont jsou vystaveny dvousměrnému a v krátké době střídajícímu se tlakovému a tepelnému nárazu. Zajišťují operativní denní vtláčňo-odběrovou kapacitu zásobníku. Tato sumární kapacita je tedy funkce produkčních výkonů jednotlivých sond. Produkční výkon každé sondy je určen jednak geologickými podmínkami místa lokalizace a jednak způsobem a kvalitou otvírky horizontu i vstroje sond. Prostřednictvím sondy kontrolujeme a měříme, tj. získáváme všechny plynodynamické veličiny, které určují z těžebně-ložiskového hlediska požadované funkce podzemního zásobníku. Všechny

provozní sondy (produkční i pozorovací) jsou, jak vyplývá, objektem ovládajícím činnosti podzemního zásobníku. Z toho pak vyplývají specifické nároky na dlouhodobé a bezpečné funkce zásobníkových sond. Správná činnost sondy, nejde-li o sondy již dříve odvrtné, je zabezpečována již ve stádiu hloubení a vystrojování vrtů. Je to celý komplex technologických operací souvisejících s provrtáním nadložních vrstev a samotného skladovacího horizontu, pažením, cementací, perforací, montáží technologického zařízení v sondě a práce související se zábranou pískování, chemickou stimulací, produkční zkouškou až po uvedení sondy do provozu.

Optimalizace vystrojení sond úzce souvisí s návrhem a realizací vhodně vybrané konstrukce vrtu. Konstrukcí plynového zásobníkového vrtu se rozumí vlastní utváření vrtu, definované vrtnými průměry a hloubkami, zapaženými určitým druhem a rozměrem pažnicových kolon, volných nebo utěsněných (cementovaných) ve vrtném stvolu určitým způsobem. Dále zařízením dna vrtu a způsobem otvírky produktivního (skladovacího) horizontu. Dokončovací práce hloubení a pažení jako jsou otvírka a ochrana produkčního horizontu se považují některými odborníky za součást vystrojovacích prací.

Všechny základní technické prvky a prostředky, které zabezpečují možnost těžby, respektive vtláčení média, zkoušek a výzkumu produkční charakteristiky zahrnujeme pod pojmem výstroj (zařízení) sondy.

Zde patří:

- a) Zařízení ústí sondy
- b) Kolona těžebních trubek (stupaček)
- c) Těsniče – pakry
- d) Bezpečnostní ventily
- e) Proplachovací zařízení v sondě
- f) Filtry sond
- g) Doplnkové zařízení, vybavení, materiály.

Základní faktory, které určují výběr konstrukce vrtu a z toho vyplývající výstroje a vybavení sondy jsou:

a) Geologicko-ložiskové podmínky podzemního zásobníku

Určují konečný průměr a hloubku vrtu, druh, počet, průměr a hloubku pažnicových kolon. Určují rovněž technologii vrtní, která musí zabezpečit požadavky na provádění kvalitní izolace stvolu vrtu vůči horninovým prostředím, tj. zachování stability vrtného průměru, zachování předepsané křivosti vrtu, zamezení poškození uskladňovací vrstvy a umožnění řádné geologicko-ložiskové interpretace.

Nejdůležitějšími faktory pro volbu usazení pažnicových kolon jsou:

tlakový gradient vrstev (horského masivu),
štěpící gradient vrstev,
stabilita vrstev,
tektonické napětí vrstev.

b) Způsob a podmínky těžby a životnost produkčních sond

Určují konečný průměr a hloubku těžební pažnicové kolony, způsob těžební otvírky skladovacího horizontu, průměr, hloubku výstroje a vybavení těžebních trubek (stupaček). Vychází se přitom ze známé kapacitní charakteristiky, tlakových poměrů a sběrných (kolektorských) vlastností skladovacího horizontu a chemických vlastností plynu i ložiskových vod a rovněž ze zadaného způsobu dopravy, uskladňování i těžby plynu (kompresorový nebo bezkompresorový provoz).

c) Ochrana životního prostředí, bezpečnost a hygiena provozu vrtu

Je jedním ze základních faktorů, určujících na pouze konstrukci vrtu, ale i jeho realizaci a dokonce i budování samotného zásobníku. Jestliže je z národohospodářského hlediska budování podzemního zásobníku nezbytně nutné, tím více musí být uplatňovány nároky na kvalitní a bezpečnou konstrukci vrtu. Při výběru konstrukce a výstroje sondy je nutno přihlížet na pozici zásobníku z hlediska ohrožení povrchové občanské, průmyslové zástavby a devastaci povrchových vodních zdrojů a okolní přírody. Specifikum zásobníkových sond lze tedy spatřovat v extrémně vysokých nárocích na zajištění těchto tří základních požadavků:

- spolehlivost a bezpečnost dlouhodobého provozu spočívající v zajištění trvalé hermetičnosti stvolu sondy (kvalita cementace, plynotěsnost pažnice, těžebních trubek, ústových zařízení, odolnost proti korozi);
- zábrana negativního ovlivňování kolektorských vlastností skladovacího horizontu v průběhu realizací, vystrojení vrtů (výplach, pracovní kapaliny, cementace aj.) a technické práce v sondě (bez umrtvení sondy);
- zajištění dlouhodobé provozuschopnosti sondy z hlediska zamezení procesů v přípočkové zóně, ovlivňující negativně její kapacitní charakteristiku a spolehlivé funkce aktivní části vrtu (hydrodynamická dokonalost a vyšší stupeň otvírky skladovacího horizontu, konstrukce filtrů, koroze, chemická stimulace horizontu atd.).

II.3.1.3 Návrh komplexního optimalizovaného typového vystrojení zásobníkových sond

Základní koncepce a charakteristika optimálního systému vystrojení sond

Výběrem optimálního vystrojení sond podzemních zásobníků je sledována možnost zabezpečit dosažení vysokých produkčních výkonů a bezpečnost sond v rozličných provozních podmínkách a při různých požadavcích na řízení průtoku sondou. Znamená to, že vystrojení zásobníkových sond nutno volit nejen z hlediska vlačno-odběrového procesu, ale také z hlediska možnosti

- regulace a měření průtoku sondou
- manipulace v sondě pod tlakem v období těžby
- provádění oprav sond pod tlakem.

Z toho vyplývá, že základní vystrojení musí být rozšířeno o další nové speciální progresivní prvky vystrojení sond, které napomáhají k racionálnímu a ekonomickému provádění všech požadovaných manipulací v sondě. Komplexní systém optimálního vystrojení na úrovni současné světové techniky řeší tento problém cestou zapouštění a vytahování regulačních, měřících, bezpečnostních a manipulačních prvků pomocí systému ovládaného na drátě pomocí měřicího vrátku (WIRE LINE).

Základní koncepcí nového moderního systému vystrojení sond a manipulaci v sondách lze stručně charakterizovat takto:

- kolona těžebních trubek (stupaček) je zavěšena v závěsné přírubě produkčního kříže
- mezikruží těžební kolony je utěsněno pakrem
- pod pakrem je instalována usazovací vsuvka pro uzavírací zátku
- z hlediska oprav a manipulací v sondě je nad pakrem instalován rozpojovač kolony těžebních trubek a nad ním proplachovací (cirkulační) objímka
- v rozpojovači i proplachovací objímce je umístěno sedlo pro možnost selektivního usazení regulátoru průtoku

- ve spodní části kolony jsou dále usazena usazovací sedla pro možnost zapuštění a usazení regulačních prvků.

Hlavní požadavky na vystrojení sondy z hlediska zabezpečení výkonu sond, měření v sondě, zkoušení a oprav lze definovat takto:

1. Nerušený průchod sondou až do místa produktivního intervalu za účelem měření tlaku hlubinnými přístroji a měření nástupových křivek pro zhodnocení hydrodynamických vlastností sondy. Dále musí být umožněn průchod vzorkovací lžice a čistící kalovky.
2. Uzavření sondy ve spodní části za účelem úplné izolace produktivního obzoru při zkouškách hermetičnosti kolony čerpacích trubek, při výměnách pakrovací kapaliny nebo při zkoušce hermetičnosti čerpací kolony, případně ústí sondy bez umrtvení.
3. Bezpečnou manipulací s pakrovací kapalinou a výměnu pakrovací kapaliny bez umrtvování sondy nebo styku této kapaliny s produktivním obzorem.
4. Odzkoušení hermetičnosti a provedení obligátních tlakových zkoušek těsnosti pakru, těsnosti kolony čerpacích trubek, produkčního kříže a příruby po montáži produkčního kříže.
5. Výměnu produkčního kříže nebo jeho části bez umrtvení sondy.
6. Umožnit průchod všech částí vystrojení sondy závěsnou přírubou ústí sondy.
7. Zajistit možnost bezpečné manipulace ve vystrojené sondě pod tlakem.
8. Umožnit řízení průtoku a manipulaci v sondě pod tlakem a taktéž v průběhu oprav při umrtvení sondy.

II.3.1.4 Charakteristika a funkce komponentní konstrukce a výstroje sond

Konstrukce sondy (vrtu)

Na základě dosavadních poznatků a zkušeností z našich a zahraničních podzemních zásobníků se zdá být pro sondy do hloubky 1500 m jako optimálně vyhovující následující konstrukce:

řídící pažnicová kolona 13 $\frac{3}{8}$ " (339,7 mm)

úvodní pažnicová kolona 9 $\frac{5}{8}$ " (245 mm)

těžební pažnicová kolona 7" (178 mm) nebo 6 $\frac{5}{8}$ " (168 mm)

Zásadní otázkou pro naše zásobníky by mělo být jednotné použití těžební kolony 7" (178 mm) s tloušťkou stěny 9,19 mm a to z důvodů jednotného průměru pro vnitřní vystrojení a manipulaci v sondách.

Z důvodu dosažení větší tloušťky cementové vrstvy a tím dokonalejší utěsnění je doporučováno pro úvodní kolonu vrtání průměrem 308 mm a pro těžební kolonu 223 mm. Zajištění vrtných dlát tohoto průměru je však u nás problém. Cementace jednotlivých kolon je zásadně prováděna až po povrch. Pokud jde o konstrukci spodní části vrtu je různorodá a je závislá na geologických podmínkách, hydrodynamických vlastnostech a na vlastnostech kolektorské (skladovací) vrstvy. V tomto směru byly použity zkušenosti ze zahraničních zásobníků.

Podle stupně soudržnosti, propustnosti a obsahu jílového materiálu je volena konstrukce otevřeného vrtu přes skladovací obzor, zejména plnou pažnicovou kolonou selektivně perforovanou v místě obzoru, ochrannou pažnicí s velkoplošnou perforací, ochrannou perforovanou pažnicí s kovovým vinutým filtrem na spodní části těžebních trubek, s rozšířením vrtu pod patou těžební kolony v místě horizontu pouze s kovovým filtrem nebo s naplaveným pískem větší zrnitosti.

II.3.2 Monitorování vlivu PZP na životní prostředí

Plán monitorování se vypracovává na základě analýzy posouzení rizik provedené podle bodu 3 přílohy k zákonu o geologických pracích²⁾ a aktualizuje za účelem splnění požadavků na monitorování stanovených ve vyhlášce 239/1998 (§ 20 odst. 1).

Plán monitorování poskytuje údaje o monitorování, které je třeba provádět v hlavních fázích projektu, včetně výchozího a provozního monitorování a monitorování po uzavření. Pro každou fázi se stanoví:

- monitorované parametry,
- použité technické prostředky pro monitorování a odůvodnění této volby,
- lokality pro monitorování a zdůvodnění výběru prostorového vzorkování,
- četnost provádění a zdůvodnění výběru časového vzorkování.

