

Univerzita Karlova v Praze
Přírodovědecká fakulta

Ústav hydrogeologie, inženýrské geologie a užití geofyziky



Václav Novotný

Zakládání budov na jílovitých výsypkách SHR

Foundations on clay fills of North Bohemian coal mines

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jan Boháč, CSc.

Praha, 2012

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl/a všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, 20.8.2012

Podpis

Poděkování:

Tímto bych chtěl poděkovat mému vedoucímu práce panu Ing. Janu Boháčovi, CSc. za jeho ochotu, podporu, čas a odborné vedení při řešení mé bakalářské práce.

Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Milanu Větrovskému, Ph.D. za poskytnutí materiálů k tématu zakládání budov na výsypkách a mé rodině za finanční a psychickou podporu.

Abstrakt

Práce se zabývá problematikou výsypek jako základových půd a dosavadními zkušenostmi se zakládáním budov na jejich povrchu. Stručně popisuje geologii nadloží uhelných slojí a procesy, kterými výsypkové zeminy procházejí při těžbě a ukládání na výsypky. Zabývá se vlastnostmi výsypkových zemin a specifickými požadavky na inženýrskogeologický průzkum výsypek.

Cílem práce je shromáždění a zhodnocení dosavadních zkušeností se zakládáním budov na výsypkách SHR. Interpretace těchto informací je předpokladem pro zvýšení zájmu investorů o realizaci projektů na těchto plochách a pro snížení nákladů na výstavbu.

Na základě rešerše literatury předložená práce navrhuje nejvhodnější postupy při zakládání budov na jílovitých výsypkách SHR.

Summary

The work is focused on the issue of using landfills as building sites and the experiences so far gathered with founding buildings on them. It describes in brief the geology of the overburdens of coal seams and the processes by which the spoils are treated during mining and deposition of landfills. The work focuses on the properties of the spoils and specific attributes of the geological engineering survey of landfills.

The goal of the work is the accumulation and evaluation of available experience with building on landfills of north Bohemian coal mines. Interpretation of the available information can lead to an increase of interest of investors in these localities and a decrease in building costs on landfills.

A background research of literature on the topic that is a part of this work can be used as grounds for the optimization of building on clay landfills.

Obsah

1. ÚVOD	1
2. VÝSYPKOVÉ ZEMINY	2
2.1 Stručná geologie nadložních vrstev uhelných slojí	2
2.2 Skryvkový materiál	3
2.3 Základní typy výsypek	3
2.4 Obecné vlastnosti výsypkových zemin	5
2.5 Zakládání zemin do výsypky	7
3. VÝSYPKA JAKO ZEMNÍ TĚLESO	9
3.1 Inženýrskogeologický průzkum	9
Statické penetrační sondování (CPT) se při průzkumech výsypek podloží používá nejčastěji. Při průzkumu podloží pro výstavbu mostních pilířů bylo díky této metodě potvrzeno, že chování výsypkových materiálů odpovídá jemnozrnným zeminám. Ze šedesáti sond byl zaznamenán nárůst odporu na hrotu s hloubkou (Boháč a Škopek 2000).....	9
3.1.1 Metodika inženýrsko-geologického průzkumu	9
3.2 Chování výsypky jako zemního tělesa	10
3.3 Vliv vody ve výsypkách.....	11
3.4 Zeminý s dvojitou pórovitostí	11
3.5 Vývoj pórových tlaků ve výsypce.....	12
3.6 Sedání výsypek.....	13
3.6.1 Sedání povrchů výsypek v čase, data získaná z polních měření.....	14
4. ZAKLÁDÁNÍ BUDOV NA VÝSYPKÁCH SHR	16
4.1 Sedání budov na výsypkách.....	16
4.2 Zlepšování základové půdy.....	16
4.3 Realizované stavby na výsypkách	17
4.3.1 Stavby na kyprých výsypkách	17
4.3.2 Stavby na částečně konsolidovaných výsypkách	17
5. ZÁVĚR.....	19
6. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	20

1. ÚVOD

Tato bakalářská práce se zabývá zakládáním budov na jílových výsypkách SHR a problematikou s tím spojenou. Hlavním cílem této práce je shrnutí dosavadních zkušeností a poznatků z oblasti této geotechnické disciplíny. Zakládání budov na jílových výsypkách SHR je technicky a finančně náročné. V některých případech by byla výstavba budov tak náročná, že by bylo lépe od výstavby odstoupit. V minulosti byly výsypky považovány za nevhodné základové půdy. Za posledních čtyřicet let se na nich realizovala, většinou z důvodu nutnosti, řada staveb, které plní bez větších problémů svoji funkci. V dnešní době se většina pozemků, vhodných k zástavbě, již zastavěla, a proto se stávají pozemky na výsypkách atraktivnějšími. Při zakládání budov na výsypkách, s ohledem na zvýšená rizika, je třeba postupovat velmi obezřetně, velice důkladně zmapovat geologickou situaci a získat informace o založení výsypky. Čím přesnější informace o podloží máme, tím menší je riziko nepřijatelných deformací nebo porušení staveb.

2. VÝSYPKOVÉ ZEMINY

Do výsypek se zakládají jak zeminy z nadloží uhelných slojí, tak i nebilanční uhlí, stavební suť, strusky a jiné materiály. Většinu materiálu však tvoří zeminy z nadloží uhelných slojí. Tato kapitola pojednává převážně o hlavních výsypkových materiálech - jejich složení, vlastnostech a jejich ukládání do výsypek (Dykast 1993).

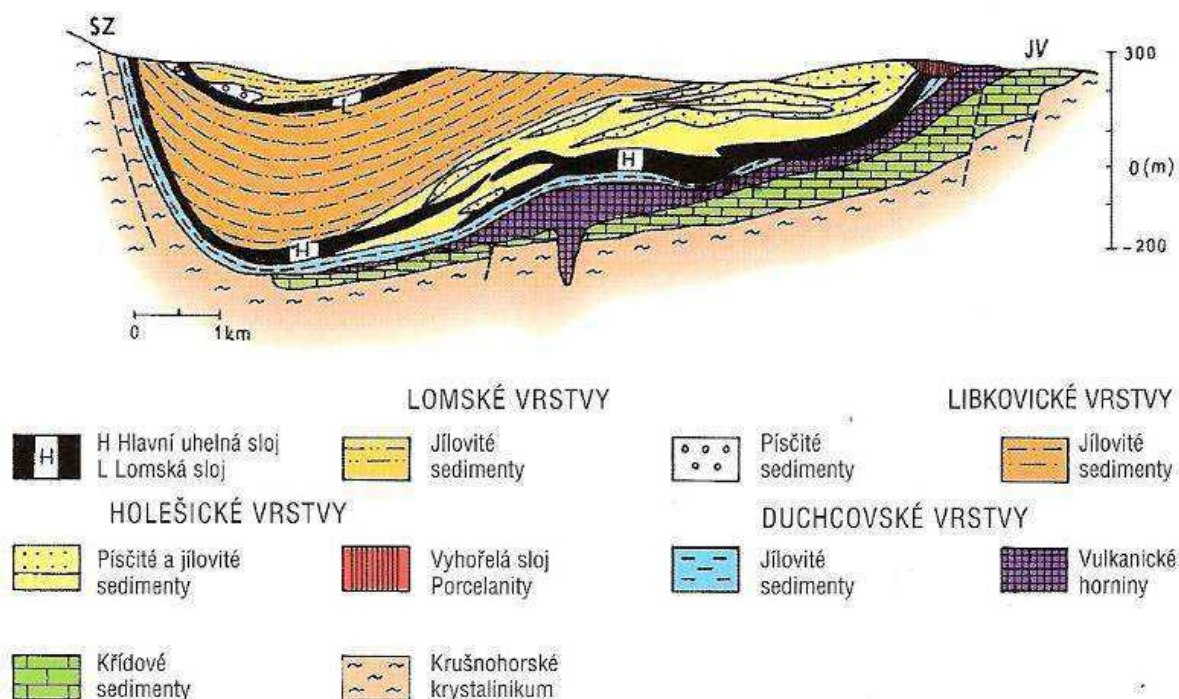
2.1 Stručná geologie nadložních vrstev uhelných slojí

Geologie podkrušnohorských pánví je rozmanitá a je zde mnoho typů hornin a zemin. V této kapitole bude popsána pouze ta část, která je potřebná k pochopení problematiky spojené s chováním jílových výsypek a jejich složením. V nadloží uhelných slojí se nachází několik typů hornin. Geologii Podkrušnohoří dobře a detailně popisují Chlupáč a kol. (2011).

