

Doc. Ing. Karel Vojtasík, CSc. Ing. Barbara Ohnheisrová

VŠB-TU Ostrava, Katedra geotechniky a podzemního stavitelství, L.Poděště 1875, 708 00
Ostrava-Poruba, karel.vojtasik@vsb.cz, barbara.ohnheisrova@vsb.cz

KLASIFIKACE METOD ÚPRAVY KVALITY HORNINOVÉHO PROSTŘEDÍ A MOŽNOSTI JEJICH UPLATNĚNÍ V GEOTECHNICKÝCH STAVBÁCH PŘI VOLBĚ VÝPOČETNÍCH POSTUPŮ HODNOTÍCÍCH NASTALÉ ZMĚNY

Abstrakt:

Paper summaries the classification systems of ground engineering treatment methods applied in geotechnical engineering constructions. It presents also new approach to classify these methods based on the structural transformation of ground materials and on the achieved qualitative changes that occurred due engineering treatment of grounds. This approach enables to choice for competent evaluation processes that evaluate exactly in advance the effects of engineering treatment of grounds at geotechnical engineering constructions.

Úvod

Hornina je výchozím materiálem a horninové prostředí strukturou, ze kterých jsou konstruovány stavby, obecně označované termínem „geotechnické stavby“. Na horninách pokryvu jsou realizovány i veškeré pozemní stavby.

Horniny a struktury horninového prostředí jsou výsledkem přírodních procesů. Kvalita hornin a struktur horninového prostředí odráží tyto procesy, a plně odpovídá formám, které byly těmito procesy vytvořeny, jenž dávají dnešní podobu povrchu planety Země.

Potřeba upravovat horniny a horninové prostředí souvisí s využíváním zemského povrchu člověkem, kdy jeho požadavky na jejich kvalitu překračují možnosti, které poskytuje příroda.

Úprava hornin a horninového prostředí není žádná novinkou. Mnohé metody úpravy byly prakticky užívány již ve starověku, například hutnění nebo stabilizace plastických jílovitých zemin vápnem. Tyto metody jsou trvale používány i dnes.

Dnešní i budoucí význam technologií úprav hornin a horninového prostředí vyplývá z rozporu, mezi konstantností parametrů hornin a horninového prostředí, které se pohybují v určitých neměnných mezích a neustále rostoucími požadavky, které jsou na ně kladeny člověkem. Zvýšení kvalitativních parametrů hornin a horninového prostředí, eventuálně nároky na další vlastnosti, které nejsou horninám a horninovému prostředí vlastní a přesto jsou nebo budou od nich vyžadovány, je možné pouze cestou jejich další záměrné umělé úpravy.

Kritéria klasifikace a přehled metod úpravy horninového prostředí

V dnešní době existuje mnoho různých postupů úpravy hornin a horninového prostředí, které jsou založeny na nejrůznějších principech (hutnění, konsolidace, odvodnění, vysoušení, injektování, chemická stabilizace, zmrazování, kotvení-hřebíkování, ztužování, apod.). Metody úpravy hornin lze členit dle následujících hledisek:

- dle možnosti uplatnění v horninovém prostředí s ohledem na charakter horninového prostředí na univerzální, použitelné ve všech typech hornin, nebo speciální, nelézající uplatnění jen pro určitý typ horniny. Představitelem univerzální metody úpravy je například tlaková injektáž, zástupcem speciální metody zase chemická stabilizace plastických jílu ionty vápníků.
- dle možnosti uplatnění v horninovém prostředí s ohledem na typ konstrukce geotechnické stavby. Zde je rozdělení analogické s předchozím kritériem a metody se dělí na univerzální, použitelné na všech druzích geotechnických staveb, nebo speciální, nelézající uplatnění jen na určitém druhu konstrukce geotechnické stavby. U geotechnických staveb, které jsou budovány z horninového materiálu (násypy) se velmi úspěšně uplatňují plošné ztužující prvky (mřížoviny, membrány, prostorové buňkové soustavy), které jsou ukládány společně s horninovým materiálem. Tyto systémy nelze uplatnit na geotechnických stavbách budovaných v horninovém prostředí, například v podzemních stavbách. Zde po mnoho let nachází uplatnění pouze lineární ztužující prvky svorníky, horninové kotvy, které lze považovat za univerzální, neboť jsou aplikovatelné na všech typech geotechnických staveb.
- dle časového faktoru, kdy úprava může být dočasná (zmrazování, odvodnění), nebo trvalá (hutnění, ztužování)
- dle rozsahu změn v horninovém prostředí metody úpravy dělit na polyfunkční, jejichž zástupcem je injektování, kdy po úpravě prostředí změni svůj charakter, je zpevněno a učiněno nepropustným. Opakem jsou metody monofunkční, postihující pouze jeden rys prostředí, například ztužování, dodává prostředí schopnost přenášet tahová namáhání.
- dle účel úpravy (zvyšování pevnostních a přetvárných parametrů, zvyšování vodoněpropustnosti), při které je sledován určitý cíl, kterého má být úpravou dosaženo.