Parametry určené k monitorování se volí tak, aby byly splněny jeho účely. Plán monitorování však musí v každém případě zahrnovat nepřetržité nebo dle potřeby monitorování těchto parametrů:

- prchavé emise vtláčeného média z vtláčecího zařízení a sond,
- chemická analýza vtláčovaného materiálu,

Volba technických prostředků pro monitorování vychází z osvědčených postupů dostupných v době přípravy projektu. Je třeba vzít v úvahu a podle vhodnosti využít tyto alternativy:

- technologie, které umožní detektovat přítomnost, umístění a trasy migrace vtláčeného média pod povrchem i na povrchu,
- technologie, které mají široký plošný záběr a umožňují zachytit informace o případných dříve nezjištěných možných únikových cestách v celém prostorovém rozsahu úložného komplexu i vně něj v případě závažných nesrovnalostí nebo migrace vtláčeného média mimo úložný komplex.

III) Srovnání „novosti postupů“

Metodika stanovující postupy výzkumu dotěžovaných ložisek uhlovodíků určených pro budování PZP doposud neexistovala. Z tohoto hlediska se jedná o metodiku zcela novou. Nicméně tato metodika obsahuje postupy a metody, které jsou obecně známé a používané v geologickém průzkumu a hornické činnosti. Nově je v metodice provedeno jejich hodnocení s ohledem na celkový záměr tj. budování PZP.

IV) Popis uplatnění Certifikované metodiky

Metodika pro dotěžovaná ložiska uhlovodíků je primárně určena pro ekonomické subjekty, které se budováním všech typů PZP zabývají a které realizují vlastní výstavbu.

V) Ekonomické aspekty

Do vyčíslení nákladů na zavedení postupů uvedených v metodice je nutno zahrnout provedení celého komplexu uváděných laboratorních testů a to zvláště pro tělesa kolektorů a zvláště pro tělesa izolátoru.

Předpokládané náklady na provedení tohoto komplexního výzkumu pro jeden průzkumný vrt odhadujeme na 110 tis. Kč.

Při vyčíslení ekonomického přínosu vycházíme z principu negace – tedy ze situace, kdy komplexní výzkum nebude proveden a neznalost klíčových dat (např. prahových kapilárních tlaků) může způsobit porušení těsnosti stvolu sondy, případně těsnosti nepropustného nadloží. Toto porušení těsnosti (a následná náprava) by nutně vedlo k odstavení postižené sondy (resp. sond) z provozu, v krajním případě by byl z provozu vyřazen na nějaký čas celý objekt PZP.

V současné době se cena za 1 dodanou MWh pohybuje v rozmezí 1000,- - 2000,- Kč (1 m³ plynu = 10,5 kW/h). Můžeme tedy uvažovat s cenou až 20,- Kč /m³. U provozních sond na PZP můžeme obecně uvažovat s denním výkonem v rozmezí 10 000 m³ – 100 000 m³. Finanční ztráty při jednodenním odstavení sondy by se mohly pohybovat v rozmezí 200 000,- až 2 000 000,- Kč.

Při odstavení celého provozu zásobníku (maximální denní těžební výkon u PZP Lobodice $Q_{\max} = 3,6$ mil. m^3 (nejnižší ze zásobníků) a u PZP Dolní Dunajovice, $Q_{\max} = 16$ mil. m^3 (nejvyšší ze zásobníků) by se finanční ztráty pohybovaly v rozmezí 72 až 320 mil. Kč.

VI) Seznam použité související literatury

Faruk Civan: Reservoir Formation Damage – Fundamentals, Modeling, Assessment and Mitigation. Gulf Professional Publishing, Elsevier, 2012. ISBN: 978-0-7506-7738-7

Djebbar Tieb, Erle C. Donaldson: Petrophysics – Theory and Practice of Measuring Reservoir Rock and Fluid Transport Properties. Gulf Professional Publishing, Elsevier, 2012. ISBN: 978-0-12-383848-3

John R. Fanchi: Shared Earth Modeling – Methodologies for Integrated Reservoir Simulations. Butterworth – Heinemann, Elsevier, 2008. ISBN: 0-7506-7522-5

Geotechnický průzkum a zkoušení – Odběr vzorků a měření podzemní vody – Část 1: Zásady provádění: Česká technická norma ČSN EN ISO 22475-1. Prosinec 2006

VII) Seznam publikací, které předcházely metodice

EN 1918-1 zavedená v ČSN EN 1981-1 Systémy zásobování plynem – Podzemní zásobníky plynu – Část 1: Provozní požadavky pro zásobníky v aquiferech (38 6490)

EN 1918-2 zavedená v ČSN EN 1981-2 Systémy zásobování plynem – Podzemní zásobníky plynu – Část 2: Provozní požadavky pro zásobníky v ropných a plynových ložiscích (38 6490)

EN 1918-3 zavedená v ČSN EN 1981-3 Systémy zásobování plynem – Podzemní zásobníky plynu – Část 3: Provozní požadavky pro zásobníky ve vyloužených solných kavernách (38 6490)

EN 1918-4 zavedená v ČSN EN 1981-4 Systémy zásobování plynem – Podzemní zásobníky plynu – Část 4: Provozní požadavky pro zásobníky v horninových kavernách (38 6490)

EN 1918-5 zavedená v ČSN EN 1981-5 Systémy zásobování plynem – Podzemní zásobníky plynu – Část 5: Provozní požadavky pro povrchová zařízení (38 6490)

Bujok et al. (1989) Projektování výstavby a provozu podzemních zásobníků plynu. Skriptum pro PGS, VŠB Ostrava.

Dedikace

Metodika je výsledkem řešení výzkumného projektu TAČR programu BETA č. TB 010CBU003: „Predikce horninových struktur na základě stávajících geologických poznatků, vedoucích k možnému vybudování dalších podzemních zásobníků pro uskladňování zemního plynu“

Metodika pro aquiferové struktury

Doc. Ing. Arnošt Grmela, CSc. (podíl práce 50%)

Prof. Ing. Petr Bujok, CSc. (podíl práce 30%)

Prof. Ing. Vladimír Slivka, CSc., Dr.h.c. (podíl práce 10%)

Ing. Jiří Mališ, Ph.D. (podíl práce 10%)

I) Cíl metodiky

Hlavním cílem metodiky je popis postupu hodnocení vhodnosti aquiferových (primárně zvodněných) struktur pro budování podzemních zásobníků plynu (dále jen PZP). Jedná se formace, jejichž pórovitý prostor je původně naplněn vodou, a v nichž se přetlakem vytěsnění původní pórová voda a vznikne akumulací prostor zásobníku. Tyto typy PZP jsou označovány jako zásobníky aquiferového typu. U těchto zásobníků je jednou z rozhodujících podmínek **prokázání hermetičnosti nadložních krycích vrstev a těsnost okrajových podmínek** s ohledem na předpokládaný maximální přípustný přetlak při vytěžování vody ze struktury, **prokázání potřebného plošného rozsahu a kapacitních parametrů** vhodné geologické struktury. Potřebný komplexní průzkum prognózních aquiferových struktur vyžaduje vysoké vstupní investice (rozsáhlý geologický a geofyzikální průzkum, přes ověřování těsnosti struktury, otvírku provozními vrty a vybudováním povrchové infrastruktury konče). Průzkum vhodných struktur vyžaduje velmi podrobné poznání hydrogeologických charakteristik (pouze jádrované vrty) – zejména změny fázového sycení pórů (voda/plyn, ropa/plyn, resp. plyn/plyn), poznání nevratných objemových změn pórového prostředí při změnách přírodního ložiskového tlaku/provozní tlak PZP, evaze plynu z podzemní vody při poklesu ložiskového tlaku a možnost jeho zpětného rozpouštění do podzemní vody apod. Stupeň sycení pórů plynem v tomto případě je podstatně nižší než u původního plynového ložiska.

Metodické hodnocení horninového masívu pro daný účel zahrnuje postup při získání nutných geologických informací a způsob jejich vyhodnocení. Dále zahrnuje popis jednotlivých legislativních úkonů potřebných před zahájením projektu výstavby PZP.

II) Vlastní popis metodiky

II.1 Hodnocení horninového masívu z hlediska geologie a strukturně – tektonických poměrů

- **Posouzení geomorfologické pozice lokality**

Zařazení vytipované oblasti pro stavbu PZP z geomorfologického hlediska podle současně platného/užívaného členění. V současné době je používán popis vyšších geomorfologických celků podle publikace Demek J., Mackovčín P. eds.(2006) „Hory a nížiny - Zeměpisný lexikon ČR. AOPAK ČR, Brno, 2. vydání. 582 s. Podle tohoto klasifikačního systému je geomorfologický okrsek klasifikován v pořadí:

Systém – Provincie – Subprovincie – Oblast – Celek – Podcelek – Okrsek

Popis by měl být doplněn obrázky/přílohami zobrazujícími tuto popisovanou širší oblast plánované výstavby PZP a návazně podrobnou geologii samotné lokality PZP.

- Vyhodnocení tektonické stavby na základě strukturní analýzy.
- Morfotektonická analýza na základě digitálního modelu reliéfu (DMR) a distančních satelitních dat

II.2 Hodnocení horninového masívu z hlediska hydrogeologie

Posouzení horninového masívu z hlediska jeho hydrogeologických podmínek vychází požadavku **EN 1918-1** zavedená v **ČSN EN 1981-1 Systémy zásobování plynem – Podzemní zásobníky plynu – Část 1: Provozní požadavky pro zásobníky v aquiferech (38 6490)** a podléhá základní báňské legislativě České republiky, vycházející z **horního zákona č. 44/1988 Sb.**

Základními vstupními informacemi pro návrh a posouzení horninového masívu z hlediska hydrogeologických poměrů a potřebné hydraulické těsnosti budoucího podzemního zásobníku (dále jen PZP) jsou výsledky posouzení:

- ▶ všech dosud provedených geologicko-hydrogeologických průzkumů a prací v širší oblasti plánovaného PZP,
- ▶ geomorfologické pozice širší oblasti plánovaného PZP,
- ▶ hydrologických poměrů širší oblasti a její klimatické charakteristiky,
- ▶ geologických poměrů (litologie, strukturně-tektonické poměry, určení hlavních diskontinuit (zejména regionální tektonika a omezení jednotlivých geologických těles, strukturní anomálie) a stupeň věrohodnosti jejich poznání,
- ▶ geomechanických vlastností hlavních horninových typů na posuzovaných lokalitách (z výsledků vrtného průzkumu, resp. z průzkumných důlních děl),

Poznámka: podle hydrogeologicko / hydraulického vymezení horninového masívu plánované výstavby PZP aquiferového typu se jedná o horninové prostředí, jehož **permeabilita (= koeficient propustnosti)** je na úrovni $5 \cdot 10^{-14}$ až $5 \cdot 10^{-13} \text{ m}^2$ a vyšší. Propustnost je rozhodující pro vlačnou kapacitu sond a vyrovnávání tlaku v zásobníku. Optimálně by měla být v hodnotách nad $0,5 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2$. Standardními laboratorními testy se nedá stanovit reálná regionální anizotropie permeability kolektoru (odvodit ji lze pouze z dlouhodobého sledování tlakového režimu v síti monitorovacích sond in situ za období vytváření a provozu - jak ve fázi vtláčení, tak ve fázi odběru plynu PZP).

