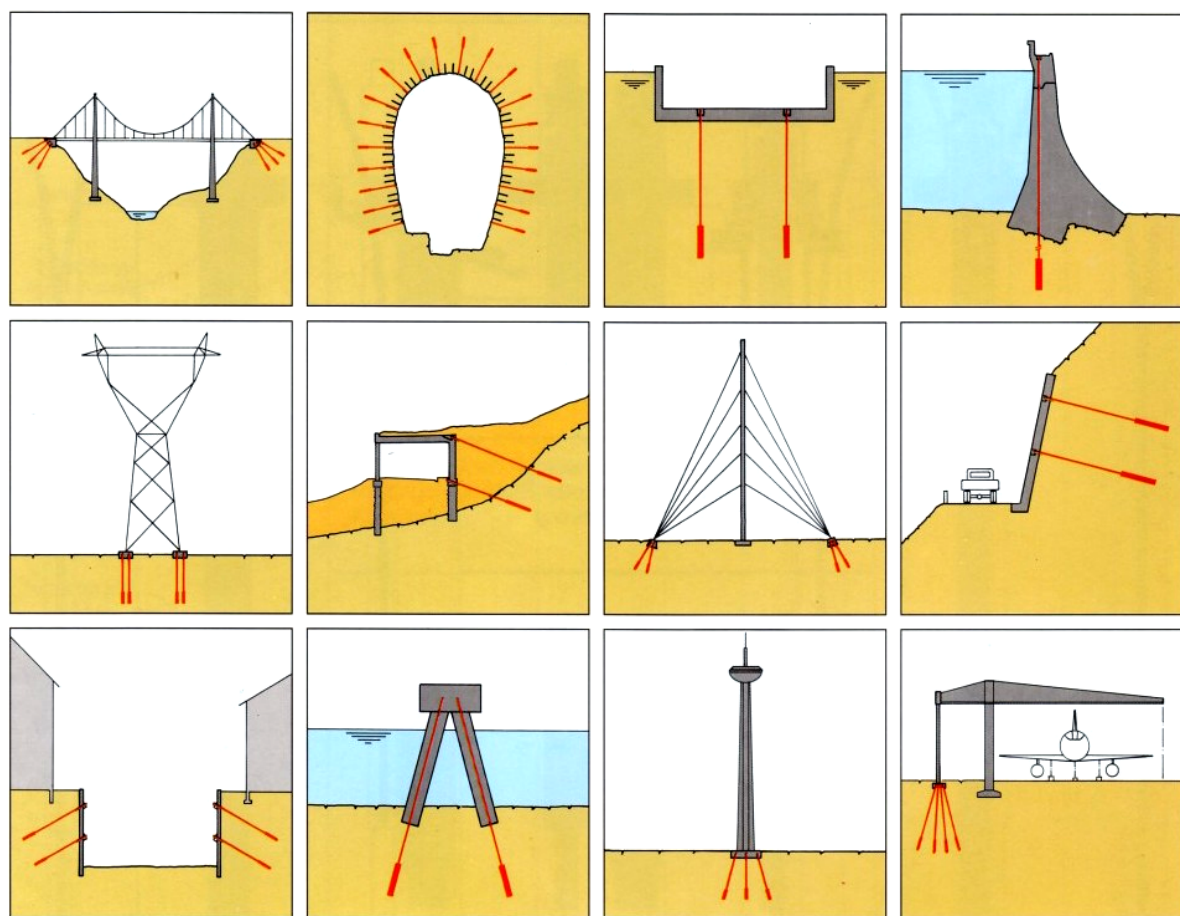


13. Kotvy a kotvení do hornin

Kotvení je moderní technologií zajišťování či aktivního vyztužování vkládáním tahových prvků – kotev - v inženýrském stavitelství, v zakládání staveb a v podzemním stavitelství. Staticky nahrazuje klasické pasivní podpěrné konstrukce. Zavedení kotvení (v počátku především do hornin) znamenalo v inženýrském stavitelství výrazný kvalitativní skok. Příklady všestranného použití kotvení u konstrukcí i v prostředí jsou patrné z obr. 13.1. Základní vlastností používaných prvků této technologie je využití mechanických (především pevnostních) vlastností okolního horninového prostředí. **Hlavní výztužná či podpěrná funkce je přenesena dovnitř horninového masívu.**



Obr. 13.1 Příklady použití kotvení v inženýrském stavitelství (fy DYWIDAG – Systems International GmbH, München, Deutschland)

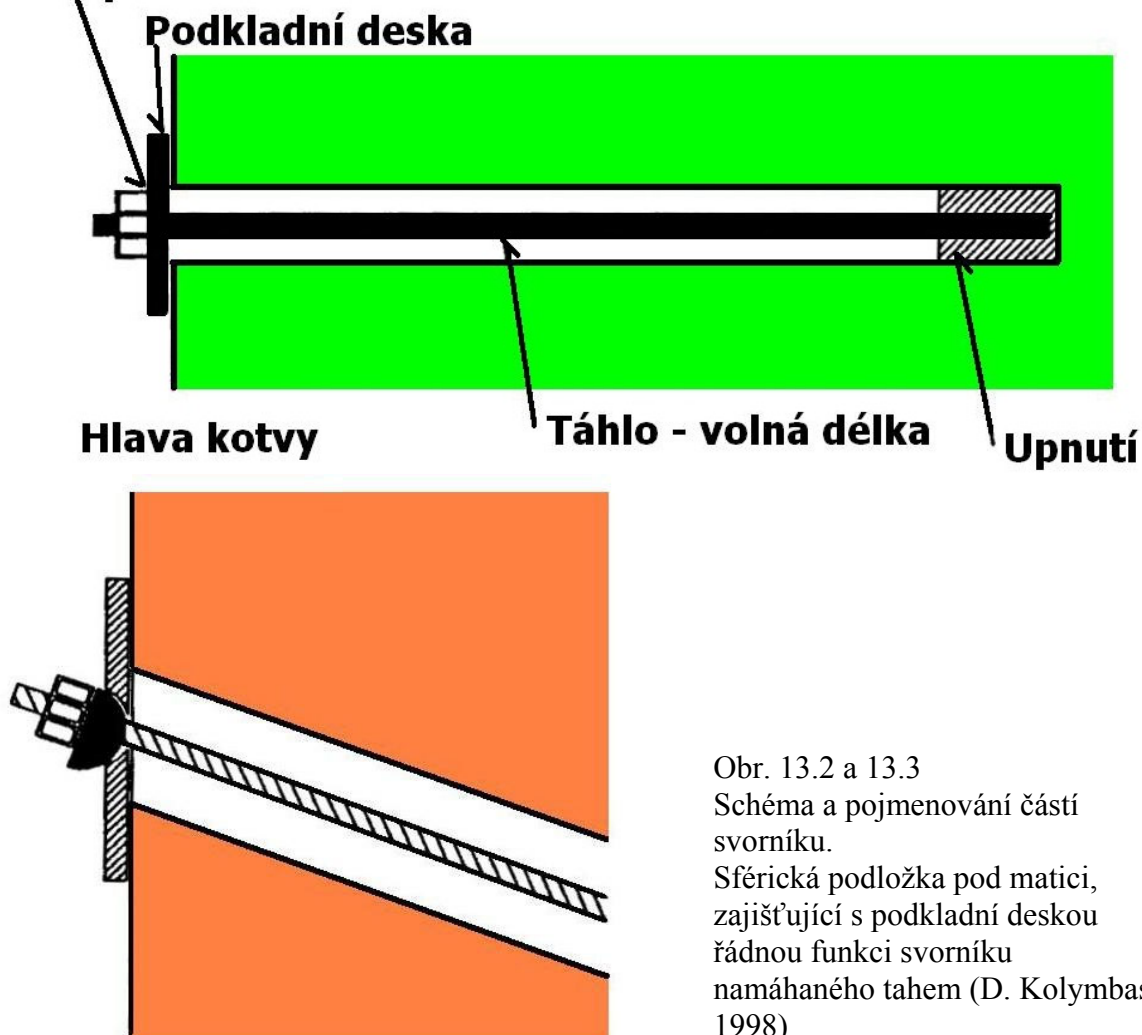
ZÁKLADNÍ POJMY:

