

Obsah :

1.	Úvodní slovo ke sprašovým a jílovitým zeminám, oblasti výskytu.	4
2.	Jílovité zeminy, seznámení s problematikou vlivu vegetace na smršťování jílu	6
2.1	Vznik jílových částic.....	7
2.2	Základní charakteristiky jílu	10
2.3	Mechanické vlastnosti jílu	10
2.4	Smršťování, podstata smršťování	10
2.4.1	Princip kapilarity – základní vztahy	12
2.4.2	Vliv sorpčních sil na smršťování zemin	14
2.4.3	Podtlak v pórové vodě	17
2.4.4	Průběh smršťování jílovitých zemin	17
2.5	Vliv vegetace na smršťování jílu	28
2.5.1	Vliv vegetace na jíl pod základy budov a na vznik poruch na budovách ..	29
2.5.1.1	Vodní režim v půdě.....	29
2.5.1.2	Spotřeba vody stromy	30
2.5.1.3	Vliv evaporace, vliv transpirace	30
2.5.1.4	Faktory zvětšující účinky transpirace	31
2.5.1.5	Časový průběh porušování budov, příznaky vedoucí ke vzniku trhlin.....	33
2.5.1.6	Mechanismus porušování budov.....	34
2.5.1.7	Základní typy poruch vzniklých přítomností stromů v blízkosti objektů	36
2.5.1.8	Bobtnání.....	38
2.5.1.9	Inženýrsko-geologický průzkum pro stavby založené na vysoceplastických jílech	38
2.5.1.10	Rekonstrukce budov porušených smršťováním podzákladových jílu	42
2.5.2	Závěrečné zhodnocení a doporučení při zakládání objektu na objemově nestálých vysoceplastických jílech	48
2.5.3	Ekologické podmínky trvalé koexistence vzrostlé zeleně a zástavby v místech bytových domů (podle J. Čermáka, A. Praxe, J. Kučery)	49
3.	Sprašovité zeminy	51
3.1	Vznik Spraší.....	51
3.2	Definice spraší	52
3.3	Fyzikální a mechanické vlastnosti spraší.....	59

3.3.1	Fyzikální vlastnosti	59
3.3.1.1	Granulometrické složení	59
3.3.1.2	Obsah uhličitanu vápenatého CaCO_3	63
3.3.1.3	Obsah humusu.....	63
3.3.1.4	Plasticita ve smyslu geotechniky	63
3.3.1.5	Přirozená vlhkost w_n	64
3.3.1.6	Číslo konzistence I_C	64
3.3.1.7	Stupeň nasycení S_r	65
3.3.1.8	Hustota pevných částic ρ_s	65
3.3.1.9	Hustota suché zeminy ρ_d	65
3.3.1.10	Pórovitost n	66
3.3.2	Mechanické vlastnosti.....	68
3.3.2.1	Prosedavost	68
3.4	Závěrečné zhodnocení a doporučení při zakládání objektu na spraších	80
4.	Příklady objektů postižených poruchami v důsledku založení na objemově nestálých zeminách. přílohy jsou zpracovány na základě podkladů pana doc. Ing. Antonína Paseky, CSc.	82
4.1	Příklady poruch objektů založených na jílovité zemině	82
4.1.1	Bytová výstavba Brno – Lesná, ulice Jurkovičova a Loosova	82
4.1.1.1	Úvod.....	82
4.1.1.2	Přehled přírodních poměrů	82
4.1.1.3	Přehled příčin poruch objektů.....	83
4.1.1.4	Rozbor jedné z příčin poruch objektů – vliv vegetace.....	83
4.1.1.5	Návrh na náhradu vegetace	85
4.1.2	Barokní kostel ve Švábenicích.....	94
4.1.3	Hotel Belvédér v Brně	98
4.2	Příklady poruch objektů založených na spraších	100
4.2.1	Naklání devítipodlažních obytných budov v Brně – Jundrově, Dubová ulice	100
4.2.1.1	Vývoj poruch na budově B3	100
4.2.1.2	Náklon budovy.....	100
4.2.1.3	Založení objektů.....	102
4.2.1.4	Příčiny vzniklých poruch	103



4.2.1.5	Sanace objektů	103
4.2.2	Havárie rodinného domu v Moravských Bránicích	112
4.2.2.1	Geologie a hydrogeologie	114
5.	Seznam použitých zdrojů	119
6.	Seznam použitých zkratk a symbolů	126

1. ÚVODNÍ SLOVO KE SPRAŠOVÝM A JÍLOVITÝM ZEMINÁM, OBLASTI VÝSKYTU.

Předkládaná disertační práce se věnuje zakládání budov a následně vzniklých poruch staveb, které jsou na těchto objemově nestálých zeminách založeny. Ve své práci se zaměřím na studium jílovitých a sprašovitých zemin.

Úvodem provedu srovnání s klasickými materiály, jejichž mechanické chování je relativně dobře objasněno, lze označit mechanické chování zemin jako velmi složité. Tato skutečnost je daná odlišnou strukturou, která je partikulární povahy, tj. zemina se skládá z fáze **pevné, kapalné a plynné** a poměr jednotlivého zastoupení fází se dynamicky mění a to především v závislosti na zatížení a samozřejmě času. Navíc je toto mechanické chování ovlivňováno celou řadou faktorů.

Zeminy s velkou pórovitostí tvoří skupinu látek, jimž je v současných geotechnických poměrech a praktických zkušenostech, věnována velká pozornost. Z našeho hlediska do této skupiny zařazujeme spraše, senzitivní jíly, některé ledovcové sedimenty a v případě umělých sypanin můžeme hovořit i o materiálech odkališť.

Inženýrskogeologické vlastnosti spraší a jíků, závisí na podmínkách jejich struktury, klimatických podmínkách, reliéfu, vegetaci a na dalších faktorech. Například je vědecky zjištěno, že spraše stejného genetického typu, které existovaly a existují v různých klimatických podmínkách, se mohou lišit například svými mikrostrukturami a v důsledku toho i vlastnostmi.

V úvodu první kapitoly disertační práce se budu věnovat základnímu seznámení se skupinou soudržných jílovitých zemin a následně budu pokračovat sprašovitými sedimenty.

Jílovité zeminy, u nás zvláště křídové a třetihorní sedimenty, podstatně zmenšují svůj objem při vysychání. Toto způsobilo v posledních desetiletích značné škody na objektech prakticky na všech světadílech.

V oblasti geotechnické praxe jsou jíly a jílovité zeminy tedy pokládány za jednu z rizikových skupin z důvodů jejich specifického mechanického chování, nicméně jsou zeminami, ve kterých se realizují náročné stavební konstrukce, dopravní stavby, tunely a jiné podzemní stavby, nebo jsou samy využívány jako materiál pro výstavbu, například vodohospodářských děl od hrází rybníků a sypaných přehrad po ochranné povodňové hráze. Jedním z hlavních předpokladů bezpečného a současně ekonomického návrhu takových konstrukcí je dostatečná znalost složitého mechanického chování jílovitých zemin podmíněna dokonalou znalostí mechanických vlastností a struktury zeminy. Jílovitým zeminám se budu věnovat v dalším textu, kde bych chtěla přiblížit jejich mechanické vlastnosti související se smršťováním těchto zemin a upozornit na možnost smrštění i vlivem odebrání vlhkosti kořeny stromů.

Další skupinou zemin, na kterou je zaměřena moje práce, jsou spraše.

Spraše vznikaly ve velkém množství v pleistocénu (starších čtvrtohorách) v oblastech, do jejichž blízkosti dosahovalo kontinentální zalednění. Rozdrcené horniny, které po sobě zanechal ustupující ledovec, se v suché krajině bez vegetace staly snadnou kořistí větru, který vyvál jemné částice na velké vzdálenosti. K usazování spraší docházelo především na závětrné straně hřbetů a údolí.

Sprašové sedimenty se vyskytují na všech kontinentech, především však v Evropě, Asii a Americe. Jejich plošné rozšíření na zemském povrchu je dle **Sergejeva (1976)** odhadováno až 13 mil. km². Z geografického hlediska spraše zaujímají zejména velké plochy mírného pásma severní polokoule a podle **Krigeria (1965)** odpovídá určité klimatické fosilní zóně. Spraše pokrývají rozsáhlá území Severní Ameriky (středozápad USA), stejně jako Eurasii od střední Evropy až po Čínu. Obzvláště velké mocnosti, až 40 metrů, dosahují sprašové uloženiny ve střední Číně (zde je zdrojem materiálu i poušť Gobi), kde utvářejí povrch provincií Šen-si, Šan-si a S'-čchuan. V těchto oblastech odedávna obyvatelstvo využívalo typické vlastnosti spraše, totiž soudržnosti jejích ostrohranných částic a hloubilo si v roklích zemní obydli.

Spraše se hojně vyskytují i v České republice, zejména v nížinách jižní Moravy, kde v Dyjskosvrateckém a Dolnomoravském úvalu dosahují mocnosti kolem 5-15 m, místy i přes 30 m. Spraše jsou u nás naváty hlavně na východních svazích kopců. Většina uložené spraše byla však později vodou odplavena do nižších poloh; tak vznikly sprašové hlíny, které mají poněkud chudší vápnitou složku. Hojně se vyskytuje v povodí řek (Ohře, Labe, Odry, Moravy a jejich přítoků, Váhu a Hronu) a ve Východoslovenské nížině. Mocné vrstvy spraše jsou známy z Číny. Spraše, jak dále zmiňuje jedna z kapitol práce, jsou známy svým prosedáním při přístupu vody a v Brně není třeba jejich existenci a jejich zrádné chování odborné veřejnosti připomínat.

Základové půdy prodělávají při zatížení stavbou tvarové a objemové změny. Ale objem některých hornin se intenzivně mění i vlivem jiných fyzikálních nebo i chemických faktorů a na ně se vztahuje označení objemově nestálé zeminy. K objemově nestálým horninám se však přičleňují i velmi stlačitelné horniny, které způsobují velké sednutí staveb. Kromě toho některé tyto horniny způsobují komplikace ne svými objemovými změnami, ale hlavně svým tvarovým přetvořením. Jednotlivé faktory, způsob a intenzita jejich účinků jsou tedy tak odlišné, že snad nelze vytvořit klasifikační schéma objemově nestálých hornin. V dalším textu zmíním některé druhy objemově nestálých zemin, přičemž se dále pak budu věnovat převážně jílovitým zeminám.

Kyzové břidlice, tyto algonkické nebo prvohorní břidlice obsahují někdy pyrit, váhově až 4% a organické látky. Je-li vystaven působení vzduchu a vody, pyrit oxiduje (v podezření je při tom i spolupůsobení některých bakterií), hornina přijímá vodu a zvětšuje svůj objem.

Anhydrit. V geologických dobách byla usazená čočkovitá ložiska sádrovce stlačena a dehydratací vznikl anhydrit. V tomto případě však funguje i opačný proces, kdy za přijímání vody se anhydrit mění v sádrovec, zvětšuje svůj objem. Tento jev byl zaznamenán v některých horninách spodního triasu při ražení tunelů.

Eluviální produkty hornin bývají zpravidla dosti stlačitelné. Můžeme zde zařadit kaolinické zvětraliny žuly, vzniklé za teplejšího a vlhkého období geologických dob. Jemné částice mohly být vodou vyplavené, ale zbylé množství stmeluje zrna křemene a slídy. Základová půda je pak velmi pórovitá a při styku s vodou se náhle stlačuje, asi jako spraše. Tyto jevy bývají příčinou poruch objektů v Jižní Americe.

Další skupinu objemově nestálých zemin mohou tvořit **ledovcové sedimenty**. Tyto se vyznačují velkou pórovitostí. Jejich vlhkost je zpravidla větší než mez tekutosti. Jejich kostra je udržována nepatrnou soudržností, ale při větších smykových namáháních a hlavně při otřesech se tato labilní struktura zhroutí a zemina ztekutí. Jako **senzitivní jíly** jsou známy ze Skandinávie a Severní Ameriky.

Nakypřené písky a prachy, často s příměsí jílu, mohou vzniknout buď sedimentací, nebo jsou ledovcového původu popř. i tufitického původu. Při otřesech snadno ztekutí nebo alespoň velmi sednou.

Holocenní sedimenty bývají nakypřené a snadno mění svůj objem jak při zvednutí, tak i při poklesu hladiny podzemní vody.

2. JÍLOVITÉ ZEMINY, SEZNÁMENÍ S PROBLEMATIKOU Vlivu VEGETACE NA SMRŠŤOVÁNÍ JÍLŮ

Podle toho, co je zdrojem pevnosti zemin hornin, lze horniny zhruba rozdělit do tří skupin :

- a) horniny nesoudržné, sypké, úlomkovité
- b) skalní horniny
- c) jíl, jílovité zeminy

Jako jíl označujeme nezpevněný **pelitický sediment**, který obsahuje vysoký podíl částic o velikosti pod 0,004 mm, většinou reprezentované jílovými minerály. Částice cementačního charakteru nepřevyšují 10 % a prachová nebo písková zrna jsou zastoupena pod 20 %. Sedimenty tohoto typu vystupují na hranici klastických a chemogenních sedimentů. Ve složení převládají různé typy fylosilikátů, méně jsou zastoupeny karbonáty, křemen, živce nebo organické látky. Přibýváním karbonátů přechází sediment do jílovitých vápenců, pokud narůstá objem organických látek, může přecházet do jílovitého uhlí. Textura je nejčastěji masivní, typickou vlastností je snadná rozplavitelnost ve vodě. Strukturní zralost jílu se definuje na základě obsahu ostatních zrnitostních frakcí. Jako jíly zralé se označují ty, které obsahují podíl jiných zrnitostních frakcí do 3 %. U mineralogické zralosti se za zralé považují monominerální jíly.

Jílovité zeminy jsou skupinou zemin, která je charakterizována velkými objemovými změnami. K této problematice je možné rovněž přiřadit vliv slunečního záření, teplovodů, kouřovodů a vegetace na tento druh zemin. Jsou známy tisíce případů, kdy se v blízkosti porušených domů vyskytovaly vzrostlé stromy. Odsáváním vody kořeny stromů z okolní zeminy způsobuje snížení její vlhkosti, tedy vysychání. Jak je známo, jíly při vysychání zmenšují svůj objem, smršťují se. Přirozeně toto smrštění není pod základy budov všude stejné, proto dochází k nerovnoměrným poklesům domů a v důsledku toho k poruchám, potrhání zdiva. Problém se umocňuje zejména v klimaticky suchých obdobích. Tento jev pozorován nejen v České Republice, ale všude ve světě, kde jíly jsou v dosahu vlivů kořenů stromů a touto skutečností dochází, jak je již výše zmíněno, ke vzniku poruch, trhlin na budovách.

Škody na objektech vzniklé smršťováním a bobtnáním jílu, nejsou na budovách na první pohled tak zřejmé jako například škody od zemětřesení, záplav a proto velmi často bývají i odbornou veřejností podceňovány.

2.1 Vznik jílových částic

Svým vznikem jsou jílovité částice někdy nepřemístěným (v eluviích, např. v kaolinu), zpravidla však přemístěným produktem větrání horninových nerostů (živců, slíd apod.). Při větrání se uplatňují mechanické procesy, jako rozpad horniny účinkem nízkých teplot, mělníci účinek vody, u vzniku jílovitých částic je třeba i chemických změn nerostů. Vlivem chemických procesů, zasahujících do iontových vazeb chemicky složitých silikátů, jimiž jsou živce a slídy, se z nich vyluhují některé kationty, např. sodíku, hořčíku, železa aj. a hmota se rozvolňuje a dovoluje vodě vnikat mezi vrstvičky krystalové mřížky, až se konečně rozpadá. Takto degradovaná hmota obsahuje stále ještě základní stavební prvky struktury původních nerostů, zejména čtyřstěny SiO_4 a částečně i zbytky oktaedrů, obsahující Al^{3+} , Fe^{3+} , Mg^{2+} . Hmota je nyní dále transportována, vymývána a konečně deponována. Přitom se uplatňuje koagulace závislá na různých fyzikálních vlivech, např. i na světelné energii. Dále velmi záleží na prostředí, v němž se rozptýlená hmota shlukuje do částic. Při tvorbě částic v spíše kyselém pevninském prostředí se již hmota příliš nemění – vznikají tak spíše jíly kaolinitického typu.

Naopak mořská voda svým solným bohatstvím podporuje vznik jílu illitických, chloritických a montmorillonitických. Submikroskopická struktura vzniklých jílových částic je opět krystalická, i když vnější vzhled jílu vzbuzuje spíše představu neuspořádané rozptýlené jemné hmoty. Krystalická mřížka je tvořena již zmíněnými stavebními jednotkami křemičitanů, čtyřstěny SiO_4 , které jsou seskupeny do vrstviček, na něž se vážou vrstvičky osmistěnnů, obsahujících Al, Fe, Mg a OH. Navzájem svázané vrstvičky čtyřstěnnů a osmistěnnů tvoří **elementární vrstvu krystalové mřížky**. Vazby mezi atomy uvnitř vrstviček a vzájemné vazby mezi základními vrstvičkami čtyřstěnnů a osmistěnnů jsou iontové, tedy poměrně pevné, ale vůči sousedním elementárním vrstvičkám jsou již vazby mnohem slabší. Povaha vazeb není u všech jílu stejná a tato skutečnost má značný vliv na jejich technické vlastnosti.

Jíly můžeme rozdělit podle několika kritérií.

- Z mineralogického hlediska můžeme podle převládajícího fylosilikátu rozlišit např. tyto horniny:

Kaolinový jíl

Hlavním představitelem je kaolinit. Tento vzniká rozkladem živců. Zpravidla se jedná o nevytříštěný sediment tvořící reziduální horninu. Je z jílovitých minerálů největší a může vázat poměrně málo vody.

Tato skutečnost je daná tím, že vazby v případě sousedních elementárních vrstviček mají charakter vodíkové vazby. Vodík z hydroxylové skupiny oktaedru se váže i ke kyslíku další vrstvičky čtyřstěnu. Proto se vzdálenost vrstviček nemění a vazba nedovoluje pronikání vody mezi vrstvičky.

Kaolinit je bílý, žlutý, hnědavý, červenavý, modrý. Je zemitý, pokud je zvlhlý, pak je plastický. Vzniká větráním a chemickou přeměnou živců, popřípadě i dalších alumosilikátů. Může tvořit samostatná ložiska, jež vznikla větráním především žul, arkóz, ortorul, migmatitů a dalších hornin vystavených velmi intenzivnímu větrání. Je součástí půd.

Významná ložiska velmi kvalitního kaolinu (zemitá hornina s podstatným podílem kaolinitu a dalších jílových minerálů) jsou na Karlovarsku (Sedlec, Podlesí, Otovice), kde vznikla zvětráváním žul. O něco rozsáhlejší jsou ložiska kaolinu, jež vznikla větráním arkóz karbonského stáří v okolí Horní Břízy, Kaznějova, Chotíkova a dalších míst v severním okolí Plzně. Méně kvalitní ložiska kaolinu vznikla větráním žul u Nové Role, vsv. Karlových Varů, a Vidnavy, s. od Jeseníku, ortorul a migmatitů od Kadaně a Podbořan v západních Čechách, Znojma a svrateckých rul od Veverské Bítýšky sz. od Brna.

Makroskopické ukázky kaolinitu lze nalézt v Bílině-Hradišti v zárezu Horské ulice, kde v jílové zvětralině tvoří kaolinit až 0,5 cm velké zprohýbané perleťově lesklé šupiny, destičky až sloupečky.

Plavený kaolin (zbavený nejílových minerálů) se používá jako plnivo do papíru, plastů, pryží, barev, lepidel, tmelů, izolací, farmaceutických a kosmetických výrobků, dále k výrobě porcelánu aj. keramiky, šamotu, cihel, střešních tašek, cementu, žáruvzdorných materiálů, uplatňuje se v potravinářství, používá se při filtraci např. olejů apod. Hlavními producenty kaolinu jsou USA, Velká Británie, Brazílie a Česká republika.

Illitový jíl

Vznikají zvětráváním hornin, které obsahují slídu. Nezpevněná hornina s vysokým podílem illitu je prakticky jeden z nejběžnějších sedimentů a postupným zpevňováním z něho vznikají jílovce a jílové břidlice. Adsorpční a výměnná schopnost je větší než u předcházející skupiny.

U illitických jílů je typické, že vazby mezi vrstvičkami zprostředkují především kationty draslíku. Vylouží-li se, jíl degraduje, ztrácí vazební síly. I když se přitažlivé síly mezi vrstvičkami a kationty, a tedy i vazební síly mezi vrstvičkami, oddalováním zmenšují, je potenciál soustavy negativní, takže přitažlivé síly nedovolují další hydrataci, vnikání vody mezi vrstvičky, pokud mechanickým způsobem neporušíme vazby (tahem, rozemnutím, mrazem), tj. nedodáme energii k oddálení částíček, nebo, jak již řečeno, nezměníme kationty za jiné z větší hydratační energii.

Z praktického hlediska je možné illit označit jako extrémně jemnozrnný, jehož částice jsou menší než jedna tisícina milimetru. Jedná se o velmi rozšířený až „všudypřítomný“ minerál, který každý člověk velmi dobře zná a označuje jej obvykle jako „bahno“, jehož je důležitou součástí.

Montmorillonitový jíl (podle lokality Montmorillon ve Francii)

Je hornina s převládajícím montmorillonitem, která vznikla sedimentací po předcházejícím transportu. Pokud se jedná o horninu reziduální, používá se označení bentonit (dle naleziště Fort Benton v USA). Strukturní mřížka se skládá z elementárních trojvrství, které jsou pohyblivé. Adsorpční a výměnná schopnost je mimořádně vysoká. Jíly, které obsahují velké procento částic této skupiny, jsou význačné bobtnáním a smršťováním. Proměnlivou vzdáleností mezi vrstvičkami vynikají montmorillonitické jíly. Molekuly vody nejsou neutrální, mají charakter dipólů, kdy hydratují kationy a zřejmě je i vytěsňují na elementárních vrstvičkách.

Vnikání vody mezi vrstvičky se také vysvětluje osmotickými silami: voda, obklopující částice jílu má malý obsah elektrolytu, kdežto voda mezi vrstvičkami je bohatá na kationy. Proto jsou molekuly vody osmotickými silami vtlačovány mezi vrstvičky, zvětšují jejich vzdálenost a zmenšují pevnost vazeb – jíly bobtnají.

Montmorillonit je narůžovělý, bělavý, žlutavý, šedý či světle hnědý. Vzniká větráním čedičových tufů, je častou složkou jílovitých hornin a půd. Je důležitou složkou až 12 m mocných vrstev tzv. bentonitů, tedy zvětralých vulkanických tufů třetihorního stáří v Braňanech u Mostu a v Doupovských horách. Vzniká také větráním serpentinitů (hadců) a hydrotermální přeměnou hornin. Montmorillonit, respektive bentonitové horniny s montmorillonitem jako hlavní složkou, se používá k čištění olejů, tuků, odpadních vod, plynů, pitné vody, ve farmacii a kosmetickém průmyslu, jako plnivo při výrobě barev, tužek, mazadel, pojivo slévarenských forem, jako izolační hmota, při zpracování ropy, výrobě plastů a rozmanitých chemikálií, ve stavebnictví, jako mazadlo atd. Hlavními producenty bentonitů jsou USA, Rusko, Řecko, Turecko a Itálie.

- **Podle mechanismu vzniku můžeme jíly rozdělit na dvě velké skupiny :**

Reziduální jíly

Tyto vznikají zvětráváním hornin na místě, zpravidla v podmínkách subtropického a tropického klimatu. Horniny bohaté železem a hliníkem se označují jako laterity. Reziduální jíly mohou vznikat rozpouštěním vápenců s obsahem jílové složky.

Přemístěné jílové sedimenty

Skupina vzniká přenosem jílových klastů do sedimentační pánve, zpravidla spolu s prachovitým nebo písčitém materiálem a významně zastoupenou chemogenní a biogenní složkou. V kontinentálním prostředí se jedná o proluvialní, deluvialní, jezerní nebo říční jíly. V mořském prostředí jsou to zejména lagunární a šelfové jílové usazeniny.

Dále je třeba u termínu jíl rozlišovat dva významy. Jsou-li přítomny libovolné minerály o velikosti menší než 0,004 mm, hovoříme o fyzikálním jílu. Pokud je sediment tvořen převážně jílovými minerály, jedná se o jíl v užším slova smyslu.

2.2 Základní charakteristiky jílu

Jílovité zeminy a jejich hlavní představitel jíly, jsou zeminy, u nichž převážná část zrn je menší než 0,005 mm. U zrn menších než 0,05 mm se začínají uplatňovat povrchové elektromolekulární síly a jejich účinek vzrůstá s klesajícím rozměrem zrn. Kromě rozměru zrna se však významně uplatňuje i mineralogické složení. Tím je dána podstatná vlastnost jílu – jíly při stejném zrnitostním složení a stejné vlhkosti se mohou chovat odlišně.

2.3 Mechanické vlastnosti jílu

Jílovité zeminy mají určitou soudržnost, tvárlost, která se zmenšuje s klesající vlhkostí a u suché zeminy zaniká. Vlhké zeminy tedy mohou měnit alespoň do určité míry svůj tvar, aniž by ztratily větší část souvislosti mezi částicemi. Při studiu těchto mechanických vlastností je nutné sledovat vazby mezi částicemi až do mikrostruktury hmoty. Strukturou rozumíme rozměr, formu a povahu elementů a charakter svazků mezi nimi.

Vlastnosti jílovitých zemin jsou podmíněny vazbami mezi částicemi a ty souvisejí se stavem jejich povrchu. Plochy destičkových částic nejsou elektricky neutrální, ale jsou obsazeny zbytkovými zápornými náboji. Hrany a rohy částic mají naopak náboje kladné. Při sedimentaci se tedy vážou hrany a rohy k plochám, vzniká struktura „domku z karet“. Volná voda mezi částicemi má malý obsah elektrolytu a proto vniká působením osmotických sil mezi částice, oddaluje je a zředí koncentraci v okolí částic, zmenšují se přitažlivé síly a zmenšuje se pevnost vazeb – jíl měkne. Je to však možné do určité míry, pokud k tomu nepřispějeme prací vnějších sil. Intermicelární bobtnání je dále ovlivněno i obsahem solí.

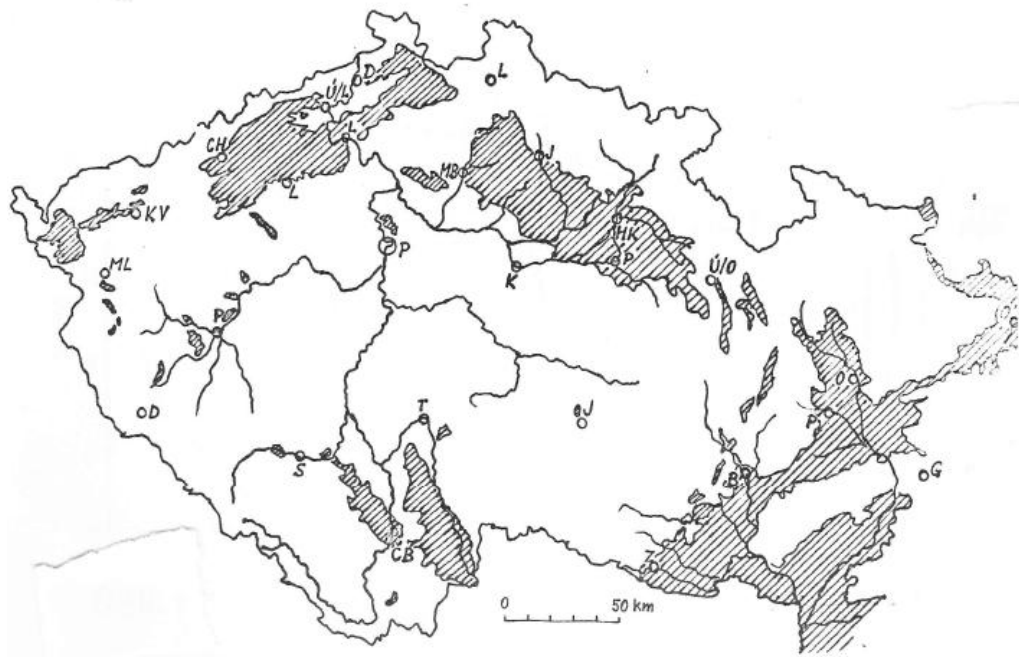
Obecně je možné říci, že jílovitá zemina je tím pevnější, čím méně vody obsahuje a také její stlačitelnost bude menší. Proto nejdůležitější vlastností těchto zemin je jejich vlhkost. Stejná vlhkost však ještě nemusí být ukazatelem stejné pevnosti či stlačitelnosti. Důležitým faktorem je i sorpční schopnost a její vliv na pevnost.

2.4 Smršťování, podstata smršťování

Smršťování lze označit jako jednu z výrazných vlastností jílu. Jeho neznalost způsobuje často ve stavební praxi řadu poruch na objektech. Smršťování je přisuzováno vlivu podtlaku pórové vody, tento jev může být způsoben evaporací (= výpar vody ze zeminy) nebo transpirací (= odsání vody kořeny).

Celý proces objemových změn je velice složitý a při jeho řešení musíme zjišťovat změnu vlhkosti, hloubkový účinek, časový faktor. V České republice je možné stanovit oblasti, kde se problémy smršťování vyskytují častěji.

V Čechách jde o oblast křídových slínů, terciérních jílů Chomutovsko – Mostecko – Teplické pánve a na Moravě v oblasti neogenních jílů, podrobně jsou tyto a další oblasti, jež jsou citlivé na smršťování jílů vyznačeny na obr. 1 a to vyšrafováním.

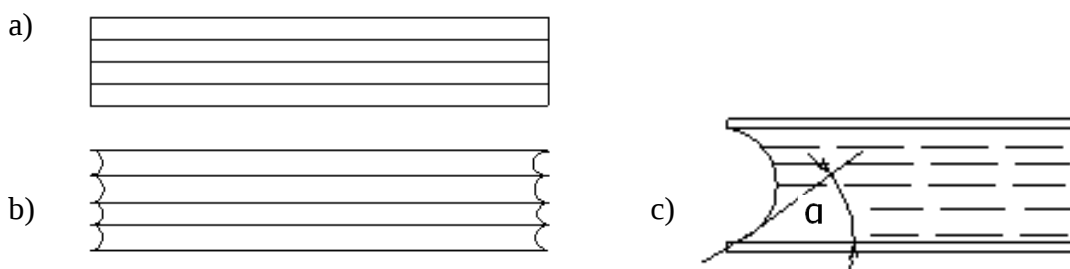


Obr. 1 Rozmístění vysokoplastických jílů, zobrazeno šrafováním

2.4.1 Princip kapilarity – základní vztahy

Vlivem svazků mezi molekulami kapaliny a molekulami jiných hmot se povrchové napětí kapalin přenáší na stěny nádoby. Účinkem sil povrchového napětí stoupá voda v kapilárních trubicích, meniskem je sloupec vody zavěšen na stěnách trubice, která je pak tlačena. Obdobné napětí v tlaku působí ve vodě mezi zrny zeminy, jestliže voda vysychá a stahuje se do koutů mezi částicemi zeminy. S kapilárními silami souvisí i otázka smršťování a bobtnání jílovitých zemin, zde je však třeba uvést, že značnou roli zde mají i svazky mezi částicemi zeminy a vodou vázanou. Kapilární síly tvoří tedy pouze jenom část sil souvisejících se smršťováním. V dalším textu popíšeme některé principy kapilarity a na nich pak i smršťování zemin.

Zeminu je možné si představit jakou soustavu rovnoběžně rozložených trubiček, které jsou vyplněny vodou (Terzaghi 1946). Při 100% saturaci jsou vodou vyplněny zcela a úhel, který svírá vodní povrch s trubičkou je 90° (obr. 2.)



Obr. 2 Soustava kapilár (Terzaghi, 1946)

- a) Plně saturovaná zemina – $\alpha = 90^\circ$
- b) $0^\circ < \alpha < 90^\circ$
- c) Zvětšená kapilára

Vysycháním dochází k prohýbání vodní hladiny, úhel α se zmenšuje. Fáze zmenšování úhlu α je možné srovnat s obecnou teorií kapilarity – tahová síla vodního menisku závisí na jeho prohnutí a při vodorovném uložení trubičky můžeme zanedbat vliv vlastní tíhy vody (obr. 2c). Vysycháním vody dojde k prohnutí menisků na obou koncích a voda jimi bude tažena, tj. bude v ní všesměrný podtlak. Tah, jímž oba menisky působí na vodu, je v rovnováze s tlakem, jímž je stlačována stěna kapiláry ve směru své délky. Zde je však třeba uvést, že reálné chování zemin je složitější. Skutečné zeminy totiž představují systém různě velkých pórů (= různě velkých kapilár) a může v nich dojít k vývinu vzduchových bublin, jejich propojení a k provzdušnění. Smršťování částečně saturovaných zemin je rovněž odlišné od smršťování zemin vodou plně saturovaných.

Napětí ve vodě, způsobené prohnutím menisku o úhel α (obr. 2c) je dáno vztahem

(1)

$$u_w = - \frac{2\sigma_p \cdot \cos\alpha}{r}$$

Kde

σ_p ... povrchové napětí vody

u_w ... napětí v pórové vodě

r ... poloměr kapiláry

Při maximálním průhybu menisku bude platit

(2)

$$u_w = \frac{2\sigma_p}{r}$$

Zemina představuje ve srovnání s kapilárou prostředí stlačitelné – velikost pórů zemin se stlačováním zmenšuje. Vlivem podtlaku ve vodě vznikne tlak mezi zrny zeminy. Zemina se bude za tohoto stavu napjatosti silou vodních menisků stlačovat až na objemovou tíhu, která odpovídá stlačení efektivním napětím sigma, které je dané vztahem

(3)

$$\sigma' = \sigma - u_w$$

Protože $\sigma = 0$, bude platit

(4)

$$\sigma' = \frac{2\sigma_p}{r}$$

Nebo

(4')

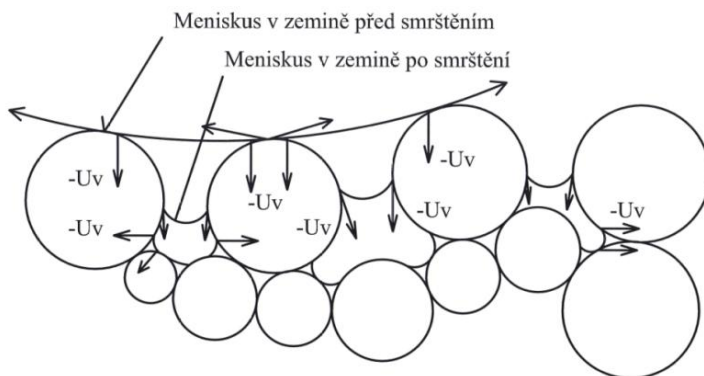
$$\sigma' = \gamma_w \cdot h_k$$

Kde

γ_w ... objemová tíha vody

h_k ... kapilární výška

$$h_k = \frac{2 \cdot \sigma_p}{r \cdot \gamma_w}$$



Obr. 3 Menisky v zemině před smrštěním a po něm (Myslivec, Eichler, Jesenák 1970)

Zvyšováním průhybů menisků v plně saturované zemině (obr. 3) roste podtlak ve vodě a tím i efektivní napětí, kterým jsou zrna stlačována, až stlačení dosáhne maxima.

2.4.2 Vliv sorpčních sil na smršťování zemin

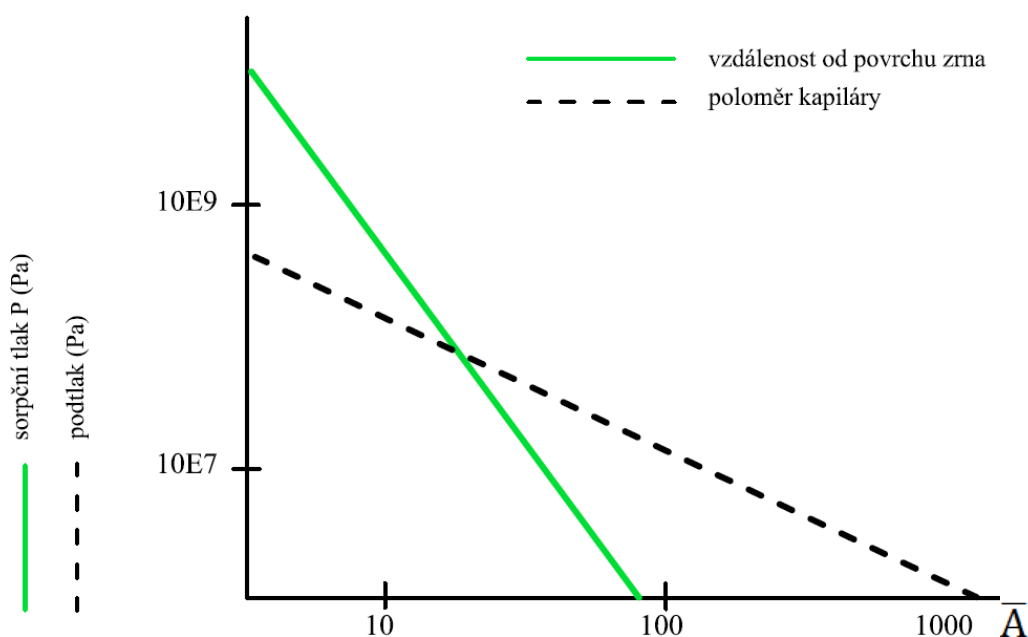
V předchozí části byl uvažován vliv kapilárních sil na velikost negativního napětí v pórech. Napětí ve vodě je však u jílovitých zemin ovlivňováno celou řadou dalších činitelů. Pomineme-li opět vnější zatížení, existují v pórové vodě napětí daná kromě kapilárních sil i silami osmotickými, sorpčními a vlivem gravitačního potenciálu. Pro jednoduchost můžeme uvažovat model podle **Marshalla (1959)**, který doporučuje uvažovat „matrix suction“ a „solute suction“. Matrix suction závisí hlavně na tvaru a uspořádání částic a může pro toto napětí být používán výraz podtlak pórové vody. Druhý výraz je v podstatě ekvivalentem sorpčních sil. Rozdíl mezi celkovým napětím ve vodě a pod tlakem pórové vody (matrix suction není zvláště při inženýrských řešeních v mechanice zemin významný. Velikost napětí ve vodě, daného sorpčními silami, je závislá na vzdálenosti od povrchu zrna podle vztahu (Aitchison, 1961)

(5)

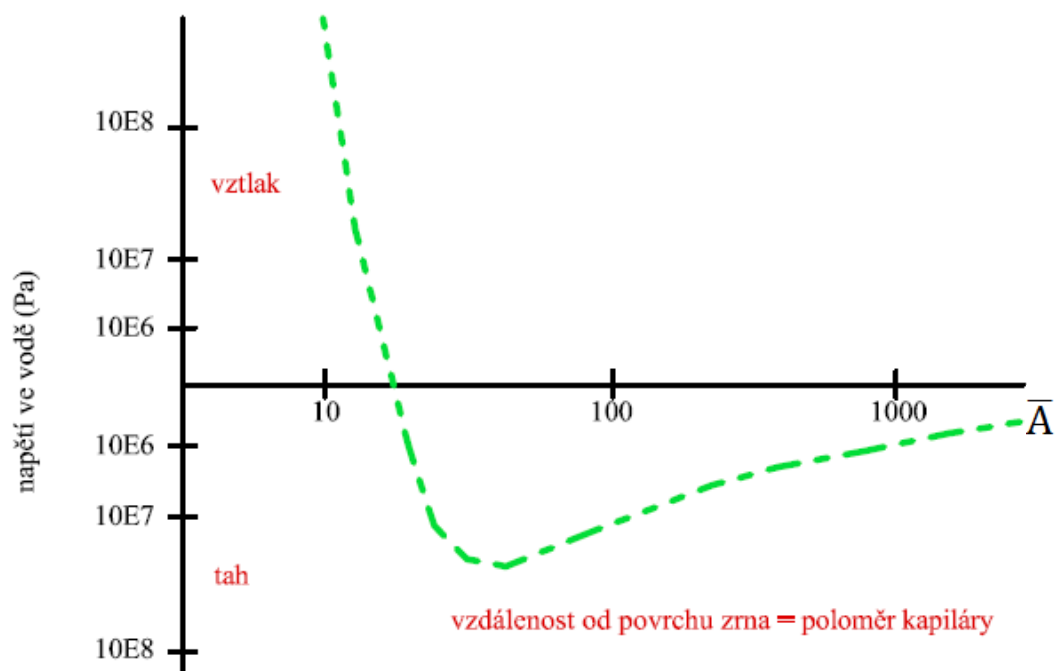
$$\log P = 6,3 - 2,75 \log d$$

P ... sorpční tlak (10^5 Pa)

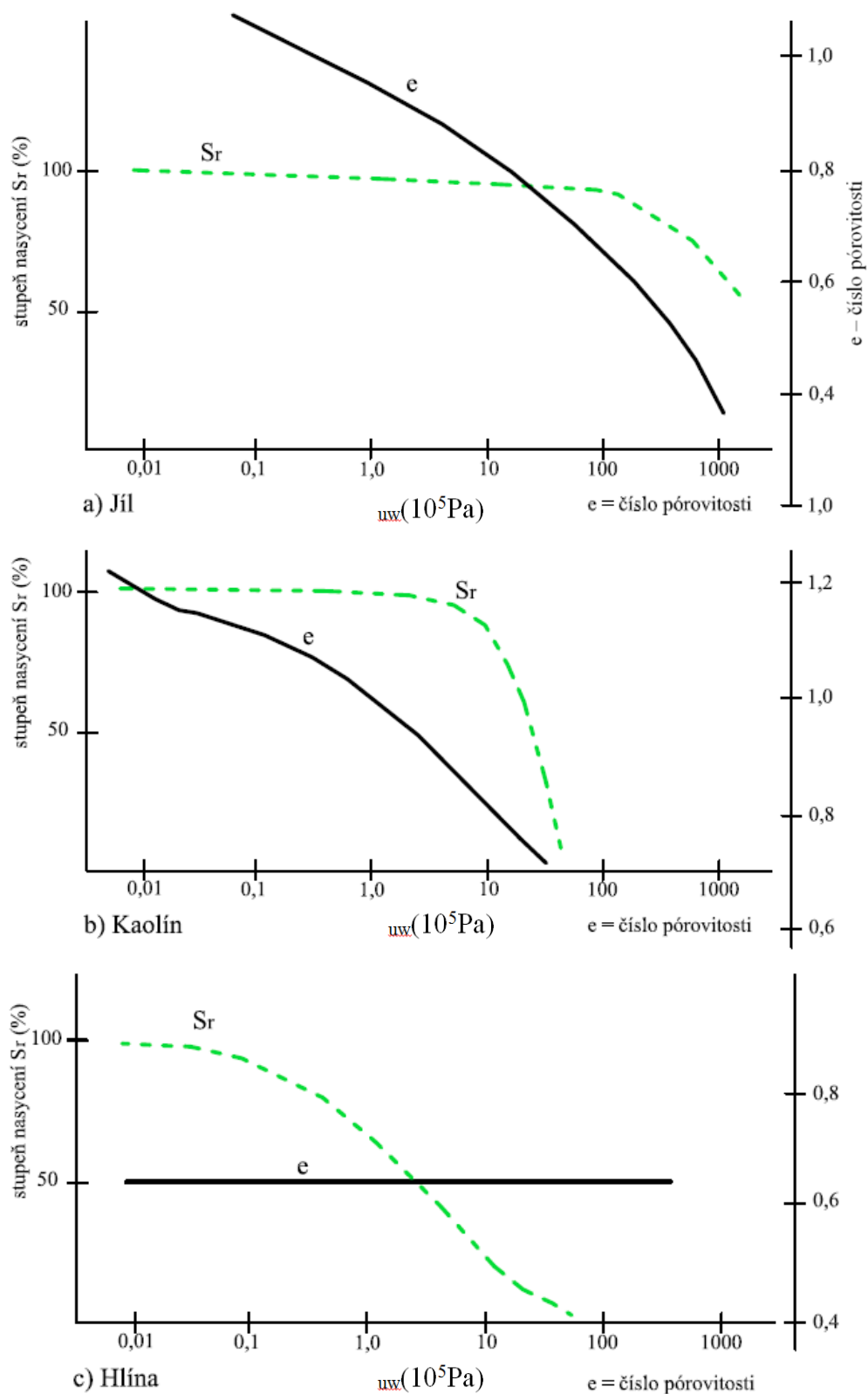
d ... vzdálenost od povrchu částic (Å)



Obr. 4a Napětí vody v póru – kapiláře (Aitchison, 1961)



Obr. 4b Výsledné napětí vody v póru (Aitchison, 1961)



Obr. 5 Závislost mezi pod tlakem ve vodě u_w a geometrií pórů (Aitchison, 1961) pro zeminy jíl, kaolín a hlínu.