Nadloží uhelných slojí v sokolovské a chebské pánvi je tvořeno až 200 metrů mocným cyprisovým souvrstvím tvořeným šedými a hnědými jíly a bitumenními jílovci. Tyto jílovce obsahují písčitou a prachovou příměs, konkréce pyritu a sapropelitové, vápnité a sideritové vločky. Tyto sedimenty se zde ukládaly v době, kdy se na tomto území rozkládalo rozsáhlé jezero. Nad cyprisovým souvrstvím se nachází 170 metrů mocné vildštějské souvrství. Tvoří ho říční a jezerní jíly a písky, ve kterých se se místy nacházejí uhelné slojky a uhelná příměs, nad těmi jsou uloženy hrubozrnné písky a šterky, kterými prostupují polohy železitých pískovců a slepenců.

Mostecká pánev se ve složení a souvrstvích lehce liší od výše uvedených pánví, mocnost nadloží zde dosahuje až 350 metrů. Je stejně jako u ostatních krušnohorských pánví tvořeno písky a jíly. Místy jsou zde však říční náplavové kužele. Tyto sedimenty zde byly uloženy převážně ve spodním miocénu a skládají se z písčitých a jílovitých uloženin proměnlivé zrnitosti, mají diagonální zvrstvení a vykazují známky rychlé sedimentace (Chlupáč et al. 2011). Jílovce a prachovce v mostecké pánvi jsou místy poškozeny erozním působením vodních toků. Na okrajích pánve lze v profilech identifikovat bývalá koryta a ústí řek. Řeky do mostecké pánve přinesly množství klastických sedimentů. Uhlé sloje jsou zde střídány polohami vulkanoklastických materiálů, písků, prachovců a jílovců s příměsemi organické hmoty (Rajchl and Uličný 2005). Přibližná geologická stavba podkrušnohorských pánví je vidět na obr. 1.

GEOLOGICKÝ ŘEZ



Obr. 1. Geologický řez Severočeskou hnědouhelnou pánví (Bouška a Dvořák 1997)

2.2 Skryvkový materiál

Podkrušnohorské pánve mají poměrně různorodé složení (viz kapitola 2.1 a Chlupáč et al. 2011). Svrchní vrstva nadloží je tvořena kvartérními sedimenty. Jsou to převážně sprašové, aluviální a svahové hlíny. Tyto hlíny mají špatné mechanické vlastnosti a jsou nevhodné pro zakládání do výsypek. Do výsypek se zpravidla nezakládají, ale jsou ukládány stranou a používají se pouze jako svrchní vrstva. Využití nacházejí hlavně při rekultivacích jako půda pro výsadbu stromů a zatravnění.

Pod tímto kvartérním horizontem se nacházejí jíly a písky. Jíly jsou převažujícím skryvkovým materiálem v SHR, jelikož tvoří 90-95% nadloží hnědouhelných slojí (Dykast 1993). Tyto jíly mají podle typu různé geomechanické vlastnosti, které jsou navíc ovlivňovány různými faktory (viz kapitoly 2.3, 2.4).

2.3 Základní typy výsypek

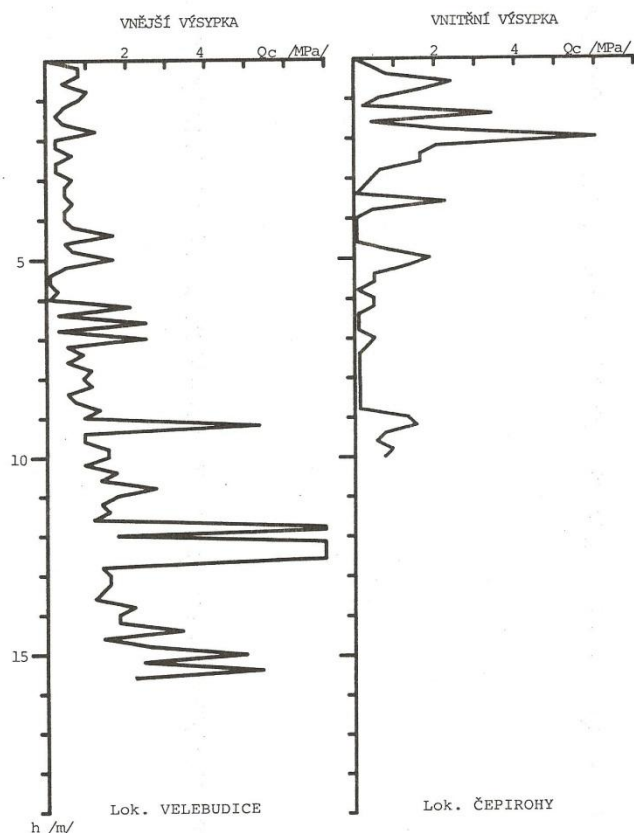
Výsypky se dělí do několika kategorií. Výsypky vnitřní, vnější, kypré, částečně autokonsolidované a výsypky autokonsolidované. Výsypky vnější jsou většinou zakládány na původním geologickém podloží mimo oblast zasaženou těžbou, ze kterého - podle zákona o ochraně zemědělského půdního fondu - je pouze odstraněna vrstva zeminy. Pod touto vrstvou se zpravidla nalézají relativně kypré

kvarterní sedimenty. Na této vzniklé „zemní pláni“, je vybudován systém drénů, které slouží k odvodňování báze výsypky. Drenáž je nutností u výsypkových těles větších mocností. Základní rozdíl mezi vnější a vnitřní výsypkou je v podložce, na které je výsypka založena.

U vnitřních výsypek jsou skrývkové materiály sypány do jam po povrchové těžbě uhlí, a to na polohu, která se nacházela pod uhelnou slojí. Díky zatížení, které působilo na podloží na kterém jsou vnitřní výsypky zakládány, sedá podloží již jen minimálně. Podloží vnějších výsypek je také zpravidla propustnější. Vnitřní výsypky se rychleji sytí vodou, protože jsou dotovány přítoky vody, která do jam po těžbě přitéká. Z hlediska geomechanických vlastností výsypky vnější i vnitřní po určité době dospějí do stejného stavu. V mezidobí mají rozdílné vlastnosti. Jeden z typických rozdílů ve vlastnostech je vidět na obr. 2 (Lipovský et al. 1991; Vaníček 1989).

Dělení podle kyprosti nebo konsolidovanosti výsypky je při zakládání budov na výsypkách důležité, protože kypré výsypky mají významně nižší únosnost. Za kypré výsypky se označují výsypková tělesa čerstvě po ukončení sypání výsypkového materiálu. Výsypky časem sedají a konsolidují vlivem váhy vlastního nadloží. Z počátku oba procesy probíhají velmi rychle a po té se zpomalují. Výsypky, u kterých se již tyto procesy zpomalily, označujeme jako částečně autokonsolidované. Autokonsolidované výsypky jsou výsypky, které již téměř nesedají a u kterých disipovaly pórové tlaky vyvozené přitížením od nadloží. Průběhy sedání a autokonsolidace v čase se blíže zabývá kapitola 3.6.1.

CHARAKTERISTICKÝ PRŮBĚH ODPORU NA HROTU STATICKÉ PENETRACE Q_c



Obr. 2

Obr. 2. Charakteristický průběh odporu na hrotu statické penetrace Q_c u vnější (vlevo) a vnitřní výsypky (vpravo). Lipovský et al. (1991)

2.4 Obecné vlastnosti výsypkových zemin

Výsypka není homogenní těleso, proto vlivem nehomogenity materiálu ve svislém i vodorovném směru sedá povrch výsypky nerovnoměrně. Tato nehomogenita je způsobena několika faktory. Nejzásadnější je druh materiálů zakládáných do výsypek. Zejména jejich mineralogické složení a geneze, jelikož nadloží povrchových dolů není tvořeno pouze jedním druhem zeminy. Druhým faktorem je různý druh a časový odstup zakládání zemin do výsypky. Tato problematika je popsána v kapitole 2.5. Další okolností je přítomnost atmosférické vody. Pokud do výsypky naprší nebo pokud prší při přesunu zeminy na výsypku, mění to výrazně její konzistenci i ostatní vlastnosti. Obdobně působí různá vlhkost materiálu, která může být způsobena nestejným vysycháním přepravovaného materiálu, při různém počasí. V zimě dochází k jeho promrznutí. Dykast (1993) uvádí, že v důsledku vysoké mezerovitosti mohou výsypky promrznout až do hloubky pěti metrů. Dalšími faktory, které ovlivňují homogenitu, jsou časové odstupy sypání materiálu na různé části výsypek a následná úprava povrchu výsypek těžkou mechanizací. V důsledku některých z těchto faktorů sedají výsypky značně a nerovnoměrně.