U **složených kolektorů akumulacní vrstvy** PZP je nutno podle skutečně zjištěné stavby použít specifické vyhodnocovací metody hydrodynamických zkoušek (Hantush-Jacob, Walton, Neuman-Witherspoon, Moench aj.). Projektování, řízení, monitorování a vyhodnocování takovýchto testů by měl být prováděn pouze hydrauliky-specialisty, odborně způsobilými v této problematice.

Dostatečná, resp. **optimální hodnota efektivní pórovitosti**, je cca $n_{ef} \approx 0,2$ až $0,25$. Nižší hodnoty efektivní pórovitosti (n_{ef} pod $0,16$) nezaručují dostatečnou skladovací kapacitu; při vyšší pórovitosti nad $0,25$ již není hornina většinou dostatečně zpevněná a je nebezpečí ztekucení nesoudržného materiálu.

Podle běžného laboratorního stanovení pórovitosti horninového masívu obdržíme vždy hodnoty vyšší než je jeho **skutečná akumulacní pórovitost**, která se blíží k tzv. odkapné pórovitosti, speciálně zjišťované na orientovaných vzorcích (nezapočítává

pórové prostranství, v němž tekutiny se nemohou zúčastnit proudění).

Strop kolektoru by neměl být v **hloubkách** menších než 300 m a ve větších hloubkách než 500 až 800 metrů (optimální hloubka by neměla být překročována - ve větších hloubkách stoupají finanční náklady na kompresi plynu). Využitelné jsou však i kolektory do hloubek cca 2000 m (nutno zohlednit i pokles pórovitosti horninového prostředí s hloubkou).

Mocnost akumulčního kolektoru by měla být nejméně 6 – 30 m, kolektor musí být překryt izolujícími horninami (např. jíly) s velmi nízkou propustností.

Vhodná struktura aquiferového typu pro vytvoření podzemního zásobníku plynu by měla mít **kapacitou** okolo 200 milionů m³ deponovaného stlačeného plynu a **rozlohu** cca 2 x 1 km (v některých případech může mít i tvar stratigrafické pasti).

Plynový zásobník aquiferového typu nesmí, podle současných legislativních podmínek, hraničit s PHO vodních zdrojů pitných nebo minerálních vod, či být situován přímo v těchto pásmech ochrany.

II.2.1 Podrobná rešerše všech dosud provedených geologicko–hydrogeologických průzkumů a prací v širší oblasti plánovaného PZP

Neoddělitelnou součástí projektu výstavby PZP je úplný seznam a potřebná **rešerše všech materiálů (zpráv, studií apod.) týkajících se dosud provedených geologicko-hydrogeologických průzkumů a prací v širší oblasti** a jejich současná dosažitelnost (ČGS-Geofond, archivy průzkumných organizací, firemní archivy apod.). Zejména je důležité provést velmi pečlivé **prověření všech informací z provedených hlubokých vrtů** (pozice, hloubkový dosah, způsob likvidace, výsledky analýz horninových vzorků a údajů o podzemních vodách /chemické analýzy, vydatnosti přítoků apod./), které mohou dát potřebné informace o přírodním prostředí PZP, resp. by mohly být prioritními cestami pro úniky plynu z budoucího PZP.

II.2.2 Hydrologické poměry širší oblasti a její klimatické charakteristiky

V rámci této kapitoly musí být zpracovány **hydrologické poměry širší oblasti** plánované výstavby PZP ve vztahu k její klimatické charakteristice (primární vodní dotace do povrchového toku a do mělkého oběhu podzemních vod, které jsou v interakci s povrchovými vodami). Kvartérní pokryv a přípovrchová zóna rozvolnění hornin je obvykle hlavním kolektorem mělkého oběhu s regionálním významem. Tento mělký oběh podzemních vod probíhá obvykle v průlinovém až průlinovo-puklinovém kolektoru o mocnosti od několika metrů do několika desítek metrů. Jeho dotace je výrazně v závislosti na klimatických poměrech dané lokality.

Základní **informace o klimatických poměrech** poskytnou příslušné pobočky ČHMÚ. Jedná se o uvedení dlouhodobých průměrných hodnot ročních srážkových úhrnů, průměrných ročních hodnot evapotranspirace, průměrných teploty v klidovém a vegetačním období hydrologického roku, extrémních hodnot přívalových srážek, teplot v klidovém a vegetačním období a případně jiné charakteristiky hodnocené oblasti. V případě potřeb hydrologického srážko-odtokového matematického modelu bude nutno vstupní údaje zahustit (např. frekvence měsíční).

Hydrologická charakteristika širší oblasti (členěno a označováno podle jednotlivých dílčích povodí) musí na úrovni obecných informací zahrnovat:

- přesný **popis jednotlivých vodotečí** v dotčených dílčích povodích (nejlépe až po

úroveň VI. řádu toku) + mapová příloha,

- **charakteristiku povrchového toku** a uvedením kódu dílčího povodí podle klasifikace ČHMÚ, dlouhodobých průměrných a extrémních průtoků, průměrných měsíčních průtoků, vymezení úseků dotace vodoteče ze zdrojů podzemních vod a úseků přestupu povrchových vod do vod podzemních.
Součástí popisu by měl být i popis vývoje říční sítě (včetně antropogenních zásahů do původních přirozených poměrů). Morfologie současného reliéfu napovídá často tomu, že reliéf byl modelován v první řadě erozně denudačními pochody v souvislosti s vývojem údolní sítě nebo v souvislosti s mladými tektonickými pohyby, či je projevem selektivní eroze na drcených zónách starých zlomových struktur horninového masivu apod.,
- je vhodné poznat průměrné **hydrochemické charakteristiky vodního toku** v základních parametrech, aby bylo možno posoudit případnou hloubku zásahu mělkého oběhu podzemních vod, resp. případné zasakování povrchových vod do hlubších úrovní horninového masivu po prioritních cestách. Posuzovány by měly být pouze vzorky, které nejsou ovlivněny extrémními stavy v povrchovém toku a pouze **analýzy prováděné v akreditovaných laboratořích**,
- součástí popisu hydrologických poměrů nutno analogicky **zdokumentovat i vodní nádrže, případné mokřady, prameniště** apod.,
- vzhledem k zadanému problému (PZP v aquiferových strukturách) je vhodné k hydrologickému hodnocení oblasti přiřadit i **vody mělkého oběhu – freatické vody** (mělké podzemní vody většinou s volnou hladinou obvykle ve kvartéřním pokryvu či zvětralinovém plášti horninového masivu).
- Pro řešení problému je nutno zdokumentovat **stávající stav jímání vod** pro vodárenské účely, odběry tohoto typu podzemních vod pro účely zemědělství, průmysl a lokální studny bytové zástavby. Chemické rozborby by měly být provedeny stejně jako u vod povrchových.

Dokumentace této kapitoly by měla být tvořena mapovými výseky – např. základní vodohospodářská mapa ČR, mapa geofaktorů životního prostředí ČR, mapa geochemie povrchových vod ČR, mapa ložisek nerostných surovin ČR se značením bývalé těžební činnosti, mapa inženýrskogeologického rajónování ČR, geologická, hydrogeologická mapa ČR apod. Součástí závěrů této kapitoly by měl být **stanoven režim monitoringu základních hydrologických charakteristik** (seznam objektů, monitorované horizonty, četnost měření apod.). Monitoring by měl zahrnovat i režim mělkých podzemních vod (hladiny, směry proudění, změny kvality vod apod.).

II.2.3 Hydrogeologické poměry širší oblasti a hydraulické vlastnosti horninového prostředí

Pro hydrogeologicko-hydraulické hodnocení prostředí pro výstavbu PZP v aquiferových strukturách je nutno:

- při provádění vrtného geologického průzkumu testovat horninový masív:
 - pro vymezené úseky a horninové komponenty dané lokality (od pokryvných útvarů, zvětralinového pláště horninového basementu a jeho petrografických členů) **testovat laboratorně vrtné jádro** na získání základních parametrů: pórovitost (otevřená, efektivní, drenážní), permeabilita vzorku na vodu a na plyn (absolutní, fázová),
 - odebrané reprezentativní vzorky jednotlivých horninových vrstev musí být **laboratorně testovány** z hlediska mineralogického/petrografického složení horniny, jejich sorpčních a adsorbčních vlastností, geomechanických vlastností, hydraulických parametrů apod. Jedná se sice pouze o orientační hodnoty s omezenou jejich prostorovou extrapolací a hodnoty ovlivněné do značného stupně nereálnými vnějšími podmínkami (tlak, teplota, anizotropie, fázové poměry atd.). V současné době jsou již k dispozici laboratoře vybavené přístroji s možností ve značném stupni některé reálné vlastnosti prostředí simulovat. Je vhodné např. využít systém vyhodnocující zhoršení kolektorských vlastností vrstev v přívrtnové zóně sondy (např. metoda FDES-350), systém určení relativní propustnosti v jednofázovém a dvoufázovém toku v režimu ložiskového tlaku až 35 MPa (metoda BRP 350), speciální přístroje pro měření propustnosti plynné fáze v ložiskových tlacích apod.,
 - v místech zvodněných zón (mimo první mělké zvodně v kvartéru či zvětralinovém plášti) provést **hydrodynamickou zkoušku** zaměřenou na získání - mimo výše uvedených parametrů - ještě základních hydraulických vlastností kolektoru (hydraulické vodivosti, storativity pružné, transmisivity, tlakové difuzivity, objemové stlačitelnosti zvodněného prostředí apod.). Hydrodynamické zkoušky vést zásadně v podmínkách neustáleného proudění s následnou stoupací zkouškou. Provést odběr vzorku na **hydrochemický rozbor**, posoudit agresivitu podzemních vod, zaměřit **vydatnost přítoku** a stanovit případné další parametry, které by charakterizovaly zvodněnou zónu,
 - po ukončení průzkumného vrtu v zadaných intervalech monitorovat **případné výstupy juvenilního CO₂**, indikující tektonicky predisponované zóny hlubinného dosahu.
- výsledkem geologického (případně geofyzikálního) průzkumu, geomorfologických indicií apod. **stanovit rozsah tělesa** možného k využití pro výstavbu PZP a prognózovat **typ hydraulických okrajových podmínek** (zejména okrajovou podmínka II. typu – Neumannovu s kvantifikací případných hodnot specifické vydatnosti /měrný přítok/ v m.s⁻¹),
- výsledkem hydrogeologického a hydrogeochemického monitoringu a jeho vyhodnocením posoudit **stupeň těsnosti nadložního izolátoru**, (obvykle přijímaná prahová hodnota propustnosti pro plyn je pod $1 \cdot 10^{-20} \text{m}^2$), indikovat případné zóny zvýšené propustnosti apod. Jedná se zejména o antropogenně indukované změny tlaku vrstevních tekutin a jejich laterální dosahy, horizontální i vertikální změny hydrochemické zonálnosti kvality podzemních vod, plynoprospekce aj.

