

Metodika a stanovení efektivní doby mísení bentonitové formovací směsi pro kolový mísič

Methodology and Determination of Effective Mulling Time of the Green Sand for Wheel Mulling Machine

Ing. Martina Gawronová

VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta materiálůvě-technologická, Katedra metalurgie a slévárenství, 17. listopadu 2172/15, 708 00 Ostrava-Poruba, Česká republika

Se vzrůstajícím trendem ekologizace slévárenství opět nabývá na významu využití formovacích směsí pojených bentonitem. Výroba jakostních odlitků je ovšem založena mimo jiné také na kvalitní formovací směsi. Často opomíjený způsob dosažení jakosti směsi je kombinace kvalitního vymísení při dosažení efektivní doby mísení. Hlavním cílem této práce je představit rešerši zdrojů detailně se zabývajících vlivem mísení na vlastnosti směsi písek-voda-bentonit, stanovení metodiky mísení a nastavení výchozích podmínek pro budoucí experiment. Doba mísení je založena na měření efektu prodlouženého mísení na změny ve vlastnostech bentonitové formovací směsi vlivem postupné ztráty vlhkosti. Sledovanými vlastnostmi jsou především spěchovatelnost, vaznost směsi (tj. pevnost v tlaku) a obsah vody na počátku a konci mísení. Následuje určení numerické hodnoty indexu mísení, který je stanovován v různých podmínkách mísení a vyhodnocení jeho využitelnosti. Výsledek stanovení efektivní doby mísení vzhledem k požadovaným vlastnostem směsi může být použit jako výchozí hodnota pro definování vstupních podmínek budoucího mísení nebo pro vhodné nastavení dalšího typu mísiče.

Klíčová slova: bentonitová formovací směs; bentonit; index mísení; doba mísení; spěchovatelnost; pevnost v tlaku

With the growing ecological trend in the foundry, the use of bentonite-bonded moulding mixtures is gaining in importance. However, the production of quality castings is based, among other things, on high-quality moulding mixtures. The often neglected factor in achieving the quality of the mixture is the combination of mulling quality while achieving an effective mulling time. The main aim of this work is to present a search of sources dealing in detail with the effect of mulling on the properties of sand-water-bentonite compounds, determining the mulling methodology and setting the initial conditions for future experiments. The mulling time is based on measuring the effect of prolonged mulling on changes in the properties of the green sand mixture due to the gradual loss of moisture. The monitored properties are mainly compactibility, binding capacity of the mixture (i.e. compressive strength) and water content at the beginning and end of mulling. The following is the determination of the numerical value of the mulling index, which is determined under various mulling conditions, and the evaluation of its usability. The result of determining the effective mulling time concerning the required properties of the mixture can be used as a starting value for defining the input conditions of future mixing or for a suitable setting of another type of sand mulling machine.

Key words: green sand mixture; bentonite; mulling index; mulling time; compactibility; compressive strength

Pro výrobu kvalitních odlitků na formovacích linkách využívajících bentonitovou formovací směs je nutnou podmínkou její vysoká kvalita. Kvalita této směsi závisí nejen na kvalitě použitých vstupních surovin, ale také významně odráží kvalitu přípravy a zpracování směsi [1]. Obecně je pro jakékoli směsi přijato, že k procesu mísení dochází v důsledku stlačujících sil s následným smykem. K tomuto účelu jsou celosvětově využívána kola v různých provedeních, která jsou v oblasti slévárenství známa jako mísiče [2]. Doba jednoho cyklu mísení formovací směsi se nejčastěji pohybuje v rozmezí 1 až 3 minut. Krátký čas mísení nezaručuje kvalitní vytvoření bentonitového těsta a rovnoměrného pokrytí zrn ostřiva, ale po několikanásobném přemísení tyto směsi vykazují již dostatečné pevnostní vlastnosti. Pro tento vícečetný

pohyb směsi skrz systém a přemísení může být ekvivalentem kumulativní mísení po dobu 15 až 20 minut. [3].

V současnosti jsou uvažovány systémy řízené predikce vlastností směsi umělou inteligencí či programovou sítí, které by byly schopné předpovídat kvalitu mísené směsi a následně v reálném čase tuto kvalitu směsi také řídit či jinak upravovat. Přesto uvažované naprogramování těchto systémů stále vychází z pozorování a měření skutečné změny vlastností směsi v celém procesu mísení, kde vliv vlhkosti a doby mísení jsou jedněmi z nejvýraznějších vlivů a nemůžou být prozatím jinak nahrazeny [4]. Z tohoto důvodu je proces kumulativního mísení a stanovení indexu mísení stále aktuálním tématem, a to i přesto, že byl v minulosti nesčetněkrát sledován a popsán.

Dále jsou také z důvodu kontroly správného stupně navlhčení stále prováděny jednoduché série zkoušek, které umožňují vlhkost, a z toho plynoucí vlastnosti směsi, velmi rychle a přesně stanovit. Mimo samotné naměřené hodnoty jsou také používány vzájemné vztahy a korelace mezi nimi [5]. Skutečné pojivové schopnosti směsi můžeme definovat pomocí zkoušky pevnosti ve štěpu zasyrova. Zkouška spěchovatelnosti je velmi citlivým ukazatelem vzájemného poměru bentonit-voda ve směsi a je nejčastěji doporučovaným postupem hodnocení účinnosti mísení [2, 5]. S prodlužující se dobou mísení spěchovatelnost stoupá úměrně s poklesem sypané objemové hmotnosti, jelikož kromě rovnoměrné distribuce vody závisí i na vývoji pojivové schopnosti jílu a kvalitě obalení zrn písku jílovým těstem [1].

