

Inženýr, právník a dodavatel: filozofické tázání po budoucnosti geotechnického inženýrství.

Maurice J. M. Bottiau, EFFC

ČLÁNEK Z KONFERENCE EFFC/DFI 2022 V BERLÍNĚ

V uvedeném roce se konala tradiční konference dodavatelských organizací profese geotechnického inženýrství EFFC - European Federation of Foundation Contractors, zastupující národní federace zemí EU, a také DFI – Deep Foundation Institute, zastupující obdobné organizace i jednotlivce převážně z USA a ostatních zemí světa.

Nejvíce zájmu i ohlasu vzbudila hlavní přednáška belgického reprezentanta M. Bottiau, který je také trvalým vůdčím činitelem těchto konferencí z EFFC. Soustředil se na výhled do budoucnosti naší profese z obecnějšího pohledu. Zarámoval ho do rozboru od počátků inženýrství a pokračoval v něm poukazováním na specifika vývoje v geotechnické oblasti až do dnešních dní. Zabýval se i obchodní stránkou činnosti v oboru, která povětšinou zůstává stranou náplně takovýchto konferencí, ačkoli je pro jeho existenci neodbytnou.

Jelikož jde o výstižnou syntézu aktuální situace i o prognózu života naší odborné profese z celkového pohledu EFFC, uveřejňuje v roce 2023 ADSZS překlad obsáhlejšího článku, který autor na žádost ohlasu odborného publika vypracoval později.

Inženýr, právník a dodavatel: filozofické tázání po budoucnosti geotechnického inženýrství.

Maurice J. M. Bottiau, Franki Foundations Belgium, ABEF (Association Belge des Entrepreneurs de Fondations)

Tato přednáška na počest Johna Mitchella zvažuje budoucí roli geotechnického inženýra v jeho každodenní práci pro naši moderní společnost. Rozvoj velkých dat, rostoucí role předpisů, nebezpečný vývoj smluvního prostředí a v neposlední řadě výzvy vyplývající z klimatologických změn: všechny tyto faktory vytvářejí nové prostředí, kterému se naše profese musí přizpůsobit. Po krátkém ohlédnutí za historií inženýrství a specificky geotechnického inženýrství projdeme tyto různé aspekty a pokusíme se zjistit, jak mohou ovlivnit naši každodenní práci, ale také zda a jak na ně můžeme reagovat. Uvedení těchto nových trendů do perspektivy historie nám snad pomůže prozkoumat, které základní souvislosti naší profese zůstávají platné a které klíčové koncepty by nás stále měly vést od šumu k signálu. Vzhledem k záměru DFI při založení této přednášky a při vzpomínce na osobnost Johna Mitchella bude věnována zvláštní pozornost tématu komunikace.

ÚVOD

Je asi zbytečné tvrdit, že na počátku 21. století je technika přítomna všude. Inženýři jsou ústřední více než kdy jindy. Zároveň je však jejich role kritizována kvůli důsledkům jejich působení na životní prostředí a společnost obecně. Je zajímavé, že toto zpochybňování není tak nedávné, jak bychom si mohli myslet. Toto téma nastolili již před 20 lety S. C. Florman (1994) nebo našemu oboru bližší prof. Brandl (2004). *"Inženýr dnes, navzdory všem svým znalostem a úspěchům, může stále vyhlížet na moře, která jsou málo zmapovaná, a na pobřeží stále temná. Každý nový úspěch odhaluje další problémy a nové možnosti."* (Florman, 1994). Podle Williamse (2002) vstupuje inženýrství dokonce do procesu „rozsáhlého rozpadu“, který vyvolal jeho vlastní úspěch.

Neustále přibývá lidí, kteří se nazývají nebo si říkají inženýři, a rozšiřují se činnosti inženýrského typu. Když v této přednášce mluvím o inženýrech, mám na mysli lidi, kteří spolupůsobí s inženýrskými činnostmi, nikoli konkrétně absolventy nebo stavební inženýry. Řeknu to jasně, v mé prezentaci není žádné rozvíjení korporativismu. Ta historická perspektiva, kterou rozvinu krátce dále, ještě více prokáže, že koncept inženýra pevně vychází z řemeslné práce a vyvinul se v normovanou profesi teprve nedávno.

Poznámka editora:

V originále tohoto článku se opakovaně používají pojmy „mechanika zemin; zemina“, které jsou dány jednak přesnou citací pramenů z historických počátků geotechnického inženýrství a pak také lokální zvyklostí v Belgii, kde územně převažují zeminy. Dnes již celosvětově převažuje terminologie užívající v češtině pojmy „mechanika zemin a hornin; základová půda“ a pro překlad byl text takto přizpůsoben. Stylisticky se v daném kontextu překladu využívá občas jen náhradní synonymní výraz „půda“.

Inženýr hledá řešení. Snaží se vytvořit obraz reality, který je poměrně věrný a dostatečně zjednodušený tak, aby vedl k použitelnému výsledku v požadovaných mezích přesnosti. (Travadel, 2021). Pro geotechniky to jistě platí ještě více, ale k tomu se vrátím později.

Inženýři, ať už vycházejí z renomované univerzity, nebo do své role dospěli díky zkušenostem, jsou identifikovatelní podle silné „*profesní identity*“ (Becker & Carper, 1956). Dnes je tato identita pod tlakem. Hranice mezi obory se stírají a inženýři a ne-inženýři jsou nyní zapojeni do multidisciplinárních projektů, které nahrazují obory jakožto organizační principy technicko-vědeckých činností. K dispozici je stále více dat, více analýz, jaké důsledky může mít takové nebo onaké jednání, stále více nepředvídaných událostí: administrativních, etických, smluvních, které musí inženýr vzít v úvahu. Je to úplně nové? Vstupujeme do nové éry, kdy je třeba se obávat rozsáhlého rozpadu naší profese? To se pokusím analyzovat z pohledu historie.

INŽENÝR: malý historický pohled se zvláštním zaměřením na inženýrství zakládání

S Antoniem Diasem de Figueiredo věřím, že ti, „*kterí se chtějí označit za inženýry, kteří jsou zodpovědní za školení inženýrů budoucnosti nebo se podílejí na vytváření nových znalostí v oborech souvisejících s inženýrstvím, hodně získají, budou-li věnovat pozornost vzácnému dědictví*“ staletí, ba tisíciletí inženýrství (De Figueiredo, 2013). Proto začnu tuto přednášku JM krátkým ohlédnutím do historie inženýrství a obzvláště geotechnického inženýrství.

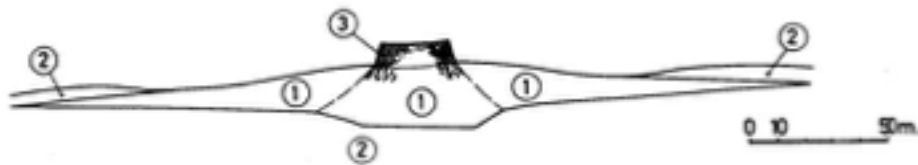
Rané inženýrství: od pravěku až po starověký Egypt

Inženýr pochází z latinského slova *ingenium*: schopnost vynalézat. A skutečně, velká část vývoje inženýrství je výsledkem individuálních a kolektivních snů o věcech, které nikdy neexistovaly. Představitost je ve skutečnosti základní složkou inženýrské praxe. Inženýrství, jak si to můžeme ověřit v naší každodenní praxi, téměř vždy předchází vědeckému poznání. První projev inženýrské praxe by tedy mohl souviset s tím, co Dewey nazývá „*inteligentní akce*“, nebo myšlenka „*trénovat (představou) v různých směrech souběžných akcí*“ na rozdíl od klasické metody pokusů a omylů (Dewey, 1930). Ne všichni autoři tuto vizi sdílejí (Travadel, 2021), ale líbí se mi myšlenka, že první přítomnost inženýrské praxe lze datovat do doby před dvěma a půl miliony let (Roberts, 2002), kdy naši prehistoričtí předkové zjistili, že mohou brousit hrany odlámaných kamenů, které používali jako nástroje, a uvědomili si, že zkoumání těchto vylepšených nástrojů by mohlo vést k objevu nových postupů (Figueiredo, 2013).

Přeskočme nyní pár set tisíc let a podívejme se do kolébky naší civilizace: do Mezopotámie a starověkého Egypta. Mezopotámské hlíněné tabulky s klínovým písmem dokládají rané stopy inženýrství: použití matematických nástrojů, použití nákrešů a grafických znázornění, ale dokonce i raná pravidla projektového řízení. Babylonští „inženýři“ se již v 3000 př. n. l. zabývali sofistikovanými praktickými problémy v matematice, algebraickými rovnicemi, pravoúhlými trojúhelníky, plochami půdy, objemy zdiva, kubickým obsahem kanálů, které mají být vyhloubeny.

V Mezopotámii se zákoník Hammurabi výslovně zabýval pravidly, odpovědnostmi a přijatelnými standardy zpracování mistrů stavitelů. (Figueiredo, 2013). Kerisel (1991) také uvádí mnoho příkladů, jako je umění stavět zikkuraty v Mezopotámii. Tyto vysoké masivní stavby byly vyrobeny ze sluncem vypálených cihel rozprostřených v následných vrstvách. Byly vybudovány na měkkých aluviálních usazeninách. Jak uvedl řecký geograf Strabo (asi 60 př. n. l.), půda je hluboká a měkká. Poddá se tak snadno, že se příkopy a kanály ucpou

nebo zanesou... Proto, jak stavba pokračovala, povolily brzy podložní naplaveniny pod tíhou a základna se rozprostřela do stran. Aby se rychlost sedání zpomalila, byly práce několikrát přerušeny a obnoveny, takže se rychlost sedání postupně snižovala. Nakonec bylo možné postavit *temenos*, posvátnou ohradu podpírající malý chrám nahoře (obr. 1). Kolem roku 2100 př. n. l. začali Sumerové každých šest až osm řad zdiva vysušeného sluncem prokládat silnými vrstvami tkaného rákosí; tak se zrodil nejranější prototyp vyztužené zeminy. Tímto způsobem se zabránilo horizontálním tahům způsobeným tendencí základů k rozšiřování. Jedním z nejhezčích příkladů je dobře zachovalý zikkurat Aqar Quf poblíž Bagdádu. Výsledkem bylo, že zikkuraty mohly být postaveny s téměř příkrymi stranami a masivními chrámy na vrcholu. (Burland, 2008; Ziegler, 2017)

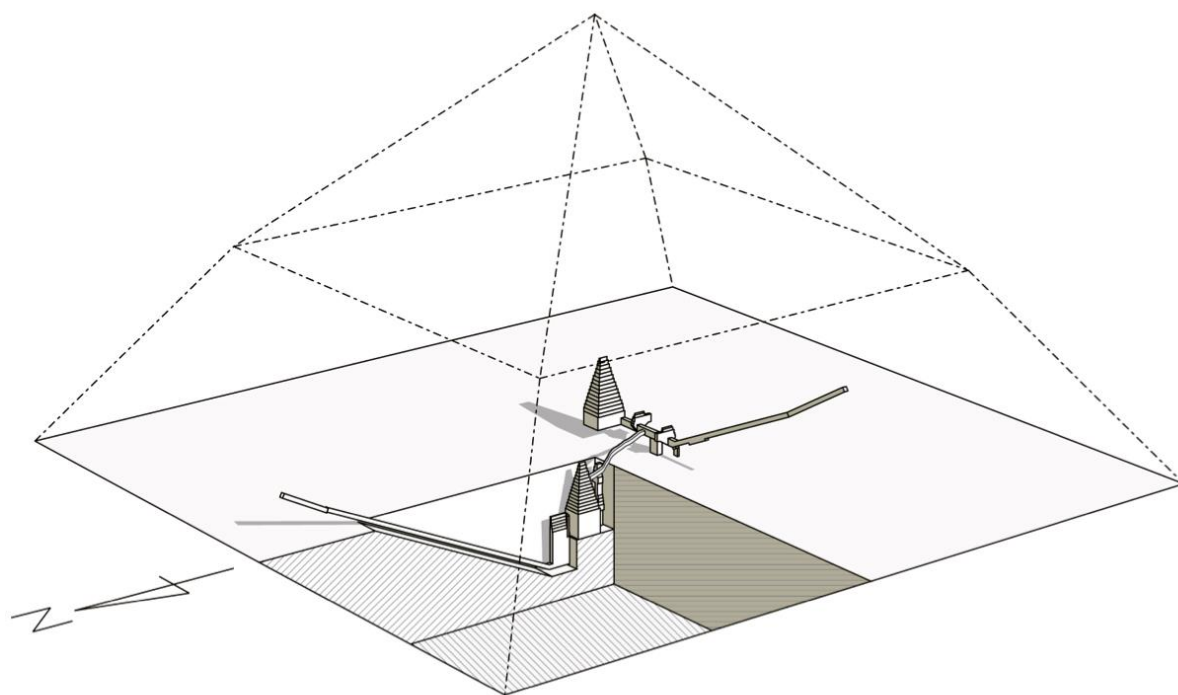




Obr. 1 Zikkurat Aqar Quf u Bagdádu – v Kerisel (1991) a Ziegler (2007)

Ve starověkém Egyptě měl hlavní stavitel, který byl zároveň architektem, inženýrem a stavitelem, obvykle velmi vysoké postavení a byl zodpovědný za řízení celého procesu těžby kamenného materiálu, jeho dopravu na staveniště, dozor nad celou stavbou, a organizování obrovské pracovní síly (Chiu, 2011).

V tomto období se také rozvíjelo inženýrství zakládání, založené především na empirické praxi. Jak uvádí Burland (2008), Parry popisuje, jak se staří Egyptané poučili ze selhání základů pyramidy v jižním Dahšúru. Tato pyramida byla postavena za vlády faraona Snofrua (2575–2551 př. n. l.), zakladatele 4. dynastie, spolu s pyramidou severní Dahšúr. Pyramida byla postavena s použitím centrálního jádra podepřeného řadou šikmých opěrných zdí, což se stalo tradicí. Kerisel popisuje, jak byla pyramida zamýšlena ke stavbě pod strmým úhlem (60° k horizontále), což vyvolalo mohutný efekt prolomení na podzákladovou zeminu. Navíc byla postavena na nevhodné jílovité půdě, deformovatelné při velkém zatížení. Jedna z pohřebních komor je podzemní a v poměrně dobrém stavu. Podle Kerisela však její stavba v této měkké zemině mohla zapříčinit, že stavitele přinutilo sedání přizpůsobit svůj návrh a zřídit důkladné pažení z cedrového dřeva a vybudovat rozepření v podlaze, aby se stěny nehroutily.



Obr. 2 Lomená pyramida severního Dašhúru – v Monnier F. , Puchkov A. (2016)

Jak lze pochopit, stavba těchto klenotů historie byla často zajištěna na základě pozorování a metody pokus omyl. Už tenkrát se lidé uměli poučit z chyb a neúspěchů!