Tahové napětí dané kapilárními silami je dané vztahem

(6)

$$\log u_w = 4,15 - \log r$$

r ... poloměr kapiláry $\bar{A}$

Obě tyto závislosti jsou vyneseny na obr. 4a a 4b. Zobrazuje skutečné mezní napětí v pórové vodě uprostřed kapiláry, které je kombinací kapilárních a sorpčních sil. Důležité zjištění, že u pórů menších než cca $100\bar{A}$ (podle mineralogického složení) se začne uplatňovat sorpční tlak na velikost napětí pórové vody a tudíž bude výrazně ovlivňovat i smršťování.

Závislost mezi podtlakem v pórové vodě u_w , stupněm nasycení S_r a pórovitostí e je uveden na obr. 5. U jílu a kaolínu se začíná při poklesu podtlaku na hodnotu mezi 10^6 a 10^7 Pa snižovat stupeň nasycení, začíná se vylučovat vzduch a následně dochází k výrazné změně v průběhu smršťování.

2.4.3 Podtlak v pórové vodě

V části 2.4.1 byl objasněn vliv kapilárních sil na vznik podtlaku v pórové vodě a tím na smršťování zemin. Podtlak ve vodě je však ovlivňován i dalšími faktory, které pak ovlivňují průběh smršťování. U jílovitých zemin jsou to pochopitelně i sorpční síly. Při všesměrném smršťování (např. vzorku jílu) dochází ke zmenšení jeho objemu efektivním napětím – vzorek se přetváří všesměrně. Při smršťování zeminy např. v misce je zemina vystavena pouze svislému efektivnímu tlaku, zemina se smršťuje jednoose. Zdá se tedy, že při tomto způsobu namáhání nemůže být vzorek rozrušen vznikem tahových trhlin. Ze zkušenosti však víme, že tyto trhliny vzniknou. Úbytek vody na povrchu znamená pohyb vody v zemině. Vlivem sorpčních sil se zemina snaží o takové uspořádání zrn, při kterém bude potenciální energie při povrchu částic všude stejná. Při pouze svislé deformaci vyvolané pod tlakem ve vodě je tento stav narušen, zrna mají snahu se přeskupovat. K přeskupení může dojít po vyčerpání tahové pevnosti zemin – zemina se poruší tahovými trhlinami. Sorpční síly tedy významně spolupůsobí při procesu smršťování. Obecně je možné smršťování zemin považovat za proces, který je podmíněn vznikem podtlaku v pórové vodě.

Tento podtlak může vzniknout působením řady faktorů (vysychání, sání kořenů apod.), jeho účinek je však ovlivněn nejen velikostí podtlaku, ale i geometrií zrn, jejich uspořádáním, mineralogickým složením a stupněm nasycení.

2.4.4 Průběh smršťování jílovitých zemin

2.4.4.1 Obecné závislosti

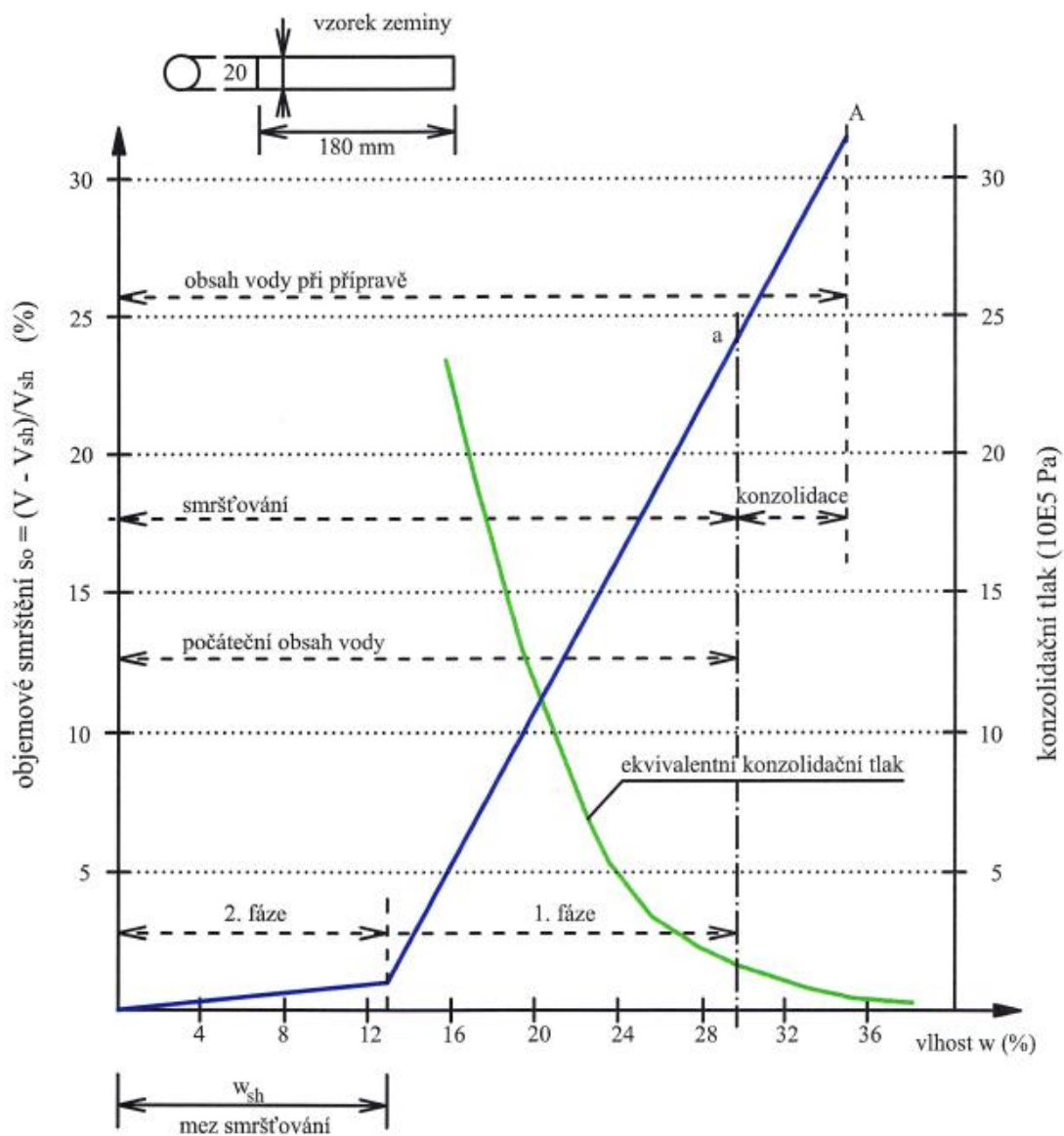
Smršťování zemin je zmenšování jejich objemu při snižování vlhkosti za normálních podmínek (teploty a tlaku) a je vysvětlováno existencí podtlaku v pórové vodě.

Tento podtlak může vzniknout působením řady faktorů (zmíněno v kapitole 2). Zemina je prostředí, které se zpravidla skládá **ze 3 fází : pevné, kapalně a plynné**. Velikost pevných částic může být značně rozdílná. Na smršťování mají vliv částice nejmenší, tj. částice o rozměru koloidů.

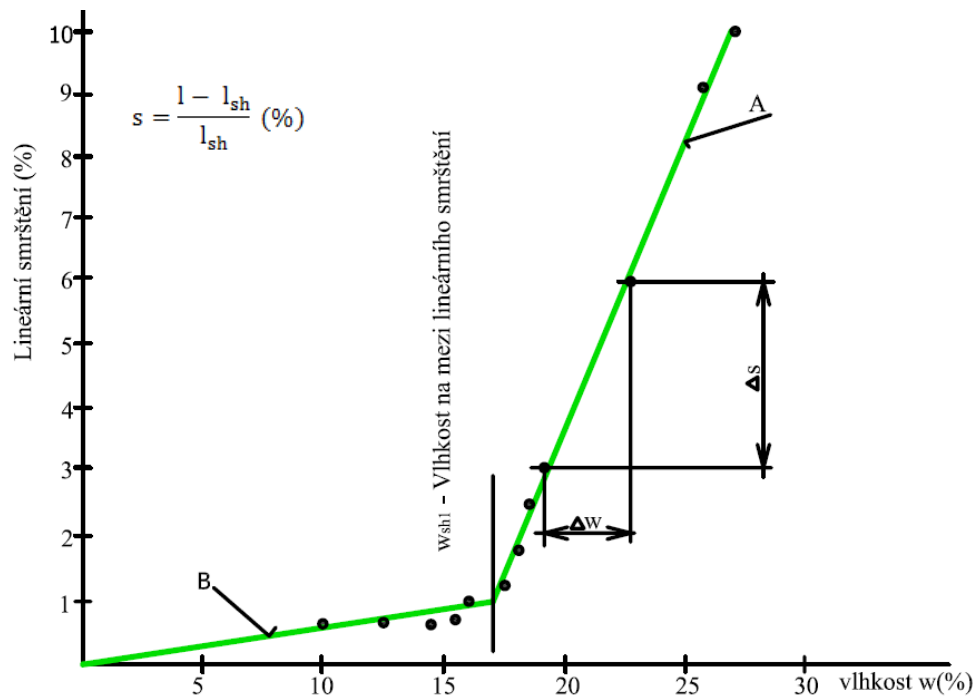
Zeminy, které jsou obecně trojfázový systém, jsou ve stavu, který je závislý na obsahu vody a tento stav můžeme stanovit např. pomocí Attebergových mezí. Zmenšování vlhkosti zemin je tedy provázeno zvyšováním stupně konzistence. Zároveň je však u jílu provázeno i smršťováním, které je charakterizováno změnou objemu a mezi smršťování. Tato mez ve srovnání s Attebergovými konzistenčními mezemi představuje zcela odlišnou charakteristiku a neexistují mezi nimi přímé vazby.

2.4.4.2 Průběh smršťování plně saturovaných zemin

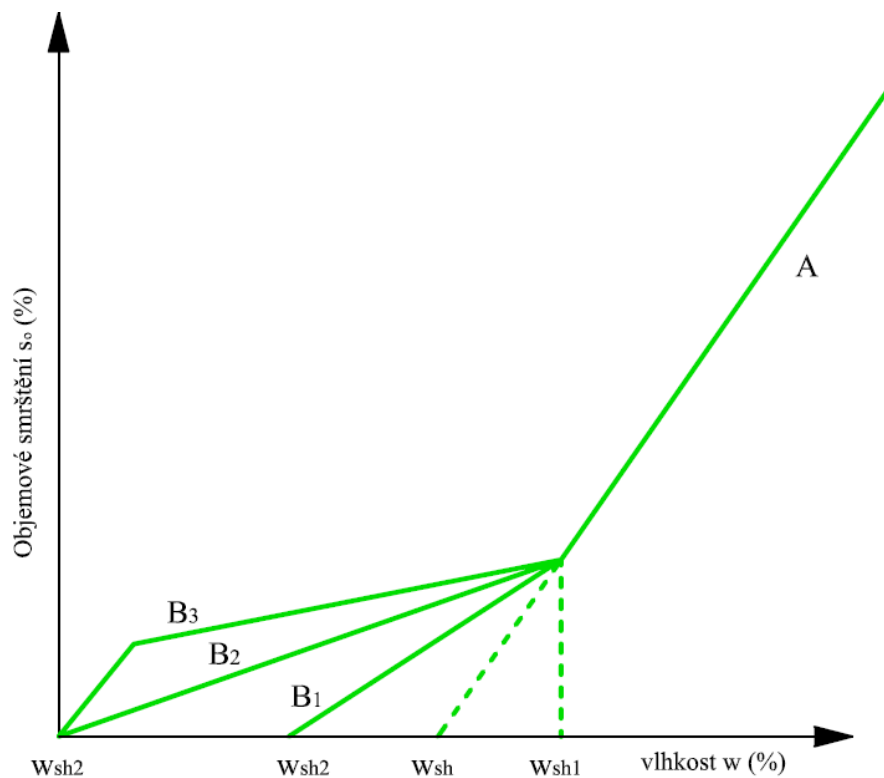
Změna objemu plně saturované zeminy odpovídá změně objemu vody – závislost je ryze geometrická. Tento jev je znám a byl v literatuře popsán – např. Haefeli, Amber, 1948. Na obr. 6 je vynesena závislost poměrných objemových změn s_0 na vlhkosti w .



Obr. 6 Čára smršťování. Třísosé smršťování jílu jako funkce obsahu vody (Haefeli, Amber, 1948).



Obr. 7 Závislost lineárního smrštění zeminy na vlhkosti (dle ČSN 73 1019)



Obr. 8 Průběh smršťování zemin při vlhkostech $w < w_{sh}$

Pro poměrné objemové smrštění s_o platí vztah,

(7)

$$S_o = \frac{V - V_{sh}}{V_{sh}}$$

V ... objem při vlhkosti w

V_{sh} ... objem po smrštění

Závislost s_o/w je lineární a lze ji matematicky vyjádřit. Je známo, že smršťování neprobíhá lineárně až k průsečíku s vodorovnou osou, tj. až do okamžiku, kdy by veškeré smršťování skončilo při současné plné saturaci zeminy po celou dobu smršťování – tento teoretický průsečík bude označen jako mez smršťování w_{sh} . Zemina při jisté vlhkosti $w > w_{sh}$ se začne smršťovat méně, na čáře závislosti s_o/w se objeví lom. V následující části začne klesat stupeň saturace od jedné k nule. Tento lom je považován ČSN 72 1019 za mez smrštění. Na obr. 7 je vynesena závislost s/w kde s je poměrné lineární smrštění. Mez smrštění podle normy budeme označovat dle normy w_s .

Obě tyto meze smrštění (w_{sh} , w_s) jsou ryze teoretické, skutečné smršťování probíhá i za tuto mez. Průběh smršťování v části po vniknutí vzduchu do vzorku (při $w < w_s$) je možné zevšeobecnit tak, jak je zobrazeno na obr. 8 – část B čáry smršťování. Průběh B1 zjistil Havlíček (1953) na písčité hlíně, B2 uvádějí různí autoři (např. Haefeli, Ambrg, 1948) a byl pojat i do ČSN 72 1019, B3 zjistil Zavoral (1980) na jílu s vysokým obsahem montmorillonitu. Smršťování tedy probíhá dále i za mez smrštění, jeho průběh není jednoznačný a sledování této části má velký význam pro objasnění teoretických závislostí, pro běžnou inženýrskou praxi však nikoliv. V části A jsme uvažovali průběh pro plně saturovanou zeminu. Průběh smršťování částečně saturované zeminy bude odlišný.

Jak již bylo uvedeno, v oblasti plné saturace zeminy (průběh – část A) je závislost s_o/w přímková – změna objemu zeminy odpovídá změně objemu vody. Touto závislostí se zabývali Haefeli a Ambrg (1948). Přímková závislost poměrného objemového smrštění s_o na vlhkosti w je tudíž charakterizována i konstantním součinitelem objemového smršťování S_o , který je dán vztahem

(8)

$$S_o = \frac{\Delta s_o}{\Delta w}$$

Vlhkost w v každém bodě přímky (pro w) je možné vyjádřit vztahem

(9)

$$w = \frac{V_w \cdot \gamma_w}{V_{sk} \cdot \gamma_s}$$

Kde

V_w ... objem vody v zemině

V_{sk} ... objem skeletu zeminy

γ_s ... objemová tíha pevných částic

γ_w ... objemová tíha vody

Potom lze odvodit

(10)

$$w_{sh} = \frac{\gamma_w}{\gamma_{sh}} - \frac{\gamma_w}{\gamma_s}$$

Kde

γ_{sh} ... objemová tíha zeminy po smrštění

Hodnota meze smrštění podle Haefeliho a Amberga je tedy závislá na $\gamma_w, \gamma_s, \gamma_{sh}$ a z těchto hodnot je můžeme vždy určit. Jeden druh zeminy s různými počátečními stavy (např. různě konsolidované vzorky) bude mít různé hodnoty γ_{sh} , tudíž i různé čáry smršťování. Tyto obě čáry nazvěme I a II lze odvodit, že pro s_o (I) vzorku I platí vztah :

(11)

$$s_o^I = \frac{w - w_{sh}^I}{\frac{\gamma_w}{\gamma_s} + w_{sh}^I}$$

A pro vzorek II

(12)

$$s_o^{II} = \frac{w - w_{sh}^{II}}{\frac{\gamma_w}{\gamma_s} + w_{sh}^{II}}$$

Lze stanovit průsečík těchto 2 přímek eliminací s_o a tím obdržíme souřadnici na ose w průsečíku obou přímek

(13)

$$w_c = \frac{\gamma_w}{\gamma_s}$$

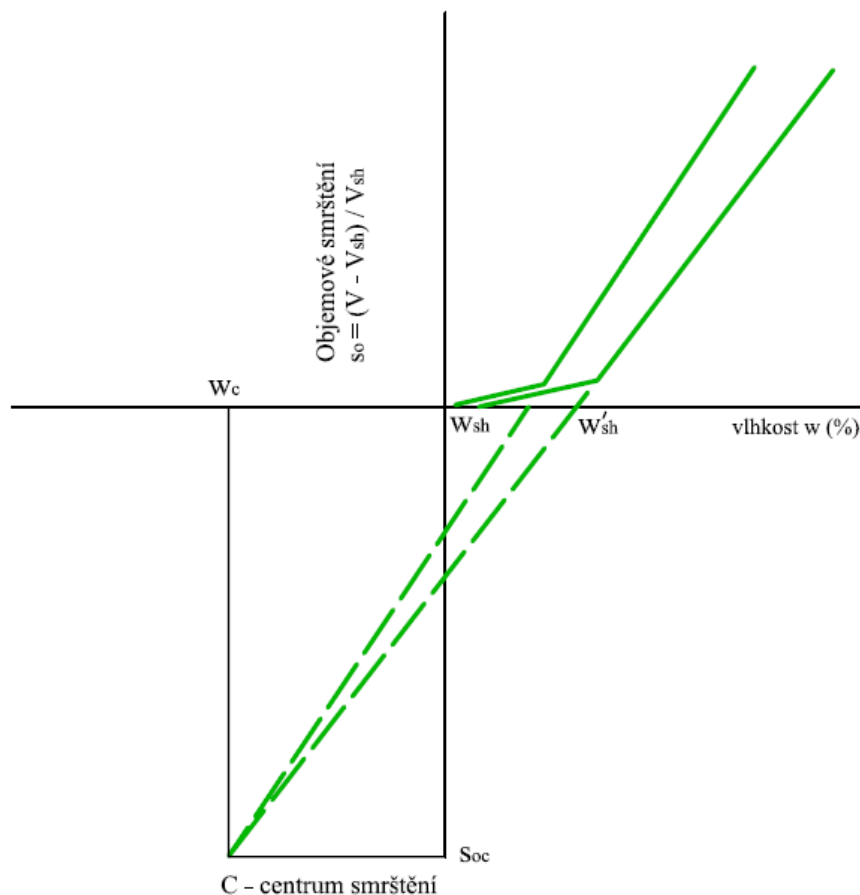
která je nezávislá na hodnotách w_{sh} a závisí pouze na objemové tíze pevných částic zeminy. V tomto bodě se protínají všechny přímky, které vyjadřují průběh smršťování jednoho druhu saturované zeminy za různých počátečních stavů.

Souřadnici s_{oc} téhož bodu C (obr. 8) zjistíme dosazením do vztahu pro s_o a dostaneme

(14)

$$s_{oc} = -1$$

Což je opět hodnota nezávislá na w_{sh} .



Obr. 9 Objemové smršťování zeminy při rozdílných výchozích stavech závislých na způsobu přípravy (Haefeli, Amberg, 1948)

Předchozí úvahou bylo odvozeno, že dva (nebo více) různě připravených vzorků stejné zeminy, které budou mít různou hodnotu (w_{sh}) se smršťují v oblasti plné saturace podle přímek, které se protínají v bodě C, který je nazýván centrem smrštění a je charakterizován souřadnicemi w_c a s_{oc} závislými pouze na objemové tíze pevných částic zeminy a vody. Z hodnoty γ_{sh} můžeme stanovit i součinitel objemového smrštění S_o , který vyjadřuje průběh smršťování, neboť známe 2 body této přímky (C a w_{sh}).

Lze odvodit, že

(15)

$$S_o = \frac{\Delta s_o}{\Delta w}; \quad S_o = \frac{\gamma_{sh}}{\gamma_w}$$

což je hodnota závislá pouze na objemové tíze zeminy po smrštění γ_{sh} .

Závěrem lze konstatovat, že smršťování plně saturovaných zemin je možné charakterizovat hodnotami γ_s, γ_w , které jsou pro danou zeminu konstantní a hodnotou objemové tíhy po smrštění γ_{sh} , která závisí na okrajových podmínkách. Všechny čáry smršťování se protínají v jednom bodě, centru smršťování. Z toho je zřejmé, že uměle připravené vzorky nemohou vystihovat smršťování reálných zemin.

2.4.4.3 Smršťování částečně saturovaných zemin

V předchozí kapitole jsme předpokládali plně saturovanou zeminu ($S_r = 1$). V případě částečně saturovaných zemin však neutrální napětí (a tím i podtlak v zemině a smršťování bude ovlivněno i tlakem vzduchu v pórech (u_a)). Neutrální napětí potom bude

(16)

$$u = u_a - \kappa(u_a - u_w)$$

κ ... Bishopův součinitel pórového tlaku.

Tento součinitel je závislý především na stupni nasycení, dále na typu zeminy, její historii a řadě dalších činitelů. Výraznou změnou stupně nasycení dochází ke změně součinitele κ a tím i ke změně rozdílu mezi neutrálním napětím a napětím ve vodě. Tyto změny se projevují tudíž i na průběhu smršťování – v případě přechodu plně saturovaných zemin do oblasti částečné saturace se na čáře smršťování objevuje lom (obr. 10). Narůstající rozdíl mezi napětím neutrálním a napětím pórové vody se projeví na odklonu čáry smršťování od teoretické čáry pro $S_r = 1$. Smršťování zemin při saturaci $S_r = 0,9 - 1$ je téměř shodné s teoretickým průběhem pro $S_r = 1$.

Smršťování zemin při $S_r = 0,8 - 0,9$ je výrazně menší, pro $S_r < 0,8$ pak z praktického hlediska zanedbatelné (za normálních podmínek).

2.4.4.4 Laboratorní zkoumání smršťování

Smršťování zemin se laboratorně zjišťuje na neporušených vzorcích podle ČSN 72 1019 (část B). V části A této normy se doporučuje měřit smršťování i na uměle připravených vzorcích o rozměrech $2 \times 2 \times 12$ cm. V obou případech se jedná o měření smršťování delšího rozměru vzorku, tedy o měření lineárního smršťování. Výsledkem měření je součinitel lineárního smrštění S , vypočtený ze vztahu

(17)

$$S = \frac{\Delta s}{\Delta w}$$

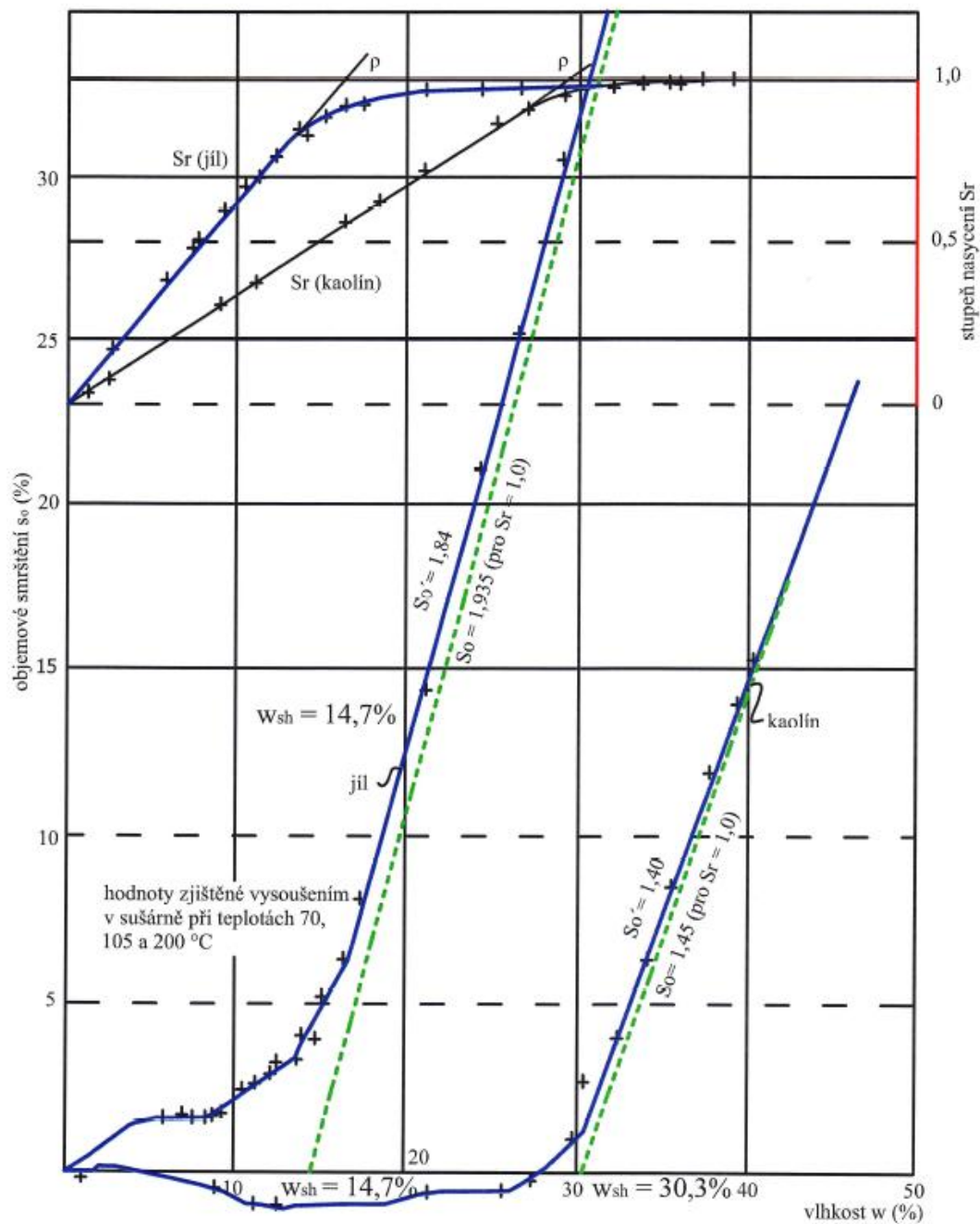
Δs ... rozdíl poměrných lineárních smrštění

Δw ... rozdíl příslušných vlhkostí vzorku zeminy

Dalším výsledkem je mez smrštění w_s (obr. 7)

V předchozích kapitolách jsme se zabývali objemovým smršťováním. Je nutné upozornit na to, že objemové smršťování a jeho měření lépe vyhovuje praxi – zeminy se smršťují objemově i při jednoosém smršťování, které je do vzniku trhlin nejnebezpečnější. Vzhledem k zaběhnuté praxi tj. k měření lineárního smršťování však budou uvedeny zkušenosti, které umožní i měření lineárního smršťování využít. Především není možné jednoznačně použít vztahu, že $S_o = 3 \times S$, neboť vlivem anizotropie mohou být součinitele lineárního smršťování v jednotlivých směrech odlišné. Je nutné proto dodržet orientaci vzorku a měřit lineární smršťování ve vodorovném i svislém (S_v a S_s) směru. Protože vliv struktury je značný, stejně jako stupeň nasycení, je nutné zkoušet orientované neporušené vzorky. Rychlost smršťování při zkoušce musí být regulována tak, aby nedošlo k poruchám vzorku vlivem neúměrně rychlého přetváření. Osvědčila se rychlost $\Delta w = 3 - 6\%$. Vzorek musí vysychat ze všech stran, je proto nutné aby byl uložen na ložisku.

Tímto způsobem je možné měřit i vliv anizotropie na průběh smršťování. Rozdíl mezi S_v a S_s je výrazem vlivu okrajových hodnot na smršťování.



Obr. 10 Příklad průběhu smršťování v případě přechodu plně saturovaných zemin do oblasti částečné saturace

Součinitel objemového smršťování je možné odvodit podle vztahu $S_o = 2S_v + S_s$. V tab. 1 jsou uvedeny výsledky měření na vzorcích jílu a kaolínu (konsolidovaných v oedometru tlaky 400 – 800 kPa) a spraše (konsolidované v triaxiálu tlakem 400 kPa).

Tab. 1 Porovnání lineárního a objemového smršťování

Zemina	Tvar vzorku	S_s	S_v	S_o výpočtem	S_o měřením
Jíl	trámeček	0,52	0,31	1,3	1,84
	váleček	0,72	0,5	1,72	
Kaolín	trámeček	0,32	0,59	1,22	1,4
	váleček	0,32	0,69	1,33	
Spraš	váleček	0,64	0,6	1,88	1,8

Z této tabulky je zřejmé, že při dodržení všech zásad je možné i měřením lineárního smršťování na správně orientovaných vzorcích s dostatečnou přesností změřit součinitel objemového smršťování.

Pro praktické účely potřebujeme znát hodnoty meze smrštění w_s a součinitele objemového smršťování S_o . Můžeme použít i hodnot vypočtených podle vztahů (10) a (15), tj. teoretických hodnot w_{sh} a S_o (pro $S_r = 1$). Teoretická hodnota S_o se v případě plně saturovaných vzorků příliš neliší od hodnot experimentálních, tedy reálných (obr. 10), rozdíl mezi hodnotou w_s , w_{sh} je podle zkušeností J. Zavorala 1-3%. Z praktického hlediska jsou tyto rozdíly zanedbatelné.

2.4.4.5 Aplikace laboratorních výsledků

Hodnoty S_o a w_s (příp. w_{sh}) jsou hodnoty, které vstupují do úvah o velikosti objemových změn při řešení praktických úkolů. Nejpodstatnější je však hodnota možných změn vlhkosti. Bohužel, tato hodnota musí být většinou pouze odhadována. Současné znalosti neumožňují její přesné stanovení. Pro velice hrubou orientaci je možné uvést, že rozdíly vlhkostí v hloubce přes 1m mohou být cca 5 %.

Vlivem sání stromů se tyto hodnoty výrazně zvětšují, značné změny vlhkosti mohou být o 10 - 20 %. Celá problematika předpovědí změn vlhkosti vlivem vysychání je dále komplikována časovým faktorem, tj. dobou po kterou vysychání působí. Časovým průběhem smršťování se zabýval např. **Terzaghi (1962)** a porovnává tento proces s konsolidačním procesem.

Z praktického hlediska tedy bude nutné stanovit takové hloubky založení, ve kterých bude vliv smršťování podmíněný evaporací zanedbatelný.

Za tuto hloubku je považována hodnota 160 cm (dle ČSN 73 1001). Podle zkušeností z let 1971, 1972 a 1973 kdy roční úhrny srážek byly o 30 – 40% nižší než 50 – ti letý průměr (1901 – 1951) se ukázalo, že tato hloubka je nedostatečná. Proto **J. Sejček (1986)** doporučuje volit hloubku **180 cm** (při $w_L < 0,7$) a **200 cm** (při $w_L > 70\%$). Přesto je však nutné upozornit na to, že na zvláště exponovaných místech může být i tato hloubka nedostatečná.

Vliv vegetace je třeba řešit individuálně, neboť její dosah (vlivem transpirace) je výrazně vyšší.

2.5 Vliv vegetace na smršťování jílů

Další problematikou, kterou jsem zmínila již v úvodu práce je vliv vzrostlé vegetace na objekty. Vzrostlá zeleň ve městech a tedy v bytové / rodinné zástavbě plní celou řadu funkcí, které jsou významné pro lidský organismus a tedy pro společnost jako takovou. Na jedné straně je možné zmínit funkci kulturní čili například estetickou, na straně druhé funkci biologickou. Jestliže se sami zamyslíme nad oním úkolem zeleně v zástavbě, přirozeně pocítíme rozdíl mezi domy zasazenými do zeleně, oproti prostředí bez stromů, keřů, prostředí, jenž na člověka bude působit smutně, bez života a barev. Z laického pohledu si člověk neuvedomí velmi důležitý aspekt klimatický, jehož funkcí, kromě jiného, je významné omezení přehřívání objektů, snížení prašnosti a hluku, zvlhčování vzduchu. Okrajově zmíním hygienickou funkci rostlin, kdy na členitém povrchu rostlin se zachycují velké množství prachových částic, a tedy vzrostlá zeleň působí jako přirozený filtr. Stromy, jak je známo, produkují celou řadu ekologicky aktivních látek. Tyto látky působí například baktericidně na celou řadu patogenních mikroorganismů a vykazují často odpudivé účinky vůči různým druhům hmyzu. Těmito a dalšími mechanismy přispívá zeleň ke zlepšení úrovně životního prostředí člověka.

Příznivé vlastnosti vzrostlé zeleně na člověka se ovšem mohou uplatňovat jen tehdy, jestliže zeleň v bytové výstavbě je v dobrém funkčním stavu. Systém **zeleň x objekt (výstavba)** může jako celek fungovat jen tehdy, je-li dbáno na oboustrannost vzájemných vztahů.

Projekt každé výstavby, se zelení nově vysazovanou nebo již dříve existující, by měl obsahovat samostatnou část zabývající se zajištěním existenčních podmínek dřevin a to s ohledem na stabilitu systému strom – budova, je-li předpoklad, že se zeleň bude vyskytovat v blízkosti stavby. Zásadní je zejména zajištění nezbytného životního prostoru, dostatku živin a srážkové vody. To vše musí být řešeno s ohledem na růstovou dynamiku dřevin, respektive na jejich velikost v dospělém stavu. Plocha kde dochází k transpiraci nebo evaporaci musí být vždy volná nad i pod zemí a její povrch udržován propustný pro dešťové srážky i vzduch.

V případě, že výpočty dojde k potvrzení skutečnosti, že by došlo ke strádání výsadby nedostatkem vody, je **nutné navrhnout několik opatření :**

- **Zřízení zásekové jámy či výkopu**, jenž bude vyplněn silnou vrstvou propustné zeminy. Do těchto jam by měla být svedena dešťová voda ze střech okolních budov.
- Dále je možné provést tzv. **oddělovací vrstvy z nepropustných materiálů** – tyto slouží k zabránění horizontálnímu transportu vody, k omezení odtékání vody mimo kořeny vzrostlé zeleně.
- **Zajištění přísunu vody zaléváním** a tedy využitím například v bytové výstavbě služeb některých firem. Bohužel v této chvíli je zeleň odkázána v době sucha na lidský faktor, který ne vždy je stoprocentní. Uvedená činnost musí být velmi opatrná, neboť zalévání základová půda přitáhne další kořeny stromů a stav objektů se zhorší.

Opačný problém může být skutečnost, kdy vzrostlá zeleň slouží k udržení rovnovážného stavu a chrání okolí proti zamokření. Na vlhkých půdách může zeleň příznivě působit odčerpáváním přebytečné vody, a tedy v místech takto ovlivněným půdním vodním režimem existuje nebezpečí, že po vykácení dřevin dojde k opětovnému zamokření či rozbřednutí půd.

Samotnou kapitolou by mohlo být estetické hledisko. Často se i v současné době, setkávám se skutečností, kdy vzrostlá zeleň je nejen v nebezpečné blízkosti stavby, ale pohled na její vizuální stránku bohužel volá po náhradě novou výsadbou. Zanedbání probírek zeleně v bytové výstavbě vede často ke vzniku tvarově, funkčně i esteticky degenerovaných jedinců a přehoustlých skupin, které jsou dříve či později bez zásahu člověka odsouzeny k zániku.