Převážná většina zemin zakládáných do výsypek jsou jíly, které tvoří 90% až 95% nadloží uhelných slojí. Zbytek tvoří převážně písčité jíly, písky a štěrkopísky a štěrky. Jíly mohou mít rozdílné vlastnosti, neboť v různých vrstvách mají rozdílné minerální složení. Jíly ve spodních částech skrývky jsou více ztuhlé. Ve svrchních vrstvách, kromě menší míry ztuhnutí, hraje velkou roli jejich silné navětrání. V pleistocénu byly tyto jíly silně porušeny vlivem mrznutí a rozmrazání. Tato zóna označovaná jako „regelační“ zasahuje do hloubky 15-40m. Jíly z této připovrchové vrstvy mají výrazně horší mechanické vlastnosti, a proto nejsou vhodným materiálem pro stavbu výsypek (Dykast 1993).

Zeminy, které přesouvají zakladače na výsypky, mají odlišné geomechanické vlastnosti oproti původní rostlé hornině (Dykast 1993). Čas je dalším faktorem, který hraje významnou roli při konsolidaci výsypky. Výsypky sedají a konsolidují zejména vlivem vlastní tíhy, tento proces je označován jako autokonsolidace (Větrovský 2006).

Ve spojení s vlastnostmi výsypkových zemin je dobré zmínit jejich obecné popisné (indexové) a stavové vlastnosti, o které se můžeme opřít při vyhodnocování průzkumných prací. Ve výsypkách jsou přítomny různé druhy hornin (viz kapitola 2.1), ale jíly a jílovce tvoří převážnou většinu hlušiny, jak již bylo uvedeno. Z mineralogického hlediska jde převážně o kaolinitické a illitické zeminy, v malé míře obsahují také montmorillonit.

Pro jíly a jílovce jsou typické tyto parametry (Vaníček a Vaníček 2008):

Vlhkost na mezi plasticity: $w_p=30-35\%$

Vlhkost na mezi tekutosti: $w_l=70-80\%$

Index plasticity: $I_p=30-50\%$

Obsah jílových částic 10-40% a prachových 20-60%

Tyto vlastnosti jsou indexové a jsou nezávislé na hloubce původního uložení jílu a jílovce.

Ostatní parametry resp. vlastnosti závisejí na hloubce, ve které byly tyto horniny a zeminy původně uloženy a mění v průběhu transportu a zakládání do výsypky.

Horniny a zeminy v původním stavu

Ve svrchních vrstvách

Typická objemová hmotnost (ρ) 1800 kg/m³

Typická vlhkost pro jíly a jílovce vytěžené z hloubky do 30 metrů se pohybuje mezi 20 a 45%

Pórovitost (n) dosahuje až 45%

Stupeň nasycení (S_r) je více či méně nezávislý na hloubce a blíží se 1.

V hlubších vrstvách

ρ 2100 kg/m³

Vlhkost $w=13-32\%$ pro hloubku od 30 do 60 metrů.

Pórovitost se pohybuje od 30 do 37% pro hloubku do 100 metrů.

Pevnost v prostém tlaku roste s hloubkou v hloubce 40-80 m dosahuje 1-3 MPa.

(Vaniček a Vaniček 2008)

Obecně tedy mají tyto jíly vlastnosti překonsolidované rozpukané zeminy s pevnou až tvrdou konzistencí.

U horniny a zeminy dochází těžbou, přepravou a založením do výsypky ke změně některých stavových veličin (viz kapitola 2.4).

Pro tyto jsou typické stavové veličiny:

Objemová hmotnost: 1500-1600 kg/m³.

Objem makropórů (m): až 30%.

Pórovitost zůstává stejná nebo se mírně snižuje.

(Kostkanová 2011)

2.5 Zakládání zemin do výsypky

Nadloží uhelných slojí je těženo kolesovými rypadly. Tyto stroje rozrušují soudržné polohy na různě velké kusy. Velikost těchto bloků, hrud a hrudek je závislá na velikosti lžic rypadla a soudržnosti materiálu. Pokud není schopno rypadlo rozpojit horninu, musí se přistoupit k trhacím pracím, což také ovlivňuje soudržnost a velikost rozpojeného materiálu. Další zpracování soudržných materiálů závisí na transportních možnostech vagónů nebo pásových dopravníků. Pokud jsou bloky a hroudy vytěženého materiálu moc velké, musí se mechanicky zmenšit pomocí kruhadel a drtičů. Materiál je na výsypku dopravován vlaky nebo pásovými dopravníky. V průběhu transportu je vystaven otřesům, převaluje se a působí na něj atmosférické vlivy (viz kapitola 2.4). Například ve velkolomu Hambach je vytěžený materiál transportován na výsypku až 5 km daleko (Kostkanová 2011). Čím déle působí všechny tyto faktory na výsypkové zeminy, tím více se mění jejich vlastností. Nakonec je materiál zakládán do výsypky zakladači.

Nejběžnější jsou dvě metody zakládání do výsypky: „Výškové plnění“ a „hloubkové plnění“. Při výškovém plnění stojí zakladač pod kuzelem výsypkových zemin a materiál je zakladačem transportován na vrchol. Materiál dopadá na vršek kužele, odtud se kutálí a sklouzává. U druhého typu stojí zakladač nad výsypkou a sype zeminu pod sebe. U obou metod zakládání, materiál na výsypku dopadá z výšky a získává poměrně velkou kinetickou energii. Materiál padá volným pádem z ramen zakladačů někdy až z výšky dvacet metrů (Vaniček a Vaniček 2008). Dopadající kusy materiálu se rozbíjí a stlačují o povrch výsypky. V závislosti na tvaru a velikosti se jednotlivé hroudy kutálejí po svazích výsypkových kuželů a tím se do určité míry výsypkový materiál třídí. Na bázi jsou tedy větší a kulatější hroudy a směrem vzhůru velikost hrud klesá (Kostkanová 2011). V důsledku výše zmíněných vlivů mají výsypky proměnlivou objemovou hmotnost a pórovitost. Tyto procesy a jejich vliv na geomechanické vlastnosti výsypkových zemin podrobně popisuje (Kostkanová 2011). Míra těchto procesů závisí na mocnosti nadložní vrstvy, vlhkosti sypaniny a přítomnosti vody. Voda, která do sypaniny pronikne, díky velké propustnosti způsobené právě mezerami mezi jednotlivými hroudami, hraje velký vliv na konzistenci těchto zemin. Hroudy mají většinou konzistenci pevnou až tvrdou. Když se do mezer dostane voda, sníží vliv kapilárních menisků na soudržnost jílových částic

a konzistence zeminy se změní na tuhou až měkkou, v závislosti na množství vody a vlastnostech zeminy. Tím se postupem času stane zemina méně propustnou a méně průvzdušnou a sedání se výrazně zpomaluje (Najser 2010).

3. VÝSYPKA JAKO ZEMNÍ TĚLESO

Jak již bylo zmíněno v předchozích kapitolách, je mnoho faktorů, které ovlivňují mechanické vlastnosti a chování výsypky. Tato kapitola podrobněji pojednává o daných faktorech, které jsou zde rozvedeny a více specifikovány. Jedním z nejdůležitějších činitelů ovlivňujících vlastnosti výsypky je čas. Výsypky mění výrazně svoje vlastnosti „stárnutím“ a působením dalších vlivů. „Mechanismus přetváření výsypky a změny jejich vlastností závisí především na struktuře výsypky, na chemickém složení materiálu, na tvaru zrn a kusů obsažených ve výsypkovém tělese, na mezerovitosti a pórovitosti a na působení vlhkosti, atmosférických vlivů a podzemní vody.“(Sobotka 1991).

3.1 Inženýrskogeologický průzkum

Inženýrskogeologický průzkum je velice širokou disciplínou, která se zdokonaluje na základě přibývajících zkušeností z praxe a zvyšování přesnosti měření. Kromě vývoje nových metod pro zjišťování vlastností a kvality základové půdy, se daří díky praxi také přesněji interpretovat získaná data, což snižuje náklady na průzkum a snižuje riziko nadměrných deformací uvažovaných objektů. Problematiku výběru vhodných průzkumných metod dobře vystihuje Lipovský a kol. (1991): „Obsah, rozsah a poměr užití jednotlivých průzkumných metod se bude lišit v závislosti na tom, v jakém časovém úseku konsolidace výsypky bude průzkum prováděn. Přitom charakter objektů bude ovlivňovat spíše rozsah než obsah a metodický postup průzkumných prací. Z metodického hlediska pak přispívá k účinnosti průzkumných metod včasnost rozhodnutí o způsobu využití výsypky a dostatečný časový prostor na průzkumné a projekční práce.“

Metody Inženýrsko-geologického průzkumu se dělí do dvou hlavních skupin - na metody nepřímé a přímé.

