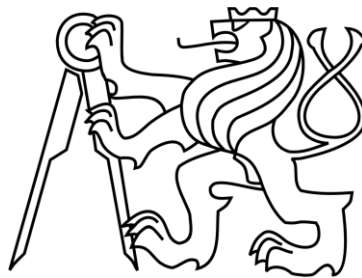


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ

FAKULTA STAVEBNÍ

Katedra technologie staveb



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Vliv realizace na únosnost mechanického
kotvení**

Tomáš Baier

2018

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Václav Pospíchal, Ph.D.

Prohlašuji, že jsem předkládanou bakalářskou práci vypracoval samostatně
pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

V Praze

.....

Tomáš Baier

Poděkování

Chtěl bych poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Václavu Pospíchalovi, Ph.D. za odborné vedení a rady při zpracování této bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Lucii Rochové za cenné rady a Jakubu Nachtmannovi za pomoc při tvorbě zkušebních vzorků.



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební


Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Baier	Jméno: Tomáš	Osobní číslo: 438045
Zadávací katedra: K 122 - katedra technologie staveb		
Studijní program: SI - stavební inženýrství		
Studijní obor: L - Příprava, realizace a provoz staveb		

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Vliv realizace na únosnost mechanického kotvení	
Název bakalářské práce anglicky: The impact of application on mechanical anchors bearing capacity	
Pokyny pro vypracování: <ul style="list-style-type: none">- specifikace jednotlivých typů kotev do betonu- výpočet referenčních vzorků ručně a dle software- technologický postup- chyby v realizaci- zhotovení zkušebních vzorků včetně chybných- měření reálných únosností- vyhodnocení	
Seznam doporučené literatury: <ul style="list-style-type: none">- HÁJEK V., NOVÁK L., ŠMEJCKÝ J., Konstrukce pozemních staveb 30-Kompletační konstrukce, Praha:ČVUT, 2002 skripta- HILTI CORPORATION, Anchor fastening technology manual, Schaan, Principality of Liechtenstein, 2012- ETAG 001, Kovové kotvy do betonu, 1997	
Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Václav Pospíchal, Ph.D.	
Datum zadání bakalářské práce: 22.2.2018	Termín odevzdání bakalářské práce: 27.5.2018
<i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i>	
 Podpis vedoucího práce	Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

22.2.2018	
Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)

Anotace

Tato bakalářská práce se zabývá vlivem realizace na únosnost mechanických kotev. Cílem bylo zjistit, jaký vliv mají realizační chyby na maximální únosnost kotevního spoje v tahu, a následně porovnat výsledné hodnoty s katalogovými hodnotami a hodnotami z výpočetního softwaru. Zkušební vzorky byly vytvořeny aplikací zkoušených druhů kotev do betonových kvádrů z betonu C20/25. Pro zjištění maximální únosnosti autor použil tahové zkoušky.

Annotation

This work deals with the impact of application on mechanical anchors bearing capacity. The aim is to find out the impact of using application fail to bearing capacity of anchor joint. Then compare the resulting values with the catalog values and values from the computing software. The test samples were created by applying the tested types of anchors to concrete blocks of C20/25 concrete. The tensile tests were used by the author to determine the maximum load capacity.

Klíčová slova

Mechanická kotva, beton, hmoždinka, vytažení

Key words

Mechanical anchor, concrete, anchor, pulling out

Obsah

Úvod	11
1 Kotvení:	12
1.1 Předem upevněné kotevní prvky	12
1.1.1 Zabetonovaná závitová pouzdra	12
1.1.2 Zabetonované šrouby a trny	13
1.1.3 Zabetonované kolejnice	14
1.2 Dodatečně upevněné kotevní prvky	14
1.2.1 Metody montáže kotev	16
1.2.2 Funkční principy kotvení	17
1.2.3 Vstřelování	19
1.2.4 Vrtání	22
1.3 Druhy zatížení	22
1.3.1 Zatížení a deformace	22
2 Praktická	22
2.1 Porovnávané hodnoty únosností	24
2.2 Vstupní parametry	24
2.3 Únosnosti kotev z katalogu od výrobce	24
2.3.1 Úderová kotva HKD s vnitřním závitem	25
2.3.2 Expanzní kotva HST3 M10x100 s vnějším závitem	25
2.3.3 Upevňovací kotevní šroub HUS3-H	26
2.3.4 Tabulka výsledků	26
2.4 Únosnost kotev v tahu – ruční výpočet	26
2.4.1 Tahová únosnost materiálu kotvy	26
2.4.2 Betonový kužel	27
2.4.3 Návrhová únosnost betonového kužele:	27

2.4.4	Rozštěpení betonu.....	29
2.4.5	Vytažení kotvy.....	29
2.4.6	Výsledky.....	29
2.5	Výpočet pomocí softwaru	30
2.5.1	Vstupy do softwaru.....	30
2.5.2	Výsledky.....	31
3	Technologický postup a chyby v realizaci kotev do betonu.....	31
3.1	Technologický postup úderové kotvy HKD M10x30 s vnitřním závitem	31
3.2	Technologický postup expanzní kotvy HST3 M10x100 s vnějším závitem	32
3.2.1	Technologický postup pro vrtání klasickým vrtáním.....	33
3.3	Technologický postup upevňovacího kotevního šroubu HUS3-H M10x90	34
3.4	Chyby v realizaci.....	34
3.4.1	Nedodržení utahovacího momentu.....	34
3.4.2	Nedodržení okrajové vzdálenosti	35
3.4.3	Nedodržení osových vzdáleností kotev	36
3.4.4	Nevyčištění vyvrtaného otvoru.....	36
3.4.5	Minimální kotevní hloubka	36
4	Zhotovení vzorků.....	36
4.1	Vzorky vytvořené přesně podle technologického postupu.....	37
4.1.1	Expanzní kotva HST3 M10x100	38
4.1.2	Úderová kotva s vnitřním závitem HKD M10x30	39
4.1.3	Upevňovací kotevní šroub HUS3-H M10x90	40
4.2	Vzorky vytvořené s nejčastějšími realizačními chybami	41
4.2.1	Nedodržení minimální okrajové vzdálenosti	42

4.2.2	Nedodržení utahovacího momentu + nevyčištění otvoru	43
4.2.3	Nedodržení osově vzdálenosti mezi jednotlivými kotvami + nevyčištění kotevního otvoru	44
4.2.4	Nedodržení minimální kotevní hloubky	45
5	Měření reálných únosností	46
5.1	Měření správně aplikovaných kotev	47
5.1.1	Expanzní kotva HST3 M10x100	47
5.1.2	Úderová kotva HKD M10x30	49
5.1.3	Upevňovací kotevní šroub HUS3-H M10x90	50
5.1.4	Předběžný závěr ke kapitole 5.1	51
5.2	Měření při nedodržení minimální okrajové vzdálenosti	51
5.2.1	Expanzní kotva HST3 M10x100	51
5.2.2	Úderová kotva HKD M10x30	52
5.2.3	Upevňovací kotevní šroub HUS3-H M10x90	54
5.2.4	Předběžný závěr ke kapitole 5.2	54
5.3	Měření při nedodržení minimální osově vzdálenosti + nevyčištění otvoru	55
5.3.1	Expanzní kotva HST3 M10x100	55
5.3.2	Úderová kotva HKD M10x30	56
5.3.3	Upevňovací kotevní šroub HUS3-H M10x95	57
5.3.4	Předběžný závěr ke kapitole 5.3	58
5.4	Nedodržení utahovacího momentu + nevyčištění otvoru	58
5.4.1	Expanzní kotva HST3 M10x100	58
5.4.2	Předběžný závěr ke kapitole 5.4	59
5.5	Nedodržení minimální kotevní hloubky	60
5.5.1	Upevňovací kotevní šroub HUS3-H	60

5.5.2	Předběžný závěr ke kapitole 5.5	61
6	Vyhodnocení	61
6.1	Vzorky správně vytvořené.....	61
6.1.1	Expanzní kotva HST3 M10x100	61
6.1.2	Úderová kotva HKD M10x30	61
6.1.3	Upevňovací kotevní šroub HUS3-H M10x90	62
6.2	Nedodržení minimální vzdálenosti od okraje podkladního materiálu 62	
6.2.1	Expanzní kotva HST3 M10x100	62
6.2.2	Úderová kotva HKD M10x30	62
6.2.3	Upevňovací kotevní šroub HUS3-H M10x95	63
6.3	Měření při nedodržení minimální osové vzdálenosti + nevyčištění otvoru 63	
6.3.1	Expanzní kotva HST3 M10x100	63
6.3.2	Úderová kotva HKD M10x30	64
6.3.3	Upevňovací kotevní šroub HUS3-H M10x95	64
6.4	Nedodržení utahovacího momentu + nevyčištění otvoru.....	64
6.4.1	Expanzní kotva HST3 M10x100	64
6.5	Nedodržení minimální kotevní hloubky.....	65
6.5.1	Upevňovací kotevní šroub HUS3-H M10x95	65
	Závěr.....	66
	Použitá literatura	69
	Přílohy	71
	Seznam použitých tabulek.....	71
	Seznam použitých obrázků.....	71
	Výstupní data ze softwaru Hilti Profis Anchor	74

Úvod

Téma mé bakalářské práce vzniklo na základě spolupráce se společností Hilti. Téma jsem si zvolil na základě vlastních zkušeností s navrhováním kotev. V rámci zpětných vazeb se ke mně dostávají fotky z již zrealizovaných konstrukcí. Díky takto získaným informacím a poznatkům o tom, jak se v praxi tyto spoje provádějí, jsem se rozhodl zpracovat bakalářskou práci zabývající se touto problematikou. Úkolem tedy bylo zjistit, jaký vliv má vytvoření realizačních chyb na snížení únosnosti kotevních spojů.

Pomocí mechanických kotev se dají realizovat téměř všechny spoje návazných profesí vyskytujících se na stavbě. Kotevní technika je nedílnou součástí každé stavby. Proto by se únosnost kotevních spojů neměla podceňovat. Každý kotevní spoj by se tak měl jednotlivě posoudit a realizovat podle správného technologického postupu dodaného výrobcem kotvy.

Dimenzování mechanických kotev se provádí na základě řídicích pokynů pro evropská technická schválení ETAG. Podle takto získaných hodnot zvolíme správný typ a délku kotvy.

1 Kotvení:

Vývoj kotevní techniky a kotvicích systémů příznivě ovlivnil postup návazných montážních prací jak na hrubou stavbu, tak při údržbě a rekonstrukci objektů. V současnosti je na trhu široká paleta spojovací techniky [1].

Kotvení je upevňování předmětů, prvků či dílců do podkladních materiálů a lze obecně realizovat dvěma způsoby.

- Upevněním kotevních prvků předem
- Dodatečným upevněním kotevních prvků

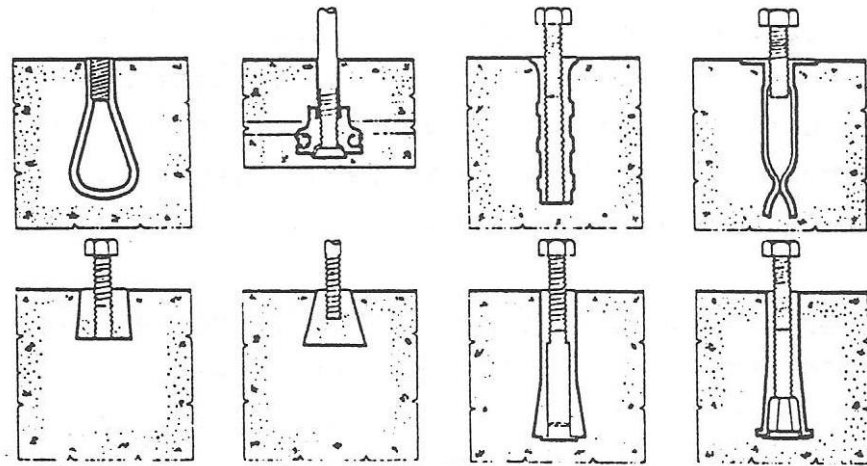
1.1 Předem upevněné kotevní prvky

Upevnění kotevních prvků předem v částech konstrukcí, kde je možné potřebu kotev předvídat, vkládáme kotevní prvky již ve stádiu provádění nosné konstrukce. Jak při výrobě monolitu na stavbě nebo prefabrikátů v továrnách. Takto upevněné kotevní prvky jsou s nosnou konstrukcí dokonale spojeny, a tím pádem mají vysokou mechanickou pevnost i odolnost vůči dynamickému namáhání. Upevnění kotevních prvků předem má spoustu variant řešení, jako jsou například zabetonovaná kotevní pouzdra, kotevní kolejnice, kotevní desky, kotevní prvky střešního pláště, kotvení zdiva a příček, kotvení ochranných úhelníků, zabetonované trny a šrouby [2].

Vzhledem k nutnosti znát přesnou polohu kotevního bodu předem je návrh předem upevňovaných kotevních prvků náročnější na samotné navrhování i na koordinaci s ostatními profesemi na stavbě.

1.1.1 Zabetonovaná závitová pouzdra

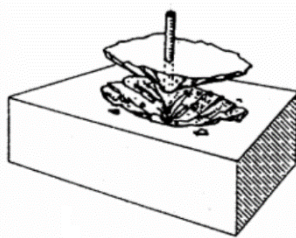
Zabetonovaná závitová pouzdra je možné do konstrukce vkládat již v při výrobě konstrukce, nebo až přímo na stavbě. Jelikož zabetonovaná závitová pouzdra fungují jako ztracené bednění, je třeba při návrhu posoudit materiál kotvy s ohledem na chemické složení betonu, agresivitu prostředí, nebezpečí kondenzace vodní páry, druh šroubu apod. Nejjednodušším příkladem zabetonovaného závitového pouzdra je kovová trubka s vnitřním závitem, na povrchu vroubkovaná či zdrsněná. Pouzdro může být prodlouženo, např. betonovou výztuží pro dosažení potřebné kotevní délky a soudržnosti s betonem. Na obrázku č.1 jsou uvedeny používané typy zabetonovaných závitových pouzder [2].



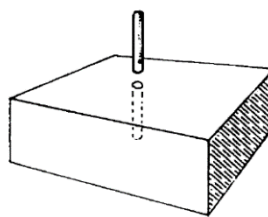
Obrázek 1 Typy zabetonovaných závitových pouzder [2]

Při aplikaci zabetonovaných závitových pouzder může dojít k porušení betonu zejména v okolí pouzdra v kuželové ploše s vrcholem kužele ve středu dna pouzdra. Výška betonového kužele je dána kotevní hloubkou zabetonovaného kotevního pouzdra.