Rád zde uvádím následující příklad z doby o nějakých sto let později, který jsem objevil při svých historických výzkumech. Egyptský faraon Ptolemaios II. se počátkem 3. století př. n. l. pustil do velkého projektu rekultivace půdy a vytvořil další ornou půdu zpětným posunutím umělého jezera Moeris, nádrže a regulátoru povodní a vybudoval nové hráze a zavlažovací

kanály. Tyto práce byly provedeny pod dohledem inženýra (ἀρχιτέκτων) Kleona a jeho pobočníka Theodorose. Inženýr byl odpovědný za plánování, uzavírání smluv a dozor nad pracemi, zatímco zařízení dodávala vláda. Inženýři se při provádění prací mohli spolehnout na územní administrativu Nome (Bart Van Beek, 2012; A. Bouché-Leclercq (1908)). Je zábavné a poučné číst, že konflikty vznikly kvůli dočasnému nedostatku peněz na výplatu dělníků, ale také kvůli nesprávným prioritám a...administrativní zátěži! Zde je příklad dopisu, který Kleon obdržel od diecéty Apollonia, pravděpodobně správce sousední země:

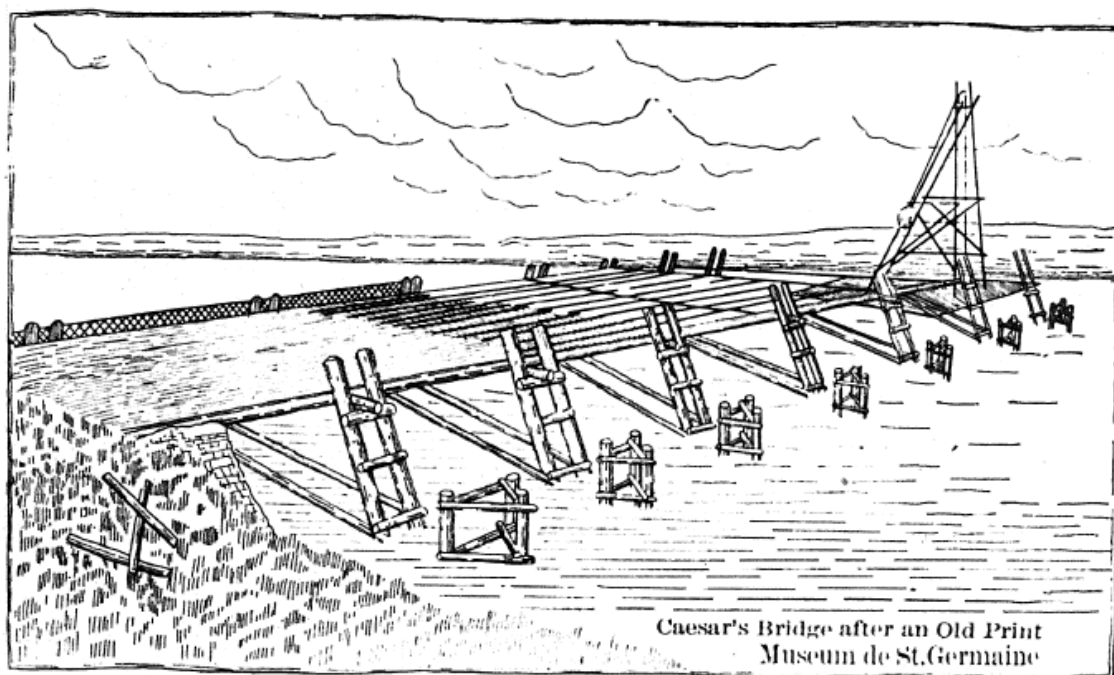
Poslal jsem vám zprávu 22. dne, ve které jsem vás požádal o poskytnutí pracovní skupiny, která by vyčistila rohy malého kanálu; ale zdá se, že jste nás cestou k jezírku minuli. Neměli byste být takhle přehlíživí; ale když vidím, že země není zavlažována, oznamuji vám důvod, proč nemáme vodu, a tak vydejte znovu rozkazy a upravit jezírko tak, aby byla tato příčina odstraněna. Přijďte nás navštívit zítra poté, co řeknete svým inženýrům, že musíme dostat vodu.

Nebo v jiné zprávě stavitel informuje Kleona, že nemohl pokračovat v nezbytných pracích na stavbě hráze, protože nedostal peníze kvůli absenci spolupodepsaných dokumentů požadovaných bankou! Vypadá to, že je to na jednom z našich dnešních stavenišť!

Řecko a Řím, kde vidíme první napětí mezi vědou a inženýrstvím.

„Ačkoli řecké a římské civilizace byly silně ovlivněny mezopotámskou a egyptskou kulturou, jejich postoje ke znalostem a praxi se vyvíjely radikálně odlišnými směry, což způsobilo první zásadní rozkol mezi kulturou vědy a inženýrstvím“ (Figueiredo, 2013). Staří Řekové, posedlí existencí globálních „přírodních zákonů“, investovali hodně do rozvoje teoretických znalostí. Lze je považovat za první vynálezce vědeckého přístupu. Thales, Euklid, Aristoteles, všechna tato jména jsou známá svým přínosem k pochopení matematických a fyzikálních základů. Tyto teorie našly uplatnění v architektuře, ale překvapivě jich nebylo mnoho v inženýrství. Během řeckého období zůstalo inženýrství hodně založeno na „dovedném přizpůsobení praktik dřívějších civilizací“ (Figueiredo, 2013).

Římané zase z velké části ignorovali vědy a rozvinuli skvělé aplikované technické znalosti založené na osvojování a zdokonalování cizích postupů a obdivuhodně podporované svými manažerskými a organizačními schopnostmi. Kromě jiného, jak každý ví, umožnil jejich objev betonu postavit několik mohutných monumentů, z nichž nejznámější je jednoznačně římský Pantheon, který je dodnes největší nevyztuženou betonovou kupolí na světě. Také do značné míry využívali piloty pro mosty a další konstrukce. Příkladem je *Pons Sublicuis*, což znamená „pilotový most“, který byl postaven na řece Tibeře v Římě více než 6 století př. n. l. (Van Houten, 1932).



Obr. 3 Římský stroj na zarážení pilot - ve Van Houten, 1932.

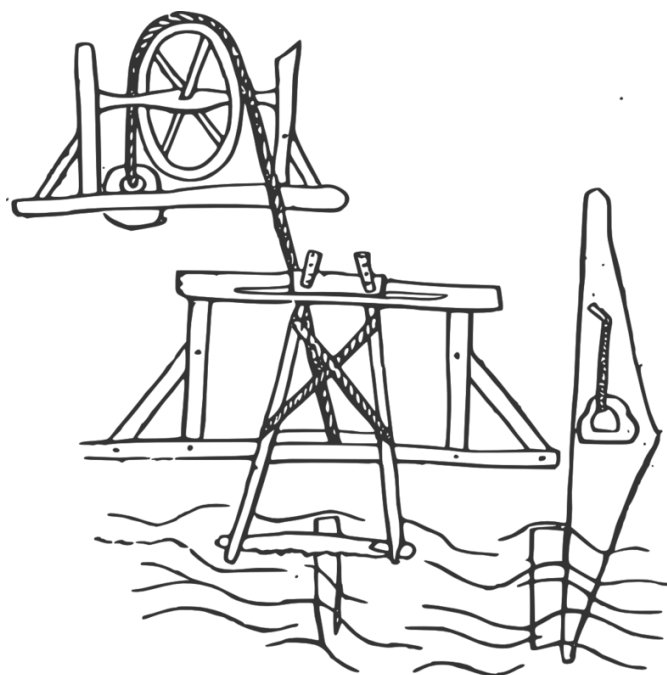
Sociální status inženýra, *architekton* nebo *architectus*, nedosahoval ve starověkém Římě a dokonce ani ve starověkém Řecku na stejnou úroveň jako v Mezopotámii nebo Egyptě.

Na základě těchto příkladů je zajímavé zamyslet se nad určením typických vlastností těchto prvních inženýrů/stavitelů. Začali svou „kariéru“ jako řemeslníci a stali se z nich zkušení stavitelé. Jejich technologie se vyvíjely na základě experimentálních výsledků s využitím grafických prezentací jejich požadovaných objektů, které lze považovat za první kroky koncepce. Poté se jejich praktické znalosti vyvinuly směrem k intelektuálnějším a vědecktějším poznání, včetně prvních kroků k matematickému modelování. Nakonec se museli seznámit se společenskými vědami, jako je (projektový) management a účetnictví. Připomeňme si to, až se budeme zabývat současnými protichůdnými (?) požadavky naší profese.

Středověk

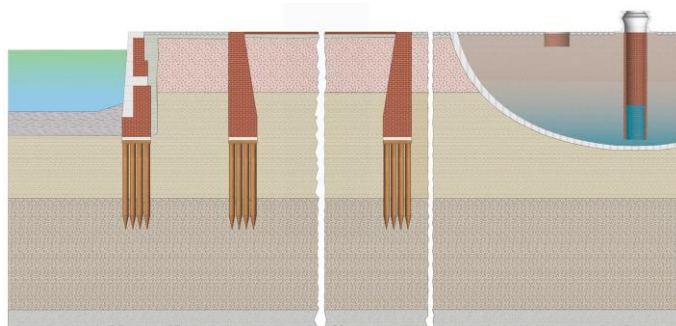
Jak každý ví, po pádu Římské říše nastalo na Západě období temna. „*Je však chybou předpokládat, jak to někteří dělají, že se západní civilizace vrátila do primitivních podmínek, které předcházely dokonce i Sumerům nebo Egyptu, jelikož Evropu zachvátili nomádi, když římské bariéry slábly*“ (Kirby et al, 1990). Ale je pravda, že vývoj inženýrství nastal ve středověku hlavně díky inteligentním postupům a praktickým aplikacím, a ne čisté vědě. Abstrakce vědeckých pojmů a vývoje se přesunula na východ: do islámských zemí nebo Indie. „*Byl to islám, který zdědil a udržoval řeckou vědu a technologii ve středověku*“ (Kirby et al, 1990). Mezi 8. a 12. stoletím se inženýrství realizovalo na poli experimentování a extrapolace současných postupů, většinou založených na římském modelu. Takto stavěli evropští inženýři větší a vyšší kostely a rozšiřovali používání kleneb, aniž by se snažili zjistit, jak funguje statika. Když bylo potřeba, pomohlo modelování, výkresy, šablony ve skutečné velikosti. Jako příklad chci uvést zápisník Villarda de Honnecourta, architekta třináctého

století, uchovávaný v Bibliothèque Nationale de Paris. Dochovalo se 33 jeho skic s vysvětlivkami. Jeden z náčrtů ukazuje zařízení na odřezávání pilot pod vodou. (Kirby a kol., 1990)



Obr. 4 Zařízení pro odřezávání pilot pod vodou (Villard de Honnecourt, Bibliothèque Nationale de Paris)

V tomto období si také rozvoj větších a bohatších měst vyžadoval nové technologie. Například v Itálii byly Benátky vystavěny na bažinách. "*Město z tesaného kamene postavené na strašlivé půdě.*" (Kerisel, 1991) Město Benátky bylo postaveno na ostrovech v laguně, počínaje oficiálně v roce 421 našeho letopočtu kostelem San Giacomo na ostrůvku Rialto (Roloff, 2016). Na vzniku města se především podílel fakt, že lidé prchali před barbary z hroučící se Západořímské říše. Původ skutečné laguny lze vysledovat zhruba do doby před 6000 lety, v údobí zvýšení mořské hladiny v průběhu holocénu (Roloff, 2016). Za účelem rozšíření využitelné půdy benátské laguny, musely být bažiny vytěženy. Benátčané tedy postavili řadu kanálů, které by vodu odvedly a obnažily více plochy, na které by mohli stavět. Boky těchto kanálů byly zpevněny dřevěnými prkny a kůly, aby se zabránilo jejich opětovnému zaplnění za přílivu a odlivu. S rozšiřováním města byly tisíce dřevěných pilot zaraženy na tvrdou překonsolidovanou jílovou vrstvu známou jako Caranto.



Facies A (Anthropocene Formations/Sediments) - includes: structural and stratigraphic configurations of compacted and undifferentiated Anthropocene sediments with occasional, cavern-like voids, hydrologic, Quaternary sand inclusions/ systems, rectilinear, meta-agillitic/indurated mudstone strata (fired brick) of Holocene clays inter-fingered with assorted clastics in complex calc-silicate matrix (mortar), Jurassic Is-trian limestone inter-fingered strata, Oligocene trachyte and variable-colored Mesozoic carbonate upper strata and recent wooden vertical/horizontal organic dikes (pilings/made-rie-zattere). Deposition by human agency using contemporary technology.

Anthropocene Substructure Formations/Sediments / Facies A **Holocene/Pleistocene Sediments / Facies L/P/W/F**

Facies L (Lagoonal Sediments) - Gray and dark gray silt and silty clay, containing mollusk shells and vegetal remains. Inter-tidal and subtidal mud flats with intercalated tidal channel sand deposits. Lagoonal environments related to the Middle Holocene marine ingress and the following marine high-stand.

Facies P (Palustrine Sediments) - Dark greenish gray clay and silt with small vegetal inclusions. This environment appears to have preceded the Middle Holocene marine ingress. General to Venice but not in this area.

Facies W (Altered Alluvium/Caranto) - Fine-textured alluvial deposits with abundant iron mottles and calcitic nodules. Latest Pleistocene and the Early to Middle Holocene (ca. 14,500–6000 14C yr B.P., or ca. 17,500–7000 cal. yr B.P.). A calcic paleosol, buried by Middle to Late Holocene marine trans-gressive deposits, represents a subsurface layer long known in the Venice area as “caranto.” The caranto exhibits relatively high compressive and shear strength, making it an important substrate for architectural foundations of Venice.

Facies F (Fluvial Plain) - Massive gray silt inter-layered with coarsening upward sequences of silty clay, silt, sandy silt, and fine micaceous sand with structureless or laminated medium to coarse sand. These sediments were deposited during the LGM (last glacial maximum) and are interpreted as floodplain deposits interlayered with levee and crevasse splay deposits.

Obr. 5 Benátský komplex základových konstrukcí spočívá na třetihorních až permských uloženinách na krystalickém podkladu – Roloff (2016)

Piloty byly často rozmístěny těsně vedle sebe, a jsou tak raným příkladem pilotového roštu. Mezi piloty naházeli Benátčané balvany a kameny.



Obr. 6 Uspořádání dřevěných pilot v Benátkách – Roloff (2016)

Stejné technologie byly použity, *mutatis mutandis*, v Amsterdamu a Sant Petersburgu.

Vedle těchto technických pokroků se ve druhé polovině 12. století ustavovaly další univerzity a s nimi započalo i hledání teoretičtějších znalostí. Bylo znovu objeveno řecké dědictví, obohacené islámským vědeckým a technologickým pokrokem. Věda a filozofie podpořily experimentální znalosti, a zacementovaly tak propast mezi vědou a inženýrstvím. To nakonec vedlo ke vzniku moderní vědy v 17. století.

Renesance, kde se umění setkává s inženýrstvím

Impozantní růst bohatých měst, zámožné aristokracie a rozvoj obchodu a cestování daly vzniknout generaci umělců-inženýrů, kteří koncipovali inovativní stavby spolu s velkolepými ornamenty. Jak uvádí mnoho autorů, významní renesanční umělci-inženýři názorně dokládají jedinečný příspěvek k vývoji inženýrství: Filippo Brunelleschi, Francesco di Giorgio a mistr nad mistry Leonardo da Vinci (Figueiredo, 2013). Tito umělci, spisovatelé, malíři, řemeslníci zásadním způsobem přispěli ke shrnutí konceptů praxe inženýrství: jinými slovy k projektování. Začali používat grafickou reprezentaci, náčrtky a řezy, otáčeli a rozkládali pohledy, systematicky si všímali svých osobních zjištění a nápadů „*způsoby, které umožňovaly mnohem výkonnější formy uvažování, mnohem důkladnější popisy a mnohem lepší komunikaci myšlenek přes bariéry nevyřčených (tacitních) znalostí*“ (Figueiredo, 2013).

Leonardo da Vinci (1452–1519) se poučil od svých předchůdců, ale díky „*své tvůrčí vynalézavosti, mistrovství v kreslení a malbě a mimořádně pokročilým znalostem geometrie a perspektivy*“ (Cervero-Melia, 2020) mohl kombinovat náčrtky, grafy, plány, text a kresby „*působivé grafické kvality*“ a zahájit, lépe než jeho současníci, zásadní průlom v praxi inženýrství: modelování nebo projektování. Cervero-Melia (2020) cituje následující prohlášení ředitele Institutu a muzea pro dějiny vědy ve Florencii Paola Galluziho:

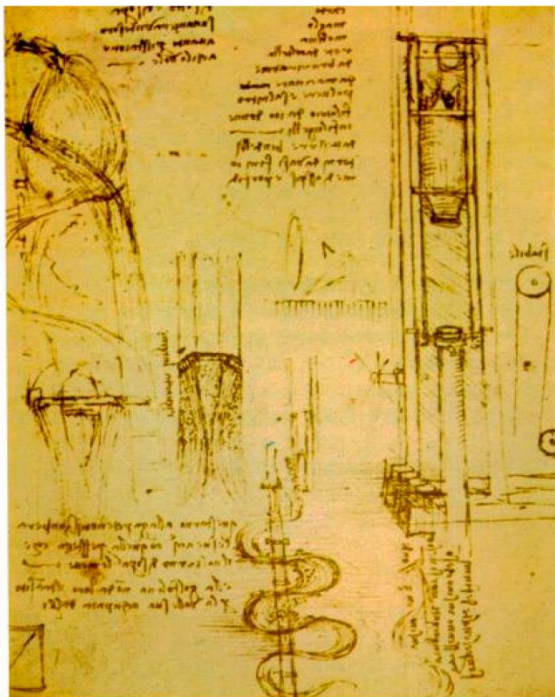
„Cílem, který Leonardo sleduje, je poskytnout přesné a naprosto jasné znázornění struktury a fungování extrémně složitých mechanismů využívající řadu grafických prostředků (půdorysné a boční pohledy, průhledné řezy, pohledy na komponenty, simulace kinematických řetězců, použití „šerosvitu“ k podtržení povrchů v kontaktu, schematizace silochar atd.), které nikdo předtím organicky nepojal a především vědomě neaplikoval na komunikační projekt související s horizontem techniky.“

Leonardo mohl své modely také podpořit teoretickou analýzou a důkladným pozorováním přírody. Da Vinci byl horlivým zastáncem zkušeností a experimentů. Jak bylo nedávno objeveno, v jednom ze svých poznámkových bloků uvedl:

Nejprve však provedu několik experimentů, než pokročím dále, protože mým záměrem je nejprve citovat zkušenost a poté na základě uvažování ukázat, proč zkušenost musí fungovat takovým způsobem. A to je skutečné pravidlo, podle kterého musí postupovat ti, kdo hloubají o účincích přírody. (Ms. E, folio 55r) (Capra, 2007, jak uvádí Figueiredo, 2013).