Jmenovaná hlediska lze považovat za standardní, v nichž se odráží popisný, technologický a aplikační přístupy.

Metody úpravy lze rozdělit i na základě obecnějších hledisek, které vycházejí z charakteru materiálové transformace a kvalitativní proměny horniny.

Podle charakteru struktury materiálové transformace lze metody úpravy rozdělit na skupiny:

- po úpravě materiál horniny zůstává nezměněn, ale mění se některé jeho parametry, například pórovitost, stupeň saturace vodou, materiál je zcela odvodněn
- po úpravě se materiál horniny změni, primární hornina je proniknuta (penetrována) nebo promísená s další hmotou, kterou například mohou být opět hornina, uměle připravená pojiva (cement, chemické směsi, apod.). Během procesu úpravy se uměle podávaná hmota organicky integruje s primární horninou a výsledkem je nový materiál. Mezní variantou této formy úpravy je totální výměna horniny.
- materiál horniny se nemění je však doplněn umělou strukturou (eventuálně strukturami), která s primární horninou aktivně spolupracuje. Výsledkem úpravy je kompozit, ve kterém hornina tvoří základ (matrici) a umělá struktura její výztuhu.

Podle charakteru kvalitativní proměny horniny lze metody úpravy rozdělit na skupiny:

- úpravou dochází pouze ke změně stávajících parametrů, které jsou hornině vlastní. Například zhutňováním se zvyšuje hodnota maximální smykové pevnosti, po odvodnění se zvýší úhel vnitřního tření zeminy, z hodnoty totální na hodnotu efektivní.

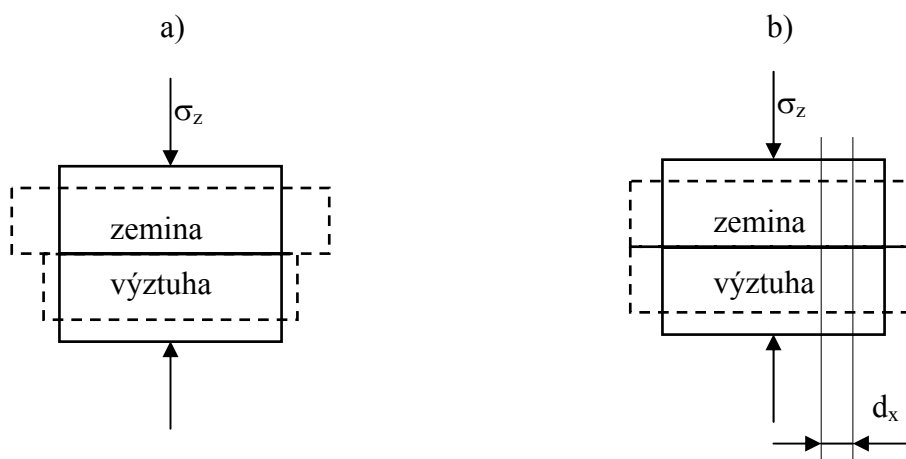
- úpravou jsou doplněny vlastnosti které jsou horninám vlastní, ale daná hornina je postrádá. Například trysková injektáž cementovou směsí změni zeminu nesoudržnou v zeminu soudržnou, injektováním jílovitou injektážní směsí se propustné prostředí utěsni.
- doplnění vlastnostmi, které nejsou horninám vlastní. Například začlenění (inkorporace) umělých prvků a struktur do prostředí hornin, které mu dodávají schopnost přenášet tahová namáhání.

Obě posledně vyjmenované skupiny hledisek, charakterizující metody úpravy horninového prostředí, implikují metody pro exaktní návrh řešení a posouzení vlivů úpravy horninového prostředí na konstrukci geotechnické stavby.