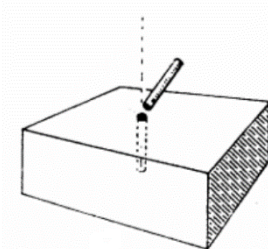
Vytržení betonového kužele



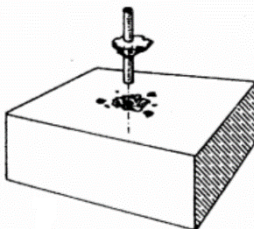
Vytažení kotvy



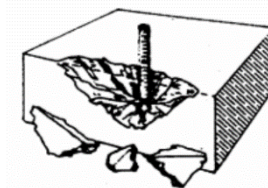
Porušení kotvy



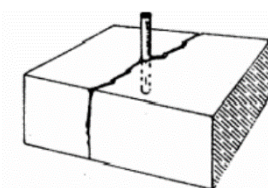
Kombinace vytažení/vytržení betonového kužele



Porušení okraje betonu



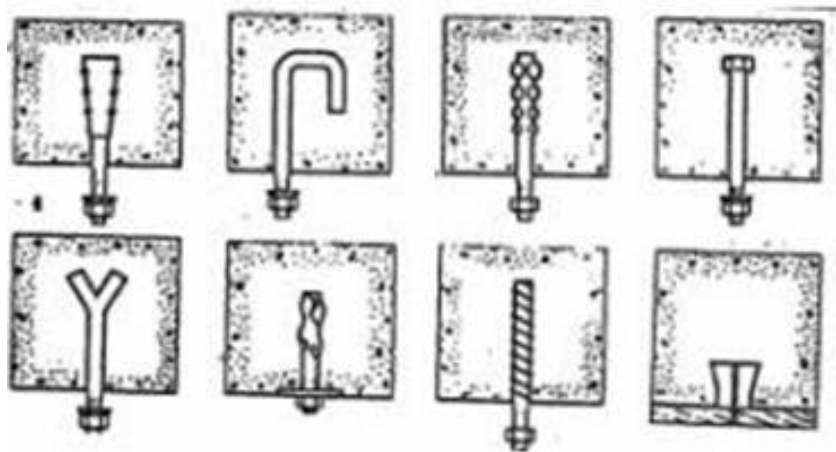
Rozštěpení betonu



Obrázek 2 Typy porušení kotevního spoje [3]

1.1.2 Zabetonované šrouby a trny

Na stejném principu jako zabetonovaná závitová pouzdra fungují zabetonované šrouby a trny, ve fázi výroby se do nosné konstrukce vkládají ocelové prvky pro pozdější kotvení. Díky zabetonovaných kotvicích šroubům a trnům má zdrsňený či vroubkovaný povrch nebo je zahnutý tak, aby bránil vytažení kotvy z betonu.



Obrázek 3 Typy zabetonovaných šroubů a trnů [2]

1.1.3 Zabetonované kolejnice

Kotevní kolejnice jsou tenkostěnné profily většinou průřezu „C“. Jsou vhodné pro rychlé, spolehlivé a flexibilní kotvení různých konstrukčních prvků. Do drážky se umísťují speciální šrouby s obdélníkovou hlavou, pomocí nichž se upevňují potřebné konstrukce. Kotevní kolejnice jsou s betonem spřaženy pomocí trnů či třmenů.



Obrázek 4 Příklady zabetonovaných kotevních kolejnic [4]

1.2 Dodatečně upevněné kotevní prvky

Dodatečné upevňování kotevních prvků je v současnosti používanějším typem. Využíváme ho v případech, kdy není možné či vhodné předvídat polohy kotevních bodů. Dodatečně upevňované kotevní prvky jsou do materiálu vkládány, vstřelovány či vráženy do vyvrtaných otvorů. Zde jsou upevněny vlivem tření, vyvolaného zámek kotvy v podkladním materiálu nebo vlivem vlepění či pomocí pojiv na silikátové bázi. Pro správnou volbu způsobu kotvení jsou rozhodující dva faktory [2]:

- Velikost a druh zatížení působícího na kotevní prvek

- Vlastnosti materiálu, do kterého je kotvicí prvek upevněn

Dalšími faktory jsou pohotovost spoje přenášet zatížení, umístění spoje do určitého prostředí (agresivita, teplota, kondenzace vodních par atd.), vzájemná reakce základního materiálu a kotvy [2].

Kotvení lze provádět do silikátů, kovů, plastů a dřeva. Pro tyto účely lze silikáty rozdělit do skupin dle krychelné pevnosti materiálu [2]:

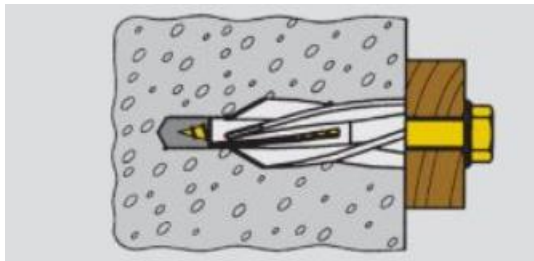
- Materiály o nízké krychelné pevnosti pod 10 MPa. Mezi tyto materiály patří zdivo z plných cihel, zdivo z dutých cihel, sádkokarton, pórobeton.
- Materiály o krychelné pevnosti 10 až 50 MPa. Do těchto materiálů lze vstřelovat a osazovat kotvy s vysokou únosností. Do této skupiny patří cihelné zdivo vysoké pevnosti a beton.
- Materiály o krychlené pevnosti nad 50 MPa. Do těchto materiálů už není možné vstřelovat.

Kotvení do plastů a dřeva se provádí jednoduchou technologií narážení různých hřebů buď manuálně, nebo pneumatickou technikou. Dalším způsobem je zavrtávání vrutů [2].

Kotva, hmoždinka či nýt jsou upevňovací elementy určené pro osazování do vyvrtaných či předem připravených (technologických) otvorů, pomocí kterých se kotvení provádí. Plastové kotevní prvky se zpravidla nazývají hmoždinkami, ocelové kotvami. Názvosloví dosud není přesně vymezeno [4].

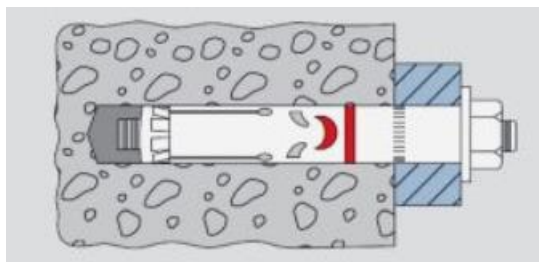
1.2.1 Metody montáže kotev

- a) Montáž předsazená – při této metodě je upevňovací prvek obvykle v jedné rovině s konstrukčním viz. obr. 5 [4].



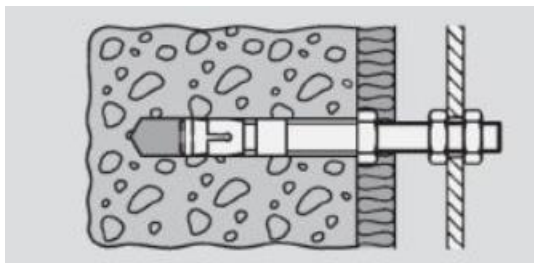
Obrázek 5 Montáž předsazená [4]

- b) Montáž průvlečná – snižuje pracnost u často opakovaných aplikací kotevních prvků nebo pro objekty s více kotevními body. Otvory v připevňovaném objektu lze využít jako šablonu pro přesnou polohu kotevních prvků, protože průměry otvorů v objektu jsou minimálně tak velké jako díry v základním materiálu [4].



Obrázek 6 Montáž průvlečná [4]

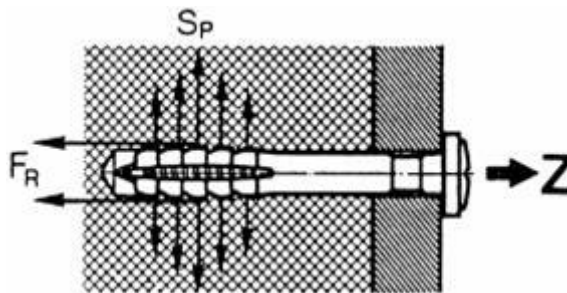
- c) Montáž distanční – využívá se pro upevnění konstrukcí, které se montují v určité vzdálenosti od kotevního základu. Pro toto kotvení se využívají kovové kotvy s vnějším závitem, které drží závitové tyče, nebo šrouby pomocí pojistných matic v potřebné vzdálenosti [4].



Obrázek 7 Montáž distanční [4]

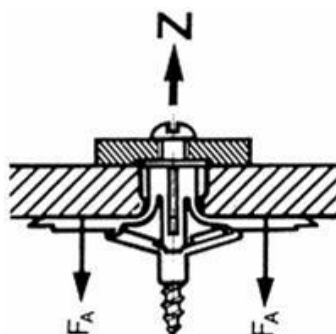
1.2.2 Funkční principy kotvení

- Rozpěrný spoj – je založen na vytvoření radiálního napětí mezi dříkem kotvy a podkladním materiálem. Velikost tahové síly závisí na rozpěrném tlaku kotvy ve vyvrtaném otvoru [4].



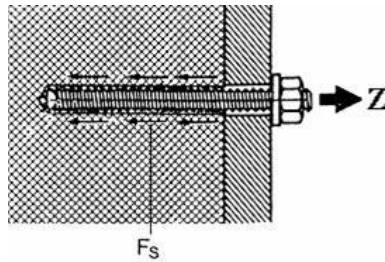
Obrázek 8 Příklad rozpěrného spoje [4]

- Tvarový spoj – tento typ se používá pro kotvení do dutinových materiálu či do rubových stran podkladního materiálu [4].



Obrázek 9 Příklad tvarového spoje [4]

- Lepený spoj – je založen na vlepění kotvy do předvrtaného otvoru. V lepeném spoji se uplatňují adhezní síly pojiva vůči materiálu kotvy. Existuje-li dostatečná adheze ke spojovaným materiálům zaručuje toto lepidlo po zaschnutí požadovanou pevnost spoje v tlaku, ohybu, smyku, kroucení i tahu. Toto spojení je podléhá smáčivosti a čistotě povrchů. Tento typ spoje má řadu předností. Mezi ně patří například rozložení napětí při namáhání spoje. Lepený spoj nevyvíjí žádný tlak na stěny otvoru. Je vhodný pro použití v krajích podkladního materiálu. Jeho únosnost je závislá na správné aplikaci. Lepený spoj je velice náchylný na vyčištění od mechanických nečistot zbylých po vrtání [2] [4].



Obrázek 10 Příklad lepeného spoje [4]

- Tmelený spoj – tento typ spoje je založen na principu vyplnění prostoru mezi tělem kotvy a povrchem podkladního materiálu minerálním nebo organickým tmelem. Tmely se nanášejí ponejvíce mechanickým vtlačováním na tmelenou plochu nebo do spáry [2] [4].

Tmel se musí přizpůsobit tvaru spáry, která je proměnlivá vlivem objemových změn materiálů a prvků. Přípustná změna roztažení tmelu má být udána v podkladech výrobců, v návodech na použití. Tmel se nanáší na čistou a odmaštěnou plochu při odpovídajících klimatických podmínkách. Doporučuje se opatřit tmelenou plochu primárním nánosem tmelu [2].

Mimo uvedené namáhání je třeba uvažovat i namáhání, způsobené vlhkostními změnami, které mohou mít hodnotu až 15%. Mezi další vlivy na namáhání tmeleného spoje patří zatížení větrem, úhlové pootočení, přímé mechanické namáhání, chvění vzduchu, pnutí ve hmotě tmelu, které je vyvoláno jeho dodatečným tvrdnutím [2].

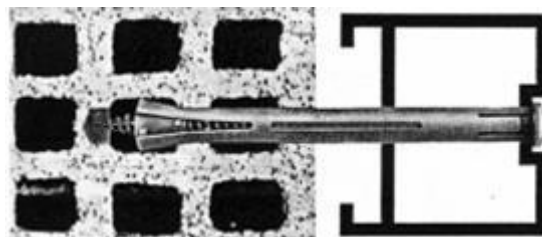
Z následujícího obrázku vyplývá rozdílný přístup k řešení spojů, které zůstávají v klidu a které jsou v pohybu. Spoj klidný stačí vyplnit tmelem plastickým. Za to spoj který je v pohybu, je potřeba vyplnit tmelem elastickým [2].

NAMÁHÁNÍ	TMEL	
	PLASTICKÝ	ELASTICKÝ
V KLIDU		
V TAHU		
V TLAKU		
V KLIDU		
V TAHU		
V TAHU		

Obrázek 11 Chování tmelů při namáhání [2]

- Kombinace rozpěrného a tvarového spoje – využívá kombinace rozpěrného i tvarového spoje. V zadní části otvoru pro osazení kotvy se vytvoří dutina, nebo se kotví do dutinového materiálu. Tento typ spoje přenáší zatížení tahovou silou rozpěrným tlakem a současně tvarovým spojením v dutinách podkladního materiálu [4].

Rozpínací systém kovové kotvy zhušťuje podkladní materiál natolik, že při přenosu sil spolupůsobí i tvarový styk. U hmoždinek z plastů se materiál hmoždinky vtlačuje do pórů podkladu a tím se vytváří kromě rozpěrného i tvarový spoj. Kotvy lze zatěžovat tahem, smykem, ohybem a kombinací uvedených zatížení. [2].



Obrázek 12 Příklad kombinovaného spoje [4]

1.2.3 Vstřelování

Při tomto způsobu kotvení udělíme pomocí expanzních přístrojů potřebnou kinetickou energii pro vnik hřebu do oceli či betonu. Podkladní materiál pro vstřelování musí mít alespoň jednu z následujících vlastností:

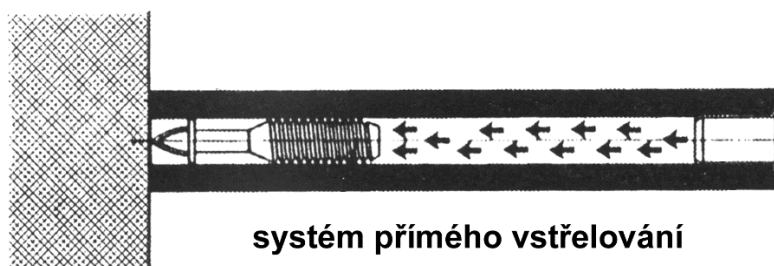
- Stlačitelnost
- Tvárnost

Vstřelovaný hřeb musí mít větší povrchovou tvrdost než podkladní materiál, do kterého je upevňován. Únosnost vstřeleného spoje je zajištěna tím, že dřík hřebu v podkladním materiálu vytvoří napětí, které zabraňuje jeho vytažení. V betonu tlačí dřík vstřeleného hřebu podkladní materiál v celé jeho délce až na rozsah při povrchu podkladního materiálu, který nelze ztuhnout. V oceli je průběh napětí v materiálu ve tvaru rotující paraboly s minimem u špičky. Dřík zde tedy působí jako klín [2].