2.5.1 Vliv vegetace na jíly pod základy budov a na vznik poruch na budovách

V této kapitole se zaměřím na problémy, které jsou spojené s vysoušením jílu kořeny stromů a tímto vyvolaným změnám – smršťování, o vzniklých poklesových kotlinách a jejich nepříznivém vlivu na budovy. Chci poukázat na často zanedbávanou skutečnost související s umístěním zeleně, tedy jejich uspořádání ve vztahu k objektům.

2.5.1.1 Vodní režim v půdě

Jak je již několikrát zmíněno v mé disertační práci, fyzikální a mechanické vlastnosti jílu, potažmo jílovitých zemin, jsou výrazně závislé na vlhkosti. Vlastnosti nejsou stálé a jejich proměnlivost lze orientačně posoudit z vodního režimu půdy, stanoveného na základě vodní bilance. Základní rovnice pro bilancování půdní vody v určitém časovém období (t_1 , t_2) a v určitém územním rozsahu má tvar

(18)

$$Z_1 + S + P_T + P_Z = E + T + O_T + O_Z + Z_2$$

Kde

Z_1, Z_2 - zásoba vody v půdě na začátku (t_1) a na konci (t_2) zkoumaného období

S - srážky za zkoumané období

P_T, P_Z - přírůstek vody v půdě povrchovým, respektive podpovrchovým přítokem z cizího území (z jiných zdrojů než ze srážek)

E - evaporace, tj. výpar půdním povrchem

T - transpirace, tj. spotřeba podzemní vody kořeny rostlin a její odpařování listím

O_T - povrchový odtok srážkové vody na cizí území

O_Z - odtok podzemní vody na cizí území

Vše je vztaženo na zkoumané období t_1 a t_2 .

Přírůstek či úbytek zásob vody v půdě za sledované období (t_1 , t_2) tedy

(19)

$$\Delta Z = Z_2 - Z_1 = S + P_T + P_Z - E - T - O_T - O_Z$$

Úbytek vody v půdě nastává tedy primárně evaporací, transpirací, povrchovým a podzemním odtokem vody. Sekundárně pak zmenšením srážek a snížením dotace z jiných povrchových a podzemních zdrojů.

2.5.1.2 *Spotřeba vody stromy*

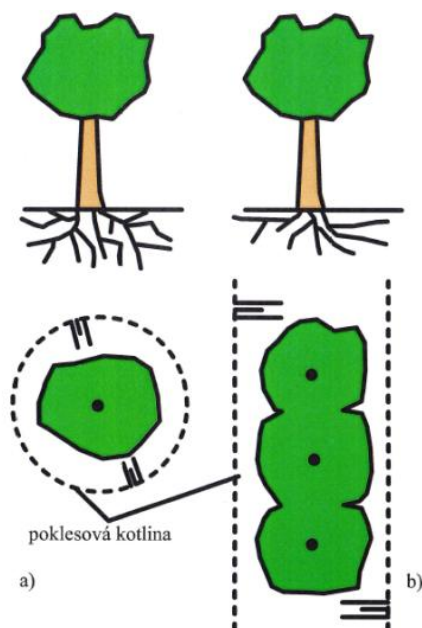
Jak je známo z praxe, vzrostlé stromy potřebují ke svému vegetačnímu růstu značné množství vody. Pomocí ní dochází také k regulaci teploty listů ve vegetačním období. Vegetační období trvá v našich podmínkách zhruba od druhé poloviny dubna do konce října, tedy přibližně 200 dní. V tomto období odebírají kořeny stromů z půdy podzemní vodu z plošné oblasti, hloubky a v množství odpovídající druhu stromů, místním podmínkám a dlouhodobým klimatickým poměrům. Vezmeme v úvahu, že kořeny stromů čerpají živiny z jílovité zeminy. Průměrná denní spotřeba vody stromem je odhadována na 150 l, tato hodnota je vztažena na 1 m³ zeminy a číslo představuje snížení vlhkosti o 10 %, což konkrétně odpovídá vlhkosti $w = 0,2$ a tato hodnota je již velmi blízká mezi smrštění $w_s = 0,17 - 0,19$). Jestliže maximální denní spotřeba vody stromu v průběhu vegetačního období činí zhruba dvojnásobek průměrné, tedy 300 l/den, pak odsáním tohoto množství vody lze za jeden den vysušit až na mez smrštění okolo 1,67 m³ zeminy. Na základě výše uvedeného je patrné, že v případě, kdy se stromy nacházejí v blízkosti budov, může dojít k významnému odebrání vody kořeny z podzákladí a tímto k ohrožení statické funkce samotné konstrukce stavby.

2.5.1.3 *Vliv evaporace, vliv transpirace*

Všeobecně se uvádí, že vliv evaporace v našich klimatických a geologických podmínkách dosahuje zhruba do hloubky **1,5 až 2,0 m**, hlouběji jen zcela výjimečně.

Transpirace stromů způsobuje podstatně intenzivnější vysychání zeminy, zejména v klimaticky suchých obdobích, v nichž stromy odsávají vodu z větších vzdáleností a hloubek. Hloubka, do které se může uplatňovat vliv transpirace, tedy odsání vody kořeny, se pohybuje v hodnotách **i okolo 10 m**. Jestliže budeme chtít poměřit vliv transpirace a evaporace na vznik poklesové kotliny, lze z odborné literatury vyčíst, že poklesy terénu od smršťování jílů vlivem transpirace jsou odhadem třínásobně větší než poklesy vyvolané vlivem evaporace.

Lepší představu o dosahu kořenů a tedy vlivu transpirace, nám poskytne obr. 11, kde je vyznačena poklesová kotlina.



Obr. 11 Poklesové kotliny vzniklé
smršťováním
jílů vlivem transpirace stromů
a – vliv jednoho stromu
b – vliv liniově uspořádané skupiny
stromů

2.5.1.4 Faktory zvětšující účinky transpirace

Všechny poruchy, které se na budovách vyskytují vlivem transpirace stromů, jejich rozsah a velikost jsou závislé především na druhu stromů, jejich vzrůstu, fyziologickém stavu, jejich koncentraci a uspořádání v blízkosti budov a na řadě dalších viz. níže uvedených faktorů :

1. Geologické poměry

Geologické poměry mohou důsledky odsávání vody kořeny stromů zhoršovat nebo zmírňovat. Je-li povrch jílů v podzákladí různě skloněný popřípadě zvlněný, může docházet k odtékání podzemní vody a tím i přirozenému úbytku zásob vody v zemině, z čehož je patrné zhoršení životních podmínek stromů. Stromy jsou nuceny odsávat vodu kořeny z větších vzdáleností a hloubek. Následkem této skutečnosti může dojít k odsátí ze zeminy z pod budovy, což má za následek vznik poruch na budovách.

2. Umělé zásahy do stavu hladiny podzemní vody

V tomto případě jde například o snížení hladiny podzemní vody v důsledku podpovrchové těžby, výstavby podzemních děl např. kanalizačního sběrače. Samozřejmě v tomto případě si příroda umí pomoci a to například vzlínáním vody z nižších vrstev půdy, ale přísun takovéto vlhkosti nemusí být dostatečný a může vést k poškození jak budovy tak zeleně.

3. Evaporace

Tato nedosahuje zpravidla účinků transpirace, ale v kombinaci obou faktorů, transpirace a evaporace, může dojít k velmi významnému zhoršení podmínek. Vliv evaporace je největší na sluncem ozářených částech, to znamená na jižních, jihovýchodních, jihozápadních stranách budovy.

4. Charakter povrchu terénu u objektů a stromů

Jedná se o případ, kdy část okolního terénu je upravena nepropustným krytem. V tomto případě mám na mysli asfalt, beton, zpevněné plochy například chodníky. Srážková voda tedy nemůže přirozeně vsakovat a je odváděna spádem do kanalizace, popřípadě se voda odpařuje. Půda, stromy a zeleň nemají v tomto případě dostatek vláhy (v některých případech, se nepropustné kryty kolem objektů budují pro zamezení evaporace (příkladem je kostel ve Švábenicích).

5. Klimatické období

Ze zkušenosti z posledních let víme, že klimatické období bývá velmi proměnlivé a to od velmi suchých až po období s nadlimitním množstvím srážek, které může mít v krajním případě za následek povodně.

Půda je vystavena velmi suchým obdobím, je často porušená na exponovaných místech trhlinami, následné přívalové deště, a tedy tolik potřebné srážky, nejsou schopny za krátkou dobu se vsáknout a dochází k odtokům vody do kanalizace.

6. Vliv činnosti člověka

Tento případ by se v dnešní stavební praxi neměl již u nově budovaných stavebních děl vyskytovat, neboť věřím ve znalost daného problému stavebními techniky, ale přesto jej zmíním a to z důvodů, že k poruchám dochází zejména u budov postavených před několika lety. Jedná se o problém, kdy dochází například k vysoušení zeminy v místě tepelného vedení – teplovody. Samotná konstrukce není oddělena konstrukčně od zemního prostředí a v čase provozu vedení dochází k vysoušení prostředí (např. Brno – Lesná, Jurkovičova 2).

7. Vliv konstrukčního uspořádání objektů

Rozhodujícím činitelem je v tomto případě tuhost samotné konstrukce budovy jako celku, tedy schopnost s dostatečnou bezpečností vzdorovat namáhání od konzolovitě vynášení části domu nad pokleslou základovou spárou. Objekty bez řádně vyztužených ztužujících obvodových věnců se porušují trhlinami podstatně dříve a více než budovy, které tímto věncem jsou ztuženy. U každého typu konstrukce vznikají trhliny v těch průřezích, v nichž je nejdříve dosaženo mezního stavu únosnosti. Například u zděných budov vznikají jako první trhliny šikmé, naproti tomu u panelových staveb mohou trhliny vzniknout ve svislých spárách spojů jednotlivých panelů.

Každá konstrukce si tedy při svém přetížení pomůže tím, že se poruší ve svých staticky nejslabších průřezích a tím dojde k znovuoobnovení rovnovážného stavu. Samozřejmě jen do té doby pokud porucha (např. poklesová kotlina) se nezvětšuje a tím nenutí konstrukci k reakci na znovu nově vzniklou statickou situaci.

2.5.1.5 Časový průběh porušování budov, příznaky vedoucí ke vzniku trhlin

Časový průběh vzniku trhlin a narůstání poruch, tj. poklesů a trhlin nebývá jednotný. Obvykle, ale ne výhradně, dochází po vzniku prvních malých trhlin k jejich pozvolnému dlouhodobému narůstání. Poklesy, rozevírání trhlin a vodorovné posuny, probíhají ve vegetačním období a mimo toto období zůstávají trhliny ustálené, aby s následujícím vegetačním obdobím a snížené dotací vody (srážek), znovu mohly narůstat. Z výše uvedeného je patrné, že ve většině případů, se nejedná o rychlé deformace, ale samotný proces lze označit jako poměrně dlouhodobý, samotné poruchy tak narůstají po řadu let. Samozřejmě jsou výjimky, kdy proces narůstání deformace, trhlin má rychlý průběh. Jedná se zejména o případ budov, které nejsou staticky tuhé a svou konstrukcí tedy umožňují rychlou reakci objektu na nový stav. Lze říci, že budova s malou tuhostí se snadno přetvořuje a porušuje již při malých poklesech základové spáry.

Jestliže vezmeme v úvahu následky poklesu staveb, sanace trhlin, celkové opravy objektů, nabízí se přirozená otázka, zda je možné těmto poruchám zabránit a tedy vyvarovat se následným sanačním pracím, které nejenže jsou spojené s poměrně vysokými náklady, ale rovněž v krajním případě i s vystěhováním obyvatel na dobu nezbytně nutnou a potřebnou k opravě poškozené budovy nebo její asanaci (léta 1971 – 1973 byly tři roky po sobě suché, množství srážek, které zastihlo oblast bylo o 30 – 40 % menší než 50-ti letý průměr). V praxi by nás mělo zajímat, zda existují zjevné příznaky, které signalizují možnost vzniku poruch na budovách založených na jílech a obklopených vzrostlou zelení. Na základě praktických zkušeností z Brněnské oblasti, například z městské čtvrti Brno Lesná, lze některé znaky rozpoznat a tímto se snažit následným poruchám předejít vhodným opatřením. **Níže uvádím několik znaků, které při včasné rozpoznání, pomohou ušetřit nejen náklady ale často i vypjaté situace spojené například se stěhováním obyvatel takto porušených objektů :**

1. Klimatické znaky

Je pochopitelné, že dlouhodobé suché období s velkým nedostatkem srážek způsobuje zmenšování půdní vlhkosti a tím u jílů jejich smršťování. V určitém rozmezí však nemusí být rozhodující deficit srážek. Je-li například letní období poměrně chladné, dá se očekávat, že spotřeba vody vegetací bude menší. Lze z tohoto usuzovat, že tedy vliv transpirace a evaporace bude menší. V literatuře je možné se setkat s pojmem Langův index srážek, který vyjadřuje poměr úhrnných ročních srážek k průměrné teplotě.

2. Znamky objevující se na zeleni

Jestliže je vegetační období postihnuto nedostatkem srážek, dochází k vysoušení zeminy a tímto stromy trpí nedostatkem vody a dostávají se do tzv. vodního stresu. Tato situace vede k poškození stromů, usychání větví a vršků stromů, vysychání menších stromů ve skupinách, napadení oslabených stromů parazity (ochmetem).

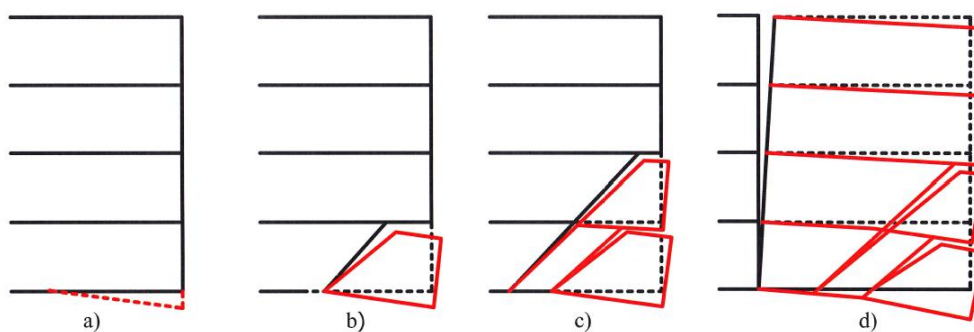
3. Znamky na terénu

Vysychání jílovitých půd vykazuje rovněž známky porušení na terénu, dochází např. k poklesu povrchu, rozpraskání a roztrhání zeminy z povrchu až do větších hloubek. Zemina je v závěru natolik tvrdá, že zabrání případnému vsakování vody do nižších poloh půdy.

2.5.1.6 Mechanismus porušování budov

Nachází-li se stavební objekt přímo v oblasti vznikající poklesové kotliny, dochází k poklesu a případně k rozevření základové spáry s následným porušením budovy (obr. 12).

Obr. 12 Mechanismus porušování objektu v důsledku smrštění podzákladové zeminy:



- a .. původní stav objektu, rozevřená základová spára
- b .. poruchy v nejnižším podlaží, pokles a pootočení nejnižší části
- c .. šíření poruch do vyšších podlaží
- d .. vznik průběžné svislé trhliny objektem

Poklesová kotlina v celém plošném rozsahu a celé hloubce nevzniká náraz, ale postupně, jak odpovídá stále se rozšiřující oblasti, z níž strom odsává ze zeminy vodu. Jakmile poklesová kotlina přesáhne obrys půdorysu domu, jeho část včetně základů se vynáší nad poklesovou kotlinou a rozevřenou základovou spáru jako konzola. V důsledku konzolovitěho vynášení okrajové části objektu vzniká v konstrukci kombinace ohybu s tahem, jemuž samotná konstrukce vzdoruje svou pevností.

Jakmile dojde k takovému posunu okraje poklesové kotliny pod budovou, že konstrukce objektu svou pevností není schopna přenášet namáhání od konzolovitěho vyložení, poruší se roztržením v rovině největšího takového namáhání a v nejslabším místě konstrukce. Následně dojde k poklesu utržené části budovy a jejímu dosednutí na pokleslou základovou spáru a současně k pootočení utržené části okolo osy otáčení v základové spáře.

Jestliže se rozsah poklesové kotliny dále zvětšuje, dochází ke stavu, že se konstrukce v staticky nejslabším místě roztrhne průběžnou svislou trhlinou ve stěnách i střepech, která způsobí naklonění celé utržené části objektu. Může vzniknout i více průběžných svislých trhlin, zpravidla se však prosazuje jedna jako hlavní. Při dalším poklesu základové spáry dochází k zvětšování naklonění celé, svislou trhlinou utržené části budovy. Při tomto i nadále dochází k zvětšování poklesů a rozevírání svislé trhliny. Vodorovné posuny se již významně nezvětšují.

Tento proces není krátkodobý, a tedy poklesy základové spáry a rozevírání trhlin narůstají po řadu let. Dá se říci, že v průběhu roku je narůstání nerovnoměrné, neboť k transpiraci dochází ve vegetačním období tj. zhruba od konce dubna do října. V tomto vegetačním období dochází tedy ke vzniku poruch, v období od října do dubna dochází zpravidla k mírnému uzavírání trhlin, na což ale nelze v praxi spoléhat a sečkávat se sanačními pracemi (trhliny obsahují úlomky zdiva a tím brání uzavírání trhlin).

Díky společné práci **Cutlera a Richardsona** jsou známé výsledky dosahu škod na budovách založených na jílech od transpirace různých druhů stromů. Tyto výsledky jsou podány v tab. 2.

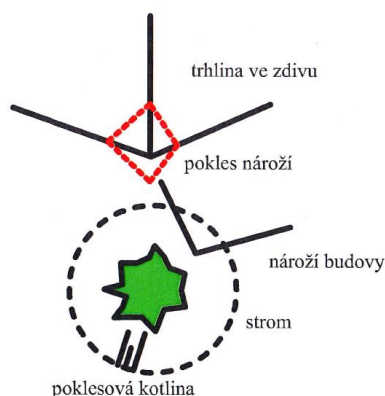
Tab. 2 Výsledky dosahu škod na budovách založených na jílech od transpirace různých druhů stromů

Druh stromu	Max. výška stromu	Dosah poruch v m při % případů		
		100% (max)	90%	75%
dub	16 - 23	30	18	13
topol	25	30	20	15
lípa	16 - 24	20	11	8
jasan	23	21	13	10
platan	25 - 30	25	19	12
vrba	15	40	18	11
jilm	20 - 25	25	19	12
hloh	10	11,5	9	7
javor	17 - 24	20	12	9
třešeň, švestka	8	11	7,5	6
buk	20	15	11	9
bříza	12.14	10	8	7
jeřáb	8.12	11	11	9,5

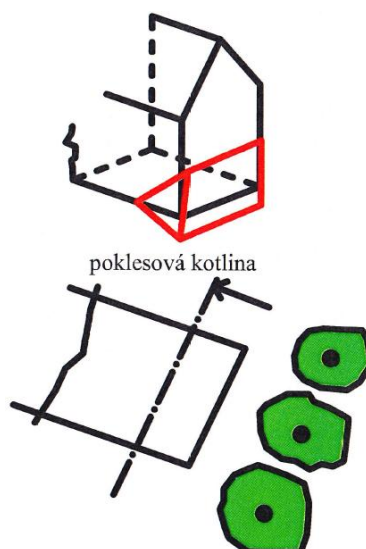
2.5.1.7 Základní typy poruch vzniklých přítomností stromů v blízkosti objektů

Charakter poruch, které vznikají na budovách, je odvislý od statické konstrukce staveb, dále množství a uspořádání stromů. Ráda bych ve viz. níže textu uvedla několik **základních typů uspořádání stromů, budov a poruch na nich vzniklých** :

1. Osamělý strom nebo skupina stromů u nároží budovy způsobí jeho utržení v šikmých trhlinách v obou stýkajících se stěnách



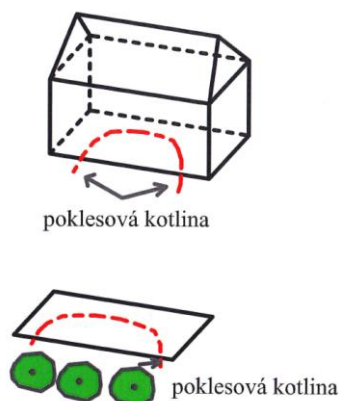
2. Skupina stromů podél celé jedné stěny budovy způsobuje utržení a následně poklesy této stěny a přilehlé vnitřní části domu. Velké poruchy, odpovídající popsanému mechanismu porušení vznikají zejména tehdy, jsou-li stromy u štitové stěny.



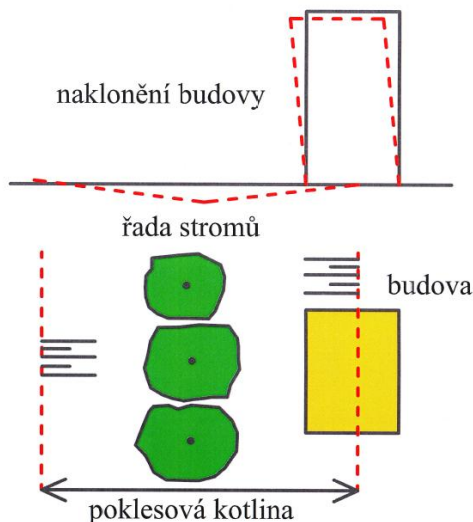
3. Skupina stromů se nachází v blízkosti obou štítových stěn domu. Toto uspořádání způsobuje zpravidla velmi těžké poruchy, objevují se šikmé trhliny, které v podélných stěnách bývají obvykle rozevřením značně porušeny svislými trhlinami.



4. Skupina stromů je vysazena podél části jedné budovy. Toto uspořádání způsobuje pokles této části budovy, šikmé trhliny v příčných stěnách a charakteristické vysunutí spodního utrženého zdiva ven z budovy.



5. Dalším příkladem je případ kdy je budova umístěna rovnoběžně s linií uspořádanou skupinou stromů blízko okraje vzniklé žlabovité poklesové kotliny a má-li budova v příčném směru dostatečnou tuhost, může dojít jen k naklonění budovy jako celku, bez vzniku trhlin ve zdivu.



Výše uvedené případy jsou příklady poruch, které mohou vzniknout na objektech, kdy zeleň je neuváženě rozmístěna, dále není každoročně udržována, odborně odstraňována a nahrazována vegetací s menší spotřebou vody (např. borovou klečí).

2.5.1.8 Bobtnání

Do současné chvíle jsem se zabývala problémy souvisejícími se smršťováním jílu, dále následky, které tato skutečnosti způsobuje na budovách.

Opačným problémem je bobtnání jílu při zvětšování jejich vlhkosti. Bobtnání není jako smršťování přímo způsobováno stromy, ale může k němu dojít například v souvislosti s vykácením stromů z míst, kde stromy snižují nepotřebnou vlhkost v zemině.

Vliv bobtnání na vznik poruch na budovách je však podstatně menší než vliv smršťování. Bobtnání je většinou způsobováno rovnoměrně v ploše, výjimkou mohou být geologické anomálie. K deformacím budov může dojít jen při plošně ohraničeném bobtnání pod částí objektu. Z technického hlediska, ale zatížené jíl bobtnají teprve tehdy, až bobtnací tlak překoná napětí od zatížení budovou, výstavbou. Vzhledem k tomu, že v základové spáře budov je proti bobtnání obvykle dostatečná tlaková rezerva, jsou poruchy konstrukcí budov od bobtnání podstatně méně časté než od smršťování. Jinak je tomu však u dílčích konstrukčních prvků, pod nimiž není dostatečná tlaková rezerva. Bobtnání v tomto případě může způsobit například vyboulení dlažeb, deformace na zídkách.

Bobtnání není obecně jev inverzní ke smršťování, nelze tedy očekávat, že u budov porušených smršťováním podzákladových jílu, lze například zavlažováním docílit zpětných deformací a tedy pokleslé části budov zvednout a již vzniklé trhliny uzavřít.

Nepopírám ale fakt, že zavlažováním lze postup poruch zmírnit nebo dokonce zastavit.

Z výše uvedeného je tedy nutné docílit v zemině vždy rovnovážný stav, a tímto zajistit bezproblémové působení celku **zemina x vegetace**.

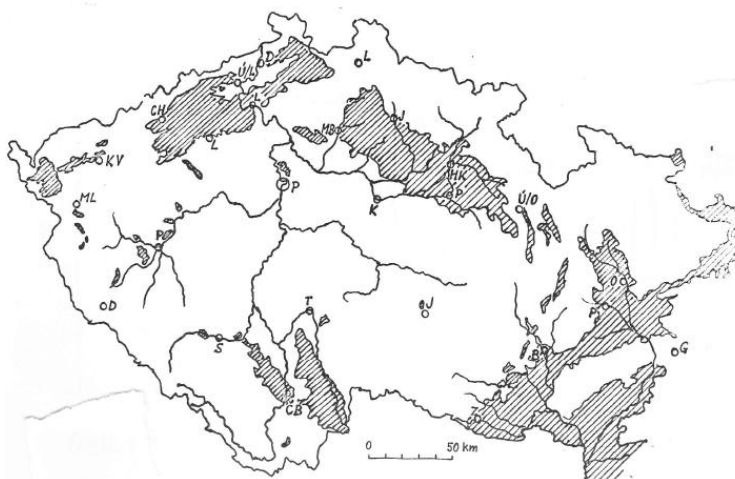
2.5.1.9 Inženýrsko-geologický průzkum pro stavby založené na vysoceplastických jílech

Odpověď na otázku zda budově hrozí nebezpečí poruch vzniklých ze smršťování základové půdy, musí dát inženýrsko-geologický průzkum. Z dříve uvedeného textu již víme, že v Českých podmínkách, může dojít ke smrštění základové půdy popřípadě k jejímu bobtnání, jen v případě, že se v podzákladí nachází jíl s vysokou plasticitou.

1. Území ohrožená smršťováním půdy

Základové půdy jsou tvořeny vysoceplastickým jílem v druhohorních a třetihorních sedimentech. Pomoci v dobré orientaci nám může obr. 13, kde jsou šrafovaním vyznačeny tyto rizikové oblasti. Jílovitou půdu v těchto lokalitách tvoří buď přímo mezozoické či terciární sedimenty, nebo kvartérní uloženiny, vzniklé jejich přemístěním. Z mezozoika je do vyznačených ploch zahrnut svrchní turon a senon, z terciárních neogén a z kvartéru ta území, kde se v podloží nebo v sousedství nachází turon, senon popřípadě neogén. Chtěla bych zdůraznit, že nevyšrafované plochy nezaručují, že se v nich lokálně nemohou rovněž vyskytnout jílové základové půdy, ale pravděpodobnost jejich výskytu je v těchto případech malá.

Za známé lokality, které mohou být postihnuty smršťováním základové půdy lze označit například Chomutov, Louny, Ústí nad Labem, Ústí nad Orlicí, Brno, Hodonín atd.



Obr. 13 Rozmístění vysokoplastických jíků, zobrazeno šrafováním

2. Metody průzkumu pro projekty novostaveb

Velmi důležitou otázkou je informace, na co by se měl zaměřit inženýrsko-geologický průzkum pro plošně založené stavby v ohrožených oblastech. Kromě zcela běžných metod a zkoušek zemin, je nutno v oblastech ohrožených smršťováním provést následující šetření (tento průzkum může být dále rozšířen dle náročnosti stavby) :

a) Vypracovat pracovní hypotézu o geologické stavbě území a příčinách poruch stávajících objektů a to na základě bodů a1 a a2.

a1 Je nutné prozkoumat, zda se na budovách a objektech, postavených v okolí na stejné základové půdě nevyskytují trhliny či jiné podstatné deformace. Jestliže ano, je nutné provést jejich zdokumentování, to znamená popsat jejich rozsah, pokusit se zjistit přibližnou dobu jejich vzniku a porovnat s dostupnými meteorologickými údaji z té doby.

a2 Zdokumentovat v blízkosti staveniště výskyt dřevin, jejich druhy, velikost a odborně posoudit jejich vliv na budovy.

b) Vhodně navrženými jádrovými vrty s určením jejich hloubky a odběrem zvláštních vzorků zemin ověřit geologickou stavbu v prostoru porušených objektů. Současně je potřeba navrhnout několik kopaných šachtic k ověření hloubky založení objektů a stavu základové půdy s odběrem vzorků zemin.

Laboratorními zkouškami plastických vlastností je nutné zjistit, zda základovou půdu tvoří jemnozrnné zeminy s vysokou plasticitou a mezi tekutostí dle Atteberga w_L větší než 50 %. Tento druh zemin je v praxi často nazýván jako „mastné jíly“.

c) Zkouškami lineární smrštitelnosti na neporušených vzorcích tvaru trámečků určit vlhkost na mezi smrštění w_s a součinitel lineárního smrštění $S = \Delta s / \Delta w$, Δs smrštění, Δw – změna vlhkosti při trvajícím plném nasycení.

d) Zdokumentovat vlhkostní režim v základové půdě a porovnat vlhkost v blízkosti stromů a místech dále od stromů. Tato šetření je nutné provádět v suchém období, nebo alespoň v letních měsících bez období dešťů.

Dále je potřeba zjistit sezónní výkyvy vlhkosti základové půdy v závislosti na hloubce. Pod objekty je zpravidla vlhkost jílovitých zemin větší o 4 – 5 % než v sousedství. Tento údaj je platný zejména v letním období pokud se nejnižší etáž v zimě vytápí.

e) Navrhnout investorovi vhodné statické řešení založení budovy a možnost kontrolního sledování případných deformací přesnou nivelací.

f) Podle Casagrandeho určit mez smrštění :

$$w_s = \frac{15 \cdot w_L}{15 + I_p}$$

Podrobnost průzkumu se samozřejmě řídí významem a náročností samotné stavební konstrukce. Víme, že rozsah každého inženýrsko-geologického průzkumu je bohužel ovlivněn i finančními možnostmi investora. Často dochází k zanedbání průzkumu například u malých staveb rodinných domů, a přitom lze vyhodnotit, že právě v těchto případech velmi často dochází k porušení stavby vlivem smršťování.

3. Metody průzkumu již zrealizovaných staveb

V případech, kdy se poruchy od nadměrných objemových změn podzákladí projeví na zrealizovaných budovách, ověřují se jejich pravé příčiny, dosah a možnosti odstranění opět průzkumem. Průzkum se skládá ze 7 částí :

a) Na **počátku je potřeba prověřit všechny ostatní příčiny**, za kterých by mohlo dojít k poruše samotného objektu. Jestliže, viz. níže možné příčiny poruch jsou vyloučeny, můžeme uvažovat o porušení smrštěním základové půdy.

Kromě vlivu vegetace se může jednat o poruchy způsobené například :

- Nedostatečná pevnost konstrukce vrchní stavby, nedostatečné ztužení konstrukce
- Překročení přípustného namáhání základové půdy
- Sedání podzákladových násypů
- Významné kolísání hladiny podzemní vody
- Podmáčení prosedavých zemin
- Sesuvné pohyby
- Přetížení samotné stavby nebo podzákladí přístavbou, nadstavbou
- Sufóze (únik jemnozrnné frakce z podzákladové půdy)
- Agresivní voda (porušení betonů základů síranovými vodami)
- Otřesy

b) **Zjištění hloubky základové spáry**, způsob založení objektu a stav základové půdy. Může se u starých budov stát, že není dostupná projektová dokumentace, v tomto případě je nutné provést několik kopaných sond, které nám tímto poskytnou odpovědi na výše položené otázky.

c) Je nutné provést **odběr vzorků zeminy** z podzákladí, provést laboratorní zkoušky smržitelnosti a zjistit vlhkost zeminy po výšce vrtu či kopané šachtice.

d) **Zdokumentovat vzrostlé stromy** v okolí budovy, jejich vzrůst, rozmístění a posoudit jejich možný vliv na budovu, tj. určit spotřebu vody vegetací a tuto porovnat s množstvím atmosférických srážek v zájmovém území.

e) Specifickým úkolem může být **osazení nivelačních značek** a periodicky prováděnou přesnou nivelaci. Tento průzkum by měl trvat minimálně jeden rok a jeho úkolem je měření svislých posunů. Dále je potřeba na vybraných, kritických místech, na trhlínách dokumentovat otevírání a zavírání trhlin.

Tyto údaje se dále porovnávají s meteorologickými údaji o srážkách a o teplotách v daném období a sleduje se tedy vliv vysychání a opětovného zvlhčení základové půdy na deformaci stavby. Monitoring je třeba provádět určitou dobu i po dokončení sanací.

d) Provádění **periodického měření vlhkosti zeminy** v podzákladí a to odběrem vzorků zemin z vrtů hloubených maloprofilovým vrtákem.

e) Posledním krokem by mělo být odborné zhodnocení naměřených výsledků a zjištěných skutečností.

Následná sanace může spočívat v těchto opatřeních :

- a) Odstranění stromů a nahrazení jinou vegetací s menší spotřebou vody
- b) Prohloubení základů
- c) Zřízení nepropustné podzemní stěny mezi objektem a stromy

Je-li příčinou vysychání půdy přímým výparem, opatření může spočívat :

- a) Zřízení nepropustného krytu terénu kolem objektu např. betonové dlažby
- b) Prohloubení základů
- c) Nouzovým řešením může být polévání zeminy v suchém období. Tento krok je potřeba velmi zvážit a uvědomit si, že se nejedná o koncepční řešení, pouze řešení krátkodobé. Samotné polévání zvyšuje vlhkost zeminy a tato skutečnost může vést k „přitáhnutí“ kořenů stromů.

Závěrem k průzkumům lze říci, že v oblastech kde se nacházejí smrštitelné základové půdy, je třeba standartní inženýrskogeologický průzkum rozšířit o řadu zkoušek. Nejvíce poruch důsledkem smršťování jílovitých zemin bylo zatím zaznamenáno na mělce založených nepodsklepených rodinných domech. Vliv vegetace je třeba posuzovat individuálně. Například v letech 1 971 – 1 973 bylo nutné některé mělce založené rodinné domy asanovat, aby nešlo k jejich zřícení na obyvatele.

2.5.1.10 Rekonstrukce budov porušených smršťováním podzákladových jílů

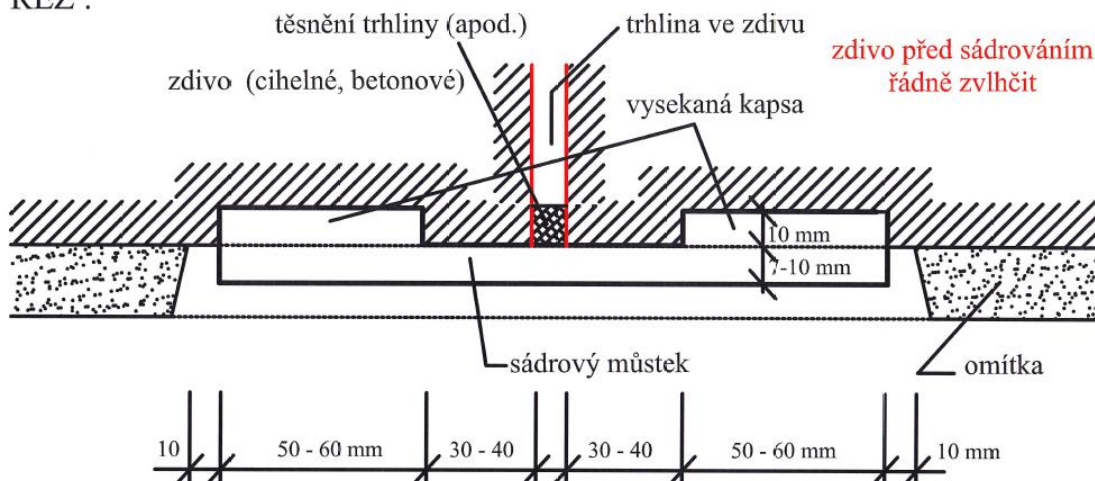
Opravy a rekonstrukce budov porušených nerovnoměrným smršťováním podzákladových jílů, vyvolaným odsáváním vody kořeny stromů, nejsou bohužel jednoduchou a hlavně levnou záležitostí. Opravu budovy můžeme označit za úspěšnou pouze tehdy, jestliže nejenže dojde k odstranění všech poruch a jejich důsledků, ale pokud současně bude objekt zajištěn před novým porušením v budoucnu. Rekonstrukce, oprava budovy je kompletní jestliže tedy došlo k i odstranění příčin, které poruchy způsobily. Aby bylo možné vypracovat správný technologický projekt a postup, je potřeba mít k dispozici co nejúplnější a nejpřesnější podklady :

- a) Je nutné **zajistit úplnou projektovou dokumentaci objektu**. Často se stává, že tyto materiály nejsou dostupné a to zejména u starších objektů kde tyto poruchy vznikají nejčastěji. Rekonstrukci je nutné zahájit primárním stavebním průzkumem, který vede k ujasnění statické funkce konstrukce včetně základů a základové půdy.
- b) Dalším krokem je **provedení sekundárního průzkumu**, který bývá zaměřen na zjištění všech vzniklých poruch, jejich předběžný rozbor a vytipování možných mechanismů porušení. Tento průzkum je velmi důležitý, neboť na základě jeho závěrů se stanoví požadavky na doplňující inženýrsko-geologický průzkum.

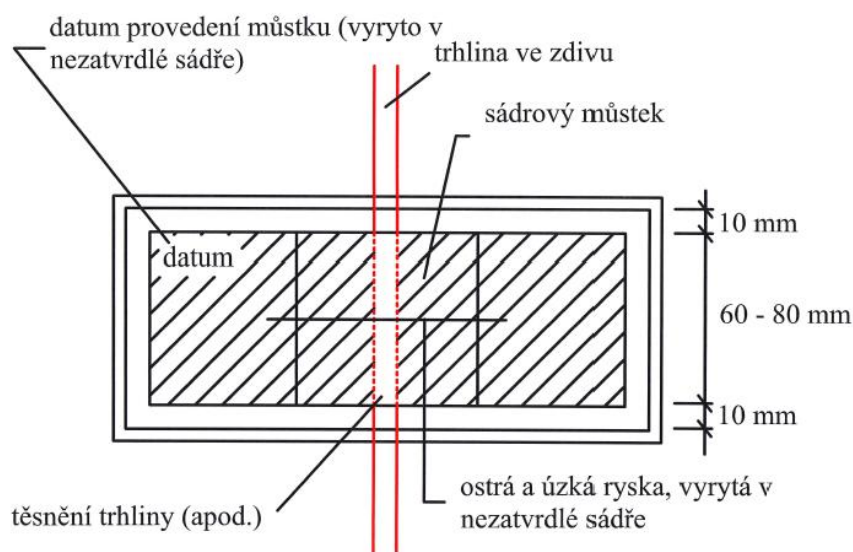
Jak již bylo zmíněno v dřívějších kapitolách týkajících se podrobně průzkumů, v této fázi je možné v jisté míře usuzovat na příčinu poruch, proto je potřeba ověřit poklesy objektu, řádně vyšetřit trhliny, jejich charakter, rozsah, mocnost, dále je nutné zaevidovat posuvy zdiva ve vodorovných spárách. Důležitým bodem průzkumu je nutnost posouzení stavu vnitřních instalačních rozvodů. Následně je potřeba věnovat pozornost rychlosti s jakou dochází k narůstání poruch.

V tomto případě je možné provést alespoň nejjednodušší metodu sledování vývoje trhlín ve zdivu, tj. osazení tzv. sádrových můstek na trhlínách (obr. č 13 A). Tento průzkum by měl být doplněn o prohlídku okolí dané budovy, je žádoucí provést evidenci stromů, jejich uspořádání, výšku, průměr kmene a popsat důkladně jejich celkový stav a spotřebu vody pro transpiraci.

ŘEZ :



POHLED :



Obr. 13 A Úprava sádrového můstku, měřítko 1:2 – Pohled a řez

c) Na sekundární průzkum navazuje **doplňující inženýrsko-geologický průzkum**, jehož hlavní zadání bylo již popsáno výše. Tento stupeň geologického průzkumu musí být koncipován tak, aby bylo možné na základě jeho výsledku stanovit nepochybné příčiny vzniku poruch. Je-li podezření, že poruchy na objektu způsobilo smršťování jílu, zapříčiněné transpirací stromů, je třeba provést kopané či vrtané sondy a tyto situovat tak, aby poskytly přehled o skutečných vlhkostních poměrech jílu v místě zeleně tak i v místě objektu.

d) Jestliže se potvrdí vznik poruch v důsledku smršťování jílu, je často žádoucí **seznámení s hydrometeorologickými údaji** a to za delší časové období. Nelze opomenout i data týkající se další stavební činnosti v okolí.