Upravený horninový materiál v geotechnických výpočtech

Způsoby zavedení a exaktní vyjádření změn, které nastanou v horninovém prostředí následkem jeho úpravy, jsou ve výpočtech geotechnických konstrukcí dány charakterem struktury materiálové transformace a kvalitativní proměny. Pokud horninový materiál po prodělané úpravě zůstane homogenní a lze pro něho stanovit parametry požadované v geotechnických výpočtech stejnými postupy, jakými se stanovují tyto parametry pro neupravenou horninu není potřeba měnit metodiky výpočtů a lze plně využít stávající výpočetní postupy a programové systémy. Odlišná situace nastává v případě kompozitu. Změnu, která v takto upraveném horninovém prostředí nastane, již nelze tak snadno postihnout natož exaktně vyjádřit.

Objasnění principu činnosti kompozitu dokumentuje následující situace (obr.1). Kompozit je zjednodušeně představen vzorkem jehož jednu část tvoří zemina a druhou část vyztužující prvek. Obě části spolu souvisí kontaktní plochou. V situaci na obr.1 a) jsou tření i soudržnost na kontaktní ploše mezi oběma materiály rovny nule. Kontaktní hranicí je přenášeno pouze napětí. Při zatížení se vzorek kompozitu deformuje v každé své části zvlášť, aniž by se deformace z jedné části vzorku přenášela na část druhou. V situaci na obr.1 b) jsou oba materiály na kontaktní ploše propojeny dokonale tuhou vazbou. Při stejném zatížení jako v situaci a) se v tomto případě části vzorku kompozitu deformují společně.



obr.1

Deformace částí kompozitu: a) tření i soudržnost na kontaktní ploše mezi oběma materiály rovny nule; b) materiály na kontaktní ploše jsou propojeny dokonale tuhou vazbou

Boční deformace v obou částech kompozitu je dána výrazem:
boční deformace v zemině ε_x^z

$$\varepsilon_x^z = \frac{\nu_z(1+\nu_z)}{E_z} \sigma_z$$

boční deformace ve vyztužujícím prvku ε_x^v

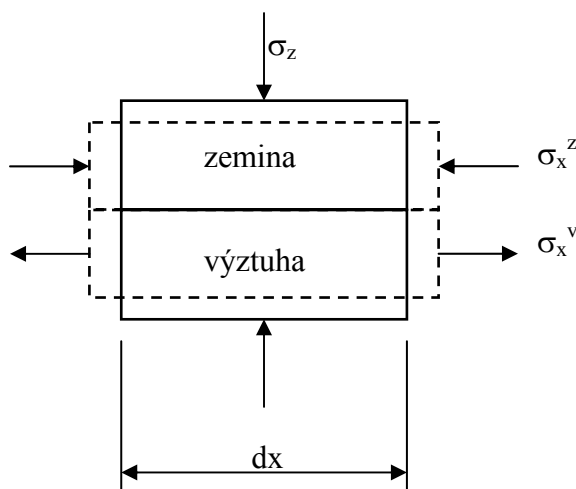
$$\varepsilon_x^v = \frac{\nu_v(1+\nu_v)}{E_v} \sigma_z$$

Deformace jednotlivých částí závisí na jejich přetvárných parametrech, na modulu pružnosti zeminy E_z a vyztužního prvku E_v ($E_z \ll E_v$) a Poissonovu číslu zeminy ν_z a vyztužního prvku ν_v .

V situaci b) přitom platí:

$$\varepsilon_x^z = \varepsilon_x^v \quad (1)$$

Splnění uvedené podmínky je podmíněno vývojem dodatečných napětí v obou částech kompozitu. V zemině, nižší deformace v situaci b) bude způsobena dodatečným bočním tlakovým napětím, jenž je vyvoláno přírůstkem tahové deformace ve vyztužním prvku. Exaktní stanovení přírůstků tlakových napětí ve ztužovaném materiálu a přírůstků tahových napětí ve vyztužujícím prvku je komplikovanou kontaktní úlohou, kterou lze zjednodušeně řešit pro infinitezimální úsek dx hranice kontaktu viz. obr.2.



obr.2

Vnitřní boční napětí působící v materiálech kompozitu při jeho zatížení za situace v obr.1 b).

