



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

SOUDRŽNOST DODATEČNĚ OSAZOVANÝCH
CHEMICKÝCH KOTEV A KALIBRACE

MODELŮ PREDIKCE MEZNÍHO ZATÍŽENÍ

BOND STRENGTH OF POST-INSTALLED CHEMICAL ANCHORS AND CALIBRATION
OF MODELS FOR THEIR LOAD BEARING CAPACITY PREDICTION

HABILITAČNÍ PRÁCE

HABILITATION THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ing. Jan Barnat, Ph.D.

BRNO 2022

Abstrakt:

Habilitační práce se věnuje tématu soudržnosti lepených dodatečně osazovaných kotev do betonu a následně kalibrací vybraných modelů predikujících jejich mezní tahové zatížení. V úvodu práce jsou popsány nejpoužívanější systémy dodatečně osazovaných chemických kotev a principy jejich použití. Dále se práce v úvodní části věnuje zejména základnímu návrhovému případu jedné dodatečně osazené chemické kotvy zatížené statickou tahovou silou, bez dalších geometrických vlivů. Tato problematika je široce diskutována již od počátku používání těchto kotevních systémů v druhé polovině dvacátého století až dodnes. Ačkoliv jde na první pohled o poměrně jednoduchý koncept, tak díky tomu, že se na výsledném chování takto vytvořeného spoje podílí tři různé materiály, které mají navíc mezi sebou dvě materiálová rozhraní, je popis jeho skutečného chování stále aktuálním problémem.

Na základě vyhodnocování experimentálního výzkumu byly vyvinuty různé modely predikující únosnost dodatečně osazované kotvy při statickém tahovém zatížení, z nichž nejvýznamnější je „CCD-Concrete capacity design Method“, který je základem pro návrhové postupy, jež jsou v současné době implementovány ve významných normativních dokumentech. Vyvinuty byly také metody testování dodatečně osazovaných chemických kotev.

Předkládaná habilitační práce se ve své experimentální části zaměřuje zejména na problematiku stanovení a možnosti rozvoje jednoho ze základních parametrů ovlivňující výslednou únosnost kotvy zatížené tahem. Tímto parametrem je mezní napětí na rozhraní materiálů, často označované jako „soudržnost“, což je parametr primárně závislý na vlastnostech použitého kontaktního materiálu – lepidla. Za určitých specifických podmínek může být pro únosnost limitující právě kvalita spojení mezi jednotlivými materiály. Tento aspekt je agregován zejména při použití betonu vyšších pevností. Tématem experimentální části práce bylo ověření možnosti zlepšení užitečných vlastností běžně používaných lepidel za pomoci příměsí ve formě uhlíkových, skleněných vláken či nanovláken a nanotubic a sledování vlivu těchto přísad na výslednou únosnost kotvy. Výzkum byl rozšířen také do oblasti použití těchto lepidel v nízkých instalačních teplotách. V rámci této experimentální části práce byla modifikována běžně používaná omezená zkouška pro určení únosnosti pro případ selhání kontaktů mezi materiály s cílem jejího zjednodušení a zefektivnění pro použití např. při vývoji lepidel.

V další části jsou klíčovými tématy modely predikce mezního tahového zatížení jedné kotvy. Dílčím cílem této části práce bylo sestavení širší databáze volně dostupných experimentálních výsledků a následná kalibrace publikovaných modelů predikce únosnosti kotvy s využitím těchto dat. Kromě výsledků experimentů publikovaných v odborných periodických a vědeckých zprávách byly použity i výsledky vlastních experimentů autora. Kalibrovány byly dva modely. První model je model použitý v aktuálně platných normativních dokumentech, vycházející z metody CCD. V tomto modelu se sledují jednotlivé možné poruchy v kotevní oblasti odděleně. Druhým kalibrovaným modelem je model navržený autorem. Navržený model zjednodušuje praktický návrh tím, že používá jednu spojitou funkci pro predikci únosnosti pro poruchu kotvy v kotevní oblasti. Výsledkem zmíněné kalibrace jsou takové hodnoty proměnných parametrů uvedených modelů, s nimiž má funkce modelu vyšší přiléhavost k experimentálním výsledkům.

Klíčová slova:

Chemická kotva, tahové namáhání, mezní napětí, predikce únosnosti, plniče, lepidla.

Abstract:

The habilitation thesis deals with the topic of bond strength of post-installed chemical anchors in concrete and then calibration of selected models predicting their tensile load bearing capacity. In the introduction of the thesis, the most commonly used systems of chemical anchors and the principles of their use are described. In addition, the introductory part of the thesis focuses on the basic design case of one post-installed chemical anchor loaded by static tensile force, without other geometric influences. This issue has been widely discussed from the beginning of the use of these anchor systems in the second half of the twentieth century until today. Although it is a relatively simple concept, the fact that three different materials are involved in the final behaviour of a joint formed in this way, which also has two material interfaces between them, makes the description of its actual behaviour an ongoing problem. In the second half of the twentieth century and the first decade of the twenty-first century, research in this field was most intensive in Germany and the USA. Based on the evaluation of experimental research, various models were developed to predict the capacity of post-installed anchors under static tensile loading. One of the most important is the "CCD-Concrete Capacity Design Method", which is the basis for design procedures that are currently implemented in major normative documents.

The habilitation thesis, in its experimental part, focuses in particular on the problem of determining and the possibility of developing one of the basic parameters influencing the resulting capacity of the anchor loaded in tension. This parameter is the ultimate stress at the material interface, often referred to as "bond strength", which is a parameter primarily dependent on the properties of the contact material - the adhesive. The bond strength could be limiting parameter for load bearing capacity, in certain specific conditions. This aspect is particularly aggregated when using higher strength concrete. The topic of the experimental part of the work was to investigate the possibility of improving the performance properties of commonly used adhesives by using additives in the form of carbon, glass fibres or nanofibres and nanotubes. Also, the goal was to observe the effect of these additives on the resulting anchor load capacity. The research has also been extended to the application of these adhesives at low installation temperatures. In this experimental part of the work, a commonly used "confined test" for determining the load carrying capacity in case of contact failure between materials was modified in order to simplify and streamline it for use, for example, in adhesive development.

In the next section, the key topic is the models for predicting the ultimate tensile load of a single anchor. A sub-objective of this part of the thesis was to compile a wider database of freely available experimental results and then calibrate published models using these data. Two models were calibrated. The first model is the model used in the currently valid normative documents, based on the CCD method. In this model, each possible failure in the anchorage area is monitored separately. The second calibrated model is the model proposed by the author. The proposed model simplifies the practical design by using a single continuous function to predict the load capacity for an anchor failure in the anchorage region. The aforementioned calibration results in values of the variable parameters of the above models with which the model function has a better fit to the experimental results.

Key words:

Chemical anchor, tensile stress, bond stress, prediction of load bearing capacity, fillers, adhesives.

Bibliografická citace VŠKP

Barnat, Jan: *Soudržnost dodatečně osazovaných chemických kotev a kalibrace vybraných modelů predikce mezního zatížení*. Habilitační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav kovových a dřevěných konstrukcí, Brno, Česká republika, 2022.

© Jan Barnat 2022

Vysoké učení technické v Brně

Fakulta stavební

Veveří 331/95, 602 00, Brno

Poděkování:

Upřímné poděkování patří kolegům z Fakulty stavební Vysokého učení technické v Brně, za cenné rady, připomínky a všeobecnou podporu vedoucí k dokončení této práce. Poděkování patří také mé rodině za neutuchající podporu, motivaci a pomoc v mé práci.

OBSAH:

1	Úvod	20
1.1	Dodatečně osazované kotvy – kotevní systémy	20
1.1.1	Dodatečně osazované mechanické kotvy	20
1.1.2	Dodatečně osazované chemické kotvy	22
1.1.2.1	Injektážní systémy dodatečně osazovaných chemických kotev	23
1.1.2.2	Patronové systémy dodatečně osazovaných chemických kotev	24
1.2	Podmínky instalace, aktivace a působení ovlivňující únosnost dodatečně osazovaných chemických kotev	26
2	Únosnost jedné chemické kotvy zatížené tahovou silou	28
2.1	Základní typy experimentů pro získání dat	28
2.2	Základní typy porušení tahem zatížené dodatečně osazované chemické kotvy	29
2.3	Modely predikce mezního tahového zatížení	30
2.3.1	Model rovnoměrného rozložení napětí na kontaktech – omezená zkouška	30
2.3.2	Model elastického chování lepidla – omezená zkouška	31
2.3.3	Model rovnoměrného rozložení napětí na kontaktech– neomezená zkouška	33
2.3.4	Model elastického chování lepidla – neomezená zkouška	33
2.3.5	Model porušení betonu	34
2.3.6	Model porušení betonu metoda CCD (Concrete capacity design)	34
2.3.7	Modely kombinovaného porušení betonu a selhání soudržnosti	35
2.3.8	Koncepce odolnosti chemické kotvy při tahovém zatížení dle Eurokódu 2	38
2.4	Kontaktní materiály (lepidla) a jimi zprostředkované spojení	42
2.4.1	Nejběžnější typy kontaktních materiálů	42
2.4.1.1	Lepidla na bázi epoxidových pryskyřic	44
2.4.1.2	Lepidla na bázi polyesterových pryskyřic	44
2.4.1.3	Lepidla na bázi vinylesterové pryskyřice	45
2.4.2	Soudržnost – kvalita spojení zprostředkovaná lepidlem	45
2.4.3	Parametry ovlivňující kvalitu spojení zprostředkovanou lepidlem	46
3	Cíle habilitační práce	50
4	Experimenty a jejich vyhodnocení	52
4.1	Metodika testování	52
4.1.1	Neomezená zkouška	52
4.1.2	Omezená zkouška	54

4.1.3	Modifikovaná omezená zkouška – podrobný popis použité metodiky zkoušení....	56
4.1.3.1	Zkušební sestava pro modifikovanou omezenou zkoušku	57
4.1.3.2	Zkušební ocelový přípravek.....	58
4.1.3.3	Kotevní šroub	59
4.1.3.4	Aretace kotevního šroubu – osazovací přípravek	60
4.1.3.5	Přípravky pro osazení snímačů dráhy a hydraulického válce	63
4.1.3.6	Vystředovací přípravky	63
4.1.3.7	Popis použitých zařízení	64
4.1.3.8	Příprava zkušební přípravku pro zkoušku	64
4.1.3.9	Aplikace kotevního materiálu	65
4.1.3.10	Provedení zkoušky	65
4.1.3.11	Vyhodnocení zkoušky.....	66
4.2	Provedené experimenty – mezní zatížení tahovou silou	67
4.2.1	Provedené experimenty – zkoušky kotev neomezenou zkouškou	67
4.2.2	Provedené experimenty – navazující omezené zkoušky.....	71
4.3	Použití modifikované omezené zkoušky ve vývoji lepidel pro dodatečně osazované chemické kotvy.....	75
4.3.1	Návrh a testování základních receptur při běžné teplotě blízké 20 °C	76
4.3.1.1	Příprava vzorků lepidel.....	76
4.3.1.2	Testované receptury lepidel	77
4.3.2	Testování plničů	88
4.3.2.1	Plniče – Mletý vápenec	88
4.3.2.2	Plniče- Uhlíková vlákna	91
4.3.2.3	Plniče - Nanoplňiva	95
4.3.3	Test vybraných receptur při aplikaci v nízké teplotě.....	103
4.3.3.1	Test vytvrzování lepidla receptury 510 při teplotě 5 °C.....	103
4.3.3.2	Test vytvrzování lepidla receptury 531-AN2609 při teplotě 5 °C.....	105
4.3.4	Porovnání omezené zkoušky a modifikované omezené zkoušky na vzorcích vybrané receptury	107
4.3.5	Test vybrané receptury při dlouhodobém zatížení	111
5	Kalibrace modelů predikujících mezní tahové zatížení s pomocí experimentálně získaných dat	117
5.1	Metriky použité pro hodnocení modelů predikce mezního tahového zatížení	117

5.2	Kalibrace parametrů vybraných modelů predikce mezní tahové síly	120
5.2.1	Primární modely a směr kalibrace.....	120
5.2.2	Nástroje kalibrace	121
5.2.2.1	Přímý postup inverzní analýzy – formulace problému	123
5.2.2.2	Účelová funkce úlohy.....	123
5.3	Srovnání modelů s databází experimentálních dat – provedené kalibrace	124
5.3.1	Kalibrace modelu 1 pro přiléhavost k experimentálním výsledkům.....	124
5.3.2	Kalibrace modelu 2 pro přiléhavost ke kalibrovanému modelu 1	127
5.3.3	Kalibrace modelu 2 pro přiléhavost k experimentálním výsledkům.....	130
6	Shrnutí a Závěr	133
6.1	Kontaktní materiály – metodika zkoušení, ověřování přísad.....	133
6.2	Kalibrace vybraných modelů predikce mezní tahové síly	134
7	Reference	136
8	Přílohy	140

Seznam obrázků:

1.1	<i>Dodatečně osazované kotvy – kotevní systémy</i>	20
	<i>Obr. 1-1</i> <i>Dodatečně osazovaná mechanická kotva s koncovým kuželem</i>	21
	<i>Obr. 1-2</i> <i>Dodatečně osazovaná mechanická kotva celoplášťová – OMO</i>	21
	<i>Obr. 1-3</i> <i>Samořezný kotevní šroub do betonu</i>	22
	<i>Obr. 1-4</i> <i>Systémy chemických kotev</i>	23
	<i>Obr. 1-5</i> <i>Kartušový systém chemické kotvy, kartuše s komorami a směšovací spirála</i>	24
	<i>Obr. 1-6</i> <i>Patronový systém chemické kotvy</i>	24
	<i>Obr. 1-7</i> <i>Kotevní šroub s břitem určený pro patronové systémy chemických kotev</i>	25
	<i>Obr. 1-8</i> <i>Chemická kotva patronová po instalaci v betonu</i>	25
	<i>Obr. 1-9</i> <i>Nedokonale rozrušený obal patrony při instalaci</i>	25
	<i>Obr. 1-10</i> <i>Speciální typy kotevních šroubů pro použití například v trhlinovém betonu, nebo jako demontovatelná kotva</i>	26
1.2	<i>Podmínky instalace, aktivace a působení ovlivňující únosnost dodatečně osazovaných chemických kotev</i>	26
2.1	<i>Základní typy experimentů pro získání dat</i>	28
	<i>Obr. 2-1</i> <i>Princip neomezené zkoušky (vlevo), princip omezené zkoušky (vpravo)</i>	28
2.2	<i>Základní typy porušení tahem zatížené dodatečně osazované chemické kotvy</i>	29
	<i>Obr. 2-2</i> <i>Typy porušení lepené kotvy při zatížení tahem [4]: a – přetržení kotevního šroubu, b – selhání kontaktu lepidlo-beton, c – selhání kontaktu ocel-lepidlo, d – porušení kontaktního materiálu (lepidla), e – vytržení kužele betonu</i>	29
2.3	<i>Modely predikce mezního tahového zatížení</i>	30
	<i>Obr. 2-3</i> <i>Předpoklad rovnoměrného rozložení napětí na kontaktech</i>	31
	<i>Obr. 2-4</i> <i>Předpoklad rozložení napětí po kotevní délce za předpokladu elastického působení [11]</i> ...	31
	<i>Obr. 2-5</i> <i>Model elastického působení vrstvy lepidla [11]</i>	32
	<i>Obr. 2-6</i> <i>Porovnání modelů predikce mezní tahové síly pro poruchu soudržnosti (2.3) - oranžová, poruchu betonu (2.16) - modrá a modelu kombinované poruchy (2.23)- zelená, pro výše uvedenou konfiguraci kotvy a koeficientů</i>	37
	<i>Obr. 2-7</i> <i>Skutečný tvar rozhraní mezi lepidlem a betonem</i>	37
	<i>Obr. 2-8</i> <i>Geometrie základny idealizovaného kužele betonu</i>	39
2.4	<i>Kontaktní materiály (lepidla) a jimi zprostředkované spojení</i>	42
	<i>Obr. 2-9</i> <i>Přehled systémů kontaktních materiálů z pohledu chemického složení [9]</i>	44
	<i>Obr. 2-10</i> <i>Vliv technologie vrtání otvoru na průběh mezního napětí na kontaktu mezi lepidlem a betonem</i>	47
	<i>Obr. 2-11</i> <i>Vliv kvality čištění otvoru na hodnotu mezního napětí na kontaktu mezi lepidlem a betonem</i>	48
	<i>Obr. 2-12</i> <i>Vliv vysoké teploty na mezní napětí na kontaktu</i>	49
4.1	<i>Metodika testování</i>	52
	<i>Obr. 4-1</i> <i>Princip neomezené zkoušky dle směrnice pro evropské schválení ETAG [2]</i>	52
	<i>Obr. 4-2</i> <i>Pracovní diagram neomezené zkoušky – platnost výsledku [2]</i>	53
	<i>Obr. 4-3</i> <i>Princip omezené zkoušky dle směrnice pro evropské schválení ETAG [2]</i>	54
	<i>Obr. 4-4</i> <i>Vyhodnocení hodnoty selhání kontaktu v závislosti na tvaru pracovního diagramu z omezené zkoušky [2]</i>	55
	<i>Obr. 4-5</i> <i>Idealizovaný tvar rozhraní mezi jednotlivými materiály</i>	56

Obr. 4-6 Schéma zkušební sestavy pro použitou modifikovanou omezenou zkoušku.....	58
Obr. 4-7 Ocelový zkušební přípravek pro modifikovanou omezenou zkoušku	59
Obr. 4-8 Použitelnost modifikované omezené zkoušky vzhledem k použitým materiálům.....	60
Obr. 4-9 Aretace kotevního šroubu v ocelovém zkušebním přípravku pomocí trojice šroubů	61
Obr. 4-10 Navržený osazovací přípravek pro přípravu 4 zkušebních vzorků.....	61
Obr. 4-11 Aretace šesti kotevních šroubů pomocí stavěcích šroubů	62
Obr. 4-12 Aretace čtyř kotevních šroubů pomocí osazovacího přípravku.....	62
Obr. 4-13 Přípravek pro osazení snímačů dráhy	63
Obr. 4-14 Přípravky pro osazení hydraulického válce	64
4.2 Provedené experimenty – mezní zatížení tahovou silou	67
Obr. 4-15 Použité těleso pro neomezenou zkoušku kotev průměru M16	67
Obr. 4-16 Tělesa navržená pro ověřování kotev M10 a M12 s větší kotevní délkou.....	67
Obr. 4-17 Schéma zkušební sestavy použité pro neomezenou zkoušku.....	68
Obr. 4-18 Realizace neomezené tahové zkoušky	69
Obr. 4-19 Příklad výsledků provedených testů kotev s proměnnou kotevní délkou.....	70
Obr. 4-20 Výsledky provedených neomezených tahových zkoušek – dosažené mezní tahové zatížení v závislosti na kotevní délce – normalizovaná data	70
Obr. 4-21 Betonové těleso použité pro realizaci omezených zkoušek.....	71
Obr. 4-22 Realizace omezené zkoušky v betonovém tělese	72
Obr. 4-23 Napětí na rozhraní mezi lepidlem a betonem – test epoxidové pryskyřice.....	73
Obr. 4-24 Výsledky omezené zkoušky – střední hodnoty mezního napětí na rozhraní mezi lepidlem a betonem	73
Obr. 4-25 Vzorek vinyl-uretanové pryskyřice před a po porušení při omezené zkoušce	74
Obr. 4-26 Vzorek epoxidové pryskyřice před a po porušení při omezené zkoušce	74
4.3 Použití modifikované omezené zkoušky ve vývoji lepidel pro dodatečně osazované chemické kotvy	75
Obr. 4-27 Predikce mezního tahového zatížení kotvy v závislosti na vstupních parametrech dle vztahu (2.23) a vztahu (2.24).....	75
Obr. 4-28 Laboratorní míchadlo (vlevo); Laboratorní dispergátor (vpravo)	76
Obr. 4-29 Komora laboratorního hnětače s míchacími hřídelemi.....	77
Obr. 4-30 Gel time pro směs DBP a NL-63-100	79
Obr. 4-31 Gel time pro směs DBP a DMPT	79
Obr. 4-32 Výsledky modifikované omezené zkoušky pro recepturu 531.....	80
Obr. 4-33 Vzorek lepidla receptury 531 po porušení.....	81
Obr. 4-34 Výsledky modifikované omezené zkoušky pro recepturu Derakane 411	81
Obr. 4-35 Vzorek lepidla receptury Derakane 411 po porušení	82
Obr. 4-36 Vliv koncentrace terc. aminů na gel-time	83
Obr. 4-37 Výsledky modifikované omezené zkoušky pro recepturu 531-S.....	84
Obr. 4-38 Vzorek lepidla receptury 511-S po porušení.....	84
Obr. 4-39 Gel-time v závislosti na koncentraci aktivátorů	85
Obr. 4-40 Výsledky modifikované omezené zkoušky pro recepturu 510.....	86
Obr. 4-41 Vzorek lepidla receptury 510 po porušení.....	86
Obr. 4-42 Výsledky modifikované omezené zkoušky pro recepturu 531-AN2609.....	87
Obr. 4-43 Vzorek lepidla receptury 531-AN2609 po porušení.....	88
Obr. 4-44 Výsledky modifikované omezené zkoušky pro recepturu Derakane 411-V80.....	89

Obr. 4-45 Vzorek lepidla receptury Derakane 411-V80 po porušení.....	89
Obr. 4-46 Výsledky modifikované omezené zkoušky pro recepturu 531-V80	90
Obr. 4-47 Vzorek lepidla receptury 531-V80 po porušení	91
Obr. 4-48 Výsledky modifikované omezené zkoušky pro recepturu Derakane 411-C10.....	92
Obr. 4-49 Vzorek lepidla receptury Derakane 411-C10 po porušení.....	93
Obr. 4-50 Výsledky modifikované omezené zkoušky pro recepturu 531-C10.....	93
Obr. 4-51 Výsledky modifikované omezené zkoušky pro recepturu 531-C30.....	94
Obr. 4-52 Výsledky modifikované omezené zkoušky pro recepturu 531-C50.....	94
Obr. 4-53 Vzorky lepidel receptur 531-C10, C30 a C50 po porušení.....	95
Obr. 4-54 Dobrá dispergace (vlevo), špatná dispergace (vpravo).....	96
Obr. 4-55 Výsledky modifikované omezené zkoušky pro recepturu 531-CN.....	97
Obr. 4-56 Výsledky modifikované omezené zkoušky pro recepturu 531-G0,03b.....	100
Obr. 4-57 Výsledky modifikované omezené zkoušky pro recepturu 531-G0,06.....	100
Obr. 4-58 Výsledky modifikované omezené zkoušky pro recepturu 531-G0,5.....	101
Obr. 4-59 Výsledky modifikované omezené zkoušky pro recepturu 531- G043-0,03.....	101
Obr. 4-60 Výsledky modifikované omezené zkoušky pro recepturu 531- G043-0,06.....	102
Obr. 4-61 Výsledky modifikované omezené zkoušky pro recepturu 531- G043-0,5.....	102
Obr. 4-62 Temperování zkušebních přípravků a složek lepidel v klimatizační komoře	103
Obr. 4-63 Výsledky modifikované omezené zkoušky pro recepturu 510 při 5 °C	104
Obr. 4-64 Vzorek lepidla receptury 510 po zkoušce po 18 hodinách v 5 °C.....	104
Obr. 4-65 Vzorek lepidla receptury 510 po zkoušce po 24 hodinách v 5 °C.....	104
Obr. 4-66 Vzorek lepidla receptury 510 po zkoušce po 48 hodinách v 5 °C.....	105
Obr. 4-67 Vzorek lepidla receptury 510 po zkoušce po 68 hodinách v 5 °C.....	105
Obr. 4-68 Výsledky modifikované omezené zkoušky pro recepturu 531-AN2609 při 5 °C	106
Obr. 4-69 Vzorek lepidla receptury 531-AN2609 po zkoušce po 15 hodinách v 5 °C	106
Obr. 4-70 Vzorek lepidla receptury 531-AN2609 po zkoušce po 24 hodinách v 5 °C	106
Obr. 4-71 Vzorek lepidla receptury 531-AN2609 po zkoušce po 48 hodinách v 5 °C	106
Obr. 4-72 Vzorek receptury 531-AN2609 po zkoušce po 72 hodinách v 5 °C.....	107
Obr. 4-73 Porovnání dosažených hodnot mezního napětí na sledovaném rozhraní pro receptury 510 a 531-AN2609 při použití v teplotě 5 °C.....	107
Obr. 4-74 Omezená zkouška na vzorku 531-AN2609-B.....	108
Obr. 4-75 Porovnání 3 sad testů modifikovanou omezenou zkouškou a omezenou zkouškou – receptura 531-AN2609.....	108
Obr. 4-76 Vybrané vyhodnocení mezní hodnoty napětí na sledovaném rozhraní, odpovídající tahové síle počátku nekontrolovaného posunu $N_{u,adh}$ - sada 531-AN2609-a	110
Obr. 4-77 Vybrané vyhodnocení mezní hodnoty napětí na sledovaném rozhraní, odpovídající tahové síle počátku nekontrolovaného posunu $N_{u,adh}$ - test 531-AN2609-B10.....	110
Obr. 4-78 Schéma upravené zkušební sestavy pro modifikovanou omezenou zkoušku pro vyvození dlouhodobě působící síly	112
Obr. 4-79 Vnášení dlouhodobého zatížení do vzorku za pomoci evolutní pásové pružiny.....	112
Obr. 4-80 Realizace zkoušky s dlouhodobým zatížením.....	113
Obr. 4-81 Dlouhodobá zkouška 531-AN2609-Test 1.....	113
Obr. 4-82 Dlouhodobá zkouška 531-AN2609-Test 2	114
Obr. 4-83 Dlouhodobá zkouška 531-AN2609-Test 3.....	114
Obr. 4-84 Dlouhodobá zkouška 531-AN2609-Test 4.....	115

Obr. 4-85 Dlouhodobá zkouška 531-AN2609-Test 5	115
Obr. 4-86 Dlouhodobá zkouška 531-AN2609-Test 6	116
5.1 Metriky použité pro hodnocení modelů predikce mezního tahového zatížení	117
5.2 Kalibrace parametrů vybraných modelů predikce mezní tahové síly	120
Obr. 5-1 Provedené kalibrace vybraných modelů predikce mezní tahové síly	121
Obr. 5-2 Schéma genetického evolučního algoritmu	122
5.3 Srovnání modelů s databází experimentálních dat – provedené kalibrace	124
Obr. 5-3 Párový graf výsledků experimentů a modelu predikce dle EN 1992-4	125
Obr. 5-4 Změna metrik pro model dle EN 1994-2 s různou hodnotou parametru k	125
Obr. 5-5 Párový graf výsledků experimentů a modelu predikce dle ACI 318-19, pro trhlinový beton	126
Obr. 5-6 Párový graf výsledků experimentů a modelu predikce - R. A. Cook [11]	127
Obr. 5-7 Párový graf výsledků experimentů a modelu predikce – model 2 (Barnat 2010)	128
Obr. 5-8 Grafické srovnání kalibrovaných modelů 1 a 2 pro vybrané parametry	128
Obr. 5-9 Párový graf výsledků experimentů a modelu predikce – model 2 (Barnat 2022)	131
Obr. 5-10 Porovnání modelu 1 a modelu 2 s experimentálními daty	132
6.1 Kontaktní materiály – metodika zkoušení, ověřování přísad	133
6.2 Kalibrace vybraných modelů predikce mezní tahové síly	134

Seznam tabulek:

Tab. 4-1 Vlastnosti epoxidových pryskyřic	78
Tab. 4-2 Vlastnosti vinyl-esterových pryskyřic	78
Tab. 4-3 Základní receptura Derakane 411	80
Tab. 4-4 Základní receptura 531	80
Tab. 4-5 Receptura modifikované epoxidové pryskyřice 531-S	83
Tab. 4-6 Receptura modifikované epoxidové pryskyřice CHS-EPOXY 510 pro použití v nízkých teplotách	85
Tab. 4-7 Receptura modifikované epoxidové pryskyřice CHS- EPOXY 531 pro použití v nízkých teplotách	87
Tab. 4-8 Receptura Derakane 411-V80	89
Tab. 4-9 Receptura 531-V80	90
Tab. 4-10 Receptura 531-C10	91
Tab. 4-11 Receptura Derakane 411-C10	91
Tab. 4-12 Receptura 531-C30	92
Tab. 4-13 Receptura 531-C50	92
Tab. 4-14 Receptura 531-CN	96
Tab. 4-15 Receptura 531-G0,3	97
Tab. 4-16 Receptura 531-G0,03b	98
Tab. 4-17 Receptura 531-G0,06	98
Tab. 4-18 Receptura 531-G0,5	98
Tab. 4-19 Receptura 531-G043-0,03	99
Tab. 4-20 Receptura 531-G043-0,06	99
Tab. 4-21 Receptura 531-G043-0,5	99
Tab. 4-22 Vyhodnocení charakteristické hodnoty mezního napětí na kontaktu, porovnání omezené zkoušky a modifikované omezené zkoušky	109

<i>Tab. 5-1 Mezní hodnoty pro nultou generaci kalibrovaných parametrů</i>	<i>124</i>
<i>Tab. 5-2 Mezní hodnoty generování vstupů do modelu 1 a modelu 2</i>	<i>129</i>
<i>Tab. 5-3 Hodnocení zvolené funkce modelu 2 kalibrované pro nejvyšší přiléhavost k funkci modelu 1</i>	<i>129</i>
<i>Tab. 5-4 Parametry modelu 2 kalibrovaného pro přiléhavost k experimentálním výsledkům.....</i>	<i>130</i>
<i>Tab. 5-5 Porovnání jednotlivých kritérií (metrik) pro různě kalibrované modely.....</i>	<i>131</i>
<i>Tab. 8-1 Souhrn provedených omezených a modifikovaných omezených zkoušek souvisejících s návrhem vhodné receptury lepidla</i>	<i>140</i>
<i>Tab. 8-2 Reference a jejich značení v Tab. 8-3</i>	<i>143</i>
<i>Tab. 8-3 Databáze výsledků omezených a neomezených zkoušek zahrnující vlastní experimenty i experimenty publikované v odborné literatuře (viz příslušné reference).....</i>	<i>144</i>

VÝZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ:

A	průřezová plocha kotevního šroubu
a	parametr navrženého modelu predikce mezní tahové síly
$A_{c,N}^0$	plocha základny idealizovaného betonového kuželu
$A_{p,N}^0$	plocha základny idealizovaného betonového kuželu pro poruchu vytažením
$A_{c,N}$	účinná plocha základny idealizovaného betonového kuželu
$A_{p,N}$	účinná plocha základny idealizovaného betonového kuželu pro poruchy vytažením
A_s	plocha jádra kotevního šroubu
b	parametr navrženého modelu predikce mezní tahové síly
c	vzdálenost osy kotevního šroubu od okraje betonu; koeficient redukce kotevní délky; parametr navrženého modelu predikce mezní tahové síly
$c_{cr,N}$	mezní vzdálenost osy kotevního šroubu od okraje betonu
$c_{cr,Np}$	mezní vzdálenost osy kotevního šroubu od okraje betonu pro poruchu vytažením v kombinaci s poruchou betonu
d	průměr kotevního šroubu
d_o	průměr vrtaného otvoru
E	modul pružnosti oceli v tahu a tlaku
E	experiment – funkce
e_1	norma – hodnotící kritérium, chybová funkce, metrika
e_2	norma – hodnotící kritérium, chybová funkce, metrika
e_3	norma – hodnotící kritérium, chybová funkce, metrika
e_N	excentricita výsledného tahového zatížení na kotvy
F	chybová funkce
f'_c	stanovená hodnota pevnosti betonu v tlaku dle [1]
f_c	pevnost betonu v tlaku stanovená na válci průměru 150 mm výšky 300 mm
$f_{c,150}$	pevnost betonu v tlaku stanovená na krychli o hraně délky 150 mm
$f_{c,200}$	pevnost betonu v tlaku stanovená na krychli o hraně délky 200 mm
$f_{c,k}$	charakteristická hodnota válcové pevnosti betonu v tlaku
f_{uk}	charakteristická mez pevnosti oceli šroubu
f_{yk}	charakteristická mez kluzu oceli šroubu
h	kotevní délka
h_{cone}	mezní výška povrchového kužele porušeného betonu
h_{ef}	efektivní kotevní délka

j	parametr metody CCD pro různé podmínky použití kotev – mocnina kotevní délky
k	parametr metody CCD pro různé podmínky použití kotev
k_1	parametr metody CCD pro různé podmínky použití kotev
k_3	parametr metody CCD pro různé podmínky použití kotev
k_c	parametr metody CCD pro různé podmínky použití kotev
k_s	koeficient rozšíření vyhodnocovaného souboru výsledků
l	parametr metody CCD pro různé podmínky použití kotev – mocnina pevnosti betonu
M	matematický model – funkce
MAPE	hodnotící kritérium, chybová funkce, metrika
n	počet tažených kotev ve skupině
N	počet vzorků sledovaného statistického souboru
$N_{Rk,c}^0$	charakteristická únosnost v tahu jedné kotvy při poruše betonu
$N_{Rk,p}^0$	charakteristická únosnost v tahu jedné kotvy při poruše vytažením v kombinaci s poruchou betonu
N_1	tahové zatížení kotvy při neomezené zkoušce odpovídající nekontrolovatelnému posunu kotvy
N_b	mezní tahové zatížení kotvy pro poruchu betonu dle [1]
$N_{R,u}$	mezní tahové zatížení kotvy (obecná predikce, či výsledek experimentu)
$N_{Rd,c}$	návrhová únosnost skupiny kotev nebo kotvy v tahu při poruše betonu
$N_{Rd,p}$	návrhová únosnost skupiny kotev nebo kotvy v tahu při poruše vytažením kombinované s poruchou betonu
$N_{Rd,s}$	návrhová únosnost kotevního šroubu v tahu
$N_{Rk,c}$	charakteristická únosnost skupiny kotev nebo kotvy v tahu při poruše betonu
$N_{Rk,p}$	charakteristická únosnost skupiny kotev nebo kotvy v tahu při poruše vytažením kombinované s poruchou betonu
$N_{Rk,s}$	charakteristická únosnost kotevního šroubu v tahu
N_{sust}	tahová síla při dlouhodobém zatížení
N_{sust}	tahové zatížení kotvy pro dlouhodobou zkoušku
N_u	mezní tahové zatížení kotvy (obecná predikce, či výsledek experimentu)
$N_{u,adh}$	tahové zatížení kotvy při neomezené zkoušce odpovídající počátku nekontrolovatelnému posunu kotvy
$N_{u,norm}$	mezní tahové zatížení kotvy – normovaný výsledek experimentu
p	počet proměnných parametrů sledované funkce
r^2	koeficient determinace – hodnotící kritérium, chybová funkce, metrika

r^2_{adj}	adjustovaný koeficient determinace – hodnotící kritérium, chybová funkce, metrika
s	směrodatná odchylka vyhodnocovaného souboru výsledků
$S_{cr,N}$	délka hrany základny idealizovaného kužele betonu
$S_{cr,Np}$	délka hrany základny idealizovaného kužele betonu pro poruchu vytažením v kombinaci s poruchou betonu
SMAPE	hodnotící kritérium, chybová funkce, metrika
SMAPE ₂₀₀	hodnotící kritérium, chybová funkce, metrika
S_{Resid}	součet čtverců residuí
S_T	součet čtverců residujících jednotlivých hodnot od střední hodnoty
w	smyková deformace vrstvy lepidla
x^M	optimální vstup matematického modelu
x^E	vstup pro experiment
x^M	vstup matematického modelu
y^E	výstup experimentu
y_i	jednotlivý empirický výsledek experimentu
\hat{y}_i	jednotlivý výsledek predikce modelu
y^M	výstup matematického modelu
z	deformace kotevního šroubu při působení síly N_u , rameno vnitřních sil v kotevním styčnicku
α	sklon stěny vytrhávaného kužele betonu (měřeno od horní hrany betonu)
α_2	poměr výsledků zkoušek při nejvyšší dlouhodobé a normální teplotě
α_3	poměr výsledků zkoušek při nejvyšší krátkodobé a normální teplotě
α_4	poměr výsledků zkoušek za normálních a speciálních podmínek
α_{sus}	poměr hodnoty dlouhodobých účinků zatížení a celkových účinků zatížení v mezním stavu únosnosti
γ	poměrné přetvoření lepidla od smykové síly
γ_c	dílčí součinitel spolehlivosti pro beton v tlaku
γ_{inst}	dílčí součinitel spolehlivosti instalace kotvy
$\gamma_{M,c}$	dílčí součinitel spolehlivosti pro dodatečně osazované kotvy při poruše betonu
$\gamma_{M,p}$	dílčí součinitel spolehlivosti pro dodatečně osazované kotvy při kombinované poruše vytažením a porušením betonu
$\gamma_{M,s}$	dílčí součinitel spolehlivosti pro ocel kotevního šroubu v tahu
ϵ	poměrné tahové/tlakové přetvoření oceli

λ	tuhostní parametr kotvy daný geometrickými a materiálovými parametry kotvy, závislý na průměru vrtání otvoru d_0
λ'	tuhostní parametr kotvy daný geometrickými a materiálovými parametry kotvy, nezávislý na průměru vrtání otvoru d_0
λ_a	modifikační součinitel zohledňující redukcí mezního tahového zatížení zohledňující vliv lehčeného betonu dle [1]
v	výběrový variační koeficient vyhodnocovaného souboru výsledků
τ_{max}	maximální smykové napětí na rozhraní kontaktu lepidla a beton od síly N_u
τ_{Rk}	charakteristická hodnota soudržnosti kontaktu mezi kotevním šroubem a lepidlem
$\tau_{Rk,0}$	charakteristická hodnota soudržnosti kontaktu mezi lepidlem a betonem
$\tau_{Rk,c}$	charakteristická hodnota soudržnosti kontaktu mezi kotevním šroubem a lepidlem pro skupinu kotev
$\tau_{Rk,cr}$	charakteristická hodnota soudržnosti kontaktu mezi kotevním šroubem a lepidlem pro beton s trhlinami
$\tau_{Rk,ucr}$	charakteristická hodnota soudržnosti kontaktu mezi kotevním šroubem a lepidlem pro beton bez trhlin
τ_{sust}	rovnoměrné napětí na rozhraní mezi betonem a lepidlem od síly N_{sust}
τ_u	rovnoměrné napětí na rozhraní mezi kotevním šroubem a lepidlem od síly N_u
$\tau_{u,0}$	rovnoměrné napětí na rozhraní mezi betonem a lepidlem od síly N_u
$\tau_{u,adh}$	rovnoměrné napětí na rozhraní mezi kotevním šroubem a lepidlem od síly $N_{u,adh}$
$\tau_{u,i}$	dílčí výsledek experimentu pro rovnoměrné napětí na rozhraní mezi kotevním šroubem a lepidlem od síly N_u
$\tau_{u,mean}$	střední hodnota výsledků experimentů pro rovnoměrné napětí na rozhraní mezi kotevním šroubem a lepidlem od síly N_u
$\tau_{u,mean}$	rovnoměrné napětí na rozhraní mezi betonem a lepidlem od síly N_u , střední hodnota vyhodnocovaného souboru výsledků
$\psi_{g,Np}^0$	součinitel působení skupiny kotev, které jsou umístěné blízko sebe – základní hodnota
ψ_{sus}^0	součinitel vlivu dlouhodobých účinků v závislosti na odpovídající evropské technické specifikaci výrobku – základní hodnota
$\psi_{ec,N}$	součinitel, který zohledňuje stav, kdy na jednotlivé kotvy ve skupině působí odlišné tahové zatížení
$\psi_{ec,Np}$	součinitel pro kombinovanou poruchu vytažením a porušením betonu, který zohledňuje stav, kdy na jednotlivé kotvy ve skupině působí odlišné tahové zatížení
$\psi_{g,Np}$	součinitel, působení skupiny kotev, které jsou umístěné blízko sebe
$\psi_{M,N}$	součinitel vlivu tlakové síly mezi kotevní deskou a betonem

$\psi_{re,N}$	součinitel, který zohledňuje odloupenutí porušení krycí vrstvy betonu
$\psi_{re,N}$	součinitel, který zohledňuje odloupenutí porušení krycí vrstvy betonu
$\psi_{s,N}$	součinitel, který zohledňuje nepravidelnosti rozdělení napětí v betonu způsobené okraji betonového prvku
$\psi_{s,Np}$	součinitel pro kombinovanou poruchu vytažením a porušením betonu, který zohledňuje nepravidelnosti rozdělení napětí v betonu způsobené okraji betonového prvku
ψ_{sus}	součinitel vlivu dlouhodobých účinků zatížení

1 Úvod

Problematika řešení kotevních styčníků nosných konstrukčních částí budov či liniových staveb je široce diskutovaným tématem již řadu let. Zejména ve vztahu k použití dodatečně osazovaných kotev. Tento typ kotevního styčnicku se začal ve větším měřítku používat při praktických realizacích zejména v druhé polovině 20. století. V osmdesátých, devadesátých letech dvacátého století a dále také v období přelomu tisíciletí probíhají ve světě různé experimentální analýzy za účelem pozorování různých vlivů, které jsou ve svém důsledku určující pro odolnost kotevního styčnicku realizovaného pomocí dodatečně osazovaných kotev. Souběžně s popisem efektů jednotlivých parametrů podmínek působení na výsledné chování styčnicku jsou odvozovány vztahy pro určení únosnosti dodatečně osazované kotvy působící samostatně nebo ve skupině. V současné době jsou metody stanovení únosnosti kotevního styčnicku implementovány ve stěžejních normách pro navrhování, jako jsou [1-3].

1.1 Dodatečně osazované kotvy – kotevní systémy

Nejtypičtějším příkladem využití kotev ve stavební praxi je v připojení nadzemní části nosné konstrukce k základové konstrukci. Nejčastěji se tedy kotvy používají pro připojení konstrukce k betonovému základu. Obecně lze použít předem osazované kotevní šrouby, které jsou vhodné zejména pro velké zatížení. Nevýhodou použití tohoto systému předem osazených kotev je nutnost návrhu polohy kotev se zohledněním tolerance výsledných rozměrů, postupu betonáže s ohledem na možné kolize s betonářskou výztuží a celková koncepce přenosu sil v betonu. Pro kotvení konstrukcí, jež při zatížení vyvolávají obecně menší účinky na spodní stavbu lze s výhodou použít kotvy dodatečně osazované.

Při použití dodatečně osazovaných kotev lze dosáhnout vyšší výsledné přesnosti, jelikož poloha kotevního šroubu není ovlivněna procesem betonáže. Proces instalace dodatečně osazovaného kotevního šroubu však vyžaduje použití vhodné vrtací techniky. Použití těchto systémů historicky tedy souvisí i s rozšířením dostupné kvalitní vrtací techniky. V dnešní době, je tato technologie naprosto běžně dostupná a použití dodatečně osazovaných kotev se ukázalo jako nejsnazší, nejrychlejší, nejekonomičtější a tím pádem nejefektivnější systém propojení nosné konstrukce se základem.

Dodatečně osazované kotvy lze rozlišit na dva základní směry konstrukčního provedení. Prvním variantou jsou mechanické dodatečně osazované kotvy a druhou skupinou jsou kotvy chemické. Pro chemické kotvy se běžně používá také termín lepené kotvy či adhezivní kotvy.

1.1.1 Dodatečně osazované mechanické kotvy

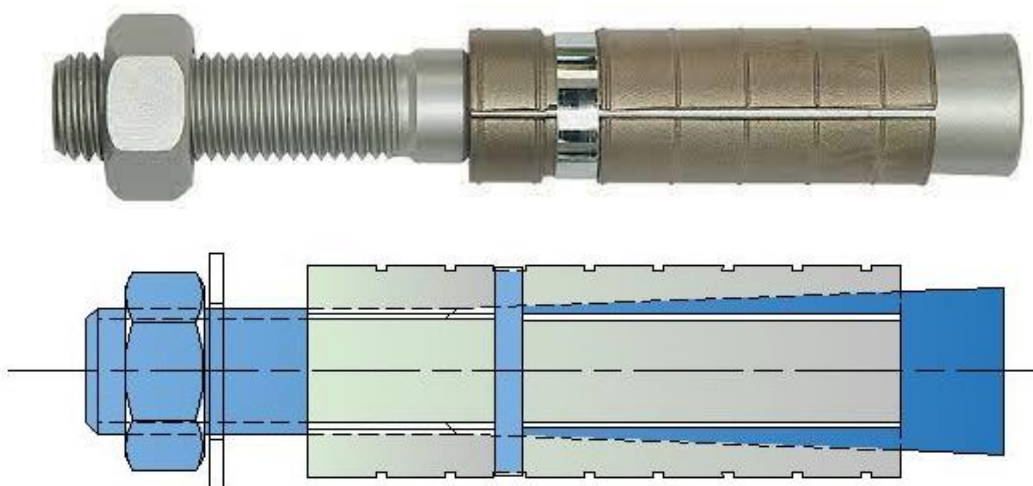
Dodatečně osazované mechanické kotvy jsou charakteristické tím, že pro správnou funkci v nosném systému vyžadují nějakou formu aktivace. Z tohoto pohledu lze dále tyto kotvy členit.

Nejběžnějším typem kotev je kotva jejíž spodní část má tvar kuželu a při aktivaci, která se provádí postupným utahováním matice kotvy předepsaným utahovacím momentem, této kužel postupně zajíždí do pláště kotvy, který se deformuje (Obr. 1-1). Kotva tak ve své spodní části mění tvar a průměr. Deformovaným pláštěm se pak opře o stěny otvoru. Přenos sil se u takového typu kotvy děje třením pláště o stěny otvoru s přítlačnou silou vzniklou deformací kotvy. Povrch pláště kotvy není konstruován jako hladký ale obvykle geometricky členitý. Tím se zvyšuje tření o stěnu otvoru. Částečně se také využívá efektu geometrického zámku, kdy výstupky na plášti kotvy působícím tlakem při aktivaci lokálně zatlačí do povrchu betonu.

Obdobným typem mechanické kotvy je kotva s roztažným pláštěm. V principu jde o stejný systém, ale v tomto případě má kotva tvar kuželu po celé své kotevní délce a je také opatřena pláštěm po celé délce (Obr. 1-2). K počáteční aktivaci kotvy dojde opět utažením příslušným utahovacím momentem, ale průměr pláště kotvy a jím způsobený přítlak na stěny otvoru se dále zvětšuje s narůstající tahovou silou. Některé kotvy s rozpěrným pláštěm jsou v principu demontovatelné, jelikož jejich deformace je po odtížení vratná.



Obr. 1-1 Dodatečně osazovaná mechanická kotva s koncovým kuželem

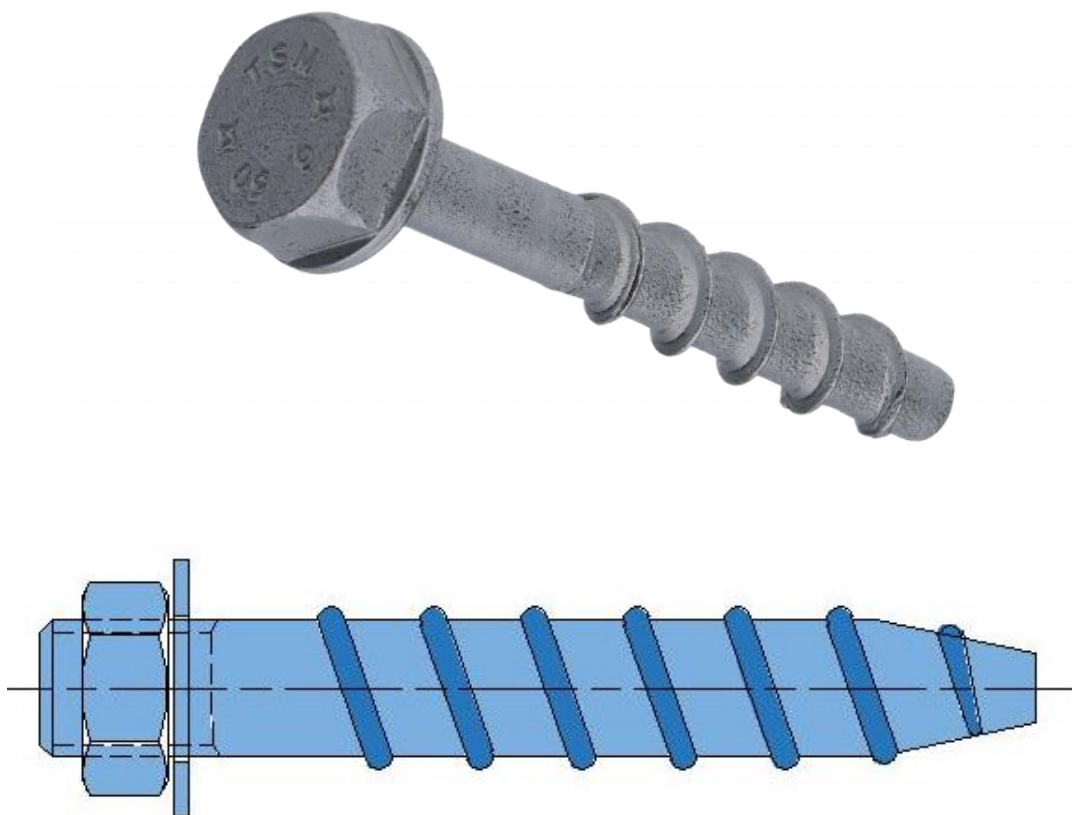


Obr. 1-2 Dodatečně osazovaná mechanická kotva celoplášťová – OMO

Tyto kotevní systémy se také označují jako expanzní kotvy.

Další variantou mechanických dodatečně osazovaných kotev jsou v podstatě samořezné kotevní šrouby do betonu (Obr. 1-3). Plášť kotevního šroubu je opatřen přečnávajícím tvrdokovovým závitem. Takovýto šroub lze při použití silného strojního šroubováku zavrtat do předem vyvrtaného otvoru. Tento způsob kotvení není používán v tak široké míře jako výše zmíněné dodatečně osazované kotevní systémy, zejména z důvodů vysokých požadavků na mechanizaci. Samořezné šrouby

nacházejí uplatnění zejména v lehčených betonech a tam, kde nejsou vysoké požadavky na přenos tahových sil.



Obr. 1-3 Samořezný kotevní šroub do betonu

1.1.2 Dodatečně osazované chemické kotvy

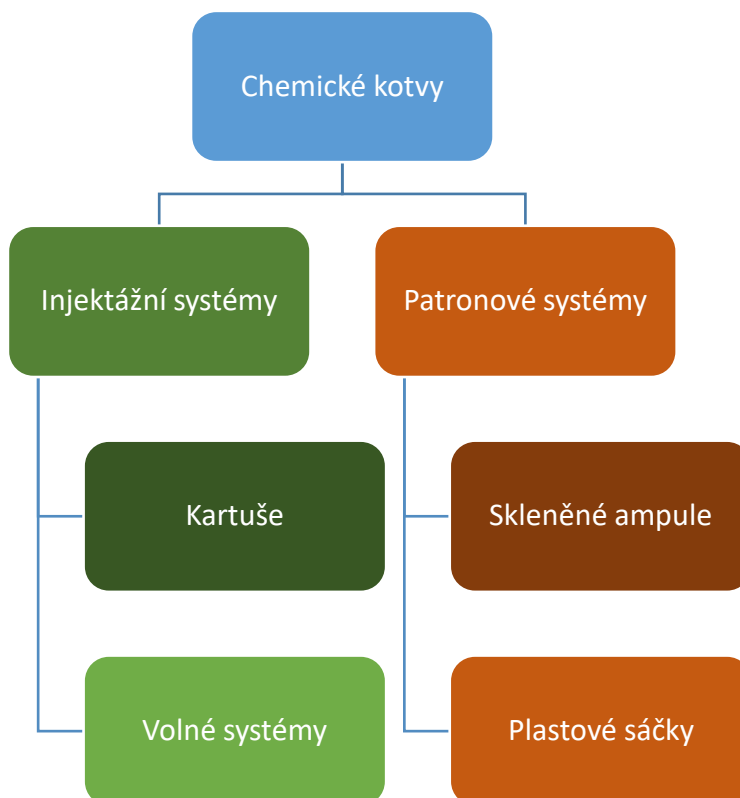
Druhou skupinou z nejpoužívanějších typů kotvení jsou kotvy lepené (také označované jako chemické či adhezivní). Pro tento systém dodatečného kotvení je charakteristické to, že v principu k aktivaci kotvy není zapotřebí žádného vnesení síly prostřednictvím utahovacího momentu apod. Za jistou formu aktivace lze u těchto systémů považovat proces vytvrzení hmoty či pojiva použitého pro spojení kotevního šroubu se základním materiálem.

Chemická kotva se obvykle skládá ze dvou částí. První částí je samotný kotevní šroub, který je při instalaci vlepen do předem vyvrtaného otvoru. Tvar kotevního šroubu může být různý. Je zpravidla přizpůsoben procesu instalace. Jednou z výhod některých typů dodatečně osazovaných chemických kotev je to, že jako kotevní šroub lze použít běžnou závitovou tyč. Vyvinuty byly i speciální tvary kotevních šroubů, které svým tvarem umožňují směřovat tok napětí v oblasti kontaktů a zároveň zvětšují kontaktní plochu oproti běžnému metrickému závitě.

Nejčastější systémy dodatečně osazovaných chemických kotev jsou charakteristické použitím relativně malého rozdílu mezi průměrem kotevního šroubu d a průměrem vrtaného otvoru d_0 . Poměr těchto průměrů se zpravidla pohybuje do hranice $d_0/d < 1,4$.

Základní typy dodatečně osazovaných chemických kotev lze dělit podle způsobu/procesu instalace, v souvislosti s tím, v jakém stavu jsou danými výrobci připraveny a dodávány. Zejména se

jedná o dvě skupiny. První z této skupiny jsou kotvy dodávané ve formě injektážních systémů a druhou skupinou jsou kotvy, které jsou připraveny ve formě patronového systému (Obr. 1-4).



Obr. 1-4 Systémy chemických kotev

1.1.2.1 Injektážní systémy dodatečně osazovaných chemických kotev

Injektážní systémy dodatečně osazovaných chemických kotev lze dělit na dva typy. V obou případech je ale lepidlo, tmel, či malta (obecně kontaktní materiál) dodáván v tekutém či polotekutém stavu. Prvním typem jsou kartušové systémy (Obr. 1-5). Jednotlivé složky lepidla (zpravidla pryskyřice a tvrdidlo) jsou u kartušových systémů umístěny v oddělených komorách kartuše. K jejich promíchání dojde při vytlačování směsi skrze směšovací spirálu našroubovanou na hrdlo kartuše. Požadovaného poměru složek je docíleno vhodným průměrem válcových komor kartuše.

Mimo kartušové systémy lze použít také tzv. volné systémy, u kterých jsou jednotlivé složky lepidla dodávány samostatně (volně) a je nutné je na staveništi smíchat v předepsaném poměru a následně vhodným systémem vtlačit do vývrtných otvorů. Tento systém klade velké nároky na manipulaci s kotvami a rovněž vysoké nároky na přesnost odměřeného množství složek. Z toho důvodu není příliš rozšířen.

Obecnou nevýhodou injektážních systémů je ten fakt, že připravená lepicí hmota je tekutá či částečně tekutá, nelze tedy obvykle realizovat kotvení v takových geometrických podmínkách, kdy by tato hmota v průběhu instalace vlivem gravitace vytekla z vyvrtaného otvoru. V takových podmínkách je vhodné použít patronové systémy.



Obr. 1-5 Kartušový systém chemické kotvy, kartuše s komorami a směřovací spirála

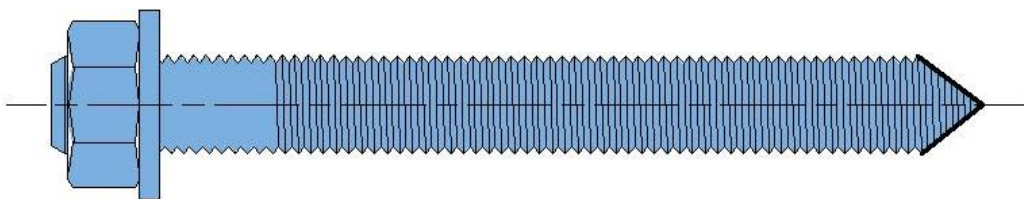
1.1.2.2 Patronové systémy dodatečně osazovaných chemických kotev

U patronových systémů jsou pro vnější obal patrony používány buď plastové obaly, nebo skleněné ampule (Obr. 1-6). Patrona obsahuje složky pryskyřice a plniv. Uvnitř patrony je obvykle druhá menší izolovaná schránka s tvrdidlem. Při instalaci kotvy se do předem vyvrtaného a vyčištěného otvoru vloží patrona, posléze se instaluje kotevní šroub skrz vloženou patronu rotačním pohybem a tlakem. U patronových systémů se používají kotevní šrouby, které jsou na svém spodním konci opatřeny břitem (Obr. 1-7) a na horním konci hlavou, kterou lze prostřednictvím příslušného nástroje upnout do elektrické vrtačky či šroubováku. Při instalaci kotvy dojde k rozrušení a smísení obsahu patrony.



Obr. 1-6 Patronový systém chemické kotvy

Instalace šroubu u patronového systému musí probíhat předepsaným tlakem a otáčkami tak, aby došlo k co nejlepšímu promísení složek lepidla (Obr. 1-8). Při nedodržení předepsaných postupů se může stát, že se složky dostatečně nepromísí, nebo nedojde k dokonalému rozrušení obalu patrony (Obr. 1-9).



Obr. 1-7 Kotevní šroub s břitem určený pro patronové systémy chemických kotev



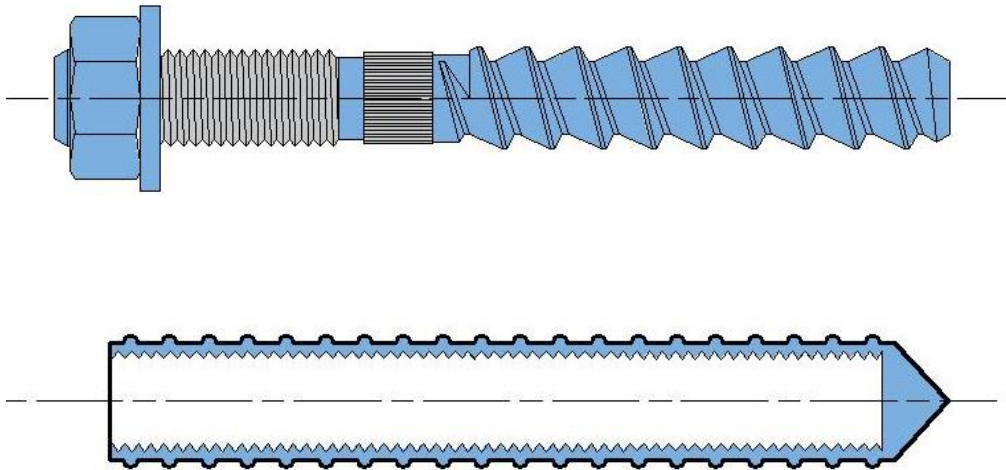
Obr. 1-8 Chemická kotva patronová po instalaci v betonu



Obr. 1-9 Nedokonale rozrušený obal patrony při instalaci

Většina systémů chemických dodatečně osazovaných kotev je určena pro použití v tzv. netrhlinovém betonu. To znamená do oblastí, kde není výrazně narušena struktura betonu vlivem tahových namáhání. Pro použití chemických kotev v oblasti trhlinového betonu, případně pro výrazná dynamická zatížení, byly vyvinuty speciální tvary kotevních šroubů, které svým tvarem mění směry rozložení napětí v kotevní oblasti a přidávají efekt rozpěrných sil na stěny vyvrtaného otvoru. Tyto kotevní šrouby mají na svém povrchu několik výstupků ve tvaru dílčích kuželů (Obr. 1-10).

Na místo samotného kotevního šroubu lze u chemických kotev použít i ocelové pozinkované pouzdro s vnitřním závitem a vnějšími žebry, které nahrazují závit kotevního šroubu. Taková konfigurace umožňuje vytvořit principiálně rozebíratelné připojení (Obr. 1-10).



Obr. 1-10 Speciální typy kotevních šroubů pro použití například v trhlinovém betonu, nebo jako demontovatelná kotva

Speciálním typem dodatečně osazovaných chemických kotev jsou kotvy se zapuštěnou hlavou. Jedná se o kotevní systém, v kterém je použit kotevní šroub s hlavou, který je instalován do výrazně většího vyvrtaného otvoru (v průměru větším, než je kotevní hlava) a celý kotevní šroub je pak injektován nejčastěji chemickou maltou.

Tato práce se dále věnuje vybraným tématům a problémům, které se týkají skutečného působení chemických kotev s kotevním šroubem s běžným závitem, instalovaných v betonu a zatížených tahovým zatížením.

1.2 Podmínky instalace, aktivace a působení ovlivňující únosnost dodatečně osazovaných chemických kotev

Návrh kotevního styčnicku s dodatečně osazovanými chemickými kotvami je poměrně široký problém. Při návrhu je třeba zohlednit nejen charakter zatížení styčnicku, ale také veškeré podmínky působení.

Základním kamenem při návrhu obecného styčnicku je popis skutečného chování a odolnosti jedné chemické kotvy při základních typech zatížení v běžných podmínkách. Následně je možné hledat závislosti odolnosti kotvy na dalších parametrech.

Nejvýznamnější parametry, které různou mírou ovlivňují odolnost kotvy lze shrnout následovně:

Materiálové parametry:

- Materiálové charakteristiky betonu
 - Velikost kameniva
 - Přítomnost trhlin
 - Pevnostní a přetvárné charakteristiky
 - Vlhkost betonu

- Materiálové charakteristiky lepidla
 - Pevnostní a přetvárné charakteristiky ve vytvrzeném stavu
 - Viskozita při instalaci
 - Objemová stálost v souvislosti s reakčním teplem
 - Rychlost vytvrzování v souvislosti s okolní teplotou
- Materiálové charakteristiky kotevního šroubu
 - Pevnostní a přetvárné charakteristiky šroubu
 - Povrchová úprava kotevního šroubu

Geometrické parametry:

- Geometrické parametry kotevního šroubu
 - Délka kotevního šroubu
 - Průměr kotevního šroubu
 - Geometrie povrchu kotevního šroubu
- Geometrické parametry vrtaného otvoru – vrstvy lepidla
 - Průměr vrtaného otvoru – tloušťka vrstvy lepidla ve vztahu k průměru šroubu
 - Struktura a tvar povrchu vrtaného otvoru
 - Hloubka vrtaného otvoru
- Globální geometrické parametry – parametry betonu
 - Vzájemná poloha kotevních šroubů ve skupině
 - Vzdálenost kotvy od volného okraje betonu
 - Poloha působiště vnějšího zatížení
 - Povrchová úprava kotevního šroubu
 - Poloha nosné a pomocné výztuže v betonovém tělese

Technologické parametry a podmínky působení:

- Podmínky při instalaci kotvy a v průběhu doby vytvrzování lepidla
 - Teplota vzduchu
 - Teplota betonu
 - Teplota lepidla
 - Teplota kotevního šroubu
 - Vlhkost vzduchu
 - Vlhkost povrchové vrstvy betonu
- Technologické postupy realizace kotvení
 - Způsob vrtání otvoru pro kotevní šroub
 - Způsob a kvalita čištění vrtaného otvoru
 - Způsob instalace lepidla do vrtaného otvoru

2 Únosnost jedné chemické kotvy zatížené tahovou silou

Základním reprezentativním a obecně charakteristickým případem dodatečně osazované chemické kotvy je ocelový šroub ve formě závitové tyče, vlepený pomocí průmyslového lepidla do předem vyvrtaného otvoru v netrhlinovém betonu. Ocelový šroub je potom namáhán statickou osovou tahovou silou. Takové zatížení je do betonu přenášeno prostřednictvím vrstvy vytvrzeného lepidla.

2.1 Základní typy experimentů pro získání dat

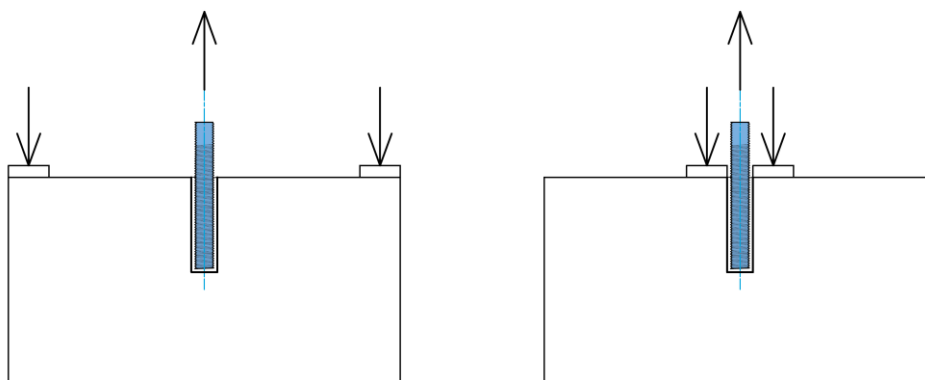
S popisem skutečného působení výše popsané typické kotvy se započalo v první polovině sedmdesátých let dvacátého století. Návrh takového kotvení je v podstatě od počátku použití tohoto systému založen na využití výsledků experimentů provedených na jednotlivých konkrétních kotvách vyráběných různými výrobci.

Pro ověření únosnosti kotev v tahu se používají dvě základní konfigurace experimentu (Obr. 2-1):

- a) neomezená zkouška
- b) omezená zkouška

Při neomezené zkoušce jsou reakce zatěžovacího systému nasměrovány v dostatečné vzdálenosti od zkoušené kotvy. Namáhaná zóna kolem kotevního šroubu není těmito silami ovlivněna a v závislosti na podmínkách působení se může rozvinout jakákoli možná porucha kotevního systému. Zejména je umožněna tvorba tahových trhlin v betonu vedoucí k charakteristické poruše ve formě vytržení kužele betonu.

Při omezené zkoušce jsou reakce zatěžovacího systému svedeny do bezprostřední blízkosti kotevního šroubu. Tím je zamezeno vytvoření betonového kužele a rozvinout se mohou pouze poruchy související přímo s kotevním šroubem či lepidlem, případně poruchy na rozhraní materiálů.



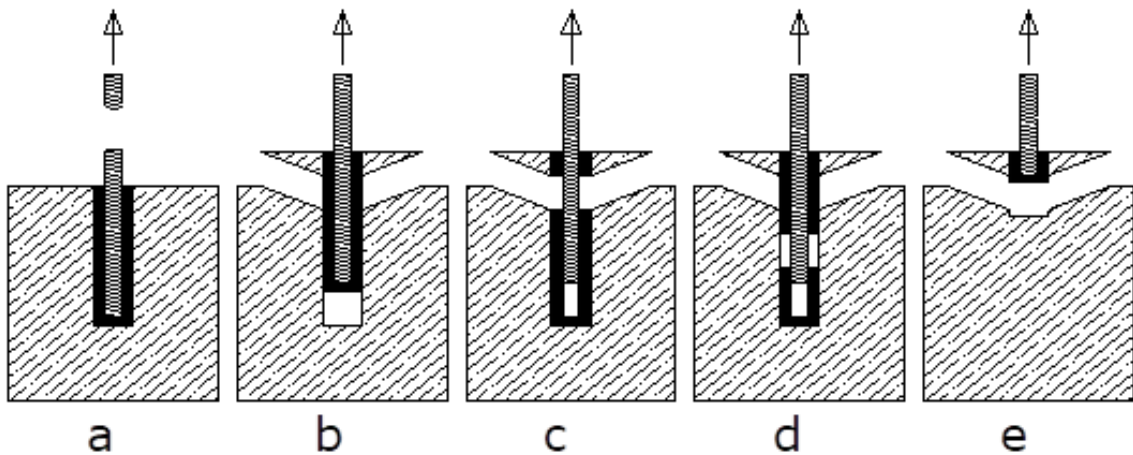
Obr. 2-1 Princip neomezené zkoušky (vlevo), princip omezené zkoušky (vpravo)

Data získaná výše uvedenými základními experimenty vedly k prvotním poznatkům o únosnosti, typech porušení a jejich tvarech. Dále pak průběžně slouží k verifikaci a validaci vytvořených modelů predikujících únosnost kotvy pro dané typy porušení.

Většina experimentů s dodatečně osazovanými kotvami, které byly publikovány, byly prováděny pro kotevní délky blízké devítinásobku průměru kotevního šroubu, $h_{ef} = 9d$.

2.2 Základní typy porušení tahem zatížené dodatečně osazované chemické kotvy

Pro dodatečně osazované lepené kotvy zatížené osovou tahovou silou lze v literatuře nejčastěji nalézt rozlišení mezi pěti základními typy poruch [4].



Obr. 2-2 Typy porušení lepené kotvy při zatížení tahem [4]: a – přetržení kotevního šroubu, b – selhání kontaktu lepidlo-beton, c – selhání kontaktu ocel-lepidlo, d – porušení kontaktního materiálu (lepidla), e – vytržení kužele betonu

a) Porucha kotevního šroubu při dosažení mezní únosnosti materiálu šroubu tahem. Nastává při takové geometrické a materiálové konfiguraci kotvy, ve které je ocel nejslabším článkem. Typická porucha pro velkou kotevní hloubku v poměru k průměru kotevního šroubu. V tom případě je namáhaná zóna betonu i pevnost kontaktů vyšší než mezní únosnost kotevního šroubu.

b) Porušení na rozhraní mezi lepidlem a betonem. Nastává při takové geometrické a materiálové konfiguraci kotvy, ve které je spojení na kontaktu mezi lepidlem a betonem nejslabším článkem. Příčinou této poruchy může být různá kombinace podmínek působení. Např. může nastat při špatně zvolené technologii vrtání otvoru, při nedostatečném čištění otvoru. Jde také o typickou poruchu v případech použití lepidla s nízkou pevností.

c) Porušení na rozhraní mezi lepidlem a ocelovým šroubem. Nastává při takové geometrické a materiálové konfiguraci kotvy, ve které je spojení na kontaktu mezi lepidlem a ocelovým šroubem nejslabším článkem. Může nastat při použití šroubu s nevhodnou geometrickou úpravou, či znečištěným povrchem.

d) Porušení lepidla při namáhání tahem v kombinaci se selháním na rozhraních. Nastává při takové geometrické a materiálové konfiguraci kotvy, při níž je limitujícím faktorem tahová pevnost lepidla. Nejčastěji v souvislosti s nerovnoměrnou aplikací lepicí hmoty.

e) Porušení betonu. Nastává při takové geometrické a materiálové konfiguraci kotvy, při níž je beton nejslabším článkem. Typická porucha pro malé kotevní délky v poměru k průměru kotevního šroubu, a také pro kotvy instalované v betonu s nízkou pevností.

S výjimkou poruchy typu a) jsou všechny ostatní poruchy lokalizovány pod úrovní horní hrany betonového tělesa. Poruchy b) až e) jen v ojedinělých případech nastávají samostatně. V principu pouze při velmi nevhodné kombinaci materiálů a geometrických podmínek, případně při nedokonalém provedení instalace kotvy. Běžným případem poruchy je kombinace poruch b) až d). Reálná porucha je v případě dodatečně osazované chemické kotvy charakteristická tím, že při extrakci

ocelového šroubu dochází zároveň k extrakci betonového kužele. Velikost vytrženého betonového kužele je závislá na materiálové a geometrické konfiguraci kotvy, tedy zjednodušeně na tom, které z porušení b) až d) v kombinované poruše dominuje. Jednotlivé poruchy b) až d) jsou tedy pouze limitními případy, ke kterým se reálné porušení blíží.

Pro menší kotevní délky (v poměru k průměru kotevního šroubu) v rozsahu $h_{ef} = 3d_0$ až $h_{ef} = 5d_0$ se podle [5], porucha blíží poruše e). Při porušení se vytváří kužel betonu se sklonem $\alpha = 35^\circ$ s výškou blízkou kotevní délce. Obdobně podle [6,7] dochází k tomuto typu porušení pro kotvy s kotevní délkou v rozsahu $h_{ef} = 3d$ až $h_{ef} = 4d$, s poměrem poloměru základny kužele a jeho výšky 1:1,5.

Pro větší hloubky kotvení je nejčastější poruchou kombinace poruch b) a e). Jde o poruchu charakteristickou vytržením kužele betonu s výškou menší, než je kotevní délka $h_{cone} < h_{ef}$. Výška vytvářeného kužele je v tomto případě závislá na geometrické a materiálové konfiguraci kotvy. Pro kotvy s kotevní hloubkou přibližně $h_{ef} = 9d$ se v [8,9] uvádí, že výška vytrhávaného kužele je přibližně $h_{cone} = 2d$ až $h_{cone} = 3d$ a délka porušení na rozhraní mezi materiály pod vrcholem kuželu je obvykle 60-75% kotevní délky h_{ef} .

2.3 Modely predikce mezního tahového zatížení

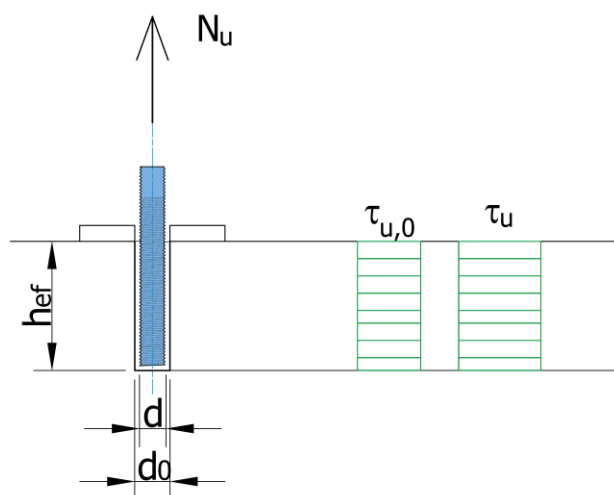
Pro možnost hodnocení kvality spojení kotevního šroubu s betonem (zprostředkovaného lepidlem) byl zaveden náhradní parametr vycházející z omezené zkoušky kotvy tahem. Jde o hodnotu smykového napětí na vybraném kontaktu odvozeného z geometrie kotvy a mezního tahového zatížení kotvy. Tento parametr je označen jako soudržnost kotvy. Může být obecně stanoven pro rozhraní mezi lepidlem a betonem (2.1) nebo mezi lepidlem a kotevním šroubem (2.2).

$$\tau_{u,0} = \frac{N_u}{\pi \cdot d_0 \cdot h_{ef}} \quad (2.1)$$

$$\tau_u = \frac{N_u}{\pi \cdot d \cdot h_{ef}} \quad (2.2)$$

2.3.1 Model rovnoměrného rozložení napětí na kontaktech – omezená zkouška

Vztahy (2.1) a (2.2) vycházejí ze zjednodušeného předpokladu rovnoměrného rozdělení napětí na kontaktech při omezené zkoušce podle [10], (Obr. 2-3). Mezní tahové zatížení kotvy je za tohoto předpokladu definováno efektivní kotevní délkou, průměrem vrтанého otvoru (2.3), či kotevního šroubu (2.4) a rovnoměrným mezním smykovým napětím na ploše příslušného kontaktu.



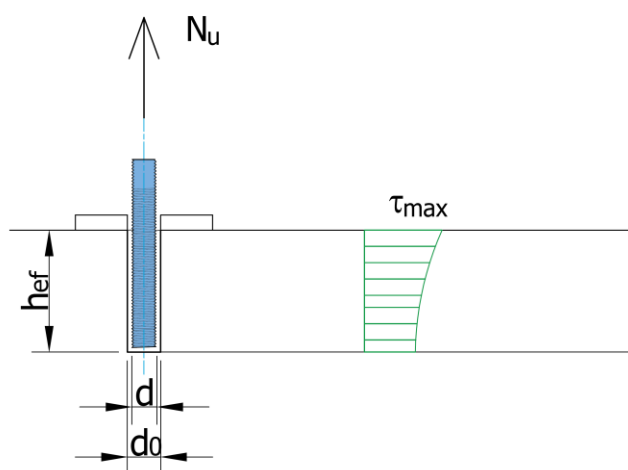
Obr. 2-3 Předpoklad rovnoměrného rozložení napětí na kontaktech

$$N_u = \pi \cdot d_0 \cdot h_{ef} \cdot \tau_{u,0} \quad (2.3)$$

$$N_u = \pi \cdot d \cdot h_{ef} \cdot \tau_u \quad (2.4)$$

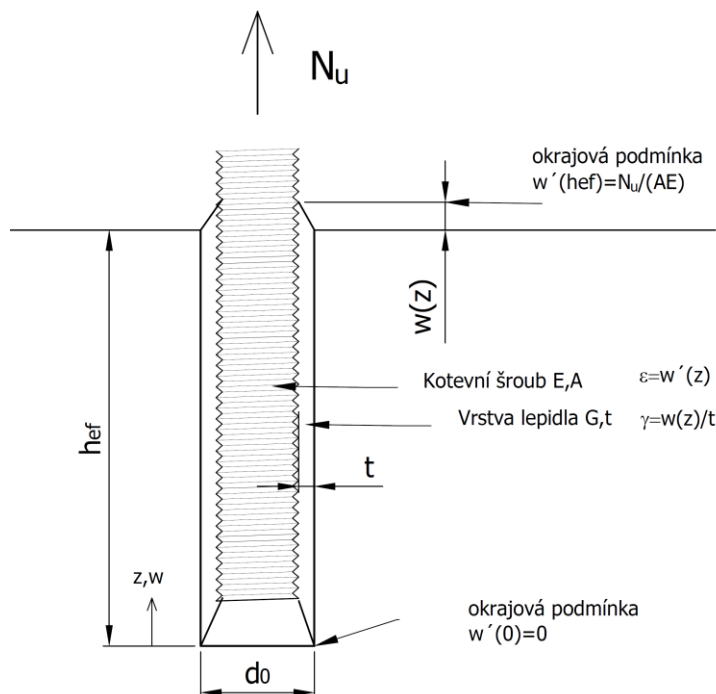
2.3.2 Model elastického chování lepidla – omezená zkouška

Vztahy vycházející z rovnoměrného rozložení napětí na kontaktech poskytují dostatečnou přesnost predikce mezního zatížení pro případ porušení na příslušném kontaktu pro kotvy s krátkou kotevní délkou. Tento předpoklad je běžně používán i v normativních dokumentech. Například dle [3] lze předpoklad rovnoměrného rozložení napětí na kontaktu pro kotvy s délkou kotvení v rozsahu $20 \text{ mm} \leq h_{ef} \leq 20d$. Podle [11] model rovnoměrného rozložení napětí nadhodnocuje predikovanou mezní tahovou sílu pro $h_{ef} > 40 \cdot d_0$. V takovém případě je vhodnější uvažovat model s rozložením napětí odpovídajícím elastickému působení (Obr. 2-4) dle [10-12].



Obr. 2-4 Předpoklad rozložení napětí po kotevní délce za předpokladu elastického působení [11]

Model lineárního elastického působení lepidla (Obr. 2-5) dle [11] vychází z předpokladu, že deformace kotvy při tahovém zatížení se na rozhraní mezi kotevním šroubem a lepidlem rovná lineárnímu elastickému přetvoření vrstvy lepidla. Predikce mezní tahové síly dle (2.3) je modifikován s použitím maximální hodnoty napětí v úrovni horní hrany betonu a kotevní délky vyjádřené pomocí hyperbolické funkce tangens jako (2.5) a vychází z řešení diferenciální rovnice (2.6).



Obr. 2-5 Model elastického působení vrstvy lepidla [11]

$$N_u = \tau_{max} \cdot \pi \cdot d_0 \cdot \left[\frac{\tanh(\lambda \cdot h_{ef})}{\lambda} \right] \quad (2.5)$$

$$w'' - \left[\frac{G \cdot \pi \cdot d_0}{t \cdot E \cdot A} \right] \cdot w = 0 \quad (2.6)$$

Ve vztahu (2.5) je dále použit tuhostní parametr λ (2.7), který je závislý na materiálových a geometrických charakteristikách dle (Obr. 2-5), který je odvozen pro kontakt mezi lepidlem a betonem. Je tedy závislý na průměru vrtaného otvoru.

$$\lambda = \sqrt{\frac{G \cdot \pi \cdot d_0}{E \cdot A \cdot t}} \quad (2.7)$$

Alternativně lze použít upravený tuhostní parametr stanovený na základě předpokladu, že vrstva lepidla je jen velmi malá, a průměr vrtaného otvoru se přibližně rovná průměru kotevního šroubu. Takový parametru lze pak obecně použít pro kotvu libovolného průměru s malou tloušťkou vrstvy

lepidla. Vztah mezi parametry λ' a λ je dán vztahem (2.8). Model predikce mezní tahové síly (2.5) lze poté dle [11] upravit na vztah (2.9).

$$\lambda' = \lambda \sqrt{d_0} \quad (2.8)$$

$$N_u = \tau_{max} \cdot \pi \cdot d_0 \cdot \left[\frac{\sqrt{d_0}}{\lambda'} \tanh \frac{\lambda' \cdot h_{ef}}{\sqrt{d_0}} \right] \quad (2.9)$$

2.3.3 Model rovnoměrného rozložení napětí na kontaktech– neomezená zkouška

Při neomezené zkoušce dochází zpravidla ke kombinaci poruch, ve které se vytváří specifický kužel betonu. Pro běžnou materiálovou a geometrickou konfiguraci kotvy má tento kužel obdobný tvar. Z tohoto předpokladu vychází zjednodušený model predikce mezního tahového zatížení za předpokladu rovnoměrného rozdělení napětí na kontaktech pro neomezenou zkoušku dle [13] podle upravené rovnice (2.10).

$$N_u = \pi \cdot d_0 \cdot (h_{ef} - h_{cone}) \cdot \tau_{u,0} \quad (2.10)$$

Výška vytrhávaného kužele h_{cone} v případě rovnice (2.10) je pro běžný rozsah materiálových a geometrických podmínek kotvy stejný $h_{cone} = 50 \text{ mm}$.

2.3.4 Model elastického chování lepidla – neomezená zkouška

Stejně jako pro omezenou zkoušku, tak i pro neomezenou zkoušku platí, že model rovnoměrného rozložení napětí na kontaktech nadhodnocuje hodnoty predikovaného mezního zatížení kotvy pro kotvy s větší kotevní délkou v poměru k průměru kotevního šroubu. Podobně jako rovnici (2.5) a rovnici (2.9) lze také modifikovat rovnici (2.10). Výsledkem dle [13] je vztah predikující mezní tahové zatížení kotvy vycházející z elastického chování lepidla závisí na průměru vrtaného otvoru (2.11). Po modifikaci tuhostního parametru dle (2.8) lze vztah pro predikci nezávislou na průměru vrtání otvoru pro instalaci kotevního šroubu vyjádřit jako (2.12).

$$N_u = \tau_{max} \cdot \pi \cdot d_0 \cdot \left[\frac{\tanh(\lambda \cdot (h_{ef} - h_{cone}))}{\lambda} \right] \quad (2.11)$$

$$N_u = \tau_{max} \cdot \pi \cdot d_0 \cdot \left[\frac{\sqrt{d_0}}{\lambda'} \tanh \frac{\lambda' \cdot (h_{ef} - h_{cone})}{\sqrt{d_0}} \right] \quad (2.12)$$

Uvedené modely popisují primárně poruchu selhání na kontaktech mezi jednotlivými materiály. V modelech (2.10), (2.11) a (2.12) je navíc zavedeno snížení délky účinného kontaktu po vytvoření kužele v horní části kotvy. Vliv materiálových charakteristik betonu na mezní tahové zatížení je v těchto modelech zcela zanedbán. Další publikované modely se zabývají právě vlivem charakteristik betonu. Prvotní modely vycházely opět z experimentálních výsledků.

2.3.5 Model porušení betonu

Jako dostatečně přesná predikce mezní tahové síly při porušení betonu, vedoucí k vytvoření charakteristického kužele betonu se v [8] uvádí vztahy (2.13), (2.14), vycházející z aproximace experimentálních výsledků. Mezní tahové zatížení při porušení betonu je v tomto modelu závislé na kvadratuře kotevní délky a odmocnině z pevnosti betonu.

$$N_u = 0,85 \cdot h_{ef}^2 \cdot \sqrt{f_{c,200}} \quad (2.13)$$

$$N_u = 0,92 \cdot h_{ef}^2 \cdot \sqrt{f_c} \quad (2.14)$$

Uvedené vztahy byly odvozeny z experimentálních výsledků s kotvami průměru v rozsahu $8 \text{ mm} \leq h_{ef} \leq 30 \text{ mm}$ [8]. Při testech byla použita dostupná lepidla ve formě skleněných kartuší. Kotevní délka testovaných kotev byla $h_{ef} = 9d$. Podle studie uvedené v [14] se pro větší kotevní délky mění závislost mezní tahové síly na kotevní délce na lineární.