Vstřelovat nelze [2]:

- Do silikátových materiálů o větší krychelné pevnosti než 500 MPa
- Do betonů s větší velikostí kameniva než 80 mm
- Do materiálů snadno štěpných, pórovitých, štěpných a tříštivých
- Do míst, kde při předchozím vstřelu došlo k uvolnění hřebu
- Do tahových částí nosníků

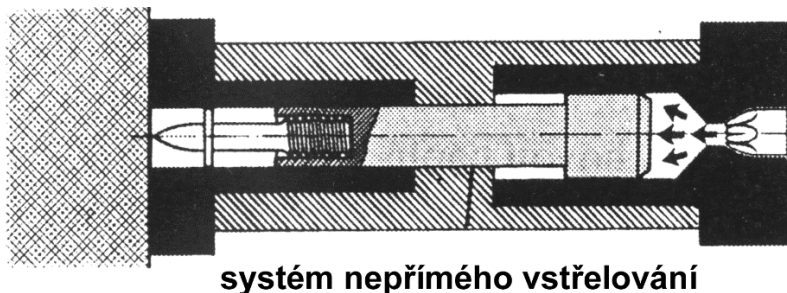
Vstřelování můžeme rozdělit na přímé a nepřímé. Při přímém vstřelování se hřeb nachází bezprostředně u nábojky a tlak plynu působí přímo na něj. Hřeb letí volně hlavní rychlostí až 500 ms^{-1} . V dnešní době je tento způsob na našem území zakázaný [1].



Obrázek 13 Princip přímého vstřelování [1]

Výhodou přímého vstřelování je velká kinetická energie vstřelovaného hřebu, která zvyšuje jeho průraznost do podkladního materiálu a výkonnost vstřelování. Tento typ vstřelování má ale mnoho nevýhod. V místě vstřelu potřebujeme naprosto rovný podklad, jinak hrozí odchýlení od kolmého směru a zvyšuje se možnost odrazu nebo ohybu hřebu. Takto odražený hřeb může způsobit vážné zranění. Při nárazu hřebu na výztuž nebo kamenivo větší frakce dochází k odstřelu materiálu. Tento typ vstřelování je velmi hlučný [1].

Při nepřímém vstřelování se hřeb nachází v přední části hlavně a tlak plynů z nábojky na něj působí přes volný píst, který potom zatlačuje hřeb do materiálu. Počáteční rychlost hřebu je nulová, ale postupně vzroste až na 50 ms^{-1} [1].



Obrázek 14 Princip nepřímého vstřelování [1]

Výhodou nepřímého vstřelování je přesná práce, jelikož hrot hřebu lze přesně nastavit na místo vstřelu. Po nárazu na výztuž či kamenivo hřeb nevybočí, ani se neodrazí, ale pouze se ohne. Tento systém je však méně výkonný a lze použít jen pro méně náročná kotvení do betonů o max. pevnosti 30 MPa [1].

Vstřelovací hřeby pro nepřímé vstřelování jsou opatřeny kovovými středícími kroužky, které vedou hřeb v hlavní a aretačními kroužky z plastu, které zajišťuje hřeb před samovolným vypadnutím ven. Hřeby mohou mít mnoho povrchových úprav, mohou být: galvanicky pozinkované, žárově pozinkované, kadmiované či nerezové. Hlavy hřebů jsou klasické obdélníkové či se závitovou hlavou s vnitřním nebo vnějším závitem nebo s otvorem v této hlavě, pro demontovatelné hřeby [2].

Vstřelovací přístroje rozlišujeme nábojkové a plynové. U nábojkových přístrojů tlak vzniká v nábojkové komoře po zapálení prachové směsi v nábojce. Nábojka se vkládá buď samostatně nebo v zásobníku. Prach je v nábojce zapalován úderem úderníku. Plynové přístroje pracují bez nábojky. V přístroji je tlakový zásobník s propan-butanovou směsí, který po každém vystřelení naplní komoru plynem a akumulátor ho při stisku spouště zapálí. Ostatní funkce jsou stejné jako u přístrojů s nábojkou. Kadence plynových vstřelovacích přístrojů je až 2 vstřely za sekundu, zásobník stačí na 1000 výstřelů [1].

Další vlivy působící na pevnost nastřeleného spoje v betonu jsou zrnitost kameniva, koroze, výztuž v železobetonu, rozměry podkladního materiálu, osová vzdálenost hřebů, vzdálenost hřebů od okraje podkladního materiálu [2].

Nastřelený spoj zaručuje pevnosti v betonech mezi 0,6 a 1,5 kN. Spoj lze používat pouze pro dočasné funkce, pro upevnění prvků TZB (bez chvění), pro nedynamická zatížení [2].

1.2.4 Vrtání

Do vyvrtaného otvoru v podkladním materiálu se vloží kotva, hmoždinka nebo nýt. Tyto prvky jsou upevněny třemi základními principy: rozpěrným způsobem, tvarovým spojem nebo lepením viz. kapitola 1.2.2 [2].

1.3 Druhy zatížení

Kotvy mohou být zatíženy stálým klidným nebo nahodilým zatížením. Tato zatížení dále mohou být krátkodobá nebo dlouhodobá. Mezi krátkodobé řadíme přechodné spoje, jako jsou kotvení lávek, lešení, pomocných konstrukcí a strojů, kde se předepisuje pravidelná kontrola pevnosti spoje. Dlouhodobým zatížením je pak zatížena většina dalších spojů [2].

Nahodilé zatížení dělíme na dynamické stejnosměrné a dynamické se střídavým směrem. Spoje namáhané střídavým zatížením se vyskytují jako posuvné spoje. Spoje mohou být rovněž zatíženy šokem, který vyvolá většinou destrukci spoje [2].

1.3.1 Zatížení a deformace

Křivky závislosti deformací na zatížení vložkových spojů mají průběh velmi strmý, strmý nebo mírný. K velmi strmému průběhu dochází při kotvení, kdy má spoj nízkou deformabilitu, nebo když je spojení realizováno více vložkami se stejným zatížením na jednu vložku. Strmý průběh křivky nastává až od chvíle překonání napínací síly, realizované utahovacím momentem, dále potom s přibývajícím zatížením roste deformace až k mezi pevnosti spoje. Mírný průběh křivky nastává u kotvení jednoduchou hmoždinkou, kde není zvláštní požadavek na nízkou deformaci spoje. Pevnost je na hranici napínací síly [2].

2 Praktická

Cílem této bakalářské práce bylo zjistit vliv realizace na únosnost mechanických kotev vkládaných do betonu. Únosnost kotev jsem porovnával na

základě informací získaných: z katalogu pro projektanty, ručních výpočtů, výstupů ze softwaru Profis Anchor a reálně naměřených hodnot z experimentů.

Pro své experimenty jsem zvolil mechanické kotvy od firmy Hilti a to úderovou kotvu HKD, expanzní kotvu HST3 a upevňovací kotevní šroub HUS3-H. Tyto typy jsem si vybral pro jejich rozdílný způsob aktivace a samotný způsob držení v betonu. Kotvy jsem dimenzoval do průměru M10. Tento průměr patří mezi nejpoužívanější a nejuniverzálnější průměry ve stavebnictví.

Kotva HKD M10x30 patří mezi mechanické úderové kotvy s vnitřním závitem. Používá se na střední zatížení s kotevními šrouby a závitovými tyčemi, například pro upevnění potrubních systémů, vzduchotechnických potrubí či sprinklerů. Tento typ kotvy má límec, který zajišťuje správnou polohu kotvy i při vyvrtání hlubšího otvoru, než je potřeba. Kotvy HKD jsou velice oblíbeným typem kotev. Díky odstupňovanému expanznímu kuželu se snadno instalují i do tvrdých materiálů. Při použití správného osazovacího nástroje je správnost aktivace kotvy kontrolovatelná [5].



Obrázek 15 úderová kotva HKD [6]

Expanzní kotva HST3 M10x100 patří mezi průvlekové kotvy s vnějším závitem používaná do betonu s trhlinami a v případech seizmického zatížení. Tento typ kotvy je vhodný do geometricky náročných situací, např. malé vzdálenosti od kraje, nebo malá tloušťka betonu. Používá se na kotvení zábradlí, fasád, roštů atd. Díky dvěma kotevním hloubkám, zahrnutým ve schválení ETA, zajišťuje vyšší flexibilitu použití. Kotva HST3 má zvýšený rozsah tříd betonu od C12/15 až do betonu C80/95 [5].



Obrázek 16 expanzní kotva HST3 [7]

Upevňovací kotevní šroub se šestihrannou hlavou HUS3-H M10x90 pro použití do betonu s trhlinami i bez trhlin. Tento typ kotvy je zajímavý díky certifikaci abZ (DiBt) pro opětovné použití u dočasných aplikací v čerstvém betonu. Upevňovací

šroub HUS3-H se používá pro kotvení bednění, zábradlí, nosné ocelové konstrukce nebo kotevních patních desek [5].



Obrázek 17 upevňovací kotevní šroub HUS3-H [8]

2.1 Porovnávané hodnoty únosností

- Tahová únosnost materiálu kotvy
- Vytržení betonového kužele
- Rozštěpení betonu
- Vytažení kotvy

2.2 Vstupní parametry

Vstupní parametry jsou významnou informací pro správný návrh kotevních prvků. Mezi vstupní parametry prováděných výpočtů a experimentů této bakalářské práce patří:

- Typ a kvalita podkladního materiálu – železobeton C 20/25 + B500B
- Rozměry podkladního materiálu – 450x450x50 mm
- Typ a model kotvy – HKD M10x30, HST3 M10x100, HUS3-H M10x90
- Materiál kotvy – ocel pozinkovaná

2.3 Únosnosti kotev z katalogu od výrobce

Na obrázcích níže jsou uvedeny katalogové únosnosti a podmínky pro správnou aplikaci kotev.

2.3.1 Úderová kotva HKD s vnitřním závitem

Data jsou kompatibilní s		ETA 02/0032 a ETAG 001, Annex C										Hilti data	
Základní materiál		Beton bez trhlin C20/25 (B25), přiklepem vrtaný kotevní otvor											
HKD		M8x30	M8x40	M10x30	M10x40	M12x50	M16x65	M20x80	M6x25	M8x25	M10x25	M12x25	
Průměr vrtání	d_0 [mm]	10	10	12	12	15	20	25	8	10	12	15	
Průměr otvoru v kotevní desce	$d_f \leq$ [mm]	9	9	12	12	14	18	22	7	9	12	14	
Efektivní kotevní hloubka	h_{ef} [mm]	30	40	30	40	50	65	80	25	25	25	25	
Hloubka vrtání	$h_1 \geq$ [mm]	33	43	33	43	54	70	85	27	27	27	27	
Vzdálenost od okraje	$c_{cr,sp}$ [mm]	105	140	105	140	175	227	280	100	100	100	100	
Osová vzdálenost	$s_{cr,sp}$ [mm]	210	280	210	280	350	455	560	200	200	200	200	
Minimální vzdálenost od okraje	c_{min} [mm]	80	140	80	140	175	230	280	100	100	100	100	
	pro $s \geq$ [mm]	120	80	120	80	125	130	160	150	150	150	150	
Minimální osová vzdálenost	s_{min} [mm]	60	80	60	80	125	130	160	80	80	80	80	
	pro $c \geq$ [mm]	105	140	105	140	175	230	280	140	140	140	140	
Minimální tloušťka betonu	h_{min} [mm]	100	100	100	100	100	130	160	100	100	100	100	
Utahovací moment	T_{inst} [Nm]	8	8	15	15	35	60	120	4	8	15	35	
Délka zašroubování	$l_{s,max}$ [mm]	8	8	10	10	12	16	20	6	8	10	12	
	$l_{s,max}$ [mm]	14,5	17,5	13	18	22	30,5	42	12	11,5	12	12	
Beton bez trhlin													
Dovolené namáhání v tahu	N_{rec} [kN]	3,9	4,3	3,9	6,1	8,5	12,6	17,2	3,0	3,0	3,0	3,0	
Dovolené namáhání ve smyku	V_{rec} [kN]	4,9	5,2	5,7	6,3	10,5	19,3	28,3	2,9	3,0	3,0	3,0	
Návrhová únosnost v tahu	N_{Rd} [kN]	5,5	6,0	5,5	8,5	11,9	17,6	24,0	4,2	4,2	4,2	4,2	
Návrhová únosnost ve smyku	V_{Rd} [kN]	6,9	7,3	8,0	8,8	14,6	27,0	39,4	4,0	4,2	4,2	4,2	

Obrázek 18 Tabulka únosností kotev HKD [9]

2.3.2 Expanzní kotva HST3 M10x100 s vnějším závitem

Data jsou kompatibilní s		ETA 98/0001 a ETAG 001, Annex C						
Základní materiál		Beton C20/25 (B25), přiklepem vrtaný kotevní otvor						
HST		M8	M10	M12	M16	M20	M24	
Průměr vrtání	d_0 [mm]	8	10	12	16	20	24	
Průměr otvoru v kotevní desce	$d_f \leq$ [mm]	9	12	14	18	22	26	
Efektivní kotevní hloubka	h_{ef} [mm]	47	60	70	82	101	125	
Hloubka vrtání	$h_1 \geq$ [mm]	65	80	95	115	140	170	
Vzdálenost od okraje	$c_{cr,sp} = c_{cr,N}$ [mm]	71	90	105	123	152	188	
Osová vzdálenost	$s_{cr,sp} = s_{cr,N}$ [mm]	141	180	210	246	303	375	
Minimální tloušťka betonu	h_{min} [mm]	100	120	140	160	200	250	
Utahovací moment	T_{inst} [Nm]	20	45	60	110	240	300	
Beton bez trhlin								
Minimální vzdálenost od okraje - HST	c_{min} [mm]	50	55	55	85	140	170	
	pro $s \geq$ [mm]	60	115	145	150	270	295	
Minimální osová vzdálenost - HST	s_{min} [mm]	60	55	60	70	100	125	
	pro $c \geq$ [mm]	50	80	85	110	225	255	
Dovolené namáhání v tahu - HST	N_{rec} [kN]	3,6	7,6	9,5	16,7	23,8	28,6	
Dovolené namáhání ve smyku - HST	V_{rec} [kN]	8,0	13,4	20,0	31,4	48,0	44,8	
Návrhová únosnost v tahu - HST	N_{Rd} [kN]	5,0	10,7	13,3	23,3	33,3	40,0	
Návrhová únosnost ve smyku - HST	V_{Rd} [kN]	11,2	18,8	28,0	44,0	67,2	62,7	
Beton s trhlinami								
Minimální vzdálenost od okraje - HST	c_{min} [mm]	45	55	55	70	100	125	
	pro $s \geq$ [mm]	50	90	120	150	225	240	
Minimální osová vzdálenost - HST	s_{min} [mm]	40	55	60	70	100	125	
	pro $c \geq$ [mm]	50	70	75	100	160	180	
Dovolené namáhání v tahu - HST	N_{rec} [kN]	2,0	4,3	5,7	9,5	14,3	19,0	
Dovolené namáhání ve smyku - HST	V_{rec} [kN]	8,0	13,4	20,0	31,4	43,5	44,8	
Návrhová únosnost v tahu - HST	N_{Rd} [kN]	2,8	6,0	8,0	13,3	20,0	26,7	
Návrhová únosnost ve smyku - HST	V_{Rd} [kN]	11,2	18,8	28,0	44,0	60,9	62,7	