Podle teorie pružnosti boční deformace v obou druzích materiálu jsou dány následujícími vztahy.

pro zeminu

$$\varepsilon_x^z = \frac{1+\nu_z}{E_z} [(1-\nu_z)\sigma_x^z - \nu_z\sigma_z] \quad (2)$$

pro výztužní prvek

$$\varepsilon_x^v = \frac{1 + \nu_v}{E_v} [(1 - \nu_v)\sigma_x^v - \nu_v\sigma_z] \quad (3)$$

Neznámá napětí v zemině σ_x^z a ve výztužním prvku σ_x^v jsou stanovena z podmínky rovnováhy, která má tvar:

$$n_z\sigma_x^z + n_v\sigma_x^v = 0 \quad (4)$$

kde n_z a n_v vyjadřují podíly průřezů ploch zeminy a výztužního prvku na celkové ploše průřezu kompozitu. Platí pro ně:

$$n_z + n_v = 1$$

Ze vztahů (1), (2), (3) a (4) lze odvodit výraz pro σ_x^v :

$$\sigma_x^v = \frac{\nu_v E - \nu_z}{n_v(1 - \nu_z) + n_z(1 - \nu_v)} \sigma_z \quad (5)$$

kde E je dáno vztahem:

$$E = \frac{(1 + \nu_v)E_s}{(1 + \nu_z)E_v}$$

Zpětným dosazení hodnoty σ_x^v do vztahu (4) lze určit hodnotu bočního napětí v zemině σ_x^z . Uvedený postup prezentuje mechanismus vzájemné souvislosti mezi vznikem tlakových napětí ve ztužované zemině a tahových napětí ve výztužním prvku.

Účinnost zpevnění prostředí závisí na vazbě na rozhraní mezi materiálem a jeho výztuhou. Dalším závěrem je, že zpevňování materiálů, jakými jsou například zeminy (obecně horniny) ztužujícími prvky v geotechnických konstrukcích má význam pouze v místech, ve kterých budou podrobeny nebo ohroženy vznikem tahových namáhání.

Triaxiálními zkouškami vzorků nesoudržné zeminy vyztužené mřížovinou, zatěžovaných ve směru kolmém k uložení výztuži bylo zjištěno, že křivka pevnosti tohoto materiálu je paralelní s křivkou pro stejnou, ale nevyztuženou zeminu. Vyztužení se neprojevuje změnou úhlu vnitřního tření u vyztužené zeminy, ale vyztužená zemina se chová jako by získala soudržnost. Tento jev je velmi zřetelný při vysoké hustotě ztužujících prvků. Praktickým důkazem tohoto poznatku jsou opěrné konstrukce budované z vyztužených zemín. Úklon jejich stěn převyšuje úhel vnitřního tření zemin, některé konstrukce jsou dokonce i kolmé. Analogickou situaci lze pozorovat například u stavebních jam hloubených v soudržných zeminách, kdy jejich stěny zůstávají stabilní i při sklonech vyšších než je jejich úhel vnitřního tření, nebo jsou dokonce i kolmé.

Zahrnutí kompozitních materiálů do výpočtů geotechnických konstrukcí je možné dvěma způsoby. V prvním případě jsou do stávajících metod kompozitní materiály zadávány stejně jako homogenní materiály. Při tomto postupu není zachována jejich fyzikální forma činnosti. Jejich parametry jsou odvozeny na základě praktických zkušeností, nebo zkoušek kompozitu. Za výchozí hodnoty zpravidla slouží parametry horniny, které jsou modifikovány dle druhů a parametrů vyztužujících prvků. Zavedení do výpočtů fyzikální chování kompozitu dovolují pouze numerické metody. Předpokládá se, že tyto metody mají definovány prvky, kterými je možno komplexně modelovat interakci na rozhraní mezi kompozitem a horninou. I zde však zůstává všeobecný problém všech numerických metod se stanovením vstupních hodnot parametrů charakterizujících toto rozhraní.

Závěr

Úpravě kvalitativních parametrů horninového prostředí náleží v současnosti významná úloha při budování geotechnických staveb. Škála metod se neustále rozrůstá a otázkou, která se stále aktualizuje je, jak s těmito metodami pracovat efektivně a kladné praktické zkušenosti účinně podpořit teoretickými poznatky. Článek si nekladl za cíl podat vyčerpávající přehled metod úpravy horninového prostředí, ale pokusil se upozornit na jiný nový přístup ke klasifikaci metod úpravy, který respektuje a dává směr pro volbu metod výpočtů a exaktního hodnocení upraveného horninového prostředí na geotechnických staveb. Hlavními kritérii této klasifikace jsou strukturní materiální transformace a kvalitativní proměny upraveného horninového prostředí.

Literatura:

- Bell, F. G. (2000) Engineering treatment of soils, E&FN SPON, London
Sawicki, A. (2000) Mechanics of reinforced soil, A.A.Balkema, Rotterdam
Van Santvoort, G. (1994) Geotextiles and geomembranes in civil engineering, A.A.Balkema, Rotterdam
Kutzner, Ch. (1996) Grouting of rock and soil, A.A.Balkema, Rotterdam