2.3.6 Model porušení betonu metoda CCD (Concrete capacity design)

Nejvýznamnější doposud publikovaná metoda predikce mezní tahové síly pro dodatečně osazované kotvy je metoda CCD – Concrete capacity design [9,15]. Tato metoda je ve své podstatě vhodná jak pro dodatečně osazované mechanické kotvy, tak pro dodatečně osazované chemické kotvy s hlavou i bez hlavy. Mezní tahové zatížení je v tomto případě definováno na základě kotevní hloubky a pevnosti betonu (2.15). Jde tedy o mezní tahové zatížení kotvy pro poruchu typu e) (Obr. 2-2)(2.2), ve které dominuje vytvoření betonového kužele. Výsledná predikce tedy v tomto případě zcela ignoruje vliv lepidla a jím zprostředkované spojení na rozhraních materiálů.

$$N_u = k \cdot h_{ef}^{1,5} \cdot \sqrt{f_{c,200}} \quad (2.15)$$

Koeficient k ve vztahu (2.15) se mění podle typu a geometrie kotvy. Podle [9] byly na základě vyhodnocení experimentálních dat stanoveny tyto koeficienty jako:

$k=13,5$ pro dodatečně osazované chemické kotvy bez hlavy

$k=15,5$ pro dodatečně osazované chemické kotvy s hlavou.

Uvedená metoda predikce mezní tahové síly je vhodná zejména pro kotvy s menší kotevní délkou. V případě dodatečně osazovaných chemických kotev bez hlavy, se dle [16] předpokládá vytvoření kužele betonu s výškou odpovídající přibližně $h_{cone} = 4d \text{ mm}$.

Metoda CCD je základem pro vztahy popisující predikci mezní tahové síly na kotvě neovlivněné okraji či ostatními kotvami, které jsou použity v současné době platných normativních dokumentech [1-3] pro vyjádření charakteristické mezní hodnoty tahového zatížení.

Hodnota koeficientu k se pro použití jednotlivých typů kotev mění. Predikce mezní tahové síly je také ovlivněna použitím kotev v trhlinovém a netrhlinovém betonu. Hodnoty tohoto koeficientu byly stanoveny v řadě studií na základě výsledků experimentů [15,17-19]. Dle [3] je pro poruchu betonu použit vztah (2.16).

$$N_{Rk,c}^0 = k_1 \cdot h_{ef}^{1,5} \cdot \sqrt{f_{ck}} \quad (2.16)$$

$k_1=7,7$ pro dodatečně osazované kotvy bez hlavy instalované v trhlinovém betonu

$k_1=11$ pro dodatečně osazované kotvy bez hlavy instalované v netrhlinovém betonu

$k_1=8,9$ pro zabetonované kotvy s hlavou instalované v trhlinovém betonu

$k_1=12,7$ pro zabetonované kotvy s hlavou instalované v netrhlinovém betonu

V evropské normě pro technické schválení [2] jsou použity koeficienty:

$k_1=7,2$ pro dodatečně osazované kotvy bez hlavy instalované v trhlinovém betonu

$k_1=10,1$ pro dodatečně osazované kotvy bez hlavy instalované v netrhlinovém betonu

V americké normě [1] je pro stejný mód porušení uveden vztah predikující charakteristické mezní tahové zatížení kotvy při použití jednotek SI:

$$N_b = k_c \cdot \lambda_a \cdot h_{ef}^{1,5} \cdot \sqrt{f_c} \quad (2.17)$$

$k_c=7$ pro dodatečně osazované kotvy v trhlinovém betonu

$k_c=10$ pro zabetonované kotvy s hlavou v netrhlinovém betonu

2.3.7 Modely kombinovaného porušení betonu a selhání soudržnosti

Ve snaze přesněji popsat kombinované poruchy b), c), d) a e) (Obr. 2-2), byly vytvořeny modely predikce mezní tahové síly, kombinující odolnost betonu a soudržnost zprostředkovanou lepidlem [11]. Model vychází z porušení betonu ve formě vytvoření kužele omezené výšky v kombinaci s porušením na rozhraní mezi lepidlem a betonem na zbývající části kotevní délky (2.18). Tuto kombinaci lze modifikovat jak pro variantu předpokládající rovnoměrné rozložení napětí rozhraní mezi lepidlem a betonem, tak pro předpoklad pružného působení vrstvy lepidla.

$$N_u = N_{u,cone} + N_{u,bond} \quad (2.18)$$

$$N_u = 0,92 \cdot h_{ef}^2 \cdot \sqrt{f_c} + \pi \cdot d_0 \cdot (h_{ef} - h_{cone}) \cdot \tau_{u,0} \quad (2.19)$$

$$N_u = 0,92 \cdot h_{ef}^2 \cdot \sqrt{f_c} + \pi \cdot d_0 \cdot \tau_{max} \cdot \left[\frac{\sqrt{d_0}}{\lambda} \cdot \tanh \frac{\lambda \cdot (h_{ef} - h_{cone})}{\sqrt{d_0}} \right] \quad (2.20)$$

Výška uvažovaného betonového kužele je závislá na průměru vrtaného otvoru pro kotevní šroub a pevnosti betonu v tlaku.

$$h_{cone} = \frac{\tau_{u,0} \cdot \pi \cdot d_0}{1,84 \cdot \sqrt{f_c}} \quad (2.21)$$

$$h_{cone} = \frac{\tau_{max} \cdot \pi \cdot d_0}{1,84 \cdot \sqrt{f_c}} \cdot \left[\operatorname{sech}^2 \frac{\lambda' \cdot (h_{ef} - h_{cone})}{\sqrt{d_0}} \right] \quad (2.22)$$

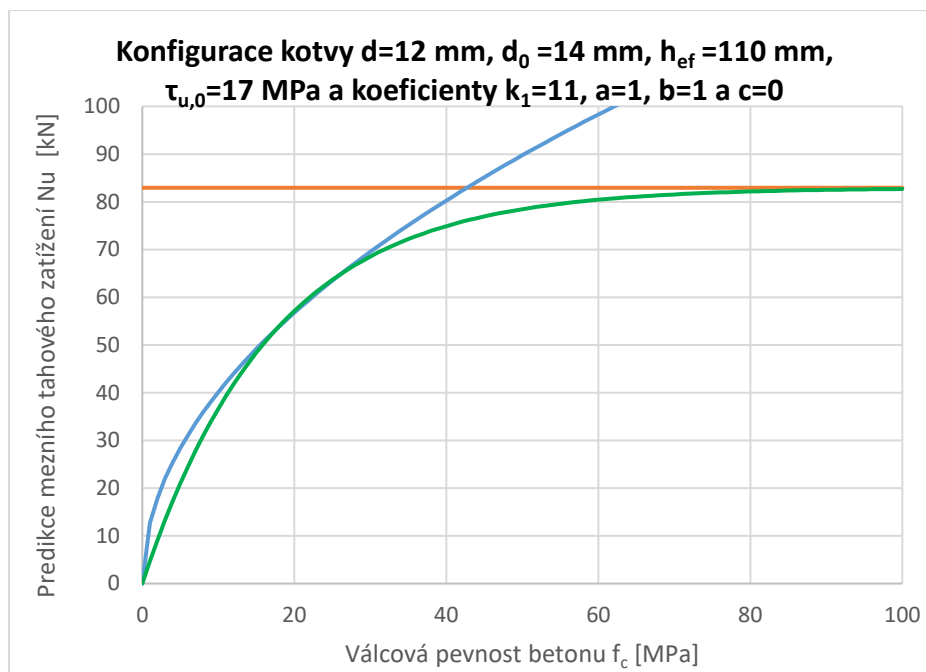
Výpočtové modely (2.19) a (2.20) jsou díky své obsáhlosti nepříliš vhodné pro praktické použití.

Další model vychází z aproximace výsledků experimentálních dat a numerických modelů [20-22] a popisuje mezní tahové zatížení dodatečně osazované kotvy s použitím jedné exponenciální funkce, která zahrnuje vliv pevnosti betonu i mezní hodnotu soudržnosti na kontaktu (2.23). V tomto vztahu byly dle [22] na základě výsledků experimentů s konkrétním typem kotev odvozeny koeficienty $a=0,74$; $b=1,5$ a $c=1,4$.

$$N_u = \pi \cdot a \cdot \tau_{u,0} \left(1 - e^{-b \cdot \frac{f_{c,150}}{\tau_{u,0}}} \right) \cdot d_0 \cdot (h_{ef} - c \cdot d_0) \quad (2.23)$$

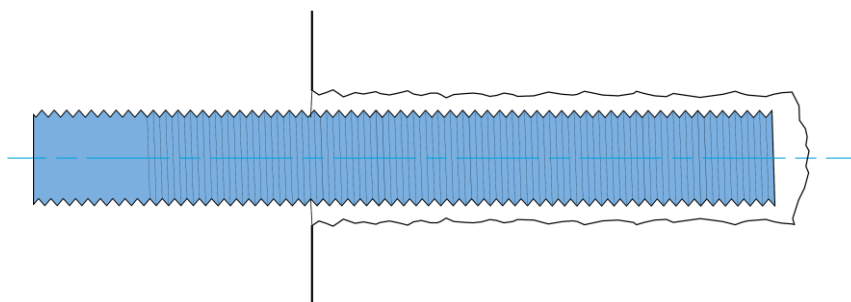
Uvedený model pracuje s limitní hodnotou mezní tahové síly dané soudržností kontaktu na rozhraní betonu a lepidla za předpokladu rovnoměrného rozložení napětí na redukované kotevní délce dle (2.10) s tím, že tato redukovaná kotevní délka může být závislá na průměru vrtání otvoru. Tato hodnota je pak exponenciálně redukována v závislosti na pevnosti betonu v tlaku. Výsledný model predikce je tedy dán jednou spojitou funkcí.

Vyjádření predikované mezní tahové síly pro modely založené na poruše jednoho materiálu v závislosti na pevnosti betonu je uvedeno na Obr. 2-6. Pro porovnání byly použity modely (2.3) pro poruchu soudržnosti, (2.16) pro poruchu betonu a (2.23) pro kombinovanou poruchu. Mezní tahové síly jsou vyjádřeny pro fiktivní vstupní hodnoty: $d=12$ mm, $d_0 =14$ mm, $h_{ef} =110$ mm, $\tau_{u,0}=17$ MPa a koeficienty $k_1=11$, $a=1$, $b=1$ a $c=0$. Pro zavedení stejných předpokladů poruch nebyla redukována kotevní délka ve vztahu (2.23).



Obr. 2-6 Porovnání modelů predikce mezní tahové síly pro poruchu soudržnosti (2.3) - oranžová, poruchu betonu (2.16) - modrá a modelu kombinované poruchy (2.23)- zelená, pro výše uvedenou konfiguraci kotvy a koeficientů

Při vyjádření mezní tahové síly pomocí modelů predikujících poruchu pouze jednoho ze zastoupených materiálů v závislosti na pevnosti betonu je vidět ostré rozhraní mezi jednotlivými poruchami, které vychází zejména ze zjednodušeného předpokladu rovnoměrného rozložení mezního napětí na kontaktu, který je modelován jako hladká spojitá linie. Reálný tvar rozhraní mezi ocelovým šroubem a lepidlem i mezi lepidlem a betonem je tvarově složitější (Obr. 2-7). Model predikce (2.23) předpokládá, že zejména na rozhraní mezi betonem a lepidlem je reálná porucha ovlivněna oběma materiály, u kterých může na nerovném rozhraní lokálně docházet k překročení jejich pevnosti.



Obr. 2-7 Skutečný tvar rozhraní mezi lepidlem a betonem

Tento jev se dle [22] projevuje zejména v takové geometrické a materiálové konfiguraci kotvy, kdy jsou oba materiály efektivně využity, tzn. v blízkosti průřezu predikovaných mezních hodnot dle Obr. 2-6. Mezní tahová síla predikovaná dle poruchy jednotlivých materiálů je tedy jen horním limitem reálné mezní tahové síly.

2.3.8 Koncepce odolnosti chemické kotvy při tahovém zatížení dle Eurokódu 2

V aktuálně platné normě EN 1992-4 [3] je pro predikci mezní tahové síly dodatečně osazované chemické kotvy použita kombinace výše uvedeného modelu rovnoměrného napětí na kontaktech pro poruchu vytažením (soudržnosti) a v kombinaci s poruchou betonu a CCD metody pro samotnou poruchu vytržením betonu. Výše uvedené vztahy popisují charakteristickou hodnotu odolnosti kotvy při působení tahové síly. Z posudků, které norma řeší jsou níže v textu vybrány pouze ty případy, které se týkají výše popsaných typů porušení kotvy neovlivněné působením kotev ve skupině, blízkostí okrajů betonového tělesa, namáháním způsobeným při instalaci kotvy či polohou a množstvím výztuže.

Charakteristická odolnost při porušení oceli kotevního šroubu tahem:

$$N_{Rk,s} = A_s \cdot f_{uk} \quad (2.24)$$

Návrhová hodnota odolnosti při porušení oceli kotevního šroubu tahem:

$$N_{Rk,d} = \frac{N_{Rk,s}}{\gamma_{M,s}} \quad (2.25)$$

Součinitel spolehlivosti pro tento typ porušení při trvalé a dočasné návrhové situaci:

$$\gamma_{M,s} = \frac{1,2 \cdot f_{u,k}}{f_{y,k}} \geq 1,4 \quad (2.26)$$

Charakteristická odolnost při porušení vytržením betonového kužele:

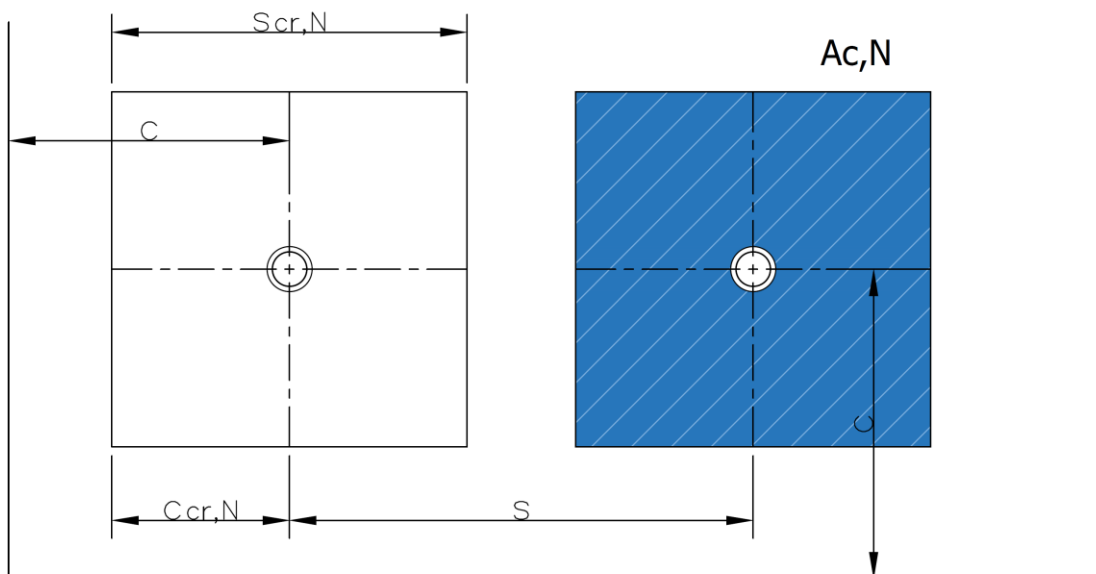
$$N_{Rk,c} = N_{Rk,c}^0 \cdot \frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0} \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{re,N} \cdot \psi_{ec,N} \cdot \psi_{M,N} \quad (2.27)$$

$N_{Rk,c}^0$ je základní charakteristická únosnost jedné kotvy pro porušení betonu dle (2.16).

$A_{c,N}^0$ je plocha základny idealizovaného betonového kuželu na povrchu betonu a jednotlivé kotvy neovlivněné okraji betonu a jinými kotvami, kde je kužel idealizován jako jehlan s výškou rovnou h_{ef} a se stranou základny $s_{cr,N}$.

Strana idealizovaného jehlanu je pro kotvy s hlavou a pro dodatečně osazované kotvy podle současných zkušeností $s_{cr,N} = 3 \cdot h_{ef} = 2 \cdot c_{cr,N}$. Vzdálenost $c_{cr,N}$ je kritická vzdálenost kotvy od okraje betonu, kdy již nemá tento okraj vliv.

$A_{c,N}$ je účinná plocha základny idealizovaného betonového kuželu na povrchu betonu, která je omezena průniky základen kuželů sousedních kotev a okraji betonového prvku (Obr. 2-8).



Obr. 2-8 Geometrie základny idealizovaného kužele betonu

$\psi_{s,N}$ je součinitel, který zohledňuje nepravidelnosti rozdělení napětí v betonu způsobené okraji betonového prvku. Pro kotvení v blízkosti několika okrajů musí být zavedena do výpočtu nejmenší vzdálenost jakékoli kotvy ze skupiny od okraje c .

$$\psi_{s,N} = 0,7 + 0,3 \cdot \frac{c}{c_{cr,N}} \leq 1,0 \quad (2.28)$$

$\psi_{re,N}$ je součinitel, který zohledňuje odloupenutí krycí vrstvy betonu a vliv hustoty výztuže, mezi kterou je kotva osazena. Použije se v případě, kdy $h_{ef} < 100 \text{ mm}$ v případech kdy rozteč výztuže je větší jak 150 mm, případně 100 mm pro výztuž s průměrem menším jak 10 mm.

$$\psi_{s,N} = 0,5 + \frac{h_{ef}}{200} \leq 1,0 \quad (2.29)$$

$\psi_{ec,N}$ je součinitel, který zohledňuje stav, kdy ve skupině kotev nejsou jednotlivé kotvy zatížené stejně velikou tahovou silou. Výslednice sil působící na skupinu kotev je ve vzdálenosti e_N od těžiště skupiny kotev. Pokud je excentricita ve dvou rovinách, použije se vektorový součet součinitelů stanovených pro jednotlivé směry.

$$\psi_{ec,N} = \frac{1}{1 + 2 \cdot \left(\frac{e_N}{s_{cr,N}} \right)} \leq 1,0 \quad (2.30)$$

$\psi_{M,N}$ je součinitel vlivu tlakové síly mezi kotevní deskou a betonem v případě, že je kotevní stýčnick namáhán současně normálovou silou a ohybovým momentem. Součinitel je závislý na rameni tahové

a tlakové síly v kotevním styčnicku z. Součinitel lze uvážit hodnotou $\psi_{M,N} = 1$, pokud $c \leq 1,5 \cdot h_{ef}$ nebo $z/h_{ef} \leq 1,5$, nebo pokud poměr výslednice tlakové síly mezi kotevní deskou a betonem a výslednice tahových sil v kotvách je menší jak 0,8. V ostatních případech platí:

$$\psi_{M,N} = 2 - \frac{z}{1,5 \cdot h_{ef}} \geq 1,0 \quad (2.31)$$

Návrhová hodnota odolnosti při vytržení betonového kužele je:

$$N_{Rd,c} = \frac{N_{Rk,c}}{\gamma_{M,c}} \quad (2.32)$$

Součinitel spolehlivosti pro tento typ porušení při trvalé a dočasné návrhové situaci:

$$\gamma_{M,c} = \gamma_c \cdot \gamma_{inst} \quad (2.33)$$

Kde součinitel $\gamma_c = 1,5$ a součinitel podmínek instalace pro dodatečně osazované kotvy zatížené tahem $\gamma_{inst} \geq 1,0$. Dle [2] jsou doporučené hodnoty:

$\gamma_{inst} = 1,0$ pro systémy s vysokou instalační bezpečností,

$\gamma_{inst} = 1,2$ pro systémy s normální instalační bezpečností,

$\gamma_{inst} = 1,4$ pro systémy s nízkou, ale přijatelnou instalační bezpečností.

Charakteristická odolnost při porušení kombinací vytažení kotvy a porušení betonu:

$$N_{Rk,p} = N_{Rk,p}^0 \cdot \frac{A_{p,N}}{A_{p,N}^0} \cdot \psi_{g,Np} \cdot \psi_{re,N} \cdot \psi_{ec,Np} \cdot \psi_{s,N} \quad (2.34)$$

$N_{Rk,c}^0$ je základní charakteristická únosnost jedné kotvy pro porušení selhání kontaktu mezi kotevním šroubem a lepidlem (2.35) vycházející z předpokladu rovnoměrného rozložení napětí na kontaktu betonu dle (2.4).

$$N_{Rk,p}^0 = \psi_{sus} \cdot \pi \cdot d \cdot h_{ef} \cdot \tau_{Rk} \quad (2.35)$$

ψ_{sus} je součinitel, který vyjadřuje vliv dlouhodobých účinků zatížení na pevnost spojení na rozhraní materiálů zprostředkovanou lepidlem, a to dle vztahů (2.36) a (2.37).

$$\psi_{sus} = 1 \quad \text{pro } \alpha_{sus} \leq \psi_{sus}^0 \quad (2.36)$$

$$\psi_{sus} = \psi_{sus}^0 + 1 - \alpha_{sus} \quad \text{pro } \alpha_{sus} > \psi_{sus}^0 \quad (2.37)$$

ψ_{sus}^0 je součinitel závislý na konkrétním výrobku a převezme se z odpovídající evropské technické specifikace výrobku. Pokud v ní není určena, je doporučená hodnota $\psi_{sus}^0 = 0,6$. Tato hodnota se

vztahuje k dlouhodobému tahovému zatížení, které se vyskytuje během návrhové životnosti 50 let a minimálně 10 let při teplotě betonu 43 °C v oblasti kotev. V jiných situacích se má získat tato hodnota odpovídajícími zkouškami a vyhodnocením.

α_{sus} je poměr hodnoty dlouhodobých účinků zatížení (včetně stálých účinků a stálé složky proměnných účinků) a součtu všech účinků uvažovaných v mezním stavu únosnosti. Hodnotu na základě konkrétních podmínek návrhu stanoví projektant.

τ_{Rk} je charakteristická hodnota mezního smykového napětí na kontaktu mezi kotevním šroubem a lepidlem za předpokladu rovnoměrného rozložení napětí. Používá se hodnota $\tau_{Rk} = \tau_{Rk,cr}$ pro beton s trhlinami a $\tau_{Rk} = \tau_{Rk,ucr}$ pro beton bez trhlin.

Plochy $A_{p,N}$ a $A_{p,N}^0$ se vypočítají obdobným způsobem jako plochy $A_{c,N}$ a $A_{c,N}^0$ použité v (2.27) u poruchy vytržením betonového kužele. Kritické hodnoty roztečí kotev a vzdálenosti od okraje betonového tělesa $s_{cr,N}$ a $c_{cr,N}$ se nahradí hodnotami $s_{cr,Np}$ a $c_{cr,Np}$.

$$s_{cr,Np} = 7,3 \cdot d \cdot (\psi_{sus} \cdot \tau_{Rk,ucr})^{0,5} \leq 3 \cdot h_{ef} \quad (2.38)$$

$$c_{cr,Np} = 0,5 \cdot s_{cr,Np} \quad (2.39)$$

$\psi_{s,Np}$ je součinitel, který zohledňuje nepravidelnosti rozdělení napětí v betonu způsobené okrají betonového prvku. Pro kotvení v blízkosti několika okrajů musí být zavedena do výpočtu nejmenší vzdálenost jakékoli kotvy ze skupiny od okraje c .

$$\psi_{s,Np} = 0,7 + 0,3 \cdot \frac{c}{c_{cr,Np}} \leq 1,0 \quad (2.40)$$

$\psi_{ec,Np}$ je součinitel, který zohledňuje stav, kdy ve skupině kotev nejsou jednotlivé kotvy zatížené stejně velikou tahovou silou. Výslednice sil působící na skupinu kotev je ve vzdálenosti e_N od těžiště skupiny kotev. Pokud je excentricita ve dvou rovinách, použije se vektorový součet součinitelů stanovených pro jednotlivé směry.

$$\psi_{ec,Np} = \frac{1}{1 + 2 \cdot (e_N / s_{cr,Np})} \leq 1,0 \quad (2.41)$$

$\psi_{g,Np}$ je součinitel, který zohledňuje skupinový efekt, jestliže jsou kotvy umístěné blízko sebe.

$$\psi_{g,Np} = \psi_{g,Np}^0 - \left(\frac{s}{s_{cr,Np}} \right)^{0,5} \cdot (\psi_{g,Np}^0 - 1) \geq 1 \quad (2.42)$$

$$\psi_{g,Np}^0 = \sqrt{n} - (\sqrt{n} - 1) \cdot \left(\frac{\tau_{Rk}}{\tau_{Rk,c}} \right)^{1,5} \geq 1 \quad (2.43)$$

$$\tau_{Rk,c} = \frac{k_3}{d \cdot \pi} \sqrt{h_{ef} \cdot f_{ck}} \quad (2.44)$$

$k_3=7,7$ pro dodatečně osazované kotvy bez hlavy instalované v trhlinovém betonu

$k_3=11$ pro dodatečně osazované kotvy bez hlavy instalované v netrhlinovém betonu

Pro různý počet kotev ve skupině n mohou být jejich vzájemné rozteče různé. V takovém případě se do vztahu (2.42) dosadí průměrná hodnota.

Návrhová hodnota odolnosti při porušení kombinací vytažení kotvy a porušení betonu:

$$N_{Rd,p} = \frac{N_{Rk,p}}{\gamma_{M,p}} \quad (2.45)$$

Součinitel spolehlivosti pro tento typ porušení při trvalé a dočasné návrhové situaci:

$$\gamma_{M,p} = \gamma_{M,c} \quad (2.46)$$

2.4 Kontaktní materiály (lepidla) a jimi zprostředkované spojení

U typické dodatečně osazované chemické kotvy se vnější síly přenáší z kotevního šroubu (ocel) skrz vrstvu kontaktního materiálu (lepidlo) do základního materiálu (beton). Na přenosu sil se v návaznosti na celkovém geometrickém uspořádání podílejí všechny tři materiály a kvalita spojení na dvou rozhraní těchto materiálů. Na výsledné poruše při mezním zatížení se obvykle podílí největší měrou nejslabší článek z těchto pěti.

Spojení mezi jednotlivými materiály a tvorba vazebných sil a adhezivních vazeb má své fyzikální, chemické aspekty. Prohloubení této problematiky není obecně cílem této práce. Tyto problémy jsou přehledně shrnuty například v [23].

2.4.1 Nejběžnější typy kontaktních materiálů

Moderní kontaktní materiály používané pro dodatečně osazované chemické kotvy jsou nejčastěji vyráběny na bázi minerální či na bázi syntetických pryskyřic.

Základními požadavky na použitelný kontaktní materiál tohoto typu jsou:

- Zpracovatelnost – tato vlastnost je důležitá nejen pro dobré vytvoření adhezivních vazeb, ale také z hlediska plnění patron, kartuší při výrobě nebo při práci s nimi během instalace kotevního šroubu. Materiál musí mít téměř tekutou konzistenci. Vytvrzování by mělo probíhat bez uvolňování nebezpečného množství těkavých látek.
- Objemová stálost – proces vytvrzení nesmí být provázen významnými objemovými změnami, zejména smršťováním. Smrštěním vrstvy kontaktního materiálu dochází k degradaci kvality spojení mezi jednotlivými materiály.

- Stabilita – proces vytvrzování musí probíhat v širokém rozsahu teplot při zajištění objemové a teplotní stability. Rychlost reakce je u mnoha systému ovlivněna počáteční teplotou potřebnou pro zahájení reakce. Samotné reakční teplo naopak nesmí překročit bezpečné meze a vést k objemové nestálosti produktu při vytvrzování.

Kontaktní materiály na bázi syntetických pryskyřic pro chemické upevnění jsou dvousložkové systémy a vyrábějí se převážně ve dvoukomorových skleněných či plastových ampulích nebo ve dvoukomorových kartuších, které zajišťují optimální poměr mísení při instalaci kotvy. Na bázi syntetické pryskyřice obsahují obvykle organickou syntetickou pryskyřici, plnidla, tužidlo, urychlovač a stabilizátor.

Kontaktní materiály lze vyrábět také na minerální bázi. Pak obsahují různé anorganické složky (nejčastěji cement). Kromě toho existují hybridní systémy, které kromě organické pryskyřice obsahují také anorganickou pryskyřici nebo anorganické složky cementu.

V současné době jsou nejvíce používané synteticky vyráběné pryskyřice. Mezi nejčastěji používané syntetické pryskyřice patří epoxidová pryskyřice, polyester a vinylester. Ve směsích pro lepení kotev se obvykle označuje tato složka, jako složka A.

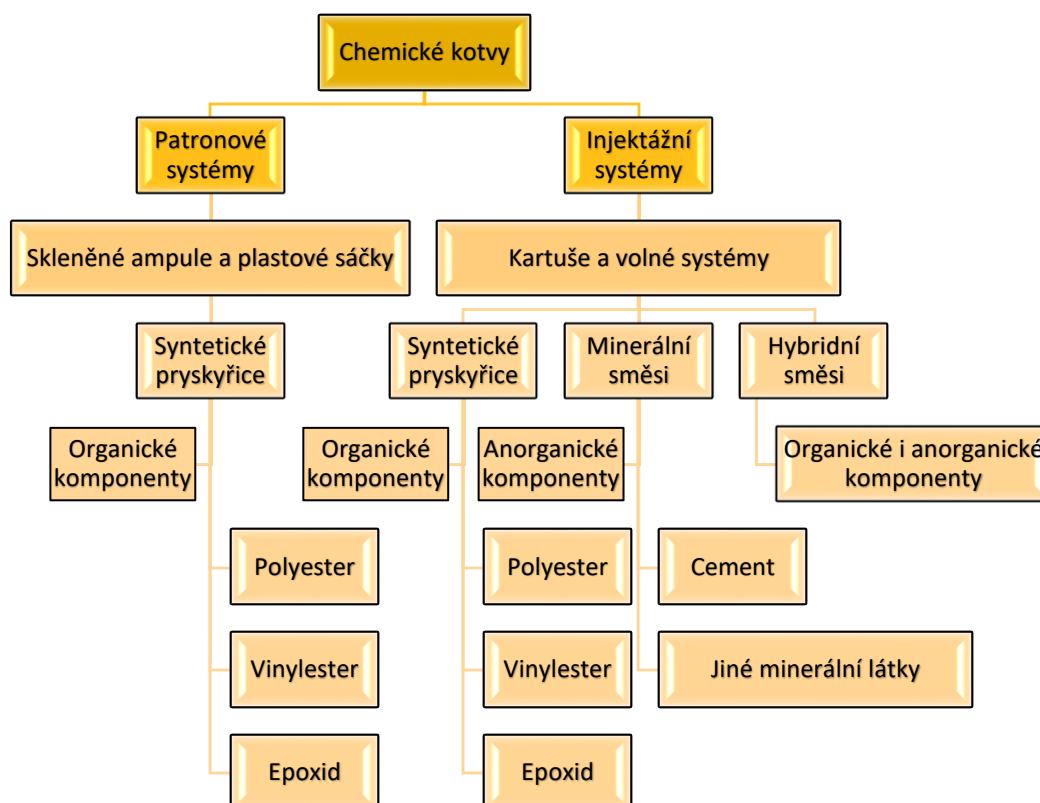
Schéma (Obr. 2-9) shrnuje nepoužívanější typy kontaktních materiálů dle chemického složení a formy v jaké jsou obvykle vyráběny [9].

Přidáním vhodného tvrdidla v předepsaném směšovací poměru se tvoří makromolekulární trojrozměrné struktury. Tvrdidlo se často označuje jako složka B dvousložkových lepidel. Obvykle má nižší hmotnostní a objemový podíl než složka A.

Kontaktní materiály na bázi syntetických pryskyřic často obsahují také urychlovače (akcelerátory) a katalyzátory. To jsou sloučeniny, které umožňují nebo urychlují reakční proces.

Aby syntetická pryskyřice získala definované mechanické, fyzikální a někdy i chemické vlastnosti, přidávají se do malt ze syntetických pryskyřic plniva. Jedná se hlavně o pevné přísady, které se chovají neutrálně vůči chemickým látkám ve směsi a neúčastní se chemických reakcí.

Plniva mohou zvětšit množství objemu výsledné směsi, ale neměla by příliš narušit její výslednou strukturu a mechanicko-fyzikální vlastnosti. Naopak mohou zdůraznit či vylepšit některé vlastnosti výsledného produktu (např. tepelnou vodivost, součinitel tepelné roztažnosti, zpracovatelnost, objemovou stálost). Jako výplňové látky se proto používají pevné, netěkavé anorganické látky (křemenný prášek, oxid křemičitý, skleněná vlákna atd.), většinou ve formě malých zrn nebo mouky.



Obr. 2-9 Přehled systémů kontaktních materiálů z pohledu chemického složení [9]

2.4.1.1 Lepidla na bázi epoxidových pryskyřic

Názvem epoxidové pryskyřice označujeme pryskyřičné látky, jejichž řetězce obsahují zpravidla více než jednu epoxidovou skupinu. Vykazují značnou reaktivitu s velkým počtem sloučenin vedoucí k sesíťovaným makromolekulárním produktům, které mají vynikající adhezní vlastnosti, chemickou odolnost a minimální smrštění při vytvrzování. Tyto vlastnosti vedly k velmi rychlému rozšíření v mnoha oblastech použití [24].

Vytvrzování epoxidových pryskyřic lze uskutečnit polyadící sloučenin s aktivním vodíkovým atomem na epoxidové skupiny, polykondenzací přítomných hydroxylových skupin a polymerací epoxidových skupin. První způsob je pro praxi nejvýznamnější [24]. Výhodou polyadice je, že nezůstávají žádné těkavé složky a vytvrzování probíhá téměř bez smršťování. Tvorba polymeru probíhá jako exotermická reakce. Během procesu vytvrzování se uvolňuje tepelná energie. Při nízkých teplotách se rychlost vytvrzování zpomaluje. Jako tvrdidla se používají nejčastěji polyaminy, polythioly a anhydridy polykarboxylových kyselin.

Lepidla na bázi epoxidové pryskyřice jsou velmi citlivá na dodržení poměru složek pryskyřice A a tvrdidla B při mísení. Pokud se nedosáhne nebo překročí určitá tolerance, zůstane "nevyužitě" množství složky A nebo B. To má negativní vliv na výsledné pevnostní parametry vytvrzeného produktu.

2.4.1.2 Lepidla na bázi polyesterových pryskyřic

Polyesterové pryskyřice jsou produkty polyesterifikace nenasycených dikarboxylových kyselin nebo jejich anhydridů s dioly. Vytvrzování těchto pryskyřic je obvykle prováděno kopolymerací nenasycených skupin kopolymerů. Inicializuje se organickými peroxidy, nejčastěji

dibenzoylperoxidem [24]. Pro vytvrzování za běžné teploty se přidává k polyesterové pryskyřici kromě iniciátoru ještě urychlovač. Např. kobaltnaté soli organických kyselin. Dále se používá přídavek styrenu, který zlepšuje viskozitu.

V souvislosti s lepidly pro dodatečně osazované chemické kotvy se nenasycené polyesterové pryskyřice vyrábí jako dvousložkové látky, nejčastěji ve formě dvoukomorových kapslí. Jedna složka obsahuje roztok nenasycené polyesterové pryskyřice, stabilizátory a akcelerátor. Druhá složka obsahuje tužidlo (organický peroxid s katalytickým účinkem) a případně plnivo (např. křemen se zaoblenými hranami).

2.4.1.3 Lepidla na bázi vinylesterové pryskyřice

Vinylesterová pryskyřice, nebo často jen vinylester, je pryskyřice vyráběná esterifikací epoxidové pryskyřice akrylovými nebo methakrylovými kyselinami. Byla vyvinuta jako nový systém pryskyřic s vylepšenou fyzikální a chemickou vlastností [25,26], aby se zlepšily některé nevýhody nenasycených látek polyesterové pryskyřice.

Vinylesterové pryskyřice jsou svým složením a výrobou velice podobné epoxidovým pryskyřicím, vytvrzovací mechanismus mají však radikálový. Vytvrzování vinylesterové pryskyřice je totožné s vytvrzováním polyesterových s tím rozdílem, že probíhá pouze na koncích řetězce [27]. To se projevuje vyšším modulem pružnosti a vyšší pevností v tahu než u polyesterových pryskyřic. Vinylesterové pryskyřice se stejně jako polyesterové pryskyřice míchají s reakčním ředidlem a reakce je iniciována UV zářením nebo peroxidy. Někdy je produkt dodatečně dotvrzován z důvodu požadavku vyšší konverze a zbytkového styrenu, který výrazně ovlivňuje mechanické vlastnosti výrobku. Pro syntézu těchto pryskyřic se používá bisfenol.

2.4.2 Soudržnost – kvalita spojení zprostředkovaná lepidlem

Z uvedených modelů predikujících mezní tahové zatížení dodatečně osazované chemické kotvy vyplývá, že s výjimkou modelu popisujícího samotnou poruchu betonu je potřeba pro konkrétní produkt znát mezní hodnotu napětí na rozhraní materiálů, tzn. soudržnost. Tento parametr bývá pro konkrétní výrobky uveden v příslušné evropské technické specifikaci výrobku, a je stanoven na základě norem pro technické schválení [2] příslušnou metodikou provedení omezené zkoušky.

U současných chemických kotev je vrstva lepidla nebo tmelu přibližně 1 až 2 mm podle průměru použitého kotevního šroubu. Z tohoto důvodu nebývá separátně definována kvalita kontaktu na rozhraní beton-lepidlo a šroub-lepidlo, ale často jen na jednom z těchto kontaktů. Tento přístup přináší do problematiky jistou míru nejistoty v možnosti lokalizace případné poruchy, nicméně z pohledu stanovení mezní tahové síly pro případ selhání kontaktu ho lze považovat za dostatečně přesný. Podle kvality použitých materiálů může být tato porucha na jednom či druhém rozhraní materiálů, případně po částech kotevní délky se její poloha může měnit (Obr. 2-2). V aktuálně platných normativních dokumentech [1,3] je vztažena obvykle k průměru kotevního šroubu d . Při použití modelu rovnoměrného napětí na rozhraní mezi materiály při omezené zkoušce, je toto napětí závislé na mezním zatížení, kotevní délce použitého průměru válcové plochy. Lze tedy použít přímou závislost mezi napětím na kontaktu a průměrem kotevního šroubu, nebo průměrem vrtaného otvoru (2.47).

$$N_u = \tau_{0,u} \cdot \pi \cdot d_0 \cdot h_{ef} = \tau_u \cdot \pi \cdot d \cdot h_{ef}$$

(2.47)

Je tedy možné přepočítat hodnotu mezního napětí na kontaktech dle (2.48).

$$\tau_{0,u} = \frac{\tau_u}{d_0} \cdot d \quad (2.48)$$

Stanovení hodnoty mezního smykového napětí – soudržnosti pro běžně používané dodatečně osazované chemické kotvy, včetně definice parametrů, které tuto hodnotu ovlivňují se stal pro řadu výzkumníků hlavním tématem souvisejícím s danou problematikou.

Rozsáhlá studie soudržnosti průmyslových lepidel [28], popisuje výsledky cca jednoho tisíce tahových omezených a neomezených tahových zkoušek dodatečně osazovaných chemických kotev s použitím cca dvaceti druhů tmelů a lepidel v různých podmínkách (testováno bylo 10 typů epoxidové pryskyřice s tvrdidlem na bázi aminu, 3 epoxidové pryskyřice s tvrdidlem na bázi merceptanu, 2 lepidla na bázi vinyl-esteru, 3 lepidla na bázi polyesteru, 1 vinyl-ester-cementová směs a 1 lepidlo na bázi polyamidu).

Při těchto zkouškách byly použity kotevní šrouby tří různých průměrů (12,7 mm; 15,87 mm a 19,05 mm), různých kotevních délek (76,2 mm; 101,6 mm a 127 mm). Použita byla betonová tělesa z betonu válcové pevnosti v rozmezí 25 až 60 MPa. Výsledky těchto testů globálně popisují rozptyl hodnot mezního napětí na kontaktu pro různé typy tmelů a lepidel. Naměřené hodnoty soudržnosti se pohybovaly podle typu konkrétního lepidla mezi 2-28 MPa.

Další široká studie [29-32] byla provedena s kotvami průměrů 8 až 16 mm kotevních délek 32 až 160 mm v betonech s válcovou pevností v tlaku v rozmezí 16 až 60 MPa. V těchto experimentech byla použita jedna hybridní lepicí směs s organickými i anorganickými komponenty bez příměsi styrenu. Dále směs na bázi epoxidu, dvě injekční směsi na bázi nenasycené polyesterové pryskyřice a jedno lepidlo na bázi vinylesterů. Dosažené hodnoty soudržnosti se pohybovaly v rozmezí od 9 do 26 MPa.

Data z výše uvedených experimentálních studií byla použita v této práci jak zdroj experimentálních dat a jsou dále vyhodnocována.

Dostupné jsou i výsledky dalších studií. Např v [33] se uvádí pro lepené kotvy na bázi nenasycené polyesterové pryskyřice průměrné hodnoty mezního smykového napětí na rozhraní mezi lepidlem a betonem 8 MPa v betonu s pevností v tlaku 20 MPa a hodnotu 12 MPa v betonu s pevností v tlaku 40 MPa. Obojí pro kotevní hloubku $h_{ef} = 9d$.

Zjednodušené určení mezní hodnoty soudržnosti pomocí exponenciální funkce pevnosti betonu v tlaku uvádí další studie [34]. Studia byla provedena s různými kotvami s kotevní délkou $h_{ef} = 100 \text{ mm}$. Hodnota mezního napětí na kontaktu mezi lepidlem a betonem odpovídá odhadu $\tau_{0,u} = f_{cc}^{0,36}$.

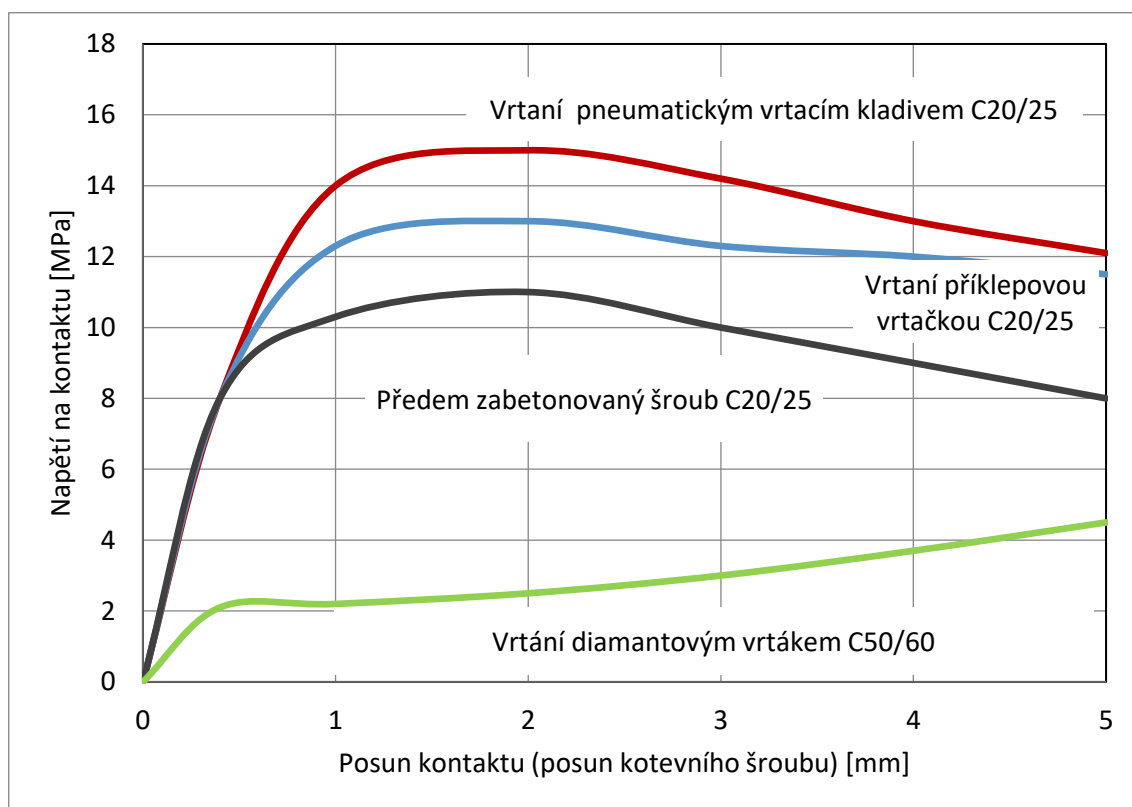
2.4.3 Parametry ovlivňující kvalitu spojení zprostředkovanou lepidlem

Kvalita spojení zprostředkovaného lepidlem je kromě materiálových charakteristik zastoupených materiálů ovlivněna dalšími parametry. Popisem vlivu těchto parametrů se zabývala celá řada výzkumníků. Mezi nejvýznamnější z těchto parametrů lze zařadit ty, které ovlivňují výslednou kvalitu spojení vždy, a souvisí se samotným procesem instalace kotevního šroubu. Jsou to:

- Technologie vrtání otvoru pro kotevní šroub
- Způsob a kvalita čištění vyvrtaného otvoru
- Teplota, při níž dochází k tvrdnutí lepidla

Tvar rozhraní mezi lepidlem a betonem je primárně dán technologií vrtání. Obecně lze připustit předpoklad, že čím hrubší je povrch vyvrtaného otvoru, tím je kvalita spojení mezi lepidlem a betonem vyšší. Kvalitu výsledného kontaktu může ovlivnit i pevnost betonu. Vzrůstající pevnost betonu ale také nepříznivě ovlivňuje obtížnost vrtání otvoru.

Praktické zkoušky ukazují (Obr. 2-10), že při větší pevnosti betonu je vyvrtávaný otvor hladší, což může naopak kvalitu kontaktu snížit. Při použití betonu s velmi vysokou pevností může tento negativní vliv i převažovat a výsledná soudržnost může být i nižší [35]. Tyto testy byly provedeny s kotevními šrouby průměru 20 mm, kotvenými na délce 10 d v betonu C20/25 a 15 d pro beton C50/60.



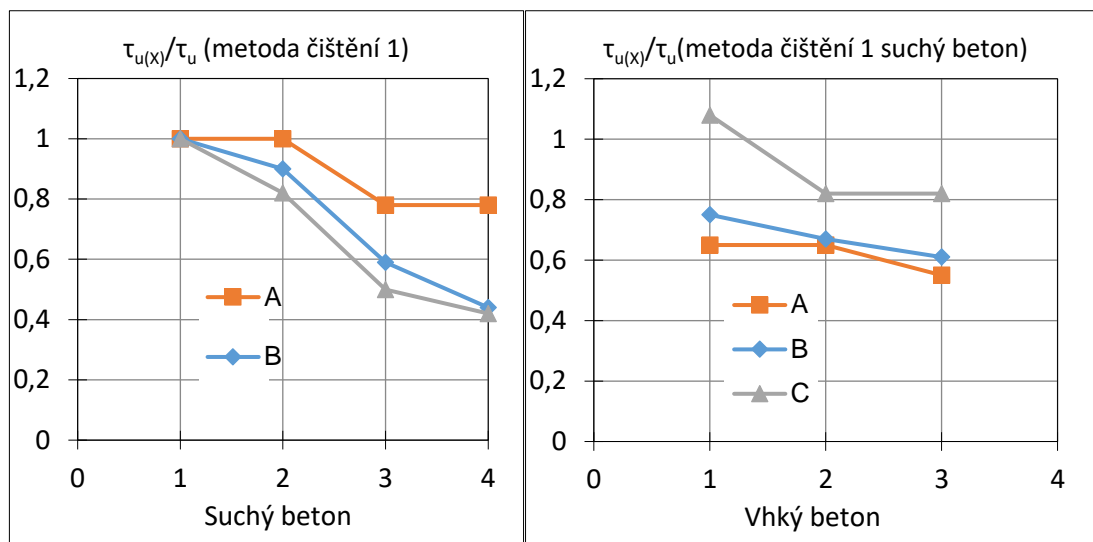
Obr. 2-10 Vliv technologie vrtání otvoru na průběh mezního napětí na kontaktu mezi lepidlem a betonem

Primární vliv na kvalitu kontaktu má především čištění vyvrtaného otvoru. Standardní postup čištění pro chemické kotvy předepisovaný výrobcem je čištění ocelovým kartáčem a následné čištění tlakem vzduchu. Čištění ocelovým kartáčem zajišťuje odstranění drobných úlomků betonu a prachu ze stěn vyvrtaného otvoru. Čištění stlačeným vzduchem pak slouží k odstranění volných částic prachu ven z vyvrtaného otvoru.

Tento prach tvoří volnou separační vrstvu mezi lepidlem a betonem a tím výrazně snižuje soudržnost. Tento jev je obzvláště nebezpečný u systémů s lepicími tmely, které se do otvoru vpravují již smíchané v tekutém stavu, a kotevní šroub je pak do připraveného otvoru vpraven pouze vtlačení. Pro kapslové systémy, kde se dvousložkové lepidlo mísí rotujícím kotevním šroubem při osazování, je vliv této prachové separační vrstvy nižší, jelikož prachové částice při tomto procesu ulpívají na vlhké vrstvě lepidla a následně jsou do něj vmíchány.

Výsledky studie [36], zaměřené na kvalitu kontaktu v závislosti na procesu čištění vyvrtaného otvoru pro vybrané typy lepidel a čtyři úrovně čištění jsou uvedeny na Obr. 2-11. V levém grafu jsou

vzájemně porovnané výsledky pro různé způsoby čištění otvorů v suchém beton, v pravém grafu pak relativní srovnání s výsledky ve vlhkém betonu. Vlhkost stěn způsobuje vyšší přilnavost částic prachu a činí je obtížněji odstranitelné.



Způsob čištění	
1	2 x vyfukování, 2x čištění kartáčem, 2x vyfukování
2	1 x vyfukování, 1x čištění kartáčem, 1x vyfukování
3	2x vyfukování
4	Bez čištění
Tmel/lepidlo	
A	Vinyl-esterové pryskyřice neobsahující styren
B	Epoxidové pryskyřice
C	Polyesterové nebo vinyl-esterové pryskyřice obsahující styren

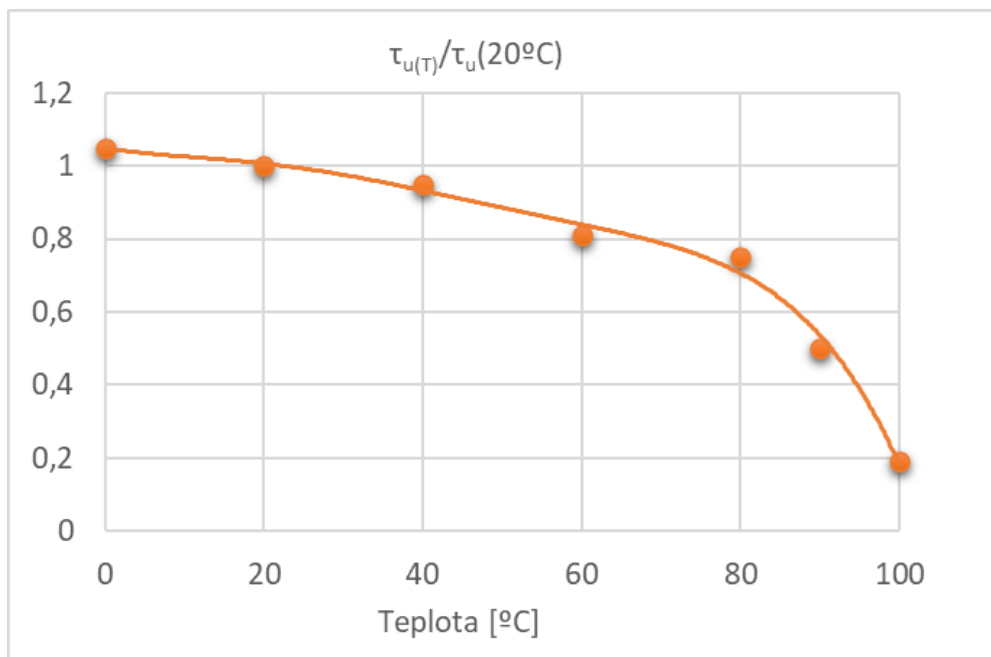
Obr. 2-11 Vliv kvality čištění otvoru na hodnotu mezního napětí na kontaktu mezi lepidlem a betonem

Dalším parametrem, který může výrazně ovlivnit chování kontaktu, a tak chování celého kotevního systému je teplota. Samostatným problémem je rychlost vytvrzování lepidel při snížené teplotě. Teplota vzduchu a betonu má zásadní vliv na čas potřebný k řádnému vytvrzení lepidla. Tato doba je primárně závislá na konkrétním chemickém složení a vlastnostech lepidla. Čím je teplota zastoupených komponent systému nižší, tím je čas potřebný k proběhnutí chemických reakcí delší [37]. Rychlost reakce se tedy s nižší teplotou zpomaluje. Kritickou teplotou bývá pro většinu výše popsaných kotevních materiálů teplota klesající pod 5 °C. V některých případech se může proces vytvrzování v nízkých teplotách zcela zastavit [38].

Lepidla na bázi epoxidových pryskyřic dosahují obvykle vyšších pevností, nicméně lepidla na bázi vinyl-esterových pryskyřic jsou díky svému reaktivnímu mechanismu lépe adaptovatelná právě pro vytvrzování za nízkých teplot. Vyšší rychlost reakce a reaktivní teplo, které při vytvrzování vzniká je výhodou právě při použití lepidla v nižších teplotách, nicméně může být nevýhodou z hlediska smrštění lepidla, které může výrazně redukovat výslednou kvalitu spojení. Zároveň musí být rychlost reakce a vyvinuté reakční teplo přijatelné i při běžných teplotách instalace. Je nutné, aby byla zajištěna dostatečná doba pro zpracovatelnost lepidla, minimalizovalo se smrštění lepidla, a také aby

vzniklé reakční teplo nebylo nepřiměřeně vysoké, vylučující bezpečnou práci s lepidlem. Návrh kontaktního materiálu je z pohledu těchto hledisek vždy kompromisem.

Teplota má ale také vliv na mechanické vlastnosti již vytvrdnutého lepidla. Zvýšenou pozornost je třeba věnovat použití chemických kotev v provozech s vysokou teplotou, při níž se vlastnosti lepidla výrazně mění. Na výrazný pokles soudržnosti některých typů lepidel pro chemické kotvení při vysokých teplotách poukazuje studie [6], viz Obr. 2-12, kde je vyobrazena míra redukce mezního napětí na kontaktech v závislosti na vzrůstající teplotě.



Obr. 2-12 Vliv vysoké teploty na mezní napětí na kontaktu

3 Cíle habilitační práce

Problematika navrhování dodatečně osazovaných chemických kotev do betonu prošla za poslední dvě desetiletí poměrně značným vývojem. Završením tohoto bylo uvedení poměrně komplexních normativních dokumentů (EN 1994-2 [3] a ACI 318-19 [1]), které společně s navázanými dokumenty danou problematiku řeší v relativně širokém rozsahu. Přesto lze v této problematice nalézt řadu dalších oblastí, které lze nadále analyzovat a studovat, a tím přispět k zisku nových poznatků o skutečném chování tohoto kotevního styčnicku, případně k upřesnění stávajících poznatků.

Předkládaná habilitační práce si klade za cíl přinést nové poznatky z oblasti navrhování dodatečně osazovaných chemických kotev, zejména se zaměřením na dva dílčí aspekty.

První část práce se věnuje hodnotě mezního napětí na kontaktu zprostředkovaného lepidlem. Jde o jeden z hlavních parametrů, který je, vzhledem k aktuálně používaným modelům predikce mezního tahového zatížení, nezbytný pro popis odolnosti kotevního styčnicku. Vzhledem k tomu, že v případě typické dodatečně osazované chemické kotvy se na výsledné odolnosti proti tahovému zatížení podílejí v podstatě tři materiály, je logickým krokem ke zvýšení odolnosti volba použití materiálů s vyššími hodnotami pevnostních charakteristik. Pro dosažení požadovaného zvýšení odolnosti, za předpokladu efektivního a ekonomického využití materiálů, je nutné tento přístup zvolit u všech tří zastoupených materiálů zároveň. V této konfiguraci ale může být právě kotevní materiál – lepidlo tím materiálem, který je z tohoto pohledu limitující.

Cílem této části práce (zejména experimentální) bylo nalezení vhodné receptury lepidla na bázi vinyl-esterové pryskyřice nebo epoxidové pryskyřice, která by po zatvrdnutí zprostředkovala kvalitní spojení mezi kotevním šroubem a betonem s úrovní mezního napětí na kontaktu mezi ocelí a šroubem přesahující 30 MPa. Tím by se toto lepidlo stalo vhodné pro použití v betonu s vysokou pevností společně s použitím vysokopevnostních kotevních šroubů. Dílčím cílem této části bylo ověřit použití plničů za účelem zlepšení pevnostních charakteristik lepidla. Jako tyto plniče byly použity odpadní uhlíková vlákna, grafen, či nanotrubičky. Při vývoji tohoto lepidla byl také kladen důraz na to, aby bylo schopné reakci i v nízkých teplotách blízkých 0 °C.

Dále tato práce prezentuje modifikovanou metodu omezené tahové zkoušky kotvy, která je vhodná pro použití právě při vývoji lepidel pro toto určení. Modifikovaná omezená zkouška sleduje pouze mezní hodnotu napětí mezi kotevním šroubem a betonem a eliminuje tak výrobu betonových těles, která nahrazuje ocelovým tělesem. Proces vrtání otvoru do betonu je v této zkoušce nahrazen čištěním otvoru v opakovaně použitelném ocelovém tělese. Celkově je tato metodika méně časově náročná, protože nezahrnuje proces výroby betonových těles.

Druhá část této práce si klade za cíl porovnat a zhodnotit vybrané publikované modely predikce mezního tahového zatížení pro dodatečně osazovanou chemickou kotvu. K porovnání popsaných modelů byla sestavena rozsáhlá databáze výsledků experimentů od různých světových autorů, která obsahuje výsledky jak omezených, tak neomezených zkoušek pro kotvy různých průměrů a kotevních délek instalovaných pomocí širokého spektra lepidel do betonu různých pevností. Celkově databáze obsahuje 1250 výsledků neomezených zkoušek jednotlivých kotev a dalších 470 výsledků testů souvisejících omezených zkoušek. Součástí této databáze jsou také již dříve publikované výsledky vlastních experimentů autora. Pro vlastní hodnocení bylo použito několik možných kritérií statistického vyhodnocení. Hodnocena byla zejména přiléhavost funkcí modelů predikce k experimentálním výsledkům.

Dále byly vybrané modely podrobeny hlubší analýze spočívající v kalibraci modelů. Kalibrace spočívala v hledání nevhodnějších hodnot jednotlivých vstupních parametrů pro minimalizaci sledovaných zvolených hodnotících kritérií. Pro nalezení těchto modifikovaných koeficientů byla využita metoda využívající prvky genetických algoritmů. Ta v tomto kontextu vhodná pro kalibraci modelů s větším množstvím modifikovatelných parametrů.

Cílem této teoretické části je tedy prezentovat možnosti zvýšení přesnosti vybraných používaných modelů s použitím korelace ke zmíněné databázi experimentálních výsledků.

Mezi další cíle práce spadá představení modifikovaného modelu predikce mezní tahové síly publikovaného autorem této práce. Modely, které jsou v současné době nejvíce používané a jsou implementovány v normativních dokumentech jsou postaveny na predikci mezní tahové síly pro oddělené typy poruch kotvy v oblasti betonu. Prezentovaný model popisuje kombinovanou poruchu selhání betonu a lepidla. S využitím stejných vstupních dat tak nahrazuje více vztahů pro více poruch jedním. V rámci korelace s uvedenou databází experimentálních výsledků také dosahuje menších hodnot normované chyby.

4 Experimenty a jejich vyhodnocení

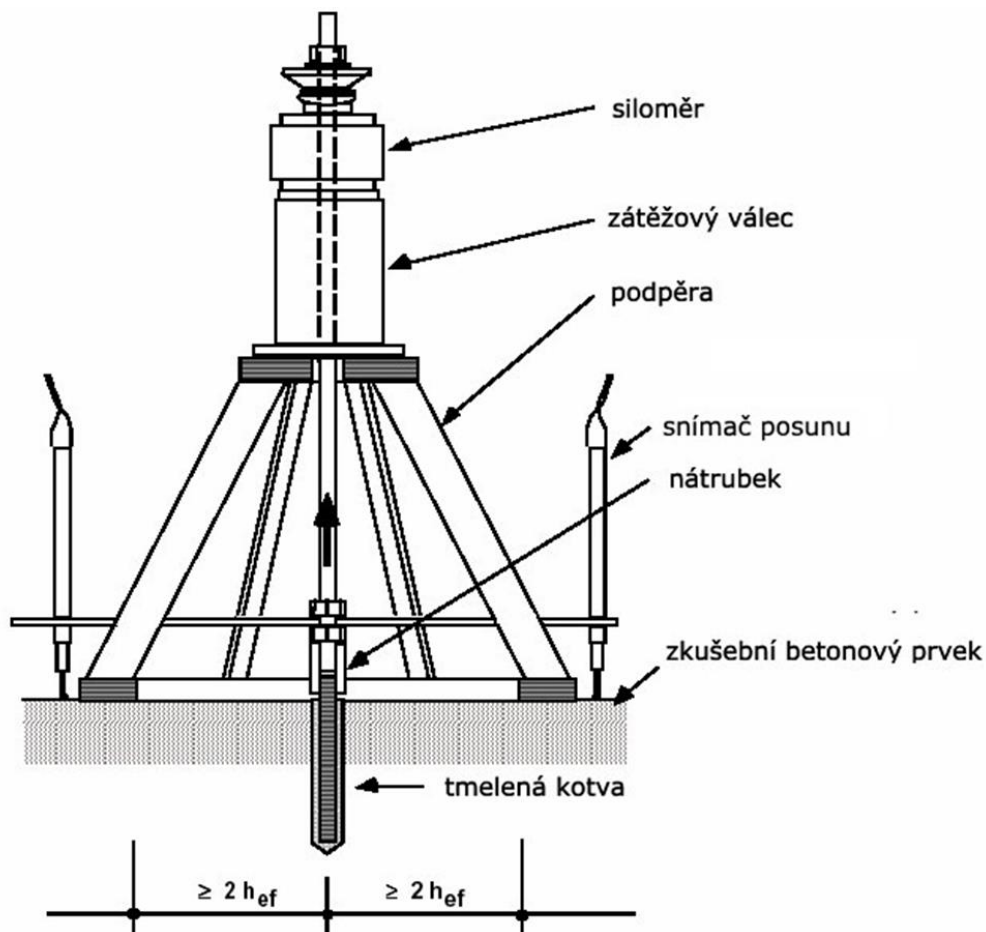
Experimentální část práce obsahuje popis metodiky zkoušení, provedení experimentů a jejich výsledky. Experimenty byly provedeny na typických chemických kotvách a byly navrženy tak, aby svými charakterem postihly problematiku sledovaného cíle, tzn. působení chemické kotvy při zatížení statickou tahovou silou s důrazem na popis chování a stanovení mezní únosnosti lepených kontaktů. Výsledky tahových zkoušek kotev byly zahrnuty do databáze výsledků použitých pro následnou analýzu modelů predikce mezní tahové síly.

Níže uvedený popis zahrnuje experimentální měření provedená na pracovišti Ústavu kovových a dřevěných konstrukcí, Vysokého učení technické v Brně.

4.1 Metodika testování

4.1.1 Neomezená zkouška

Prvním základním experimentem pro hodnocení odolnosti dodatečně osazovaných kotev je tzv. neomezená zkouška. Princip této neomezené zkoušky je uveden ve směrnici pro evropské schválení ETAG [2]. Schéma zkoušky je uvedeno na následujícím obrázku (Obr. 4-1).



Obr. 4-1 Princip neomezené zkoušky dle směrnice pro evropské schválení ETAG [2]

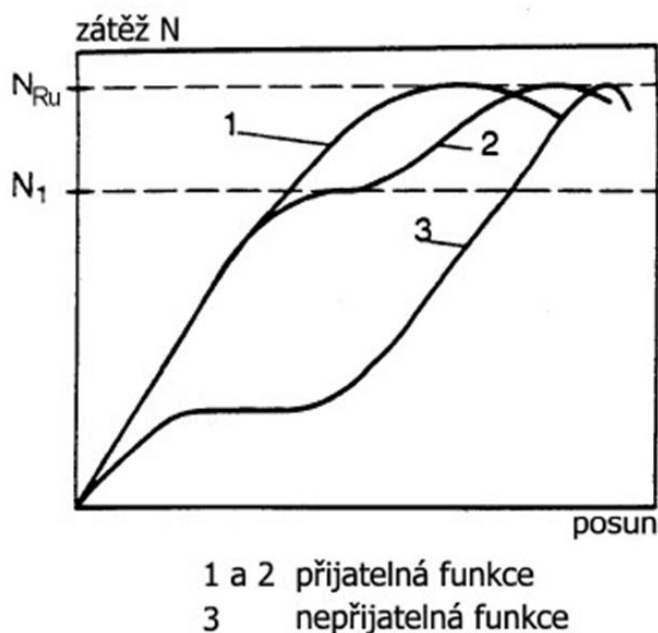
Princip neomezené zkoušky (jak je uvedeno na obrázcích Obr. 2-1 a Obr. 4-1) spočívá v tom, že reakce od zatěžovací sestavy, která vnáší do kotevního šroubku tahové zatížení, je svedena do

betonového tělesa v dostatečné vzdálenosti od kotevního šroubu. Oblast betonu kolem kotevního šroubu není touto reakcí nijak ovlivněna a může tak docházet volně ke svislému přetvoření kotevního šroubu, vrstvy lepidla i samotného betonu. Může tedy dojít k volnému rozvoji trhlin betonu v namáhané oblasti. Požadovaná volná plocha kolem kotevního šroubu je dána poloměrem kružnice odpovídajícímu minimálně dvojnásobku kotevní délky šroubu $2 \cdot h_{ef}$. Tento minimální rozměr vychází z maximálního tvaru kužele betonu vycházejícího z nejspodnější části kotevního šroubu, pod úhlem 30 % od vodorovné roviny. Tato konfigurace pro všechny typy kotev splňuje požadavek neovlivněného kužele, ale zároveň klade vysoké nároky na velikost zkoušeného prvku.

Podrobné podmínky provedení této zkoušky jsou uvedeny ve směrnici pro evropské technické schválení [2]. Z těchto podmínek a podrobností zkoušek jsou v této části vybrány jen nejdůležitější aspekty sloužící k pochopení principu provedení a vyhodnocení zkoušek.

Při zkoušce je kotevní šroub zatížen rovnoměrně vzrůstající tahovou silou až do porušení. Současne se záznamem této zkoušky je zaznamenáván měřený posun kotevního šroubu. Snímač posunu kotevního šroubu musí být umístěn přímo v ose kotevního šroubu (pak stačí pouze jeden), anebo je nutné použít dva snímače posunu umístěné na měřicím přípravku pevně připojenému ke kotevnímu šroubu. V takovém případě se pro vyhodnocení použije průměrná hodnota naměřená s pomocí těchto dvou snímačů.

Výsledkem neomezené zkoušky je pracovní diagram kotvy při zatížení tahem. V něm je na vodorovné ose vyneseno posun kotevního šroubu při zatížení, které je vyneseno na svislé ose. Tvar funkce tahového zatížení v závislosti na posunu kotevního šroubu může být různý. Na jeho výsledné podobě se podílí porušení jednoho či více zastoupených materiálů a také charakter rozhraní mezi nimi. Dle [2] (Obr. 4-2) je přípustný tvar křivky zatížení/přetvoření, který má významnou počáteční lineární část s následným postupným změkčením až do dosažení mezní tahové síly, případně funkce s mezilehlým částečným poklesem tuhosti způsobeným tzv. nekontrolovaným skluzem kotvy, který může být zapříčiněn částečným selháním kontaktu či dosažení meze kluzu oceli kotevního šroubu.



Obr. 4-2 Pracovní diagram neomezené zkoušky – platnost výsledku [2]

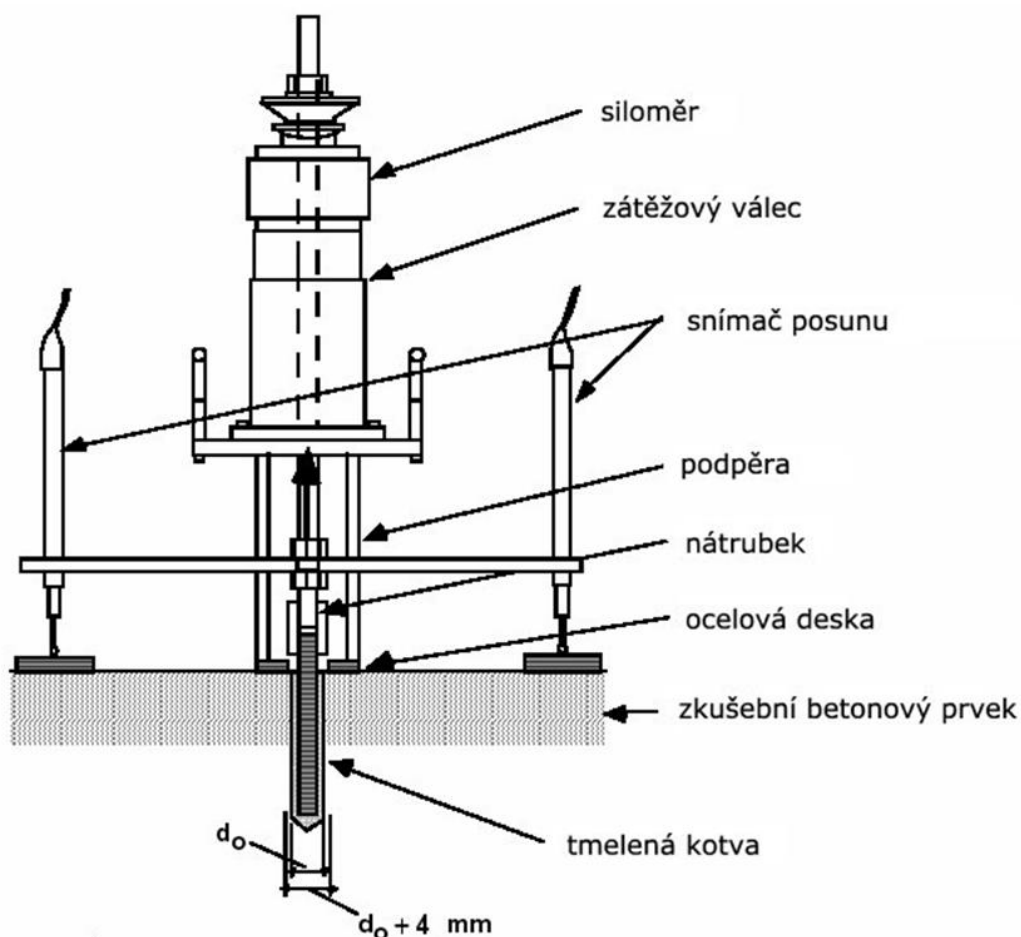
Rozdíl mezi mezním zatížením a zatížením odpovídajícím úrovni nekontrolovatelného skluzu však pro přípustný výsledek nesmí překročit hodnotu definovanou vztahem (4.1) pro zkoušku v betonu bez trhlin a vztahem (4.2) pro zkoušku v betonu s trhlinami. Jiný tvar funkce zatížení/přetvoření není přípustným výsledkem zkoušky.

$$N_1 \geq 0,8 \cdot N_{Ru} \quad (4.1)$$

$$N_1 \geq 0,7 \cdot N_{Ru} \quad (4.2)$$

4.1.2 Omezená zkouška

Druhým základním experimentem pro hodnocení odolnosti dodatečně osazovaných kotev je tzv. omezená zkouška. Princip této omezené zkoušky je rovněž uveden ve směrnici pro evropské schválení ETAG [2]. Schéma omezené zkoušky je uvedeno na obrázku Obr. 4-3.



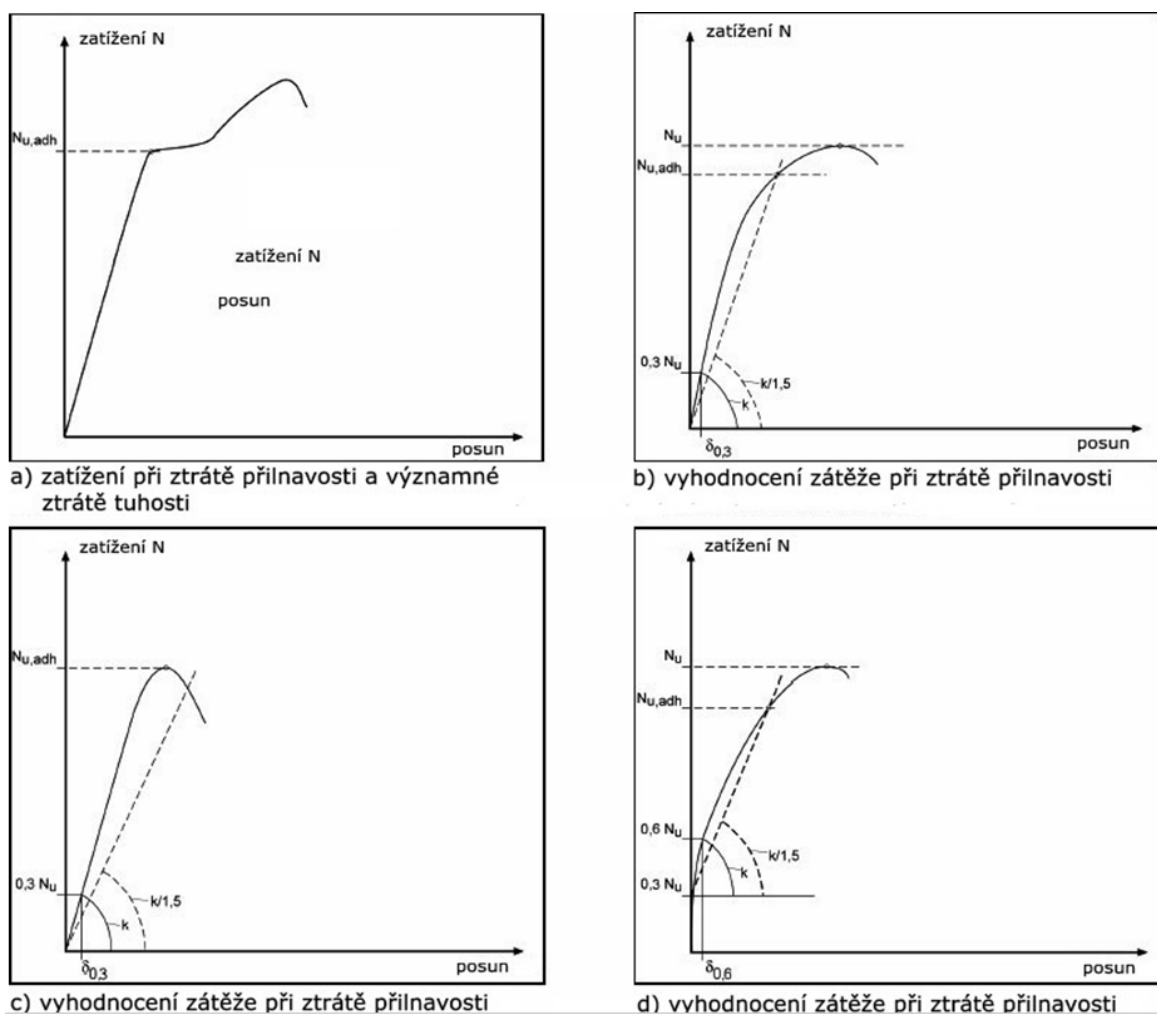
Obr. 4-3 Princip omezené zkoušky dle směrnice pro evropské schválení ETAG [2]

Omezená zkouška je určena pro popis chování kotvy při poruše vytažením a v případě chemické kotvy zejména pro stanovení mezního tahového zatížení při selhání soudržnosti, tzn. při dosažení mezního napětí na rozhraní mezi materiály. Reakce zkušební sestavy při vyvození zatížení jsou prostřednictvím podpěry svedeny do těsné blízkosti kotevního šroubu tak, aby bylo zamezeno

přetvoření oblasti betonu, v které se při neomezené zkoušce vytváří typická porucha ve formě vytrženého kužele betonu. Porucha betonu je tedy v omezené zkoušce eliminována.

U chemických kotev dochází k neřízenému posunu, když je kontaktní materiál vytažen ven spolu se zapuštěným dílem z vyvrtaného otvoru (protože pak chování posunu při zatížení závisí významně na nestejnomyšnostech vyvrtaného otvoru). Odpovídající zatížení, při počátku nekontrolovatelného posunu, se nazývá zatížení při ztrátě přilnavosti $N_{u,adh}$.

Namísto požadavku na diagramy posunu při zatížení dle Obr. 4-2 s ohledem na nekontrolovatelný skluz, se hodnotí právě zatížení při počátku nekontrolovatelného posunu při ztrátě přilnavosti. To má být vyhodnoceno pro každou zkoušku z měřené křivky posunu při zatížení. Všeobecně je zatížení při ztrátě přilnavosti charakterizováno významnou změnou v tuhosti, viz Obr. 4-4,[2].



Obr. 4-4 Vyhodnocení hodnoty selhání kontaktu v závislosti na tvaru pracovního diagramu z omezené zkoušky [2]

Pro hodnocení síly odpovídající počátku ztráty přilnavosti se použijí dvě třetiny hodnoty počáteční tuhosti kotevního systému vyjádřené tečnou křivky zatížení/přetvoření k , vypočtené z úrovně posunu kotevního šroubu při zatížení dosahujícího 30 % mezního hodnoty N_u .

Vypočtená hodnota tuhosti se použije pro konstrukci přímky, která se protíná s křivkou zatížení/přetvoření v bodě, který odpovídá hledané síle na počátku ztráty přilnavosti.

Existuje-li na křivce posunu při zátěži vrchol nalevo od této přímky, který je výše než zatížení na průsečíku, pak je hledaná síla rovna meznímu zatížení.

Existuje-li na počátku velice strmá křivka posunu při zatížení, může být posunut počátek hledané přímky do bodu odpovídajícímu 30 % mezního zatížení.

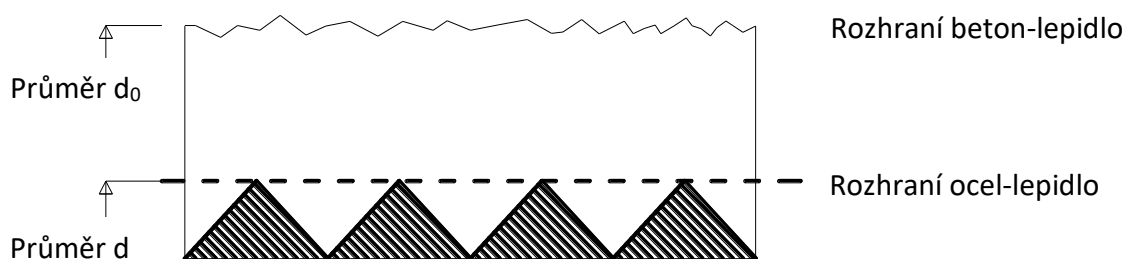
4.1.3 Modifikovaná omezená zkouška – podrobný popis použité metodiky zkoušení

Se vzrůstajícími nároky na spolehlivost kotevního systému, rozvojem vysokopevnostních materiálů a snahou o rozšíření použitelnosti takovýchto kotevních systémů, je stále třeba hledat nové, efektivnější kontaktní materiály. Výzkum v této oblasti je zaměřen na následující faktory:

- Prohloubení poznatků o vztahu mezi strukturou vyvíjeného materiálu a jeho užitnými vlastnostmi
- Vývoj pokročilých kompozitních kontaktních materiálů, jejichž užitné vlastnosti převyšují užitné vlastnosti stávajících běžně používaných průmyslových lepidel a taktéž rozšiřují škálu využití tohoto typu produktu, zejména v oblasti kotvení do vysokopevnostních betonů, kdy jsou vlastnosti kontaktního materiálu dominantní a kotvení do betonů při teplotách blízkých nule stupňů celsia.

Vzhledem k tomu, že v mnoha případech je třeba ověřit mechanické vlastnosti vyvinutého kontaktního materiálu s co nejmenšími náklady a časovými požadavky, není vždy efektivní použít výše uvedené metodiky zkoušení, které jsou závislé na přípravě betonových těles. Příkladem vhodnosti popsané metodiky může být výzkum v oblasti použití betonu s pevností v tlaku větší jak 60 MPa současně s kotevním šroubem z oceli pevnosti větší jak 800 MPa při požadavku zachování co nejmenších kotevních délek. V takové konfiguraci je zpravidla nejslabším prvkem systému právě kontaktní materiál a výsledná únosnost systému není již výrazně ovlivněna charakteristikami betonu. V takovém případě nastává nejčastěji porucha c) dle Obr. 2-2.

Na Obr. 4-5 je vyobrazen zvětšený výsek vrstvy lepidla v případě použití kotvy v betonovém tělese. Na rozhraní mezi lepidlem a betonem, které je geometricky dáno průměrem vrtaného otvoru vzniká vzhledem k větší ploše menší hodnota smykového napětí než na rozhraní mezi lepidlem a ocelovým šroubem, které je geometricky definováno průměrem kotevního šroubu d . Vzhledem k řádově vyšším hodnotám pevnostních charakteristik oceli, z které je vyroben kotevní šroub, nelze předpokládat, že by materiál kotevního šroubu přímo ovlivňoval poruchu na rozhraní mezi ocelí a betonem. Porucha na tomto rozhraní je majoritně ovlivněna materiálovými charakteristikami lepidla.



Obr. 4-5 Idealizovaný tvar rozhraní mezi jednotlivými materiály

Na rozhraní mezi lepidlem a betonem je situace jiná. Porucha tohoto rozhraní může být ovlivněna materiálovými charakteristikami betonu, přičemž jejich vliv na výslednou poruchu výrazně stoupá při použití betonu nižší pevnosti [20,21,39]. V případě použití betonu s vysokou pevností se při omezené zkoušce pravděpodobnost vzniku poruchy na rozhraní mezi betonem a lepidlem výrazně snižuje. V takovém případě je časově i ekonomicky neefektivní ověřovat mechanické vlastnosti vyvíjeného kontaktního materiálu v betonových tělesech.

Obdobně neefektivní je ověřovat tyto vlastnosti v betonových tělesech při prvotní fázi vývoje kontaktního materiálu pro některá speciální použití, např. pro kotvení při nízkých teplotách. V situaci, kdy je sledovaným faktorem zejména proces vytvrzování, je vliv pevnosti betonu druhořadý. V tomto případě nastává obdobná situace, tzn. výrazná nerovnováha mezi pevnostními charakteristikami betonu a lepidla, ve prospěch betonu.

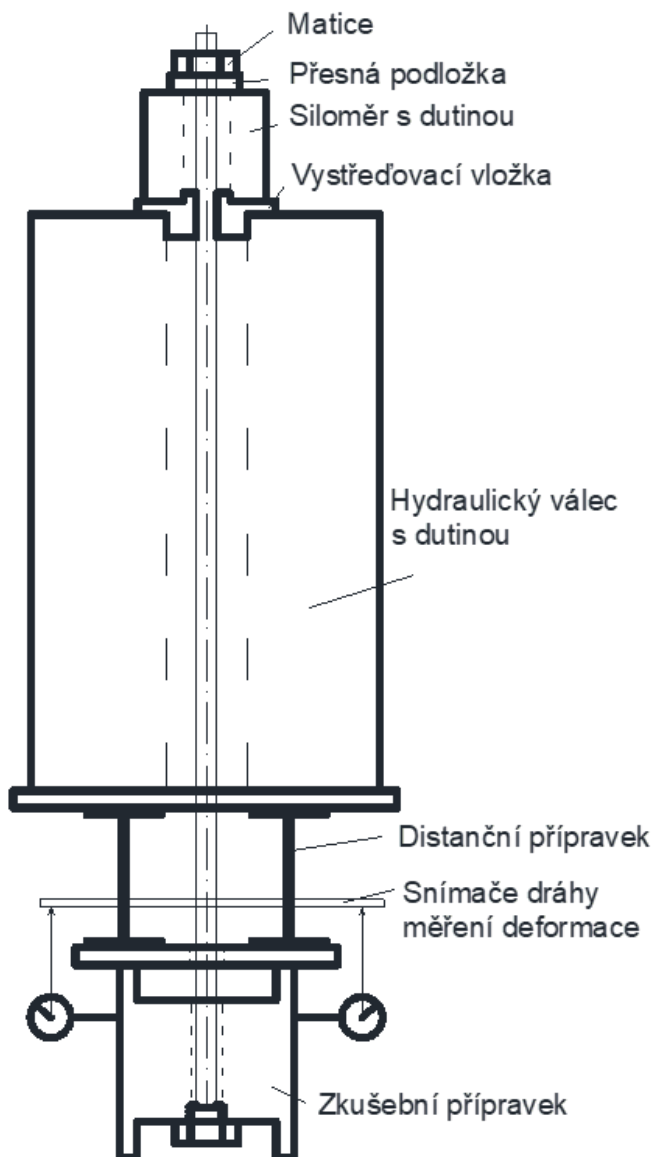
Pro realizaci níže popsaných experimentů byla použita modifikovaná metodika omezené zkoušky s vyloučením efektu základního materiálu – betonu. Tato metodika nenahrazuje omezenou zkoušku dle [2] a nelze ji použít jako plnohodnotnou metodiku ověření kvality spojení zprostředkované kontaktním materiálem. Použití této metodiky je ale vhodné při vývoji kontaktních materiálů pro hodnocení jejich obecné kvality pro případy, kdy je použití betonových zkušebních těles nevhodné, neefektivní, nebo jinak neopodstatněné.