Terzaghi o pět století později by řekl přesně to samé!

Da Vinci také výrazně přispěl ke konstrukci různých nástrojů a nářadí, z nichž některé jsou z našeho oboru. Ve svých Zápiscích uvádí: „*Mechanika je rájem pro matematické vědy, protože s ní matematika přináší ovoce.*“ Velký znalec fyziky, mechaniky, metalurgie a principů fungování strojních prvků využívá tyto znalosti k vývoji několika obráběcích strojů (Cervero-Melia, 2020). Například v Codex Atlanticus, f. 785 (kolem roku 1500 - obrázek 7), můžeme najít nákresy stroje na zarážení pilot do země, které zamýšlel použít ve svém projektu na odklonění řeky Arno ve Florencii. Je předchůdcem beranidla a principem se velmi blíží moderním zařízením, s přístrojem, který zvedal závaží vedeným způsobem pomocí kladek a klik, takže to naráželo na pilotu co největší silou. Převod klikové řemenice umožnil opakování operace.



(a)



(b)

Obr. 7 Stroj na beranění Leonarda Da Vinci v Cervero-Melia, 2020.

Vznik inženýrství jako profese

Inženýrství jako „skutečná profese“ má v první řadě co dělat s armádou. Francouzská monarchie jako první začlenila do své armády stálý sbor inženýrů, zaměřených na válčení, ale také na hlavní občanské stavby: mosty, silnice a kanály. *Ecole des Ponts et Chaussées* byla založena v roce 1747 a představuje významný krok směrem k organizovanějšímu vzdělávání v oborech založených na vědě a matematice (Figueredo, 2013). Následně byla v roce 1794 založena *Ecole Polytechnique*, která poskytovala ještě formálnější teoretické a matematické vzdělání.

Naopak ve Spojeném království, hnaném vpřed průmyslovou revolucí, zůstávala výuka stavebního inženýrství po dlouhou dobu primárně založena na učňovském vzdělávání a empirickém přístupu, a proto bylo inženýrství méně elitářské. „*Upřednostňovalo praktický a empirický přístup k řešení problémů a mělo tendenci pohlížet na matematické a teoretické*

přístupy s podezřením“ (Reynolds, 1991). John Smeaton hrál důležitou roli při podpoře založení Společnosti stavebních inženýrů v roce 1771.

Třetí hnutí vyrostlo v Německu na počátku 19. století pod záštitou Wilhelma von Humboldta, pruského ministra školství. Model upřednostňoval vizi univerzity založené na jednotě výuky a výzkumu. Tento model, i když neměl v Německu bezprostřední vliv, rychle přijaly mladé Spojené státy americké, kde probíhala důležitá debata o výchově mladých inženýrů. O něco později se tento model vrátil do Evropy (Figueiredo, 2013).

Od té doby se inženýrství stalo profesí s absolventy, registrovanými nebo autorizovanými inženýry a vzdělávání bylo, v různé míře a nikoli bez sporů, založené na vědách a teorii. Tato diskuse je otevřená dodnes.

Geotechnické inženýrství a zrod mechaniky zemin jako vědy

Zpočátku bylo studium zakládání součástí obecného stavitelského umění. Jak jsme mohli vidět výše, hodně to souviselo s pozorováním a nápravami poruch. Postupně se vyvinulo v samostatnou disciplínu a později rozšířilo svůj záběr a stalo se vědou, která studuje určité formy staveb, na zemi nebo v zemi (Kerisel, 1991). Jak jsem uvedl dříve, až v 18. století začal teoretický vývoj skutečně podporovat inženýrství. V oblasti mechaniky zemin můžeme uvést jména Coulomb, Boussinesq, Rankine nebo Atterberg, abychom uvedli jen některé.

Coulomb si jistě zaslouží zvláštní zmínku. Známý svým výzkumem elektřiny a magnetismu přispěl rozhodně zásadním způsobem k našemu oboru svými pracemi „*o aplikaci pravidel maxima a minima na některé statické problémy související s architekturou*“ (anglický překlad Heymana /1972/ Coulombových memoárů na Královské akademii věd v Paříži v roce 1773). A zásadní byly pro dva paralelní problémy té doby: posouzení sil potřebných k tomu, aby vydržely tlak u oblouků a kleneb, a stanovení tlaku zemin proti stále vyšším opěrným zdem v obranných systémech vyvinutých v té době Vaubanem.

Ale po dlouhou dobu, i když byla věnována určitá pozornost technologiím stavby základů, byly málo zmiňovány mechanické vlastnosti základové půdy, a jak by mohla být hodnocena její odezva (Burland, 2007).

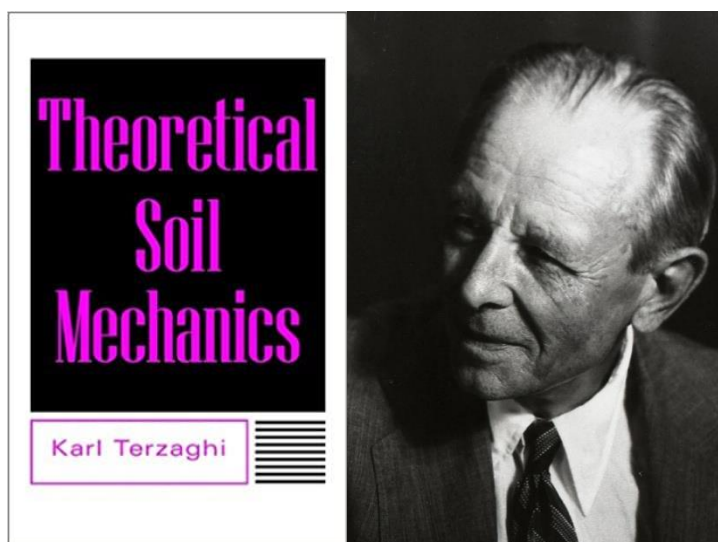
Navzdory významným, dokonce hrdinským inženýrským úspěchům při výstavbě důležitých základů, opěrných konstrukcí a tunelů se jen málo vědělo o faktorech, které řídí mechanické chování půdy z hlediska její pevnosti a tuhosti. Navíc zde neexistuje téměř žádný odkaz na vliv podzemní vody na pevnost, stabilitu nebo zemní tlaky. Není divu, že docházelo k častým poruchám, zejména svahů a opěrných zdí (Burland, 2008).

Zrod moderní mechaniky zemin se obecně datuje rokem 1925 a vydáním, Terzaghiho díla *Erdbaumechanik*. Život a dílo Karla Terzaghiho byly krásně popsány v knize Richarda Goodmana: *The Engineer as Artist* (Inženýr coby umělec, 1999). Tato velmi obohacující a vysoce poučná kniha líčí Terzaghiho dobrodružný život muže, který se narodil v Rakousko-Uhersku, před první světovou válkou navštívil Rusko a poté Konstantinopol, než se opět vrátil do Rakouska a Německa. V roce 1938 uprchl do USA, které se staly jeho druhou vlastí. V následujících letech pracovně působil v Egyptě, Indii nebo Jižní Americe.

Poté, co nejprve vystudoval strojní inženýrství na Technické univerzitě v Grazu, přestože byl málem vyloučen za divoké aktivity, jako například souboje. Zachránil ho profesor Wittenbauer poukázáním na to, že univerzita neučinila skvělá rozhodnutí v případě několika předchozích vyloučení, včetně nikoho menšího než Tesly, který se i bez inženýrského titulu stal vynálezcem, jak ho známe! Terzaghi tedy úspěšně absolvoval a jeho láska ke geologii ho přivedla ke stavebnictví. Během povinné roční vojenské služby si krátil nudný volný čas překladem anglické populární příručky terénní geologie do němčiny (Goodman, 1999).

V roce 1916 byl jmenován profesorem na Královské osmanské inženýrské univerzitě v Konstantinopoli. Tam vedle výuky studoval dostupnou literaturu o chování základové půdy. Stav znalostí v této oblasti ho velmi neuspokojoval a snažil se založit malou laboratoř a provádět experimenty. *„Na několika listech papíru uvedl řadu možných způsobů testování zemin, vytvořil náčrtky potřebného vybavení a navrhl, jak by se daly výsledky vyhodnocovat. Tyto listy papíru představují zrození mechaniky zemin.“* (Goodman, 1999)

Začal získávat slávu a uznání, od roku 1925 pracoval pro MIT (Massachusetts Institute of Technology), kde navázal celoživotní spolupráci s Arthurem Casagrandem. V roce 1929 se vrátil ve vší slávě do Vídně na Technische Hochschule. I když se mohl těšit z mnoha vzrušujících výzev díky různým poradenským pracím a vysokému uznání v Německu a Rakousku, politický vývoj v Evropě posílil jeho rozhodnutí odejít a v roce 1938 se vrátil do USA. Zde měl řadu přednášek a odborných konzultací, mj. na dalších projektech chicagského metra a nakonec vyučoval na Harvardu. Z tohoto období se datuje jeho spolupráce s mladým inženýrem z Casagrandeho okruhu Ralphem Peckem. V roce 1943 se stal americkým občanem. Nezastavil se až do konce, v 80 letech dělil svůj čas mezi výuku, pořádání nezapomenutelných přednášek a působení jako konzultační inženýr pro mnoho vynikajících projektů své doby po celém světě. Kromě toho neúnavně pracoval na několika knihách.



Obr.8 Prof. Karl Terzaghi – zakladatel mechaniky zemin.

Terzaghi celý život prosazoval nezbytnou rovnováhu mezi teorií a praxí, mezi základními znalostmi a zkušenostmi.

„Samotná zkušenost vede k množství nesouvislých faktů. Ale samotná teorie je stejně bezcenná v oblasti inženýrského zakládání, protože existuje příliš mnoho faktorů, jejichž relativní důležitost lze zjistit pouze ze zkušenosti.“

V tomto je jeho odkaz pro naši profesi nesmírný a každým dnem stále platnější.

Geotechnické inženýrství

Měli bychom se mýlit, když tvrdíme, že při navrhování konstrukcí je vše jasné a přímočaré a že v geotechnickém inženýrství je vše neznámé a složité.

Inženýrství je umění modelování materiálů, kterým úplně nerozumíme, do tvarů, které nedokážeme přesně analyzovat, aby odolali silám, které nedokážeme náležitě posoudit, takovým způsobem, že veřejnost nemá důvod podezírat míru naší neznalosti. (Dr. A. R. Dykes, British Institution of Structural Engineers)

Je zajímavé poznamenat, že toto bylo napsáno stavebním inženýrem, což dokládá, pokud to bylo nutné, že nejistoty existují také ve stavebním inženýrství. Geotechnickým inženýrům je to však jasné. Ovšem ne vždy jejich zúčastněným stranám, že samotná povaha média, se kterým se musí vypořádat, vytváří další potíže. Jak uvedl Terzaghi:

Zeminu bohužel vytváří příroda a ne člověk a produkty přírody jsou vždy složité... Jakmile přejdeme od oceli a betonu k zemi, všemohoucnost teorie přestává existovat. Přírodní zemina není nikdy stejná. Její vlastnosti se mění bod od bodu, zatímco naše znalosti o jejích vlastnostech jsou omezeny na těch několik míst, kde byly vzorky odebrány. V mechanice zemin nikdy přesnost vypočtených výsledků nepřekročí přesnost hrubého odhadu a hlavní funkcí teorie je naučit nás, co a jak pozorovat v terénu. (Terzaghi, 1936, in Goodman, 1999)

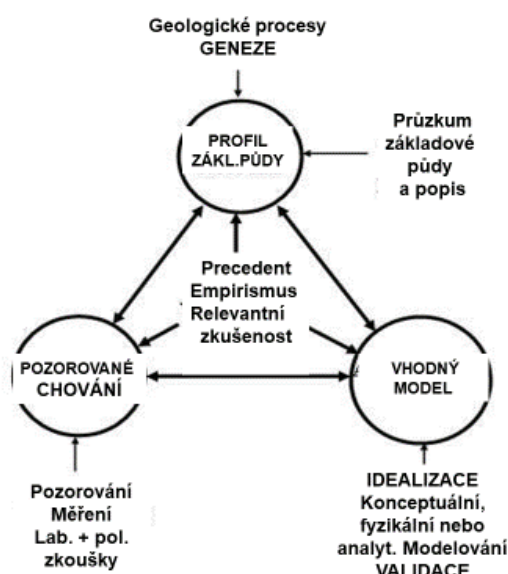
Pro stavební inženýry jsou geometrie a vlastnosti materiálů dobře známé a kontrolované. Hlavní nejistoty souvisí s modelováním zatížení a samozřejmě s kvalitou provedení. Pro geotechnického inženýra jsou geometrie zeminy (profil základové půdy, podzemní voda...) a vlastnosti zeminy (jak vyplývají z in-situ a/nebo laboratorního testování) mnohem méně známé a vyžadují pak další zkoumání. V mnoha situacích není vysoká přesnost předpovědi dokonce možná kvůli inherentním nejistotám, jak Terzaghi nikdy neopomněl příležitost zmínit. I dnes, navzdory (anebo někdy právě proto) špičkovým numerickým modelům a četným vědeckým pracím publikovaným o různých velmi sofistikovaných otázkách, nejistoty přetrvávají.

Burland (2007) dobře shrnul klíčové aspekty, které je třeba vzít v úvahu při řešení problému inženýrství základové půdy na základě názorů vyjádřených Terzaghim. Podle prof. Burlanda zahrnuje geotechnické modelování nejméně čtyři odlišné, ale vzájemně propojené činnosti, z nichž každá má svá vlastní přísná pravidla:

- Stanovení profilu základové půdy včetně stavu podzemní vody.
- Vyhodnocení naměřeného nebo pozorovaného chování základové půdy jak v laboratoři a/nebo v terénu.

- Predikce pomocí vhodně idealizovaných fyzikálních nebo analytických modelů.
- Použití empirických postupů a úsudků na základě případových studií a důležitých zkušeností.

Hranice mezi těmito čtyřmi činnostmi se často zaměňují a jedna nebo více z nich je často zcela opomíjena (Burland, 2008). Prof. Burland představuje tyto čtyři aspekty pomocí toho, co poprvé nazval Trojúhelník mechaniky zemin a v roce 2007 přejmenoval na *Geotechnický trojúhelník*, protože došel k závěru, že je stejně dobře použitelný i v praxi.



Obr. 9 Geotechnický trojúhelník prof. Burlanda (Burland, 2007)

Nemohl bych více souhlasit s přístupem a komentáři prof. Burlanda. Interakci mezi místními půdními podmínkami, správné pochopení chování základů a metod výpočtu jsem rozvedl v předchozích článcích (Bottiau, 2014, Bottiau a Huybrechts, 2019).

Konceptuální trojúhelník prof. Burlanda vnáší do značné míry jasno v tom, jak tyto prvky úzce souvisí jeden s druhým. Rozvím zde níže ty čtyři dimenze spolu se svou vlastní zkušeností.

Profil základové půdy

Nemohu dostatečně zdůraznit důležitost správných a dostatečných údajů z průzkumu základové půdy. Stále častěji musíme bojovat proti majitelům a klientům a přesvědčovat je o důležitosti adekvátního porozumění půdním podmínkám. Těm stejným klientům, kteří v pozdější fázi požadují, aby dodavatelé nesli všechna rizika spojená s měnícími se podmínkami základové půdy.

Na druhou stranu je stejně důležité, aby byla data uvedena do správného kontextu a dala profilu základové půdy vzniknout. „*Data v kontextu se stávají informací*“ (Barends, 2005). Kontext závisí na subjektivní úrovni vzdělání a na zkušenostech jednotlivců a je nanejvýš důležité to objektivizovat. Transformace dat průzkumu do profilu základové půdy se

správnou stratigrafií, informacemi o podzemních vodách a variacemi se může zdát samozřejmá, ale není tomu tak.

Podle Burlanda je 9 poruch z 10 způsobeno nedostatkem znalostí o profilu základové půdy – často o podmínkách podzemní vody. Peck (1962) tvrdil, „že metodologie geologa spočívá v provádění pozorování, jejich organizování a sestavování, formulaci hypotézy a následném kritickém testování hypotézy“. A to je úkolem geotechnického specialisty.

Pozorované nebo měřené chování základové půdy

Během let praxe jsem se naučil, že vždy můžeme být překvapeni chováním půdy a dopadem toho, co v ní budujeme. Z tohoto důvodu je důležité zůstat pokorný a pozorovat a měřit. Teprve pak můžeme „kriticky otestovat naši hypotézu“. *"Vhled do chování půdy byl získán pozorováním procesů, neviditelných a ne zcela pochopených."* (Barends, 2005)

Jak ukázal Terzaghi, vyžaduje to hluboké znalosti v základním pochopení mechanických vlastností základové půdy a podzemní vody, založené jak na geologii, tak na mechanice zemin a podpořené dostatečnými experimenty a testováním.