- výsledkem všech základních druhů průzkumu je i zajistit **podklady potřebné k sestavení numerického modelu** lokality, který by predikoval možné proudění podzemních vod na lokalitě a možné proudění deponovaného plynu horninovým prostředím se zohledněním tlakových poměrů v PZP,
- pro optimální prostředí výstavby PZP aquiferového typu jsou vhodné následující parametry:
 - díla PZP mají jak **v nadloží dostatečně mocný a pro plyny těsný izolátor**,
 - díla PZP jsou **v hloubkách větších než 300 m pod povrchem**,
 - oblast je **seizmicky stabilní, nenarušená hydraulicky aktivními zlomy** nebo puklinovými systémy, či starou hornickou činností,
 - prostředí, kde potenciální stavba **není omezována legislativními předpisy** (chráněná území, národní parky apod.),
- zohlednit předpokládané **tlaky a teploty plynů v úložišti a provést studii** (geochemický model) **jejich interakce s horninovým prostředím** (minerální komponenty) a případnou důlní vodou v dílech PZP,
- specifikovat způsob **likvidace průzkumných vrtů**, které jsou provedeny v ploše projektovaného PZP nebo s ní hydraulicky mohou být propojeny. Likvidaci vrtů provést pod stálým technickým dozorem, s pravidelným záznamem průběhu likvidace. Likvidované vrty zabezpečit tak, aby bylo jejich ústí kontrolovatelné po celou dobu provozu PZP,
- hloubení provozních vrtů pro zásobník se provádí zásadně **metodou jádrového vrtání** (včetně krycí vrstvy a horizontu akumulací vrstvy kolektoru). Získaná petrografická data a výsledky elektrických a radio-karotáží (logy) se koreluje s výsledky průzkumu a umožňují zpřesňovat rozsah zásobníku a jeho pórovou kubaturu. Dále se získává z analýz vrtních jader a z vyhodnocování karotáží pro provoz zásobníků důležitá znalost fyzikálních vlastností hornin – jako je mocnost a nepropustnost krycích vrstev; pórovitost, permeabilita, poznatky o tmelu, stupeň nasycení aquiferu vodou atd.,
- před první kompresí plynu do zásobníku provést **hydrodynamickou zkoušku** (viz kap. II.2.4), přičemž se provádí **sledování interference na ostatních existujících vrtech**,
- na základě komplexního hodnocení průzkumných vrtů provést výběr, zajištění a úpravu vrtů určených **jako monitorovací objekty budoucího PZP**. Na těchto vrtech již i v etapě průzkumu zahájit monitoring režimu ložiskových tlaků ve zvodněném kolektoru v korelaci se změnami barometrického tlaku, resp. s hydraulickými zásahy v okolních průzkumných vrtech,
- při projektu PZP nutno zohlednit to, že **tlak plynu musí překračovat prahový tlak**, tj. minimální potřebný tlak, a aby se vytěsnila voda ze stoprocentně nasycené horniny. Vtlačná rychlost může být odhadnuta z laboratorních údajů a interpretací karotáže. Nutno zohlednit to, že pozorovací sonda reaguje tlakově s určitou retardací, závislou na parametrech vrstvy.
Poznámka: vyhodnocováním hydraulického chování takového geohydrodynamického systému by měl být prováděn hydrauliky-specialisty, odborně způsobilými v této problematice.
- pro **výpočty základních parametrů PZP** možno využít teoretické základy uvedené např. v Bujok et al. (1985), kde jsou výpočetní postupy pro stanovení uskladňovacích kapacitních parametrů, celkové objemové náplně PZP, stanovení objemů volných pórů, vytlačno-objemových kapacit zásobníku atd.

Poznámka: upozorňuji na rozdílnost hodnot propustnosti, transmisivity a dalších hydraulických parametrů tekutin: voda – plyn. Běžně jsou posuzovány a uváděny hydraulické parametry hornin pro vodu hodnoty pro plyn jsou řádově jiné. V podstatě lze

posuzovat horninový masiv pro plyn podle hodnot permeability (symb. „k“ v jednotkách m^2 , resp. starších jednotkách D (darcy), transmisivitu podle T_{abs} (m^3), hydraulickou difuzivitu.

Poznámka: propustnost zjevných poruch pro vodu a plyn se v nepropustných horninách projevuje desítky až stovky metrů pod povrch tohoto horninového masívu, přičemž rozevření diskontinuit je obecně menší než 1 mm.

Poznámka: nutno zohlednit efekt spojený se stlačitelností hornin při odvodnění průlinových systémů a nahrazení jejich výplně plynem, což je doprovázeno výraznými změnami původně zjištěných hydraulických parametrů (např. hydrodynamickými zkouškami při vrtném průzkumu z povrchu).

III) Srovnání „novosti postupů“

Metodika stanovující postupy výzkumu akviferových struktur určených pro budování PZP doposud neexistovala. Z tohoto hlediska se jedná o metodiku zcela novou. Nicméně tato metodika obsahuje postupy a metody, které jsou obecně známé a používané v geologickém průzkumu a hornické činnosti. Nově je v metodice provedeno jejich hodnocení s ohledem na celkový záměr tj. budování PZP.

IV) Popis uplatnění Certifikované metodiky

Metodika pro akviferové struktury je primárně určena pro ekonomické subjekty, které se budováním všech typů PZP zabývají a které realizují vlastní výstavbu.

V) Ekonomické aspekty

Do vyčíslení nákladů na zavedení postupů uvedených v metodice je nutno zahrnout provedení celého komplexu uváděných laboratorních testů a to zvláště pro tělesa kolektorů a zvláště pro tělesa izolátoru.

Předpokládané náklady na provedení tohoto komplexního výzkumu pro jeden průzkumný vrt odhadujeme na 110 tis. Kč.

Při vyčíslení ekonomického přínosu vycházíme z principu negace – tedy ze situace, kdy komplexní výzkum nebude proveden a neznalost klíčových dat (např. prahových kapilárních tlaků) může způsobit porušení těsnosti stvolu sondy, případně těsnosti nepropustného nadloží. Toto porušení těsnosti (a následná náprava) by nutně vedlo k odstavení postižené sondy (resp. sond) z provozu, v krajním případě by byl z provozu vyřazen na nějaký čas celý objekt PZP.

V současné době se cena za 1 dodanou MWh pohybuje v rozmezí 1000,- - 2000,- Kč (1 m^3 plynu = 10,5 kW/h). Můžeme tedy uvažovat s cenou až 20,- Kč / m^3 . U provozních sond na PZP můžeme obecně uvažovat s denním výkonem v rozmezí 10 000 m^3 – 100 000 m^3 . Finanční ztráty při jednodenním odstavení sondy by se mohly pohybovat v rozmezí 200 000,- až 2 000 000,- Kč.

Při odstavení celého provozu zásobníku (maximální denní těžební výkon u PZP Lobodice $Q_{max} = 3,6$ mil. m^3 (nejnižší ze zásobníků) a u PZP Dolní Dunajovice, $Q_{max} = 16$ mil. m^3 (nejvyšší ze zásobníků) by se finanční ztráty pohybovaly v rozmezí 72 až 320 mil. Kč.

VI) Seznam použité související literatury

Evans, D.J. (editor): *An appraisal of underground gas storage technologies and incidents, for the development of risk assessment methodology*. Health and Safety Executive, 2008.

Younger, P.L.: *Hydrogeological and Geomechanical Aspects of Underground Coal Gasification and its Direct Coupling to Carbon Capture and Storage*. *Mine Water Environment*, Springer, 2011.

Ewans, D.J. and Chadwick, R.A. (editors) 2009. *Underground Gas Storage, Worldwide Experiences and Future Development in the UK and Europe*. Geological Society, London, Special Publications, 313.

VII) Seznam publikací, které předcházejí metodice

EN 1918-1 zavedená v ČSN EN 1981-1 Systémy zásobování plynem – Podzemní zásobníky plynu – Část 1: Provozní požadavky pro zásobníky v aquiferech (38 6490).

EN 1918-2 zavedená v ČSN EN 1981-2 Systémy zásobování plynem – Podzemní zásobníky plynu – Část 2: Provozní požadavky pro zásobníky v ropných a plynových ložiscích (38 6490).

EN 1918-5 zavedená v ČSN EN 1981-5 Systémy zásobování plynem – Podzemní zásobníky plynu – Část 5: Provozní požadavky pro povrchová zařízení (38 6490).

Schwartz F.W., Zhang H. (2003): *Fundamentals of Ground Water*. Nakl. John Wiley and Sons, Inc. ISBN 0-471-13785-5, New York.

Demek J., Mackovčín P. eds.(2006) „Hory a nížiny - Zeměpisný lexikon ČR. AOPAK ČR, Brno, 2. vydání. 582 s

Bujok et al. (1989) *Projektování výstavby a provozu podzemních zásobníků plynu*. Skriptum pro PGS, VŠB Ostrava.

Dedikace

Metodika je výsledkem řešení výzkumného projektu TAČR programu BETA č. TB 010CBU003: „Predikce horninových struktur na základě stávajících geologických poznatků, vedoucích k možnému vybudování dalších podzemních zásobníků pro uskladňování zemního plynu“

Metodika pro nepropustné horninové masivy

Prof. Ing. Vladimír Slivka, CSc., Dr.h.c. (podíl práce 35%)

Doc. Ing. Radomír Grygar, CSc. (podíl práce 30%)

Doc. Ing. Arnošt Grmela, CSc. (podíl práce 20%)

Ing. Jiří Mališ, Ph.D. (podíl práce 10%)

Doc. Ing. Vladimír Čablík, Ph.D. (podíl práce 5%)

I) Cíl metodiky

Hlavním cílem metodiky je popis postupu hodnocení vhodnosti nepropustných horninových masivů pro budování podzemních zásobníků plynu (dále jen PZP).

Metodické hodnocení horninového masivu pro daný účel zahrnuje postup při získání nutných geologických informací a způsob jejich vyhodnocení. Dále zahrnuje popis jednotlivých legislativních úkonů potřebných před zahájením projektu výstavby PZP.

II) Vlastní popis metodiky

II.1 Hodnocení horninového masivu z hlediska geologie a strukturně – tektonických poměrů

Návrh metodiky pro posouzení horninového masivu z hlediska geologických a strukturně-tektonických podmínek vychází z CSN EN 1918-4 (38 6490): Gas supply systems – underground gas storage – Part 4: Functional recommendation for storage in rock caverns, chapt. 4.2 Geological exploration.

Vstupními informacemi pro návrh a posouzení horninového masivu z hlediska geologických poměrů a strukturně-tektonické stavby pro potřeby potenciálního podzemního zásobníku plynu (PZP) jsou výsledky posouzení všech dosud provedených a dostupných regionálně-geologických prací v širší oblasti plánovaného PZP. Navazující geologický průzkum by měl vést k získání dostatečných znalostí o podrobné geologii lokality a její tektonické stavbě.

Projekt geologicko-průzkumných prací pro PZP by měl obsahovat:

II.1.1 Posouzení geomorfologické pozice lokality

viz kap. II.2 - hydrogeologie

II.1.2 Geologie širší oblasti a návazně podrobnou geologii samotné lokality PZP

Regionálně-geologická charakteristika zájmové oblasti vychází z dosud provedených dostupných geologických mapování regionálních měřítek (1:25 000, event. 1:50 000) a na ně musí navazovat podrobné geologické mapování samotné lokality PZP v měřítku 1:5 000 a vytvoření zakryté i odkryté geologické mapy. V závislosti na konkrétní složitosti oblasti, stupni odkrytí a prozkoumanosti (provedených technických pracích) lze event. výsledně skreslit geologickou mapu do měřítku 1:10 000. Samozřejmě součástí geologické mapy musí být geologický řez, případně více vhodně volených řezů. Doprovodná geologická dokumentace by měla být zpracována formou databáze (katalog) geologických objektů (výchozů atp.) navazující na mapu dokumentačních bodů, případně průzkumných vrtů, včetně archivních atd. Nedílnou součástí doprovodné zprávy ke geologické mapě by měla být petrografická charakteristika a výskyt horninových litologií.