Mezi nepřímé metody patří:

- Archivní šetření
- Geodetické metody
- Povrchové geofyzikální metody

Metody přímé:

- Vrtné vzorkovací metody
- Laboratorní metody
- Polní geotechnické metody
- Karotážní měření

Statické penetrační sondování (CPT) se při průzkumech výsypek podloží používá nejčastěji. Při průzkumu podloží pro výstavbu mostních pilířů bylo díky této metodě potvrzeno, že chování výsypkových materiálů odpovídá jemnozrnným zeminám. Ze šedesáti sond byl zaznamenán nárůst odporu na hrotu s hloubkou (Boháč a Škopek 2000).

3.1.1 Metodika inženýrsko-geologického průzkumu

Jedním ze stěžejních předpokladů úspěšného inženýrsko-geologického průzkumu je zvolení a použití správné metodiky. Toto téma detailně popisují Lipovský a kol. (1991) a Konečný (1991). V první fázi shromažďujeme všechny archivní podklady, které nám mohou pomoci přesněji definovat konkrétní výsypku jako zemní těleso a blíže specifikují základovou půdu pro plánovanou výstavbu. O tyto informace se pak opíráme při vyhodnocování dalšího postupu a použití průzkumných metod. Z těchto podkladů lze na základě zkušeností z praxe odhadnout velikost a průběh sedání povrchů výsypek. Pokud provádíme průzkum s dostatečným časovým předstihem, dají se tyto odhady zpřesnit sledováním sedání povrchu výsypky před založením stavby.

Geofyzikální metody nalézají využití převážně při výstavbě velkých objektů nebo při výstavbě většího rozsahu. „Zkušenosti ukazují, že pokud ještě nejsou provedeny pro stavební záměr hrubé terénní úpravy výsypky, pak není účelné ani efektivní zjišťování fyzikálně-mechanických vlastností základových půd rozsáhlým souborem zkoušek.“ (Lipovský a kol. 1991)

Při provádění průzkumu přímými metodami se u obecného případu můžeme opřít o několik bodů, které nám mohou pomoci s výběrem metod a prováděním průzkumných prací:

- Zásadní rozhodnutí o podmínkách výstavby, což zahrnuje především určení vhodných ploch pro výstavbu.
- Podklady pro dispoziční řešení objektů.
- Vyčlenění a specifikace možných problémů nadcházející výstavby.
- Předběžný návrh způsobu založení objektů.
- Předběžný návrh případného zlepšování základových půd.
- Doporučení pro návrh typů hlavních nosných konstrukcí (Lipovský et al. 1991).

Po předběžném vytipování problematických partií základové půdy se přechází k provádění přímých inženýrskogeologických metod. Jejich rozsah a druh se odvíjí především od velikosti projektu a předpokládané kvality základové půdy. Přímými metodami zjišťujeme konkrétní vlastnosti podloží. Na základě vyhodnocení výsledků přímého průzkumu pak navrhujeme způsob založení a případnou potřebu zlepšení základové půdy. Musíme si však dát pozor na zohlednění všech možných faktorů, které by mohly nepříznivě ovlivnit základovou půdu a způsobit v budoucnu nepřiměřené deformace staveb. Pokud jsou nadměrné deformace stavby nevyhnutelné, je nutné co nejpřesněji odhadnout jejich velikost a navrhnout stavbu tak, aby jí bylo možné co nejjednodušeji a nejlevněji rektifikovat.

3.2 Chování výsyvky jako zemního tělesa

Kusovitý materiál má čerstvě po založení vysokou propustnost, která je způsobena možností proudění vody makropóry. Jak je již v předchozích kapitolách zmíněno, výsyvky v čase sedají a konsolidují. Do makropórů se vtlačí okolní zemina a vytlačí z nich vodu. Z počátku lze výsypkový materiál svým chováním přirovnat ke štěrku. Jediným rozdílem je nižší pevnost hrud. Po určitém čase se vlivem degradace materiál změnil na jíl s nízkou propustností, vysokým stupněm nasycení a vysokou plasticitou (Kostkanová 2011). Obr. 3a a 3b dobře dokumentují, jak je výsypkový materiál proměnlivý v čase.



Obr. 3. (a) výsypkový materiál bezprostředně po založení do výsyvky, (b) po 10-15 letech (Najser 2010)

3.3 Vliv vody ve výsypkách

Přítomnost vody a její množství v zemině je dalším geomechanickým parametrem. V našich podmínkách se často stává, že hladina podzemní vody je poměrně vysoko, což ovlivňuje sledované zemní těleso. Voda se v zemině vyskytuje jako volná nebo vázaná. Volnou vodou rozumíme tu, která vyplňuje mikropóry a makropóry a je přímo ovlivňována gravitací. Vázaná voda se v zemině vyskytuje ve formě vodních molekul, které jsou pevně fixovány v minerálech. Je tedy nedílnou součástí zeminy a zapříčiňuje její soudržnost. Nad hladinu podzemní vody vzlíná rovněž kapilární voda. U jílu může takto voda vzlínat do výšky i několika metrů (Atkinson 1993). Tento proces negativně ovlivňuje únosnost a stabilitu zemin. Když mrzne, tak v horizontu, který promrzá, se mění volná voda v led. Zeminy tak zvyšují svůj objem a po rozmrznutí se jejich objem zase zmenšuje. Z toho vyplývá, že povrch výsypky celoročně pracuje. Objemová hmotnost zeminy v čerstvě dosypaných výsypkách je obvykle 1500-1600 kg/m³ (Vaniček a Vaniček 2008). Prostory mezi jednotlivými hroudami a hrudkami jsou z počátku propojeny a zemina je tudíž dobře propustná pro vodu. Tato sypanina má pevnou až tvrdou konzistenci a jednotlivé kusy jsou popraskané vlivem odlehčení oproti původnímu uložení. To způsobuje podtlak v hroudách. Hroudy tak velmi snadno přijímají vodu, mění se jejich konzistence a rozpadají se. Díky pórovitosti hroud, trhlinám a mezerovitosti, se do výsypky snadno dostává srážková voda. Množství vody, která se vsákne do výsypky, je také ovlivněno tvarem povrchu. Pokud je povrch neupraven, tvoří se mezi jednotlivými „žebry“ výsypky prohlubně, ve kterých se hromadí voda a množství vsáknuté vody se tak rapidně zvyšuje. Vnitřní výsypky jsou navíc dotovány přítoky podzemní vody. Díky již zmíněné mezerovitosti, se výsypky mohou nasytit velmi rychle. Nezanedbatelné množství vody se do výsypky dostává i vysrážením vlhkosti ze vzduchu, který proudí čerstvou výsypkou.

Voda nemá vliv pouze na zeminu, ale i na základy budov. Ve výsypkových zeminách je přítomný pyrit, který při styku se vzduchem nebo vodou snadno oxiduje. Oxidy síry dále s vodou reagují a rozpouštějí se v ní. To má za následek pokles pH. Tyto kyselé vody s vysokým obsahem síranů způsobují degradaci betonových a železobetonových konstrukcí. Sírany totiž reagují s hydroxidem vápenatým a s trikalciumaluminátem (Ca₃Al) (SVÚOM s.r.o. 2006). Tento faktor je nutno zohledňovat u staveb s předpokládanou dlouhou životností.

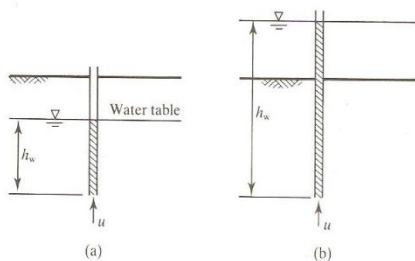
3.4 Zeminy s dvojitou pórovitostí

Jednou z významných problematik, která souvisí se zakládáním budov na výsypkách, je existence zemin s dvojitou pórovitostí. Tyto zeminy vznikají při odstraňování nadloží uhelných slojí, rozrušením poloh jílovců, jejich transportem a založením do výsypky. Tento kusovitý materiál se na výsypky ukládá bez hutnění a většinou se ani neukládá do vrstev, ale podle potřeb a možností zakladače. Tato sypanina se skládá z hroud o velikosti od jílového prachu až po hroudy s délkou hrany dosahující až půl metru. Velikost největších kusů se většinou odvíjí od velikosti dopravníku, na kterém se z důvodu plynulé a bezproblémové dopravy materiálu přepravují kusy pouze do určitých velikostí. Větší kusy se pak drtí a krouhají za pomoci důlní mechanizace. Na čerstvě dosypané výsypce je tak materiál s pórovitostí dosahující až 45% (Kostkanová 2011). Kromě pórů jsou zde také volné prostory mezi jednotlivými hroudami, takzvaná mezerovitost sypaniny, která dosahuje až 30% (Feda 1998). Tyto prostory mezi hroudami výrazně ovlivňují chování výsypky při sedání a konsolidaci. Celková pórovitost tak dosahuje až 70% (Herbstová a Boháč 2005). Chování zemin s dvojitou pórovitostí je již velmi dobře popsáno (Dykast 1993; Feda 1998; Najser 2010).