Dalším krokem vedoucím k úspěšným sanačním pracím je provedení vyhodnocení výše uvedených skutečností. Vyhodnocení všech výše uvedených podkladů musí vést k jednoznačnému závěru o příčině poruch. Jestliže se prokáže, že poruchy na budovách vznikly vysycháním a smršťováním podzákladových jílu, je nutné upřesnit rozsah jednotlivých vlivů, tedy vliv transpirace, evaporace, podzemního a povrchového odtoku, atd. Na základě celkového zhodnocení příčin poruch a konstrukčního stavu samotné budovy nebo souboru porušených budov, je možné přikročit k vypracování návrhu nezbytných opatření. Jednotlivá opatření mají za úkol odstranit vlivy, které poruchy způsobují, provést dále nezbytné opravy budov.

V dalším textu se budu věnovat podrobnějšímu popisu opatření, jejichž výsledkem by měl být rekonstruovaný objekt, bez poruch.

1) První soubor opatření

Tento soubor opatření má za úkol odstranění samotných příčin, na základě kterých došlo k deformaci konstrukce. **V tomto kroku dochází ke stabilizaci vlhkostních poměrů v podzákladí budovy.**

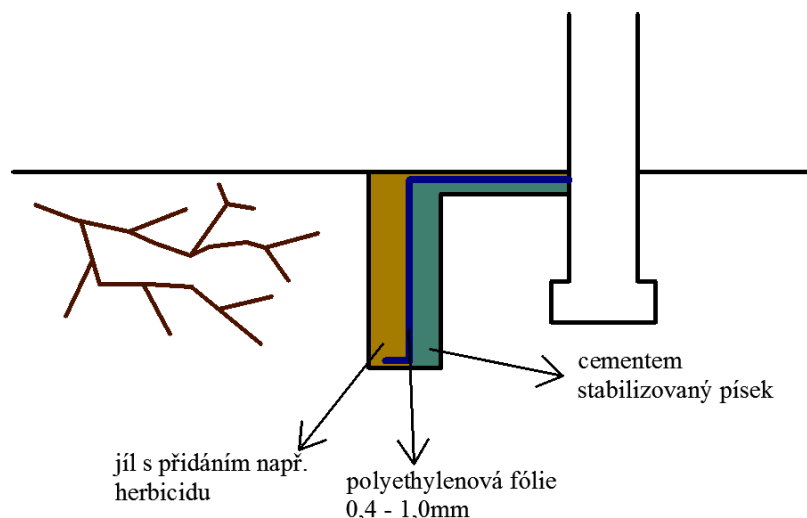
1. Je-li jednoznačně, na základě dříve provedeného průzkumu, prokázán vliv transpirace stromů spojené s vysycháním a smršťováním jílu v podzákladí budovy, je nejjednodušším způsobem opatření, provedení náhrady vzrostlých stromů jinou, a to vhodnější zelení. Bohužel jedná se o poměrně drastické opatření, ale v mnoha případech nezbytné. Je však potřeba pohlížet na tento druh opatření jako náhradu, nikoliv jako na trvalý stav, kdy životní prostředí zůstane bez trvalého ozelenění. V praxi se často setkáváme s odporem proti tomuto kroku do stávající vegetace a to kupodivu i tehdy, kdy jsou samotné stromy pod dlouhodobým vodním stresem rovněž porušené a lze na nich už pouhým okem pozorovat známky usychání. Samotné stromy v takovém případě nejenže působí devastálně na stavební objekty, ale svým vzhledem nepřispívají ani ke zkrášlení životního prostředí. Vždy je nutné projekt odstranění stromů spojit s návrhem nové výsadby. Přirozeně se snažíme volit stromy s malou spotřebou transpirační vody, v tomto případě se jedná například o jehličnany.

Umístění nových stromů volíme v bezpečné vzdálenosti od zástavby. Ráda bych zdůraznila skutečnosti, že není možné svěřit nový návrh vegetace pouze zahradním architektům, ale je nutné návrh ozelenění rovněž nechat posoudit dendrology a geotechniky.

2. Dalším krokem v případě ochrany před nepříznivými účinky evaporace je možnost použití fólie, která je uložena v okolí budovy. Úkolem této fólie je zamezení odpařování vody. V tomto případě je nutné se, ale zamyslet nad otázkou druhu fólie neboť tato ochrana sice brání odpařování vody ze zeminy, ale zároveň zabraňuje vnikání srážkové vody do půdy. Je tedy nutné se zamyslet nad druhem samotné fólie, a pokusit se na trhu stavebních materiálů najít takový produkt, který bude splňovat, jak požadavek ochrany proti evaporaci, tak zároveň požadavek propustnosti srážkové vody. Alternativním řešením může být zřízení zavlažovacího drénu uloženého v šterkopískovém loži. Ve velmi suchém období, kdy hrozí nebezpečí vysychání a smršťování jílu, je možné do drénu napouštět vodu a tímto upravit vlhkostní poměry podzákladových jílu a zabránit odsátí vody kořeny stromů. V tomto případě zde, ale vstupuje lidský faktor a tento nemusí být vždy spolehlivý. Rovněž problém může nastat, jestliže dojde ke svedení vody z okapových rour do drénu. Oba zmíněné příklady komplikuje skutečnost související s odhadem množství vody, která má být do drénu napuštěna, zejména druhý případ je téměř neměřitelný.

3. Dalším krokem k zajištění rovnovážných základových poměrů, může být zřízení izolačních přepážek v zemi, které budou umístěny v zemi mezi stromy a budovou. Tyto přepážky musí být z odolného materiálu - např. svislá fólie + obsyp pískem stabilizovaným cementem (ze strany blíže k objektu) + jílovitý písek s přidáním soli (popř. herbicidního prostředku) a to ze strany kořenů. Přepážky musí být rovněž umístěny v dostatečné hloubce, aby kořeny nemohly toto zabezpečení podrůst.

Jak je již uvedeno v dřívějším textu, transpirace dosahuje do poměrně velkých hloubek a takovéto opatření je poměrně velkým a nákladným zásahem do přírodního prostředí.



Z výčtu výše uvedených opatření vyplývá, že nejbezpečnější a zároveň nejjistější metodou je úprava vegetace.

2) **Druhý soubor opatření – konstrukční opravy objektů**

Vlastní konstrukční opravy samotného objektu, jejich rozsah, jsou závislé na řadě okolností. Například jiná opatření budou projektována v případě, kdy se podařilo zcela eliminovat vlivy vysychání a smršťování, a jiná v případě, kdy s tímto problémem je nutné počítat i v budoucnu a stavební objekt těmto vlivům v možné míře stavebně přizpůsobit. Velmi důležitým krokem před samotným návrhem konstrukčních oprav je zhodnotit současný stavební stav budovy a ekonomický smysl opravy objektu.

V níže uvedeném textu se pokusím zmínit několik druhů oprav, se kterými se v praxi můžeme setkat.

1. **Zvednutí části objektu** – použití například v případě, kdy rozdíly poklesů zdiva a stropů jsou okolo 70mm. V tom případě se používají hydraulické lisy. Lisy jsou zabetonovány do vysekaných otvorů ve zdivu. Jedná se o metodu využívanou v zahraničí.

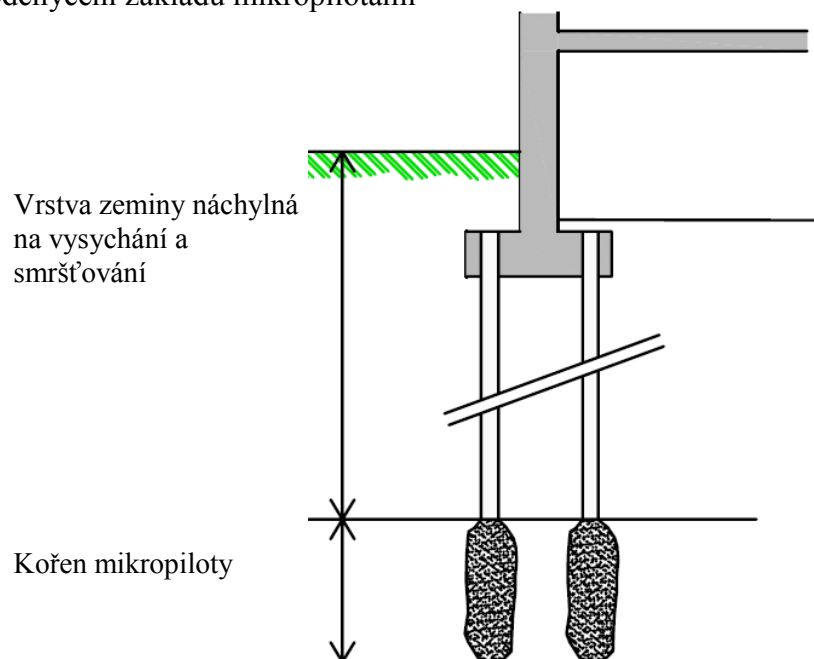
2. **Spínání objektu podélnými a příčnými předpjatými ocelovými táhly** – úkolem tohoto zabezpečení je zabránění možných konzolových účinků, vzniku nových poklesů a rozevírání trhlin. Táhla se umísťují buď skrytě do úprav pod podlahou nad betonovou stropní konstrukci, nebo pod stropy do rohů na styku stropů a stěn.

3. Dle konkrétních konstrukčních a statických požadavků se spínání provádí v jednom nebo ve více podlažích. Síla se přenáší na zdivo pomocí roznášecích desek. Samotné předpínání v čase realizace, je nutné provádět opatrně, zohlednit stav budovy. V průběhu předpínání je nutné sledovat budovy, aby tyto nebyly vystaveny dalšímu nežádoucímu deformování zdiva.

4. **Opravy vzniklých trhlin ve zdivu.** Trhliny rozměru do 2 mm obvykle stačí povrchově zatřítk barvou. Trhliny větších tloušťek se zpravidla řádně vyspárují, mnohdy se vyplní aktivovanou cementovou kaší (instalace zalitím nebo nízkotlakou injektáží s tlakem do 0,3 MPa). Problémy s opravami mohou nastat v případě potrhaných železobetonových konstrukcí. Oprava tahových případně smykových trhlin vyžaduje obvykle zvláštní tmely a zvláštní pracovní postupy.

5. **Podchycování základů prvky speciálního zakládání** (trysková injektáž, mikropiloty), obr. 14. V tomto případě je nutné zvážit, zda nákladná oprava je ekonomicky přijatelná a porovnatelná s hodnotou rekonstruovaného objektu. Chtěla bych zdůraznit často opomíjený fakt a to je propojení konstrukce vzmocnění základů se stávajícím objektem. Tomuto detailu je potřeba při realizaci věnovat zvlášť pozornost, a zabezpečit přenos zatížení ze stěn do vzmocňující konstrukce.

Obr. 14 Podchycení základů mikropilotami



6. V neposlední řadě je potřeba se zaměřit na kontrolu, případnou opravu instalačních vedení, tedy plynu, vody, kanalizace a elektrorozvodů. Dále zkontrolovat stav omítek, oken, dveří, fasády atd.

3) Třetí soubor opatření – sledování objektu

Opravený objekt je potřeba nějakou dobu odborně sledovat, aby bylo možné potvrdit, že provedená stavební opatření splnila svůj účel. Samotné sledování objektu lze provést různými způsoby :

1. **Vizuální sledování budovy** – jedná se o nejjednodušší typ rekognoskace, bohužel, ale i nejméně přesný.
2. **Sledování pomocí sádrových můstků** – v rozhodujících místech opravených trhlin se provádějí sádrové můstky, kterými je možné sledovat i nejmenější prasklinky, rozevření trhlin.
3. **Sledování pomocí indikátorových hodin** – Tyto dávají informace o deformaci pouze v přímce (v ose hodin). Omezením může být fakt, že hodinky musí být osazeny v neužívaných prostorách (jejich nastavení nesmí být narušeno)
4. **Sledování pomocí ocelových trnů a přesné nivelace** – používá se k měření výškových změn, trny se osazují na nárožích venkovního zdiva a v určitých časových intervalech dochází za pomoci přesné nivelace k zjištění výškových rozdílů.

5. **Sledování změn vlhkosti jílu** – se provádí jen ve velmi závažných případech a to pomocí vrtů s odběrem vzorků.

2.5.2 Závěrečné zhodnocení a doporučení při zakládání objektu na objemově nestálých vysoceplastických jílech

Budovy porušené nerovnoměrným smršťováním jílu s různě pokleslými stropy a se značně potřhaným zdivem vzbuzují u veřejnosti obavy ze zřícení. Tyto obavy je možno označit za neopodstatněné. Vysycháním a smršťováním jílu dojde sice k poklesu základové spáry, současně však paradoxně dojde ke zlepšení jejich fyzikálních a mechanických vlastností. Lze tedy říci, že: **zatímco se zlepšují vlastnosti zeminy v podzákladí vysycháním (zvětšuje se únosnost, zmenšuje se citlivost na deformace), z téže příčiny avšak jiným důsledkem (smršťováním) dochází bohužel k porušení nosné funkce budov.**

Vzhledem k zvětšení únosnosti zeminy nemůže tedy dojít k zaboření základů a k havárii samotné budovy a to ani tehdy, když se trhliny soustavně zvětšují a dosahují větších hodnot, okolo 30 – 40 mm.

Z výše uvedeného je tedy patrné, že není třeba se obávat zřícení budovy, ale samozřejmě u takto porušených budov se dají očekávat jiná nebezpečí.

Za velmi nebezpečné je možné pokládat různá instalační vedení. Poruchy na kanalizačních a vodovodních instalacích jsou nepříjemné, ale nelze je označit za nebezpečné. Opačný případ, ale může nastat při porušení plynových potrubí a elektrorozvodů, kde jakákoliv porucha může mít katastrofální následky. Unikající plyn, výbuch, případně i požár, může ohrozit nejen budovu, ale především zdraví a životy jejich obyvatel. V tomto případě je třeba reagovat s předstihem a zajistit odpojení těchto vedení.

Při větších vodorovných posunech zdiva může vzniknout nebezpečí zmenšení uložení stropních či schodišťových konstrukcí.

Na základě výše uvedeného je možné říci, že opravy a rekonstrukce objektů porušených smršťováním podzákladových jílu jsou velmi drahé a zároveň i komplikované na realizaci.

Logickým krokem je tedy snaha těmto poruchám a následným škodám předcházet. V níže popsaném textu jsem shrnula hlavní body, které v případě respektování měly vést k výstavbě budov, které v budoucnu nebudou smršťováním ohroženy.

Je nutné mít na zřeteli, že zemina je materiál nehomogenní a tedy práce v tomto oboru je velmi závislá na zkušenostech samotného stavebníka a geotechnika.

Doporučuji tedy dodržovat následující pravidla :

a) Bez podrobných inženýrsko-geologických a biologických studií by neměly být listnaté stromy vysazovány blíž k budovám než je **2,5 násobek jejich budoucí výšky.**

V případě jehličnatých stromů je tato vzdálenost snížena na **jednonásobek jejich budoucí výšky**.

Dalším případem může být liniové uspořádání stromů, zde je doporučena vzdálenost **1,5 – 2,0 násobek budoucí zeleně**.

b) Při projektování bytových domů, velké zástavby, je nutné vždy ozelenění konzultovat s odborníky z inženýrské geologie a lesnické biologie (vypracovat samostatný projekt).

c) V projektových dokumentacích by měla být zaznamenána místa, hloubky a přibližně vydatnosti všech přirozených i umělých vodních zdrojů a to i s prognózou do budoucna.

d) Zvláštní pozornost by se měla věnovat skutečnosti, kdy povrchová voda se může hromadit v depresích na povrchu terénu a v suchých obdobích působit nepříznivě zvýšenou vlhkostí. V tomto případě hrozí, že v případě nedostatku vláhy, kořeny stromů se budou přibližovat k tomuto místu i z větší vzdálenosti. Víme, že kořeny stromů jsou vybaveny tzv. čidly, které jsou na zvýšenou vlhkost velmi citlivé. Místem, kde může takováto zvodeň vzniknout, jsou například zásypy okolo domů, úžlabí v místě styku území, vsakovací jámy.

e) Pokud vysázené stromy trvale naleznou svými kořeny půdní vláhu ve vzdálenosti menší, než je polovina jejich budoucí výšky a v hloubce menší než 3m, je možné vysazovat listnaté stromy ve vzdálenosti od objektů rovné $\frac{3}{4}$ budoucí výšky stromů a jehličnaté stromy ve vzdálenosti $\frac{1}{2}$ budoucí výšky.

f) Mají-li být stromy z jakéhokoliv důvodu osazeny v blízkosti objektů, je možné odvrátit směr pronikání kořenů nepropustnou membránou. Jedná se ale o výjimečný případ, který sebou nese nejen riziko zvýšení nákladů, ale i možné budoucí problémy, například odstraňování vzrostlého stromu z blízkosti objektu atd.

2.5.3 Ekologické podmínky trvalé koexistence vzrostlé zeleně a zástavby v místech bytových domů (podle J. Čermáka, A. Praxe, J. Kučery)

Vzrostlá zeleň ve městech, především tedy stromy a keře, plní celou řadu funkcí významných pro lidskou společnost. Na jedné straně jde o funkce kulturní či estetické, na druhé straně o funkce fyzikální či biologické. Každý z nás jistě pocítí rozdíl mezi objekty, které jsou zasazeny do zeleného přírodního rámce a depresivní náladou čišící z pustých ulic bez vegetace. Méně si již zpravidla uvědomujeme nezastupitelné klimatické funkce vzrostlé zeleně, tj. ochlazování prostředí, zvlhčování vzduchu a dále hygienické hledisko, kdy na členitém povrchu rostlin se zachycuje velké množství prachových částic. Neméně důležitým hlediskem je i produkce kyslíku (tato otázka je globální, na jeho produkci se uplatňuje zejména sibiřská nebo kanadská tajga, tropické pralesy v povodí Amazonky nebo Konga a samozřejmě i mořský plankton).

Stromy také produkují řadu ekologicky aktivních těkavých látek, které známe jako například éterické oleje (uvolňované množství těchto látek je velice malé a svými účinky působí jen na krátkou vzdálenost). Pro zvýšení jejich koncentrace má proto význam převážně zeleň roztroušená.

Dále stromy působí baktericidně či bakteriostaticky na celou řadu patogenních mikroorganismů a vykazují často odpudivé účinky vůči obtížnému hmyzu. Méně známé jsou také příznivé účinky přirozených těkavých látek rostlin na elektrický stav ovzduší - jeho ionizaci, především z hlediska generování příznivých lehkých záporných iontů. Jejich vdechování vede ke zlepšení příjmu kyslíku u živočichů včetně člověka. Ionty mohou pronikat přes stěny plicních alveol i do krve a předávat svůj náboj bílkovinným koloidům a krvinkám. Tím dochází ke zlepšení krevního oběhu, je stimulována činnost srdce i nervového systému a zároveň se zlepšuje i duševní aktivita.

Těmito výše popsányými mechanismy vzrostlá zeleň přispívá ke zlepšení rekreačních účinků životního prostředí člověka přímo v bytové zástavbě. Nedostatek zmíněných vlivů zeleně vede k degradaci ovzduší. Toto se pak zákonitě odrazí na zvýšené nemocnosti zde žijících obyvatel.

Příznivé vlastnosti zeleně na člověka se ovšem mohou uplatňovat jen tehdy, jestliže zeleň v bytové výstavbě vůbec existuje a to v dostatečném množství a jestliže je „živá a zdravá“, tj. v dobrém funkčním stavu. Je nutné s ní počítat v každém projektu nové bytové výstavby a stejně tak i při údržbě a rekonstrukci zástavby dříve postavené.

K začlenění vzrostlé zeleně však nestačí jen zakreslení schémat stromů do příslušných plánů. Je nezbytné, aby zodpovědní činitelé zajistili a spolu s veřejností i prověřili provedení takových opatření, která by zaručila dlouhodobou existenci trvalé zeleně a její správné fungování v daném anthropo-ekosystému.

Závěrem lze shrnout, že konstrukční poruchy, které vznikají na budovách v důsledku objemových změn podzákladových jílů, jsou sice vážné, ve většině případů je však nelze označit za havarijní. Obvykle, jestliže poruchy nejsou značné, je možné tyto poruchy sanovat. Pouze ve výjimečných případech, kdy vodorovné posuny a rozevření trhlin je značné, je doporučeno objekty určit k demolici. Je potřeba zmínit i skutečnost, že inženýrské sítě, zejména elektrorozvody a plynovody, mohou při jejich poruše způsobit katastrofu.

3. SPRAŠOVITÉ ZEMINY

Počátek výzkumu spraší je datovaný do 19. století. Spraš je sedimentem pleistocénu a tvoří velmi problematickou základovou půdu. Na vznik spraší v jednotlivých regionech existuje několik vědeckých hypotéz. Názory o vzniku spraší se opírají o složení matečních hornin a souvisejí i s úlohou transportu a nahromadění spraší. Spraš se stala předmětem intenzivních geologických výzkumů zejména zásluhou **Charlesa Lyella**, který vydal v roce 1834 svou první odbornou publikaci týkající se spraše a to z doliny Rýna. **Lyell** jako první zavedl do literatury pojem spraš.

3.1 Vznik Spraší

Vznik spraše se datuje do čtvrtohor. Ve studeném podnebí nebyla krajina dostatečně zarostlá a úlomky se kupily a vznikly závěje. V ČR jsou spraše hlavně na jižních svazích. Ze svahů byly později odplaveny do nížin, kde tvořily sprašové hlíny. Výskyty jsou hlavně podél řek a patří mezi úrodnou zemědělskou půdou. (Kužvart 1983, s. 337–338)

Z odborného hlediska lze spraš definovat jako klastický sediment eolického původu. Za hlavní složku je považován jemný křemitý prach (křemen, živec a slída; typická velikost částic 0,03–0,06 mm).

Pokud je ve spraši příměs uhličitanu vápenatého, mohou se vytvářet sražené hrudky, tzv. cicváry. Typická světlá okrová barva je připisována oxidu železa.

Spraš navátá větrem nevykazuje na pohled patrné vrstvy – ty se vyskytují pouze u spraší druhotně přemístěných vodou. Spraš má nízkou vlhkost, takže ji lze rozmělnit v prstech, přitom je však soudržná, což je možné dokázat na příkladu roklí ve spraších, které mají strmé svahy.

Spraše jsou velmi propustné (ve svislém směru až 50 x více než ve směru vodorovném) a srážky se v nich z velké části vsakují do hloubky, stejně snadno se však díky kapilární vztlakovosti může voda vracet k povrchu a vyživovat rostliny. Je-li postupně uhličitán vápenatý vyluhován ze svrchních poloh do hloubky, dochází k přeměně povrchové spraše na sprašovou hlínu. Na spraších vznikají velmi úrodné zemědělské půdy.

Sprašové terény jsou mimořádně náchylné k erozi a působením povrchové vody v nich snadno vznikají hluboké strže. Ve sprašových terénech též mohou vznikat pseudokrasové jevy.

Pukliny ve spraších mohou teoreticky vznikat čtyřmi způsoby (Harmon, 1997), a to :

- a.. objemovými změnami
- b.. svahovými silami
- c.. neotektonickými silami
- d.. překopírováním puklin z fundamentu

a.. objemové změny

Kvůli teplotním změnám a častému vysychání a vlhnutí spraší, se mění objem. Pokud spraše projdou těmito podmínkami, mohou vznikat pukliny, které budou mít orientaci podle orientace terénu nebo podle materiální anizotropie. Tyto pukliny mají náhodné rozmístění na svahu.

b.. svahové síly

Tyto mohou souviset se vznikem puklin. V tomto případě by měla orientace puklin korelovat s orientací svahu. Pukliny mají souvislost se silami okolních svahů, které s nimi bezprostředně souvisí.

c.. neotektonické síly

Neotektonické síly mohou podporovat tvoření puklin. Tvorbu v tomto případě ovlivňuje topografie, která může lokálně změnit pole napětí. Pokud jsou pukliny tvořeny neotektonickými silami, může být orientace stanovena paralelně k maximálnímu horizontálnímu zvlnění.

d.. překopírování puklin z fundamentu do sprašových pokryvů.

Může se stát, že pukliny z fundamentu se promítnou do sprašového pokryvu a jejich orientace poté bude shodná s fundamentem.

3.2 Definice spraší

Ráda bych ve své práci seznámila odbornou veřejnost s několika prezentovanými názory vyslovenými odborníky napříč 20 stoletím.

Smith a Norton (1935), kteří sprašová tělesa definovali takto : „Jedná se o sediment vytvořený drtící činností ledovců, přemístěných do nižších poloh rozpuštěnými ledovcovými vodami a odtud následně vyfoukaný větrem a uložený na vyšších polohách“.

Russel (1944) definuje spraše : „ Je to nevrstvená, homogenní, pórovitá, vápenatá, prachovitá zemina s typickou žlutou nebo tmavě žlutou barvou, s vertikální odlučností a kolmými stěnami. Obsahuje vápenné konkrerce a faunu měkkýšů“.

Flint (1947) definuje spraš jako sediment zpravidla nevrstevnatý, v zásadě nekonolidovaný, složený z jemně prachových částic, obvykle s příměsí jílu a písků a ukládá ho hlavně větrná sedimentace“.

Hobbs (1931, 1942) zdůrazňoval důležitost větrných systémů, které byly vyvolané nástupem ledovců. Vytvořil model anticyklonálních větrných systémů. Jejich proudění závisí právě na ledovcích, které ho i vyvolávají.

Na základě tohoto vyslovil Hobbs domněnku, kde všude by se měla spraš nacházet. Je zajímavé, že se velmi zřídka mýlil. Jako první upozornil odbornou veřejnost na existenci sprašových sedimentů v Grónsku a byl zastánce eolické hypotézy o vzniku spraše. Pokládal vítr za dominantní přenosový činitel v periglaciálních oblastech kontinentálních ledovců.

Obručev (1945) na základě výzkumů spraší (Evropských i rozkládajících se v Asii) zmiňuje rozdělení spraší na tzv. spraš primární (tato je bezpochyby eolického původu) a sekundární (u ní se předpokládá vznik i jinými procesy ne pouze činností větru. Může se jednat o primární spraš, která je redisponovaná vodou, deluviálními procesy apod., dále se může jednat o jemné aluviální nebo deluviální sedimenty, které získaly sprašový habitus zvětráváním a pedologickými procesy.

Obručev dokazuje, že porovnatelné petrografické, chemické, a mechanické analýzy různých typů spraší nepotvrzují pedologickou hypotézu. Obručev doplnil eolickou hypotézu o názor, jakou úlohu hrají pouště při tvorbě prachového materiálu. Odpůrci jeho teorie však poukazovali na to, že Sahara není obklopená pásem typické spraše. Obručev stojí za názorem, že prachový materiál ze Sahary je neustále odnášen do Atlantického oceánu a Středozemního moře a tvoří původní materiál spraší v Alžírsku, Tunisu a Maroku. Údolí řeky Nilu a východní území Egypta není dle Obručeva vhodné k akumulaci prachu.

Američtí vědci **Breavers a Albert (1948)** vyjadřují předpoklad, že vítr působí při tvorbě spraší jen jako přenosový a druhořadý činitel a nezúčastňuje se třídění sprašového materiálu. Třídění samotného materiálu dle nich probíhá již dříve a to zejména činností řek. Prezentovali názor, že říční systém řeky Missouri – Mississippi vytvořil jednorodou naplaveninu podél celého toku. Jako důkaz předkládají změnu granulometrického složení spraše v závislosti od vzdálenosti od říčního koryta. Uvedení autoři tvrdí, že spraš má především fluviální genezi a až poté následuje eolická. Dále připouští, že prachová křemenná masa vzniká glaciálním působením. Nejsou si ale jisti vznikem jílových minerálů a uhličitánů. Pokládají uhličitany za syngenetické součástky, tedy vyloženě klastické, které se přenášejí společně s ostatními křemennými částicemi.

Další dva Američtí autoři **Swineford a Frye (1955)** prováděli porovnávací petrografické, mineralogické a granulometrické rozbory amerických spraší z oblasti Kansasu se sprašemi Evropskými, konkrétně z Itálie, Francie, Belgie a Německa. Dá se říci, že se jedná o jednu z mála prací, která se zabývá podrobným porovnáváním sprašových usazenin a to z lokalit vzdálených takto daleko od sebe. Autorům se podařilo zjistit, že americké spraše se liší od Evropských mineralogicky a to nejen složením, ale i zastoupením jílových minerálů. Křivky zrnitosti mají přibližně stejný průběh a tvar jen s malými diferencemi.

Eolická hypotéza měla mnoho zastánců, ale i mnoho odpůrců. Mezi její největší odpůrce patřil například **Bondarčuk (1961)**, dle kterého neexistují fakta o přijatelných fyzickogeografických podmínkách pro činnost větru během pleistocénu. Ledovcové období je epocha, kde převládaly vlhké podmínky.

Ledovce pokrývaly velké plochy a chránily tímto horniny od mechanického vlivu atmosféry.

V periglaciálních oblastech se roztáté ledovcové vody rozlévaly na ohromných prostranstvích, kde rovněž nebyly vhodné podmínky pro činnost větru jako přenosového činitele. **Bondarčuk** je silným zastáncem aluviální hypotézy o vzniku spraší. Jeho názor je : Spraš je vodnogenetická formace ledovcovo – aluviálních rovin.

Smalley a Vita-Finzi (1968) definují spraš: „spraš je kyprý sediment, který pozůstává převážně z křemenných částic průměru 20 -50 μ a vznikl eolickou činností“.

Sergejev (1976) chápe spraš jako prachovitou zeminu, která je schopna prosedat, protože má vysokou pórovitost, slabé strukturní vazby a malou přirozenou vlhkost. Obsahuje malé množství jílových minerálů, ve kterých nepřevládají minerály skupiny montmorillonitu. Uvedená definice si všímá inženýrskogeologických vlastností spraší.

Inqua (1974) mezinárodní komise pro výzkum čtvrtohor – podává tuto definici spraší: **Spraš je charakterizována** viditelným převládajícím zrnitostním složením, které se pohybuje v mezích 20 až 50 μ (hrubozrný silt až velmi jemný písek), je nevrstevnatá, primárně vápnitá, s kapilární pórovitostí, v celku suchá, žlutá až tmavě žluté barvy.

Písčitá spraš má směs zrn velikosti 20 až 60 μ a 200 až 500 μ (jemně zrnitý písek, středně zrnitý písek). Nejčastěji je nevrstevnatá, obvykle nevápnitá, méně pórovitá než spraš, barvu však má podobnou.

Jílovitá a hlinitá spraš má největší procentuální zastoupení částic rozměru 20 až 60 μ , z čehož 25 – 30 % hmoty má menší zrnitost než 2 μ . Je nevrstevnatá, málo pórovitá, obsah uhličitánů barva jsou podobné spraším.

Spraším podobné sedimenty, sprašoidní sedimenty. Název se vztahuje hlavně na eolický materiál, který byl zesedimentovaný v období různých sekundárních procesů nebo pozměněn in situ. Spraším podobné sedimenty se mohly vytvořit buď ze spraše, písčité spraše popřípadě jílovité spraše. Jejich pórovitost je menší než původního materiálu. Některé z těchto sedimentů jsou nevápnité, barevně se liší.

Nad všemi hypotézami o vzniku spraše dominují dva extrémní názory a to původ **pedologický a geologický**. Snahou inženýrské geologie musí být podle **Sergejeva (1976)**, zjistit co nejvěrněji, jak jednotlivé sedimenty vznikly, neboť základní teoretické pravidlo říká, že vlastnosti zemin závisí na jejich genezi a postgenetických procesech. **Sergejev** je odpůrcem polygenetického původu spraší. Říká, že všechny spraše jsou prosedavé, stejné po morfologické stránce, a proto musí mít monogenetický původ.

Abychom mohli správně definovat spraše a osvětlit „sprašový problém“, je potřeba podle **Šajgalíka a Modlitby (1983)** objasnit několik problémů :

Jak vznikly jemně zrnité prachové křemité částice?

Jak se vytvořily ve spraších karbonáty a jílové minerály?

Způsoby přenosu materiálu a jeho uložení?

Určit procesy odehrávající se po vytvoření prvotního nánosu?

Vznik sprašového materiálu je dáván do souvislosti s glaciální činností ledovců a to jak kontinentálních tak i alpského typu. Po jejich ústupu se vytvořily deflační plochy, kde se shromáždil materiál přinesený ledovci. Pak se zvětralinami, čerstvými glaciálními nánosy, fluviálními a proluviálními sedimenty tvořily zásoby pro sprašovou sedimentaci.

Holé deflační plochy tvořily ideální prostředí pro eolickou činnost. Z tohoto prostředí vítr vyvával, třídil a přenášel jemný prachový křemitý materiál do říčních údolí, pahorkatin a jiných morfologických útvarů zemského povrchu. Podle **Ložka (1973)** spraš vznikla ve studeném podnebí a dlouhou mrazivou a suchou zimou, po které následovalo vlhké jaro, krátké teplé léto, z počátku vlhké, ale hned nastalo suché období, které plynule přešlo do další zimy. Za hlavní lze považovat vítr, protože morfologická dispozice mohutných sprašových lokalit nám neumožňuje uvažovat o žádném jiném způsobu přenosu minerálních částic. Po nahromadění eolického materiálu za příznivých stanovištních podmínek začal půdotvorný proces, který nazýváme zesprašování.

Je to proces, který dal spraši její dnešní habitus. Tento proces nazývá **Lukašev (1961)** jako tzv. **sialiticko - karbonátové zvětrávání**, přičemž významnou úlohu má mraz a kapilární vlhkost. Uhličitany se rozptylují ve sprašovém tělese. Spraš je tudíž nejenom sedimentem, ale i půdou, která se tvoří souběžně s usazováním prachu.

Pokud stanovištní podmínky (**Ložek, 1973**) v prostoru akumulace nejsou splněny, spraš se nevytvoří, ale zeminy velmi podobné sprašim, lišící se však např. odvápněním, větším podílem jílové hmoty, výraznou formou hydroxidů železa. Název pro tyto sedimenty byl sprašové hlíny. Sprašové hlíny se od spraší liší i morfologicky, vzhledem k vyššímu obsahu jílu jsou více namrzavé, a tím náchylné k drobným mrazovým sesuvům.

Šajgalík, Modlitba (1983) jsou názoru, že sprašové sedimenty zhruba stejné geneze, se budou v detailech lišit v závislosti od místa jejich vzniku. Morfologie území ovlivňuje také genetické podmínky sedimentace, které se zase projevují v granulometrickém a petrografickém složení a geotechnických vlastnostech spraší určité oblasti. Výše uvedení autoři uvádějí, že při detailním terénním studiu můžeme vidět, že sprašové sedimenty jsou v některých profilech výrazně vrstevnaté. Heterogenost složení sprašových profilů poukazuje na to, že nemají jednotnou genezi (např. navátí větrem), ale že se na jejich vzniku podílejí také fluviální procesy a procesy svahové modelace.

Šajgalík, Modlitba (1983) na základě studia spraší poddunajské nížiny a ostatních oblastí bývalého Československa dospěli k názoru, že sprašové sedimenty je možné v zásadě rozdělit na dvě kategorie :

- 1) **Spraše**
- 2) **Sprašoidní nebo spraším příbuzné zeminy**

Spraše jsou eolické prachové křemité sedimenty s převládajícím zrnitostním složením od 0,005 – 0,063 mm, makropórovité více nebo méně vápnité a zpravidla prosedavé.

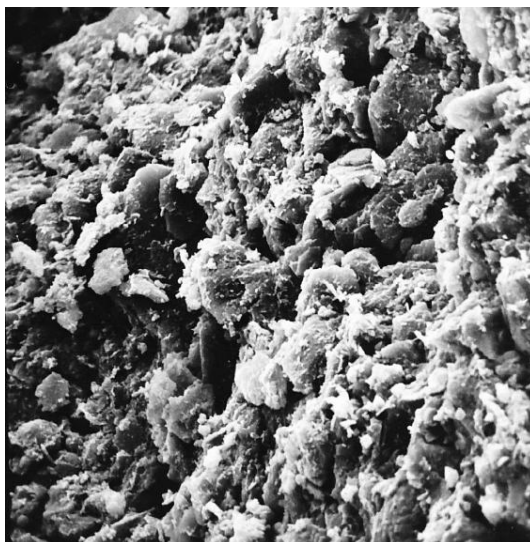
Sprašoidní zeminy mají obdobnou morfologii a habitus jako spraše, ale jejich geneze má odlišný charakter. Mezi ně také počítáme sedimenty, které vznikly činností větru a nebyly zesprašované, anebo zesprašované zeminy různé geneze či resedimentované, nejčastěji přeplavené spraše. Nelze z nich vyloučit činnost větru, ale dominantními procesy jsou svahová modelace, proluvální, fluviální, eluviální a pedogenetické procesy. Mají větší procentuální zastoupení jílových minerálů, menší obsah uhličitánů, menší pórovitost přičemž makropórovitost se vyskytuje zřídka. Nejsou prosedavé.

Charakteristickou texturu spraše je možno ukázat na obr. 15 z rastrového elektronového mikroskopu při zvětšení 660x. Kosterní minerály jsou většinou zastoupeny křemenem, dále je patrný limonit ve formě drobných kuličkovitých útvarů a jílové součásti lískovitě protáhlého tvaru. Na kosterních zrnech jsou pravděpodobně zachovány jemné částice CaCO_3 .

Tomu odpovídá průběh křivek DTG, DTA a TG na obr. 18. Úbytek vody je charakterizován endoprodlevou při 120°C , přítomnost limonitu exoprodlevou při 300°C , křemen je charakterizován endoprodlevou kolem 570°C a obsah CaCO_3 výraznou endoprodlevou se středem 840°C . Z hlediska jílovitých částic je možno předpokládat z průběhu křivky přítomnost jílovitých nerostů ze skupiny illitu. Na obr. 15 jsou rovněž dokumentovány přirozené póry mezi jednotlivými kosterními zrny do velikosti 0,025 mm. Podobné složení je dokumentováno i dalšími obrázky 16 a 17, kde lze pozorovat zrna kalcitu a póry mezi zrny křemene.



Obr. 15 Zvětšeno 660x, Brno – Žabovřesky J 505/3,0



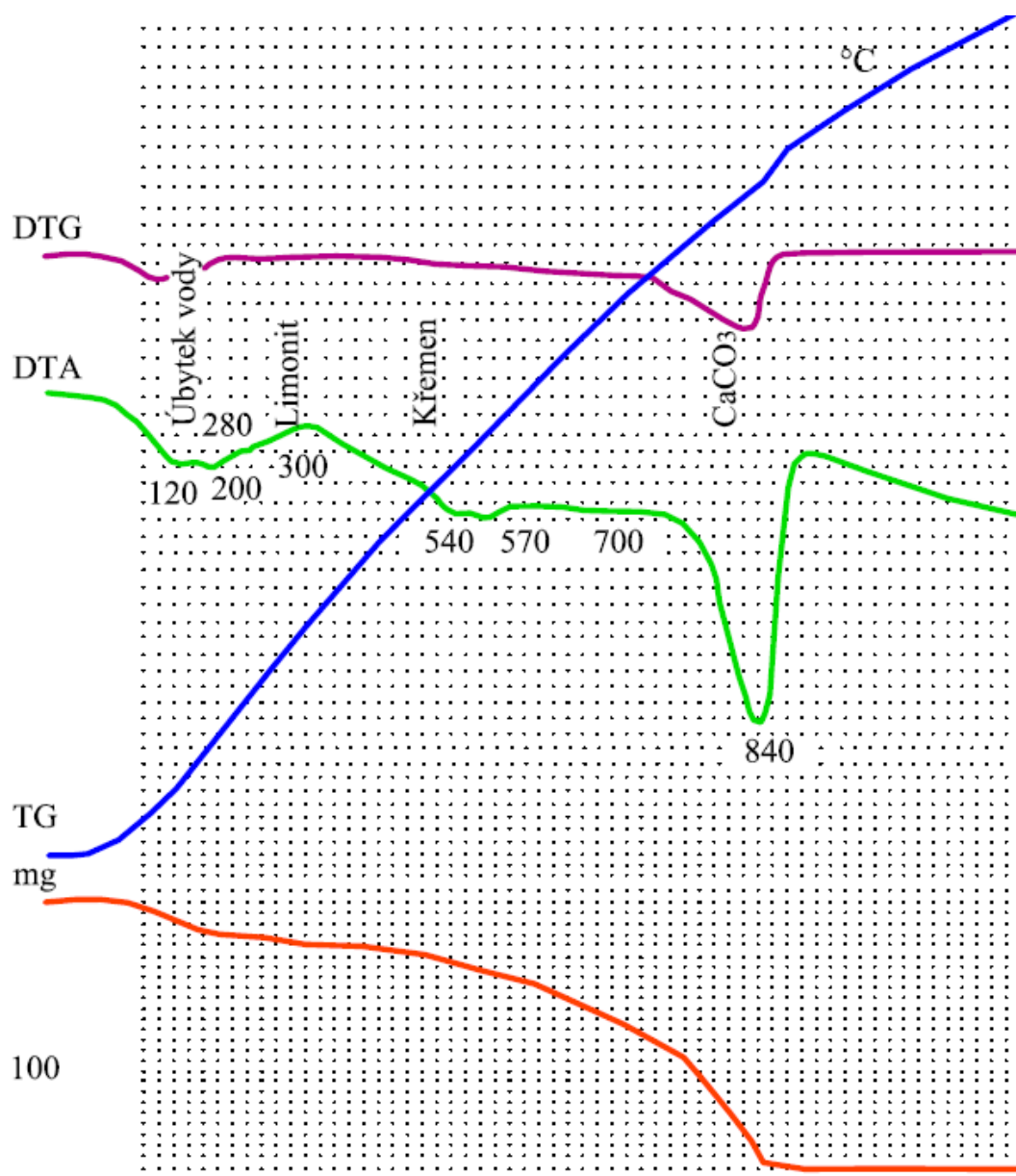
Obr. 16 Zvětšeno 650x, Brno – Žabovřesky J 505/3,0

Lístkový charakter i limonitické shluky jsou dobře patrné na obr. 17



Obr. 17 Zvětšeno 640x, Brno – Žabovřesky J 505/3,0.