Základním principem použité modifikované omezené zkoušky je využití opakovaně použitelného ocelového zkušebního přípravku, namísto betonového tělesa. Zkouška je vhodná pro obvyklé uspořádání chemických kotev, kde tloušťka vrstvy lepidla nepřesahuje rozmezí 1-2 mm [40].

4.1.3.1 Zkušební sestava pro modifikovanou omezenou zkoušku

Zkušební sestava se skládá z následujících prvků (Obr. 4-6):

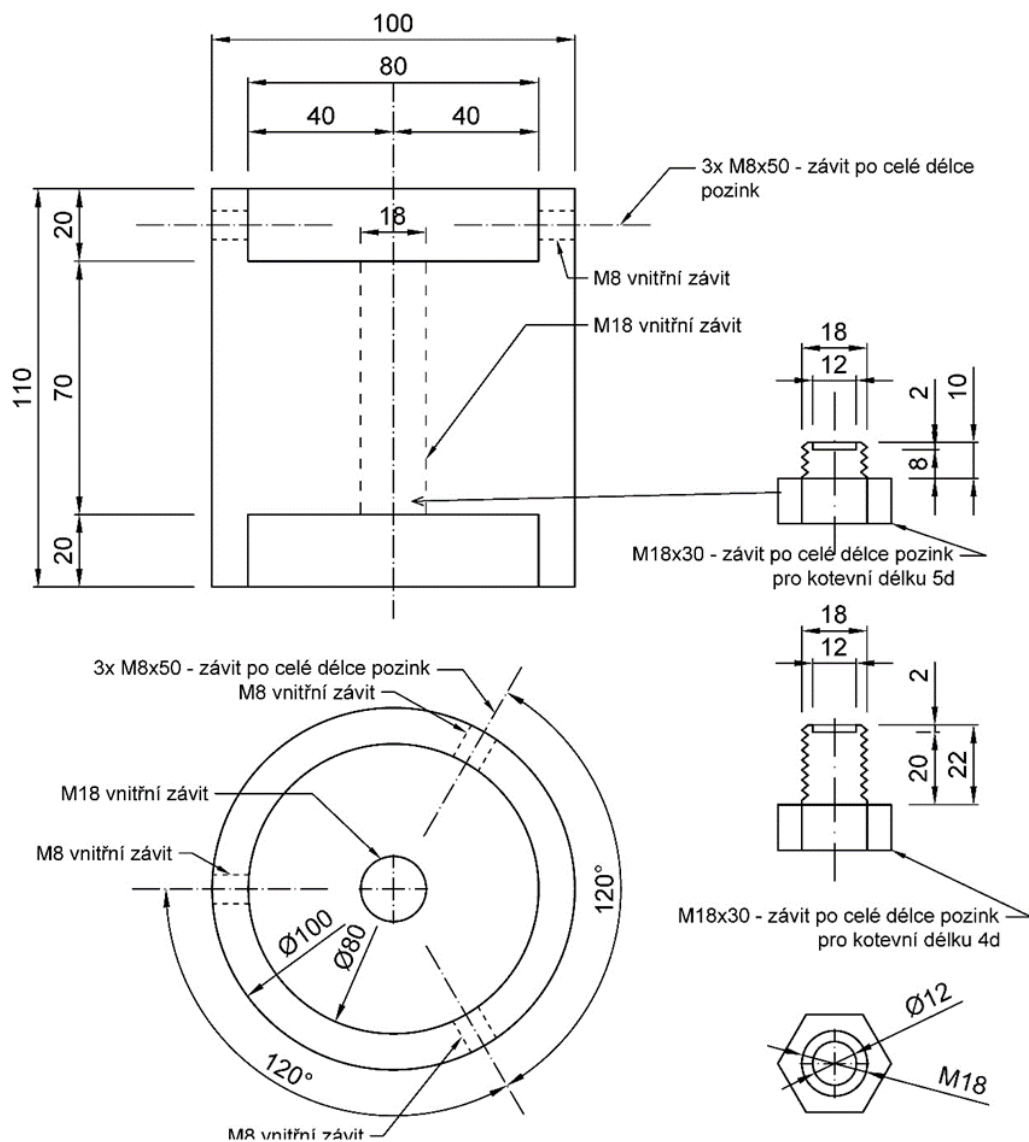
- Zkušební ocelový přípravek (v popisované metodice ocelový viz níže)
- Osazovací přípravek
- Kotevní šroub (závitová tyč)
- Přípravek pro osazení snímačů dráhy
- Distanční přípravek pro osazení zatěžovacího válce
- Hydraulický zatěžovací válec s dutinou
- Vystředovací přípravek
- Tuhé podložky s přesným otvorem
- 2x snímače posunu
- Siloměr s dutinou
- Ruční nebo elektrické hydraulické čerpadlo s regulací



Obr. 4-6 Schéma zkušební sestavy pro použitou modifikovanou omezenou zkoušku

4.1.3.2 Zkušební ocelový přípravek

Pro potřeby uvedené metodiky je navržen nový ocelový zkušební přípravek. Schéma přípravku je na Obr. 4. Tento přípravek může být vyroben z oceli běžné pevnosti. Navržený přípravek je určen pro zkoušení kotevních šroubů průměru M12. Přípravek je opatřen vnitřním závitem M18. Toto řešení zajišťuje rovnoměrnou vrstvu kotevního materiálu v tloušťce minimálně 1,3 mm (měřeno mezi vnějšími hranami závitů ocelového zkušebního přípravku a závitu kotevního šroubu). Přičemž tloušťka této vrstvy se mění v závislosti na změně geometrie obou závitů. Vzhledem k materiálovým vlastnostem oceli lze předpokládat, že při testu porucha nastane vždy ve vrstvě kotevního materiálu, a to obvykle na kontaktu s vnější hranou závitů kotevního šroubu.



Obr. 4-7 Ocelový zkušební přípravek pro modifikovanou omezenou zkoušku

Těleso ocelového zkušební přípravku je rotačně symetrické a je také symetrické vůči vodorovné rovině procházející polovinou výšky přípravku. Na obou koncích jsou vytvořeny prohlubně v hloubce 20 mm, které slouží jednak pro rozlití přebytečného množství kotevního materiálu, a zároveň slouží jako kapsa pro schování uzavíracího šroubu, která tak umožňuje vznik rovné dosedací plochy přípravku.

4.1.3.3 Kotevní šroub

Pro ověření kvality kotevního materiálu je nejvhodnější použít jako kotevní šroub závitovou tyč. S použitím dlouhé matice lze v přípravku zkoušet i krátké kotevní šrouby. Závitová tyč musí být před zkouškou řádně očištěna a odmaštěna. Navržené těleso ocelového zkušební přípravku je přizpůsobeno testování kotevních šroubů ukotvených na délce rovné 4 či 5-ti násobku průměru kotevního šroubu. Kotevní délku lze regulovat pomocí výměny uzavíracího šroubu s různou délkou dříku. Použitá kotevní délka ovlivňuje přímo zatížení, které je potřeba na vzorek aplikovat pro dosažení poruchy na rozhraní materiálů, na ploše definované vnějším průměrem kotevního šroubu

„d“. Pro očekávané hodnoty zatížení je třeba volit takovou kotevní délku, která vyloučí možnost poruchy ocelového kotevního šroubu.

Pro názornost jsou na Obr. 4-8 uvedeny mezní hodnoty kotevní délky vyhovující výše popsaným podmínkám v závislosti na fiktivní hodnotě mezního rovnoměrného smykového napětí na rozhraní mezi ocelovým šroubem a lepidlem. Barevně jsou vyznačeny ty materiály kotevního šroubu (v souladu s horní částí tabulky), které v dané geometrické a materiálové konfiguraci plní předpoklad, že nedojde k selhání kotevního šroubu přetržením (bílá barva). Uvedené hodnoty jsou stanoveny na základě vztahů (2.24) a (2.35).

Charakteristická únosnost kotevního šroubu $N_{RK,s}$						
Materiál kotevního šroubu	Mez pevnosti	Mez kluzu	d [mm]	10	12	16
	$f_{u,k}$ [MPa]	$f_{v,k}$ [MPa]				
Ocel 5.6	500	300	$N_{RK,s}$ [kN]	29,00	42,15	78,50
Ocel 8.8	800	640	$N_{RK,s}$ [kN]	46,40	67,44	125,60
Ocel 10.9	1000	900	$N_{RK,s}$ [kN]	58,00	84,30	157,00
Ocel 12.9	1200	1080	$N_{RK,s}$ [kN]	69,60	101,16	188,40
Vhodnost třídy oceli šroubu je vyznačena příslušnou barvou						
Mezní napětí τ_{RK} [MPa] 40 Charakteristická únosnost při selhání kontaktu $N_{RK,p}^0$						
Průměr kotevního šroubu			d [mm]	10	12	16
kotevní délka	násobek d					
4d	4	$N_{RK,p}^0$ [kN]		50,27	72,38	128,68
5d	5	$N_{RK,p}^0$ [kN]		62,83	90,48	160,85
6d	6	$N_{RK,p}^0$ [kN]		75,40	108,57	193,02
7d	7	$N_{RK,p}^0$ [kN]		87,96	126,67	225,19
8d	8	$N_{RK,p}^0$ [kN]		100,53	144,76	257,36
Mezní napětí τ_{RK} [MPa] 35 Charakteristická únosnost při selhání kontaktu $N_{RK,p}^0$						
Průměr kotevního šroubu			d [mm]	10	12	16
kotevní délka	násobek d					
4d	4	$N_{RK,p}^0$ [kN]		43,98	63,33	112,59
5d	5	$N_{RK,p}^0$ [kN]		54,98	79,17	140,74
6d	6	$N_{RK,p}^0$ [kN]		65,97	95,00	168,89
7d	7	$N_{RK,p}^0$ [kN]		76,97	110,84	197,04
8d	8	$N_{RK,p}^0$ [kN]		87,96	126,67	225,19
Mezní napětí τ_{RK} [MPa] 30 Charakteristická únosnost při selhání kontaktu $N_{RK,p}^0$						
Průměr kotevního šroubu			d [mm]	10	12	16
kotevní délka	násobek d					
4d	4	$N_{RK,p}^0$ [kN]		37,70	54,29	96,51
5d	5	$N_{RK,p}^0$ [kN]		47,12	67,86	120,64
6d	6	$N_{RK,p}^0$ [kN]		56,55	81,43	144,76
7d	7	$N_{RK,p}^0$ [kN]		65,97	95,00	168,89
8d	8	$N_{RK,p}^0$ [kN]		75,40	108,57	193,02

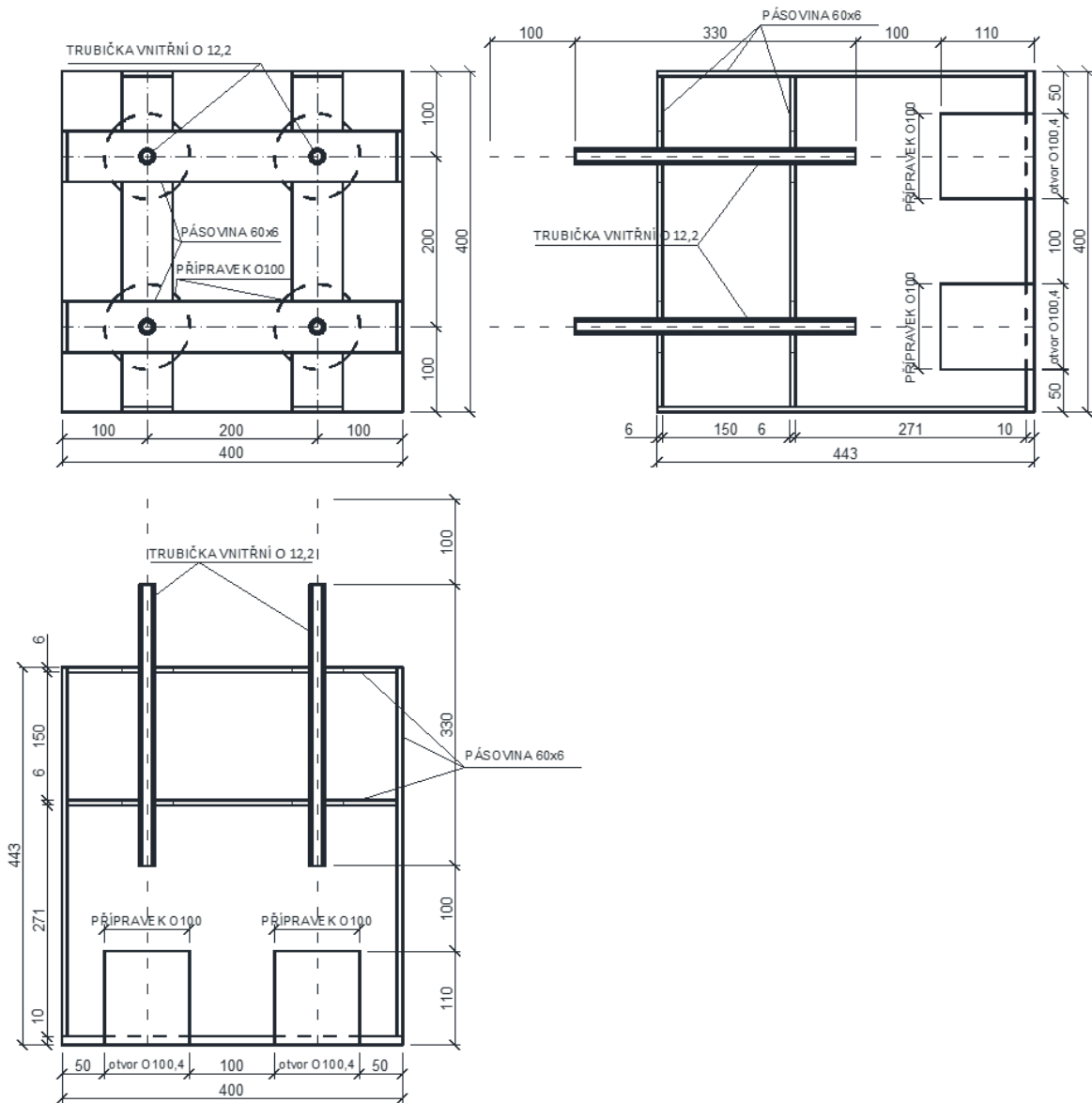
Obr. 4-8 Použitelnost modifikované omezené zkoušky vzhledem k použitým materiálům

4.1.3.4 Aretace kotevního šroubu – osazovací přípravek

Pro dosažení požadované kvality výsledků je důležité, aby kotevní šroub byl osazen v přípravku v ideální přímé poloze. Tuto polohu je třeba zajistit po celou dobu procesu vytvrzování kotevního materiálu. Pro tyto účely byly navrženy dvě možnosti aretace kotevního šroubu. První možností je použití třech aretačních šroubů, umístěných v horní přírubě zkušebního přípravku. Pomocí nich lze ustavit kotevní šroub do svislé polohy, viz Obr. 4-9. Druhou možností je použití speciálního osazovacího přípravku, pomocí něhož lze osadit rychle čtyři tělesa najednou (Obr. 4-10).



Obr. 4-9 Aretace kotevního šroubu v ocelovém zkušebním přípravku pomocí trojice šroubů



Obr. 4-10 Navržený osazovací přípravek pro přípravu 4 zkušebních vzorků

Použití osazovacího přípravku se jeví jako vhodné vzhledem k rychlosti procesu přípravy kontaktního materiálu a osazení kotevního šroubu v požadovaném počtu zkušebních těles (Obr. 4-11 a Obr. 4-12).



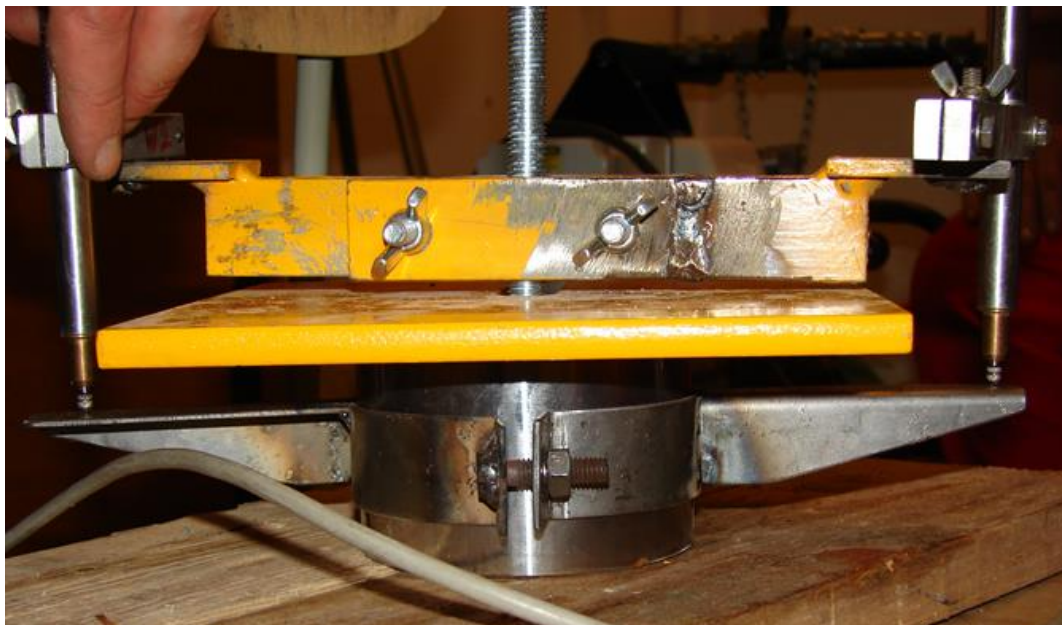
Obr. 4-11 Aretace šesti kotevních šroubů pomocí stavěcích šroubů



Obr. 4-12 Aretace čtyř kotevních šroubů pomocí osazovacího přípravku

4.1.3.5 Přípravky pro osazení snímačů dráhy a hydraulického válce

Pro měření posunu kotevního šroubu vůči poloze základního zkušební přípravku pomocí snímačů dráhy je vhodné použít stavitelnou kruhovou objímku s dvěma přírubami, která se upevní na zkušební přípravek. Pro upevnění snímačů dráhy je vhodné použít systém vynášecích prvků z ocelové pásoviny s půlkruhovými drážkami o poloměru odpovídajícím průměru kotevního šroubu, které se pomocí šroubů připevní přímo na kotevní šroub nad úložnou deskou pro uložení přípravku na osazení válce (Obr. 4-13).



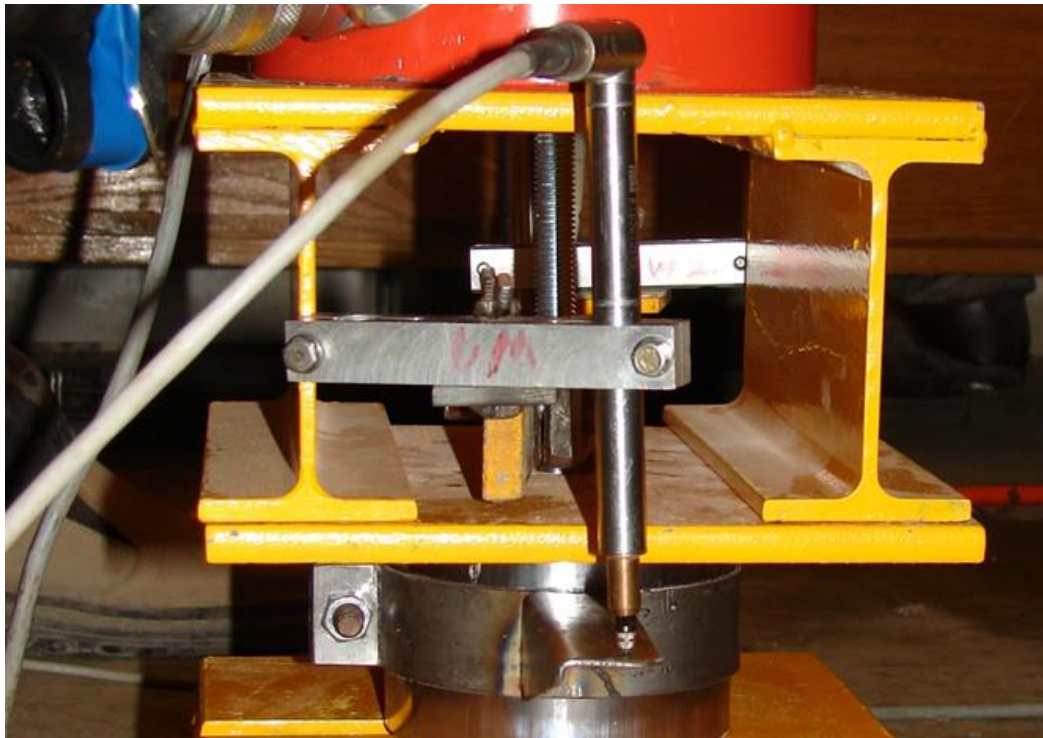
Obr. 4-13 Přípravek pro osazení snímačů dráhy

Přípravky pro osazení hydraulického válce svojí geometrií umožňují volný posun snímače dráhy. Sestava pro osazení hydraulického válce se skládá ze dvou úložných desek tloušťky minimálně 10 mm s centrálním podélným výřezem šířky 15 mm, díky němuž je možné desky nasunout na již osazený kotevní šroub. Výškový rozdíl těchto úložných desek je vymezen dvojicí krátkých profilů IPE 140 (Obr. 4-14). Toto řešení umožňuje také kompletní extrakci kotevního šroubu z přípravku po provedení zkoušky.

4.1.3.6 Vystředovací přípravky

Pro zajištění osového zatížení kotevního šroubu a minimalizaci nežádoucích ohybových momentů vnášených do kotevního šroubu v místě kotvení je třeba vystředit tento kotevní šroub v otvoru zatěžovacího válce. Pro tyto účely je vhodné vložit ocelové mezikruží s přesnými rozměry kotevního šroubu a vnitřního otvoru v zatěžovacím válci, a to na horní hranu hydraulického válce.

Závitovou tyč jako kotevní šroub lze použít i opakovaně. Standardně lze použít závitové tyče délky 1 m. Po provedení zkoušky lze část vlepenou do zkušební přípravku odříznout, rekonstruovat závit na řezu a použít znovu. K upevnění kotevního šroubu lze použít systém tlustých podložek s přesnými otvory a také vymezovací trubkový profil s dostatečnou pevností a stabilitou, který zkrátí délku šroubovaného závitu.



Obr. 4-14 Přípravky pro osazení hydraulického válce

4.1.3.7 Popis použitých zařízení

Snímače dráhy by měly mít pro popisovanou zkoušku rozsah měření alespoň 0-10 mm s přesností min. 0,001 mm. Použije se dvou snímačů dráhy v jedné rovině, naměřená data ze snímačů se při vyhodnocení průměrují.

Pro popisovanou zkoušku je třeba použít tenzometrický siloměr s vnitřním otvorem pro průchod závitové tyče. Minimální jmenovité zatížení siloměru je 200 kN. Přesnost měření siloměru je min. 0,01 kN.

Pro vyvození tahové síly je nutno použít hydraulický zatěžovací válec s vnitřním otvorem pro průchod závitové tyče s rozsahem zatížení min 200 kN.

4.1.3.8 Příprava zkušební přípravky pro zkoušku

Ocelové zkušební přípravky musí být před instalací zkušebních vzorků řádně vyčištěny a odmaštěny. To se týká také použitých závitových tyčí. Pokud jsou přípravky použity opakovaně, je nutné provést čištění následujícím doporučeným postupem.

- Úplné vytažení kotevního šroubu z přípravku (provede se již při předchozí zkoušce).
- Povolení spodního uzavíracího šroubu.
- Převrtání otvoru v přípravku vrtákem průměru $d=15$ mm.
- Vyčištění vnitřního závitu pomocí maticového závitníku M18.
- Vyčištění dosedací drážky v uzavíracím šroubu.
- Pro nové použití je třeba vložit zpět uzavírací šroub, nejlépe současně s použitím těsnění (např. teflonové niti) pro zamezení protečení lepidla do závitu.

Z důvodu opotřebení při čištění je omezen počet použití zkušební přípravky na maximálně 10 zkoušek. Pro sledování počtu použití je vhodné zkušební přípravky řádně označit pořadovým číslem či jiným kódem.

4.1.3.9 Aplikace kotevního materiálu

Podle formy dodaného kotevního materiálu se materiál aplikuje přímo, pokud je dodán ve vhodné formě, např. kartuše anebo se předem smísí v doporučeném poměru a aplikuje do otvoru zkušební přípravky. Kotevní materiál se aplikuje do zkušební přípravky v dostatečném množství, aby po zasunutí závitové tyče byl celý otvor zaplněn.

Při testování za jiné, než běžné laboratorní teploty, se musí před aplikací kotevního materiálu vytemperovat zkušební přípravky i samotný kotevní materiál na požadovanou teplotu, při které má zkouška probíhat a po aplikaci kotevního materiálu je potřeba vzorky při této teplotě udržovat.

4.1.3.10 Provedení zkoušky

- Ocelový zkušební přípravek musí být ve vnitřním závitu řádně vyčištěn a odmaštěn. Stejně tak musí být očištěn a odmaštěn kotevní šroub.
- Zkoušky musí být provedeny při přibližně stejné době vytvrzování, jaká je při dané teplotě požadována u odpovídajících neomezených zkoušek nebo u zkoušek pro přípustné provozní podmínky.
- Je nutné provést nejméně 5 referenčních vzorků pro jednu záměs kontaktního materiálu, a to ve zkušebních přípravcích s evidovaným stejným počtem použití.
- Zkušební vzorek i kontaktní materiál musí být temperován na požadovanou teplotu zkoušení. Tato teplota musí být udržována i po dobu vytvrzování.
- Od okamžiku ukončení temperování do okamžiku vnesení zatížení nesmí uplynout více jak 15 minut.
- Zatížení musí být vneseno kontinuálně do kotevního šroubu pomocí systému, který při zatěžování nenamáhá kotevní šroub ohybovým či krouticím momentem.
- Rychlost zatěžování má být rovnoměrná a plynulá. Celková délka provedení zkoušky by měla být v rozsahu 40-120 s.
- V průběhu zatěžování se vhodným způsobem zaznamenává tahová síla a posun kotevního šroubu v úrovni horní hrany kotvení tak, aby bylo možné vynést pracovní diagram ze zkoušky.
- Po provedení zkoušky je třeba opticky zhodnotit geometrii a polohu poruchy na zcela vytaženém kotevním šroubu.
- Do průběhu přípravy vzorku a zkoušení je třeba zahrnout příslušné požadované přípustné podmínky

Zkušební postup:

- Pro aktivaci kotevního šroubu (utažení matice) se doporučuje použít kontramatici.
- Po aktivaci kotevního šroubu se zahájí záznam měření. Měřicí a vzorkovací frekvence měření dat by měla být minimálně 10 Hz.
- Zahájí se regulované zatěžování. Počáteční vnesení zatížení související s aktivací hydraulického systému nesmí přesáhnout 50 % očekávaného mezního zatížení.

- Zatížení se zvyšuje konstantní rychlostí do porušení vzorku. Celková délka zatěžování by měla být v rozsahu 40-120 s.
- Po porušení vzorku se zastaví záznam měření.
- Po zastavení záznamu se pomocí hydraulického systému vyjme kotevní šroub ze zkušební přípravku.
- Po vytažení kotevního šroubu se demontuje zkušební sestava.
- Proveďte se vizuální kontrola poruchy kotevního šroubu, zejména celistvost kontaktního materiálu na předpokládané délce kotvení.

4.1.3.11 Vyhodnocení zkoušky

Vyhodnocení modifikované omezené zkoušky se neliší od vyhodnocení omezené zkoušky [2] a Obr. 4-4. Pro stanovení mezní hodnoty soudržnosti (smykového napětí na kontaktu) se použije mezní hodnota tahové síly při porušení vzorku, případně mezní hodnota tahového zatížení odpovídající počátku selhání soudržnosti dle vztahu (2.2).

Charakteristickou hodnotu mezního napětí na kontaktu lze dle [2] stanovit jako 5 % kvantil mezních zatížení v sérii zkoušek. Ten má být vypočítán v souladu se statistickými postupy pro konfidenční úroveň 90 % podle vztahů (4.3), (4.4) a (4.5). Pokud nedojde k přesnému ověření, všeobecně vzato, musí být předpokládáno normální rozložení a neznámá směrodatná odchylka souboru.

$$\tau_{Rk} = \tau_{u,mean} \cdot (1 - k_s \cdot v) \quad (4.3)$$

$$v = \frac{s}{\tau_{u,mean}} \quad (4.4)$$

$$s = \sqrt{\left(\frac{1}{n-1}\right) \cdot \sum (\tau_{u,i} - \tau_{u,mean})^2} \quad (4.5)$$

Koeficient rozšíření k_s lze použít v souladu s [2] pro počet zkoušek n :

$n = 5$ zkoušek: $k_s = 3,40$

$n = 10$ zkoušek: $k_s = 2,57$

Z vyhodnocení by měly být vyloučeny takové výsledky, jejichž pracovní diagram je nespojitý nebo jeho průběh nemá charakter bilineárního chování či bilineárního chování se zpevněním (Obr. 4-2). Dále je třeba vyloučit takové výsledky zkoušek, kdy došlo k jinak neočekávanému průběhu zkoušky či neočekávané formě porušení vzorku.

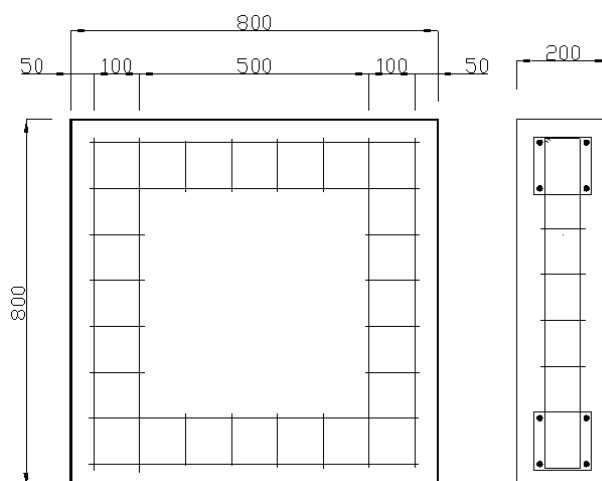
4.2 Provedené experimenty – mezní zatížení tahovou silou

V této kapitole je uveden stručný přehled provedených experimentů ověřujících základní únosnost jedné typické dodatečně osazované kotvy. Detailní popis provedení a vyhodnocení těchto experimentů byl publikován v [20,22]. Experimenty byly provedeny na půdě Ústavu kovových a dřevěných konstrukcí VUT v Brně. Výsledky těchto experimentů byly zahrnuty do databáze výsledků, jejichž analýza je řešena níže v této práci.

4.2.1 Provedené experimenty – zkoušky kotev neomezenou zkouškou

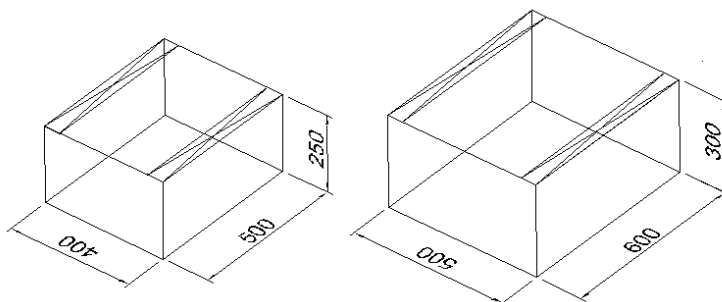
Testy proběhly v souladu s metodou neomezené zkoušky popsanou v kapitole 4.1.1. Testovány byly kotevní šrouby s metrickým závitem o průměru M10, M12 a M16. Kotevní šrouby byly z pozinkované oceli pevnostní značky 5.8. Standardní kotevní délky pro tyto šrouby byly $h_{ef} = 90 \text{ mm}$, pro šroub M10, $h_{ef} = 110 \text{ mm}$ pro šroub M12 a $h_{ef} = 125 \text{ mm}$ pro šroub M16. V experimentech byla také sledována závislost mezního tahového zatížení na velikosti efektivní kotevní délky. Byla provedena sada zkoušek s proměnnou kotevní délkou v rozmezí od 40 mm do 130 mm.

Pro tuto geometrii zkoušených kotev bylo navržena zkušební tělesa odpovídající požadavkům [2]. Pro testování kotev průměru M16 bylo použito těleso dle Obr. 4-15..



Obr. 4-15 Použité těleso pro neomezenou zkoušku kotev průměru M16

Pro testování menších kotev a ověření vlivu velikosti efektivní kotevní délky bylo navrženo půdorysně menší těleso s větší tloušťkou (Obr. 4-16), tak aby i pro větší hodnoty kotevní délky byly splněny požadované rozměry.



Obr. 4-16 Tělesa navržená pro ověřování kotev M10 a M12 s větší kotevní délkou

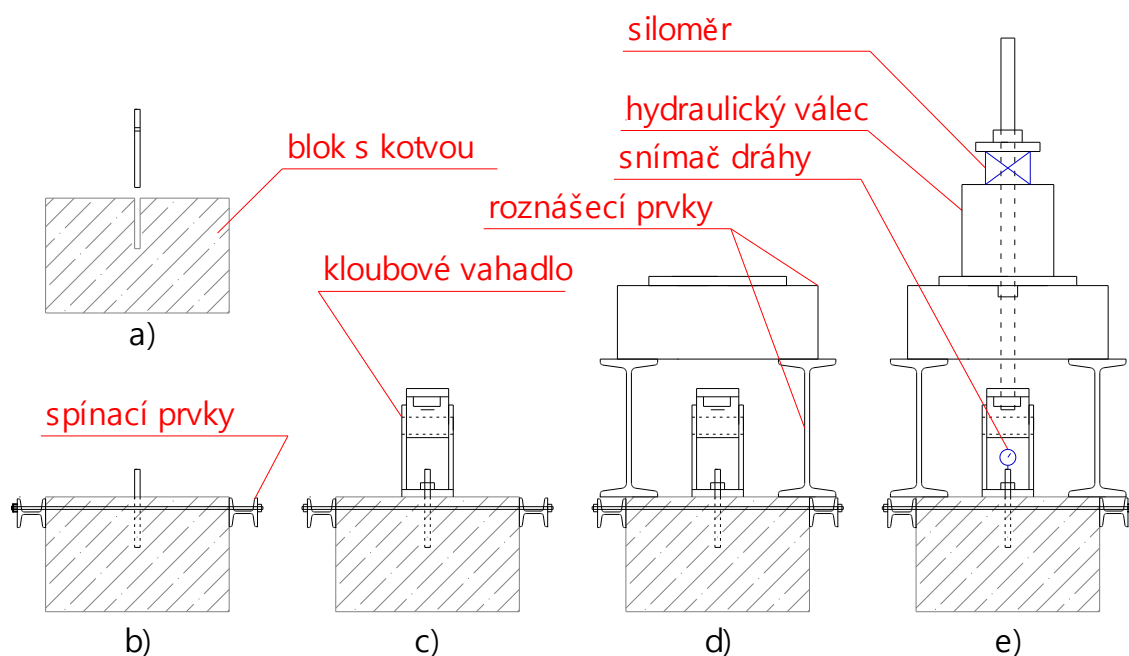
Tato menší tělesa mají menší nároky na manipulaci, jejich hmotnost je oproti tělesu pro průměr M16 cca poloviční. Pro lepší manipulaci byla všechna vyrobená tělesa opatřena ocelovým hákem, který však nezasahuje do kotevní oblasti.

Experimenty byly prováděny na kotvách osazených v prostém betonu bez trhlin. Všechny betonové směsi byly vyráběny v centrálních betonárnách a odpovídaly betonu třídy C12/15 až C30/37. Pro výrobu byl použit Portlandský struskový cement. Frakce hrubého kameniva byla 8/22. Konzistence mokré směsi byla S3 – velmi měkká. Tělesa byla vyráběna v sadách po 21 kusech litím do forem z vodotěsné překližky. Každé sadě těles odpovídala jedna záměs betonové směsi. Hutnění bylo prováděno ručním ponorným vibrátorem. Z každé záměsi betonu bylo vyrobeno 6 zkušebních krychlí o hraně délky 150 mm. Na těchto tělesech byla kontrolně určena střední hodnota krychelné pevnosti v tlaku daného betonu. Střední hodnoty výsledných krychelných pevností betonu byly v rozsahu od 18,54 MPa do 48,31 MPa.

Dodatečně osazované kotvy, které byly v těchto experimentech testovány, byly kotveny pomocí třech typů v dané době obvykle používaných lepidel. Jednalo se o patronový systém na bázi vinyl-uretanové pryskyřice, injektážní systém na bázi epoxidové pryskyřice a injektážní systém lepidla na bázi polymer-cementové směsi.

Kotvy byly instalovány v běžné teplotě 20 °C, v suchém prostředí. Pro vrtání otvorů bylo použito vrtací kladivo s tvrdokovovým břitkem. Čištění vyvrtaných otvorů proběhlo v souladu s výrobcí předepsaným způsobem tzn. očištění ocelovým kartáčem a odstraněním prachu z otvoru tlakem vzduchu za pomoci ruční vzduchové pumpy.

Použitá zatěžovací sestava (Obr. 4-17) principiálně odpovídala požadované sestavě dle schématu na Obr. 4-1. Stejná sestava byla použita pro oba typy těles (Obr. 4-15; Obr. 4-16; Obr. 4-18).



Obr. 4-17 Schéma zkušební sestavy použité pro neomezenou zkoušku

Pro vnesení tahového zatížení byl použit hydraulický dutinový válec KGF H50-75 o celkové zatížitelnosti 500 kN při zdvihu válce 75 mm. Pro měření tahové síly byl použit tenzometrický dutinový

siloměr PD 500 (zatížitelnost 500 kN, citlivost 1 kN). Přetvoření (povytažení kotev z betonového bloku, měřená na vrcholu kotevního šroubu) bylo měřeno indukčnými snímači dráhy HBM WA/2-T o rozsahu 2,0 mm a citlivosti 0,001 mm. Elektricky měřené veličiny byly snímány spojitě měřicí ústřednou HBM SPIDER 8 při frekvenci ukládání 10 Hz.

K ovládní hydraulického válce byla použita ruční hydraulická pumpa. Hladina zatížení byla měněna v časových intervalech. Po nárůstu tahové síly o 5 kN bylo zatěžování zastaveno na dobu 5 sekund pro ustálení odezvy.



Obr. 4-18 Realizace neomezené tahové zkoušky

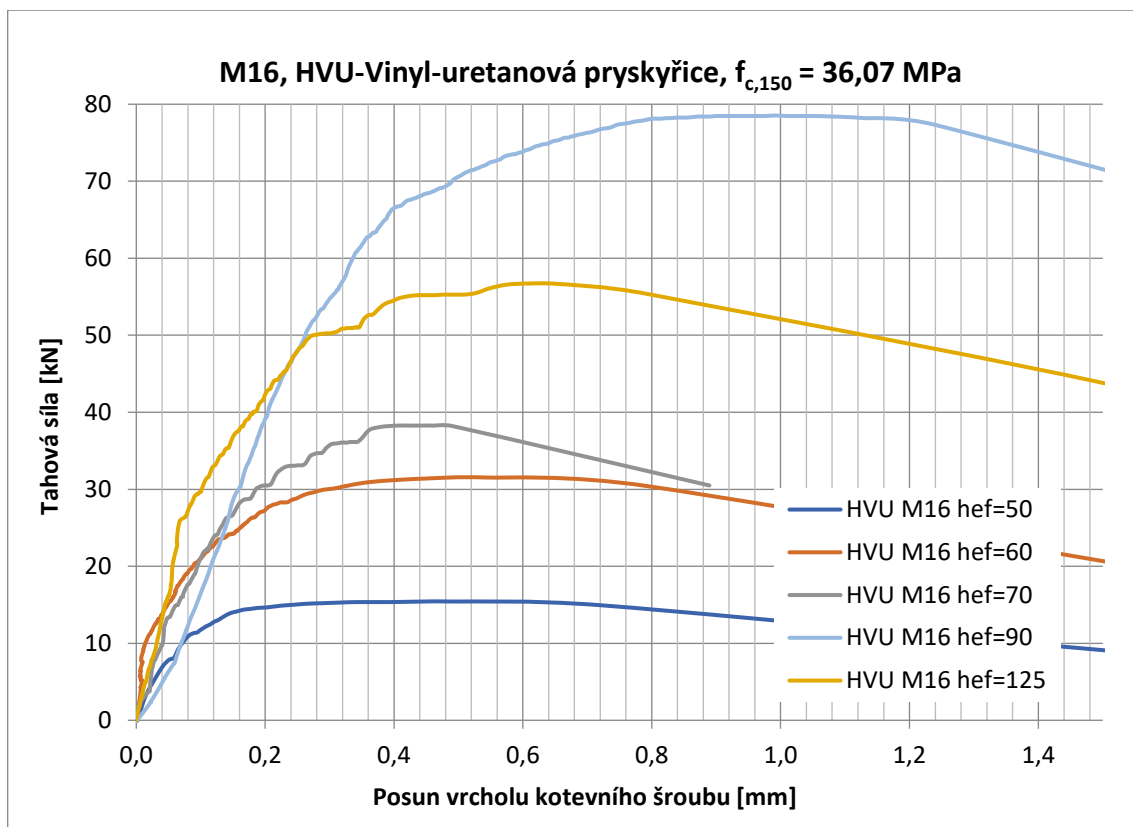
Celkem bylo provedeno 82 platných testů s různorodými vstupními parametry. Výsledky těchto testů jsou podrobně uvedeny v [22] a souhrnně jsou zahrnuty také do databáze výsledků pro další vyhodnocení (Tab. 8-3). Na Obr. 4-19 jsou pro názornost zobrazeny výsledky měření z provedených neomezených zkoušek s kotvou průměru M16 kotvenou v betonu s krychelnou pevností 36,07 MPa za použití kapslového kotevního systému s vynil-uretanovou pryskyřicí. Pro tuto konfiguraci testů byla zvolena proměnná efektivní kotevní délka v rozsahu od 50 do 125 mm.

Obr. 4-20 zobrazuje souhrnné hodnoty dosažených mezních tahových zatížení v jednotlivých provedených experimentech v závislosti na použité kotevní délce. Pro vynesení těchto výsledků do jednoho grafu byly dosažené mezní hodnoty zatížení normalizovány na kotvu průměru M12 kotvenou v betonu pevnostní třídy C20/25.

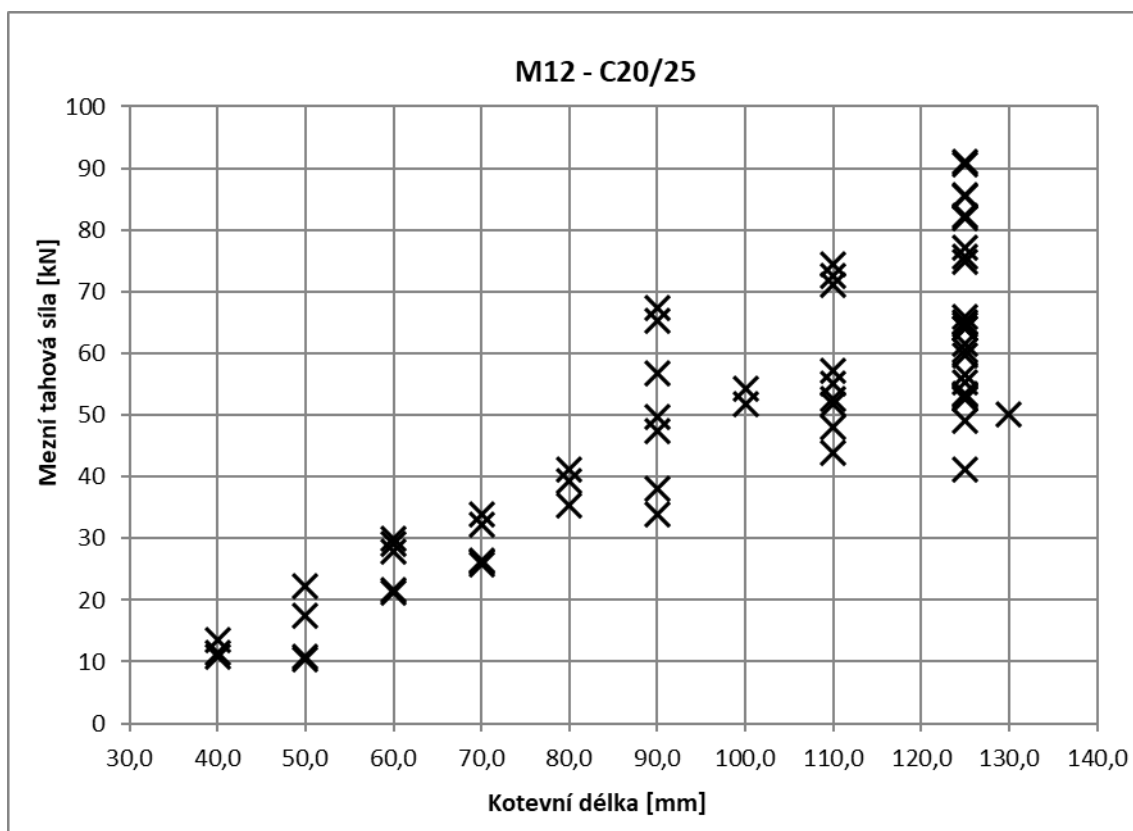
Pro normalizaci hodnot byl použit vztah (4.6). V uvedeném vztahu se předpokládá lineární závislost mezního tahového zatížení na průměru kotevního šroubu dle předpokladu mezního průměrného napětí na kontaktu (2.4) a mocninné závislosti mezního tahového zatížení na pevnosti betonu v tlaku (2.15).

$$F_{norm} = F_{Max} \cdot \frac{d_{12}}{d} \cdot \sqrt{\frac{f_{cm,cube (C20/25)}}{f_{cm,cube}}}$$

(4.6)



Obr. 4-19 Příklad výsledků provedených testů kotev s proměnnou kotevní délkou

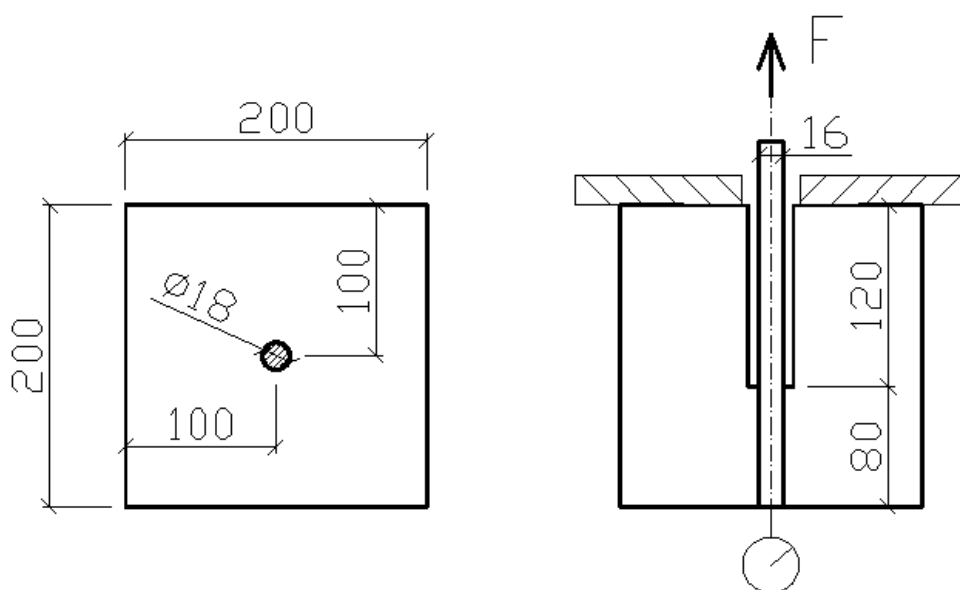


Obr. 4-20 Výsledky provedených neomezených tahových zkoušek - dosažené mezní tahové zatížení v závislosti na kotevní délce - normalizovaná data

4.2.2 Provedené experimenty – navazující omezené zkoušky

Pro potřebu sledování skutečného chování dodatečně osazovaných kotev a popisu závislosti mezního tahového zatížení na vstupních parametrech bylo třeba provést na stejných typech kotev také omezenou zkoušku. Hlavním získaným parametrem je mezní hodnota smykového napětí na kontaktu pro dané podmínky použití. Výsledky těchto testů jsou také nezbytné pro hodnocení modelů predikujících mezní tahové zatížení.

Sada experimentů ověřujících soudržnost byla provedena na modifikovaných (redukovaných) tělesech. Vzhledem k požadovanému schématu zkoušky dle Obr. 4-3 není nutné použít betonové těleso stejné velikosti jako pro neomezenou zkoušku, kde jsou jeho minimální rozměry dány požadovanou volnou plochou kolem kotevního šroubu. Z tohoto důvodu bylo v těchto experimentech použito betonové těleso ve tvaru krychle s délkou hrany 200 mm. Z důvodu rovnoměrného roznosu sil na kontaktu, byla použita modifikace dle [41] používaná pro testování soudržnosti kompozitní výztuže z betonem. V této modifikaci není sledovaný kontakt situován přímo pod opěrnou deskou. Proto byl v této délce otvor převrtán na větší průměr 27 mm tak, aby v této délce nedošlo ke spojení šroubu a betonu. Tím byla redukována efektivní kotevní délka na $h_{ef} = 5d$. Tato hodnota umožňuje (podobně jako přípravek pro modifikovanou omezenou zkoušku - Obr. 4-7) vyhodnocení soudržnosti vysokohodnotných lepidel, kde by při delších kotevních délkách hrozil vznik poruchy přetržením kotevního šroubu.



Obr. 4-21 Betonové těleso použité pro realizaci omezených zkoušek

V uvedených experimentech byly použity závitové tyče kvality 8.8 průměru M16, průměr vrtaného otvoru byl 18 mm. Délka sledovaného kontaktu činila 80 mm.

Pro tyto zkoušky byla vyrobena tělesa ze tří záměsí betonu třídy C12/15 až C30/37. Vrtání otvorů a jejich čištění bylo provedeno stejným způsobem jako při výše popsání neomezených zkouškách a použita byla také stejná lepidla.

Na Obr. 4-22 je vyobrazena realizace této omezené zkoušky. Síla byla vnášena stejným způsobem jako u neomezených tahových zkoušek pomocí dutinového hydraulického válce KGF H50-75. Pro měření tahové síly byl použit tenzometrický dutinový siloměr PD 500. Posun kotevního šroubu na

nezatíženém konci byl měřen dvojicí indukčních snímačů dráhy HBM WA/50-T. Elektricky měřené veličiny byly snímány spojitě měřicí ústřednou HBM SPIDER 8 při frekvenci ukládání 5 Hz.

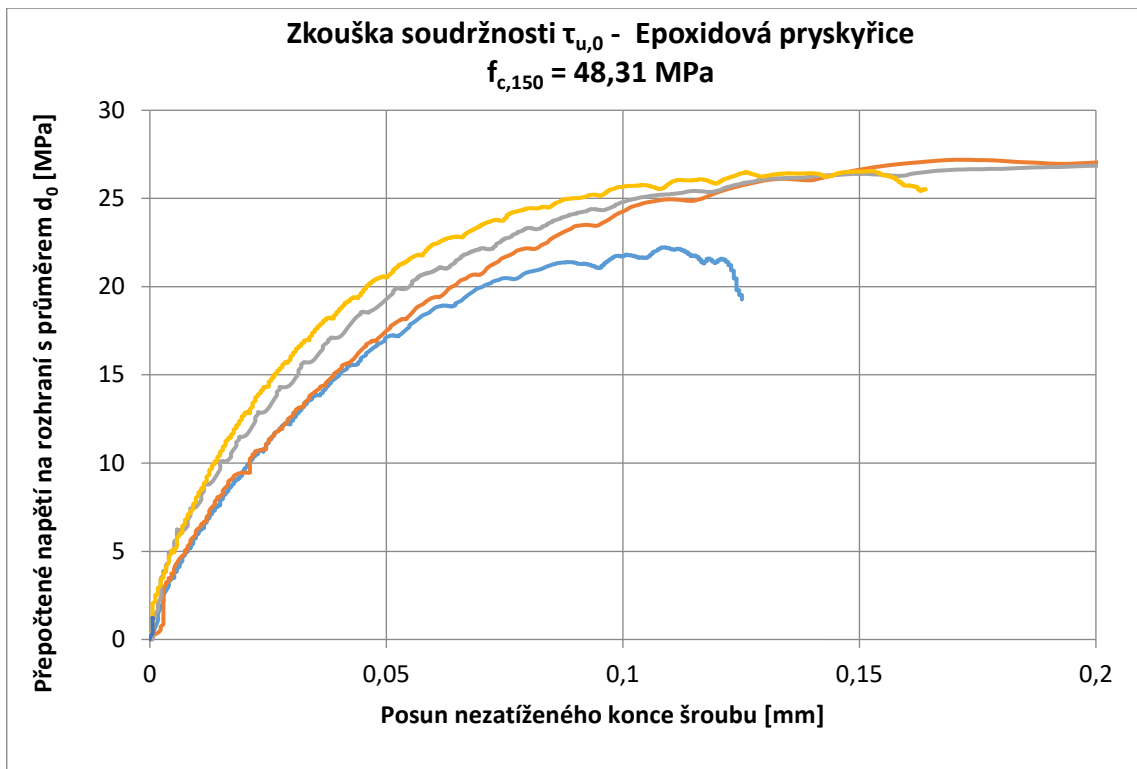


Obr. 4-22 Realizace omezené zkoušky v betonovém tělese

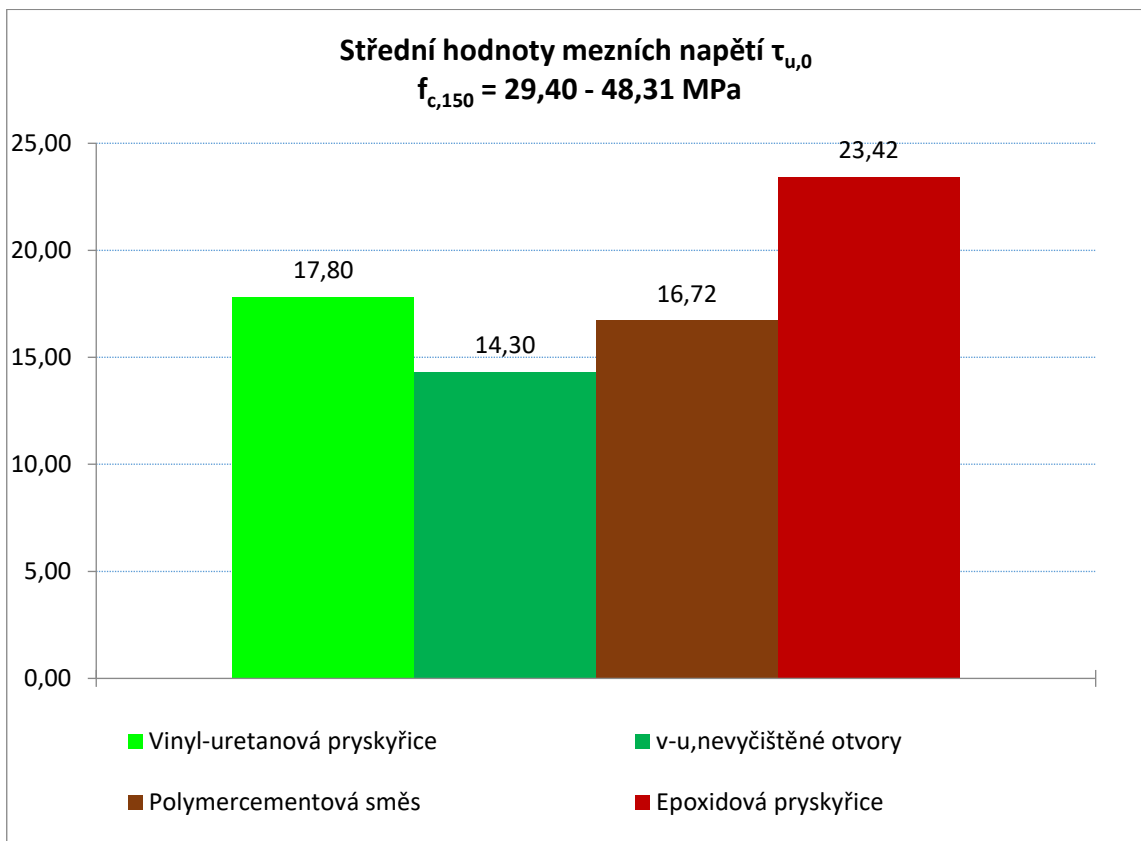
Po dosažení mezní tahové síly byl kotevní šroub (závitová tyč) úplně vytažen z betonového tělesa. Pro každý vzorek tak mohla být změřena skutečná délka působícího kontaktu. Hodnota odpovídající rovnoměrnému průběhu napětí na kontaktu byla pro každý vzorek stanovena z měřené síly, skutečné délky kontaktu a obvodu kontaktu, na kterém došlo k poruše.

Následující graf na Obr. 4-23 zobrazuje reprezentativní výsledek omezené zkoušky provedené s epoxidovou pryskyřicí. Tahová síla je v grafu přepočtena dle vztahu (2.1) na napětí na kontaktu mezi betonem a lepidlem, kde došlo k porušení. Pomocí vztahu (2.47) lze stejné výsledky přepočítat na napětí mezi kotevním šroubem a lepidlem. Podrobné provedení experimentů a jejich vyhodnocení je detailně popsáno v [22]. Obdobně bylo provedeno a vyhodnoceno celkem 21 zkoušek.

Graf na Obr. 4-24 zobrazuje střední hodnoty dosaženého mezního napětí na rozhraní mezi lepidlem a betonem pro testované kontaktní materiály (vinyl-uretanová pryskyřice, epoxidová pryskyřice a polymer-cementová směs). Tyto hodnoty lze opět pomocí vztahu (2.47) přepočítat na mezní hodnotu napětí na rozhraní mezi lepidlem a ocelovým šroubem. Výsledné hodnoty uvedených experimentů byly společně s výsledky provedených neomezených zkoušek zahrnuty do analyzované databáze výsledků (Tab. 8-3).



Obr. 4-23 Napětí na rozhraní mezi lepidlem a betonem – test epoxidové pryskyřice



Obr. 4-24 Výsledky omezené zkoušky – střední hodnoty mezního napětí na rozhraní mezi lepidlem a betonem

Následující fotografie na Obr. 4-25 a Obr. 4-26 zobrazují reprezentativní vzorek dvou lepidel před a po porušení při omezené zkoušce. Na fotografiích je vidět rozdílná struktura materiálu vinyl uretanové pryskyřice kapslového kotevního systému a epoxidové pryskyřice injektážního kotevního systému. Epoxidová pryskyřice po vytvrdnutí tvoří vizuálně kompaktní vrstvu mezi šroubem a betonem.

Porucha při testech nastala vždy na rozhraní mezi lepidlem a betonem. Z fotografií je dále zřetelné, že vrstva lepidla nemá po obvodu šroubu konstantní tloušťku, neboť běžnou metodou osazování kotev není možné cíleně dosáhnout přesného osazení šroubu, což se potvrdilo i při výrobě zkušebních těles. Výsledky jednotlivých testů však neprokázaly, že by tato nepřesnost osazení kotevních šroubů do otvoru měla prokazatelně negativní vliv na výsledné chování kontaktu [22].



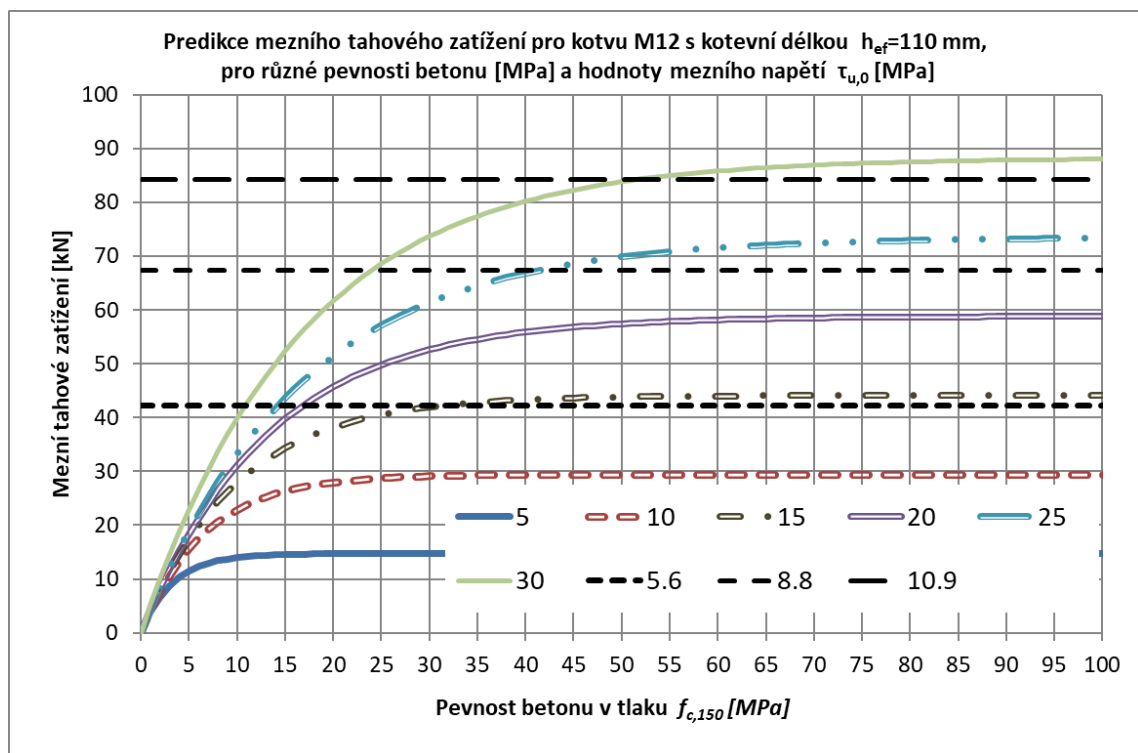
Obr. 4-25 Vzorek vinyl-uretanové pryskyřice před a po porušení při omezené zkoušce



Obr. 4-26 Vzorek epoxidové pryskyřice před a po porušení při omezené zkoušce

4.3 Použití modifikované omezené zkoušky ve vývoji lepidel pro dodatečně osazované chemické kotvy

Motivací pro další vývoj kotevních materiálů, které budou schopny zprostředkovat vysoce pevné spojení mezi kotevním šroubem a betonem, lze demonstrovat za pomoci grafu na Obr. 4-27. Tento graf znázorňuje predikovanou hodnotu mezního tahového zatížení dle vztahu (2.23) pro typickou kotvu průměru M12 s kotevní délkou 110 mm. Jde tedy o typickou kotvu s kotevní délkou rovnou přibližně 9 d. U takovéto geometrické konfigurace kotvy lze použít předpoklad rovnoměrného rozložení smykového napětí po délce kotvy. Data jsou vynesena v závislosti na krychelné pevnosti betonu. V grafu je několik křivek predikce, které se liší vstupní hodnotou rovnoměrného mezního napětí na rozhraní mezi lepidlem a betonem. Dále jsou v grafu vyznačeny tři limity mezního tahového zatížení dané vztahem (2.24), které odpovídají tahovému porušení oceli kotevních šroubů, a to pro kotevní šroub značky 5.6, 8.8 a 10.9.



Obr. 4-27 Predikce mezního tahového zatížení kotvy v závislosti na vstupních parametrech dle vztahu (2.23) a vztahu (2.24)

Výsledky pro uvedené geometrické a materiálové parametry dobře ukazují efektivitu využití jednotlivých zastoupených materiálů. Je zřejmé, že pro beton běžné pevnosti třídy C20/25 a kotevní šroub pevnostní značky 5.6 jsou hodnoty mezního napětí na rozhraní mezi lepidlem a betonem pro běžně dostupná lepidla (Obr. 4-24) právě dostačující. Tato kombinace materiálů tvoří vyvážený celek z hlediska efektivního využití každého z nich.

Při uvážení stejné geometrické konfigurace pro beton s pevností v tlaku do cca 50 MPa je pro stejnou efektivitu využití zastoupených materiálů nutné použít kotevní šroub značky 8.8 a takové lepidlo, které bude na daném rozhraní dosahovat mezního smykového napětí alespoň 20 MPa.

Konečně pro stejnou generickou konfiguraci lze dosáhnout vyšší hodnoty mezní tahové síly pouze za předpokladu kotvení do betonu s pevností v tlaku alespoň 50 MPa a současného použití kotevních

šroubů značky 10.9, přičemž použité lepidlo musí být schopno zajistit hodnotu mezního napětí na kontaktu s betonem v hodnotě blízké se 30 MPa, respektive 35 MPa po přepočtu na napětí mezi kotevním šroubem a lepidlem dle (2.47) [21].

Z Obr. 4-27 také vyplývá, že pro betony vyšších pevností než 50 MPa je jeho vliv na výslednou poruchu upozaděn. Křivka popisující mezní tahové zatížení dle použitého modelu predikce (2.23) je při použití lepidel běžně dostupných kvalit pro beton za touto hranicí téměř plochá. Obdobně by tomu bylo pro modely, v kterých se mezní tahové zatížení uváží jako minimum z predikcí poruch betonu a kontaktu (2.16) a (2.35).

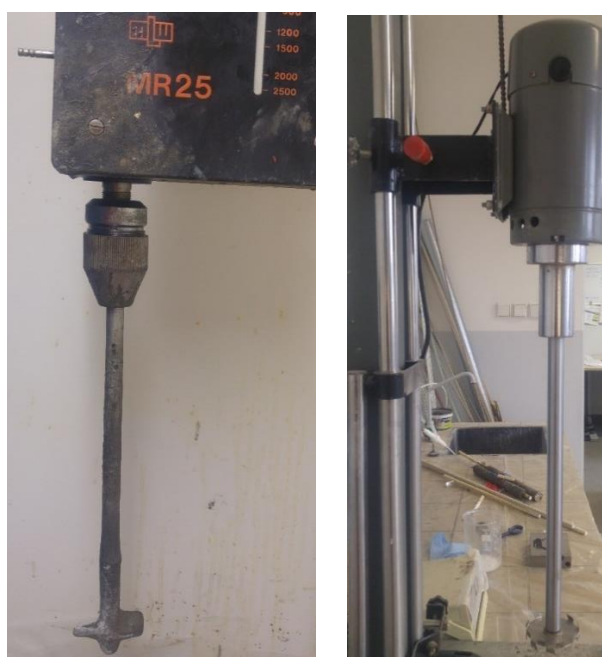
Níže popsany experimentální výzkum byl zaměřen na vývoj kompozitního kontaktního materiálu, který umožní efektivně vlepat ocelové kotvy do vysokopevnostních betonů za předpokladu standardních geometrických parametrů kotev.

Zároveň byl kladen požadavek na to, aby byl tento materiál použitelný i pro vlepování kotev do betonu při nízkých instalačních teplotách, blízkých se 0 °C.

4.3.1 Návrh a testování základních receptur při běžné teplotě blízké 20 °C

4.3.1.1 Příprava vzorků lepidel

Pro experimentální analýzu bylo třeba vyrobit vzorky lepidel dle níže popsanych receptur. První sady vzorků byly připravovány pomocí běžného laboratorního míchadla (Obr. 4-28). Vzorky byly připravovány při rychlosti míchání 1500 ot./min. Míchadlo se ukázalo jako neefektivní při dispergaci složek s vysokou viskozitou (pasty) v pryskyřici, protože ani po 60 minutách míchání nedošlo k rovnoměrné dispergaci složek. Následně bylo přistoupeno k využití laboratorního dispergátoru (Obr. 4-28), který disponuje výrazně vyšším výkonem, jiným typem míchadla a především vysokou rychlostí otáčení (až 8000 ot./min). Při použití dispergátoru již po 5 minutách při 2000 ot./min. nebyly pozorovány nehomogenity ve směsi. Zároveň ale bylo do směsi zamícháno i velké množství vzduchu, který by ve výsledku mohl ovlivnit mechanické vytvrzené směsi. [40,42]



Obr. 4-28 Laboratorní míchadlo (vlevo); Laboratorní dispergátor (vpravo)

Nejefektivnější se nakonec ukázala příprava vzorků v laboratorním hnětači (Obr. 4-29), ke kterému lze připojit vakuovou vývěvu a vzorky připravovat pod vakuem. Samotný hnětač umožňuje dobrou homogenizaci plniv, nicméně špatně homogenizuje pryskyřici s pastami. Proto byly výsledné vzorky připravovány nejdříve mícháním všech složek směsi s výjimkou plniv na dispergátoru a následným promícháním směsi s plnivem a jejich odvzdušněním pod vakuem na laboratorním hnětači. Rychlost otáčení hřídelí byla nastavena na maximální hodnotu čili 50 ot./min.



Obr. 4-29 Komora laboratorního hnětače s míchacími hřídelemi

4.3.1.2 Testované receptury lepidel

Vzhledem k požadavku vysoké výsledné pevnosti a požadavku na rychlost tuhnutí v nízkých teplotách byly vybrány pro vývoj lepidel následující dvě pryskyřice:

- Epoxidová pryskyřice
- Vinyl-esterová pryskyřice

Oba tyto druhy mají jiný mechanismus vytvrzovací reakce epoxidové pryskyřice, lze očekávat lepší mechanické vlastnosti. Vinylesterová pryskyřice lze z důvodu jejího reakčního mechanismu jednodušeji upravit pro vytvrzování při teplotách blízkých 0 °C.

V tabulkách (Tab. 4-1 a Tab. 4-2) jsou uvedeny pevnostní a mechanicko-fyzikální vlastnosti vybraných typů epoxidových a vinyl-esterových pryskyřic, které byly zvažovány jako základní složka testovaných receptur.

Stěžejními požadovanými vlastnostmi byly nízká viskozita, nízké smrštění a vysoká pevnost v tahu a v ohybu. Při porovnání jednotlivých pryskyřic byl zvolen jako nejlepší zástupce vinyl-esterových pryskyřic Derakane 411. Z epoxidových pryskyřic byla zvolena CHS-EPOXY 531.

Tab. 4-1 Vlastnosti epoxidových pryskyřic

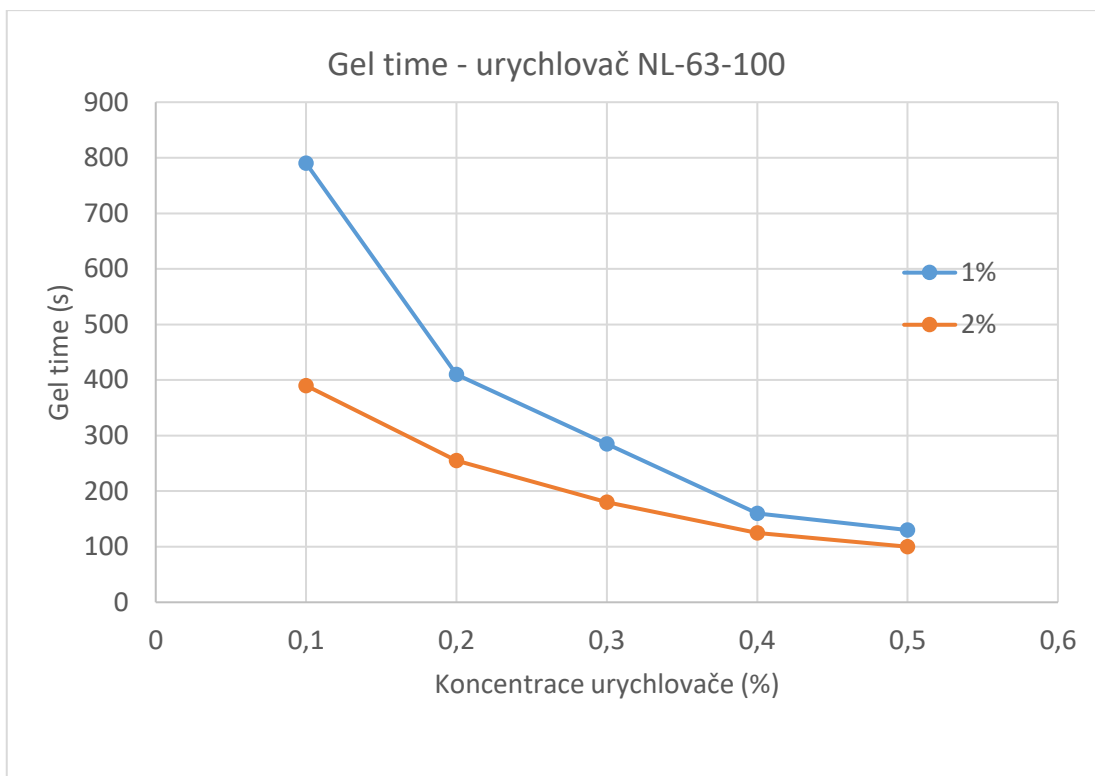
		CHS-EPOXY 512	CHS-EPOXY 517	CHS-EPOXY 531
Dynamická viskozita, 25 °C	MPa s	2500	950	1500
Pevnost v tahu	MPa	25	40	50
Pevnost v ohybu	MPa	40	80	90
Smrštění	%	0,4	0,3	0,3
Epoxidový ekvivalent	g·mol ⁻¹	208-233	213-233	175-182

Tab. 4-2 Vlastnosti vinyl-esterových pryskyřic

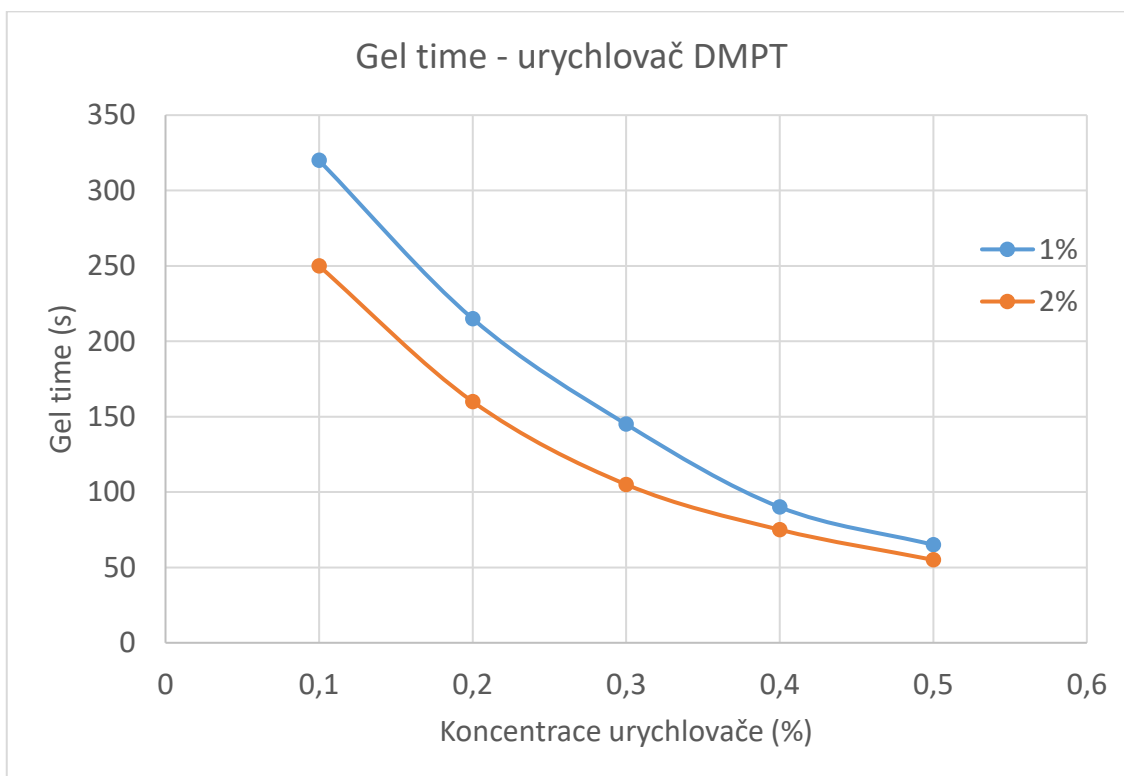
		Derakane 411	Hydropel H034	Vipes F085
Dynamická viskozita, 25 °C	MPa s	430	575	500
Obsah styrenu	%	33	34	32
Pevnost v tahu	MPa	90	80	77
Tahový modul	GPa	3,3	4	3,7
Pevnost v ohybu	MPa	145	107	148
Modul pevnosti v ohybu	GPa	3,4	4,1	3,7
Smrštění	%	7,5	7,8	7,4
Teplota skelného přechodu	°C	135	107	119

Pro základní recepturu vinyl-esterové pryskyřice bylo nutné zvolit vhodný iniciátor a urychlovač reakce, protože jejich koncentrace ovlivňuje rychlost vytvrzovací reakce. Pro tento účel byl zvolen jednoduchý test ověřující rychlost nástupu reakce. Byl sledován časový interval od okamžiku promísení směsi do okamžiku jejího zgelovatění, tzv. gel time.

Z hlediska iniciátoru jsou běžně používány koncentrace mezi 1 a 2 %, které byly zvoleny jako okrajové podmínky a byla postupně měněna koncentrace urychlovače. Jako iniciátor byl vždy použit dibenzoylperoxid (DBP). Dále byly testovány dva typy aminových urychlovačů, každý o jiné rychlosti vytvrzování, které mají potenciál pro vytvrzení pryskyřice i při teplotách blízkých 0 °C. Byl testován středně rychlostní urychlovač NL-63-100 (Obr. 4-30a) a vysokorychlostní urychlovač dimethylparatoluidin DMPT (Obr. 4-31) ve směsi pryskyřice s 1 % nebo 2 % peroxidu při 20 °C.



Obr. 4-30 Gel time pro směs DBP a NL-63-100



Obr. 4-31 Gel time pro směs DBP a DMPT

Z grafů (Obr. 4-30 a Obr. 4-31) je patrné, že koncentrace urychlovače podstatně více ovlivňovala rychlost vytvrzovací reakce než koncentrace peroxidu. Vzhledem k relativně pomalé reakci při použití NL-63-100 bylo přistoupeno k použití DMPT jako výchozího urychlovače.

Vinylesterová pryskyřice Derakane 411 byla v základní receptuře vytvrzena 1,5 phr (phr = počet dílů na 100 dílů pryskyřice) dibenzoylperoxidové pasty urychlené 0,5 phr- dimethylparatoluidinu (Tab. 4-1)

Tab. 4-3 Základní receptura Derakane 411

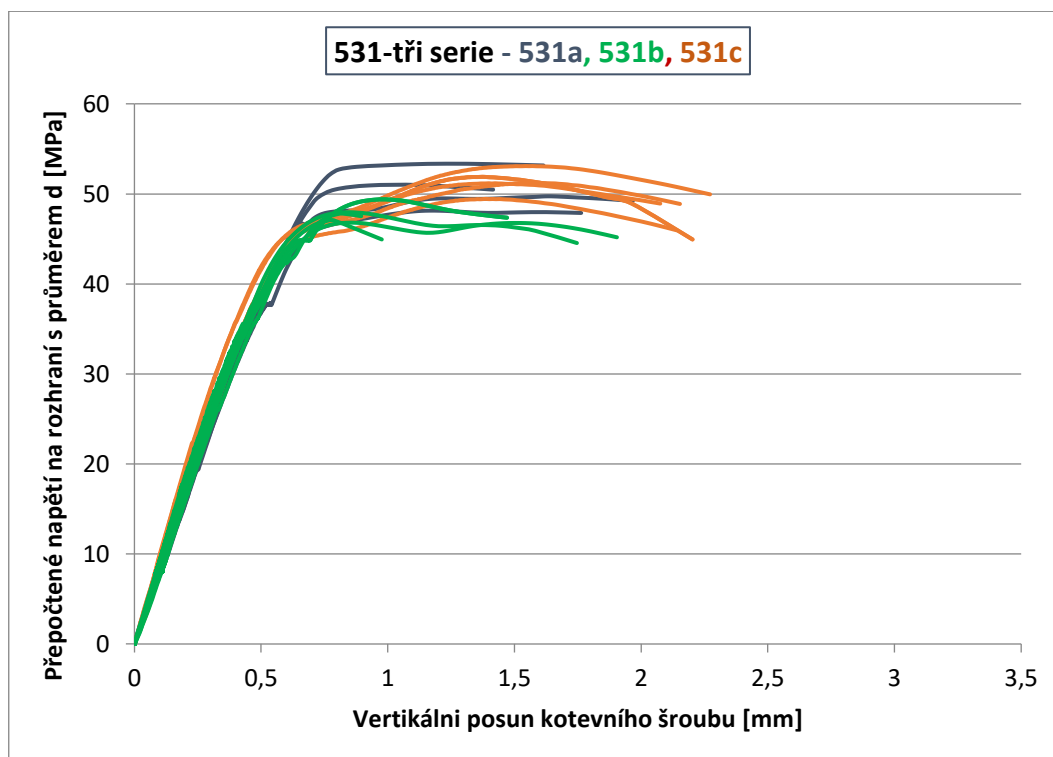
Název receptury	Látka	phr
Derakane 411	Derakane 411	100
	DBP	1,5
	DMPT	0,5

Pryskyřice CHS-EPOXY 531 je nízkomolekulární epoxidová pryskyřice modifikovaná bifunkčním reaktivním rozpouštědlem na bázi diglycidyl etheru. V první navržené základní receptuře bylo pro vytvrzení této pryskyřice navrženo standardní nízkomolekulární aminové tvrdidlo P11 (Tab. 4-4).

Tab. 4-4 Základní receptura 531

Název receptury	Látka	phr
531	CHS-Epoxy 531	100
	P11	12

Výsledek pro základní recepturu epoxidové pryskyřice 531 je na Obr. 4-32 a Obr. 4-33.



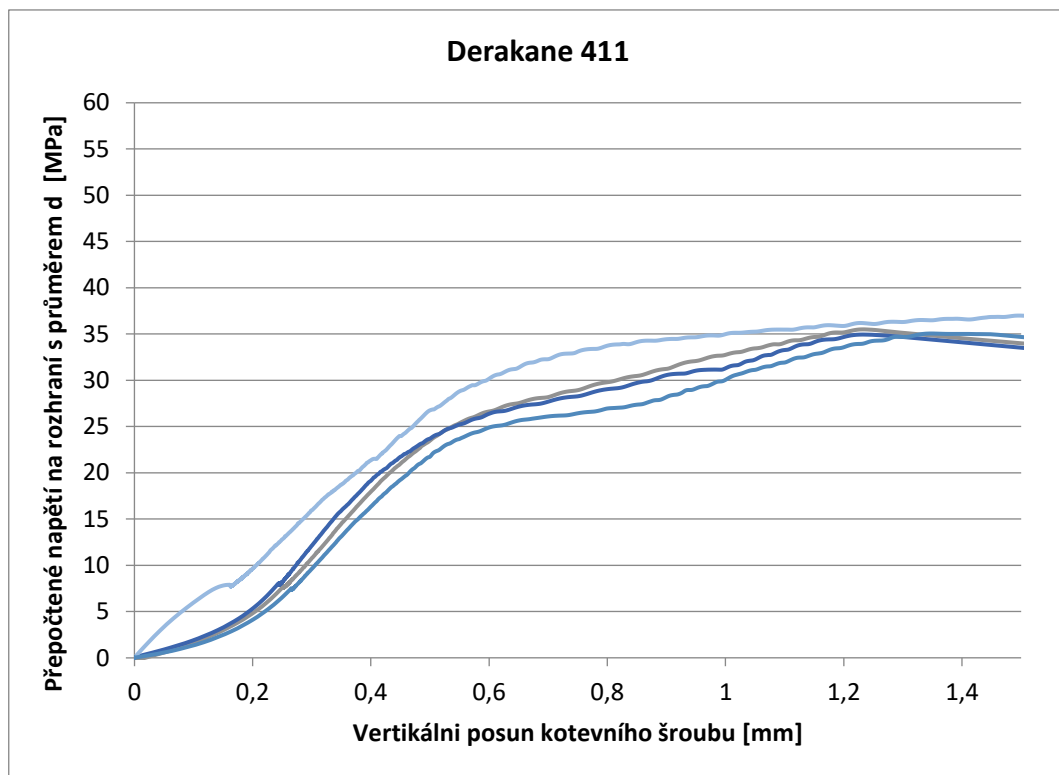
Obr. 4-32 Výsledky modifikované omezené zkoušky pro recepturu 531



Obr. 4-33 Vzorek lepidla receptury 531 po porušení

Lepidlo této receptury vykazuje velmi dobré hodnoty dosaženého mezního napětí na kontaktu mezi kotevním šroubem a lepidlem. Zároveň toto lepidlo vykazuje ideální tvar pracovního diagramu odpovídající Obr. 4-4(c). Vzorek vykazuje téměř ideální bilineární chování s výraznou pružnou částí pracovního diagramu. Testováno bylo celkem 15 vzorků ve třech různých sériích.

