



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

# OKRAJOVÉ PODMÍNKY A JEJICH VLIV PŘI VÝROBĚ ROZPTÝLENÉ OCELOVÉ VÝZTUŽE DO BETONU

MARGINAL CONDITIONS AND THEIR INFLUENCE IN THE PRODUCTION OF REINFORCED STEEL FIBRES  
IN CONCRETE

## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ing. Markéta Loyková

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Michaela Císařová, Ph.D.

BRNO 2019

# Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Studentka:	<b>Ing. Markéta Loyková</b>
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	<b>Ing. Michaela Císařová, Ph.D.</b>
Akademický rok:	2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

## **Okrajové podmínky a jejich vliv při výrobě rozptýlené ocelové výztuže do betonu**

### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Práce bude zaměřena na technologii výroby drátu, který se používá jako výztuž do betonových konstrukcí. Bude sledován vliv maziva a okolní teploty při samotné výrobě i následný vliv na mechanické vlastnosti a interakci s betonem.

### **Cíle bakalářské práce:**

- Provedení aktuální studie výroby drátu technologií tažení a jeho úpravy,
- vyhodnocení mechanických zkoušek vstupního materiálu a po technologické úpravě drátu,
- studie vlivu maziva a okolní teploty při tažení na kvalitu a konečné zpracování drátků,
- analýza trhu a možnosti různých typů rozptýlené ocelové výztuže do betonu v závislosti na prostředí a požadované funkce,
- zhodnocení.

### **Seznam doporučené literatury:**

VALBERG, S. Henry. Applied Metal Forming: Including FEM analysis. 1. New York: Cambridge University Press, 2010. ISBN 978-0-521-51823-9.

TSCHATTSCH, Heinz. Metal forming practise: processes - machines - tools. New York: Springer-Verlag, 2006. ISBN 35-403-3216-2.

FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.

LIDMILA, Zdeněk. Teorie a technologie tváření. Brno: Univerzita obrany, 2008. ISBN 978-80-72-1-579-6.

DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Milan HORÁČEK. Technologie II. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2001. ISBN 80-214-2032-4.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## Abstrakt

LOYKOVÁ Markéta: Okrajové podmínky a jejich vliv při výrobě rozptýlené ocelové výztuže do betonu

Stále se zvyšující požadavky zákazníků na rychlost realizace stavby a snížení veškerých vstupních nákladů se odrazily ve stavebnictví vysokou poptávkou po betonu s rozptýlenou ocelovou výztuží. V tomto kompozitním materiálu zastává podstatnou roli ocelová výztuž, tzv. drátky, která betonu zajišťuje požadované fyzikálně-mechanické vlastnosti. Při samotné výrobě drátků je nutno kromě samotného procesu tažení se věnovat i okrajovým podmínkám a jejich vlivům při výrobě drátkobetonu. Za úzké spolupráce s firmami Krampe Harex CZ a Cemex Czech Republic byla vytvořena analýza podmínek procesu tažení a následného vlivu rozptýlené ocelové výztuže na finální produkt. V práci jsou zhodnoceny i ekonomické aspekty na výrobu rozptýlené ocelové výztuže do betonu.

Klíčová slova: rozptýlená ocelová výztuž, drátkobeton, mechanické zkoušky, ocel, mazivo, okrajové podmínky pro výrobu drátu

## Abstract

LOYKOVÁ Markéta: Marginal conditions and their influence in the production of reinforced steel fibers in concrete

Constantly increasing demands of customers for the speed of realization of the construction and reduction of all input costs have been reflected in civil engineering by high demand for reinforced steel fibers in concrete. The steel reinforcement has significant role in this composite material. This means that reinforcement (wires) provide the required physicochemical properties to the concrete. It is necessary to pay attention also to the marginal conditions and their influences in the production of wire. In close cooperation with the companies Krampe Harex CZ and Cemex Czech Republic, an analysis of the conditions of the drawing process and subsequent influence of dispersed steel reinforcement on the final product was created. The economic aspects of the production of dispersed steel reinforcement in concrete were also mentioned.

Keywords: reinforced steel fibers, wire-concrete, mechanical tests, steel, lubricant, marginal conditions for wire production

### Bibliografická citace

LOYKOVÁ, Markéta. *Okrajové podmínky a jejich vliv při výrobě rozptýlené ocelové výztuže do betonu*. Brno, 2019. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/113087>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Michaela Císařová.

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „*Okrajové podmínky a jejich vliv při výrobě rozptýlené ocelové výztuže do betonu*“ vypracovala samostatně s využitím uvedené literatury a informací na něž odkáži.

V Olomouci dne 16. 5. 2019

-----  
Ing. Markéta Loyková

## **Poděkování**

Touto cestou bych ráda poděkovala své vedoucí bakalářské práce Ing. Michaele Císařové, Ph.D. za odborné vedení, společnosti Krampe Harex CZ za příležitost řešit problematiku z praxe a Ing. Tomáši Ťažkému za věcné rady z praxe. Dále patří poděkování mé rodině a nejbližším přátelům.

# Obsah

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

**Úvod..... 8**

**1 Rozbor zadání..... 9**

1.1 Metodika testování ..... 9

**2 Tvářeni ..... 10**

2.1 Tvárná deformace..... 10

2.2 Charakteristiky plasticity ..... 12

2.2.1 Zákony tvářeni ..... 14

**3 Tažení drátů..... 15**

3.1 Stroje a nástroje pro tažení ..... 16

3.2 Stacionární rychlostní pole..... 18

3.3 Materiál pro tažení drátů a tvářitelnost ..... 19

3.4 Veličiny ovlivňující proces tažení..... 19

3.5 Okrajové podmínky a jejich vliv ..... 22

**4 Rozptýlená ocelová výztuž..... 25**

4.1 Krampe Harex CZ s. r. o. .... 26

4.2 Analýza českého trhu ..... 27

4.3 Polotovary a jeho zpracování ..... 29

4.4 Výrobní proces v Krampe Harex CZ ..... 30

4.5 Lubrikanty a testování..... 31

4.6 Testování okrajových podmínek ..... 35

4.7 Komplexní zhodnocení ..... 41

**5 Závěry..... 42**

Seznam použité literatury

Seznam použitých symbolů a značek

Seznam grafů

Seznam obrázků

Seznam tabulek

Seznam příloh

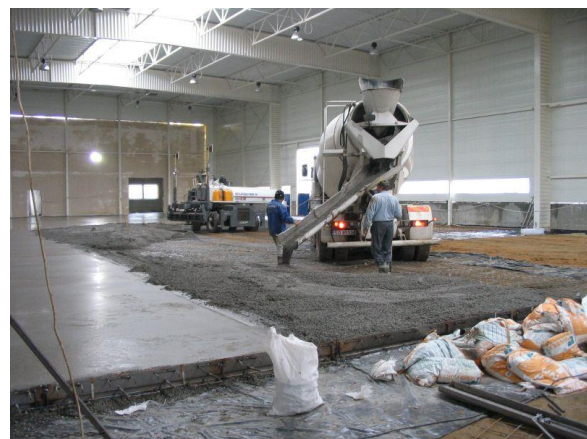
## Úvod [1], [2], [3], [4], [5], [6]

V současné době zažívá Česká republika (ČR), potažmo celá Evropa, prudký vzestup stavebního sektoru, v oblastech inženýrských i infrastrukturních staveb. Díky této konjunktuře je vyvíjen někdy až enormní tlak na rychlost a kvalitu výstavby prováděného díla, kdy za nedodržení termínu jsou účtovány velmi vysoké sankce. Jedna z posledních částí každého díla je zhotovení finální průmyslové podlahy (obrázek 1 a 2), popř. cemento-betonového krytu. Trendem v realizaci průmyslových podlah je snaha o přechod z klasické vázané ocelové výztuže na rozptýlenou, která je při výrobě betonové směsi do ní vmíchána. Tím dochází k časové úspoře při pokládce, což vede k úsporám financí na lidský kapitál. Další nemalou úsporou je nižší spotřeba ocelového materiálu pro zpevnění betonové směsi. Stále ve větším měřítku jsou navrhovány a realizovány tzv. bezespáré podlahy, kdy je užití “drátkobetonu“ prakticky nutností. Český trh je schopen pojmout cca 9-11 tisíc tun ocelové rozptýlené výztuže, kdy toto číslo je meziročně stále navyšováno. V ČR jsou alokovány i dvě velmi velké a strategické výroby pro střední a východní Evropu, díky čemuž je ČR jedním z největších výrobců rozptýlené výztuže v Evropě.

Výroba rozptýlené výztuže s sebou přináší spoustu technologicky náročných operací. Systém drátotahu a následná úprava je velmi citlivá na chemismus dodaného drátu. Celá tato operace je kromě chemického složení oceli náchylná na okolní teplotu prostředí a na použití lubrikačních prostředků, které jsou velmi zásadní i pro možnou, často se vyskytující, avšak zcela nežádoucí chemickou reakci s cementovou matricí v betonu. Může docházet k tzv. falešnému provzdušnění betonu a tím k zásadním poklesům finálních mechanických a fyzikálních vlastností, případně k tvorbě nežádoucích hydratačních produktů, které mají za následek snižování požadovaných vlastností díky narušení mikrostruktury cementového kamene. Na povrch betonové konstrukce je pak následně vyplavován lubrikant, což zcela znehodnocuje designovou stránku díla. Velmi podstatné je i zakotvení rozptýlené ocelové výztuže v cementové matrici, aby byl výsledný drátkobeton homogenní a působil dle statického výpočtu a předpokladu.



Obrázek 1 Beton s rozptýlenou ocelovou výztuží [5]



Obrázek 2 Podlaha z betonu s rozptýlenou ocelovou výztuží v průmyslové hale [5]



# 1 Rozbor zadání [6]

Celá bakalářská práce bude vznikat ve spolupráci se společností Krampe Harex CZ, která je jedním z předních výrobců ocelové rozptýlené výztuže do betonu ve střední Evropě a v ČR sídlí nedaleko Brna v obci Ostrovačice. Dále se bude věnovat výrobě a technologické úpravě taženého drátů s provedením vstupních mechanických zkoušek. Následně bude studován vliv lubrikačních prostředků a okolní teploty na technologii tažení, kvalitu a konečnou úpravu drátků pro kotvení v cementové matrici a zároveň s rychlostí provozu linky, kdy ve spolupráci s laboratorii Cemex Czech Republic budou zkoumány i finální mechanické vlastnosti a zároveň i interakce s betonem. Výstupem bude zhodnocení výsledků s ohledem na mechanické zkoušky oceli i betonu a možnost použití s ohledem na produkci linky a ekonomickou stránku. V práci bude provedena analýza trhu a možností různých typů rozptýlené ocelové výztuže do betonu, dle požadované funkce a prostředí.

## 1.1 Metodika testování [3], [6]

Vedení společnosti Krampe Harex CZ se v rámci neustálé optimalizace procesu rozhodla testovat nový tažirenský lubrikant Vicafil TF 1269 od firmy Condat a Traxit SL4040 od společnosti Traxit International GmbH. Tažirenské prostředky není vhodné testovat nikde jinde než na lince samotné, protože se nelze spoléhat na podobnost reálného a testovacího, popř. laboratorního prostředí.

Práce byla založena výhradně na aplikovaném výzkumu, který se zabýval otázkami praxe. Jeho cílem bylo stanovit výhodnost použití dvou tažirenských prostředků různých dodavatelů. Pro analýzu stavů procesu bylo využito jak kvantitativních, tak i kvalitativních metod.

Prvotním krokem praktické části byla analýza společnosti Krampe Harex a jejich konkurentů na českém trhu, která byla provedena formou rešerše webových stránek společností, kde jsem se obeznámila s historií podniků, nabízeným sortimentem a jejich ekonomickou situací. Následně byl představen proces tažení dvěma technologiemi společnosti Krampe Harex CZ a diskutovány okrajové podmínky procesu. Je nutné si však uvědomit, že výroba rozptýlené ocelové výztuže je pouze jedna část výzkumu. Tou druhou částí je kompatibilita s betonovou směsí samotnou. Finální vlastnosti drátkobetonu byly diskutovány s technologem ze společnosti CEMEX Czech Republic. Tato společnost byla ještě donedávna největším odběratelem rozptýlené ocelové výztuže od společnosti Krampe Harex CZ. Z pohledu kvantitativního výzkumu byla do praktické části zařazena metoda oficiální statistiky – analýza interních dokumentů, kterými rozumíme záznamy z testování současně používaného lubrikantu. Tyto data posloužila ke srovnání nově získaných hodnot a následně k závěrečnému vyhodnocení.

## 2 Tváření [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13]

Prvotní zmínky o technologii tváření kovů se objevily již před 4 000 lety. Nejprve byly zpracovávány kovy, které byly v přírodě dostupné v ryzí formě (např. zlato, měď nebo železo). Poté, co se lidstvo naučilo zpracovávat rudy (okolo 3000 př. n. l.), došlo k velkému rozvoji této výrobní technologie nejprve v oblastech Malé Asie a Egyptě, následně pak ve středomoří, jižní a střední Evropě. Tomu nasvědčují i archeologické nálezy jako je např. socha Romula a Rema (obrázek 3).



Obrázek 3 Romulus a Remus [11]

Tváření se řadí mezi nedestruktivní technologii zpracování materiálu, během kterého dochází ke změně mechanických vlastností vstupního materiálu a jeho tvaru v důsledku působení vnějších sil bez odběru třísek. Princip procesu tváření je založen na vzniku plastických deformací, ke kterému dochází ve chvíli, kdy napětí dosáhne hranice meze kluzu materiálu. V žádném případě nesmí být u materiálu při procesu tváření překročena mez pevnosti.

Tváření materiálu může probíhat jak za studena, tak i za tepla. V případě tváření materiálu za studena probíhá proces za značně nižších teplot, než je teplota rekrytalizace. Zrna se deformují ve směru tváření, vzniká deformační textura a dochází ke zpevňování materiálu, což znamená zvýšení mechanických hodnot (mez pevnosti a mez kluzu), naopak tažnost materiálu se snižuje. Deformační schopnost lze znovu obnovit rekrytalizačním žháním. Tváření za studena se vyznačuje výhodami, jako jsou vysoká přesnost rozměrů, zlepšení pevnosti materiálu a kvalitním povrchem. Naopak nevýhodou je nerovnoměrnost zpevňování, omezení tvárnosti a potřeba vysoké hodnoty tvářecí síly. Kompromisem mezi tvářením za studena a za tepla je tváření za polo ohřevu, což má příznivý vliv na přetvárné vlastnosti, mechanické a fyzikální vlastnosti, jakost a přesnost povrchu.

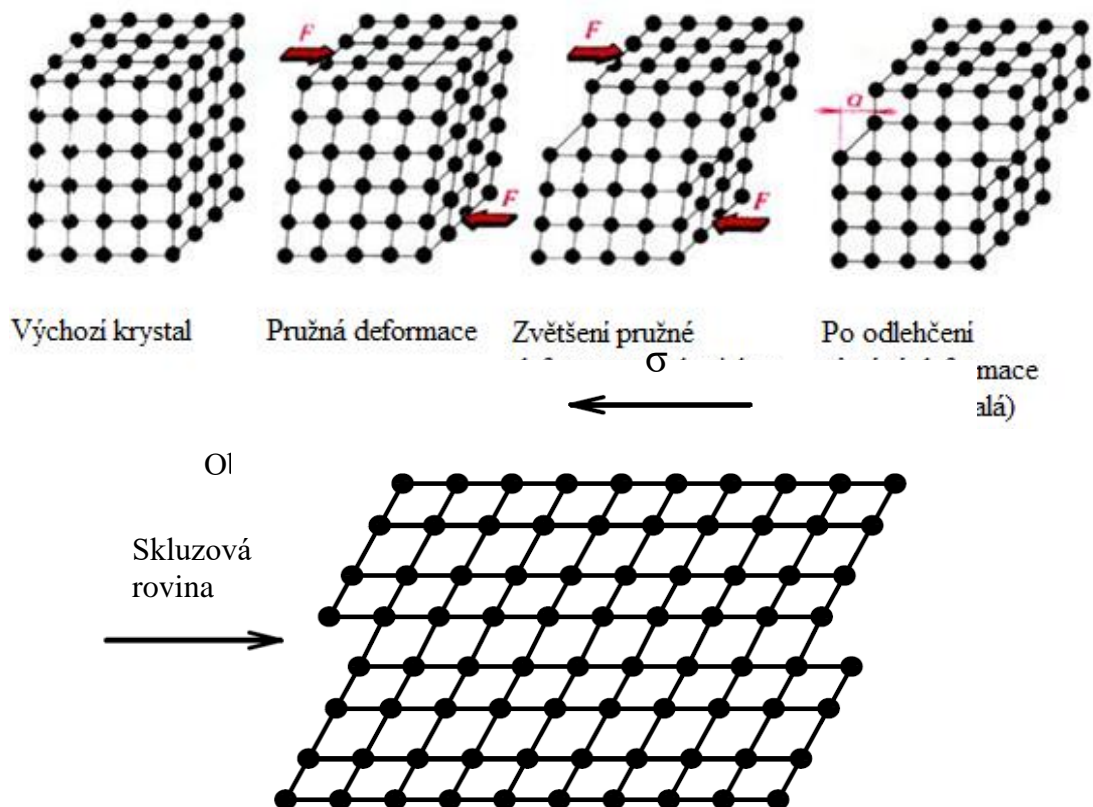
### 2.1 Tvárná deformace [8], [9], [10]

Působením vnitřních nebo vnějších sil dochází ke změnám tvaru tělesa, aniž by byla narušena jeho spojitost. Taková změna je označována jako deformace. Průvodci děje jsou fyzikální změny a změny struktury, které mají vliv na mechanické vlastnosti materiálu. V případě, že síly přesáhnou hranici pevnosti materiálu, dojde k jeho porušení. V případě kovového monokrystalu se jedná o pružnou (elastickou) deformaci tehdy, pokud parametr mřížky  $a$  se zvětšuje nebo zmenšuje v rozsahu menším, než je jeden parametr  $a$  (obrázek 4). Atomy se vrátí do původní polohy, když vnější síly přestanou na monokrystal působit. Dosáhne-li napětí meze kluzu ( $R_e$ ), atomy změní nejméně o jeden parametr  $a$  svou polohu a dojde k trvalé (plastické) deformaci. Schéma pružné a trvalé deformace zachycuje (obrázek 4). K tomuto jevu dochází v rovinách

krystalové mřížky, které jsou nejhustěji obsazené atomy, tzv. kluzné roviny. Rozpoznáváme dva mechanismy plastické deformace, tj. skluz a dvojčatění a rozvíjí se vždy ten z mechanismů, který potřebuje nejmenší napětí při daných podmínkách.