- **kotva** = obvykle pramencový, případně kabelový (drátový), ale též tyčový tahový prvek, běžně větší délky než cca 5 m, kotvený do masívu kořenem a **předepnutý**. Pro kotvy je typická vysoká únosnost, ve vyšším řádu kN ($300 \div 10\,000$ kN). Nejčastější použití kotev je v inženýrském stavitelství a při zakládání staveb
- **svorník** = kratší tyčový tahový prvek (do dl. $5 \div 6$ m), upínaný do vrtu různým způsobem a **předepnutý** (nejčastěji dotažením matice v hlavě svorníku). Únosnost svorníků se běžně pohybuje okolo 100 kN. Nejčastěji jsou používány při zajišťování stability skalních stěn a

svahů. V současnosti jsou nezbytným výztužným prvkem v podzemním stavitelství. Jednoduché schéma svorníku s pojmenováním jeho částí – viz obr. 13.2 a 13.3

- **hřebík** = tyčový prvek obdobné délky jako svorník, *nepředeprnutý*. Postrádá volnou délku. Funguje kombinací tahu, soudržnosti a stříhu. Typický způsob jeho zhotovení spočívá v instalaci do vrtu vyplněného cementovou maltou, případně v dodatečném zainjektování zavrtané tyče
- **volná délka** = neupnuté táhlo mezi kořenem (upnutím) a hlavou. Je nezbytným předpokladem umožňujícím u osazeného prvku jeho *aktivaci předeprnutím*
- **podkladní deska** umožňuje opření prvku o líc horniny při jeho předpínání. Má i funkci při spolupůsobení výztužného prvku s konstrukcí vně masívu.

Předpínací matice



Obr. 13.2 a 13.3

Schéma a pojmenování částí svorníku.

Sférická podložka pod maticí, zajišťující s podkladní deskou řádnou funkci svorníku namáhaného tahem (D. Kolymbas, 1998)

KRITERIUM ŽIVOTNOSTI kotev, svorníků (hřebíků):

- **trvalé:**
 - s patřičnou protikorozní ochranou (cementový kámen, potažení plasty, galvanické pokovení, aktivní elektrická ochrana [při bludných proudech] apod.)
 - z nekorodujících materiálů (kompozity a plasty, nerezová ocel)
- **dočasné** (bez ochrany)

MATERIÁL KOTEVNÍCH PRVKŮ:

- **ocel** (standardní materiál)
- **kompozity a plasty** (u svorníků, nejnověji i u kotev; často v případě podzemních výrubů při nasazení razících strojů, které je svými řeznými komponenty mohou překonat bez vlastního poškození) – obr. 13.4
- **dřevo** (výjimečný případ; hranoly z tvrdého dřeva 28 ± 32 mm, lepené PUR patronami, pro zajištění slojí a pilířů těžných uhelnými kombajny nebo výložníkovými frézami).



Obr. 13.4 Řada plně kompozitových svorníků, včetně plastových podkladních desek a upínacích matic (fy H. Weidmann AG, Rapperswil, Schweiz)

V současné době je k dispozici velmi široké spektrum typů kotevních prvků různých konstrukcí a technologií osazení. Jejich principy a funkce se často kombinují, stávající řešení jsou neustále zdokonalována; starší principy se vracejí v nových varietách řešení. O nasazení určitého typu výztužného kotevního prvku rozhodují konkrétní podmínky stavby a požadavky na jejich statické (spolu)působení.

Podle konstrukce a způsobu ukotvení lze nejpoužívanější typy rozdělit na:

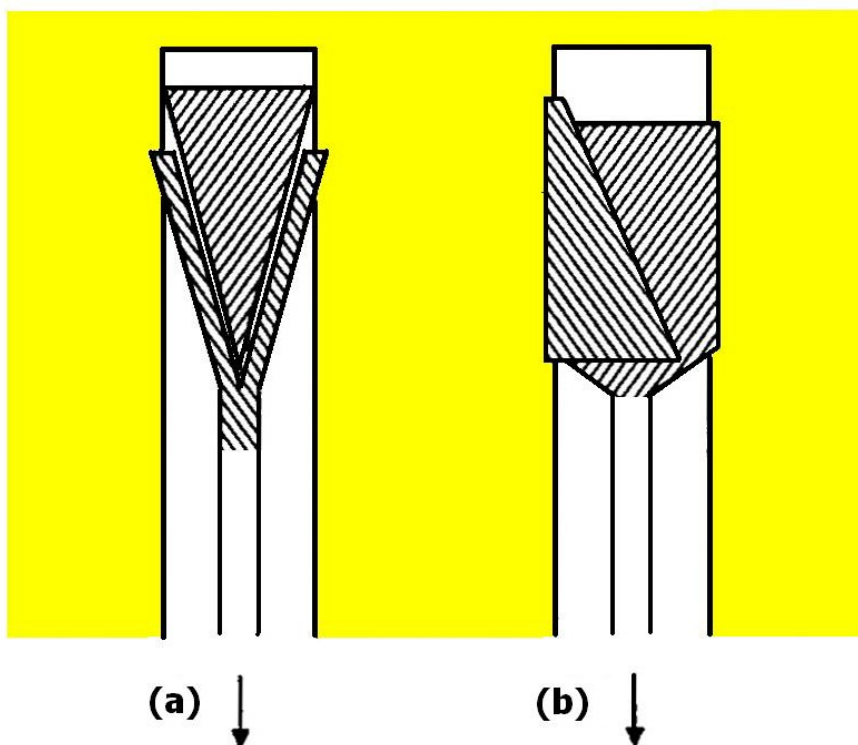
13.1 Svorníky s mechanickým ukotvením

Používají se do středně pevných až pevných skalních hornin. Upnutí se realizuje rozepršením patky svorníku do stěn ve dně vrtu.

- „**klínové svorníky**“ – ocelová tyč $\varnothing 22 \div 30$ mm se v délce cca 200 mm rozřízne a na opačném konci se opatří závitem. Do rozříznutého konce se nastraží ostrý ocelový klínek, tyč se zasune do vrtu a vrtacím kladivem s vypnutou rotací se přiklepáváním klínek opřený o dno vrtu zaráží do rozštěpu. Takto rozšiřovaný konec se upíná do horniny (obr. 13.5 a)). Po upnutí se na tyč navlékne podložka a maticí se (momentovým klíčem) svorník předepe.

Varietou řešení je, místo tyče jako táhla, použití silnostěnné trubky. Zde se může koncová část rozříznout křížově a místo klínku zarážet kuželík. Po předeptnutí může být trubka proinjektována cementovou maltou a svorník se tak stává trvalým.

Výrobně jsou tyto svorníky velmi jednoduché, pro upnutí vyžadují kvalitní horninu. Maximální délka je cca 3 m, únosnost i přes 100kN.



Obr. 13.5
Princip
mechanického
upnutí svorníků. a)
klínový svorník, b)
šroubový svorník (D.
Kolymbas, 1998)

- „**šroubové svorníky**“ - táhlo tyče je opatřeno segmentovou rozpínací hlavou, která se upíná vtahováním kužele při rotaci svorníkové tyče (na principu mechanické hmoždinky) – obr. 13.5 b) a 13.6 b). Tento typ svorníků může být vedle běžné oceli realizován i v plastech (obr. 13.4)