Obrázek 19 Tabulka únosností kotev HST3 [9]

2.3.3 Upevňovací kotevní šroub HUS3-H

Data jsou kompatibilní s		ETA 13/1038 a ETAG 001, Annex C								
Základní materiál		Beton C20/25 (B25), přiklepem vrtaný kotevní otvor								
HUS3		8			10			14		
Typ		H, C			H, C, HF			H, HF		H
Průměr vrtání	d_0 [mm]	8			10			14		
Průměr otvoru v kotevní desce	$d_1 \leq$ [mm]	12			14			18		
Efektivní kotevní hloubka	h_{ef} [mm]	40	46,4	54,9	41,6	58,6	67,1	49,3	66,3	91,8
Hloubka osazení	h_{nom} [mm]	50	60	70	55	75	85	65	85	115
Hloubka vrtání	$h_1 \geq$ [mm]	60	70	80	65	85	95	75	95	125
Vzdálenost od okraje	$c_{cr,sp}$ [mm]	60	70	85	65	90	110	85	100	140
Osová vzdálenost	$s_{cr,sp}$ [mm]	120	140	170	130	180	220	170	200	280
Minimální vzdálenost od okraje	c_{min} [mm]	50	50	50	50	50	60	60	75	75
Minimální osová vzdálenost	s_{min} [mm]	40	50	50	50	50	60	60	75	75
Minimální tloušťka betonu	h_{min} [mm]	100	100	120	100	130	140	120	160	200
Utahovací moment	T_{inst} [Nm]	osazení pomocí Hilti SIW 22T-A								
Beton bez trhlin										
Dovolené namáhání v tahu	N_{rec} [kN]	4,3	5,7	7,6	5,7	9,5	13,2	8,3	13,0	21,2
Dovolené namáhání ve smyku	V_{rec} [kN]	6,1	8,1	8,1	6,5	13,3	13,3	16,6	21,4	21,4
Návrhová únosnost v tahu	N_{Rd} [kN]	6,0	8,0	10,7	8,0	13,3	18,5	11,7	18,2	29,6
Návrhová únosnost ve smyku	V_{Rd} [kN]	8,5	11,3	11,3	9,0	18,7	18,7	23,3	30,0	30,0
Beton s trhlinami										
Dovolené namáhání v tahu	N_{rec} [kN]	2,9	4,3	5,7	4,6	7,7	9,4	5,9	9,3	15,1
Dovolené namáhání ve smyku	V_{rec} [kN]	4,3	8,1	8,1	4,6	13,3	13,3	11,9	18,5	21,4
Návrhová únosnost v tahu	N_{Rd} [kN]	4,0	6,0	8,0	6,4	10,8	13,2	8,3	13,0	21,1
Návrhová únosnost ve smyku	V_{Rd} [kN]	6,1	11,3	11,3	6,4	18,7	18,7	16,6	25,9	30,0

Obrázek 20 Tabulka únosností HUS3-H [9]

2.3.4 Tabulka výsledků

V příložené tabulce jsou uvedeny katalogové únosnosti zkoušených typů kotev.

Typ kotvy	Únosnost kotvy v tahu [kN]
HKD M10x30	3,9
HST3 M10x100	9,5
HUS3-H M10	9,5

Tabulka 1 katalogové únosnosti zkoušených kotev

2.4 Únosnost kotev v tahu – ruční výpočet

Pro ruční výpočet jsem použil následující vzorce vytažené z normy ETAG Kovové kotvy do betonu příloha C: Metody návrhu kotvení. [10]

2.4.1 Tahová únosnost materiálu kotvy

Charakteristická únosnost materiálu kotvy

- $N_{Rk,s} = A_s * f_{uk}$ [N]
 - A_s – namáhaný průřez oceli
 - f_{uk} – charakteristická mez pevnosti ocele
 - $N_{rk,s}$ – udáno v příslušné normě ETA

2.4.2 Betonový kužel

Tvar betonového kuželu a jeho teoretická čtvercová základna:

- Strana čtverce základny = kritická osová vzdálenost: $s_{cr,N} = 3 h_{ef}$
- Kritická vzdálenost kotvy od okraje betonu: $c_{cr,N} = 1,5 h_{ef}$
- Plocha základny: $A_{c,N}^0 = (s_{cr,N})^2$

Základní charakteristická únosnost kuželu v betonu bez trhlin:

- $N_{Rk,c}^0 = 10,1 * f_{ck,cube} * h_{ef}^{1,5}$

2.4.3 Návrhová únosnost betonového kužele:

Redukce únosnosti kuželu:

- $N_{Rk,C} = N_{Rk,c}^0 * A_{c,N} / A_{c,N}^0 * \psi_{s,N} * \psi_{re,N} * \psi_{ec,N} \quad [N]$

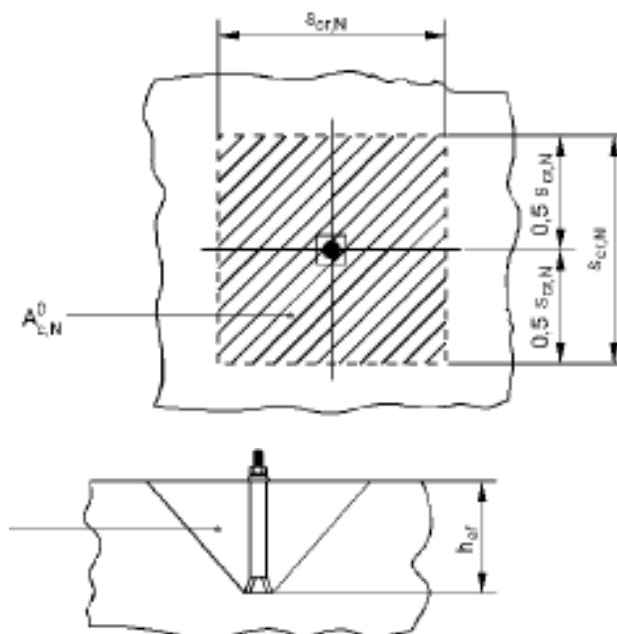
Jednotlivé činitele rovnice jsou uvedeny níže:

- a) Základní charakteristická únosnost kotvy umístěné v betonu s trhlinami je dána vztahem:

$$N_{Rk,c}^0 = 7,2 * f_{ck,cube} * h_{ef}^{1,5} \quad [N]$$

- b) Geometrický účinek rozteče a vzdálenosti od kraje na charakteristickou únosnost se bere v úvahu hodnotou $A_{c,N} / A_{c,N}^0$ kde:

$A_{c,N}^0$ - plocha betonu, kterou zaujímá jednotlivá kotva na povrchu betonu při velké rozteči a vzdálenosti od kraje, při idealizaci kužele betonu jako pyramidy o výšce h_{ef} a straně základny $s_{cr,N}$. $A_{c,N}^0 = s_{cr,N} * s_{cr,N}$



Obrázek 21 Idealizovaný kužel betonu a základna kužele betonu u jednotlivé kotvy [10]

$A_{c,N}^0$ - skutečná plocha základny kužele betonu kotvení na povrchu betonu. Je omezena překrýváním kuželů betonu sousedních kotev, jakož i okraji betonového dílce.

- c) Činitelem $\psi_{s,N}$ se bere v úvahu nepravidelnosti v rozložení napětí v betonu vlivem okrajů betonového dílce. V případě kotvení s několika vzdálenostmi od okraje např. kotvení v rohu dílce nebo v úzkém dílci se do rovnice dosadí nejmenší vzdálenost od okraje c:

$$\psi_{s,N} = 0,7 + 0,3 * c/c_{cr,N} \leq 1$$

- d) Činitelem drolení povrchu $\psi_{re,N}$ se bere v úvahu účinek výztuže:

$$\psi_{re,N} = 0,5 + h_{ef}/200 \leq 1$$

Je-li v oblasti kotvení výztuž s roztečí ≥ 150 mm (jakéhokoliv průměru) nebo výztuž průměru ≤ 10 mm s roztečí ≥ 100 mm, může být použit činitel drolení povrchu $\psi_{re,N} = 1$ nezávisle na hloubce kotvení.

- e) Činitelem $\psi_{ec,N}$ se bere v úvahu účinek skupiny, působí-li na jednotlivé kotvy skupiny různá zatížení tahem:

$$\psi_{ec,N} = 1/(1+2e_N / s_{cr,N}) \leq 1$$

Jako zjednodušení lze předpokládat činitel $\psi_{ec,N} = 1$, jestliže se nejvíce namáhaná kotva ověří.

2.4.4 Rozštěpení betonu

Charakteristická únosnost

$$N_{Rk,sp} = N_{Rk,c}^0 * A_{c,N(sp)} / A_{c,N(sp)}^0 * \psi_{s,N} * \psi_{re,N} * \psi_{ec,N} * \psi_{h,sp}$$

Redukce únosnosti

Výchozí parametr pro redukcii je opět teoretická čtvercová základna, kde:

- Kritická vzdálenost od kraje betonu: $c_{cr,sp} = s_{cr,sp} / 2$ (uvedeno v příslušné normě ETA)
- Plocha základny: $A_{c,N(sp)}^0 = (s_{cr,sp})^2$
- $\psi_{h,sp}$ – činitel, kterým se bere v úvahu vliv skutečné tloušťky dílce, h , na únosnost při porušení prasknutím u kotev.

$$\psi_{h,sp} = (h / 2h_{ef})^{2/3} \leq 1,5$$

2.4.5 Vytažení kotvy

Základní charakteristická únosnost mechanické kotvy na vytažení:

- $N_{Rk,p}^0$ – uvedeno v příslušné normě ETA

Charakteristická únosnost mechanické kotvy na vytažení:

- $N_{Rk,p}^0 = N_{Rk,p}^0 * \psi_c$

2.4.6 Výsledky

	HST3 M10x100	HKD M10x30	HUS3-H M10x90
Porušení oceli	32,5 kN	22,1 kN	62,2 kN
Vytažení kotvy	20 kN	-	20 kN
Vytržení betonového kužele	23,470 kN	8,19 kN	22,65 kN

Tabulka 2 Výsledky ručních výpočtů

2.5 Výpočet pomocí softwaru

Na trhu existuje celá řada výpočetních softwarů pro návrh kotvení. Většina firem vyvíjí softwary pro návrh a posouzení svých vlastních výrobků podle různých světových norem či podle vlastních upravených kombinací. Mezi ně patří např. softwary Fixperience, Hilti Profis Anchor a Berner.

Pro své experimenty jsem zvolil kotvy od firmy Hilti. Proto byl Hilti Profis Anchor logickou volbou coby výpočetní software. Hilti Profis Anchor je software pro návrh širokého spektra aplikací kotevních prvků do betonu a zdiva. K tomu využívá vlastní metodu návrhu Hilti Sofa. Tato metoda dovoluje navrhovat i složitá uspořádání, která nejsou předmětem mezinárodních norem.

Hilti Profis Anchor samozřejmě umožňuje navrhovat také podle jednotlivých mezinárodních norem. Software pracuje s evropskými (ETAG), americkými (ACI), kanadskými (CSA), australskými (SA; TS 101) a ruskými normami (STO).

Díky možnosti současně importovat a zpracovávat více situací zatížení, výrazně zrychluje návrh kotvení.

2.5.1 Vstupy do softwaru

Pro výpočet pomocí softwaru je potřeba přesně znát vlastnosti základního materiálu. Typ materiálu má velký vliv na správnou volbu typu, dimenze a délky kotvy. Dalšími důležitými veličinami pro návrh je velikost, směr a typ zatížení působící na navrhovanou kotvu. V této bakalářské práci se zaměřuji na maximální únosnost kotvy v tahu, proto do softwaru vstupuji s přesně zvoleným typem i dimenzí kotvy.