- **Deformace skluzem**

Mechanismus plastické deformace skluzem (obrázek 5) je velmi častým jevem oproti

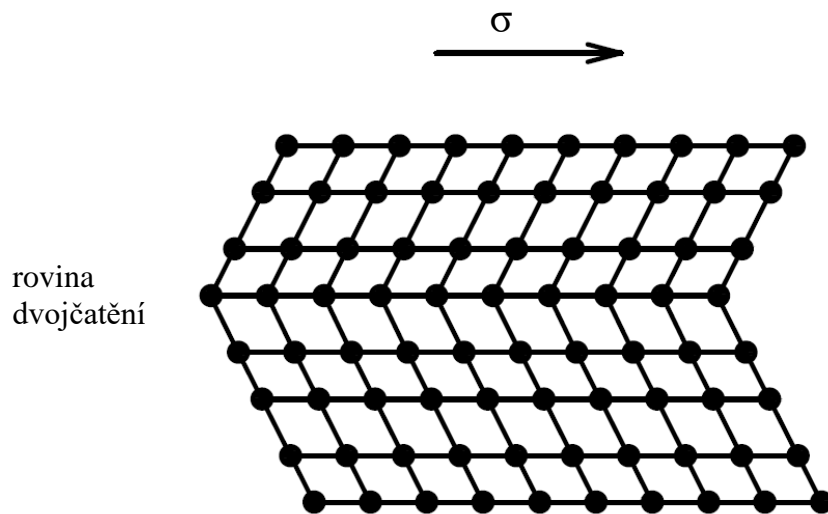


deformaci dvojčatění. Pro tento mechanismus platí, že skluz nastane tam, kde roviny mají největší hustotu atomů. Dále pak směr skluzu je stejný jako směr s nejvíce obsazenými atomy a nastává v případech, kdy maximální skluzové napětí dosáhne kritické hodnoty. Činným kluzným systémem je ten, jehož smykové napětí  $\tau$  dosahuje kritického napětí  $\tau_{kr}$ . Hodnota kritického napětí je závislá na teplotě, rychlosti deformace a stavu materiálu před deformací.

Obrázek 5 Deformace skluzem [10]

- **Deformace dvojčatěním**

K deformaci dvojčatěním (obrázek 6) dochází v případě, že teplota se pohybuje ve velmi nízkých hodnotách a deformační rychlost je vysoká. Atomy se v krystalu přemísťují tak, že se natočí celá mřížka do ideální polohy pro skluz a poté je část krystalu deformována. Tímto mechanismem není možné dosáhnout velkých plastických deformací, a proto se u tváření vyskytuje omezení. Příkladem, kde se mechanismus dvojčatěním objevuje, jsou převážně slitiny mědi a základní feritická struktura tvářená při nízkých teplotách vysokou deformační rychlostí  $\sigma$ .

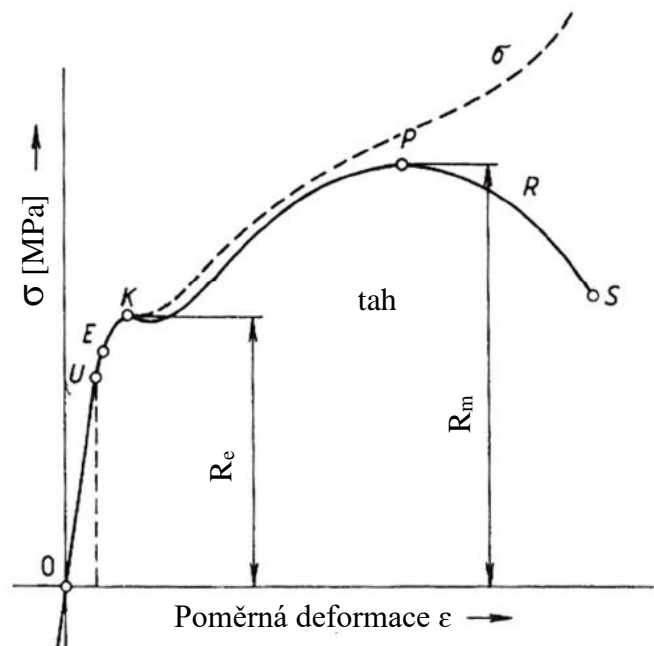


Obrázek 6 Deformace dvojčatěním [10]

## 2.2 Charakteristiky plasticity [8], [14], [15], [16]

Pro posouzení plasticity je vhodné porovnat hodnoty s charakteristickými hodnotami tahové nebo tlakové zkoušky. Rozlišují se celkem tři druhy charakteristik – charakteristika pevnosti, deformace – přetvoření a plasticity.

Charakteristiky pevnosti jsou definovány pomocí veličin mez kluzu ( $R_e$ ) a mez pevnosti ( $R_m$ ). Mez kluzu v tahu udává nejmenší hodnotu napětí, které je schopné způsobit rozvoj zřetelných plastických deformací (2.1). Udává přechod mezi pružnou a plastickou deformací. V tahovém diagramu (obrázek 7) je mez kluzu buď výrazná, nebo nevýrazná. V případě, že je nevýrazná, určí se jako smluvní mez kluzu  $R_{p0,2}$  z trvalé deformace 0,2 % pod zatížením. V praxi se využívá preferenčně diagramu smluvního proto, aby získané hodnoty ze zkoušek mohly platit pro libovolnou délku i průřez zkušební tyče. Do tahového diagramu se zapisují hodnoty poměrné.



Obrázek 7 Zkouška tahem [8]

$$R_e = \frac{F_k}{S_0} \text{ [MPa]}, \quad (2.1)$$

kde:  $R_e, R_{p0,2}$  – mez kluzu [MPa]

$F_e$  – maximální síla před mezí kluzu/síla na mezi elasticity [N]

$S_0$  – výchozí plocha průřezu zkušební tyče [ $\text{mm}^2$ ]

Mez pevnosti odpovídá maximálnímu zatížení  $F_{\max}=F_m$ , které předchází porušení zkušební tyče. Je dána vztahem (2.2).

$$R_m = \frac{F_m}{S_0} \text{ [MPa]} \quad (2.2)$$

kde:  $R_m$  – mez pevnosti [MPa]

$F_{\max}$  – maximální síla před porušením zkušební tyče [N]

Tažnost, kontrakce a poměr meze kluzu a pevnosti řadíme do charakteristik plasticity a jsou definovány vztahy (2.3), (2.4) a (2.5). Tažnost určuje poměrnou podélnou deformaci naopak kontrakce, je největší zúžení průměru, měřené v místě lomu. Vztah (2.5) je snadno získatelný a kovy splňující tuto podmínku disponují velmi dobrou plasticitou.

$$A = \frac{L_U - L_0}{L_0} \times 100 \text{ [%]} \quad (2.3)$$

kde:  $A$  – tažnost [%]

$L_U$  – konečná měřená délka [mm]

$L_0$  – počáteční měřená délka [mm]

$$Z = \frac{S_0 - S_U}{S_0} \times 100 [\%] \quad (2.4)$$

kde:  $Z$  – kontrakce [%]

$S_U$  – konečná plocha průřezu vzorku [ $\text{mm}^2$ ]

$S_0$  – počáteční plocha průřezu vzorku [ $\text{mm}^2$ ]

$$\frac{R_e}{R_m} \leq 0,65 \quad (2.5)$$

### 2.2.1 Zákony tváření [7], [8], [9], [14], [15], [16]

Procesy tváření jsou doprovázeny zákony, jejichž znalost je nezbytná. Základním zákonem volného tvářecího děje je **zákon stálosti objemu**. Hlavní předpoklad tohoto zákona je, že kovy při plastické deformaci jsou nestlačitelné.

**Zákon maximálních smykových napětí** definuje podmínku plastické deformace, ke které dochází, když maximální smykové napětí v materiálu dosáhne určité kritické hodnoty. Z podmínky plasticity (2.6) plyne, že střední napětí  $\sigma_2$ , žádným způsobem neovlivňuje plastickou deformaci, což dokazuje obrázek 8.

Pro obecný stav napjatosti, kde  $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$  jsou největší smyková napětí, lze podmínku plasticity vyjádřit:

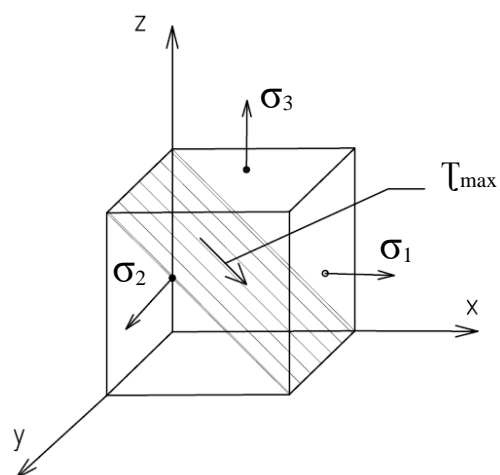
$$\tau_{max} = \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3) = k \text{ [MPa]} \quad (2.6)$$

kde  $\tau_{max}$  – maximální smykové napětí [MPa]

$\sigma_1, \sigma_3$  – smykové napětí [MPa]

$k$  – kritická hodnota plastičnosti

Posledním ze zákonů je **zákon tření**. Průvodním jevem tvářecích procesů je vnější tření, které je definováno dle Forejta (2006) jako „*odpor proti relativnímu pohybu dvou stýkajících se těles*“. Základem rozboru je určení sekundárních sil od tření, které mohou být aktivní nebo pasivní. Sekundární síly mají jistý vliv na velikost primárních sil.



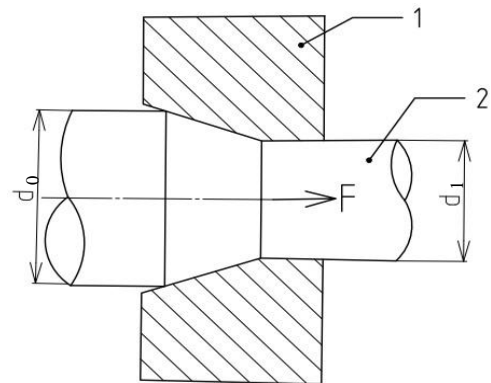
Obrázek 8 Rovina maximálního smykového napětí [8]

### 3 Tažení drátů [14], [17]

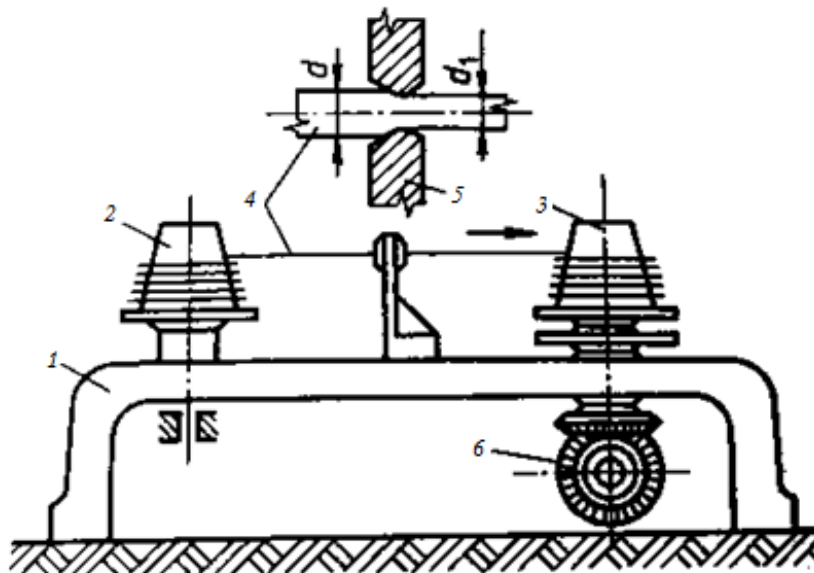
Tažení drátů se řadí do technologie objemového tváření a pracuje na principu protahování polotovaru většího průměru ( $d_0$ ) otvorem průvlastku menší velikosti ( $d_1$ ), během něhož se zmenšuje příčný průřez a zvětšuje se jeho délka (obrázek 9). Pro tažení se používá polotovar kruhového průřezu, který je protahován přes kónické otvory průvlastků.

Tažení drátů se zásadně provádí za studena nepřetržitě na bubnových tažných stolicích tzv. drátotazích (obrázek 10). Při průchodu polotovaru průvlastkem dochází k redukci průřezu díky radiálnímu tlaku, který vzniká v kuželové části průvlastku.

Na polotovar působí tahové a tlakové síly zajišťující změnu rozměru a třecí síly, které způsobují ohřev materiálu a působí proti směru tažení. Tažná síla, která nesmí překročit pevnost taženého drátu, je závislá na přetvárném odporu a velikosti zmenšení průměru taženého drátu. V důsledku několikerého tažení drát zpevňuje a není možné jej dále táhnout. Z tohoto důvodu je nutné přibližně po třech tazích drát normalizačně žíhat.



Obrázek 9 Princip tažení drátu (1průvlastek, 2 drát) [17]



1- tažná stolice, 2- odvíjecí buben, 3- navíjecí buben, 4- tažený drát, 5- průvlastek (kalibr), 6- poháněcí ústrojí

Obrázek 10 Tažná stolice [9]

Tažení drátů lze dle technologických postupů rozdělit následovně:

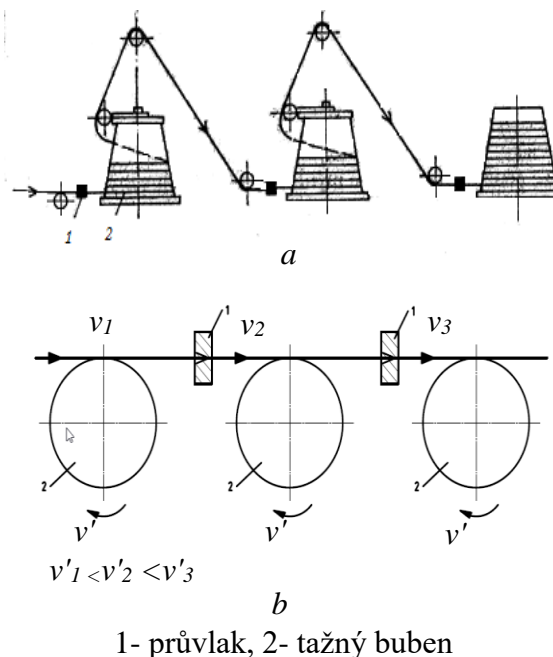
- jednoduché tažení
- tažení s protitahem – jedná se o jednoduché tažení s protitahem pro snížení měrné síly a ohřevu,
- stupňovité tažení – vícestupňová deformace vyznačující se vyšší spotřebou energie,
- tažení za tepla – využívá se pro ocel se sníženou tvářitelností,
- tažení za snížených teplot – účelem je zvýšená pevnost drátu.

### 3.1 Stroje a nástroje pro tažení [7], [10], [17], [18], [40]45

Tažné stolice lze rozdělit do dvou skupin, stolice s přímočarým pohybem, které jsou řetězové nebo hřebenové. U tohoto typu se po rámu pohybuje vozík s klešťovým zařízením, tažnými čelistmi a unášečem. Během tažení je nutné mazání, které zajišťuje mazací tlakové zařízení. Rychlost tažení se pohybuje v rozmezí 30 až 150 m.min<sup>-1</sup> a maximální délka drátu je 60 m. Druhou skupinou jsou stolice s navíjením taženého materiálu, jednorůchodové nebo víceřůchodové. Dle způsobu výroby lze dále dělit na bezskluzové (obrázek 11a) a skluzové (obrázek 11b). Nevýhodou skluzového způsobu je potřeba odvodu vzniklého tepla naopak bezskluzový způsob má tu výhodu, že zabraňuje prokluzování drátu, protože na tažném bubnu je několik závitů drátu.

Nezbytnou součástí tažných stolic jsou průvlastky (kalibry). Tento nástroj je statický a je extrémně namáhaný na otěr. Materiál, ze kterého jsou průvlastky vyrobeny, má vliv na jeho životnost. Odhaduje se, že nástroj vyrobený z oceli, má životnost přibližně 2 000 kg drátu, průvlastky z tvrdokovu se pohybují okolo 400 000 kg a diamantové jsou prakticky nezničitelné.