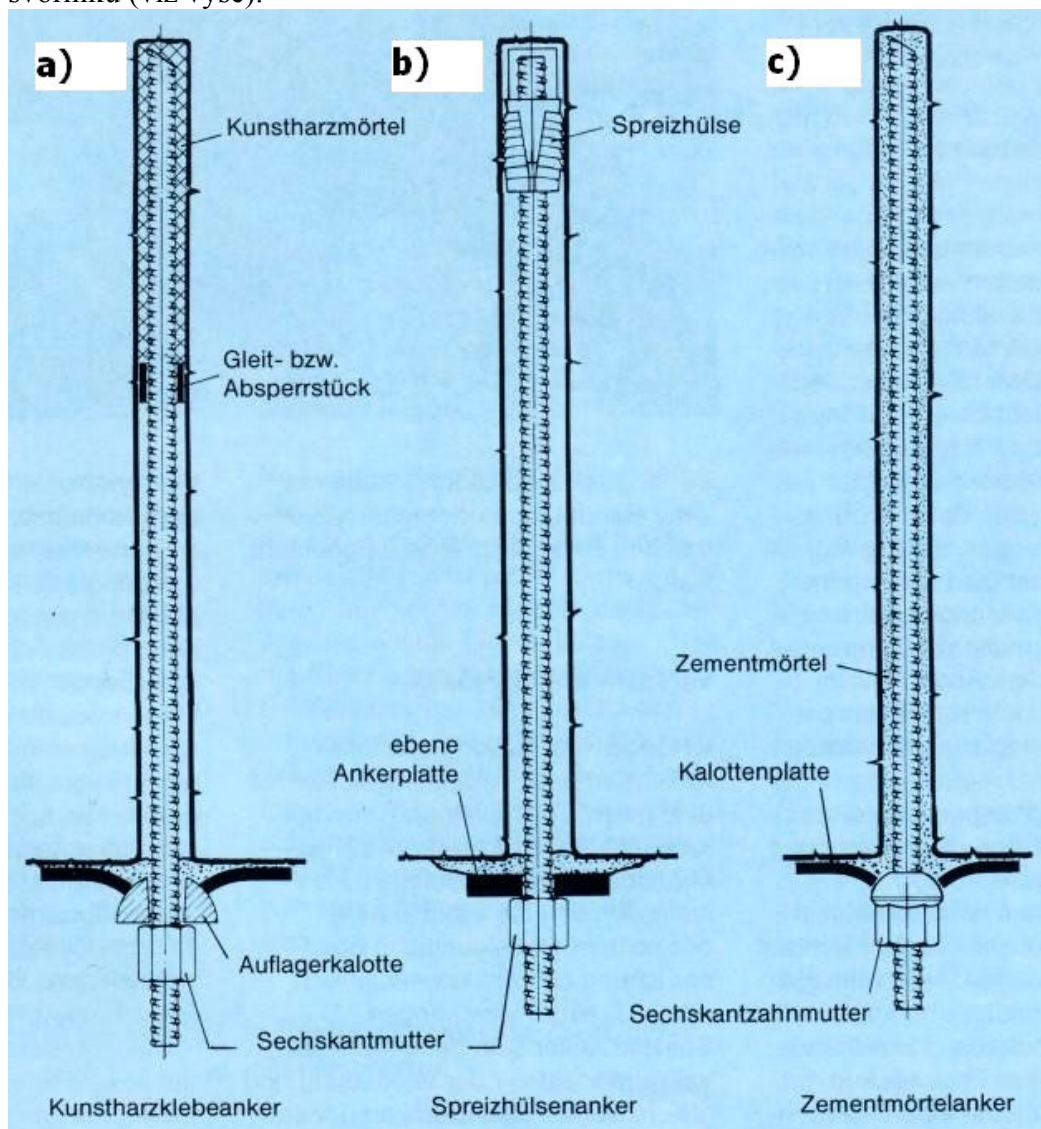
Šroubové svorníky jsou výrobně složitější a tedy i dražší. Obecně jsou však pokládány za velmi spolehlivé. Pro upnutí vyžadují poměrně kvalitní horninu. Jejich délka bývá do 3 m, únosnost 120 ÷ 200 kN.

13.2 Svorníky kotvené syntetickým tmelem (lepené)

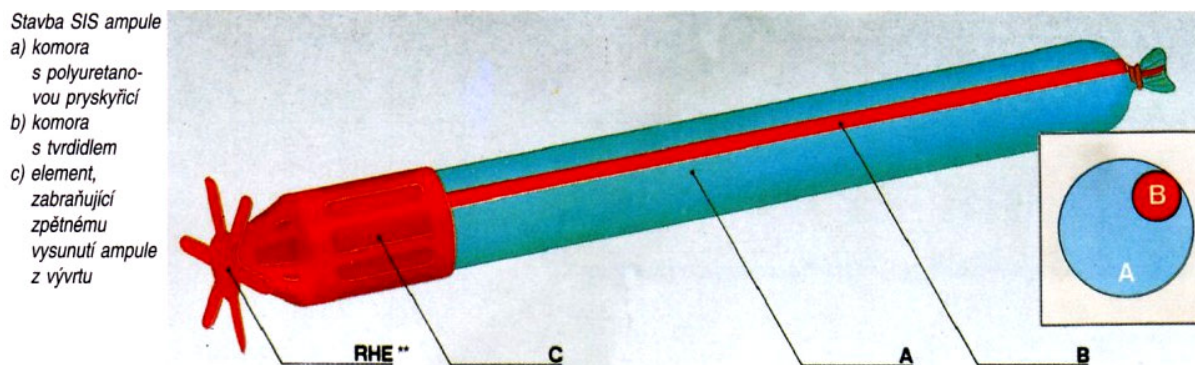
Používají se do málo pevných a porušených hornin až do pevných hornin. Ocelová tyč ze speciální hřebínkové oceli (SN kotvy), méně častěji z klasické betonářské oceli, příp. dnes běžně i tyč kompozitová je na svém konci ostře seříznutá. Lepení se provádí pomocí ampulí s dvousložkovou syntetickou pryskyřicí (ampule PE, PUR apod.) zasunutých v projektované délce kořene do vrtu. Pryskyřice a tvrdidlo se v ampuli nacházejí ve dvou oddělených komorách fóliového typu (systém hadice v hadici) – obr. 13.7. Zarážením tyče se roztrhnou

hadice s pryskyřicí a s tvrdidlem a vrtným kladivem s vypnutým příklepem nasazeným na tyč se obě komponenty promíchají (obr. 13.8). Po vytvrzení tmelu ($0,5 \div 3$ minuty) je možné svorník kompletovat a aktivovat.

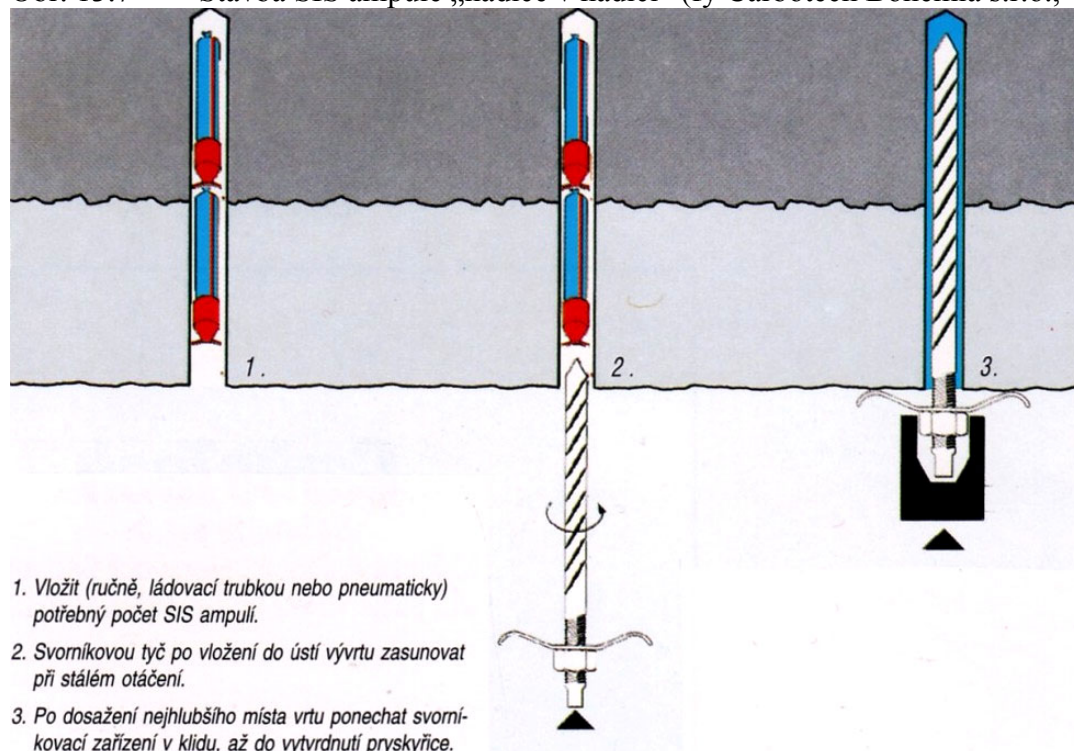
Ne všechny lepicí tmely se dají použít do mokrého prostředí. Únosnost závisí na délce zalepeného kořene (ampule se dodávají v délkách $0,30 \div 0,75$ m). Pro délku kořene 1 m se udává zcela spolehlivě únosnost 50 kN. Zvláštním případem je použití lepených dřevěných svorníků (viz výše).