Potřebné zkoušky provedla laboratoř Ústavu geotechniky VUT FAST v Brně.



Obr. 18 Brno – Žabovřesky J 505/3,0.

DTA ... diferenciální termická analýza

TG ... termogravimetrie

3.3 Fyzikální a mechanické vlastnosti spraší

Problematiku zakládání na spraších a sprašových zeminách budeme studovat na některých sedimentech, které jsou uloženy v Brněnské kotlině.

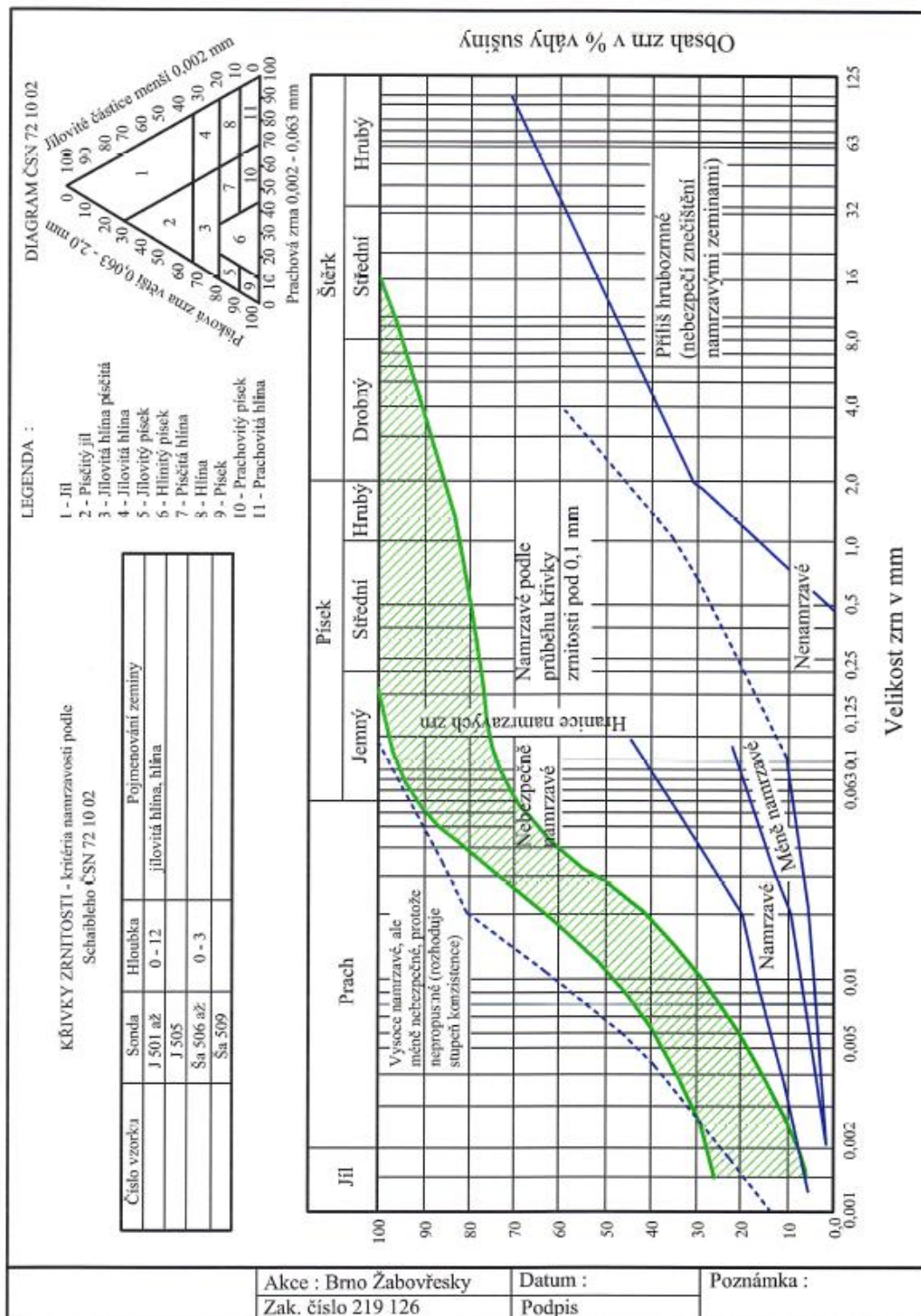
Území Brněnské kotliny, v oblasti střední Evropy, bylo v období pleistocénu nezaledněné a nalézalo se v prostoru mezi zaledněním severským a alpským. Proto se nalézají v tomto periglaciálním území hojná souvrství eolických sprašových pokryvů s fosilními půdami a periglaciálními – kryogenními zjevy (J. Pelíšek, 1982).

3.3.1 Fyzikální vlastnosti

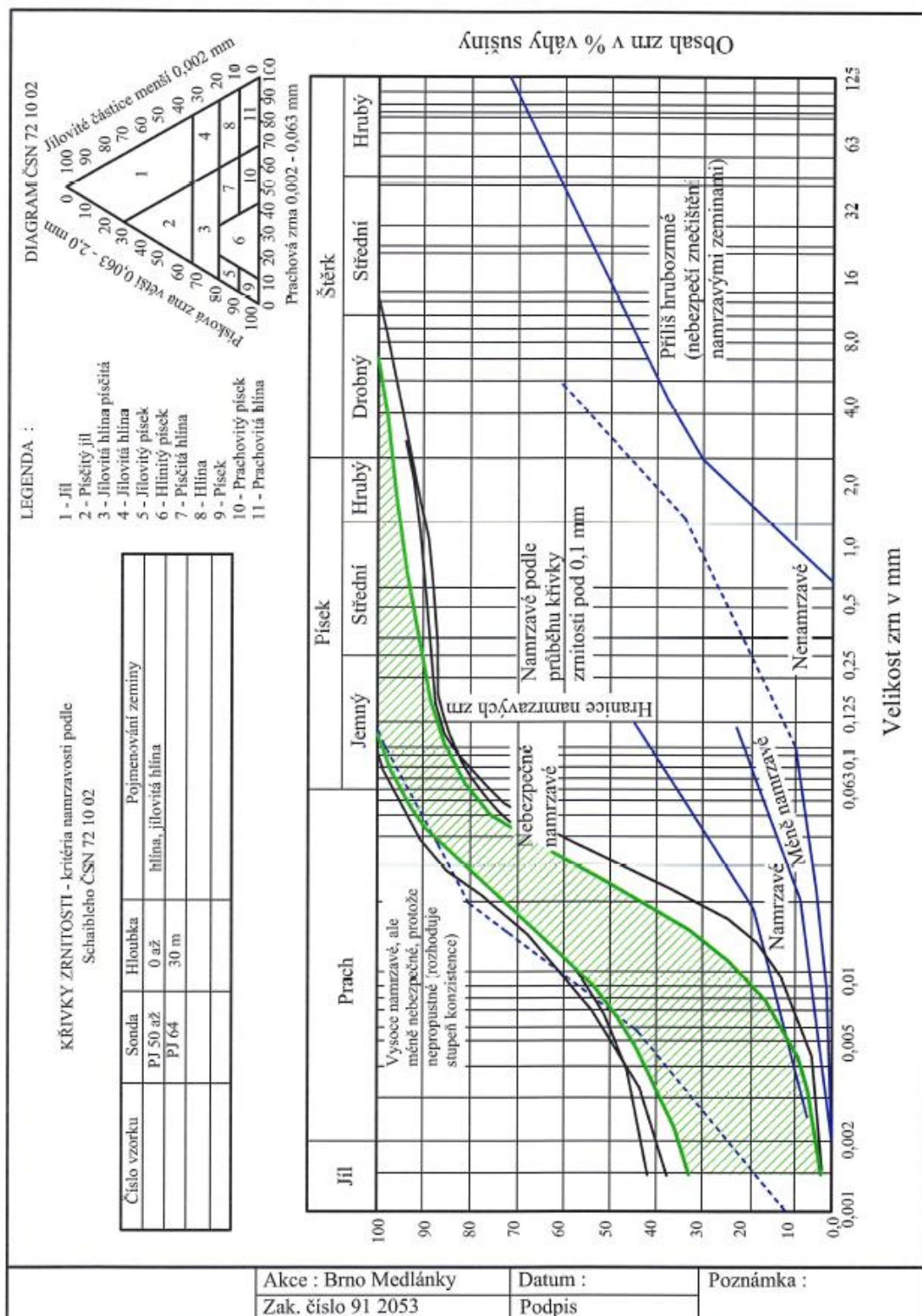
3.3.1.1 *Granulometrické složení*

Spraše a sprašové hlíny jsou v území Brněnské kotliny výrazné a eolické sedimenty s charakteristickým granulometrickým složením. Například v lokalitách Žabovřesky, Jundrov, Medlánky jsou typickou složkou eolických sedimentů minerální částice o průměry 0,001 – 0,05mm, jejichž obsah se pohybuje v rozmezí 35 – 60 %. Druhou složku tvoří částice o průměru 0,01 mm v rozmezí 25 -55 %. Hrubší granulometrické podíly (0,05 – 2,00 mm) jsou zastoupeny 5 – 25 %.

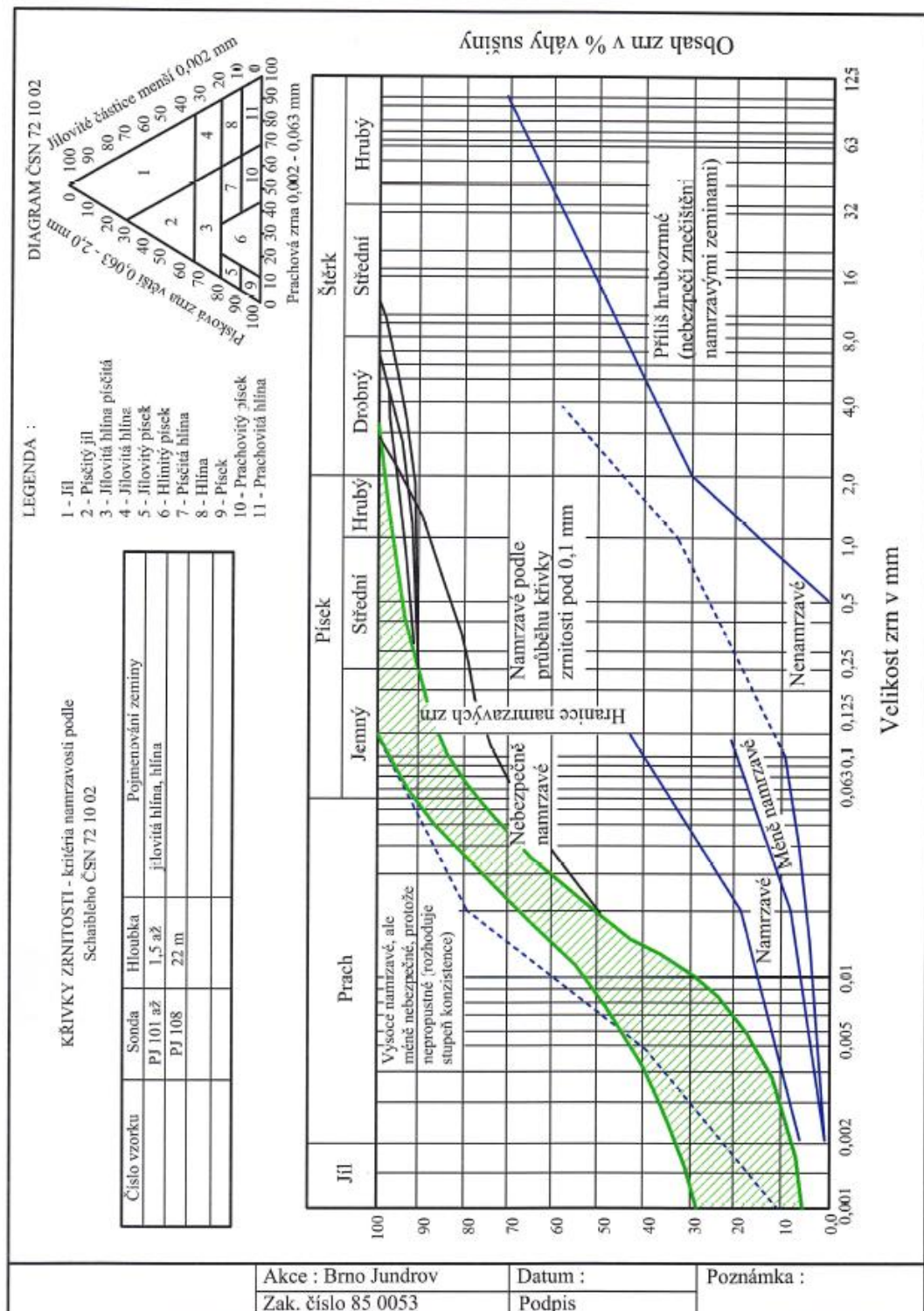
Granulometrické složení těchto sprašových souvrství je poměrně dosti podobné a jen místy vykazuje menší výkyvy, více obr. 19, 20, 21.



Obr. 19 Křivka zrnitosti spraše – lokalita Žabovřesky



Obr. 20 Křivka zrnitosti spraše – lokalita Medlánky



Obr. 21 Křivka zrnitosti spraše – lokalita Jundrov

3.3.1.2 Obsah uhličitanu vápenatého CaCO_3

Obsah CaCO_3 byl zjištěn ve spraších Brněnské kotliny v celkovém průměrném množství 8 – 15 %. Ztrátou (vyplavením) CaCO_3 se mění **pravé karbonátové spraše na bez karbonátové sprašové hlíny**.

Tento CaCO_3 je ve spraších obsažen v několika formách a to jako :

- jemně rozptýlený ve sprašové hmotě ve formě mikrokystalů kalcitu
- jemné bílé žilky (pseudomycelia), kalcit
- jemné práškové povlaky na trhlinách jako lublinit
- pevné deskovité povlaky na puklinách spraší nebo na stěnách mrazových klínů a trhlin
- pevné konkrce různých kulovitých, ledvinitých a podobných tvarů

Obsah karbonátů ve spraších má velký význam, ale jejich vznik a vzájemná závislost nejsou dosud dostatečně vysvětlené. Všeobecně se uvádí, že různé druhy, formy a chemické složení karbonátů ve spraších ovlivňuje jejich vlastnosti.

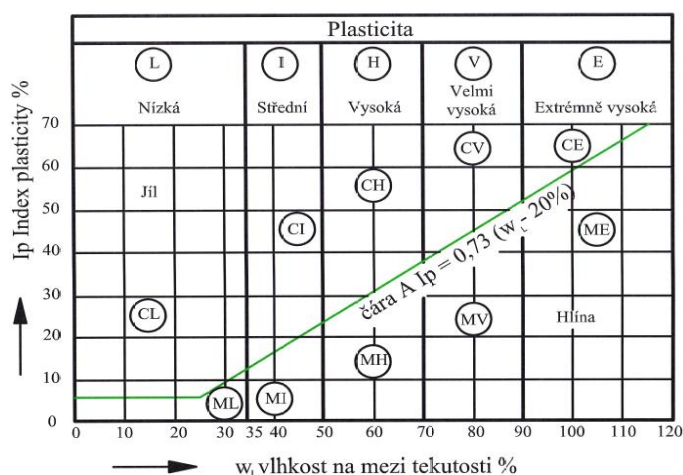
3.3.1.3 Obsah humusu

Obsah humusu ve spraších se nalézá v rozmezí 0,1 – 0,4 %. Nejméně humusu je zpravidla na bázi sprašových vrstev a směrem nahoru se mírně zvyšuje. Ve fosilních půdách je nejvíce humusu obsaženo v černozemích a to v rozmezí 1,8 – 2,3 %, méně pak v hnědozemích v hodnotách 0,3 – 0,6 %, v červozemích je pak obsah humusu jen 0,1 – 0,2 % (J. Pelíšek, 1983).

3.3.1.4 Plasticita ve smyslu geotechniky

Podle diagramu plasticity, tj. podle vztahu meze tekutosti w_L a čísla plasticity I_p sprašové sedimenty z oblasti Brněnské kotliny jsou středně plastické viz. obr. 22

Diagram plasticity pro jemnozrnné zeminy



Obr. 22 Diagram plasticity (pro částice <0,5 mm)

V tabulce č.3 jsou uvedeny hodnoty mezi tekutosti, plasticity a indexu plasticity z lokalit Brněnské kotliny :

Tab. 3 Hodnoty mezi tekutosti, plasticity a indexu plasticity z lokalit Brněnské kotliny

Lokalita	w_L	w_p	I_p
Žabovřesky	34 - 53 (66)	17 - 24	13 - 26 (40)
Jundrov	33 - 50	18 - 26	13 - 27
Medlánky	32 - 47	20 - 29	10.26

3.3.1.5 Přirozená vlhkost w_n

Vlhkost spraší w_n je funkcí více faktorů, jako např. specifického povrchu zrn a jejich schopnosti fyzikálně vázat vodu, hloubky podzemní vody, množství srážek, charakteru, sklonu povrchu atd. Spraše mají zpravidla nižší průměrnou vlhkost než jiné soudržné zeminy. Dle **Lysenka (1972)** se kapilární vztlakovost spraše pohybuje od 1,5 – 3,6 m. Hodnoty, které charakterizují přirozenou vlhkost spraší Brněnské kotliny, jsou uvedeny v tab. 4.

Tab. 4 Hodnoty charakterizující přirozenou vlhkost spraší Brněnské kotliny

Lokalita	Žabovřesky	Jundrov	Medlánky
průměrná (%)	17,9	19,5	19,5
minimální (%)	13,1	12,4	13,5
maximální (%)	21,3	22,9	24,5

3.3.1.6 Číslo konzistence I_C

Číslo konzistence vyjadřuje poměr podílu vlhkosti na mezi tekutosti w_L a přirozené vlhkosti w_n k číslu plasticity I_p , platí tedy vzorec :

(20)

$$I_C = \frac{w_L - w_n}{I_p}$$

Čísla konzistence se pohybují v hodnotách kolem 1,0 a výše, lze tedy odvodit, že konzistence spraší Brněnské kotliny je převážně pevná.

3.3.1.7 *Stupeň nasycení S_r*

Stupeň nasycení neboli saturace horniny vodou je poměr objemu vody v pórech k celkovému objemu pórů.

Jedná se o bezrozměrné číslo a udává se v procentech nebo prostým číslem. Všeobecně se udává, že ve spraších bývá nižší než v jiných typech soudržných zemín s podobnými geologickými podmínkami (pokud ovšem nedojde k prosycení vodou uměle do zeminy zavlečenou). Hodnoty stupně nasycení v lokalitě Brněnské kotliny se pohybují od 63 – 85%, lze tedy z tohoto usuzovat, že sprašová zemina je schopna přijímat značné množství vody.

3.3.1.8 *Hustota pevných částic ρ_s*

Hodnoty hustoty pevných částic uvádí tabulka 5. Průměrné hodnoty hustoty pevných částic nevykazují podstatnější rozdíly.

Tab. 5 Hodnoty hustoty pevných částic

Lokalita	Žabovřesky	Jundrov	Medlánky
průměrná ρ_s (kgm ⁻³)	2 771	2 774	2 740
minimální ρ_s (kgm ⁻³)	2 724	2 755	2 729
maximální ρ_s (kgm ⁻³)	2 858	2 786	2 760

3.3.1.9 *Hustota suché zeminy ρ_d*

Hustota suché zeminy se určí vysušením do stálé hmotnosti při 105°C. Platí vztah

(21)

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + 0,01 w}$$

ρ ... hustota zeminy

w ... vlhkost zeminy

Přehled o hodnotách hustoty suché zeminy podává tabulka 6.

Tab. 6 Hustota suché zeminy

Lokalita	Žabovřesky	Jundrov	Medlánky
průměrná ρ_d (kgm ⁻³)	1 650	1 606	1 583
minimální ρ_d (kgm ⁻³)	1 513	1 515	1 411
maximální ρ_d (kgm ⁻³)	1 852	1 736	1 731

3.3.1.10 Pórovitost n

Mezi nejdůležitější vlastnosti spraší patří také pórovitost. Podmiňují ji jednak obyčejné póry, které se mezi zrna zeminy vytvářejí a jednak póry tabulárního tvaru (makropóry). **Abelev (1948)** a někteří jiní pracovníci připisují makropórovitosti velký význam v procesu sedání spraší. Naproti tomu **Danisov (1953)**, **Larinov a kolektiv (1959)** a další, pokládají vliv makropórovitosti na prosedavost spraší za nepatrný.

Protože byla v makropórovitosti značná nejednotnost, **Minikov a Stoilov (1965)** zavedli metrickou klasifikaci pórů :

Mikropóry ... póry < než 0,1 mm
Makropóry ... póry od 0,1 – 0,2 mm
Chodbičky ... 2,0 – 20,0 mm
Sufózní dutiny ... od 20,0 mm

Jak je uvedeno v úvodu odstavce, pórovitost patří k nejdůležitějším vlastnostem spraší, a proto bych ráda uvedla klasifikaci makropórů dle **J. Šajgalíka (1977)** a to na základě geneze, časového faktoru a podle složení.

J. Šajgalík rozlišuje následující skupiny makropórů :

Tab. 7 skupiny makropórů dle J. Šajgalíka – **rozdělení dle geneze**

Typ makropóru	Způsob vzniku
Dle Geneze lze rozlišit	
Fytogenní	vznik v místě shnilých kořenů, stébel, listů a kořenů jednoročních travin
Koagulačně - krystalizační	vznikají při agregaci částecek pod vlivem koagulačního krystalizačního procesu
Pedogenní	tvoří se při vzniku struktur půd tak, že vyplňují prostory mezi původními agregáty
Plynogenní	vznikají při vysychání sedimentu na místech uzavřených vzduchových bublin
Sufozní	vznikají při mechanickém rozrušování anebo při chemickém vyluhování částic ze spraší

Tab. 7 skupiny makropórů dle J. Šajgalíka – **rozdělení dle časového faktoru**

Typ makropóru	Způsob vzniku
Dle časového faktoru	
Primární	tvoří se při vzniku sedimentu a zesprašování
Sekundární	tvoří se v diagenetickém a epigenetickém stádiu sprašové litogeneze

Tab. 8 skupiny makropórů dle J. Šajgalíka – **rozdělení dle složení**

Typ makropóru	Způsob vzniku
Dle složení	
Nestálé makropóry v nestálých strukturách	jedná se o prvotní fytogenní makropóry
Nestálé makropóry ve stálých strukturách	do této skupiny patří pedogenní a plynogenní makropóry
Slabě ustálené primární a sekundární makropóry	
Stálé primární a sekundární makropóry různého původu	

Všeobecně se udává, že pórovitost spraší v oblastech euroasijského kontinentu se pohybuje v rozpětí od 38% - 59%.

V lokalitách Brněnského masivu hodnoty pórovitosti udává tab. 9

Tab. 9 hodnoty pórovitosti v lokalitách Brněnského masivu

Lokalita	Žabovřesky	Jundrov	Medlánky
průměrná n (%)	40,2	46,8	42
minimální n (%)	35,3	36,1	35
maximální n (%)	47,6	50,6	45

3.3.2 Mechanické vlastnosti

3.3.2.1 Prosedavost

K označení redukce objemu zeminy vlivem jejího provlhčení a působení napětí se v inženýrské geologii a geotechnice používají pojmy :

Kolaps
Prosedavost
Ztekucení
Sufóze

Kolaps lze definovat jako náhlé porušení struktury, vyvolané zvýšením stupně nasycení zeminy, změnami tlaku vody v pórech zeminy anebo zvýšením smykového napětí, popřípadě kombinací uvedených faktorů (Zurr, Wisseman, 1973).

Prosedavost je vázána v zásadě pouze na spraše a sprašovitě zeminy. Definujeme ji jako schopnost zemin náhle redukovat svůj objem v důsledku provlhčení a svislého přetížení.

Ztekucení je proces, při kterém se nesoudržné zeminy (jemné písky) vlivem hydrodynamického tlaku tečením dostávají do pohybu a redukují svůj objem.

Sufóze je charakterizována jako vyplavování jemnějších částic zeminy a je rovněž doprovázena náhlou redukcí objemu.

Prosedavosti, jako jedné z hlavních vlastností spraší, která ovlivňuje významně základové poměry, bude věnován další text disertační práce.

A1 Určení prosedavosti

ČSN 73 1001 (Základová půda pod plošnými základy), považuje za prosedavé jemnozrnné zeminy, vyskytuje-li se některá z těchto podmínek :

- ❖ Zemina je eolického původu
- ❖ Obsah prachové složky $> 60 \%$ hmotnosti suché zeminy
- ❖ Obsah jílové vložky $< 15 \%$ hmotnosti suché zeminy
- ❖ Stupeň nasycení $S_r < 0,7$, mez tekutosti $w_L < 32 \%$
- ❖ Jemnozrnné zeminy jsou náchylné k prosedání, když jejich pórovitost $n > 40 \%$ a současně i jejich vlhkost $w < 13 \%$.

U náchylných zemin se prosedavost zjišťuje zkouškou neporušeného vzorku v edometru. Prosedavé jsou zeminy, u kterých je prosednutí po nasycení větší než 1% výšky vzorku před nasycením při konzolidačním tlaku, odpovídajícímu součtu tíhy nadloží a průměrného přetížení od stavby.

Podmínky a faktory prosedavosti spraší

Dle **Lysenka (1972)** se jedná o faktory :

Vnitřní faktory – tyto souvisejí s faciálně-genetickými podmínkami vývoje a s celkovou vnitřní stavbou spraše (geneze, geomorfologická pozice, struktura, vlhkost, apod.).

Vnější faktory – jejich existence přímo nesouvisí se sprašemi (velikost napětí od přitížení, chemizmus infiltrované vody, směr proudění a dynamika podzemní vody atp.)

❖ Vnitřní faktory

Vznik spraší je zpravidla geneticky složitý a eolická sedimentace představuje jen konečný proces.

Geneze

Prosedavostí se vyznačují hlavně eolické spraše, které sedimentovaly v období suchého klimatu. Existují však prosedavé spraše, jejichž původ není jednoznačně eolický, schopnost prosedat získaly až v diagenetickém procesu vývoje. Podle **Lysenka (1972)** nelze jednoznačně vázat prosedavost spraší na jejich genezi. Naproti tomu někteří autoři (**Audrie a Bouquin, 1976**) přiklání v tomto směru důležitost změnám hladiny vody při ukládání. Nakypření pak rozhodne o tom, zda při přístupu vody nastane prosednutí tělesa zeminy nebo přímo kolaps.

Geomorfologická pozice

Spraším, vyskytujícím se v oblasti rozvodí a vyšších teras, se přisuzuje větší náchylnost k prosedání než spraším z oblasti údolí. V horských oblastech schopnost spraší prosedat klesá se stoupající nadmořskou výškou. Významným faktorem je i sklon svahu a s tím i související poměry odtékání srážkových vod.

Mocnost a hloubka uložení sprašového souvrství

Prosedavé spraše jsou zpravidla vázané na vrchní část souvrství o mocnosti kolem 5m. Nižší vrstvy, mající většinou vyšší vlhkost a vyšší obsah jílovitých součástí, bývají méně náchylné k prosedání. Prosedavé spraše se vyskytují zpravidla ve větších mocnostech.

Obsah rozpustných solí

Z experimentů některých autorů se ukázalo, že vyluhované množství soli ze vzorků spraší v procesu prosedání je bezvýznamné.

Chemické strukturní vazby skeletu zrn jsou většinou ve formě hůře rozpustných uhličitánů s dvojmocnými kationty Ca a Mg. Podle **Egriho (1971)** při zkoušce prosedavosti v prvních deseti minutách proběhne 90 % deformací zkoušeného vzorku, ale vyloučí se jen 4 – 5 % soli, čímž se sice oslabí strukturní soudržnost, ale ne na tolik aby došlo k vyvolání prosedavosti.

Zrnitost

Vazby mezi prachovitými částicemi jsou vždy menší než mezi jílovitými mikroagregáty a lehčím způsobem se rozrušují působením vody než vazby mezi jílovými frakcemi zrn. Vysoký obsah prachovitých zrn podmiňuje prosedavost. Naproti tomu výskyt jílovitých a písčitých zrn brzdí proces prosedání. **Audrie a Bouquin (1976)** udávají, že předpoklady některých autorů, že jílovité frakce zprostředkovávají vazby mezi prachovitými částicemi, jsou mylné. Jílovité částice jsou rozptýleny mezi nimi, ale nejsou soustředěny na kontaktech mezi zrny.

Pórovitost

Pórovitost, jak již bylo zmíněno dříve, je jedním z hlavních faktorů, který způsobuje prosedání. Proces prosedání se může vyvíjet ve spraších s vyšší pórovitostí (nad 40 %). Po prosednutí se pórovitost snižuje zpravidla o 5-10 % (**Lysenko, 1972**). Dále dle Lysenka se prosedání děje na úkor pórů menších než 0,02 mm, tj. mikropórů. Velmi pórovité spraše vykazují $e = 1,05$ ($n = 51$ %), tedy mnohem větší než skladba volně uložených koulí ($e = 0,89$, $n = 47$ %). Toto je způsobeno cementačními vazbami mezi jemnými částicemi a uhličitánem vápenatým, i alkalickými sulfáty, i organickými látkami. Ke strátě strukturní soudržnosti postačí proto jen, oslabí-li voda 7 – 12 % skeletu (S.J. Sweeney, I.J. Smatley, 1988 : Occurrence and geotechnical properties of loess in Canada, Eng. Geology, 1978).

Přírozená vlhkost zeminy

Všeobecně se uvádí, že prosedavé spraše se vyznačují malou přírozenou vlhkostí (okolo 10 %). Se zvyšováním přírozené vlhkosti se hodnota prosedavosti zmenšuje. V lokalitách Brněnské kotliny (Žabovřesky, Jundrov, Medlánky), jsme se setkali však s prosedavými sprašemi, jejichž přírozená vlhkost byla kolem 20 %.

❖ Vnější faktory

Smykové napětí

Jako faktor prosedavosti se aktivuje v okamžiku překročení pevnosti soudržnosti vazeb mezi zrny, když způsobí zhroucení oslabené struktury a vyvolá vlastní prosedání. Prosednutí při něm nastane v důsledku kontraktance spraší v momentu porušení strukturních vazeb mezi částicemi skeletu.

Hladina podzemní vody

Spraše, které se vyskytují v dosahu kapilární vzlinavosti z hladiny podzemní vody, jsou prakticky neprosedavé. Hladinu vody jako faktor je potřeba posuzovat z hlediska geologického vývoje hladiny a spraše. Prosedavost se může projevit jen ve spraších, které jsou uloženy 1,5 – 3,0 m (výška kapilární vzlinavosti) nad hladinou podzemní vody.

Chemismus vody

Jako jeden z faktorů způsobující prosedavost byl zjištěn velmi vzácně.

Infiltrační proudění

Tento faktor se uplatňuje zejména při hydrotechnických stavbách (kanály, hráze, kanalizace), kde je předpoklad vzniku plošné infiltrace do sedimentu náchylného na prosedání. Závislost prosedání na infiltračním přítoku je zpravidla lineární, což dokazuje **Mustafajev (1978)**.

Mechanismus procesu prosedání a zřícení struktury spraší (kolaps spraše)

Jak již bylo zmíněno v dřívějších kapitolách, prosedavost je společnou vlastností zemín s velkou pórovitostí, jenž póry nejsou vyplněny vodou. O spraších je známo, že kromě kapilárně vázané vody obsahují i vodu funikulární (L. Smolík, Pedologie, SNTL Praha 1957), což je termín označující pohyblivou kapilární vodu. Lze říci, že snadné pronikání této vody do zeminy zcela mění vztahy. Dále musí docházet k narušení cementačních vazeb mezi povrchy zemních částic. Nejvíce se spraším podobají sypaniny hnědouhelných výsypek.

Nejstarší představy o mechanismu prosedavosti jsou založeny **na rozpadu struktur rozpouštěním solí ve spraších**. Tento případ lze demonstrovat například v suchých a teplých klimatických pásmech, kdy některé spraše obsahují významné množství rozpustných solí, a to ve formě zejména CaSO_4 , které vytvářejí pevné mostíkové vazby mezi zrny spraše. Při nasycení zeminy vodou dojde k rozpuštění mostíků (respektive dojde k oslabení jejich pevnosti). Následným spolupůsobením a všesměrným napětím se mostíkové vazby rozpadají a dochází k prosedání (Lysenkov, 1972, Mavlanov 1948 a další autoři).

Dalších několik názorů vychází z modelu zhutňování spraší účinkem hmotnosti nadloží po ztrátě soudržnosti strukturních prvků nasycením. Strukturní vazby mezi zrny skeletu podmiňují hlavně kapilární menisky. Prosedání probíhá v podmínkách určité napjatosti, kterou kromě geostatického tlaku způsobuje i přitížení objekty. Při syčení zeminy vodou, se síly soudržnosti zmenšují a v daném okamžiku kdy je napětí v zemině větší než soudržnost mezi zrny, struktura se rozpadne. Popsaný proces probíhá pouze ve spraších, které jsou makropórovité. Například **Abelev (1968)**, **Michejev (1962)** uvádějí že prosedání je výsledkem složitých procesů, které probíhají v nasycené vrstvě a nelze je hodnotit ve spojitosti s vlhkostí a přítomností makropórů, ale také s ulehlostí.

V literatuře však byly předloženy důkazy, že makropóry se zachovaly prakticky neporušené i po prosednutí a že prosedání zemín je vázané i na zeminy bez makropórů. Lze prokázat však značný význam mikropórů při zhutnění.

Další skupinou, jenž má vliv na prosedavost, je vliv infiltrace vody na přesun strukturálních prvků, tj. zrn na hutnější formu.

Mustafajev (1978) uvádí, že na počátku infiltrace vody do zeminy se zvyšuje nejprve obsah **vázané vody**, potom se vlhkost začne hromadit jako kapilární vlhkost a její zvyšování má pak za následek filtrační prodělení.

Mustafajev rozděluje prosedavé zeminy na dvě skupiny :

- Prosedavé zeminy jejichž **strukturní pevnost je dána lehce rozpustnými sloučeninami a koloidní hmotou** nestálou při styku s vodou.

- Spráše, jejichž **strukturní vazby vznikly v procesu krystalizace těžších rozpustných solí anebo jsou podmíněny přítomností stabilnějších koloidních částic ve strukturních prvcích zeminy ve vodě**. Příčinou prosedavosti této skupiny spráší může být jen plošné infiltrační prodělení.

Další prezentované názory na mechanismus prosedavosti jsou založené na čistě mechanickém přístupu. **Kane (1973)** a další autoři, uvádějí, že příčinou prosedání je buď překročení smykové pevnosti vazby strukturních prvků vlivem zatížení anebo snížením jejich strukturní pevnosti navlhčením. Jako prvek soudržnosti zrn se předpokládá jílovitá hmota.

Proces samotného prosedání je možné rozdělit do 3 fází :

1. Fáze = fáze destrukce struktury. Zde se mohou uplatnit buď chemické (rozpuštění), fyzikální (rozpad meniskových a kapilárních sil) anebo mechanické (smykové síly na stmelěných kontaktech) faktory. V této fázi zpravidla nevzniká destrukce objektů. Dochází zpravidla k oslabování strukturních vazeb.

2. Fáze = fáze zhutnění. V této fázi se uplatňuje hlavně gravitace, infiltrace a smykové síly. Dochází k maximální deformaci postiženého souvrství zeminy a toto vyvolá destrukci objektu.

3. Fáze = fáze dotvarování. Dotvarování spráší lze chápat jako postupnou změnu struktury při zatížení větším než asi 2/3 vnitřní pevnosti, např. při trvalém vyluhování uhličitánů z prosednutého souvrství, v důsledku čehož se prosedání neustále aktivuje. U této vazby ale zároveň dochází k obnově strukturních vazeb skeletu zeminy.

Závěrem lze říci, že rozhodující pro vznik procesu prosedání je třeba považovat první fázi.

Názorů na samotný proces prosedání, jeho vznik, průběh, je nespočet. Např. **Abelev (1968)** prezentuje názor, že proces prosedání se může uskutečnit jen za určitých podmínek, které spolu vzájemně souvisí, jedná se o :

- *Faktor který má možnost narušit síly soudržnosti mezi částicemi skeletu zeminy*
- *Kypře uložení částic skeletu zeminy s přítomností makropórů a mikropórů*
- *Smykové síly působící na kontaktech částic musí být větší než strukturní pevnost zeminy po promočení*

Podle **Rumpfa (1958)** lze uvažovat tyto fyzikální vazby :

- kapilární
- pomocí jílového tmelu
- krystalizační

Kapilární vazby

způsobuje tekutina, která částečně vyplňuje póry zeminy a je volně pohyblivá. Vytváří mezi zrny tekutinové mostíky. Kapilární podtlak a povrchové napětí vytvářejí přitažlivou sílu mezi zrny (kapilární adhezní síly). Jestliže tekutina zcela obalí zrna (tj. stupeň nasycení je 100%) pevné látky, nastoupí místo konkávních povrchů konvexní povrch tekutiny a všechny adhezní kapilární síly vymizí. Na základě studia obsahu jílovitých frakcí, studia mikrostruktur spraší (Šajgalík, Modlitba, 1983) je připisován velký význam vazbám, které vytváří mezi zrny **jílová plazma**. Jílová hmota, zastoupená převážně montmorillonitem, vytváří poměrně pevnou tmelící hmotu, která je však vzhledem na svůj fyzikálně – chemický charakter velmi citlivá na přítomnost vody. Je nejasné, zda zeminy s takovým obsahem jílovitých částic smíme ještě pokládat za spraše. Spraš jako aleurit nemá obsahovat jíl v takové míře, že by se jimi potlačoval vliv vazeb mezi prachovitými částicemi.

Krystalizační vazby

vznikají krystalizací rozpustných látek v pórové tekutině. Krystalizací se vytváří kontaktní tmel mezi zrny. Předpokládá se vytvoření kontaktního tmelu na místech dotyku zrn v podobě krystalizačních mostíků. Tento kontaktní tmel tvoří kalcit, dolomit nebo aragonit. Vytváření této formy vazeb lze předpokládat zejména v zónách kolísání hladiny podzemní vody v okolí organogenních makropórů.

Uvedený model strukturních vazeb umožňuje vysvětlit chování sprašových zemin ve styku s vodou. V první fázi prosedání (fáze destrukce struktury) zvýšení stupně nasycení spraší způsobí ztrátu kapilárních adhezních sil a značnou mírou sníží tmelící schopnost jílové plazmy a krystalizačních vazeb.