Myslím, že je to správné místo, kde je třeba zdůraznit velmi důležitý vliv vody v základové půdě. Často podceňujeme vliv přítomnosti a vývoje vody v průběhu stavebního procesu, včetně dopadu našich vlastních prací. Zkraje své přednášky na počest Jamese Forresta v Institution of Civil Engineers v roce 1939 učinil Terzaghi nezapomenutelný výrok, že:

*V inženýrské praxi nejsou potíže se zeminami téměř výlučně způsobeny zeminami samotnými, ale vodou obsaženou v jejich pórech.
Na planetě bez vody by mechanika zemin nebyla potřeba.*

Vhodné modelování

Počínaje profilem základové půdy a pochopením chování půdy musí geotechnický inženýr vytvořit model pro analýzu a předpovídání odezvy půdy. *"Může to být velmi jednoduchý koncepční model, může to být fyzický 1g model nebo model odstředivky, může to být velmi sofistikovaný numerický model."* (Burland, 2008). Model musí být validován a testován. Význam testování nelze dostatečně zdůraznit. V pozdější části uvidíme, jak mohou nedávné pokroky v testování dramaticky pomoci v pochopení analýzy odezvy půdy. Je však důležité rozpoznat limity modelu.

Všechny modely jsou špatné. Některé modely jsou užitečné. (George Box, statistik)

To znamená, že každý model má svá omezení, ale pokud je známe a model byl pro svůj účel ověřen, jsme v pořádku.

Empirické postupy a zkušenosti

Mezi třemi vrcholy na trojúhelníku Burland zmiňuje „precedent, empirismus a relevantní zkušenost“. Zkušenosti inženýra, ale i předchozí zkušenosti se stavebním systémem, dodavatelem, použitým zařízením. Zejména jsem v předchozích příspěvcích zdůrazňoval

obrovský vliv provedení samotného prvku hlubinného založení v souvislosti s místními půdními podmínkami. V roce 2014 jsem v úvodním referátu pro DFI/EFEC Stockholm, *Parametry instalace, chování piloty a důležitost zkoušení*, napsal, že konečné chování piloty určují:

- správné specifikace očekávaného chování (kapacita, deformace, ...);
- nezbytné adekvátní porozumění a dokumentace místních půdních podmínek;
- ověřené chování systému: jinými slovy zdokumentovaný důkaz, že systém byl testován v rámci ověření třetí stranou za podobných podmínek;
- schopnost dodavatele prokázat předchozí zkušenosti v (skutečných) podobných podmínkách základové půdy;
- dokumentace na místě a monitorování provádění pilot, aby bylo zajištěno, že všechny piloty byly instalovány s dostatečným stupněm reprodukovatelnosti;
- adekvátní výběr zkoušení chování pilot jak pro výzkumné účely, tak pro kontrolu provádění.

Kvalifikace

K dosažení výše uvedených kroků se stává nejdůležitější kvalifikace odborníků. V rámci společného úsilí Belgické společnosti pro geotechnické inženýrství (GBMS/BGGG) a inženýrské geologie (Rock 'n Geo) byl nedávno v Belgii spuštěn registrační systém pro geotechnické inženýry a specialisty. To zaznamenává určitý úspěch a doufáme, že klienti začnou u určitých typů prací o takovou registraci žádat. ISSMGE také pracuje na této otázce a toto úsilí by mělo být podporováno.

V některých zemích, jak uvádí Peter Day, úřady považují rezervaci určitých kategorií inženýrských prací za protisoutěžní. V důsledku toho jsou výhody takové registrace téměř vyloučeny a kdokoli se může svobodně nazývat (geotechnickým) inženýrem a vykonávat praxi jako takovou (Day, 2017).

Spoléhání na teoretickou vědu

Viděli jsme, jak se inženýrství nejprve vyvinulo z praxe a řemesla, aby bylo postupně podporováno vědeckým výzkumem a modely, ale také experimentováním. „*Vliv vědy na pokrok inženýrství se začal projevovat až s francouzskou École des Ponts et Chaussées v 18. století, těsně předtím, než se v 19. století náhle stal mocným a nezvratným*“ (Figueiredo, 2013).

V oblasti geotechnického inženýrství se toto chápání rozvinulo teprve v posledních sto letech. Terzaghi byl první, kdo vytvořil silnou teoretickou a vědeckou základnu pro inženýrství zakládání v tom, co se stalo vědou o mechanice zemin. Zároveň mu velmi ležela na srdci nutnost sepětí s praxí a zdůrazňoval dramatický význam případových studií.

Teorie – a dokonce i velmi přísná teorie – je nutná pro výcvik a rozvoj naší schopnosti správně interpretovat to, co pozorujeme; ale zároveň, jen s teorií bychom nemohli v oboru zemního inženýrství dosáhnout vůbec ničeho, a čím více jasných faktů dokážeme nashromáždit, tím lépe. Vždycky ztrácím trpělivost s lidmi, kteří si myslí, že pochopili samotné jádro látky poté, co se jim podařilo znázornit nějakou její

uměle zjednodušenou fází pomocí komplikovaných trojných integrálů; zatímco současně s tím zapomněli, jak zemina skutečně vypadá. (Terzaghi, 1928)

Od té doby se mechanika zemin dále vyvíjela jako samostatné téma výzkumu, který až příliš často přímo nesouvisí s tématy, která jsou pro praktiky zajímavá. Jak uvedl Peter Day ve své přednášce na počest Terzaghi v roce 2017, „*jakou cenu mají naše schopnosti řešit problémy, když řešíme špatné problémy a řešení buď nejsou, nebo nemohou být realizována v praxi*“ (Peter Day, 2017).

Tato interakce mezi výzkumem a praxí je zásadní, jak je znázorněno na obrázku 10 od Petera Daye níže.

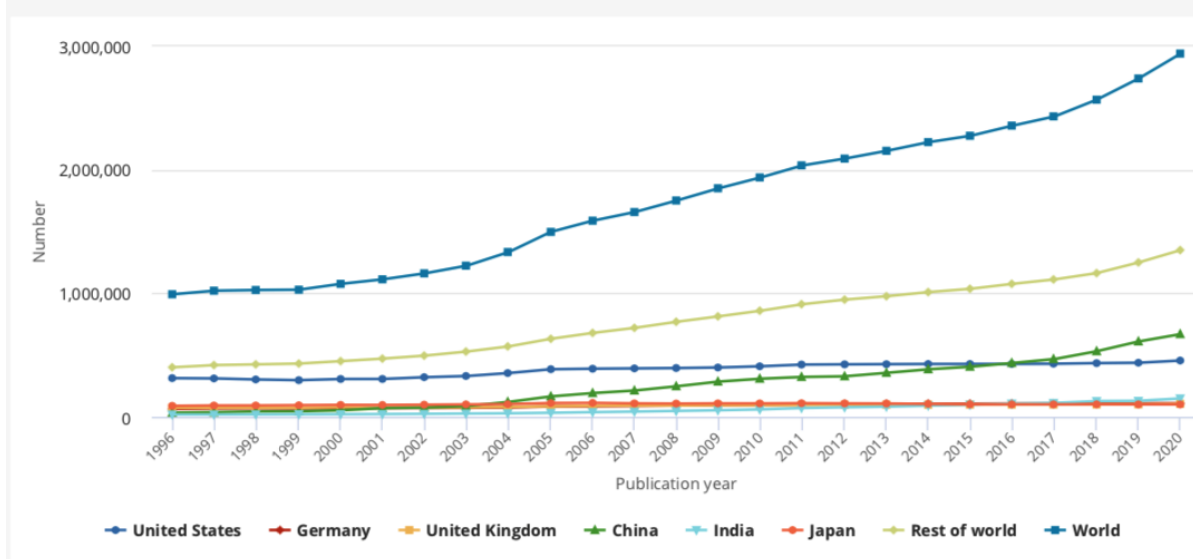


Obr. 10 Cyklus rozvoje a realizace znalostí. (P. Day, 2017)

Velký vliv na explozi počtu vědeckých publikací má nedávný růst výpočetních schopností, snazší přístup ke studiu i postgraduálnímu, ale především větší zaměření univerzit na množství publikací v časopisech nebo konferencích. Vedly také k vytvoření stále větší propasti mezi akademií a odborníky z praxe.

Obr. 11 níže ukazuje nárůst publikační produkce Science and Engineering dosahující až 2,9 milionu článků v roce 2020, což představuje nárůst o faktor 3 pouze za posledních dvacet let!

S&E articles, by selected region, country, or economy and rest of world: 1996–2020



Obr. 11 Nárůst publikační produkce Science and Engineering (zdroj NSB Science and Engineering indikátory).

Mezi odborníky z praxe panuje velká obava, že se výzkum do značné míry odděluje od praxe. Ale také, a to je ještě důležitější, více času a energie se vynakládá na „vytváření nových poznatků, spíše než na upevňování toho, co již známe, a na přenos těchto konsolidovaných znalostí do praxe“. (Peter Day, 2017) Rád bych dodal, „údajně“ nových poznatků. Protože nešíříme znalosti správně, existuje vysoká pravděpodobnost, že stejné problémy jsou zkoumány a publikovány na různých místech po celém světě, a dokonce jsou znovu vynalézány.

Selhání, bezpečnost a transparentnost

„Zdá se, že pokroky v geotechnice pokračují po selháních. Vzhled do chování půdy byl získán pozorováním procesů, neviditelných a ne zcela pochopených. (Barends, 2005)

V každé fázi čtyř aktivit trojúhelníka prof. Burlanda vidíme, jak se musíme vypořádat s nejistotami a tím i rizikem. Ať už mluvíme o kreslení profilu základové půdy, modelování odezvy půdy a stavbě podzemní konstrukce, zjednodušujeme, idealizujeme, konceptualizujeme, jsme závislí na svévolné přírodě a spoléháme na individuální výkon. *Být inženýrem je lidské* je název pěkné knihy Henryho Petroského (1992) s podtitulem *Role selhání v úspěšném návrhu*. Petroski je přesvědčen, že „selhání je pro pochopení inženýrství zásadní“. A určitě je tomu tak v geotechnickém inženýrství. Naším každodenním cílem je samozřejmě vyvarovat se selhání. A abychom toho dosáhli, musíme se seznámit s nepřesnostmi, nejistotami a lidskými chybami nebo neschopnostmi.

Při tomto pokusu bychom měli hledat bezpečnou nejistotu místo nejisté bezpečnosti. Ve svých předpovědích musíme být sebevědomí a zároveň podezřívaví ohledně jejich velkých marží. Laikovi může tento paradox, co geotechnický expert radí, připadat jako nespolehlivý. Vyžaduje to okno do reality ohraničené odhadovanými

mezemi skutečných očekávání. Tuto pravdivost geotechniky musíme vysvětlit a sdělit. (Barends, 2005)

Musíme více investovat do vzdělání našich partnerů. Jedině tak se nám podaří dostat do povědomí našich klientů a možná dosáhnout i lepších dohod. Jak je potřeba toto hodnocení rizik také správně ošetřit ve smlouvách, což není jednoduché téma, se budu věnovat v pozdější části. Každopádně je však potřeba lépe rozpoznat rizika spojená s geotechnickým inženýrstvím.

Ve své knize *Řízení geotechnických rizik (2001)* Clayton velmi správně uvádí, že

- je zřídka možné, ať už je vynaloženo mnoho odborných znalostí, času a peněz, získat:

- úplný obraz stavu základové půdy pod stavenišťem;
- přesné vlastnosti základové půdy z místa na místo,

a proto bude obvykle existovat určitá nejistota během návrhu a výstavby

-...

- efektivní řízení geotechnických rizik může mít potenciálně velké výhody. Je zapotřebí systém řízení rizik, aby byla zajištěno, že všechna geotechnická rizika jsou

- identifikována
- analyzována a
- kontrolována

(Clayton, 2001)

Dosáhneme toho pouze, budeme-li transparentnější a otevřeně se budeme zabývat riziky a nejistotami, které jsou podstatou naší profese. Musíme sdílet své neúspěchy i úspěchy.

- Transparentnost nejistoty v geotechnických pracích usnadní správné posouzení rizik a jejich sdílení vhodnými formami smluv, čímž se zabrání nepružnosti, nerozhodnosti a časovým ztrátám.

- Musíme těm, kdo rozhodují, vysvětlit nejistotu v geotechnice a zvýšit povědomí o sociálních a ekonomických výhodách, které plynou ze snižování rizik.

(Barends, 2005)

Musíme také zlepšit způsob, jakým se vypořádáváme se složitostí. V další části budeme hovořit o „složitosti“, proč se liší od „komplikovanosti“ a jak právní předpisy a vývoj výpočtových modelů v této věci příliš nepomáhají.

Řešení rizika: složitě nebo komplikované?

Knihu Goverta Geldofa *Složitost a hodnota praktických znalostí (Complexiteit en de waarde van praktijkkennis, pouze v holandštině, 2019)* jsem objevil díky významnému belgickému geotechnikovi. Geldof se v této knize zabývá rozdílem mezi složitostí a komplikovaností.

On uvádí:

- Složitost = to, co existuje
- Komplikovanost = to, co je vytvořeno (lidmi).

Základní myšlenka je: **je to** (život, příroda, situace,...) složité a **my** to komplikujeme. Jak pravdivé to je!

Geldof pracuje v sektoru vodohospodářských služeb. Jeho svět není daleko od našeho a jeho poznatky platí i pro naši každodenní realitu. Jak jsem uvedl dříve, základová půda je složitá, protože „*její vlastnosti se mění bod od bodu, zatímco naše znalosti o jejích vlastnostech jsou omezeny na těch několik míst, kde byly vzorky odebrány*“. (Terzaghi, 1936, in Goodman, 1999).

Ale nejen médium, ve kterém stavíme naše konstrukce, je složité, ale složité je i celé prostředí, a to každým dnem více. Protože problémy nabývají na složitosti, rozdělili jsme je na kousky, přičemž každá strana se specializovala na ještě užší témata. Což je do jisté míry dobré, protože jsme získali přesnější znalosti o specifických problémech. Ale kvůli rozdrobení do samostatných oblastí jsme se vyvinuli jako samostatné entity a přestali jsme spolu diskutovat. Aby to lidé vyřešili, pokusili se vybudovat systémy řízení, procesy, procedury a předpisy, čímž přeměnili složitost na komplikovanost.

Tyto postupy a požadovaná dokumentace nyní generují z důvodu zvyšující se kapacity informačních systémů nezvládnutelné množství informací a komunikace, kterou se každý snaží pracně strávit a zpracovat. Potřebujeme tuto tendenci zvrátit a vrátit se k efektivnější komunikaci a spolupráci. „*Otázky jsou dnes tak složité, že nejlepších řešení lze dosáhnout pouze otevřenou spoluprací. Vyžaduje to velké úsilí a ryzí ambice.*“ (Barends, 2005)

Kvůli této rostoucí specializaci jsme ztratili kontakt s praktickými znalostmi, které Hubert Dreyfus nazývá (jak uvádí Geldof) *nevyřčenými znalostmi (tacit knowledge)*. Nevyřčené tacitní znalosti jsou znalosti, které máte, ale jen stěží je dokážete vysvětlit slovy nebo větami. Je to implicitní. Nemůžete to vložit do počítačového programu. Toto je stěžejní bod geotechnického modelování prof. Burlanda: aplikace empirických postupů a úsudků na základě případových studií a relevantních zkušeností. Úsudek je klíč. Úsudek založený na znalostech, ale také na intuici, zkušenostech a zhodnocení možného dopadu našich rozhodnutí a činů. „*Stali jsme se společností, která se tak rychle mění, že jsme ztratili výhody jednoho z největších nástrojů lidstva: zkušenosti*“ (Petroski, 1992).

Zkušenost (tacitní znalost) umožňuje implicitně integrovat různé parametry, které na první pohled nemusí být nutně ve hře. Je to podobné tomu, co přimělo Terzaghiho světit se, když se zamýšlel nad některými úspěchy, jež měly všechny něco společného. „*Krátce poté, co dorazil na staveniště, si povšiml některých rozhodujících detailů, které všichni ostatní přehlédli.*“ (Goodman, 1999) Samozřejmě, že zkušenost by vždy měla být zasazena do kontextu.