Výsledek pro základní recepturu epoxidové pryskyřice Derakane 411 (Obr. 4-32) naopak uspokojivý není. Průběh pracovního diagramu je dle Obr. 4-2 nepřijatelný, ačkoliv mezní hodnota napětí na sledovaném kontaktu dosahuje přijatelných požadovaných hodnot. Na Obr. 4-35 je vidět vzorek lepidla po porušení. Na fotografii je zřetelně vidět, že zbytky lepidla, které se nachází mezi jednotlivými závitů kotevního šroubu jsou uvolněné a nezůstávají kompaktně spojeny s kotevním šroubem.



Obr. 4-34 Výsledky modifikované omezené zkoušky pro recepturu Derakane 411



Obr. 4-35 Vzorek lepidla receptury Derakane 411 po porušení

Tato forma poruchy poukazuje na poměrně velké smrštění lepidla při odvedení reakčního tepla po vytvrzení vzorku. Při tomto smrštění dochází k narušení kompaktnosti rozhraní materiálů a samotné vrstvy lepidla. Na základě těchto nepříznivých výsledků byla vinyl-esterová pryskyřice z dalších studií vyřazena a dále probíhaly testy pouze s epoxidovými pryskyřicemi.

Kromě dosažení vysoké výsledné pevnosti, respektive hodnoty mezního napětí na rozhraní materiálů byl sledován další cíl, a to taková modifikace navržených receptur [42], která umožní aplikaci lepidel i v teplotách blízkých 0 °C .

Standardní systém epoxidové pryskyřice a tvrdidlo za teplot blízkých 0 °C nepolymeruje. Proto byly provedeny pokusy o změnu složení za účelem urychlení reakce. Byly vyzkoušeny následující možnosti:

- nahrazení tradičního tvrdidla (polyfunkční amin) za polymerkaptan (vícefunkční thiol)
- urychlení polymerační reakce pomocí látek s aktivačním účinkem

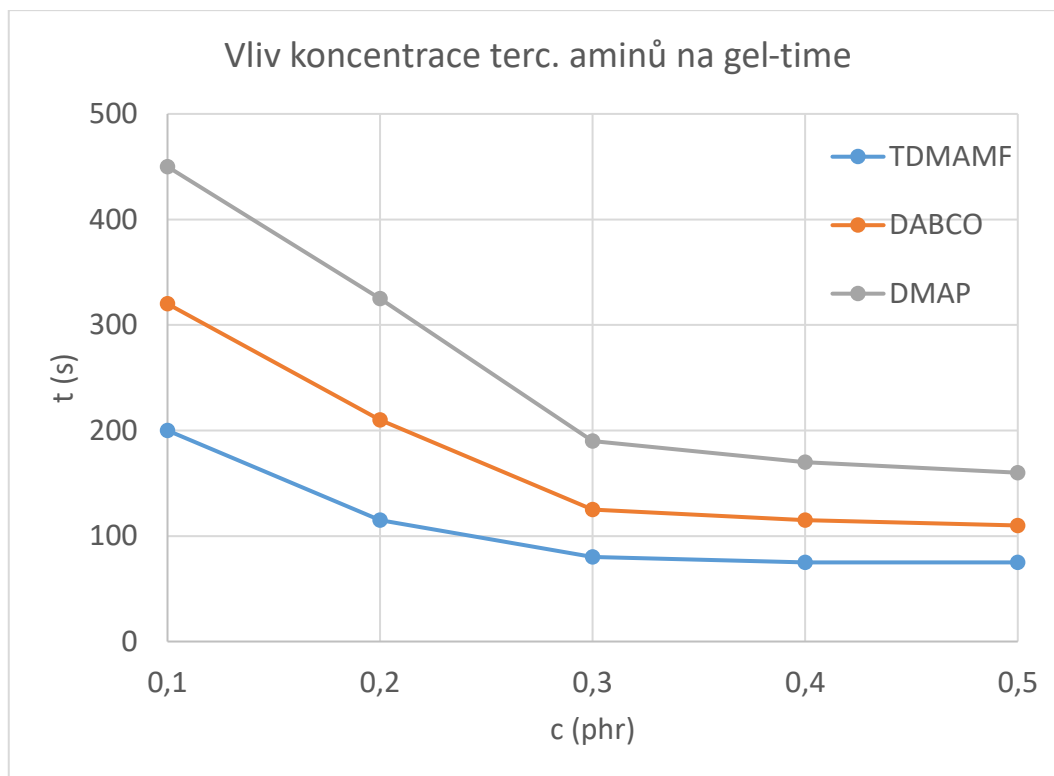
Jako jediný vhodný běžně dostupný zástupce z kategorie polymerkaptanů byl vyzkoušen pentaerythritoltetrakis (3-mercaptopropionate). Samovolná reakce polymerkaptanů s epoxidy je pomalá, často se proto katalyzuje pomocí terciálních aminů [42]. Jako zástupci této kategorie byly vyzkoušeny následující látky:

- 2,4,6-tris (dimethylaminomethyl) fenol (TDMAMF)
- 1,4-diazabicyclo [2.2.2] octane (DABCO)
- 4-dimethylaminopyridine (DMAP)

Byl sledován gel-time směsí za laboratorní teploty v závislosti na koncentraci jednotlivých urychlovačů (Obr. 4-36).

Při nulové koncentraci urychlovače nebylo dosaženo gel-timu ani po 20 minutách. Z výsledků měření je patrné, že od koncentrace 0,4 phr nedocházelo u žádného ze zkoušených urychlovačů ke zvýšení rychlosti vytvrzovací reakce. Nejkratší gel-time byl dosažen s urychlovačem TDMAMF.

Následně byla navrhována receptura 531-S s využitím TDMAMF (Tab. 4-5)

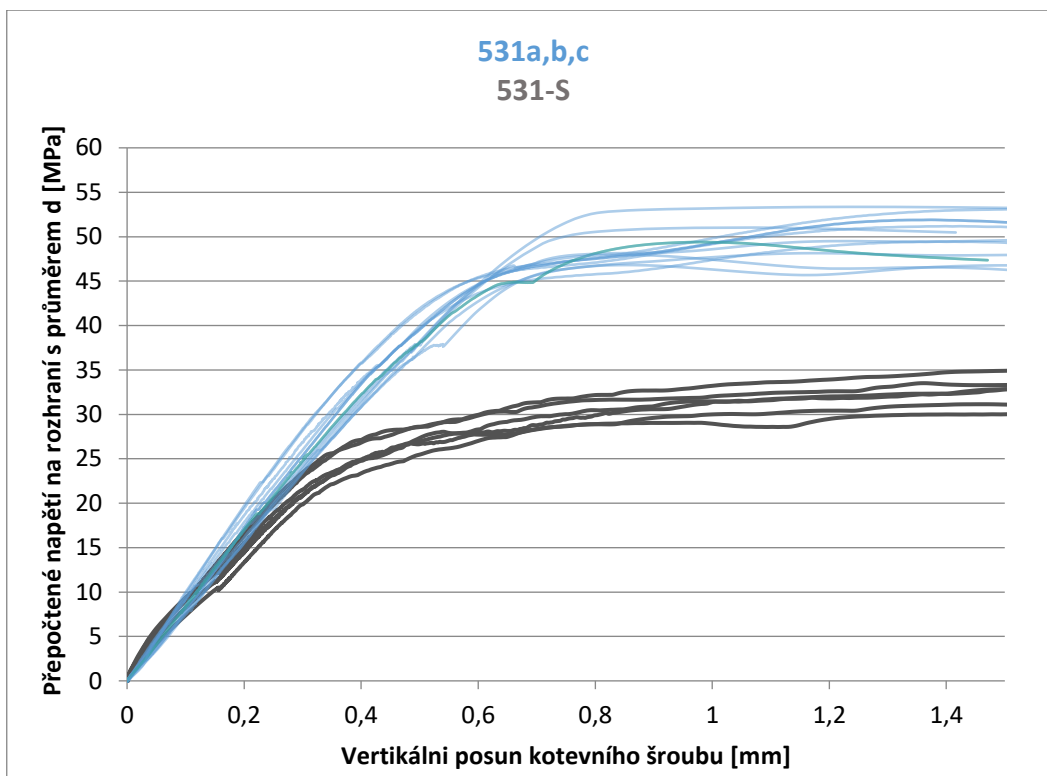


Obr. 4-36 Vliv koncentrace terc. aminů na gel-time

Tab. 4-5 Receptura modifikované epoxidové pryskyřice 531-S

Název receptury	Látka	phr
531-S	CHS Epoxy 531	58,0
	Pentaerythritoltetrakis(3-mercaptopropionate)	36,6
	2,4,6-tris(dimethylaminomethyl)fenol	0,4

Na základě výsledků zkoušek byl zjištěn výrazný pokles v mechanických vlastnostech oproti směsi, kde byl jako tvrdidlo použit standardní amin P11 (Obr. 4-37 a Obr. 4-38). Celkově tato směs vykazovala jen mírně vyšší pevnosti než vinylesterové pryskyřice, proto byl systém s polymerkaptanem jako tvrdidlem vyhodnocen jako nevhodný a vyřazen z dalších pokusů.



Obr. 4-37 Výsledky modifikované omezené zkoušky pro recepturu 531-S

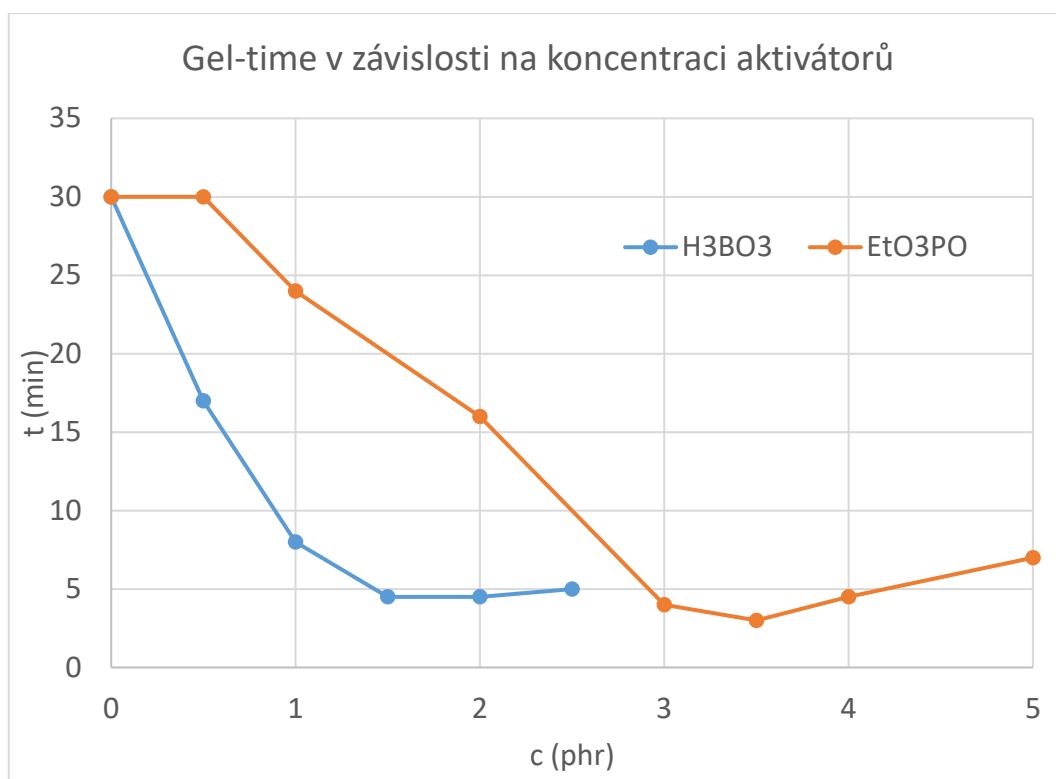


Obr. 4-38 Vzorek lepidla receptury 511-S po porušení

Vzhledem k neuspokojivým výsledkům při použití alternativního tvrdidla byl zaměřen cíl výzkumu na urychlení vytvrzovací reakce se systémem epoxid/polyfunkční amin.

Na základě mechanismu reakce byly vyzkoušeny tyto látky urychlující iniciační stupeň reakce, každá s odlišným mechanismem účinku a byl sledován jejich vliv na gel-time [42] (Obr. 4-39):

- kyselina boritá – H_3BO_3
- triethylfosfát – $(EtO)_3PO$



Obr. 4-39 Gel-time v závislosti na koncentraci aktivátorů

Přídavkem obou látek do systému bylo dosaženo výrazného urychlení reakce. Kyselina boritá vykazuje vyšší reaktivitu už při nižších koncentracích a s dalším přídavkem se rychlost reakce téměř nemění. Triethylfosfát vykazuje celkově nižší účinnost, ale celková rychlost reakce při optimální koncentraci je vyšší než u kyseliny borité. S rostoucí koncentrací od optima dochází k negativnímu ovlivnění reakce a dosažený gel-time se prodlužuje.

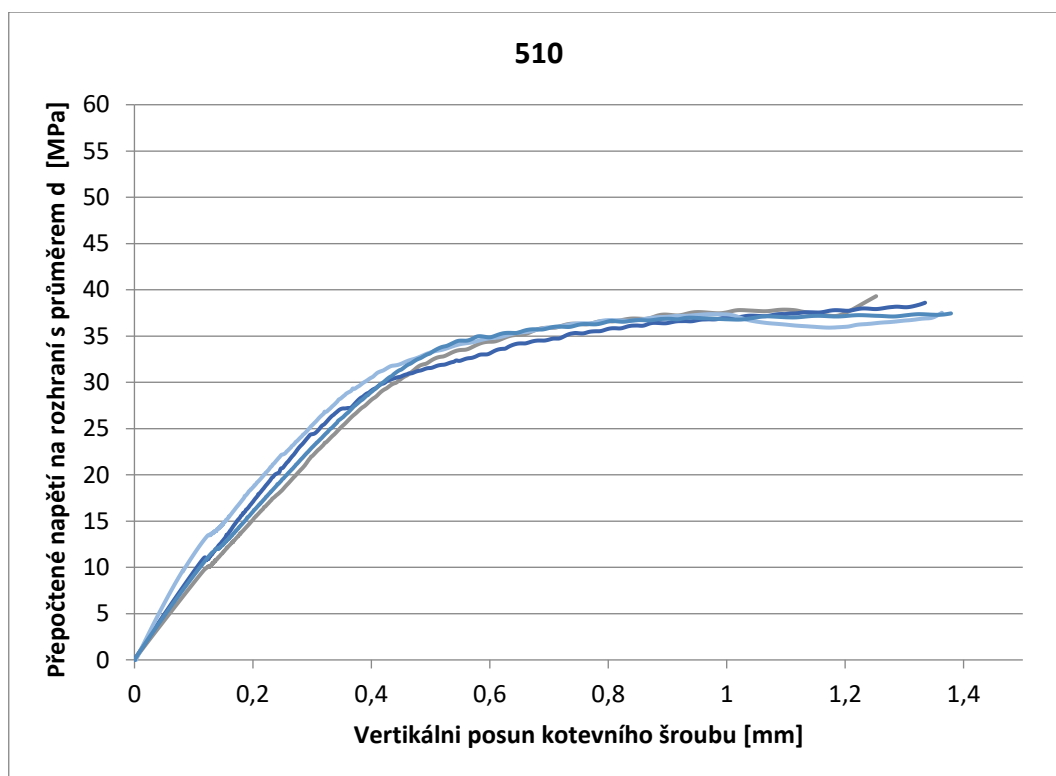
Tyto poznatky byly použity při návrhu receptury 510 (Tab. 4-6), v které byl pro urychlení polymerační reakce použit předreagovaný adukt aminu P11 s hexandioldiglycidyletherem (HDDGE, nízkomolekulární epoxid), neboť tento adukt již vykazuje samostatně vyšší reaktivitu, než je tomu v případě použití samostatných složek na začátku reakce.

Tab. 4-6 Receptura modifikované epoxidové pryskyřice CHS-EPOXY 510 pro použití v nízkých teplotách

Název receptury	Látka	phr
510	CHS Epoxy 510	100,0
	Adukt P11 s HDDGE	60,0
	Kyselina boritá	1,5
	Triethylfosfát	3,5

Při přípravě receptury bylo dále bylo nutno vzít v úvahu, že kyselina boritá je v epoxidu nerozpustná, a proto má tendenci sedimentovat. Z toho důvodu byl nahrazen CHS Epoxy 531 za CHS Epoxy 510 s výrazně vyšší viskozitou, čímž bylo zabráněno sedimentaci kyseliny borité. CHS Epoxy 531 je variantou CHS 510 s reaktivními ředidly, a proto nedochází k výraznému ovlivnění mechanických vlastností, pouze viskozity. V konečné receptuře je navíc obsažen v aduktu HDDGE, který je sám o sobě reaktivním ředidlem.

Výsledek pro lepidlo se základní pryskyřicí CHS EPOXY 510, která byla modifikována pro aplikaci ve snížených teplotách je uveden na Obr. 4-40 a Obr. 4-41. Funkce přepočteného pracovního diagramu jsou konzistentní a mezní hodnota smykového napětí na sledovaném kontaktu se blíží žádoucí hodnotě 35 MPa. Tato směs byla posléze zvolena pro ověření rychlosti tuhnutí při teplotě 5 °C.



Obr. 4-40 Výsledky modifikované omezené zkoušky pro recepturu 510



Obr. 4-41 Vzorek lepidla receptury 510 po porušení

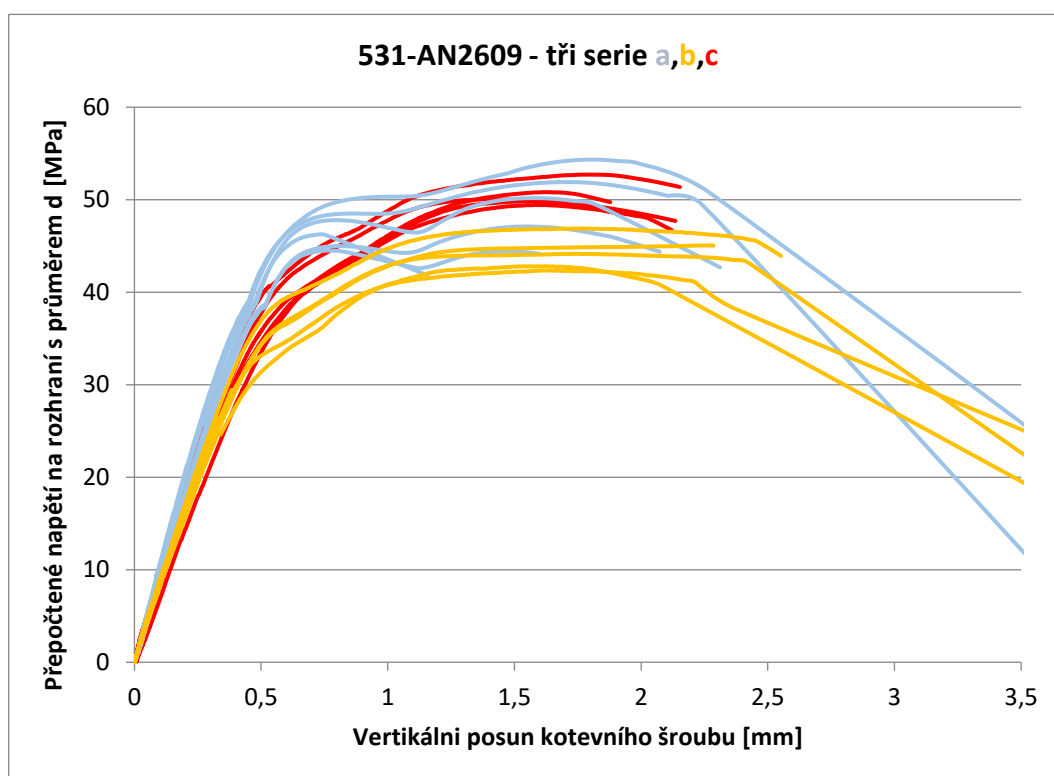
Z lepidel vyrobených na základě výše uvedených receptur se z pohledu požadavku na co nejvyšší výslednou pevnost ukázala jako nejvhodnější receptura 531, která však v základní receptuře není schopna přijatelně rychlé reakce při snížených teplotách (Tab. 4-7).

V dalším vývoji byla i tato receptura modifikována pro aplikace v nižších instalačních teplotách. Použito bylo kombinace tvrdidel P11 a AN2609 a dále směsi Benzylalkoholu, Triethylfosfátu, Kyseliny borité a 2,4,6-tris (dimethylaminomethyl) fenolu [43].

Výsledky testů lepidel této základní receptury jsou vyobrazeny na Obr. 4-42 a Obr. 4-43.

Tab. 4-7 Receptura modifikované epoxidové pryskyřice CHS- EPOXY 531 pro použití v nízkých teplotách

Název receptury	Látka	phr
531-AN2609	CHS EPOXY 531	100,00
	AN2609	21,00
	P11	6,00
	Benzylalkohol	7,00
	Triethylfosfát	5,40
	Kyselina boritá	1,80
	2,4,6-tris (dimethylaminomethyl) fenol	1,80



Obr. 4-42 Výsledky modifikované omezené zkoušky pro recepturu 531-AN2609



Obr. 4-43 Vzorek lepidla receptury 531-AN2609 po porušení

Receptura 531-AN2609 se ze všech testovaných receptur ukázala jako nejperspektivnější a byla podrobena dalším testům.

4.3.2 Testování plničů

Epoxidové pryskyřice se často používají jako lepidla díky svým vynikajícím mechanickým a fyzikálním vlastnostem, vysoké přilnavosti, tepelné stabilitě, nízkému smršťování a odolnosti vůči rozpouštědlům. S ohledem na cíl dosáhnout co nejvyšších hodnot mechanických vlastností, zejména pevnosti ve smyku, byla v následující analýze použita zejména receptura 531 (Tab. 4-4) se základní epoxidovou pryskyřicí CHS EPOXY 531.

Cílem níže uvedených testů bylo ověřit možnost zlepšení pevnostních charakteristik výsledného lepidla prostřednictvím přidavku specifických plniv. Vliv plniv na výslednou kvalitu produktu je např. popsán v [44,45].

Tato plniva se často používají, protože díky své struktuře a různým povrchovým modifikacím jsou schopna ovlivnit mnoho fyzikálních a mechanických vlastností. Často zkoumanými plnivami jsou oxid titaničitý [46], oxid grafenu [47,48], uhlíkové nanotrubičky [49,50], nanohlína [51], karbonová vlákna [52] atd. nebo dokonce jejich kombinace.

Hlavní nevýhodou běžné epoxidové pryskyřice je problém vytvrzování za nízkých teplot. Vytvrzování běžných epoxidových pryskyřic neprobíhá při teplotách nižších než 15 °C. Pro použití lepidla na bázi epoxidových pryskyřic ve stavebnictví je nutné zajistit schopnost vytvářet lepený spoj i v chladnějších obdobích, kdy se teploty pohybují mezi 5 a 10 °C. Procesy, jako je gelovatění a vitifikace, jsou řízeny teplotou a dobou vytvrzování [53]. Příkladem mohou být výsledky standardního konstrukčního epoxidového lepidla (Sikadur 31). Bylo zjištěno, že vytvrzování probíhalo i při teplotách okolo 5 až 10 °C. Proces byl však výrazně zpomalen. Dosažení 80% míry konverze trvalo několik dní. Teplota skelného přechodu se při vytvrzování za nízkých teplot zvyšovala ještě pomaleji. Při teplotě 0 °C bylo vytvrzování pryskyřice zcela potlačeno [38].

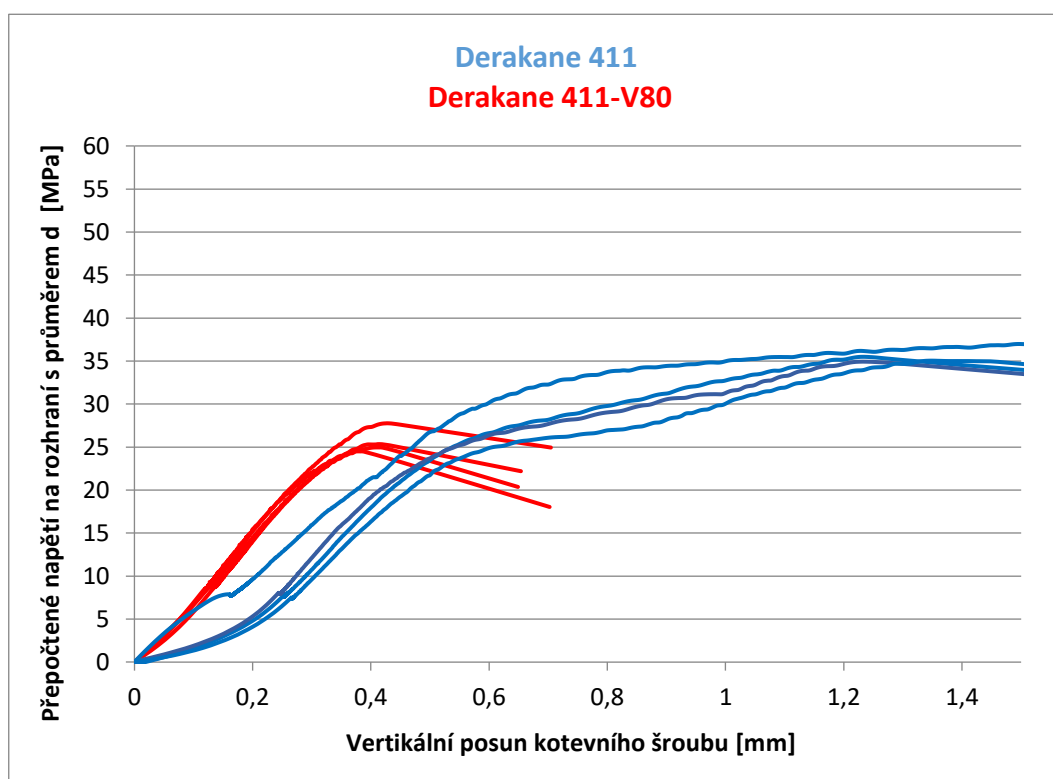
4.3.2.1 Plniče – Mletý vápenec

Plniče nepřispívají pouze ke zlepšení parametrů pevnostní, ale také ke stabilizaci a redukci smršťování materiálu a jako druhotný efekt mohou výsledný produkt zlevnit. U vinyl-esterových pryskyřic je podstatnou nevýhodou při návrhu složení chemické kotvy jejich vysoké smrštění, u použité pryskyřice Derakane 411 je to 7,5 % (Tab. 4-2). Nejběžnější metodou snížení smrštění je právě přidání plniv do směsi, navíc je cena plniv obvykle nižší, než je cena pryskyřice, což vede ke zmíněným ekonomickým úsporám.

Následující výsledky (Obr. 4-44 a Obr. 4-45) zobrazují zkoušku modifikované receptury Derakane 411-V80 (Tab. 4-8) v které byl jako plnivo použit mletý vápenec frakce 0 – 0,5 mm. Hmotnostní podíl tohoto plniče ve výsledné receptuře činí 80 %.

Tab. 4-8 Receptura Derakane 411-V80

Název receptury	Látka	phr
Derakane 411-V80	Derakane 411	100
	DBP	1,5
	DMPT	0,5
	Mletý vápenec	400



Obr. 4-44 Výsledky modifikované omezené zkoušky pro recepturu Derakane 411-V80



Obr. 4-45 Vzorek lepidla receptury Derakane 411-V80 po porušení

Z výsledků modifikované receptury Derakane 411-V80 vyplývá snížení mezního napětí na sledovaném kontaktu o cca 20 %. Z průběhu pracovních diagramů z jednotlivých zkoušek lze

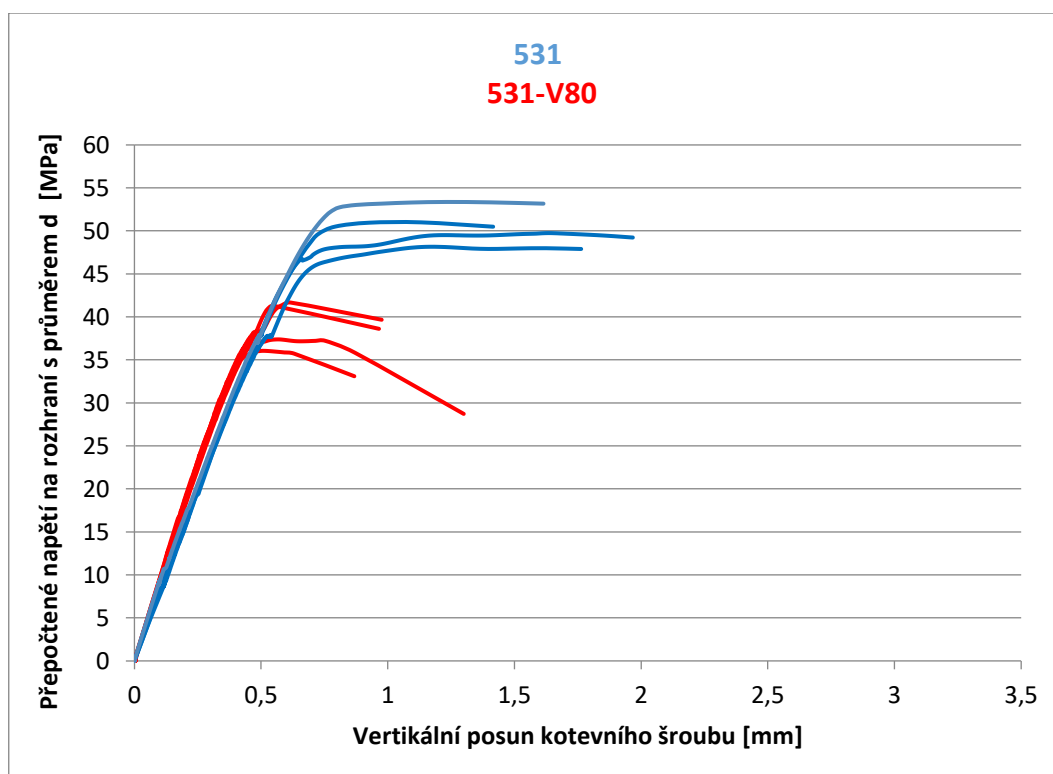
pozorovat výraznou redukci efektu smrštění lepidla. Pracovní diagram je z hlediska svého průměru ideální s jasnou pružnou částí a zřetelným vrcholem.

Rámcově lze také hodnotit poměrné náklady na jednotku hmotnosti lepidla z vyrobených dle uvedených receptur. V době realizace těchto zkoušek byla cena základní pryskyřice minimálně 25x vyšší než cena mletého vápence. Náklady na lepidlo dle receptury Derakane 411-V80 jsou tedy vzhledem k množství použitých komponent při cca 20 % poklesu pevnosti nižší až o 75 %.

Obdobný ekonomický efekt má použití mletého vápence v receptuře s epoxidovou pryskyřicí 531-V80 (Tab. 4-9). Výsledky lepidla vyrobeného dle této receptury jsou vyobrazeny na Obr. 4-46 a Obr. 4-47. Opět je vidět redukce mezí hodnoty napětí cca o 20 až 25 %. Zároveň došlo k velmi mírnému nárůstu tuhosti zkoušeného vzorku.

Tab. 4-9 Receptura 531-V80

Název receptury	Látka	phr
531	CHS-Epoxy 531	100
	P11	12
	Mletý vápenec	400



Obr. 4-46 Výsledky modifikované omezené zkoušky pro recepturu 531-V80



Obr. 4-47 Vzorek lepidla receptury 531-V80 po porušení

4.3.2.2 Plniče- Uhlíková vlákna

V další sadě testů byla zkoumána možnost použít jako plniče recyklovaná mletá uhlíková vlákna o délce 100 μm a průměru 6 μm bez povrchové úpravy. Výhodou recyklovaného uhlíkového vlákna je výrazně nižší cena oproti běžnému uhlíkovému vláknu.

Cílem bylo ověřit předpoklad, že by tato uhlíková vlákna vysoké pevnosti mohla působit jako rozptýlená výztuž ve vrstvě lepidla a zároveň, že by mohla plnit také funkci stabilizátoru proti smršťování. Byly navrženy čtyři receptury s různou koncentrací vláken v daném vzorku.

Testováno bylo množství 10, 30 a 50 phr. Připravena byla jedna receptura s vinyl-esterovou pryskyřicí Derakane 411-C10 (Tab. 4-11) a tři receptury s epoxidovou pryskyřicí CHS Epoxy 531 (Tab. 4-10, Tab. 4-12 a Tab. 4-13).

Výsledky těchto testů jsou pro jednotlivé receptury znázorněny na obrázcích Obr. 4-50, Obr. 4-51 a Obr. 4-52, vždy ve srovnání s výsledky tří sad základní receptury 531. Na Obr. 4-53 jsou potom fotografie příslušných vzorku po porušení.

Tab. 4-10 Receptura 531-C10

Název receptury	Látka	phr
531 - C10	CHS-Epoxy 531	100
	P11	12
	mletá uhlíková vlákna	10

Tab. 4-11 Receptura Derakane 411-C10

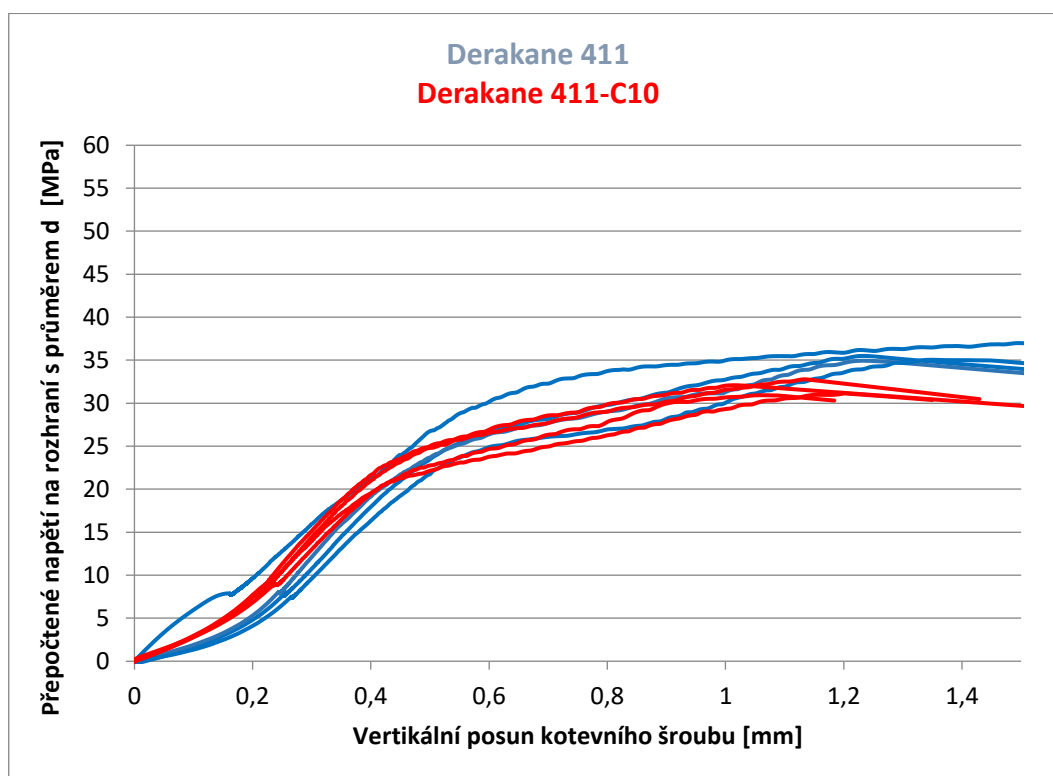
Název receptury	Látka	phr
Derakane 411 - C10	Derakane 411	100
	DBP	1,5
	DMPT	0,5
	mletá uhlíková vlákna	10

Tab. 4-12 Receptura 531-C30

Název receptury	Látka	phr
531 - C30	CHS-Epoxy 531	100
	P11	12
	mletá uhlíková vlákna	30

Tab. 4-13 Receptura 531-C50

Název receptury	Látka	phr
531 - C50	CHS-Epoxy 531	100
	P11	12
	mletá uhlíková vlákna	50



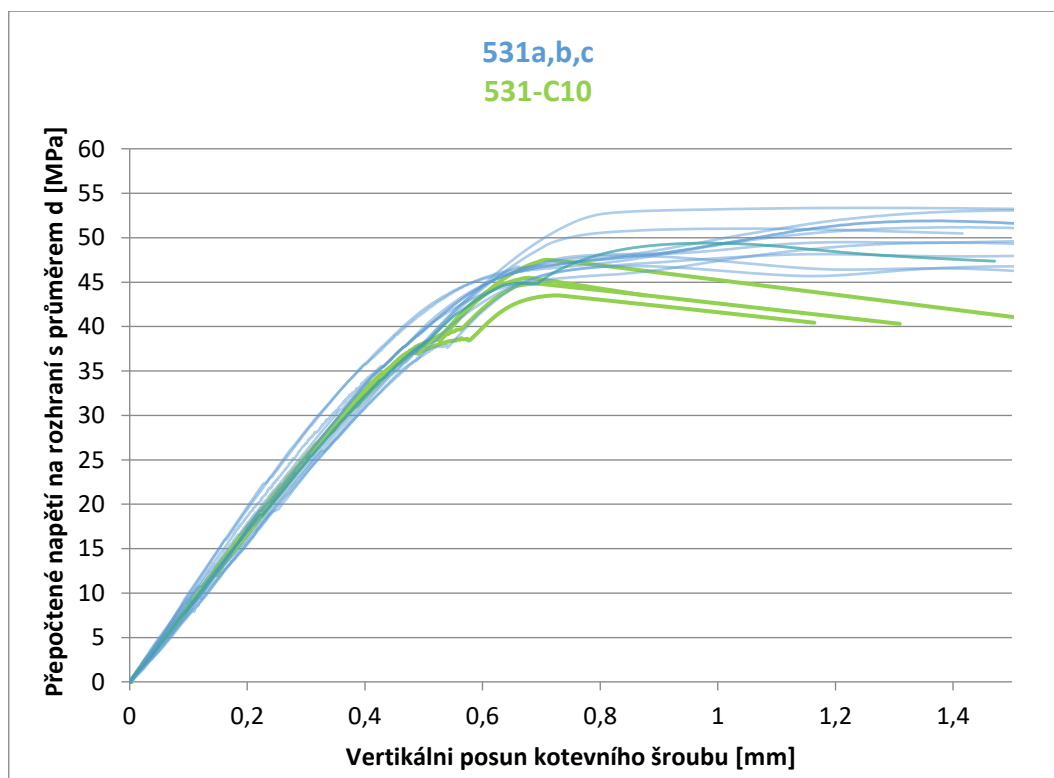
Obr. 4-48 Výsledky modifikované omezené zkoušky pro recepturu Derakane 411-C10



Obr. 4-49 Vzorek lepidla receptury Derakane 411-C10 po porušení

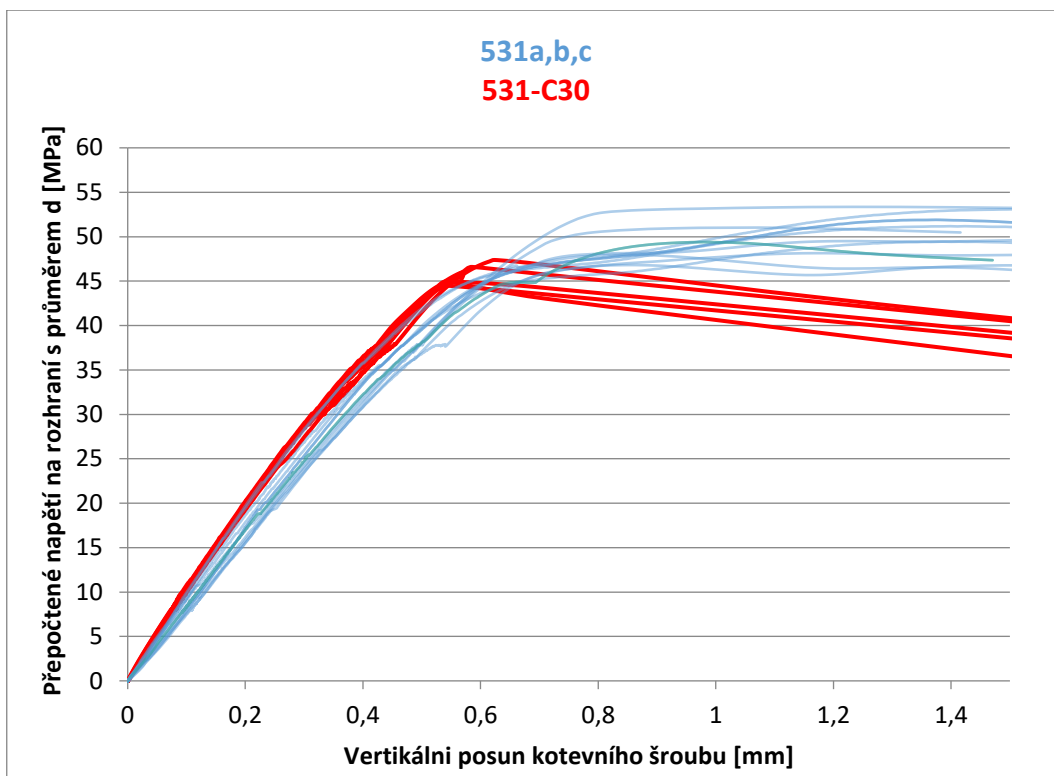
Použití plniče recyklovaných mletých uhlíkových vláken v malé koncentraci (10 phr) nemělo na výsledky prakticky žádný vliv, a to jak pro základní vinyl-esterovou pryskyřici, tak pro epoxidovou pryskyřici. Jak je patrné z Obr. 4-48, nemá tato koncentrace uhlíkových vláken žádný vliv na smršťování lepidla v průběhu vytvrzování.

Použití vyšší koncentrace recyklovaných mletých uhlíkových vláken (30 phr a 50 phr) bylo testováno pouze v případě epoxidové pryskyřice tzn. modifikací receptury 531. Výsledky však ukazují, že ani v těchto případech nedošlo k dosažení vyšších hodnot mezního napětí na sledovaném rozhraní. Na pracovních diagramech (Obr. 4-51 a Obr. 4-52) lze pozorovat velmi malý nárůst tuhosti v pružné části. V pracovním diagramu byla značně redukována jeho nelineární část. Lepidlo s tímto plničem v dané koncentraci vykazuje ostře bilineární chování s méně duktilním chováním.

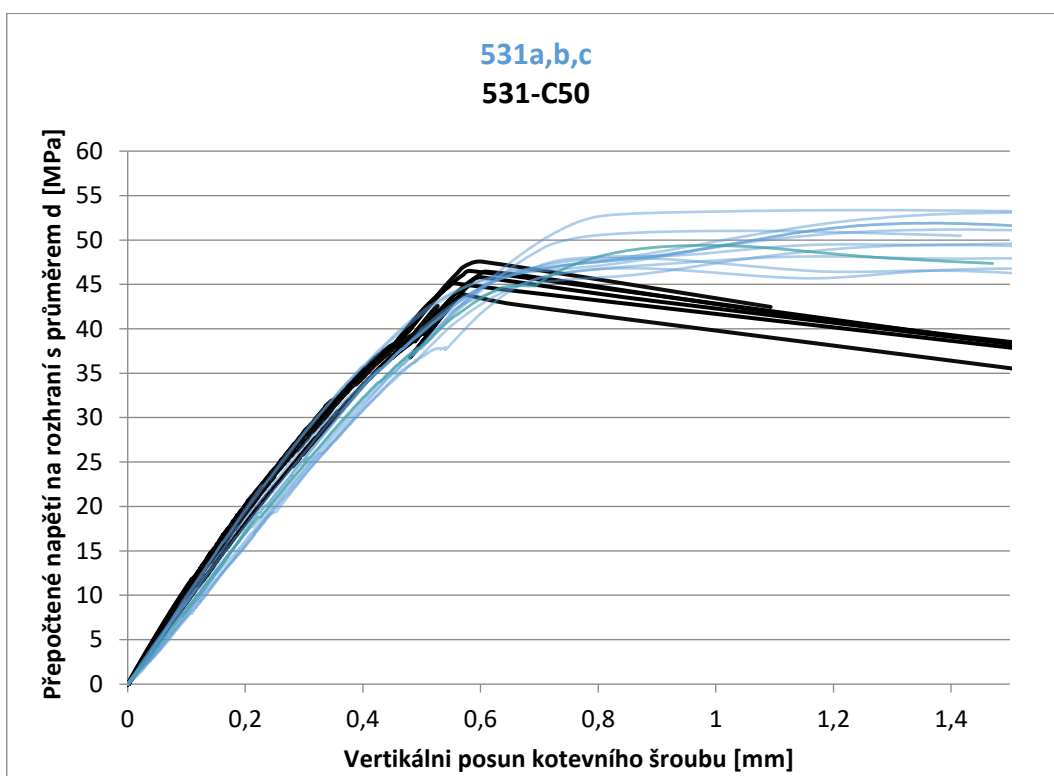


Obr. 4-50 Výsledky modifikované omezené zkoušky pro recepturu 531-C10

Při přípravě těchto vzorků byly také pozorovány změny ve zpracovatelnosti směsi. Vlákna ve vyšší koncentraci směs velmi zahušťují, a navíc tvoří shluky, které jsou jen velmi těžko rozmíchatelné. Tento vliv je patrný i na výsledném zatvrdnutém vzorku. Na Obr. 4-53 je vidět více pórovitá struktura lepidla na porušeném rozhraní při vyšší koncentraci vláken. Vyšší koncentrace než 50 phr již nebylo možné z důvodu zpracovatelnosti lepidla vyrobit a otestovat.



Obr. 4-51 Výsledky modifikované omezené zkoušky pro recepturu 531-C30



Obr. 4-52 Výsledky modifikované omezené zkoušky pro recepturu 531-C50



531-C10



531-C30



531-C50

Obr. 4-53 Vzorky lepidel receptur 531-C10, C30 a C50 po porušení

Použití recyklovaných mletých uhlíkových vláken v daných velikostech a koncentracích se ukázalo jako neefektivní z pohledu možnosti navýšení hodnot mezního napětí na rozhraní mezi materiály.

4.3.2.3 Plniče - Nanoplňiva

V návaznosti na uvedené výsledky, kdy se nepodařilo navýšit mechanické vlastnosti chemické kotvy při použití konvenčních plniv, byl cíl v této oblasti nasměrován do oblasti nanoplňiv.

Pro zkoušky byla vytipována ta nanoplňiva, u kterých byl potenciál navýšení především smykových pevností materiálu. Z této kategorie byly testovány následující druhy:

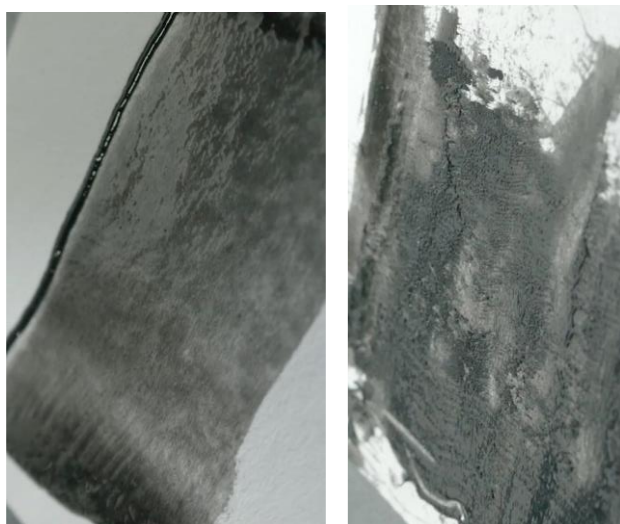
- uhlíkové nanotrubičky (Tubal Matrix 201)
- grafenoid (GO-I.)
- grafenoid (GO-21)
- grafenoid (GO-43)

Vzhledem k obtížné dispergaci nanoplňiv bylo potřeba optimalizovat metodu přípravy vzorků. Pro kontrolu dispergace byl použit jednoduchý test rozetřením směsi v tenké vrstvě na papír, kdy by směs měla tvořit hladkou uniformní vrstvu bez shluků. Příklad dobré a špatné dispergace nanoplňiv je vyobrazen na Obr. 4-54.

Směsi s nanotrubičkami byly připravovány na laboratorním dispergátoru (Obr. 4-28). Pro zlepšení mechanických vlastností doporučuje výrobce nanotrubiček koncentraci 0,5 %.

Při pokusu o dispergování byla zkoušena přímá dispergace celého množství v epoxidu při 1000 ot./min. Ani po jedné hodině nebylo dosaženo uspokojivých výsledků. Poté byla rychlost navýšena na 2000 ot./min a směs byla míchána následujících 30 minut, kdy došlo ke zlepšení dispergace, nicméně stále směs netvořila hladký film a během této doby došlo také ke zvýšení teploty vlivem tření na 60°C.

Směs také obsahovala velké množství bublin. Po tomto neúspěchu bylo přistoupeno k metodě postupného ředění, kdy bylo 2,5 % nanotrubiček dispergováno v epoxidu a následně byl tento koncentrát naředěn na požadovaných 0,5 %. Vyšší prvotní koncentrace nebyla z důvodu vysoké viskozity směsi možná. Míchání probíhalo vždy při 2000 ot./min. s přestávkami tak, aby nedošlo k zahřátí směsi na více než 40°C. Celková doba míchání byla 30 minut pro koncentrát a 30 minut pro ředění. Celková dispergace byla při této metodě výrazně lepší, ale stále ne dostatečná a opět byl přítomen vysoký obsah bublin.



Obr. 4-54 Dobrá dispergace (vlevo), špatná dispergace (vpravo)

Metoda s koncentrátem byla použita znovu za přítomnosti dispergačního činidla Disperbyk 2152, kdy bylo dosaženo dostatečné dispergace nanoplňiva. Problém s přítomností velkého množství bublin přetrvával, nicméně jejich výskyt se snížil přibližně o 50 %.

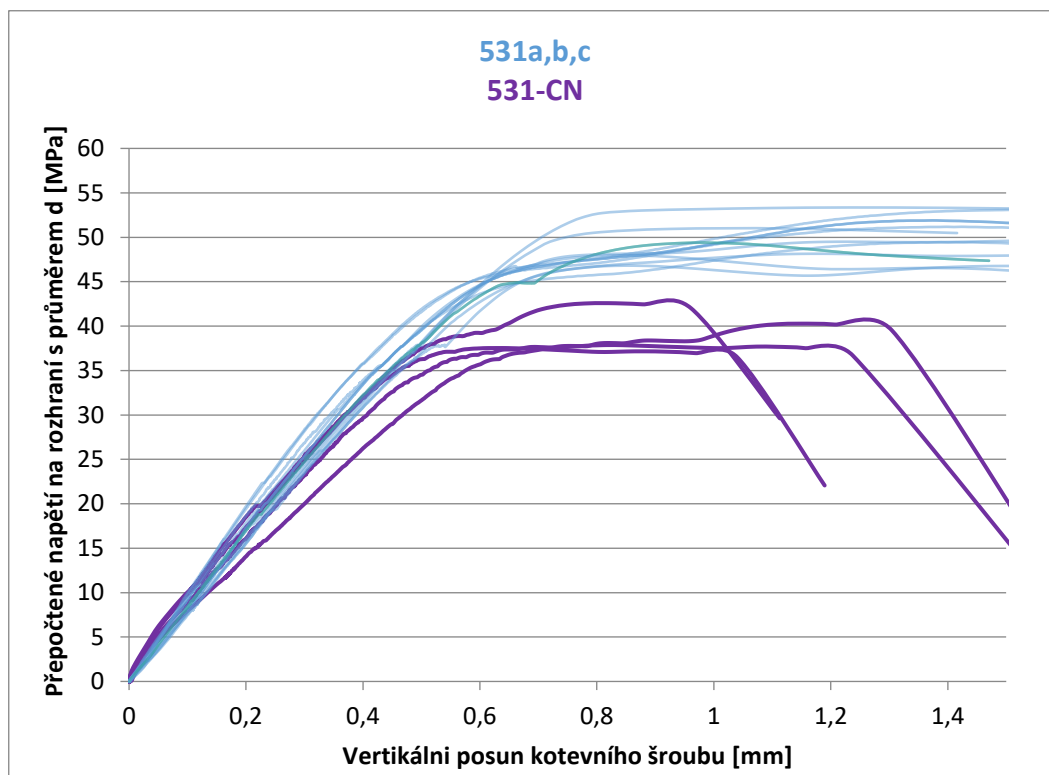
Pro úplné odstranění bublin bylo úspěšně použito odpěňovadlo BYK A530, kdy na základě jeho technického listu byla ještě do metody míchání přidána vždy sekvence dlouhá 10 minut při rychlosti 200 ot./min. Celkové množství bublin bylo sníženo na jednotky procent oproti výchozímu stavu.

Po těchto zjištěních byla připravena receptura 531CN (Tab. 4-14)

Tab. 4-14 Receptura 531-CN

Název receptury	Látka	phr
531-CN	CHS-Epoxy 531	100,0
	Disperbyk 2152	0,3
	Byk A530	2,0
	P11	12,0
	Tuball Matrix 201	0,5

Z výsledků měření (Obr. 4-55) je patrné, že i přes veškeré vynaložené úsilí nedošlo ke zvýšení mechanických vlastností směsi oproti základní receptuře 531. Ani po prezentaci výsledků výrobci nanotrubiček a jejich diskuzi nebyla odhalena možná příčina snížených mechanických vlastností.



Obr. 4-55 Výsledky modifikované omezené zkoušky pro recepturu 531-CN

Metoda přípravy vzorků se ukázala jako úspěšná pro dispergaci nanočástic a byla úspěšně aplikována pro přípravu dalších receptur s využitím různých typů grafenoidů v různých koncentracích. Jednotlivé receptury jsou uvedeny v tabulkách (Tab. 4-15 až Tab. 4-21).

Směsi s grafenoidy se ukázaly jako výhodnější z pohledu dispergace, a navíc bylo při přípravě pozorováno výrazně redukováné množství bublin zůstávajících ve směsi než v případě nanotrubiček.

Výsledky testů těchto receptur jsou vyobrazeny (již bez ukázkou vzorku po porušení) na Obr. 4-56 až Obr. 4-61 vždy v porovnání se základní recepturou 531.

Tab. 4-15 Receptura 531-G0,3

Název receptury	Látka	phr
531-G0,3	CHS-Epoxy 531	100,0
	Disperbyk 2152	0,3
	Byk A530	2,0
	P11	12,0
	grafenoid (GO-I.)	0,3

Tab. 4-16 Receptura 531-G0,03b

Název receptury	Látka	phr
531-G0,03b	CHS EPOXY 531	100,00
	GO21	0,03
	P11	11,00
	Disperbyk-2152	0,03
	BYK-066N	1,10

Tab. 4-17 Receptura 531-G0,06

Název receptury	Látka	phr
531-G0,06	CHS EPOXY 531	100,00
	GO21	0,06
	P11	11,00
	Disperbyk-2152	0,03
	BYK-066N	1,10

Tab. 4-18 Receptura 531-G0,5

Název receptury	Látka	phr
531-G0,5	CHS EPOXY 531	100,00
	GO21	0,5
	P11	11,00
	Disperbyk-2152	0,03
	BYK-066N	1,10

Tab. 4-19 Receptura 531-G043-0,03

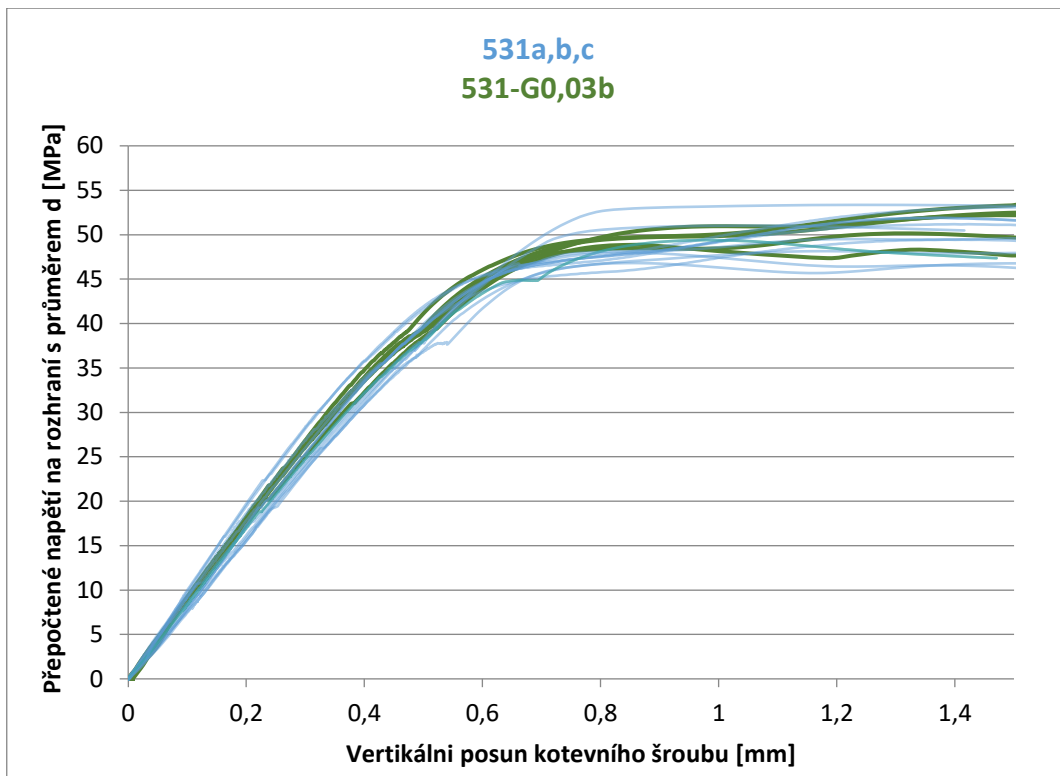
Název receptury	Látka	phr
531-G043-0,03	CHS EPOXY 531	100,00
	GO43	0,03
	P11	11,00
	Disperbyk-2152	0,03
	BYK-066N	1,10

Tab. 4-20 Receptura 531-G043-0,06

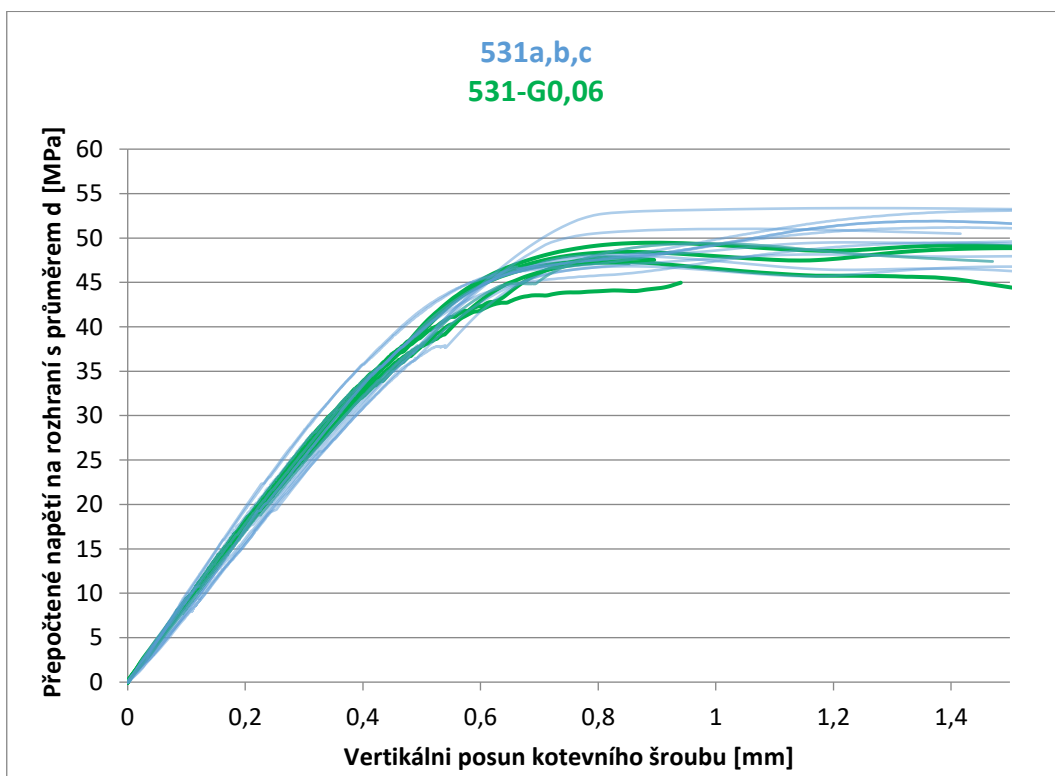
Název receptury	Látka	phr
531-G043-0,06	CHS EPOXY 531	100,00
	GO43	0,06
	P11	11,00
	Disperbyk-2152	0,06
	BYK-066N	1,10

Tab. 4-21 Receptura 531-G043-0,5

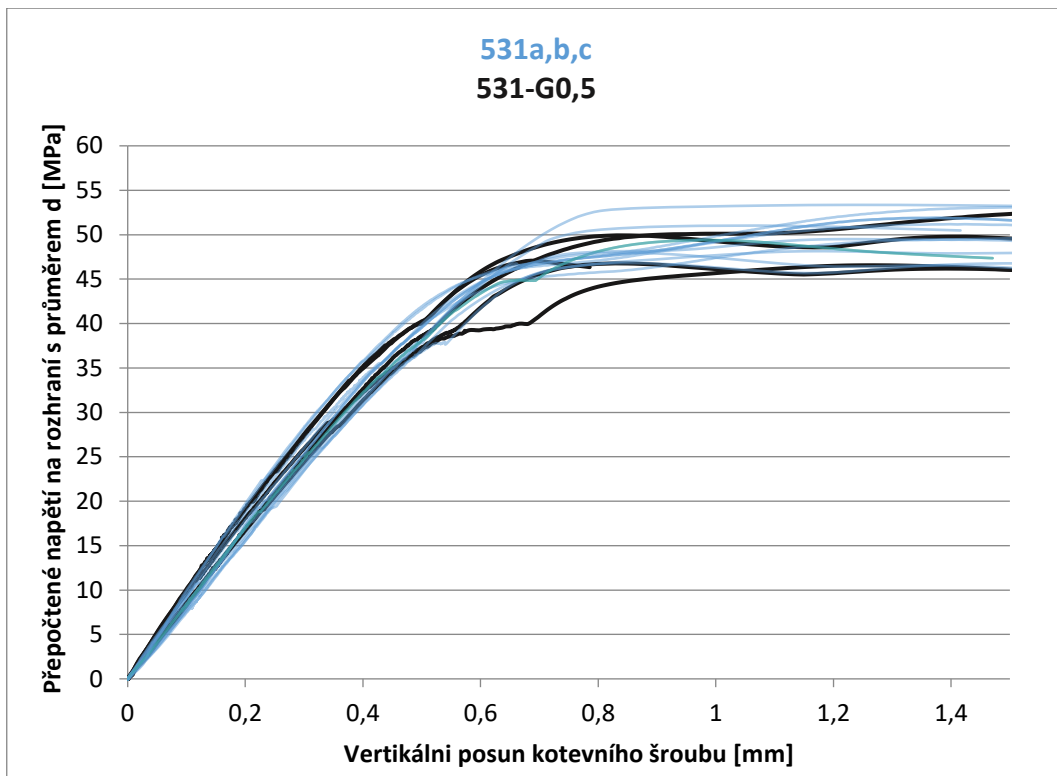
Název receptury	Látka	phr
531-G043-0,5	CHS EPOXY 531	100,00
	GO43	0,5
	P11	11,00
	Disperbyk-2152	0,5
	BYK-066N	1,10



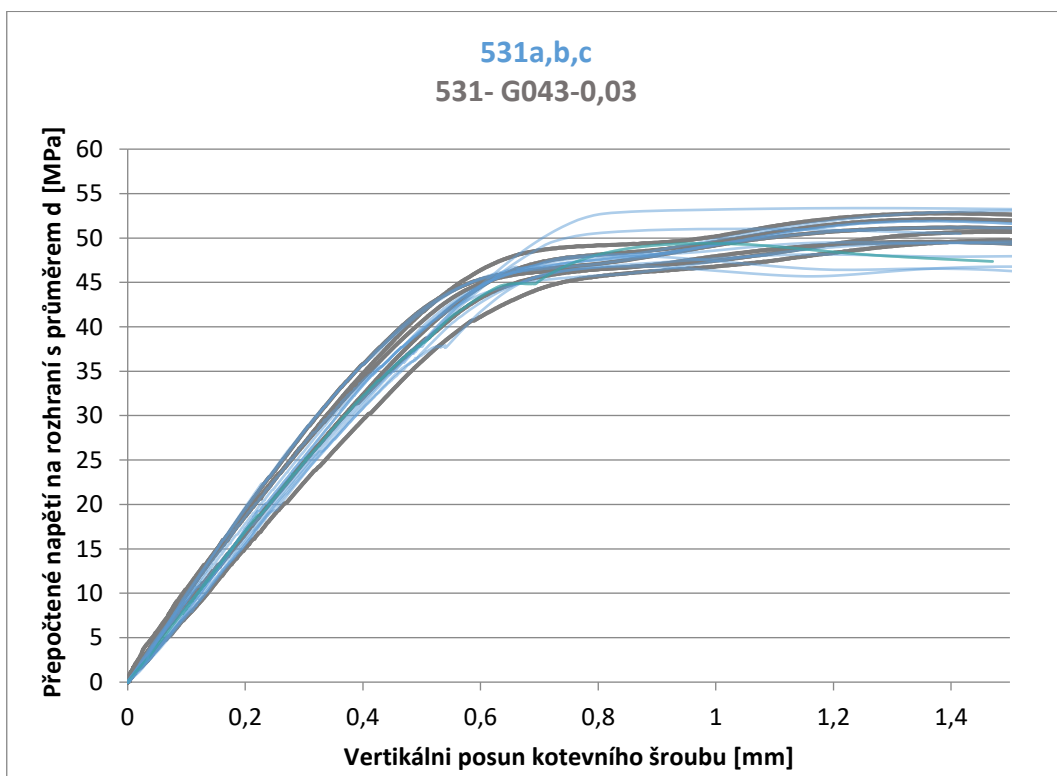
Obr. 4-56 Výsledky modifikované omezené zkoušky pro recepturu 531-G0,03b



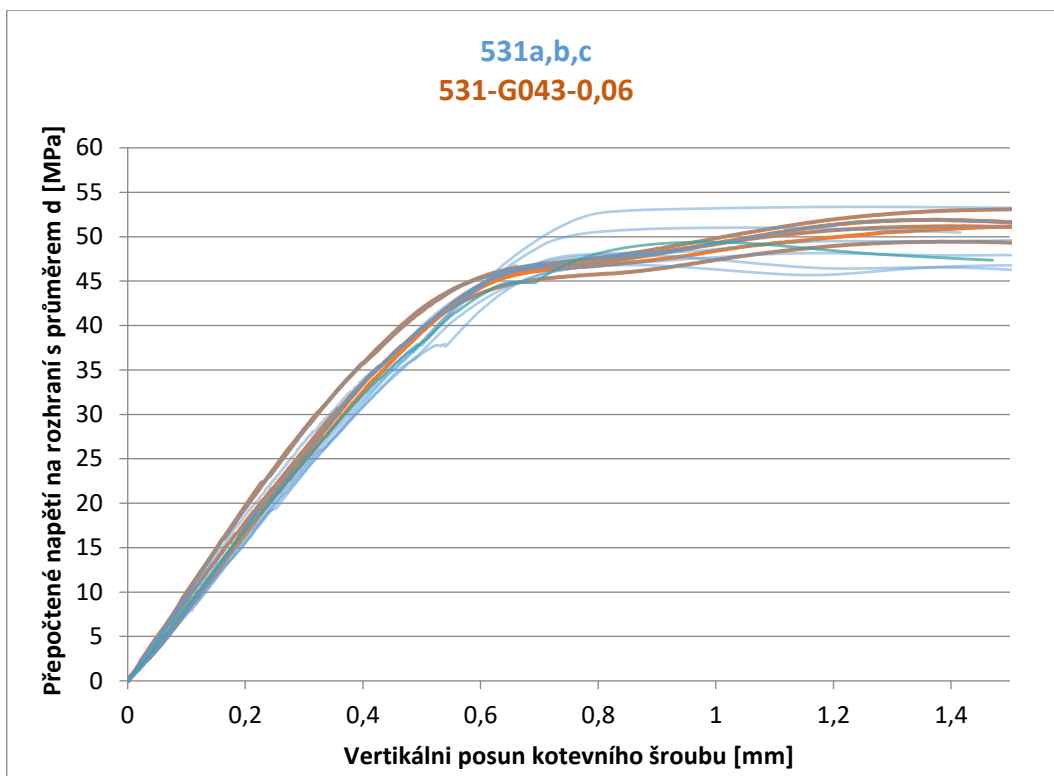
Obr. 4-57 Výsledky modifikované omezené zkoušky pro recepturu 531-G0,06



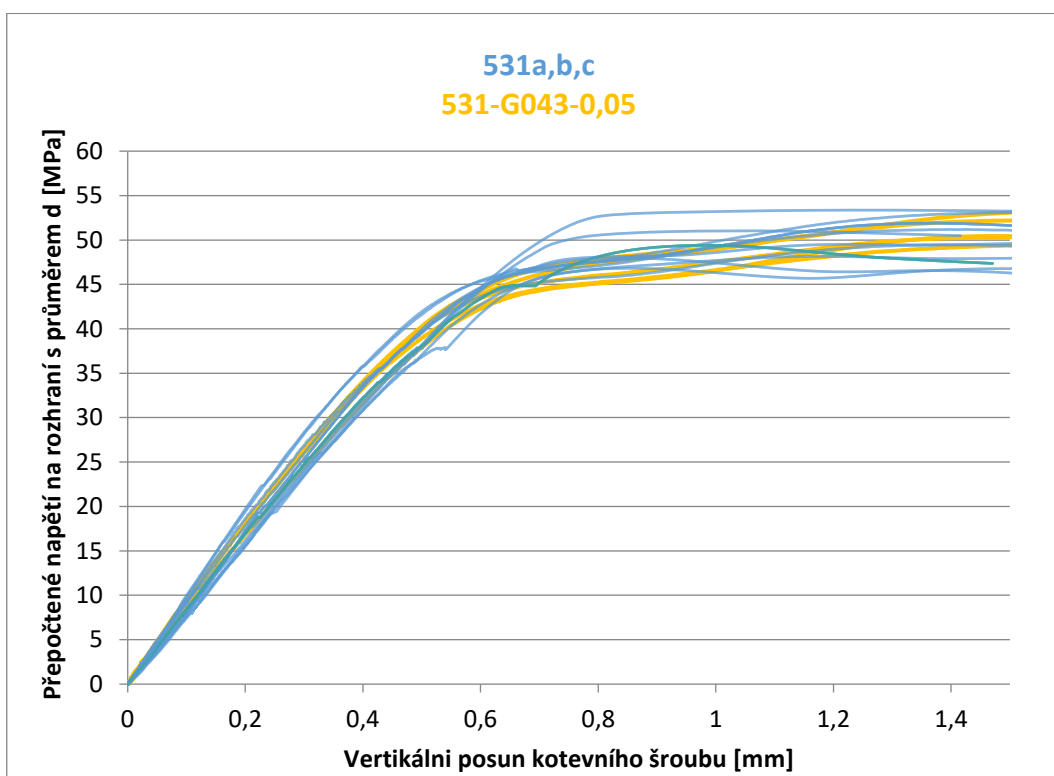
Obr. 4-58 Výsledky modifikované omezené zkoušky pro recepturu 531-G0,5



Obr. 4-59 Výsledky modifikované omezené zkoušky pro recepturu 531- G043-0,03



Obr. 4-60 Výsledky modifikované omezené zkoušky pro recepturu 531- G043-0,06



Obr. 4-61 Výsledky modifikované omezené zkoušky pro recepturu 531- G043-0,5

4.3.3 Test vybraných receptur při aplikaci v nízké teplotě

Výše popsané receptury 510 a 531-AN2609 nebyly optimalizovány pouze s ohledem na dosažení co možná nejvyšších hodnot mezního napětí na rozhraní mezi spojovanými materiály, ale také s ohledem na možnost použití v nízké instalační teplotě.

Pro realizaci testů byla zvolena běžná hraniční teplota pro postupy standardního betonování, tedy 5 °C. Pro ověření vlastností obou lepidel zmíněných receptur byla použita modifikovaná omezená zkouška. Důvodem této volby jsou relativně malé ocelové zkušební přípravky, které bylo možné v dostatečném počtu umístit do klimatizační komory. Pro realizaci těchto zkoušek bylo využito instalačního přípravku (Obr. 4-10). Počet vzorků pro jedno lepidlo a jeden časový interval vytvrzování byl v tomto případě redukován na 4 ks.

Před realizací experimentu byly všechny použité zkušební přípravky, závitové tyče (kotevní šrouby) a také oddělené složky receptury lepidla temperovány v klimatizační komoře po dobu 24 hodin na požadovanou teplotu (Obr. 4-62). Vzorky byly vytaženy do laboratorní teploty 20 °C pouze na dobu nezbytně nutnou k promíchání složek lepidla a následnou instalaci kotevního šroubu (cca 10 minut), poté byly opět umístěny zpět do klimatizační komory. Vzhledem k vysoké schopnosti oceli akumulovat teplo lze předpokládat, že za tuto krátkou dobu nebyla rychlost reakce významně ovlivněna procesem přípravy vzorků ve vyšší teplotě.



Obr. 4-62 Temperování zkušebních přípravků a složek lepidel v klimatizační komoře

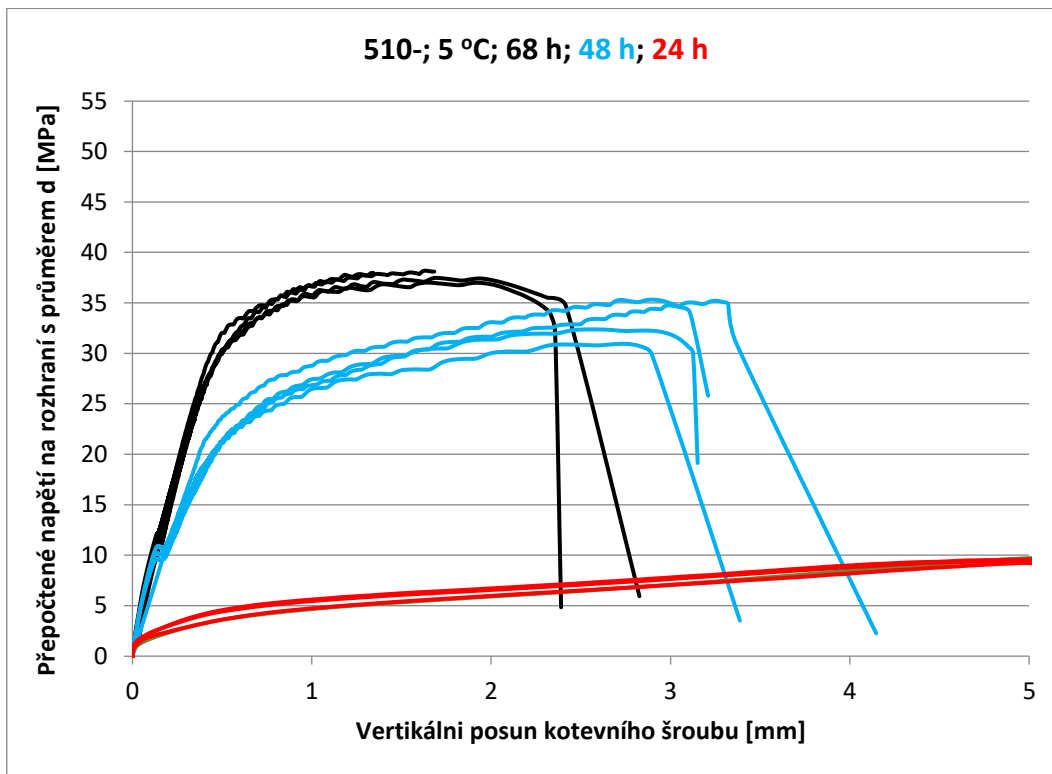
Pro sledování počátku reakce a rychlosti vytvrzování bylo nutné zvolit vhodné časové intervaly od instalace kotevního šroubu po realizaci zkoušky. Tyto intervaly bylo nutné také navrhnout tak, aby jednotlivé časy instalace kotev a provedení samotného experimentu bylo možné provést ve vhodnou denní dobu.

Na základě předběžných testů ověřujících gel time zvolených koncentrací aktivátorů reakce (Obr. 4-39) byly pro testované receptury zvoleny obdobné intervaly doby vytvrzování.

4.3.3.1 Test vytvrzování lepidla receptury 510 při teplotě 5 °C

Pro recepturu 510 byly zvoleny intervaly o délce 8, 18, 24, 48 a 68 hodin. První dva intervaly se ukázaly jako příliš krátké. Po 8 hodinách od okamžiku instalace kotevních šroubů bylo lepidlo při

teplotě 5 °C stále zcela tekuté. Po 18 hodinách od okamžiku instalace byla konzistence lepidla ještě velmi měkká (Obr. 4-64) a kotevní šroub bylo možné rukou vytáhnout ze zkušební přípravku. Z tohoto stavu lze usoudit, že gel time nastal jen krátce před koncem tohoto zvoleného časového intervalu. Provést modifikovanou omezenou zkoušku bylo možné pouze pro časové intervaly 24, 48 a 68 hodin. Výsledky těchto zkoušek jsou zobrazeny na Obr. 4-63. Fotografie jednotlivých vzorků po realizaci zkoušky jsou uvedeny na Obr. 4-64 až Obr. 4-67.



Obr. 4-63 Výsledky modifikované omezené zkoušky pro recepturu 510 při 5 °C



Obr. 4-64 Vzorek lepidla receptury 510 po zkoušce po 18 hodinách v 5 °C



Obr. 4-65 Vzorek lepidla receptury 510 po zkoušce po 24 hodinách v 5 °C



Obr. 4-66 Vzorek lepidla receptury 510 po zkoušce po 48 hodinách v 5 °C



Obr. 4-67 Vzorek lepidla receptury 510 po zkoušce po 68 hodinách v 5 °C

Z výsledků je patrné, že ani po 24 hodinách od okamžiku instalace kotevního šroubu nedosahuje lepidlo uspokojivých výsledků dosaženého mezního napětí na sledovaném rozhraní. Bylo sice dosaženo mezního napětí na úrovni cca 10 MPa ale současně s výraznou plastickou deformací vrstvy lepidla s prakticky nezatelnou pružnou částí pracovního diagramu.

Na Obr. 4-65 je vidět reprezentativní vzorek po porušení. Struktura lepidla vykazuje přechodový stav mezi měkkým stavem (Obr. 4-64) a vytvrzeným stavem (Obr. 4-72).

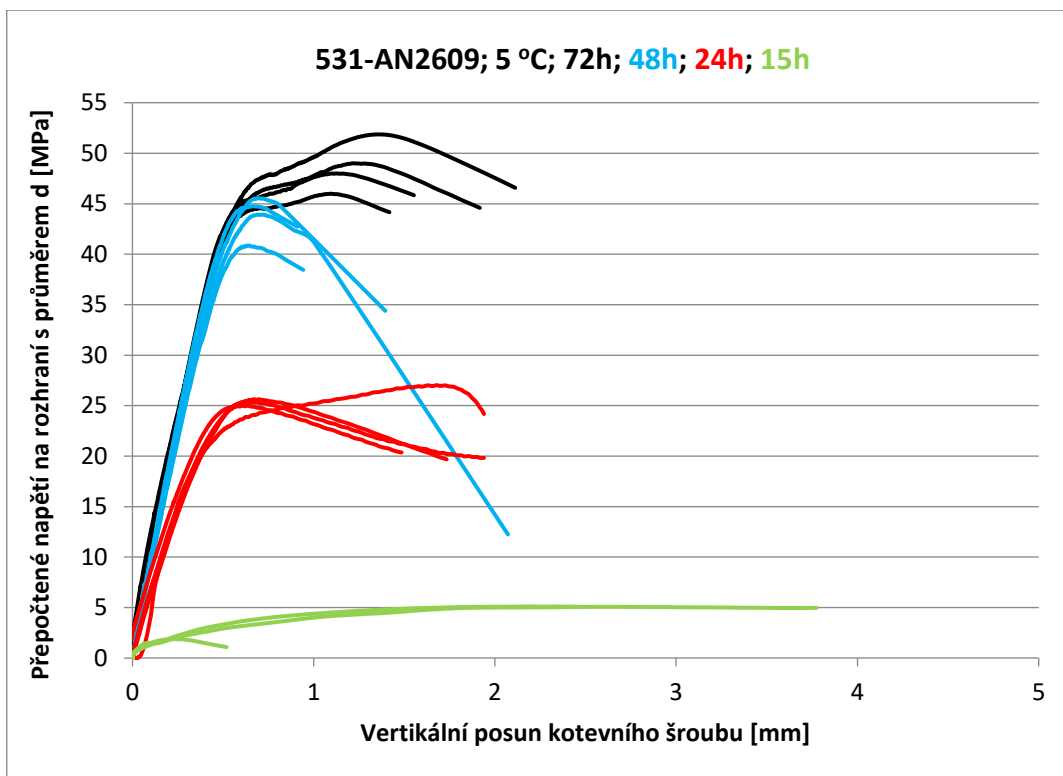
4.3.3.2 Test vytvrzování lepidla receptury 531-AN2609 při teplotě 5 °C

Pro recepturu 531-AN2609 byly zvoleny intervaly o délce 15, 24, 48 a 72 hodin. Kratší interval než 15 h již byl vypuštěn s ohledem na zkušenost ze vzorku 510. Výsledky zkoušek receptury 531-AN2609 jsou zobrazeny na Obr. 4-68. Fotografie jednotlivých vzorků po realizaci zkoušky jsou uvedeny na Obr. 4-69 až Obr. 4-72.

Vzorky zkoušené po nejkratším zvoleném intervalu 15 hodin od okamžiku instalace kotvy, vykazovaly již jisté stabilní hodnoty dosaženého mezního napětí na sledovaném rozhraní, dosahující 5 MPa, avšak opět s výrazně nelineárním plastickým chováním. Svým charakterem se tyto výsledky podobají výsledkům receptury 510 po 24hodinovém intervalu (Obr. 4-69 a Obr. 4-68).

Vzorky z receptury 531-AN2609 po 24 hodinách vykazují již uspokojivé hodnoty sledovaného mezního napětí, které dosahuje cca 50 % hodnot zcela vytvrzeného lepidla při laboratorní teplotě 20 °C a to s přijatelným tvarem pracovního diagramu.

Výsledky vzorků zkoušených po 48 hodinách již dosahují srovnatelných hodnot jako při teplotě 20 °C. Rozdíl v charakteru výsledků po 48 hodinách a po 72 hodinách je z pohledu dosažené mezní hodnoty napětí již velmi malý, přičemž pracovní diagram vzorků zkoušených po 72 hodinách vykazuje na rozdíl od 48 hodin jisté zpevnění po dosažení mezních hodnot.