Obr. 13.6 Typy svorníků. a) svorník lepený syntetickým tmelem, b) mechanicky upínaný šroubový svorník, c) svorník (hřebík) upnutý cementovou směsí po celé své délce. Vysoce únosné svorníkové tyče jsou válcovány do hřebínkové šroubovice (fy DYWIDAG – Systems International GmbH, München, Deutschland)



Obr. 13.7 Stavba SIS ampule „hadice v hadici“ (fy Carbotech Bohemia s.r.o., Ostrava)

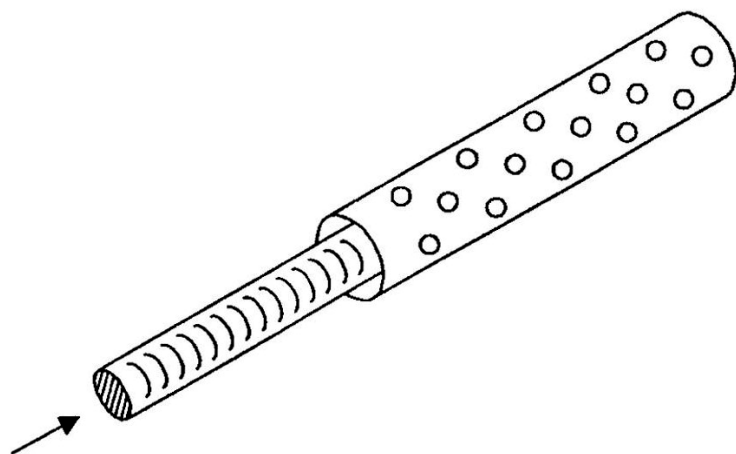


Obr. 13.8 Postup při instalaci lepeného svorníku (fy Carbotech Bohemia s.r.o., Ostrava)

13.3 Svorníky a hřebíky kotvené cementovými směsmi

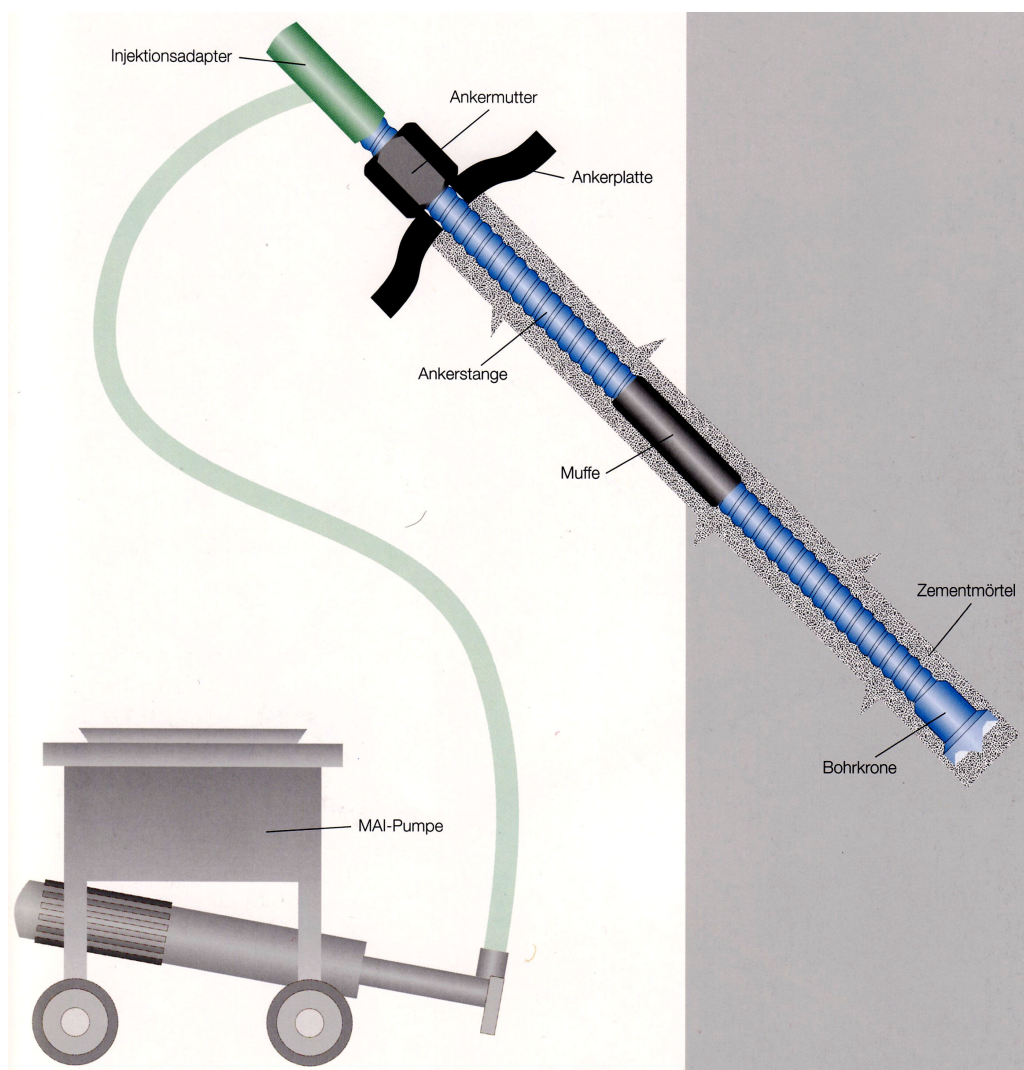
Jsou vhodné i do málo pevných a porušených hornin, do hornin poloskálních i do zemin.

- ocelová tyč ze speciální žebírkové oceli (SN kotvy) jako u lepených svorníků příp. z běžné betonářské výztuže. Urychlená a plastifikovaná **cementová směs se obvykle čerpá do vrtu před osazením svorníku**. Méně často se svorník dodatečně zainjektuje; potom musí být tyč doplněna injekční trubičkou. Zvláštním typem je tyčová zavrtávaná kotva MAI se ztrátnou vrtnou korunkou, injektovaná dutou vrtnou tyčí tvořící současně tělo kotvy (obr. 13.10). Takové svorníky většinou postrádají volnou délku – jsou zcela obaleny cementovým kamenem a mají charakter hřebíku.
- „Perfo-metoda“ používá jako nosič cementové malty jednodílnou nebo dvoudílnou perforovanou plechovou trubicí (obr. 13.9). Ta se naplní hustou urychlenou cementovou maltou, vsune se na dno vrtu (obdobně jako lepicí patrona) a zaražením kotevní tyče je malta vytlačena a spojena s horninou. Takové svorníky lze předepínat.



Obr. 13.9
Plechová perforovaná
trubice na cementovou
maltu pro PERFO-
metodu (D.
Kolymbas,1998)

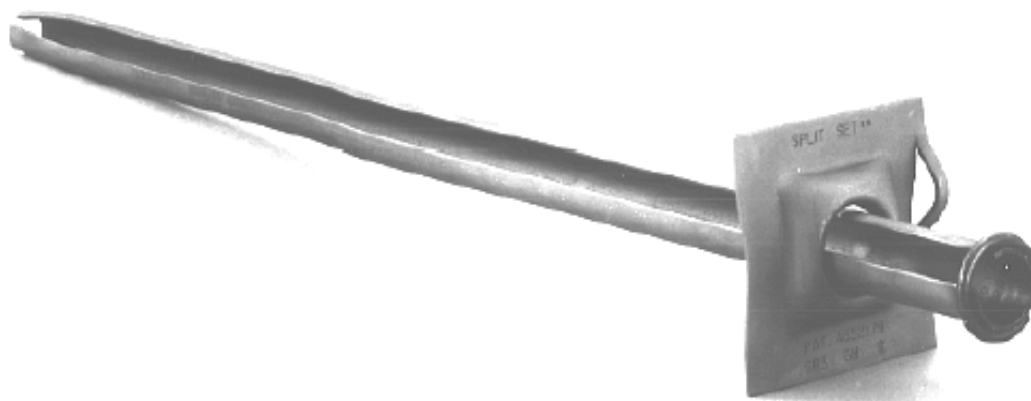
Svorníky a hřebíky osazované do cementových směsí jsou v betonářských ocelí a při instalaci do vrtu s načerpanou směsí bezkonkurenčně nejlevnějším výztužným prvkem. V případě krátkých volných délek mohou nastat potíže s předepnutím. Jistou nevýhodou je delší doba potřebná k vytvrdnutí cementové malty.