Při využití dosavadních zkušeností pro návrh nové konstrukce postupujeme analogicky a žádný analogický závěr nelze považovat za platný, pokud všechny rozhodující faktory ve srovnávaných případech nejsou prakticky totožné. Zkušenost nám neříká nic o povaze těchto faktorů a mnoho inženýrů, kteří jsou na své zkušenosti hrdí, ani netuší, jaké podmínky jsou pro platnost jejich duševních operací zapotřebí. Naše praktické zkušenosti tedy mohou být velmi zavádějící, pokud se s nimi nespojí poměrně přesné pojetí mechaniky uvažovaných jevů.“ (Terzaghi, 1939, in Goodman, 1999)

Musíme věnovat větší pozornost riziku vymizení tacitních znalostí. Ale proč by tacitní znalosti zmizely? Není to výrok, se kterým přichází každá generace? Ostatně, jak jsme si zde všimli výše, starověcí inženýři se také museli vypořádat se složitým prostředím a museli se orientovat v technické problematice, ale i ve společenských vědách, projektovém řízení... V současném vývoji našeho pracovního prostředí však vidím několik důvodů, které kombinovaně představují riziko, že přispívají k postupnému zániku tacitních znalostí a k zásadní modifikaci naší profese:

- rostoucí potíže s efektivní komunikací;
- rozvoj digitálního prostředí a velkých dat;
- rostoucí význam předpisů;
- rostoucí význam hodnoty smluv.

Pořadí, ve kterém jsem je uvedl, je záměrné: vidím je jako progresivní vrstvy komplikovanosti a zatuhlosti. Již jsem zdůraznil vznik autonomních entit, které spolu stěží komunikují. Tato obtíž je umocněna rozvojem našeho digitálního prostředí. Předpisy představují další vrstvu rigidity a brání úsudku. Konečně smlouvy dominují odborným vztahům a stávají se jediným arbitrem při rozhodování o projektech. Vezměme tyto body jeden po druhém.

Nedávný vývoj našeho profesionálního prostředí

Potíže s výkonnou komunikací

Správná komunikace je klíčová. Kaplan & Vinck (2013) při analýze inženýrských postupů uvádějí, že většina selhání, s nimiž se setkali, se týká spíše sociálních interakcí než chyb ve smyslu vědeckých a technických znalostí a práce. Downey (2009) zmiňuje třenice s ne-inženýry, kteří mohou definovat problémy odlišně. Opatrnost na cestě ke spolupráci, šíření informací, vyjednávání atd. se jeví jako zásadní součást inženýrské práce.

Všichni zažíváme ve svém každodenním podnikání absolutní paradox mezi šířením komunikačních nástrojů a zjevným nedostatkem účinné komunikace mezi lidmi, subjekty, oblastmi. Žijeme pod tlakem digitálních nástrojů, aplikací, softwaru a paketů. Musíme sami ukládat data na webových nástrojích, archivovat naše reporty o sdílených místech, stahovat a nahrávat množství informací přes odkazy ... dokonce se můžeme setkat s touto hrozbou vyvolanou digitálním prostředím a generováním velkých datových toků i u projektů menšího rozsahu. V posledních letech jsme byli svědky dramatického vývoje v množství a objemu produkováných, shromážděných a přenášených dat:

- zvyšující se objemy specifikací, doporučení, norem zpřístupňovaných prostřednictvím webových platforem nebo sdílených míst, často neseřazených a pojmenovaných kódy a čísly, které jsou jasné pouze lidem, kteří je navrhli;
- rostoucí množství syrových a nezpracovaných dat: průzkum základové půdy, systémy monitorování strojů;
- exponenciální objemy vědeckých výzkumů a zpráv.

Existuje riziko, že se v množství produkovaných informací ke strávení ztratíme. Příliš mnoho informací informace zabíjí!

Rosalind Williamsová, bývalá děkanka na MIT, analyzovala Reengineering (rozumněj digitalizaci) fakultních služeb Institutu (Retooling, 2002). Jak vysvětluje, Reengineering na MIT slíbil „*zásadní přehodnocení a radikální přepracování podpůrných procesů s cílem dosáhnout dramatického zlepšení výkonu*“. Zlepšení se ale nedostavilo, nebo alespoň byly optimalizace kompenzovány novými problémy. Specifické problémy nebyly řešeny a velká část neformální komunikace zmizela. Nárůst používání digitálních komunikačních nástrojů nepřispěl ke zlepšení komunikace. Jak Williamsová vysvětluje, je to proto, že mají tendenci klást důraz na transakce spíše než na interakce (neformálnější konverzace), které tvořily značnou součást komunikace.

Kombinace více izolovaných a specializovaných subjektů, komunikujících především prostřednictvím digitálních systémů, vede k nedostatečnému přenosu řady neformálních informací a zkušeností. Inženýři potřebují získat know-how a praktické dovednosti, aby dosahovali pracovních výsledků ve specifických kontextech a pro konkrétní kontexty, přičemž se musejí umět poučit z neúspěchů (Petroski, 1992). Inženýrství je třeba chápat jako sociální výkon, ve kterém se odborné znalosti rozdělují mezi účastníky a vycházejí z jejich sociálních interakcí. Základem inženýrské praxe je distribuovaná odbornost, odehrávající se prostřednictvím sociálních interakcí mezi lidmi spojujícími formální a nevyřčené (tacitní) znalosti s odborností různých lidí. (Kaplan, 2013)

Předávání znalostí

Jak jsem uvedl výše, kapitalizace (nevyřčených) znalostí je v éře internetu kapitálem. A samozřejmě počítače mohou ke sdílení a ukládání znalostí do značné míry přispět. Způsob, jakým toho budeme jako profese schopni dosáhnout, bude v příštích desetiletích zásadní. Bude to vyžadovat mnohem větší transparentnost, než na jakou jsme zvyklí, jak dále rozvinu.

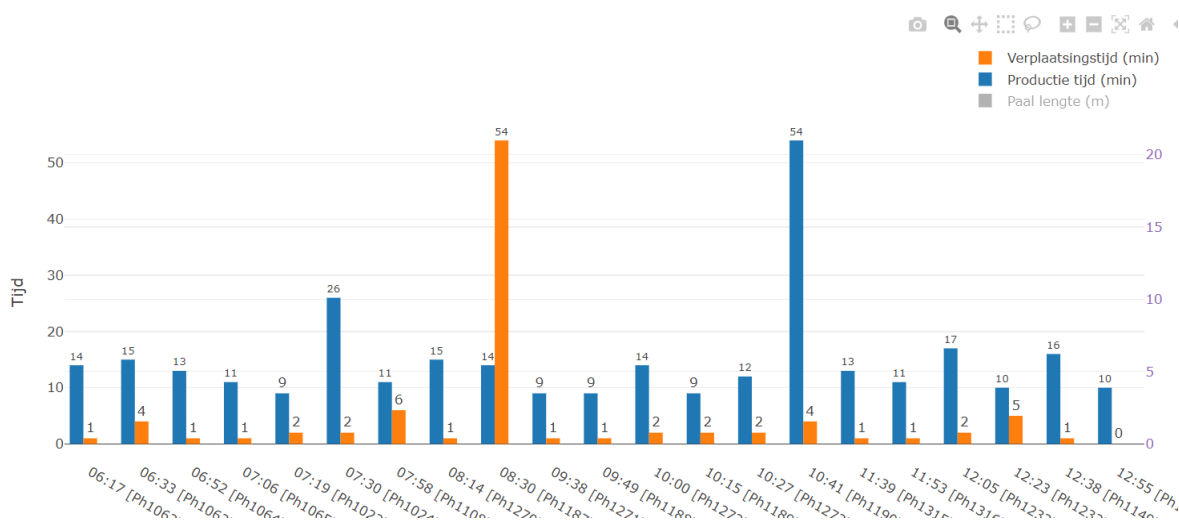
Rozvoj digitálního prostředí a velkých dat

Výše jsem zdůraznil, jaký vliv má vývoj našeho digitálního prostředí na současné komunikační kanály. Ale to není dopad jediný. Níže uvádím některé z nejnovějších výzev spojených s rozvojem digitalizace, z nichž většina přináší nové vzrušující možnosti pro náš obor:

Zavedená elektronická zařízení a testování

- Pilotovací soupravy jsou dnes vybaveny nejrůznějšími elektronickými měřicími zařízeními, která umožňují lepší informace o výrobních detailech, instalačních parametrech, a dokonce nabízejí interaktivní způsoby automatizace postupu instalace prvku. Propojení s BIM systémy bude na programu příštích let. Prostřednictvím cloudové aplikace je nyní možné získat vzdálený, centralizovaný dohled nad flotilou souprav, pracovní silou a produktivitou v reálném čase, stejně jako informace v reálném čase, např. při instalaci pilot nebo podzemních stěn.

Sledování a řízení v reálném čase z kontrolní místnosti již není fikcí. To výrazně zkracuje dobu mezi informacemi a akcí a může pomoci stavbyvedoucím a projektovým manažerům zaměřovat jejich vstupy mnohem efektivněji.



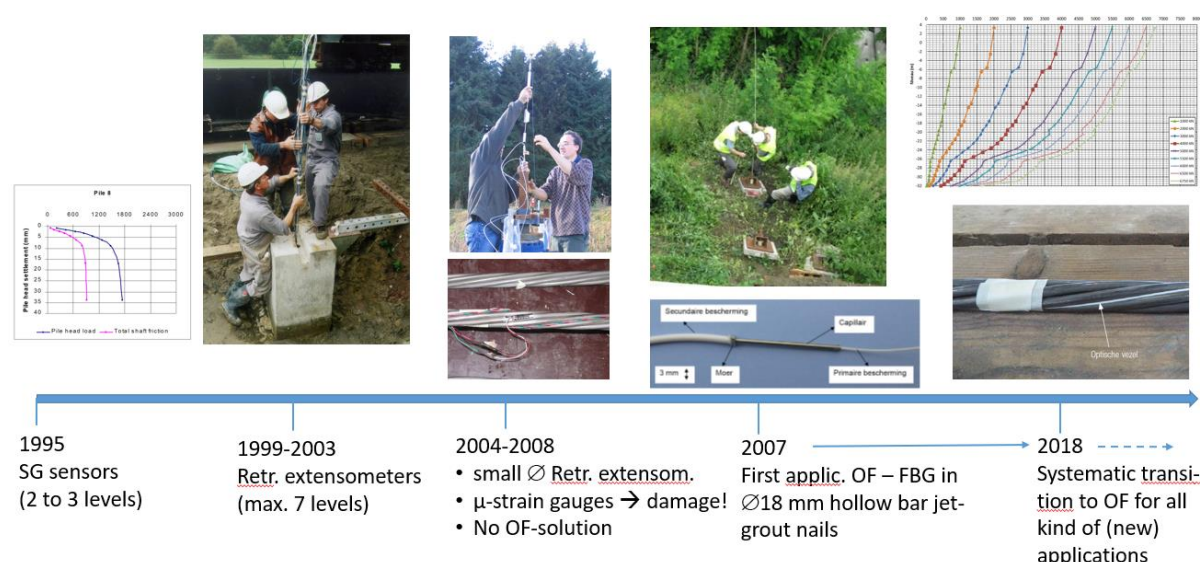
Obr. 12 Nedávné pokroky v zavedené elektronice na pilotovacím zařízení

- Tyto pokroky v přístrojové instrumentaci také poskytují nové poznatky o chování pilot, i když využití poskytovaných informací je v současnosti obvykle omezeno pouze na zajištění lepší dokumentace výroby (Bottiau, 2014; Bottiau a Huybrechts, 2019). Analýza moderních monitorovacích dat přináší zcela nové paradigma v pohledu na chování a dokumentaci pilot.

- Přístup v reálném čase ke všem datům souvisejícím se stavenišťem a zařízením

- Podrobná zpráva s výběrem specifických dat pro další analýzu a dokumentaci kvality
 - Cílené sledování interním týmem odborníků.
- Miniaturizace, integrovaná elektronika, bezdrátový přenos dat, online vizualizace a vizualizace v reálném čase atd. se nyní běžně používají při zkoušení a monitorování a hlavní pokroky poslední doby pocházejí z technologie optických vláken. (Bottiau & Huybrechts, 2019)

Obrázek 13 dokládá vývoj použití senzorů pro zatěžovací zkoušku piloty/kotvy v BBRI v posledních 25 letech. BBRI již několik roků systematicky používá optovláknové senzory pro geotechnické zkoušení všech druhů geotechnických konstrukcí: piloty, mikropiloty, kotvy, opěrné stěny (podzemní stěny, přezářované pilotové stěny, štětovnice ...), prvky pro zlepšení základové půdy (inkluze, soil-mixing, vyztužená zemina...).



Obr. 13 Vývoj v BBRI s ohledem na použití instrumentačních technologií při zkoušení hlubinných základů (Bottiau & Huybrechts, 2019)

Vývoj měřicích technologií umožňuje získat lepší vhled do skutečného chování základu při zkušebním zatížení a také propojit chování při určitých pozorováních s provedením nebo půdními podmínkami.

- Předpisy by se proto měly přizpůsobit. Faktory instalace by měly být v souladu s prokázaným chováním a faktory modelu a bezpečnosti by měly zohledňovat prokázanou spolehlivost a být odměnou za zkoušení. Nedávný vývoj belgického předpisu se snaží zavádět rozlišování faktorů instalace a faktorů modelu, aby se zohlednilo lepší zdokumentování piloty a podrobnější pochopení postupu instalace piloty (viz Bottiau & Huybrechts, 2019 pro další rozvoj tohoto tématu).

Numerické metody a parametrické navrhování

- Numerické metody jsou stále populárnější, hnané rostoucími kapacitami moderních počítačů a rafinovanějšími metodami a předpisy. Vedou mladší inženýři k tomu, aby si „mysleli, že vše lze vypočítat, dokonce i s přesností na několik desetinných míst“ (Brandl, 2004). Petroski zcela správně prohlásil: „Počítač je požehnáním i prokletím, protože umožňuje výpočty, které se jednak vymykají lidskému chápání a zároveň také prakticky překračují hranice lidské ověřitelnosti“. Nechápejte mě špatně, nástup výkonných numerických metod a softwaru nabízejí inženýrovi nebývalé možnosti a moderní složité konstrukce by bez jejich pomoci nemohly vzniknout, ale jak uvádí Burland (2008), „pokud se používají slepě, jsou hrozbou a mohou být nesmírně zavádějící“. A Burland v této souvislosti uvádí závěry vyšetřovací komise po zhroutení dočasného pažícího systému pro 30 m hluboký výkop v blízkosti Nicoll Highway v Singapuru v dubnu 2004 (obr. 14).

Obečně by se na geotechnickou numerickou analýzu nebo modelování nemělo příliš spoléhat. Lze ji použít pouze k doplnění a nikoli k nahrazení řádné inženýrské praxe a úsudku. Musí ji provádět kompetentní osoby s fundamentální znalostí principů mechaniky zemin, které rozumějí numerickému modelování a jeho omezením. (Zaznamenáno v Burland, 2008)

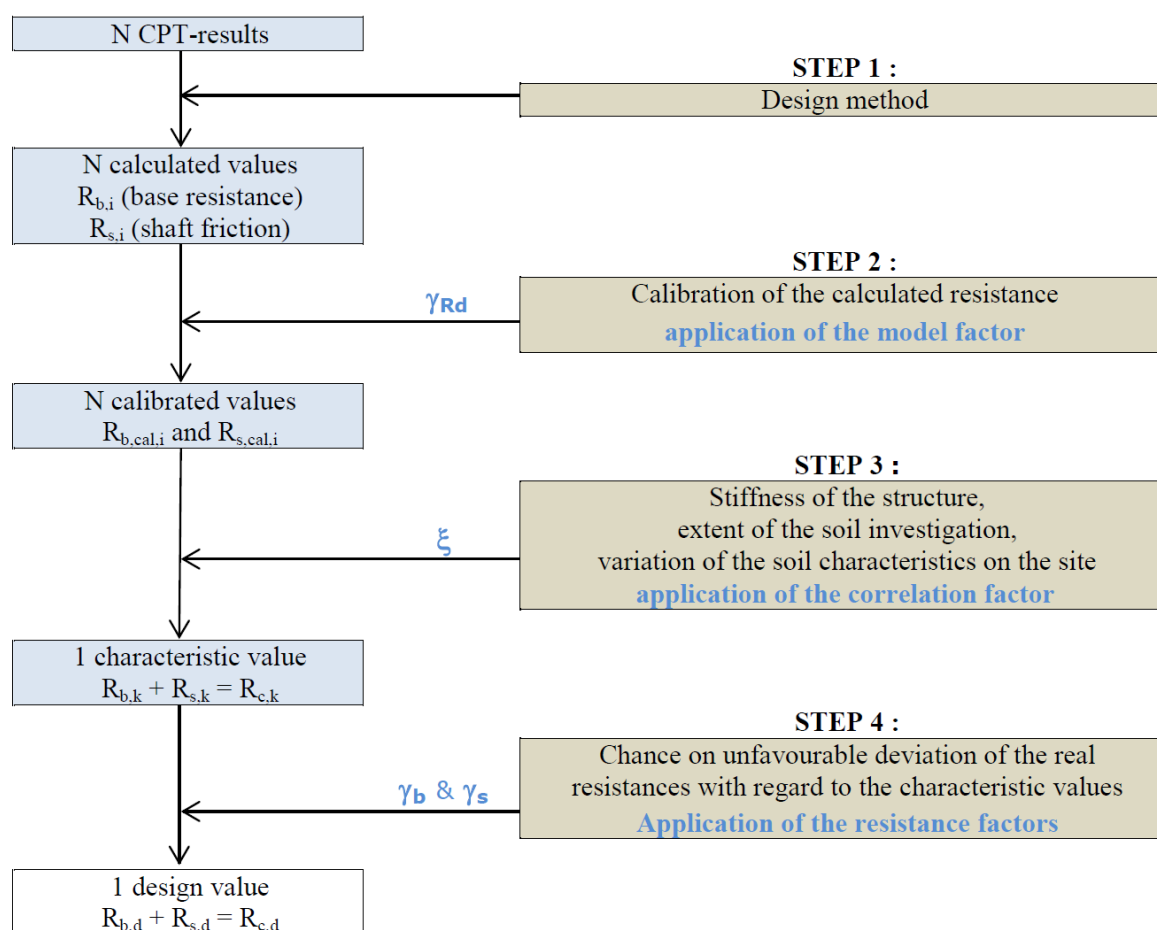


Obr. 14 Zhroutení u Nicoll Highway v Singapuru v dubnu 2004

- Parametrické navrhování se stále více používá po zavedení konceptu dílčích bezpečnostních součinitelů, podporovaného Eurokódem 7. Nadšení z toho, jaké nové možnosti tento přístup nabízí, mnoho zemí revidovalo své předpisy. Příklad belgického NA (národní dodatek) EC7 byl již zmíněn výše. V této nové metodě byly v

belgické metodice návrhu, jak je popsáno v WTCB-CSTC (2009/2016), stanoveny následující principy:

- o Instalační faktory α_b a α_s jsou funkcí (pod) kategorie piloty. Tyto obecné instalační faktory jsou spíše konzervativní, ale dokument poskytuje metodologii (program instrumentovaných zkoušek pilot v různých typech zemin) a kritéria přijatelnosti pro získání lepších faktorů instalace pro jednotlivé pilotové systémy.
- o Modelové faktory γ_{rd} jsou funkcí dostupnosti instrumentovaných zkoušek SLT.
- o Korelační faktory $\xi_{3,4}$ jsou funkcí hustoty půdních průzkumných zkoušek.
- o Bezpečnostní faktory $\gamma_{b,s}$ jsou funkcí kvality QC poskytovaného pro systémové piloty.