Obr. 4-68 Výsledky modifikované omezené zkoušky pro recepturu 531-AN2609 při 5 °C



Obr. 4-69 Vzorek lepidla receptury 531-AN2609 po zkoušce po 15 hodinách v 5 °C



Obr. 4-70 Vzorek lepidla receptury 531-AN2609 po zkoušce po 24 hodinách v 5 °C

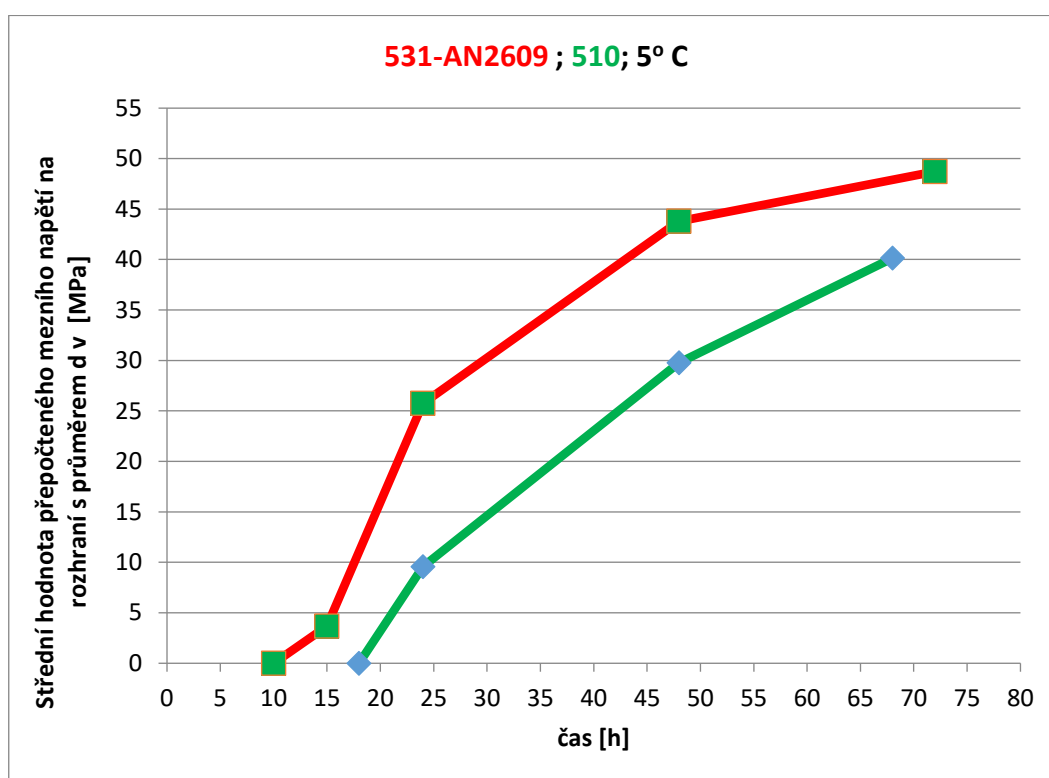


Obr. 4-71 Vzorek lepidla receptury 531-AN2609 po zkoušce po 48 hodinách v 5 °C



Obr. 4-72 Vzorek receptury 531-AN2609 po zkoušce po 72 hodinách v 5 °C

Porovnání výsledků modifikované omezené zkoušky pro vzorky lepidel vyrobených z receptur 510 a 531-AN2609 jsou znázorněny následujícím grafu (Obr. 4-73). Z grafu je zřejmé, že gel time pro obě receptury při teplotě 5 °C je podobný a nastává cca po 15 až 18 hodinách od promísení složek lepidel. Nárůst pevnosti pro recepturu 531-AN2609 je však výrazně rychlejší a po 24 hodinách již dosahuje, na rozdíl od receptury 510, akceptovatelných hodnot.



Obr. 4-73 Porovnání dosažených hodnot mezního napětí na sledovaném rozhraní pro receptury 510 a 531-AN2609 při použití v teplotě 5 °C

4.3.4 Porovnání omezené zkoušky a modifikované omezené zkoušky na vzorcích vybrané receptury

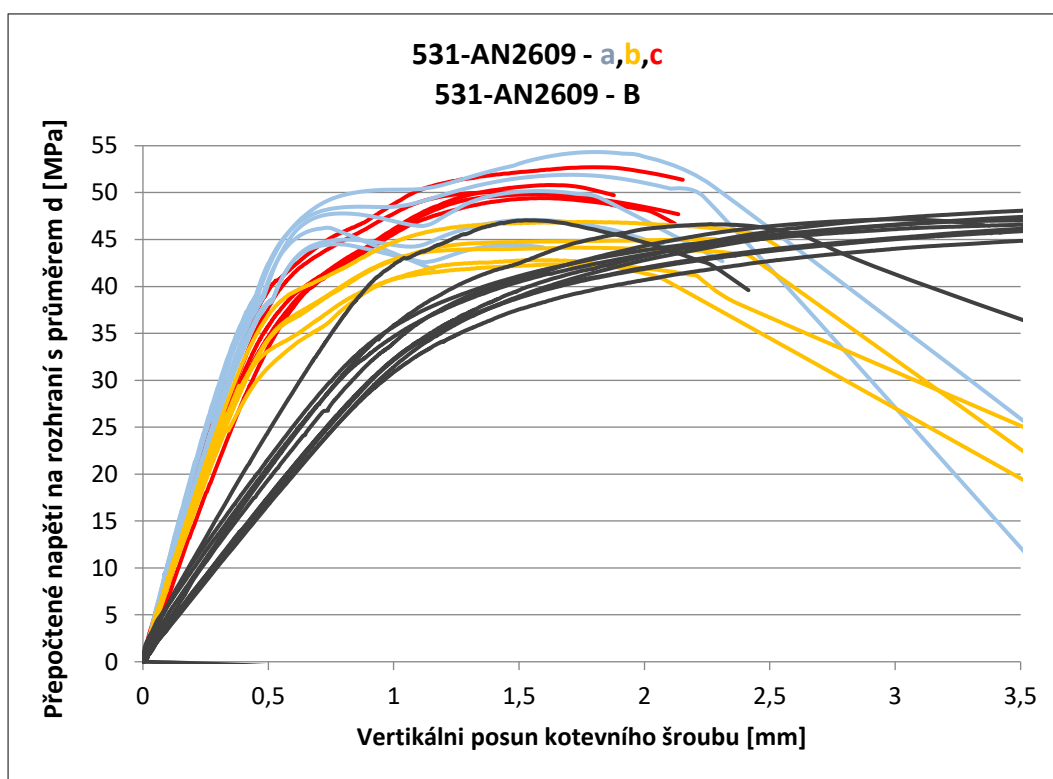
Pro ověření použitelnosti modifikované omezené zkoušky byla realizována sada testů lepidel receptury 531-AN2609 v betonových tělesech tak, aby bylo možné srovnat obě metody z pohledu dosažených výsledků (Obr. 4-74).

Pro tuto sadu omezené zkoušky byla použita nevyztužená tělesa z betonu s laboratorně ověřenou střední hodnotou krychlenou pevností $f_{c,150} = 80,77 \text{ MPa}$. Geometrie tělesa odpovídala Obr. 4-21. Dále, vzhledem k delší kotevní délce, která se pohybovala pro jednotlivá tělesa v rozmezí 40 až 64 mm

(měřeno individuálně pro každý vzorek), byla jako kotevní šroub použita závitová tyč pevnostní značky 12.9 průměru M12 a to z důvodu vyloučení poruchy přetržením kotevního šroubu. Porovnání jednotlivých výsledků omezené zkoušky v betonových tělesech a modifikované omezené zkoušky v ocelových přípravcích je uvedena na Obr. 4-75.



Obr. 4-74 Omezená zkouška na vzorku 531-AN2609-B



Obr. 4-75 Porovnání 3 sad testů modifikovanou omezenou zkouškou a omezenou zkouškou - receptura 531-AN2609

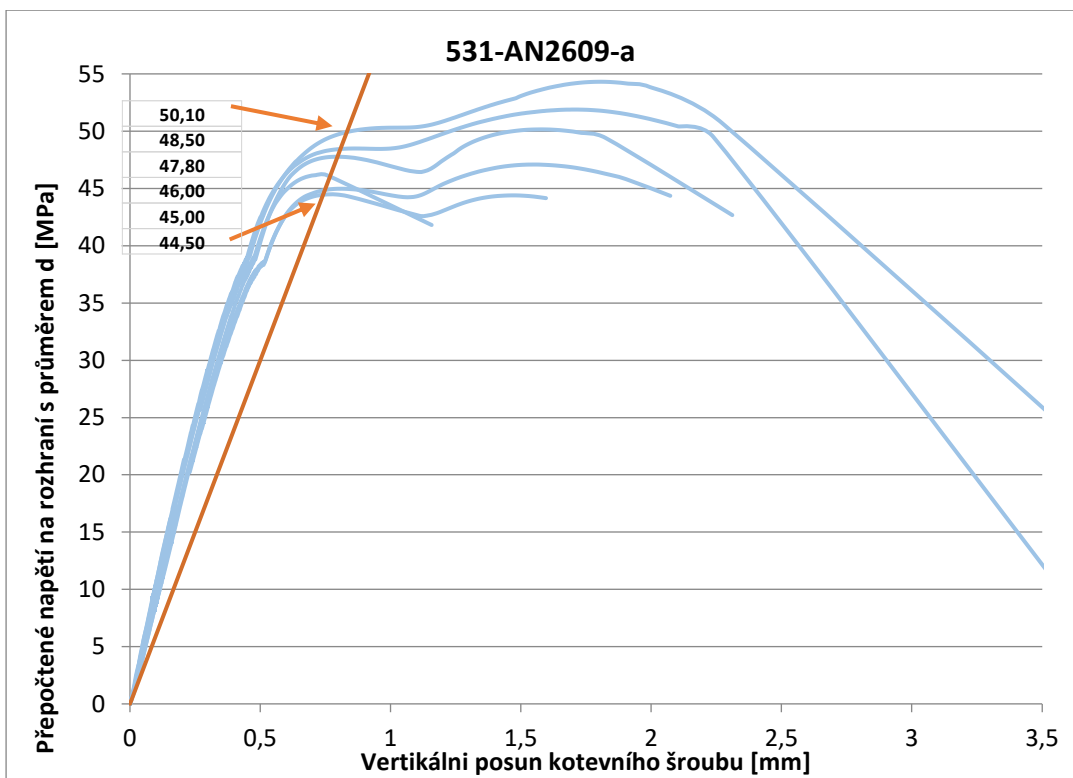
Z jednotlivých průběhů pracovních diagramů zkoušek (Obr. 4-75) je patrné, že počáteční tuhost vzorků instalovaných v ocelových přípravcích je přibližně dvojnásobná oproti vzorkům instalovaných v betonových tělesech, přičemž mezní hodnoty napětí na sledovaném rozhraní dosahují obdobných hodnot. Vyšší tuhost vzorků instalovaných v ocelových přípravcích byla očekávána, jelikož na posunu vrcholu kotevního šroubu se podílí významnou měrou pouze přetvoření vrstvy lepidla a menší měrou přetvoření ocelového šroubu. Vzorky instalované v betonovém tělese jsou ovlivněny přetvořením betonu. Největší rozdíl je ale pravděpodobně dán rozdílnou tloušťkou vrstvy lepidla. U ocelových přípravků je nejmenší vrstva 1,3 mm, a u betonových těles je průměrně 2 mm.

Pro bližší porovnání výsledků omezené zkoušky a modifikované omezené zkoušky byla pro jednotlivé vzorky určena hodnota mezního napětí $\tau_{u,adh}$ (stejným postupem jako mezní síla $N_{u,adh}$ odpovídající počátku nekontrolovaného posunu kotvy dle Obr. 4-4). Vybrané příklady stanovení této hodnoty pro sadu testů 531-AN2609-a a jeden vzorek 531-AN2609-B10 jsou uvedeny na Obr. 4-76 a Obr. 4-77. Stanovené hodnoty $\tau_{u,adh}$ pro všechny porovnávané testy jsou uvedeny v Tab. 4-22.

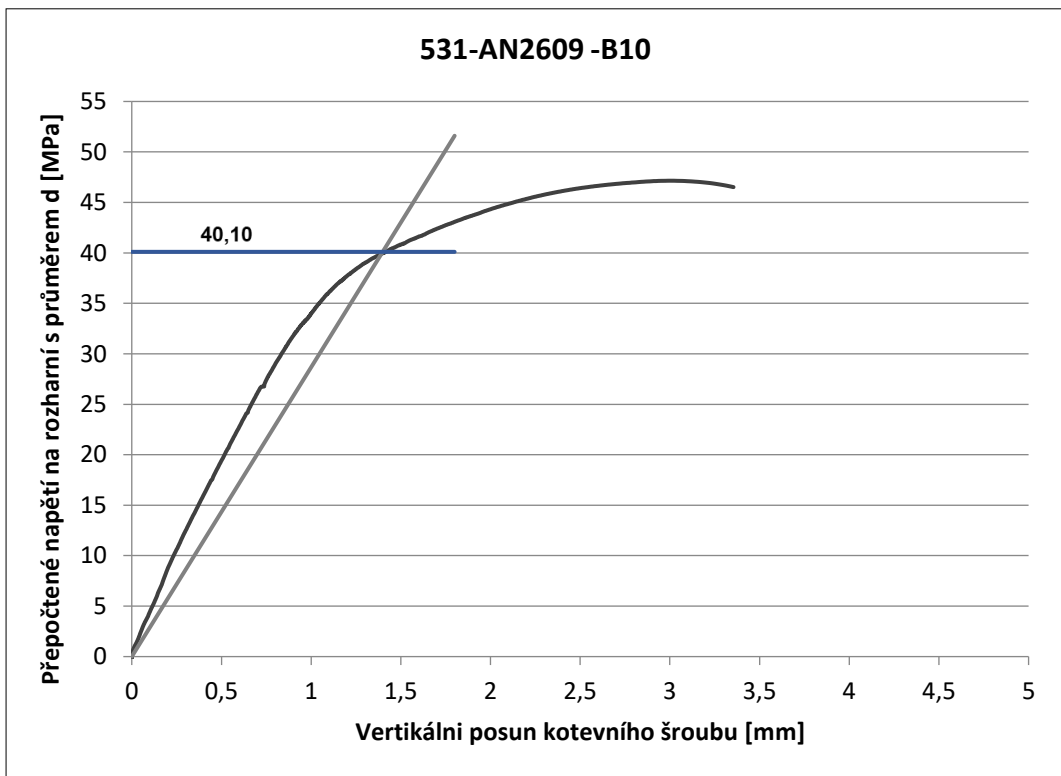
Tab. 4-22 Vyhodnocení charakteristické hodnoty mezního napětí na kontaktu, porovnání omezené zkoušky a modifikované omezené zkoušky

Sada testu	Označení tělesa	Receptura	Těleso $f_{c,150}$ [Mpa]	d [mm]	Teplota [°C]	Typ zkoušky	Délka kontakt u h _{ef} [mm]	Mezní napětí $\tau_{u,adh}$ [MPa]	Střední hodnota $\tau_{u,mean}$ [MPa]	Směrodatná odchylka s	Variační koeficient v	Koeficient rozšíření k_s	Charakteristická hodnota τ_{Rk} [MPa]
9	11	531-AN2609-a	Ocel	12,00	18	Modifikovaná	48	44,50	42,92	4,14	0,10	2,57	32,27
9	7	531-AN2609-a	Ocel	12,00	18	Modifikovaná	48	45,00					
9	12	531-AN2609-a	Ocel	12,00	18	Modifikovaná	48	46,00					
9	10	531-AN2609-a	Ocel	12,00	18	Modifikovaná	48	47,80					
9	9	531-AN2609-a	Ocel	12,00	18	Modifikovaná	48	48,50					
9	8	531-AN2609-a	Ocel	12,00	18	Modifikovaná	48	50,10					
13	6	531-AN2609-c	Ocel	12,00	21	Modifikovaná	48	41,50					
13	2	531-AN2609-c	Ocel	12,00	21	Modifikovaná	48	42,00					
13	3	531-AN2609-c	Ocel	12,00	21	Modifikovaná	48	42,00					
13	5	531-AN2609-c	Ocel	12,00	21	Modifikovaná	48	42,00					
13	1	531-AN2609-c	Ocel	12,00	21	Modifikovaná	48	45,50					
13	4	531-AN2609-c	Ocel	12,00	21	Modifikovaná	48	46,50					
14	1	531-AN2609-b	Ocel	12,00	23	Modifikovaná	48	36,90					
14	2	531-AN2609-b	Ocel	12,00	23	Modifikovaná	48	35,80					
14	3	531-AN2609-b	Ocel	12,00	23	Modifikovaná	48	37,30					
14	4	531-AN2609-b	Ocel	12,00	23	Modifikovaná	48	39,60					
14	5	531-AN2609-b	Ocel	12,00	23	Modifikovaná	48	39,00					
14	6	531-AN2609-b	Ocel	12,00	23	Modifikovaná	48	42,50					
14	b5	531-AN2609-B	80,77	12,00	23	Omezená	40	46,00	40,03	2,78	0,07	2,57	32,88
14	b3	531-AN2609-B	80,77	12,00	23	Omezená	52	41,50					
15	b10	531-AN2609-B	80,77	12,00	23	Omezená	58	40,10					
14	b4	531-AN2609-B	80,77	12,00	23	Omezená	58	40,80					
14	b8	531-AN2609-B	80,77	12,00	23	Omezená	60	41,20					
14	b6	531-AN2609-B	80,77	12,00	23	Omezená	61	38,60					
14	b1	531-AN2609-B	80,77	12,00	23	Omezená	61	39,60					
14	b9	531-AN2609-B	80,77	12,00	23	Omezená	60	35,50					
14	b7	531-AN2609-B	80,77	12,00	23	Omezená	64	37,40					
14	b2	531-AN2609-B	80,77	12,00	23	Omezená	63	39,60					

Pro souhrnné výsledky zkoušek v ocelových přípravcích a betonových tělesech byla stanovena pomocí vztahů (4.3), (4.4) a (4.5) charakteristická hodnota mezního rovnoměrného napětí na sledovaném rozhraní mezi lepidlem a kotevním šroubem τ_{Rk} . Pro oba typy zkoušek vychází tato hodnota téměř totožná. Výsledky tedy potvrzují použitelnost modifikované omezené zkoušky. Navíc dosažené hodnoty vyhovují požadavkům na hledané lepidlo vyjádřených v predikci dle Obr. 4-27 Predikce mezního tahového zatížení kotvy v závislosti na vstupních parametrech dle vztahu (2.23) a vztahu (2.24) Obr. 4-27.



Obr. 4-76 Vybrané vyhodnocení mezní hodnoty napětí na sledovaném rozhraní, odpovídající tahové síle počátku nekontrolovaného posunu $N_{u,adh}$ - sada 531-AN2609-a



Obr. 4-77 Vybrané vyhodnocení mezní hodnoty napětí na sledovaném rozhraní, odpovídající tahové síle počátku nekontrolovaného posunu $N_{u,adh}$ - test 531-AN2609-B10

4.3.5 Test vybrané receptury při dlouhodobém zatížení

Tato kapitola ukazuje výsledky testů ověřujících odolnost vzorků vyrobených z receptury 531-AN2609, která se ukázala jako nevhodnější z testovaných, schopna dosáhnout spojení vysoké pevnosti a zároveň jako použitelná pro aplikační teploty blízké 0 °C, vůči dlouhodobému zatížení.

Pro ověření této schopnosti byl použit postup udávaný směrnici ETAG [2]. Testované vzorky mají být zatíženy silou N_{sust} dle vztahu (4.7).

$$N_{sust} = \frac{1,1 \cdot N_{Rk,p}}{\gamma_{Mc}} \cdot \frac{1}{\alpha_2} \cdot \frac{1}{\alpha_3} \cdot \frac{1}{\alpha_4} \quad (4.7)$$

Za předpokladu rovnoměrného rozložení napětí na rozhraních lze vztah (4.7) transformovat na vztah (4.8) a vyjádřit tak hladinu napětí na sledovaném rozhraní, která má být při dlouhodobé zkoušce udržována.

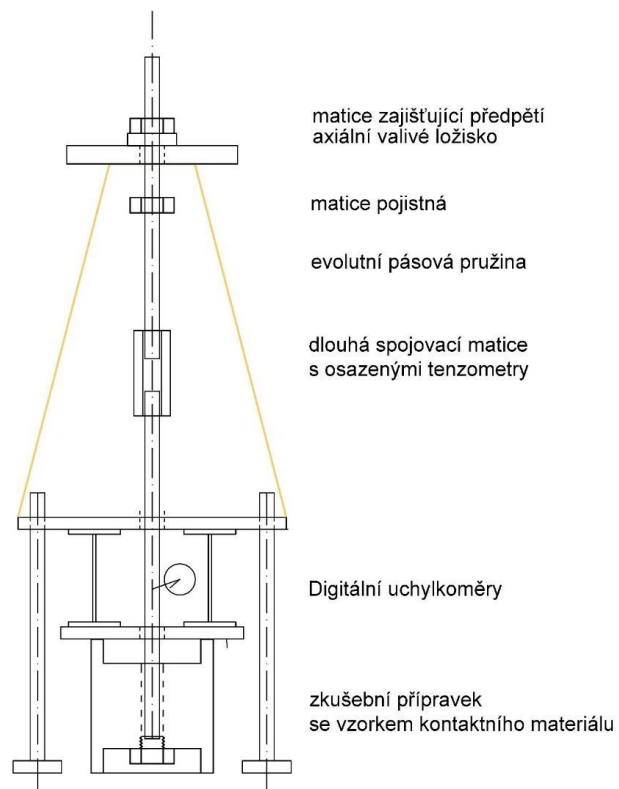
$$\tau_{sust} = \frac{1,1 \cdot \tau_{Rk}}{\gamma_{Mc}} \cdot \frac{1}{\alpha_2} \cdot \frac{1}{\alpha_3} \cdot \frac{1}{\alpha_4} \quad (4.8)$$

Součinitele $\alpha_2; \alpha_3; \alpha_4$ byly pro tyto provedené testy všechny uvažovány hodnotou 1,0. Jelikož nebyly provedeny zkoušky při krátkodobé nejvyšší teplotě, dlouhodobé nejvyšší teplotě a zkoušky trvanlivosti tmelu. Výsledná úroveň zatížení pro dlouhodobou zkoušku dle vztahu (4.8), hodnoty τ_{Rk} z Tab. 4-22 a předpokladu dílčího stupně spolehlivosti γ_{Mc} pro kotevní systém s normální instalační bezpečností (2.33) byla nastavena na $N_{sust} = 19,72 \text{ kN}$.

Dle [2] se nastavená hodnota zatížení po dobu měření nemá odchýlit více jak o 5 %, přičemž toto zatížení má působit alespoň 6 měsíců, pokud nedojde k ustálení měřeného posunu kotevního šroubu dříve. Nejméně však musí zatížení působit 3 měsíce.

Pro realizaci těchto testů byla opět využita modifikovaná omezená zkouška (Obr. 4-6), s tím rozdílem, že pro trvalé vyvození tahového zatížení byl hydraulický válec nahrazen evolutní pásovou pružinou s odporem až 200 kN. Schéma této úpravy je vyobrazeno na Obr. 4-78. Síla byla do kotevního šroubu vnesena stlačováním evolutní pásové pružiny. Stlačování pružiny bylo docíleno postupným utahováním matice umístěné na kotevním šroubu, podložené axiálním valivým ložiskem (Obr. 4-79 a Obr. 4-80).

Nevýhodou tohoto způsobu dlouhodobého zatěžování je to, že při posunu kotevního šroubu, dochází souběžně ke zpětné relaxaci pásové pružiny. Předpětí vnesené pružinou bylo nutné v průběhu experimentu korigovat tak, aby zatížení nekolísalo více jak o 5 %. K této korekci došlo v průběhu měření 2krát, a to u vzorků 1,2 a 3. Celková délka měření byla 112 dní. V tento okamžik byly zkoušky ukončeny z důvodu ustálení deformací. Celkem bylo takto zkoušeno 6 vzorků lepidel receptury 531-AN2609. Záznamy těchto měření jsou uvedeny na Obr. 4-81 až Obr. 4-86.



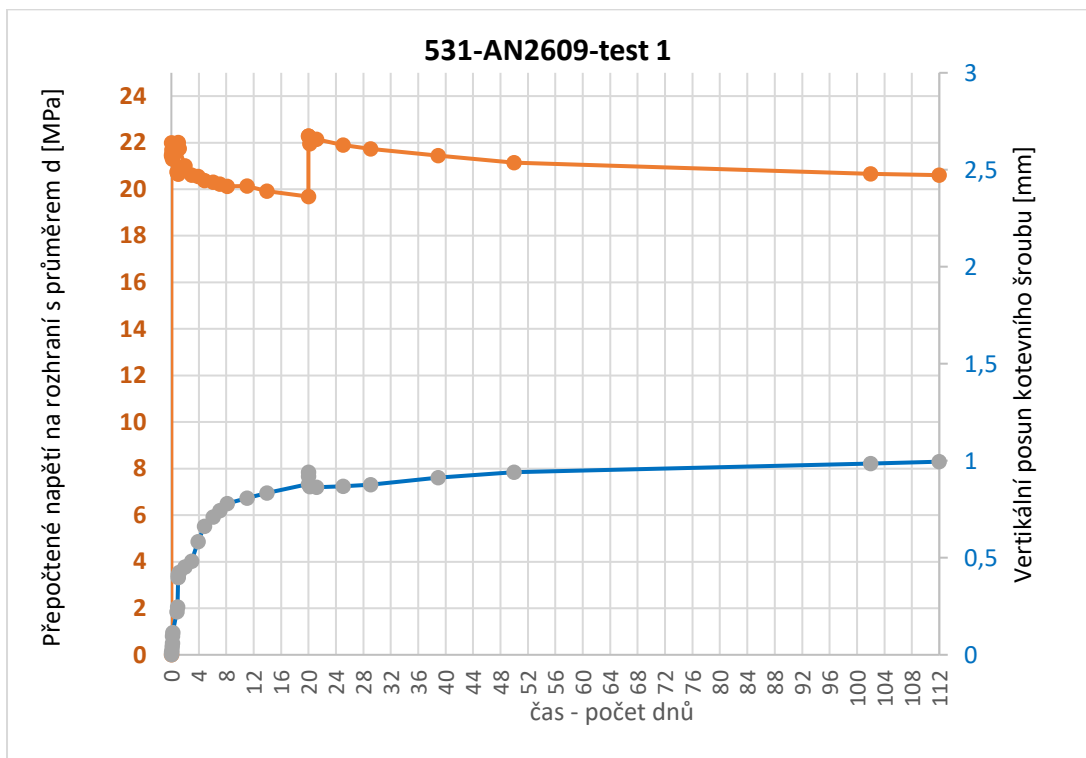
Obr. 4-78 Schéma upravené zkušební sestavy pro modifikovanou omezenou zkoušku pro vyvození dlouhodobě působící síly



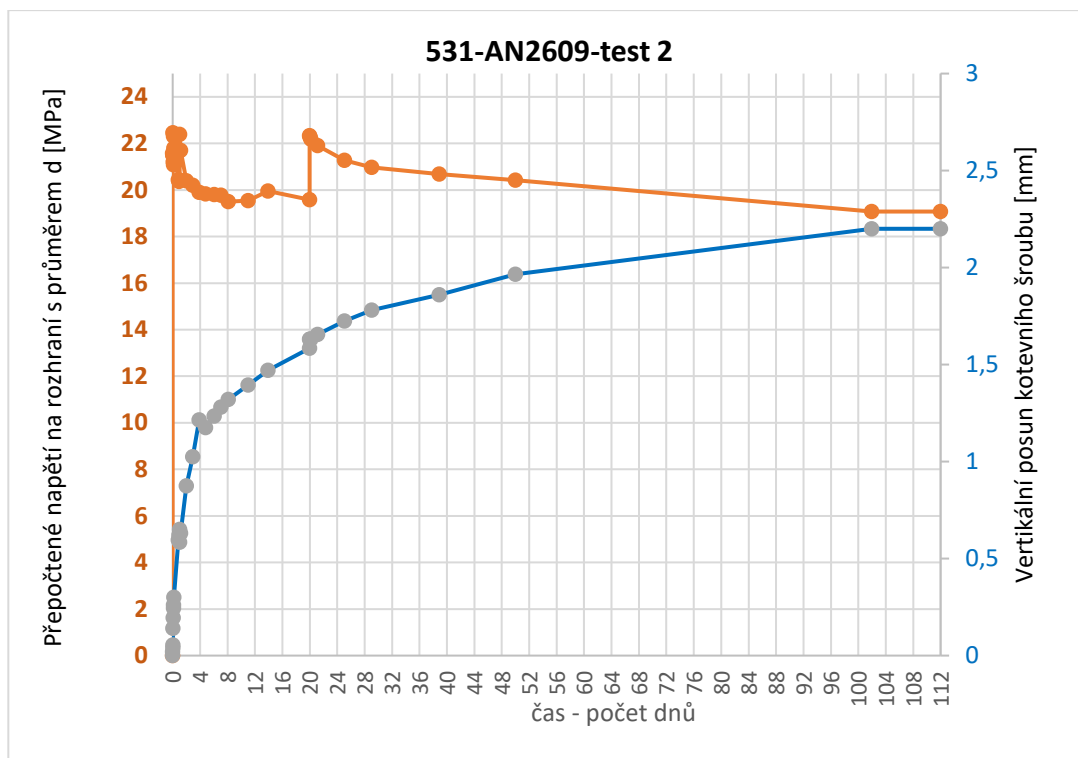
Obr. 4-79 Vnášení dlouhodobého zatížení do vzorku za pomoci evolutní pásové pružiny



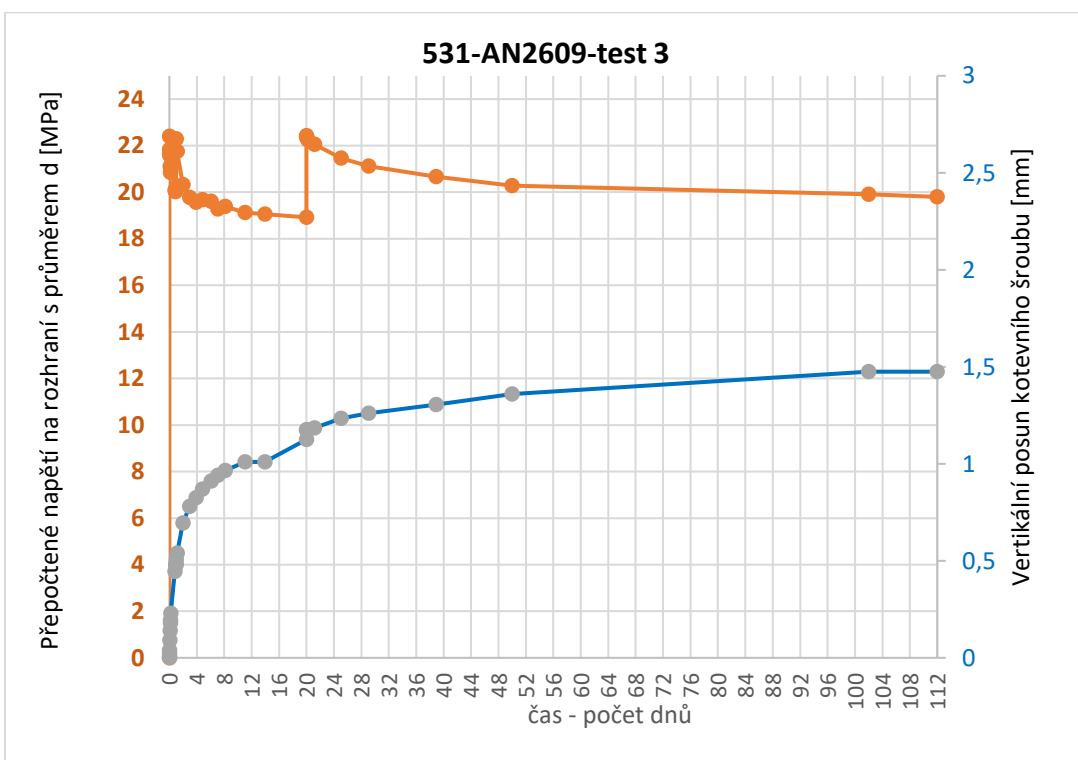
Obr. 4-80 Realizace zkoušky s dlouhodobým zatížením



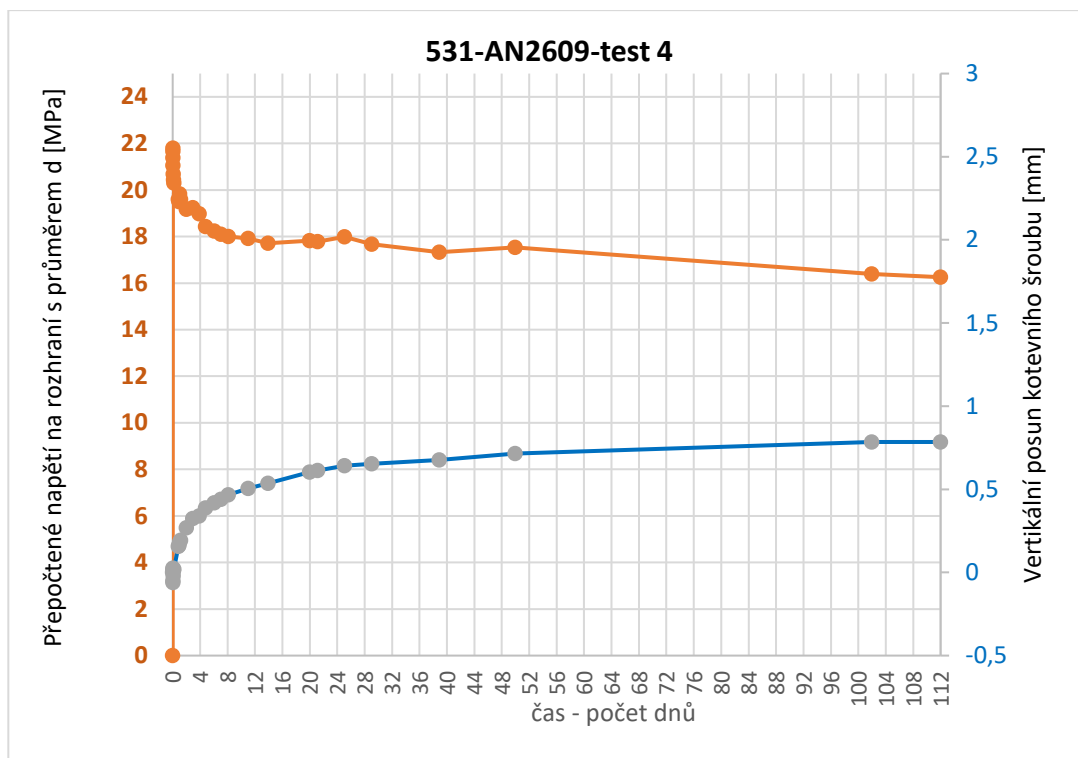
Obr. 4-81 Dlouhodobá zkouška 531-AN2609-Test 1



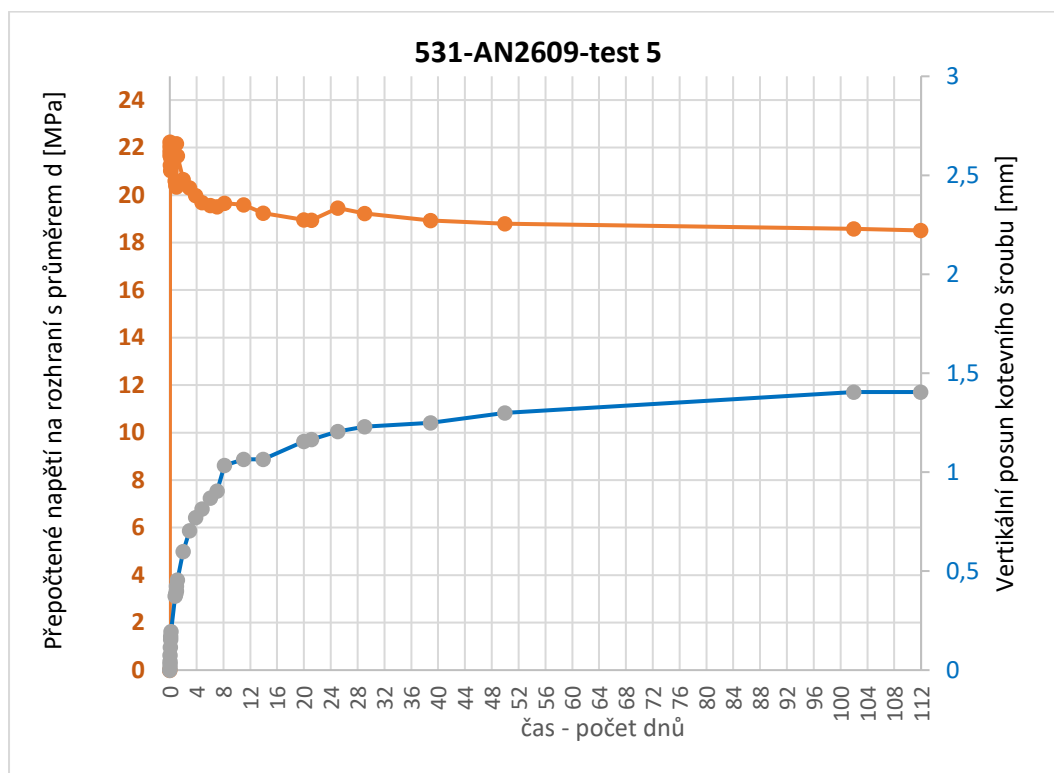
Obr. 4-82 Dlouhodobá zkouška 531-AN2609-Test 2



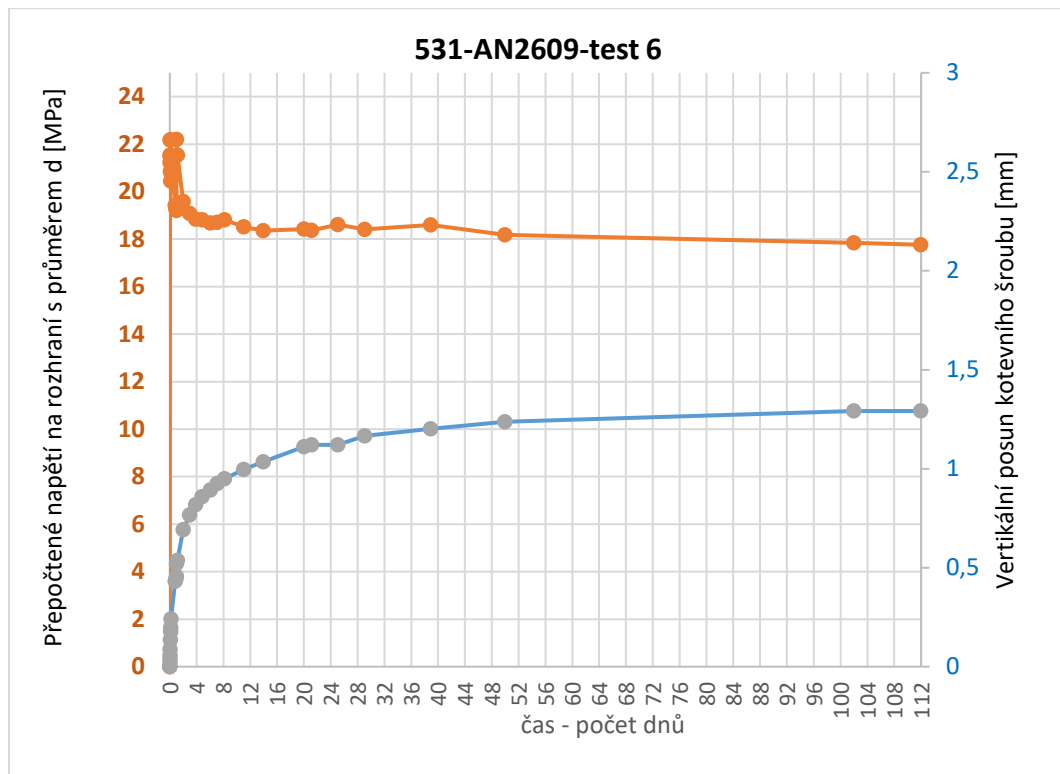
Obr. 4-83 Dlouhodobá zkouška 531-AN2609-Test 3



Obr. 4-84 Dlouhodobá zkouška 531-AN2609-Test 4



Obr. 4-85 Dlouhodobá zkouška 531-AN2609-Test 5



Obr. 4-86 Dlouhodobá zkouška 531-AN2609-Test 6

Z výsledků je zřejmé, že bez dotažení předpětí v pružině nebylo možné dodržet pokles síly v rozmezí 5 %. Markantní je to u testu č. 4, kde došlo k poklesu zatížení vůči hledané hodnotě o 15 %. Naopak na začátku testu musela být hladina zatížení nastavena až na úroveň napětí 22 MPa což odpovídá nárůstu o 12 %. S postupným dotahováním lze požadovanou hladinu zatížení udržet. Dále je z výsledků patrný poměrně velký rozdíl v naměřeném konečném posunu kotevního šroubu. V okamžiku aplikace počátečního zatížení došlo u všech vzorků k poměrně rychlému nárůstu posunu kotevního šroubu o cca 0,5 mm. Tento posun se během prvních 100 hodin zatížení zdvojnásobil. Během dalších cca 200 hodin se ale nárůst deformace razantně zpomalil. S výjimkou testu č. 2 bylo dosaženo 90% hodnoty konečného posunu během prvních 30 dní.

Tyto dlouhodobé zkoušky prokázaly stabilní chování kotevního systému s použitím lepidel dle receptury 531-AN2609 při zvolené úrovni zatížení, která odpovídá 61 % charakteristické hodnoty zatížení pro poruchu selhání kontaktu. Lze konstatovat, že pro navržený kotevní systém lze použít normou doporučenou hodnotu součinitele $\psi_{sus}^0 = 0,6$ ve vztahu (2.35).

5 Kalibrace modelů predikujících mezní tahové zatížení s pomocí experimentálně získaných dat

Cílem studie popsané v této kapitole je srovnání výsledků existujících modelů predikce tahové síly pro typickou chemickou kotvu s rozsáhlejší databází výsledků experimentů, u kterých je známo dostatečné množství vstupních parametrů tak, aby bylo možné postihnout vliv parametrů, které se v modelech predikce vyskytují. Zejména se jedná o výsledky testů, pro které jsou známy nejen geometrické a materiálové parametry zkoušených kotev, ale také lze dohledat mezní tahovou sílu při omezené i neomezené zkoušce. Je tedy známa hodnota soudržnosti tzn. mezního smykového napětí na jednom ze sledovaných rozhraní.

Pro hodnocení modelů predikce byla sestavena databáze výsledků experimentů (Tab. 8-3) obsahující vlastní experimenty autora popsané v kapitole 4.2, detailně publikované v [22] a dále výsledky publikované v odborné literatuře. Souhrn referencí výsledků uvedených v Tab. 8-3 je uveden v Tab. 8-2. Databáze obsahuje celkem 1722 výsledků zkoušek. Z tohoto počtu je 1252 výsledků neomezené zkoušky a 470 výsledků omezených zkoušek na kotvách stejných parametrů jako u zkoušek neomezených. Ve všech případech se jedná o zkoušky provedené v laboratorních podmínkách na tělesech z betonu bez trhlin. Vstupní geometrické a vstupní parametry zkoušených kotev leží v následujících intervalech.

• Průměr kotevního šroubu	d :	8–24	mm
• Efektivní kotevní délka	h_{ef} :	32–480	mm
• Válcová pevnost betonu v tlaku	f_c :	5–106	MPa
• Mezní napětí na rozhraní lepidlo-kotevní šroub	τ_u :	2–32	MPa

Výsledky získané z referencí uvedených v Tab. 8-2 byly v některých případech normalizovány na výše uvedené parametry. V případě, že byly vyhodnoceny pro jiné vstupní parametry (krychelná pevnost betonu namísto válcové pevnosti betonu či mezní napětí definované na rozhraní mezi lepidlem a betonem). Pro tuto úpravu dat byly použity vztahy (2.47), (2.48) a (5.1) dle [2].

$$f_c = \frac{f_{c,150}}{1,25} \quad (5.1)$$

Rozptyl vstupních parametrů je poměrně vysoký a tomu odpovídá i variabilita jednotlivých výsledků. Pro hodnocení jednotlivých modelů predikce mezní tahové síly uvedených v kapitole 2.3 byly zvoleny jednoduché postupy regresní analýzy, např. koeficient determinace, normovaná chyba výsledků, MAPE apod.

Dílním cílem této kapitoly je ukázat možnosti kalibrace publikovaných modelů pro dosažení lepší shody s experimentálními daty.

5.1 Metriky použité pro hodnocení modelů predikce mezního tahového zatížení

Jednotlivé hodnoty experimentálních výsledků pro dané vstupní parametry kotev y_i je možné srovnat s výsledky modelů predikce mezního tahového zatížení \hat{y}_i . V následující studii je použito $N=1252$ dvojic $[\hat{y}_i, y_i]$, které lze v kartézské soustavě znázornit pomocí bodového grafu. V ideálním případě, kdy funkce modelu predikce popisující mezní tahovou únosnost je přesná a úplná, potom všechny body $[\hat{y}_i, y_i]$ leží na přímce. Z důvodu rozptylů hodnot jednotlivých vstupních veličin

a přítomnosti náhodných chyb při jejich měření jsou tyto body rozptýleny kolem přímky, která je definována úhlem $\theta = \frac{\pi}{4}$.

Pro hodnocení přiléhavosti funkcí modelů predikce mezní tahové síly je možné použít více různých kritérií vycházejících z principů regresní a korelační analýzy. V popisované analýze dat byl jako první kritérium zvolen koeficient determinace r^2 (5.2). Koeficient determinace může nabývat hodnoty maximálně $r^2 = 1$ (v procentech 100 %), která vyjadřuje dokonalou predikci hledané veličiny popsané zvolenou funkcí. Ke stanovení koeficientu determinace se využije součet čtverců jednotlivých reziduí (5.3) a celkový součet čtverců odchylek dat od střední hodnoty (5.4). Jako dobré kritérium pro přijetí funkce zvoleného modelu se často uvádí hodnota $r^2 > 0,95$ [54].

$$r^2 = 1 - \frac{S_{resid}}{S_T} \quad (5.2)$$

$$S_{resid} = \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (5.3)$$

$$S_T = \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2 \quad (5.4)$$

Ve funkcích modelů predikce se v případě dodatečně osazovaných chemických kotev vyskytuje řada nezávisle proměnných vstupních veličin. Jejich počet je pro potřeby následujícího hodnocení omezen na $p = 4$ (průměr kotevního šroubu, kotevní délka, pevnost betonu a mezní napětí na rozhraní materiálů). Známou charakteristikou koeficientu determinace je, že rostoucímu počtu nezávislých proměnných ve funkci predikce výsledku (závislé proměnné) má tento koeficient tendenci růst, aniž by vyšší počet nezávislých proměnných ve funkci přinášel nové informace o nezávislé proměnné [54]. Pro redukcí takto uměle zvýšené hodnoty r^2 lze použít jednu z forem adjustovaného koeficientu determinace r^2_{adj} dle (5.5).

$$r^2_{adj} = 1 - (1 - r^2) \frac{N - 1}{N - p - 1} \quad (5.5)$$

Koeficient determinace a adjustovaný koeficient determinace jsou primárně nástroje regresní analýzy popisující přiléhavost zvolené regresní funkce nezávislých veličin a hledané závislé veličiny. V případě posouzení zvoleného nelineárního modelu na základě párových dvojic může být orientačním ukazatelem vhodnosti modelu, nicméně pro určité situace není vhodný, např. je velmi citlivý na velikost reziduí. Pro vysoké hodnoty reziduí může vycházet záporný.

Dalším zvoleným kritériem pro hodnocení přiléhavosti funkcí modelů predikce jsou normované chyby dle vztahů (5.6), (5.7) a (5.8). Tato kritéria jsou označena jako e_1 , e_2 a e_3 podle toho, v jaké mocnině se ve vztazích sčítají rezidua jednotlivých výsledků. Suma reziduí je pak normována součtem výsledků experimentů v příslušné mocnině. S klesající sumou reziduí mezi predikovaným výsledkem

a výsledkem experimentu se všechna tato kritéria blíží k nule. Nižší hodnota kritérií e_1 , e_2 a e_3 ukazuje na lepší shodu výsledků predikovaných modelem s experimentálními výsledky.

$$e_1 = \frac{\sum(|y_i - \hat{y}_i|)}{\sum y_i} \quad (5.6)$$

$$e_2 = \sqrt{\frac{\sum(y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum y_i^2}} \quad (5.7)$$

$$e_3 = \sqrt[3]{\frac{\sum(|y_i - \hat{y}_i|)^3}{\sum y_i^3}} \quad (5.8)$$

Vlastností těchto zvolených kritérií je nesymetrické hodnocení. V případě, že jsou hodnoty modelu vyšší než hodnoty výsledků experimentů, nabývají tato kritéria vyšších hodnot než v případě opačném. Např. pokud by hypoteticky všechny výsledky predikované modelem byly dvojnásobkem hodnot experimentálních výsledků, potom by platilo: $e_1 = e_2 = e_3 = 1$. V opačném případě, pokud by výsledky všech experimentů byly právě dvojnásobkem hodnot predikovaných modelem, potom by platilo: $e_1 = e_2 = e_3 = 0,5$. Kritérium e_1 vycházející z normovaného součtu reziduí je relativně málo citlivé na jednotlivé odlehle výsledky a je nejméně vypovídajícím kritériem o vhodnosti modelu. Kritérium e_2 je nejběžnějším kritériem, které vychází z metody nejmenších čtverců, tedy minima reziduí dle (5.3). Kritérium e_3 je více citlivé právě na odlehle výsledky modelu predikce.

Dalším populárním kritériem hodnocení kvality odhadu je průměrná absolutní procentní chyba (MAPE – Mean absolute percentage error) (5.9). Podobně jako kritéria e_1 , e_2 a e_3 je i hodnocení pomocí MAPE asymetrické a také stejným způsobem zvýhodňuje modely, které predikují nižší hodnoty než hodnoty výsledků experimentů. Další nevýhodou MAPE je vysoká citlivost na výsledky blízké nule. Výhodou je snadno pochopitelná interpretace kritéria [55].

Alternativou k MAPE je méně asymetrické kritérium SMAPE (Symmetric mean absolute percentage error) (5.10), nebo (5.11). Tato kritéria neeliminují asymetrii zcela, ale výrazně ji redukuje. Stejně jako kritérium MAPE i zde zůstává velká citlivost na hodnoty výsledků blízké nule. Interpretace kritérií SMAPE je méně intuitivní, jelikož u kritéria dle (5.10) je rozsah hodnocení od 0 do 2 (0-200 %), navíc v případě výše uvedeného hypotetického příkladu, kdy každá hodnota predikce je dvojnásobkem očekávané hodnoty (nebo obráceně) je kritérium $SMAPE_{200} = 0,66$ a kritérium $SMAPE = 0,33$.

$$MAPE = \frac{1}{N} \cdot \sum \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right| \quad (5.9)$$

$$SMAPE_{200} = \frac{1}{N} \cdot \sum \frac{|y_i - \hat{y}_i|}{2 \cdot (|y_i| + |\hat{y}_i|)} \quad (5.10)$$

$$SMAPE = \frac{1}{N} \cdot \sum \frac{|y_i - \hat{y}_i|}{|y_i| + |\hat{y}_i|} \quad (5.11)$$

V hodnocení modelů predikce mezní tahové síly byla použita všechna zmíněná kritéria. Pro optimalizaci modelů bylo jako výchozí kritérium zvoleno kritérium normované chyby e_2 dle (5.7).

5.2 Kalibrace parametrů vybraných modelů predikce mezní tahové síly

5.2.1 Primární modely a směr kalibrace

Pro optimalizaci byly jako primární modely zvoleny dva modely predikce mezní tahové síly na kotvě popsané v kapitole 2.3. Tyto modely popisují mezní zatížení jedné kotvy pro typy poruchy dle Obr. 2-2, s výjimkou poruchy přetržením kotevního šroubu. První model (v dalším značení také Model 1) dle vztahu (5.13) vychází z metody CCD [15] popisující poruchu betonu, který je kombinovaný s modelem rovnoměrného rozložení napětí na kontaktech (5.12). Výsledná hodnota mezního zatížení je pak dána minimem z predikcí těchto dvou modelů. Tento přístup je základem normativních vztahů v rozšířených standardech pro navrhování [1-3]. Druhý model (v dalším značení také Model 2) vychází z modelu (2.23) popsaném v [22], který nahrazuje funkce (5.12), (5.13) jednou exponenciální funkcí (5.14).

Funkce těchto modelů jsou zobrazeny v závislosti na pevnosti betonu Obr. 2-6. Primární modely tedy nebyly v této optimalizaci určeny regresní analýzou experimentálních dat použitých pro jejich optimalizaci.

Základními vstupními veličinami zvolených optimalizovaných modelů jsou:

- průměr kotevního šroubu d
- kotevní délka h_{ef}
- válcová pevnost betonu f_c
- mezní napětí na rozhraní s průměrem d tzn. mezi kotevním šroubem a lepidlem τ_u

Model 1:

$$N_u = \pi \cdot d \cdot h_{ef} \cdot \tau_u \quad (5.12)$$

$$N_u = k \cdot h_{ef}^j \cdot f_c^l \quad (5.13)$$

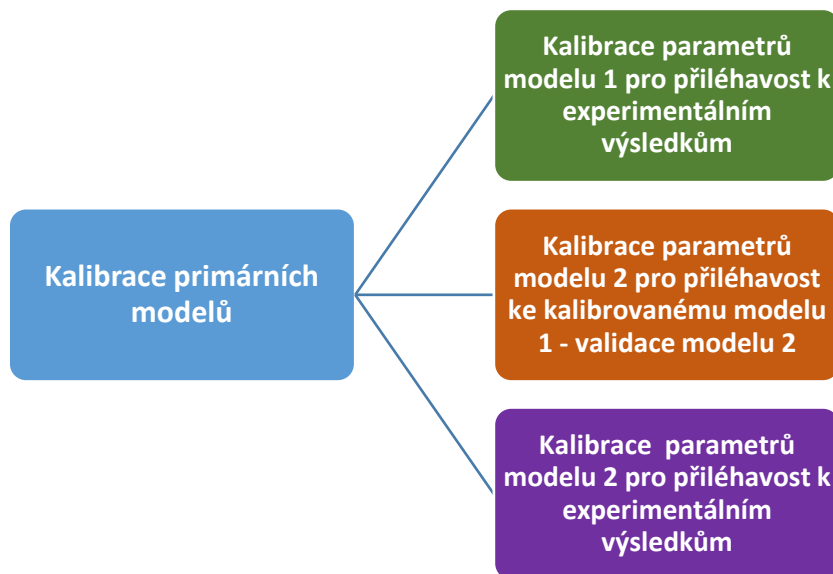
Model 2:

$$N_u = a \cdot \pi \cdot \tau_u \cdot \left(1 - e^{-b \cdot \frac{f_c}{\tau_u}} \right) \cdot d \cdot (h_{ef} - c \cdot d) \quad (5.14)$$

Optimalizovanými parametry funkcí uvedených modelů predikce mezního tahového zatížení byly: koeficienty k a mocninné parametry j a l u modelu (5.13) a koeficienty a , b a c u modelu 2 (5.14).

Provedená kalibrace byla zaměřena na tři základní směry dle Obr. 5-1.

- Prvním směrem je kalibrace parametrů modelu 1 (parametrů k , j a l) s využitím výše popsané databáze výsledků experimentů, vedoucí k minimalizaci zvolené metriky – kritéria e_2 dle (5.7).
- Druhý směr kalibrace je zaměřen na nalezení takových parametrů a , b , c modelu 2, aby byl co nejvíce přiléhavý k optimalizovanému modelu 1. Cílem tohoto směru je validace modelu 2 modelem 1.
- Třetím směrem je kalibrace parametrů a , b , c modelu 2 s využitím výše popsané databáze výsledků experimentů, vedoucí k minimalizaci zvolené metriky – kritéria e_2 dle (5.7).



Obr. 5-1 Provedené kalibrace vybraných modelů predikce mezní tahové síly

5.2.2 Nástroje kalibrace

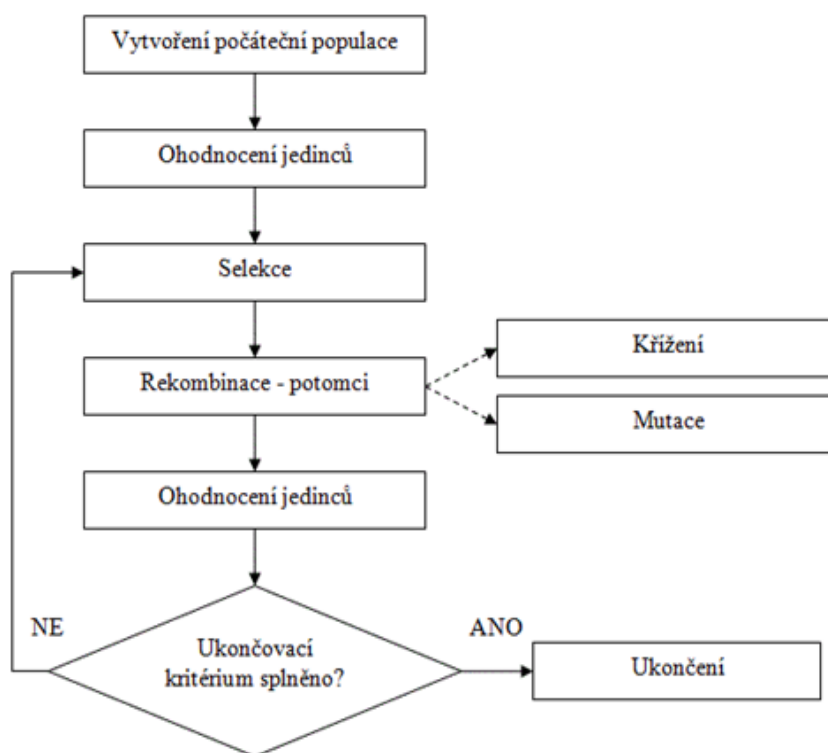
Pokroky v rozvoji informačních technologií a moderních matematických metod umožňují v lepší míře, než to bylo běžné v minulosti, provádět kalibrační a verifikační výpočty modelů inženýrské praxe. Při kalibraci modelu se snažíme úpravou volitelných parametrů přiblížit se naměřeným hodnotám.

V jednoduchých úlohách tvorby modelu, jeho kalibraci a verifikaci i při řešení inverzní úlohy lze často postupovat intuitivně metodou „pokus-omyl“. Při těchto postupech jde o snahu odhadnout a opakovaně vylepšit vstupní parametry modelu na základě předchozích výpočtů tak, aby došlo k co nejlepší shodě modelu s reálnými daty. Při intuitivním postupu zásadně záleží na zkušenostech a znalostech inženýra. Velkou nevýhodou podobného postupu je nutnost aktivního vstupu uživatele-experta upravujícího stávající model. Navíc není vždy zaručeno (nejde to exaktně ověřit), že bylo dosaženo nejlepší shody mezi matematickým modelem a reálným systémem.

Vzhledem k vyššímu počtu proměnných parametrů kalibrovaných modelů predikce mezní tahové síly byl jako jeden z vhodných nástrojů pro jejich efektivní určení zvolen algoritmus genetické optimalizace.

Genetické algoritmy, patřící do třídy tzv. evolučních algoritmů, jsou vyhledávací algoritmy založené na mechanismu přirozeného výběru a principech genetiky. Jejich velkou výhodou je poměrná jednoduchost programátorské implementace.

Evoluční algoritmy jsou netradiční výpočetní postupy, které byly inspirovány vývojovými procesy v přírodě. Používají se k řešení mnoha různých problémů inženýrské praxe, které je možné formulovat jako optimalizační úlohy. Evoluční algoritmy představují analogii k procesům, které se odehrávají v přírodě, a napodobují evoluci v živé přírodě. To je proces, při kterém se jednotlivé organismy přizpůsobují měnícímu se prostředí s cílem přežít. Jak již naznačil Darwin ve své teorii, jedinci mezi sebou soupeří o přežití v prostředí, které umožňuje přežít jen omezenému množství jedinců. Silnější z nich si snadněji vybojují právo na další život a rozmnožování, a tím snadněji předávají svou genetickou informaci svým potomkům. Přírodní jev, který zodpovídá za „přežití silnějších jedinců“, je biologií nazýván přirozený výběr. Principem evolučních algoritmů je použití procesů, napodobujících evoluční jevy známé z biologie – přirozený výběr, mutace, křížení či dědičnost [56-58]. Základní schéma evolučního algoritmu je uvedeno na Obr. 5-2.



Obr. 5-2 Schéma genetického evolučního algoritmu

Je patrné, že evoluční algoritmy pracují cyklicky, tak jako většina optimalizačních nástrojů. V každém cyklu je vytvářena nová generace jedinců, kteří jsou následně ohodnoceni. Do další generace pak přechází pouze potomci nejlépe ohodnocených jedinců. Kvalita takového algoritmu je založena na co nejlepším způsobu ohodnocení jedinců. Zároveň zásadní roli hraje správně nastavené ukončovací kritérium celého výpočtu. Ukazuje se, že zvláště v úlohách kalibrace modelů (inverzní úlohy) hraje správná volba ukončovacího kritéria zásadní roli.

Z pohledu uživatele je důležitá robustnost použití těchto metod. Při řešení optimalizačního problému totiž není nutné složité ověřování podmínek konvergence metody, jako je tomu v případě klasických optimalizačních metod.

Problematika kalibrace a validace matematických modelů inženýrských problémů spočívá v aplikaci tzv. inverzní analýzy. Obecně lze říci, že cílem takové analýzy je zpětné určení neznámých vstupů modelu (geometrické a materiálové parametry, počáteční a okrajové podmínky) na základě

předem známých (nebo očekávaných) výstupů. Řeší se tedy problém nastavení parametrů matematického modelu tak, aby teoretické řešení (až na nějakou předem danou toleranci určenou např. přesností měření dat, která do modelu vstupují) odpovídalo empirickým datům.

Inverzní analýza má dva základní přístupy: Přímý (někdy v literatuře také dopředný) a zpětný (viz např.[59]). Přímý postup (forward mode) je založen na formulaci tzv. chybové funkce. Ta se obecně definuje jako odchylka teoretických hodnot (odezva modelu) a empirických dat (výstupy z experimentu). Matematická formulace takovéto úlohy je pak určení minima takto zadané účelové funkce na předem vymezené množině možných hodnot volných parametrů modelu. Otázkou z pohledu teoretické matematiky je, jak pak měřit takovou „odchylku“, jestli nám model dává diskrétní hodnoty, nebo nějakou spojitou závislost atd. Potom pracujeme s vhodně zvolenou normou v předem daném normovaném lineárním prostoru. U přímého postupu se nejčastěji uplatňují právě evoluční algoritmy. Druhý postup, zpětný (inverse mode), předpokládá, že existuje funkční závislost mezi vstupy a výstupy, u které alespoň lokálně existuje inverzní funkce.

5.2.2.1 Přímý postup inverzní analýzy – formulace problému

Problém inverzní budeme formulovat následovně: Uvažujme experiment E , který na základě zadaných vstupních parametrů x^E vrací výstupy y^E . Formálně lze tento vztah zapsat jako funkci experimentu E (5.15):

$$y^E = E(x^E) \tag{ 5.15 }$$

V praxi je pak fyzikální experiment nahrazen matematickým modelem M (5.16), (5.17). Dopředu se předpokládá, že matematický model M popisuje reálný experiment E pouze ve zjednodušené podobě, tj. popis není dokonalý, ale pouze dostatečně přesný, např. vzhledem k přesnosti určení (často měření) vstupních nebo výstupních dat.

$$M \approx E \tag{ 5.16 }$$

$$y^M = M(x^M) \tag{ 5.17 }$$

Tato aproximace má zejména význam z hlediska ekonomického. Náklady na výpočet matematického modelu M jsou nesrovnatelně nižší vzhledem k finanční náročnosti fyzikálního experimentu E .

5.2.2.2 Účelová funkce úlohy

Účelová funkce (v tomto případě chybová) je pak definovaná předpisem (5.18):

$$F(x^M) = \|y^E - M(x^M)\|_N \tag{ 5.18 }$$

V této definici je $\| \cdot \|_N$ vhodná norma ve zvoleném normovaném lineárním prostoru. Při takto obecné formulaci problematiky není třeba dopředu předpokládat, jakého datového typu jsou vstupní a výstupní proměnné. Mohou to být aritmetické vektory (např. výstup z metody sítí), resp. spojité funkce více proměnných (splajny z metody konečných prvků) podle toho, jakou numerickou metodou je řešen uvažovaný matematický model. Např. v diskrétním případě aritmetických vektorů nemusí být použita jen např. klasická euklidovská norma. Může se pracovat např. s různými váženými normami, různým způsobem v takovéto vážené normě volit jednotlivé váhy apod., což pro optimalizace dává další stupně volnosti a umožňuje lépe postihnout jednotlivá specifika řešeného inženýrského problému.

Následně je třeba, na předem dané množině možných hodnot vstupních parametrů, hledat optimum \hat{x}^M , neboli takové nastavení modelu M , které co nejvíc vystihuje předem daná empirická data y^E (5.19).

$$\hat{x}^M = \operatorname{argmin} F(x^M) \quad (5.19)$$

Genetické algoritmy mohou být použity k řešení různých problémů, nejčastěji k odhadu průběhu složitých procesů a predikci jejich výsledků. Např. studie zabývající se odhadem ztrát v energetických systémech [60], k optimalizaci velkých systémů pro odvádění povodní [61], nebo k odhadu škod způsobených záplavami [62].

V provedené kalibraci bylo prvním krokem vhodné zvolení mezních intervalů hodnot kalibrovaných parametrů. Tyto intervaly byly voleny tak, aby v procesu jednotlivých kroků genetického algoritmu jejich optimalizace nemohlo dojít k změně tvaru funkce kalibrovaných modelů predikce mezní tahové síly. Pro vytvoření nulté generace parametrů byly intervaly nastaveny na hodnoty uvedené v Tab. 5-1.

Tab. 5-1 Mezní hodnoty pro nultou generaci kalibrovaných parametrů

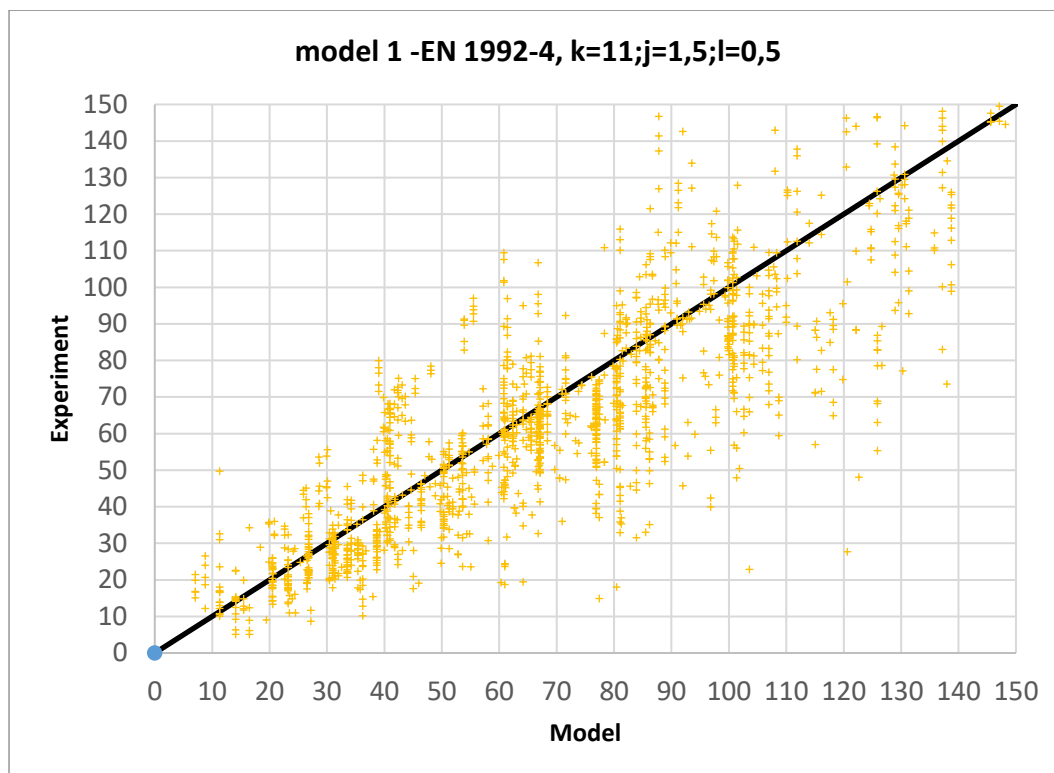
optimalizovaný parametr	<i>k</i>	<i>j</i>	<i>l</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>
<i>spodní hranice intervalu</i>	5	1	0,2	0,5	0,1	0,0
<i>horní hranice intervalu</i>	20	2	0,8	1,2	3	1

5.3 Srovnání modelů s databází experimentálních dat – provedené kalibrace

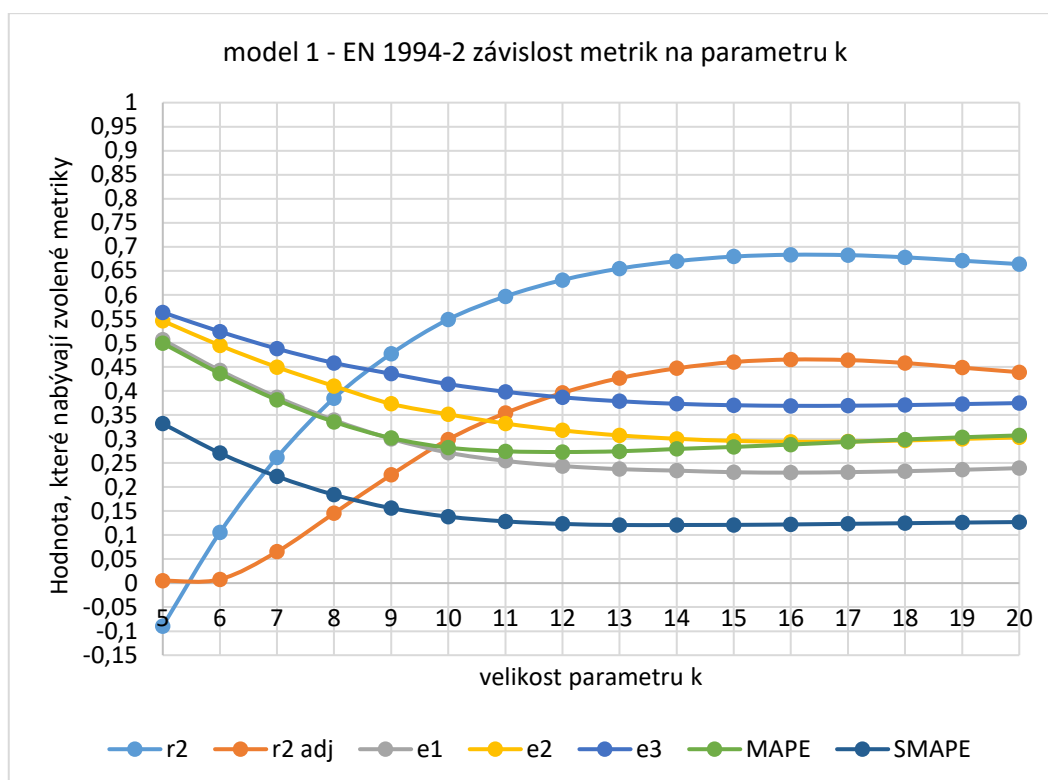
5.3.1 Kalibrace modelu 1 pro přílehavost k experimentálním výsledkům

Graf na Obr. 5-3 je grafem párových dvojic $[y_i, \hat{y}_i]$ výsledků modelu predikce pro modely (5.12) a (5.13), s parametry $k = 11; j = 1,5; l = 0,5$ dle (2.16), které jsou doporučeny normou EN 1992-4 [3].

Ve zmíněných standardech [1-3] jsou parametry $j = 1,5; l = 0,5$ funkce predikce poruchy betonu vycházející z metody CCD konstantní a pro jednotlivé typy kotev, případně typ betonu, se mění pouze parametr k , viz kapitola 2.3.6. Obr. 5-4 zobrazuje výsledky metrik (5.2), (5.4), (5.5), (5.6), (5.7), (5.8), (5.9) a (5.11), pro stejný model se změnou parametru k v intervalu $5 \leq k \leq 20$.



Obr. 5-3 Párový graf výsledků experimentů a modelu predikce dle EN 1992-4



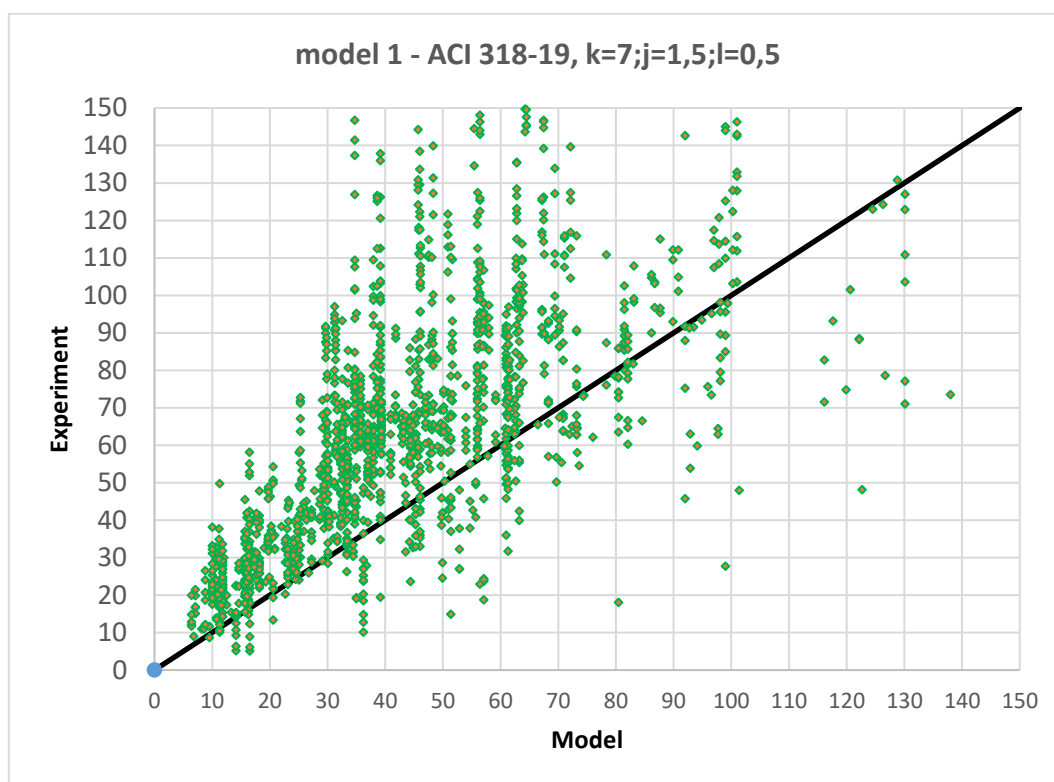
Obr. 5-4 Změna metrik pro model dle EN 1994-2 s různou hodnotou parametru k

Z Obr. 5-4 je patrné, že pro zvolený model a použitou databázi výsledků experimentů všechny použité metriky, s výjimkou MAPE, dosahují zlomových hodnot pro proměnný parametr k mezi hodnotou 16 a 17. Kritérium $e2$ dosahuje minima 0,2943 při hodnotě $k = 16,0$, kritérium MAPE dosahuje minima 0,2728 při hodnotě $k = 12,2$. Zjednodušeně lze o tomto kritériu prohlásit, že

výsledky modelu se od experimentů průměrně liší o 27,28 %. Všechny zvolené metriky s rostoucím parametrem k postupně konvergují ke stabilní hodnotě. To je způsobeno tím, že v daném modelu je mezní hodnota zatížení minimem z hodnot dle vztahů (5.12) a (5.13). Při rostoucí hodnotě parametru k se stává rozhodujícím, na něm nezávislý vztah (5.13), tzn. o mezním tahovém zatížení rozhoduje mezní napětí na kontaktech.

Z vyhodnocení vyplývá, že tento model s parametrem $k = 11$ drobně podhodnocuje výsledky oproti experimentům. Obdobně je tomu i u modelu uvedeného v evropské směrnici pro technické schválení [2], který pro kotvu bez hlavy instalovanou v netrhlinovém betonu doporučuje hodnotu parametru $k = 10,2$.

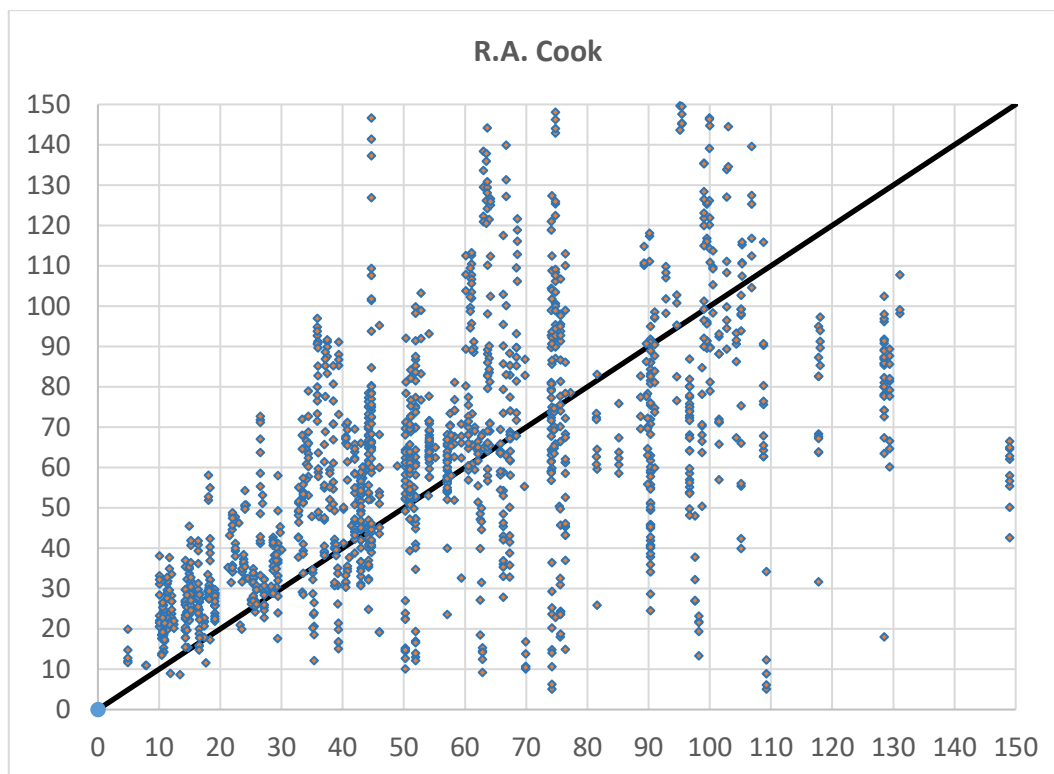
Ještě konzervativnější model je obsažen v normě ACI 318-19 [1], která doporučuje použít hodnotu parametru $k = 7$, pro trhlinový beton (Obr. 5-5). Ve všech těchto dokumentech je obsažen tento identický model lišící se pouze hodnotou parametru k . Výsledky kalibrace dle Obr. 5-4 Změna metrik pro model dle EN 1994-2 s různou hodnotou parametru k Obr. 5-4 lze vztáhnout i k tomuto modelu.



Obr. 5-5 Párový graf výsledků experimentů a modelu predikce dle ACI 318-19, pro trhlinový beton

Pomocí výše popsaných použitých genetických algoritmů byla v rámci popisované analýzy provedena kalibrace parametrů l a j modelu 1 s použitím konzervativně nastavených hranic intervalu výběru jejich nulté generace. V procesu kalibrace se ale ukázalo, že následující generace zvolených parametrů se limitně blížily zvoleným hranicím. Tento fakt obecně svědčí o nevhodném nastavení intervalů. Tento jev se ale projevoval i nadále při použití postupně stále širšího intervalu. Výsledkem řešení pak byla funkce se zcela jiným tvarem než původní funkce modelu predikce (5.13) s použitím doporučených hodnot parametrů $j = 1,5$; $l = 0,5$ dle [3]. Kalibrace modelu 1 změnou parametrů j a l se tedy ukázala jako nepříliš vhodná, jelikož se výsledná funkce vzdalovala původnímu tvaru funkce vycházejícího z experimentálního řešení.

Následujících graf na Obr. 5-6 je grafem párových dvojic $[y_i, \hat{y}_i]$ výsledků modelu predikce (2.19) publikovaným R.A Cookem v [11]. Ve srovnání s modelem 1 dle (5.12) a (5.13) (Obr. 5-3) je zřejmý značně větší rozptyl jednotlivých výsledků experimentů s predikcí. Parametry tohoto modelu nebyly kalibrovány, ale byl zahrnut do vzájemného porovnání jednotlivých modelů s experimentálními daty s použitím zvolených metrik.



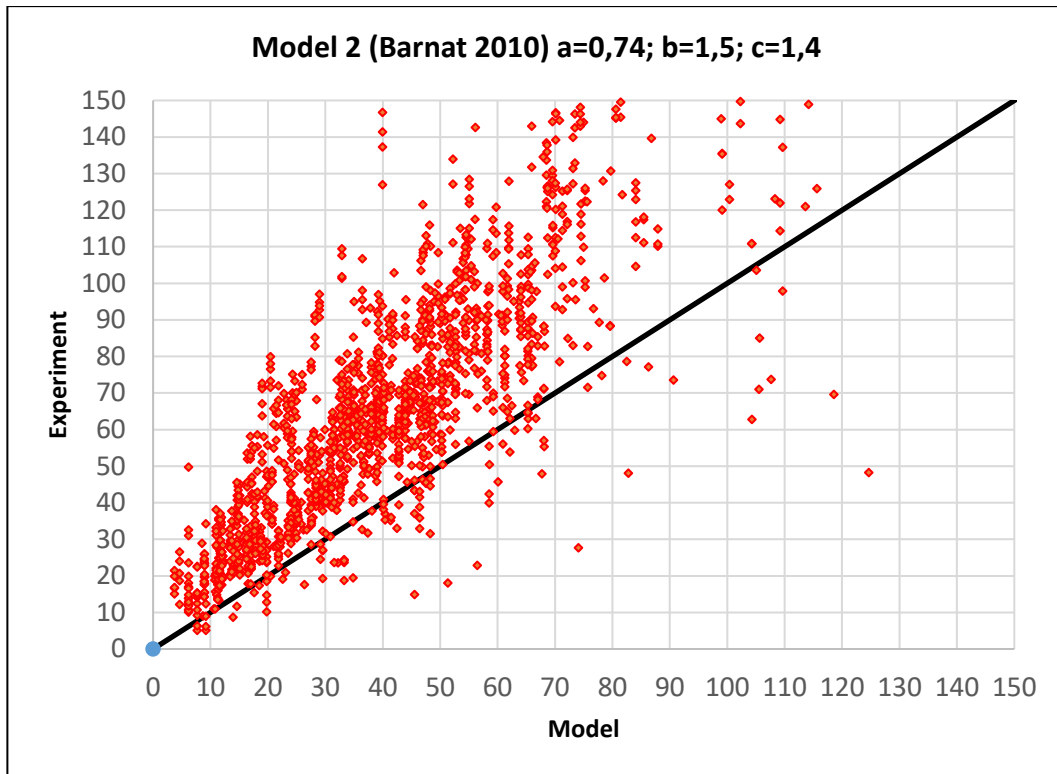
Obr. 5-6 Párový graf výsledků experimentů a modelu predikce - R. A. Cook [11]

5.3.2 Kalibrace modelu 2 pro přiléhavost ke kalibrovanému modelu 1

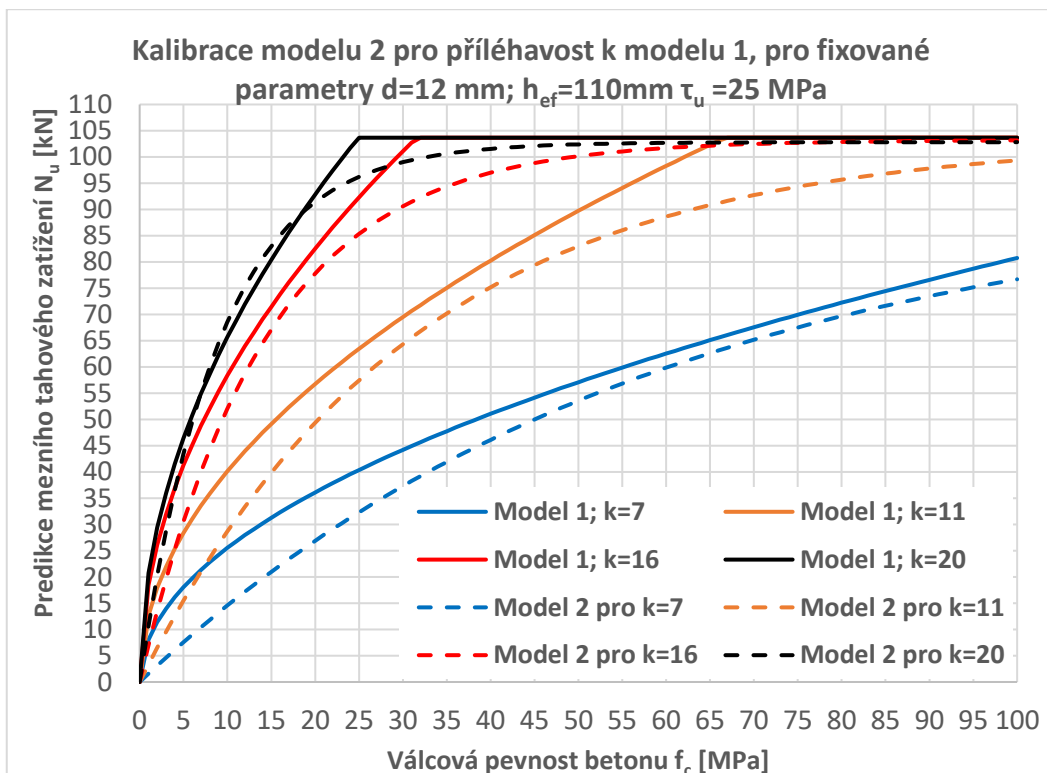
Dalším směrem této analýzy je kalibrace modelu 2 dle (5.14) a jeho koeficientů a , b , c . Tento model byl navržen autorem v disertační práci [22]. Hodnoty parametrů a , b , c byly stanoveny na základě relativně malého počtu experimentů a také na základě numerického modelu, který byl těmito experimenty validován.