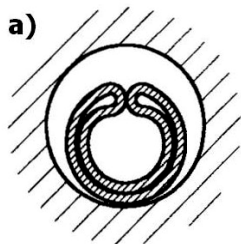
Obr. 13.10 Tyčová zavrtávací kotva (hřebík) MAI se ztratinou korunkou, injektovaný přes vrtnou tyč (fy DYWIDAG – Systems International GmbH, München, Deutschland)

13.4 Svorníky frikční (třecí)

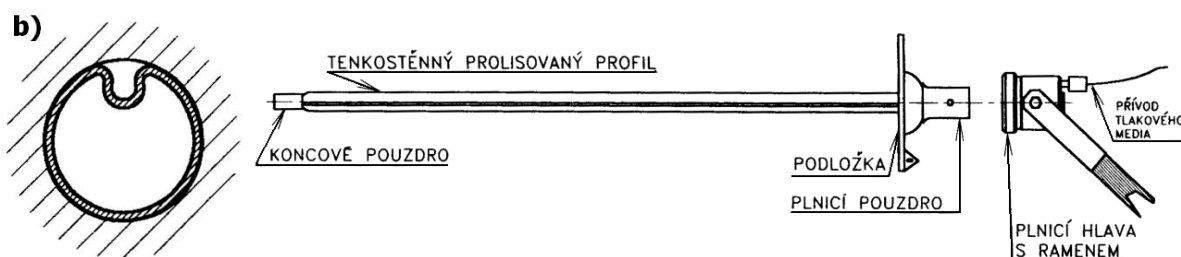
- **štěrbinový svorník (typ Split-Set)** je ocelová trubka z kvalitní oceli se štěrbinou po celé délce. Na jednom konci je osazen nákrůžek nesoucí podložku, na druhém je zúžen pro snadné zavádění do vrtu (obr. 13.11). Osazení se děje zarážením do vrtu poněkud menšího $\varnothing$ než je profil trubky. Kotva se ve vrtu upne po celé délce jako stlačená pružina. Velkou předností této konstrukce je blesková instalace (10 ÷ 30 vteřin) s okamžitou funkcí. Nevýhodou je možnost použití pouze do pevnějších hornin a vysoká citlivost na $\varnothing$ vrtání (především v silně rozpukaných horninách). $\varnothing$ štěrbinového svorníku bývá 31 ÷ 45 mm, délky 0,9 ÷ 3,6 m, únosnost 110 ÷ 160 kN.
- **hydraulicky upínaný svorník – HUS (typ Swellex)** je uzavřený ocelový průřez z vysokotahné oceli se zavnutým prolisem (obr. 13.12a)). Svorník se zasune do vrtu, připojí přes plnicí pouzdro v hlavě na čerpadlo a tlakovou vodou nebo injekční směsí se rozevře (obr. 13.12b) a 13.13). Výhodou je velmi operativní instalace a možnost použití i v méně pevných horninách. Tento typ svorníků může sloužit i jako injektážní, když tělo svorníku představuje pakr (obturátor) uzavírající vrt a v koncovém pouzdře svorníku je ventil pro výstup injekční směsí do horniny. Délky HUS 1 ÷ 6 m, doporučené délky 2 ÷ 4 m, doporučené $\varnothing$ vrtání 35 ÷ 38 mm, únosnost cca 100 kN.



Obr 13.11 Štěrbinový svorník (Split Set) fy Ingersol-Rand (E. Hoek, 1995)

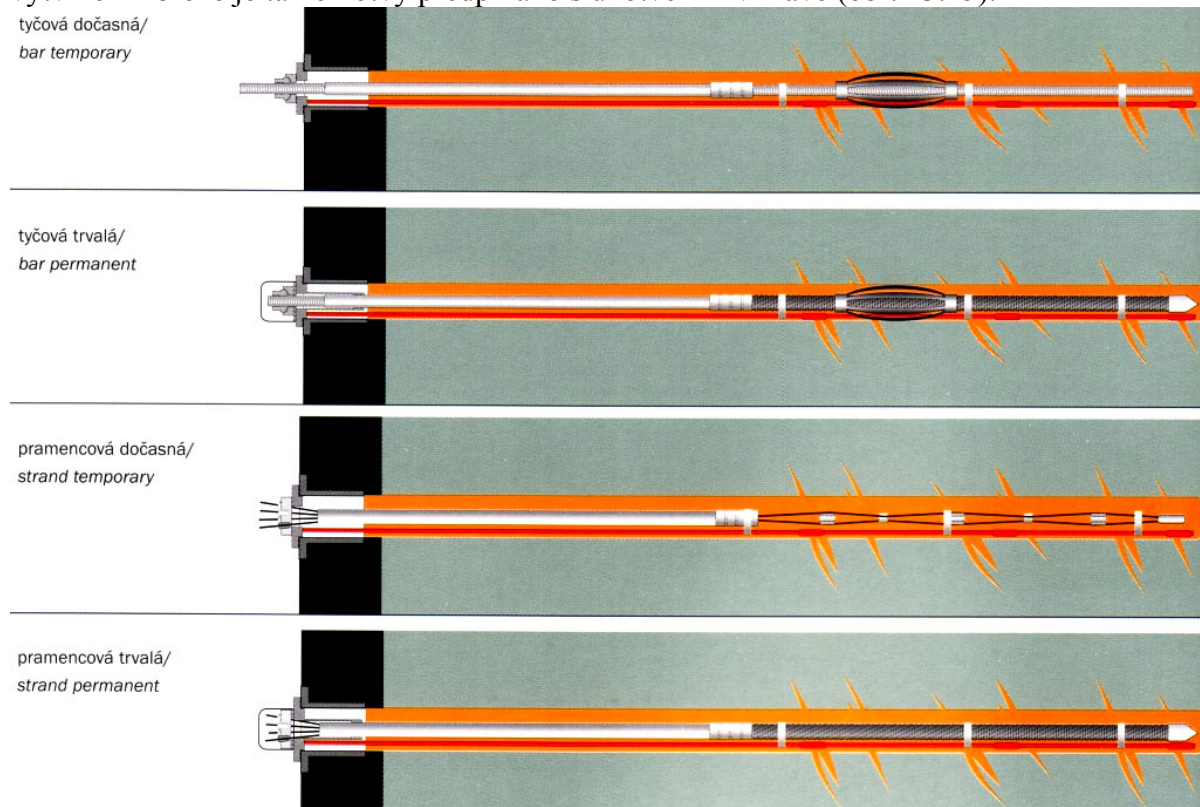


Obr 13.12
Osazení hydraulicky upínaného svorníku. a) zasunutí
profilu do vrtu, b) hydraulické rozevření svorníku
Obr. 13.13
HUS a jeho upínání
(fy ANKRA, spol. s r.o. Petřvald u Karviné)