Ob. 15 Schematický přehled různých kroků pro výpočet návrhové hodnoty únosnosti piloty v belgické NA EC7

Zde je třeba učinit důležitou poznámku. Zavedení těchto dokonalejších (propracovanějších) metod by nemělo vyvolávat iluzi, že návrh základů dosáhl absolutní úrovně přesnosti. Analýza a „vyplnění mezer“ stále vyžadují inženýrský úsudek. Důraz by měl být nadále kladen na nakreslení správného profilu základové půdy a pochopení nejistot modelu a dopadu možných chyb během provádění spíše

než na analytický proces. Zejména rozšířené používání nedávno zavedených počítačových balíčků by mohlo vést inženýry k mylnému pocitu, že je to vše nyní známá věda. Nic není méně pravdivé.

Strojové učení a velká data

- Do geotechnického světa dokonce pronikly i umělá inteligence a strojové učení. Je jistě příhodné, že odborníci v oblasti geovědy a geoinženýrství věnují více pozornosti výzkumu velkých dat, vytvářejí prostředí pro využití dat ke zvýšení hodnoty našich oblastí a podporují spolupráci s datovými analytiky z jiných oborů (Zhang et al, 2021). ISSMGE si tuto nutnost uvědomuje a nedávno vytvořila pro strojové učení a velká data TC (technickou komisi).
- Mezi otázkami souvisejícími s rozvojem dat je vlastnictví dat jistě jednou z těch, kterým bude v budoucnu třeba věnovat více pozornosti. „*Přestože vlastnictví dat je stále problémem, data budou v nadcházejících letech zdarma*“ (Barends, 2005). Sdílím toto přesvědčení. Budoucnost je o sdílení a ne o vlastnictví. To bude vyžadovat mnohem větší transparentnost naší profese a radikální vývoj v myšlení. Bude to také vyžadovat vývoj smluvní praxe a uznání, že chyby a selhání (malé nebo velké) jsou součástí tohoto procesu. Tak daleko ještě nejsme!

Abych to shrnul, jsem přesvědčen, že příchod nových technologických pokroků může významně zlepšit porozumění a vnímání geotechnických konstrukcí. Pomohou omezit nejistoty a měly by mít podporu v předpisech s upravenými bezpečnostními faktory.

Je však nezbytné, aby informace zůstaly vykládány na základě hlubokého pochopení základních principů inženýrství základové půdy. V předmluvě k třetímu vydání *Mechaniky zemin v inženýrské praxi* (Terzaghi, Peck a Mesri, 1996) Ralph Peck píše:

Během půlstoletí od napsání (Terzaghiho předmluvy k prvnímu vydání v roce 1948) výzkum v oblasti vzorkování a zkoušení neúnavně pokračoval. Vznikla rozsáhlá literatura o vlastnostech základových půd, z níž se velká část zaměřovala na další pokroky jedné nebo další myšlenkové školy zabývající se idealizovaným pojetím chování půdy. Během stejné doby umožnil pozoruhodný pokrok v elektronickém výpočtu teoretické předpovědi problémů zahrnujících složité okrajové a stratigrafické podmínky. Nemusí tedy již platit, že (jak uvedl Terzaghi) pokud nelze prognózu provést jednoduchými prostředky, nelze ji provést vůbec. Výměnou za tento pokrok je však stále důležitější, aby výběr půdních vlastností používaných v analýzách byl založen na fundamentálně správných znalostech chování základové půdy.

O téměř třicet let později toto tvrzení dokonce nabylo na důležitosti a neomezuje se pouze na vlastnosti půdy, ale vztahuje se také na modely, teorie a předpisy.

Rostoucí význam předpisů

Již jsem v jiných článcích hovořil o rostoucí roli, kterou hrají předpisy (viz například úvodní referát napsaný s Noëlem Huybrechtsem pro ECSMGE v Reykjavíku, 2019). V posledních letech byly pod tlakem zpřísnění regulace a smluvního základu naší profese zpracovány

nové nebo revidované předpisy. Zejména zavedení Eurokódů přimělo mnoho evropských zemí, aby se podívaly na své místní regulace čerstvým pohledem. Posloužily tím také jako reference pro mnoho dalších regionů světa.

Na první pohled se zdá, že to zlepšuje naši každodenní praxi, jak se to u předpisů předpokládá (Peter Day, přednáška na počest Terzaghiho, 2016):

- stanovují normy profese a poskytují ochranu proti právním krokům založeným na nedbalosti;
- představují jádro existujících znalostí, na kterých panuje shoda;
- zajišťují spravedlivou hospodářskou soutěž.

Předpisy však sotva dokážou převést nevyřčené (tacitní) znalosti a složitost základové půdy, jak bylo uvedeno výše. Navíc existuje vážné riziko, že brání vnímání a úsudku, což je nezbytné pro řešení složitých problémů. Podle Geldofa vytvářejí normy komplikovanost a pro složité problémy řešením nejsou. Složité problémy zahrnují příliš mnoho neznámých a příliš mnoho vzájemně souvisejících faktorů na to, abychom je mohli zredukovat na pravidla a procesy. Cituje následující slova svého kolegy Pima de Kwaadstenieta:

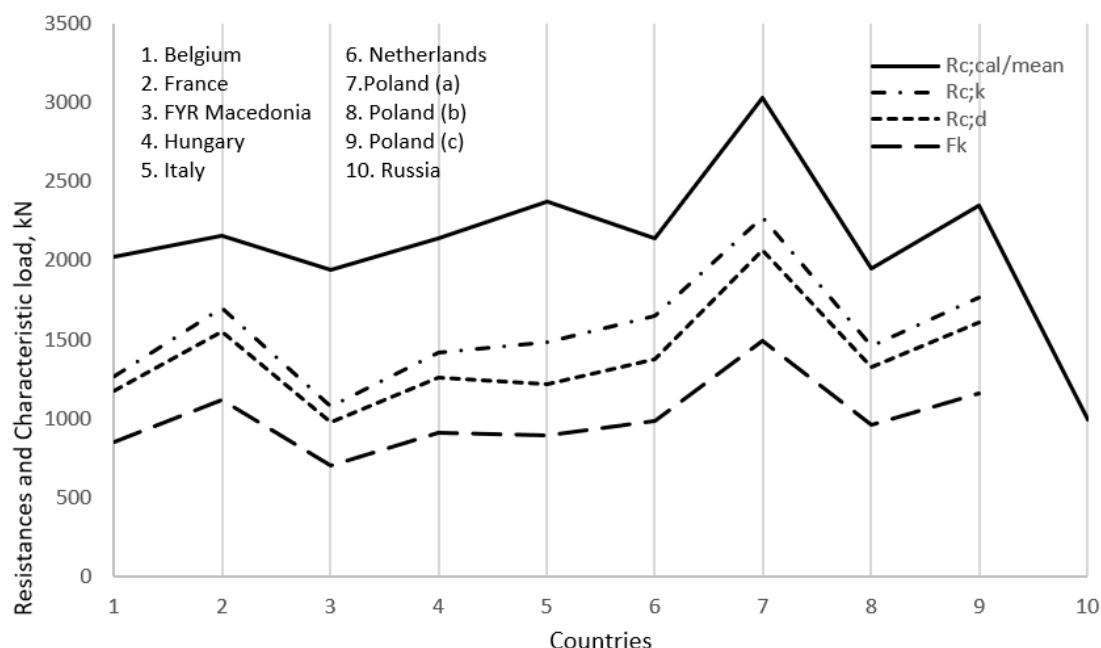
Ve chvíli, kdy jsou hodnoty stanoveny, stávají se normami. V mnoha případech je vhodnější pracovat s hodnotami než s normami. Normy mohou vést k odstupu: standardy lze testovat od stolu. (...) pro skutečné zhodnocení musíte vidět, cítit, chutnat, zkrátka: zkušenosti a zážitky jsou subjektivní. (Geldof, 2019)

Předpisy také dávají iluzi jasnosti a standardizace. Jako příklad, jak jsem hovořil ve stejné úvodní přednášce, předpisy obvykle omezují kategorie základové půdy na dva nebo tři hlavní typy půd: písky, silty a jíly, někdy měkkou a/nebo zvětralou horninu. V některých případech je tato klasifikace zcela nedostatečná, protože reakce některých typů půd na pokusné instalační postupy může být dramaticky odlišná, než se očekávalo. V těchto případech se mohou ukázat zatěžovací zkoušky ve skutečném měřítku jako jediná adekvátní metoda, jak získat pravdu.

Kromě toho může uživatel předpisu (Peter Day, 2016):

- postrádat praktickou znalost adekvátní prováděcí metody za specifických okolností;
- založit svůj výklad na nedostatečných nebo neadekvátních údajích;
- nemít dostatečné zázemí pro správný výklad specifických požadavků nebo ustanovení.

Můžeme to vidět na různých publikovaných srovnávacích cvičeních, která vykazují značný rozptyl ve výsledcích, i když byly i vypočítány nominálně stejnou metodou. Vyjádřil jsem se k tomu v jiných článcích a referoval o tom například také Brian Simpson ve srovnávacím cvičení pro opěrné zdi na mezinárodním workshopu o hodnocení Eurokódu 7 v Dublinu (2005).



Obr. 16 Příklad rozptylu pro různé výpočty založené na EC7 – Vrtaná pilota (T. Orr, 2016) – Odpory a charakteristická zatížení

Předpisy by také měly být včas revidovány, aby zohlednily vývoj technologie a porozumění systémům a metodám. Například Eurokódy jsou v současné době revidovány. Často diskutuji se zainteresovanými lidmi a začínám být nervózní, když vím, že k tomu, aby se další verze dostala k veřejnému projednání, muselo být zodpovězeno mnoho tisíc (!) otázek. Ale ještě více, když se dozvím, že až bude finální verze technicky připravena, do roku 2024 (jak se v současnosti předpokládá), bude „regulérně“ dostupná až v roce 2027, kvůli nezbytné administrativě! V té době už může být verze zastaralá!

Dalším příkladem je uvedení nedávných pokroků, zveřejněných v příručce DFI/EFFC pro tremie (zhotovený licími rourami) beton pro hlubinné základy (Beckhaus & Harnan, 2018), do konkrétních předpisů pro beton. Ačkoli jsou tato doporučení dostupná a vysoce nezbytná pro naši každodenní praxi, je nereálné doufat, že budou v krátké době v normě. Pro provozovatele tím vzniká citelná mezera.

V neposlední řadě jsou předpisy a standardy nejsnazší referencí pro navrhování přísných smluv, které tvoří pro provozovatele výbušný koktejl. V další části se zaměřím na vývoj smluv.

Nasmlouvání dodavatele

Dnešní běžná představa je, že „moderní (geotechnická) praxe se odehrává ve stále více konkurenčním a svárlivém prostředí“. (Peter Day, 2016) V další části se pokusím rozebrat, zda je to jen dojem nebo pravdivá skutečnost.

Výběr a zadávání zakázek

Zdá se, že správná odplata za dílo a rozdělení odpovědností byly předmětem diskusí ve všech dobách.

Říman Marcus Vitruvius Pollio, architekt a inženýr (80–70 př.n. l. – 15 př.n. l.), s odkazem na starověký zákon v Efezu, píše následující (Fleury, 2011):

Když architekt přijme dohled nad veřejnými pracemi, musí slíbit, kolik to bude stát. Jeho odhady jsou předány magistrátu a jeho majetek je až do dokončení prací zastaven jako záruka. Pokud po skončení souhlasí výdaje s jeho výrokem, je pochválen dekrety a čestnými znaky. Pokud k jeho odhadu nemusí být přidána více než čtvrtina, je poskytnuta státní pokladnou a není uložena žádná pokuta. Ale když je třeba zaplatit za práci přes jednu čtvrtinu navíc, peníze potřebné k jejímu dokončení se odeberou z jeho majetku.

Vauban, slavný stavitel francouzského krále Ludvíka XIV., se odvážil kritizovat způsob, jakým byli podnikatelé placeni, ve svém dopise Louvoisovi, ministru Ludvíka XIV. (Verin, 1993):

„Monseigneur, z posledních let zbývá několik prací, které nebyly dokončeny a které nikdy neskončí, a to vše, monseigneur, kvůli zmatkům způsobeným častými slevami za vykonanou práci, protože je jisté, že všechna tato porušení trhu, porušení slova a obnovení dražeb slouží pouze k tomu, aby k vám přilákaly jako podnikatele všechny mizerné lidi, kteří nevědí, kam se obrátit: darebáky a ignoranty, a odstrašili všechny, kdo mají potřebné schopnosti podnikat.“

Jak platné to zní i dnes!

Situace se v současném podnikatelském prostředí ještě zhoršila. Klienti stále více upřednostňují konkurenční nabídky založené buď na příliš vágních, nebo příliš normativních specifikacích a přísných pravidlech výběrových řízení. Veřejné zakázky jsou založeny především na nejnižší nabídce a zadavatelé v naprosté většině ještě méně zohledňují kvalifikaci a technické kapacity. Programy jako *Most Advantageous Tender* (nejvýhodnější nabídka) nebo *Competitive dialog* (soutěžní dialog) nepřinesly očekávaný výsledek. Kromě toho mají smluvní ustanovení tendenci ukládat nevyvážené požadavky a příliš optimistické harmonogramy a minimalizovat přístup ke změnám: změna rozsahu, neznámé... To platí o celém řetězci: o poradenských firmách, generálních dodavatelích a subdodavatelích, mezi něž patří speciální dodavatelé v hlubinném zakládání. A situaci umocňuje vzrůstající trend, že se ze stavebníků stávají dodavatelé.

Stavebníci, podnikatelé, dodavatelé a subdodavatelé

Na počátku byli stavebníci! Jak jsem rozvedl v prvních částech, před inženýrstvím, vědou a právem byla skutečná potřeba stavět domy, chrámy, akvadukty, kanály... „*Primitivní inženýrství začalo v oblasti řemesel, inspirováno užitkovými a uměleckými důvody.*“ (Figueiredo, 2013). Takže první zaměření bylo na stavbu.

Ze stavebníků se stali podnikatelé. Podnikatel (*Entrepreneur*) je zpočátku fyzická osoba, později firma provozující živnost, v tomto případě živnost stavebnictví. Jinými slovy jde o kvalifikovaného, profesionálního stavitele, který se etabluje a nabízí své služby. V 17. a 18.

století, pod rostoucím tlakem administrativy zejména ve Francii, vznikla potřeba „upravit podmínky“, za kterých budou práce prováděny a placeny.