II.1.3 Vyhodnocení tektonické stavby na základě strukturní analýzy.

Vyhodnocení tektoniky (geologické stavby) zájmového území vychází z výše uvedených prací souvisejících s geologickým mapováním. Terénní mezoskopická analýza musí tedy být nedílnou součástí geologického mapování. Případně je možno, je-li k dispozici, využít databází strukturních dat, včetně případné

strukturně-tektonické důlní dokumentace, jedná-li se lokalitu PZP, která navazuje na důlní průzkumnou a těžební činnost.

Terénní výzkum by měl spočívat v měření prostorové orientace a popisu charakteru a genetické klasifikace (včetně vzájemné superpozice) všech planárních a lineárních struktur na odkryvech, případně v důlních dílech. Pro poznání duktilních staveb je především nezbytné systematické měření metamorfních foliací, klivákových systémů, vrásových struktur (b-osy vrás, ramen vrás atp.), duktilních střížných zón atd. U intruzivních, případně vulkanických hornin přichází v úvahu měření magmatických staveb (přednostní prostorové orientace horninových minerálů) a orientace intruzivních kontaktů.

V případě analýzy křehké tektoniky je potřeba sledovat a vyhodnotit orientaci, vzájemné vztahy a kinematiku zlomů a duktilně-křehkých střížných zón, mj. na základě systematického sledování a měření kinematických indikátorů – striace, tektonické ohlasy atd. Dále je nezbytné systematické měření orientace, geneze a charakteru puklinových systémů (tahové, střížné pukliny, výplně - vyhojení puklinových systémů, otevřenost vers. sevřenost, drsnost a průběžnost puklin atd.). Stejně jako u duktilních systémů je zásadní sledování superpozice křehkých systémů, jejich vzájemné vztahy (vztah puklin a zlomů) a vzájemné vztahy duktilních a křehkých systémů. Zvláštní pozornost je potřeba již v souvislosti s geologickým mapováním věnovat zónám drcení a alterací.

Veškerá strukturní měření je, v závislosti na četnosti (kvantitě) měření, statisticky vyhodnotit metodou pólových, případně růžicových úsekových diagramů. Tyto by měly být přehledně prezentovány, nejlépe po jednotlivých strukturních prvcích, v kartodiagramech.

II.1.4 Morfotektonická analýza na základě digitálního modelu reliéfu (DMR) a distančních satelitních dat

Morfotektonická analýza provedena na základě digitálního modelu reliéfu a současně s využitím široké škály distančních satelitních, případně leteckých dat (souborně dálkový průzkum Země – DPZ) je nezbytnou součástí celkové tektonické analýzy geologické stavby lokality PZP. Vzájemná konfrontace a verifikace, s následnou syntézou těchto metod a terénní mezoskopické strukturní analýzy (viz bod 3.), vede k relativně nejobektivnějšímu vyhodnocení tektonických poměrů (stavby) zájmové lokality PZP.

Prvotním krokem morfotektonické analýzy je vizuální analýza digitálního modelu reliéfu (DMR). Ten by měl být zhotoven na podkladě nejpřesnějšího zdroje elevačních dat v ČR, kterým je aktuálně ZABAGED10 Zeměměřičského úřadu ČR. Vedle vizuálního zhodnocení je potřeba využít dalšího potenciálu, který DMR poskytuje a podrobit je detailní analýze v prostředí GIS, tj. realizovat analýzu sklonitosti, svahové expozice, analýzu horizontální a vertikální křivosti atd. Tento soubor analytických a vizuálních metod má za cíl zhodnocení strukturní porušenosti (síť zlomů, puklinové zóny, intenzita rozpukání atd.), včetně širšího okolí lokality PZP.

V rámci analýzy distančních dat – dálkového průzkumu Země (DPZ) je potřeba realizovat analýzu radarových dat. V jejím rámci je potřeba uplatnit metodu automatické extrakce, tj. minimálně dvojstupňové transformace a směrové filtrace pro vymezení liniových prvků (zlomy, tektonické zóny, puklinové zóny atd.) z digitálního obrazu. Následně je nutné geostatistické vyhodnocení hustoty liniových objektů (tak, jak byly extrahovány do jednotlivých GIS vrstev), např. v prostředí ArcGIS Spatial Analyst.

Na základě těchto metod a v konfrontaci s liniovými strukturními objekty získanými klasickou strukturní analýzou a analýzou DMR je možné získat v rámci zájmového území PZP zóny s nízkou, střední a vysokou intenzitou tektonického porušení (plošnou frekvencí výskytu liniových vektorových objektů).

Na základě všech výše specifikovaných metod je možno sestavit mapu tektonické členitosti podle předem stanovené kategorizace, která odráží stupeň strukturní anizotropie, resp. heterogenitu horninového masivu především s ohledem na charakter a intenzitu křehkého porušení (zlomy, tektonické zóny, puklinové systémy a zóny), jakožto potenciálních komunikačních a únikových cest plynu. Zde je především nutné vymežit a charakterizovat oblasti křížení a strukturní interference výše specifikovaných systémů křehkého porušení.

II.2 Hodnocení horninového masívu z hlediska hydrogeologie

Posouzení horninového masívu z hlediska jeho hydrogeologických podmínek vychází požadavku z ČSN EN 1918-4 (38 6490) : **Gas supply systems - Underground gas storage - Part 4: Functional recommendations for storage in rock caverns, chapt. 4.2 (Geological exploration) and 4.3 (Hydraulic containment)** a podléhá základní báňské legislativě České republiky, vycházející z **horního zákona č. 44/1988 Sb.**

Základními vstupními informacemi pro návrh a posouzení horninového masívu z hlediska hydrogeologických poměrů a potřebné hydraulické těsnosti budoucího podzemního zásobníku (dále jen PZP) jsou výsledky posouzení:

- ▶ všech dosud provedených geologicko-hydrogeologických průzkumů a prací v širší oblasti plánovaného PZP,
- ▶ geomorfologické pozice širší oblasti plánovaného PZP,
- ▶ hydrologických poměrů širší oblasti a její klimatické charakteristiky,
- ▶ geologických poměrů (litologie, strukturně-tektonické poměry, určení hlavních diskontinuit (zejména regionální tektonika a omezení jednotlivých geologických těles, strukturní anomálie) a stupeň věrohodnosti jejich poznání,
- ▶ geomechanických vlastností hlavních horninových typů na posuzovaných lokalitách (z výsledků vrtného průzkumu, resp. z průzkumných důlních děl),

Poznámka: podle hydrogeologicko / hydraulického vymezení horninového masívu plánované výstavby PZP se jedná o horninové prostředí, jehož koeficient hydraulické vodivosti (= koeficient filtrace je nižší než hodnota $1 \cdot 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$).

II.2.1 Podrobná rešerše všech dosud provedených geologicko–hydrogeologických průzkumů a prací v širší oblasti plánovaného PZP

Neoddělitelnou součástí projektu výstavby PZP je úplný seznam a potřebná **rešerše všech materiálů (zpráv, studií apod.) týkajících se dosud provedených geologicko-hydrogeologických průzkumů a prací v širší oblasti** a jejich současná dosažitelnost (ČGS-Geofond, archivy průzkumných organizací, firemní archivy apod.). Zejména je důležité provést velmi pečlivé **prověření všech informací z provedených hlubokých vrtů** (pozice, hloubkový dosah, způsob likvidace, výsledky analýz horninových vzorků a údajů o podzemních vodách /chemické analýzy, vydatnosti přítoků apod./), které mohou dát potřebné informace o přírodním prostředí PZP, resp. by mohly být prioritními cestami pro úniky plynu z budoucího PZP.

II.2.2 Geomorfologická pozice širší oblasti plánovaného PZP

Zařazení vytipované oblasti pro stavbu PZP z geomorfologického hlediska podle současné platného/užívaného členění. V současné době je používán **popis vyšších geomorfologických celků** podle publikace Demek J., Mackovčín P. eds.(2006) „Hory a nížiny - Zeměpisný lexikon ČR. AOPAK

ČR, Brno, 2. vydání. 582 s. Podle tohoto klasifikačního systému je geomorfologický okrsek klasifikován v pořadí:

Systém – Provincie – Subprovincie – Oblast – Celek – Podcelek – Okrsek

Popis by měl být doplněn obrázkem/přílohou zobrazujícím tuto popisovanou širší oblast plánované výstavby PZP

II.2.3 Hydrologické poměry širší oblasti a její klimatické charakteristiky

V rámci této kapitoly musí být zpracovány **hydrologické poměry širší oblasti** plánované výstavby PZP ve vztahu jednak k její klimatické charakteristice (jako základní vodní dotace do povrchového a mělkého oběhu vod) a jednak k povrchovým vodotečím včetně mělkého oběhu podzemních vod, které jsou v interakci s povrchovými toky. Kvartérní pokryv a přípovrchová zóna rozvolnění hornin je obvykle hlavním kolektorem mělkého oběhu s regionálním významem. Tento mělký oběh podzemních vod probíhá obvykle v průlinovém až průlinovo-puklinovém kolektoru o mocnosti od několika metrů do několika desítek metrů. Pohyb podzemních vod v přípovrchové zóně probíhá nejprve ve smíšeném průlinovém a puklinovém prostředí, zatímco do hloubky se mění na výhradně puklinový. Jeho dotace je výrazně v závislosti na klimatických poměrech dané lokality.

Základní **informace o klimatologických poměrech** poskytnou příslušné pobočky ČHMÚ. Jedná se o uvedení dlouhodobých průměrných hodnot ročních srážkových úhrnů, průměrných ročních hodnot evapotranspirace, průměrných teploty v klidovém a vegetačním období hydrologického roku, extrémních hodnot přívalemých srážek, teplot v klidovém a vegetačním období a případně jiné charakteristiky hodnocené oblasti. V případě potřeb hydrologického srážko-odtokového matematického modelu bude nutno vstupní údaje zahustit (např. frekvence měsíční).

Hydrologická charakteristika širší oblasti (členěno a označováno podle jednotlivých dílčích povodí) musí zahrnovat:

- přesný **popis jednotlivých vodotečí** v dotčených dílčích povodích (nejlépe až po úroveň VI. řádu toku) + mapová příloha,
- **charakteristiku povrchového toku** a uvedením kódu dílčího povodí podle klasifikace ČHMÚ, dlouhodobých průměrných a extrémních průtoků, průměrných měsíčních průtoků, vymezení úseků dotace vodoteče ze zdrojů podzemních vod a úseků přestupu povrchových vod do vod podzemních.
Součástí popisu by měl být i popis vývoje říční sítě (antropogenní zásahy do přirozených poměrů, rozsahy a stupně případných teras apod.). Morfologie současného reliéfu napovídá často tomu, že reliéf byl modelován v první řadě erozně denudačními pochody v souvislosti s vývojem údolní sítě nebo v souvislosti s mladými tektonickými pohyby, či je projevem selektivní eroze na drcených zónách starých zlomových struktur horninového masivu apod.,
- je vhodné poznat průměrné **hydrochemické charakteristiky vodního toku** v základních parametrech, aby bylo možno posoudit případnou hloubku zásahu mělkého oběhu podzemních vod, resp. případné zasakování povrchových vod do hlubších úrovní horninového masivu po prioritních cestách. Posuzovány by měly být pouze vzorky, které nejsou ovlivněny extrémními stavy v povrchovém toku a pouze **analýzy prováděné v akreditovaných laboratořích,**

- součástí popisu hydrologických poměrů nutno analogicky **zdokumentovat i vodní nádrže, případné mokřady, prameniště** apod.,
- vzhledem k zadanému problému (PZP v nepropustných horninách) je vhodné k hydrologickému hodnocení oblasti přiřadit i **vody mělkého oběhu – freatické vody** (mělké podzemní vody většinou s volnou hladinou obvykle ve kvartéřním pokryvu či zvětralinovém plášti horninového masivu).
Pro řešení problému je nutno zdokumentovat **stávající stav jímání těchto vod** pro vodárenské účely, odběry tohoto typu podzemních vod pro účely zemědělství, průmysl a lokální studny bytové zástavby. Chemické rozborby by měly být provedeny stejně jako u vod povrchových.