- Materiál – Železobeton C20/25 + B500B
- Rozměry základního materiálu – 450x450x40 mm
- Typ kotvy – HKD M10x30; HST3 M10x100; HUS3-H M10x95

2.5.2 Výsledky

	Maximální síla		
	HST3 M10x100	HKD M10x30	HUS3-H M10x95
Porušení oceli	32,5 kN	22,1 kN	62,2 kN
Vytažení kotvy	20 kN	-	20 kN
Vytržení betonového kužele	23,47 kN	8,19 kN	22,65 kN

Tabulka 3 Výsledky z výpočetního softwaru

3 Technologický postup a chyby v realizaci kotev do betonu

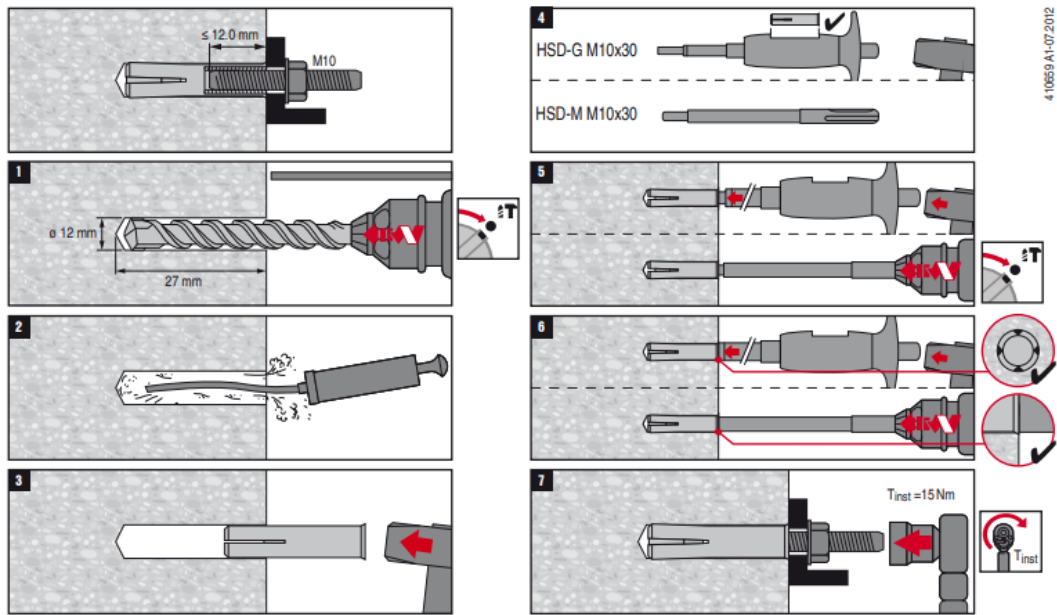
Proto, aby výrobce garantoval předepsanou únosnost kotvy, je potřeba dodržet správný technologický postup. Technologický postup je písemné či grafické znázornění pořadí prací, které je nutné vykonat, aby se z dodaného materiálu stal plnohodnotný výrobek. Každý typ kotvy má trochu jiný technologický postup, ale obecně lze říci, že je potřeba pro správnou aplikaci mechanické kotvy do betonu dodržovat:

- Průměr vrtání
- Hloubku vrtání
- Vyčištění vyvrtaného otvoru
- Správné osazení
- Dosažení aktivačního momentu

Následující technologické postupy byly mnou vypracovány na základě obrazové dokumentace dodané výrobcem.

3.1 Technologický postup úderové kotvy HKD M10x30 s vnitřním závitem

Pro správnou aplikaci této kotvy výrobce doporučuje tento technologický postup.

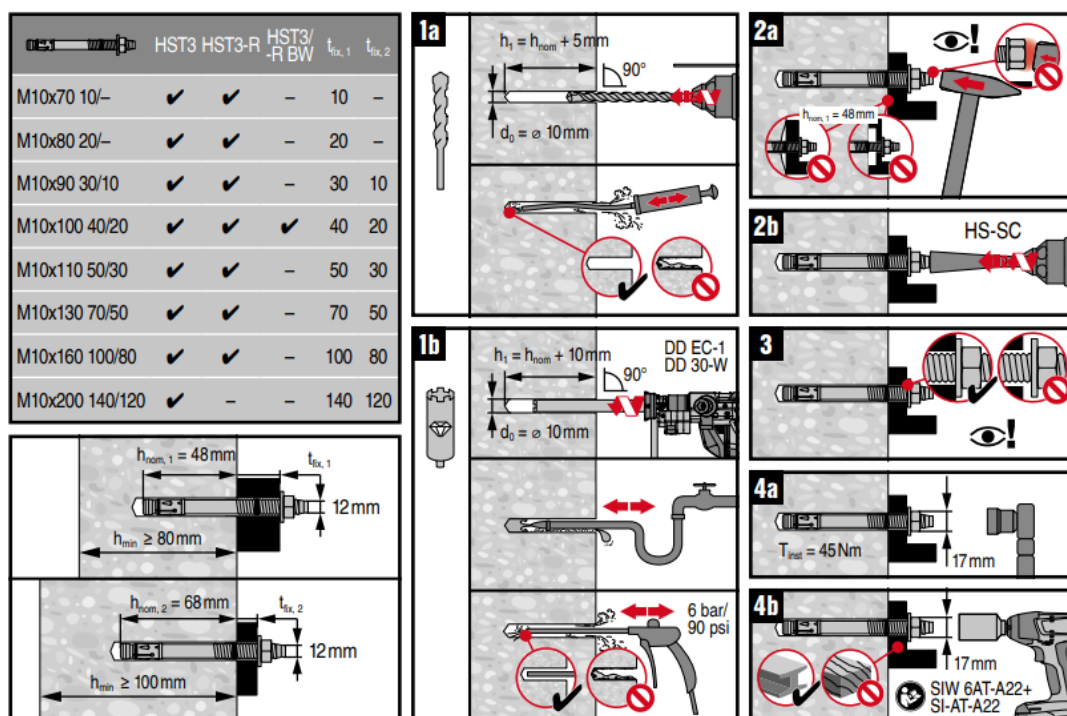


Obrázek 22 Technologický postup kotvy HKD M10x30 [6]

1. Na vrtacím přístroji se nastaví mód vrtání s přiklepem a hloubka vrtání 33 mm. Doporučená hloubka vrtání se bere od hrany betonu. Pokud je na betonu obkladní materiál, tak ho odstraníme a potom začneme vrtat kotevní otvor. Průměr vrtání pro osazení kotvy HKD M10 je 12 mm.
2. Vyvrtaný otvor řádně vyčistíme. Doporučeno je kotevní otvor vyfoukat stlačeným vzduchem.
3. Dalším krokem je osazení kotvy do vyvrtaného otvoru.
4. Pro kontrolovatelnou aktivaci kotvy je vhodné použít adekvátní osazovací nástroj. Pro kotvu HKD M10x30 je to např. osazovací nástroj HSD-G M10.
5. Do osazené kotvy nasadíme osazovací nástroj. V případě použití HSD-G M10 kotvu aktivujeme pomocí kladiva. Při použití osazovacího nástroje HSD-M M10 je kotva aktivována pomocí vrtačky.
6. Kontrola správného osazení a aktivace kotvy.
7. Montáž kotveného objektu do osazené kotvy.

3.2 Technologický postup expanzní kotvy HST3 M10x100 s vnějším závitem

Následný technologický postup je doporučený výrobcem pro správnou aplikaci této kotvy.



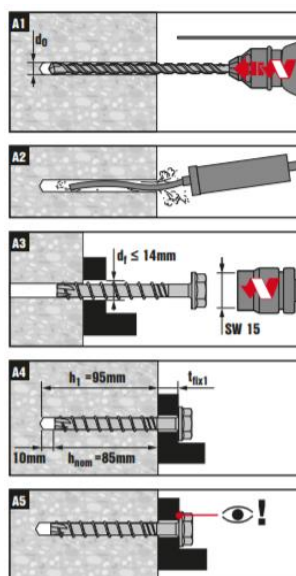
Obrázek 23 Technologický postup kotvy HST3 M10x100 [7]

3.2.1 Technologický postup pro vrtání klasickým vrtáním

1. Vrtání probíhá v úhlu 90° od roviny zdi. Otvor vrtání má průměr 10 mm a hloubku 73 mm. Důležitým krokem je vyčištění vyvrtaného otvoru, které je opět doporučeno provádět stlačeným vzduchem.
2. Dalším krokem je osazení kotvy přes upevňovaný objekt do vyvrtaného otvoru pomocí kladiva. Důležité je dát si pozor na polohu matice předtím, než začneme zatlučet kotvu. Hrozí strhnutí závitů kotvy. Alternativně lze použít osazovací nástroj, který se vloží do vrtačky a pomocí módu kladiva se zatluče do vyvrtaného otvoru.
3. Pak provedeme kontrolu vsazení kotvy do vyvrtaného otvoru přes upevňovaný objekt. Je důležité, aby podložka s maticí doléhala na povrch upevňovaného objektu.
4. Posledním krokem je aktivace kotvy. Ta se provede dotažením spoje pomocí momentového klíče na 45 Nm. Kotvu lze aktivovat i pomocí vrtacího šroubováku SIW 6AT-A22, ale pouze při připevňování přes ocel, ne přes dřevo.

3.3 Technologický postup upevňovacího kotevního šroubu HUS3-H M10x90

Uvedený technologický postup je daný výrobcem pro správnou aplikaci tohoto typu upevňovacího šroubu.



Obrázek 24 Technologický postup upevňovacího šroubu HUS3-H M10x90 [8]

1. Vrtaný otvor má průměr 10 mm a hloubku 85 mm.
2. Dalším krokem je vyčištění vyvrtaného otvoru stlačeným vzduchem.
3. Aplikace kotvy HUS3-H M10x90 přes kotvený objekt do podkladního materiálu. Aplikace a aktivace kotvy probíhá pomocí rázového utahováku SIW 22A na utahovací moment 90 Nm.
4. Vizuální kontrola kotevního spoje.

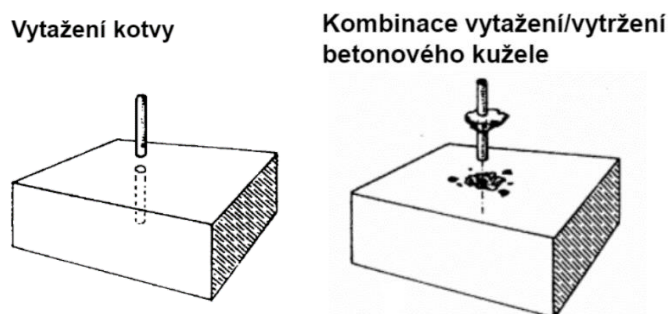
3.4 Chyby v realizaci

Chyby v aplikaci kotev se často podceňují, větší důraz se dává pouze tam, kde kotevní prvky nesou velká zatížení. Je běžnou praxí, že se kotvy neaplikují podle předepsaného technologického postupu, nedodržují se okrajové vzdálenosti, utahovací momenty, hloubka osazení či se nedodržují osové vzdálenosti mezi kotvami.

3.4.1 Nedodržení utahovacího momentu

Při aplikaci kotevního spoje je důležité kotvu správně aktivovat. Toho je dosaženo utáhnutím kotvy na správný moment uvedený v technologickém postupu. Při nedodržení tohoto parametru hrozí nedostatečná aktivace. To znamená, že zámek

kotvy nebyl dostatečně vysunut a kotevní spoj má tedy sníženou únosnost. Druhý případ nastane, pokud kotvu takzvaně „přetáhneme“. To znamená, že ji dotáhneme na příliš velký utahovací moment. V tomto případě hrozí, že kotvu protočíme ve vyvrtaném otvoru. Kotva si udělá větší prostor a dochází k výraznému snížení maximální únosnosti. Při výskytu této chyby se zvyšuje pravděpodobnost porušení spoje vytažením kotvy nebo kombinací vytažení a vytržení kotvy viz. obr. 25.



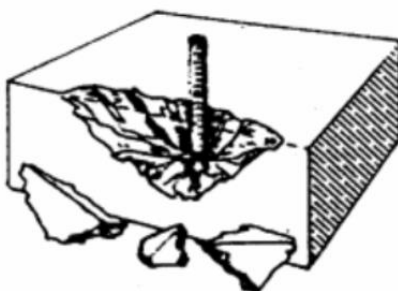
Obrázek 25 Porušení kotevního spoje vytažením a vytažením/ vytržením [3]

Občas se při realizaci stane, že pracovníci osadí kotvu do otvoru, ale už ji zapomenou aktivovat dotažením na potřebný osazovací moment. Tím, jak na kotvu aplikujeme zatížení, kotva se trochu povytáhne a částečně aktivuje svůj zámek. Takto aktivovaná kotva má ale dramaticky sníženou maximální únosnost a hrozí její kolaps.

3.4.2 Nedodržení okrajové vzdálenosti

Tato realizační chyba spočívá v tom, že pracovník při aplikaci kotvy nerespektuje předepsané minimální vzdálenosti od okraje podkladního materiálu. Při výskytu této realizační chyby hrozí porušení okraje podkladního materiálu, viz. obr. 26. Tím pádem hrozí vypadnutí kotvy. Pokud kotva nevypadne a pracovník si nevšimne porušeného okraje hrozí pád konstrukce. Tato chyba dramaticky snižuje maximální únosnost kotvy.

Porušení okraje betonu



Obrázek 26 Porušení kotevního spoje odštípnutím okraje betonu [3]

3.4.3 Nedodržení osových vzdáleností kotev

Při nedodržení osových vzdáleností mezi kotvami se navzájem ovlivňují zatěžovací kužely jednotlivých kotev. Zmenšení této plochy podkladního materiálu má za následek snížení maximální únosnosti kotev.

3.4.4 Nevyčištění vyvrtaného otvoru

Vyvrtaný kotevní otvor by se před osazením kotvy měl důkladně vyčistit stlačeným vzduchem. Pokud se otvor pořádně nevyčistí, nevznikne tak silné tření mezi kotvou a podkladním materiálem. Zbytky nečistot zůstanou na dně otvoru a zamezí tak kotvě dosáhnout požadované kotevní hloubky. U většiny kotev také tato realizační chyba ztěžuje aktivaci. Tato chyba opět snižuje maximální únosnost kotvy.

3.4.5 Minimální kotevní hloubka

Dodržování minimální kotevní hloubky je velmi důležité. Některé kotvy mají totiž více kotevních hloubek a je potřeba je aplikovat na kterou byl daný kotevní spoj navržen. Únosnost každé z nich je rozdílná. Nedodržení minimální kotevní hloubky může být také způsobeno nedostatečnou hloubkou kotevního otvoru. Nedodržení minimální kotevní hloubky opět ztěžuje únosnost kotevního spoje.

4 Zhotovení vzorků

Pro své experimenty jsem se rozhodl zhotovit 75 vzorků. 25 kusů úderové kotvy s vnitřním závitem HKD M10x30, 25 kusů expanzní kotvy HST3 M10x100, 25 kusů kotevního upevňovacího šroubu HUS3-H M10x90.

Použitý materiál:

- Železobetonové kvádry z betonu C30/37 o rozměrech 500x1000x200 mm.
- Úderová kotva s vnitřním závitem HKD M10x30
- Expanzní kotva HST3 M10x100
- Kotevní upevňovací šroub HUS3-H M10x90

Použité přístroje:

- Akumulátorové vrtací kladivo TE – 4 A22
- Akumulátorový rázový utahovák SIW – 22A
- Tester pro tahové zkoušky HAT 180 M

Použité nástroje

- Kladivo
- Momentový klíč
- Tužka
- Vrtáky M10, M12
- Vzduchová pumpička

4.1 Vzorky vytvořené přesně podle technologického postupu

Pět vzorků od každého typu kotvy bylo vytvořeno přesně podle technologického postupu dodaného výrobcem použitých kotev. Následující kroky jsou pro všechny zvolené typy kotev stejné.