Graf na Obr. 5-7 je grafem párových dvojic $[y_i, \hat{y}_i]$ výsledků modelu predikce dle (5.14) s původními parametry $a = 0,74$; $b = 1,5$; $c = 1,4$ dle [22]. Z grafu je zřejmé, že model s těmito parametry je poměrně velmi konzervativní, jelikož oproti výsledkům experimentů výrazně podhodnocuje predikovanou mezní tahovou únosnost.

Kalibrace parametrů modelu 2 pro nejlepší přiléhavost ke kalibrovanému modelu 1 byla provedena za účelem verifikace vhodně zvolené funkce predikce mezní tahové únosnosti. Tato verifikace spočívala v hledání nalezení parametrů a , b , c pro model 2 (za pomoci výše uvedeného genetického algoritmu) pro co největší přiléhavost k modelu 1 a to pro různé hodnoty jeho parametru k . Jako ověřující chybová funkce byla opět použito kritérium e_2 dle (5.7). Pro širší hodnocení přiléhavosti funkce modelu 2 k funkci modelu 1 byly následně vyčísleny všechny výše uvedené metriky pro přiléhavost takto kalibrovaných modelů k experimentálním výsledkům (Tab. 5-4). Grafické porovnání těchto modelů pro různá nastavení jsou znázorněny na Obr. 5-8.



Obr. 5-7 Párový graf výsledků experimentů a modelu predikce – model 2 (Barnat 2010)



Obr. 5-8 Grafické srovnání kalibrovaných modelů 1 a 2 pro vybrané parametry

Pro vzájemnou kalibraci modelů byly použity náhodně generované vstupní parametry modelů. Pro náhodný výběr těchto hodnot byly použity mezní intervaly uvedené v Tab. 5-2. Tyto intervaly byly zvoleny tak, aby jednotlivé generované hodnoty spadaly do oblasti běžných návrhových situací. Byl použit běžný rozsah průměru kotevního šroubu, kotevní délka v relativně úzkém intervalu odpovídajícímu předpokladu rovnoměrného rozložení napětí na kontaktech a relativně široký rozsah mezního napětí na kontaktu a pevnosti betonu v tlaku.

Tab. 5-2 Mezní hodnoty generování vstupů do modelu 1 a modelu 2

parametr	d [mm]	h_{ef} [mm]	τ_u [MPa]	f_c [MPa]
spodní hranice intervalu	8	8 d	10	5
horní hranice intervalu	36	12 d	30	100

Takto generované náhodné vstupy byly dosazeny do funkcí obou modelů (5.12), (5.13), (5.14). Následně byly pomocí genetického evolučního algoritmu hledány takové vstupní hodnoty parametrů a , b , c modelu 2 tak, aby zvolené kritérium e_2 bylo co nejnižší ve srovnání s výsledky modelu 1 pro vybrané hodnoty parametru k . Pro nalezené parametry byly oba modely dále srovnány ostatními výše popsanými kritérii (metrikami).

Tab. 5-3 Hodnocení zvolené funkce modelu 2 kalibrované pro nejvyšší přiléhavost k funkci modelu 1

Model	Hodnoty parametrů						Výsledná hodnota zvolených metrik							
	k	j	l	a	b	c	r^2	r^2_{adj}	e_1	e_2	e_3	MAPE	SMAPE	
Model 1	7	1,5	0,5				0,261	0,065	0,387	0,449	0,488	0,381	0,222	
Model 2				0,96	0,42	0,53	0,328	0,104	0,380	0,428	0,380	0,409	0,257	
Model 1	11	1,5	0,5				0,597	0,354	0,254	0,332	0,398	0,274	0,129	
Model 2				1,11	0,81	0,93	0,718	0,514	0,096	0,278	0,330	0,250	0,125	
Model 1	16	1,5	0,5				0,683	0,465	0,230	0,294	0,369	0,288	0,122	
Model 2				1,07	1,75	0,62	0,690	0,475	0,066	0,291	0,376	0,264	0,114	
Model 1	20	1,5	0,5				0,664	0,439	0,239	0,303	0,375	0,308	0,127	
Model 2				1,06	2,75	0,56	0,660	0,433	0,096	0,305	0,386	0,291	0,123	

Jednotlivé dosažené hodnoty zvolených metrik (kritérii), po vzájemné kalibraci modelů uvedené v Tab. 5-3 jsou pro oba modely relativně srovnatelné. Trend vývoje těchto metrik je pro oba modely obdobný jako trend metrik při kalibraci modelu 1 pro největší přiléhavost k výsledkům experimentů (Obr. 5-4). Rozdíl v hodnotách metrik je menší v oblasti hodnot parametru k doporučeném normativními dokumenty [1] [2] [3] pro kotvy v netrhlinovém betonu a dále je ještě nižší pro hodnotu $k = 16$. Pro tuto hodnotu dosahují kritéria nejlepší hodnoty i pro přímou kalibraci modelu 1 experimentálními výsledky.

Grafy predikce modelů jsou v Obr. 5-8 znázorněny v závislosti na pevnosti betonu s tím, že ostatní vstupní parametry jsou fixovány na zvolených hodnotách. Z tohoto grafického vyjádření kalibrovaných modelů je zřejmé, že model 2 kalibrovaný na základě náhodně generovaných hodnot v rámci intervalů dle (Tab. 5-2) je z hlediska predikované mezní hodnoty tahového zatížení mírně konzervativní pro většinu hodnot, zejména při kalibraci na model 1 s nižší hodnotou parametru k . Obecně je model 2 konzervativnější v oblasti, kde model 1 vykazuje ostré rozhraní v predikci podle minima vztahů (5.12) a (5.13). Funkce modelu 2 v této oblasti vyhlazuje průběh predikované mezní

tahové síly a předpokládá kombinovanou poruchu betonu a selhání kontaktu. Dále je model 2 konzervativnější zejména pro beton s nízkou pevností.

Z barevného zvýraznění metrik pro jednotlivé modely 1 a 2 v Tab. 5-3, (zelené hodnoty vykazují menší chybovost) je vidět, že konzervativnější model 2 vykazuje ve srovnání s databází experimentálních výsledků povětšinou menší chybovost, zejména v oblasti hodnot parametru k modelu 1, pro které jeho chybovost klesá.

Na základě uvedených výsledků lze konstatovat, že funkce modelu predikce 2 dle (5.14) je vhodně zvolená. S použitím příslušných parametrů a , b , c je model 2 schopen predikovat srovnatelné hodnoty mezního tahového zatížení jako model 1 dle (5.12) a (5.13).

5.3.3 Kalibrace modelu 2 pro přiléhavost k experimentálním výsledkům

Třetím směrem této analýzy je kalibrace modelu 2 dle (5.14) a jeho koeficientů a , b , c pro co nejlepší přiléhavost k výsledkům experimentů. Výsledky kalibrace získané za pomoci výše uvedeného genetického algoritmu jsou uvedeny v Tab. 5-4. Jako ověřující chybová funkce bylo opět použito kritérium e_2 dle (5.7). Jako výsledek byla použita desátá generace vstupních parametrů.

Tab. 5-4 Parametry modelu 2 kalibrovaného pro přiléhavost k experimentálním výsledkům

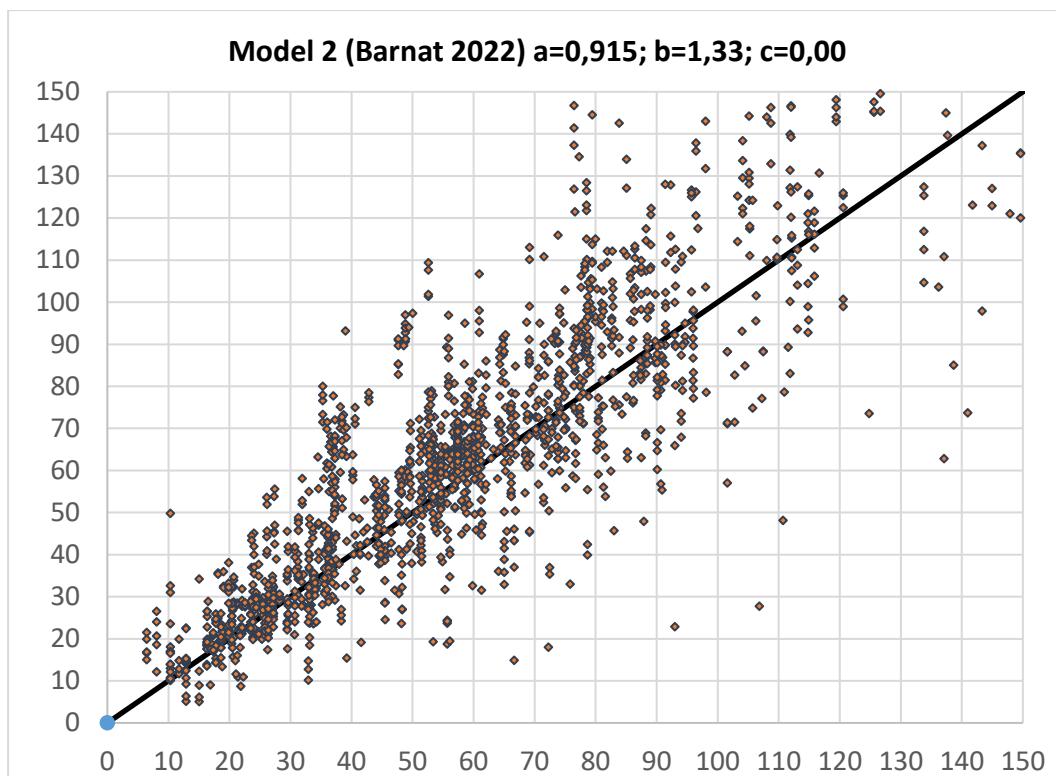
Parametr modelu	a	b	c
model 2 (Barnat 2022)	0,915	1,33	0,00

Pro nejlepší přiléhavost modelu 2 k výsledkům experimentů vychází parametr c modelu 2 velmi blízko až téměř na hranici intervalu zvoleného pro nultou generaci tzn. $c = 0,00$. Parametry a a b , se oproti původní verzi modelu dle (2.23) dle [22] změnil v rozsahu 10-25 %. Změnu funkce ale nelze hodnotit na základě změny jednotlivých parametrů, navíc v původním modelu byly použity jinak definované materiálové a geometrické parametry (viz vztahy (2.23) a (5.14)).

Graf na Obr. 5-9 je grafem párových dvojic $[y_i, \hat{y}_i]$ výsledků modelu predikce dle (5.14) s původními parametry $a = 0,915$; $b = 1,33$; $c = 0,00$.

Srovnání vybraných modelů z pohledu dosažených hodnot výše uvedených kritérií (metrik) pro přilnavost modelů k experimentálním výsledkům je souhrnně uvedeno v Tab. 5-5. Porovnáván je model 1 ve třech variantách dle zvolených vstupních parametrů doporučených v normativních dokumentech [1,3], dále model podle R.A. Cooka [11] a model 2 ve variantě původních [22] a kalibrovaných vstupních parametrů.

Výsledky hodnot zvolených metrik p uvedené v Tab. 5-5 jsou podbarveny škálou barev od zelené (nejlepší hodnota) po červenou (nejhorší hodnota). Z výsledků lze vyčíst, že přiléhavost modelu 1 vycházejícího z metody CCD s parametry dle [3] pro použité experimentální výsledky je poměrně dobrá a lze ji ještě zlepšit kalibrací. Nejlepší přilnavost k použitým experimentálním výsledkům vykazuje kalibrovaný model 2 s parametry dle Tab. 5-4.



Obr. 5-9 Párový graf výsledků experimentů a modelu predikce – model 2 (Barnat 2022)

Tab. 5-5 Porovnání jednotlivých kritérií (metrik) pro různě kalibrované modely

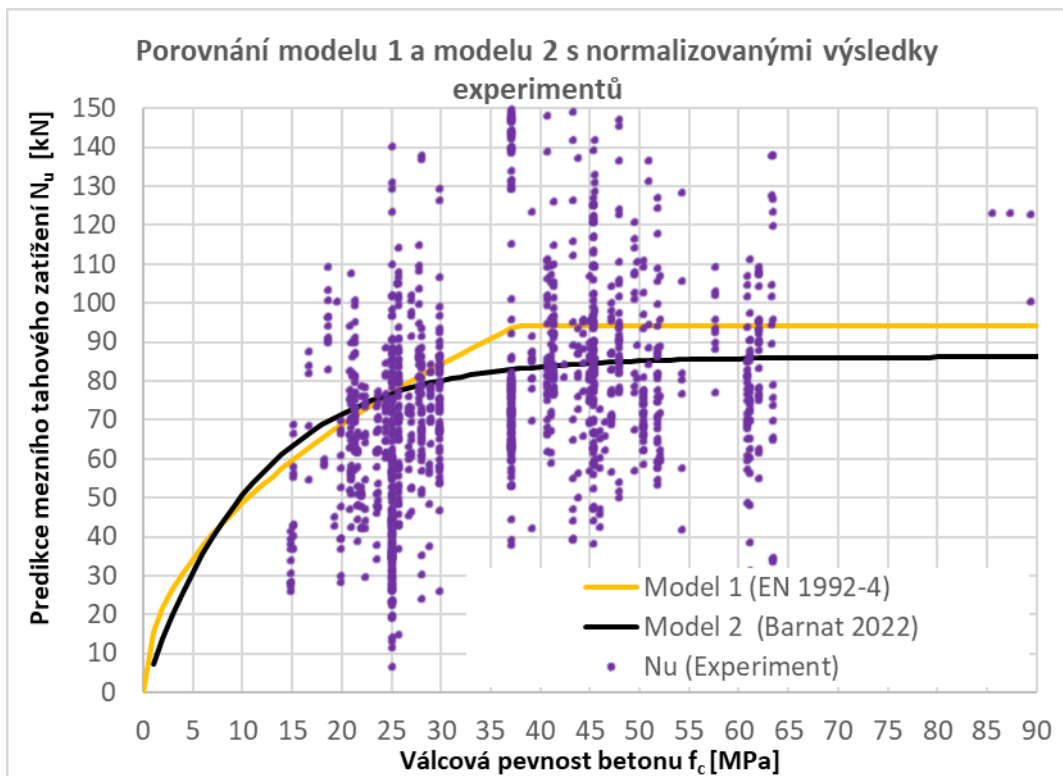
Použitý model	Parametry	Výsledná hodnota zvolených metrik						
		r^2	r^2_{adj}	e_1	e_2	e_3	MAPE	SMAPE
Model 1 (EN 1992-4)	k=11; j=1,5; l=0,5	0,597	0,354	0,254	0,332	0,398	0,274	0,129
Model 1 (kalibrovaný)	k=16; j=1,5; l=0,5	0,683	0,465	0,230	0,294	0,369	0,288	0,122
Model 1 (ACI 318-19) pro trhlinový beton	k=7; j=1,5; l=0,5	0,261	0,065	0,270	0,449	0,488	0,381	0,222
Cook 1991		-5,464	29,946	0,308	1,330	1,971	0,710	0,218
Model 2 (Barnat 2010)	a=0,74; b=1,5; c=1,4	0,389	0,149	0,358	0,409	0,416	0,388	0,245
Model 2 (Barnat 2022)	a=0,915; b=1,33,5; c=0,0	0,773	0,596	0,041	0,249	0,303	0,230	0,109

Následující graf na Obr. 5-10 orientačně zobrazuje model 1 s parametrem $k = 11$ dle [3].

Pro sestavení grafu na Obr. 5-10, zobrazující predikci mezní tahové síly podle uvedených modelů společně s výsledky experimentů v závislosti na válcové pevnosti betonu, byly nashromážděné výsledky normalizovány dle vztahu (5.20) na hodnoty $d = 12 \text{ mm}$; $h_{ef} = 110 \text{ mm}$; $\tau_u = 20 \text{ MPa}$.

$$N_{u(norm)} = N_u \cdot \frac{12}{d} \cdot \left(\frac{110}{h_{ef}} \right)^{1,5} \cdot \frac{20}{\tau_u}$$

(5.20)



Obr. 5-10 Porovnání modelu 1 a modelu 2 s experimentálními daty

Jelikož tato normalizace není zcela platná pro všechny vstupy modelu 1 a modelu 2, je porovnání s výsledky experimentů v tomto grafu pouze orientační a má dokreslovat trend závislosti na pevnosti betonu. Důvodem pro zvolení této normalizace pro tvorbu uvedeného grafu je to, že i přes vyšší počet nashromážděných výsledků experimentů existuje v databázi pouze relativně malé množství dat, které mají rozdílný pouze parametr pevnosti betonu.

6 Shrnutí a Závěr

Habilitační práce prohlubuje některé poznatky v oblasti působení dodatečně osazovaných chemických kotev zejména pro použití v betonu. V této problematice probíhá poměrně intenzivní výzkum již několik dekad, nicméně vzhledem k trendu vývoje nových vysokohodnotných materiálů je třeba i nadále tyto poznatky aktualizovat.

Problematika řešená v této práci je v souladu se stanovenými cíli rozdělaná na dvě dílčí oblasti. Obdobně je tedy členěna i tato kapitola shrnující a komentující jednotlivé dosažené výsledky.

6.1 Kontaktní materiály – metodika zkoušení, ověřování přísad

První oblast, kterou se prezentovaný výzkum zabýval je problematika stanovení mezního napětí na rozhraní mezi materiály v souvislosti s vývojem nových kontaktních materiálů se specifickými užitnými vlastnostmi.

V rámci prezentovaného výzkumu byla pro tuto oblast modifikována jedna z nejdůležitějších zkoušek pro ověření mezního napětí na rozhraní – omezená zkouška. Modifikace spočívá v nahrazení betonového tělesa tělesem ocelovým s otvorem opatřeným vnitřním závitem. Takto modifikovaná zkouška eliminuje vliv betonu na výsledné sledované parametry a je tedy vhodná pro sledování výsledných vlastností lepidel při jejich vývoji. Modifikace má i ekonomický efekt, jelikož ocelová tělesa lze po vyčištění použít opakovaně. Takto modifikovaná zkouška má ale svá specifika a limity. Výsledky této zkoušky např. nejsou směrodatné pro kotvy instalované v betonu s nízkou pevností, která má na výsledné chování kotvy zásadní vliv. Porovnáním výsledků dosažených pomocí standardní omezené zkoušky v betonu s vysokou pevností a modifikované omezené zkoušky v ocelových tělesech bylo zjištěno, že výsledky z hlediska zjištěných mezních napětí na rozhraních jsou srovnatelné. Dle očekávání se liší změřené posuny kotevního šroubu v závislosti na tuhosti zkušebního tělesa-přípravku.

Dílčím tématem v rámci této oblasti výzkumu bylo ověření možnosti zlepšení některých užitných vlastností epoxidových a vinyl-esterových lepidel pomocí různých plničů. Testovány byly konvenční mechanické přísady a dále zástupci nanoplňiv a grafenoidů.

Z výsledků testů různých mechanických přísad do kontaktních materiálů, se jako neefektivnější jeví použití přísady mletého vápence za účelem stabilizace pracovního diagramu a také za účelem významného snížení celkových nákladů na jednotku objemu výsledného kontaktního materiálu. A to i za cenu přijatelného snížení výsledných pevnostních charakteristik. Např. pro testovaný vzorek epoxidu CHS 531 se jedná o snížení dosaženého mezního napětí na kontaktech cca 30 % při obsahu 80 % mletého vápence ve vzorku. Naopak u přísad ve formě skleněných a uhlíkových vláken mohou přispět ke stabilizaci pracovního diagramu vzorku, ale vliv na výsledné pevnostní charakteristiky byl pro testované typy a koncentrace vláken jen velmi malý. Možnost navýšení mechanických vlastností pomocí konvenčních plniv se tedy u testovaných vzorků ukázala jako neefektivní a tím pádem i neekonomická. Použití nanoplňiv se ukázalo problematické v oblasti přípravy vzorků s ohledem na dosažení dostatečné dispergace nanočástic. Navíc výsledky provedených testů neprokázaly pozitivní vliv použití nanoplňiv na sledované mechanické vlastnosti. Dále byly testovány vzorky se speciálně modifikovanými grafenoidy. Bylo zkoušeno několik typů

a koncentrací grafenoidových přísad. Z výsledků je ale patrné, že přínos uvedených přísad v daných typech a koncentracích, které v testech byly použity je prakticky neznatelný.

Dílejší částí výzkumu byla i modifikace vybraných receptur lepidel pro použití v nízkých teplotách. U takto modifikovaných lepidel je stěžejním problémem rychlost vytvrzování a její akcelerace. Z testovaných postupů se ukázal jako vhodnější postup využívající pro urychlení aktivátory. V porovnání s postupem spočívajícím v náhradě aminového tvrdidla za thiolové síce nedosahuje takové efektivity urychlení, nicméně nedochází k výraznému ovlivnění mechanických vlastností v porovnání se směsí bez aktivátoru.

V rámci provedené analýzy se podařilo připravit vzorek epoxidové pryskyřice, který při krátkodobém statickém testu byl schopen dosáhnout mezního napětí na rozhraní s kotevním šroubem v hodnotě 30 MPa a je schopen dosáhnout této pevnosti do 48 hodin i při teplotě 5 °C.

6.2 Kalibrace vybraných modelů predikce mezní tahové síly

Druhá část práce se zabývala kalibrací vybraných primárních modelů predikce mezní tahové síly pro dodatečně osazované chemické kotvy, pro porušení v kotevní oblasti (tzn. vyjma porušení kotevního šroubu přetržením).

Pro kalibraci byla sestavena z výsledků vlastních experimentů autora, a také dostupných publikovaných dat jiných autorů. Databáze výsledků, která obsahuje experimenty s kotvami v širokém rozsahu vstupních geometrických a materiálových charakteristik a zároveň jde o takové konfigurace kotev, ke kterým je k dispozici výsledek omezené i neomezené zkoušky. Tzn. jsou k dispozici informace i o mezní hodnotě napětí na rozhraní materiálů, které je možné z výsledků omezené zkoušky pro danou konfiguraci kotvy určit.

Pro kalibraci na základě sestavené databáze výsledků byl jako první použit model uvedený v aktuálních platných normativních dokumentech jako je EN 1992-4 [3] a ACI 3118-19 [1], který vychází z „Concrete Capacity Design Method“ (CCD) [15]. Tento model predikuje mezní tahové zatížení pouze jako funkci pevnosti betonu a geometrických parametrů kotvy a používá se v kombinaci s modelem rovnoměrného napětí na kontaktu mezi materiály, který vychází z geometrických parametrů a hodnoty mezního tahového napětí na kontaktu.

Druhým kalibrovaným modelem je model navržený autorem práce. Tento model používá jednu spojitou funkci pro predikci mezního tahového zatížení, která (podobně jako další typy modelů uvedené v této práci) kombinuje vliv pevnosti betonu a kvality spojení mezi materiály (zprostředkovaným kontaktním materiálem – lepidlem) společně s geometrickými parametry kotvy. Výsledky obecně publikovaných experimentů ukazují, že pro obvyklé vstupní parametry chemických kotev, je porucha v oblasti právě kombinací selhání kontaktů a betonu.

Pro kalibraci těchto modelů s více empiricky nastavitelnými parametry byla použita metoda genetického evolučního algoritmu, společně s několika chybovými funkcemi „normami“ pro hodnocení přiléhavosti modelů k experimentálním výsledkům i k vzájemné přiléhavosti funkcí modelů.

Pro data ze sestavené databáze (Tab. 8-3) a intervaly běžných vstupních parametrů dodatečně osazovaných chemických kotev (Tab. 5-2), výsledky kalibrací ukázaly, že:

- Model na bázi CCD lze kalibrovat pro vyšší přiléhavost k experimentálním výsledkům. Ta je dle většiny zvolených hodnotících kritérií lepší pro vyšší hodnoty proměnného parametru (empirické konstanty) k , než je doporučována v normativních dokumentech.
- Funkci navrženého modelu predikce je možné kalibrovat tak, aby predikce přiměřeně odpovídala modelu na bázi CCD.
- Model navržený autorem kalibrovaný pro co nejvyšší přiléhavost k experimentálním výsledkům vykazuje lepší hodnoty zvolených hodnotících kritérií než model na bázi CCD.

7 Reference

1. Building Code Requirements for Structural Concrete ACI 318-19. **2019**, doi:10.14359/51716937.
2. ETAG 001: Guideline for european technical approval of metal anchors for use in concrete. *Annex A: Details of tests* **2013**.
3. Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 4: Design of fastenings for use in concrete. **2018**.
4. Cook, R.A.; Kunz, J.; Fuchs, W.; Konz, R.C. Behavior and design of single adhesive anchors under tensile load in uncracked concrete. *Aci Structural Journal* **1998**, *95*, 9-26.
5. Kunz, J.; Cook, R.A.; Fuchs, W.; Spieth, H. Tragverhalten und Bemessung von chemischen Befestigungen. **1998**, *Beton - und Stahlbetonbau 1998, Hefte 1 und 2*, .
6. Sell, R. Tragfähigkeit von mit Reaktionsharzmörtelpatronen versetzten Betonankern und deren Berechnung. **1973**, *Die Bautechnik 1973, Heft 10*, S. 333 - 340.
7. Sell, R. Über Festigkeit und Verformung mit Reaktionsharzmörtelpatronen versetzten Betonankern. **1973**, *Verbindungstechnik 1973, Heft 8*, S. 11 - 16.
8. Eligehausen, R.; Mallée, R.; Rehm, G. Befestigungen mit Verbundankern. **1984**, *Betonwerk + Fertigteiltchnik 1984, Heft 10*, S. 686-692, *Heft 11*, S. 781-785, *Heft 12*, S. 825-829.
9. Eligehausen, R.; Mallée, R.; Rehm, G. Befestigungstechnik. **1997**, *Betonkalender 1997*.
10. Cook, R.A.; Collins, D.M.; Klingner, R.E.; Polyzois, D. LOAD-DEFLECTION BEHAVIOR OF CAST-IN-PLACE AND RETROFIT CONCRETE ANCHORS. *Aci Structural Journal* **1992**, *89*, 639-649.
11. Cook, R.A.; Doerr, G.T.; Klingner, R.E. BOND STRESS MODEL FOR DESIGN OF ADHESIVE ANCHORS. *Aci Structural Journal* **1993**, *90*, 514-524.
12. Cook, R.A. BEHAVIOR OF CHEMICALLY BONDED ANCHORS. *Journal of Structural Engineering-Asce* **1993**, *119*, 2744-2762, doi:10.1061/(asce)0733-9445(1993)119:9(2744).
13. Cook, R.A.; Fagundo, F.E.; Biller, M.H. Tensile behavior and design of adhesive-bonded anchors and dowels. **1993**, *Transportation Research Record No. 1392*, 126-133.
14. Kobarg, J. Verbundfestigkeit von nachträglich mit Reaktionsharz vermörtelten Betonstählen in Beton, Institut für Beton und Stahlbeton. *Forschungsbericht B15-800* **1982**.
15. Fuchs, W.; Eligehausen, R.; Breen, J.E. CONCRETE CAPACITY DESIGN (CCD) APPROACH FOR FASTENING TO CONCRETE. *Aci Structural Journal* **1995**, *92*, 73-94.
16. Lehr, B.; Eligehausen, R. Vorschlag eines Bemessungskonzeptes für Verbundanker. **1998**, *IWB-Bericht Nr. 20/25-98/6*.
17. Eligehausen, R.; Cook, R.A.; Appl, J. Behavior and design of adhesive bonded anchors. *Aci Structural Journal* **2006**, *103*, 822-831.
18. Eligehausen, R.; Balogh, T. BEHAVIOR OF FASTENERS LOADED IN TENSION IN CRACKED REINFORCED-CONCRETE. *Aci Structural Journal* **1995**, *92*, 365-379.
19. Zhang, Y.G.; Klingner, R.E.; Graves, H.L. Seismic response of multiple-anchor connections to concrete. *Aci Structural Journal* **2001**, *98*, 811-822.
20. Bajer, M.; Barnat, J. The glue-concrete interface of bonded anchors. *Construction and Building Materials* **2012**, *34*, 267-274, doi:10.1016/j.conbuildmat.2012.02.030.

21. Barnat, J.; Bajer, M.; Vild, M.; Iop. To the Problems of Anchoring Adhesives in High Performance Concrete. In Proceedings of the 3rd World Multidisciplinary Civil Engineering, Architecture, Urban Planning Symposium (WMCAUS), Prague, CZECH REPUBLIC, Jun 18-22, 2018.
22. Barnat, J. Analýza chování ocelových lepených kotev. *Disertační práce* **2010**.
23. Mészáros, J. Tragverhalten von Einzelverbunddübeln unter zentrischer Kurzzeitbelastung. **2002**.
24. Ducháček, V. Polymery, výroba, vlastnosti, zpracování, použití. **2006**.
25. Sheng, H.Q.; Wang, X.J.; Pan, Z.G.; Chen, X. Thermodynamics and kinetics of one-step curing process for vinyl ester-unsaturated polyester resin in low shrinkage. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* **2017**, *130*, 823-833, doi:10.1007/s10973-017-6403-4.
26. Pham, H.Q.; Marks, M.J. Epoxy Resins. In *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*.
27. Ostrezi, J. Optimalizace parametrů pultruze kompozitů na bázi epoxidových matric. **2015**.
28. Cook, R., A.,; Bishop, M., C.,; Hagedoorn, H., S.,; Sikes, D., E.,; Richardson, D., S.,; Adams, T., L.,; De Zee, C., T.,. Adhesive-Bonded Anchors: Bond Properties and Effects of In-Service and Installation Conditions. **1994**.
29. Meszaros, J.; Eligehausen, R. Ausziehversuche mit Injektionsdübeln HH M12, WW M12 und FXM12, die in feuchten Beton gesetzt wurden. Einfluß der Bohrlochreinigung. **1998**, *IWB-Bericht No. 98/2-2/2*.
30. Meszaros, J.; Pergartner, T.; Eligehausen, R. Ausziehversuche mit Injektionsdübeln HH M12. Einfluß der Art der Abstützung, der Zuschlagkörnung, der Betonfestigkeit und der Bohrlochrauhigkeit auf die maximale Ausziehlast. **1998**, *IWB-Bericht No. 1/99-98/2*.
31. Meszaros, J.; Eligehausen, R. Ausziehversuche mit Injektionsdübeln HH, SP und WW. Einfluß der Art der Abstützung, der Betonfestigkeit und der Dübelgröße auf die maximale Auszugslast **1998**, *IWB-Bericht No. 98/1-2/1*
32. Lehr, B.; Eligehausen, R. Zusammenfassender Bericht über zentrische Ausziehversuche mit Verbunddübeln M8, M12 und M16 mit weiter und enger Abstützung **1998**, *IWB-Bericht No. 20/24-98/4*.
33. Lang, G. Festigkeitseigenschaften von Verbundanker-Systemen. **1979**, *55*, 41-46.
34. Zavliaris, K.D.; Kollias, S.; Speare, P.R.S. An experimental study of adhesively bonded anchorages in concrete. *Magazine of Concrete Research* **1996**, *48*, 79-93, doi:10.1680/mac.1996.48.175.79.
35. Spieth, H.A.; Eligehausen, R. Bewehrungsanschlüsse mit nachträglich eingemörtelten bewehrungstaben (Starter bars with post installed rebars) **2002**, *97, No. 9* 445-459.
36. Meszaros, J.; Eligehausen, R. Einfluss der Bohrlochreinigung und von feuchtem Beton auf das Tragverhalten von Injektionsdübeln (Influence of hole cleaning and of humid concrete on the load-bearing behaviour of injection anchors). **1998**, *Report No. 98/2-2/2*
37. Fuchs, W.; Hofmann, J.; Hulder, G. Load bearing behavior of chemical fasteners after installation at decreased temperatures. *Beton- Und Stahlbetonbau* **2015**, *110*, 394-401, doi:10.1002/best.201500010.
38. Moussa, O.; Vassilopoulos, A.P.; Keller, T. Effects of low-temperature curing on physical behavior of cold-curing epoxy adhesives in bridge construction. *International Journal of Adhesion and Adhesives* **2012**, *32*, 15-22, doi:10.1016/j.ijadhadh.2011.09.001.

39. Barnat, J.; Prokes, J.; Bajer, M.; Bezdek, O.; Vild, M. Simplified Testing of the Bond Strength of Adhesives Used for Bonded Anchors. *Materials* **2021**, *14*, 28, doi:10.3390/ma14123298.
40. Prokeš, J.; Bezděk, O.; Barnat, J.; Bajer, M. Odborná zpráva o postupu prací a dosažených výsledcích projektu FV10317 za rok 2017. *Pokročilé kotevní kontaktní materiály s využitím kompozitů* **2017**.
41. Institute, A.C. ACI 440.3R-04 Guide Test Methods for Fiber-Reinforced Polymers (FRPs) for Reinforcing or Strengthening Concrete Structures. **2004**.
42. Prokeš, J., Bezděk, O., Barnat, J., Bajer, M.,. Odborná zpráva o postupu prací a dosažených výsledcích projektu FV10317 za rok 2018. *Pokročilé kotevní kontaktní materiály s využitím kompozitů* **2018**.
43. Prokeš, J., Bezděk, O., Barnat, J., Bajer, M.,. 2019. *Odborná zpráva o postupu prací a dosažených výsledcích projektu FV10317 za rok 2019* **2019**.
44. Hou, W.X.; Gao, Y.; Wang, J.; Blackwood, D.J.; Teo, S. Recent advances and future perspectives for graphene oxide reinforced epoxy resins. *Materials Today Communications* **2020**, *23*, 13, doi:10.1016/j.mtcomm.2019.100883.
45. Frigione, M.; Lettieri, M. Recent Advances and Trends of Nanofilled/Nanostructured Epoxies. *Materials* **2020**, *13*, 24, doi:10.3390/ma13153415.
46. Kavimani, V.; Prakash, K.S.; Thankachan, T.; Udayakumar, R. Synergistic improvement of epoxy derived polymer composites reinforced with Graphene Oxide (GO) plus Titanium dioxide (TiO₂). *Composites Part B-Engineering* **2020**, *191*, 7, doi:10.1016/j.compositesb.2020.107911.
47. Xie, Y.K.; Liu, C.H.; Liu, W.Q.; Liang, L.Y.; Wang, S.; Zhang, F.Y.; Shi, H.Y.; Yang, M.P. A novel approach to fabricate polyacrylate modified graphene oxide for improving the corrosion resistance of epoxy coatings. *Colloids and Surfaces a-Physicochemical and Engineering Aspects* **2020**, *593*, 10, doi:10.1016/j.colsurfa.2020.124627.
48. Wolk, A.; Rosenthal, M.; Weiss, J.; Voigt, M.; Wesendahl, J.N.; Hartmann, M.; Grundmeier, G.; Wilhelm, R.; Meschut, G.; Tiemann, M.; et al. Graphene oxide as flexibilizer for epoxy amine resins. *Progress in Organic Coatings* **2018**, *122*, 280-289, doi:10.1016/j.porgcoat.2018.05.028.
49. Zamal, H.H.; Barba, D.; Aissa, B.; Haddad, E.; Rosei, F. Failure analysis of self-healing epoxy resins using microencapsulated 5E2N and carbon nanotubes. *Smart Materials and Structures* **2021**, *30*, 12, doi:10.1088/1361-665X/abd005.
50. Wang, E.L.; Dong, Y.B.; Islam, M.Z.; Yu, L.M.; Liu, F.Y.; Chen, S.J.; Qi, X.M.; Zhu, Y.F.; Fu, Y.Q.; Xu, Z.H.; et al. Effect of graphene oxide-carbon nanotube hybrid filler on the mechanical property and thermal response speed of shape memory epoxy composites. *Composites Science and Technology* **2019**, *169*, 209-216, doi:10.1016/j.compscitech.2018.11.022.
51. Wang, M.; Fan, X.S.; Thitsartarn, W.; He, C.B. Rheological and mechanical properties of epoxy/clay nanocomposites with enhanced tensile and fracture toughnesses. *Polymer* **2015**, *58*, 43-52, doi:10.1016/j.polymer.2014.12.042.
52. Basri, A.B.A.; Chae, D.W.; Lee, H. Investigation of the dynamic characteristics of a carbon - fiber -reinforced epoxy with adhesive -jointed structure. *Composite Structures* **2020**, *247*, 16, doi:10.1016/j.compstruct.2020.112499.
53. Moussa, O.; Vassilopoulos, A.P.; de Castro, J.; Keller, T. Early-age tensile properties of structural epoxy adhesives subjected to low-temperature curing. *International Journal of Adhesion and Adhesives* **2012**, *35*, 9-16, doi:10.1016/j.ijadhadh.2012.01.023.

54. Meloun, M.; Militký, J. Statistická analýza experimentálních dat. **2004**.
55. Makridakis, S. ACCURACY MEASURES - THEORETICAL AND PRACTICAL CONCERNS. *International Journal of Forecasting* **1993**, *9*, 527-529, doi:10.1016/0169-2070(93)90079-3.
56. Goncalves, J.F.; Resende, M.G.C. Biased random-key genetic algorithms for combinatorial optimization. *Journal of Heuristics* **2011**, *17*, 487-525, doi:10.1007/s10732-010-9143-1.
57. Whitley, D. A GENETIC ALGORITHM TUTORIAL. *Statistics and Computing* **1994**, *4*, 65-85.
58. Ahn, C.W.; Oh, S.; Ramakrishna, R.S. On the practical genetic algorithms. In Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference, Washington, DC, Jun 25-29, 2005; pp. 1583-1584.
59. Kučerová, A. *Identification of nonlinear mechanical model parameters based on softcomputing methods. PhD thesis* **2007**.
60. Jethmalani, C.H.R.; Simon, S.P.; Sundareswaran, K.; Nayak, P.S.R.; Padhy, N.P. Real coded genetic algorithm based transmission system loss estimation in dynamic economic dispatch problem. *Alexandria Engineering Journal* **2018**, *57*, 3535-3547, doi:10.1016/j.aej.2018.01.014.
61. Afshar, A.; Rasekh, A.; Afshar, M.H. Risk-based optimization of large flood-diversion systems using genetic algorithms. *Engineering Optimization* **2009**, *41*, 259-273, doi:10.1080/03052150802433213.
62. Hanak, T.; Tuscher, M.; Pribyl, O. Hybrid Genetic Algorithm-Based Approach for Estimating Flood Losses on Structures of Buildings. *Sustainability* **2020**, *12*, 16, doi:10.3390/su12073047.
63. Cattaneo, S.; Muciaccia, G. Adhesive anchors in high performance concrete. *Materials and Structures* **2016**, *49*, 2689-2700, doi:10.1617/s11527-015-0677-4.
64. Caliskan, O.; Aras, M. Experimental investigation of behaviour and failure modes of chemical anchorages bonded to concrete. *Construction and building materials* **2017**, *156*, 362-375, doi:10.1016/j.conbuildmat.2017.08.179.
65. Meszaros, J.; Pregarner, T.; Eligehausen, R. Ausziehversuche mit Injektionsdübeln HH M12. Einfluß der Art der Abstützung, der Zuschlagkörnung, der Betonfestigkeit und der Bohrlochrauigkeit auf die maximale Ausziehlast. **1998**, *IWB-Bericht No. 1/99-98/2*.
66. Maziligüney, L. Tensile Behavior of Chemically Bonded Post-Installed Anchors in Low-Strength Reinforced Concretes. **2007**.

Použité internetové odkazy:

www.hilti.cz

www.fischer-international.com

www.cihal-omo.cz

www.spitpaslode.com

8 Přílohy

Tab. 8-1 Souhrn provedených omezených a modifikovaných omezených zkoušek souvisejících s návrhem vhodné receptury lepidla

Sada testu	Označení tělesa	Receptura	Těleso $f_c,150$ [Mpa]	Datum instalace	Datum zkoušky	d [mm]	Teplota [°C]	Porucha na rozhraní s průměrem	Délka kontaktu h_{ef} [mm]	Mezní zatížení N_u [kN]
1	1	531- hef 60	Ocel	02.06.2017	07.06.2017	12,00	22	Ocel	60	91,68
1	2	531- hef 60	Ocel	02.06.2017	07.06.2017	12,00	22	Ocel	60	88,38
1	3	531- hef 60	Ocel	02.06.2017	07.06.2017	12,00	22	Ocel	60	90,10
1	4	531- hef 60	Ocel	02.06.2017	07.06.2017	12,00	22	Ocel	60	90,11
1	5	531- hef 60	Ocel	02.06.2017	07.06.2017	12,00	22	Ocel	60	90,42
1	6	531- hef 60	Ocel	02.06.2017	07.06.2017	12,00	22	Ocel	60	96,10
1	7	Derakane 411 hef 60	Ocel	02.06.2017	07.06.2017	12,00	22	d_0	60	82,40
1	8	Derakane 411 hef 60	Ocel	02.06.2017	07.06.2017	12,00	22	d_0	60	57,11
1	9	Derakane 411 hef 60	Ocel	02.06.2017	07.06.2017	12,00	22	d_0	60	66,96
1	10	Derakane 411 hef 60	Ocel	02.06.2017	07.06.2017	12,00	22	d_0	60	84,66
1	11	Derakane 411 hef 60	Ocel	02.06.2017	07.06.2017	12,00	22	d_0	60	87,12
2	1	531-a	Ocel	12.06.2017	19.06.2017	12,00	21	d	48	96,56
2	2	531-a	Ocel	12.06.2017	19.06.2017	12,00	21	d	48	92,27
2	3	531-a	Ocel	12.06.2017	19.06.2017	12,00	21	d	48	90,01
2	4	531-a	Ocel	12.06.2017	19.06.2017	12,00	21	d	48	87,12
2	5	510	Ocel	12.06.2017	19.06.2017	12,00	21	d	48	71,15
2	6	510	Ocel	12.06.2017	19.06.2017	12,00	21	d	48	69,86
2	7	510	Ocel	12.06.2017	19.06.2017	12,00	21	d	48	67,90
2	8	510	Ocel	12.06.2017	19.06.2017	12,00	21	d	48	67,77
2	9	Derakane 411	Ocel	12.06.2017	19.06.2017	12,00	21	d	48	64,23
2	10	Derakane 411	Ocel	12.06.2017	19.06.2017	12,00	21	d	48	63,21
2	11	Derakane 411	Ocel	12.06.2017	19.06.2017	12,00	21	d	48	75,98
2	12	Derakane 411	Ocel	12.06.2017	19.06.2017	12,00	21	d	48	63,21
3	1	531-V80	Ocel	12.07.2017	14.07.2017	12,00	24	d	48	65,24
3	2	531-V80	Ocel	12.07.2017	14.07.2017	12,00	24	d	48	75,98
3	3	531-V80	Ocel	12.07.2017	14.07.2017	12,00	24	d	48	67,64
3	4	531-V80	Ocel	12.07.2017	14.07.2017	12,00	24	d	48	74,70
3	5	531-V80	Ocel	12.07.2017	14.07.2017	12,00	24	d	48	67,77
3	6	531-V80	Ocel	12.07.2017	14.07.2017	12,00	24	d	48	74,00
3	7	Derakane 411 -V80	Ocel	12.07.2017	14.07.2017	12,00	24	d	48	46,89
3	8	Derakane 411 -V80	Ocel	12.07.2017	14.07.2017	12,00	24	d	48	48,06
3	9	Derakane 411 -V80	Ocel	12.07.2017	14.07.2017	12,00	24	d	48	45,17
3	10	Derakane 411 -V80	Ocel	12.07.2017	14.07.2017	12,00	24	d	48	50,04
3	11	Derakane 411 -V80	Ocel	12.07.2017	14.07.2017	12,00	24	d	48	45,86
3	12	Derakane 411 -V80	Ocel	12.07.2017	14.07.2017	12,00	24	d	48	44,34
4	1	531-C10	Ocel	14.08.2017	17.08.2017	12,00	24	d	48	81,06
4	2	531-C10	Ocel	14.08.2017	17.08.2017	12,00	24	d	48	85,97
4	3	531-C10	Ocel	14.08.2017	17.08.2017	12,00	24	d	48	78,68
4	4	531-C10	Ocel	14.08.2017	17.08.2017	12,00	24	d	48	82,29
4	5	531-C10	Ocel	14.08.2017	17.08.2017	12,00	24	d	48	83,46
4	6	531-C10	Ocel	14.08.2017	17.08.2017	12,00	24	d	48	84,88
4	7	Derakane 411-C10	Ocel	14.08.2017	17.08.2017	12,00	24	d	48	56,33
4	8	Derakane 411-C10	Ocel	14.08.2017	17.08.2017	12,00	24	d	48	55,96
4	9	Derakane 411-C10	Ocel	14.08.2017	17.08.2017	12,00	24	d	48	59,29
4	10	Derakane 411-C10	Ocel	14.08.2017	17.08.2017	12,00	24	d	48	58,06
4	11	Derakane 411-C10	Ocel	14.08.2017	17.08.2017	12,00	24	d	48	57,11
4	12	Derakane 411-C10	Ocel	14.08.2017	17.08.2017	12,00	24	d	48	59,85

Sada testu	Označení tělesa	Receptura	Těleso $f_c, 150$ [Mpa]	Datum instalace	Datum zkoušky	d [mm]	Teplota [°C]	Porucha na rozhraní s průměrem	Délka kontaktu h_{ef} [mm]	Mezní zatížení N_u [kN]
5	1	531-C30	Ocel	09.11.2017	13.11.2017	12,00	22	d	48	81,27
5	2	531-C30	Ocel	09.11.2017	13.11.2017	12,00	22	d	48	85,75
5	3	531-C30	Ocel	09.11.2017	13.11.2017	12,00	22	d	48	80,51
5	4	531-C30	Ocel	09.11.2017	13.11.2017	12,00	22	d	48	81,40
5	5	531-C30	Ocel	09.11.2017	13.11.2017	12,00	22	d	48	81,16
5	6	531-C30	Ocel	09.11.2017	13.11.2017	12,00	22	d	48	84,33
5	7	531-C50	Ocel	09.11.2017	13.11.2017	12,00	22	d	48	86,06
5	8	531-C50	Ocel	09.11.2017	13.11.2017	12,00	22	d	48	79,38
5	9	531-C50	Ocel	09.11.2017	13.11.2017	12,00	22	d	48	84,03
5	10	531-C50	Ocel	09.11.2017	13.11.2017	12,00	22	d	48	82,88
5	11	531-C50	Ocel	09.11.2017	13.11.2017	12,00	22	d	48	81,64
5	12	531-C50	Ocel	09.11.2017	13.11.2017	12,00	22	d	48	84,17
6	68h A	510	Ocel	26.02.2018	01.03.2018	12,00	5	d	48	66,98
6	68h B	510	Ocel	26.02.2018	01.03.2018	12,00	5	d	48	77,50
6	68h C	510	Ocel	26.02.2018	01.03.2018	12,00	5	d	48	69,82
6	68h D	510	Ocel	26.02.2018	01.03.2018	12,00	5	d	48	78,20
6	48h A	510	Ocel	27.02.2018	01.03.2018	12,00	5	d	48	58,60
6	48h B	510	Ocel	27.02.2018	01.03.2018	12,00	5	d	48	63,71
6	48h C	510	Ocel	27.02.2018	01.03.2018	12,00	5	d	48	63,91
6	48h D	510	Ocel	27.02.2018	01.03.2018	12,00	5	d	48	55,00
6	24h A	510	Ocel	28.02.2018	01.03.2018	12,00	5	d	48	17,30
6	24h B	510	Ocel	28.02.2018	01.03.2018	12,00	5	d	48	17,24
6	24h C	510	Ocel	28.02.2018	01.03.2018	12,00	5	d	48	16,98
6	24h D	510	Ocel	28.02.2018	01.03.2018	12,00	5	d	48	17,35
6	18h A	510	Ocel	28.02.2018	01.03.2018	12,00	5	d	48	2,28
6	18h B	510	Ocel	28.02.2018	01.03.2018	12,00	5	d	48	0,00
6	18h C	510	Ocel	28.02.2018	01.03.2018	12,00	5	d	48	0,00
6	18h D	510	Ocel	28.02.2018	01.03.2018	12,00	5	d	48	0,00
6	8h A	510	Ocel	01.03.2018	01.03.2018	12,00	5	d	48	0,00
6	8h B	510	Ocel	01.03.2018	01.03.2018	12,00	5	d	48	0,00
6	8h C	510	Ocel	01.03.2018	01.03.2018	12,00	5	d	48	0,00
6	8h D	510	Ocel	01.03.2018	01.03.2018	12,00	5	d	48	0,00
6	5h A	510	Ocel	01.03.2018	01.03.2018	12,00	5	d	48	0,00
6	5h B	510	Ocel	01.03.2018	01.03.2018	12,00	5	d	48	0,00
6	5h C	510	Ocel	01.03.2018	01.03.2018	12,00	5	d	48	0,00
6	5h D	510	Ocel	01.03.2018	01.03.2018	12,00	5	d	48	0,00
7	3	531-G0.03	Ocel	27.06.2018	02.07.2018	12,00	23	d	48	89,77
7	6	531-G0.03	Ocel	27.06.2018	02.07.2018	12,00	23	d	48	85,78
7	7	531-G0.03	Ocel	27.06.2018	02.07.2018	12,00	23	d	48	89,79
7	8	531-G0.03	Ocel	27.06.2018	02.07.2018	12,00	23	d	48	90,12
7	9	531-G0.03	Ocel	27.06.2018	02.07.2018	12,00	23	d	48	85,42
7	10	531-G0.03	Ocel	27.06.2018	02.07.2018	12,00	23	d	48	89,58
7	12	531-S	Ocel	27.06.2018	02.07.2018	12,00	23	d	48	54,54
7	13	531-S	Ocel	27.06.2018	02.07.2018	12,00	23	d	48	61,09
7	14	531-S	Ocel	27.06.2018	02.07.2018	12,00	23	d	48	62,09
7	15	531-S	Ocel	27.06.2018	02.07.2018	12,00	23	d	48	58,84
7	16	531-S	Ocel	27.06.2018	02.07.2018	12,00	23	d	48	65,71
7	17	531-S	Ocel	27.06.2018	02.07.2018	12,00	23	d	48	67,39

Sada testu	Označení tělesa	Receptura	Těleso $f_c, 150$ [Mpa]	Datum instalace	Datum zkoušky	d [mm]	Teplota [$^{\circ}$ C]	Porucha na rozhraní s průměrem	Délka kontaktu h_{ef} [mm]	Mezní zatížení N_u [kN]
8	7	531-CN	Ocel	14.08.2018	16.08.2018	12,00	25	d	48	68,53
8	8	531-CN	Ocel	14.08.2018	16.08.2018	12,00	25	d	48	67,93
8	9	531-CN	Ocel	14.08.2018	16.08.2018	12,00	25	d	48	72,89
8	10	531-CN	Ocel	14.08.2018	16.08.2018	12,00	25	d	48	77,07
8	11	531-CN	Ocel	14.08.2018	16.08.2018	12,00	25	d	48	68,92
8	12	531-CN	Ocel	14.08.2018	16.08.2018	12,00	25	d	48	58,43
9	1	531-G0.03b	Ocel	15.01.2019	18.01.2019	12,00	18	d	48	90,75
9	2	531-G0.03b	Ocel	15.01.2019	18.01.2019	12,00	18	d	48	94,45
9	3	531-G0.03b	Ocel	15.01.2019	18.01.2019	12,00	18	d	48	92,22
9	4	531-G0.03b	Ocel	15.01.2019	18.01.2019	12,00	18	d	48	88,36
9	5	531-G0.03b	Ocel	15.01.2019	18.01.2019	12,00	18	d	48	95,11
9	6	531-G0.03b	Ocel	15.01.2019	18.01.2019	12,00	18	d	48	97,92
9	7	531-AN2609-a	Ocel	15.01.2019	18.01.2019	12,00	18	d	48	83,55
9	8	531-AN2609-a	Ocel	15.01.2019	18.01.2019	12,00	18	d	48	98,29
9	9	531-AN2609-a	Ocel	15.01.2019	18.01.2019	12,00	18	d	48	93,91
9	10	531-AN2609-a	Ocel	15.01.2019	18.01.2019	12,00	18	d	48	90,77
9	11	531-AN2609-a	Ocel	15.01.2019	18.01.2019	12,00	18	d	48	80,52
9	12	531-AN2609-a	Ocel	15.01.2019	18.01.2019	12,00	18	d	48	85,22
10	1	531-G0.5	Ocel	12.02.2019	14.02.2019	12,00	18	d	48	85,17
10	2	531-G0.5	Ocel	12.02.2019	14.02.2019	12,00	18	d	47	88,47
10	3	531-G0.5	Ocel	12.02.2019	14.02.2019	12,00	18	d	48	84,62
10	4	531-G0.5	Ocel	12.02.2019	14.02.2019	12,00	18	d	48	95,80
10	5	531-G0.5	Ocel	12.02.2019	14.02.2019	12,00	18	d	47	82,50
10	6	531-G0.06	Ocel	12.02.2019	14.02.2019	12,00	18	d	48	85,45
10	7	531-G0.06	Ocel	12.02.2019	14.02.2019	12,00	18	d	43	71,19
10	8	531-G0.06	Ocel	12.02.2019	14.02.2019	12,00	18	d	48	85,73
10	9	531-G0.06	Ocel	12.02.2019	14.02.2019	12,00	18	d	48	88,41
10	10	531-G0.06	Ocel	12.02.2019	14.02.2019	12,00	18	d	48	89,50
10	11	531-b	Ocel	12.02.2019	14.02.2019	12,00	18	d	48	85,15
10	12	531-b	Ocel	12.02.2019	14.02.2019	12,00	18	d	44	77,51
10	13	531-b	Ocel	12.02.2019	14.02.2019	12,00	18	d	48	84,70
10	14	531-b	Ocel	12.02.2019	14.02.2019	12,00	18	d	48	86,80
10	15	531-b	Ocel	12.02.2019	14.02.2019	12,00	18	d	48	89,39
11	1	531-c	Ocel	22.02.2019	28.02.2019	12,00	20	d	48	85,23
11	2	531-c	Ocel	22.02.2019	28.02.2019	12,00	20	d	48	85,29
11	3	531-c	Ocel	22.02.2019	28.02.2019	12,00	20	d	48	88,60
11	4	531-c	Ocel	22.02.2019	28.02.2019	12,00	20	d	48	91,89
11	5	531-c	Ocel	22.02.2019	28.02.2019	12,00	20	d	48	95,22
11	6	531-P11-G043-0.03	Ocel	22.02.2019	28.02.2019	12,00	20	d	48	90,08
11	7	531-P11-G043-0.03	Ocel	22.02.2019	28.02.2019	12,00	20	d	48	91,76
11	8	531-P11-G043-0.03	Ocel	22.02.2019	28.02.2019	12,00	20	d	48	95,31
11	9	531-P11-G043-0.03	Ocel	22.02.2019	28.02.2019	12,00	20	d	48	94,32
11	10	531-P11-G043-0.03	Ocel	22.02.2019	28.02.2019	12,00	20	d	48	89,71
11	11	531-P11-G043-0.06	Ocel	22.02.2019	28.02.2019	12,00	20	d	48	89,47
11	12	531-P11-G043-0.06	Ocel	22.02.2019	28.02.2019	12,00	20	d	48	92,62
11	13	531-P11-G043-0.06	Ocel	22.02.2019	28.02.2019	12,00	20	d	48	96,09
11	14	531-P11-G043-0.06	Ocel	22.02.2019	28.02.2019	12,00	20	d	48	92,71
11	15	531-P11-G043-0.06	Ocel	22.02.2019	28.02.2019	12,00	20	d	48	93,92
11	16	531-P11-G043-0.06	Ocel	22.02.2019	28.02.2019	12,00	20	d	48	92,13

Sada testu	Označení tělesa	Receptura	Těleso $f_c, 150$ [Mpa]	Datum instalace	Datum zkoušky	d [mm]	Teplota [°C]	Porucha na rozhraní s průměrem	Délka kontaktu h_{ef} [mm]	Mezní zatížení N_u [kN]
12	1	531-P11-G043-0.5	Ocel	13.03.2019	22.03.2019	12,00	20	d	48	91,27
12	2	531-P11-G043-0.5	Ocel	13.03.2019	22.03.2019	12,00	20	d	48	96,50
12	3	531-P11-G043-0.5	Ocel	13.03.2019	22.03.2019	12,00	20	d	48	94,48
12	4	531-P11-G043-0.5	Ocel	13.03.2019	22.03.2019	12,00	20	d	48	91,18
12	5	531-P11-G043-0.5	Ocel	13.03.2019	22.03.2019	12,00	20	d	48	89,69
13	1	531-AN2609-c	Ocel	20.05.2019	27.05.2019	12,00	21	d	48	91,94
13	2	531-AN2609-c	Ocel	20.05.2019	27.05.2019	12,00	21	d	48	90,12
13	3	531-AN2609-c	Ocel	20.05.2019	27.05.2019	12,00	21	d	48	90,55
13	4	531-AN2609-c	Ocel	20.05.2019	27.05.2019	12,00	21	d	48	95,37
13	5	531-AN2609-c	Ocel	20.05.2019	27.05.2019	12,00	21	d	48	90,60
13	6	531-AN2609-c	Ocel	20.05.2019	27.05.2019	12,00	21	d	48	89,42
14	1	531-AN2609-b	Ocel	06.06.2019	13.06.2019	12,00	23	d	48	81,52
14	2	531-AN2609-b	Ocel	06.06.2019	13.06.2019	12,00	23	d	48	77,45
14	3	531-AN2609-b	Ocel	06.06.2019	13.06.2019	12,00	23	d	48	80,87
14	4	531-AN2609-b	Ocel	06.06.2019	13.06.2019	12,00	23	d	48	76,61
14	5	531-AN2609-b	Ocel	06.06.2019	13.06.2019	12,00	23	d	48	84,56
14	6	531-AN2609-b	Ocel	06.06.2019	13.06.2019	12,00	23	d	48	88,74
14	b1	531-AN2609	80,77	06.06.2019	13.06.2019	12,00	23	d	61	107,56
14	b2	531-AN2609	80,77	06.06.2019	13.06.2019	12,00	23	d	63	114,14
14	b3	531-AN2609	80,77	06.06.2019	13.06.2019	12,00	23	d	52	91,44
14	b4	531-AN2609	80,77	06.06.2019	13.06.2019	12,00	23	d	58	105,83
14	b5	531-AN2609	80,77	06.06.2019	13.06.2019	12,00	23	d	40	70,95
14	b6	531-AN2609	80,77	06.06.2019	13.06.2019	12,00	23	d	61	107,12
14	b7	531-AN2609	80,77	06.06.2019	13.06.2019	12,00	23	d	64	111,80
14	b8	531-AN2609	80,77	06.06.2019	13.06.2019	12,00	23	d	60	106,37
14	b9	531-AN2609	80,77	06.06.2019	13.06.2019	12,00	23	d	60	109,76
15	b10	531-AN2609	80,77	06.06.2019	13.06.2019	12,00	23	d	58	101,31
15	72a	531-AN2609	Ocel	23.07.2019	26.07.2019	12,00	5	d	48	86,85
15	72b	531-AN2609	Ocel	23.07.2019	26.07.2019	12,00	5	d	48	83,22
15	72c	531-AN2609	Ocel	23.07.2019	26.07.2019	12,00	5	d	48	88,68
15	72d	531-AN2609	Ocel	23.07.2019	26.07.2019	12,00	5	d	48	93,87
15	48a	531-AN2609	Ocel	24.07.2019	26.07.2019	12,00	5	d	48	82,46
15	48b	531-AN2609	Ocel	24.07.2019	26.07.2019	12,00	5	d	48	80,99
15	48c	531-AN2609	Ocel	24.07.2019	26.07.2019	12,00	5	d	48	79,49
15	48d	531-AN2609	Ocel	24.07.2019	26.07.2019	12,00	5	d	48	73,94
15	24a	531-AN2609	Ocel	25.07.2019	26.07.2019	12,00	5	d	48	45,81
15	24b	531-AN2609	Ocel	25.07.2019	26.07.2019	12,00	5	d	48	48,91
15	24c	531-AN2609	Ocel	25.07.2019	26.07.2019	12,00	5	d	48	45,24
15	24d	531-AN2609	Ocel	25.07.2019	26.07.2019	12,00	5	d	48	46,38
15	15a	531-AN2609	Ocel	25.07.2019	26.07.2019	12,00	5	d	48	4,73
15	15b	531-AN2609	Ocel	25.07.2019	26.07.2019	12,00	5	d	48	3,40
15	15c	531-AN2609	Ocel	25.07.2019	26.07.2019	12,00	5	d	48	9,24
15	15d	531-AN2609	Ocel	25.07.2019	26.07.2019	12,00	5	d	48	9,11

Tab. 8-2 Reference a jejich značení v Tab. 8-3

Značení v kapitole 7	[22]	[63]	[13]	[64]	[28]	[31]
Značení v Tab. 8-3	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Značení v kapitole 7	[65]	[29]	[32]	[66]		
Značení v Tab. 8-3	P7	P8	P9	P10		

Tab. 8-3 Databáze výsledků omezených a neomezených zkoušek zahrnující vlastní experimenty i experimenty publikované v odborné literatuře (viz příslušné reference)

ID	Typ zkoušky	Mezní tahové zatížení Nu [kN]	Průměr kot. Šroubu d [mm]	Průměr vrтанéh o otvoru d _o [mm]	Kotevní délka h _{ef} [mm]	Válcová pevnost betonu f _c [MPa]	Krychelná pevnost betonu f _{c,150} [MPa]	Krychelná pevnost betonu f _{c,200} [MPa]	Mezní napětí τ _{u,0} [MPa]	Mezní napětí τ _u	Poznámka / Popis vzorku	Ref.
1	neomezená	57,39	12	14	110	15,12	18,90		17,81	20,78	Hilti-HVU	P1
2	neomezená	60,15	12	14	110	15,12	18,90		17,81	20,78	Hilti-HVU	P1
3	neomezená	58,51	12	14	110	15,12	18,90		17,81	20,78	Hilti-HVU	P1
4	neomezená	53,13	12	14	110	21,52	26,90		17,81	20,78	Hilti-HVU	P1
5	neomezená	49,86	12	14	110	21,52	26,90		17,81	20,78	Hilti-HVU	P1
6	neomezená	46,31	12	14	110	21,52	26,90		17,81	20,78	Hilti-HVU	P1
7	neomezená	10,94	12	14	40	21,52	26,90		17,81	20,78	Hilti-HVU	P1
8	neomezená	28,02	12	14	60	21,52	26,90		17,81	20,78	Hilti-HVU	P1
9	neomezená	32,56	12	14	70	21,52	26,90		17,81	20,78	Hilti-HVU	P1
10	neomezená	39,65	12	14	80	21,52	26,90		17,81	20,78	Hilti-HVU	P1
11	neomezená	47,84	12	14	90	21,52	26,90		17,81	20,78	Hilti-HVU	P1
12	neomezená	52,18	12	14	100	21,52	26,90		17,81	20,78	Hilti-HVU	P1
13	neomezená	55,00	12	14	110	21,52	26,90		17,81	20,78	Hilti-HVU	P1
14	neomezená	8,67	12	14	50	14,8	18,50		17,81	20,78	Hilti-HVU	P1
15	neomezená	17,35	12	14	60	14,8	18,50		17,81	20,78	Hilti-HVU	P1
16	neomezená	20,93	12	14	70	14,8	18,50		17,81	20,78	Hilti-HVU	P1
17	neomezená	35,10	12	14	110	14,8	18,50		17,81	20,78	Hilti-HVU	P1
18	neomezená	10,94	12	14	40	23,52	29,40		17,81	20,78	Hilti-HVU	P1
19	neomezená	28,02	12	14	60	23,52	29,40		17,81	20,78	Hilti-HVU	P1
20	neomezená	32,56	12	14	70	23,52	29,40		17,81	20,78	Hilti-HVU	P1
21	neomezená	39,65	12	14	80	23,52	29,40		17,81	20,78	Hilti-HVU	P1
22	neomezená	47,84	12	14	90	23,52	29,40		17,81	20,78	Hilti-HVU	P1
23	neomezená	52,18	12	14	100	23,52	29,40		17,81	20,78	Hilti-HVU	P1
24	neomezená	53,00	12	14	110	23,52	29,40		17,81	20,78	Hilti-HVU	P1
25	neomezená	50,39	12	14	130	23,52	29,40		17,81	20,78	Hilti-HVU	P1
26	neomezená	45,32	10	12	90	15,12	18,90		17,81	21,37	Hilti-HVU	P1
27	neomezená	43,90	10	12	90	15,12	18,90		17,81	21,37	Hilti-HVU	P1
28	neomezená	69,97	16	18	125	15,12	18,90		17,81	20,04	Hilti-HVU	P1
29	neomezená	69,01	16	18	125	15,12	18,90		17,81	20,04	Hilti-HVU	P1
30	neomezená	65,06	16	18	125	15,12	18,90		17,81	20,04	Hilti-HVU	P1
31	neomezená	59,47	16	18	125	15,12	18,90		17,81	20,04	Hilti-HVU	P1
32	neomezená	63,01	16	18	125	21,52	26,90		17,81	20,04	Hilti-HVU	P1
33	neomezená	9,00	10	18	40	14,8	18,50		17,81	32,06	Hilti-HVU	P1
34	neomezená	11,63	10	18	50	14,8	18,50		17,81	32,06	Hilti-HVU	P1
35	neomezená	19,89	10	18	60	14,8	18,50		17,81	32,06	Hilti-HVU	P1
36	neomezená	17,62	10	18	70	14,8	18,50		17,81	32,06	Hilti-HVU	P1
37	neomezená	23,54	10	18	80	14,8	18,50		17,81	32,06	Hilti-HVU	P1
38	neomezená	37,72	10	18	90	14,8	18,50		17,81	32,06	Hilti-HVU	P1
39	neomezená	30,00	16	18	50	23,52	29,40		17,81	20,04	Hilti-HVU	P1
40	neomezená	45,57	16	18	90	23,52	29,40		17,81	20,04	Hilti-HVU	P1
41	neomezená	55,34	16	18	125	23,52	29,40		17,81	20,04	Hilti-HVU	P1
42	neomezená	15,42	16	18	50	28,856	36,07		17,81	20,04	Hilti-HVU	P1
43	neomezená	31,53	16	18	60	28,856	36,07		17,81	20,04	Hilti-HVU	P1
44	neomezená	38,27	16	18	70	28,856	36,07		17,81	20,04	Hilti-HVU	P1
45	neomezená	56,72	16	18	90	28,856	36,07		17,81	20,04	Hilti-HVU	P1
46	neomezená	78,54	16	18	125	28,856	36,07		17,81	20,04	Hilti-HVU	P1
47	neomezená	82,93	16	18	125	21,936	27,42		17,81	20,04	Spit Maxima 7	P1
48	neomezená	85,33	16	18	125	21,936	27,42		17,81	20,04	Spit Maxima 7	P1
49	neomezená	68,92	16	18	125	21,936	27,42		17,81	20,04	Spit Maxima 7	P1
50	neomezená	68,20	16	18	125	21,936	27,42		17,81	20,04	Spit Maxima 7	P1
51	neomezená	82,85	16	18	125	23,6	29,50		17,81	20,04	Spit Maxima 7	P1
52	neomezená	86,83	16	18	125	23,6	29,50		17,81	20,04	Spit Maxima 7	P1
53	neomezená	77,48	16	18	125	21,936	27,42		16,72	18,81	Hilti -HIT-HY 150	P1
54	neomezená	91,18	16	18	125	18,272	22,84		16,72	18,81	Hilti -HIT-HY 150	P1
55	neomezená	88,55	16	18	125	18,272	22,84		16,72	18,81	Hilti -HIT-HY 150	P1
56	neomezená	89,58	16	18	125	18,272	22,84		16,72	18,81	Hilti -HIT-HY 150	P1
57	neomezená	68,51	16	18	125	19,192	23,99		16,72	18,81	Hilti -HIT-HY 150	P1
58	neomezená	64,85	16	18	125	19,192	23,99		16,72	18,81	Hilti -HIT-HY 150	P1
59	neomezená	117,42	16	18	125	21,936	27,42		25,60	28,80	Hilti -HIT-RE 500	P1
60	neomezená	111,07	16	18	125	21,936	27,42		25,60	28,80	Hilti -HIT-RE 500	P1
61	neomezená	118,06	16	18	125	21,936	27,42		25,60	28,80	Hilti -HIT-RE 500	P1
62	neomezená	114,86	16	18	125	23,6	29,50		25,60	28,80	Hilti -HIT-RE 500	P1
63	neomezená	110,14	16	18	125	23,6	29,50		25,60	28,80	Hilti -HIT-RE 500	P1
64	neomezená	110,70	16	18	125	23,6	29,50		25,60	28,80	Hilti -HIT-RE 500	P1

ID	Typ zkoušky	Mezní tahové zatížení Nu [kN]	Průměr šroubu d [mm]	Průměr vrtaného otvoru d _o [mm]	Kotevní délka h _{ef} [mm]	Válcová pevnost betonu f _c [MPa]	Krychelná pevnost betonu f _{c,150} [MPa]	Krychelná pevnost betonu f _{c,200} [MPa]	Mezní napětí τ _{u,0} [MPa]	Mezní napětí τ _u	Poznámka / Popis vzorku	Ref.
65	neomezená	46,30	12	14	75	19,52	24,40		14,06	16,40		P2
66	neomezená	35,23	12	14	50	85,52	106,90		16,03	18,70		P2
67	neomezená	50,70	12	14	50	106,24	132,80		23,06	26,90		P2
68	neomezená	43,19	12	14	50	87,36	109,20		19,63	22,90		P2
69	neomezená	44,59	12	14	50	89,36	111,70		20,31	23,70		P2
70	neomezená	60,44	12	14	75	89,36	111,70		18,34	21,40		P2
71	neomezená	45,06	12,7	14,2875	88,9	37,03175	46,29		6,60	7,42		P3
72	neomezená	39,99	12,7	14,2875	88,9	37,03175	46,29		6,60	7,42		P3
73	neomezená	41,95	12,7	14,2875	88,9	37,03175	46,29		6,60	7,42		P3
74	neomezená	54,98	15,875	19,05	127	37,03175	46,29		7,20	8,64		P3
75	neomezená	37,90	15,875	19,05	127	37,03175	46,29		7,20	8,64		P3
76	neomezená	45,02	15,875	19,05	127	37,03175	46,29		7,20	8,64		P3
77	neomezená	112,14	19,05	22,225	177,8	37,03175	46,29		7,24	8,45		P3
78	neomezená	109,47	19,05	22,225	177,8	37,03175	46,29		7,24	8,45		P3
79	neomezená	92,97	19,05	22,225	177,8	37,03175	46,29		7,24	8,45		P3
80	neomezená	65,70	12,7	14,2875	88,9	37,03175	46,29		10,28	11,56		P3
81	neomezená	66,50	12,7	14,2875	88,9	37,03175	46,29		10,28	11,56		P3
82	neomezená	65,57	12,7	14,2875	88,9	37,03175	46,29		10,28	11,56		P3
83	neomezená	51,02	15,875	19,05	127	37,03175	46,29		8,26	9,91		P3
84	neomezená	55,82	15,875	19,05	127	37,03175	46,29		8,26	9,91		P3
85	neomezená	51,29	15,875	19,05	127	37,03175	46,29		8,26	9,91		P3
86	neomezená	112,09	19,05	22,225	177,8	37,03175	46,29		7,32	8,53		P3
87	neomezená	104,80	19,05	22,225	177,8	37,03175	46,29		7,32	8,53		P3
88	neomezená	101,06	19,05	22,225	177,8	37,03175	46,29		7,32	8,53		P3
89	neomezená	24,82	12,7	14,2875	88,9	37,03175	46,29		4,98	5,60		P3
90	neomezená	35,67	12,7	14,2875	88,9	37,03175	46,29		4,98	5,60		P3
91	neomezená	35,32	12,7	14,2875	88,9	37,03175	46,29		4,98	5,60		P3
92	neomezená	24,51	15,875	19,05	127	37,03175	46,29		6,57	7,88		P3
93	neomezená	28,65	15,875	19,05	127	37,03175	46,29		6,57	7,88		P3
94	neomezená	41,95	15,875	19,05	127	37,03175	46,29		6,57	7,88		P3
95	neomezená	64,54	19,05	22,225	177,8	37,03175	46,29		4,90	5,72		P3
96	neomezená	59,07	19,05	22,225	177,8	37,03175	46,29		4,90	5,72		P3
97	neomezená	89,28	19,05	22,225	177,8	37,03175	46,29		4,90	5,72		P3
98	neomezená	75,13	12,7	14,2875	88,9	37,03175	46,29		10,64	11,97		P3
99	neomezená	70,06	12,7	14,2875	88,9	37,03175	46,29		10,64	11,97		P3
100	neomezená	59,52	12,7	14,2875	88,9	37,03175	46,29		10,64	11,97		P3
101	neomezená	38,65	15,875	19,05	127	37,03175	46,29		6,54	7,85		P3
102	neomezená	40,79	15,875	19,05	127	37,03175	46,29		6,54	7,85		P3
103	neomezená	45,91	15,875	19,05	127	37,03175	46,29		6,54	7,85		P3
104	neomezená	115,03	19,05	22,225	177,8	37,03175	46,29		7,06	8,24		P3
105	neomezená	95,37	19,05	22,225	177,8	37,03175	46,29		7,06	8,24		P3
106	neomezená	96,53	19,05	22,225	177,8	37,03175	46,29		7,06	8,24		P3
107	neomezená	71,04	12,7	14,2875	88,9	37,03175	46,29		11,37	12,79		P3
108	neomezená	75,00	12,7	14,2875	88,9	37,03175	46,29		11,37	12,79		P3
109	neomezená	72,28	12,7	14,2875	88,9	37,03175	46,29		11,37	12,79		P3
110	neomezená	94,97	15,875	19,05	127	37,03175	46,29		14,47	17,37		P3
111	neomezená	91,81	15,875	19,05	127	37,03175	46,29		14,47	17,37		P3
112	neomezená	90,43	15,875	19,05	127	37,03175	46,29		14,47	17,37		P3
113	neomezená	175,39	19,05	22,225	177,8	37,03175	46,29		11,79	13,76		P3
114	neomezená	159,65	19,05	22,225	177,8	37,03175	46,29		11,79	13,76		P3
115	neomezená	177,57	19,05	22,225	177,8	37,03175	46,29		11,79	13,76		P3
116	neomezená	77,31	12,7	14,2875	88,9	37,03175	46,29		12,06	13,57		P3
117	neomezená	78,47	12,7	14,2875	88,9	37,03175	46,29		12,06	13,57		P3
118	neomezená	76,33	12,7	14,2875	88,9	37,03175	46,29		12,06	13,57		P3
119	neomezená	68,24	15,875	19,05	127	37,03175	46,29		11,27	13,53		P3
120	neomezená	58,72	15,875	19,05	127	37,03175	46,29		11,27	13,53		P3
121	neomezená	89,01	15,875	19,05	127	37,03175	46,29		11,27	13,53		P3
122	neomezená	113,65	19,05	22,225	177,8	37,03175	46,29		7,88	9,20		P3
123	neomezená	120,77	19,05	22,225	177,8	37,03175	46,29		7,88	9,20		P3
124	neomezená	108,40	19,05	22,225	177,8	37,03175	46,29		7,88	9,20		P3
125	neomezená	60,45	12,7	14,2875	88,9	37,03175	46,29		9,98	11,23		P3
126	neomezená	61,74	12,7	14,2875	88,9	37,03175	46,29		9,98	11,23		P3
127	neomezená	69,84	12,7	14,2875	88,9	37,03175	46,29		9,98	11,23		P3
128	neomezená	54,67	15,875	19,05	127	37,03175	46,29		10,01	12,02		P3
129	neomezená	61,74	15,875	19,05	127	37,03175	46,29		10,01	12,02		P3
130	neomezená	75,44	15,875	19,05	127	37,03175	46,29		10,01	12,02		P3
131	neomezená	169,83	19,05	22,225	177,8	37,03175	46,29		11,14	13,00		P3
132	neomezená	161,02	19,05	22,225	177,8	37,03175	46,29		11,14	13,00		P3
133	neomezená	152,88	19,05	22,225	177,8	37,03175	46,29		11,14	13,00		P3
134	neomezená	44,48	12,7	14,2875	88,9	37,03175	46,29		6,49	7,30		P3
135	neomezená	43,41	12,7	14,2875	88,9	37,03175	46,29		6,49	7,30		P3
136	neomezená	36,96	12,7	14,2875	88,9	37,03175	46,29		6,49	7,30		P3
137	neomezená	34,16	15,875	19,05	127	37,03175	46,29		5,81	6,98		P3
138	neomezená	40,08	15,875	19,05	127	37,03175	46,29		5,81	6,98		P3
139	neomezená	57,78	19,05	22,225	177,8	37,03175	46,29		3,85	4,49		P3
140	neomezená	53,69	19,05	22,225	177,8	37,03175	46,29		3,85	4,49		P3

ID	Typ zkoušky	Mezní tahové zatížení Nu [kN]	Průměr kot. šroubu d [mm]	Průměr vrtaného otvoru d ₀ [mm]	Kotevní délka h _{ef} [mm]	Válcová pevnost betonu f _c [MPa]	Krychelná pevnost betonu f _{c,150} [MPa]	Krychelná pevnost betonu f _{c,200} [MPa]	Mezní napětí τ _{u,0} [MPa]	Mezní napětí τ _u	Poznámka / Popis vzorku	Ref.
141	neomezená	40,08	12,7	14,2875	88,9	37,03175	46,29		7,17	8,07		P3
142	neomezená	44,26	12,7	14,2875	88,9	37,03175	46,29		7,17	8,07		P3
143	neomezená	53,60	12,7	14,2875	88,9	37,03175	46,29		7,17	8,07		P3
144	neomezená	45,82	15,875	19,05	127	37,03175	46,29		8,78	10,53		P3
145	neomezená	59,29	15,875	19,05	127	37,03175	46,29		8,78	10,53		P3
146	neomezená	62,99	15,875	19,05	127	37,03175	46,29		8,78	10,53		P3
147	neomezená	103,60	19,05	22,225	177,8	37,03175	46,29		6,98	8,15		P3
148	neomezená	96,70	19,05	22,225	177,8	37,03175	46,29		6,98	8,15		P3
149	neomezená	103,15	19,05	22,225	177,8	37,03175	46,29		6,98	8,15		P3
150	neomezená	45,64	12,7	14,2875	88,9	37,03175	46,29		7,19	8,09		P3
151	neomezená	51,95	12,7	14,2875	88,9	37,03175	46,29		7,19	8,09		P3
152	neomezená	40,88	12,7	14,2875	88,9	37,03175	46,29		7,19	8,09		P3
153	neomezená	60,14	15,875	19,05	127	37,03175	46,29		8,74	10,49		P3
154	neomezená	49,55	15,875	19,05	127	37,03175	46,29		8,74	10,49		P3
155	neomezená	57,78	15,875	19,05	127	37,03175	46,29		8,74	10,49		P3
156	neomezená	117,43	19,05	22,225	177,8	37,03175	46,29		7,81	9,11		P3
157	neomezená	114,59	19,05	22,225	177,8	37,03175	46,29		7,81	9,11		P3
158	neomezená	107,38	19,05	22,225	177,8	37,03175	46,29		7,81	9,11		P3
159	neomezená	69,57	12,7	14,2875	88,9	37,03175	46,29		10,80	12,15		P3
160	neomezená	64,94	12,7	14,2875	88,9	37,03175	46,29		10,80	12,15		P3
161	neomezená	73,26	12,7	14,2875	88,9	37,03175	46,29		10,80	12,15		P3
162	neomezená	81,62	15,875	19,05	127	37,03175	46,29		13,16	15,79		P3
163	neomezená	86,12	15,875	19,05	127	37,03175	46,29		13,16	15,79		P3
164	neomezená	84,38	15,875	19,05	127	37,03175	46,29		13,16	15,79		P3
165	neomezená	156,00	19,05	22,225	177,8	37,03175	46,29		11,01	12,84		P3
166	neomezená	163,52	19,05	22,225	177,8	37,03175	46,29		11,01	12,84		P3
167	neomezená	158,93	19,05	22,225	177,8	37,03175	46,29		11,01	12,84		P3
168	neomezená	67,84	12,7	14,2875	88,9	37,03175	46,29		10,94	12,31		P3
169	neomezená	63,34	12,7	14,2875	88,9	37,03175	46,29		10,94	12,31		P3
170	neomezená	70,15	12,7	14,2875	88,9	37,03175	46,29		10,94	12,31		P3
171	neomezená	86,07	15,875	19,05	127	37,03175	46,29		13,15	15,78		P3
172	neomezená	83,23	15,875	19,05	127	37,03175	46,29		13,15	15,78		P3
173	neomezená	82,60	15,875	19,05	127	37,03175	46,29		13,15	15,78		P3
174	neomezená	146,26	19,05	22,225	177,8	37,03175	46,29		9,70	11,32		P3
175	neomezená	142,52	19,05	22,225	177,8	37,03175	46,29		9,70	11,32		P3
176	neomezená	132,87	19,05	22,225	177,8	37,03175	46,29		9,70	11,32		P3
177	neomezená	55,60	12,7	14,2875	88,9	37,03175	46,29		7,54	8,48		P3
178	neomezená	42,48	12,7	14,2875	88,9	37,03175	46,29		7,54	8,48		P3
179	neomezená	46,97	12,7	14,2875	88,9	37,03175	46,29		7,54	8,48		P3
180	neomezená	40,75	15,875	19,05	127	37,03175	46,29		7,32	8,79		P3
181	neomezená	49,46	15,875	19,05	127	37,03175	46,29		7,32	8,79		P3
182	neomezená	50,18	15,875	19,05	127	37,03175	46,29		7,32	8,79		P3
183	neomezená	91,68	19,05	22,225	177,8	37,03175	46,29		7,41	8,65		P3
184	neomezená	142,56	19,05	22,225	177,8	37,03175	46,29		7,41	8,65		P3
185	neomezená	87,90	19,05	22,225	177,8	37,03175	46,29		7,41	8,65		P3
186	neomezená	53,82	12,7	14,2875	88,9	37,03175	46,29		7,51	8,45		P3
187	neomezená	45,46	12,7	14,2875	88,9	37,03175	46,29		7,51	8,45		P3
188	neomezená	45,15	12,7	14,2875	88,9	37,03175	46,29		7,51	8,45		P3
189	neomezená	40,35	15,875	19,05	127	37,03175	46,29		6,71	8,05		P3
190	neomezená	45,33	15,875	19,05	127	37,03175	46,29		6,71	8,05		P3
191	neomezená	42,79	15,875	19,05	127	37,03175	46,29		6,71	8,05		P3
192	neomezená	87,36	19,05	22,225	177,8	37,03175	46,29		6,31	7,36		P3
193	neomezená	76,02	19,05	22,225	177,8	37,03175	46,29		6,31	7,36		P3
194	neomezená	110,85	19,05	22,225	177,8	37,03175	46,29		6,31	7,36		P3
195	neomezená	68,10	12,7	14,2875	88,9	37,03175	46,29		10,18	11,45		P3
196	neomezená	66,72	12,7	14,2875	88,9	37,03175	46,29		10,18	11,45		P3
197	neomezená	61,03	12,7	14,2875	88,9	37,03175	46,29		10,18	11,45		P3
198	neomezená	91,05	15,875	19,05	127	37,03175	46,29		12,94	15,53		P3
199	neomezená	80,78	15,875	19,05	127	37,03175	46,29		12,94	15,53		P3
200	neomezená	76,02	15,875	19,05	127	37,03175	46,29		12,94	15,53		P3
201	neomezená	142,97	19,05	22,225	177,8	37,03175	46,29		8,70	10,15		P3
202	neomezená	103,55	19,05	22,225	177,8	37,03175	46,29		8,70	10,15		P3
203	neomezená	131,71	19,05	22,225	177,8	37,03175	46,29		8,70	10,15		P3
204	neomezená	32,47	12,7	14,2875	88,9	37,03175	46,29		5,22	5,87		P3
205	neomezená	32,12	12,7	14,2875	88,9	37,03175	46,29		5,22	5,87		P3
206	neomezená	35,94	12,7	14,2875	88,9	37,03175	46,29		5,22	5,87		P3
207	neomezená	35,99	15,875	19,05	127	37,03175	46,29		9,34	11,20		P3
208	neomezená	72,02	15,875	19,05	127	37,03175	46,29		9,34	11,20		P3
209	neomezená	70,82	15,875	19,05	127	37,03175	46,29		9,34	11,20		P3
210	neomezená	115,65	19,05	22,225	177,8	37,03175	46,29		8,18	9,54		P3
211	neomezená	111,83	19,05	22,225	177,8	37,03175	46,29		8,18	9,54		P3
212	neomezená	127,89	19,05	22,225	177,8	37,03175	46,29		8,18	9,54		P3