Dokumentace této kapitoly by měla být tvořena mapovými výseky – např. základní vodohospodářská mapa ČR, mapa geofaktorů životního prostředí ČR, mapa geochemie povrchových vod ČR, mapa ložisek nerostných surovin ČR se značením bývalé těžební činnosti, mapa inženýrskogeologického rajónování ČR, geologická, hydrogeologická mapa ČR apod. Součástí závěrů této kapitoly by měl být **stanoven režim monitoringu základních hydrologických charakteristik** (seznam objektů, monitorované horizonty, četnost měření apod.). Monitoring by měl zahrnovat i režim mělkých podzemních vod (hladiny, směry proudění, změny kvality vod apod.).

II.2.4 Hydrogeologické poměry širší oblasti a hydraulické vlastnosti horninového prostředí

Zadaná problematika „Metodika pro nepropustné horninové masívy“ je z hlediska hydrogeologických a hydraulickým podmínek výstavby PZP nejjednodušší. Nepropustné horninové prostředí je charakteristické nižšími hodnotami hydraulické vodivosti pro vodu (koeficientu filtrace) je nižší než hodnota $1 \cdot 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (= koeficient propustnosti /permeability/ $k < 1 \cdot 10^{-16} \text{ m}^2$). Tím jsou vymezeny horniny typu: regionálně metamorfované horniny /amfibolity, ruly, granulity aj./, hlubinné magmatické horniny, kompaktní zpevněné pelitické sedimenty apod. Vyšší propustnost takového horninového prostředí je pouze sekundární (tektonické porušení, intenzivní rozpukání v přípovrchové zóně apod.). Vzhledem k dalším podmínkám pro realizaci PZP (zejména jejich hloubka pod povrchem) nelze do takového horninového prostředí zařadit např. sedimenty s průlinovou propustností, většinu hornin výlevných aj.

Poznámka: upozorňuji na rozdílnost hodnot propustnosti, transmisivity a dalších hydraulických parametrů tekutin: voda – plyn. Běžně jsou posuzovány a uváděny hydraulické parametry hornin pro vodu hodnoty pro plyn jsou řádově jiné. V podstatě lze posuzovat horninový masiv pro plyn podle hodnot permeability (symb. „k“ v jednotkách m^2 , resp. starších jednotkách D (darcy), transmisivitu podle $T_{\text{abs}} (\text{m}^3)$, hydraulickou difuzivitu. Pro porovnání s výše uvedenými hodnotami pro horniny s nízkou pórovitostí a nízkou propustností pro vodu jsou (Schwartz, Zhang, 2003):

typ horniny:	pórovitost n_{eff} :	permeabilita [m^2]:
metamorfity	3 – 0,1 %	$10^{-19} - 10^{-24}$
granity	0,3 %	$10^{-20} - 10^{-21}$
jílovce	< 0,1 %	$10^{-19} - 10^{-21}$

Propustnost zjevných poruch pro vodu se v těchto typech hornin projevuje desítky, max. stovky metrů pod povrchem, přičemž rozevření diskontinuit je obecně menší než 1 mm. Základní hodnoty nutno pro puklinové prostředí vyčíslit podle vztahu (není běžně používán v hydraulice zvodněných systémů) :

$$k = \frac{p \cdot b^i}{12}$$

kde : p počet puklin na jednotku vzdálenosti;

b rozevření puklin;

i exponent v hodnotě 2 až 3 podle rozevření.

Dále je nutno zohlednit efekt spojený se stlačitelností hornin při odvodnění puklinových systémů (při ražbě důlních děl potřebných při výstavbě PZP) a nahrazení jejich výplně plynem, což je doprovázeno výraznými změnami původně zjištěných hydraulických parametrů (např. hydrodynamickými zkouškami při vrtném průzkumu z povrchu).

Tuto poznámku vkládám proto, aby bylo zdůrazněno, že vyhodnocování horninového prostředí s puklinovou propustností na úrovni hornin nepropustných ve velkých hloubkách a pro plynná media by měla být vyhodnocována hydrauliky-specialisty, odborně způsobilými v této problematice.

PZP v takovémto horninovém prostředí je možno realizovat pouze antropogenním zásahem – ražbou důlních děl (nebo využitím důlních děl z bývalé těžební činnosti). Tím jsou vytvořeny umělé kaverny, které vytvoří prostor pro deponování zemního plynu v takovémto horninovém prostředí. Vznikají tím uzavřené neprůtočné systémy, které jsou přirozeně izolované okolním nepropustným horninovým prostředím a nekomunikují žádnými prioritními hydraulickými cestami s povrchem či okolními horninovými tělesy. Model poměrů v takovémto uměle vytvořeném prostoru odpovídá polootevřenému až kvaziuzavřenému hydraulickému systému.

Poznámka: v současné době existují v České republice pouze dvě přístupné důlní lokality v popisovaném horninovém prostředí, tj. Důl Rožná v Dolní Rožince a těžebně zastavená lokalita uranových dolů Příbram. Ostatní hornicky otevřené lokality v tomto horninovém prostředí jsou opuštěné a podle mého názoru pro daný projekt nepřístupné a nevyužitelné.

Maximální cirkulace tekutin u takovéhoho horninového prostředí je v připovrchové zóně zvětralínového pláště horninového masivu a v zóně jeho rozvolnění. S rostoucí hloubkou bude cirkulace tekutin velmi rychle a výrazně klesat až téměř stagnovat. Regionální a nadregionální pohyb tekutin je časově záležitostí geologická.

II.2.5 Metodika pro průzkum, vyhodnocení a výstavbu PZP v nepropustných horninách – Hydrogeologie

Pro hydrogeologicko-hydraulické hodnocení prostředí pro výstavbu PZP v nepropustných horninách (typ kavernózní) je nutno:

- při provádění vrtného geologického průzkumu testovat horninový masív:
 - pro vymezené úseky a horninové komponenty dané lokality (od pokryvných útvarů, zvětralinového pláště horninového basementu a jeho petrografický členů) **testovat laboratorně vrtné jádro** na získání základních parametrů: pórovitost otevřená, permeabilita vzorku na vodu a na plyn, hustota porušenosti,
 - v místech zvodněných zón provést **hydrodynamickou zkoušku** zaměřenou na získání výše uvedených hydraulických parametrů, provést odběr vzorku na **hydrochemický rozbor**, posoudit agresivitu podzemních vod, **vydatnost přítoku** a stanovení případných dalších parametrů, které by charakterizovaly zvodněnou zónu,
 - po ukončení průzkumného vrtu v zadaných intervalech monitorovat **případné výstupy juvenilního CO₂**, indikující tektonicky predisponované zóny hlubinného dosahu.

Poznámka: **žádný z vrtů geologického průzkumu by neměl být projektován a realizován v hydraulickém dosahu (pro plyny) budoucích důlních děl PZP.**

- výsledkem geologického (případně geofyzikálního) průzkumu, geomorfologických indicií apod. **stanovit rozsah tělesa** možného k využití pro výstavbu PZP a prognózovat **typ hydraulických okrajových podmínek** (zejména okrajovou podmínka II. typu – Neumannovu s kvantifikací případných hodnot specifické vydatnosti /měrný přítok/ v m.s⁻¹),
- v případě lokality bývalé těžební činnosti nutno **dokumentovat plošný a vertikální rozsah dobývacích prací** (vč. dobývacích metod) a případného dosahu sekundárního rozvolnění horninového masívu nad dobývkami,
- zajistit **podklady potřebné k sestavení numerického modelu** lokality, který by predikoval možné proudění podzemních vod na lokalitě a možné proudění deponovaného plynu horninovým prostředím se zohledněním tlakových poměrů v PZP,
- pro optimální prostředí výstavby PZP kavernózního typu v nepropustných horninách jsou vhodné následující parametry:
 - díla PZP mají jak **v podloží, tak i v nadloží dostatečně mocný izolátor**,
 - důlní díla PZP jsou **v hloubkách větších než 800 m pod povrchem**,
 - **seismicky stabilní** horninové prostředí, **nenarušené hydraulicky aktivními zlomy nebo puklinovými systémy**,
 - prostředí, kde potenciální stavba **není omezoována legislativními předpisy** (chráněná území, národní parky apod.),
- specifikovat metody a metodiku sanace a **izolace plynupropustných zón** v horninovém prostředí (injektáž, výztuž apod.), otevřených v průběhu ražení potřebných důlních děl pro PZP.

- Zohlednit předpokládané **tlaky a teploty plynů v úložišti a provést studii** (geochemický model) **jejich interakce s horninovým prostředím** (minerální komponenty) a případnou důlní vodou v dílech PZP,
- specifikovat způsob **likvidace průzkumných vrtů, které jsou** hydraulicky propojeny s díly PZP (s výjimkou vrtů určených systémem provozního monitoringu na PZP).

II.3 Monitorování vlivu PZP na životní prostředí

Plán monitorování se vypracovává na základě analýzy posouzení rizik provedené podle bodu 3 přílohy k zákonu o geologických pracích²⁾ a aktualizuje za účelem splnění požadavků na monitorování stanovených ve vyhlášce 239/1998 (§ 20 odst. 1).

Plán monitorování poskytuje údaje o monitorování, které je třeba provádět v hlavních fázích projektu, včetně výchozího a provozního monitorování a monitorování po uzavření. Pro každou fázi se stanoví:

- monitorované parametry,
- použité technické prostředky pro monitorování a odůvodnění této volby,
- lokality pro monitorování a zdůvodnění výběru prostorového vzorkování,
- četnost provádění a zdůvodnění výběru časového vzorkování.

Parametry určené k monitorování se volí tak, aby byly splněny jeho účely. Plán monitorování však musí v každém případě zahrnovat nepřetržité nebo dle potřeby monitorování těchto parametrů:

- prchavé emise vtláčeného média z vtláčecího zařízení a sond,
- chemická analýza vtláčovaného materiálu,

Volba technických prostředků pro monitorování vychází z osvědčených postupů dostupných v době přípravy projektu. Je třeba vzít v úvahu a podle vhodnosti využít tyto alternativy:

- technologie, které umožní detektovat přítomnost, umístění a trasy migrace vtláčeného média pod povrchem i na povrchu,
- technologie, které mají široký plošný záběr a umožňují zachytit informace o případných dříve nezjištěných možných únikových cestách v celém prostorovém rozsahu úložného komplexu i vně něj v případě závažných nesrovnalostí nebo migrace vtláčeného média mimo úložný komplex.