Pro správnou funkčnost tažné stolice je nutné, aby jednotlivé průvlastky splňovaly veškeré geometrické požadavky. Samotný průvlastek je složen z několika komolých kuželů o různém průměru a úhlu otevření, kde každý z nich má svou funkci. Průvlastek začíná vstupním kuzelem, který má za úkol správné navedení drátu a jeho úhel otevření se pohybuje v rozmezí 45° ÷ 60°. Poté následuje mazací kužel, jehož úhel otevření se taktéž pohybuje v rozmezí 45° ÷ 60°. Funkce je patrná z názvu, funkcí tohoto kužele je pravidelné rozprostírání maziva po celém obvodu polotovaru. Otevření a výška kuželů je zvolena na základě použitého typu maziva. Pokud je kužel úzký a nízký, drát je tažen na sucho, čímž dojde k zadření nebo přetržení drátu. V případě použití tuhých maziv se doporučuje menší úhel mazacího kužele,

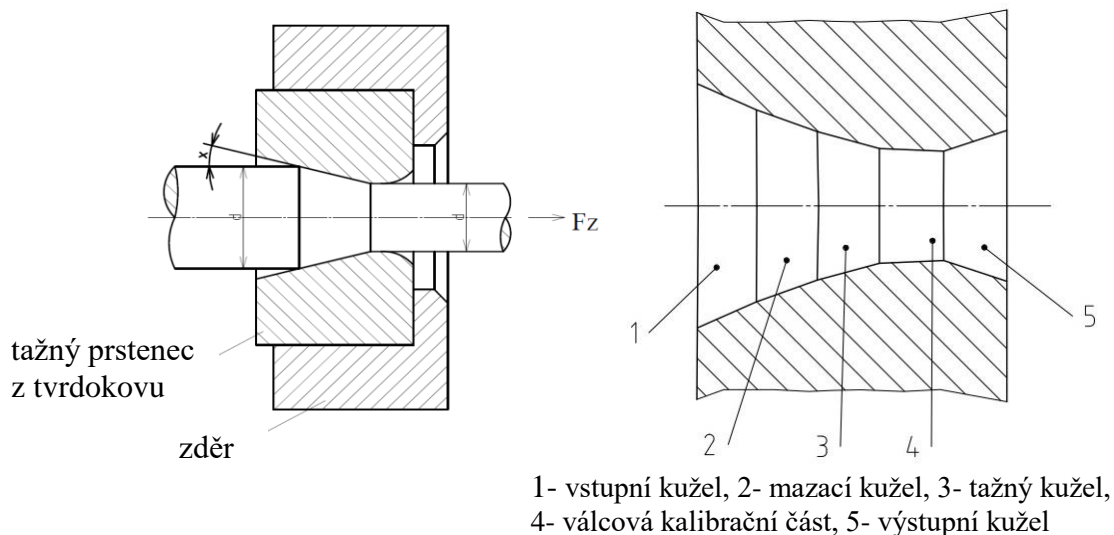


1- průvlastek, 2- tažný buben

Obrázek 11 Tažná stolice a) bezskluzová, b) skluzová [10]



protože je mazivo lépe vtaženo do další části průvlatku. Naopak pro tekutá maziva se doporučuje větší úhel. Tažný kužel s úhlem otevření  $8^\circ \div 16^\circ$ , za nímž následuje kalibrační část, která je ve tvaru válce a jejím úkolem je zajistit hladkost povrchu. Možnost odpružení deformovaného průřezu a též i výstup bez pasivních odporů zajišťuje výstupní část. Právě možnosti, které nabízí výstupní část, zabráňují poničení průvlatku v případě přetržení drátu a zároveň eliminují napětí a namáhání hrany průvlatku, jež též mohou zapříčinit poškození nástroje v podobě prasklin nebo vyštípnutí materiálu (obrázek 12 a 13).



Obrázek 12 Schéma tažnice a uspořádání průvlatku [10]

Obrázek 13 Schéma tažného kužele [17]

Pro optimalizaci procesu je podstatné znát dílčí a také celkovou deformaci taženého drátu. Deformace na jednotlivých průvlatcích nejsou nijak velké, pohybují se v rozmezí 15–25 % vstupního průřezu. Naopak celková deformace, bez využití tepelného zpracování během procesu, může dosahovat velmi vysoké redukce vstupního průměru v případech, kdy je správně zvolená výrobní technologie (3.1). Literatura uvádí, že celková deformace může dosahovat hodnot až 96 %, v praxi mohou být hodnoty však ještě vyšší.

$$\frac{S_p - S_k}{S_p} \cdot 100 = \frac{D_p^2 - D_k^2}{D_p^2} \cdot 100 = U_c \quad (3.1)$$

kde  $S_p$  – počáteční průřez taženého drátu [ $\text{mm}^2$ ]

$S_k$  – konečný průřez taženého drátu [ $\text{mm}^2$ ]

$D_p$  – vstupní průměr drátu [mm]

$D_k$  – výstupní průměr drátu [mm]

$U_c$  – celková deformace [%]

Celkovou redukci taženého drátu lze vyjádřit logaritmickou funkcí, která představuje skutečnou deformaci a může dosahovat až hodnoty 3, v praxi i vyšší (3.2).

$$\ln \frac{l_k}{l_p} = \ln \frac{D_p^2}{D_k^2} \approx 3 \quad (3.2)$$

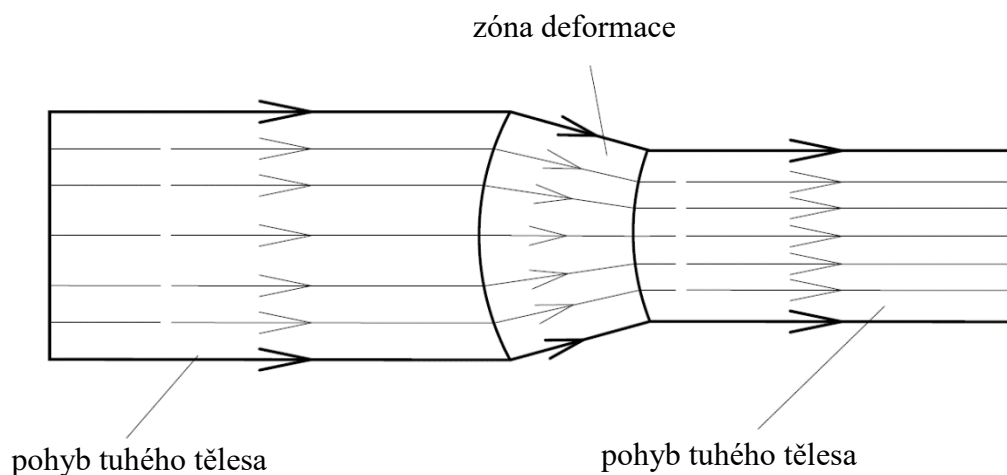
kde  $l_p$  – počáteční (jednotková) délka drátu [mm]

$l_k$  – konečná (jednotková) délka drátu [mm]

Značné redukce průměru drátu je dosaženo vlivem radiálního tlaku, jenž vznikne rozkladem sil v kuželové části průvlatku. Tuto skutečnost dovoluje stav napjatosti, který se vyskytuje v průvlatku. Dvě tlaková a jedno tahové napětí jsou převažujícím napěťovým stavem.

### 3.2 Stacionární rychlostní pole [7]

Rozlišují se dva druhy rychlostních polí – stacionární a nestacionární. Tato podkapitola se věnuje pouze stacionárnímu rychlostnímu poli, protože do této skupiny patří procesy tváření jako válcování, tažení a vytlačování. Ve stacionárních procesech materiál proudí jako pevné těleso směrem k tažnému kuželu, kde se v zóně plastické deformace začíná plasticky deformovat. V této oblasti se materiál podrobuje rostoucí deformaci, která je ukončena výstupem materiálu ze zóny a materiál je opět pevným tělesem. Po započetí procesu bude v plastické zóně existovat přibližně konstantní časové pole nezávislé v případě, bude-li použita konstantní rychlost tvarování. Částice materiálu, které v různých časech vstoupily do zóny plastické deformace ve stejné vzdálenosti pod povrchem drátu, budou následovat stejné dráhy částic a budou mít stejnou rychlost. Z toho plyne, že všechny částice budou vystaveny stejným deformacím. Tuto skutečnost znázorňuje obrázek 14. Stacionární pole setrvává během celé doby trvání procesu vyjímaje začátku a konce procesu.



Obrázek 14 Stacionární pole v procesu tažení drátu [7]

### 3.3 Materiál pro tažení drátů a tvářitelnost [7], [17]

Podle účelu použití je vybírán materiál pro tažení. Cílem tažených drátů a tyčí je dosažení hladšího povrchu a zároveň nižší tolerance. Tabulka 1 uvádí příklady využití různých druhů materiálu v praxi. Pro tažení drátů jsou výchozím materiálem dráty válcované za tepla a pro tažení tyčí jsou použity pruty vyrobené extruzí nebo válcováním za tepla.

Tabulka 1 Využití tažených drátů a tyčí [7]

Materiál	Užití
Nízkouhlikové oceli	dráty, drátěné sítě, ostnatý drát, kolíky, hřebíky, šrouby, nýty
Vysokouhlikové oceli	tyčový materiál pro automatické zpracování, drátěné kabely
Legované oceli	průmyslové pružiny, svařovací dráty
Měď a slitiny mědi	dráty, drátěné sítě, šrouby a tvarované součásti, díly pro elektrotechnický průmysl
Hliník a slitiny hliníku	šrouby, tvarované součásti, elektrické vedení

### 3.4 Veličiny ovlivňující proces tažení [7], [18]

Nejen výběr materiálu, ale také správná volba velikostí jednotlivých veličin má velký význam na výsledný výrobek. Následující ukazatelé ovlivňují celý proces.

- **Hlavní namáhání** vychází z poměru stran před a po tažení

$$\varphi_p = \ln \frac{S_0}{S_1} [-] \quad (3.1)$$

$$d_1 = \frac{d_0}{e^{\varphi_p/2}} [\text{mm}] \quad (3.2)$$

kde:  $S_0$  – průřez před tažením [ $\text{mm}^2$ ]

$S_1$  – průřez po tažení [ $\text{mm}^2$ ]

$d_0$  – průměr před tažením [mm]

$d_1$  – průměr po tažení [mm]

$\varphi_p$  – hlavní namáhání

- Tažný buben, který se nachází za jednotlivými průvlaky, vytváří hlavní deformační sílu. V tomto případě se hovoří o **síle tažné**, kterou lze vypočítat dvěma způsoby dle následujících vzorců (3.3, 3.4, 3.5).

## 1. způsob

$$F_{dr} = A_1 \cdot k_{strm} \cdot \varphi_p \cdot \left( \frac{\mu}{\alpha} + \frac{2 \cdot \hat{\alpha}}{3 \cdot \varphi_p} + 1 \right) [N] \quad (3.3)$$

$$\hat{\alpha} = \frac{\pi}{180} \cdot \alpha [^\circ] \quad (3.4)$$

kde:  $F_{dr}$  – tažná síla [N]

$\mu$  – střední koeficient tření  $\mu = 0,02 - 0,05$  (nejčastěji se volí  $\mu = 0,035$ )

$\alpha$  – tažný úhel [°] (na základě požadavku nejnižší hodnoty tažné síly je optimální tažný úhel  $2\alpha = 16^\circ$ )

$k_{strm}$  – střední průtokové napětí [MPa]

$\varphi_p$  – hlavní napětí [-]

Tažnou sílu lze vypočítat dle jednoduššího vzorce pomocí účinnosti deformace  $\eta_F$ , který uvádí 2. způsob výpočtu.

## 2. způsob

$$F_{dr} = \frac{A_1 \cdot k_{strm} \cdot \varphi_p}{\eta_F} [N] \quad (3.5)$$

kde:  $\eta_F$  – účinnosti deformace

- **Rychlost tažení** vychází z typu tažných stolic. Rychlost pro jednoduchou tažnou stolicí se řídí dle tabulky 2. Tažná rychlosti úzce souvisí s rychlostí deformace. Stanovení optimální rychlosti tažení ve výrobním procesu je důležité, aby nedošlo k přetržení drátu, případnému poškození průvlaku a zároveň, aby byl stroj z ekonomického hlediska maximálně využit.

Tab. 2 Tažná rychlost  $v$  pro jednoduché tažení [45]

Materiál	Přijímaná síla $R_m$ [N.mm <sup>-2</sup> ]	$v_{max}$ [m.s <sup>-1</sup> ]
Ocelové dráty	400 (železný drát)	20
	800	15
	1300	10
Měď	250	20
Mosaz, bronz	400	
Hliník a slitiny hliníku	80-100	25

V případě tandemového tažení drátu je při každém tahu rychlost rozdílná. Objem drátu je neměnný proto i rychlost je tím vyšší, čím menší je průřez drátu. Platí následující rovnice (3.6).

$$\begin{aligned}
 v_1 \cdot S_1 &= v_2 \cdot S_2 \\
 v_1 \cdot S_1 &= v_n \cdot S_n \\
 v_1 &= \frac{v_n \cdot A_n}{A_1} \text{ [mm.s}^{-1}\text{]}
 \end{aligned}
 \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} v_1 \cdot S_1 &= v_2 \cdot S_2 \\ v_1 \cdot S_1 &= v_n \cdot S_n \\ v_1 &= \frac{v_n \cdot A_n}{A_1} \end{aligned}} \right\} (3.6)$$

kde:  $v_1$  – tažná rychlost při prvním tahu [mm.s<sup>-1</sup>]

$v_2$  – tažná rychlost při druhém tahu [mm.s<sup>-1</sup>]

$v_n$  – tažná rychlost při n-tém tahu [mm.s<sup>-1</sup>]

$S_2$  – průřez drátu po druhém tahu [mm<sup>2</sup>]

$S_n$  – průřez drátu po n-tém tahu [mm<sup>2</sup>]

Stejně jako tabulka 2, tak i tabulka 3 uvádí tažné rychlosti pro tandemové tažení.

Tabulka 3 Tažná rychlost  $v$  pro tandemové tažení [17]

Materiál	Přijímaná síla $R_m$ [N.mm <sup>-2</sup> ]	$v_{\max}$ [m.s <sup>-1</sup> ]
Ocelové dráty	400 (železný drát)	20
	800	15
	1300	10
Měď	250	25
Mosaz, bronz	400	
Hliník a slitiny hliníku	80-100	

Z tažné rychlosti lze dále odvodit rychlost otáčení bloku  $n$ , jež odpovídá obvodové rychlosti bubnu (3.7).

$$n = \frac{v \cdot 60 \text{ s/min}}{d \cdot \pi} \text{ [min}^{-1}\text{]} \quad (3.7)$$

kde:  $v$  – tažná rychlost [m.s<sup>-1</sup>]

$d$  – průměr bubnu [mm]

$n$  – rychlost otáčení bubnu [min<sup>-1</sup>]

- **Výkon** pro jednoduché tažení lze stanovit na základě tažné síly a tažné rychlosti (3.8)

$$P = \frac{F_{dr} \cdot v}{\eta_M} \text{ [kW]} \quad (3.8)$$

kde:  $P$  – výkon [kW]

$F_{dr}$  – tažná síla [kN]

$\eta_M$  – účinnost stroje [-]

Výkon pro tandemové tažení je pak sumou výkonů na jednotlivých bubnech (3.9).

$$P_M = \sum P \quad (3.9)$$

### 3.5 Okrajové podmínky a jejich vliv [18], [19], [20], [21]

Samotný vstupní materiál dokáže ovlivnit výrobní proces. Je rozdíl táhnout z drátu, který je vyroben pouze z ocelového odpadu nebo z čisté rudy. Nejčastěji ocelový odpad je tvořen okujemi, jež obsahují až 55 % železa a zároveň znečištěný železný šrot. Takový vstupní materiál se vyznačuje vyšším obsahem uhlíku. Naopak obsah uhlíku čisté železné rudy se pohybuje v nižších hodnotách, přibližně kolem 4 %. Ocelový odpad je nutné třídít, proto je větší riziko, že v něm budou obsaženy nežádoucí nečistoty, které při dalším zpracování mohou způsobit např. trhání drátu. Z pohledu ceny je však tato varianta výhodnější, protože cena za polotovary vyrobené z čisté rudy je značně vyšší. Mnoho podniků se tedy raději přiklání ke kombinaci ocelový odpad – čistá ruda. Nejen chemické složení vstupního materiálu je v procesu tažení důležité. Podstatnou roli hraje i jeho tvar. V případě, že polotovar nebude splňovat podmínky kruhovitosti, tzn., bude mít elipsoidní tvar, nastane nerovnoměrné opotřebení průvlaků. To v závěru podniku přináší zbytečné zvýšení režijních nákladů.

Proces tažení a kvalita výrobku jsou závislé na doprovázejících produktech, kterými jsou brusné pásy, lubrikanty obsažené ve vodní bázi a tažící mýdlo. Vnější vlivy, jako jsou teplota a vlhkost okolí, teplota a koncentrace vodní báze nebo teplota sušení, hrají též důležitou roli. Dle technických listů od dodavatele nelze jednoznačně určit, zda daný produkt bude výrobě vyhovovat nebo ne. V praxi se lze setkat i s případy, kdy určitá skladba produktu může dokonale vyhovovat jedné firmě, naopak pro druhou může být naprosto nevyhovující. Pro určení vhodnosti, resp. nevhodnosti je třeba vše odzkoušet přímo v procesu výroby.

Před samotným procesem tažení je nezbytné odstranit okuje ze vstupního materiálu, které vznikají ohřevem ingotu. Okuje jsou nežádoucí, protože se vyznačují vysokou tvrdostí a při průchodu drátu s okujemi průvlakem, by došlo k jejich rozdrčení, jež by dělaly rýhy na drátu a také k samotnému vydírání průvlaků. To stejné platí i u okujů vzniklých při tepelném zpracování. Na výběr se nabízí mechanické odokujování nebo chemické moření, které je hned z několika pohledů náročnější-energeticky, prostorově, na ekologii a řízení. Mechanické odokujování má také své omezení, není vhodné jej používat na dráty vyšší jakosti. U válcovaného drátu se převážně využívá mechanického odokujování, jež může být provedeno dvěma způsoby – průběžné ohýbání drátu na kladkách anebo průběžné tryskání. V případě využití principu ohýbání drátu, je následně nezbytné očistit povrch kartáčováním, tryskáním nebo tlakovou vodou. Rovnáním je odstraněno vlastní napětí, čímž dojde u taženého drátu ke změně jeho vlastností. Princip průběžného tryskání drátu přináší výhodu v podobě vyšší čistoty povrchu a není třeba brát ohled na jakost materiálu. Vyskytují se zde však i nevýhody, jako je hlučnost a prašnost zařízení a jeho vyšší pořizovací cena. Povrch je po odokujování drsnější, což má následně vliv na další části procesu.