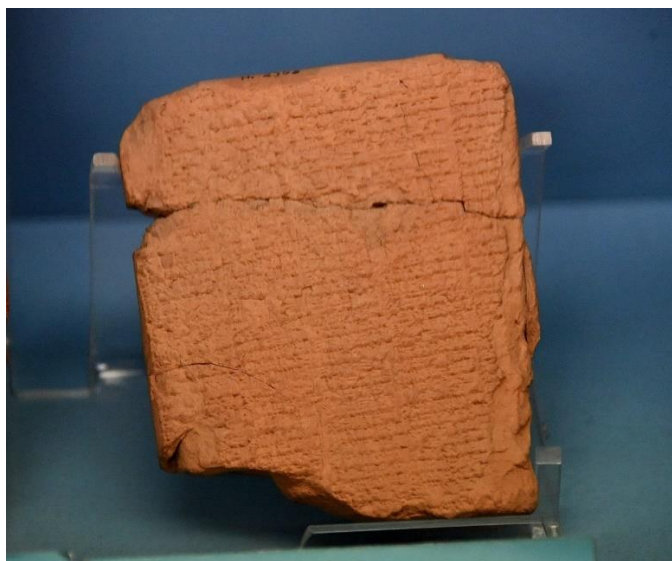
Pojem dodavatel (contractor) se objevil především pod anglosaským vlivem. Dodavatel, z pozdní latiny *Contractor* (1540), „ten, kdo uzavírá smlouvu“, je osoba, společnost nebo korporace nabízející služby nebo zboží jiné straně za konkrétních podmínek uvedených ve smlouvě. Je zajímavé, že mezi francouzskými a anglickými slovy stále existuje nuance: „Entrepreneur de Construction/Fondations“ vedle „General/Deep Foundations Contractor“. Jsem přesvědčen, že nuance je důležitá a v dnešní době se stává kritickou a platnou bez ohledu na zemi. Zaměření je úplně jiné. Těžiště podnikatele (Entrepreneur) spočívá v konání a dovednostech, zatímco těžiště dodavatele (Contractor) spočívá v řízení smluvního vztahu. A toto měnící se zaměření může být jednou z našich největších výzev.

Smlouvy

Dlužím říci, že budování staveb bylo vždy regulováno normami a smlouvami. Jeden z prvních příkladů stavebního práva lze nalézt v zákoníku Hammurabi (1750 př.n. l.). Hammurabi byl šestým králem Babylonu. Zákoník Hammurabi obsahoval 282 zákonů napsaných na dvanácti kamenných deskách přístupných veřejnosti. Několik zákonů se týkalo zastavěného prostředí:

*Jestliže stavitel pro někoho vybuduje dům a nepostaví jej správně, a dům, který postavil, spadne a zabije svého majitele, bude tento stavitel usmrcen.
Pokud zabije syna vlastníka, bude usmrcen syn tohoto stavitele.
Pokud zabije otroka majitele, pak zaplatí, otrok za otroka, majiteli domu.
Zničí-li zboží, nahradí vše, co bylo zničeno, a pokud nepostavil správně tento dům, který vybudoval, a on spadl, postaví dům znovu ze svých prostředků.
Staví-li stavitel pro někoho dům, ač jej ještě nedokončil; pokud se pak zdá, že by se zdi mohly zřítit, stavitel musí zdi zpevnit z vlastních prostředků.*

Docela extrémní, že?



Obr. 17 Stéla z Hammurabi (vlevo) – Muzeum Louvres Paříž; hliněná tabulka s různými články (Muzeum Orientu, Istanbul)

Říman Vitruvius na začátku první knihy *De Re Architectura* (24 př. n. l.) zmiňuje mezi obory nezbytnými pro architekta, spolu s literaturou, kreslením a geometrií, historií, filozofií, hudbou, medicínou a architekturou i právo (Saliou, 2011) :

Je nutné, aby [architekt] měl také právní představy nezbytné pro stavby se společnými stěnami a po obvodu domu umístil odvody dešťové a odpadní vody. Stejně tak musí být architekt obeznámen s problémem zásobování vodou a všemi s tím souvisejícími otázkami a před stavbou dbát na to, aby se po dokončení stavby nestaly hlavy rodin předmětem sporů, a při sepisování smluv věnovat náležitou pozornost zájmům pronajímatele a nájemce; neboť bude-li smlouva sepsána kvalifikovaně, bude taková, že každý splní své závazky s čistým štítem.

Takže bychom se zcela mýlili, kdybychom si mysleli, že tyto problémy jsou nové nebo že byly v minulosti snadno vyřešeny. Snažíme se totiž sladit opačné extrémy: klient, soukromý nebo veřejný, chce naprostou jistotu za co nejnížší cenu. Stavitelé navrhuji přijatelnou jistotu (v mezích současných znalostí a předpisů) za (pro ně) odpovídající náklady.

Odpověď na otázku „Jaké jsou nejvhodnější podmínky smlouvy?“ u konkrétního projektu nepochybně záleží na tom, komu je otázka určena. Při absenci omezení toho, čeho lze na trhu reálně dosáhnout, se navrhuje, že by typické smluvní strany na obou stranách stolu mohly odpovědět nějak takto:

- *Zadavatel: podmínky, jež poskytnou kompletní projekt nejvyšší kvality za nejnížší smluvní cenu, který má být dokončen v co nejkratším čase se všemi nepředvídatelnými riziky v odpovědnosti zhotovitele.*
- *Zhotovitel: podmínky, jež jednoznačně definují požadovaný rozsah a kvalitu díla za nejvyšší smluvní cenu, které má být dokončeno v době dostatečné k provedení díla s dostupnými zdroji a počítá s nepředvídatelnými událostmi a riziky na odpovědnost zadavatele.*

Charrett, D., 2021

Stavební praxe a právo se však vyvíjely a my jsme mohli snít o tom, že se lidé s rostoucím porozuměním naučí, jak se vypořádávat s nejistotami a riziky a jak zlepšit jejich nevyvážené rozdělení s vhodnými systémy nápravy. No, bohužel, nenaučili. Situace se ještě zhoršila.

Proč tomu tak je? Proč se nám přes všechny přínosné příspěvky na toto téma nepodařilo vypracovat vyváženější smlouvy? Na základě toho, co předchází, vznikl následující začarovaný kruh:

- složitost je stav toho, co existuje (viz výše). To platí obzvláště v oblasti geotechnického inženýrství;
- složitost se zvyšuje kvůli množství zainteresovaných stran a rostoucím formálním interakcím;
- pro zvládnutí této (zvýšené) složitosti se zavádějí stohy a stohy předpisů, norem, procesů a procedur;

- každá strana se proto specializovala, což vedlo k vysoce roztržitému stavebnictví s oddělenými oblastmi, které spolu sotva komunikují;
- interakce mezi oblastmi se stala digitální, formální a neosobní;
- globálního a nezávislého „inženýra“, vybaveného nevyřčenými (tacitními) znalostmi a zkušenostmi, nahradili projektoví manažeři, nebo ještě hůře manažeři kontraktů;
- z tohoto důvodu se ze „stavebníků“ stávají „dodavatelé“, kteří sami pracují čím dál méně a pro různé „balíčky“ využívají služeb mnoha subdodavatelů včetně specializovaných dodavatelů hlubinných základů;
- vztahy mezi stranami jsou založeny na ještě přísnějších smlouvách, které odkazují na striktní předpisy a zavádějí nevyvážené rozdělení rizik, což má za následek zdlouhavé spory;
- v dodavatelských organizacích, ale dokonce i v konzultačních firmách projektoví manažeři stále více spravují smlouvy, záplavu dat, řídicí panely, zprávy a e-maily a stále méně upevňují praktický úsudek a (nevyřčené) znalosti.

Takže my, inženýři, dodavatelé a subdodavatelé, jsme tichou cestou přijali to, že nám budou téměř výhradně vládnout smlouvy. Jak uvádí O'Connor (2009):

jedním z nejhůře střežených tajemství ve stavebnictví je, že poskytování projekčních a stavebních služeb je egocentrické a neefektivní. Hodnocení rizik je černé umění. Rozdělení rizik je cvičením v ekonomickém darwinismu. Tradiční smlouvy striktně vymezují odpovědnosti s mnoha podrobnostmi o důsledcích selhání. Tyto smluvní přístupy posilují sebeochranné chování a vzbuzují nedůvěru. Navíc, zatímco mnohá rizika mohou být identifikována a vyhodnocena tak, že úsilí na ně vynaložené je přínosné, často zůstává pro úspěch podniku to nepoznatelné podstatným. Tradiční stavební kontraktace však při rozdělení rizika nesprávně předpokládá vysoký stupeň jasnozřivosti. Riziko častěji stéká po smluvních úrovních dolů k těm, kteří jsou nejméně povoláni ho nést nebo kontrolovat. Není divu, že klasické smlouvy v kombinaci s tradičními metodami dodávky často vedou k nepřilíh optimálním výsledkům.

Úspěch jednotlivého projektu by se měl vyznačovat absencí sporů. Mimo jiné by se na něm mohl podílet jeden nebo více faktorů:

- náhodný výsledek pravděpodobnosti, protože rizika se nenaplnila;
- forma a/nebo podmínky smlouvy, které minimalizují smluvní riziko;
- úspěšné řízení rizik během realizace projektu zajistilo, že se žádná rizika nenaplní způsobem, který by ovlivnil cíl smlouvy.

Poslední dvě odrážky mohou být vzájemně propojené, protože forma a/nebo podmínky smlouvy mohou povzbuzovat nebo podporovat úspěšné řízení rizik během realizace samotného projektu. (Charrett, 2021). Ale místo toho je riziko nejasně posouzeno a nesprávně vyváženo, jako v příkladu níže:

Subdodavatel nesmí za žádných okolností využít obtíží, byť nepředvídatelných, vyplývajících z prvků uvedených výše, k tomu, aby se zbavil své odpovědnosti nebo

aby požadoval jakoukoli náhradu od generálního dodavatele nebo vlastníka projektu, nebo revizi podmínek smlouvy.

A co víc, na specializovaného dodavatele se nespravedlivě přenáší nejen riziko spojené s neznámými neznámými, ale podobným způsobem se zachází i s chybami, mezerami v rozsahu nebo s neúplností informací:

Za základ pro navýšení částky subdodávky nebude za žádných okolností považováno: chyby při výkupu, mezery v rozsahu, nejasnosti v podkladech subdodávky, mezioborová koordinace...

Nebo dokonce:

Subdodavatel bere na vědomí, že výkresy a specifikace začleněné do subdodávky nemusí být v době plnění subdodávky úplné a že subdodavatel má dostatečné odborné znalosti v podobných pracích k provedení všech staveb nezbytných s ohledem na projekt, i když výkresy a specifikace nejsou úplně podrobné nebo objasněné; a takový další vývoj projektu nebude považován za základ pro zvýšení částky subdodávky.

Tento druh doložek, pokud je brán doslovně, může vést pouze ke zdoluhavým sporům a nákladným soudním případům.

Naštěstí byly v posledních letech učiněny určité pokusy o propagaci smluv o spolupráci nebo partnerství, ale ty se v současnosti omezují na vizionářské veřejné klienty a rozhodně nejsou dostatečně zobecněné. Naše profese potřebuje významně investovat do lobování v této věci a vyžadovat vyváženější smlouvy. To je výhodné nejen pro náš sektor, ale pro celou společnost, snad s výjimkou právníků. Je třeba vypracovat nové podoby smluv založených na partnerství, které umožní lepší sdílení rizik, a tím snížení nákladů a času na projekt. Konečně také umožní přenos získaných zkušeností z jednoho projektu do druhého v dlouhodobém vztahu (Saad, 2020). Smlouvy musí být založeny na „*třech hlavních prvcích: důvěře vedoucí ke sdílení informací, nepřetržité komunikaci a dlouhodobých závazcích*“.



Obr. 18 Efekty lepšího sdílení informací u smluv typu Partnering. (Saad, 2020)

Environmentální výzvy

Závěrečné odstavce chci věnovat důležitému tématu environmentálních výzev, kterým jako lidstvo čelíme, a tomu, jak geotechnické inženýrství hraje v tomto novém paradigmatu ústřední roli.

Všechny nás, i když v různé míře, nepochybně znepokojuje změna klimatu, extrémní povětrnostní jevy nebo vzestup hladiny mořské vody. Jako firmy již nemůžeme ignorovat, že se budeme potýkat s měnícími se regulacemi a povinnostmi, novými požadavky klientů, legislativními požadavky a technickými problémy, které se nakonec přetaví v nová rizika a příležitosti. Je zřejmé, že pro naši profesi výše uvedené efekty přinesou nové výzvy a donutí nás nacházet nová řešení. V průběhu historie se „inženýři obecně považovali za prostředníky mezi přírodou a člověkem. Jejich úkolem bylo učinit přírodu využitelnou, a tím ji do jisté míry polidštit a zároveň do lidské říše importovat principy produktivity přítomné v přírodním světě.“ (Picon, 2004) Dnes je však tato idealizovaná vize v sázce. Stavební průmysl se velkou měrou podílí na emisích CO₂:

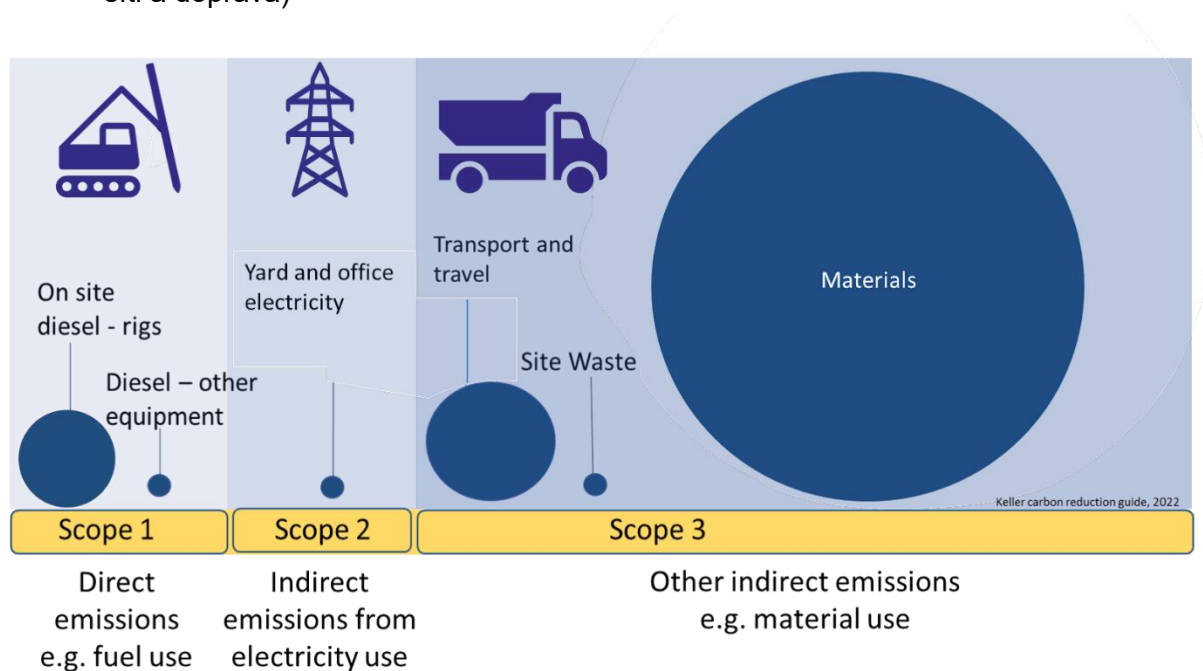
- před covidem představovalo stavebnictví 39 % celosvětových emisí skleníkových plynů;
- podpovrchové stavby – jako jsou základy – představují 14–22 % těchto emisí

V rámci této přednášky rozhodně nehodlám na této konferenci nahrazovat konkrétní publikace, jako je průvodce EFFC-DFI o snižování uhlíku, nebo workshopy věnované tomuto tématu. Mým záměrem je spíše ilustrovat další výzvu, ale také nový smysl, který by nám toto hledání mohlo přinést v naší každodenní práci.

Snížení našich emisí uhlíku

Ať už je to z přesvědčení nebo pod tlakem trhu, hledání nízkouhlíkových řešení v příštích letech poroste. Když se podíváme na rozdělení našich emisí, můžeme odkázat na *Protokol o skleníkových plynech*, který jej rozděluje do tří oblastí:

- Rozsah 1: Přímé emise, většinou z používání paliva (např. emise ze soupravy na staveništi);
- Rozsah 2: Nepřímé emise z používané elektřiny (např. kanceláře a údržbářské dvory);
- Rozsah 3: Všechny ostatní nepřímé emise (např. výroba materiálu v dodavatelské síti a doprava)



Obr. 19 Relativní význam typu emisí CO₂ v rozsahu 1, 2 a 3 – průvodce EFC-DFI o snižování uhlíku (2022).

Rozsah 1 a 2 souvisí s našimi „přímými“ emisemi na staveništi a v našich kancelářích. Zde můžeme mít jako společnosti nejpřímější vliv na snižování naší spotřeby přechodem na elektricky poháněná auta a zařízení a zelenou elektřinu.