II.4 Legislativní podmínky pro vyhledávání, průzkum a výstavbu podzemních zásobníků plynu v České republice

Způsob získání povolení pro provedení průzkumu a výstavby při vyhledávání vhodných struktur pro podzemní zásobníky plyných médií (zemní plyn, stlačený vzduch). Obecně se jedná o zvláštní zásahy do zemské kůry (zákon 44/1988 Sb. § 34 a zákon 61/1988 Sb. § 11).

II.4.1 Investiční záměr pro vybudování podzemního zásobníku plyných médií

Základní podmínkou pro zahájení prací vedoucích k vyhledávání vhodné lokality pro zvláštní zásah do zemské kůry je rozhodnutí investora (fyzická nebo právnická osoba) zahájit průzkumné práce v dané lokalitě.

Následuje zpracování projektové dokumentace průzkumných prací pro záměr „Stanovení průzkumného území“.

Projekt geologicko–průzkumných prací musí kvantitativně a kvalitativně sloužit k provedení všech nutných geologicko–průzkumných prací k zajištění veškerých nutných informací pro závěrečnou zprávu. Projekt geologicko–průzkumných prací může být průběžně upřesňován na základě dílčích průběžných výsledků a musí obsahovat rozsah jednotlivých etap, čas plnění a předpoklad nákladů.

Geologicko–průzkumné práce zahrnují především geologické práce podle zákona o geologických pracích, hornické činnosti a činnosti prováděné hornickým způsobem (ražba důlních děl, vrtný průzkum, uplatnění

geofyzikálních metod, odebírání vzorků pro stanovení geomechanických parametrů hornin a odborné posouzení vzorků) podle zákona o hornické činnosti a průběžné vyhodnocení provedených prací.

Závěrečná zpráva musí být vypracována předními uznávanými odborníky v dané oblasti, musí obsahovat veškeré informace, které lze získat geologickým průzkumem průzkumného území. Závěrečná zpráva musí obsahovat hodnocení kvality horninového masívu pro investiční záměr a závěry o možnosti či nemožnosti realizovat výstavbu a provoz tohoto tělesa, podmínky provozu a identifikaci všech možných podmínek, vyplývajících z provedeného průzkumu, před zahájením realizačních kroků vedoucích k výstavbě podzemního zásobníku.

II.4.2 Stanovení průzkumného území – žádost MŽP

Geologické práce pro vyhledávání a průzkum ložisek vyhrazených nerostů a průzkum výhradních ložisek nevyhrazených nerostů je možné provádět pouze na průzkumném území, které je stanoveno právnické osobě nebo fyzické osobě, která má oprávnění k hornické činnosti. **(zákon 62/1988, Sb.)**

Žádost o stanovení průzkumného území předkládá investor. Dokumentace předložená s žádostí obsahuje všechny údaje uvedené v zákoně č. 62/1988, Sb., §.4 (viz. níže). Projekt geologických prací obsahuje informace o celkovém rozsahu předpokládaných činností, časový harmonogram jednotlivých etap a předpoklad nákladů. Postup při podání žádosti. Zpracovaný projekt geologických prací dle zákona České národní rady o geologických pracích č. 62/1988 Sb. ve znění zákona č. 66/2001 Sb. a v rozsahu daném vyhláškou MŽP č. 369/2004 Sb. o projektování a vyhodnocování geologických prací je předložen ČGS k registraci.

Etapy a členění průzkumných geologických prací:

Členění odpovídá úrovni poznání geologických zkušeností, které jsou prováděnými pracemi zjišťovány.

- a) **etapa vyhledávání** zahrnuje soubor prací, jimiž se má zjistit výskyt a pravděpodobný rozsah geologických struktur nebo podzemních prostorů vhodných pro konkrétní zásah do zemské kůry, a to s podrobností potřebnou pro územní rozhodnutí o umístění uvažovaného zařízení
- b) **etapa průzkumu** zahrnuje soubor prací, jejichž účelem je získat a ověřit geologické údaje o geologických strukturách a podzemních prostorech připravovaných pro realizaci zvláštních zásahů do zemské kůry, a to v kvalitě a podrobnostech potřebných pro zpracování dokumentace pro povolení hornické činnosti podle zvláštních právních předpisů.
- c) **etapa podrobného průzkumu** zahrnuje soubor prací prováděných během výstavby zařízení, jimiž jsou získávány potřebné geologické údaje pro usměrnění výstavby zařízení, jeho provoz a likvidaci.

§ 4 Stanovení průzkumného území pro ložiskový průzkum

(1) Geologické práce pro vyhledávání a průzkum ložisek vyhrazených nerostů a průzkum výhradních ložisek nevyhrazených nerostů je možné provádět pouze na průzkumném území, které je stanoveno právnické osobě nebo fyzické osobě, která má oprávnění k hornické činnosti^{3a)} (dále jen "zadavatel").

(2) Žádost o stanovení průzkumného území pro vyhledávání a průzkum výhradních ložisek (dále jen "průzkumné území") se předkládá ve dvojím vyhotovení a obsahuje:

- a) návrh průzkumného území s jeho zákresem do mapy povrchové situace ve vhodném měřítku, ne však v menším než 1 : 25 000 u území do 50 km² a 1 : 50 000 nad 50 km², s výpočtem plošného obsahu území, a souřadnice vrcholů průzkumného území vymezeného příkými čarami,
- b) nerost v případě vyhledávání a výhradní ložisko nerostu v případě průzkumu,
- c) zákres hranic dobývacích prostorů, chráněných ložiskových území, popřípadě jiných chráněných území nebo ochranných pásem v navrhovaném průzkumném území a výčet těchto území,

- d) údaje o žadateli a doklady o jeho oprávnění pro podnikání v oboru hornické činnosti,
- e) etapu prací, cíl, rozsah a způsob provádění prací a dobu, na kterou se o stanovení průzkumného území žádá,
- f) u vyhledávání nebo průzkumu ložisek ropy nebo zemního plynu doložení technické a finanční způsobilosti žadatele,
- g) rozdělení plošného obsahu území pro průzkum do území jednotlivých obcí. V případě, že navrhované průzkumné území výhradního ložiska nevyhrazeného nerostu přesahuje jeho rozsah vymezený zvláštním právním předpisem,^{3b}) musí žádost obsahovat také písemný souhlas vlastníků dotčených pozemků.^{3c})

(3) V řízení o stanovení průzkumného území ministerstvo posuzuje bezúhonnost žadatele, která se prokazuje výpisem z evidence Rejstříku trestů. Ministerstvo si za účelem doložení bezúhonnosti vyžádá podle zvláštního právního předpisu^{2d}) výpis z evidence Rejstříku trestů. Žádost o vydání výpisu z Rejstříku trestů a výpis z Rejstříku trestů se předávají v elektronické podobě, a to způsobem umožňujícím dálkový přístup.

(4) Na průzkumném území má zadavatel výhradní právo na vyhledávání a průzkum výhradního ložiska v souladu se stanovením průzkumného území.

(5) Stanovení průzkumného území může zadavatel převést na jinou fyzickou osobu nebo právnickou osobu jen na základě písemné smlouvy a s písemným souhlasem ministerstva. Bez tohoto souhlasu je převod neplatný. Touto smlouvou přecházejí na nového zadavatele veškeré povinnosti a závazky vzniklé původnímu zadavateli v souvislosti s projektováním, prováděním a vyhodnocováním geologických prací od počátku platnosti průzkumného území před uzavřením smlouvy. Ministerstvo souhlas udělí osobě, na kterou má být průzkumné území převedeno, pokud tato osoba prokáže, že je schopna dostát přebíraným závazkům a povinnostem.

(6) Povrchové hranice průzkumného území jsou dány uzavřeným geometrickým obrazcem s přímými stranami, jehož vrcholy jsou definovány souřadnicemi v platném souřadnicovém systému. Hranice pod povrchem jsou dány svislými rovinami procházejícími stranami povrchového obrazce.

(7) Organizace, která bude realizovat veřejnou zakázku ^{3d}) zadávanou ministerstvem pro vyhledání nebo průzkum ložiska vyhrazeného nerostu, podává žádost podle odst. 2

(8) Pro žádost o stanovení průzkumného území pro zvláštní zásah do zemské kůry^{3e}) platí obdobný postup jako pro vyhledávání nebo průzkum ložisek vyhrazených nerostů.

(9) Pokud se v průběhu platnosti stanovení průzkumného území zadavatel písemně vzdá stanovení průzkumného území nebo se vzdá oprávnění k využití části tohoto území, platí tato skutečnost dnem doručení tohoto oznámení ministerstvu.

(10) Ministerstvo vede souhrnnou evidenci stanovených průzkumných území. Údaje o umístění a rozsahu průzkumného území, nerostu nebo ložisku, termín platnosti stanovení průzkumného území a údaje o osobě, na jejíž žádost bylo stanovení tohoto území provedeno, jsou veřejně přístupné.

II.4.3 Povolení hornické činnosti na provozované lokalitě s platným POPD (žádost na OBÚ dle Vyhlášky 104/1988 Sb., § 5 a,c)

Povolení pro organizaci, která bude provádět průzkumné práce v rámci již povolené hornické činnosti. Řízení pro povolení zahájení průzkumných prací pro zvláštní zásah do zemské kůry může předcházet povolení změny POPD. Tímto způsobem lze provést značný rozsah průzkumných prací před konečným rozhodnutím investora o pokračování a rozsahu ražeb. Jedná se o následující případy:

- Změna POPD (rozšíření ražeb nad 100 m) v rámci stávajícího dobývacího prostoru. Vyhláška 104/1988 Sb. § 8
- Změna POPD (rozšíření ražeb do max vzdálenosti 100 m) v rámci stávajícího dobývacího prostoru. Vyhláška 104/1988 Sb. § 8 odst. 4
- K žádosti se dokládá pouze příloha č. 1 (v přiměřeném rozsahu) , protože se jedná o průzkum v rámci dobývaného ložiska:

Dokumentace vyhledávání a průzkumu výhradního ložiska důlními díly

1. Cíl vyhledávání a průzkumu: popis, účel, rozsah a uspořádání důlních děl.
 2. Zabezpečení provozu energií, vodou, mechanizačními prostředky a materiálem; způsob a systém důlní dopravy.
 3. Základní opatření k zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při práci a bezpečnosti provozu, opatření v souvislosti se starými důlními díly, okolními doly a lomy, zejména z hlediska výskytu výbušných plynů a prachů, samovznícení, průtrží hornin, uhlí a plynů, průvalů vod a bahnin a jiných nebezpečných jevů.
 4. Nakládání s důlními vodami.
 5. Způsob zajištění požadavků vyplývajících z rozhodnutí orgánů a dohod s orgán a organizacemi, jimž přísluší ochrana objektů a zájmů podle zvláštních předpisů.
 6. Opatření k zajištění podmínek stanovených rozhodnutími o chráněných ložiskových územích a dobývacích prostorech.
 7. Seznam důlních děl, která budou ústít na povrch nebo do takové blízkosti povrchu, že by se mohly projevit nepříznivé účinky na povrch, včetně způsobu jejich kontroly.
 8. Posouzení v plánu navržených důlních děl se zřetelem jejich případného využití pro jiné účely.
 9. Mapy a řezy s přehledným vyznačením skutečností potřebných pro posouzení údajů bodů 1, 2, 3, 4 a 7.
- Povolení průzkumných ražeb mimo dobývací prostor (ve vzdálenosti přesahující 100 m) vyžaduje žádost o povolení hornické činnosti dle § 5 c (zvláštní zásahy do zemské kůry) a § 6 Vyhlášky 104/1988 Sb. k této žádosti je nutné doložit přílohy č. 9,10 a 12.