Moření probíhá v kyselině chlorovodíkové (HCl) nebo sírové (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Větší uplatnění v praxi najde kyselina chlorovodíková, používá se např. v automatizovaných linkách pro moření svitků drátu s regenerací odpadů. Moření se využívá hlavně z důvodu, že konečný povrch je hladký a čistý bez okujů. V praxi se však využívá méně, a to kvůli náročnosti procesu

a ekonomickému hledisku. Po chemickém moření následuje oplachování, vápnění, popř. boraxování, sušení a může být do procesu zařazeno i fosfátování.

Při výběru typu brusných pásů je důležitým hlediskem spotřeba. Posuzuje se jak likvidace pásů (spotřeba pásů na tunu materiálu), kvalita povrchu broušeného drátu, tak i ekonomická stránka. Pásky se od sebe liší typem materiálu, ze kterého jsou vyrobeny a hrubostí zrna. Dále pak délkou a šířkou. Poslední dvě zmiňované veličiny se odvíjí od typu používaného brousícího zařízení. Nejčastěji používané jsou zirkonové nebo keramické pásy. Liší se od sebe citlivostí na teplotu a tlak. Zirkonové zrno má lepší tepelnou i tlakovou odolnost než keramická brusiva. Životnost keramických pásů je oproti zirkonovým vyšší a cenově jsou zirkonové pásy levnější.

Neméně podstatnou roli hraje i volba lubrikantů, jež mají vliv na vzhled a stav povrchu, na jeho charakteristiky napětí a prodloužení, výrobní parametry rychlost a životnost nástroje. Tření je nedílnou součástí procesu tažení, jež je doprovázeno postupným zvyšováním teploty, což přináší nežádoucí účinky nejen na produkt, ale i na nástroj. V oblasti styku ploch drát-průvlak dosahuje tlak  $10^3$  až  $10^4$  MPa a teplota dosahuje 100 až 300°C. V případě použití nástrojů z tvrdokovu je větší pravděpodobnost, že dojde k zadírání, jež je zapříčiněno nedostatečným odvodem tepla. Tření vzniká v okamžiku, kdy dojde k přímému kontaktu taženého materiálu a průvlatku. Je proto důležité eliminovat tyto doprovodné nežádoucí vlivy mazivy. K eliminaci nepříznivých vlivů se hojně využívá maziv založených na bázi stearátu vápníku lithia nebo zinku. Jejich úkolem je vytvoření takové vrstvy mezi drátem a průvlatkem, která je dostatečně přichycena k povrchu a má optimální strukturu, aby nedošlo k jejímu vytlačení (adhesní vlastnosti). Pokud vrstva maziva všechno splňuje, výsledkem je snížení tření a poškozování průvlatku a lepší povrch drátu. Nemá-li mazivo dostatečně adhezní vlastnosti ke kovovému povrchu, je nezbytné provést před samotným tažením předúpravu drátu, aby tyto vlastnosti byly zajištěny. Volba vhodného druhu maziva není jednoduchá a řídí se několika aspekty. Výběr maziva se určuje dle:

- dalšího využití drátu (např. drát je určen k dalšímu tažení, pozinkování atd.),
- chemického složení materiálu,
- a tvarem drátu (oválné nebo čtyřhranné).

V dnešní době se v praxi hojně využívá předpřipravených směsí, které se vyskytují ve třech různých formách:

- tuhá maziva – mýdlový prášek,
- polotuhá maziva – mazlavé draselné mýdlo,
- tekutá maziva – mastičí emulze.

Tuhá a polotuhá maziva se na drát aplikují před vstupem do průvlatku, kdežto při použití tekutých maziv je drát jimi poléván nebo je v nich máčen. Dle kvality přilnavosti tuhých a polotuhých maziv není nezbytné aplikovat lubrikant před vstupem do každého průvlatku (mazivo může být aplikováno např. před každým třetím průchodem). Pro tažení při vysokých rychlostech je podstatná viskozita maziva, naopak při nízkých rychlostech je nutná mazivost.

Stopy po mazivu jsou nežádoucí při dalším zpracování. Hůře se odstraňují maziva, která se váží dobře na kov, protože se během tažení do materiálu zapékají.



## 4 Rozptýlená ocelová výztuž [22], [23], [24], [25]

Rozptýlená ocelová výztuž je jednou z příměsí do betonu označovaného jako drátkobeton. Důvodů využití rozptýlené ocelové výztuže místo betonové výztuže (roxorů) nebo kari sítí je hned několik. Pro realizační firmy je velkou výhodou zjednodušení a rychlost pokládky na stavbách a tím i snižování nákladů na lidský kapitál a ocelový materiál. Pro projektanty a samotné uživatele objektu je pak důležitá eliminace smršťovacích trhlin a deformací, zlepšení vlastností jako jsou únavové pevnosti a houževnatost. Mnoho studií prokázalo, že použití rozptýlené výztuže má pozitivní vliv na vlastnosti betonu, např., vyšší únavová pevnost nebo vyšší rezistence proti nárazům a požáru.

Vyšší tahové pevnosti je dosaženo hutnější strukturou betonu, ale vzniká zde vyšší riziko náhlého porušení tzv. křehkým lomem, což je zapříčiněno nízkou duktilitou. Pro eliminaci případně odstranění křehkých lomů jsou do betonu přidávána vlákna. Jejich funkce je přenášení tahových napětí betonu, zamezení šíření dalších trhlin a zvýšení pevnosti betonu v tahu. Dále pak zajišťují homogenní vyztužení celého průřezu betonu, čímž se eliminuje rozdílné smrštění u spodního a horního líce konstrukce. Navíc je potlačena i možnost vzniku smykových trhlin, které se vyskytují u podlah vyztužených pouze tahovou pevnou výztuží. Vlastnosti betonu jsou významně ovlivňovány samotným vláknem, resp. jeho délkou, průměrem, tvarem, povrchovou úpravou a množstvím v  $1 \text{ m}^3$  betonu. Nejvíce v praxi používané jsou ocelová vlákna o délce 50 mm s koncovou úpravou v podobě „háků“. Jsou vyrobeny z ocele 1.0313, pevnost v tahu  $1100 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$  a modul pružnosti  $210\,000 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$ . Drátky splňují požadavky dle normy ČSN EN14889-1. Tento typ má schopnost zvýšit nejen tuhost betonu, ale i schopnost pohlcování energie a Poissonův součinitel. Na druhou stranu je čerstvá směs hůře zpracovatelná. Délka a příčný průřez ocelového vlákna zásadně ovlivňuje soudržnost betonu, tedy čím delší a užší průměr, tím vyšší soudržnost, ale horší zpracovatelnost a homogenizace v betonu. Tato závislost je omezená hraniční hodnotou poměru délka: průměr. Je-li hraniční hodnota překročena, lomová energie a tuhost sice dále roste, ale zvyšování pevnosti a modulu pružnosti se stává nevýznamným. Na zpracování čerstvé směsi má vliv druh vlákna. Platí, lépe zpracovatelná jsou kratší vlákna oproti delším.

Typy rozptýlené ocelové výztuže v závislosti na prostředí a požadované funkci mají velmi rozmanité využití. Největší uplatnění je v podlahách. Dále pak jej lze využít na vysoce zatěžované chodníky na letištích, betonové desky pro silniční stavby nebo základové desky obytných domů. Beton s rozptýlenou výztuží je též vhodný pro výrobu prefabrikátů pro průmyslové a stavební aplikace. Ocelová vlákna mají význam i pro žáruvzdorný beton, kde je vyžadována vysoká odolnost. Toto je aplikováno na výrobu prefabrikovaného sekundárního tunelového ostění (obrázek 15). Touto technologií tzv. technologií prefabrikovaných tibingů, byl realizován nejnovější a zároveň nejdelší (4174,2 m) železniční tunel v ČR na trase Praha-Plzeň. Zajímavostí této stavby v Ejovicích je nejen metoda, kdy stroj po vyražení 2 m zastaví a sám položí betonové tibingy do prstence, ale i to, že upevnění kolejí v tunelu je ve speciálních panelech, které umožňují vjezd vozidel záchranných složek. Dále se tento typ betonu se používá

např. v petrochemickém a cementářském průmyslu, pro výrobu koksu, ocele a železa a ve slévárnách. V neposlední řadě se ocelová vlákna využívají pro specializovanou techniku, jako jsou trezory a bankomaty.

#### 4.1 Krampe Harex CZ s. r. o. [26], [27], [28]



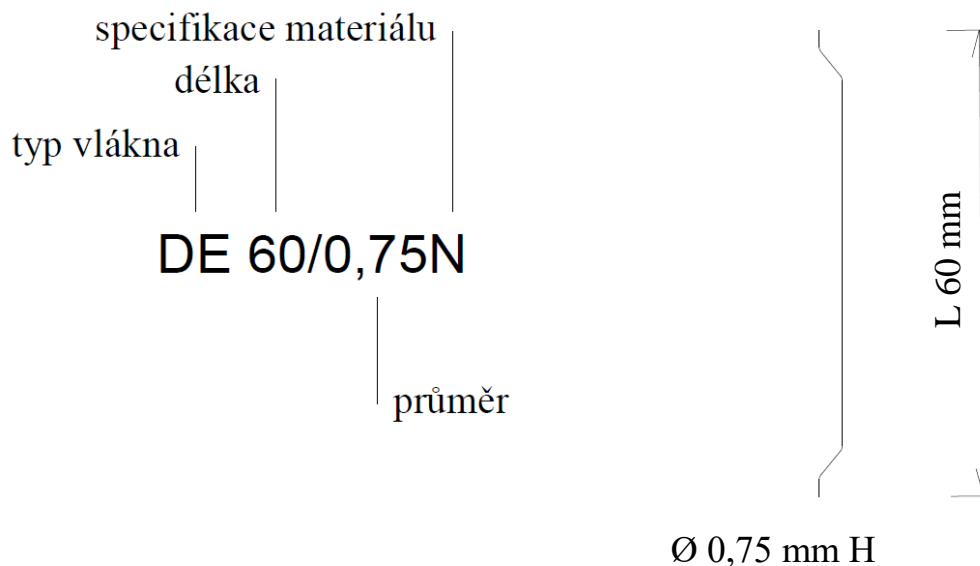
Obrázek 15 Betonové tibingy [22]

Krampe Harex GmbH & Co. KG, sídlem v německém Hamm je mateřskou společností Krampe Harex CZ s.r.o. Česká pobočka byla založena roku 2002. Krampe Harex GmbH & Co. KG se na trhu vyskytuje již od roku 1982 a její další pobočky se nacházejí v rakouském Linci, v brazilském Sao Paulu a čínském Šanghaji. Největší podíl výroby tvoří ocelová vlákna do betonu (Krampe Harex®), polypropylenová nebo skleněná vlákna, abrazi vzdorné a tryskací materiály, např. pro automobilový průmysl (Krampe Fibrin®). Předmětem podnikání je dále pak inženýrská a poradenská činnost týkající se konstrukcí z vláknobetonu. Cílem společnosti je neustálá snaha zvyšovat využití vláknobetonu ve stavebnictví. Společnost spolupracuje s největšími dodavateli betonu a firmami provádějící průmyslové podlahové konstrukce, např. s jedním z největších dodavatelů transportbetonu na českém i světovém trhu CEMEX S.A.B. de C.V.

Sortiment Krampe Harex GmbH & Co. KG:

- ocelová vlákna Krampe Harex® typu DE, DW, DG, DR a DM všech druhů pevností N, M, H,
- ocelová vlákna Krampe Harex® typu KE, KP, KW a KG,
- segmentová ocelová vlákna Krampe Harex® typu SW,
- „melt-extrakt“ vlákna Krampe Harex® typu M,
- polypropylenová vlákna typu PM a PF,
- skleněná vlákna Krampe Fibrin® typu GE a GA.

Zkratky, které jsou uvedeny v sortimentu společnosti, jsou vysvětleny v příloze 1. Způsob označení vláken dle Krampe Harex GmbH & Co. KG znázorňuje obrázek 16. Krampe Harex CZ se soustředí pouze na výrobu vláken DE-50-1.0-MK a DE-50-1.0-N s pevností v tahu  $1100 \text{ N.mm}^{-2}$  a modulem pružnosti  $210\,000 \text{ N.mm}^{-2}$ .



Obrázek 16 Označení vláken dle Krampe Harex CZ [29]

#### 4.2 Analýza českého trhu [29], [30], [31], [32], [33], [34]

V rámci České republiky je na trhu jedním ze dvou největších konkurentů Krampe Harex CZ společnost Bekaert Bohumín s.r.o., která je i jedničkou na celosvětovém trhu. V roce 1880 započala výrobu rozptýlené ocelové výztuže v Belgii. Portfolio společnosti není zaměřeno pouze na zpracování ocelových drátů, zabývá se ve značné míře i technologií potahování pro nejrůznější typy průmyslů, např. automobilový, energetický, zemědělský a stavební průmysl. V současné době se nachází v Evropě 40 závodů a administrativních pracovišť. Další pobočky jsou situovány v Asii, Severní a Střední Americe. Silnou stránkou společnosti je orientace na inovace a strategie „win-win“<sup>1</sup> se zákazníky. Pobočka nacházející se v Petrovicích u Karviné byla zapsána do obchodního rejstříku roku 1996. Centrála je umístěna v belgickém městě Zwevegem. Výhodou oproti společnosti Krampe Harex CZ je ve zpracování drátů od nízkouhlíkových až po vysokouhlíkové v průměrech od 1,40 – 1,80 mm. Dráty se mohou vyznačovat různou pevností a je možné volit i různou tloušťku žárového protikorozního povlaku. Velký význam pro společnost má výroba drátků, které jsou specifické svým progresivním povlakem. Společnost využívá dvou typů povlaků, tj. slitiny zinku a hliníku, jež nese název Bezinal a slitiny zinku, hliníku a hořčíku s názvem Bezinal 2000. Firma se věnuje neustálému vývoji a zkouší nejrůznější modifikace povlaků za účelem dosažení lepších technologických vlastností.

<sup>1</sup> Strategie win-win je kooperativní metoda, kde je cílem vzájemný prospěch obou stran. Výsledek této strategie je uspokojení potřeb všech a může dojít i k situaci, kdy nastane přesah v uspokojení., nastane tzv. synergický efekt.

Druhým velkým konkurentem je společnost Arcelor Mittal Ostrava a.s., jež vznikla roku 1992. Společnost vznikla privatizací Nové Huti Klementa Gottwalda a v současnosti je dceřinou společností Arcelor Mittal, S.A. Arcelor Mittal Ostrava a.s. má v ČR šest závodů, Koksovna, Vysoké pece, Ocelárna, Válcovny, Strojírny a slévárny, Údržba, Energetika a Doprava. Arcelor Mittal a.s. je označován za největšího producenta oceli na světě, jež má zastoupení 60 zemích.

Mezi další konkurenty lze zařadit společnosti, jako jsou Kern s.r.o. a Tritreg Třinec, s.r.o. První zmiňovaná Kern s.r.o., sídlící v Třinci, je na trhu od roku 2000, jedná se tedy o společnost s nejkratší tradicí v tomto odvětví. Co do počtu zaměstnanců se řadí do skupiny malých a středních podniků. Předmětem podnikání je výroba drátu, nejrůznějších produktů z drátu a poradenská činnost v oblasti technologického využití typu drátů. Výroba je rozdělena do pěti kategorií, pneudráty, hadicové dráty, vysokouhlíkaté a nízkouhlíkové ocelové dráty, měděné a ocelové dráty čtvercového a obdélníkového průřezu. Snahou společnosti je neustále zvyšování produktivity pomocí moderních technologií.

Tritreg Třinec, s.r.o. je jako jedna z mála rodinnou společností fungující na trhu od roku 1993. Její založení je spojováno s privatizací a odkupem výrobních hal Třineckých železáren, a.s. Stejně jako Kern s.r.o., tak i Tritreg Třinec, s.r.o. má sídlo ve stejném městě a dělí svoji výrobu do pěti skupin, brémské kruhy, ocelová vlákna do betonu, ocelové dráty tvrdé za sucha tažené, kroucený drát čtvercového průřezu, ocelový drát černě žíhaný. Přehled nabízeného sortimentu v oblasti rozptýlené ocelové výztuže je obsažen v příloze 2

Pro posouzení, jak si jednotlivé firmy vedou na českém trhu, je třeba nahlédnout do účetních závěrek. Stručný přehled ukazatelů z účetní závěrky k danému dni (31.12.2017) je v příloze 3. Dle ekonomických pravidel<sup>2</sup> společnost Krampe Harex CZ financuje oběžná aktiva z cizích zdrojů a částečně i vlastním kapitálem, tzn. spotřebování úspor a tento stav je pro společnost drahý. Pravidlo vyrovnání rizik je splněno. Společnost Bekaert Bohumín s.r.o. je extrémním případem, protože zlaté pravidlo financování je naprosto porušeno, tzn., platí to stejně jako pro Krampe Harex CZ. Druhé hodnocené pravidlo je splněno. KERN s.r.o. částečně financuje dlouhodobý majetek z cizích zdrojů, což přináší společnosti riziko roztočení spirály zadluženosti, navíc není respektováno pravidlo vyrovnání rizik. Cizí kapitál je téměř trojnásobný než vlastní kapitál. TRITREG Třinec s.r.o. a Arcelor Mittal Ostrava jsou stejný případ jako Krampe Harex CZ a Bekaert Bohumín s.r.o.