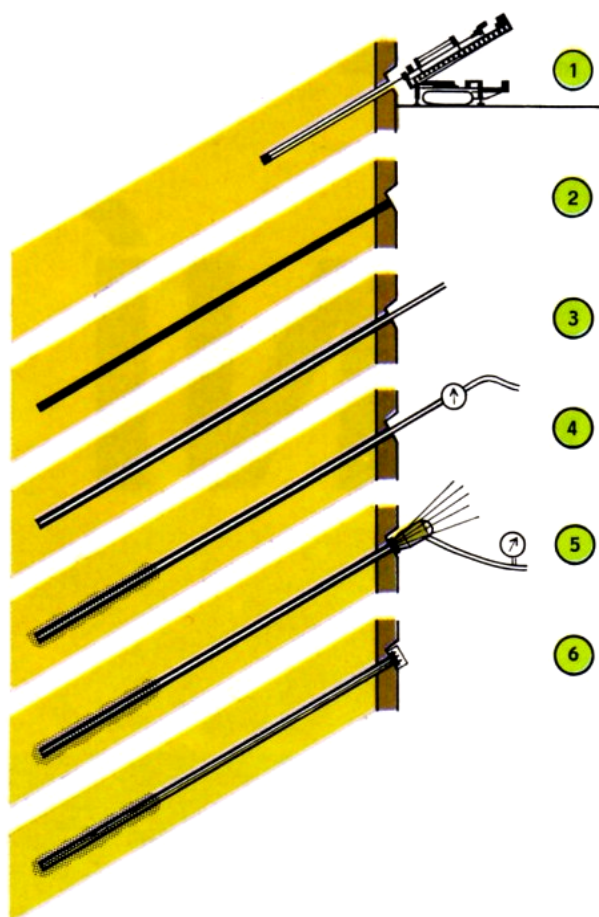


13.5 Pramencové, kabelové a tyčové kotvy

Jsou výkonnými podpěrnými prvky (300 až 10 000 kN) speciálního zakládání staveb, určenými především pro kotvení náročných inženýrských konstrukcí (např. visuté mosty, přehradní zdi, vysoké stožáry, pažící konstrukce hlubokých stavebních jam – obr. 13.1). Používá se řada speciálních, často patentovaných, firemních postupů (obr. 13.14). Kořen (y) kotvy(ev) musí sahát až za potenciální smykovou plochu. Kořeny se vytvářejí různými způsoby (např. odstřelem, speciálním nástrojem, vysokotlakou injektáží – **klakáží**), nejčastěji však injektáží přes manžetové trubky. Tato metoda (vyvinutá fy Soletanche) je použitelná prakticky do jakéhokoliv horninového prostředí (včetně nesoudržných zemin). Po vytvoření a vytvrzení kořene je táhlo kotvy předpínáno s ukotvením v hlavě (obr. 13.15).



Obr. 13.14 Typy kotev (Zakládání staveb, Praha)

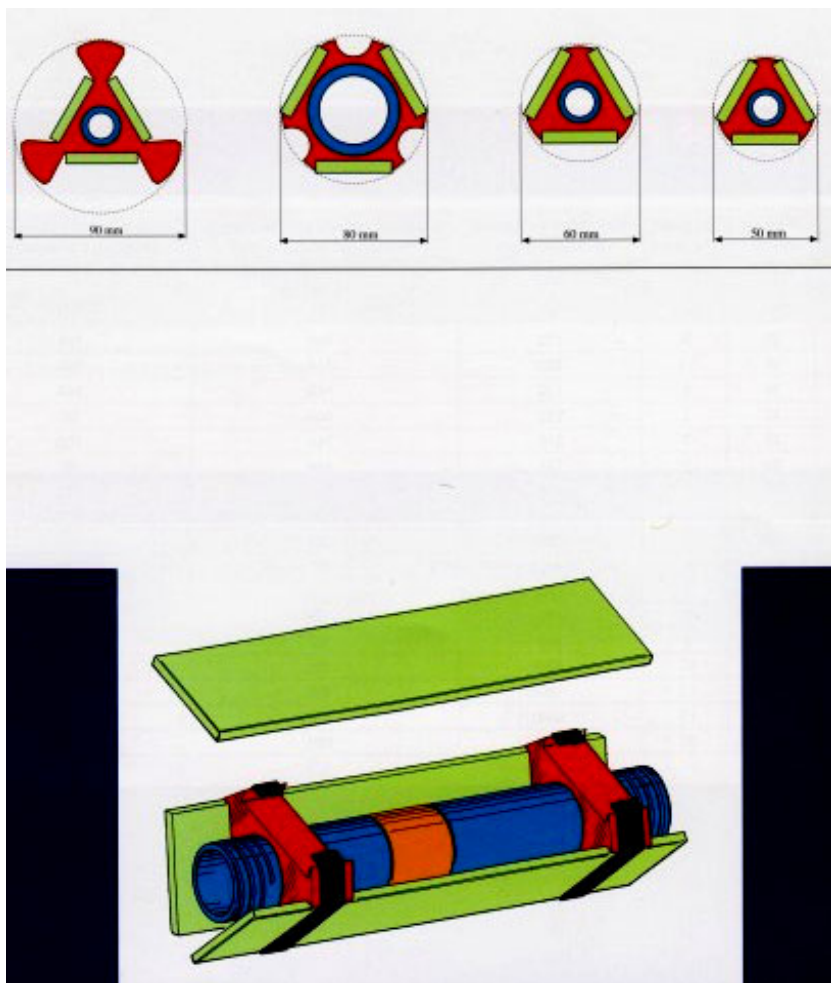


Obr. 13.15

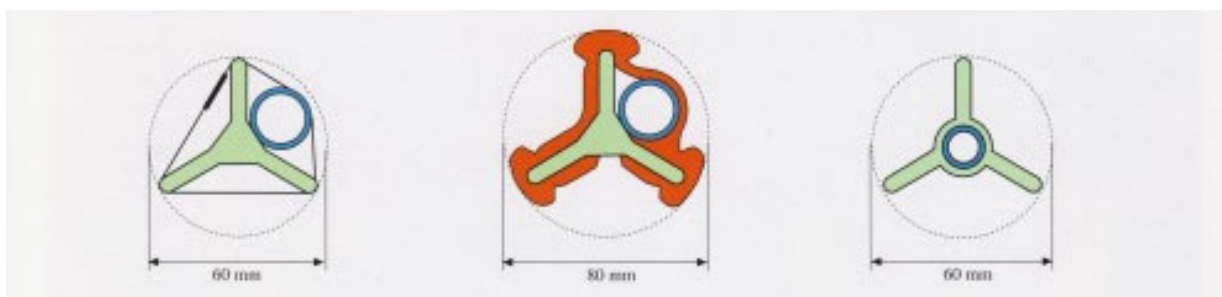
Postup provádění předepnutých kotev.

- 1 – vrtání,
 - 2 – vyplnění vrtu cementovou zálivkou,
 - 3 – osazení kotvy do vrtu,
 - 4 – injektáž kořene kotvy cementovou směsí,
 - 5 – předpínání kotvy a provedení průkazných a kontrolních zkoušek,
 - 6 – uzavření kotevní hlavy a její případná antikorozi ochrana
- (Zakládání staveb, Praha)

Velmi moderním typem kotvy je kombinovaná kotva s tahovými sklolaminátovými prvky. Spojuje vysokou tahovou únosnost kotevních prvků s vysokotlakou injektáží prostředí. Tahová pevnost kompozitových prvků převyšuje pevnost oceli cca 1,4x, hmotnost kotev je cca $\frac{1}{4}$ hmotnosti odpovídajícího ocelového prvku, poloměr zakřivení při manipulaci je přibližně 10x menší, sklolaminátové prvky lze běžně rozrušovat razíciemi nebo dobývacími stroji a tyto kompozity nepodléhají korozi (obr.13.16, 13.17).