Nejprve jsem pomocí akumulátorového vrtacího kladiva TE–4 A22 vyvrtal otvor, viz. obr. 27. V případě expanzní kotvy HST3 M10 x 100 to byl otvor o průměru 10 mm a hloubce 73 mm, pro upevňovací kotevní šroub HUS3-H M10x90 o průměru 10 mm a hloubce 85 mm a pro úderovou kotvu s vnitřním závitem HKD M10x30 o průměru 12 mm a hloubce 33 mm. Před samotným osazením kotvy je potřeba vyvrtaný otvor vyčistit. Při svých experimentech jsem pro čištění použil vzduchovou pumpičku, viz. obr. 28.



Obrázek 27 Vrtání otvoru pomocí akumulátorového vrtacího kladiva TE - 4 A22



Obrázek 28 Čištění otvoru pomocí vzduchové pumpičky

4.1.1 Expanzní kotva HST3 M10x100

Do vyčištěného otvoru jsem osadil kotvu a zatloukl ji kladivem do požadované kotevní hloubky, viz. obr. 29. Poté jsem nastavil momentový klíč na utahovací moment 45 Nm a kotvu aktivoval, viz. obr. 30.



Obrázek 29 Osazení kotvy pomocí kladiva



Obrázek 30 Utahování momentovým klíčem



Obrázek 31 Hotová expanzní kotva HST3

4.1.2 Úderová kotva s vnitřním závitem HKD M10x30

Po vyčištění se do otvoru vloží kotva. Následně se pomocí osazovacího nástroje a kladiva aktivuje, viz. obr. 32.



Obrázek 32 Aktivace pomocí osazovacího nástroje HSD-G M10 3/8 X30 a kladiva



Obrázek 33 Hotová úderová kotva HKD

4.1.3 Upevňovací kotevní šroub HUS3-H M10x90

Do takto připraveného otvoru jsem osadil upevňovací kotevní šroub HUS3-H M10x90 a pomocí akumulátorového rázového utahováku šroub aktivoval, viz. obr. 34.



Obrázek 34 Utahování pomocí rázového utahováku



Obrázek 35 Hotový upevňovací kotevní šroub HUS3-H

4.2 Vzorky vytvořené s nejčastějšími realizačními chybami

Další skupiny vzorků jsem realizoval s nedodržením některého z bodů doporučeného technologického postupu. Vybral jsem chyby, které se v realizaci stávají nejčastěji.

- Nedodržení minimální okrajové vzdálenosti
- Nedodržení utahovacího momentu
- Nedodržení minimálních osových vzdáleností
- Nevyčištění vyvrtaného otvoru
- Nedodržení minimální kotevní hloubky

4.2.1 Nedodržení minimální okrajové vzdálenosti

Pět vzorků jsem vytvořil s nedodržením minimálních okrajových vzdáleností. Tato chyba se vyskytuje téměř na každé stavbě, proto jsem se rozhodl otestovat, jaký vliv má na snížení maximální únosnosti kotvy. Všechny body technologického postupu byly dodrženy, jen minimální vzdálenost od okraje podkladního materiálu byla snížena na polovinu. Expanzní kotva HST3 a upevňovací kotevní šroub HUS3-H byly aplikovány v okrajové vzdálenosti 45 mm, viz. obr. 36 a 37.



Obrázek 36 Expanzní kotva HST3 M10x100 příliš blízko od kraje podkladního materiálu



Obrázek 37 Upevňovací kotevní šroub HUS3-H M10x90 příliš blízko od kraje podkladního materiálu

Kotva s vnitřním závitem HKD byla realizována ve vzdálenosti 52 mm od okraje podkladního materiálu. Na následujícím obrázku 38 je vidět, jak kotva při

aktivaci roztrhla podkladní materiál. V tomto případě se chyba projevila již před samotným zatížením kotvy. Takto zhotovená kotva by se vůbec neměla zatěžovat.



Obrázek 38 Vznik prasklin při aktivaci kotvy



Obrázek 39 Chybně zrealizovaná úderová kotva HKD

4.2.2 Nedodržení utahovacího momentu + nevyčištění otvoru

V praxi se nestávají pouze jednotlivé chyby, ale i jejich kombinace, proto jsem dalších deset vzorků expanzní kotvy HST3 realizoval s nedodržáním utahovacího momentu a nevyčištěním kotevního otvoru. Na pěti vzorcích jsem utahovací moment zdvojnásobil na 90 Nm, viz. obr. 41. U dalších pěti testovaných kotev jsem vůbec

neaktivoval, viz. obr. 40. Nevyčištění vrtaného otvoru mělo za následek obtížné osazení kotvy do požadované kotevní hloubky.



Obrázek 40 Neaktivovaná expanzní kotva HST3 M10x100



Obrázek 41 Přetažená expanzní kotva HST3 M10x100

4.2.3 Nedodržení osové vzdálenosti mezi jednotlivými kotvami + nevyčištění kotevního otvoru

Další chybnou kombinací bylo nedodržení osové vzdálenosti mezi kotvami a nevyčištění kotevního otvoru. To znamená, že při realizaci svých vzorků jsem nedbal na minimální osové vzdálenosti kotev a po vyvrtání otvoru jsem ho nevyčistil. Minimální osové vzdálenosti kotev jsem zmenšil na polovinu. Tento typ kombinace jsem aplikoval na upevňovací kotevní šrouby HUS3-H a úderové kotvy HKD. Kotvy HKD jsem realizoval s osovou vzdáleností 100 mm, viz. obr. 42 a šrouby HUS3-H s roztečí 90 mm, viz. obr. 43. Z důvodu nevyčištění vrtaného otvoru byla aktivace úderových kotev HKD pomocí osazovacího nástroje a kladiva velice náročná. Odpad z vrtání zůstal v otvoru a zabraňoval „roztlučení“ kotvy. Při aktivaci upevňovacích

kotevních šroubů HUS3-H zabraňoval odpad z vrtání dosažení optimální kotevní hloubky.



Obrázek 42 Nedodržení min. osových vzdáleností mezi kotvami HKD



Obrázek 43 Nedodržení min. osových vzdáleností mezi šrouby HUS3-H M10x90

4.2.4 Nedodržení minimální kotevní hloubky

Nedodržení minimální kotevní hloubky vzniká v případě, kdy pracovníci k vyvrtání kotevního otvoru nepoužívají žádný ukazatel hloubky vrtání. Tuto realizační chybu jsem aplikoval na pět vzorků kotvy HUS3-H. Minimální kotevní hloubku jsem snížil o 15 mm na 70 mm, viz. obr. 44.



Obrázek 44 Nedodržení minimální kotevní hloubky HUS3-H M10x90

5 Měření reálných únosností

Vytvořené vzorky kotev jsem podrobil tahovým zkouškám. Zkoušky probíhali až do samotného kolapsu kotevního spoje. Měření reálných únosností testovaných vzorků probíhalo pomocí přístroje HAT 180.

Na začátku každého měření se na kotvu umístila trojúhelníková roznášecí konstrukce. Konstrukce se podkladního materiálu dotýkala pouze na dvou místech. Mezi podporami byl prostor pro to, aby bylo možné vytáhnout betonový kužel. Na roznášecí konstrukci jsem umístil hydraulický píst, který vyvíjí samotnou zkušební sílu. Hydraulický píst jsem připojil přes tlakoměr do ovládacího zařízení, pomocí něho jsem ovládal sílu, kterou píst zatěžuje kotvu.



Obrázek 45 Roznášecí konstrukce s pístem

5.1 Měření správně aplikovaných kotev

Při měření správně aplikovaných kotev byl předpoklad, že se výsledné síly minimálně vyrovnají silám uváděným v katalogu pro projektanty.

5.1.1 Expanzní kotva HST3 M10x100

Na čtyřech z pěti testovaných vzorků bylo dosaženo velice podobných hodnot. Naměřená průměrná maximální únosnost v tahu expanzní kotvy HST3 M10x100 vyšla 22 kN.

U všech vytažených vzorků došlo ke kolapsu kotevního spoje na základě vytržení betonového kužele z betonového kvádrů, viz. obr. 47.



Obrázek 46 Tlakoměr s maximální dosaženou silou při porušení spoje



Obrázek 47 Vytržený betonový kužel

Jedna z testovaných kotev měla vadný závit. Po zahájení tahové zkoušky došlo k destrukci závitu při 21 kN. I tato kotva by splnila únosnosti uváděné v katalogu pro kotvu HST3 M10x100. Katalog uvádí maximální únosnost v betonu C20/25 9,5 kN.



Obrázek 48 Vadná kotva HST3 s vytrženým závitem

5.1.2 Úderová kotva HKD M10x30

U pěti testovaných vzorků bylo dosaženo průměrné maximální síly 10 kN. Jedná se o zhruba 2,5 násobek katalogové únosnosti, která činí 3,9 kN.

Všechny testované vzorky kolabovaly vinou podkladního materiálu. Opět se jednalo o vytažení betonového kužele. V důsledku malé kotevní hloubky nebyl vytažen celý jako v předchozím případě, ale rozpadl se, viz. obr. 50.



Obrázek 49 Tlakoměr s dosaženou maximální silou kolapsu kotevního spoje



Obrázek 50 Úderová kotva HKD s vytrženým betonovým kuželem

5.1.3 Upevňovací kotevní šroub HUS3-H M10x90

Z testovaných vzorků vyšla maximální tahová únosnost u upevňovacích kotevních šroubů HUS3-H M10x90 13,5 kN. Jedná se o zhruba 1,5 násobek hodnoty uvedené v katalogu pro projektanty, která je 9,5 kN. Příklad maximální tahové únosnosti spoje, viz. obr. 51.

Kolaps kotevního spoje byl zapříčiněn selháním podkladního materiálu. Při zatížení spoje se z podkladního betonu vytrhl betonový kužel, který se následně rozpadl, viz. obr. 52.



Obrázek 51 Tlakoměr s dosaženou maximální silou kolapsu kotevního spoje



Obrázek 52 Upevňovací šroub HUS3-H s rozpadlým betonovým kuželem

5.1.4 Předběžný závěr ke kapitole 5.1

Všechny správně vytvořené vzorky všech testovaných typů kotev dosáhli větší maximální únosnosti, než mají uvedeno v katalogu pro projektanty, takže by splnili požadované nároky na svou únosnost.

Pro dosažení větší únosnosti by stačilo použít kvalitnější základní materiál. Při jeho použití by nedošlo k vytržení betonového kužele, ale k přetržení kotvy. Potom by bylo dosaženo maximální únosnosti kotvy.

5.2 Měření při nedodržení minimální okrajové vzdálenosti

Při měření takto aplikovaných kotev byl předpoklad snížení maximální únosnosti a porušení okraje podkladního materiálu.

5.2.1 Expanzní kotva HST3 M10x100

V případě chybně řešených expanzních kotev HST3 došlo ke snížení únosnosti zhruba o polovinu. Toto snížení je velice dramatické a vzniklo pouze na základně nedodržení minimální vzdálenosti od okraje podkladního materiálu. Průměrná maximální hodnota únosnosti v tahu je stále vyšší než hodnota uvedená v katalogu pro projektanty, a to zhruba 12 kN. Hodnota uváděná v katalogu pro projektanty je 9,5 kN. Příklad maximální únosnosti, viz. obr. 53.



Obrázek 53 Naměřená maximální únosnost v tahu při nedodržení min. okrajových vzdáleností u expanzní kotvy HST3 M10x100



Obrázek 54 Expanzní kotva HST3 s poškozeným podkladním materiálem

Porušení kotevního spoje vzniklo na základě vytažení kotvy z podkladního materiálu. Vytažení kotvy způsobilo porušení okraje betonového kvádru. Při zatížení kotvy došlo k utržení rohu podkladního materiálu, viz. obr. 54.

5.2.2 Úderová kotva HKD M10x30

Všech pět testovaných vzorků při aktivaci v poloviční minimální vzdálenosti od okraje podkladního materiálu podkladní materiál viditelně poškodilo. Došlo k vzniku trhlin od kotvy směrem k okraji materiálu, viz. 4.1.2.



Obrázek 55 Naměřená maximální únosnost v tahu při nedodržení min. okrajových vzdáleností u úderové kotvy HKD M10x30



Obrázek 56 Poškození podkladního materiálu při vytažení kotvy

Takto aktivované kotvy před kolapsem neunesli nic, respektive mnou použité měřící zařízení nebylo dostatečně citlivé na to, aby zaregistrovalo nějaké tahové napětí, viz. obr. 55. Toto zjištění je velice alarmující. Pokud si pracovník při aktivaci kotvy nevšimne vzniklých trhlin v podkladním materiálu a kotvu zatíží, hrozí zhroucení konstrukce a destrukce okraje podkladního materiálu.

5.2.3 Upevňovací kotevní šroub HUS3-H M10x90

U takto vytvořených vzorků došlo ke snížení únosnosti na 9 kN. Tato hodnota je už nižší, než hodnota uvedená v katalogu pro projektanty. To znamená, že tento kotevní spoj by neunesl zatížení, na které je možno jej dle katalogu navrhnout.

Spoj zkolaboval na základě vytrhnutí betonového kužele z podkladního materiálu.



Obrázek 57 Naměřená maximální únosnost v tahu při nedodržení min. okrajových vzdáleností u kotevního šroubu HUS3-H M10x95



Obrázek 58 Upevňovací kotevní šroub HUS3-H s vytrženým betonovým kuželem

5.2.4 Předběžný závěr ke kapitole 5.2

Zkoušené vzorky vytvořené s touto realizační chybou vykazovali výrazně sníženou maximální únosnost v tahu. U takto zrealizovaných kotevních spojů hrozí, že nepřenesou zatížení, na které byly navrhnuty a zkolabují.

5.3 Měření při nedodržení minimální osové vzdálenosti + nevyčištění otvoru

Při měření této skupiny vzorků byl předpoklad snížení maximální únosnosti v důsledku nedodržení utahovacího momentu a nevyčištění vrtaného otvoru.

5.3.1 Expanzní kotva HST3 M10x100

Pro tuto chybnou kombinaci bylo vytvořeno opět pět vzorků. Oproti správně aktivovaným vzorkům nedošlo k výraznějšímu snížení maximální únosnosti kotevního spoje. Průměrná maximální únosnost expanzní kotvy HST3 M10x100 klesla na 20 kN. Pořád je to více než dvojnásobek oproti hodnotě uváděné v katalogu, která činí 9,5 kN.