Ve fázi zhuštění vznikne v důsledku všesměrného napětí vyvolaného geostatickým tlakem a přitížením nebo hydrodynamickým proudící vody, ale i gravitací, přesun „rozvolněných „ zrn, čímž se vytvoří stabilnější hutnější struktura. Při přesunu zrn se neuplatňuje jen vnější napětí, ale i vliv proudící vody, vyvolávající sufózní jevy ve spraších, které prosedání ještě zvýrazňují.

➤ **Kritéria prosedavosti**

Na posouzení schopnosti spraší prosedat vlivem provlhčení a zatížení existuje několik přímých a nepřímých kritérií. Přímá kritéria vycházejí z laboratorních zkoušek deformačních charakteristik spraší. Naproti tomu nepřímá kritéria vycházejí hlavně z hodnocení ulehlosti v přirozeném uložení, jiná kritéria vycházejí z geologické pozice a geologických popisných vlastností sedimentu (barvy, přítomnosti kongrecí, mocnosti vrstvy, hladiny podzemní vody, atd.). Hodnoty vycházející z nepřímých kritérií je potřeba brát v potaz orientačně.

Přímá kritéria

Přímá kritéria se opírají o výsledky z **edometrických zkoušek**.

Koeficient prosedavosti I_{mp} (I_m)

Tento koeficient udává, o kolik procent se stačí vrstva určité mocnosti po nasycení vodou při daném svislém napětí. Prosedavé spraše jsou ty, jejichž hodnota $I_{mp} > 1 \%$ při svislém napětí odpovídajícím hmotnosti nadloží a přitížení. K dispozici máme výsledky koeficientu prosedavosti z lokality Jundrov, kde v pěti případech byla zjištěna hodnota $I_{mp} = 0$, ale v realitě byly naměřeny poklesy základů až o 250 mm. Z toho vyplývá nutnost jisté opatrnosti při posuzování prosedavosti pomocí tohoto koeficientu. Je pravděpodobné, že nevěrohodnost edometrických zkoušek při stanovení I_{mp} je pravděpodobně způsobena tím, že v edometru není možná deformace zeminy do stran (úhlové přetvoření – zkos).

Modul prosedavosti M_{pr}

Tento ukazatel definuje svislou deformaci (v mm) sprašové vrstvy mocné 1,0 m při daném napětí. Lze říci, že spraše jsou prosedavé při $M_{pr} > 10$.

Nepřímá kritéria

Všeobecně se uvádí, že světle žluté až žluté spraše, poměrně suché, pevné konzistence, bez shluků uhličitánových kongrecí, s převahou prachovité frakce s minimálním obsahem jílovité a písčité frakce, makropórovité, nacházející se mimo dosah kapilární vztlakovosti je možné s jistou pravděpodobností označit za prosedavé.

Dále za prosedavé můžeme označit spraše, když :

- a) *Obsah jílovité frakce je menší než 15 %*
- b) *Objemová hmotnost suché zeminy je menší než 1 600 Kg/m³*
- c) *Přirozená vlhkost je nižší než 12 %*
- d) *Stupeň nasycení je menší než 60 %*
- e) *Pórovitost je větší než 45 %*

ČSN 73 1001 zavádí podobná kritéria související s prosedáním jemnozrnných zemin. Jedná se o následující body :

- a) Zemina je eolického původu
- b) Obsah prachové složky je větší než 60 % hmotnosti suché zeminy
- c) Obsah jílovité složky je menší než 15 % hmotnosti suché zeminy
- d) Stupeň nasycení S_r je menší než 0,7 %; mez tekutosti $w_L < 32$ %
- e) Pórovitost n je větší než 40 % a současně vlhkost w je menší 13 %

Maslov, Kotov (1971) rozlišují na základě hodnot pórovitosti 5 stupňů prosedavosti spraší viz tab. 10.

Tab. 10 Závislost stupně prosedavosti spraší podle pórovitosti

Stupeň prosedavosti spraší	Pórovitost n (%)	Modul prosedavosti M_{pr} (mm . m ⁻¹)
Neprosedavé	< 40	0
Slabě prosedavé	40 - 45	10
Prosedavé	45 - 50	50
Silně prosedavé	50 - 55	100
Velmi silně prosedavé	> 55	> 100

Dle výsledků zemin, podrobených zkouškám prosedavosti, získaných z lokalit Brněnské kotliny, můžeme zeminy v lokalitách Žabovřesky, Jundrov označit za prosedavé až silně prosedavé, spraše z oblasti Medlánky za slabě prosedavé.

Nepřímá kritéria lze vyjádřit empirickými vztahy a některými dalšími fyzikálními vlastnostmi. ČSN 73 1001 jako nepřímé kritérium prosedavosti uvádí vztah

(22)

$$\frac{e - \bar{e}_L}{1 + e} \geq -0,1$$

e ... číslo pórovitosti zeminy s přirozenou strukturou

$\bar{e}_L$... číslo pórovitosti zeminy při vlhkosti na mezi tekutosti podle Vasiljeva

Při splnění nerovnosti lze očekávat, že spraš nebude prosedavá.

(23)

$$\bar{e}_L = \frac{\bar{w}_L}{100} \cdot \frac{\rho_S}{\rho_N}$$

$\bar{w}_L$... vlhkost na mezi tekutosti podle Vasiljeva v %

ρ_S ... hustota pevných částic

ρ_N ... objemová hmotnost přirozeně vlhké zeminy

V dalším textu zmíním několik empirických vztahů, které jsou prezentovány ve světové literatuře.

Maslov, Kotov (1971) doporučují hodnotu koeficientu přirozené ulehlosti

(24)

$$\frac{n - n_p}{n_p} = \beta$$

n ... přirozená pórovitost zeminy v %

n_p ... pórovitost zeminy v %, ekvivaletní k danému svislému zatížení

Při $\beta = 0$ bude zemina v rovnovážném stavu ($n = n_p$).

Při $\beta > 0$ je zemina prosedavá a při $\beta < 0$ má zemina tzv. deficit pórovitosti a má sklon bobtnat.

Dalším vztahem, který rozlišuje zeminy na prosedavé a neprosedavé je například vztah prezentovaný Fedou.

Feda (1977) pokládá za prosedavé ty spraše, které mají hodnotu $K_L > 0,85$. Hodnota K_L je definována vztahem

(25)

$$K_L = \frac{\frac{w_N}{S_r} - w_p}{I_p}$$

Kde

w_N ... přirozená vlhkost v %

S_r ... stupeň nasycení zeminy v přirozeném uložení v %

w_p ... vlhkost na mezi plasticity v %

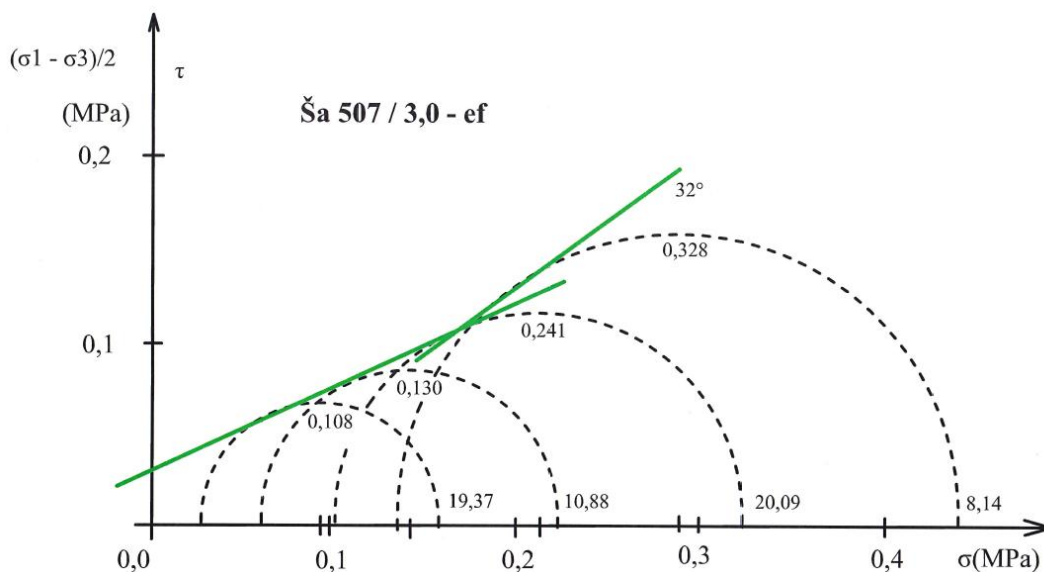
I_p ... číslo plasticity v %

A. Paseka (1993) studoval objemové změny od zkосу při níž se pevnost zeminy náhle (relativně) zmenší a teprve při větších zkosech se začne opět zvětšovat. Toto chování nebylo předtím dostatečně objasněno a jeho neznalost vedla (a může i v budoucnu vést) k neočekávaným poruchám staveb. Z uvedeného důvodu ve své práci podrobněji zmíním dosažené výsledky jeho šetření.

Většina výzkumů prosedavosti spraší je založena na zkouškách provedených edometrickým přístrojem. Ukázalo se však, že pro studium tohoto jevu je důležité použití tříosého přístroje. Příklad náhlého zřícení struktury spraší byl studován pomocí trojosých zkoušek na lokalitě Brno – Žabovřesky, kde základovou půdu pětipodlažních budov tvoří prosedavé sprašové sedimenty. Byly zde provedeny zkoušky typu CIUP, a to jak při přirozeném stupni nasycení, tak i po nasycení vzorku.

Z provedených zkoušek CIUP vyplývá, že chování těchto zemin při nasycení vodou je takové, že v prvních okamžicích proniká voda do zeminy, aniž by ovlivňovala její pevnost.

Teprve když se zvýší stupeň nasycení nad 0,7 a vlhkost dosáhne kolem 24 %, ztrácí se kohezni vazby (cementační, uhličitane vápenatým) mezi pevnějšími prachovitými částicemi a zemina pod svislým tlakem sedá. Avšak zvýšený obsah vody v pórech brání konzolidaci a vyvíjí se značný tlak vody v pórech. Teprve po delší době drénováním zemina konzoliduje. Čára pevnosti v Mohrově zobrazení je tedy na počátku v malém sklonu a teprve od $\sigma = 0,12$ až $0,15$ MPa a začíná stoupat, viz. obr. 23.



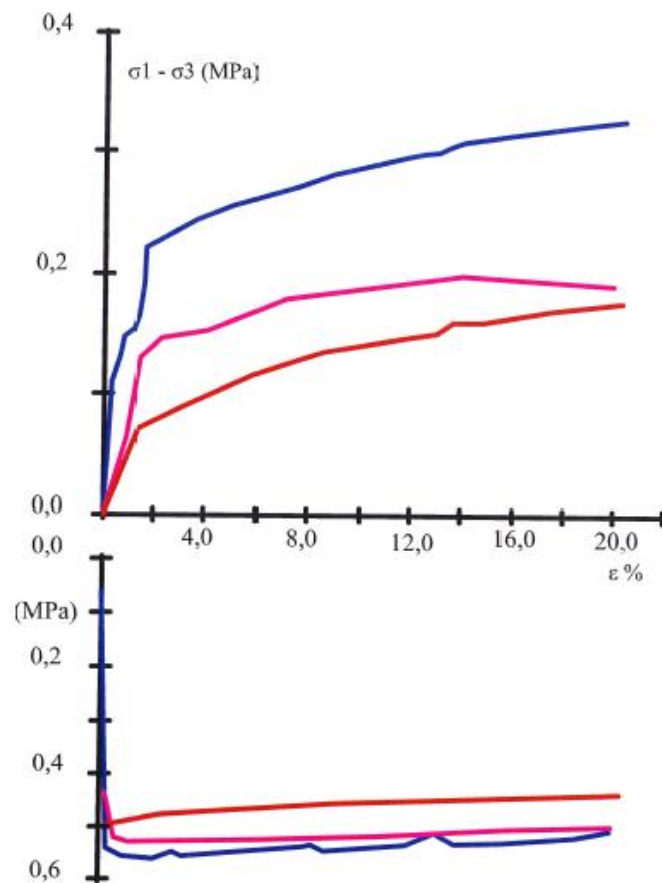
Obr. 23 Mohrův diagram v efektivních napětích, zkouška CIUP

Při cementačních vazbách uhličitane vápenatým bude patrně proces nasycení relativně rychleji předbíhat proces změknutí. Naopak při cementaci jílovitými částicemi bude patrně stupeň nasycení při zhroucení zeminy menší.

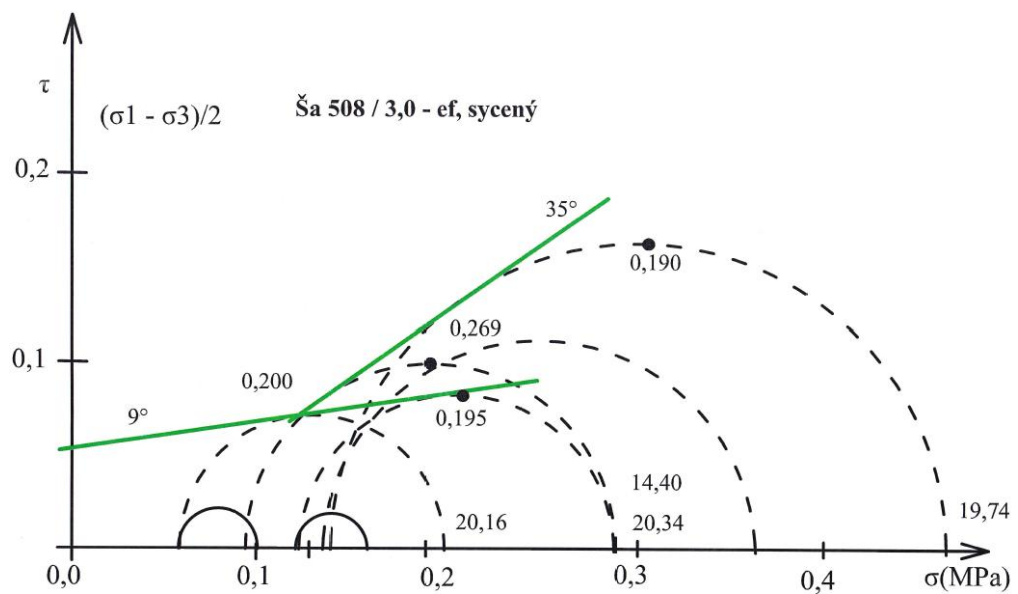
Při tlacích větších než asi 0,15 MPa se skelet zeminy vlivem většího tlaku zhroutl již při malém stupni nasycení a zemina tedy nemůže vykazat větší tlaky v pórech.

Ve smyslu předchozích úvah byl učiněn pokus charakterizovat účinky kolapsu na postupný smykový odpor. Vzhledem k časové náročnosti a finanční nákladnosti zkoušek to bylo uskutečněno tak, že se jedna skupina vzorků napřed nasýtila a pak teprve namáhala smykem, druhá skupina se v přirozeném stavu namáhala smykem. Sycení jednoho zkušebního tělíska probíhalo cca 7 až 12 dní.

Nejprve pojednám o předsycených vzorcích zemín. Na obr. 24 jsou znázorněné zkušební diagramy. Mohrovo znázornění je pak v detailu na obr. 25. Ve vrcholech Mohrových kružnic je připsaná pórovitost n .



Obr. 24 Pracovní diagram a tlak vody v pórech



Obr. 25 Diagram v efektivních a totálních napětích

Je pozoruhodné, že předsycení vzorku (při všestranném stejném σ_3) vyvolalo jen velmi malé zhroucení struktury, kdežto hlavní podíl zhroucení nastal po uplatnění smykového namáhání. Tím by snad bylo možné vysvětlit, proč selhává kritérium prosedavosti založené na oedometrických zkouškách. Za povšimnutí snad stojí, že vzorek s největším plášťovým tlakem (0,65 MPa, obr. 24) vykazuje při dostoupení pevnosti již první znaky přechodu od vláčného do křehkého stavu, neboť se zde projevují náznaky vzniku tenké kluzné plochy.

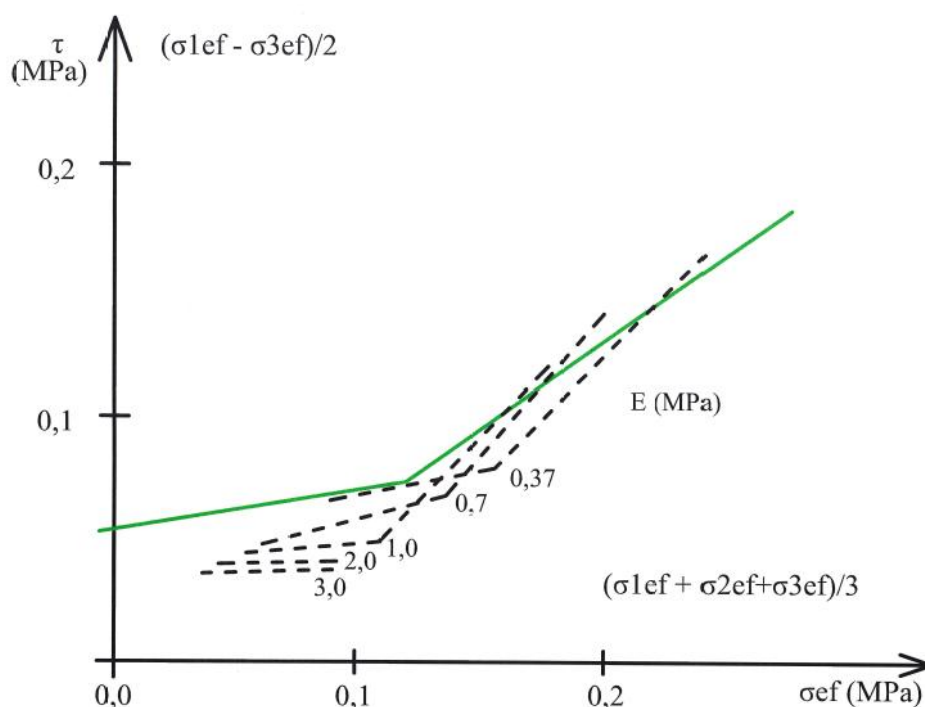
Většina tříosých zkoušek spraší vykazuje, že hranice mezi křehkým a vláčným chováním je při plášťovém tlaku kolem asi 0,1 MPa. Ale i křehkému chování předchází oblast zmenšení objemu v důsledku zvětšení σ_1 a to vede ke zmenšení objemu a zvětšení tlaku vody v pórech. Tyto jevy vnášejí do rozborů zkoušek komplikace, které v oblasti zkoušení nakypřených jemnozrnných zemin bývají různě a někdy snad i nejasně vysvětlovány, např. odkaz na **Hvorslevovou teorii pevnosti**. Ale respektujeme přitom i tvrzení, že u spraší vzhledem k jejich struktuře, tolik odlišné od písků, nelze poznatky o těchto rozdílných látkách slučovat. Tyto rozdíly se projeví právě při cílevědomě řízených zkouškách, při nichž se vhodně rozeznává vliv zvodnění od vlivu smykového namáhání.

Modul přetvárnosti E stanovený neodvodněnými tříosými zkouškami byl vypočten pro lokalitu Žabovřesky :

(26)

$$E = \frac{\Delta\sigma_1^{ef} - 2\nu\Delta\sigma_3^{ef}}{\Delta\varepsilon_1} \cdot 100$$

Změna modulu E (MPa) je pro uvedenou lokalitu znázorněna na obr. 26



Obr. 26 Modul deformace (E) stanovený triaxiální zkouškou

Do Mohrova zobrazení vkládáme isolinie E, tento způsob zobrazení je velmi vhodný a dovoluje použít Mohrova zobrazení i k znázornění proměnlivosti přetvárných vlastností. Zároveň je tam možné zakreslit stopy napjatosti při různých zkouškách.

Z uvedeného obrázku je patrné, jak se E mění s měnícím se stavem napjatosti. S rostoucí intenzitou tlakového namáhání a to do 0,08 až 0,11 MPa zůstává přibližně konstantní, při dalším zvyšování tlakového namáhání se pak E zvětšuje. Podobně se E chová při zvyšující se intenzitě smykového namáhání $(\sigma_1^{ef} - \sigma_3^{ef})/2$, tj. nejprve je přibližně konstantní a při zvyšujícím se smykovém namáhání se pak naopak zmenšuje.

3.4 Závěrečné zhodnocení a doporučení při zakládání objektu na spraších

Z výše uvedených souvislostí, praktických znalostí lze říci, že zeminy s velkou pórovitostí tvoří skupinu látek, jimž je v současných geotechnických studiích věnována velká pozornost. Jak bylo již uvedeno v úvodu práce, zařazujeme do této skupiny zejména spraše, dále senzitivní jíly a některé ledovcové sedimenty. Z umělých sypanin přichází v úvahu materiály odkališť a výjimečně i některé hmoty ve stavebnictví.

Většina výzkumů prosedavosti spraší je založená na zkouškách provedených oedometrickým přístrojem. Ukázalo ze však (T. Audrie, L. Bouquier, 1976), že pro studium tohoto jevu je důležité použití tříosého přístroje. Jsou známé výsledky z lokality Brno část Žabovřesky, kde vyskytující se spraše byly podrobeny právě zkouškám v tříosém zařízení. Na vzorcích zemin byly provedeny zkušky typu CIUP a to jak v přirozeném stupni nasycení, tak i po umělém nasycení vodou.

Z provedených zkoušek CIUP vyplývá, že chování těchto zemin při syčení vodou je takové, že v prvních okamžicích proniká voda do zeminy, aniž by ovlivňovala její pevnost. Teprve až dojde ke zvýšení stupně nasycení a vlhkost dosáhne hodnoty kolem 24%, ztrácejí se kohezivní vazby mezi pevnějšími prachovitými částicemi a zemina pod svislým tlakem sedá. Avšak v této fázi již zvýšený obsah vody v pórech brání konzolidaci a vyvíjí značný tlak vody v pórech. Teprve po delší době drénování zemina konzoliduje. Při tlacích větších než asi 0,15 MPa se skelet zeminy vlivem většího tlaku zhroutí a to již při malém stupni nasycení a zemina tedy nemůže vykázat větší tlak vody v pórech. Jedním z publikovaných názorů je, že předsycení vzorku vyvolalo jen velmi malé zhroucení struktury, kdežto hlavní podíl zhroucení nastal po uplatnění smykového namáhání.

Tímto je možné objasnit, proč selhává kritérium prosedavosti založené na oedometrických zkouškách. Z provedených průzkumů např.

V lokalitě Žabovřesky a na základě zkušeností odborné veřejnosti lze vyvodit závěr, že navrhování staveb ve sprašových oblastech **musí respektovat následující pravidla**, neboť při jejich nedodržení může docházet u jemnozrnných zemin k prosedání s následnými poruchami objektů :

- *zemina je eolického původu*
- *obsah prachové složky je $> 60 \%$ hmotnosti suché zeminy*
- *stupeň nasycení S_r je $< 0,7$; mez tekutosti w_L je $< 50 \%$*
- *pórovitost $n > 40 \%$ a současně vlhkost $w < 20 \%$*
- *při projektech násypů nebo lehčích staveb na skloněných územích nevycházet z předpokladů, že nenasycená zemina na svahu nemůže být namáhána většími smykovými napětími, než jsou dána úhlem sklonu svahu α . A že tedy stupeň bezpečnosti svahu F je dán poměrem $\tan \varphi / \tan \alpha$, kde φ je úhel pevnosti zeminy. Zmenšující se objem při zkosu a kluzu, zvláště po navlhčení, dodává další energii k vývoji kluzových jevů*
- *provádět podrobný průzkum smykové pevnosti. Pokud by tento požadavek nebylo možné včas splnit, nepřipustit větší úhel smykového namáhání než 10°*
- *větší odkryté plochy sprašových zemin by měly být zřizovány se spádem min. 2% a chráněny málo propustným pokryvem po dobu výstavby. Zabezpečit je tak, aby nevznikla zamokřená místa. Vyvarovat se zřizování vodorovných ploch*
- *inženýrské sítě v objektu vedoucí vodu, uložit do kolektoru s řádným drenážním systémem*

V budoucnu bych se ráda dále zapojila do řešení uvedených otázek a to jak u zemin jílovitých, tak u spraší, jakmile se mně podaří zajistit finanční prostředky, které jsou tolik nezbytné pro provedení potřebných zkoušek a výpočtů s použitím MKP.

Následné problémy lze samozřejmě řešit i při zkoumání příčin poruch objektů na podkladě objednávky investora, ale bohužel i zde se ve své praxi setkávám s vlivem současné finanční krize a tím i s určitou neochotou stavebníka tyto zkoušky financovat.

4. PŘÍKLADY OBJEKTŮ POSTIŽENÝCH PORUCHAMI V DŮSLEDKU ZALOŽENÍ NA OBJEMOVĚ NESTÁLÝCH ZEMINÁCH. PŘÍLOHY JSOU ZPRACOVÁNY NA ZÁKLADĚ PODKLADŮ PANA DOC. ING. ANTONÍNA PASEKY, CSC.

4.1 Příklady poruch objektů založených na jílovité zemině

4.1.1 Bytová výstavba Brno – Lesná, ulice Jurkovičova a Loosova

4.1.1.1 Úvod

V Brně ve čtvrti Lesná, na ulicích Jurkovičova a Loosova začaly se objevovat poruchy budov již dva roky po jejich výstavbě, tj. v roce 1969. Poruchy budov se projevovaly trhlinami ve zdivu, průběh těchto trhlin byl převážně šikmý, méně pak svislý a vodorovný. Dále pak byly pozorovány utržené rohy budov a problematické zavírání oken a dveří. Poškozené budovy mají plošné založení na základových patkách a pasech. Jejich poloha je patrná z obr. č 27.

Níže uvádím soupis porušených objektů :

- Jurkovičova 2 – čtyřpodlažní budova cihelná, bodová
- Loosova 2 – 4 – osmipodlažní budova panelová, řadová
- okrskové centrum IV – Dukát, dvoupodlažní montovaný skelet
- Mateřská škola – dvoupodlažní budova
- Loosova 15 – 34 – rodinné domky řadové
- Kanalizační řad v ulicích Jurkovičova a Loosova
- Horkovod v ulicích Jurkovičova a Loosova

4.1.1.2 Přehled přírodních poměrů

Studované území náleží do Adamovské vrchoviny, která je podcelkem celku Dražanské vrchoviny patřící do podsoustavy Brněnské vrchoviny. Z užšího geomorfologického hlediska je zájmové území částí zcela zvláštního morfologického tvaru, tzv. Soběšického vyklenutí (J. Krejčí 1964). Jednotlivé kry Soběšického vyklenutí vděčí za svoji pozici tektonickým pochodům probíhajícím převážně po usazení bádenských sedimentů (písek, jíl). V detailu jsou porušeny mikrotektonikou. Uzávěry drobných, proti svahu prstovitě se zařezávajících erozních rýh, jsou vyplněny denudačními zbytky sedimentu lanzendorfské série badenu. Kvartérní pokryv je zastoupen převážně eolickými hlínami, přecházejícími místy do hlín deluviálních, případně smíšených pokryvů eolicko – deluviálních. Vzhledem k výrazným antropogenním zásahům (v minulých desetiletích zde bylo vojenské cvičiště a následně došlo k bytové výstavbě) je obtížné rozhodnout z vytěženého jádra, zda se jedná o zeminy autochtonní či přemístěné. Složitá geologická stavba je patrná z přehledných geologických řezů viz obr. 28.

Hladina podzemní vody může, v závislosti na velikosti srážek, vytvářet alespoň tři vodní horizonty :

- I. Na styku kvartérních spraší a neogenních jílu
- II. Ve vrstvě neogenních písků
- III. V puklinách granodioritu, případně v jeho poruchových silně zvětralých polohách

4.1.1.3 Přehled příčin poruch objektů

Podrobný rozbor příčin poruch objektů v prostoru Jurkovičova – Loosova ukazuje, že se na poškození účastní několik faktorů. Lze tedy vysledovat následující vlivy :

- Zakládání objektů na rozdílně stlačitelných zeminách
- Objemové změny jílovitých zemin v důsledku oslunění, vegetace (vzrostlých stromů) i umělého vysušování (teplovody).
- Zvětšení objemu jílovité zeminy v důsledku promrznutí
- Velmi pomalý posuv kvartérních sedimentů po značně skloněném povrchu neogenních jílu
- Provlhčení základové půdy od porušené kanalizace, vodovodu, horkovodu
- Nedodržení technologických postupů předepsaných projektem
- Malé hloubky založení na jílovitých zeminách u některých objektů

4.1.1.4 Rozbor jedné z příčin poruch objektů – vliv vegetace

Prof. Ing. Čermák, CSc. ověřil 20 druhů dřevin o celkovém počtu cca 500 ks v zájmovém území. Tato zjištěná vegetace spotřebuje cca 3 300 m³ vody za vegetační období.

Plocha vhodná pro zasakování srážkové vody je cca 30 000 m². Na tuto plochu naprší při ročním průměrném úhrnu srážek 505 mm celkem 15 150 m³ vody. I když je celková suma srážek dost vysoká i při uvážení výparu, odtoku apod. nemusí vždy zajišťovat potřebné množství vody pro transpiraci.

Například obytný dům Loosova 2 až 4 má poruchy zdiva od roku 1 977 a je založen ve vrstvě 3 – 4 m mocné objemově nestálého neogenního jílu, který nasedá na neogenní písek (více podrobností v geol. řezech 1-1, 2-2, 3-3, 5-5).

Poškození budovy č. 2 až 4 je způsobeno vysycháním jílovité základové půdy, neboť se zde teplovod přibližuje ke štítu samotného objektu. Kromě toho je v nejbližším okolí jižního průčelí a štítu budovy 53 vzrostlých stromů, které spotřebují za vegetační období 154 m³ vody. Tuto vodu ubírají vrstvě neogenního jílu.

Na plochu trávníku (380 m²) kolem budovy č.2 až 4 naprší ve vegetačním období při průměrných úhrnech srážek 350 mm cca 133 m³ vody. V roce 1 983, kdy byl roční úhrn srážek 367 mm, činil celkový objem spadlé vody 139 m³.

Vliv evaporace (výpar zemní vlhkosti půdním povrchem) a transpirace (spotřeba podzemní vody kořeny rostlin a jejich odpařováním listí) je patrný z níže provedeného orientačního výpočtu :

(27)

$$\Delta h_{ET} = \frac{\gamma_s \cdot \left(\frac{w}{S_r} - \frac{w'_s}{S'_r} \right)}{\gamma_w + \frac{w}{S_r} \cdot \gamma_s} \cdot h$$

Hloubka dosahu vysychání	$h = 4 \text{ m}$
Měrná tíha jílu	$\gamma_s = 2\,730 \text{ kg/m}^3$
Objemová tíha vody	$\gamma_w = 1000 \text{ Kg/m}^3$
Průměrná půdní vlhkost	$w = 0,27$
Průměrný stupeň nasycení	$S_r = 1,0$
Snížení vlhkosti na mez smrštění	$w'_s = 0,18$
Odpovídající stupeň nasycení	$S'_r = 0,81$

Po dosazení a provedení obdržíme sednutí za předpokladu celého smrštění ve vertikálním směru

$h_{ET} = 30 \text{ cm}$ z čehož připadá :

- na evaporaci	$h_E = 1/3,30 = 10 \text{ cm}$
- na transpiraci	$h_T = 2/3,30 = 20 \text{ cm}$

Jiným příkladem je okrskové centrum IV Dukát, které leží na skalní depresi vyplněné několika typy sedimentů značně rozdílných vlastností (viz. geologické řezy 6-6, 7-7). Na severní a severozápadní straně objektu tvoří základovou půdu spraš o mocnosti 4 – 5m, která nasedá buď na neogenní jíl či písek. V jižní a jihovýchodní části pak se převaha navážek o mocnosti 2,8 – 4,5m, které opět nasedají v západní části na neogenní jíl a na východě na neogenní písek. Pro vznik poruch značně členitého objektu by postačily jen zjištěné složité základové poměry.

Ke vzniku poruch přispívalo tedy i vysychání účinkem stromů. Řada topolů (8ks) před severní frontou Dukátu má zjištěnou spotřebu vody 140 m^3 za vegetační období. Na příslušnou plochu, při průměrném ročním úhrnu srážek 505 mm, naprší 129 m^3 vody. V roce 1983, kdy roční úhrn srážek poklesl na 367 mm, napršelo na toto území 94 m^3 .

Mohutné kořeny sestupují z Loosovy ulice po svahu přivráceném k objektu Dukát, a zde dále pronikají po základovém zdivu do hloubky za vodou.

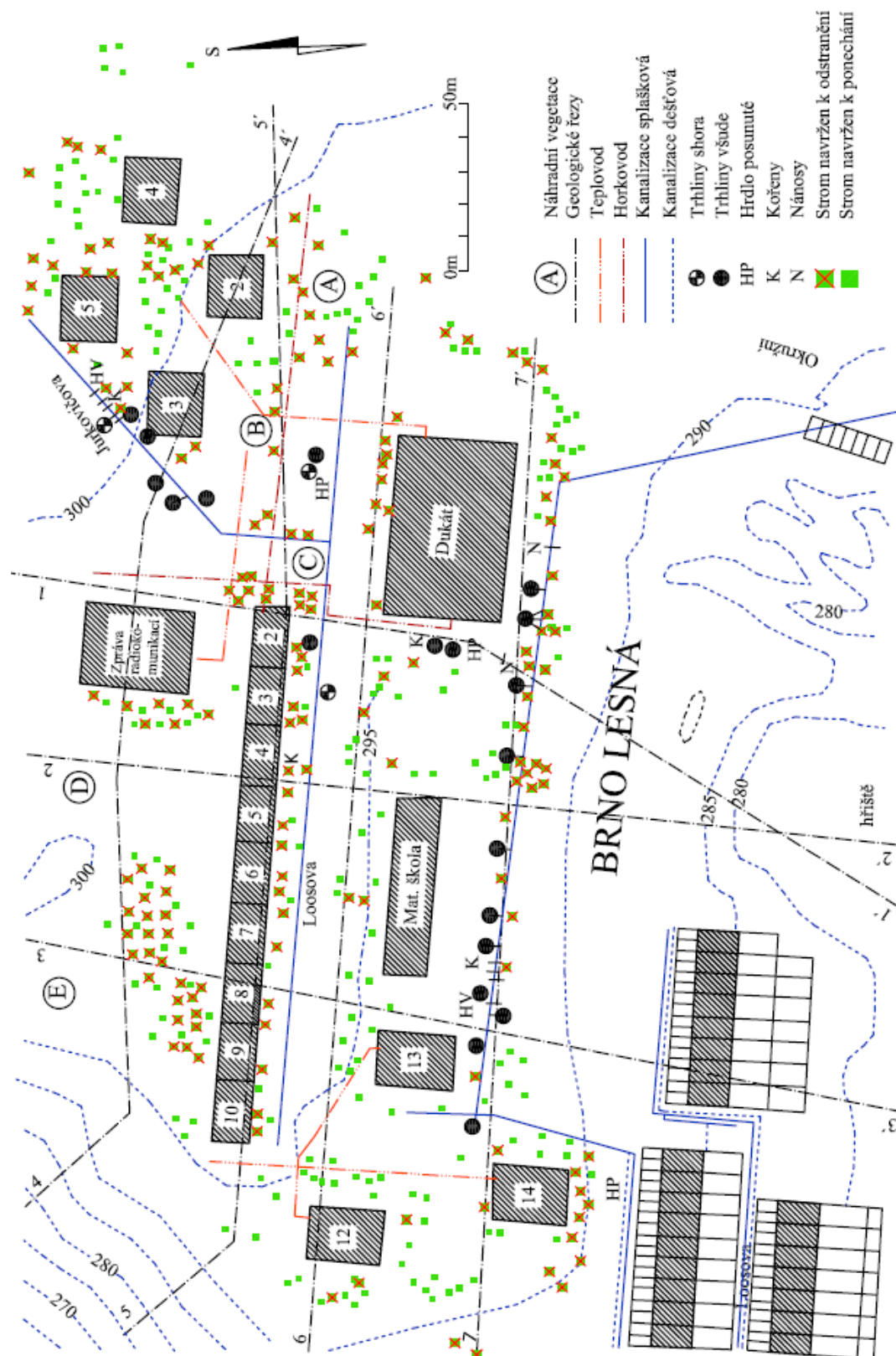
Dá se předpokládat, že tyto kořeny později poškodily inženýrské sítě a došlo tedy k odtržení severní fronty. V dalším období pak dochází k intenzivnímu provlhčování základové půdy. Nejvíce je postižený severozápadní roh, kde byla zjištěna v podzákladí voda tepla 35°C . Její přítoky do kopané šachtice byly 80 l/hod. Jedná se zřejmě o poruchu horkovodu.

V letech 1950 – 1984 poklesl průměrný index sucha na 91% 50–ti letého průměru. V roce 1983 poklesl tento index až na 63 % průměru za posledních 34 let. V takovýchto suchých období pak zejména kořenové systémy stromů mají rozhodující vliv na nadměrné a nerovnoměrné vysychání a smršťování jílu, a tím i na vznik poruch na samotných objektech.



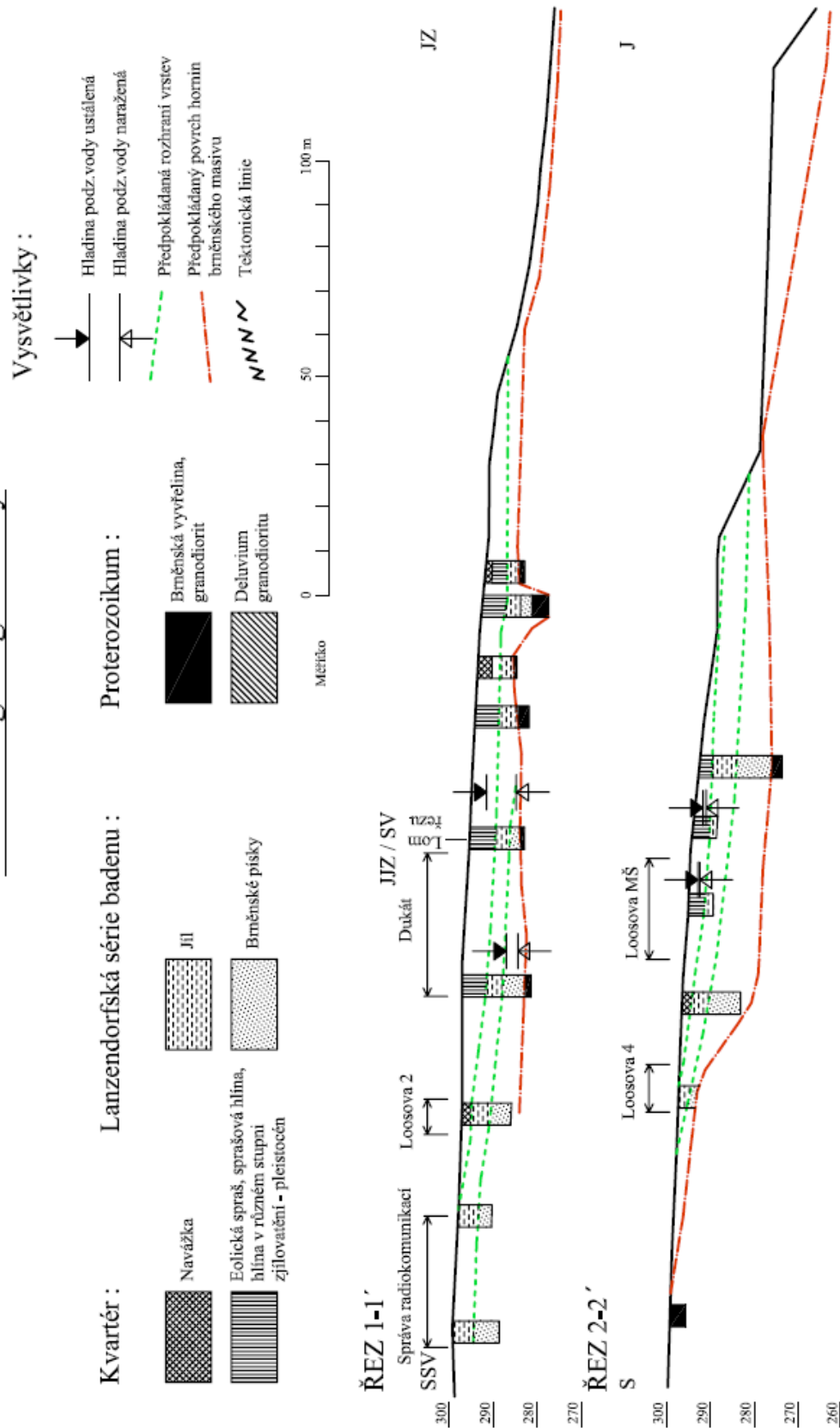
4.1.1.5 Návrh na náhradu vegetace

Podle provedeného šetření bylo potřeba ve studovaném území cca 240 stromů vykácet a dále provést výsadbu vhodnějších druhů (viz. obr. 27 označeno písmeny A až E). Doporučenou dřevinou se stala borovice lesní a borovicová kleč. Bylo doporučeno provádět realizace probírek vzrostlé zeleně v daném prostoru současně s novou výsadbou zeleně, aby nedošlo k narušení kontinuity ozelenění území.