Z pohledu zisku si jednoznačně nejlépe stojí Arcelor Mittal Ostrava. Mezi Arcelor Mittal Ostrava a dalšími podniky je značná mezera, což je zapříčiněno tím, že společnost má mnohem větší portfolio než ostatní podniky. Arcelor Mittal Ostrava má svůj zisk z velké části z činnosti výroby oceli nikoli z výroby rozptýlené ocelové výztuže. TRITREG Třinec s.r.o. a Bekaert Bohumín s.r.o. se se ziskem pohybují okolo 150 mil. Kč a KERN s.r.o. dosahuje téměř dvojnásobného zisku jak Krampe Harex CZ. Obrat je opět největší u Arcelor Mittal Ostrava., dosahuje více než 41 mld. Kč. Ostatní společnosti se pohybují s obratem v rozmezí 460 mil. až 2 mld. Kč.

---

<sup>2</sup> Zlaté pravidlo financování a pravidlo vyrovnávání rizik

### 4.3 Polotovary a jejich zpracování [35], [36]

Pro výrobu vláken DE-50-1.0-MK a DE-50-1.0-N se používá zastudena válcovaná nízkouhlíková a nízkolegovaná ocel jakosti 1.0300 (C4D) a 1.0313 (C7D). Polotovarem je válcovaný drát o průměru  $\varnothing$  5,5 mm s horním mezním rozměrem + 0,3 mm a dolním mezním rozměrem - 0,3 mm. Množství legujících prvků a jednotlivých ocelí a jejich mechanické vlastnosti jsou uvedeny v tabulce 4 a 5.

Tabulka 4 Chemické složení [35]

	C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Cr (%)	Ni (%)	Mo (%)
<b>1.0300 (C4D)</b>	<0,6	<0,3	0,3-0,6	0,035	0,035	0,2	0,25	0,05
<b>1.0313 (C7D)</b>	0,05-0,09	<0,3	0,3-0,6	0,035	0,035	0,2	0,25	0,05

Tabulka 5 Mechanické vlastnosti [35]

	<b>1.0300 (C4D)</b>	<b>1.0313 (C7D)</b>
Pevnost v tahu Rm [MPa]	593 ( $\geq$ )	574 ( $\geq$ )
Mez kluzu Rp0,2 [MPa]	147 ( $\geq$ )	266 ( $\geq$ )
Tažnost A [%]	33	44
Kontrakce [%]	44	44
Tvrdość (HBW)	243	113
Nárazová práce KV/KU [J]	23	34

Krampe Harex CZ odzkoušelo materiál od různých dodavatelů, jako jsou např. Arcelor Mittal Ostrava, a.s., Třinecké železárny a.s. nebo Commercial Metals Company. I přesto, že se jedná o stejnou jakost, vlastnosti materiálu od jednotlivých dodavatelů se mírně liší., např. odzkoušený drát od ruského dodavatele Novocherkassk měl nižší tažnost oproti drátu z Trafileria Lecchese SLR z Itálie. Stále však nejvýznamnějším rozhodujícím ukazatelem je cena materiálu.

#### 4.4 Výrobní proces v Krampe Harex CZ

Při příjmu materiálu je kladen důraz na rozměr a požadavky na čistotu (drát by neměl korodovat, být mastný a špinavý např. od hlíny). Drát se dodává navinutý na cívce, jejíž hmotnost je 2000 kg. Společnost využívá drátotah se značením KGT-OTA a řídicím systémem od společnosti Siemens AG. Na lince se nachází dva sklopné trny, na které se cívky pomocí vysokozdvížného vozíku (VZV) umísťují. Důvodem přítomnosti dvou trnů, resp. dvou cívek na lince je, aby nedošlo k zastavení stroje po spotřebování jedné z cívek. Jelikož se materiál odvíjí směrem nahoru do odvíjecí věže (důvodem je eliminace zasukování drátu), napojuje se vždy horní konec nové cívky na spodní konec spotřebovávané cívky. Jakmile drát projede přes odvíjecí věž, pokračuje do tzv. odkujňovačky. Zde je materiál nejen zbaven okují, ale i rovnán. Poté pokračuje do brusky vybavené brusnými pásy, kde se materiál podrobí poslednímu čištění před samotným tažením. Očištěný drát následně vjíždí do vodní báze o teplotě 80 °C, tzv. solničky.

Ve vodní bázi se využívá lubrikantu VicafilTS 7853 od firmy Condat GmbH, který zlepšuje povrchové vlastnosti materiálu. Pro dosažení optimálních efektivity lubrikantu, je nezbytné pravidelně měřit koncentraci vodní báze. Pro VicafilTS 7853 je optimální koncentrace  $c = 1,3 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ . Před prvním tažením je třeba drát dokonale usušit topnou spirálou, která je nastavena na teplotu 230°C.

Drát o průměru 5,5 mm je tažen konstantní rychlostí přes 14 průvlaků, jež každý je opatřen kastlem, ve kterém je tažirnský prostředek (mýdlo) Vicafil SPM 3 W-TN 3851 pro zvýšení tažnosti materiálu. Po průchodu drátu průvlakem je drát navíjen na buben, aby nedošlo k jeho zamotání. Tabulka 6 uvádí jednotlivé průměry drátu, redukci drátu po průchodu jednotlivými průvlakem a hlavní namáhání. Výpočty jsou uvedeny v příloze 4.

Tabulka 6 Parametry taženého drátu

Průvlak	Průměr	Redukce	Hlavní namáhání
1	4,7400	25,7%	0,297
2	4,1000	25,2%	0,290
3	3,5600	24,6%	0,282
4	3,1000	24,2%	0,277
5	2,7200	23,0%	0,262
6	2,4000	22,1%	0,250
7	2,1300	21,2%	0,239
8	1,9000	20,4%	0,229
9	1,7000	19,9%	0,222
10	1,5300	19,0%	0,211
11	1,3800	18,6%	0,206
12	1,2500	18,0%	0,198
13	1,1400	16,8%	0,184
14	1,0400	16,8%	0,184

Celkový úběr je dle vzorce 3.1 a 3.2

$$U_c = \frac{D_p^2 - D_k^2}{D_p^2} \cdot 100 = \frac{5,5^2 - 1,04^2}{5,5^2} \cdot 100 = 96,4 \%$$

$$\ln \frac{D_p^2}{D_k^2} = \ln \frac{5,5^2}{1,04^2} = 3,33$$

což je dokonce více, než uvádí literatura. Na základě tohoto výpočtu lze potvrdit, že optimalizací procesu v praxi, lze dosáhnout vyšších hodnot celkové redukce a přirozené deformace.

Po průchodu drátu posledním průvlakem se drát rozkmitá, což je nežádoucí pro navíjení na cívku. Proto byl mezi poslední buben a cívku umístěn usměrňovač kmitavého pohybu drátu tzv. tanečník. Jedná se o systém pevných hliníkových pěti kol uchycených napevno, pod nimiž jsou pneumaticky řízená čtyři kola pohybující se nahoru a dolů. Jejich úkolem je usměrnit drát, aby při navíjení na cívku měl drát konstantní rychlost a byl dokonale namotán na cívku. Pokud by na lince nebyl tanečník přítomen, docházelo by k vytváření smyček při následném zpracování. Maximální tažná rychlost na vstupu do prvního průvlaku je  $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  a na výstupu z posledního průvlaku je  $37 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . V období, kdy není třeba maximální vytiženosti stroje, se pohybuje rychlost mezi  $33\div 36 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Proces tažení je zdokumentovaný v příloze 5.

Jakmile je cívka s polotovarem dokončená, je převezena na stříhací stroj. K tvarování drátu dojde mezi dvěma válci ve stroji a rotačními nůžkami k jeho oddělení. Pomocí pásového dopravníku jsou drátky dopraveny k magnetické skládačce, která zajistí, aby drátky byly orientované v krabici jedním směrem. To je zajištěno vhodným uspořádáním magnetů v zařízení, jež tvoří magnetické pole. Drátky jsou orientovány na základě přitažlivosti, resp. odpudivosti kladných a záporných pólů. Krampe Harex CZ jako jediná společnost v ČR disponuje magnetickou skládačkou.

#### **4.5 Lubrikanty a testování [37], [38]**

Krampe HarexCZ v současné době používá lubrikant Vicafil SPM 3 W-TN 3851 od firmy Condat GmbH, jež je založen na sodné bázi a je ideální pro tažení drátu z nízkouhlíkové oceli na niž nezanechává stopy. Jeden ze zkoušených lubrikantů Vicafil TF1269 je od společnosti Condat a druhý Traxit SL4040 od firmy Traxit International GmbH. První zkoušený lubrikant Vicafil TF1269 je založen na vápenaté bázi, je vhodný na vysokorychlostní tažení a vyznačuje se velmi dobrou přilnavostí. Vyhovuje tažení drátu z oceli s nízkým obsahem uhlíku, ale i oceli s vyšším obsahem uhlíku. Druhým zkoušeným lubrikantem je Vicafil SPM3 W-TN3851. Jedná se u suchý tažirenský prostředek vhodný pro nízkouhlíkovou i vysokouhlíkovou ocel. Jako lubrikant vodní báze pro Vicafil TF1269 byl zvolen univerzální prostředek Vicafil TS 7853, taktéž od firmy Condat, vhodný pro uhlíkaté oceli. Pro Traxit SL4040 byl zvolen Traxit Zel 760 L, taktéž vhodný pro uhlíkové oceli.

Před zahájením samotného testování bylo potřeba dokonale vyčistit drátotah od současně používaného lubrikantu Vicafil SPM 3 W-TN 3851, aby nedošlo ke zkreslení výsledných hodnot. Před samotným spuštěním byly zaznamenány všechny vstupní hodnoty, jež vycházely z doporučení dodavatele nebo předchozích zkušeností technologa. Variabilní veličinou byla pouze rychlost tažení, kdy minimální průměrná rychlost byla  $31 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  a maximální průměrná rychlost  $46 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Testování začínalo minimální rychlostí, která se postupně navyšovala vždy o  $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  každých 5 minut. Za směrodatnou veličinu byla zvolena průměrná rychlost a kvalita drátu na výstupu. Ze získaných hodnot během testování (tabulka 7, 8 a 9) byla vybrána taková

kombinace hodnot, kde bylo dosaženo maximální rychlosti při dosažení nejlepší jakosti na výstupu (tabulka 10). Jak je patrné maximální rychlosti tažení bylo dosaženo s lubrikantem Vicafil TF1269 nicméně povrch byl lehce znečištěn mazivem, což by mohlo negativně působit na mechanické vlastnosti výsledného kompozitního materiálu. Povrch drátu u zbylých dvou tažirenských prostředků splňuje vizuální požadavky, tzn. drát je čistý a matný, což značí, že mazivo neulpívá na povrchu taženého drátu na výstupu. Z pohledu maximální rychlosti tažení je na tom nepatrně lépe mazivo Traxit SL 4040.





Tabulka 9 Výsledek testování pro Vicafil SPM 3 W – TN3851

Tažirenský prostředek	Vicafil SPM 3 W - TN 3851					
Lubrikant vodní báze	TS 7853					
Koncentrace vodní báze [mol.dm <sup>-3</sup> ]	1,3					
Teplota sušení [°C]	220					
Maximální rychlost drátotahu [m.s <sup>-1</sup> ]	31	34	37	40	43	46
Výsledek Mezioperační žihání: Povrch drátu:	NE čistý, matný s minimálním náběrem maziva	NE čistý, matný s minimálním náběrem maziva	NE čistý, matný s minimálním náběrem maziva	NE Přetržení drátu	NE X	NE X

Tabulka 10 Nejpriznivější kombinace maximální rychlosti a jakosti drátu na výstupu

Tažirenský prostředek	<b>Traxit SL 4040</b>	<b>Vicafil TF 1269</b>	<b>Vicafil SPM 3 W-TN 3851</b>
Spotřeba	40 kg/tuna	42 kg/tuna	36 kg/tuna
Cena	3,84 EUR/l	3,65 EUR/l	3,65 EUR/l
Teplota vodní báze [°C]	80 °C	80 °C	80 °C
Lubrikant vodní báze	Traxit Zel 760 L	VicafilTS 7853	VicafilTS 7853
Koncentrace vodní báze [mol.dm-3]	1,2	1,3	1,3
Teplota sušení [°C]	230	220	220
Maximální rychlost drátotahu [m.s-1]	40	42	37
Výsledek			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nutnost mezioperačního žihání:</li> <li>• Povrch drátu:</li> </ul>	<p>NE</p> <p>Čistý, matný s minimálním náběrem maziva</p>	<p>NE</p> <p>Čistý, leklý se zbytky maziva</p>	<p>NE</p> <p>Čistý, matný s minimální náběr maziva</p>

#### 4.6 Testování okrajových podmínek

Boj o zákazníky s přímými konkurenty je v dnešní době obrovský, proto se společnosti snaží nabízet co nejlepší výrobek a zároveň aspirují o zviditelnění se poskytováním nejrůznějších služeb zákazníkům. Produkt samotný už není neschopen přinést společnosti takovou konkurenční výhodu, proto se firmy pokouší navázat spolupráci s odběrateli a poskytnout jim nejrůznější systémová řešení, technologickou spolupráci atd. V případě společnost Krampe Harex CZ je podstatná spolupráce se svými zákazníky za účelem výroby výrobku, který bude splňovat požadavky finálního produktu. Proto je důležité, aby se nejen na vývoji, ale také na nejrůznějších změnách v procesu výroby podílely obě strany. Změna tažirenského prostředku má vliv nejen na průběh tažení drátu, ale i na okrajové podmínky finálního produktu, proto druhá část testování probíhala ve spolupráci s laboratoří společnosti Cemex Czech Republic, jež patří vedoucí pozice v oblasti stavebních materiálů.

Pro všechny zkoušky byl použit stejný referenční beton s pevnostní třídou v tlaku C 30/37<sup>3</sup> dle ČSN EN 12 390-3 s následující recepturou (tabulka 11) a rozptýlená ocelová výztuž Krampe Harex DE-50-1.0-N.

<sup>3</sup> Vysvětlení značení pevnosti betonu dle ČSN EN 206-1: beton C30/37

30 – charakteristická válcová pevnost betonu v tlaku

37 – Charakteristická krychelná pevnost betonu v tlaku

Tabulka 11 Receptura referenčního materiálu Ref C30/37 na 1 m<sup>3</sup>

Surovina	množství [kg]
CEM I 42,5 R Prachovice	345
kamenivo 0-4 Náklo	960
kamenivo 8-16 Náklo	1000
Voda	166
Superplastifikátor	2,42
v/c	0,45

Jedním z parametrů kvality betonu je míra provzdušnění cementové matrice. Míra provzdušnění ovlivňuje finální fyzikálně-mechanické vlastnosti, zejména pevnostní charakteristiky. Provzdušnění může být cílené, jež je požadováno u provzdušněných betonů (většinou betony s označením stupně vlivu prostředí – XF 2-4), kdežto u neprovzdušněných betonů se jedná o tzv. falešné provzdušnění. Obecně dobře zhutněný beton<sup>4</sup> se pohybuje v rozmezí 1-2,5 %, provzdušněný<sup>5</sup> mezi 4-6 % a špatně zhutněný, tj. neprovzdušněný beton více jak 4 %. Výsledek zkoušky pohybující se před 8 % je zcela nevyhovující, protože 1 % vzduchu znamená snížení pevnosti v tlaku cca o 3 až 5 MPa.

Pro realizaci zkoušky obsahu vzduchu v čerstvém betonu je třeba přesně postupovat dle ČSN EN12 350-7. Nádoba (obrázek 17) je plněna cca ve třech vrstvách za účelem odstranění co největšího množství vzduchových bublin. Po zhotovení každé vrstvy se beton zhutní pomocí ponorného vibrátoru, vibračního stolu nebo propichovací tyčí. Nakonec se každá vrstva poklepe paličkou, aby byly vypuzeny bublinky vzduchu. Jakmile je betonová směs připravena, připevní se pomocí svorek víko k nádobě, uzavře se hlavní ventil a ventily A a B se otevřou. Následně se jedním ventilem vstříkují voda, až do chvíle, než začne druhým ventilem voda vytékat. Nádoba se poklepe paličkou (pro odstranění vzduchových bublin), ventil na vypouštění vzduchu se uzavře a do vzduchové komory je vpumpován vzduch, dokud ručička manometru neukazuje počáteční hodnotu tlaku. Ventily A a B se uzavřou a za lehkého poklepávání se odečítá hodnota tlaku na budíku tlakoměru. Tato odečtená hodnota, vyjádřená v % odpovídá objemu obsaženého vzduchu v betonu. Před sejmutím víka je nutné uvolnit ventily A a B, aby se uvolnil tlak obsažený uvnitř nádoby.



Obrázek 17 Laboratorní přístroj pro měření vzduchu v betonu [39]

<sup>4</sup> Zhutněný beton (vibrovaný beton) je před ztuhnutím upraven vibracemi za účelem dosažení vyšší pevnosti, ale i trvanlivosti.

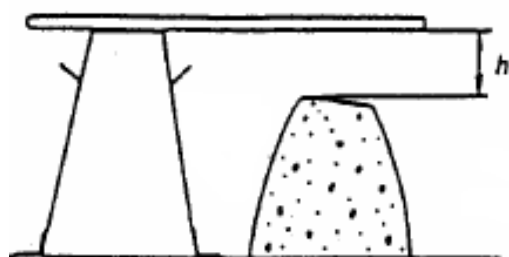
<sup>5</sup> Provzdušněný beton s uměle vytvořenými vzduchovými póry v cementové matrici.