Obrázek 59 Tlakoměr s maximální tahovou únosností kotvy HST3 M10x100



Obrázek 60 Poškození podkladního materiálu vlivem vytažení expanzní kotvy HST3 M10x100

Ke kolapsu všech testovaných vzorků došlo z důvodu vytržení betonového kužele, viz. obr. 36. Poloměr betonového kužele zabíral prostor od vytahované kotvy až k sousední kotvě. Tím pádem jsem vytažením betonového kužele výrazně snížil maximální únosnost vedlejšího kotevního spoje. Pokud by takto aplikované kotvy byly zatíženy obě najednou, tak se jejich zatěžovací kužele budou navzájem ovlivňovat a dochází k výraznému snížení únosnosti.

5.3.2 Úderová kotva HKD M10x30

Aplikace této chyby neměla za následek výraznější snížení maximální únosnosti kotevního spoje, ale způsobila obtížnější aplikaci a aktivaci kotev. Při nevyčištění kotevního otvoru se úderové kotvy znatelně hůře aktivují.

Výsledná průměrná maximální hodnota naměřená na referenčních vzorcích je 10 kN. Porušení kotevního spoje opět nastalo na základě porušení podkladního materiálu, nikoliv na přetržení kotvy. Kvůli malé kotevní hloubce úderové kotvy HKD M10x30 jsem nevytáhl kužel v celku, ale rozpadl se na menší části.



Obrázek 61 Naměřená maximální únosnost v tahu při nedodržení minimálních vzdáleností a nevyčištění kotevního otvoru



Obrázek 62 Poškození podkladního materiálu vlivem vytažení expanzní kotvy HST3 M10x100

5.3.3 Upevňovací kotevní šroub HUS3-H M10x95

U pěti zkoušených vzorků bylo dosaženo podobných hodnot maximální únosnosti v tahu 10kN. Tato hodnota se oproti správně aplikovaným kotvám snížila, ale pořád je vyšší, než hodnota uváděná v katalogu pro projektanty, kde se uvádí maximální tahová únosnost jako 9,5 kN.

Kotevní spoj zkolaboval vytažením betonového kužele z podkladního materiálu.



Obrázek 63 Naměřená maximální únosnost v tahu při nedodržení min. osových vzdáleností a nevyčištění kotevního otvoru u expanzní kotvy HST3 M10x100



Obrázek 64 Vytržený betonový kužel při nedodržení min. osových vzdáleností a nevyčištění kotevního otvoru

5.3.4 Předběžný závěr ke kapitole 5.3

U této skupiny vzorků chybné realizace se mi nepodařilo potvrdit výraznější snížení únosnosti kotev. To bylo způsobeno tím, že jsem prováděl tahové zkoušky pouze na kotvách, které neměli ovlivněný zatěžovací kužel již vytaženou vedlejší kotvou. Pokud by se na stavbě zatížili dvě takto zrealizované kotvy vedle sebe, bude jejich únosnost snížena o plochu průniku jejich zatěžovacích kuželů.

Při nevyčištění kotevního otvoru v něm zůstává suť po vrtání. Tento odpad při pokusech o aktivaci pruží, a tím znatelně zhoršuje aktivaci. Odpad po vrtání také zabraňuje dosáhnout kotvě minimální potřebné kotevní hloubce, což opět snižuje únosnost kotevního spoje.

5.4 Nedodržení utahovacího momentu + nevyčištění otvoru

Při měření této skupiny vzorků byl předpoklad snížení maximální tahové únosnosti na základě chyb vytvořených při realizaci kotevních spojů.

5.4.1 Expanzní kotva HST3 M10x100

U pěti dalších vzorků při dvojnásobném přetažení aktivačního momentu bylo dosaženo průměrné maximální tahové únosnosti 25 kN. Což je paradoxně více, než byla průměrná maximální únosnost u správně vytvořených vzorků.

Porušení kotevního spoje bylo způsobeno selháním podkladního materiálu. Z podkladního materiálu byl vytržen betonový kužel, viz. obr. 66.



Obrázek 65 Naměřená maximální únosnost v tahu při nedodržení min. osových vzdáleností a nevyčištění kotevního otvoru u expanzní kotvy HST3 M10x100



Obrázek 66 Porušení betonu při vytahování přetažené expanzní kotvy HST3 M10x100

5.4.2 Předběžný závěr ke kapitole 5.4

Tato skupina vzorků překvapivě vykazovala nejvyšší maximální únosnost v tahu ze všech měřených kotevních spojů. Mnou aplikovaný aktivační moment zřejmě nebyl tak vysoký, aby dokázal kotvu v kotevním otvoru protočit, tím v otvoru zvětšit prostor což by mělo za následek snížení maximální únosnosti kotvy v tahu. Zvýšený utahovací moment tedy více povytáhl zámek kotvy, a tím zvýšil únosnosti kotevního spoje.

5.5 Nedodržení minimální kotevní hloubky

U následující skupiny vzorků byl opět předpoklad snížení maximální únosnosti kotev v tahu z důsledku chybné realizace kotevních spojů.

5.5.1 Upevňovací kotevní šroub HUS3-H

Z pěti takto zrealizovaných vzorků vyšla průměrná maximální tahová únosnost 8,5 kN. Tato hodnota je nižší, než hodnota uváděná v katalogu pro projektanty, kde se uvádí hodnota 9,5 kN.

Porušení kotevního spoje nastalo na základě porušení podkladního materiálu, ze kterého jsem vytrhl betonový kvádr viz. obr. 44.



Obrázek 67 Naměřená maximální únosnost v tahu při nedodržení kotevní hloubky upevňovacího kotevního šroubu HUS3-H



Obrázek 68 Upevňovací kotevní šroub HUS3-H s vytrženým betonovým kuželem

5.5.2 Předběžný závěr ke kapitole 5.5

Tato realizační chyba snížila maximální tahovou únosnost až pod mez katalogové únosnosti. To znamená zvýšené riziko selhání kotevního spoje. Takto vytvořené kotevní spoje by nebyly schopny přenést maximální zatížení, na které by mohli být navrhnuty.

6 Vyhodnocení

V této části bakalářské práce jsem se zaměřil na porovnání mnou získaných hodnot z experimentů, s hodnotami z výpočtového softwaru a ručními výpočty dle normy.

Porovnával jsem hodnoty nesnížené bezpečnostními koeficienty. V katalogu jsou uvedeny hodnoty snížené, takže jsem je přenásobil zpět na hodnoty charakteristické.

6.1 Vzorky správně vytvořené

Tato skupina vzorků vyhověla všem požadavkům na svou únosnost.

6.1.1 Expanzní kotva HST3 M10x100

Z mnou vypočtených hodnot a hodnot získaných z výpočtového softwaru by měl kotevní spoj kolabovat na základě vytažení kotvy z podkladního materiálu, a to při 20 kN. Z experimentů ale vyplývá, že k porušení dojde vytažením betonového kužele. Dle výpočtů a výstupů ze softwaru by se měl betonový kužel vytrhnout při 23,47 kN. Průměrná maximální tahová únosnost z experimentů se pohybuje okolo 22 kN. Odchylka proti vypočteným hodnotám může být způsobena nepřesným složením podkladního materiálu. Pro zjištění přesné hodnoty by bylo zapotřebí zhotovit o mnoho více vzorků.

Důležitým výsledkem je, že všechny správně zhotovené vzorky by s velkou rezervou přenesli zatížení, na které jej lze dle katalogu i dle výpočtového softwaru navrhnout.

6.1.2 Úderová kotva HKD M10x30

Kotevní spoj s úderovou kotvou HKD se měl dle výpočtů porušit vytržením betonového kužele, a to při 8,19 kN. Z experimentů se potvrdilo vytržení betonového

kužele, ale průměrná hodnota vytržení betonového kužele byla až 10 kN. Naměřená vyšší únosnost může být způsobena opět nepřesným složením podkladního materiálu. Opět by bylo pro zjištění relevantních výsledků potřeba zhotovit více vzorků.

6.1.3 Upevňovací kotevní šroub HUS3-H M10x90

Podle vypočtených hodnot by takto vytvořený kotevní spoj měl selhat vytažením kotvy při 20 kN. Z mnou naměřených experimentů vyšla průměrná hodnota maximální únosnosti v tahu 13,5 kN. Rozdíl mezi výpočty a reálně naměřenými hodnotami je velmi výrazný. Dle mého názoru to může být způsobeno nekvalitním podkladním materiálem. Při zatížení a lehkém proklouznutí kotvy se mezery mezi vruty zalepí odpadem z betonu a vytvoří tak kluzký válec. Pokud se tento válec nezarazí o kamenivo, které by zatížení rozneslo do větší plochy, vytáhneme kotvu z betonu.

I přes výrazně sníženou únosnost reálně naměřených vzorků by všechny testované vzorky přenesli maximální dovolené tahové zatížení, na které lze upevňovací kotevní šroub HUS3-H M10x90 navrhnout.

6.2 Nedodržení minimální vzdálenosti od okraje podkladního materiálu

6.2.1 Expanzní kotva HST3 M10x100

Vliv této realizační chyby na únosnost kotevního spoje je celkem výrazný. Tento kotevní spoj měl přenést 23,47 kN jak již bylo popsáno výše. Průměrná hodnota dosažená z experimentů při nedodržení minimální okrajové vzdálenosti činí 12 kN. Snížení únosnosti je velice dramatické, ale pořád je výsledná hodnota větší, než hodnota uváděná v katalogu pro projektanty, takže kotevní spoj splní všechny požadované nároky.

Snížení únosnosti je zapříčiněno zmenšením plochy zatěžovacího kužele dané kotvy. Tím se sníží únosnost kotevního spoje. V tomto případě únosnost neklesla natolik aby to ohrozilo stabilitu kotevního spoje.

6.2.2 Úderová kotva HKD M10x30

V případě úderové kotvy HKD M10x30 byl pokles únosnosti velice dramatický. Při experimentech totiž všechny kotvy selhaly, aniž by měřicí zařízení zaznamenalo nějaké zvýšení napětí v kotevním spoji. Aktivace této kotvy tak blízko

od okraje podkladního materiálu totiž vždy podkladní materiál poškodila natolik, že už nedokázal přenést žádné zatížení a jen se odloupl.

Toto zjištění je velice závažné. Pokud pracovník při aplikaci kotvy nedodrží minimální vzdálenost od okraje podkladního materiálu a při aktivaci si nevšimne vzniklých trhlin, hrozí bezprostřední pád konstrukce ihned po zatížení kotvy.

6.2.3 Upevňovací kotevní šroub HUS3-H M10x95

Při nedodržení okrajové vzdálenosti u upevňovacího kotevního šroubu HUS3-H klesla maximální tahová únosnost na 9 kN. Tato hodnota je nižší, než již ponížená hodnota uváděná v katalogu pro projektanty. To znamená, že tento kotevní spoj by nebyl schopen přenést maximální možné zatížení, na které ho lze dle katalogu navrhnout. Hrozí tedy kolaps kotevního spoje.

Snížení únosnosti bylo opět způsobeno zmenšením plochy zatěžovacího kužele dané plochy.

6.3 Měření při nedodržení minimální osově vzdálenosti + nevyčištění otvoru

6.3.1 Expanzní kotva HST3 M10x100

V případě expanzní kotvy HST3 M10x100 byla naměřena průměrná hodnota maximální únosnosti v tahu 20 kN. Oproti 23,47 kN vypočteným to není výraznější snížení únosnosti. Při nedodržení minimálních osových vzdáleností mezi kotvami se jejich zatěžovací kuželi navzájem ovlivňují. Toto má za následek snížení únosnosti kotevního spoje. Při vytáhnutí jedné kotvy jsem výrazně oslabil zatěžovací kužel druhé kotvy. Vytahoval jsem kotvy ob jednu. Ty s nejvíce oslabeným zatěžovacím kuželem jsem do této skupiny vzorků nezahrnoval. Na to by bylo potřeba více kusů testovaných vzorků.

Problém by ovšem nastal, jakmile by se v praxi zatížili obě takto realizované kotvy. Každá z nich by měla sníženou únosnost o průnik obou zatěžovacích kuželů.

Více než ke snížení únosnosti vedlo nevyčištění kotevního otvoru k ztížení aplikace expanzní kotvy HST3 do požadované kotevní hloubky.

6.3.2 Úderová kotva HKD M10x30

Vliv nedodržení minimální osové vzdálenosti a nevyčištění kotevního otvoru na únosnost úderové kotvy HKD M10x30 nebyl skoro žádný. Naměřená hodnota maximální tahové únosnosti byla opět větší, než hodnota z ručních výpočtů i z výpočetního softwaru, a to tedy 10 kN. Důvod malého snížení tahové únosnosti je stejný jako v bodě 6.3.2.

Nevyčištěný kotevní otvor měl za následek výrazně obtížnější aktivaci úderové kotvy HKD. Tento typ kotvy je velmi oblíbený a často používaný. Pouze ale v menších dimenzích právě kvůli náročnější aktivaci. Právě nečištění kotevního otvoru může být důvodem, proč s těmito kotvami ve větších dimenzích pracovníci neradi pracují.

6.3.3 Upevňovací kotevní šroub HUS3-H M10x95

V tomto případě došlo ke snížení únosnosti na 10 kN. Na základě výpočtů by se měl kotevní spoj porušit při 22,65 kN. Snížení únosnosti oproti vypočteným hodnotám je výrazné. Opět bylo způsobeno zmenšeným zatěžovacím kuželem a nedodrženou kotevní hloubkou kvůli nevyčištěnému kotevnímu otvoru.

Pomocí upevňovacích kotevních šroubů se připevňují nejrůznější objekty. Při nevyčištění kotevního otvoru, se může stát, že při dotahování objektu pomocí šroubu se kotevní šroub nedostane do takové hloubky, aby objekt dotáhl.

6.4 Nedodržení utahovacího momentu + nevyčištění otvoru

6.4.1 Expanzní kotva HST3 M10x100

V případě expanzní kotvy HST3 M10x100 při přetažení kotevního šroubu na dvojnásobný utahovací moment, tedy 90 Nm, bylo dosaženo průměrné maximální únosnosti v tahu 25 kN. Tato hodnota je dokonce vyšší než hodnota vypočtená z ručních výpočtů i vyexportovaná z výpočetního programu, která činila 23,47 kN.

Naměřená hodnota je větší než vypočtená hodnota, a to může být způsobeno například tím, že mnou použitý utahovací moment nebyl tak velký na to, aby kotvu v kotevním otvoru „protočil“ a tím snížil její únosnost.

Z mých experimentů se toto nepotvrdilo právě naopak, ale přetažení kotvy je vážná realizační chyba, která způsobuje prokluz kotvy v kotevním otvoru a snížení únosnosti kotevního spoje.