II.4.4 Povolení hornické činnosti na nové lokalitě pro zvláštní zásahy do zemské kůry (žádost na OBÚ dle Vyhlášky 104/1988 Sb., § 5 c, průzkumné práce)

Povolení hornické činnosti pro vyhledávání a průzkum provedený důlními díly pro tyto účely. Organizace vypracuje dokumentaci v rozsahu plánovaných prací dle § 6 vyhlášky a požádá OBÚ o povolení hornické činnosti. V tomto případě nelze počítat se zjednodušením řízení. Proces povolení probíhá v celém rozsahu.

II.4.5 Povolení hornické činnosti na nové lokalitě pro zvláštní zásahy do zemské kůry (žádost na OBÚ dle Vyhlášky 104/1988 Sb., § 5 c, výstavba podzemního zásobníku)

§ 7 Plány a dokumentace týkající se hornické činnosti

(1) Plán a dokumentace z hlediska podrobnosti musí být přizpůsobeny místním podmínkám. Grafické přílohy se vyhotovují v tak velkém měřítku, aby byla zajištěna zřetelnost zobrazovaných údajů a skutečností; při zachování zřetelnosti je možné různé údaje a skutečnosti zobrazit v jedné grafické příloze.

(2) Jako plán, popřípadě dokumentace podle odstavce 1 může být předložena i dokumentace nebo její část, vyhotovená pro jiné účely podle zvláštních předpisů,¹⁰⁾ a to v rozsahu požadovaném touto vyhláškou.

(3) Plán a dokumentaci schvaluje vedoucí pracovník, u dolu závodní dolu, u lomu závodní lomu (dále jen "závodní").^{10a)} V plánu a dokumentaci a jejich jednotlivých částech musí být uveden den vyhotovení, jména, podpisy a funkce zpracovatelů, jakož i vedoucích pracovníků, kterým náleží kontrola správnosti a úplnosti jednotlivých částí plánu a dokumentace.

§ 8 Rozhodnutí o povolení hornické činnosti a přípustnost změn v plánech a dokumentaci

(1) Obvodní báňský úřad v řízení o povolení hornické činnosti přezkoumá

- a) úplnost žádosti,
- b) vyřešení střetů zájmů chráněných podle zvláštních právních předpisů,⁶⁾
- c) dodržení zásad báňské technologie při zajištění hospodárného využívání výhradního ložiska.

(2) V rozhodnutí o povolení hornické činnosti obvodní báňský úřad stanoví podle potřeby podmínky hornické činnosti a rozhodne o námitkách účastníka řízení.

(3) Obvodní báňský úřad zašle organizaci spolu s rozhodnutím o povolení hornické činnosti jedno ověřené vyhotovení plánu, popřípadě dokumentace.

(4) Změny v plánech a dokumentaci, kterými nedojde ke zhoršení bezpečnosti a ochrany zdraví při práci a bezpečnosti provozu, nebudou dotčeny objekty a zájmy právnických a fyzických osob chráněné podle zvláštních právních předpisů nad rozsah uvedený v rozhodnutí o povolení hornické činnosti, organizace ohlásí obvodnímu báňskému úřadu. V ohlášení uvede:

- a) název (obchodní jméno), identifikační číslo organizace a sídlo organizace,
- b) popis a důvody změny s jejich vyznačením v plánu a dokumentaci.

§ 10 Ohlašování hornické činnosti a činnosti prováděné hornickým způsobem

(1) Organizace ohlašuje zahájení hornické činnosti a činnosti prováděné hornickým způsobem (dále jen "činnost"), jakož i její přerušování na dobu delší než 30 dnů obvodnímu báňskému úřadu.

(2) Organizace neohlašuje

- a) průzkum důlními díly při dobývání výhradního ložiska, pokud je zahrnut do plánu otvírky, přípravy a dobývání výhradního ložiska,
- b) vrty z důlních děl (podzemní vrty),
- c) geologické práce mapovací, laboratorní a kamerální.

§ 11 Obsah ohlášení

(1) Ohlášení obsahuje

- a) název, identifikační čísla a sídlo organizace, která bude činnost provádět,
- b) druh činnosti¹²⁾,
- c) účel a plánovaný rozsah činnosti,
- d) okres, obec a katastrální území s bližším označením místa činnosti,
- e) datum zahájení, plánovaného ukončení, popřípadě přerušování činnosti,
- f) druh a typ používaného technického zařízení,
- g) způsob a rozsah trhacích prací, údaje o jejich povolení,
- h) opatření pro zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při práci a bezpečnosti provozu,
- i) způsob zahlazení následků činnosti,
- j) doklady o oprávnění organizace provádět činnost, která je předmětem ohlašování,
- k) rozhodnutí, kterým byla povolena činnost prováděná hornickým způsobem podle zvláštních právních předpisů.

II.4.6 Přehled zákonů vztahujících se k procesu stanovení průzkumného území

- zákon č. 44/1988 Sb., o ochraně a využití nerostného bohatství (horní zákon), ve znění pozdějších předpisů
- zákon č. 61/1988 Sb., o hornické činnosti, výbušninách a o státní báňské správě, ve znění pozdějších předpisů
- zákon č. 17/1992 Sb., o životním prostředí, ve znění pozdějších předpisů
- zákon č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny, ve znění pozdějších předpisů
- zákon č. 289/1995 Sb., o lesích a o změně a doplnění některých zákonů (lesní zákon), ve znění pozdějších předpisů
- zákon č. 334/1992 Sb., o ochraně zemědělského půdního fondu, ve znění pozdějších předpisů
- zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů
- zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), ve znění pozdějších předpisů
- zákon č. 164/2001 Sb., o přírodních léčivých zdrojích, zdrojích přírodních minerálních vod, přírodních léčebných lázních a lázeňských místech a o změně některých souvisejících zákonů (lázeňský zákon), ve znění pozdějších předpisů
- zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích), ve znění pozdějších předpisů
- zákon č. 15/2000 Sb., o telekomunikacích a o změně dalších předpisů, ve znění pozdějších předpisů
- zákon č. 266/1994 Sb., o drahách, ve znění pozdějších předpisů
- zákon č. 13/1997 Sb., o pozemních komunikacích, ve znění pozdějších předpisů

- zákon č. 49/1997 Sb., o civilním letectví a o změně a doplnění zákona č. 455/1991 Sb., o živnostenském podnikání (živnostenský zákon), ve znění pozdějších předpisů
- zákon č. 458/2000 Sb., o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon), ve znění pozdějších předpisů
- zákon č. 50/1976 Sb., o územním plánování a stavebním řádu, ve znění pozdějších předpisů
- zákon č. 20/1987 Sb., o státní památkové péči, ve znění pozdějších předpisů
- zákon č. 256/2001 Sb., o pohřebnictví a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů
- zákon č. 18/1997 Sb., o mírovém využití jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon), ve znění pozdějších předpisů
- zákon č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů, ve znění pozdějších předpisů
- zákon č. 312/2001 Sb., o státních hranicích a o změně zákona č. 200/1990 Sb., o přestupcích, ve znění pozdějších předpisů (zákon o státních hranicích), ve znění pozdějších předpisů
- zákon č. 200/1994 Sb., o zeměměřičství a o změně a doplnění některých zákonů souvisejících s jeho zavedením, ve znění pozdějších předpisů
- zákon č. 455/1991 Sb., o živnostenském podnikání (živnostenský zákon), ve znění pozdějších předpisů
- zákon č. 200/1990 Sb., o přestupcích, ve znění pozdějších předpisů
- zákon č. 40/1964 Sb., občanský zákoník, ve znění pozdějších předpisů
- zákon č. 2/1969 Sb., o zřízení ministerstev a jiných ústředních orgánů státní správy České republiky, ve znění pozdějších předpisů

III) Srovnání „novosti postupů“

Metodika stanovující postup hodnocení nepropustných horninových masívů pro budování PZP doposud neexistovala. Z tohoto hlediska se jedná o metodiku zcela novou. Nicméně tato metodika obsahuje postupy, které jsou obecně známé a používané v geologickém průzkumu a hornické činnosti. Nově je v metodice provedeno jejich hodnocení s ohledem na celkový záměr tj. budování PZP.

IV) Popis uplatnění Certifikované metodiky

Metodika pro nepropustné horninové masívy je primárně určena pro ekonomické subjekty provádějící hodnocení těchto masívů za účelem stanovení jejich vhodnosti pro budování PZP.

V) Ekonomické aspekty

Předpokládané ekonomické přínosy nelze před počátkem využívání metodik exaktně vyčíslit. Další přínosy spočívají ve zvýšení bezpečnosti práce a provozu podzemních zásobníků plynu.

Při vyčíslení ekonomického přínosu vycházíme z principu negace – tedy ze situace, kdy komplexní výzkum nebude proveden a neznalost klíčových dat (např. prahových kapilárních tlaků) může způsobit porušení těsnosti nepropustného nadloží. Toto porušení těsnosti (a následná náprava) by nutně vedlo k vyřazení z provozu celého objektu PZP a ekonomickým ztrátám.

VI) Seznam použité související literatury

Evans, D.J. (editor): *An appraisal of underground gas storage technologies and incidents, for the development of risk assessment methodology*. Health and Safety Executive, 2008.

Younger, P.L.: *Hydrogeological and Geomechanical Aspects of Underground Coal Gasification and its Direct Coupling to Carbon Capture and Storage. Mine Water Environment*, Springer, 2011.

Ewans, D.J. and Chadwick, R.A. (editors) 2009. *Underground Gas Storage, Worldwide Experiences and Future Development in the UK and Europe*. Geological Society, London, Special Publications, 313.

VII) Seznam publikací, které předcházely metodice

EN 1918-1 zavedená v ČSN EN 1981-1 Systémy zásobování plynem – Podzemní zásobníky plynu – Část 1: Provozní požadavky pro zásobníky v aquiferech (38 6490)

EN 1918-2 zavedená v ČSN EN 1981-2 Systémy zásobování plynem – Podzemní zásobníky plynu – Část 2: Provozní požadavky pro zásobníky v ropných a plynových ložiscích (38 6490)

EN 1918-3 zavedená v ČSN EN 1981-3 Systémy zásobování plynem – Podzemní zásobníky plynu – Část 3: Provozní požadavky pro zásobníky ve vyloužených solných kavernách (38 6490)

EN 1918-4 zavedená v ČSN EN 1981-4 Systémy zásobování plynem – Podzemní zásobníky plynu – Část 4: Provozní požadavky pro zásobníky v horninových kavernách (38 6490)

EN 1918-5 zavedená v ČSN EN 1981-5 Systémy zásobování plynem – Podzemní zásobníky plynu – Část 5: Provozní požadavky pro povrchová zařízení (38 6490)

Bujok et al. (1989) *Projektování výstavby a provozu podzemních zásobníků plynu*. Skriptum pro PGS, VŠB Ostrava.

Dedikace

Metodika je výsledkem řešení výzkumného projektu TAČR programu BETA č. TB 010CBU003: „Predikce horninových struktur na základě stávajících geologických poznatků, vedoucích k možnému vybudování dalších podzemních zásobníků pro uskladňování zemního plynu“