Emise Rozsahu 3 představují zdaleka největší část (až 80 %) a jsou spojeny s výrobou použitého materiálu, především cementu a oceli. To znamená, že největší vliv, který budeme mít, když se budeme snažit snížit naše emise, bude snížit naše spotřeby betonu a oceli a/nebo donutit cementářský a ocelářský průmysl, aby zlepšil své výrobní procesy. Jak je uvedeno v PAS 2080, *Nestavte nic → stavte méně → stavte chytře → stavte efektivně*.

V budoucnu budou tyto volby obsahovat další požadavek: snížení emisí CO₂. Které z hlediska návrhu a výroby projdou skrze:

- opětovné použití stávajících základů re-certifikací jejich chování;
- vývoj řešení pro zlepšení základové půdy;

- snížení průměrů, délek, což znamená optimalizaci efektivity návrhu nebo výrobních systémů (např. vtačované piloty místo vrtaných pilot);
- používání materiálů s nižším obsahem uhlíku nebo opětovné použití;
- vyvinutí nebo podporování nových metod výroby materiálů, jejichž výsledkem je nízkouhlíkový beton nebo ocel.

To dramaticky ovlivní způsob, jakým se díváme na naše projekty.

Environmentální výzvy pro naši profesi

Zároveň klimatické změny vyvolají nové výzvy a příležitosti:

- protipovodňová ochrana, výstavba přehrad a hrází, přizpůsobení se novým situacím a údržba v deltách, říčních nebo pobřežních oblastech;
- ochrana před poklesem, erozí a jinými geologickými katastrofami;
- rekultivace půdy v hustě osídlených oblastech;
- nezbytné zvýšení bezpečnosti odkališť v těžebním průmyslu;
- nakládání s odpady, inženýrství skládek a izolace kontaminantů;

Není pochyb o tom, že se od geotechnických inženýrů bude důrazně žádat, aby vyřešili mnoho problémů, které se objeví a které by mohly dát nový smysl jejich práce.

Závěr: je geotechnický inženýr ohroženým druhem?

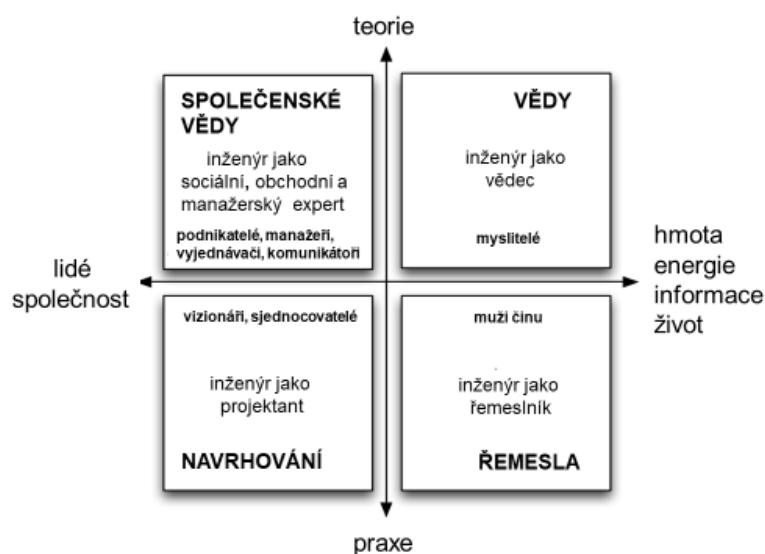
Když jsem byl požádán, abych přednesl tuto přednášku na počest Johna Mitchella, a po první půlhodině čiré spokojenosti z toho, že jsem o ni požádán, jsem začal přemýšlet o tom, jaké by mohlo být mé poselství pro takovou přednášku. Poměrně rychle jsem se rozhodl uvažovat o vývoji našeho oboru z „filosofického“ hlediska.

V posledních letech jsem se postupně více zajímal o některé změny našeho pracovního prostředí a jejich dopad na naši profesi. Inženýři dnes, bez ohledu na své postavení v návrhovém a/nebo výrobním řetězci, se mají čemu přizpůsobit. Musí zpracovat záplavy dat a informací, číst stovky e-mailů a odpovídat na ně, překládat je do zpráv a dokumentace, vytvářet podrobná ustanovení metod a postupů, znát své smlouvy a specifikace, předpisy, a regulace, účastnit se všech schůzek s klienty, týmových schůzek, bezpečnostních prohlídek... ale samozřejmě by především měli rozumět a činit správná rozhodnutí z hlediska geotechnického inženýrství a hlubinných základů.

Mnoho inženýrů, které znám, už to prostě nedokáže všechno zvládat. Jednou z mých obav proto bylo, že základní porozumění našemu oboru by mohlo být ohroženo všemi dalšími požadavky, které na nás naše prostředí klade. Komplikovanost a „administrativa“, kterou jsme zaváděli, může klidně zničit podstatu naší práce: správné pochopení složitosti mechaniky zemin a hornin. To platí pro naše projektové a stavební manažery, ale to platí také pro konzultační inženýry nebo zástupce vlastníků, kteří se musí zabývat geotechnickými problémy. Na druhou stranu nový technologický vývoj nabízí nebývalé možnosti pro porozumění, dokumentaci a sdílení. Pokud jsou správně používány, měly by pomáhat vykreslit lepší budoucnost.

Pustil jsem se tedy do práce a snažil se uspořádat své myšlenky. Začal jsem číst a zjistil jsem, že mnoho autorů, někdy z dávných dob, zpracovávalo témata související s mými existenciálními otázkami. A tak jsem objevil, že to, o čem jsem věřil, že je to docela nedávný problém, ve skutečnosti vůbec problémem nebyl.

V první části této přednášky jsem se snažil ukázat, jak inženýrství ještě předtím, než bylo považováno za profesi, již integrovalo mnoho dimenzí od řemesel po společenské vědy. Figueiredo (2013) rozlišuje čtyři hlavní dimenze inženýrské praxe, které zůstávají po staletí věrné historickým hodnotám profese: řemesla, navrhování, základní vědy a společenské vědy (včetně obchodu a managementu).



Obr. 20 Čtyři hlavní dimenze v inženýrství (Figueiredo, 2013)

Jeho domněnka je, že „každý inženýr začleňuje charakteristická vlákna výše uvedené historické tradice v různých kombinacích“. A dále, „protože neexistují žádní ryzí inženýři, každý inženýr má mnohonásobnou identitu, která ztělesňuje vzájemné obohacování čtyř dimenzí“. Tato rovnováha se podle mého názoru v průběhu historie také lišila.

Dnes je správná rovnováha mezi těmito čtyřmi dimenzemi klíčem k rozvoji globální vize, ve které inženýrství najde svou novou rovnováhu. Jak bylo uvedeno v druhé části přednášky, existuje riziko, že se mnoho z nás zaměří na jednu specifickou osu a neintegruje žádnou z dalších tří. Existuje také moderní tendence klást větší důraz na dimenzi společenských věd. Snažil jsem se ukázat, že po příkladu některých slavných předchůdců musíme přijmout složitost a zachovat si sílu úsudku. Úsudek založený na integraci čtyř dimenzí uvedených ve Figueiredově modelu. Jediný způsob, jak toho můžeme dosáhnout, je ten, který navrhuje Geldof (2019):

- ponechat více prostoru pro složitost: nelpět příliš na liteře předpisů a regulací;
- být co nejblíže praxi a zajistit řádné předávání (nevyřčených) znalostí.

To bude vyžadovat úsilí celé profese, akademiků jako praktiků, konzultantů jako projektových manažerů. To bude také vyžadovat, aby se naše profese nebojácně postavila a hájila svou specifičnost. I v dnešním světě se geotechničtí inženýři musí vyrovnávat s rizikem selhání a někdy i se značnými nejistotami. Předpisy, nové technologie, věda mohou jistě pomoci a bylo dosaženo a v budoucnu bude dosaženo velkých pokroků. Nejistoty a neúspěchy však zůstanou standardním prostředím geotechnického inženýra více než u mnoha jiných.

Je proto nutné, abychom neúnavně usilovali o:

- uznání specifických charakteristik geotechnického inženýrství a o investice do vzdělávání našich týmů, ale i našich klientů, aby tomu porozuměli;
- zavedení vyvážených smluv s řádným posouzením a řízením smluvních rizik a spravedlivým rozdělením odpovědností s jasnými mechanismy pro zohlednění skutečných neznámých a včasnou finanční kompenzací za jejich důsledky;
- vývoj naší profese směrem k větší transparentnosti, sdílení neúspěchů stejně jako úspěchů. Nejnovější technologický vývoj v monitorovacích systémech umožní dokumentovat provádění lépe, než jsme si kdy předtím mohli nechat zdát. Využijme toho co nejlépe, abychom změnili způsob, jakým vybudujeme vyspělejší a transparentnější podnikání.

Jak řekl Santayana: „*Musíme vítat budoucnost a pamatovat si, že brzy to bude minulost, a musíme minulost respektovat s vědomím, že kdysi to bylo vše, co bylo v lidských možnostech*“ (Florman, 1994). Neměli bychom se proto ostýchat přijmout nové technologie pro optimalizaci výroby, bezpečnosti a kvality. Zároveň bychom neměli zapomínat na podporu porozumění základům mechaniky zemin a hornin i inženýrského zakládání, šířit znalosti a uznávat nevyčerpané znalosti a zkušenosti jako základní složku.

Pokud se nám to podaří, budeme si náš obor nadále užívat a parafrázujíc Flormana konstatujeme: **v srdci (geotechnického) inženýrství leží existenciální radost!**

Literatura:

- Barends, F.B.J., 2005 *Associating with advancing insight. Terzaghi Oration 2005. Proceedings of the 16th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, pp. 217-247
- Beckhaus, K. & Harnan, Ch., 2018 *EFFC/DFI Guide to Tremie Concrete for Deep Foundations Proceeding of the 2018 DFI-EFFC International Conference on Deep Foundations and Ground Improvement, Rome, Italy, (DFI, EFFC)*
- Becker, H. S. & Carper, J. W., 1956. *The Development of Identification with an Occupation. The American Journal of Sociology.*
- Bottiau, M., 2014. *Installation parameters, pile performance and importance of testing, DFI-EFFC Int. Conference on Piling and Deep Foundations, May 21–23, 2014, Stockholm, Sweden*

- Bottiau, M., 2016. Codes, new technologies and quality in Deep Foundations. The importance of pile installation process, DFI-EFFC Int. Conference on Piling and Deep Foundations, 2016, Rome, Italy
- Bottiau, M. & Huybrechts, N., 2019. Recent advances in pile design, construction, monitoring and testing. Proceedings of the XVII ECSMGE-2019 Geotechnical Engineering foundation of the future, Reykjavik, Iceland.
- Bouché-Leclercq A., 1908 L'ingénieur Cléon Revue des Études Grecques / Année 1908 / 21-92 / pp. 121-152
- Brandl, H., 2004. The civil and geotechnical engineer in society – Ethical and philosophical thoughts; challenges and recommendations. Proceeding of the DFI International Conference on Deep Foundations and Ground Improvement, Vancouver, Canada.
- Burland, J.B., 2006. Interaction between structural and geotechnical engineers - Structural engineer, January 2006
- Burland, J.B., 2007. Personal reflections on the teaching of soil mechanics. ICETGES 2008.
- Burland, J.B., 2008. Foundations Engineering in Structural Engineer, July 2008
- Cerveró-Meliá, E., Capuz-Rizo, S.F., Ferrer-Gisbert, P. 2020. Leonardo da Vinci's Contributions from a Design Perspective. Designs 2020, 4, 38. <https://doi.org/10.3390/designs4030038>
- Charrett, D. 2010 The Engineer is dead, long live the Engineer! Australian Construction law newsletter #134 September/october 2010.
- Charrett, Donald. 2021 Contracts for Construction and Engineering Projects. Available from: VitalSource Bookshelf, (2nd Edition). Taylor & Francis.
- Clayton, C.R.I., 2001. Managing Geotechnical Risk. Institution of Civil Engineers and Thomas Telford.
- Day, Peter, 2017. Challenges and shortcomings in geotechnical engineering practice in the context of a developing country. Proceedings of the 19th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (Seoul) 2017, Vol. 1, pp 11 -34
- De Vos, M., Huybrechts, N. & Bottiau, M. (eds.), 2016. Proceedings of the int. ETC3 Symposium "Design op piles in Europe – How did Eurocode 7 change daily practice?", 28-19 April 2016, Leuven, Belgium
- Dewey, J. 1930. Human Nature and Conduct. New York, Modern Library.
- Figueiredo, Antonio Dias de, 2013. On the Historical Nature of Engineering Practice. In B. Williams, J. Figueiredo, & J. Trevelyan (Eds.), Engineering Practice in a Global Context: Understanding the Technical and the Social. Boca Raton, U.S.: CRC Press, pp. 7-32
- Fleury P. 2011, Vitruve et le métier d'ingénieur Cahier des Etudes anciennes XLVIII | 2011 : Vitruve dans l'antiquité
- Florman, S.C., 1994. The existential pleasures of Engineering. Second Edition. St. Martin's Griffin- New-York.
- Geldof, G., 2019. Complexiteit en de waarde van praktijkkennis. Uitgeverij Elikser.
- Goodman, R.E., 1999. Karl Terzaghi, the Engineer as Artist. ASCE Press
- Kaplan, F. & Vinck, D., 2013. The practical confrontation of engineers with a new design endeavour; the case of digital humanities. Engineering practice in a global context: understanding the technical and social to inform educators, Taylor & Francis.
- Kerisel, Jean, 1991. Down to Earth-Foundations Past and Present: the invisible art of the builder. CRC Press. A Balkema book.
- Kirby, R.S, 1990. Engineering in History. Dover Publications, inc. New-York.
- Monnier F. , Puchkov A., The Construction Phases of the Bent Pyramid at Dahshur. A reassessment, ENiM 9, 2016, p. 15-36.

- Petroski, H., 1992 *To engineer is human – The role of failure in succesful design*. Vintage books. A division of Random house, inc. New-York.
- O' Connor Patrick J., Jr. 2009. *Integrated Project Delivery: collaboration through new contact forms*. AGC.
- Orr, T.L.L., 2016. *Design Examples: Comparison of different national practices, Proceedings of the int. ETC3 Symposium "Design op piles in Europe – How did Eurocode 7 change daily practice?"*, 28-19 April 2016, Leuven, Belgium
- Picon, Antoine. 2004. *Engineers and engineering history: problems and perspectives*. *History and Technology* 20, no.4: 421-436.
- Roberts, J. M., 2002 *The New Penguin History of the World* (4th ed.). London, Penguin Books
- Roloff, 2016. *Venice substructure complex*. Spring 2016 Sabbatical/Residency - Emily Harvey Foundation / Venice, Italy
- Saad, Ihab, 2020. *Construction Contracts: From Zero-Sum to Win-Win in Research Gate*.
- Terzaghi, Peck and Mesri, 1996 *Soil Mechanics in Foundation Engineering- third Edition*. John Wiley and sons, inc.
- Travadel, S., Guarnieri, F., 2021. *Petite philosophie de l'ingénieur*. Presses universitaires de France.
- Saliou, Catherine 2011, *Les compétences juridiques de l'architecte d'après Vitruve (De architectura I, 1, 10) - Cahier des Etudes anciennes XLVIII | 2011 : Vitruve dans l'antiquité*
- Van Beek, Bart, 2012. *Kleon and Theodoros, engineers*. Leuven homepage of Papyrus Collections, ArchiD I22, version2.
- Van Houten, R.W., 1932. *Piles and pile driving*. Thesis for the degree of Civile Engineer, Newark college of Eginering.
- Vérin, Hélène, 1993. *La Gloire des Ingénieurs. L'intelligence technique du 16e au 18e siècle*. Albin Michel.
- Williams, R., 2002. *Retooling - a historian confronts technological change*. The MIT press. Cambridge, Massachusetts. London, England.
- WTCB-CSTC, 2016. *WTCB Rapport nr. 19 (Revisie WTCB Rapport 12). Richtlijnen voor de toepassing van de Eurocode 7 in België – Deel 1: het grondmechanische ontwerp in de uiterste grenstoestand van axiaal belaste funderingspalen / CSTC Rapport n° 19 (Revision CSTC Rapport 12). Directives pour l'application de l'Eurocode 7 en Belgique – Partie 1: Dimensionnement Géotechnique à l'état limite ultime de pieux sous charge axiale*. WTCB-CSTC, Brussels.
- Zhang, W., Ching, J., Goh, A.T.C., Leung, A.Y.F., 2021. *Big Data and Machine Learning in Geoscience and Geoengineering: Introduction*, *Geoscience Frontiers*, Volume 12, issue1, Elsevier.
- Ziegler, M., 2016. *Application of geogrid reinforced constructions: history, recent and future developments*. *Modern Building Materials, Structures and Techniques*, MBMST 2016. Elsevier.