6.5 Nedodržení minimální kotevní hloubky

6.5.1 Upevňovací kotevní šroub HUS3-H M10x95

Při nedodržení kotevní hloubky klesla únosnost kotevního spoje na 8,5 kN. To oproti 22,65 kN získaným z výpočtů celkem razantní rozdíl. Tato hodnota je dokonce nižší, než ponížená hodnota o bezpečnostní koeficienty uvedená v katalogu pro projektanty. To znamená, že kotva nepřenesla maximální zatížení, na které ji lze dle katalogu navrhnout.

Nedodržení minimální kotevní hloubky je k vidění snad na každé stavbě. Pokud se k nedodržení minimální kotevní hloubky přidá i horší podkladní materiál, jako v mém případě hrozí kolaps kotevního spoje.

Závěr

Cílem mé bakalářské práce bylo zjistit vliv chyb v realizaci na únosnost kotev. Každá z testovaných chyb projevila určitý vliv na únosnost nebo provádění daných kotev.

Všechny správně vytvořené vzorky splnily požadavky na svou únosnost. Lze tedy tvrdit, že pokud se kotva aplikuje dle technologického předpisu, vždy přenesou zatížení, na které ji lze dle katalogu pro projektanty navrhnout.

Maximální tahová únosnost správně vytvořených vzorků			
	Hodnota z ručních výpočtů [kN]	Hodnota z výpočetního softwaru [kN]	Hodnota reálně naměřena [kN]
HST3 M10x100	23,47	23,47	22
HKD M10x30	8,19	8,19	10
HUS3-H M10x95	22,65	22,65	13,5

Tabulka 4 Maximální tahová únosnost správně vytvořených vzorků

Vzorky vytvořené s nedodržením minimální vzdálenosti od okraje podkladního materiálu vykazovaly výrazně sníženou únosnost. V tomto případě již hrozí kolaps kotevního spoje i při zatížení, které by tento kotevní spoj měl přenést.

Maximální tahová únosnost vzorků s nedodržením min. okrajové vzdálenosti			
	Hodnota z ručních výpočtů [kN]	Hodnota z výpočetního softwaru [kN]	Hodnota reálně naměřena [kN]
HST3 M10x100	23,47	23,47	12
HKD M10x30	8,19	8,19	0
HUS3-H M10x95	22,65	22,65	9

Tabulka 5 Maximální tahová únosnost první skupiny chybně vytvořených vzorků

U vzorků s nedodržením minimální osové vzdálenosti a nevyčištěným kotevním otvorem jsem nepotvrdil výraznější snížení únosnosti. Jedná se ale o závažnou realizační chybu a neměla by se podceňovat.

Maximální tahová únosnost vzorků s nedodržením min. osové vzdálenosti + nevyčištění kotevního otvoru			
	Hodnota z ručních výpočtů [kN]	Hodnota z výpočetního softwaru [kN]	Hodnota reálně naměřena [kN]
HST3 M10x100	23,47	23,47	20
HKD M10x30	8,19	8,19	10
HUS3-H M10x95	22,65	22,65	10

Tabulka 6 Maximální tahová únosnost druhé skupiny chybně vytvořených vzorků

Skupina testovaných vzorků s dvojnásobným utahovacím momentem překvapivě nevykazovala snížení únosnosti, ale naopak zvýšení únosnosti. Opět se ale jedná o závažnou realizační chybu, která může způsobit kolaps kotevního spoje.

Maximální tahová únosnost s nedodržením utahovacího momentu			
	Hodnota z ručních výpočtů [kN]	Hodnota z výpočetního softwaru [kN]	Hodnota reálně naměřena [kN]
HST3 M10x100	23,47	23,47	25

Tabulka 7 Maximální tahová únosnost třetí skupiny chybně vytvořených vzorků

Nedodržení minimální kotevní hloubky opět vykazovalo snížení maximální únosnosti v tahu. To znamená, že kotevní spoj nemusí být schopen přenést požadované zatížení.

Maximální tahová únosnost při nedodržení min. kotevní hloubky			
	Hodnota z ručních výpočtů [kN]	Hodnota z výpočetního softwaru [kN]	Hodnota reálně naměřena [kN]
HUS3-H M10x95	22,65	22,65	8,5

Tabulka 8 Maximální tahová únosnost čtvrté skupiny chybně vytvořených vzorků

Celkově lze říci, že realizační chyby nepříznivě ovlivňují vlastnosti kotevního spoje. V dnešní době tento problém firmy řeší dvěma způsoby:

- Připlatí si za větší dimenzi kotvy, než je potřeba
- Zaplatí si kvalifikované pracovníky či své pracovníky nechají kvalifikovat

První způsob neeliminuje vliv realizačních chyb na snížení únosnosti a nikdo nedokáže zaručit, že i při použití větší dimenze kotvy neklesne její únosnost pod požadovanou hodnotu. Druhý způsob je ideální. Na trhu ale chybí kvalifikovaní pracovníci. Proto výrobci kotevních systémů nabízí firmám školení pro jejich zaměstnance, aby snížili výskyt realizačních chyb na stavbách.

Z experimentů vyšlo najevo, že nejvíce výslednou únosnost kotevního spoje ovlivňuje nedodržení minimální vzdálenosti od okraje podkladního materiálu a nedodržení optimální kotevní hloubky. U ostatních realizačních chyb nebylo snížení únosnosti tak výrazné. To ale neznamená, že by se tyto realizační chyby měli podceňovat.

Použitá literatura

- [1] „Katedra technologie staveb,“ [Online]. Available: <http://technologie.fsv.cvut.cz/vyuka/vyucovane-predmety/122TS2/podklady-k-prednaskam/>. [Přístup získán 19 4 2018].
- [2] V. Hájek, L. Novák a J. Šmejcký, Konstrukce pozemních staveb 30 - Kompletační konstrukce, Praha: ČVUT, 2002.
- [3] V. Petřík, „Teorie a návrh dodatečného kotvení,“ 27 10 2016. [Online]. Available: <http://people.fsv.cvut.cz/~machacek/prednaskyOK01/OK01-Hilti.pdf>. [Přístup získán 21 05 2018].
- [4] J. Mareček, K. Kubenková, M. Šindel a F. Čmiel, „Pozemní stavitelství III,“ 2006. [Online]. Available: <http://fast10.vsb.cz/studijni-materialy/ps3/3.html>.
- [5] Hilti ČR, spol. s r.o., [Online]. Available: <https://www.hilti.cz/kotevn%C3%AD-technika/%C3%A9Aderov%C3%A9-kotvy-s-vnit%C5%99n%C3%ADm-z%C3%A1vitem/376965>. [Přístup získán 19 04 2018].
- [6] Hilti ČR spol. s r.o., [Online]. Available: <https://www.hilti.cz/kotevn%C3%AD-technika/%C3%A9Aderov%C3%A9-kotvy-s-vnit%C5%99n%C3%ADm-z%C3%A1vitem/r4581>. [Přístup získán 21 05 2018].
- [7] Hilti ČR spol. s r.o., [Online]. Available: <https://www.hilti.cz/kotevn%C3%AD-technika/expazn%C3%AD-kotvy/r3987939>. [Přístup získán 21 05 2018].
- [8] Hilti ČR spol. s r.o., [Online]. Available: <https://www.hilti.cz/kotevn%C3%AD-technika/upev%C5%88ovac%C3%AD-%C5%A1rouby/r2523586>. [Přístup získán 21 05 2018].

- [9] Katalog pro projektanty, Marketing Hilti ČR & Slovakia , 2016.
- [10] ETAG 001 Kovové kotvy do betonu - Příloha C: Metody návrhu kotvení, 1997.

Přílohy

Seznam použitých tabulek

Tabulka 1 katalogové únosnosti zkoušených kotev	26
Tabulka 2 Výsledky ručních výpočtů.....	29
Tabulka 3 Výsledky z výpočetního softwaru	31
Tabulka 4 Maximální tahová únosnost správně vytvořených vzorků.....	66
Tabulka 5 Maximální tahová únosnost první skupiny chybně vytvořených vzorků.....	66
Tabulka 6 Maximální tahová únosnost druhé skupiny chybně vytvořených vzorků.....	67
Tabulka 7 Maximální tahová únosnost třetí skupiny chybně vytvořených vzorků.....	67
Tabulka 8 Maximální tahová únosnost čtvrté skupiny chybně vytvořených vzorků.....	68

Seznam použitých obrázků

Obrázek 1 Typy zabetonovaných závitových pouzder	13
Obrázek 2 Typy porušení kotevního spoje.....	13
Obrázek 3 Typy zabetonovaných šroubů a trnů.....	14
Obrázek 4 Příklady zabetonovaných kotevních kolejnic	14
Obrázek 5 Montáž předsazená	16
Obrázek 6 Montáž průvlečná	16
Obrázek 7 Montáž distanční.....	16
Obrázek 8 Příklad rozpěrného spoje	17
Obrázek 9 Příklad tvarového spoje	17
Obrázek 10 Příklad lepeného spoje.....	18

Obrázek 11 Chování tmelů při namáhání.....	19
Obrázek 12 Příklad kombinovaného spoje.....	19
Obrázek 13 Princip přímého vstřelování.....	20
Obrázek 14 Princip nepřímého vstřelování	21
Obrázek 15 úderová kotva HKD	23
Obrázek 16 expanzní kotva HST3.....	23
Obrázek 17 upevňovací kotevní šroub HUS3-H.....	24
Obrázek 18 Tabulka únosností kotev HKD	25
Obrázek 19 Tabulka únosností kotev HST3	25
Obrázek 20 Tabulka únosností HUS3-H.....	26
Obrázek 21 Idealizovaný kužel betonu a základna kužele betonu u jednotlivé kotvy.....	28
Obrázek 22 Technologický postup kotvy HKD M10x30	32
Obrázek 23 Technologický postup kotvy HST3 M10x100	33
Obrázek 24 Technologický postup upevňovacího šroubu HUS3-H M10x90	34
Obrázek 25 Porušení kotevního spoje vytažením a vytažením/ vytržením ...	35
Obrázek 26 Porušení kotevního spoje odštípnutím okraje betonu	36
Obrázek 27 Vrtání otvoru pomocí akumulátorového vrtacího kladiva TE - 4 A22.....	38
Obrázek 28 Čištění otvoru pomocí vzduchové pumpičky	38
Obrázek 29 Osazení kotvy pomocí kladiva.....	39
Obrázek 30 Utahování momentovým klíčem.....	39
Obrázek 31 Hotová expanzní kotva HST3.....	39
Obrázek 32 Aktivace pomocí osazovacího nástroje HSD-G M10 3/8 X30 a kladiva.....	40
Obrázek 33 Hotová úderová kotva HKD	40
Obrázek 34 Utahování pomocí rázového utahováku	41

Obrázek 35 Hotový upevňovací kotevní šroub HUS3-H.....	41
Obrázek 36 Expanzní kotva HST3 M10x100 příliš blízko od kraje podkladního materiálu.....	42
Obrázek 37 Upevňovací kotevní šroub HUS3-H M10x90 příliš blízko od kraje podkladního materiálu.....	42
Obrázek 38 Vznik prasklin při aktivaci kotvy	43
Obrázek 39 Chybně zrealizovaná úderová kotva HKD	43
Obrázek 40 Neaktivovaná expanzní kotva HST3 M10x100.....	44
Obrázek 41 Přetažená expanzní kotva HST3 M10x100	44
Obrázek 42 Nedodržení min. osových vzdáleností mezi kotvami HKD	45
Obrázek 43 Nedodržení min. osových vzdáleností mezi šrouby HUS3-H M10x90	45
Obrázek 44 Nedodržení minimální kotevní hloubky HUS3-H M10x90	46
Obrázek 45 Roznášecí konstrukce s pístem	47
Obrázek 46 Tlakoměr s maximální dosaženou silou při porušení spoje	48
Obrázek 47 Vytržený betonový kužel	48
Obrázek 48 Vadná kotva HST3 s vytrženým závitem	49
Obrázek 49 Tlakoměr s dosaženou maximální silou kolapsu kotevního spoje	49
Obrázek 50 Úderová kotva HKD s vytrženým betonovým kuželem.....	50
Obrázek 51 Tlakoměr s dosaženou maximální silou kolapsu kotevního spoje	50
Obrázek 52 Upevňovací šroub HUS3-H s rozpadlým betonovým kuželem..	51
Obrázek 53 Naměřená maximální únosnost v tahu při nedodržení min. okrajových vzdáleností u expanzní kotvy HST3 M10x100.....	52
Obrázek 54 Expanzní kotva HST3 s poškozeným podkladním materiálem ..	52
Obrázek 55 Naměřená maximální únosnost v tahu při nedodržení min. okrajových vzdáleností u úderové kotvy HKD M10x30	53

Obrázek 56 Poškození podkladního materiálu při vytažení kotvy.....	53
Obrázek 57 Naměřená maximální únosnost v tahu při nedodržení min. okrajových vzdáleností u kotevního šroubu HUS3-H M10x95.....	54
Obrázek 58 Upevňovací kotevní šroub HUS3-H s vytrženým betonovým kuželem.....	54
Obrázek 59 Tlakoměr s maximální tahovou únosností kotvy HST3 M10x100.....	55
Obrázek 60 Poškození podkladního materiálu vlivem vytažení expanzní kotvy HST3 M10x100.....	55
Obrázek 61 Naměřená maximální únosnost v tahu při nedodržení min. osových vzdáleností a nevyčištění kotevního otvoru.....	56
Obrázek 62 Poškození podkladního materiálu vlivem vytažení expanzní kotvy HST3 M10x100.....	57
Obrázek 63 Naměřená maximální únosnost v tahu při nedodržení min. osových vzdáleností a nevyčištění kotevního otvoru u expanzní kotvy HST3 M10x100.....	57
Obrázek 64 Vytržený betonový kužel při nedodržení min. osových vzdáleností a nevyčištění kotevního otvoru.....	58
Obrázek 65 Naměřená maximální únosnost v tahu při nedodržení min. osových vzdáleností a nevyčištění kotevního otvoru u expanzní kotvy HST3 M10x100.....	59
Obrázek 66 Porušení betonu při vytahování přetažené expanzní kotvy HST3 M10x100.....	59
Obrázek 67 Naměřená maximální únosnost v tahu při nedodržení kotevní hloubky upevňovacího kotevního šroubu HUS3-H.....	60
Obrázek 68 Upevňovací kotevní šroub HUS3-H s vytrženým betonovým kuželem.....	60

Výstupní data ze softwaru Hilti Profis Anchor

- Expanzní kotva HST3 M10x100 report
- Upevňovací kotevní šroub HUS3-H M10x90 report