3.5 Vývoj pórových tlaků ve výsypance

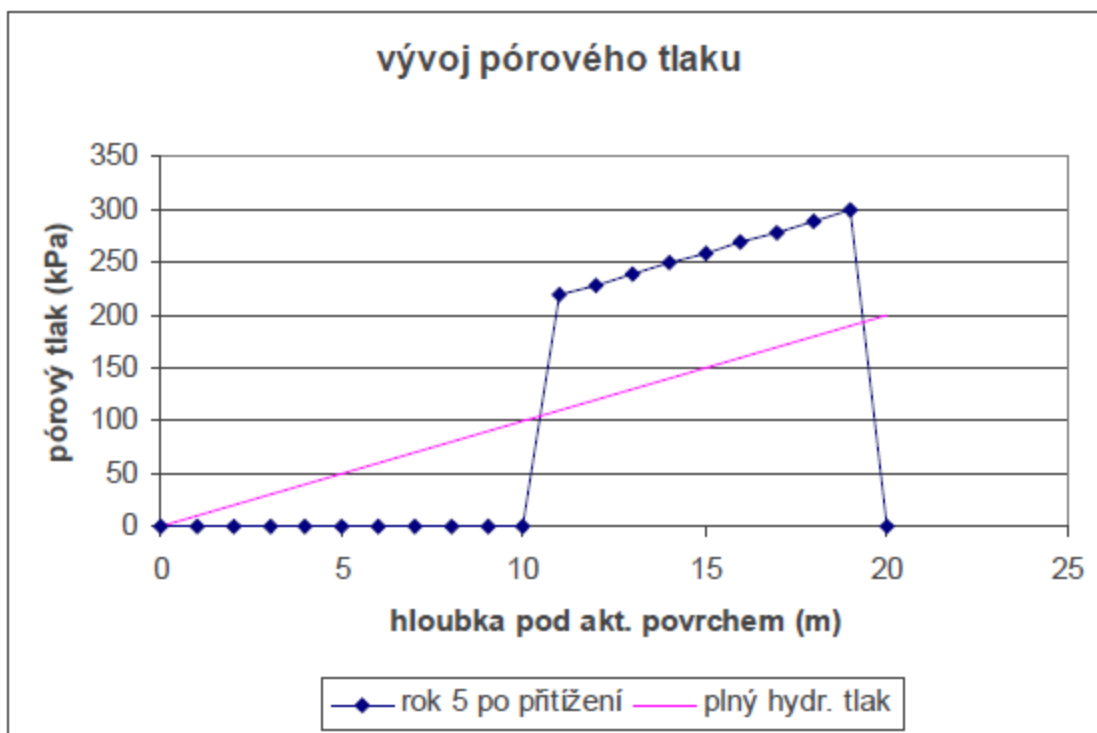
Za normálních okolností se pórový tlak (u) v nasycených zeminách rovná hydrostatickému tlaku vody, objemové tíze vody v závislosti na výšce vodního sloupce nad bodem, ve kterém chceme pórový tlak počítat – viz obr. 4.

$$u = \rho_w \cdot g \cdot h \quad (\text{Atkinson 1993}).$$



obr. 4. Pórový tlak v zemině (Atkinson 1993)

Ve výsypankách je pórový tlak mnohdy i několikanásobně vyšší, než by měl být podle dané závislosti. Tuto problematiku dobře popisuje Kurka (2005). Ten ve své práci teoreticky popisuje sycení a vzrůst pórových tlaků v důsledku přitížení povrchu výsyvky. Díky nízké propustnosti jílu ve výsypankách (většinou nižší jak 10^{-8} m.s^{-1}) (Atkinson 1993), místo vytlačení vody ze zeminy dojde k nárůstu pórových tlaků a pak ke konsolidaci (disipaci pórových tlaků), což má za následek rozložení konečného sednutí povrchu výsyvky do několika let. Nárůst pórových tlaků v závislosti na hloubce názorně ukazuje obr. 5, který znázorňuje průběh pórových tlaků u 10 metrů vysoké nasycené výsyvky po přitížení 10 metrů mocné vrstvy materiálu o objemové tíze 1900 kg/m^3 (Kurka 2005). Stejná situace nastane, když zatížíme povrch výsyvky stavbou nebo dosypáním materiálu při terénních úpravách. Z toho vyplývá, že při rychlém zatížení přebere voda v zemině veškeré napětí a na skelet zeminy začíná působit napětí vyvolané přitížením až při disipaci pórových tlaků (konsolidaci) (Atkinson 1993).



obr. 5. Vývoj pórového tlaku v nasycené výsypkce po přisypání desetimetrové etáže (Kurka 2005)

3.6 Sedání výsypek

Sedání výsypek je dlouhodobý proces, který je ovlivňován mnoha faktory (viz kapitoly 2.3, 2.4 a 3.1). Zpočátku výsypky sedají rychle. Kyprý výsypkový materiál s velkou mezerovitostí je stlačován vahou nadloží. Tento děj označuje Price (2009) jako „immediate settlement“. Časem se makropóry mezi jednotlivými hroudami uzavírají a výsypka začíná sedat v důsledku pokračující konsolidace „consolidation settlement“. Výsypkový materiál začíná konsolidovat ihned po založení do výsypky, ale sednutí vlivem konsolidace je ze začátku zanedbatelné ve srovnání s okamžitým sednutím. V literatuře se často setkáme s nesprávným použitím těchto pojmů.

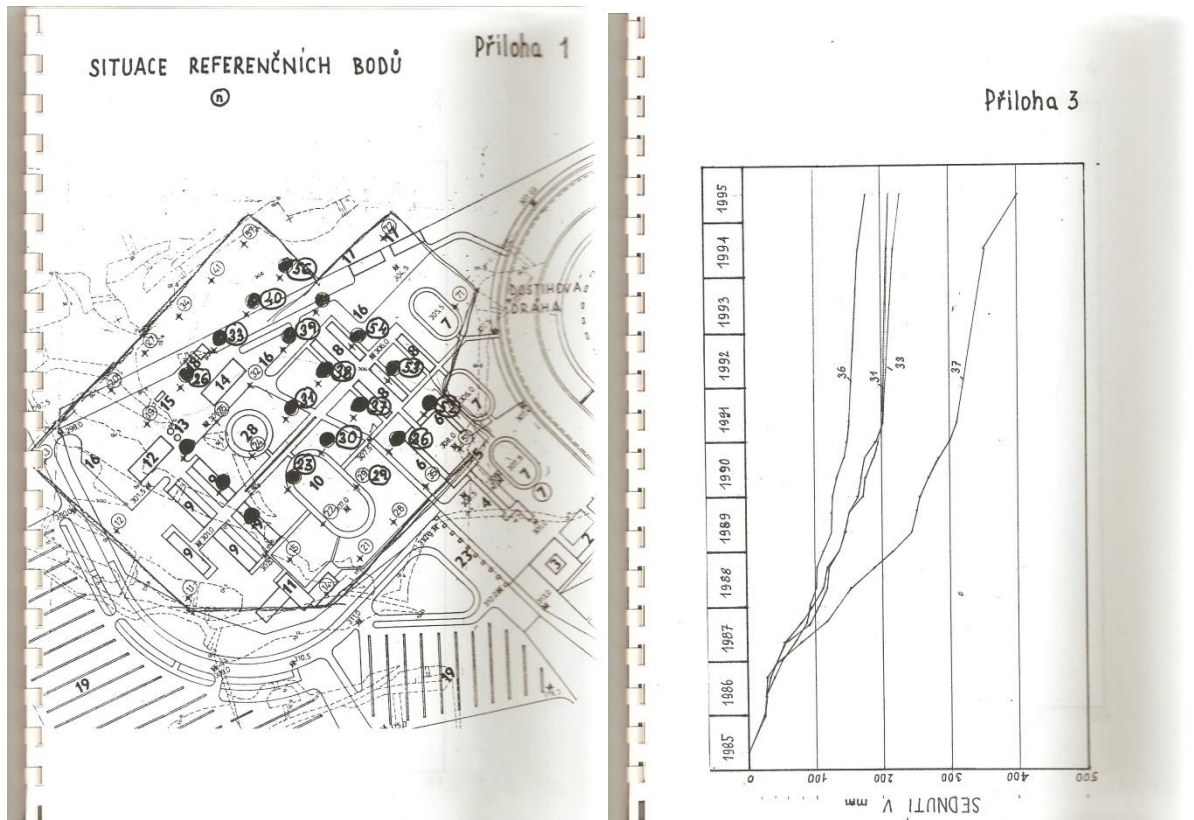
V průběhu času se velikost sedání zmenšuje a povrch výsypky začíná sedat rovnoměrněji. Nejdůležitější pro zakládání není samotné sednutí, ale jeho rovnoměrnost. Pokud výsypka sedá rovnoměrně, dá se na ní bez problémů zakládat, pokud však sedá nerovnoměrně, podmínky pro zakládání jsou daleko náročnější. Příčin nerovnoměrného sedání je celá řada a jsou popsány v disertační práci (Dykast 1993):