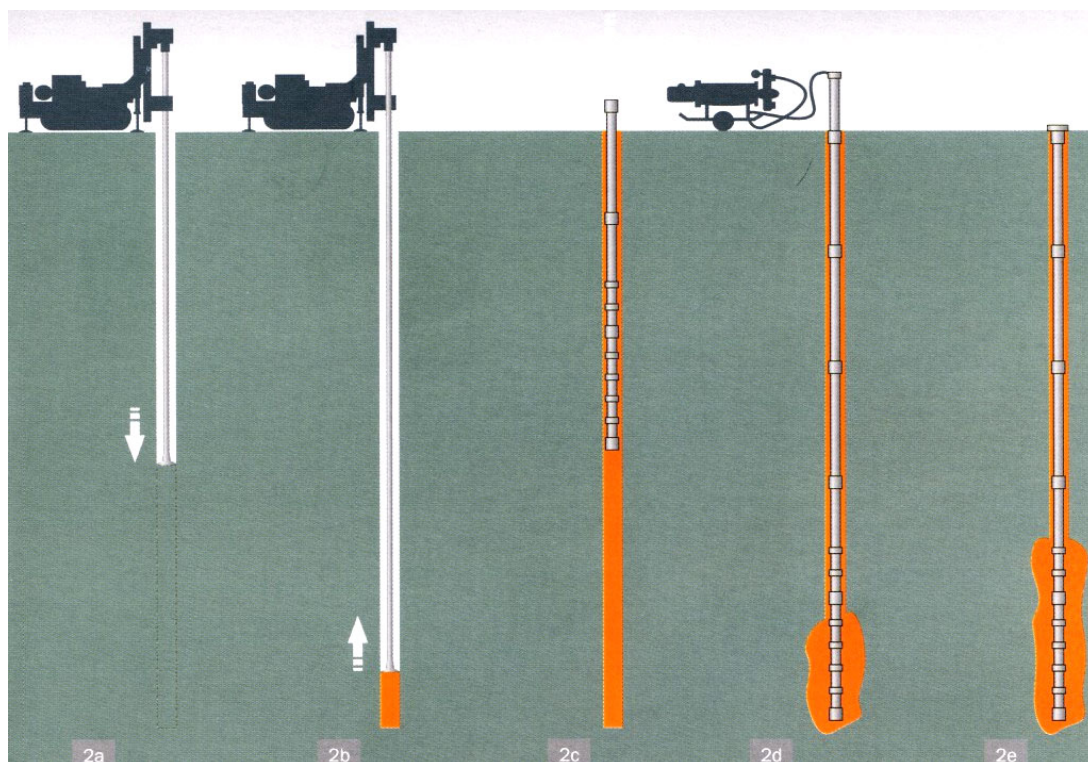


Obr. 13.16 a 13.17
Injektáží
sklolaminátové
kombinované kotvy
(fy Sireg S.p.A.,
Arcore, Italy)

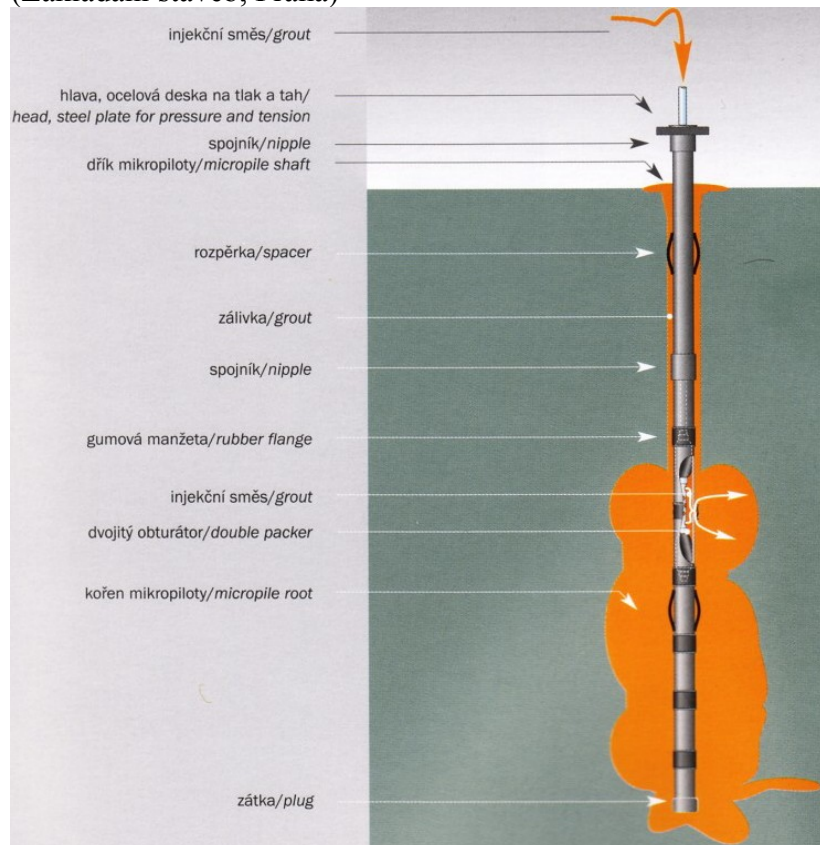


13.6 Kotevní mikropiloty

Prvek speciálního zakládání, používaný obvykle jako tlačný, pro hlubinné zakládání. Mikropiloty mohou však být použity i jako výkonná kotva. Tělo piloty je tvořeno silnostěnnou ocelovou trubkou, v úseku kořene svrtnou v injekčních etážích, s otvory překrytými pružnou manžetou, která slouží jako zpětný ventil. Silnostěnná trubka představuje táhlo prvku a slouží i jako trubka injekční (obr. 13.19). Únosnost v dobře injektovatelném prostředí může dosáhnout okolo 100 kN/1 m kořene. Postup provádění mikropiloty je rozveden na obr. 13.18.



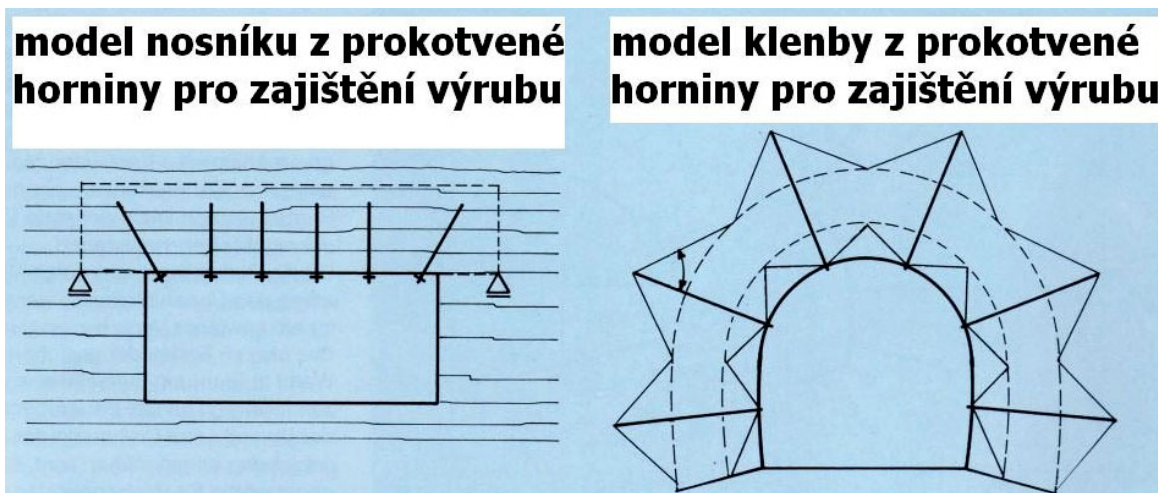
Obr. 13.18 Technologický postup provádění mikropilot. 2a – zhotovení vrtu rotační technologií, 2b – vytahování vrtného náradí a vyplnění vrtu zálivkou, 2c – osazování výztužné silnostěnné ocelové manžetové trubky, 2d – po částečném zatvrdnutí cementové zálivky injektáž kořenové části mikropiloty přes manžetové trubky, 2e – hotová mikropilota (Zakládání staveb, Praha)



Obr. 13.19
Charakteristický řez
mikropilotou (Zakládání
staveb, Praha)

Efekt kotvení (svorníkování) a návrh kotev (svorníků)

je patrný z obr. 13.20. Účinkem *předepnuté* svorníkové výstroje je vytvořen nosný stropní prvek (resp. klenba) nad podzemním výrubem. Efekt kotvení při zajištění skalních stěn byl uveden v předchozí kapitole. Podle zkušeností bývá běžná délka svorníků cca $1/3$ šířky výrubu, jejich rozteč potom cca $1/2$ délky (tj. $1/6$ šířky výrubu).