Výsledky této zkoušky jsou uvedeny v tabulce 12. Jak bylo již zmíněno obsah vzduchu dobře zhutněného neprovzdušněného betonu se pohybuje v rozmezí 1 - 2,5 %, čemuž odpovídá pouze receptura referenčního materiálu, což dokazuje, že přidání rozptýlené výztuže vždy znamená vnesení určitého množství vzduchu, které je ale snahou maximálně eliminovat. Receptura, jejichž obsahem je rozptýlená ocelová výztuž tažená s lubrikantem Traxit SL 4040, se s hodnotami provzdušnění přibližuje ke střední hodnotě intervalu (4-6 %) neprovzdušněného betonu. Na horní hranici intervalu se pak pohybují zbylé dva testované lubrikanty.

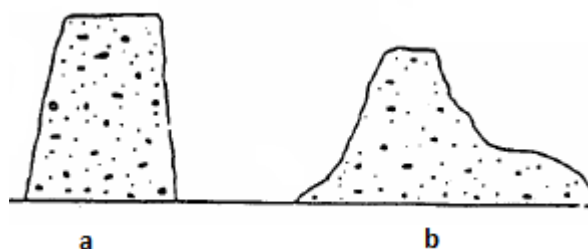
Tabulka 12 Výsledky zkoušky obsah vzduchu v betonu

Receptura	Obsah vzduchu [%]
Referenční	2,3
Traxit SL 4040	4,7
Vicafil TF 1269	5,8
Vicafil SPM 3 W-TN 3851	5,9

Na čerstvém betonu se dále provádí zkouška sednutí kužele, která poskytne údaj o reologii betonu a stupni konzistence dle ČSN EN 12 350-2. U této zkoušky se forma plní podobně jako u předchozí zkoušky. Během plnění musí být forma upevněna na podkladní desku, která je ve vodorovné pozici. Kužel se plní na třikrát až po jeho horní okraj, přičemž každá vrstva se musí zhutňovat 25 vpichy. Po odstranění přebytečného betonu z kužele a z podkladové desky, je forma zvednuta a změří se sednutí  $h$  jak znázorňuje obrázek 18. Zkouška je platná pouze v případě, že kužel je symetrický a beton není porušený. Pokud se vzorek usmýkne, zkouška se opakuje. Pokud dojde znovu k usmýknutí, znamená to, že beton má nedostatečnou plasticitu (obrázek 19).



Obrázek 18 Měření sednutí kužele [39]



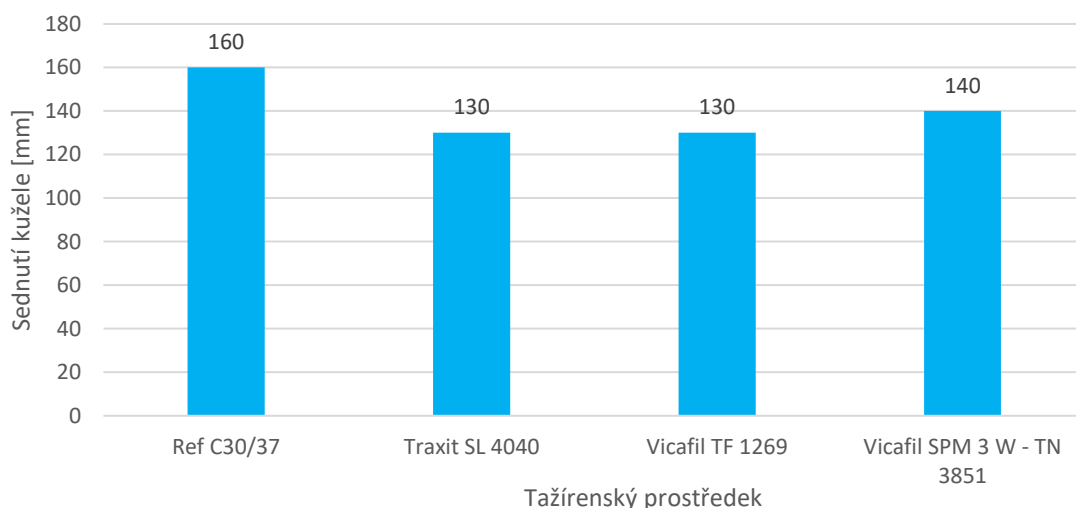
Obrázek 19 Sednutí kužele a) správné sednutí, b) nesprávné sednutí) [39]

U betonu s rozptýlenou ocelovou výztuží dochází k poklesu konzistence (potřeba více vody ke smáčení drátků) a k falešnému provzdušnění betonu (pod drátkem vzniká falešná vzduchová kaverna). Je tedy nezbytně nutné kontrolovat provzdušnění betonu a snažit se, aby bylo co nejmenší. Klasicky je na stavby předepisován beton třídy konzistence S3 (používá

např. Ředitelství silnic a dálnic ČR), ale v praxi se nejhojněji využívá beton na hranici třídy S3-S4. Dle normy ČSN EN 206-1 je referenční materiál řazen do třídy S4 (tabulka 13). Současně používaný Vicafil SPM 3 W-TN 3851 i oba testované vzorky jsou klasifikovány stupněm S3 (graf 1) a lze tvrdit, že schovají velmi podobně.

Tabulka 13 Klasifikace zkoušky sednutí kužele [39]

Stupeň	Sednutí [mm]
S1	10 až 40
S2	50 až 90
S3	100 až 150
S4	160 až 210
S5	≥ 220

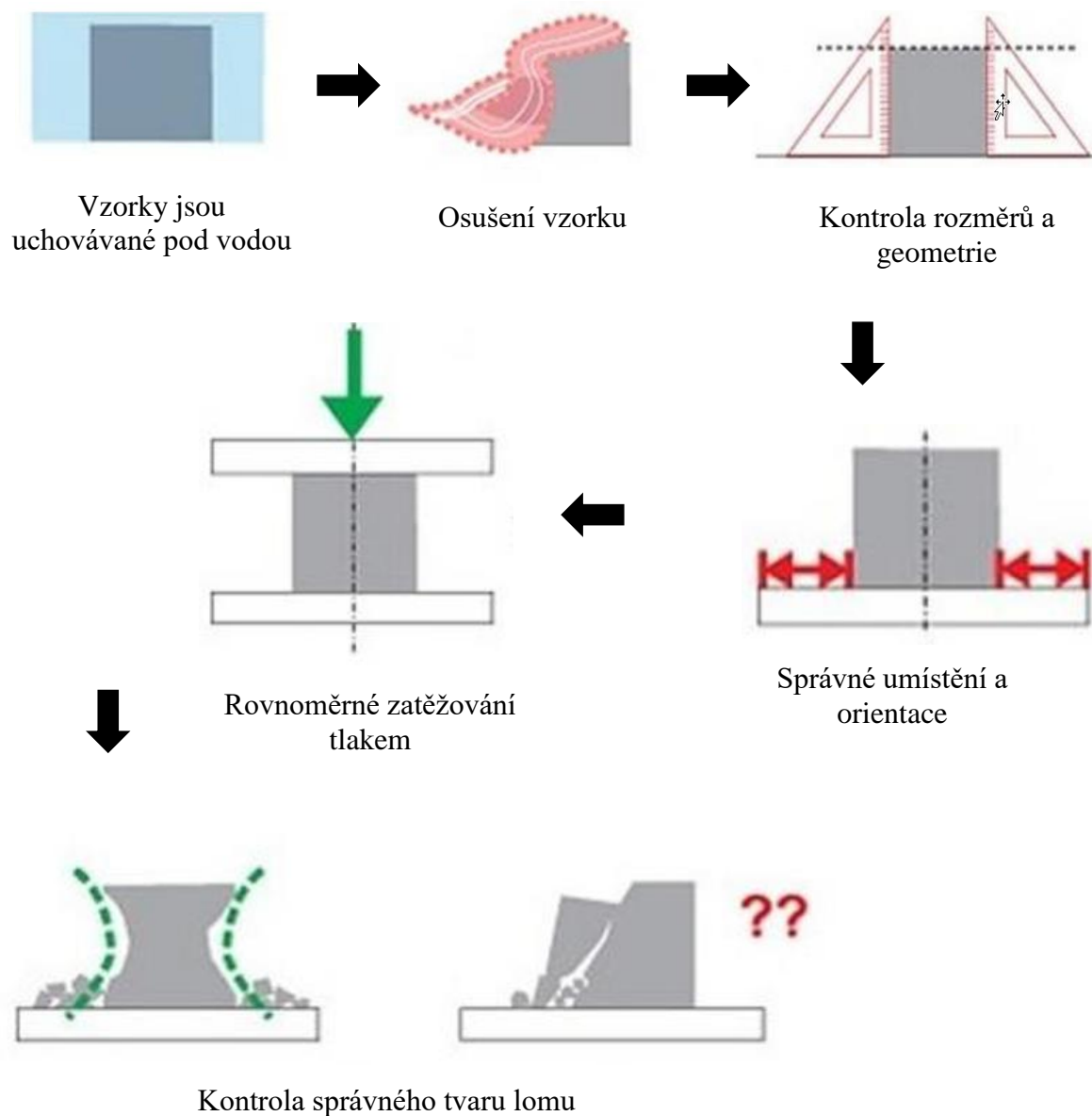


Graf 1 Výsledky zkoušky sednutí kužele dle ČSN EN 12 350-2

Pro zjištění pevnosti betonu v tlaku se využívá tzv. zkoušky pevnosti betonu v tlaku, která se provádí pomocí zkušebních těles ztvrdlého betonu přesných rozměrů. Jedná se o destruktivní zkoušku, která je provedena na krychli (150x150x150 mm), válci (Ø150 x 300 mm) nebo se provádí přímo na vývrtech, jejichž konce jsou zapraveny kvůli geometrické přesnosti a korektní tlačné ploše. Pro tento experiment jsou zkoušené tři vzorky pro každý lubrikant. Každý vzorek má tři tělesa, u kterých je testovaná pevnost betonu v tlaku po 7 dnech – náběhová pevnost, 28 dnech – normová pevnost a 90 dnech – dlouhodobá pevnost. Průběh zkoušky je znázorněn na obrázku 20. Beton samotný se vyznačuje nízkou pevností v tahu oproti pevnosti v tlaku. Pevnost betonu v tahu je přibližně 8 až 10 % pevnosti tlaku. Pro zvýšení těchto fyzikálních veličin se beton vyztužuje ocelovými pruty (roxory) nebo sítěmi (kari sítě), předpjatou nebo rozptýlenou výztuží (ocelové drátky, skelné, polymerové nebo přírodní vlákna).

Výsledky 7, 28 a 90denní zkoušky pevnosti betonu jsou zaznamenány v tabulce 14. Pro zřetelnější vyhodnocení hodnot zkoušky, byly zprůměrované hodnoty přeneseny do grafu 2. V porovnání s referenčním recepturou betonu vychází nejlépe receptura, jejíž

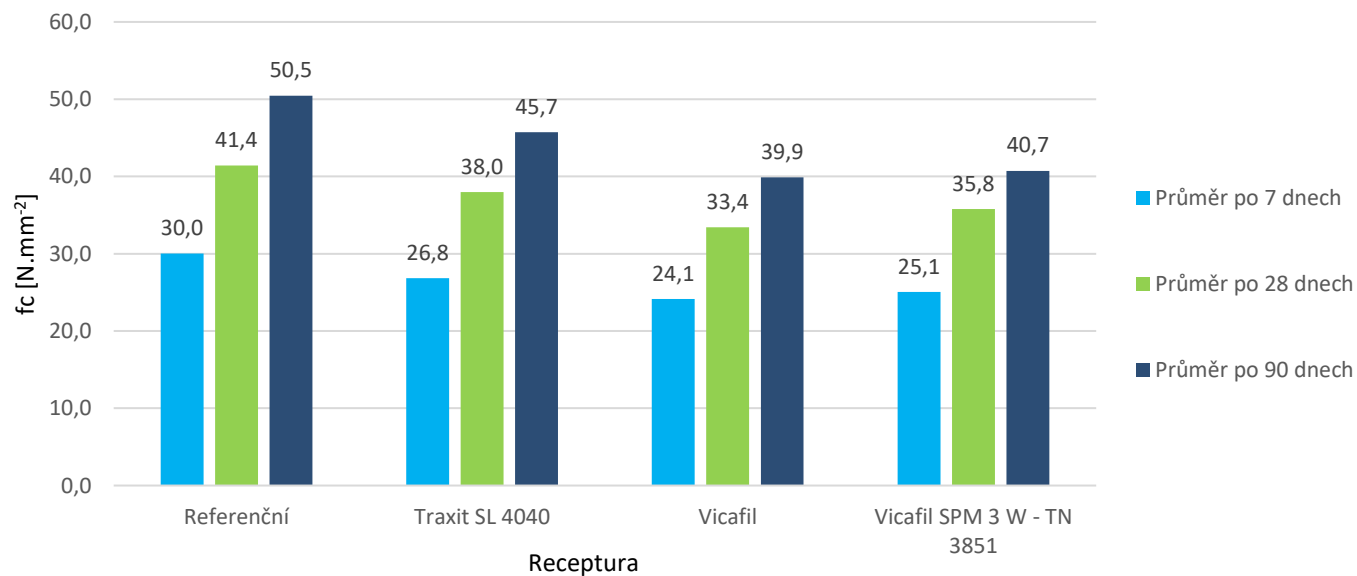
součástí je rozptýlená ocelová výztuž tažená s lubrikantem Traxit SL 4040. Rozdíly pevnosti betonu mezi jednotlivými recepturami se postupem času navyšovaly. Například při porovnání receptury Traxit SL a Vicafil TF1269 je rozdíl hodnot po 7 dnech  $1,5 \text{ N.mm}^{-2}$ , po 28 dnech  $4,6 \text{ N.mm}^{-2}$  a po 90 dnech  $5,8 \text{ N.mm}^{-2}$ .



Obrázek 20 Průběh zkoušky pevnosti v tlaku [39]

Tabulka 14 Zkouška pevnosti betonu v tlaku tří vzorků

Receptura	fc [N.mm <sup>-2</sup> ] Vzorek č.1 7 dní	fc [N.mm <sup>-2</sup> ] Vzorek č.2 7 dní	fc [N.mm <sup>-2</sup> ] Vzorek č.3 7 dní	fc [N.mm <sup>-2</sup> ] Vzorek č.1 28 dní	fc [N.mm <sup>-2</sup> ] Vzorek č.2 28 dní	fc [N.mm <sup>-2</sup> ] Vzorek č.3 28 dní	fc [N.mm <sup>-2</sup> ] Vzorek č.1 90 dní	fc [N.mm <sup>-2</sup> ] Vzorek č.2 90 dní	fc [N.mm <sup>-2</sup> ] Vzorek č.3 90 dní
Referenční	28,1	31,7	30,3	39,3	43,1	41,9	50,8	48,7	51,9
Traxit SL 4040	27,2	25,3	28,0	38,7	39,1	36,2	44,9	46,3	46,0
Vicafil TF 1269	25,5	23,8	23,1	34,4	33,7	32,2	41,5	38,2	40,0
Vicafil SPM 3 W-TN 3851	26,3	24,8	24,1	35,5	36,8	35,0	42,2	39,1	40,9

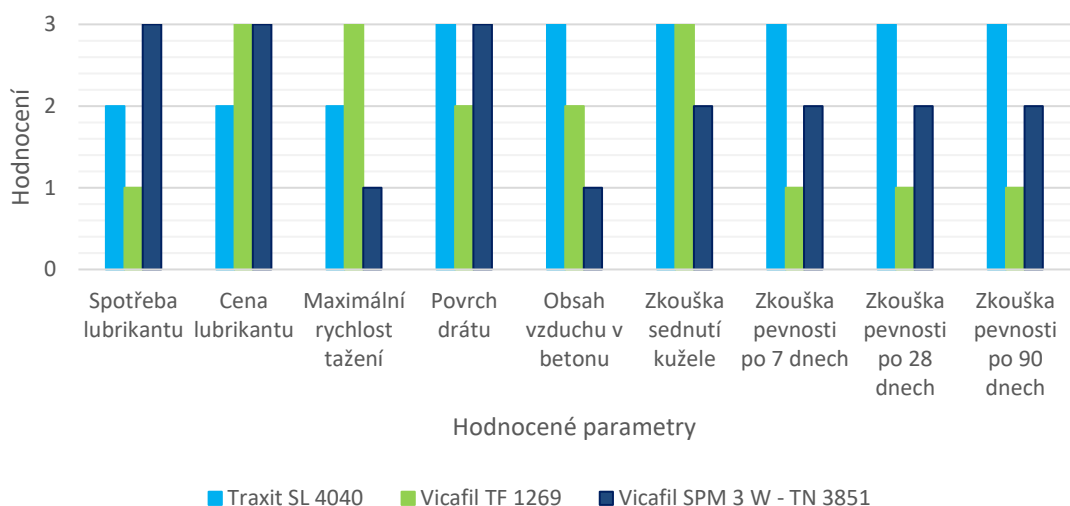


Graf 2 Průměrné hodnoty zkoušky pevnosti betonu v tlaku

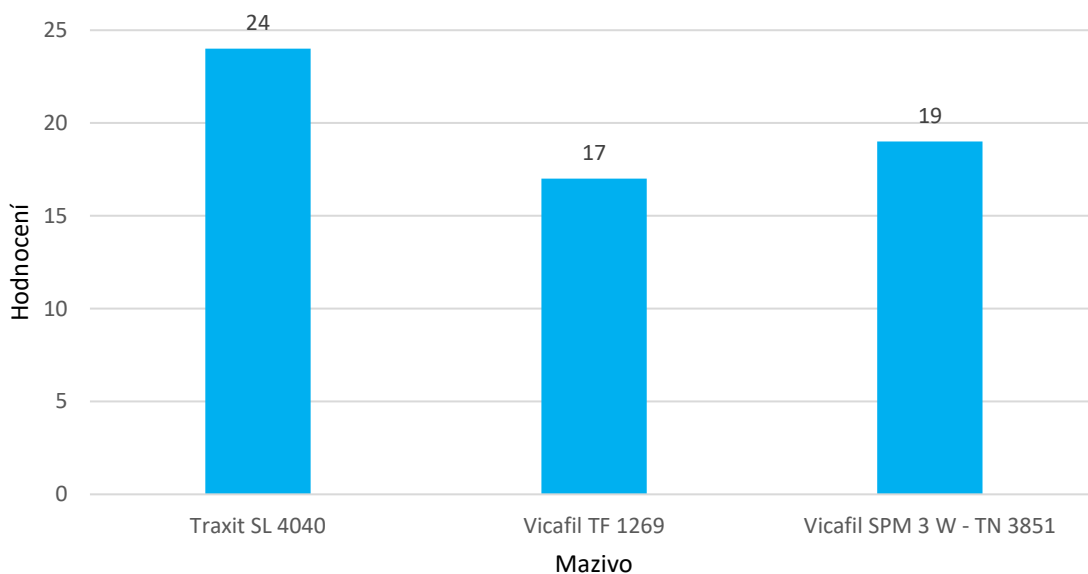


## 4.7 Komplexní zhodnocení

Pro finální výběr lubrikantu byly porovnány výsledky jednotlivých zkoušek a parametrů jako je např. cena, spotřeba atd. Jednotlivé aspekty byly hodnoceny na bodové škále 1-3, kdy 1 značí nejméně vyhovující vlastnosti lubrikantu a naopak 3 nejlépe vyhovující. V některých případech nastala shoda výsledných hodnot, takže hodnota 1 nebyla vůbec využita (graf 3). Následným součtem hodnot byl vytvořen komplexní pohled na vhodnost lubrikantu jak pro samotný proces tažení, tak zároveň i pro finální produkt, Z komplexního hodnocení (graf 4) vyšel nejlépe lubrikant od společností Traxit International GmbH Traxit SL 4040. S relativně větším bodovým odstupem se umístily lubrikanty Vicafil. Hůře z nově testovaných maziv dopadl Vicafil TF 1269 a to kvůli celkové spotřebě při tažení a nejnižší pevnosti na mm<sup>2</sup>.