Patří sem zejména:

- rozdílná kvalita zemin,
- rozdílné hydrogeologické režimy,
- různé míry zhutnění v důsledku rozdílných dob zakládání,
- lokální zhutnění pojezdy zakladačů, technologické dopravy apod.,
- dodatečné úpravy terénu,
- prohořívání lokálně založené uhelné substance.

3.6.1 Sedání povrchů výsypek v čase, data získaná z polních měření

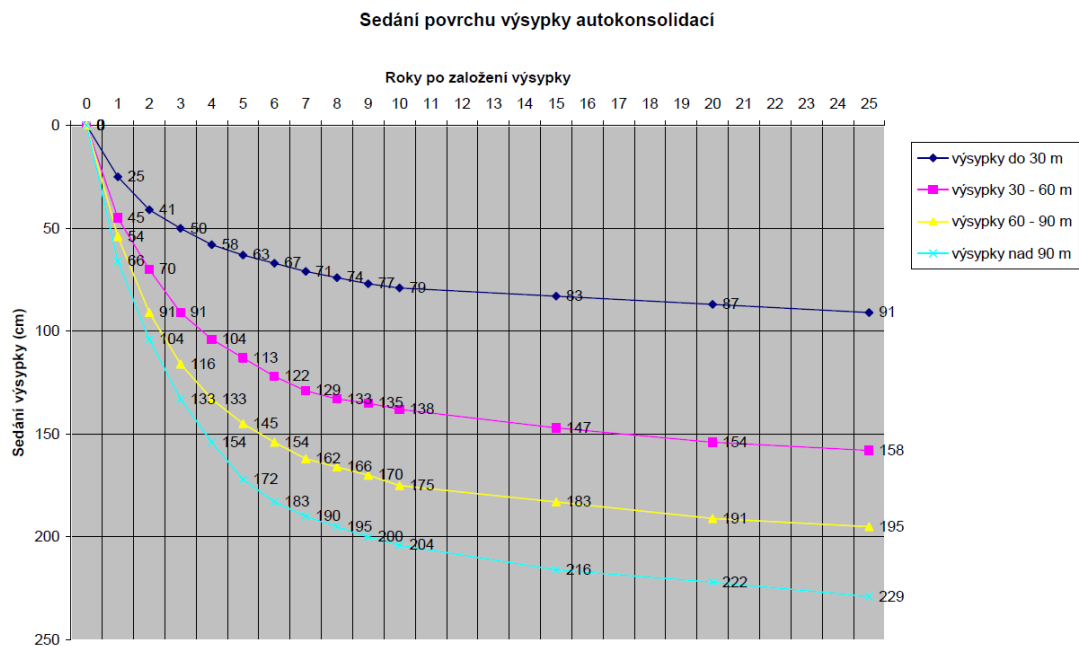
Pro posouzení základové půdy u výsypek se v praxi osvědčilo měřit opakovaně v časových intervalech před stavbou sednutí povrchu výsypky, aby se předešlo nadměrným deformacím budov. Průběh sedání výsypky v čase dokumentuje Škopek (1999). Tato zpráva zaznamenává sedání povrchu Velebudické výsypky v letech 1985-1995. V letech 1950-1979 zde bylo na vnější výsypku založeno do 40-50 metrů hlušiny z lomu Jan Šverma. Měření sice nebylo zahájeno hned po dosypání, přesto dobře ukazuje nerovnoměrné sedání povrchu výsypky - obr 6a; 6b. Podrobněji průběhy měření a práci s ním spojené popisují Mašek (1996) a Pleskač (1991).



Obr. 6. (a) síť referenčních bodů, (b) je graf průběhů sednutí některých referenčních bodů v čase (Škopek 1999)

Větrovský (2006) ve své práci prezentuje grafické vyjádření průběhů sedání povrchů výsypek, které sestrojil z dat převzatých z práce Výzkumného ústavu v Mostě. Na obr. 7 je jasně vidět, že v prvních jedenácti letech výsypky sedají vysokou rychlostí a po této době se proces sedání výrazně zpomaluje. Výsledky měření sedání povrchu vlivem autokonsolidace u výsypek různých mocností dokazují, že je rozdíl pouze ve velikosti sednutí a ne v jeho rychlosti. Ke stejnému závěru došel Škopek (1999) při sledování Velebudické výsypky. Její povrch sedal v průměru o jeden mm ročně rychleji, než ukazuje obr. 7. Průměrná mocnost této výsypky je cca 40-50 metrů. Měření také dobře dokládají nerovnoměrnost sedání. Největší rozdíl sednutí mezi referenčními body vzdálenými čtyřicet metrů byl 22 mm, přičemž sednutí jednoho bodu činilo 18mm a druhého 40mm, jak je vidět na obr. 6. V této studii, je stejně jako ve Větrovského disertační práci (2006), zaznamenáno výrazné snížení sedání po 5 letech měření (jedenáct let po ukončení zakládání do výsypky). Výsledky měření sedání povrchů výsypkových těles se dají dobře využít při prognóze průběhu dalšího sedání. Výsypky sedají v důsledku zatížení jejich vlastním nadložím, při němž se váha rozkládá na poměrně velké ploše. Při zatížení výsypky stavbou se váha obvykle koncentruje na menší ploše a na podloží je tak

vyvozováno větší napětí (Charles and Watts 2001). Na tento fakt je důležité brát ohled při odhadech sedání budov v čase.



Obr. 7. Průběhy sedání povrchů výsypky vlivem autokonsolidace v čase (Větrovský 2006)

4. ZAKLÁDÁNÍ BUDOV NA VÝSYPKÁCH SHR

4.1 Sedání budov na výsypkách

Konečné sednutí budov na výsypkách je ovlivněno třemi složkami:

$$S = s_z + s_{vt} + s_{pt}$$

Kde S je celkové sednutí, s_z je konečné celkové stlačení zemin v deformační zóně v podzákladí od přetížení stavbou;

$s_{vt}+s_{pt}$ je součet složek sedání měřitelných na povrchu výsypky jako projev dlouhodobého sedání povrchu výsypky za dobu životnosti stavby t ;

s_v je sedání povrchu výsypky od vlastní tíhy výsypkových zemin;

s_p je sedání povrchu výsypky v důsledku sedání povrchu podloží od přetížení výsypkou (Vaniček 1989).

4.2 Zlepšování základové půdy

Ke zlepšování základové půdy se přistupuje jen v případech, kdy je toto opatření nezbytně nutné, protože veškeré metody zlepšování základové půdy jsou finančně a často i časově náročné. Na výsypkách se ve většině případů půda zlepšit musí, aby se zvýšila únosnost a snížila velikost nerovnoměrného sedání, které by mohlo vést k nežádoucím nadměrným deformacím stavby. V dnešní době je široká škála možností zlepšování základové půdy.