ID	Typ zkoušky	Mezní tahové zatížení Nu [kN]	Průměr kot. Šroubu d [mm]	Průměr vrtanéh o otvoru d ₀ [mm]	Kotevní délka h _{ef} [mm]	Válcová pevnost betonu f _c [MPa]	Krychelná pevnost betonu f _{c,150} [MPa]	Krychelná pevnost betonu f _{c,200} [MPa]	Mezní napětí τ _{u,0} [MPa]	Mezní napětí τ _u	Poznámka / Popis vzorku	Ref.
213	neomezená	23,50	12	16	60	25	31,25		10,80	14,40		P4
214	neomezená	15,70	12	16	60	25	31,25		7,80	10,40		P4
215	neomezená	24,80	12	16	60	25	31,25		8,40	11,20		P4
216	neomezená	16,00	12	16	60	25	31,25		8,10	10,80		P4
217	neomezená	27,80	12	16	60	25	31,25		8,00	10,67		P4
218	neomezená	14,80	12	16	60	25	31,25		7,95	10,60		P4
219	neomezená	28,50	12	16	60	25	31,25		8,10	10,80		P4
220	neomezená	20,00	12	16	60	25	31,25		7,70	10,27		P4
221	neomezená	18,80	12	16	60	25	31,25		7,70	10,27		P4
222	neomezená	28,90	12	16	60	25	31,25		6,10	8,13		P4
223	neomezená	58,90	12	16	120	25	31,25		10,80	14,40		P4
224	neomezená	48,50	12	16	120	25	31,25		7,80	10,40		P4
225	neomezená	54,30	12	16	120	25	31,25		8,40	11,20		P4
226	neomezená	43,00	12	16	120	25	31,25		8,10	10,80		P4
227	neomezená	53,00	12	16	120	25	31,25		8,00	10,67		P4
228	neomezená	45,40	12	16	120	25	31,25		7,95	10,60		P4
229	neomezená	46,30	12	16	120	25	31,25		8,10	10,80		P4
230	neomezená	36,00	12	16	120	25	31,25		7,70	10,27		P4
231	neomezená	42,10	12	16	120	25	31,25		7,70	10,27		P4
232	neomezená	27,90	12	16	120	25	31,25		6,10	8,13		P4
233	neomezená	66,50	12	16	180	25	31,25		10,80	14,40		P4
234	neomezená	55,40	12	16	180	25	31,25		7,80	10,40		P4
235	neomezená	62,10	12	16	180	25	31,25		8,40	11,20		P4
236	neomezená	64,60	12	16	180	25	31,25		8,10	10,80		P4
237	neomezená	65,00	12	16	180	25	31,25		8,00	10,67		P4
238	neomezená	62,90	12	16	180	25	31,25		7,95	10,60		P4
239	neomezená	58,00	12	16	180	25	31,25		8,10	10,80		P4
240	neomezená	50,20	12	16	180	25	31,25		7,70	10,27		P4
241	neomezená	56,70	12	16	180	25	31,25		7,70	10,27		P4
242	neomezená	42,60	12	16	180	25	31,25		6,10	8,13		P4
243	neomezená	77,10	12	16	240	25	31,25		10,80	14,40		P4
244	neomezená	59,80	12	16	240	25	31,25		7,80	10,40		P4
245	neomezená	47,90	12	16	240	25	31,25		8,40	11,20		P4
246	neomezená	64,40	12	16	240	25	31,25		8,10	10,80		P4
247	neomezená	73,40	12	16	240	25	31,25		8,00	10,67		P4
248	neomezená	75,60	12	16	240	25	31,25		7,95	10,60		P4
249	neomezená	62,90	12	16	240	25	31,25		8,10	10,80		P4
250	neomezená	63,00	12	16	240	25	31,25		7,70	10,27		P4
251	neomezená	53,80	12	16	240	25	31,25		7,70	10,27		P4
252	neomezená	54,50	12	16	240	25	31,25		6,10	8,13		P4
253	neomezená	49,30	16	20	80	25	31,25		10,80	13,50		P4
254	neomezená	33,20	16	20	80	25	31,25		7,80	9,75		P4
255	neomezená	36,40	16	20	80	25	31,25		8,40	10,50		P4
256	neomezená	37,10	16	20	80	25	31,25		8,10	10,13		P4
257	neomezená	58,00	16	20	80	25	31,25		8,00	10,00		P4
258	neomezená	28,10	16	20	80	25	31,25		7,95	9,94		P4
259	neomezená	41,20	16	20	80	25	31,25		8,10	10,13		P4
260	neomezená	32,00	16	20	80	25	31,25		7,70	9,63		P4
261	neomezená	24,00	16	20	80	25	31,25		7,70	9,63		P4
262	neomezená	38,90	16	20	80	25	31,25		6,10	7,63		P4
263	neomezená	87,30	16	20	160	25	31,25		10,80	13,50		P4
264	neomezená	63,70	16	20	160	25	31,25		7,80	9,75		P4
265	neomezená	82,60	16	20	160	25	31,25		8,40	10,50		P4
266	neomezená	82,60	16	20	160	25	31,25		8,10	10,13		P4
267	neomezená	95,00	16	20	160	25	31,25		8,00	10,00		P4
268	neomezená	68,30	16	20	160	25	31,25		7,95	9,94		P4
269	neomezená	67,70	16	20	160	25	31,25		8,10	10,13		P4
270	neomezená	63,90	16	20	160	25	31,25		7,70	9,63		P4
271	neomezená	67,20	16	20	160	25	31,25		7,70	9,63		P4
272	neomezená	31,70	16	20	160	25	31,25		6,10	7,63		P4
273	neomezená	103,60	16	20	240	25	31,25		10,80	13,50		P4
274	neomezená	93,10	16	20	240	25	31,25		7,80	9,75		P4
275	neomezená	78,60	16	20	240	25	31,25		8,40	10,50		P4
276	neomezená	88,40	16	20	240	25	31,25		8,10	10,13		P4
277	neomezená	101,50	16	20	240	25	31,25		8,00	10,00		P4
278	neomezená	74,80	16	20	240	25	31,25		7,95	9,94		P4
279	neomezená	88,20	16	20	240	25	31,25		8,10	10,13		P4
280	neomezená	82,70	16	20	240	25	31,25		7,70	9,63		P4
281	neomezená	71,50	16	20	240	25	31,25		7,70	9,63		P4
282	neomezená	45,70	16	20	240	25	31,25		6,10	7,63		P4
283	neomezená	162,60	16	20	320	25	31,25		10,80	13,50		P4
284	neomezená	85,00	16	20	320	25	31,25		7,80	9,75		P4
285	neomezená	121,00	16	20	320	25	31,25		8,40	10,50		P4
286	neomezená	97,90	16	20	320	25	31,25		8,10	10,13		P4
287	neomezená	123,10	16	20	320	25	31,25		8,00	10,00		P4
288	neomezená	73,70	16	20	320	25	31,25		7,95	9,94		P4
289	neomezená	137,20	16	20	320	25	31,25		8,10	10,13		P4
290	neomezená	110,80	16	20	320	25	31,25		7,70	9,63		P4

ID	Typ zkoušky	Mezní tahové zatížení [kN]	Průměr kot. Šroubu d [mm]	Průměr vrtanéh o otvoru d ₀ [mm]	Kotevní délka h _{ef} [mm]	Válcová pevnost betonu f _c [MPa]	Krychelná pevnost betonu f _{c,150} [MPa]	Krychelná pevnost betonu f _{c,200} [MPa]	Mezní napětí τ _{u,0} [MPa]	Mezní napětí τ _u	Poznámka / Popis vzorku	Ref.
291	neomezená	62,80	16	20	320	25	31,25		7,70	9,63		P4
292	neomezená	48,10	16	20	320	25	31,25		6,10	7,63		P4
293	neomezená	95,20	20	24	100	25	31,25		10,80	12,96		P4
294	neomezená	51,00	20	24	100	25	31,25		7,80	9,36		P4
295	neomezená	43,60	20	24	100	25	31,25		8,40	10,08		P4
296	neomezená	45,20	20	24	100	25	31,25		8,10	9,72		P4
297	neomezená	19,30	20	24	100	25	31,25		8,00	9,60		P4
298	neomezená	54,00	20	24	100	25	31,25		7,95	9,54		P4
299	neomezená	60,00	20	24	100	25	31,25		8,10	9,72		P4
300	neomezená	53,10	20	24	100	25	31,25		7,70	9,24		P4
301	neomezená	68,20	20	24	100	25	31,25		7,70	9,24		P4
302	neomezená	19,10	20	24	100	25	31,25		6,10	7,32		P4
303	neomezená	145,00	20	24	200	25	31,25		10,80	12,96		P4
304	neomezená	84,90	20	24	200	25	31,25		7,80	9,36		P4
305	neomezená	89,30	20	24	200	25	31,25		8,40	10,08		P4
306	neomezená	109,90	20	24	200	25	31,25		8,10	9,72		P4
307	neomezená	27,70	20	24	200	25	31,25		8,00	9,60		P4
308	neomezená	95,50	20	24	200	25	31,25		7,95	9,54		P4
309	neomezená	144,00	20	24	200	25	31,25		8,10	9,72		P4
310	neomezená	125,20	20	24	200	25	31,25		7,70	9,24		P4
311	neomezená	114,40	20	24	200	25	31,25		7,70	9,24		P4
312	neomezená	75,20	20	24	200	25	31,25		6,10	7,32		P4
313	neomezená	152,50	20	24	300	25	31,25		10,80	12,96		P4
314	neomezená	125,90	20	24	300	25	31,25		7,80	9,36		P4
315	neomezená	154,30	20	24	300	25	31,25		8,40	10,08		P4
316	neomezená	164,60	20	24	300	25	31,25		8,10	9,72		P4
317	neomezená	69,60	20	24	300	25	31,25		8,00	9,60		P4
318	neomezená	170,30	20	24	300	25	31,25		7,95	9,54		P4
319	neomezená	167,40	20	24	300	25	31,25		8,10	9,72		P4
320	neomezená	161,10	20	24	300	25	31,25		7,70	9,24		P4
321	neomezená	148,90	20	24	300	25	31,25		7,70	9,24		P4
322	neomezená	73,50	20	24	300	25	31,25		6,10	7,32		P4
323	neomezená	176,70	20	24	400	25	31,25		10,80	12,96		P4
324	neomezená	158,10	20	24	400	25	31,25		7,80	9,36		P4
325	neomezená	165,30	20	24	400	25	31,25		8,40	10,08		P4
326	neomezená	154,70	20	24	400	25	31,25		8,10	9,72		P4
327	neomezená	36,70	20	24	400	25	31,25		8,00	9,60		P4
328	neomezená	127,60	20	24	400	25	31,25		7,95	9,54		P4
329	neomezená	169,00	20	24	400	25	31,25		8,10	9,72		P4
330	neomezená	70,40	20	24	400	25	31,25		7,70	9,24		P4
331	neomezená	158,40	20	24	400	25	31,25		7,70	9,24		P4
332	neomezená	48,20	20	24	400	25	31,25		6,10	7,32		P4
333	neomezená	117,50	24	28	120	25	31,25		10,80	12,60		P4
334	neomezená	90,20	24	28	120	25	31,25		7,80	9,10		P4
335	neomezená	95,50	24	28	120	25	31,25		8,40	9,80		P4
336	neomezená	85,70	24	28	120	25	31,25		8,10	9,45		P4
337	neomezená	102,90	24	28	120	25	31,25		8,00	9,33		P4
338	neomezená	79,40	24	28	120	25	31,25		7,95	9,28		P4
339	neomezená	33,00	24	28	120	25	31,25		8,10	9,45		P4
340	neomezená	36,90	24	28	120	25	31,25		7,70	8,98		P4
341	neomezená	35,30	24	28	120	25	31,25		7,70	8,98		P4
342	neomezená	73,50	24	28	120	25	31,25		6,10	7,12		P4
343	neomezená	253,50	24	28	240	25	31,25		10,80	12,60		P4
344	neomezená	165,80	24	28	240	25	31,25		7,80	9,10		P4
345	neomezená	209,90	24	28	240	25	31,25		8,40	9,80		P4
346	neomezená	171,00	24	28	240	25	31,25		8,10	9,45		P4
347	neomezená	110,80	24	28	240	25	31,25		8,00	9,33		P4
348	neomezená	178,60	24	28	240	25	31,25		7,95	9,28		P4
349	neomezená	71,00	24	28	240	25	31,25		8,10	9,45		P4
350	neomezená	127,00	24	28	240	25	31,25		7,70	8,98		P4
351	neomezená	122,90	24	28	240	25	31,25		7,70	8,98		P4
352	neomezená	130,70	24	28	240	25	31,25		6,10	7,12		P4
353	neomezená	282,80	24	28	360	25	31,25		10,80	12,60		P4
354	neomezená	242,00	24	28	360	25	31,25		7,80	9,10		P4
355	neomezená	260,70	24	28	360	25	31,25		8,40	9,80		P4
356	neomezená	219,50	24	28	360	25	31,25		8,10	9,45		P4
357	neomezená	230,40	24	28	360	25	31,25		8,00	9,33		P4
358	neomezená	237,90	24	28	360	25	31,25		7,95	9,28		P4
359	neomezená	216,60	24	28	360	25	31,25		8,10	9,45		P4
360	neomezená	227,10	24	28	360	25	31,25		7,70	8,98		P4
361	neomezená	234,70	24	28	360	25	31,25		7,70	8,98		P4
362	neomezená	254,00	24	28	360	25	31,25		6,10	7,12		P4
363	neomezená	267,80	24	28	480	25	31,25		10,80	12,60		P4
364	neomezená	215,00	24	28	480	25	31,25		7,80	9,10		P4
365	neomezená	207,80	24	28	480	25	31,25		8,40	9,80		P4
366	neomezená	269,60	24	28	480	25	31,25		8,10	9,45		P4
367	neomezená	284,80	24	28	480	25	31,25		8,00	9,33		P4
368	neomezená	269,70	24	28	480	25	31,25		7,95	9,28		P4
369	neomezená	229,30	24	28	480	25	31,25		8,10	9,45		P4
370	neomezená	283,70	24	28	480	25	31,25		7,70	8,98		P4
371	neomezená	279,30	24	28	480	25	31,25		7,70	8,98		P4
372	neomezená	248,00	24	28	480	25	31,25		6,10	7,12		P4

ID	Typ zkoušky	Mezní tahové zatížení Nu [kN]	Průměr kot. Šroubu d [mm]	Průměr vrtanéh o otvoru d _o [mm]	Kotevní délka h _{ef} [mm]	Válcová pevnost betonu f _c [MPa]	Krychelná pevnost betonu f _{c,150} [MPa]	Krychelná pevnost betonu f _{c,200} [MPa]	Mezní napětí τ _{u,0} [MPa]	Mezní napětí τ _u	Poznámka / Popis vzorku	Ref.
373	neomezená	64,10	15,875	19,05	101,6	44,9917	56,24		10,26	12,31		P5
374	neomezená	88,14	15,875	19,05	101,6	44,9917	56,24		14,61	17,53		P5
375	neomezená	56,92	15,875	19,05	101,6	40,66478	50,83		10,78	12,94		P5
376	neomezená	112,58	15,875	19,05	101,6	41,38823	51,74		16,59	19,91		P5
377	neomezená	65,86	15,875	19,05	101,6	47,97507	59,97		10,55	12,66		P5
378	neomezená	144,22	15,875	19,05	101,6	40,66478	50,83		21,60	25,92		P5
379	neomezená	122,28	15,875	19,05	101,6	41,09885	51,37		21,21	25,45		P5
380	neomezená	9,20	15,875	19,05	101,6	43,79973	54,75		2,32	2,78		P5
381	neomezená	39,91	15,875	19,05	101,6	43,2692	54,09		5,96	7,15		P5
382	neomezená	69,06	15,875	19,05	101,6	45,46022	56,83		11,77	14,12		P5
383	neomezená	101,98	15,875	19,05	101,6	41,38823	51,74		16,42	19,70		P5
384	neomezená	64,13	15,875	19,05	101,6	47,97507	59,97		10,03	12,04		P5
385	neomezená	121,49	15,875	19,05	101,6	45,37065	56,71		14,19	17,03		P5
386	neomezená	32,63	15,875	19,05	101,6	39,12142	48,90		10,98	13,18		P5
387	neomezená	112,88	15,875	19,05	101,6	50,33834	62,92		22,82	27,38		P5
388	neomezená	81,41	15,875	19,05	101,6	51,84725	64,81		17,03	20,44		P5
389	neomezená	83,03	15,875	19,05	101,6	45,37065	56,71		22,56	27,07		P5
390	neomezená	10,75	15,875	19,05	101,6	54,20363	67,75		1,86	2,23		P5
391	neomezená	64,02	15,875	19,05	101,6	50,33834	62,92		14,07	16,88		P5
392	neomezená	71,74	15,875	19,05	101,6	51,84725	64,81		17,59	21,11		P5
393	neomezená	65,03	15,875	19,05	101,6	44,9917	56,24		10,26	12,31		P5
394	neomezená	82,96	15,875	19,05	101,6	44,9917	56,24		14,61	17,53		P5
395	neomezená	60,38	15,875	19,05	101,6	40,66478	50,83		10,78	12,94		P5
396	neomezená	113,29	15,875	19,05	101,6	41,38823	51,74		16,59	19,91		P5
397	neomezená	58,14	15,875	19,05	101,6	47,97507	59,97		10,55	12,66		P5
398	neomezená	124,18	15,875	19,05	101,6	40,66478	50,83		21,60	25,92		P5
399	neomezená	129,52	15,875	19,05	101,6	41,09885	51,37		21,21	25,45		P5
400	neomezená	14,50	15,875	19,05	101,6	43,79973	54,75		2,32	2,78		P5
401	neomezená	47,14	15,875	19,05	101,6	43,2692	54,09		5,96	7,15		P5
402	neomezená	71,04	15,875	19,05	101,6	45,46022	56,83		11,77	14,12		P5
403	neomezená	95,68	15,875	19,05	101,6	41,38823	51,74		16,42	19,70		P5
404	neomezená	63,92	15,875	19,05	101,6	47,97507	59,97		10,03	12,04		P5
405	neomezená	87,06	15,875	19,05	101,6	45,37065	56,71		14,19	17,03		P5
406	neomezená	67,78	15,875	19,05	101,6	39,12142	48,90		10,98	13,18		P5
407	neomezená	121,65	15,875	19,05	101,6	50,33834	62,92		22,82	27,38		P5
408	neomezená	89,73	15,875	19,05	101,6	51,84725	64,81		17,03	20,44		P5
409	neomezená	127,20	15,875	19,05	101,6	45,37065	56,71		22,56	27,07		P5
410	neomezená	13,84	15,875	19,05	101,6	54,20363	67,75		1,86	2,23		P5
411	neomezená	58,08	15,875	19,05	101,6	50,33834	62,92		14,07	16,88		P5
412	neomezená	67,90	15,875	19,05	101,6	51,84725	64,81		17,59	21,11		P5
413	neomezená	69,08	15,875	19,05	101,6	44,9917	56,24		10,26	12,31		P5
414	neomezená	89,17	15,875	19,05	101,6	44,9917	56,24		14,61	17,53		P5
415	neomezená	77,48	15,875	19,05	101,6	40,66478	50,83		10,78	12,94		P5
416	neomezená	107,74	15,875	19,05	101,6	41,38823	51,74		16,59	19,91		P5
417	neomezená	63,49	15,875	19,05	101,6	47,97507	59,97		10,55	12,66		P5
418	neomezená	129,45	15,875	19,05	101,6	40,66478	50,83		21,60	25,92		P5
419	neomezená	133,66	15,875	19,05	101,6	41,09885	51,37		21,21	25,45		P5
420	neomezená	15,29	15,875	19,05	101,6	43,79973	54,75		2,32	2,78		P5
421	neomezená	18,47	15,875	19,05	101,6	43,2692	54,09		5,96	7,15		P5
422	neomezená	81,28	15,875	19,05	101,6	45,46022	56,83		11,77	14,12		P5
423	neomezená	106,68	15,875	19,05	101,6	41,38823	51,74		16,42	19,70		P5
424	neomezená	63,48	15,875	19,05	101,6	47,97507	59,97		10,03	12,04		P5
425	neomezená	83,56	15,875	19,05	101,6	45,37065	56,71		14,19	17,03		P5
426	neomezená	70,77	15,875	19,05	101,6	39,12142	48,90		10,98	13,18		P5
427	neomezená	116,13	15,875	19,05	101,6	50,33834	62,92		22,82	27,38		P5
428	neomezená	93,14	15,875	19,05	101,6	51,84725	64,81		17,03	20,44		P5
429	neomezená	139,90	15,875	19,05	101,6	45,37065	56,71		22,56	27,07		P5
430	neomezená	10,07	15,875	19,05	101,6	54,20363	67,75		1,86	2,23		P5
431	neomezená	74,08	15,875	19,05	101,6	50,33834	62,92		14,07	16,88		P5
432	neomezená	73,56	15,875	19,05	101,6	51,84725	64,81		17,59	21,11		P5
433	neomezená	57,94	15,875	19,05	101,6	44,9917	56,24		10,26	12,31		P5
434	neomezená	98,09	15,875	19,05	101,6	44,9917	56,24		14,61	17,53		P5
435	neomezená	75,50	15,875	19,05	101,6	40,66478	50,83		10,78	12,94		P5
436	neomezená	110,49	15,875	19,05	101,6	41,38823	51,74		16,59	19,91		P5
437	neomezená	63,69	15,875	19,05	101,6	47,97507	59,97		10,55	12,66		P5
438	neomezená	128,11	15,875	19,05	101,6	40,66478	50,83		21,60	25,92		P5
439	neomezená	120,98	15,875	19,05	101,6	41,09885	51,37		21,21	25,45		P5
440	neomezená	14,25	15,875	19,05	101,6	43,79973	54,75		2,32	2,78		P5
441	neomezená	27,19	15,875	19,05	101,6	43,2692	54,09		5,96	7,15		P5
442	neomezená	65,50	15,875	19,05	101,6	45,46022	56,83		11,77	14,12		P5
443	neomezená	89,14	15,875	19,05	101,6	41,38823	51,74		16,42	19,70		P5
444	neomezená	59,09	15,875	19,05	101,6	47,97507	59,97		10,03	12,04		P5
445	neomezená	84,38	15,875	19,05	101,6	45,37065	56,71		14,19	17,03		P5
446	neomezená	62,42	15,875	19,05	101,6	39,12142	48,90		10,98	13,18		P5
447	neomezená	118,86	15,875	19,05	101,6	50,33834	62,92		22,82	27,38		P5
448	neomezená	85,27	15,875	19,05	101,6	51,84725	64,81		17,03	20,44		P5
449	neomezená	131,36	15,875	19,05	101,6	45,37065	56,71		22,56	27,07		P5
450	neomezená	10,52	15,875	19,05	101,6	54,20363	67,75		1,86	2,23		P5

ID	Typ zkoušky	Mezní tahové zatížení Nu [kN]	Průměr kot. Šroubu d [mm]	Průměr vrtanéh o otvoru d _o [mm]	Kotevní délka h _{ef} [mm]	Válcová pevnost betonu f _c [MPa]	Krychelná pevnost betonu f _{c,150} [MPa]	Krychelná pevnost betonu f _{c,200} [MPa]	Mezní napětí τ _{u,0} [MPa]	Mezní napětí τ _u	Poznámka / Popis vzorku	Ref.
451	neomezená	67,15	15,875	19,05	101,6	50,33834	62,92		14,07	16,88		P5
452	neomezená	109,53	15,875	19,05	101,6	51,84725	64,81		17,59	21,11		P5
453	neomezená	59,58	15,875	19,05	101,6	44,9917	56,24		10,26	12,31		P5
454	neomezená	110,14	15,875	19,05	101,6	44,9917	56,24		14,61	17,53		P5
455	neomezená	59,39	15,875	19,05	101,6	40,66478	50,83		10,78	12,94		P5
456	neomezená	103,46	15,875	19,05	101,6	41,38823	51,74		16,59	19,91		P5
457	neomezená	69,42	15,875	19,05	101,6	47,97507	59,97		10,55	12,66		P5
458	neomezená	130,85	15,875	19,05	101,6	40,66478	50,83		21,60	25,92		P5
459	neomezená	138,38	15,875	19,05	101,6	41,09885	51,37		21,21	25,45		P5
460	neomezená	12,44	15,875	19,05	101,6	43,79973	54,75		2,32	2,78		P5
461	neomezená	48,60	15,875	19,05	101,6	43,2692	54,09		5,96	7,15		P5
462	neomezená	70,85	15,875	19,05	101,6	45,46022	56,83		11,77	14,12		P5
463	neomezená	105,64	15,875	19,05	101,6	41,38823	51,74		16,42	19,70		P5
464	neomezená	54,44	15,875	19,05	101,6	47,97507	59,97		10,03	12,04		P5
465	neomezená	90,14	15,875	19,05	101,6	45,37065	56,71		14,19	17,03		P5
466	neomezená	66,14	15,875	19,05	101,6	39,12142	48,90		10,98	13,18		P5
467	neomezená	106,18	15,875	19,05	101,6	50,33834	62,92		22,82	27,38		P5
468	neomezená	89,79	15,875	19,05	101,6	51,84725	64,81		17,03	20,44		P5
469	neomezená	100,14	15,875	19,05	101,6	45,37065	56,71		22,56	27,07		P5
470	neomezená	16,83	15,875	19,05	101,6	54,20363	67,75		1,86	2,23		P5
471	neomezená	61,69	15,875	19,05	101,6	50,33834	62,92		14,07	16,88		P5
472	neomezená	87,40	15,875	19,05	101,6	51,84725	64,81		17,59	21,11		P5
473	neomezená	79,97	12,7	15,875	76,2	44,9917	56,24		10,26	12,83		P5
474	neomezená	96,98	12,7	15,875	76,2	44,9917	56,24		14,61	18,26		P5
475	neomezená	65,30	12,7	15,875	76,2	40,66478	50,83		10,78	13,48		P5
476	neomezená	53,07	12,7	15,875	76,2	41,38823	51,74		16,59	20,74		P5
477	neomezená	54,93	12,7	15,875	76,2	47,97507	59,97		10,55	13,19		P5
478	neomezená	87,51	12,7	15,875	76,2	40,66478	50,83		21,60	27,00		P5
479	neomezená	77,63	12,7	15,875	76,2	41,09885	51,37		21,21	26,51		P5
480	neomezená	12,15	12,7	15,875	76,2	43,79973	54,75		2,32	2,90		P5
481	neomezená	33,86	12,7	15,875	76,2	43,2692	54,09		5,96	7,45		P5
482	neomezená	58,83	12,7	15,875	76,2	45,46022	56,83		11,77	14,71		P5
483	neomezená	57,75	12,7	15,875	76,2	41,38823	51,74		16,42	20,53		P5
484	neomezená	38,87	12,7	15,875	76,2	47,97507	59,97		10,03	12,54		P5
485	neomezená	90,95	12,7	15,875	76,2	45,37065	56,71		14,19	17,74		P5
486	neomezená	71,99	12,7	15,875	76,2	39,12142	48,90		10,98	13,73		P5
487	neomezená	66,03	12,7	15,875	76,2	50,33834	62,92		22,82	28,53		P5
488	neomezená	76,52	12,7	15,875	76,2	51,84725	64,81		17,03	21,29		P5
489	neomezená	85,33	12,7	15,875	76,2	45,37065	56,71		22,56	28,20		P5
490	neomezená	21,46	12,7	15,875	76,2	54,20363	67,75		1,86	2,33		P5
491	neomezená	50,11	12,7	15,875	76,2	50,33834	62,92		14,07	17,59		P5
492	neomezená	85,24	12,7	15,875	76,2	51,84725	64,81		17,59	21,99		P5
493	neomezená	73,31	12,7	15,875	76,2	44,9917	56,24		10,26	12,83		P5
494	neomezená	92,67	12,7	15,875	76,2	44,9917	56,24		14,61	18,26		P5
495	neomezená	64,42	12,7	15,875	76,2	40,66478	50,83		10,78	13,48		P5
496	neomezená	72,67	12,7	15,875	76,2	41,38823	51,74		16,59	20,74		P5
497	neomezená	65,73	12,7	15,875	76,2	47,97507	59,97		10,55	13,19		P5
498	neomezená	91,23	12,7	15,875	76,2	40,66478	50,83		21,60	27,00		P5
499	neomezená	68,93	12,7	15,875	76,2	41,09885	51,37		21,21	26,51		P5
500	neomezená	26,53	12,7	15,875	76,2	43,79973	54,75		2,32	2,90		P5
501	neomezená	32,26	12,7	15,875	76,2	43,2692	54,09		5,96	7,45		P5
502	neomezená	63,68	12,7	15,875	76,2	45,46022	56,83		11,77	14,71		P5
503	neomezená	63,42	12,7	15,875	76,2	41,38823	51,74		16,42	20,53		P5
504	neomezená	55,64	12,7	15,875	76,2	47,97507	59,97		10,03	12,54		P5
505	neomezená	85,16	12,7	15,875	76,2	45,37065	56,71		14,19	17,74		P5
506	neomezená	64,62	12,7	15,875	76,2	39,12142	48,90		10,98	13,73		P5
507	neomezená	67,73	12,7	15,875	76,2	50,33834	62,92		22,82	28,53		P5
508	neomezená	70,81	12,7	15,875	76,2	51,84725	64,81		17,03	21,29		P5
509	neomezená	73,17	12,7	15,875	76,2	45,37065	56,71		22,56	28,20		P5
510	neomezená	16,64	12,7	15,875	76,2	54,20363	67,75		1,86	2,33		P5
511	neomezená	59,46	12,7	15,875	76,2	50,33834	62,92		14,07	17,59		P5
512	neomezená	66,87	12,7	15,875	76,2	51,84725	64,81		17,59	21,99		P5
513	neomezená	71,48	12,7	15,875	76,2	44,9917	56,24		10,26	12,83		P5
514	neomezená	94,83	12,7	15,875	76,2	44,9917	56,24		14,61	18,26		P5
515	neomezená	57,04	12,7	15,875	76,2	40,66478	50,83		10,78	13,48		P5
516	neomezená	66,09	12,7	15,875	76,2	41,38823	51,74		16,59	20,74		P5
517	neomezená	39,25	12,7	15,875	76,2	47,97507	59,97		10,55	13,19		P5
518	neomezená	89,89	12,7	15,875	76,2	40,66478	50,83		21,60	27,00		P5
519	neomezená	85,23	12,7	15,875	76,2	41,09885	51,37		21,21	26,51		P5
520	neomezená	20,67	12,7	15,875	76,2	43,79973	54,75		2,32	2,90		P5
521	neomezená	28,74	12,7	15,875	76,2	43,2692	54,09		5,96	7,45		P5
522	neomezená	59,66	12,7	15,875	76,2	45,46022	56,83		11,77	14,71		P5
523	neomezená	78,96	12,7	15,875	76,2	41,38823	51,74		16,42	20,53		P5
524	neomezená	47,00	12,7	15,875	76,2	47,97507	59,97		10,03	12,54		P5
525	neomezená	91,28	12,7	15,875	76,2	45,37065	56,71		14,19	17,74		P5

ID	Typ zkoušky	Mezní tahové zatížení Nu [kN]	Průměr kot. Šroubu d [mm]	Průměr vrтанéh o otvoru d _o [mm]	Kotevní délka h _{ef} [mm]	Válcová pevnost betonu f _c [MPa]	Krychelná pevnost betonu f _{c,150} [MPa]	Krychelná pevnost betonu f _{c,200} [MPa]	Mezní napětí τ _{u,0} [MPa]	Mezní napětí τ _u	Poznámka / Popis vzorku	Ref.
526	neomezená	68,00	12,7	15,875	76,2	39,12142	48,90		10,98	13,73		P5
527	neomezená	67,05	12,7	15,875	76,2	50,33834	62,92		22,82	28,53		P5
528	neomezená	80,69	12,7	15,875	76,2	51,84725	64,81		17,03	21,29		P5
529	neomezená	88,01	12,7	15,875	76,2	45,37065	56,71		22,56	28,20		P5
530	neomezená	15,05	12,7	15,875	76,2	54,20363	67,75		1,86	2,33		P5
531	neomezená	58,56	12,7	15,875	76,2	50,33834	62,92		14,07	17,59		P5
532	neomezená	54,68	12,7	15,875	76,2	51,84725	64,81		17,59	21,99		P5
533	neomezená	76,55	12,7	15,875	76,2	44,9917	56,24		10,26	12,83		P5
534	neomezená	90,67	12,7	15,875	76,2	44,9917	56,24		14,61	18,26		P5
535	neomezená	66,66	12,7	15,875	76,2	40,66478	50,83		10,78	13,48		P5
536	neomezená	62,40	12,7	15,875	76,2	41,38823	51,74		16,59	20,74		P5
537	neomezená	38,27	12,7	15,875	76,2	47,97507	59,97		10,55	13,19		P5
538	neomezená	91,65	12,7	15,875	76,2	40,66478	50,83		21,60	27,00		P5
539	neomezená	88,66	12,7	15,875	76,2	41,09885	51,37		21,21	26,51		P5
540	neomezená	18,61	12,7	15,875	76,2	43,79973	54,75		2,32	2,90		P5
541	neomezená	34,68	12,7	15,875	76,2	43,2692	54,09		5,96	7,45		P5
542	neomezená	48,98	12,7	15,875	76,2	45,46022	56,83		11,77	14,71		P5
543	neomezená	68,80	12,7	15,875	76,2	41,38823	51,74		16,42	20,53		P5
544	neomezená	40,55	12,7	15,875	76,2	47,97507	59,97		10,03	12,54		P5
545	neomezená	82,78	12,7	15,875	76,2	45,37065	56,71		14,19	17,74		P5
546	neomezená	51,64	12,7	15,875	76,2	39,12142	48,90		10,98	13,73		P5
547	neomezená	70,58	12,7	15,875	76,2	50,33834	62,92		22,82	28,53		P5
548	neomezená	61,14	12,7	15,875	76,2	51,84725	64,81		17,03	21,29		P5
549	neomezená	91,14	12,7	15,875	76,2	45,37065	56,71		22,56	28,20		P5
550	neomezená	19,87	12,7	15,875	76,2	54,20363	67,75		1,86	2,33		P5
551	neomezená	52,03	12,7	15,875	76,2	50,33834	62,92		14,07	17,59		P5
552	neomezená	70,79	12,7	15,875	76,2	51,84725	64,81		17,59	21,99		P5
553	neomezená	77,98	12,7	15,875	76,2	44,9917	56,24		10,26	12,83		P5
554	neomezená	93,81	12,7	15,875	76,2	44,9917	56,24		14,61	18,26		P5
555	neomezená	60,86	12,7	15,875	76,2	40,66478	50,83		10,78	13,48		P5
556	neomezená	60,22	12,7	15,875	76,2	41,38823	51,74		16,59	20,74		P5
557	neomezená	61,44	12,7	15,875	76,2	47,97507	59,97		10,55	13,19		P5
558	neomezená	83,30	12,7	15,875	76,2	40,66478	50,83		21,60	27,00		P5
559	neomezená	86,88	12,7	15,875	76,2	41,09885	51,37		21,21	26,51		P5
560	neomezená	24,01	12,7	15,875	76,2	43,79973	54,75		2,32	2,90		P5
561	neomezená	20,24	12,7	15,875	76,2	43,2692	54,09		5,96	7,45		P5
562	neomezená	57,79	12,7	15,875	76,2	45,46022	56,83		11,77	14,71		P5
563	neomezená	65,92	12,7	15,875	76,2	41,38823	51,74		16,42	20,53		P5
564	neomezená	47,51	12,7	15,875	76,2	47,97507	59,97		10,03	12,54		P5
565	neomezená	89,65	12,7	15,875	76,2	45,37065	56,71		14,19	17,74		P5
566	neomezená	29,16	12,7	15,875	76,2	39,12142	48,90		10,98	13,73		P5
567	neomezená	67,32	12,7	15,875	76,2	50,33834	62,92		22,82	28,53		P5
568	neomezená	56,41	12,7	15,875	76,2	51,84725	64,81		17,03	21,29		P5
569	neomezená	86,75	12,7	15,875	76,2	45,37065	56,71		22,56	28,20		P5
570	neomezená	16,83	12,7	15,875	76,2	54,20363	67,75		1,86	2,33		P5
571	neomezená	55,14	12,7	15,875	76,2	50,33834	62,92		14,07	17,59		P5
572	neomezená	50,98	12,7	15,875	76,2	51,84725	64,81		17,59	21,99		P5
573	neomezená	91,46	19,05	22,225	127	44,9917	56,24		10,26	11,97		P5
574	neomezená	95,76	19,05	22,225	127	44,9917	56,24		14,61	17,05		P5
575	neomezená	82,55	19,05	22,225	127	40,66478	50,83		10,78	12,58		P5
576	neomezená	156,07	19,05	22,225	127	41,38823	51,74		16,59	19,36		P5
577	neomezená	127,10	19,05	22,225	127	47,97507	59,97		10,55	12,31		P5
578	neomezená	189,62	19,05	22,225	127	40,66478	50,83		21,60	25,20		P5
579	neomezená	149,70	19,05	22,225	127	41,09885	51,37		21,21	24,75		P5
580	neomezená	19,35	19,05	22,225	127	43,79973	54,75		2,32	2,71		P5
581	neomezená	26,90	19,05	22,225	127	43,2692	54,09		5,96	6,95		P5
582	neomezená	110,91	19,05	22,225	127	45,46022	56,83		11,77	13,73		P5
583	neomezená	147,58	19,05	22,225	127	41,38823	51,74		16,42	19,16		P5
584	neomezená	94,52	19,05	22,225	127	47,97507	59,97		10,03	11,70		P5
585	neomezená	146,67	19,05	22,225	127	45,37065	56,71		14,19	16,56		P5
586	neomezená	107,06	19,05	22,225	127	39,12142	48,90		10,98	12,81		P5
587	neomezená	181,10	19,05	22,225	127	50,33834	62,92		22,82	26,62		P5
588	neomezená	125,33	19,05	22,225	127	51,84725	64,81		17,03	19,87		P5
589	neomezená	179,77	19,05	22,225	127	45,37065	56,71		22,56	26,32		P5
590	neomezená	12,31	19,05	22,225	127	54,20363	67,75		1,86	2,17		P5
591	neomezená	115,22	19,05	22,225	127	50,33834	62,92		14,07	16,42		P5
592	neomezená	177,20	19,05	22,225	127	51,84725	64,81		17,59	20,52		P5
593	neomezená	89,62	19,05	22,225	127	44,9917	56,24		10,26	11,97		P5
594	neomezená	125,32	19,05	22,225	127	44,9917	56,24		14,61	17,05		P5
595	neomezená	100,78	19,05	22,225	127	40,66478	50,83		10,78	12,58		P5
596	neomezená	154,90	19,05	22,225	127	41,38823	51,74		16,59	19,36		P5
597	neomezená	178,15	19,05	22,225	127	47,97507	59,97		10,55	12,31		P5
598	neomezená	174,15	19,05	22,225	127	40,66478	50,83		21,60	25,20		P5
599	neomezená	175,49	19,05	22,225	127	41,09885	51,37		21,21	24,75		P5
600	neomezená	21,84	19,05	22,225	127	43,79973	54,75		2,32	2,71		P5

ID	Typ zkoušky	Mezní tahové zatížení Nu [kN]	Průměr kot. Šroubu d [mm]	Průměr vrтанéh o otvoru d _o [mm]	Kotevní délka h _{ef} [mm]	Válcová pevnost betonu f _c [MPa]	Krychelná pevnost betonu f _{c,150} [MPa]	Krychelná pevnost betonu f _{c,200} [MPa]	Mezní napětí τ _{u,0} [MPa]	Mezní napětí τ _u	Poznámka / Popis vzorku	Ref.
601	neomezená	32,22	19,05	22,225	127	43,2692	54,09		5,96	6,95		P5
602	neomezená	79,00	19,05	22,225	127	45,46022	56,83		11,77	13,73		P5
603	neomezená	145,14	19,05	22,225	127	41,38823	51,74		16,42	19,16		P5
604	neomezená	96,49	19,05	22,225	127	47,97507	59,97		10,03	11,70		P5
605	neomezená	139,16	19,05	22,225	127	45,37065	56,71		14,19	16,56		P5
606	neomezená	101,80	19,05	22,225	127	39,12142	48,90		10,98	12,81		P5
607	neomezená	172,45	19,05	22,225	127	50,33834	62,92		22,82	26,62		P5
608	neomezená	116,82	19,05	22,225	127	51,84725	64,81		17,03	19,87		P5
609	neomezená	114,29	19,05	22,225	127	45,37065	56,71		22,56	26,32		P5
610	neomezená	5,08	19,05	22,225	127	54,20363	67,75		1,86	2,17		P5
611	neomezená	110,76	19,05	22,225	127	50,33834	62,92		14,07	16,42		P5
612	neomezená	165,61	19,05	22,225	127	51,84725	64,81		17,59	20,52		P5
613	neomezená	91,32	19,05	22,225	127	44,9917	56,24		10,26	11,97		P5
614	neomezená	116,86	19,05	22,225	127	44,9917	56,24		14,61	17,05		P5
615	neomezená	95,33	19,05	22,225	127	40,66478	50,83		10,78	12,58		P5
616	neomezená	149,54	19,05	22,225	127	41,38823	51,74		16,59	19,36		P5
617	neomezená	185,64	19,05	22,225	127	47,97507	59,97		10,55	12,31		P5
618	neomezená	195,85	19,05	22,225	127	40,66478	50,83		21,60	25,20		P5
619	neomezená	163,39	19,05	22,225	127	41,09885	51,37		21,21	24,75		P5
620	neomezená	21,59	19,05	22,225	127	43,79973	54,75		2,32	2,71		P5
621	neomezená	37,75	19,05	22,225	127	43,2692	54,09		5,96	6,95		P5
622	neomezená	81,22	19,05	22,225	127	45,46022	56,83		11,77	13,73		P5
623	neomezená	151,30	19,05	22,225	127	41,38823	51,74		16,42	19,16		P5
624	neomezená	99,82	19,05	22,225	127	47,97507	59,97		10,03	11,70		P5
625	neomezená	120,17	19,05	22,225	127	45,37065	56,71		14,19	16,56		P5
626	neomezená	109,88	19,05	22,225	127	39,12142	48,90		10,98	12,81		P5
627	neomezená	193,91	19,05	22,225	127	50,33834	62,92		22,82	26,62		P5
628	neomezená	112,46	19,05	22,225	127	51,84725	64,81		17,03	19,87		P5
629	neomezená	144,78	19,05	22,225	127	45,37065	56,71		22,56	26,32		P5
630	neomezená	6,09	19,05	22,225	127	54,20363	67,75		1,86	2,17		P5
631	neomezená	107,47	19,05	22,225	127	50,33834	62,92		14,07	16,42		P5
632	neomezená	174,55	19,05	22,225	127	51,84725	64,81		17,59	20,52		P5
633	neomezená	96,19	19,05	22,225	127	44,9917	56,24		10,26	11,97		P5
634	neomezená	116,05	19,05	22,225	127	44,9917	56,24		14,61	17,05		P5
635	neomezená	102,81	19,05	22,225	127	40,66478	50,83		10,78	12,58		P5
636	neomezená	145,39	19,05	22,225	127	41,38823	51,74		16,59	19,36		P5
637	neomezená	111,09	19,05	22,225	127	47,97507	59,97		10,55	12,31		P5
638	neomezená	168,89	19,05	22,225	127	40,66478	50,83		21,60	25,20		P5
639	neomezená	172,98	19,05	22,225	127	41,09885	51,37		21,21	24,75		P5
640	neomezená	23,15	19,05	22,225	127	43,79973	54,75		2,32	2,71		P5
641	neomezená	48,03	19,05	22,225	127	43,2692	54,09		5,96	6,95		P5
642	neomezená	89,87	19,05	22,225	127	45,46022	56,83		11,77	13,73		P5
643	neomezená	145,33	19,05	22,225	127	41,38823	51,74		16,42	19,16		P5
644	neomezená	108,34	19,05	22,225	127	47,97507	59,97		10,03	11,70		P5
645	neomezená	126,21	19,05	22,225	127	45,37065	56,71		14,19	16,56		P5
646	neomezená	98,26	19,05	22,225	127	39,12142	48,90		10,98	12,81		P5
647	neomezená	162,87	19,05	22,225	127	50,33834	62,92		22,82	26,62		P5
648	neomezená	104,62	19,05	22,225	127	51,84725	64,81		17,03	19,87		P5
649	neomezená	193,47	19,05	22,225	127	45,37065	56,71		22,56	26,32		P5
650	neomezená	8,91	19,05	22,225	127	54,20363	67,75		1,86	2,17		P5
651	neomezená	110,53	19,05	22,225	127	50,33834	62,92		14,07	16,42		P5
652	neomezená	162,74	19,05	22,225	127	51,84725	64,81		17,59	20,52		P5
653	neomezená	95,62	19,05	22,225	127	44,9917	56,24		10,26	11,97		P5
654	neomezená	125,74	19,05	22,225	127	44,9917	56,24		14,61	17,05		P5
655	neomezená	76,63	19,05	22,225	127	40,66478	50,83		10,78	12,58		P5
656	neomezená	154,34	19,05	22,225	127	41,38823	51,74		16,59	19,36		P5
657	neomezená	133,92	19,05	22,225	127	47,97507	59,97		10,55	12,31		P5
658	neomezená	164,37	19,05	22,225	127	40,66478	50,83		21,60	25,20		P5
659	neomezená	143,65	19,05	22,225	127	41,09885	51,37		21,21	24,75		P5
660	neomezená	13,31	19,05	22,225	127	43,79973	54,75		2,32	2,71		P5
661	neomezená	27,04	19,05	22,225	127	43,2692	54,09		5,96	6,95		P5
662	neomezená	89,70	19,05	22,225	127	45,46022	56,83		11,77	13,73		P5
663	neomezená	158,49	19,05	22,225	127	41,38823	51,74		16,42	19,16		P5
664	neomezená	89,37	19,05	22,225	127	47,97507	59,97		10,03	11,70		P5
665	neomezená	146,35	19,05	22,225	127	45,37065	56,71		14,19	16,56		P5
666	neomezená	108,33	19,05	22,225	127	39,12142	48,90		10,98	12,81		P5
667	neomezená	178,43	19,05	22,225	127	50,33834	62,92		22,82	26,62		P5
668	neomezená	127,43	19,05	22,225	127	51,84725	64,81		17,03	19,87		P5
669	neomezená	121,94	19,05	22,225	127	45,37065	56,71		22,56	26,32		P5
670	neomezená	34,23	19,05	22,225	127	54,20363	67,75		1,86	2,17		P5
671	neomezená	115,85	19,05	22,225	127	50,33834	62,92		14,07	16,42		P5
672	neomezená	139,64	19,05	22,225	127	51,84725	64,81		17,59	20,52		P5
673	neomezená	61,66	15,875	19,05	101,6	60,9076	76,13		10,26	12,31		P5
674	neomezená	73,81	15,875	19,05	101,6	60,9076	76,13		14,61	17,53		P5
675	neomezená	79,41	15,875	19,05	101,6	60,9076	76,13		10,78	12,94		P5

ID	Typ zkoušky	Mezní tahové zatížení Nu [kN]	Průměr kot. Šroubu d [mm]	Průměr vrtanéh o otvoru d _o [mm]	Kotevní délka h _{ef} [mm]	Válcová pevnost betonu f _c [MPa]	Krychelná pevnost betonu f _{c,150} [MPa]	Krychelná pevnost betonu f _{c,200} [MPa]	Mezní napětí τ _{u,0} [MPa]	Mezní napětí τ _u	Poznámka / Popis vzorku	Ref.
676	neomezená	56,83	15,875	19,05	101,6	60,9076	76,13		16,59	19,91		P5
677	neomezená	77,72	15,875	19,05	101,6	63,30532	79,13		10,55	12,66		P5
678	neomezená	92,77	15,875	19,05	101,6	60,9076	76,13		21,60	25,92		P5
679	neomezená	93,65	15,875	19,05	101,6	61,05918	76,32		21,21	25,45		P5
680	neomezená	5,10	15,875	19,05	101,6	61,05918	76,32		2,32	2,78		P5
681	neomezená	20,25	15,875	19,05	101,6	61,05918	76,32		5,96	7,15		P5
682	neomezená	59,84	15,875	19,05	101,6	61,05918	76,32		11,77	14,12		P5
683	neomezená	85,60	15,875	19,05	101,6	61,05918	76,32		16,42	19,70		P5
684	neomezená	24,40	15,875	19,05	101,6	63,38111	79,23		10,03	12,04		P5
685	neomezená	95,42	15,875	19,05	101,6	61,96866	77,46		14,19	17,03		P5
686	neomezená	95,53	15,875	19,05	101,6	63,38111	79,23		10,98	13,18		P5
687	neomezená	100,67	15,875	19,05	101,6	61,96866	77,46		22,82	27,38		P5
688	neomezená	90,03	15,875	19,05	101,6	61,96866	77,46		17,03	20,44		P5
689	neomezená	142,96	15,875	19,05	101,6	61,96866	77,46		22,56	27,07		P5
690	neomezená	30,97	15,875	19,05	101,6	63,31221	79,14		1,86	2,23		P5
691	neomezená	87,10	15,875	19,05	101,6	61,96866	77,46		14,07	16,88		P5
692	neomezená	93,79	15,875	19,05	101,6	63,38111	79,23		17,59	21,11		P5
693	neomezená	73,55	15,875	19,05	101,6	60,9076	76,13		10,26	12,31		P5
694	neomezená	59,06	15,875	19,05	101,6	60,9076	76,13		14,61	17,53		P5
695	neomezená	64,41	15,875	19,05	101,6	60,9076	76,13		10,78	12,94		P5
696	neomezená	79,07	15,875	19,05	101,6	60,9076	76,13		16,59	19,91		P5
697	neomezená	66,45	15,875	19,05	101,6	63,30532	79,13		10,55	12,66		P5
698	neomezená	121,05	15,875	19,05	101,6	60,9076	76,13		21,60	25,92		P5
699	neomezená	127,37	15,875	19,05	101,6	61,05918	76,32		21,21	25,45		P5
700	neomezená	6,31	15,875	19,05	101,6	61,05918	76,32		2,32	2,78		P5
701	neomezená	23,66	15,875	19,05	101,6	61,05918	76,32		5,96	7,15		P5
702	neomezená	63,98	15,875	19,05	101,6	61,05918	76,32		11,77	14,12		P5
703	neomezená	101,85	15,875	19,05	101,6	61,05918	76,32		16,42	19,70		P5
704	neomezená	23,67	15,875	19,05	101,6	63,38111	79,23		10,03	12,04		P5
705	neomezená	108,41	15,875	19,05	101,6	61,96866	77,46		14,19	17,03		P5
706	neomezená	74,04	15,875	19,05	101,6	63,38111	79,23		10,98	13,18		P5
707	neomezená	125,37	15,875	19,05	101,6	61,96866	77,46		22,82	27,38		P5
708	neomezená	92,20	15,875	19,05	101,6	61,96866	77,46		17,03	20,44		P5
709	neomezená	144,01	15,875	19,05	101,6	61,96866	77,46		22,56	27,07		P5
710	neomezená	18,05	15,875	19,05	101,6	63,31221	79,14		1,86	2,23		P5
711	neomezená	94,43	15,875	19,05	101,6	61,96866	77,46		14,07	16,88		P5
712	neomezená	91,38	15,875	19,05	101,6	63,38111	79,23		17,59	21,11		P5
713	neomezená	59,12	15,875	19,05	101,6	60,9076	76,13		10,26	12,31		P5
714	neomezená	72,39	15,875	19,05	101,6	60,9076	76,13		14,61	17,53		P5
715	neomezená	63,12	15,875	19,05	101,6	60,9076	76,13		10,78	12,94		P5
716	neomezená	69,62	15,875	19,05	101,6	60,9076	76,13		16,59	19,91		P5
717	neomezená	95,02	15,875	19,05	101,6	63,30532	79,13		10,55	12,66		P5
718	neomezená	118,91	15,875	19,05	101,6	60,9076	76,13		21,60	25,92		P5
719	neomezená	108,78	15,875	19,05	101,6	61,05918	76,32		21,21	25,45		P5
720	neomezená	14,82	15,875	19,05	101,6	61,05918	76,32		2,32	2,78		P5
721	neomezená	36,43	15,875	19,05	101,6	61,05918	76,32		5,96	7,15		P5
722	neomezená	92,26	15,875	19,05	101,6	61,05918	76,32		11,77	14,12		P5
723	neomezená	86,61	15,875	19,05	101,6	61,05918	76,32		16,42	19,70		P5
724	neomezená	45,74	15,875	19,05	101,6	63,38111	79,23		10,03	12,04		P5
725	neomezená	109,13	15,875	19,05	101,6	61,96866	77,46		14,19	17,03		P5
726	neomezená	98,03	15,875	19,05	101,6	63,38111	79,23		10,98	13,18		P5
727	neomezená	125,93	15,875	19,05	101,6	61,96866	77,46		22,82	27,38		P5
728	neomezená	99,97	15,875	19,05	101,6	61,96866	77,46		17,03	20,44		P5
729	neomezená	148,10	15,875	19,05	101,6	61,96866	77,46		22,56	27,07		P5
730	neomezená	32,57	15,875	19,05	101,6	63,31221	79,14		1,86	2,23		P5
731	neomezená	106,22	15,875	19,05	101,6	61,96866	77,46		14,07	16,88		P5
732	neomezená	86,67	15,875	19,05	101,6	63,38111	79,23		17,59	21,11		P5
733	neomezená	67,79	15,875	19,05	101,6	60,9076	76,13		10,26	12,31		P5
734	neomezená	77,27	15,875	19,05	101,6	60,9076	76,13		14,61	17,53		P5
735	neomezená	61,47	15,875	19,05	101,6	60,9076	76,13		10,78	12,94		P5
736	neomezená	89,78	15,875	19,05	101,6	60,9076	76,13		16,59	19,91		P5
737	neomezená	70,18	15,875	19,05	101,6	63,30532	79,13		10,55	12,66		P5
738	neomezená	98,98	15,875	19,05	101,6	60,9076	76,13		21,60	25,92		P5
739	neomezená	112,49	15,875	19,05	101,6	61,05918	76,32		21,21	25,45		P5
740	neomezená	10,67	15,875	19,05	101,6	61,05918	76,32		2,32	2,78		P5
741	neomezená	29,28	15,875	19,05	101,6	61,05918	76,32		5,96	7,15		P5
742	neomezená	80,68	15,875	19,05	101,6	61,05918	76,32		11,77	14,12		P5
743	neomezená	90,63	15,875	19,05	101,6	61,05918	76,32		16,42	19,70		P5
744	neomezená	18,72	15,875	19,05	101,6	63,38111	79,23		10,03	12,04		P5
745	neomezená	89,91	15,875	19,05	101,6	61,96866	77,46		14,19	17,03		P5
746	neomezená	106,74	15,875	19,05	101,6	63,38111	79,23		10,98	13,18		P5
747	neomezená	122,48	15,875	19,05	101,6	61,96866	77,46		22,82	27,38		P5
748	neomezená	65,90	15,875	19,05	101,6	61,96866	77,46		17,03	20,44		P5
749	neomezená	152,37	15,875	19,05	101,6	61,96866	77,46		22,56	27,07		P5
750	neomezená	49,76	15,875	19,05	101,6	63,31221	79,14		1,86	2,23		P5

ID	Typ zkoušky	Mezní tahové zatížení Nu [kN]	Průměr kot. Šroubu d [mm]	Průměr vrtanéh o otvoru d _o [mm]	Kotevní délka h _{ef} [mm]	Válcová pevnost betonu f _c [MPa]	Krychelná pevnost betonu f _{c,150} [MPa]	Krychelná pevnost betonu f _{c,200} [MPa]	Mezní napětí τ _{u,0} [MPa]	Mezní napětí τ _u	Poznámka / Popis vzorku	Ref.
751	neomezená	92,69	15,875	19,05	101,6	61,96866	77,46		14,07	16,88		P5
752	neomezená	81,35	15,875	19,05	101,6	63,38111	79,23		17,59	21,11		P5
753	neomezená	58,67	15,875	19,05	101,6	60,9076	76,13		10,26	12,31		P5
754	neomezená	71,70	15,875	19,05	101,6	60,9076	76,13		14,61	17,53		P5
755	neomezená	81,14	15,875	19,05	101,6	60,9076	76,13		10,78	12,94		P5
756	neomezená	80,80	15,875	19,05	101,6	60,9076	76,13		16,59	19,91		P5
757	neomezená	75,57	15,875	19,05	101,6	63,30532	79,13		10,55	12,66		P5
758	neomezená	104,44	15,875	19,05	101,6	60,9076	76,13		21,60	25,92		P5
759	neomezená	104,08	15,875	19,05	101,6	61,05918	76,32		21,21	25,45		P5
760	neomezená	14,07	15,875	19,05	101,6	61,05918	76,32		2,32	2,78		P5
761	neomezená	25,23	15,875	19,05	101,6	61,05918	76,32		5,96	7,15		P5
762	neomezená	75,00	15,875	19,05	101,6	61,05918	76,32		11,77	14,12		P5
763	neomezená	90,72	15,875	19,05	101,6	61,05918	76,32		16,42	19,70		P5
764	neomezená	24,18	15,875	19,05	101,6	63,38111	79,23		10,03	12,04		P5
765	neomezená	107,60	15,875	19,05	101,6	61,96866	77,46		14,19	17,03		P5
766	neomezená	92,79	15,875	19,05	101,6	63,38111	79,23		10,98	13,18		P5
767	neomezená	98,91	15,875	19,05	101,6	61,96866	77,46		22,82	27,38		P5
768	neomezená	22,89	15,875	19,05	101,6	61,96866	77,46		17,03	20,44		P5
769	neomezená	146,25	15,875	19,05	101,6	61,96866	77,46		22,56	27,07		P5
770	neomezená	23,57	15,875	19,05	101,6	63,31221	79,14		1,86	2,23		P5
771	neomezená	103,51	15,875	19,05	101,6	61,96866	77,46		14,07	16,88		P5
772	neomezená	97,72	15,875	19,05	101,6	63,38111	79,23		17,59	21,11		P5
773	neomezená	49,24	15,875	19,05	101,6	27,98029	34,98		10,26	12,31		P5
774	neomezená	69,71	15,875	19,05	101,6	27,98029	34,98		14,61	17,53		P5
775	neomezená	61,18	15,875	19,05	101,6	27,98029	34,98		10,78	12,94		P5
776	neomezená	92,06	15,875	19,05	101,6	27,98029	34,98		16,59	19,91		P5
777	neomezená	19,40	15,875	19,05	101,6	29,85437	37,32		10,55	12,66		P5
778	neomezená	99,69	15,875	19,05	101,6	27,98029	34,98		21,60	25,92		P5
779	neomezená	112,57	15,875	19,05	101,6	29,85437	37,32		21,21	25,45		P5
780	neomezená	22,56	15,875	19,05	101,6	27,98029	34,98		2,32	2,78		P5
781	neomezená	23,93	15,875	19,05	101,6	27,98029	34,98		5,96	7,15		P5
782	neomezená	77,38	15,875	19,05	101,6	29,85437	37,32		11,77	14,12		P5
783	neomezená	86,78	15,875	19,05	101,6	29,85437	37,32		16,42	19,70		P5
784	neomezená	61,11	15,875	19,05	101,6	29,85437	37,32		10,03	12,04		P5
785	neomezená	84,23	15,875	19,05	101,6	28,95867	36,20		14,19	17,03		P5
786	neomezená	60,47	15,875	19,05	101,6	29,85437	37,32		10,98	13,18		P5
787	neomezená	112,42	15,875	19,05	101,6	28,95867	36,20		22,82	27,38		P5
788	neomezená	75,25	15,875	19,05	101,6	29,85437	37,32		17,03	20,44		P5
789	neomezená	126,20	15,875	19,05	101,6	29,85437	37,32		22,56	27,07		P5
790	neomezená	13,00	15,875	19,05	101,6	29,85437	37,32		1,86	2,23		P5
791	neomezená	68,92	15,875	19,05	101,6	28,95867	36,20		14,07	16,88		P5
792	neomezená	76,76	15,875	19,05	101,6	29,85437	37,32		17,59	21,11		P5
793	neomezená	52,13	15,875	19,05	101,6	27,98029	34,98		10,26	12,31		P5
794	neomezená	68,12	15,875	19,05	101,6	27,98029	34,98		14,61	17,53		P5
795	neomezená	55,42	15,875	19,05	101,6	27,98029	34,98		10,78	12,94		P5
796	neomezená	71,09	15,875	19,05	101,6	27,98029	34,98		16,59	19,91		P5
797	neomezená	41,01	15,875	19,05	101,6	29,85437	37,32		10,55	12,66		P5
798	neomezená	109,43	15,875	19,05	101,6	27,98029	34,98		21,60	25,92		P5
799	neomezená	107,86	15,875	19,05	101,6	29,85437	37,32		21,21	25,45		P5
800	neomezená	14,45	15,875	19,05	101,6	27,98029	34,98		2,32	2,78		P5
801	neomezená	12,74	15,875	19,05	101,6	27,98029	34,98		5,96	7,15		P5
802	neomezená	69,97	15,875	19,05	101,6	29,85437	37,32		11,77	14,12		P5
803	neomezená	91,42	15,875	19,05	101,6	29,85437	37,32		16,42	19,70		P5
804	neomezená	47,30	15,875	19,05	101,6	29,85437	37,32		10,03	12,04		P5
805	neomezená	76,73	15,875	19,05	101,6	28,95867	36,20		14,19	17,03		P5
806	neomezená	44,85	15,875	19,05	101,6	29,85437	37,32		10,98	13,18		P5
807	neomezená	126,63	15,875	19,05	101,6	28,95867	36,20		22,82	27,38		P5
808	neomezená	69,84	15,875	19,05	101,6	29,85437	37,32		17,03	20,44		P5
809	neomezená	137,83	15,875	19,05	101,6	29,85437	37,32		22,56	27,07		P5
810	neomezená	16,96	15,875	19,05	101,6	29,85437	37,32		1,86	2,23		P5
811	neomezená	72,76	15,875	19,05	101,6	28,95867	36,20		14,07	16,88		P5
812	neomezená	83,28	15,875	19,05	101,6	29,85437	37,32		17,59	21,11		P5
813	neomezená	62,36	15,875	19,05	101,6	27,98029	34,98		10,26	12,31		P5
814	neomezená	52,38	15,875	19,05	101,6	27,98029	34,98		14,61	17,53		P5
815	neomezená	64,34	15,875	19,05	101,6	27,98029	34,98		10,78	12,94		P5
816	neomezená	81,20	15,875	19,05	101,6	27,98029	34,98		16,59	19,91		P5
817	neomezená	62,59	15,875	19,05	101,6	29,85437	37,32		10,55	12,66		P5
818	neomezená	98,73	15,875	19,05	101,6	27,98029	34,98		21,60	25,92		P5
819	neomezená	80,23	15,875	19,05	101,6	29,85437	37,32		21,21	25,45		P5
820	neomezená	14,94	15,875	19,05	101,6	27,98029	34,98		2,32	2,78		P5
821	neomezená	10,12	15,875	19,05	101,6	27,98029	34,98		5,96	7,15		P5
822	neomezená	74,81	15,875	19,05	101,6	29,85437	37,32		11,77	14,12		P5
823	neomezená	85,26	15,875	19,05	101,6	29,85437	37,32		16,42	19,70		P5
824	neomezená	47,22	15,875	19,05	101,6	29,85437	37,32		10,03	12,04		P5
825	neomezená	82,27	15,875	19,05	101,6	28,95867	36,20		14,19	17,03		P5

ID	Typ zkoušky	Mezní tahové zatížení Nu [kN]	Průměr kot. Šroubu d [mm]	Průměr vrтанéh o otvoru d _o [mm]	Kotevní délka h _{ef} [mm]	Válcová pevnost betonu f _c [MPa]	Krychelná pevnost betonu f _{c,150} [MPa]	Krychelná pevnost betonu f _{c,200} [MPa]	Mezní napětí τ _{u,0} [MPa]	Mezní napětí τ _u	Poznámka / Popis vzorku	Ref.
826	neomezená	52,57	15,875	19,05	101,6	29,85437	37,32		10,98	13,18		P5
827	neomezená	125,08	15,875	19,05	101,6	28,95867	36,20		22,82	27,38		P5
828	neomezená	81,48	15,875	19,05	101,6	29,85437	37,32		17,03	20,44		P5
829	neomezená	135,96	15,875	19,05	101,6	29,85437	37,32		22,56	27,07		P5
830	neomezená	13,96	15,875	19,05	101,6	29,85437	37,32		1,86	2,23		P5
831	neomezená	72,60	15,875	19,05	101,6	28,95867	36,20		14,07	16,88		P5
832	neomezená	91,97	15,875	19,05	101,6	29,85437	37,32		17,59	21,11		P5
833	neomezená	60,22	15,875	19,05	101,6	27,98029	34,98		10,26	12,31		P5
834	neomezená	53,53	15,875	19,05	101,6	27,98029	34,98		14,61	17,53		P5
835	neomezená	63,84	15,875	19,05	101,6	27,98029	34,98		10,78	12,94		P5
836	neomezená	78,38	15,875	19,05	101,6	27,98029	34,98		16,59	19,91		P5
837	neomezená	34,76	15,875	19,05	101,6	29,85437	37,32		10,55	12,66		P5
838	neomezená	102,33	15,875	19,05	101,6	27,98029	34,98		21,60	25,92		P5
839	neomezená	89,40	15,875	19,05	101,6	29,85437	37,32		21,21	25,45		P5
840	neomezená	15,26	15,875	19,05	101,6	27,98029	34,98		2,32	2,78		P5
841	neomezená	26,96	15,875	19,05	101,6	27,98029	34,98		5,96	7,15		P5
842	neomezená	73,76	15,875	19,05	101,6	29,85437	37,32		11,77	14,12		P5
843	neomezená	83,65	15,875	19,05	101,6	29,85437	37,32		16,42	19,70		P5
844	neomezená	46,15	15,875	19,05	101,6	29,85437	37,32		10,03	12,04		P5
845	neomezená	82,14	15,875	19,05	101,6	28,95867	36,20		14,19	17,03		P5
846	neomezená	52,85	15,875	19,05	101,6	29,85437	37,32		10,98	13,18		P5
847	neomezená	125,94	15,875	19,05	101,6	28,95867	36,20		22,82	27,38		P5
848	neomezená	87,57	15,875	19,05	101,6	29,85437	37,32		17,03	20,44		P5
849	neomezená	120,57	15,875	19,05	101,6	29,85437	37,32		22,56	27,07		P5
850	neomezená	12,14	15,875	19,05	101,6	29,85437	37,32		1,86	2,23		P5
851	neomezená	69,80	15,875	19,05	101,6	28,95867	36,20		14,07	16,88		P5
852	neomezená	103,22	15,875	19,05	101,6	29,85437	37,32		17,59	21,11		P5
853	neomezená	56,77	15,875	19,05	101,6	27,98029	34,98		10,26	12,31		P5
854	neomezená	61,17	15,875	19,05	101,6	27,98029	34,98		14,61	17,53		P5
855	neomezená	58,23	15,875	19,05	101,6	27,98029	34,98		10,78	12,94		P5
856	neomezená	71,25	15,875	19,05	101,6	27,98029	34,98		16,59	19,91		P5
857	neomezená	40,06	15,875	19,05	101,6	29,85437	37,32		10,55	12,66		P5
858	neomezená	94,59	15,875	19,05	101,6	27,98029	34,98		21,60	25,92		P5
859	neomezená	103,78	15,875	19,05	101,6	29,85437	37,32		21,21	25,45		P5
860	neomezená	22,37	15,875	19,05	101,6	27,98029	34,98		2,32	2,78		P5
861	neomezená	14,75	15,875	19,05	101,6	27,98029	34,98		5,96	7,15		P5
862	neomezená	47,33	15,875	19,05	101,6	29,85437	37,32		11,77	14,12		P5
863	neomezená	99,86	15,875	19,05	101,6	29,85437	37,32		16,42	19,70		P5
864	neomezená	58,16	15,875	19,05	101,6	29,85437	37,32		10,03	12,04		P5
865	neomezená	72,60	15,875	19,05	101,6	28,95867	36,20		14,19	17,03		P5
866	neomezená	64,37	15,875	19,05	101,6	29,85437	37,32		10,98	13,18		P5
867	neomezená	102,45	15,875	19,05	101,6	28,95867	36,20		22,82	27,38		P5
868	neomezená	98,24	15,875	19,05	101,6	29,85437	37,32		17,03	20,44		P5
869	neomezená	153,61	15,875	19,05	101,6	29,85437	37,32		22,56	27,07		P5
870	neomezená	16,57	15,875	19,05	101,6	29,85437	37,32		1,86	2,23		P5
871	neomezená	75,22	15,875	19,05	101,6	28,95867	36,20		14,07	16,88		P5
872	neomezená	98,98	15,875	19,05	101,6	29,85437	37,32		17,59	21,11		P5
873	neomezená	23,90	8	10	64	25,68	32,10		15,40	19,25	H8/64-1-5	P6
874	neomezená	20,40	12	14	48	20,96	26,20		15,90	18,55	XX99-XX103	P7
875	neomezená	20,70	12	14	48	25,68	32,10		15,90	18,55	H12/48 1-4	P6
876	neomezená	55,20	12	14	96	25,68	32,10		15,90	18,55	H12/96 1-4	P6
877	neomezená	49,30	12	14	96	25,68	32,10		15,90	18,55	HW/96 1-4	P6
878	neomezená	65,50	12	14	110	23,68	29,60		15,90	18,55	XX30-XX33	P7
879	neomezená	51,80	12	14	110	20,96	26,20		15,90	18,55	XX89-XX93	P7
880	neomezená	57,70	12	14	110	23,68	29,60		15,90	18,55	XX26-XX29	P7
881	neomezená	63,10	12	14	110	20,96	26,20		15,90	18,55	XX84-XX88	P7
882	neomezená	67,40	12	14	110	26,72	33,40		15,90	18,55	XX64-XX68	P7
883	neomezená	52,50	12	14	110	20,96	26,20		15,90	18,55	XX54-XX58	P7
884	neomezená	74,10	12	14	144	25,68	32,10		15,90	18,55	H12/144 1-4	P6
885	neomezená	68,30	16	18	128	25,68	32,10		11,20	12,60	H12/128 1-4	P6
886	neomezená	22,80	12	14	48	25,68	32,10		12,70	14,82	S12/48 1-5	P6
887	neomezená	51,70	12	14	96	25,68	32,10		12,70	14,82	S12/96 1-5	P6
888	neomezená	58,60	12	14	144	25,68	32,10		12,70	14,82	S12/144 1-5	P6
889	neomezená	14,90	16	18	128	25,68	32,10		10,70	12,04	S16/128 1-5	P6
890	neomezená	15,30	12	14	48	25,68	32,10		9,70	11,32	W12/481-5	P6
891	neomezená	33,00	12	14	96	25,68	32,10		9,70	11,32	W12/961-5	P6
892	neomezená	59,80	12	14	144	25,68	32,10		9,70	11,32	W12/1441-5	P6
893	neomezená	32,30	8	10	64	45,36	56,70		15,40	19,25	H8/64-1-5	P6
894	neomezená	22,30	12	14	48	45,36	56,70		15,90	18,55	H12/48 1-5	P6
895	neomezená	56,90	12	14	96	45,36	56,70		15,90	18,55	H12/961-5	P6
896	neomezená	85,40	12	14	144	45,36	56,70		15,90	18,55	H12/144 1-5	P6
897	neomezená	71,10	16	18	128	45,36	56,70		15,90	17,89	H16/128 1-5	P6
898	neomezená	29,70	12	14	48	45,36	56,70		12,70	14,82	S12/48 1-5	P6
899	neomezená	57,40	12	14	96	45,36	56,70		12,70	14,82	S12/96 1-5	P6
900	neomezená	85,80	12	14	144	45,36	56,70		12,70	14,82	S12/144 1-5	P6

ID	Typ zkoušky	Mezní tahové zatížení Nu [kN]	Průměr kot. Šroubu d [mm]	Průměr vrtanéh o otvoru d _o [mm]	Kotevní délka h _{ef} [mm]	Válcová pevnost betonu f _c [MPa]	Krychelná pevnost betonu f _{c,150} [MPa]	Krychelná pevnost betonu f _{c,200} [MPa]	Mezní napětí τ _{u,0} [MPa]	Mezní napětí τ _u	Poznámka / Popis vzorku	Ref.
901	neomezená	19,70	12	14	48	45,36	56,70		9,70	11,32	W12/48 1-5	P6
902	neomezená	53,90	12	14	96	45,36	56,70		9,70	11,32	W12/96 1-5	P6
903	neomezená	86,80	12	14	144	45,36	56,70		9,70	11,32	W12/144 1-5	P6
904	neomezená	23,10	8	10	64	25,68	32,10		15,40	19,25	H8/64- 1-5	P6
905	neomezená	28,80	12	14	48	20,96	26,20		15,90	18,55	XX99-XX103	P7
906	neomezená	23,70	12	14	48	25,68	32,10		15,90	18,55	H12/48 1-4	P6
907	neomezená	53,20	12	14	96	25,68	32,10		15,90	18,55	H12/96 1-4	P6
908	neomezená	53,50	12	14	96	25,68	32,10		15,90	18,55	HW/96 1-4	P6
909	neomezená	70,90	12	14	110	23,68	29,60		15,90	18,55	XX30-XX33	P7
910	neomezená	53,00	12	14	110	20,96	26,20		15,90	18,55	XX89-XX93	P7
911	neomezená	65,10	12	14	110	23,68	29,60		15,90	18,55	XX26-XX29	P7
912	neomezená	58,70	12	14	110	20,96	26,20		15,90	18,55	XX84-XX88	P7
913	neomezená	67,00	12	14	110	26,72	33,40		15,90	18,55	XX64-XX68	P7
914	neomezená	47,20	12	14	110	20,96	26,20		15,90	18,55	XX54-XX58	P7
915	neomezená	80,20	12	14	144	25,68	32,10		15,90	18,55	H12/144 1-4	P6
916	neomezená	45,30	16	18	128	25,68	32,10		11,20	12,60	H12/128 1-4	P6
917	neomezená	21,20	12	14	48	25,68	32,10		12,70	14,82	S12/48 1-5	P6
918	neomezená	44,60	12	14	96	25,68	32,10		12,70	14,82	S12/96 1-5	P6
919	neomezená	57,00	12	14	144	25,68	32,10		12,70	14,82	S12/144 1-5	P6
920	neomezená	37,00	16	18	128	25,68	32,10		10,70	12,04	S16/128 1-5	P6
921	neomezená	18,60	12	14	48	25,68	32,10		9,70	11,32	W12/48 1-5	P6
922	neomezená	31,20	12	14	96	25,68	32,10		9,70	11,32	W12/96 1-5	P6
923	neomezená	68,10	12	14	144	25,68	32,10		9,70	11,32	W12/144 1-5	P6
924	neomezená	34,90	8	10	64	45,36	56,70		15,40	19,25	H8/64- 1-5	P6
925	neomezená	22,10	12	14	48	45,36	56,70		15,90	18,55	H12/48 1-5	P6
926	neomezená	63,20	12	14	96	45,36	56,70		15,90	18,55	H12/96 1-5	P6
927	neomezená	87,10	12	14	144	45,36	56,70		15,90	18,55	H12/144 1-5	P6
928	neomezená	57,00	16	18	128	45,36	56,70		15,90	17,89	H16/128 1-5	P6
929	neomezená	27,10	12	14	48	45,36	56,70		12,70	14,82	S12/48 1-5	P6
930	neomezená	56,60	12	14	96	45,36	56,70		12,70	14,82	S12/96 1-5	P6
931	neomezená	77,90	12	14	144	45,36	56,70		12,70	14,82	S12/144 1-5	P6
932	neomezená	17,90	12	14	48	45,36	56,70		9,70	11,32	W12/48 1-5	P6
933	neomezená	54,00	12	14	96	45,36	56,70		9,70	11,32	W12/96 1-5	P6
934	neomezená	81,00	12	14	144	45,36	56,70		9,70	11,32	W12/144 1-5	P6
935	neomezená	28,80	8	10	64	25,68	32,10		15,40	19,25	H8/64- 1-5	P6
936	neomezená	24,00	12	14	48	20,96	26,20		15,90	18,55	XX99-XX103	P7
937	neomezená	22,80	12	14	48	25,68	32,10		15,90	18,55	H12/48 1-4	P6
938	neomezená	49,30	12	14	96	25,68	32,10		15,90	18,55	H12/96 1-4	P6
939	neomezená	57,50	12	14	96	25,68	32,10		15,90	18,55	HW/96 1-4	P6
940	neomezená	71,70	12	14	110	23,68	29,60		15,90	18,55	XX30-XX33	P7
941	neomezená	60,00	12	14	110	20,96	26,20		15,90	18,55	XX89-XX93	P7
942	neomezená	69,00	12	14	110	23,68	29,60		15,90	18,55	XX26-XX29	P7
943	neomezená	52,00	12	14	110	20,96	26,20		15,90	18,55	XX84-XX88	P7
944	neomezená	70,50	12	14	110	26,72	33,40		15,90	18,55	XX64-XX68	P7
945	neomezená	39,40	12	14	110	20,96	26,20		15,90	18,55	XX54-XX58	P7
946	neomezená	77,50	12	14	144	25,68	32,10		15,90	18,55	H12/144 1-4	P6
947	neomezená	45,50	16	18	128	25,68	32,10		11,20	12,60	H12/128 1-4	P6
948	neomezená	21,80	12	14	48	25,68	32,10		12,70	14,82	S12/48 1-5	P6
949	neomezená	50,40	12	14	96	25,68	32,10		12,70	14,82	S12/96 1-5	P6
950	neomezená	55,20	12	14	144	25,68	32,10		12,70	14,82	S12/144 1-5	P6
951	neomezená	46,10	16	18	128	25,68	32,10		10,70	12,04	S16/128 1-5	P6
952	neomezená	17,60	12	14	48	25,68	32,10		9,70	11,32	W12/48 1-5	P6
953	neomezená	30,70	12	14	96	25,68	32,10		9,70	11,32	W12/96 1-5	P6
954	neomezená	49,80	12	14	144	25,68	32,10		9,70	11,32	W12/144 1-5	P6
955	neomezená	27,60	8	10	64	45,36	56,70		15,40	19,25	H8/64- 1-5	P6
956	neomezená	24,10	12	14	48	45,36	56,70		15,90	18,55	H12/48 1-5	P6
957	neomezená	59,30	12	14	96	45,36	56,70		15,90	18,55	H12/96 1-5	P6
958	neomezená	89,20	12	14	144	45,36	56,70		15,90	18,55	H12/144 1-5	P6
959	neomezená	71,30	16	18	128	45,36	56,70		15,90	17,89	H16/128 1-5	P6
960	neomezená	26,10	12	14	48	45,36	56,70		12,70	14,82	S12/48 1-5	P6
961	neomezená	56,50	12	14	96	45,36	56,70		12,70	14,82	S12/96 1-5	P6
962	neomezená	85,90	12	14	144	45,36	56,70		12,70	14,82	S12/144 1-5	P6
963	neomezená	15,50	12	14	48	45,36	56,70		9,70	11,32	W12/48 1-5	P6
964	neomezená	52,10	12	14	96	45,36	56,70		9,70	11,32	W12/96 1-5	P6
965	neomezená	82,30	12	14	144	45,36	56,70		9,70	11,32	W12/144 1-5	P6
966	neomezená	25,90	8	10	64	25,68	32,10		15,40	19,25	H8/64- 1-5	P6
967	neomezená	20,10	12	14	48	20,96	26,20		15,90	18,55	XX99-XX103	P7
968	neomezená	21,80	12	14	48	25,68	32,10		15,90	18,55	H12/48 1-4	P6
969	neomezená	53,40	12	14	96	25,68	32,10		15,90	18,55	H12/96 1-4	P6
970	neomezená	53,60	12	14	96	25,68	32,10		15,90	18,55	HW/96 1-4	P6
971	neomezená	57,60	12	14	110	23,68	29,60		15,90	18,55	XX30-XX33	P7
972	neomezená	65,70	12	14	110	20,96	26,20		15,90	18,55	XX89-XX93	P7
973	neomezená	62,60	12	14	110	23,68	29,60		15,90	18,55	XX26-XX29	P7
974	neomezená	52,90	12	14	110	20,96	26,20		15,90	18,55	XX84-XX88	P7
975	neomezená	68,00	12	14	110	26,72	33,40		15,90	18,55	XX64-XX68	P7