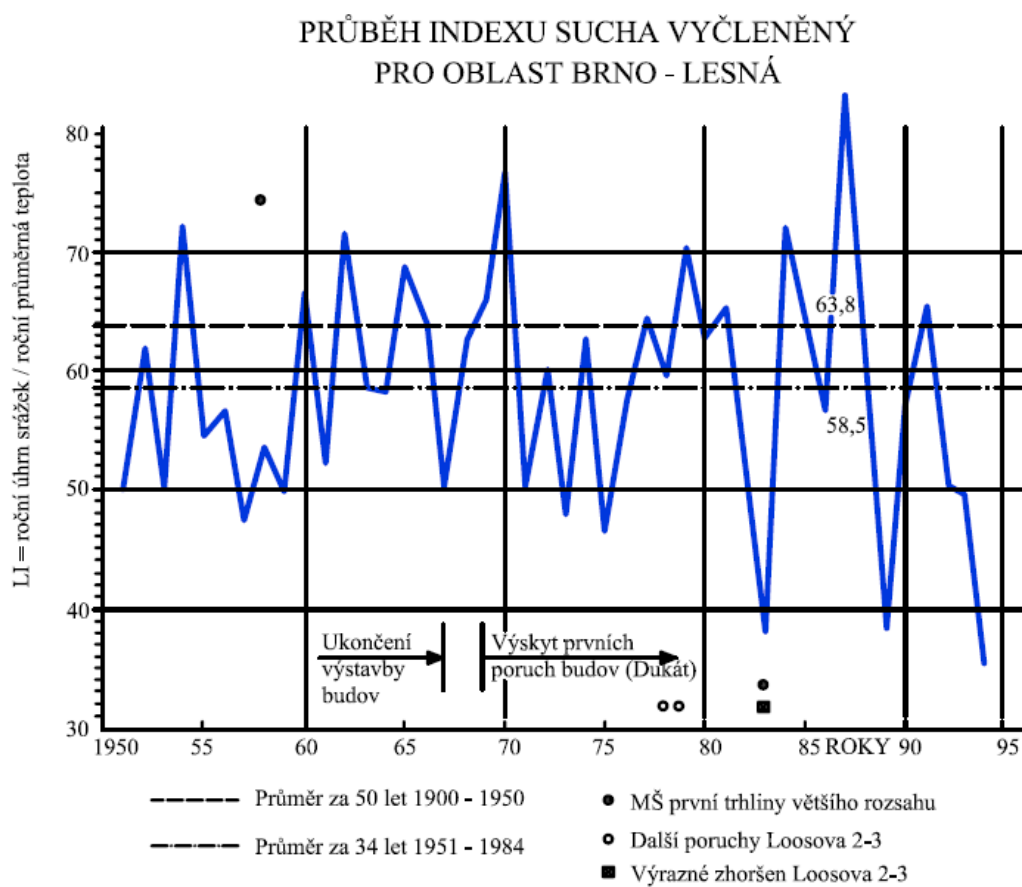
Obr. 27 Situace

Přehledné geologické řezy



Obr. 28 Geologické řezy

Obr. 28 Geologické řezy



Obr. 29 Průběh indexu sucha vyčleněný pro oblast Brno - Lesná



Obr. 30 Foto Pohled do ulice Loosovy, vlevo budova Dukát, vpravo blok č.2 až 10



Obr. 31 Foto Pohled na hustou vegetaci severně od bloku Loosova 2 až 10



Obr. 32 Foto Detail obr. č.4 – Loosova 2 a 3. Nevhodně situované stromy určené k odstranění



Obr. 33 Foto Opravený dům Jurkovičova 2 (stažení objektu táhly v obou směrech, nové založení pomocí mikropilot vetknutých do neogenních písků). U stávajících stromů je potřeba provést probírku (poruchy budovy byly způsobeny oteplením jílovité základové půdy teplovodem na 24°C a následným jejím smrštěním).



Obr. 34 Foto Kořeny stromů prorostlé porušenou kanalizací pr. 30 cm v ulici Jurkovičova



Obr. 35 Foto Kořeny stromů prorostlé porušenou kanalizací pr. 30 cm v ulici Loosova



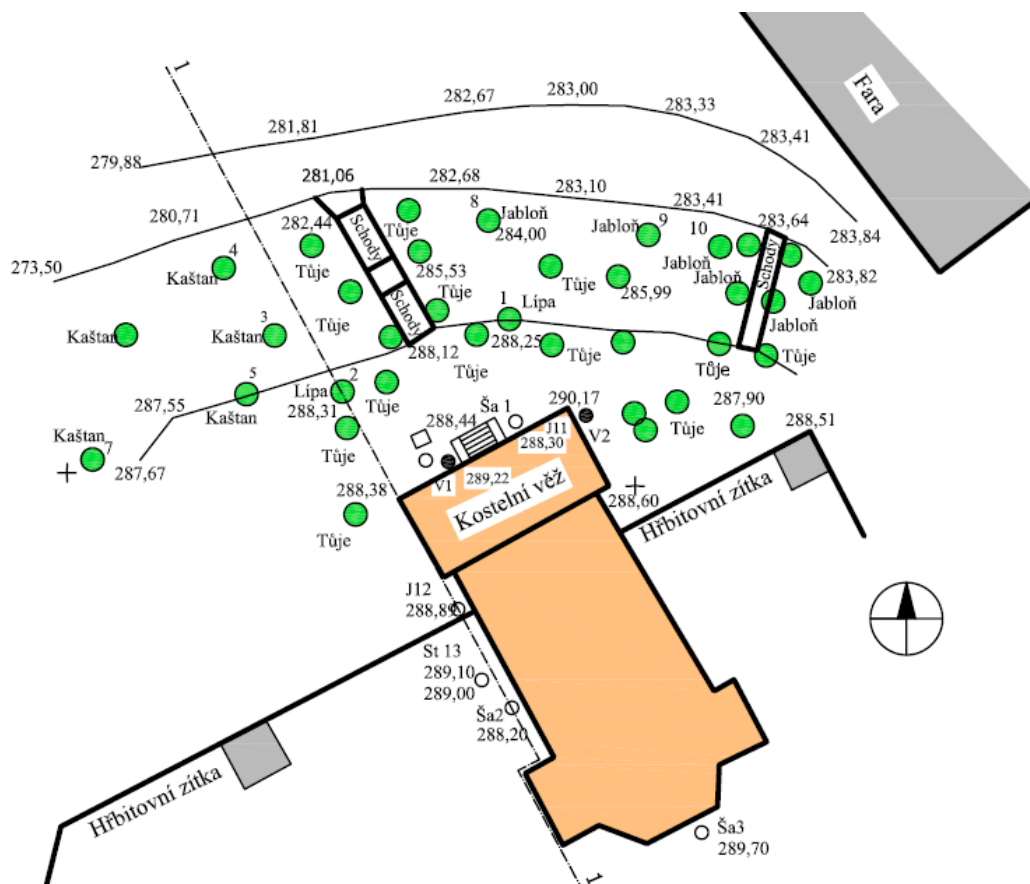
Obr. 36 Obyvatelé kanalizačních potrubí

4.1.2 Barokní kostel ve Švábenicích

Stavba je situována na mírném svahu, který byl upraven násypy a zářezy pro vnější schodiště a komunikaci. Základová spára kostela byla situována do hloubky mezi 0,6 až 1,6 m. Základovou půdu kostela tvoří objemově nestálý neogenní slinitý jíl. Brzy po dokončení stavby (v 18. stol.) se objevily poruchy zdiva stěn i kleneb.



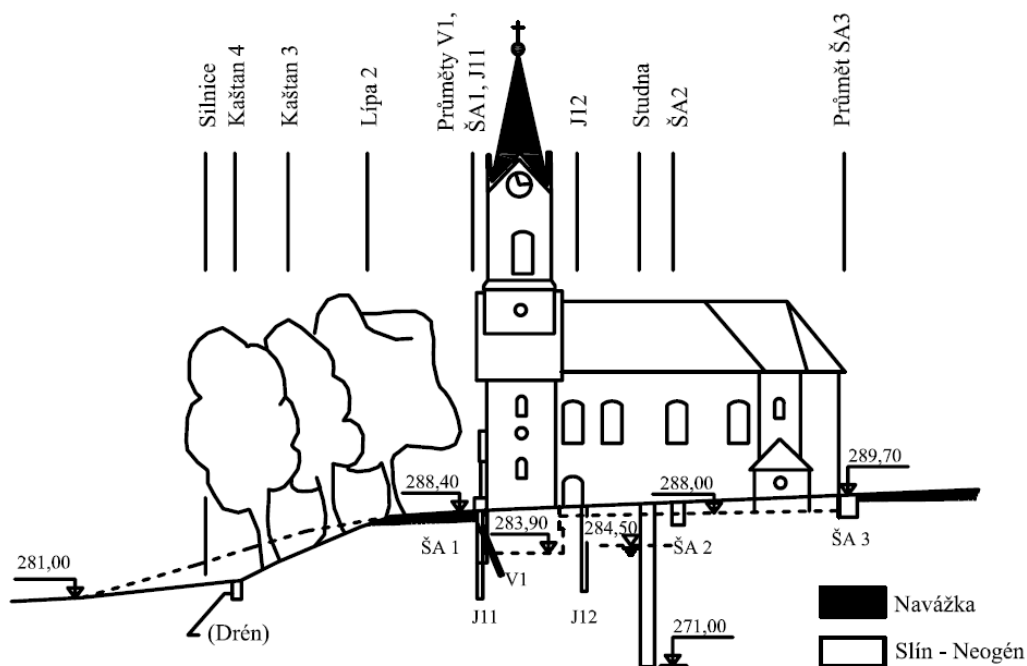
Obr. 35A pohled na kostel před rekonstrukcí



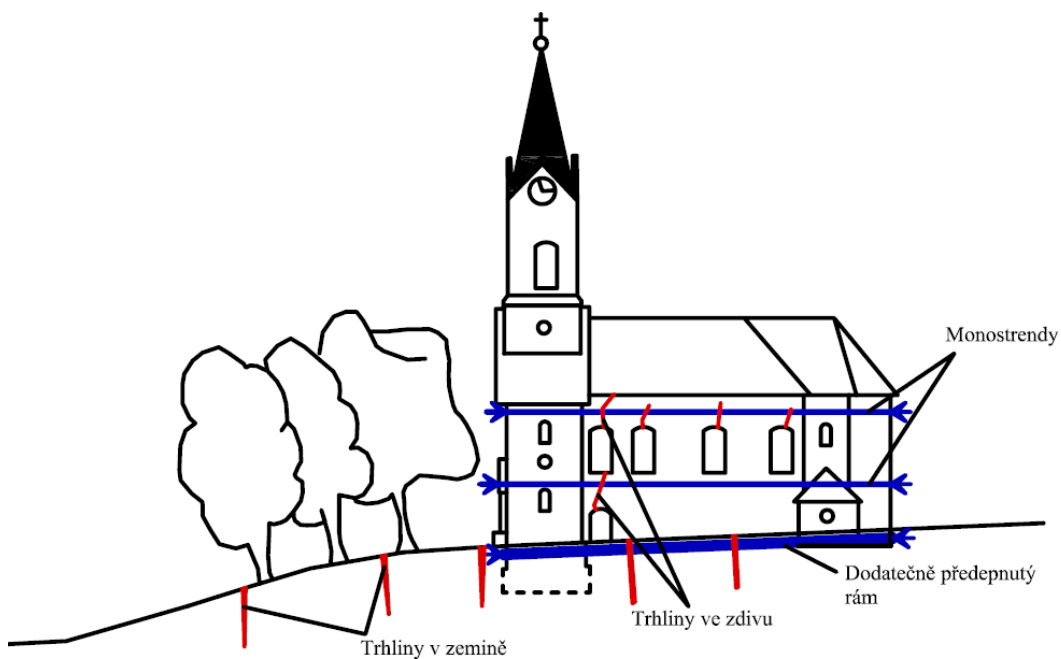
VYSVĚTLIVKY

- | | |
|------------------------------|--------------------------|
| ○ J11, J12, Ša 1, Ša 2, Ša 3 | Průzkumná díla |
| ● V1, V2 | Archivní vrty |
| 1 — — — — — 1' | Přehledný geologický řez |

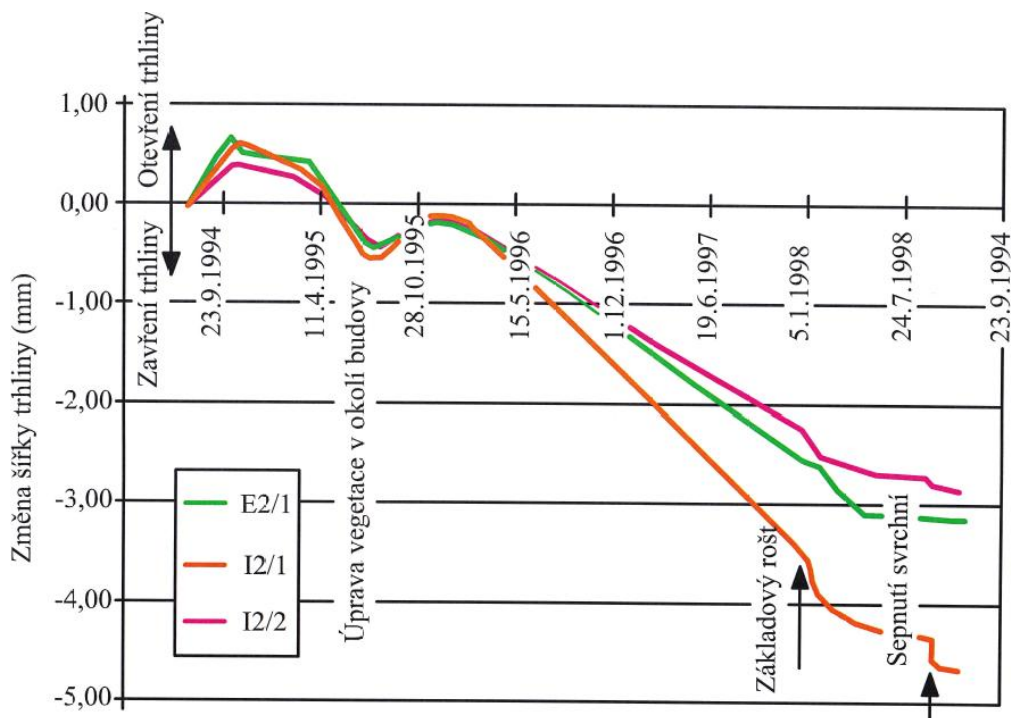
Obr. 36 Situace kostela včetně rozmístění stromů



Obr. 37 Geologická stavba, polohopis a výškopis



Obr. 38 Ztužení objektu, narušeného vlivem kořenového systému stromů, lany a železobetonovou předpjatou podkovou (Bažant, Z., Klusáček, L.)



Obr. 39 Změny šířek sledovaných trhlin (na stylu věže a lodi kostela, Bažant, Z., Klusáček, L.)

Kolem věže v popředí kostela bylo před mnoha léty vysázeno 11 stromů (lípy, kaštiny, jabloně); před rekonstrukcí kostela se již jednalo o vzrostlé stromy. V roce 1995 pak bylo zjištěno, že vlhkost podzákladí věže je o 4% nižší než pod chrámovou lodí – snížení vlhkosti přímo souviselo s transpirací stromů poblíž věže.

Inženýrskogeologický posudek byl zpracován na základě studia poruch kostela, konfigurace terénu přilehlé vegetace. Z jeho závěru pak vycházel statický návrh úprav – ztužení stavby předpětím (lany a železobetonovou předpjatou podkovou) ve třech úrovních obr. 38.

Pro redukci a zastavení poruch byly stromy vykáceny, pro zamezení přímého výparu z půdy (evaporaci) byl kolem kostela zhruba 0,5 m pod úrovní terénu a v šíři cca 3,0 m uložen nepropustný kryt z PVC fólie, položeny trativody a vybudován okapový chodník.

Monitorování změn šířky trhlin v čase při procesu vykácení stromů a statických úprav je uvedeno na obr. 39.

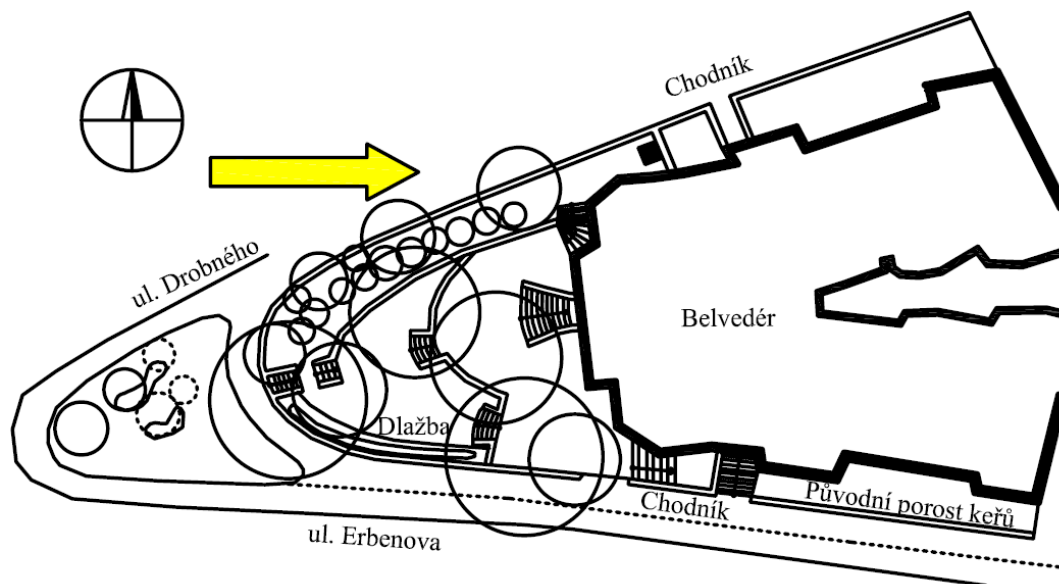
4.1.3 Hotel Belvédér v Brně

Čtyřpodlažní hotel stojí na přibližně trojúhelníkovém pozemku, v patě mírného svahu a na vizuálně exponovaném místě, u frekventované komunikace a proti městskému parku. Objekt přední stěnou vyčnívá do styku dvou ulic, obě křídla v ostrém úhlu leží podél zmíněných ulic a štíty navazují na vedlejší obytné domy obr. 40. Základovou půdu hotelu tvoří objemově nestálý neogenní vápnitý jíl (těgl). Ve smyslu klasifikace **ČSN 73 1001** se jedná o jemnozrnné zeminy třídy F8 CV ($w_L = 81,3\%$, $I_p = 50,4\%$).

Již před rokem 1 984 (kdy bylo provedeno první ohledání budovy) se na objektu vyskytly četné poruchy zdiva způsobené především nerovnoměrným sedáním. Tyto poruchy se projevovaly trhlinami vně i uvnitř budovy. Poruchy stavby byly postupně připočítávány malému prostorovému ztužení stavby (zejména ve vodorovných rovinách), nedostatečně dimenzovaným základům, poloze hotelu v patě svahu, problematickému podloží atd.

Při jižní straně objektu však rostla celá řada stromů a keřů, které ve vegetačním období měly vyšší spotřebu vody, než která spadne na dané území v podobě srážek. Snižování vlhkosti jílovitých zemin (evaporací a transpirací) je provázeno smršťováním ($w_s = 18,6\%$). Nejvhodnější sanační opatření v tomto případě spočívalo v nahrazení (vykácení) stávajících stromů vegetací, která má výrazně nižší spotřebu vody.

Nejprve bylo provedeno podchycení základů mikropilotami v jižní části budovy. Nicméně lze uvést, že toto opatření neodstranilo zcela příčiny poruch zdiva a nezajišťuje trvalou stabilitu budovy. Již zmíněným vykácením stromů se však pohyby stavby zklidnily.



Obr. 40 Situace hotelu belvédér se zakreslením původního ozelenění



Obr. 41 Prostor před hotelem po nahrazení vzrostlých stromů vegetací s výrazně nižší spotřebou vody

4.2 Příklady poruch objektů založených na spraších

4.2.1 Naklánění devítipodlažních obytných budov v Brně – Jundrově, Dubová ulice

Řadové devítipodlažní obytné domy B3 a B4, ležící na JV svahu obytného souboru Brno – Jundrov, byly postaveny v letech 1973 – 1975. Jedná se o panelové domy deskového typu provedené v konstrukční soustavě T-06B s příčným nosným systémem a vodorovnou základovou spárou.

4.2.1.1 Vývoj poruch na budově B3

Od 1974	zatékání srážkové vody do technického podlaží
r. 1976	nutné opravy špatně se zavírajících dveří v jednotlivých bytových jednotkách
r. 1978	odtržení okapového chodníku
Od 1978	vydouvání podlah v prvním podlaží v místnostech při uliční frontě
r. 1980	porucha kanalizace
15. – 18. 6. 1987	porucha uzávěru vodovodní přípojky v B3, kdy došlo k úplnému zatopení teplovodních kanálů jak v B3, tak i v sousedním objektu B4. Oba objekty jsou uvedenými kanály propojeny

Objekt B3 se postupně nakláněl po svahu tak, že :

- V roce 1984 byla výchylka od svislice v rovině střechy 170 mm (Prof. Šmerda)
- V červnu 1985 byla odchylka 420 mm
- V únoru 1988 činí již výchylka 550 mm (tato se zvýšila v době provádění sanací až na hodnotu 600 mm)
- V červnu 1987, v důsledku intenzivního zavodnění základové půdy, náhle poklesla uliční fronta B3 o 30 mm, přičemž před tímto datem, při ročním sledování, byl zjištěn její pokles o 6 mm.

Dům B4, který byl až do června 1987 bez zjevných poruch, se náhle naklonil po svahu tak, že výchylka v rovině střechy činila 350 mm od svislice

4.2.1.2 Náklon budovy

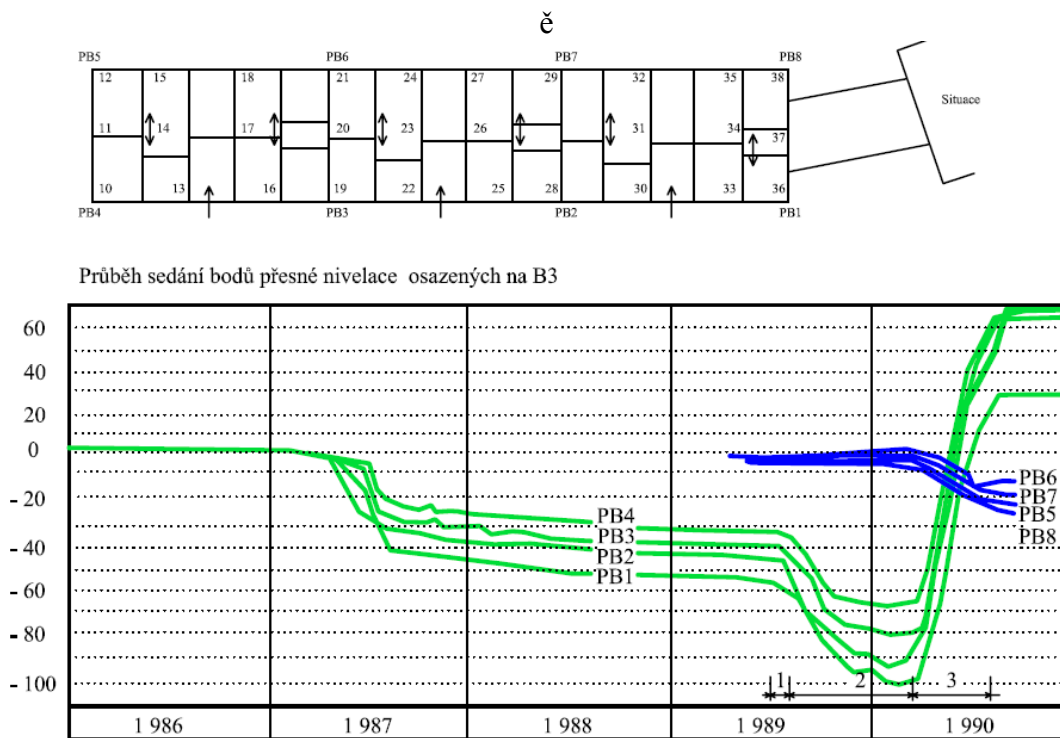
Při prověrce funkce odvodňovacích zařízení projektovaných u budov B3 a B4 bylo zjištěno, že tyto systémy neplní svou funkci jednak v důsledku nedostatečné údržby a jednak proto, že některé nebyly vůbec provedeny.

Vzniklý závažný stav bylo proto třeba okamžitě řešit :

- 1) Odpojit přívod plynu do budovy
- 2) Nepřetržitě sledovat vodovodní přípojky
- 3) Provést statické prošetření stávajících konstrukcí
- 4) Objekty postupně vystěhovat



Obr. 42 Plynová přípojka – vertikální posun části porušeného potrubí u B3



Obr. 43 Průběh sedání bodů přesné nivelace, osazených na B3
1 – vrtání, 2 – injektování, 3 – zvedací injektáž

V únoru 1988 byl objekt B3 vykloněn o **550 mm** ze svahu a hrany základového pásu mají převýšení 220 mm. Při excentricitě 275 mm vzniká klopící moment značné hodnoty (916 kNm), v jehož důsledku vzniká přerozdělení napětí v základové spáře o ± 26 kPa. Přetížení zeminy na dolní hraně příčného pásu činí $q_D = 196$ kPa, na horní hraně $q_H = 99$ kPa. Přetížení základové spáře je tedy na dolní hraně o 98% větší než na hraně horní, což má za následek pokračující naklánění. Měření konaná od září 1987 do ledna 1988 prokázala, že vyklánění objektů dále narůstá průměrnou rychlostí zhruba 3 mm za měsíc v úrovni střechy. Provlhčovaná sprašová zemina může mít na dolní hraně příčných pásů (hl. 1,3m) mezní únosnost 200 až 250 kPa.

Na jaře 1988 bylo u B3 zatížení na dolní hraně 220 kPa, a pokud by narůstalo naklánění stejným tempem, dostala by se zemina pod dolní hranou pásu do I. Mezního stavu zhruba za 7 roků. Se zvyšující se excentricitou svislé výslednice zatížení by se nárůst naklonění urychloval. Na konci tohoto postupu by budově hrozila havárie.

V případě objektu B4 byl stav obdobný, avšak menšího rozsahu.

4.2.1.4 Příčiny vzniklých poruch

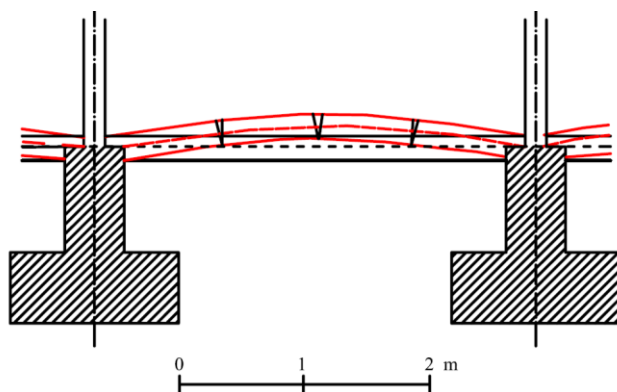
1. Změna vlastností základové půdy
2. Způsob založení – vodorovná základová spára
3. V důsledku počátečních deformací došlo k porušení ležaté kanalizace
4. Nezajištění objektu před svahovými vodami

4.2.1.5 Sanace objektů

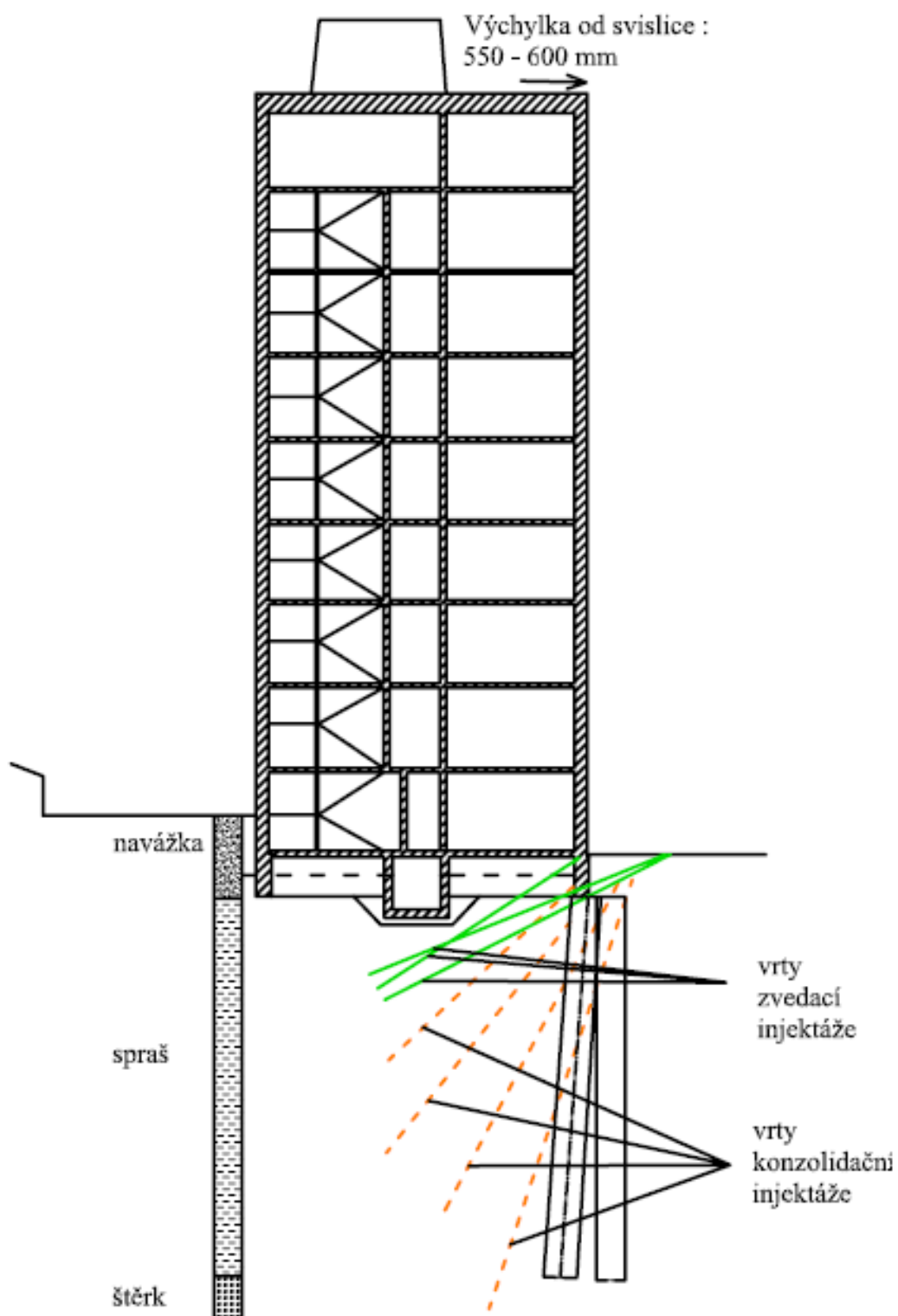
- zajistit stabilitu budovy
- uvést domy do obyvatelného stavu maximálně možným narovnáním

Realizace sanačních prací metodou injektáže (klakáže) – Zakládání staveb Praha (J. Verfel) :

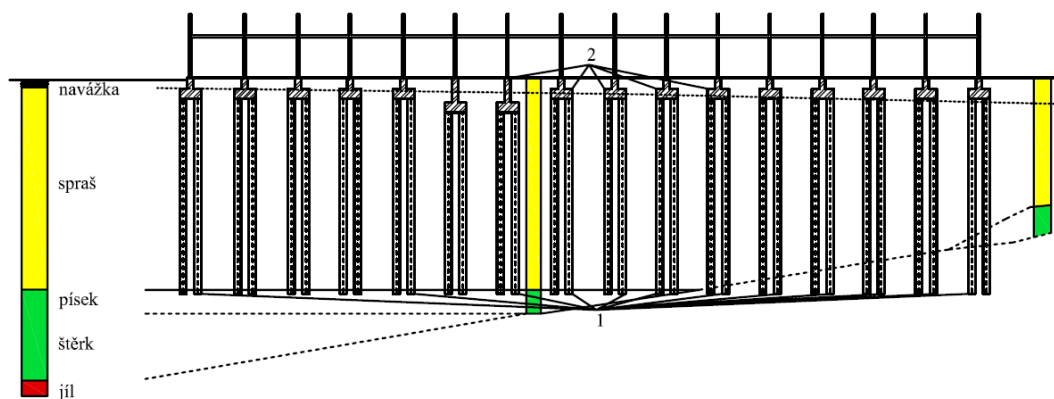
1. konzolidační injektáž pro zvětšení pevnosti spraše
2. zvedací injektáž



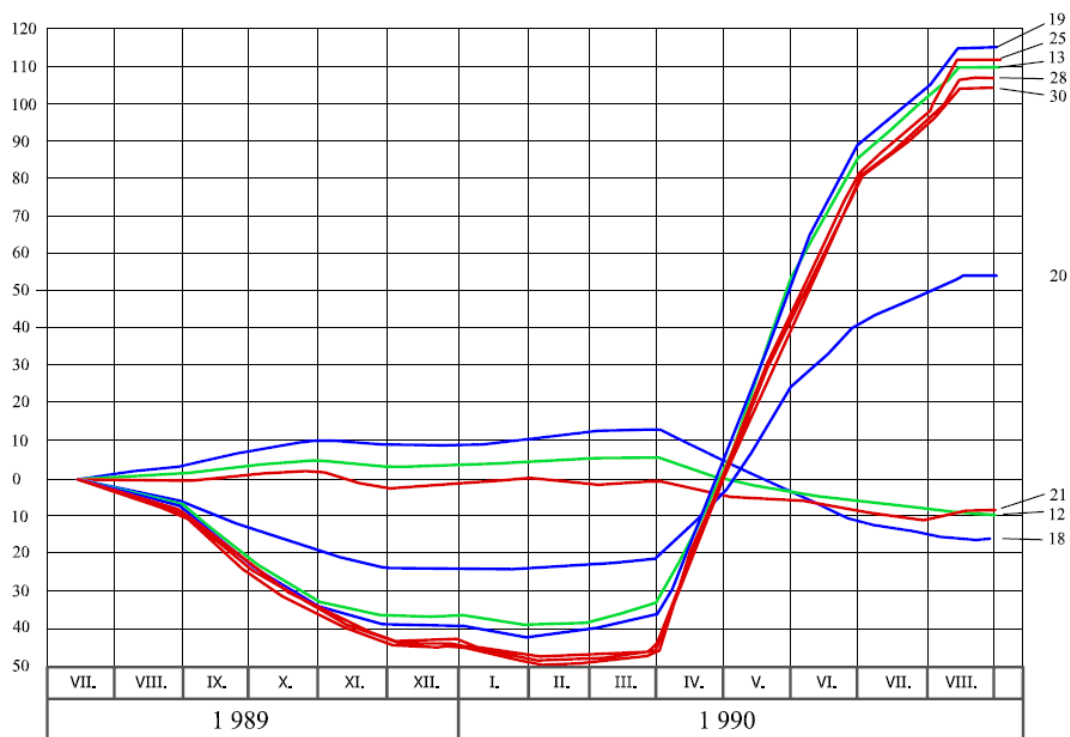
Obr. 45 Příčný řez základovými pásy bloku 3, doplněné železobetonovou deskou



Obr. 46 Příčný řez budovou bloku 3 a 4.



Obr. 47 Podélný řez blokem 4 (1 – sloupy tryskové injektáže, 2 – základový pás)



Obr. 48 Průběh deformací bodů hydrotechnické nivelace osazených v B3

Obě budovy byly B3 a B4 byly zvednuty do téměř vertikální polohy. Obtížnosti sanačních prací (ve spraších s $n = 38 - 51\%$) spočívá v tom, že při injektování dochází k zvětšování původního průměru vrtu až na několikanásobek, což je příčinou vysokých tlaků při prothrávání zálivky. Po 4 až 5 -ti fázích injektáže je nutné vyhloubit nové vrty.