Po provedení IG průzkumu a vyhodnocení výsledků z provedených zkoušek a získaných dat se začíná řešit, jakým způsobem základovou půdu zlepšit. Jednou z nejlepších metod pro zlepšování je hutnění, ale i to má své hranice použitelnosti. Například jíly s vysokou vlhkostí jsou prakticky nezhutnitelné. U jílu s nízkou vlhkostí je hutnění neefektivní a při jejich následném nasycení vodou dochází ke snížení únosnosti. Pro tyto případy existují jiné metody zlepšování základové půdy. V praxi se u náročnějších staveb zlepšuje základová půda kombinací více metod. Na Velebudické výsypce prováděl Hudek (1991) zatěžovací zkoušky skupiny pilot FRANKI. Před vybudováním vlastních pilot zde byla základová půda zlepšena tamponáží. V literatuře se můžeme setkat s pojmy, jako jsou tampóny, šterkové piloty, šterkové sloupy a šterkové polštáře. Všechny tyto termíny jsou synonyma pro metodu zlepšování základové půdy, při které se do výsypky vibruje různý materiál. Podle typu vibrovaného materiálu se tampóny označují jako zemní, šterkové, šterkopískové atd. Stále více se také využívají geosyntetické materiály. Možnosti jejich využití popisují Vaniček a Vaniček (2008).

Poměrně novými metodami zlepšování základové půdy jsou hloubková vibrokompakce a zhutňování výbuchy. Zlepšovány s nimi byly například výsypky ve východním Německu. Pomocí těchto metod byly úspěšně sanovány svahy písčitých výsypkových těles, na kterých docházelo k sesuvům. Pro zhutňování výsypek tvořených pískem se tyto metody ukázaly jako vhodné (Lersow 2000; Wichter 2006). U starších výsypek, které jsou již částečně konsolidovány, je tento typ zlepšování nepoužitelný. V případě nutnosti zástavby kyprých výsypek tvořených jílovými hroudami by se dalo tímto způsobem zlepšit základovou půdu. Pokud by se tyto metody měly na výsypkách použít, bylo by nutné provést zkušební pokusy. Další z možností pro zlepšení podzákladí a stabilizaci podloží jsou například statické povrchové zhutňování, předkonsolidace násypem, aplikace vertikálních drénů pro zkrácení drenážní dráhy, vyztužování zemin betonem, vápnění a další. Způsobů jak zlepšit geomechanické vlastnosti základových půd je mnoho a píše o nich například Feda (1977), Lipovský et al. (1991), Vaniček (1989), Vaniček a Vaniček (2008).

4.3 Realizované stavby na výsypkách

4.3.1 Stavby na kyprých výsypkách

Stavby založené na kyprých výsypkách čerstvě po ukončení zakládání skrývkového materiálu do výsypky sedají nadměrně a nerovnoměrně. V disertační práci Větrovského (2006) je hned několik příkladů staveb, které se vlivem špatného přístupu k zakládání nadměrně deformovaly a musely být rektifikovány nebo demontovány. Na kyprých výsypkách se většinou zakládají stavby, které jsou spojeny s provozem a těžbou na povrchových dolech. Autor ve své práci popisuje založení a provozní problémy několika mostů a budov. U většiny došlo k nadměrným deformacím vlivem nerovnoměrného sedání. Z osmi staveb založených na kyprých výsypkách, které jsou zdokumentovány v disertační práci Větrovského (2006), došlo v jednom případě k prosednutí a sesuvu opěry mostu, která byla založena na svahu uhelné slaje. U mostu s požadovanou nosností 60 tun došlo k nadměrné deformaci konstrukce v důsledku nerovnoměrného sednutí. Opěry mostu byly založeny v základové půdě, která nebyla hutněna dle požadavků projektu. U pásového mostu se konstrukce začala kroutit v důsledku špatného vyprojektování ocelové konstrukce. Dvě stavby se zabořily, protože základové půdy nebyly nijak hutněny. Zbylé stavby buď bez komplikací plní svou funkci, nebo byly rektifikovány v souladu s projektem.

Garáže založené na výsypce Hrabák mocné cca 50 metrů zde byly vybudovány nedlouho po ukončení ukládání materiálu do výsypky. Byly založeny na pásech z prostého betonu. Na řadě garáží je jasně vidět nerovnoměrné sedání, které je nejvýraznější ve středové části. Vlivem nerovnoměrného sedání popraskal základový pás a zdi těchto budov. Na stejné výsypce v části, kde je výsypka mocná okolo 15-20 metrů, byla po roce 2000 realizována výstavba rodinných domů. Po zhutnění podloží byly budovy vystavěny na vyztužených základových deskách. Takto založené domy nejeví známky nadměrných deformací. U jedné stavby došlo k rychlejšímu sednutí sloupu podpírajícího balkon a krov domu. Ten byl založen na základové patce, která nebyla nijak spojena se základovou deskou.

Názornou ukázkou zvolení nesprávné metody zakládání budov na výsypkách je areál čističky důlních vod. V osmdesátých letech bylo na nekonsolidované 60-70 metrů mocné výsypce lomu Šverma založeno několik budov. Byly založeny na plovoucích pilotách. Tento způsob se ukázal na kyprých nekonsolidovaných výsypkách jako zcela nevhodný. Nerovnoměrné sednutí dosahovalo až 40 cm. Obdobné problémy nastaly i při budování spalovny odpadů v blízkosti areálu čističky. K výraznému snížení nerovnoměrných deformací došlo až po zlepšení základové půdy injektáží. V tu dobu už byla výsypka částečně konsolidovaná, což jistě také přispělo ke zlepšení situace.

4.3.2 Stavby na částečně konsolidovaných výsypkách

Hala COPS byla v roce 1980 založena na 11 let staré výsypce mocné 20 metrů. V tu dobu sedal povrch výsypky rychlostí 1-2 cm za rok. Stavba byla založena na železobetonových základových pásech, pod kterými byla základová půda zlepšena šterkopískovými polštáři o výšce 120 cm. Přetížení stavbou činilo, díky hloubce založení 3,85 m, pouze 20-30 kPa. Přesto stavba začala velmi rychle a nerovnoměrně sedat. Za čtyři měsíce základ sednul o 5-45 cm. Toto výrazné nerovnoměrné sednutí mělo za následek popraskání železobetonového základového pásu a vybočení sloupů, které byly vybudovány na základu. Konstrukce haly musela být vyztužena, aby nedošlo k jejím dalším deformacím (Škopek 1992). Ve své práci autor dále uvádí jednu z možných příčin nadměrného a nerovnoměrného sedání. Šterkopískovými polštáři, které mají oproti jílům v podzákladí vyšší propustnost, pravděpodobně vnikla do základové půdy voda. Následně došlo k rozbřednutí jílu a vlivem výrazného snížení únosnosti základové půdy došlo k nadměrnému sedání základů haly.

Areál hipodromu v Mostě je jedním z největších realizovaných projektů na výsypkách v SHR. Hipodrom a budovy spojené s jeho provozem jsou vybudovány na Velebudické výsypce o mocnosti 40-50 metrů (Škopek 1999). Před výstavbou tohoto areálu byly na této výsypce provedeny zatěžovací zkoušky skupiny FRANKI pilot (Hudek 1991) a byl zjištěn průběh sednutí povrchu výsypky v čase (Škopek 1999). Ze zatěžovacích zkoušek skupiny pilot byly vyvozeny dva závěry. Zlepšená základová půda neměla požadovanou únosnost a vlivem vysokých srážek v průběhu zatěžovací zkoušky piloty sedaly nerovnoměrně a nadměrně. Základová půda byla před zhotovením FRANKI pilot zlepšena tamponáží. Nemám k dispozici informace o materiálu, ze kterého byly zemní tampóny vyhotoveny. Pokud byly štěrkopískové, mohla skrz ně proniknout do základové půdy srážková voda, která způsobila nerovnoměrné a zvýšené sedání pilotového základu. Areál Hipodromu byl dostavěn v roce 1996. Kromě dostihové dráhy, je zde postaveno několik budov, tribuna a příjezdové komunikace. Od zahájení provozu až do současnosti, se zde vyskytly komplikace pouze u příjezdových komunikací. V důsledku nadměrného a nerovnoměrného sedání se na nich objevily trhliny a vlivem vyššího sednutí povrchu vozovky oproti kanalizaci. V současné době vyčnívají poklopy kanálů nad povrch vozovky. Ostatní stavby nejeví žádné známky porušení vlivem nadměrného nerovnoměrného sedání.

Další úspěšně realizované stavby se nacházejí v areálu autodromu v Mostě. Autodrom a budovy v areálu byly vybudovány na 25-50 metrů mocné výsypce Vrbenský staré 25 let. Tribuna autodromu byla založena na plovoucích pilotách FRANKI (Dykast 1993). Větrovský (2006) ve své disertační práci uvádí, že základová půda v tomto areálu byla zlepšena velkoplošným hutněním. Dokumentace k zakládání a výstavbě budov v tomto areálu nebyla zpracovatelskou firmou poskytnuta. Dne 8.8. 2012 mi bylo sděleno v sekretariátu autodromu Most, že na budovách v areálu nebyly zaznamenány žádné nadměrné deformace.