Graf 3 Hodnocení jednotlivých aspektů



Graf 4 Komplexní hodnocení lubrikantů

## 5 Závěry

Práce měla analyzovat a zhodnotit vhodnost použití tažirenského lubrikantu pro tažení drátu, který je jedním ze vstupních materiálů betonu s rozptýlenou ocelovou výztuží a má významný vliv na finální mechanické vlastnosti betonu. Praktická část začíná představením společnosti Krampe Harex CZ včetně jejího portfolia a výrobního procesu. V důsledku vysoké poptávky ve stavebnickém průmyslu byla součástí práce analýza dostupnosti rozptýlené výztuže u dalších dodavatelů v rámci České republiky. Kvůli vysoké konkurenci na trhu se společnosti snaží neustále snižovat režijní náklady výrobního procesu, aniž by tyto úspory měly dopad na kvalitu výsledného produktu. Z tohoto důvodu se i společnost Krampe Harex CZ reagovala a začala hledat úspory v oblasti technologie výroby, konkrétně úspory na tažirenských prostředcích.

Technology byly vytipované dva lubrikanty od různých dodavatelů. Prvním z nich byl Vicafil SPM 3 W-TN3851 od firmy Condat GmbH a druhým Traxit SL4040 od Traxit International GmbH Co. KG. Samotné zkoušení maziv probíhalo přímo ve výrobě společnosti Krampe Harex GmbH. a následně byla pak vhodnost drátku pro finální produkt testovaná v laboratořích společnosti Cemex Czech Republic s. r. o, jež je jedním z největších odběratelů a zároveň jedním z největších dodavatelů betonu, potažmo drátkobetonu, na českém i světovém trhu. Došlo tedy k propojení dvou odvětví a výsledek analýzy lze plnohodnotně aplikovat na praxi.

Hodnotící kritéria pro první část testování, tedy samotnou výrobu rozptýlené ocelové výztuže, byla spotřeba maziva na tunu taženého drátu, od níž se pak odvíjí celkové náklady na maziva, maximální rychlost drátotahu, jež je nutná v případech, kdy je třeba uspokojit vysokou poptávku zákazníků a v neposlední řadě byla hodnocena jakost produktu. Kritéria nejlépe splňovalo tažirenské mýdlo Traxit SL4040 a současně používaný Vicafil SPM 3 W-TN 3851. Druhý testovaný Vicafil TF 1269 dosáhl nejvyšší maximální rychlosti tažení  $43 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , ale jeho povrch vykazoval zbytky maziva na povrchu, což by mohlo mít negativní vliv na mechanické vlastnosti betonu nebo by dokonce mohlo docházet k vyplavení ocelové výztuže na povrch.

V druhé části byly provedeny zkoušky betonu, jež mají vypovídací schopnost pro určení nejvhodnějšího typu maziva. Pro srovnání a následné vyhodnocení výsledků byl zvolen referenční beton s pevnostní třídou v tlaku C 30/37 dle ČSN EN 206-1. Do receptury byla v druhé fázi přidávána rozptýlená ocelová výztuž Krampe Harex DE 50/1 N. Prvním z testovaných parametrů kvality betonu byla míra provzdušnění cementové matrice betonu, kde nejlepšími výsledky provzdušnění 4,7 % v porovnání s referenčním betonem 2,3 % dosahoval jednoznačně Traxit SL4040. Nejhůře dopadl aktuálně používaný Vicafil SPM 3 W-TN 3851, který dosáhl hodnoty 5,9 %, Naopak ve zkoušce sednutím kužele se se svými 140 mm nejvíce přibližoval k hodnotě stanovené pro referenční beton (150 mm). Zbylé lubrikanty dosáhly 130 mm, což všechny vzorky řadí do stupně konzistence S3. Poslední a časově velmi náročnou zkouškou byla zjišťována pevnost betonu v tlaku, kdy vzorky jednotlivých betonů byly

testovány po 7, 28 a 90 dnech. Ve všech časových intervalech bylo dosaženo nejvyšších hodnot pevnosti v tahu vzhledem k referenčnímu materiálu u lubrikantu Traxit SL4040.

Z celkového hodnocení, kde byly porovnány výsledky jak z první, tak z druhé části vyšel i přes vyšší cenu nejlépe lubrikant Traxit SL4040. Celkem s velkým bodovým odstupem byl druhým nejvhodnějším lubrikantem současně používaný Vicafil SPM 3 W-TN 3851. S dvoubodovým rozdílem pak Vicafil TF 1269. Nejenže tato analýza prokázala důležitost součinnosti dvou různých odvětvích, ale dala také společnosti Krampe Harex CZ důležité podklady. Již v průběhu tvorby bakalářské práce bylo rozhodnuto, že v průběhu roku 2019 bude pořízen nový drátotah, aby společnost byla schopna pokrýt poptávku na trhu a zároveň pomoci s výrobou mateřské společnosti v Německu, kde jsou již na hraně kapacity. U nového drátotahu je v plánu využívat hned od začátku lubrikační prostředek Traxit SL4040.

## Seznam použité literatury

1. DOMSKI, Jacek, Jacek KATZER, Mateusz ZAKRZEWSKI a Tomasz PONIKIEWSKI. *Comparison of the mechanical characteristics of engineered and waste steel fiber used as reinforcement for concrete*. Journal of Cleaner Production [online]. Elsevier, 2017, 158, 18-28 [cit. 2018-02-15]. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.04.165. ISSN 0959-6526. Dostupné z: [https://ac-els-cdn-com.ezproxy.lib.vutbr.cz/S0959652617309101/1-s2.0-S0959652617309101-main.pdf?\\_tid=2d3c2cde-1249-11e8-846a-00000aab0f27&acdnat=1518696794\\_cfb46a4fcb48b014f51e02b45da180fe](https://ac-els-cdn-com.ezproxy.lib.vutbr.cz/S0959652617309101/1-s2.0-S0959652617309101-main.pdf?_tid=2d3c2cde-1249-11e8-846a-00000aab0f27&acdnat=1518696794_cfb46a4fcb48b014f51e02b45da180fe).
2. MD AZREE OTHUMAN MYDIN. *Engineering Performance of High Strength Concrete Containing Steel Fibre Reinforcement*. Analele Universității "Eftimie Murgu" Reșița: Fascicola I [online]. Eftimie Murgu University of Resita, 2013, 20(31), 121-132 [cit. 2018-02-15]. ISSN 1453-7397. Dostupné z: <http://anale-ing.uem.ro/2013/312.pdf>
3. CEMEX Czech Republic, s.r.o. *Drátkobeton a vláknobeton* [online]. Praha: CEMEX Czech Republic, 2018, 2018 [cit. 2018-02-15]. Dostupné z: <http://cemex.cz/dratkobeton-a-vlaknobeton.aspx>.
4. TBZ-info. *STEELCRETE® - Beton s železem v krvi* [online]. Beroun: Českomoravský beton, 2011 [cit. 2018-02-15]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/beton-malty-omitky/7049-steelcrete-beton-s-zelezem-v-krvi>.
5. Beton.cz. *Drátkobeton* [online]. Praha: CEMEX Czech Republic, 2018 [cit. 2018-02-15]. Dostupné z: <https://www.beton.cz/fotogalerie/dratkobeton.html>.
6. KrampeHarex GmbH & Co. KG. *Wirefibres* [online]. Hamm: KrampeHarex, 2018 [cit. 2018-02-15]. Dostupné z: <https://www.krampeharex.com/en/fibres/products/wire-fibres/>.
7. VALBERG, Henry S. *Applied Metal Forming: Including FEM analysis*. 1. New York: Cambridge University Press, 2010. ISBN 978-0-521-51823-9.
8. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
9. HLUCHÝ, Miroslav, Jan KOLOUCH a Rudolf PAŇÁK. *Strojírenská technologie 2*. 2., upr. vyd. Praha: Scientia, 2001, 316 s. ISBN 80-718-3244-8.
10. LENFELD, Petr. *Technologie II*. 3. vyd. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2016. ISBN 978-80-7494-304-1.
11. WELFORD, John. *Romulus and Remus: The Founding Myth of the City of Rome*. In: Owlcation [online]. Oakland: HubPages, 2017, March 24, 2017 [cit. 2018-02-14]. Dostupné z: <https://owlcation.com/humanities/Romulus-and-Remus-The-Founding-Myth-of-the-City-of-Rom>

12. FABÍK, Richard. *Tváření kovů: učební text: studijní materiály pro studijní program Metalurgické inženýrství Fakulty metalurgie a materiálového inženýrství*. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita, 2012. ISBN 978-80-248-2572-4.
13. BENEŠOVÁ, Soňa, Vladimír BERNÁŠEK. *Technologie tváření*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2014. ISBN 978-80-261-0449-0.
14. LIDMILA, Zdeněk. *Teorie a technologie tváření*. Brno: Univerzita obrany, 2008. ISBN 978-80-7231-579-6.
15. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Milan HORÁČEK. *Technologie II*. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2001. ISBN 80-214-2032-4.
16. BLAŠČÍK, František, et al. *Technológiatvárenia, zlievárenstva a zvárania*. 1. vyd. Bratislava: Alfa, 1988. 832 s.
17. TSCHATSCH, Heinz. *Metal formingpractise: processes - machines - tools*. New York: Springer-Verlag, 2006. ISBN 35-403-3216-2.
18. WRIGHT, Roger N. *Wire Technology: Process Engineering and Metallurgy*. Oxford: Elsevier Science & Technology, 2016. DOI: 10.1016/C2014-0-02496-3. ISBN 9780128026502.
19. TRUKHANOVICH, A. a A. LEDNEVA. *Lubricantsfor dry wiredrawing*. Steel in Translation [online]. Heidelberg: Allerton Press, 2009, 39(6), 510-511 [cit. 2019-03-08]. DOI: 10.3103/S0967091209060187. ISSN 0967-0912.
20. RUIZ, M.c, J VERDE, A ANDRÉS, J VIGURI a A IRABIEN. *Environmentalassessmentoflubricantsbefore and afterwiredrawingprocess*. JournalofHazardousMaterials [online]. Elsevier B.V, 2001, 85(3), 181-191 [cit. 2019-03-08]. DOI: 10.1016/S0304-3894(01)00227-8. ISSN 0304-3894.
21. BYON, Sm, Sj LEE, Dw LEE, Yh LEE a Y LEE. *Effectofcoatingmaterial and lubricant on formingforce and surfacedefects in wiredrawingprocess*. TransactionsOfNonferrous Metals Society OfChina [online]. ELSEVIER SCIENCE BV, 2011, 21, S104-S110 [cit. 2019-03-08]. ISSN 1003-6326.
22. NOVAK, Josef a Alena KOHOUTKOVA. *StructuralFiberReinforcedConcreteElements*. Solid StatePhenomena [online]. Zurich: Trans Tech Publications, 2017, 259, 221-226 [cit. 2019-03-05]. DOI: 10.4028/www.scientific.net/SSP.259.221. ISSN 10120394. Dostupné z: <http://search.proquest.com/docview/1900217213/>
23. ROIG-FLORES, M., F. ŠIMICEVIĆ, A. MARIČIĆ, P. SERNA a M. HORVAT. *Interfacialtransitionzone in maturefiber-reinforcedconcretes*. ACI MaterialsJournal [online]. AmericanConcrete Institute, 2018, 115(4), 623-631 [cit. 2019-03-05]. DOI: 10.14359/51702419. ISSN 0889325X.

24. Tunel: *Tunel Praha – Beroun a základní parametry* [online]. 2008, 2008(2) [cit. 2019-03-05]. Dostupné z: [https://www.ita-aites.cz/files/tunel/komplet/tunel\\_2\\_08.pdf](https://www.ita-aites.cz/files/tunel/komplet/tunel_2_08.pdf)
25. Wikipedie otevřená encyklopedie: *Ejpvický tunel* [online]. 2018 [cit. 2019-03-05]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Ejpvick%C3%BD\\_tunel](https://cs.wikipedia.org/wiki/Ejpvick%C3%BD_tunel)
26. BETON SERVER. *Krampe Harex CZ s.r.o.* [online]. Praha, 2017 [cit. 2017-12-10]. Dostupné z: <https://www.betonserver.cz/krampe>.
27. FIRESTA. *Areál Krampe CZ, Ostrovačice* [online]. Brno: Firesta, 2008 [cit. 2018-02-15]. Dostupné z: [http://www.firesta.cz/article.php?id\\_article=396](http://www.firesta.cz/article.php?id_article=396).
28. DIN EN ISO 16120-2:2017-06, *Non-alloysteelwire rod for conversion to wire – Part 2: Specific requirements for general purpose wire rod (ISO 16120-2:2017)*
29. Krampe Harex CZ. *Tryskací materiály a vlákna do betonu* [online]. Ostrovačice, 2019 [cit. 2019-03-05]. Dostupné z: <http://www.krampeharex.cz/>
30. MINISTERSTVO SPRAVEDLNOSTI: *Veřejný rejstřík a sbírka listin* [online]. Praha, 2017 [cit. 2017-12-10]. Dostupné z: <https://or.justice.cz/>.
31. BEKAERT BOHUMÍN S.R.O. *Products and applications*. [online]. Bekaert, 2019 [cit. 2018-02-15]. Dostupné z: <https://www.bekaert.com/en/products-and-applications>.
32. TRITREG TŘINEC s.r.o. *Ocelová vlákna do betonu*. [online]. Tritreg třinec s.r.o., 2019 [cit. 2018-02-15]. Dostupné z: <http://www.tritreg.cz/ocelova-vlakna-do-betonu/ocelova-vlakna-do-betonu/>.
33. ARCELOR MITTAL OSTRAVA A.S. *Dlouhé výrobky*. [online]. Arcelor Mittal Ostrava a.s., 2019 [cit. 2018-02-15]. Dostupné z: <http://www.arcelormittal.cz/produkty-a-sluzby/dlouhe-vyrobky.aspx>.
34. KERN S.R.O. *Výrobní program*. [online]. Kern s.r.o., 2019 [cit. 2018-02-15]. Dostupné z: <http://www.kern-dr.cz/?lang=cz&page=program>.
35. STEEL GRADE: THE STEEL GRADE SHARING PLATFORM. *Mechanical Properties, Chemical Element, Cross Reference*. [online]. Steel Grade, 2019 [cit. 2019-03-08]. Dostupné z: <https://www.steel-grades.com/>
36. ČSN EN ISO 16120-2 (421075): *Válcovaný drát z nelegované oceli k přepracování na tažený drát – Část 2: Specifické požadavky na drát k obecnému použití*. Praha: Český normalizační institut, 2018.
37. Condat. *Wire-drawing lubricants and soaps* [online]. Chasse-sur-Rhône: Condat, 2019 [cit. 2019-03-08]. Dostupné z: <https://www.condat-lubricants.com/product/wire-drawing-lubricants-soaps/>

38. Traxit International GmbH. *Wellness forwire* [online]. Schwelm: Traxit International, 2018 [cit. 2019-03-08]. Dostupné z: [https://traxit.com/images/traxit/downloads/catalogues/Katalog\\_GB\\_4-seitig\\_2018.pdf](https://traxit.com/images/traxit/downloads/catalogues/Katalog_GB_4-seitig_2018.pdf)
39. ČSN EN 12350-2. *Zkoušení čerstvého betonu – Část 2: Zkouška sednutím*. Praha: Český normalizační institut, 2009
40. BENEŠOVÁ, Soňa, Jan KRNÁČ a Vladimír BERNÁŠEK. *Počítačová simulace lomového poškození drátu při tažení obvyklou*. Hutnické listy. 2010, LXIII (2), 5. ISSN 0018-8069.