Obr. 49 Pohled severozápadní na blok B3



Obr. 50 Pohled severní. Na srovnání štítu B2 a B3 je patrné naklonění po svahu objektu B3



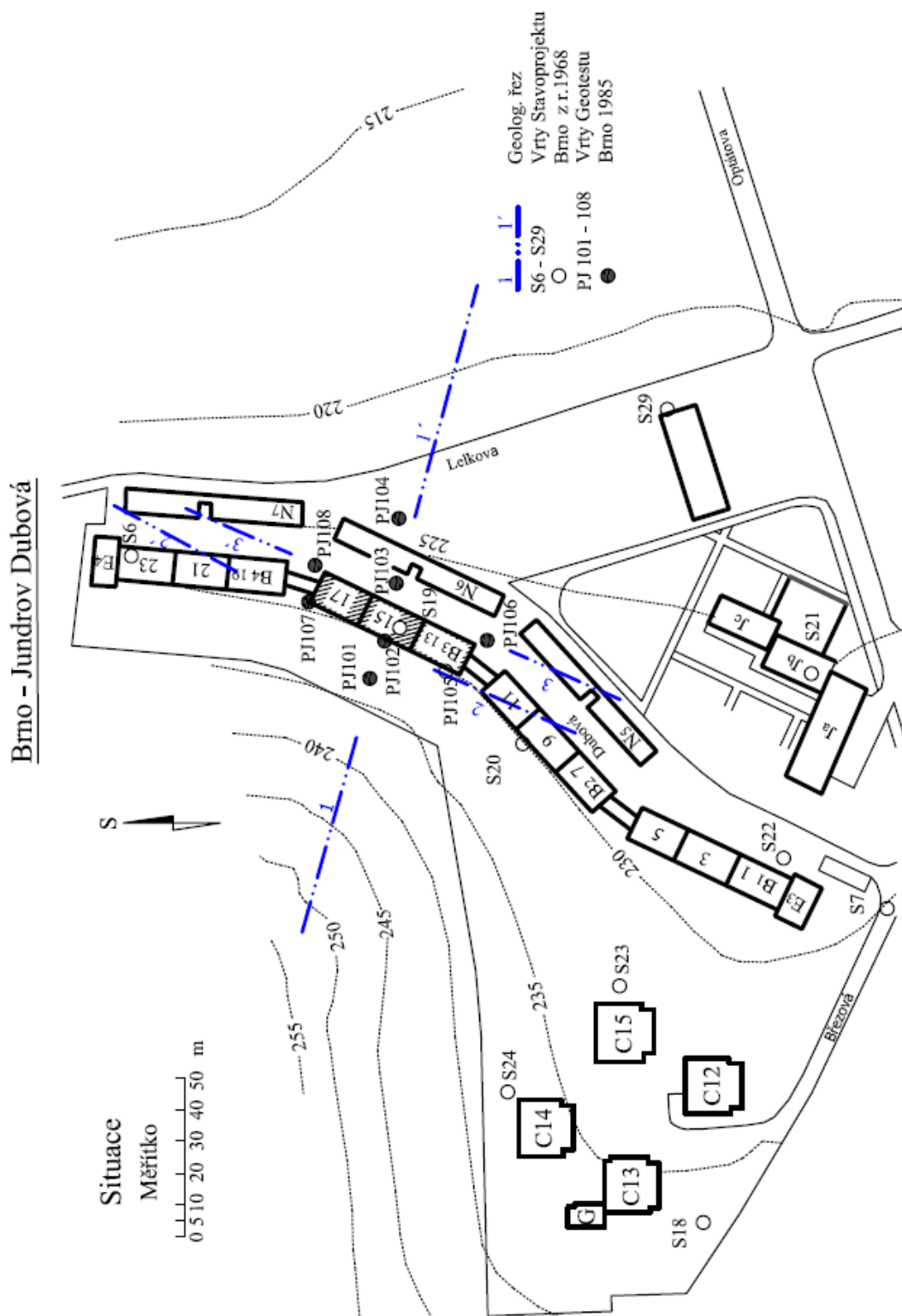
Obr. 51 Pohled severní. Na srovnání štítu B2 a B3 je patrné naklonění po svahu objektu B3



Obr. 52 Pohled severovýchodní na B3. U vchodu je zřetelné zaboření vstupní části o cca 200 mm



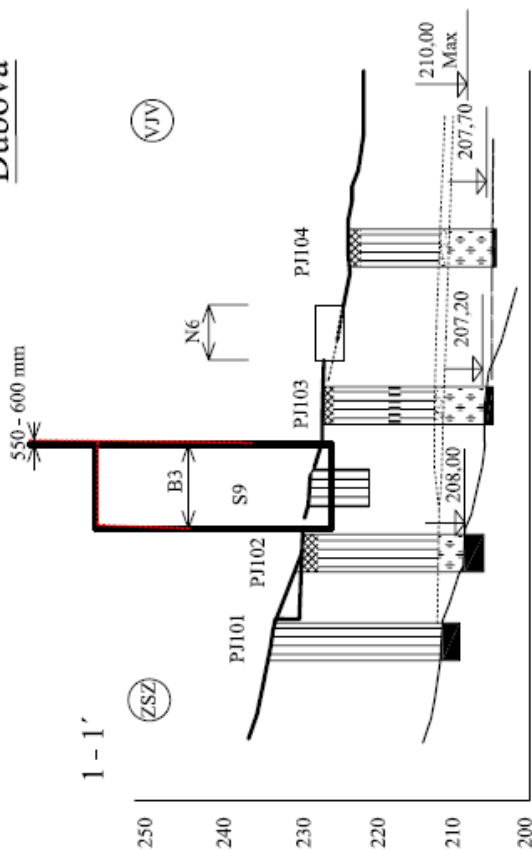
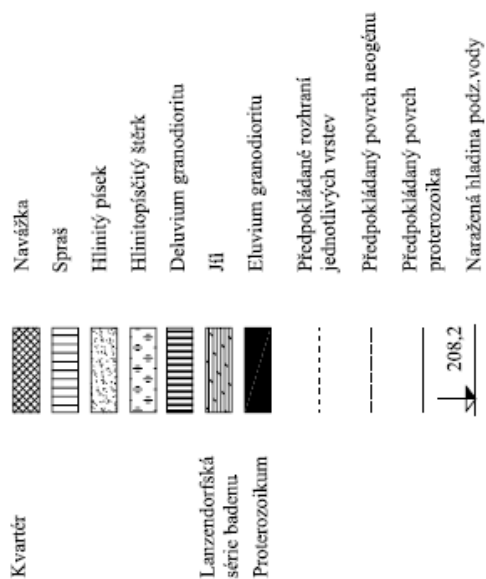
Obr. 53 Pohled severovýchodní. Nakloněním B3 vznikla spára široká 30 – 50 mm mezi objektem a okapovým chodníkem.



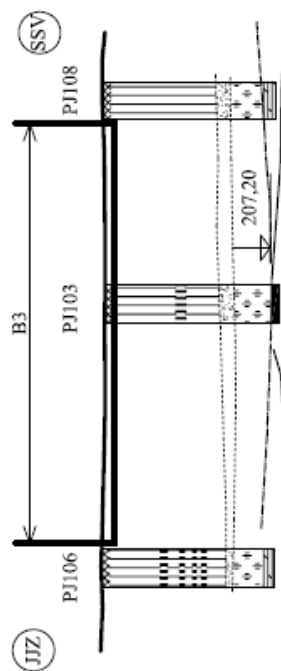
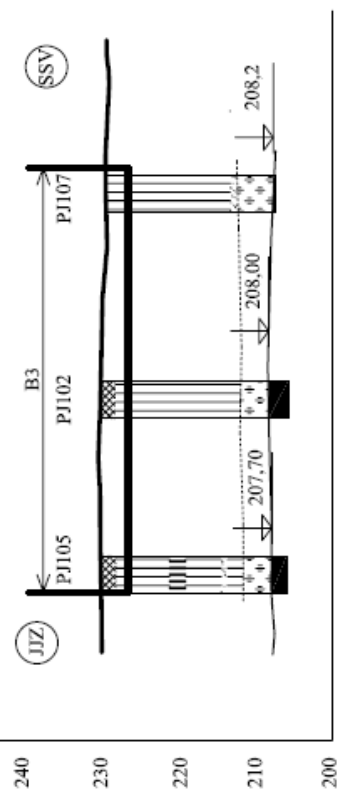
Obr. 54 Situace rozmístění budov

Brno - Jundrov
Dubová

VYSVĚTLIVKY :



2 - 2'



Obr. 55 Geologické profily

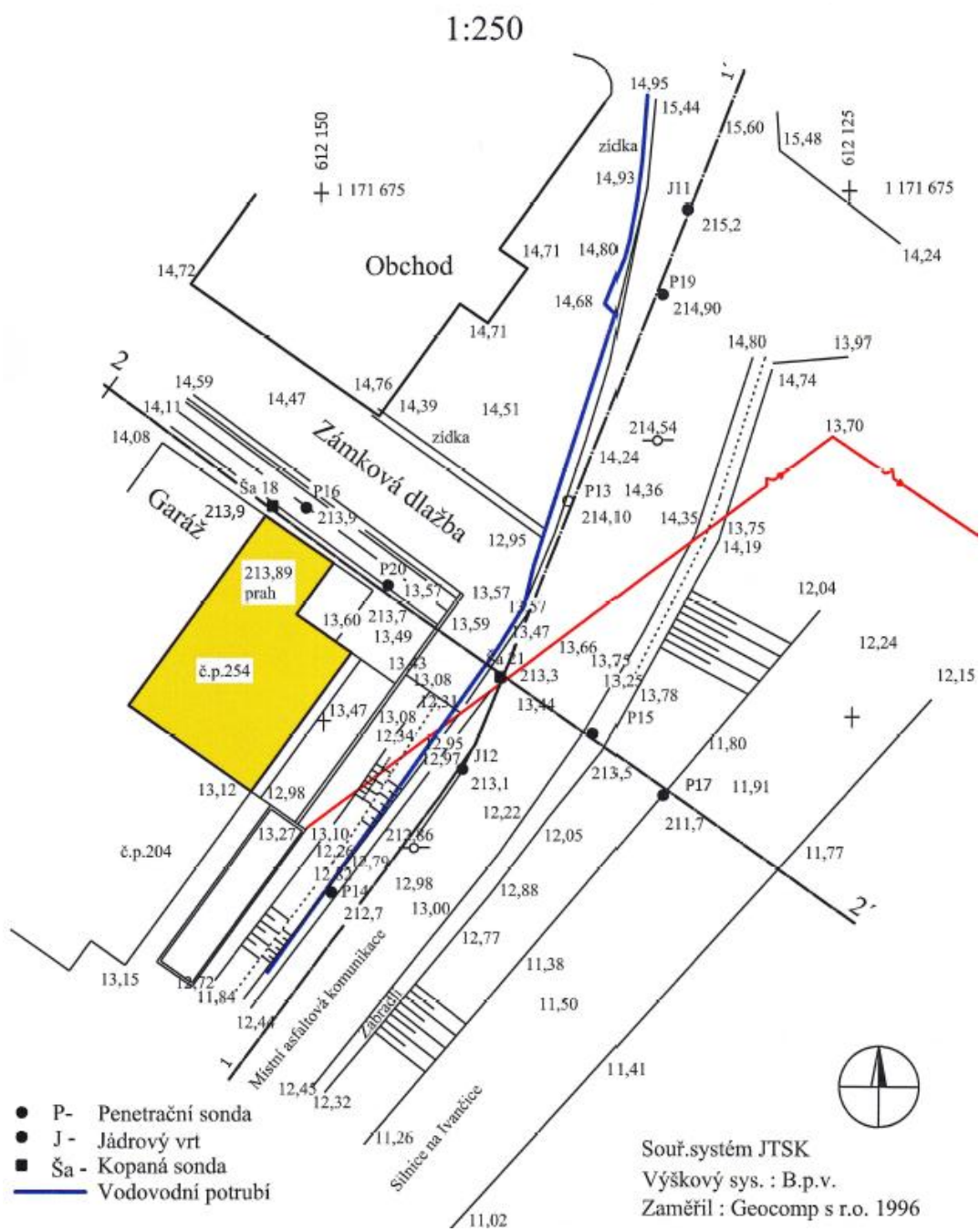
4.2.2 Havárie rodinného domu v Moravských Bránicích

Porušený objekt č.p. 254 v Moravských Bránicích se nachází v jižní části obce v blízkosti místní komunikace a státní silnice do Ivančic. Objekt je postaven v patě mírného svahu, který se sklání k východu. Místní komunikace před objektem je vybudována na násypu a byla v minulosti několikrát upravována zvyšováním asfaltovým krytem.

Vodovodní potrubí je vedeno ve vzdálenosti 6 m od uvedené budovy. Porucha vodovodního potrubí byla zjištěna před severovýchodním rohem domu. Úniky vody z kanalizačního potrubí neovlivnily poruchy objektu.

Podle zápisu z Vodárenské, a.s., provoz Ivančice v měsíci červnu 1 996 je prokázán zvýšený odběr vody od 8. 6. 1996 do 10. 6. 1996. Hodnoty ukazují na rozdíl 50 m³ ve srovnání s hodnotami mimo toto období.

Podle výsledku geotechnického průzkumu, laboratorních zkoušek, inženýrskogeologického zhodnocení a průkazní tlakové zkoušky vodovodního potrubí se konstatuje, že k porušení objektu č. 254 došlo v důsledku úniku vody z porušeného vodovodního potrubí a následného kolapsu spraše.



Obr. 56 Situace umístění objektu č. 254

4.2.2.1 Geologie a hydrogeologie

Zájmové území je součástí brněnského masivu. Jsou zde zastoupeny granodiority a diority, které jsou kryty kvartérním pokryvem o mocnosti až 20 m.

Základovou půdu v postiženém území tvoří spraš o mocnosti cca 10 m (Mez tekutosti $w_L = 39,8\%$, číslo plasticity $I_p = 18,8\%$).

Pod ní se nacházejí deluviální jílovité hlíny až písčité jíly mocností 5 m.

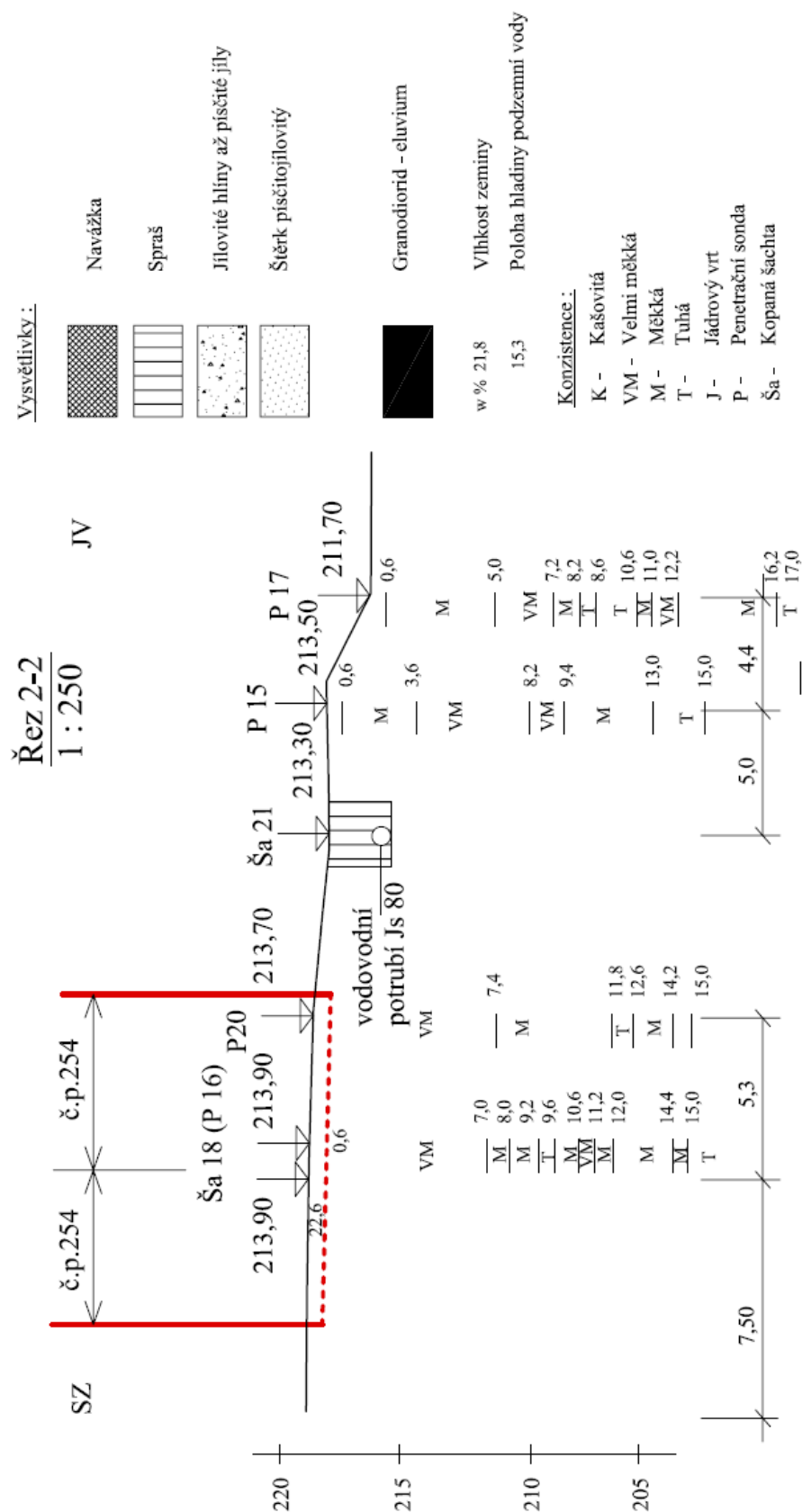
Pod deluviálními sedimenty je písčitojílovitý polymiktní štěrk, ulehlý, zvodnělý o mocnosti cca 3 m. V podloží kvartéru je zajiřované pevné eluvium granitoidu.

Hydrogeologicky je sprašové souvrství dokonale propustné pro vodu. Tato propustnost je průlinová, ve vertikálním směru je až 50x větší než ve směru horizontálním.

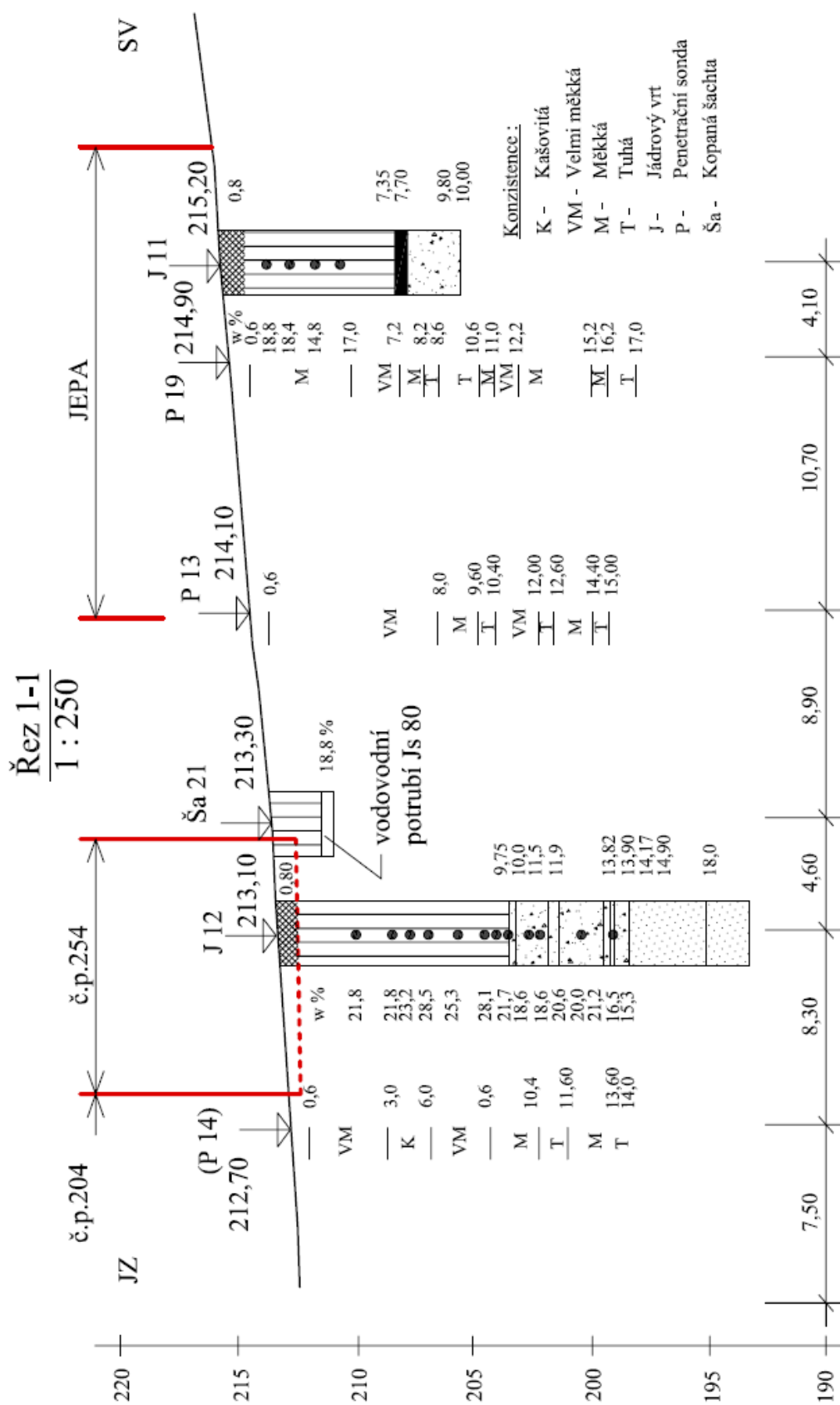
Spraš byla v průzkumných vrtech zastižena v různém stavu, od suchého až po kašovitý. Lze říci, že různá vlhkost souvisí s příčinou porušení vodovodního potrubí v okolí poškozeného objektu.

Hladina podzemní vody byla zastižena jen vrtem J12 v hloubce 15,3 m. Podzemní voda je vázaná na štěrkovou vrstvu, propustnost je průlinová. Hladina podzemní vody je volná.

Spraše a sprašové hlíny, jak je podáno v dřívějším textu, jsou pleistocenní eolické sedimenty, které jsou jako základová půda velmi problematické. Geotechnický charakter závisí na podmínkách vzniku, které se liší v různých regionech, a to nejen z hlediska naší republiky, ale i z hlediska světového.



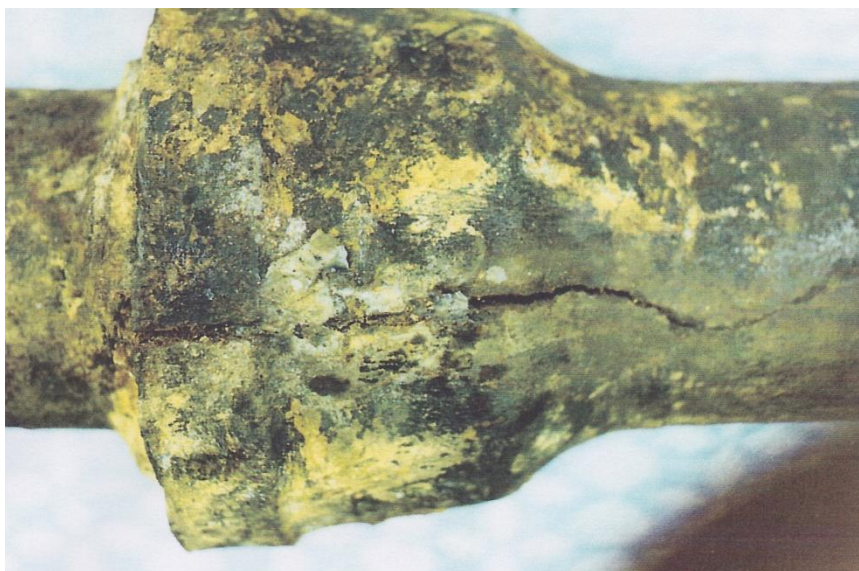
Obr. 57 Geologický profil lokality objektu 254



Obr. 58 Geologický profil lokality objektu 254

K ověření těsnosti vodovodního potrubí před domem č. 254 byla provedena průkazná zkouška. Zkouška byla provedena v Ša 21, vodovodní potrubí bylo mimo provoz, ale pro účel zkoušky bylo krátkodobě zprovozněno. Zkouškou byl prokázán únik vody trhlinou v hrdle litinového potrubí (obr. 59). Trhlina je dlouhá 180 mm a maximálně rozevřená na 3,5 mm. Uvedená trhlina byla zjištěna na spodní části hrdla potrubí a další méně, méně rozevřená, pak na horní části potrubí.

Závěrem k tomuto praktickému příkladu lze říci, že podle výsledku vrtných prací a penetrometrického sondování bylo prokázáno výrazné zvýšení vlhkosti v blízkosti prasklého vodovodního potrubí a tímto došlo k výrazné změně vlastností sprašoidních zemín vyskytujících se v podzákladí objektu. Došlo ke kolapsu spraše, což bylo doprovázeno stlačením a deformací.



Obr. 59 Trhlina v hrdle litinového potrubí



Obr. 60 Pohled na štítovou zeď poškozeného domu č.p. 254

Vlhkost spraše ve vrtu J 12 v hloubce od 3,25 do 9,4 m dosáhla až 28%, přičemž původní vlhkost spraše v kontrolním vrtu J 11 byla 14,8 až 18,8%. Následný pokles území trychtýřového tvaru způsobil potrhání objektu a vznik trhlin v okolním území. Poruchy zdiva nabyly takového rozsahu, že dům bylo potřeba asanovat.

5. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. Audrie, T., Bouquier, L., Collapsing behaviour of some loess soils from Normandy. Q. J1 Engng. Geol. Northern Ireland, 1976
2. Paseka, A., Procházka, J., Naklánění devítipodlažních budov v Brně-Jundrově, sborník konference Zakládání 88, Brno, 1988
3. Paseka, A., Drobníčková, H., Stehlíková, V., Příčiny poruch objektů rozvodny VN v Brně – Medlánkách. Sborník konference u příležitosti jubilea V. Mencla, Brno, 1992
4. Sladen, J. A., Hollander, R. D., Krahn, J., The lignefaction of sands and collapse surface approach., 1985
5. Paseka, A., Problémy předčasného zřícení struktury některých zemin. Habilitační práce Brno, 1993
6. Čermák, J., Dynamika spotřeby vody u vzrostlých stromů, Sborník Zakládání staveb, 1980
7. Čermák, J., Posudek vlivu vzrostlé vegetace na stavební objekty v Brně – Lesné (ulice Jurkovičova – Loosova) a návrh na její úpravu, 1985
8. Mencl, V., Posudek poruch objektů v ulicích Loosova a Jurkovičova v sídlišti Brno - Lesná, 1985
9. Procházka, J., Vliv vegetace při zakládání na jílech Sborník Zakládání staveb, 1985
10. Eichler, J.,
 - (1969) Šíření tepla zeminami a konzolidace, předloženo jako doktor.diserace, s. 274
 - (1969) Vedení tepla zeminami a stanovení součinitel teplotní vodivosti, Sborník VTS, Praha, s. 78-98
 - (1973) Využití nestac. Šíření tepla k určení koeficientu tepl. vodivosti. Inž. stavby, s. 449 – 452
 - (1971) Šíření tepla v poloprostoru pod kruh. a obdélník. tepel. zdroji, Inž. stavby č. 8 – 9, s. 521 – 537
 - (1978) Rychlost ochlazování a ohřívání horniny v okolí nekonečného ..., konference VTS Ostrava
11. Weiglová, K., Rekonstrukce založení budovy poškozené sedáním, 1978

12. Meloun, V., Fiala, A., Statické posouzení obytné budovy v Lesné, pro PBH Brno, 1976
13. Paseka, A., Šamalíková, M., Znalecký posudek v oboru geotechniky ve věci pojistné události č. 96 310 01167 v Moravských Bránicích ze dne 7. 6. 1996
14. Horák V., Paseka, A., Pospíšil, Inženýrská geologie a mechanika hornin, Brno, 2004
15. Weiglová, K., Mechanika zemin, Brno, 2005
16. Alijev, S. K., Sulejmanov, N. A., Ob odnom kriterii dla ocenki prosadočnosti loessovyh gruntov. Voprosy mekhaniky gruntov i fundamentostrojenija. Baku, Azerbajdžanskij politechn. Institut, 47 – 56, 1972
17. Audrie, T., Bouquier, L., Collapsing behaviour of some loess soils from Normandy. Q. Jl Engng. Geol. Northern Ireland, 1976
18. Fabíni, P., Vlastnosti spraší a sprašových hlín v niektorých oblastiach Slovenska. Sborník USG, 1, Žilina, 72 – 86, 1957
19. Fabíni, P., Mechanické vlastnosti spraší z dvoch lokalít. Sborník Celoštátnej konferencie mechaniky zemín v stavebno – inžinierskej praxi, II, Brno, 126 – 137, 1958
20. Feda, J., Vliv dráhy a úroveň napětí na soudržnost spraše. Staveb. Čas., 19, 121 – 138, 1971
21. Herčár, J., Spraše v okolí Svodína na Hronskej pahorkatine. Časopis pro mineralogii a geologii, 163, 263 – 274, 1971
22. Havlíček, J., Prosedavost spraší v Praze – Suchdole Sb. Současné problémy mechaniky zemin při výstavbě hl. města Prahy, 83 – 91, 1976
23. Hraško, J., Minaříková, D., Šajgalík, J., Zloženie a vlastnosti spraší veľkých nížinných riek. Vedecké práce Laboratória podoznalectva, 3, 245 – 283, 1968
24. Kolasa, M., Skoušky prosedavosti spraše z Dejvic, Inž. Stavby, 4, Bratislava, 234 – 249, 1963
25. Košťalik, J., Charakteristika a stratigrafia púd a spraší Nitrianskej pahorkatiny. Bratislava, Nauka o Zemi VIII., Pedologia 9, 143, 1974
26. Košťalik, J., Linkešová – Kuševová, M., Mineralogicko – petrografická charakteristika spraší južnej časti Nitrianskej pahorkatiny. Vedecka práce Laboratória podoznalectva, 2, 1967

27. Košťalik, J., Bedrna, Z., K vývoju niektorých pod sprašových pahorkatín Podunajskej nížiny od pliocénu po súčasnosť na základe mikromorfologických poznatkov. Vedecké práce Výskumného ústavu podoznalectva a výživy rastlín, 5, 74 – 96, 1971
28. Mencl, V., Mechanika zemín a skalních hornín, Praha, ČSAV, 1966
29. Mencl, V., Mechanika zemín a zakladanie stavieb. Výtahy z přednášek). IGHP Žilina, 1979
30. Mencl, V., Mechanika zemín a zakladanie stavieb. Výtahy z přednášek). IGHP Žilina, 1987
31. Mencl, V., Rozbor chování spraší na svazích a ohrožení staveb. INGEO Žilina, 1991
32. Paseka, A., Procházka, J., Problémy zakládání budov ve spraších. Sborník celostátní konference „Zakladanie v podmienkach makropórovitých zenín“, Košice, 1988
33. Paseka, A., Procházka, J., Naklání devítipodlažních budov v Brně - Jundrově. Sborník konference Zakládání 88, Brno, 1988
34. Paseka, A., Drobníčková, H., Stehlíková, V., Příčiny poruch objektů rozvodny VN v Brně – Medlánkách. Sborník konference u příležitosti jubilea V. Mencla, Brno, 1992
35. Paseka, A., Poruchy staveb způsobené vlivy založení a kvalitativními změnami v základové půdě v sídlišti Brno – Lesná. Ročenka GS. 1985
36. Pelišek, J., Spraše dolného Pováží. Geol. Zbor. Slov. Akad. Vied a umení, III., 3 – 4, 87 – 101, 1953
37. Pelišek, J., Spraše a sprašové hlíny Československa. Geologický průzkum, 14, 9, 250 – 254, 1972
38. Prošek, F., Ložek, V.,Sprašový profil v Bance u Piešťan. Anthropozoikum III, 301 – 323, 1953
39. Prošek, F., Ložek, V.,Výskum sprašového profilu v Zamarovcích u Trenčína Anthropozoikum IV, 181 – 205, 1954
40. Rybárova, P., Vlastnosti spraší a ich vplyv na návrh plošných základov. Manuskript, archiv Katedry geotechniky SVŠT Bratislava, 1977
41. Schalek, D., Mechanické aspekty štruktúrneho kolapsu spraší. Stavebnicky časopis, 23, 27 – 42, 1975

42. Solčanská, D., Horčíková, V., Vplyv stavebnej aktivity na štruktúrny kolaps prachových zemín. Manuskript, práce SVOČ, archiv katedry geotechniky SVŠT Bratislava.
43. Šajgalík, J., Martiny, E., Čičel, B., Povod, mineralogickochemické zloženie a koloidnodisperzné minerály spraší z okolia Trenčína. Geolog. sbor. XII, 2, 256 – 276, 1961
44. Šajgalík, J., Genéza spraší vo svetle súčasných výskumov. Acta Geol. Et Geograf. U. C., Geol. 9, 219 – 228, 1965
45. Šajgalík, J., Malgot, J., Geotechnické problémy na podkovaných sprašiach v Novom Meste nad Váhom. Geologický průzkum X, 7, 197 – 199, 1969
46. Šajgalík, J., Modlitba, I., Vplyv prostredia vzniku sedimentu na niektore fyzikálno – mechanické vlastnosti spraší. Mineralia Slovaca, 5, 1, 9 – 20, 1973
47. Šajgalík, J., et.al., Regionálny výskum spraší v slovenských Karpatoch. Manuskript, archiv katedry geotechniky SVŠT, Bratislava, 1975
48. Šajgalík, J., Mahr, T., Geotechnické vlastnosti mladowurmských spraší sv. časti Trnavskej pahorkatiny. Geotechnický sborník, Alfa 37 – 50, 1975
49. Šajgalík, J., Makropórovitosť spraší a jej problematika. Mineralia Slovaca, 9, 5, 321 – 326, 1977
50. Šajgalík, J., Influence of loess structure collaps on residential areas. Symposium IAEG – Changes og the Geological Environment under the influence of Mans Activity. Part II, Poland, 238 – 245, 1979
51. Šajgalík, J., Modlitba, I., Štúdium preliačivosti spraší Trnavskej pahorkatiny. Inžinierskogeologické štúdium horninového prostredia a geodynamických procesov Bratislava. Veda, VSAV, 244 – 260, 1979
52. Šajgalík, J., Modlitba, I., Spraše podunajskej nížiny a ich vlastnosti, Veda, VSAV, Bratislava, 1983
53. Vantruba, V., Mancová, K., Solčanská, D., Voda jako rozhodující faktor porúch stavebných objektov založených na sprašiach. Manuskript, praca SVOČ, archiv Katedry geotechniky SVŠT, Bratislava, 1978
54. Záruba, Q., Mencl, V., Inženýrská geologie. Nakladatelství ČSAV Praha, 1974
55. Zborník prednášok, Zakladanie v podmienkach makropórovitých zemín. Dom techniky ČSVTS, Košice, 1988

56. Bažant, Z., Paseka, A., Vliv kořenového systému stromů na stavební objekty. SANACE, ISSN 1211 – 3700
57. Bažant, Z., Paseka, A., Stromy a stavební objekty založené na jílovitých zemínách. Malenovice 2005, ISBN 80-86604-21-7
58. Horák, V., Paseka, A., Příčiny vzniku poruch a návrh opatření na jejich eliminaci u rodinného domu v Moravanech u Brna. Malenovice 2005, ISBN 80-86604-21-7
58. Bažant, Z., Paseka, A., Poruchy objektů vlivem vegetace. Lidé stavby a příroda, 2005, ISBN 80-7204-415-X
59. Bažant, Z., Paseka, A., Vliv vegetace při poruchách staveb. Materiály pro stavbu 8/05
60. Bažant, Z., Klusáček, L., Paseka, A., Inženýrskogeologický průzkum, závady a zesilování plošných základů. In Sborník příspěvků 35. Konference se zahraniční účastí „Zakládání staveb Brno 2007“, str. 89 – 94, ISBN 978–80-7204-544-0
61. Bažant, Z., Erbenová, A., Paseka, A., Poruchy staveb vlivem kořenových systémů stromů
62. Bažant, Z., Erbenová, A., Paseka, A., Vliv vegetace na stavební objekty. Objekt 1/2007, str. 26 – 28
63. Paseka, A., Bažant, Z., Klusáček, L., Zkušenosti se sanacemi staveb založených na jílovitých zemínách. Geotechnika 4/2008, str. 3-6
64. Nešvara, J., Paseka, A., Zkušenosti ze stabilitních řešení odřezu v křídových jílovcích Kopřivnice. Sborník „Geotechnické sympozium Brno“, 1982
65. Paseka, A., Poruchy staveb způsobené vlivy založení a kvalitativními změnami v základové půdě v sídlišti Brno – Lesná. Celostátní seminář „Zakládání na objemově nestálých zemínách se zohledněním vlivu vegetace“ Brno, 1986, str. 123
66. Paseka, A., Procházka, J., Naklánění devítipodlažních budov v Brně – Jundrově. Sborník konference Zakládání 88, Brno
67. Drobníčková, H., Paseka, A., Stehlíková, V., 1992 : Příčiny poruch objektů rozvodny VN v Brně – Medlánkách. Sborník konference u příležitosti jubilea Prof. Dr. Ing. V. Mencla, Dr.Sc., Brno
68. Paseka, A., Poruchy staveb způsobené vlivy založení a kvalitativními změnami v základové půdě v sídlišti Brno – Lesná. Ročenka Geotestu Brno, 1984 – 1985
69. Paseka, A., Hrdina, J., Příčiny naklánění devítipodlažních budov B3 a B4 v obytném prostoru Brno – Jundrov. Ročenka GS GEOTESTu Brno, 1986 – 1987

70. Paseka, A., The effects of some factors on the origin of failures of civil and industrial buildings. Sborník VUT Brno, 1992
71. Paseka, A., Strukturní kolaps některých sprašoidních zemin v Karpatské přehlubni. Geotechnické sympozium VM 90, Brno, 1997
72. Bažant, Z., Klusáček, L., Paseka, A., Příčiny poruch a statické zajištění kostela. Zakládání staveb Brno, 1999
73. Paseka, A., Šamalíková, M., Mencl, V., 1996, Moravské Bránice – Havárie vodovodu
74. Paseka, A., Bažant, Z., Nezbytnost spolupráce statika a inženýrského geologa při výstavbě na problematickém podloží. Zakládání staveb Brno, 2004
75. Paeka, A., Collapse of some loess Carpathian free – deep. IAEG symposium, Řecko, Atheny 1997
76. Kolasa, M., Zkoušky prosedavosti spraše z Dejvic, 1963
77. Křivinka, J., Poruchy tunelových pecí způsobené smršťováním základové půdy, 1971
78. Schalek, D., Poissonovo číslo sprašových základových půd pre pružnú a trvalú deformáciu, 1978
79. Záruba, Q., Spolupráce geologů a inženýrů při výzkumu stavenišť, 1953
80. Denisov, N. J., Některé problémy zakládání na sprašových základových půdách, 1962
81. Myslivec, A., Časový průběh sedání zatížených zrn jílu, hlíny, písku a šterku, 1975
82. Myslivec, A., Poruchy na stavbách vlivem smršťování půdy v podzákladí, 1972
83. Feda, J., 1988, Zvedání soudržné základové půdy vlivem bobtnání. IS 1970, str. 338
84. Paseka, A., 1986, Brno – Jundrov, ul. Dubová. Závěrečná zpráva
85. Paseka, A., 1998, Brno – Belveder. Závěrečná zpráva
86. Paseka, A., 1983, Brno – Lesná, Jurkovičova, Loosova. Závěrečná zpráva
87. Paseka, A., 1975, Brno – Jurkovičova 2. Závěrečná zpráva



88. Mencl, V., Paseka, A., Schmid, P., Mikušková, H., 1995, Švábenice – Kostel. Závěrečná zpráva
89. Eichler, J., Paseka, A., 1980, Trhlínky na objektu Brno – Lesná. Sborník „Zakládání staveb“, Brno
90. Paseka, A., 1992, Brno – Žabovřesky, Bochořákova. Závěrečná zpráva
91. Paseka, A., 1994, Brno – Fíšova. Závěrečná zpráva

6. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

σ_p	povrchové napětí vody
u_w	napětí v pórové vodě
r	poloměr kapiláry
γ_w	objemová tíha vody
h_k	kapilární výška
P	sorpční tlak
d	vzdálenost od povrchu částic (Å)
e	číslo pórovitosti
S_r	stupeň nasycení
r	poloměr kapiláry Å
s_o	objemové smrštění
w_{sh}, w_s	vlhkost na mezi smrštění v %
w_p	vlhkost na mezi plasticity v %
w_L	mez tekutosti
w, w_N	přirozená vlhkost v %
s	poměrné lineární smrštění
V	objem při vlhkosti w
V_{sh}	objem po smrštění
V_w	vody v zemině
V_{sk}	objem skeletu zeminy
γ_s	objemová tíha pevných částic
γ_w	objemová tíha vody
γ_{sh}	objemová tíha zeminy po smrštění
u_a	tlak vzduchu v pórech
κ	Bishopův součinitel pórového tlaku.
Δs	rozdíl poměrných lineárních smrštění
Δw	rozdíl příslušných vlhkostí vzorku zeminy
S_s	lineární smršťování ve svislém směru
S_v	lineární smršťování ve vodorovném směru
Z_1, Z_2	zásoba vody v půdě na začátku (t_1) a na konci (t_2) zkoumaného období
S	srážky za zkoumané období
P_T, P_Z	přírůstek vody v půdě povrchovým, respektive podpovrchovým přítokem z cizího území (z jiných zdrojů než ze srážek)
E	evaporace, tj. výpar půdním povrchem
T	transpirace, tj. spotřeba podzemní vody kořeny rostlin a její odpařování listím
O_T	povrchový odtok srážkové vody na cizí území
O_Z	odtok podzemní vody na cizí území
I_p	index plasticity v %
DTA	diferenciální termická analýza
TG	termogravimetrie
I_c	číslo konzistence
n	pórovitost
ρ	hustota zeminy
$I_{mp}, (I_m)$	koeficient prosedavosti
M_{pr}	modul prosedavosti

e	číslo pórovitosti zeminy s přirozenou strukturou
$\bar{e}_L$	číslo pórovitosti zeminy při vlhkosti na mezi tekutosti podle Vasiljeva
$\bar{w}_L$	vlhkost na mezi tekutosti podle Vasiljeva v %
ρ_s	hustota pevných částic
ρ_N	objemová hmotnost přirozeně vlhké zeminy
ρ_d	objemová hmotnost sušiny
β	koeficientu přirozené ulehlosti
n	přirozená pórovitost zeminy v %
n_p	pórovitost zeminy v %, ekvivalentní k danému svislému zatížení
K_L	kritérium prosedavosti dle Fedy (1977)
S_r	stupeň nasycení zeminy v přirozeném uložení v %
E	modul deformace
$\sigma_1^{ef} - \sigma_3^{ef}$	smykového namáhání
h	hloubka dosahu vysychání
γ_s	měrná tíha
γ_w	Objemová tíha vody
h_E	hloubka na evaporaci
h_T	hloubka na transpiraci
q_D	přetížení zeminy na dolní hraně příčného pásu
q_H	přetížení zeminy na horní hraně příčného pásu