ID	Typ zkoušky	Mezní tahové zatížení Nu [kN]	Průměr kot. Šroubu d [mm]	Průměr vrtanéh o otvoru d _o [mm]	Kotevní délka h _{ef} [mm]	Válcová pevnost betonu f _c [MPa]	Krychelná pevnost betonu f _{c,150} [MPa]	Krychelná pevnost betonu f _{c,200} [MPa]	Mezní napětí τ _{u,0} [MPa]	Mezní napětí τ _u	Poznámka / Popis vzorku	Ref.
976	neomezená	51,00	12	14	110	20,96	26,20		15,90	18,55	XX54-XX58	P7
977	neomezená	80,10	12	14	144	25,68	32,10		15,90	18,55	H12/144 1-4	P6
978	neomezená	61,30	16	18	128	25,68	32,10		11,20	12,60	H12/128 1-4	P6
979	neomezená	22,40	12	14	48	25,68	32,10		12,70	14,82	S12/48 1-5	P6
980	neomezená	42,00	12	14	96	25,68	32,10		12,70	14,82	S12/96 1-5	P6
981	neomezená	53,80	12	14	144	25,68	32,10		12,70	14,82	S12/144 1-5	P6
982	neomezená	43,30	16	18	128	25,68	32,10		10,70	12,04	S16/128 1-5	P6
983	neomezená	14,30	12	14	48	25,68	32,10		9,70	11,32	W12/481-5	P6
984	neomezená	36,70	12	14	96	25,68	32,10		9,70	11,32	W12/961-5	P6
985	neomezená	67,40	12	14	144	25,68	32,10		9,70	11,32	W12/1441-5	P6
986	neomezená	31,20	8	10	64	45,36	56,70		15,40	19,25	H8/64 1-5	P6
987	neomezená	23,60	12	14	48	45,36	56,70		15,90	18,55	H12/48 1-5	P6
988	neomezená	61,80	12	14	96	45,36	56,70		15,90	18,55	H12/961-5	P6
989	neomezená	87,40	12	14	144	45,36	56,70		15,90	18,55	H12/144 1-5	P6
990	neomezená	88,20	16	18	128	45,36	56,70		15,90	17,89	H16/128 1-5	P6
991	neomezená	26,70	12	14	48	45,36	56,70		12,70	14,82	S12/48 1-5	P6
992	neomezená	54,40	12	14	96	45,36	56,70		12,70	14,82	S12/96 1-5	P6
993	neomezená	74,20	12	14	144	45,36	56,70		12,70	14,82	S12/144 1-5	P6
994	neomezená	19,70	12	14	48	45,36	56,70		9,70	11,32	W12/48 1-5	P6
995	neomezená	57,90	12	14	96	45,36	56,70		9,70	11,32	W12/96 1-5	P6
996	neomezená	80,00	12	14	144	45,36	56,70		9,70	11,32	W12/144 1-5	P6
997	neomezená	25,90	8	10	64	25,68	32,10		15,40	19,25	H8/64 1-5	P6
998	neomezená	19,80	12	14	48	20,96	26,20		15,90	18,55	XX99-XX103	P7
999	neomezená	21,80	12	14	48	25,68	32,10		15,90	18,55	H12/48 1-4	P6
1000	neomezená	53,40	12	14	96	25,68	32,10		15,90	18,55	H12/96 1-4	P6
1001	neomezená	53,60	12	14	96	25,68	32,10		15,90	18,55	HW/96 1-4	P6
1002	neomezená	57,60	12	14	110	23,68	29,60		15,90	18,55	XX30-XX33	P7
1003	neomezená	53,90	12	14	110	20,96	26,20		15,90	18,55	XX89-XX93	P7
1004	neomezená	62,60	12	14	110	23,68	29,60		15,90	18,55	XX26-XX29	P7
1005	neomezená	58,40	12	14	110	20,96	26,20		15,90	18,55	XX84-XX88	P7
1006	neomezená	66,70	12	14	110	26,72	33,40		15,90	18,55	XX64-XX68	P7
1007	neomezená	50,80	12	14	110	20,96	26,20		15,90	18,55	XX54-XX58	P7
1008	neomezená	80,10	12	14	144	25,68	32,10		15,90	18,55	H12/144 1-4	P6
1009	neomezená	61,30	16	18	128	25,68	32,10		11,20	12,60	H12/128 1-4	P6
1010	neomezená	22,40	12	14	48	25,68	32,10		12,70	14,82	S12/48 1-5	P6
1011	neomezená	42,00	12	14	96	25,68	32,10		12,70	14,82	S12/96 1-5	P6
1012	neomezená	53,80	12	14	144	25,68	32,10		12,70	14,82	S12/144 1-5	P6
1013	neomezená	43,30	16	18	128	25,68	32,10		10,70	12,04	S16/128 1-5	P6
1014	neomezená	14,30	12	14	48	25,68	32,10		9,70	11,32	W12/481-5	P6
1015	neomezená	36,70	12	14	96	25,68	32,10		9,70	11,32	W12/961-5	P6
1016	neomezená	67,40	12	14	144	25,68	32,10		9,70	11,32	W12/1441-5	P6
1017	neomezená	31,20	8	10	64	45,36	56,70		15,40	19,25	H8/64 1-5	P6
1018	neomezená	23,60	12	14	48	45,36	56,70		15,90	18,55	H12/48 1-5	P6
1019	neomezená	61,80	12	14	96	45,36	56,70		15,90	18,55	H12/961-5	P6
1020	neomezená	87,40	12	14	144	45,36	56,70		15,90	18,55	H12/144 1-5	P6
1021	neomezená	88,20	16	18	128	45,36	56,70		15,90	17,89	H16/128 1-5	P6
1022	neomezená	26,70	12	14	48	45,36	56,70		12,70	14,82	S12/48 1-5	P6
1023	neomezená	54,40	12	14	96	45,36	56,70		12,70	14,82	S12/96 1-5	P6
1024	neomezená	74,20	12	14	144	45,36	56,70		12,70	14,82	S12/144 1-5	P6
1025	neomezená	19,70	12	14	48	45,36	56,70		9,70	11,32	W12/48 1-5	P6
1026	neomezená	57,90	12	14	96	45,36	56,70		9,70	11,32	W12/96 1-5	P6
1027	neomezená	80,00	12	14	144	45,36	56,70		9,70	11,32	W12/144 1-5	P6
1028	neomezená	45,30	8	10	96	27,76	34,70		15,40	19,25	W96M8 1-4	P8
1029	neomezená	66,60	12	14	96	27,76	34,70		15,90	18,55	W96M12 1-4	P8
1030	neomezená	70,90	16	18	96	27,76	34,70		11,20	12,60	W96M16 1-4	P8
1031	neomezená	93,80	24	26	96	27,76	34,70		11,20	12,13	W96M24 1-4	P8
1032	neomezená	92,10	12	14	144	26,96	33,70		15,90	18,55	W144M12 1-5	P8
1033	neomezená	126,50	16	18	144	26,96	33,70		11,20	12,60	W144M16 1-5	P8
1034	neomezená	156,40	24	26	144	26,96	33,70		15,90	17,23	W144M24 1-5	P8
1035	neomezená	44,00	8	10	96	27,76	34,70		15,40	19,25	W96M8 1-4	P8
1036	neomezená	59,80	12	14	96	27,76	34,70		15,90	18,55	W96M12 1-4	P8
1037	neomezená	68,30	16	18	96	27,76	34,70		11,20	12,60	W96M16 1-4	P8
1038	neomezená	84,80	24	26	96	27,76	34,70		11,20	12,13	W96M24 1-4	P8
1039	neomezená	96,50	12	14	144	26,96	33,70		15,90	18,55	W144M12 1-5	P8
1040	neomezená	121,80	16	18	144	26,96	33,70		11,20	12,60	W144M16 1-5	P8
1041	neomezená	158,40	24	26	144	26,96	33,70		15,90	17,23	W144M24 1-5	P8
1042	neomezená	39,00	8	10	96	27,76	34,70		15,40	19,25	W96M8 1-4	P8
1043	neomezená	66,20	12	14	96	27,76	34,70		15,90	18,55	W96M12 1-4	P8
1044	neomezená	74,10	16	18	96	27,76	34,70		11,20	12,60	W96M16 1-4	P8
1045	neomezená	80,30	24	26	96	27,76	34,70		11,20	12,13	W96M24 1-4	P8
1046	neomezená	101,30	12	14	144	26,96	33,70		15,90	18,55	W144M12 1-5	P8
1047	neomezená	128,40	16	18	144	26,96	33,70		11,20	12,60	W144M16 1-5	P8
1048	neomezená	135,50	24	26	144	26,96	33,70		15,90	17,23	W144M24 1-5	P8
1049	neomezená	40,40	8	10	96	27,76	34,70		15,40	19,25	W96M8 1-4	P8
1050	neomezená	65,10	12	14	96	27,76	34,70		15,90	18,55	W96M12 1-4	P8

ID	Typ zkoušky	Mezní tahové zatížení Nu [kN]	Průměr kot. Šroubu d [mm]	Průměr vrtanéh o otvoru d _o [mm]	Kotevní délka h _{ef} [mm]	Válcová pevnost betonu f _c [MPa]	Krychelná pevnost betonu f _{c,150} [MPa]	Krychelná pevnost betonu f _{c,200} [MPa]	Mezní napětí τ _{u,0} [MPa]	Mezní napětí τ _u	Poznámka / Popis vzorku	Ref.
1051	neomezená	78,60	16	18	96	27,76	34,70		11,20	12,60	W96M16- 1-4	P8
1052	neomezená	80,10	24	26	96	27,76	34,70		11,20	12,13	W96M24- 1-4	P8
1053	neomezená	99,30	12	14	144	26,96	33,70		15,90	18,55	W144M12- 1-5	P8
1054	neomezená	123,10	16	18	144	26,96	33,70		11,20	12,60	W144M16- 1-5	P8
1055	neomezená	135,30	24	26	144	26,96	33,70		15,90	17,23	W144M24- 1-5	P8
1056	neomezená	40,40	8	10	96	27,76	34,70		15,40	19,25	W96M8- 1-4	P8
1057	neomezená	65,10	12	14	96	27,76	34,70		15,90	18,55	W96M12- 1-4	P8
1058	neomezená	75,00	16	18	96	27,76	34,70		11,20	12,60	W96M16- 1-4	P8
1059	neomezená	75,00	24	26	96	27,76	34,70		11,20	12,13	W96M24- 1-4	P8
1060	neomezená	90,00	12	14	144	26,96	33,70		15,90	18,55	W144M12- 1-5	P8
1061	neomezená	115,00	16	18	144	26,96	33,70		11,20	12,60	W144M16- 1-5	P8
1062	neomezená	120,00	24	26	144	26,96	33,70		15,90	17,23	W144M24- 1-5	P8
1063	neomezená	13,90	8	10	48	21,28	26,60		15,40	19,25	8/1-6-6-10	P9
1064	neomezená	17,90	8	10	64	21,28	26,60		15,40	19,25	8/1-8-4-8	P9
1065	neomezená	26,00	8	10	80	21,28	26,60		15,40	19,25	8/1-10-5-9	P9
1066	neomezená	32,40	8	10	80	21,28	26,60		15,40	19,25	8/1-12-4-8	P9
1067	neomezená	27,30	8	10	64	44,32	55,40		15,40	19,25	8/1-8H-1-3	P9
1068	neomezená	26,20	8	10	80	44,32	55,40		15,40	19,25	8/1-10H-1,3-5	P9
1069	neomezená	37,30	12	14	72	22,4	28,00		15,90	18,55	12/1-6-1-5	P9
1070	neomezená	34,20	12	14	72	21,28	26,60		15,90	18,55	12/1-6-6-10	P9
1071	neomezená	49,70	12	14	96	22,4	28,00		15,90	18,55	12/1-8-4-6	P9
1072	neomezená	67,90	12	14	120	22,4	28,00		15,90	18,55	12/1-10-1-5	P9
1073	neomezená	25,50	12	14	48	47,2	59,00		15,90	18,55	12/1-4H-1-3	P9
1074	neomezená	49,10	12	14	72	47,2	59,00		15,90	18,55	12/1-6H-1-5	P9
1075	neomezená	65,90	12	14	96	47,2	59,00		15,90	18,55	12/1-8H-1-3	P9
1076	neomezená	87,70	12	14	120	47,2	59,00		15,90	18,55	12/1-10H-1-5	P9
1077	neomezená	98,20	12	14	144	47,2	59,00		15,90	18,55	12/1-12H-1-3	P9
1078	neomezená	30,60	16	18	64	21,12	26,40		11,20	12,60	16/1-4-1-3	P9
1079	neomezená	42,20	16	18	96	24,48	30,60		11,20	12,60	16/1-6-1-3	P9
1080	neomezená	50,20	16	18	128	19,92	24,90		11,20	12,60	16/1-8-1-3	P9
1081	neomezená	64,80	16	18	128	24,48	30,60		11,20	12,60	16/1-8-4-5	P9
1082	neomezená	97,80	16	18	160	19,92	24,90		11,20	12,60	16/1-10-1-3	P9
1083	neomezená	33,30	16	18	64	49,68	62,10		11,20	12,60	HH16/1-4H-1-3	P9
1084	neomezená	60,80	16	18	96	52,08	65,10		11,20	12,60	HH16/1-6H-1-3	P9
1085	neomezená	80,30	16	18	128	52,08	65,10		11,20	12,60	16/1-8H-1-6	P9
1086	neomezená	17,60	8	10	48	21,28	26,60		15,40	19,25	8/1-6-6-10	P9
1087	neomezená	21,80	8	10	64	21,28	26,60		15,40	19,25	8/1-8-4-8	P9
1088	neomezená	22,80	8	10	80	21,28	26,60		15,40	19,25	8/1-10-5-9	P9
1089	neomezená	25,30	8	10	80	21,28	26,60		15,40	19,25	8/1-12-4-8	P9
1090	neomezená	27,10	8	10	64	44,32	55,40		15,40	19,25	8/1-8H-1-3	P9
1091	neomezená	30,80	8	10	80	44,32	55,40		15,40	19,25	8/1-10H-1,3-5	P9
1092	neomezená	38,40	12	14	72	22,4	28,00		15,90	18,55	12/1-6-1-5	P9
1093	neomezená	34,80	12	14	72	21,28	26,60		15,90	18,55	12/1-6-6-10	P9
1094	neomezená	41,30	12	14	96	22,4	28,00		15,90	18,55	12/1-8-4-6	P9
1095	neomezená	44,60	12	14	120	22,4	28,00		15,90	18,55	12/1-10-1-5	P9
1096	neomezená	25,80	12	14	48	47,2	59,00		15,90	18,55	12/1-4H-1-3	P9
1097	neomezená	42,80	12	14	72	47,2	59,00		15,90	18,55	12/1-6H-1-5	P9
1098	neomezená	51,90	12	14	96	47,2	59,00		15,90	18,55	12/1-8H-1-3	P9
1099	neomezená	74,80	12	14	120	47,2	59,00		15,90	18,55	12/1-10H-1-5	P9
1100	neomezená	99,10	12	14	144	47,2	59,00		15,90	18,55	12/1-12H-1-3	P9
1101	neomezená	32,10	16	18	64	21,12	26,40		11,20	12,60	16/1-4-1-3	P9
1102	neomezená	46,60	16	18	96	24,48	30,60		11,20	12,60	16/1-6-1-3	P9
1103	neomezená	41,50	16	18	128	19,92	24,90		11,20	12,60	16/1-8-1-3	P9
1104	neomezená	63,50	16	18	128	24,48	30,60		11,20	12,60	16/1-8-4-5	P9
1105	neomezená	99,30	16	18	160	19,92	24,90		11,20	12,60	16/1-10-1-3	P9
1106	neomezená	30,10	16	18	64	49,68	62,10		11,20	12,60	HH16/1-4H-1-3	P9
1107	neomezená	65,60	16	18	96	52,08	65,10		11,20	12,60	HH16/1-6H-1-3	P9
1108	neomezená	75,60	16	18	128	52,08	65,10		11,20	12,60	16/1-8H-1-6	P9
1109	neomezená	13,50	8	10	48	21,28	26,60		15,40	19,25	8/1-6-6-10	P9
1110	neomezená	21,80	8	10	64	21,28	26,60		15,40	19,25	8/1-8-4-8	P9
1111	neomezená	29,10	8	10	80	21,28	26,60		15,40	19,25	8/1-10-5-9	P9
1112	neomezená	28,40	8	10	80	21,28	26,60		15,40	19,25	8/1-12-4-8	P9
1113	neomezená	26,20	8	10	64	44,32	55,40		15,40	19,25	8/1-8H-1-3	P9
1114	neomezená	35,10	8	10	80	44,32	55,40		15,40	19,25	8/1-10H-1,3-5	P9
1115	neomezená	36,00	12	14	72	22,4	28,00		15,90	18,55	12/1-6-1-5	P9
1116	neomezená	31,70	12	14	72	21,28	26,60		15,90	18,55	12/1-6-6-10	P9
1117	neomezená	50,20	12	14	96	22,4	28,00		15,90	18,55	12/1-8-4-6	P9
1118	neomezená	46,60	12	14	120	22,4	28,00		15,90	18,55	12/1-10-1-5	P9
1119	neomezená	27,90	12	14	48	47,2	59,00		15,90	18,55	12/1-4H-1-3	P9
1120	neomezená	48,20	12	14	72	47,2	59,00		15,90	18,55	12/1-6H-1-5	P9
1121	neomezená	62,60	12	14	96	47,2	59,00		15,90	18,55	12/1-8H-1-3	P9
1122	neomezená	73,70	12	14	120	47,2	59,00		15,90	18,55	12/1-10H-1-5	P9
1123	neomezená	107,80	12	14	144	47,2	59,00		15,90	18,55	12/1-12H-1-3	P9
1124	neomezená	30,30	16	18	64	21,12	26,40		11,20	12,60	16/1-4-1-3	P9
1125	neomezená	44,10	16	18	96	24,48	30,60		11,20	12,60	16/1-6-1-3	P9

ID	Typ zkoušky	Mezní tahové zatížení Nu [kN]	Průměr kot. Šroubu d [mm]	Průměr vrtanéh o otvoru d _o [mm]	Kotevní délka h _{ef} [mm]	Válcová pevnost betonu f _c [MPa]	Krychelná pevnost betonu f _{c,150} [MPa]	Krychelná pevnost betonu f _{c,200} [MPa]	Mezní napětí τ _{u,0} [MPa]	Mezní napětí τ _u	Poznámka / Popis vzorku	Ref.
1126	neomezená	38,80	16	18	128	19,92	24,90		11,20	12,60	16/1-8 1-3	P9
1127	neomezená	102,70	16	18	160	19,92	24,90		11,20	12,60	16/1-10 1-3	P9
1128	neomezená	41,20	16	18	64	49,68	62,10		11,20	12,60	HH16/1-4H 1-3	P9
1129	neomezená	73,30	16	18	96	52,08	65,10		11,20	12,60	HH16/1-6H 1-3	P9
1130	neomezená	62,70	16	18	128	52,08	65,10		11,20	12,60	16/1-8H 1-6	P9
1131	neomezená	62,80	16	18	128	52,08	65,10		11,20	12,60	16/1-8H 1-6	P9
1132	neomezená	18,60	8	10	48	21,28	26,60		15,40	19,25	8/1-6 6-10	P9
1133	neomezená	22,70	8	10	64	21,28	26,60		15,40	19,25	8/1-8 4-8	P9
1134	neomezená	32,20	8	10	80	21,28	26,60		15,40	19,25	8/1-10 5-9	P9
1135	neomezená	24,60	8	10	80	21,28	26,60		15,40	19,25	8/1-12 4-8	P9
1136	neomezená	33,70	8	10	80	44,32	55,40		15,40	19,25	8/1-10H 1,3-5	P9
1137	neomezená	36,40	12	14	72	22,4	28,00		15,90	18,55	12/1-6 1-5	P9
1138	neomezená	34,10	12	14	72	21,28	26,60		15,90	18,55	12/1-6 6-10	P9
1139	neomezená	49,90	12	14	120	22,4	28,00		15,90	18,55	12/1-10 1-5	P9
1140	neomezená	37,80	12	14	72	47,2	59,00		15,90	18,55	12/1-6H 1-5	P9
1141	neomezená	59,90	12	14	120	47,2	59,00		15,90	18,55	12/1-10H 1-5	P9
1142	neomezená	64,30	16	18	128	52,08	65,10		11,20	12,60	16/1-8H 1-6	P9
1143	neomezená	18,40	8	10	48	21,28	26,60		15,40	19,25	8/1-6 6-10	P9
1144	neomezená	20,70	8	10	64	21,28	26,60		15,40	19,25	8/1-8 4-8	P9
1145	neomezená	26,00	8	10	80	21,28	26,60		15,40	19,25	8/1-10 5-9	P9
1146	neomezená	30,70	8	10	80	21,28	26,60		15,40	19,25	8/1-12 4-8	P9
1147	neomezená	36,60	12	14	72	22,4	28,00		15,90	18,55	12/1-6 1-5	P9
1148	neomezená	34,90	12	14	72	21,28	26,60		15,90	18,55	12/1-6 6-10	P9
1149	neomezená	31,50	12	14	120	22,4	28,00		15,90	18,55	12/1-10 1-5	P9
1150	neomezená	42,60	12	14	72	47,2	59,00		15,90	18,55	12/1-6H 1-5	P9
1151	neomezená	81,10	12	14	120	47,2	59,00		15,90	18,55	12/1-10H 1-5	P9
1152	neomezená	65,50	16	18	128	52,08	65,10		11,20	12,60	16/1-8H 1-6	P9
1153	neomezená	19,10	8	10	48	18,56	23,20		17,60	22,00	SP8/1-6 1-5	P9
1154	neomezená	22,30	8	10	64	16,64	20,80		17,60	22,00	SP8/11-8 1-5	P9
1155	neomezená	30,40	8	10	80	24,48	30,60		17,60	22,00	SP8/1-10 1-5	P9
1156	neomezená	44,80	8	10	96	24,48	30,60		17,60	22,00	SP8/1-12 3-5	P9
1157	neomezená	30,20	8	10	48	49,44	61,80		20,80	26,00	SP8/11-1-6 1-5	P9
1158	neomezená	36,80	8	10	64	57,68	72,10		20,80	26,00	SP8/1H-8 1-3,5	P9
1159	neomezená	22,10	12	14	48	18,56	23,20		12,70	14,82	SP12/1-4 1-5	P9
1160	neomezená	34,20	12	14	72	21,28	26,60		12,70	14,82	SP12/1-6 1,3-5	P9
1161	neomezená	39,90	12	14	96	20,8	26,00		12,70	14,82	SP12/1-8 1-4	P9
1162	neomezená	66,40	12	14	120	22	27,50		12,70	14,82	SP12/1-10 1-3	P9
1163	neomezená	63,70	12	14	144	26,8	33,50		12,70	14,82	SP12/1-12 1-5	P9
1164	neomezená	58,60	12	14	144	19,92	24,90		12,70	14,82	SP12/1-12 6-8	P9
1165	neomezená	29,80	12	14	48	57,68	72,10		16,20	18,90	SP12/1H-4 1-5	P9
1166	neomezená	33,80	12	14	72	49,44	61,80		16,20	18,90	SP12/1H-6 1-7	P9
1167	neomezená	62,50	12	14	96	42,32	52,90		16,20	18,90	SP12/1H-8 1-2	P9
1168	neomezená	72,70	12	14	96	50,96	63,70		16,20	18,90	SP12/1H-8 4-6	P9
1169	neomezená	64,70	12	14	120	46	57,50		16,20	18,90	SP12/1H-10 2-5	P9
1170	neomezená	66,60	12	14	144	46	57,50		16,20	18,90	SP12/1H-12 2-5	P9
1171	neomezená	27,70	16	18	64	20,8	26,00		10,70	12,04	SP16/1-4 1-3	P9
1172	neomezená	30,70	16	18	96	20,8	26,00		10,70	12,04	SP16/1-6 1-3	P9
1173	neomezená	53,70	16	18	96	24,48	30,60		10,70	12,04	SP16/1-6 4-5	P9
1174	neomezená	70,20	16	18	128	24,48	30,60		10,70	12,04	SP16/1-8 1-3	P9
1175	neomezená	42,40	16	18	160	19,92	24,90		10,70	12,04	SP16/1-10 1-3	P9
1176	neomezená	51,10	16	18	64	50,96	63,70		11,70	13,16	SP16/1H-4 1-2	P9
1177	neomezená	24,20	16	18	64	46,48	58,10		11,70	13,16	SP16/1H-4 3-5	P9
1178	neomezená	93,30	16	18	128	47,92	59,90		11,70	13,16	SP16/1H-8 1-2	P9
1179	neomezená	83,30	16	18	160	47,92	59,90		11,70	13,16	SP16/1H-10 1-2	P9
1180	neomezená	17,50	8	10	48	18,56	23,20		17,60	22,00	SP8/1-6 1-5	P9
1181	neomezená	26,70	8	10	64	16,64	20,80		17,60	22,00	SP8/11-8 1-5	P9
1182	neomezená	37,00	8	10	80	24,48	30,60		17,60	22,00	SP8/1-10 1-5	P9
1183	neomezená	44,00	8	10	96	24,48	30,60		17,60	22,00	SP8/1-12 3-5	P9
1184	neomezená	29,10	8	10	48	49,44	61,80		20,80	26,00	SP8/11-1-6 1-5	P9
1185	neomezená	35,60	8	10	64	57,68	72,10		20,80	26,00	SP8/1H-8 1-3,5	P9
1186	neomezená	23,30	12	14	48	18,56	23,20		12,70	14,82	SP12/1-4 1-5	P9
1187	neomezená	34,10	12	14	72	21,28	26,60		12,70	14,82	SP12/1-6 1,3-5	P9
1188	neomezená	42,20	12	14	96	20,8	26,00		12,70	14,82	SP12/1-8 1-4	P9
1189	neomezená	55,50	12	14	120	22	27,50		12,70	14,82	SP12/1-10 1-3	P9
1190	neomezená	68,10	12	14	144	26,8	33,50		12,70	14,82	SP12/1-12 1-5	P9
1191	neomezená	63,80	12	14	144	19,92	24,90		12,70	14,82	SP12/1-12 6-8	P9
1192	neomezená	28,10	12	14	48	57,68	72,10		16,20	18,90	SP12/1H-4 1-5	P9
1193	neomezená	39,40	12	14	72	49,44	61,80		16,20	18,90	SP12/1H-6 1-7	P9
1194	neomezená	65,00	12	14	96	42,32	52,90		16,20	18,90	SP12/1H-8 1-2	P9
1195	neomezená	64,80	12	14	96	50,96	63,70		16,20	18,90	SP12/1H-8 4-6	P9
1196	neomezená	70,10	12	14	120	46	57,50		16,20	18,90	SP12/1H-10 2-5	P9
1197	neomezená	64,70	12	14	144	46	57,50		16,20	18,90	SP12/1H-12 2-5	P9
1198	neomezená	29,40	16	18	64	20,8	26,00		10,70	12,04	SP16/1-4 1-3	P9
1199	neomezená	41,20	16	18	96	20,8	26,00		10,70	12,04	SP16/1-6 1-3	P9
1200	neomezená	47,20	16	18	96	24,48	30,60		10,70	12,04	SP16/1-6 4-5	P9

ID	Typ zkoušky	Mezní tahové zatížení Nu [kN]	Průměr kot. Šroubu d [mm]	Průměr vrtanéh o otvoru d _o [mm]	Kotevní délka h _{ef} [mm]	Válcová pevnost betonu f _c [MPa]	Krychelná pevnost betonu f _{c,150} [MPa]	Krychelná pevnost betonu f _{c,200} [MPa]	Mezní napětí τ _{u,0} [MPa]	Mezní napětí τ _u	Poznámka / Popis vzorku	Ref.
1201	neomezená	74,30	16	18	128	24,48	30,60		10,70	12,04	SP16/1-8 1-3	P9
1202	neomezená	39,90	16	18	160	19,92	24,90		10,70	12,04	SP16/1-10 1-3	P9
1203	neomezená	53,20	16	18	64	50,96	63,70		11,70	13,16	SP16/1H-4 1-2	P9
1204	neomezená	25,60	16	18	64	46,48	58,10		11,70	13,16	SP16/1H-4 3-5	P9
1205	neomezená	90,60	16	18	128	47,92	59,90		11,70	13,16	SP16/1H-8 1-2	P9
1206	neomezená	77,20	16	18	160	47,92	59,90		11,70	13,16	SP16/1H-10 1-2	P9
1207	neomezená	19,90	8	10	48	18,56	23,20		17,60	22,00	SP8/1-6 1-5	P9
1208	neomezená	27,30	8	10	64	16,64	20,80		17,60	22,00	SP811-8 1-5	P9
1209	neomezená	40,20	8	10	80	24,48	30,60		17,60	22,00	SP8/1-10 1-5	P9
1210	neomezená	38,80	8	10	96	24,48	30,60		17,60	22,00	SP8/1-12 3-5	P9
1211	neomezená	26,80	8	10	48	49,44	61,80		20,80	26,00	SP8/11-1-6 1-5	P9
1212	neomezená	34,50	8	10	64	57,68	72,10		20,80	26,00	SP8/1H-8 1-3,5	P9
1213	neomezená	20,60	12	14	48	18,56	23,20		12,70	14,82	SP12/1-4 1-5	P9
1214	neomezená	35,80	12	14	72	21,28	26,60		12,70	14,82	SP12/1-6 1,3-5	P9
1215	neomezená	31,50	12	14	96	20,8	26,00		12,70	14,82	SP12/1-8 1-4	P9
1216	neomezená	64,10	12	14	120	22	27,50		12,70	14,82	SP12/1-10 1-3	P9
1217	neomezená	50,40	12	14	144	26,8	33,50		12,70	14,82	SP12/1-12 1-5	P9
1218	neomezená	67,40	12	14	144	19,92	24,90		12,70	14,82	SP12/1-12 6-8	P9
1219	neomezená	27,80	12	14	48	57,68	72,10		16,20	18,90	SP12/1H-4 1-5	P9
1220	neomezená	28,50	12	14	72	49,44	61,80		16,20	18,90	SP12/1H-6 1-7	P9
1221	neomezená	68,20	12	14	96	50,96	63,70		16,20	18,90	SP12/1H-8 4-6	P9
1222	neomezená	72,20	12	14	120	46	57,50		16,20	18,90	SP12/1H-10 2-5	P9
1223	neomezená	81,40	12	14	144	46	57,50		16,20	18,90	SP12/1H-12 2-5	P9
1224	neomezená	33,50	16	18	64	20,8	26,00		10,70	12,04	SP16/1-4 1-3	P9
1225	neomezená	49,30	16	18	96	20,8	26,00		10,70	12,04	SP16/1-6 1-3	P9
1226	neomezená	73,70	16	18	128	24,48	30,60		10,70	12,04	SP16/1-8 1-3	P9
1227	neomezená	55,40	16	18	160	19,92	24,90		10,70	12,04	SP16/1-10 1-3	P9
1228	neomezená	27,00	16	18	64	46,48	58,10		11,70	13,16	SP16/1H-4 3-5	P9
1229	neomezená	79,50	16	18	160	47,92	59,90		11,70	13,16	SP16/1H-10 1-2	P9
1230	neomezená	19,00	8	10	48	18,56	23,20		17,60	22,00	SP8/1-6 1-5	P9
1231	neomezená	28,50	8	10	64	16,64	20,80		17,60	22,00	SP811-8 1-5	P9
1232	neomezená	34,90	8	10	80	24,48	30,60		17,60	22,00	SP8/1-10 1-5	P9
1233	neomezená	25,20	8	10	48	49,44	61,80		20,80	26,00	SP8/11-1-6 1-5	P9
1234	neomezená	29,60	8	10	64	57,68	72,10		20,80	26,00	SP8/1H-8 1-3,5	P9
1235	neomezená	20,60	12	14	48	18,56	23,20		12,70	14,82	SP12/1-4 1-5	P9
1236	neomezená	35,20	12	14	72	21,28	26,60		12,70	14,82	SP12/1-6 1,3-5	P9
1237	neomezená	40,20	12	14	96	20,8	26,00		12,70	14,82	SP12/1-8 1-4	P9
1238	neomezená	70,30	12	14	144	26,8	33,50		12,70	14,82	SP12/1-12 1-5	P9
1239	neomezená	24,00	12	14	48	57,68	72,10		16,20	18,90	SP12/1H-4 1-5	P9
1240	neomezená	38,60	12	14	72	49,44	61,80		16,20	18,90	SP12/1H-6 1-7	P9
1241	neomezená	51,40	12	14	72	49,44	61,80		16,20	18,90	SP12/1H-6 1-7	P9
1242	neomezená	78,30	12	14	120	46	57,50		16,20	18,90	SP12/1H-10 2-5	P9
1243	neomezená	60,20	12	14	144	46	57,50		16,20	18,90	SP12/1H-12 2-5	P9
1244	neomezená	19,30	8	10	48	18,56	23,20		17,60	22,00	SP8/1-6 1-5	P9
1245	neomezená	17,80	8	10	64	16,64	20,80		17,60	22,00	SP811-8 1-5	P9
1246	neomezená	38,40	8	10	80	24,48	30,60		17,60	22,00	SP8/1-10 1-5	P9
1247	neomezená	28,50	8	10	48	49,44	61,80		20,80	26,00	SP8/11-1-6 1-5	P9
1248	neomezená	21,50	12	14	48	18,56	23,20		12,70	14,82	SP12/1-4 1-5	P9
1249	neomezená	66,50	12	14	144	26,8	33,50		12,70	14,82	SP12/1-12 1-5	P9
1250	neomezená	25,50	12	14	48	57,68	72,10		16,20	18,90	SP12/1H-4 1-5	P9
1251	neomezená	41,00	12	14	72	49,44	61,80		16,20	18,90	SP12/1H-6 1-7	P9
1252	neomezená	54,00	12	14	72	49,44	61,80		16,20	18,90	SP12/1H-6 1-7	P9
1253	omezená	77,70	16	20	160	5,28	6,60		7,98	9,97	Sikadur 31	P10
1254	omezená	71,52	16	20	160	5,28	6,60		7,34	9,18	Sikadur 31	P10
1255	omezená	93,20	16	20	160	5,28	6,60		9,57	11,96	Sikadur 31	P10
1256	omezená	63,18	16	20	160	5,28	6,60		6,49	8,11	Sikadur 31	P10
1257	omezená	83,09	16	20	160	12	15,00		8,53	10,66	Sikadur 31	P10
1258	omezená	64,55	16	20	160	12	15,00		6,63	8,29	Sikadur 31	P10
1259	omezená	25,90	16	20	160	12	15,00		2,66	3,32	Sikadur 31	P10
1260	omezená	59,65	16	20	160	12	15,00		6,12	7,66	Sikadur 31	P10
1261	omezená	85,35	16	20	240	4,96	6,20		5,78	7,23	Sikadur 31	P10
1262	omezená	97,32	16	20	240	4,96	6,20		6,59	8,24	Sikadur 31	P10
1263	omezená	93,98	16	20	240	4,96	6,20		6,36	7,96	Sikadur 31	P10
1264	omezená	91,23	16	20	240	4,96	6,20		6,18	7,72	Sikadur 31	P10
1265	omezená	89,66	16	20	240	4,96	6,20		6,07	7,59	Sikadur 31	P10
1266	omezená	91,53	16	20	240	14	17,50		6,20	7,75	Sikadur 31	P10
1267	omezená	79,85	16	20	240	14	17,50		5,41	6,76	Sikadur 31	P10
1268	omezená	89,96	16	20	240	10,96	13,70		6,09	7,62	Sikadur 31	P10
1269	omezená	104,67	16	20	240	10,96	13,70		7,09	8,86	Sikadur 31	P10
1270	omezená	105,56	16	20	240	10,96	13,70		7,15	8,94	Sikadur 31	P10
1271	omezená	73,28	16	20	320	8,48	10,60		3,70	4,63	Sikadur 31	P10
1272	omezená	59,74	16	20	320	8,48	10,60		3,02	3,77	Sikadur 31	P10
1273	omezená	95,06	16	20	320	8,48	10,60		4,80	6,00	Sikadur 31	P10
1274	omezená	91,23	16	20	320	8,48	10,60		4,61	5,76	Sikadur 31	P10
1275	omezená	65,43	16	20	320	14	17,50		3,31	4,13	Sikadur 31	P10

ID	Typ zkoušky	Mezní tahové zatížení Nu [kN]	Průměr kot. Šroubu d [mm]	Průměr vrтанéh o otvoru d _o [mm]	Kotevní délka h _{ef} [mm]	Válcová pevnost betonu f _c [MPa]	Krychelná pevnost betonu f _{c,150} [MPa]	Krychelná pevnost betonu f _{c,200} [MPa]	Mezní napětí τ _{u,0} [MPa]	Mezní napětí τ _u	Poznámka / Popis vzorku	Ref.
1276	omezená	81,72	16	20	320	14	17,50		4,13	5,16	Sikadur 31	P10
1277	omezená	97,81	16	20	320	14	17,50		4,94	6,18	Sikadur 31	P10
1278	omezená	93,39	16	20	320	14	17,50		4,72	5,90	Sikadur 31	P10
1279	omezená	134,59	20	24	200	7,84	9,80		9,15	10,99	Sikadur 31	P10
1280	omezená	164,02	20	24	200	7,84	9,80		11,16	13,39	Sikadur 31	P10
1281	omezená	144,50	20	24	200	7,84	9,80		9,83	11,79	Sikadur 31	P10
1282	omezená	169,22	20	24	200	7,84	9,80		11,51	13,81	Sikadur 31	P10
1283	omezená	169,52	20	24	200	7,84	9,80		11,53	13,84	Sikadur 31	P10
1284	omezená	155,29	20	24	200	11,84	14,80		10,56	12,67	Sikadur 31	P10
1285	omezená	160,10	20	24	200	11,84	14,80		10,89	13,07	Sikadur 31	P10
1286	omezená	157,65	20	24	200	11,84	14,80		10,72	12,87	Sikadur 31	P10
1287	omezená	154,21	20	24	200	11,84	14,80		10,49	12,59	Sikadur 31	P10
1288	omezená	103,10	20	24	300	7,6	9,50		4,64	5,56	Sikadur 31	P10
1289	omezená	122,33	20	24	300	7,6	9,50		5,50	6,60	Sikadur 31	P10
1290	omezená	78,48	20	24	300	7,6	9,50		3,53	4,23	Sikadur 31	P10
1291	omezená	128,02	20	24	300	7,6	9,50		5,76	6,91	Sikadur 31	P10
1292	omezená	112,13	20	24	300	7,6	9,50		5,04	6,05	Sikadur 31	P10
1293	omezená	124,20	20	24	300	12,48	15,60		5,58	6,70	Sikadur 31	P10
1294	omezená	73,09	20	24	300	12,48	15,60		3,29	3,94	Sikadur 31	P10
1295	omezená	150,49	20	24	300	11,04	13,80		6,77	8,12	Sikadur 31	P10
1296	omezená	166,67	20	24	300	11,04	13,80		7,49	8,99	Sikadur 31	P10
1297	omezená	168,83	20	24	400	8,72	10,90		5,67	6,80	Sikadur 31	P10
1298	omezená	177,37	20	24	400	8,72	10,90		5,96	7,15	Sikadur 31	P10
1299	omezená	157,45	20	24	400	8,72	10,90		5,29	6,34	Sikadur 31	P10
1300	omezená	151,57	20	24	400	8,72	10,90		5,09	6,11	Sikadur 31	P10
1301	omezená	173,44	20	24	400	8,72	10,90		5,82	6,99	Sikadur 31	P10
1302	omezená	157,75	20	24	400	12,48	15,60		5,30	6,36	Sikadur 31	P10
1303	omezená	57,09	20	24	400	12,48	15,60		1,92	2,30	Sikadur 31	P10
1304	omezená	122,92	20	24	400	12,48	15,60		4,13	4,95	Sikadur 31	P10
1305	omezená	12,10	8	10	32	25,68	32,10		15,40	19,25	H8/32-1-5	P6
1306	omezená	21,90	8	10	64	25,68	32,10		15,40	19,25	H8/64-1-5	P6
1307	omezená	33,60	12	14	48	25,68	32,10		15,90	18,55	H12/48-1-5	P6
1308	omezená	29,60	12	14	48	20,96	26,20		15,90	18,55	J0004-108	P7
1309	omezená	54,70	12	14	96	25,68	32,10		15,90	18,55	H12/96-1-5	P6
1310	omezená	69,20	12	14	110	23,68	29,60		15,90	18,55	XX16-XX20	P7
1311	omezená	68,00	12	14	110	23,68	29,60		15,90	18,55	XX6-XX10	P7
1312	omezená	59,70	12	14	110	23,68	29,60		15,90	18,55	J0014005	P7
1313	omezená	68,20	12	14	110	26,72	33,40		15,90	18,55	XX59-XX63	P7
1314	omezená	55,90	12	14	110	20,96	26,20		15,90	18,55	XX94-XX98	P7
1315	omezená	66,30	12	14	110	23,68	29,60		15,90	18,55	XX1-XX5	P7
1316	omezená	62,60	12	14	110	20,96	26,20		15,90	18,55	XX79-XX83	P7
1317	omezená	72,90	12	14	144	25,68	32,10		15,90	18,55	H12/144-1-5	P6
1318	omezená	47,80	16	18	64	25,68	32,10		15,90	17,89	H16/64-1-5	P6
1319	omezená	78,40	16	18	128	25,68	32,10		11,20	12,60	H16/128-1-5	P6
1320	omezená	29,80	8	10	64	25,68	32,10		17,60	22,00	S8/64-1-5	P6
1321	omezená	27,70	12	14	48	25,68	32,10		12,70	14,82	S12/48-1-5	P6
1322	omezená	48,60	12	14	96	25,68	32,10		12,70	14,82	S12/96-1-5	P6
1323	omezená	72,30	12	14	144	25,68	32,10		12,70	14,82	S12/144-1-5	P6
1324	omezená	62,10	16	18	128	25,68	32,10		7,90	8,89	S16/144-1-5	P6
1325	omezená	25,90	12	14	48	25,68	32,10		9,70	11,32	W12/48-1-5	P6
1326	omezená	45,20	12	14	96	25,68	32,10		9,70	11,32	W12/96-1-5	P6
1327	omezená	77,90	12	14	144	25,68	32,10		9,70	11,32	W12/144-1-5	P6
1328	omezená	32,80	8	10	64	45,36	56,70		15,40	19,25	H8/64-1-5	P6
1329	omezená	29,50	12	14	48	45,36	56,70		15,90	18,55	H12/48-1-5	P6
1330	omezená	65,40	12	14	96	45,36	56,70		15,90	18,55	H12/96-1-5	P6
1331	omezená	60,80	12	14	110	53,6	67,00		15,90	18,55	XX49-XX53	P7
1332	omezená	90,80	12	14	144	45,36	56,70		15,90	18,55	H12/144-1-5	P6
1333	omezená	72,00	16	18	128	45,36	56,70		11,20	12,60	H16/128-1-5	P6
1334	omezená	35,40	12	14	48	45,36	56,70		12,70	14,82	S12/48-1-5	P6
1335	omezená	40,00	12	14	96	45,36	56,70		12,70	14,82	S12/96-1-5	P6
1336	omezená	18,00	12	14	144	45,36	56,70		12,70	14,82	S12/144-1-5	P6
1337	omezená	20,40	12	14	48	45,36	56,70		9,70	11,32	W12/48-1-5	P6
1338	omezená	56,00	12	14	96	45,36	56,70		9,70	11,32	W12/96-1-5	P6
1339	omezená	80,10	12	14	144	45,36	56,70		9,70	11,32	W12/144-1-5	P6
1340	omezená	19,90	8	10	32	25,68	32,10		15,40	19,25	H8/32-1-5	P6
1341	omezená	25,70	8	10	64	25,68	32,10		15,40	19,25	H8/64-1-5	P6
1342	omezená	28,30	12	14	48	25,68	32,10		15,90	18,55	H12/48-1-5	P6
1343	omezená	27,60	12	14	48	20,96	26,20		15,90	18,55	J0004-108	P7
1344	omezená	58,80	12	14	96	25,68	32,10		15,90	18,55	H12/96-1-5	P6
1345	omezená	66,60	12	14	110	23,68	29,60		15,90	18,55	XX16-XX20	P7
1346	omezená	64,40	12	14	110	23,68	29,60		15,90	18,55	XX6-XX10	P7
1347	omezená	64,20	12	14	110	23,68	29,60		15,90	18,55	J0014005	P7
1348	omezená	67,50	12	14	110	26,72	33,40		15,90	18,55	XX59-XX63	P7
1349	omezená	61,90	12	14	110	20,96	26,20		15,90	18,55	XX94-XX98	P7
1350	omezená	64,40	12	14	110	23,68	29,60		15,90	18,55	XX1-XX5	P7

ID	Typ zkoušky	Mezní tahové zatížení Nu [kN]	Průměr kot. Šroubu d [mm]	Průměr vrтанéh o otvoru d _o [mm]	Kotevní délka h _{ef} [mm]	Válcová pevnost betonu f _c [MPa]	Krychelná pevnost betonu f _{c,150} [MPa]	Krychelná pevnost betonu f _{c,200} [MPa]	Mezní napětí τ _{u,0} [MPa]	Mezní napětí τ _u	Poznámka / Popis vzorku	Ref.
1351	omezená	61,10	12	14	110	20,96	26,20		15,90	18,55	XX79-XX83	P7
1352	omezená	81,90	12	14	144	25,68	32,10		15,90	18,55	H12/144 1-5	P6
1353	omezená	41,20	16	18	64	25,68	32,10		15,90	17,89	H16/64 1-5	P6
1354	omezená	86,10	16	18	128	25,68	32,10		11,20	12,60	H16/128 1-5	P6
1355	omezená	25,70	8	10	64	25,68	32,10		17,60	22,00	S8/64- 1-5	P6
1356	omezená	22,60	12	14	48	25,68	32,10		12,70	14,82	S12/48 1-5	P6
1357	omezená	46,30	12	14	96	25,68	32,10		12,70	14,82	S12/96 1-5	P6
1358	omezená	75,10	12	14	144	25,68	32,10		12,70	14,82	S12/144 1-5	P6
1359	omezená	58,60	16	18	128	25,68	32,10		7,90	8,89	S16/144 1-5	P6
1360	omezená	24,30	12	14	48	25,68	32,10		9,70	11,32	W12/48 1-5	P6
1361	omezená	40,10	12	14	96	25,68	32,10		9,70	11,32	W12/96 1-5	P6
1362	omezená	53,60	12	14	144	25,68	32,10		9,70	11,32	W12/144 1-5	P6
1363	omezená	33,90	8	10	64	45,36	56,70		15,40	19,25	H8/64- 1-5	P6
1364	omezená	33,70	12	14	48	45,36	56,70		15,90	18,55	H12/48 1-5	P6
1365	omezená	65,90	12	14	96	45,36	56,70		15,90	18,55	H12/96 1-5	P6
1366	omezená	72,40	12	14	110	53,6	67,00		15,90	18,55	XX49-XX53	P7
1367	omezená	96,20	12	14	144	45,36	56,70		15,90	18,55	H12/144 1-5	P6
1368	omezená	92,50	16	18	128	45,36	56,70		11,20	12,60	H16/128 1-5	P6
1369	omezená	22,50	12	14	48	45,36	56,70		12,70	14,82	S12/48 1-5	P6
1370	omezená	23,60	12	14	96	45,36	56,70		12,70	14,82	S12/96 1-5	P6
1371	omezená	72,60	12	14	144	45,36	56,70		12,70	14,82	S12/144 1-5	P6
1372	omezená	17,80	12	14	48	45,36	56,70		9,70	11,32	W12/48 1-5	P6
1373	omezená	57,30	12	14	96	45,36	56,70		9,70	11,32	W12/96 1-5	P6
1374	omezená	96,90	12	14	144	45,36	56,70		9,70	11,32	W12/144 1-5	P6
1375	omezená	14,80	8	10	32	25,68	32,10		15,40	19,25	H8/32-1-5	P6
1376	omezená	27,60	8	10	64	25,68	32,10		15,40	19,25	H8/64- 1-5	P6
1377	omezená	24,80	12	14	48	25,68	32,10		15,90	18,55	H12/48 1-5	P6
1378	omezená	31,20	12	14	48	20,96	26,20		15,90	18,55	)0004-108	P7
1379	omezená	55,90	12	14	96	25,68	32,10		15,90	18,55	H12/96 1-5	P6
1380	omezená	69,30	12	14	110	23,68	29,60		15,90	18,55	XX16-XX20	P7
1381	omezená	62,60	12	14	110	23,68	29,60		15,90	18,55	XX6-XX10	P7
1382	omezená	67,40	12	14	110	23,68	29,60		15,90	18,55	)0014005	P7
1383	omezená	70,50	12	14	110	26,72	33,40		15,90	18,55	XX59-XX63	P7
1384	omezená	59,80	12	14	110	20,96	26,20		15,90	18,55	XX94-XX98	P7
1385	omezená	62,00	12	14	110	23,68	29,60		15,90	18,55	XX1-XX5	P7
1386	omezená	69,50	12	14	110	20,96	26,20		15,90	18,55	XX79-XX83	P7
1387	omezená	71,70	12	14	144	25,68	32,10		15,90	18,55	H12/144 1-5	P6
1388	omezená	39,40	16	18	64	25,68	32,10		15,90	17,89	H16/64 1-5	P6
1389	omezená	110,10	16	18	128	25,68	32,10		11,20	12,60	H16/128 1-5	P6
1390	omezená	28,50	8	10	64	25,68	32,10		17,60	22,00	S8/64- 1-5	P6
1391	omezená	28,80	12	14	48	25,68	32,10		12,70	14,82	S12/48 1-5	P6
1392	omezená	56,60	12	14	96	25,68	32,10		12,70	14,82	S12/96 1-5	P6
1393	omezená	75,80	12	14	144	25,68	32,10		12,70	14,82	S12/144 1-5	P6
1394	omezená	72,20	16	18	128	25,68	32,10		7,90	8,89	S16/144 1-5	P6
1395	omezená	18,40	12	14	48	25,68	32,10		9,70	11,32	W12/48 1-5	P6
1396	omezená	46,80	12	14	96	25,68	32,10		9,70	11,32	W12/96 1-5	P6
1397	omezená	64,20	12	14	144	25,68	32,10		9,70	11,32	W12/144 1-5	P6
1398	omezená	28,20	8	10	64	45,36	56,70		15,40	19,25	H8/64- 1-5	P6
1399	omezená	34,90	12	14	48	45,36	56,70		15,90	18,55	H12/48 1-5	P6
1400	omezená	66,90	12	14	96	45,36	56,70		15,90	18,55	H12/96 1-5	P6
1401	omezená	62,70	12	14	110	53,6	67,00		15,90	18,55	XX49-XX53	P7
1402	omezená	98,00	12	14	144	45,36	56,70		15,90	18,55	H12/144 1-5	P6
1403	omezená	71,40	16	18	128	45,36	56,70		11,20	12,60	H16/128 1-5	P6
1404	omezená	26,90	12	14	48	45,36	56,70		12,70	14,82	S12/48 1-5	P6
1405	omezená	60,10	12	14	96	45,36	56,70		12,70	14,82	S12/96 1-5	P6
1406	omezená	78,20	12	14	144	45,36	56,70		12,70	14,82	S12/144 1-5	P6
1407	omezená	23,40	12	14	48	45,36	56,70		9,70	11,32	W12/48 1-5	P6
1408	omezená	68,20	12	14	96	45,36	56,70		9,70	11,32	W12/96 1-5	P6
1409	omezená	89,00	12	14	144	45,36	56,70		9,70	11,32	W12/144 1-5	P6
1410	omezená	11,70	8	10	32	25,68	32,10		15,40	19,25	H8/32-1-5	P6
1411	omezená	28,90	8	10	64	25,68	32,10		15,40	19,25	H8/64- 1-5	P6
1412	omezená	26,80	12	14	48	25,68	32,10		15,90	18,55	H12/48 1-5	P6
1413	omezená	27,60	12	14	48	20,96	26,20		15,90	18,55	)0004-108	P7
1414	omezená	55,20	12	14	96	25,68	32,10		15,90	18,55	H12/96 1-5	P6
1415	omezená	66,20	12	14	110	23,68	29,60		15,90	18,55	XX16-XX20	P7
1416	omezená	61,20	12	14	110	23,68	29,60		15,90	18,55	XX6-XX10	P7
1417	omezená	62,70	12	14	110	23,68	29,60		15,90	18,55	)0014005	P7
1418	omezená	73,40	12	14	110	26,72	33,40		15,90	18,55	XX59-XX63	P7
1419	omezená	59,50	12	14	110	20,96	26,20		15,90	18,55	XX94-XX98	P7
1420	omezená	64,00	12	14	110	23,68	29,60		15,90	18,55	XX1-XX5	P7
1421	omezená	63,90	12	14	110	20,96	26,20		15,90	18,55	XX79-XX83	P7
1422	omezená	74,90	12	14	144	25,68	32,10		15,90	18,55	H12/144 1-5	P6
1423	omezená	38,00	16	18	64	25,68	32,10		15,90	17,89	H16/64 1-5	P6
1424	omezená	99,00	16	18	128	25,68	32,10		11,20	12,60	H16/128 1-5	P6
1425	omezená	28,20	8	10	64	25,68	32,10		17,60	22,00	S8/64- 1-5	P6

ID	Typ zkoušky	Mezní tahové zatížení Nu [kN]	Průměr kot. Šroubu d [mm]	Průměr vrtnéh o otvoru d _o [mm]	Kotevní délka h _{ef} [mm]	Válcová pevnost betonu f _c [MPa]	Krychelná pevnost betonu f _{c,150} [MPa]	Krychelná pevnost betonu f _{c,200} [MPa]	Mezní napětí τ _{u,0} [MPa]	Mezní napětí τ _u	Poznámka / Popis vzorku	Ref.
1426	omezená	31,80	12	14	48	25,68	32,10		12,70	14,82	S12/48 1-5	P6
1427	omezená	53,60	12	14	96	25,68	32,10		12,70	14,82	S12/96 1-5	P6
1428	omezená	73,90	12	14	144	25,68	32,10		12,70	14,82	S12/144 1-5	P6
1429	omezená	52,60	16	18	128	25,68	32,10		7,90	8,89	S16/144 1-5	P6
1430	omezená	23,70	12	14	48	25,68	32,10		9,70	11,32	W12/48 1-5	P6
1431	omezená	34,40	12	14	96	25,68	32,10		9,70	11,32	W12/96 1-5	P6
1432	omezená	56,30	12	14	144	25,68	32,10		9,70	11,32	W12/144 1-5	P6
1433	omezená	31,50	8	10	64	45,36	56,70		15,40	19,25	H8/64- 1-5	P6
1434	omezená	35,30	12	14	48	45,36	56,70		15,90	18,55	H12/48 1-5	P6
1435	omezená	64,00	12	14	96	45,36	56,70		15,90	18,55	H12/96 1-5	P6
1436	omezená	73,40	12	14	110	53,6	67,00		15,90	18,55	XX49-XX53	P7
1437	omezená	91,80	12	14	144	45,36	56,70		15,90	18,55	H12/144 1-5	P6
1438	omezená	65,80	16	18	128	45,36	56,70		11,20	12,60	H16/128 1-5	P6
1439	omezená	37,00	12	14	48	45,36	56,70		12,70	14,82	S12/48 1-5	P6
1440	omezená	60,00	12	14	96	45,36	56,70		12,70	14,82	S12/96 1-5	P6
1441	omezená	63,50	12	14	144	45,36	56,70		12,70	14,82	S12/144 1-5	P6
1442	omezená	26,00	12	14	48	45,36	56,70		9,70	11,32	W12/48 1-5	P6
1443	omezená	66,90	12	14	96	45,36	56,70		9,70	11,32	W12/96 1-5	P6
1444	omezená	91,40	12	14	144	45,36	56,70		9,70	11,32	W12/144 1-5	P6
1445	omezená	12,80	8	10	32	25,68	32,10		15,40	19,25	H8/32-1-5	P6
1446	omezená	22,50	8	10	64	25,68	32,10		15,40	19,25	H8/64- 1-5	P6
1447	omezená	26,80	12	14	48	25,68	32,10		15,90	18,55	H12/48 1-5	P6
1448	omezená	32,80	12	14	48	20,96	26,20		15,90	18,55	)0004-108	P7
1449	omezená	66,00	12	14	96	25,68	32,10		15,90	18,55	H12/96 1-5	P6
1450	omezená	62,10	12	14	110	23,68	29,60		15,90	18,55	XX16-XX20	P7
1451	omezená	66,90	12	14	110	23,68	29,60		15,90	18,55	XX6-XX10	P7
1452	omezená	71,50	12	14	110	23,68	29,60		15,90	18,55	)0014005	P7
1453	omezená	70,30	12	14	110	26,72	33,40		15,90	18,55	XX59-XX63	P7
1454	omezená	54,50	12	14	110	20,96	26,20		15,90	18,55	XX94-XX98	P7
1455	omezená	63,80	12	14	110	23,68	29,60		15,90	18,55	XX1-XX5	P7
1456	omezená	70,70	12	14	110	20,96	26,20		15,90	18,55	XX79-XX83	P7
1457	omezená	86,90	12	14	144	25,68	32,10		15,90	18,55	H12/144 1-5	P6
1458	omezená	40,00	16	18	64	25,68	32,10		15,90	17,89	H16/64 1-5	P6
1459	omezená	113,00	16	18	128	25,68	32,10		11,20	12,60	H16/128 1-5	P6
1460	omezená	26,80	8	10	64	25,68	32,10		17,60	22,00	S8/64- 1-5	P6
1461	omezená	29,10	12	14	48	25,68	32,10		12,70	14,82	S12/48 1-5	P6
1462	omezená	54,30	12	14	96	25,68	32,10		12,70	14,82	S12/96 1-5	P6
1463	omezená	64,10	12	14	144	25,68	32,10		12,70	14,82	S12/144 1-5	P6
1464	omezená	67,50	16	18	128	25,68	32,10		7,90	8,89	S16/144 1-5	P6
1465	omezená	24,70	12	14	48	25,68	32,10		9,70	11,32	W12/48 1-5	P6
1466	omezená	45,10	12	14	96	25,68	32,10		9,70	11,32	W12/96 1-5	P6
1467	omezená	48,20	12	14	144	25,68	32,10		9,70	11,32	W12/144 1-5	P6
1468	omezená	26,90	8	10	64	45,36	56,70		15,40	19,25	H8/64- 1-5	P6
1469	omezená	45,50	12	14	48	45,36	56,70		15,90	18,55	H12/48 1-5	P6
1470	omezená	61,30	12	14	96	45,36	56,70		15,90	18,55	H12/96 1-5	P6
1471	omezená	71,90	12	14	110	53,6	67,00		15,90	18,55	XX49-XX53	P7
1472	omezená	102,50	12	14	144	45,36	56,70		15,90	18,55	H12/144 1-5	P6
1473	omezená	93,10	16	18	128	45,36	56,70		11,20	12,60	H16/128 1-5	P6
1474	omezená	29,80	12	14	48	45,36	56,70		12,70	14,82	S12/48 1-5	P6
1475	omezená	55,00	12	14	96	45,36	56,70		12,70	14,82	S12/96 1-5	P6
1476	omezená	67,40	12	14	144	45,36	56,70		12,70	14,82	S12/144 1-5	P6
1477	omezená	22,80	12	14	48	45,36	56,70		9,70	11,32	W12/48 1-5	P6
1478	omezená	62,90	12	14	96	45,36	56,70		9,70	11,32	W12/96 1-5	P6
1479	omezená	77,70	12	14	144	45,36	56,70		9,70	11,32	W12/144 1-5	P6
1480	omezená	44,70	8	10	96	27,76	34,70		15,40	19,25	E96M8- 1-5	P8
1481	omezená	77,00	12	14	96	27,76	34,70		15,90	18,55	E96M12- 1-5	P8
1482	omezená	107,60	16	18	96	27,76	34,70		11,20	12,60	E96M16- 1-5	P8
1483	omezená	146,70	24	26	96	27,76	34,70		11,20	12,13	E96M24- 1-5	P8
1484	omezená	98,30	12	14	144	27,76	34,70		15,90	18,55	E144M12- 1-5	P8
1485	omezená	200,10	24	26	144	27,76	34,70		11,20	12,13	E144M24- 1-5	P8
1486	omezená	58,70	12	14	96	27,76	34,70		15,90	18,55	E96M12- 1-5	P8
1487	omezená	41,70	8	10	96	27,76	34,70		15,40	19,25	E96M8- 1-5	P8
1488	omezená	66,10	12	14	96	27,76	34,70		15,90	18,55	E96M12- 1-5	P8
1489	omezená	72,40	16	18	96	27,76	34,70		11,20	12,60	E96M16- 1-5	P8
1490	omezená	137,30	24	26	96	27,76	34,70		11,20	12,13	E96M24- 1-5	P8
1491	omezená	113,70	12	14	144	27,76	34,70		15,90	18,55	E144M12- 1-5	P8
1492	omezená	191,40	24	26	144	27,76	34,70		11,20	12,13	E144M24- 1-5	P8
1493	omezená	60,10	12	14	96	27,76	34,70		15,90	18,55	E96M12- 1-5	P8
1494	omezená	40,90	8	10	96	27,76	34,70		15,40	19,25	E96M8- 1-5	P8
1495	omezená	78,30	12	14	96	27,76	34,70		15,90	18,55	E96M12- 1-5	P8
1496	omezená	101,40	16	18	96	27,76	34,70		11,20	12,60	E96M16- 1-5	P8
1497	omezená	159,30	24	26	96	27,76	34,70		11,20	12,13	E96M24- 1-5	P8
1498	omezená	105,30	12	14	144	27,76	34,70		15,90	18,55	E144M12- 1-5	P8
1499	omezená	208,10	24	26	144	27,76	34,70		11,20	12,13	E144M24- 1-5	P8
1500	omezená	64,60	12	14	96	27,76	34,70		15,90	18,55	E96M12- 1-5	P8

ID	Typ zkoušky	Mezní tahové zatížení Nu [kN]	Průměr kot. Šroubu d [mm]	Průměr vrtanéh o otvoru d _o [mm]	Kotevní délka h _{ef} [mm]	Válcová pevnost betonu f _c [MPa]	Krychelná pevnost betonu f _{c,150} [MPa]	Krychelná pevnost betonu f _{c,200} [MPa]	Mezní napětí τ _{u,0} [MPa]	Mezní napětí τ _u	Poznámka / Popis vzorku	Ref.
1501	omezená	46,10	8	10	96	27,76	34,70		15,40	19,25	E96M8- 1-5	P8
1502	omezená	72,60	12	14	96	27,76	34,70		15,90	18,55	E96M12- 1-5	P8
1503	omezená	101,80	16	18	96	27,76	34,70		11,20	12,60	E96M16- 1-5	P8
1504	omezená	126,90	24	26	96	27,76	34,70		11,20	12,13	E96M24- 1-5	P8
1505	omezená	109,70	12	14	144	27,76	34,70		15,90	18,55	E144M12- 1-5	P8
1506	omezená	190,40	24	26	144	27,76	34,70		11,20	12,13	E144M24- 1-5	P8
1507	omezená	64,30	12	14	96	27,76	34,70		15,90	18,55	E962M12- 1-5	P8
1508	omezená	42,10	8	10	96	27,76	34,70		15,40	19,25	E96M8- 1-5	P8
1509	omezená	75,60	12	14	96	27,76	34,70		15,90	18,55	E96M12- 1-5	P8
1510	omezená	109,40	16	18	96	27,76	34,70		11,20	12,60	E96M16- 1-5	P8
1511	omezená	141,40	24	26	96	27,76	34,70		11,20	12,13	E96M24- 1-5	P8
1512	omezená	109,30	12	14	144	27,76	34,70		15,90	18,55	E144M12- 1-5	P8
1513	omezená	198,40	24	26	144	27,76	34,70		11,20	12,13	E144M24- 1-5	P8
1514	omezená	62,20	12	14	96	27,76	34,70		15,90	18,55	E962M12- 1-5	P8
1515	omezená	17,90	8	10	48	23,12	28,90		15,40	19,25	8/E6 1-3	P9
1516	omezená	20,80	8	10	48	24,72	30,90		15,40	19,25	8/E64-8	P9
1517	omezená	27,60	8	10	64	23,12	28,90		15,40	19,25	8/E8 4-6	P9
1518	omezená	29,00	8	10	80	23,12	28,90		15,40	19,25	8/E101-3	P9
1519	omezená	34,90	8	10	96	23,12	28,90		15,40	19,25	8/E12 4-6	P9
1520	omezená	25,40	8	10	48	47,28	59,10		15,40	19,25	8/E6- H 1-3	P9
1521	omezená	32,30	8	10	48	47,2	59,00		15,40	19,25	8/E6- H 4-8	P9
1522	omezená	30,70	8	10	64	47,28	59,10		15,40	19,25	8/E8- H 1-3	P9
1523	omezená	31,40	8	10	80	47,28	59,10		15,40	19,25	8/E10- H 2-6	P9
1524	omezená	29,60	12	14	48	23,12	28,90		15,90	18,55	12/E4 1-5	P9
1525	omezená	35,40	12	14	72	23,12	28,90		15,90	18,55	12/E6 1-5	P9
1526	omezená	69,40	12	14	96	23,12	28,90		15,90	18,55	12/E8 1-5	P9
1527	omezená	79,60	12	14	120	23,12	28,90		15,90	18,55	12/E101-5	P9
1528	omezená	28,60	12	14	48	47,28	59,10		15,90	18,55	12/E4- H 1-5	P9
1529	omezená	46,40	12	14	72	47,28	59,10		15,90	18,55	12/E6- H 1-5	P9
1530	omezená	67,70	12	14	96	47,28	59,10		15,90	18,55	12/E8- H 1-5	P9
1531	omezená	90,50	12	14	120	47,2	59,00		15,90	18,55	12/E10- H 1-5	P9
1532	omezená	36,90	16	18	64	21,12	26,40		11,20	12,60	16/1C-4 1-6	P9
1533	omezená	63,90	16	18	96	24,48	30,60		11,20	12,60	16/1C-6 1-3	P9
1534	omezená	50,80	16	18	96	24,48	30,60		11,20	12,60	16/1C-6 4-6	P9
1535	omezená	35,80	16	18	128	19,92	24,90		11,20	12,60	16/1C-8 1-6	P9
1536	omezená	75,30	16	18	160	19,92	24,90		11,20	12,60	16/1C-10 4-6	P9
1537	omezená	41,80	16	18	64	49,68	62,10		11,20	12,60	HH16/1HC-4 1-5	P9
1538	omezená	76,40	16	18	128	52,08	65,10		11,20	12,60	HH16/1HC-8 1-5	P9
1539	omezená	21,10	12	14	48	22,24	27,80		18,20	21,23	12/1-4C 1-3	P9
1540	omezená	38,20	12	14	96	21,12	26,40		18,20	21,23	12/1-8C 1-3	P9
1541	omezená	86,30	12	14	144	22,08	27,60		18,20	21,23	12/1-12C 1-3	P9
1542	omezená	19,00	8	10	48	23,12	28,90		15,40	19,25	8/E6 1-3	P9
1543	omezená	20,90	8	10	48	24,72	30,90		15,40	19,25	8/E64-8	P9
1544	omezená	27,80	8	10	64	23,12	28,90		15,40	19,25	8/E8 4-6	P9
1545	omezená	30,00	8	10	80	23,12	28,90		15,40	19,25	8/E101-3	P9
1546	omezená	35,60	8	10	96	23,12	28,90		15,40	19,25	8/E12 4-6	P9
1547	omezená	28,40	8	10	48	47,28	59,10		15,40	19,25	8/E6- H 1-3	P9
1548	omezená	24,20	8	10	48	47,2	59,00		15,40	19,25	8/E6- H 4-8	P9
1549	omezená	29,70	8	10	64	47,28	59,10		15,40	19,25	8/E8- H 1-3	P9
1550	omezená	31,70	8	10	80	47,28	59,10		15,40	19,25	8/E10- H 2-6	P9
1551	omezená	21,70	12	14	48	23,12	28,90		15,90	18,55	12/E4 1-5	P9
1552	omezená	50,40	12	14	72	23,12	28,90		15,90	18,55	12/E6 1-5	P9
1553	omezená	65,50	12	14	96	23,12	28,90		15,90	18,55	12/E8 1-5	P9
1554	omezená	66,10	12	14	120	23,12	28,90		15,90	18,55	12/E101-5	P9
1555	omezená	40,70	12	14	48	47,28	59,10		15,90	18,55	12/E4- H 1-5	P9
1556	omezená	49,40	12	14	72	47,28	59,10		15,90	18,55	12/E6- H 1-5	P9
1557	omezená	74,10	12	14	96	47,28	59,10		15,90	18,55	12/E8- H 1-5	P9
1558	omezená	98,60	12	14	120	47,2	59,00		15,90	18,55	12/E10- H 1-5	P9
1559	omezená	42,40	16	18	64	21,12	26,40		11,20	12,60	16/1C-4 1-6	P9
1560	omezená	55,00	16	18	96	24,48	30,60		11,20	12,60	16/1C-6 1-3	P9
1561	omezená	69,50	16	18	96	24,48	30,60		11,20	12,60	16/1C-6 4-6	P9
1562	omezená	32,90	16	18	128	19,92	24,90		11,20	12,60	16/1C-8 1-6	P9
1563	omezená	56,00	16	18	160	19,92	24,90		11,20	12,60	16/1C-10 4-6	P9
1564	omezená	55,30	16	18	64	49,68	62,10		11,20	12,60	HH16/1HC-4 1-5	P9
1565	omezená	90,30	16	18	128	52,08	65,10		11,20	12,60	HH16/1HC-8 1-5	P9
1566	omezená	22,00	12	14	48	22,24	27,80		18,20	21,23	12/1-4C 1-3	P9
1567	omezená	40,90	12	14	96	21,12	26,40		18,20	21,23	12/1-8C 1-3	P9
1568	omezená	90,70	12	14	144	22,08	27,60		18,20	21,23	12/1-12C 1-3	P9
1569	omezená	17,50	8	10	48	23,12	28,90		15,40	19,25	8/E6 1-3	P9
1570	omezená	17,00	8	10	48	24,72	30,90		15,40	19,25	8/E64-8	P9
1571	omezená	28,60	8	10	64	23,12	28,90		15,40	19,25	8/E8 4-6	P9
1572	omezená	30,60	8	10	80	23,12	28,90		15,40	19,25	8/E101-3	P9
1573	omezená	34,30	8	10	96	23,12	28,90		15,40	19,25	8/E12 4-6	P9
1574	omezená	24,20	8	10	48	47,28	59,10		15,40	19,25	8/E6- H 1-3	P9
1575	omezená	25,40	8	10	48	47,2	59,00		15,40	19,25	8/E6- H 4-8	P9

ID	Typ zkoušky	Mezní tahové zatížení Nu [kN]	Průměr kot. Šroubu d [mm]	Průměr vrтанéh o otvoru d _o [mm]	Kotevní délka h _{ef} [mm]	Válcová pevnost betonu f _c [MPa]	Krychelná pevnost betonu f _{c,150} [MPa]	Krychelná pevnost betonu f _{c,200} [MPa]	Mezní napětí τ _{u,0} [MPa]	Mezní napětí τ _u	Poznámka / Popis vzorku	Ref.
1576	omezená	26,10	8	10	64	47,28	59,10		15,40	19,25	8/E8-H 1-3	P9
1577	omezená	30,30	8	10	80	47,28	59,10		15,40	19,25	8/E10-H 2-6	P9
1578	omezená	21,10	12	14	48	23,12	28,90		15,90	18,55	12/E4 1-5	P9
1579	omezená	50,70	12	14	72	23,12	28,90		15,90	18,55	12/E6 1-5	P9
1580	omezená	56,90	12	14	96	23,12	28,90		15,90	18,55	12/E8 1-5	P9
1581	omezená	56,70	12	14	120	23,12	28,90		15,90	18,55	12/E101-5	P9
1582	omezená	25,90	12	14	48	47,28	59,10		15,90	18,55	12/E4-H 1-5	P9
1583	omezená	55,10	12	14	72	47,28	59,10		15,90	18,55	12/E6-H 1-5	P9
1584	omezená	76,80	12	14	96	47,28	59,10		15,90	18,55	12/E8-H 1-5	P9
1585	omezená	97,10	12	14	120	47,28	59,00		15,90	18,55	12/E10-H 1-5	P9
1586	omezená	32,20	16	18	64	21,12	26,40		11,20	12,60	16/1C-4 1-6	P9
1587	omezená	40,30	16	18	64	21,12	26,40		11,20	12,60	16/1C-4 1-6	P9
1588	omezená	43,30	16	18	96	24,48	30,60		11,20	12,60	16/1C-6 1-3	P9
1589	omezená	65,80	16	18	96	24,48	30,60		11,20	12,60	16/1C-6 4-6	P9
1590	omezená	43,10	16	18	128	19,92	24,90		11,20	12,60	16/1C-8 1-6	P9
1591	omezená	67,20	16	18	128	19,92	24,90		11,20	12,60	16/1C-81-6	P9
1592	omezená	66,00	16	18	160	19,92	24,90		11,20	12,60	16/1C-10 4-6	P9
1593	omezená	42,90	16	18	64	49,68	62,10		11,20	12,60	HH16/1HC-4 1-5	P9
1594	omezená	67,90	16	18	128	52,08	65,10		11,20	12,60	HH16/1HC-8 1-5	P9
1595	omezená	20,20	12	14	48	22,24	27,80		18,20	21,23	12/1-4C 1-3	P9
1596	omezená	39,60	12	14	96	21,12	26,40		18,20	21,23	12/1-8C 1-3	P9
1597	omezená	77,60	12	14	144	22,08	27,60		18,20	21,23	12/1-12C 1-3	P9
1598	omezená	17,30	8	10	48	24,72	30,90		15,40	19,25	8/E64-8	P9
1599	omezená	19,70	8	10	48	47,28	59,00		15,40	19,25	8/E6-H 4-8	P9
1600	omezená	33,30	8	10	80	47,28	59,10		15,40	19,25	8/E10-H 2-6	P9
1601	omezená	37,70	12	14	48	23,12	28,90		15,90	18,55	12/E4 1-5	P9
1602	omezená	54,30	12	14	72	23,12	28,90		15,90	18,55	12/E6 1-5	P9
1603	omezená	71,20	12	14	96	23,12	28,90		15,90	18,55	12/E8 1-5	P9
1604	omezená	82,70	12	14	120	23,12	28,90		15,90	18,55	12/E101-5	P9
1605	omezená	36,40	12	14	48	47,28	59,10		15,90	18,55	12/E4-H 1-5	P9
1606	omezená	51,20	12	14	72	47,28	59,10		15,90	18,55	12/E6-H 1-5	P9
1607	omezená	74,20	12	14	96	47,28	59,10		15,90	18,55	12/E8-H 1-5	P9
1608	omezená	83,90	12	14	120	47,28	59,00		15,90	18,55	12/E10-H 1-5	P9
1609	omezená	55,00	16	18	64	21,12	26,40		11,20	12,60	16/1C-4 1-6	P9
1610	omezená	61,90	16	18	128	19,92	24,90		11,20	12,60	16/1C-81-6	P9
1611	omezená	48,60	16	18	64	49,68	62,10		11,20	12,60	HH16/1HC-4 1-5	P9
1612	omezená	90,70	16	18	128	52,08	65,10		11,20	12,60	HH16/1HC-8 1-5	P9
1613	omezená	21,40	8	10	48	24,72	30,90		15,40	19,25	8/E64-8	P9
1614	omezená	23,40	8	10	48	47,28	59,00		15,40	19,25	8/E6-H 4-8	P9
1615	omezená	34,90	12	14	48	23,12	28,90		15,90	18,55	12/E4 1-5	P9
1616	omezená	49,70	12	14	72	23,12	28,90		15,90	18,55	12/E6 1-5	P9
1617	omezená	61,40	12	14	96	23,12	28,90		15,90	18,55	12/E8 1-5	P9
1618	omezená	86,00	12	14	120	23,12	28,90		15,90	18,55	12/E101-5	P9
1619	omezená	41,90	12	14	48	47,28	59,10		15,90	18,55	12/E4-H 1-5	P9
1620	omezená	51,60	12	14	72	47,28	59,10		15,90	18,55	12/E6-H 1-5	P9
1621	omezená	81,10	12	14	96	47,28	59,10		15,90	18,55	12/E8-H 1-5	P9
1622	omezená	97,30	12	14	120	47,28	59,00		15,90	18,55	12/E10-H 1-5	P9
1623	omezená	38,80	16	18	64	21,12	26,40		11,20	12,60	16/1C-4 1-6	P9
1624	omezená	88,30	16	18	128	19,92	24,90		11,20	12,60	16/1C-81-6	P9
1625	omezená	58,60	16	18	64	49,68	62,10		11,20	12,60	HH16/1HC-4 1-5	P9
1626	omezená	115,90	16	18	128	52,08	65,10		11,20	12,60	HH16/1HC-8 1-5	P9
1627	omezená	25,30	8	10	48	18,56	23,20		17,60	22,00	SP8/1C-6 1-5	P9
1628	omezená	30,30	8	10	64	23,28	29,10		17,60	22,00	SP8/1C-8 1-5	P9
1629	omezená	24,60	8	10	48	49,44	61,80		20,80	26,00	SP8/1HC-6 1-5	P9
1630	omezená	42,70	8	10	64	57,68	72,10		20,80	26,00	SP8/1HC-8 1-5	P9
1631	omezená	31,10	12	14	48	18,56	23,20		12,70	14,82	SP12/1C-4 1-5	P9
1632	omezená	45,80	12	14	72	21,28	26,60		12,70	14,82	SP12/1C-6 1-5	P9
1633	omezená	65,00	12	14	120	22	27,50		12,70	14,82	SP12/1C-10 1-4	P9
1634	omezená	84,80	12	14	144	26,8	33,50		12,70	14,82	SP12/1C-12 1-3	P9
1635	omezená	60,70	12	14	144	19,92	24,90		12,70	14,82	SP12/1C-12 4-6	P9
1636	omezená	36,20	12	14	48	57,68	72,10		16,20	18,90	SP12/1HC-4 1-5	P9
1637	omezená	57,40	12	14	72	49,44	61,80		16,20	18,90	SP12/1HC-6 1-5	P9
1638	omezená	65,30	12	14	96	46,32	57,90		16,20	18,90	SP12/1HC-8 1-3	P9
1639	omezená	70,00	12	14	96	50,96	63,70		16,20	18,90	SP12/1HC-8 4-8	P9
1640	omezená	72,70	12	14	120	44,8	56,00		16,20	18,90	SP12/1 HC-10 ,2 s	P9
1641	omezená	63,00	12	14	120	46	57,50		16,20	18,90	SP12/1HC-10 6-8	P9
1642	omezená	82,10	12	14	144	46	57,50		16,20	18,90	SP12/1HC-12 1-6	P9
1643	omezená	51,90	16	18	64	21,12	26,40		10,70	12,04	SP16/1C-4 1-3	P9
1644	omezená	58,60	16	18	96	24,48	30,60		10,70	12,04	SP16/1C-6 1-5	P9
1645	omezená	74,70	16	18	128	24,48	30,60		10,70	12,04	SP16/1C-8 1-3	P9
1646	omezená	98,10	16	18	160	19,92	24,90		10,70	12,04	SP16/1C-10 1-3	P9
1647	omezená	63,70	16	18	64	49,68	62,10		11,70	13,16	SP16/1HC-4 1-5	P9
1648	omezená	67,40	16	18	128	47,92	59,90		11,70	13,16	SP16/1HC-8 1-3	P9
1649	omezená	95,60	16	18	160	47,92	59,90		11,70	13,16	SP16/1HC-10 1-3	P9
1650	omezená	19,20	8	10	48	18,56	23,20		17,60	22,00	SP8/1C-6 1-5	P9

ID	Typ zkoušky	Mezní tahové zatížení Nu [kN]	Průměr kot. Šroubu d [mm]	Průměr vrтанéh o otvoru d _o [mm]	Kotevní délka h _{ef} [mm]	Válcová pevnost betonu f _c [MPa]	Krychelná pevnost betonu f _{c,150} [MPa]	Krychelná pevnost betonu f _{c,200} [MPa]	Mezní napětí τ _{u,0} [MPa]	Mezní napětí τ _u	Poznámka / Popis vzorku	Ref.
1651	omezená	30,90	8	10	64	23,28	29,10		17,60	22,00	SP8/1C-8 1-5	P9
1652	omezená	27,10	8	10	48	49,44	61,80		20,80	26,00	SP8/1HC-6 1-5	P9
1653	omezená	40,70	8	10	64	57,68	72,10		20,80	26,00	SP8/1HC-8 1-5	P9
1654	omezená	33,20	12	14	48	18,56	23,20		12,70	14,82	SP12/1C-4 1-5	P9
1655	omezená	48,20	12	14	72	21,28	26,60		12,70	14,82	SP12/1C-6 1-5	P9
1656	omezená	61,70	12	14	120	22	27,50		12,70	14,82	SP12/1C-10 1-4	P9
1657	omezená	70,60	12	14	144	26,8	33,50		12,70	14,82	SP12/1C-12 1-3	P9
1658	omezená	62,30	12	14	144	19,92	24,90		12,70	14,82	SP12/1C-12 4-6	P9
1659	omezená	39,40	12	14	48	57,68	72,10		16,20	18,90	SP12/1HC-4 1-5	P9
1660	omezená	52,90	12	14	72	49,44	61,80		16,20	18,90	SP12/1HC-6 1-5	P9
1661	omezená	68,00	12	14	96	46,32	57,90		16,20	18,90	SP12/1HC-8 1-3	P9
1662	omezená	71,40	12	14	96	50,96	63,70		16,20	18,90	SP12/1HC-8 4-8	P9
1663	omezená	82,70	12	14	120	44,8	56,00		16,20	18,90	SP12/1 HC-10, 2.s	P9
1664	omezená	55,90	12	14	120	46	57,50		16,20	18,90	SP12/1HC-10 6-8	P9
1665	omezená	87,70	12	14	144	46	57,50		16,20	18,90	SP12/1HC-12 1-6	P9
1666	omezená	58,10	16	18	64	21,12	26,40		10,70	12,04	SP16/1C-4 1-3	P9
1667	omezená	58,40	16	18	96	24,48	30,60		10,70	12,04	SP16/1C-6 1-5	P9
1668	omezená	65,30	16	18	128	24,48	30,60		10,70	12,04	SP16/1C-8 1-3	P9
1669	omezená	99,20	16	18	160	19,92	24,90		10,70	12,04	SP16/1C-10 1-3	P9
1670	omezená	71,80	16	18	64	49,68	62,10		11,70	13,16	SP16/1HC-4 1-5	P9
1671	omezená	86,30	16	18	128	47,92	59,90		11,70	13,16	SP16/1HC-8 1-3	P9
1672	omezená	98,10	16	18	160	47,92	59,90		11,70	13,16	SP16/1HC-10 1-3	P9
1673	omezená	22,80	8	10	48	18,56	23,20		17,60	22,00	SP8/1C-6 1-5	P9
1674	omezená	29,90	8	10	64	23,28	29,10		17,60	22,00	SP8/1C-8 1-5	P9
1675	omezená	31,90	8	10	48	49,44	61,80		20,80	26,00	SP8/1HC-6 1-5	P9
1676	omezená	42,00	8	10	64	57,68	72,10		20,80	26,00	SP8/1HC-8 1-5	P9
1677	omezená	32,20	12	14	48	18,56	23,20		12,70	14,82	SP12/1C-4 1-5	P9
1678	omezená	45,70	12	14	72	21,28	26,60		12,70	14,82	SP12/1C-6 1-5	P9
1679	omezená	63,40	12	14	120	22	27,50		12,70	14,82	SP12/1C-10 1-4	P9
1680	omezená	78,20	12	14	144	26,8	33,50		12,70	14,82	SP12/1C-12 1-3	P9
1681	omezená	75,90	12	14	144	19,92	24,90		12,70	14,82	SP12/1C-12 4-6	P9
1682	omezená	31,30	12	14	48	57,68	72,10		16,20	18,90	SP12/1HC-4 1-5	P9
1683	omezená	53,40	12	14	72	49,44	61,80		16,20	18,90	SP12/1HC-6 1-5	P9
1684	omezená	58,00	12	14	96	46,32	57,90		16,20	18,90	SP12/1HC-8 1-3	P9
1685	omezená	68,10	12	14	96	50,96	63,70		16,20	18,90	SP12/1HC-8 4-8	P9
1686	omezená	77,50	12	14	120	44,8	56,00		16,20	18,90	SP12/1 HC-10, 2.s	P9
1687	omezená	69,70	12	14	120	46	57,50		16,20	18,90	SP12/1HC-10 6-8	P9
1688	omezená	85,60	12	14	144	46	57,50		16,20	18,90	SP12/1HC-12 1-6	P9
1689	omezená	89,40	12	14	144	46	57,50		16,20	18,90	SP12/1HC-12 1-6	P9
1690	omezená	52,80	16	18	64	21,12	26,40		10,70	12,04	SP16/1C-4 1-3	P9
1691	omezená	62,40	16	18	96	24,48	30,60		10,70	12,04	SP16/1C-6 1-5	P9
1692	omezená	69,30	16	18	128	24,48	30,60		10,70	12,04	SP16/1C-8 1-3	P9
1693	omezená	93,90	16	18	160	19,92	24,90		10,70	12,04	SP16/1C-10 1-3	P9
1694	omezená	71,20	16	18	64	49,68	62,10		11,70	13,16	SP16/1HC-4 1-5	P9
1695	omezená	91,60	16	18	128	47,92	59,90		11,70	13,16	SP16/1HC-8 1-3	P9
1696	omezená	89,60	16	18	160	47,92	59,90		11,70	13,16	SP16/1HC-10 1-3	P9
1697	omezená	26,50	8	10	48	18,56	23,20		17,60	22,00	SP8/1C-6 1-5	P9
1698	omezená	29,40	8	10	64	23,28	29,10		17,60	22,00	SP8/1C-8 1-5	P9
1699	omezená	32,80	8	10	48	49,44	61,80		20,80	26,00	SP8/1HC-6 1-5	P9
1700	omezená	41,40	8	10	64	57,68	72,10		20,80	26,00	SP8/1HC-8 1-5	P9
1701	omezená	28,40	12	14	48	18,56	23,20		12,70	14,82	SP12/1C-4 1-5	P9
1702	omezená	48,80	12	14	72	21,28	26,60		12,70	14,82	SP12/1C-6 1-5	P9
1703	omezená	51,40	12	14	120	22	27,50		12,70	14,82	SP12/1C-10 1-4	P9
1704	omezená	40,90	12	14	48	57,68	72,10		16,20	18,90	SP12/1HC-4 1-5	P9
1705	omezená	55,80	12	14	72	49,44	61,80		16,20	18,90	SP12/1HC-6 1-5	P9
1706	omezená	66,00	12	14	96	50,96	63,70		16,20	18,90	SP12/1HC-8 4-8	P9
1707	omezená	69,60	12	14	120	44,8	56,00		16,20	18,90	SP12/1 HC-10, 2.s	P9
1708	omezená	79,20	12	14	144	46	57,50		16,20	18,90	SP12/1HC-12 1-6	P9
1709	omezená	64,70	16	18	96	24,48	30,60		10,70	12,04	SP16/1C-6 1-5	P9
1710	omezená	67,10	16	18	64	49,68	62,10		11,70	13,16	SP16/1HC-4 1-5	P9
1711	omezená	26,50	8	10	48	18,56	23,20		17,60	22,00	SP8/1C-6 1-5	P9
1712	omezená	27,40	8	10	64	23,28	29,10		17,60	22,00	SP8/1C-8 1-5	P9
1713	omezená	30,50	8	10	48	49,44	61,80		20,80	26,00	SP8/1HC-6 1-5	P9
1714	omezená	28,80	8	10	64	57,68	72,10		20,80	26,00	SP8/1HC-8 1-5	P9
1715	omezená	38,10	12	14	48	18,56	23,20		12,70	14,82	SP12/1C-4 1-5	P9
1716	omezená	47,50	12	14	72	21,28	26,60		12,70	14,82	SP12/1C-6 1-5	P9
1717	omezená	41,80	12	14	48	57,68	72,10		16,20	18,90	SP12/1HC-4 1-5	P9
1718	omezená	51,20	12	14	72	49,44	61,80		16,20	18,90	SP12/1HC-6 1-5	P9
1719	omezená	60,40	12	14	96	50,96	63,70		16,20	18,90	SP12/1HC-8 4-8	P9
1720	omezená	77,70	12	14	144	46	57,50		16,20	18,90	SP12/1HC-12 1-6	P9
1721	omezená	62,10	16	18	96	24,48	30,60		10,70	12,04	SP16/1C-6 1-5	P9
1722	omezená	72,70	16	18	64	49,68	62,10		11,70	13,16	SP16/1HC-4 1-5	P9