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
A	Tažnost	[%]
$D_k$	Výstupní průměr drátu	[mm]
$D_p$	Vstupní průměr drátu	[mm]
D	Průměr bloku	[mm]
$d_0$	Průměr před tažením	[mm]
$d_1$	Průměr po tažení	[mm]
$f_c$	Pevnost betonu v tahu	[N. mm <sup>-2</sup> ]
$F_{dr}$	Tažná síla	[N]
$F_k$	Maximální síla před mezí kluzu	[N]
$F_m$	Maximální síla před porušením zkušební tyče	[N]
k	Kritická hodnota plastičnosti	[-]
$k_{strm}$	Střední průtokové napětí	[MPa]
$L_0$	Počáteční měřená délka	[mm]
$L_U$	Konečná měřená délka	[mm]
$l_k$	Konečná (jednotková) délka drátu	[mm]
$l_p$	Počáteční (jednotková) délka drátu	[mm]
n	Rychlost otáčení bloku	[min <sup>-1</sup> ]
P	Výkon	[W]
$R_e, R_{p0,2}$	Mez kluzu	[MPa]
$R_m$	Mez pevnosti	[MPa]
$S_0$	Průřez před tažením	[mm <sup>2</sup> ]
$S_1$	Průřez po tažení	[mm <sup>2</sup> ]
$S_2$	Průřez drátu po druhém tahu	[mm <sup>2</sup> ]
$S_n$	Průřez drátu po n-tém tahu	[mm <sup>2</sup> ]
$S_k$	Konečný průřez taženého drátu	[mm <sup>2</sup> ]
$S_p$	Počáteční průřez taženého drátu	[mm <sup>2</sup> ]
$S_U$	Konečná plocha průřezu vzorku	[mm <sup>2</sup> ]
$U_c$	Celková deformace taženého drátu	[%]
v	Tažná rychlost	[m.s <sup>-1</sup> ]



Označení	Legenda	Jednotka
$v_1$	tažná rychlost při prvním tahu	$[m.s^{-1}]$
$v_2$	Tažná rychlost při druhém tahu	$[m.s^{-1}]$
$v_3$	Tažná rychlost při třetím tahu	$[m.s^{-1}]$
$v'_1$	Tažná rychlost při prvním tahu	$[m.s^{-1}]$
$v'_2$	Tažná rychlost při druhém tahu	$[m.s^{-1}]$
$v'_3$	Tažná rychlost při třetím tahu	$[m.s^{-1}]$
$v_n$	Tažná rychlost při n-tém tahu	$[m.s^{-1}]$
$v_{max}$	Maximální tažná rychlost	$[m.s^{-1}]$
$Z$	Kontrakce	$[\%]$
$\alpha$	Tažný úhel	$[^\circ]$
$\varepsilon_c$	Celková deformace	$[-]$
$\varepsilon_{el}$	Elastická deformace	$[-]$
$\varepsilon_{pl}$	Plastická deformace	$[-]$
$\eta_F$	Účinnosti deformace	$[-]$
$\mu$	Střední koeficient tření	$[-]$
$\tau_{max}$	Maximální smykové napětí	$[MPa]$
$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$	Smykové napětí	$[MPa]$
$\varphi_p$	Hlavní napětí	$[-]$

## Seznam grafů

Graf 1 Výsledky zkoušky sednutí kužele dle ČSN EN 12 350-2.....	38
Graf 2 Průměrné hodnoty zkoušky pevnosti betonu v tlaku.....	40
Graf 3 Hodnocení jednotlivých aspektů.....	41
Graf 4 Kompletní hodnocení lubrikantů.....	41

## Seznam obrázků

Obrázek 1 Beton s rozptýlenou ocelovou výztuží.....	9
Obrázek 2 Podlaha z betonu s rozptýlenou ocelovou výztuží.....	9
Obrázek 3 Romulus a Remus.....	10
Obrázek 4 Schéma pružné a trvalé deformace.....	11
Obrázek 5 Deformace skluzem.....	11
Obrázek 6 Deformace dvojčatěním.....	12
Obrázek 7 Zkouška tahem.....	13
Obrázek 8 Rovina maximálního smykového napětí.....	14
Obrázek 9 Princip tažení drátu.....	15
Obrázek 10 Tažá stolice.....	15
Obrázek 11 Tažná stolice a) bezskluzová, b) skluzová.....	16
Obrázek 12 Schéma tažnice a uspořádání průvlatku.....	17
Obrázek 13 Schéma tažného kužele.....	17
Obrázek 14 Stacionární pole v procesu tažení drátu.....	18
Obrázek 15 Betonové tibingy.....	26
Obrázek 16 Označení vláken dle Krampe Harex CZ.....	27
Obrázek 17 Laboratorní přístroj pro měření vzduchu v betonu.....	36
Obrázek 18 Měření sednutí kužele.....	37
Obrázek 19 Sednutí kužele a) správné sednutí, b) nesprávné sednutí.....	37
Obrázek 20 Průběh zkoušky pevnosti v tlaku.....	39

## Seznam tabulek

Tabulka 1 Využití tažených drátů a tyčí.....	19
Tabulka 2 Tažná rychlost $v$ pro jednoduché tažení.....	20
Tabulka 3 Tažná rychlost $v$ pro tandemové tažení.....	21
Tabulka 4 Chemické složení.....	29
Tabulka 5 Mechanické vlastnosti.....	29
Tabulka 6 Parametry taženého drátu.....	30
Tabulka 7 Výsledek testování pro Traxit SL 4040.....	33
Tabulka 8 Výsledek testování pro Vicafil TF 1269.....	33
Tabulka 9 Výsledek testování pro Vicafil SPM 3 W-TN3851.....	34
Tabulka 10 Nejpriznivější kombinace maximální rychlosti a jakosti drátu na výstupu...	35
Tabulka 11 Receptura referenčního materiálu Ref C30/37 na $m^3$ .....	36
Tabulka 12 Výsledky zkoušky obsah vzduchu v betonu.....	37
Tabulka 13 Klasifikace sednutí kužele.....	38
Tabulka 14 Zkouška pevnosti betonu v tlaku tří vzorků.....	40

## **Seznam příloh**





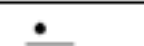









Příloha 1 Přehled nabízeného sortimentu společnosti Krampe Harex CZ

Příloha 2 Nabízená ocelová vlákna ostatních společností

Příloha 3 Účetní závěrka

Příloha 4 Úběr taženého drátu výpočty

Příloha 1 Přehled nabízeného sortimentu společnosti Krampe Harex CZ

Typ vlákna		Formy vláken	
D	Ocelová vlákna KrampeHarex®	E	zahnuté konce 
		W	vlnité 
		G	rovné 
		R	zalomené 
		M	mikrovlákna 
K	Ocelová vlákna KrampeHarex®	E	zahnuté konce 
		W	vlnité 
		G	rovné 
		P	ražené 
S	Segmentová ocelová vlákna KrampeHarex®	W	vlnité 
M	„Melt-extrakt“ vlákna KrampeHarex®	M	mikrovlákna 
P	PP vlákna KrampeFibrin®	M	multifilamentní 
		F	fibrilované 
G	Skleněná vlákna KrampeFibrin®	G	rovné 

## Příloha 2 Nabízená ocelová vlákna ostatních společností

### **BakaertBohumín s.r.o.**

- Materiál: C4D, C7D
- Typ nabízených vláken:
  - zahnuté konce,
  - dvojitě zahnuté konce,
  - zvlněné,
  - a rovné.
- Jmenovitý průměr: 0,13-1,05 mm
- Délka vlákna: 13-60 mm

### **Kern s.r.o.**

- Materiál: C7D
- Typ nabízených vláken:
  - Rovné,
  - zvlněné,
  - zahnuté konce,
  - lisované,
  - a rýhované.
- Jmenovitý průměr: 0,4-1,2 mm
- Délka vlákna: 25-60 mm

### **TRITREG Třinec s.r.o.**

- Materiál: C4D
- Typ nabízených vláken:
  - zahnuté konce
- Jmenovitý průměr: 1,05 mm
- Délka vlákna: 50 mm

### **Arcelor Mittal Ostrava a.s.**









Materiál: C7D, C9D

Typ nabízených vláken:



- zahnuté konce,
- zvlněné,
- přímé vlákno s konickými hlavičkami a
- vlákno s ohybem a plochým koncem
- Jmenovitý průměr: 0,9-1,3 mm
- Délka vlákna: 35-60 mm

Příloha 3 Účetní závěrka

Účetní rozvaha za rok 2017 (v tis. Kč)

	KrampeHarex CZ	BekaertBohumín s.r.o	KERN s.r.o.	TRITREG - Třinec, s.r.o.	Arcelor Mittal Ostrava a.s.	KH BB K TT AMO
<b>Aktiva</b>						
Aktiva celkem	106 470	1 009 597	361 422	194 041	24 990 555	
Dlouhodobý majetek	46 221	213 450	118 320	64 073	12 111 712	
Oběžná aktiva	60 018	795 943	242 917	129 879	12 859 465	
Časové rozlišení aktiv	231	204	185	89	16 877	
<b>Pasiva</b>						
Pasiva celkem	106 470	1 009 597	361 422	194 041	24 990 555	
Vlastní kapitál	66 639	527 353	93 843	128 228	15 626 509	
Cizí zdroje	39 377	472 530	267 579	64 683	9 364 020	
Časové rozlišení pasiv	454	9714	0	1130	26	

Zisk a obrat společností za rok 2017 - (v tis. Kč)

	KrampeHarex CZ	BekaertBohumín s.r.o	KERN s.r.o.	TRITREG - Třinec, s.r.o.	Arcelor Mittal Ostrava a.s.	KH BB K TT AMO
Obrat	177 792	2 279 165	609 203	446 218	41 175 004	
Zisk	10 999	138 751	21 037	155 590	3 177 401	

Příloha 4 Úběr taženého drátu výpočty

$$U_n \frac{D_p^2 - D_k^2}{D_p^2} \times 100 [\%]$$

1. tah

$$U_1 = \frac{5,5^2 - 4,74^2}{5,5^2} \times 100 = 25,7 \%$$

2. tah

$$U_2 = \frac{4,74^2 - 4,1^2}{4,74^2} \times 100 = 25,2 \%$$

3. tah

$$U_3 = \frac{4,1^2 - 3,56^2}{4,1^2} \times 100 = 24,6 \%$$

4. tah

$$U_4 = \frac{3,56^2 - 3,1^2}{3,56^2} \times 100 = 24,2 \%$$

5. tah

$$U_5 = \frac{3,1^2 - 2,72^2}{3,1^2} \times 100 = 23,0 \%$$

6. tah

$$U_6 = \frac{2,72^2 - 2,4^2}{2,72^2} \times 100 = 22,1 \%$$

7. tah

$$U_7 = \frac{2,4^2 - 2,13^2}{2,4^2} \times 100 = 21,2 \%$$

8. tah

$$U_8 = \frac{2,13^2 - 1,9^2}{2,13^2} \times 100 = 20,4 \%$$

9. tah

$$U_9 = \frac{1,9^2 - 1,7^2}{1,9^2} \times 100 = 19,9 \%$$

10. tah

$$U_{10} = \frac{1,7^2 - 1,53^2}{1,7^2} \times 100 = 19,0 \%$$

11. tah

$$U_{11} = \frac{1,53^2 - 1,38^2}{1,53^2} \times 100 = 18,6 \%$$

12. tah

$$U_{12} = \frac{1,38^2 - 1,25^2}{1,38^2} \times 100 = 18,0 \%$$

13. tah

$$U_{13} = \frac{1,25^2 - 1,14^2}{1,25^2} \times 100 = 16,8 \%$$

14. tah

$$U_{14} = \frac{1,14^2 - 1,04^2}{1,14^2} \times 100 = 16,8 \%$$

### Hlavní namáhání

$$\varphi_p = \ln \frac{A_0}{A_1} [-]$$

$$d_1 = \frac{d_0}{e^{\varphi_p/2}} [mm]$$

1. tah

$$\varphi_{p1} = \ln \frac{\left(\frac{5,5}{2}\right)^2 \pi}{\left(\frac{4,74}{2}\right)^2 \pi} = \ln \frac{7,5625 \pi}{5,6169 \pi} = 0,297$$

$$d_1 = \frac{d_0}{e^{\varphi_p/2}} = \frac{5,5}{e^{0,297/2}} = 4,74 \text{ mm}$$

2. tah

$$\varphi_{p2} = \ln \frac{\left(\frac{4,74}{2}\right)^2 \pi}{\left(\frac{4,1}{2}\right)^2 \pi} = \ln \frac{5,616 \pi}{4,2025 \pi} = 0,290$$

$$d_2 = \frac{d_0}{e^{\varphi_p/2}} = \frac{4,74}{e^{0,290/2}} = 4,1 \text{ mm}$$

3. tah

$$\varphi_{p3} = \ln \frac{\left(\frac{4,1}{2}\right)^2 \pi}{\left(\frac{3,56}{2}\right)^2 \pi} = \ln \frac{4,2025 \pi}{3,1684 \pi} = 0,282$$

$$d_3 = \frac{d_0}{e^{\varphi_p/2}} = \frac{4,1}{e^{0,282/2}} = 3,56 \text{ mm}$$



4. tah

$$\varphi_{p4} = \ln \frac{\left(\frac{3,56}{2}\right)^2 \pi}{\left(\frac{3,1}{2}\right)^2 \pi} = \ln \frac{3,1684 \pi}{2,4025 \pi} = 0,277$$

$$d_4 = \frac{d_0}{e^{\varphi_{p4}/2}} = \frac{3,56}{e^{0,277/2}} = 3,10 \text{ mm}$$

5. tah

$$\varphi_{p5} = \ln \frac{\left(\frac{3,1}{2}\right)^2 \pi}{\left(\frac{2,72}{2}\right)^2 \pi} = \ln \frac{2,4025 \pi}{1,8496 \pi} = 0,262$$

$$d_5 = \frac{d_0}{e^{\varphi_{p5}/2}} = \frac{3,1}{e^{0,262/2}} = 2,72 \text{ mm}$$

6. tah

$$\varphi_{p6} = \ln \frac{\left(\frac{2,72}{2}\right)^2 \pi}{\left(\frac{2,4}{2}\right)^2 \pi} = \ln \frac{1,8496 \pi}{1,44 \pi} = 0,250$$

$$d_6 = \frac{d_0}{e^{\varphi_{p6}/2}} = \frac{2,72}{e^{0,250/2}} = 2,4 \text{ mm}$$

7. tah

$$\varphi_{p7} = \ln \frac{\left(\frac{2,4}{2}\right)^2 \pi}{\left(\frac{2,13}{2}\right)^2 \pi} = \ln \frac{1,44 \pi}{1,1342 \pi} = 0,239$$

$$d_7 = \frac{d_0}{e^{\varphi_{p7}/2}} = \frac{2,4}{e^{0,239/2}} = 2,13 \text{ mm}$$

8. tah

$$\varphi_{p8} = \ln \frac{\left(\frac{2,13}{2}\right)^2 \pi}{\left(\frac{1,9}{2}\right)^2 \pi} = \ln \frac{1,1342 \pi}{0,9025 \pi} = 0,229$$

$$d_8 = \frac{d_0}{e^{\varphi_{p8}/2}} = \frac{2,13}{e^{0,229/2}} = 1,9 \text{ mm}$$

9. tah

$$\varphi_{p9} = \ln \frac{\left(\frac{1,9}{2}\right)^2 \pi}{\left(\frac{1,7}{2}\right)^2 \pi} = \ln \frac{0,9025 \pi}{0,7225 \pi} = 0,222$$

$$d_9 = \frac{d_0}{e^{\varphi_{p9}/2}} = \frac{1,9}{e^{0,222/2}} = 1,7 \text{ mm}$$

10. tah

$$\varphi_{p10} = \ln \frac{\left(\frac{1,7}{2}\right)^2 \pi}{\left(\frac{1,53}{2}\right)^2 \pi} = \ln \frac{0,7225 \pi}{0,5852 \pi} = 0,211$$

$$d_{10} = \frac{d_0}{e^{\varphi_{p/2}}} = \frac{1,7}{e^{0,211/2}} = 1,53 \text{ mm}$$

11. tah

$$\varphi_{p11} = \ln \frac{\left(\frac{1,53}{2}\right)^2 \pi}{\left(\frac{1,38}{2}\right)^2 \pi} = \ln \frac{0,5852 \pi}{0,4761 \pi} = 0,206$$

$$d_{11} = \frac{d_0}{e^{\varphi_{p/2}}} = \frac{1,53}{e^{0,206/2}} = 1,38 \text{ mm}$$

12. tah

$$\varphi_{p12} = \ln \frac{\left(\frac{1,38}{2}\right)^2 \pi}{\left(\frac{1,25}{2}\right)^2 \pi} = \ln \frac{0,4761 \pi}{0,3906 \pi} = 0,198$$

$$d_{12} = \frac{d_0}{e^{\varphi_{p/2}}} = \frac{1,38}{e^{0,198/2}} = 1,25 \text{ mm}$$

13. tah

$$\varphi_{p13} = \ln \frac{\left(\frac{1,25}{2}\right)^2 \pi}{\left(\frac{1,14}{2}\right)^2 \pi} = \ln \frac{0,3906 \pi}{0,3249 \pi} = 0,184$$

$$d_{13} = \frac{d_0}{e^{\varphi_{p/2}}} = \frac{1,25}{e^{0,184/2}} = 1,14 \text{ mm}$$

14. tah

$$\varphi_{p14} = \ln \frac{\left(\frac{1,14}{2}\right)^2 \pi}{\left(\frac{1,04}{2}\right)^2 \pi} = \ln \frac{0,3249 \pi}{0,2704 \pi} = 0,184$$

$$d_{14} = \frac{d_0}{e^{\varphi_{p/2}}} = \frac{1,14}{e^{0,184/2}} = 1,04 \text{ mm}$$

Příloha 5 Výrobní proces