5. ZÁVĚR

Všechny výše uvedené kapitoly popisují, co všechno předchází vlastnímu zakládání budov na jílovitých výsypkách. Z toho, co je v nich zmíněno, je patrné, že tato geotechnická disciplína, která je pevně spojena s geologií, je velmi náročná a je zde mnoho faktorů, při jejichž zanedbání může dojít k nesplnění základního požadavku na projekt. Tím se myslí zdárné založení a výstavba budov, které jsou pak dlouhodobě a plnohodnotně schopny plnit účel, pro který byly zamýšleny.

Výsypky jsou poměrně heterogenní prostředí, v rozmezí několika metrů zde můžeme najít profily s naprosto odlišnými geofyzikálními vlastnostmi a různým mechanickým chováním. Právě inženýrskogeologický průzkum by měl odhalit výchyly, které by mohly mít nepříznivý vliv na plánovanou stavbu.

Inženýrskogeologickým průzkumem se zjišťuje kvalita základové půdy, díky dobré znalosti podloží pod stavbou jsme pak schopni dobře určit geomechanické vlastnosti zemín základové půdy a zvolit tak vhodné metody pro zlepšení základové půdy a založení objektu.

Zlepšování základové půdy je nezbytné u většiny staveb na výsypkách. Metody, které se v praxi osvědčily, jsou převážně různé druhy hutnění a urychlování konsolidace. Zlepšování zemín vibrováním různých druhů materiálu do podloží má své výhody, ale u několika staveb se vyskytly problémy s vyšší propustností druhotně přidané zeminy či materiálu oproti základové půdě. Další z osvědčených metod jsou využití geomateriálů, urychlení konsolidačních procesů geodrény, předtížení apod. Kromě těchto metod zlepšování je důležité klást velký důraz na drenáž podzákladí a zamezení průsaku vody do podzákladí.

Díky vývoji průzkumných metod, velkému posunu v geotechnické disciplíně zlepšování zemín a praktickým zkušenostem, se dá bez větších problémů zakládat budovy na jílovitých výsypkách SHR. V areálu autodromu byla založena budova, která má čtyři patra. Dodnes je plně funkční a nevykazuje známky nadměrných deformací. Snad jediným typem základu, který je naprosto nevhodný pro zakládání na výsypkách a byl v těchto podmínkách použit, je základový pás. U obou případů, které jsou v dostupné literatuře popsány, došlo k prohnutí a následnému popraskání tohoto typu základu.

Velký přínos pro tuto disciplínu mělo také provedení pokusných zatěžovacích zkoušek skupiny pilot FRANKI v kombinaci se zlepšením základové půdy štěrkovými sloupy. Díky těmto zkušenostem se v 90. letech na výsypkách Vrbenský a Velebudice podařilo bez větších obtíží vybudovat areály hipodromu a autodromu.

Velký rozdíl je v zakládání budov na kyprých výsypkách a na výsypkách u nichž už alespoň částečně proběhla autokonsolidace. Zatímco u kyprých výsypkách se zakládání budov na plovoucích pilotách ukázalo jako naprosto nevhodné, na částečně konsolidovaných výsypkách se tímto způsobem dá bez problémů zakládat. Na kyprých výsypkách se osvědčilo zakládat budovy na vyztužených základových deskách a základových patkách. Na výsypkách, které jsou již částečně konsolidované, se typ základu vybírá na základě rozměrů a váhy objektu. Při zakládání budov na výsypkách je nezbytné základovou půdu dostatečně ztuhnout, a to i při zakládání budov, u kterých nejsou kladeny požadavky na vysokou únosnost základové půdy. Pokud jsou na těchto plochách zakládány stavby, které vyvolávají velké zatížení na základovou půdu, je nezbytné provést podrobný inženýrskogeologický průzkum a zvolit vhodnou metodu zlepšení základové půdy.

6. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

Atkinson J., 1993. *An Introduction to The Mechanics of Soils and Foundation*. McGRAW-HILL Book Company, London, 337 str.

Boháč J., Škopek J., 2000. A motorway over clayey fills of open pit coal mines. *Geoeng 2000*, ISBN No. 1-58716-068-4, Melbourne.

Bouška V., Dvořák Z., 1997. *Nerosty severočeské hnědouhelné pánve*. Severočeské doly a.s., Chomutov, 157 str.

Dykast I., 1993. *Vlastnosti výsypek v SHR z hlediska jejich zástavby*. disertační práce, fakulta stavební ČVUT, Praha, 126 str.

Feda J., 1977, *Interakce piloty a základové půdy*. Academia, Praha, 224 str.

Feda J., 1998. Fragmentary clay - a difficult waste material. *Engineering Geology*. 51: 77–88.

Herbstová V., Boháč J., 2005. Laboratory investigation of the collapsibility of a clayey spoil heap soil. In: *Proc. GEOPROB - Int. Conf. on Problematic Soils*, Famagusta(Cyprus), 2005, Volume II, str. 715-722.

Hudek J., 1991. *Zpráva o výsledcích zatěžovací zkoušky skupiny FRANKI pilot "2 F" na stavbě západní tribuny rekultivačního parku ve Velebudicích*. Projektový ústav dopravních a inženýrských staveb, Praha, 10 str.

Charles J. A., Watts K. S., 2001. *Building on fill:geotechnical aspects*. BRE, Watford, 192 str.

Chlupáč I., Brzobohatý R., Kovanda J., Stráník Z., 2011. *Geologická minulost České republiky*. Academia, Praha, 436 str.

Kostkanová V., 2011. *Mechanical Behaviour of Variably Saturated Clay Fills*. Ph.D. thesis, Institute of Hydrogeology, Engineering Geology and Applied Geophysics, Charles University, Praha, 140 str.

Kurka J., 2005. *Inženýrskogeologický průzkum a zakládání na výsypkách povrchových hnědouhelných dolů*. AZ Consult, spol. s r.o., Ústí nad Labem, 24 str.

Lersow M., 2001. Deep soil compaction as a method of ground improvement and stabilization of wastes and slopes with danger of liquefaction, determining the modulus of deformation and shear strength parameters of loose rock. *Waste Management*, 21: 161-174.

Lipovský V., Konečný V., Chýle M., Salava J., Soukup M., Pleskač J., Sobotka Z., Bárta J., 1991. *Výzkum geotechnických metod snižování devastace krajiny v důsledku těžby a zpracování hnědého uhlí*. Ministerstvo pro hospodářskou politiku a rozvoj České republiky, Praha, 97 str.

Mašek J., 1996. Rekultivační park Velebudice - Měření sedání Velebudické výsypky. Chomutov, 11 str.

Najser J., 2010. *Modelling of Lumpy Clay Fills*. Ph.D. thesis, Institute of Hydrogeology, Engineering Geology and Applied Geophysics, Charles University in Prague, Prague, 154 str.

Pleskač J., Chýle M., Soukup M., 1991. *Geodetické měření povrchových deformací*. Hydroprojekt s.r.o., Praha, 108 str.

- Price D. G., 2009. *Engineering Geology Principles and Practice*. Springer, London, 450 str.
- Rajchl M., Uličný D., 2005. Depositional record of an avulsive fluvial system controlled by peat compaction (Neogene, Most Basin, Czech Republic). *Sedimentology*, 52: 601–625.
- Sobotka Z., 1991. *Výzkum využití výsypek hnědouhelných dolů pro novou zástavbu*. Praha, 52 str.
- SVÚOM s.r.o., 2006. *Stanovení životnosti betonových konstrukcí objektů pozemních komunikací - Technické podmínky*. Ministerstvo dopravy Odbor pozemních komunikací SVÚOM s.r.o., Praha, 45 str.
- Škopek J., Hrabánková K., 1992. *Stavby na výsypkách Košťany- deformace haly COPS*. 10 str., 8 příl.
- Škopek J., 1999. *"Interakce staveb s výsypkami" Sedání Velebudické výsypky*. 3 str., 6 příl.
- Vaníček I., 1989. *Zakládání staveb na výsypkách*. Ministerstvo výstavby a stavebnictví ČSR, Praha, 67 str.
- Vaníček I., Vaníček M., 2008. *Earth Structures in Transport, Water and Environmental Engineering*. Springer, Praha, 637 str.
- Větrovský M., 2006. *Příspěvek k řešení problematiky zakládání staveb na báňských výsypkách severočeského hnědouhelného revíru*. disertační práce Ph.D., Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava Fakulta stavební Katedra geotechniky a podzemního stavitelství, Ostrava
- Wichter L., 2007. Stabilisation of old lignite pit dumps in Eastern Germany. *Bull. Eng. Geol. Env.*, 66: 45–51.