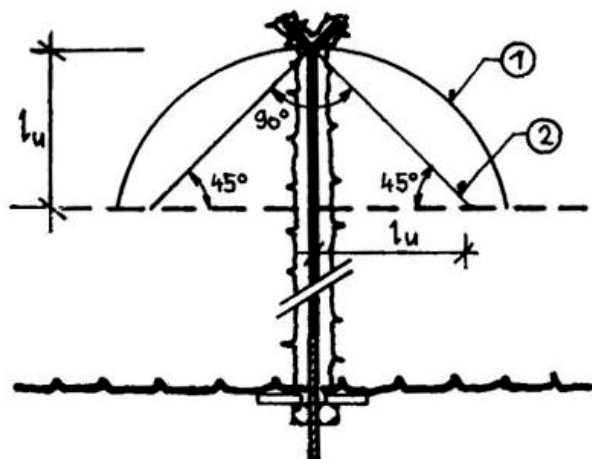


Obr. 13.20 Modely fungování prokotveného horninového tělesa (fy DYWIDAG – Systems International GmbH, München, Deutschland)

U hornin s výraznými směry a sklony ploch odlučnosti je nutné směr kotvení upravit tak, aby úhel svorníku vůči plochám diskontinuity byl co nejstrmější (nejlépe 90° , minimálně 45°).

Návrh délky upnutí kotev (svorníků):

- u **mechanicky upínaných svorníků** zakotvených do únosné vrstvy, za líc horninové klenby nebo za předpokládanou nebezpečnou smykovou plochu se stanoví délka upnutí z podmínky, že odpor proti vytržení musí být větší než vlastní pevnost svorníku. Předpokládá se, že zakotvení je účinné a nedojde k prokluzu. Zkoušky ukázaly, že pevná celistvá hornina se kotvou vytrhne ve tvaru kulového vrchlíku. U rozpukané horniny se při vytržení uplatňují přirozené plochy diskontinuity. Kulový vrchlík výtrže u celistvých hornin lze nahradit přibližně kuzelem s vrcholovým úhlem 90° v místě upnutí svorníku. Tento kužel má vždy menší základnu než kulový vrchlík - vypočtená délka upnutí v sobě zahrnuje určitou bezpečnost (obr. 13.21):



Obr. 13.21

1 – plocha kulového vrchlíku,

2 – kuželová plocha

(J. Barták – M. Bucek, 1989)

Z podmínky:
$$S\sigma_t = \pi \frac{l_u^2}{\cos 45^\circ} \tau^h$$

dostáváme pro hloubku upnutí:
$$l_u = \sqrt{\frac{0,22 S \sigma_t}{\tau^h}}$$

kde: S průřezová plocha svorníku
 σ_t pevnost materiálu svorníku v tahu
 τ^h smyková pevnost horniny

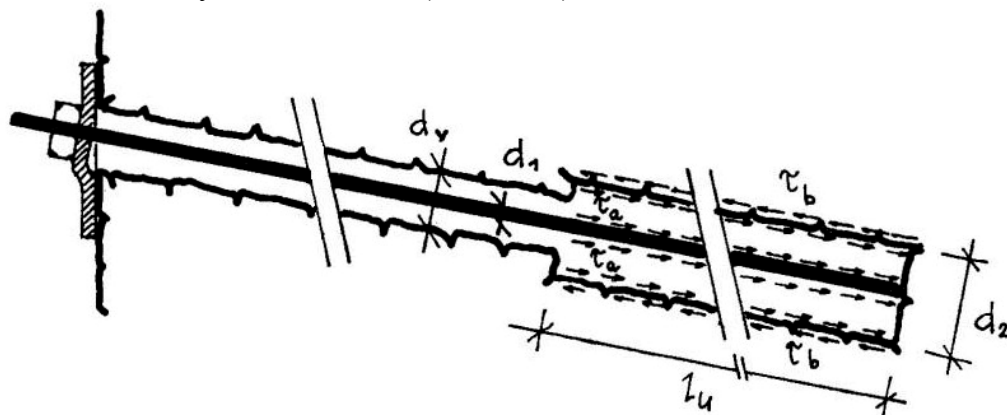
v případě, že vrcholový úhel kužele výtrže označíme obecně α , platí pro délku zakotvení:

$$l_u = \cos \alpha \sqrt{\frac{S \sigma_t}{\pi \tau^h \sin \alpha}}$$

- u kotev upínaných tmelem (pryskyřicí nebo cementovou maltou) je nutné posoudit i další dva možné způsoby porušení:

- porušení soudržnosti mezi kotevní tyčí a tmelem
- porušení soudržnosti mezi tmelem a horninou.

V obou případech se odpor proti vytržení musí rovnat minimálně silám získaným ze statického posouzení systému, upraveným stupněm bezpečnosti. U dočasných konstrukcí se stupeň bezpečnosti požaduje v hodnotě $1,3 \div 1,5$, u trvalých konstrukcí $1,5 \div 1,8$. Přibližné řešení vychází ze vztahů (obr. 13.22):



Obr. 13.22 Schéma kotvy upnuté do horniny tmelem (J. Barták – M. Bucek, 1989)

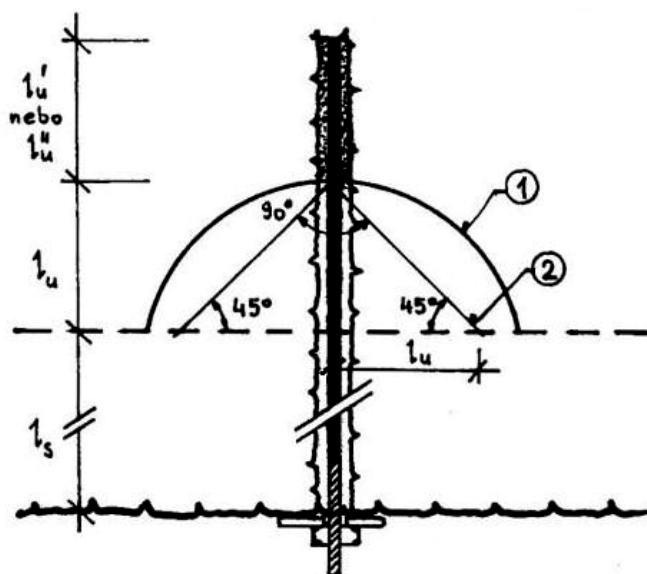
Bezpečnost proti vytržení kotvy z tmelu:
$$\eta = \frac{l'_u n \tau_a \pi d_1}{F_A} \geq (1,3 \div 1,8)$$

kde: l'_u délka upnutí kotvy v tmelu
 n počet tyčí (drátů, pramenců) v jednom vrtu
 τ_a smyková pevnost (soudržnost) mezi tmelem a táhlem kotvy, závislá na typu tmele a drsnosti povrchu kotvy
 d_1 Ø táhla kotvy
 F_A síla působící v kotvě.

Bezpečnost proti usmyknutí mezi tmelem a horninou:
$$\eta = \frac{l_u'' \tau_b \pi d_2}{F_A} \geq (1,3 \div 1,8)$$

kde: l_u'' délka kořene kotvy
 τ_b smyková pevnost (soudržnost) mezi tmelem a horninou
 d_2 Ø ideálního válce opsaného kořenu kotvy
 F_A síla působící v kotvě.

Vždy je nutné posoudit oba případy současně a uvažovat z délek l_u' a l_u'' větší.
Délka zakotvení do únosné vrstvy, za líc horninové klenby nebo za předpokládanou nebezpečnou smykovou plochu se stanoví stejně jako u mechanicky upínaných svorníků; předpokládaná výtrž vychází od čela kořene kotvy (obr. 13.23):



Obr. 13.23

1 – plocha kulového vrchlíku,

2 – kuželová plocha

(J. Barták – M. Bucek, 1989)

Je-li délka kořene kotvy určena jako větší z obou hodnot l_u' a l_u'' , mohlo by dojít k vytržení kotvy právě vzhledem k nedostatečné délce zakotvení l_u . Celková délka kotev pak vychází $l_k = l_s + l_u + (l_u' \text{ nebo } l_u'')$.

Teoretické řešení mechanismu vytržení v upnutí paty svorníku (kotvy) z vrtu je obtížné a závisí na typu upnutí. Vzhledem k řadě zjednodušujících předpokladů dává jen orientační (teoretické) hodnoty. V konkrétních případech je žádoucí stanovit únosnost paty svorníku (kotvy) zkouškami in situ.