1. Stanovení a výpočet indexu mísení

Účinnost mísiče nebo správné nastavení parametrů mísení, jako je doba mísení a volba otáček, nás zajímá buďto z důvodu instalace nových mísičů, nebo pro nastavení výchozích podmínek mísení pro další laboratorní práce. Pro tento případ bylo zvoleno hodnocení účinnosti pomocí „indexu mísení“ podle E. C. Troye. Tento postup spočívá v tom, že pro každý obsah bentonitu ve směsi existuje konstanta vaznosti, která je vztažena na skutečnou vlhkost směsi. Výpočet této konstanty je následující:

$$A = \sigma_{pt} W \sqrt{W} \quad (1)$$

Zde je σ_{pt} vaznost v tlaku [kPa] a W je vlhkost směsi [%].

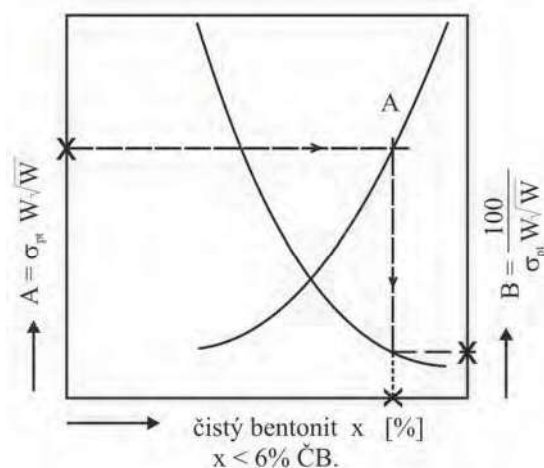
Na zvoleném druhu mísiče se provede kumulativní mísení s bentonitovou směsí předem definovaného složení a vypočte se hodnota A , která po ukončení kumulativního mísení musí být konstantou. Poté se vypočte hodnota B , která vyjadřuje převrácenou hodnotu 1% účinnosti kumulativního mísení:

$$B = \frac{100}{\sigma_{pt} W \sqrt{W}} \quad (2)$$

Poté se nově namísené vzorky směsi v různém časovém intervalu od začátku mísení odebírají a zkoušejí. Stanovuje se vlhkost, pevnost v tlaku, spěchovatelnost a sypaná objemová hmotnost. Jejich vypočtené hodnoty A' se vynásobí faktorem B . Tímto se získá index mísení v %, který vyjadřuje poměr dosažené vaznosti mísením v % k maximální možné dosažené vaznosti pro daný mísič:

$$\text{index mísení} = A' \cdot B \quad (3)$$

Výše uvedený postup je však možné aplikovat pouze u směsí, které dosahují spěchovatelnosti v rozmezí 20 až 60 %. Z obr. 1 je patrná značná závislost hodnoty A na obsahu čistého bentonitu [1, 2, 6].



Obr. 1 Závislost hodnot A a B na obsahu čistého bentonitu ve směsi [1]
Fig. 1 Dependence of A and B values on the content of pure bentonite in the mixture [1]

2. Použité materiály a zařízení

Pro podmínky stanovení optimální doby mísení byly zvoleny následující materiály:

Ostřivo: Slévárenský písek křemenný Biala Góra BG 27 o $d_{50} = 0,27$ mm.

Vlastnosti písku dle informací od prodejce Sand Team, s.r.o. uvádí tab. 1 [7].

Tab. 1 Charakteristika slévárenského písku Biala Góra [7]
Tab. 1 Characteristics of the Biala Góra foundry sand [7]

Střední zrna d_{50} (mm)	0,27 ± 0,02
Teplota spékání	1600 °C
Stř. obsah SiO ₂	99,6 %
Stř. obsah Fe ₂ O ₃	0,040 %
Stř. obsah TiO ₂	0,06 %
Obsah Al ₂ O ₃	max. 0,20 %
Vyplavitelné podíly	max. 0,20 %

Pojivo: Bentonit Sabenil 65 aktivovaný sodou; výrobce Keramost a.s. Vlastnosti bentonitu dle informací a bezpečnostního listu výrobce uvádí tab. 2. Průměrné chemické složení zpracovávané suroviny jsou uvedeny v tab. 3 a parametry slévárenského bentonitu uvádí tab. 4 [8].

Tab. 2 Vlastnosti bentonitu Sabenil 65 [8]
Tab. 2 Characteristics of the Sabenil bentonite 65 [8]

Montmorillonit	65 – 80 %
Uhličitan sodný, Na ₂ CO ₃	max. 7 %
Hodnota pH	9,5 – 11
Relativní hustota	2,6 g·cm ⁻³

Tab. 3 Průměrné chemické složení zpracovávané suroviny [8]
Tab. 3 Average chemical composition of the processed raw material [8]

Chemické složení	Obsah [%]
Obsah montmorillonitu	65,0 – 80,0
SiO ₂	50,0 – 57,0
Al ₂ O ₃	15,7 – 17,3
Fe ₂ O ₃	8,8 – 17,3
FeO	0,1 – 1,0
MnO	0,1 – 0,3
MgO	2,5 – 3,5
CaO	1,7 – 3,1
Na ₂ O	0,1 – 3,1
K ₂ O	0,3 – 1,2
Li ₂ O	0,1
P ₂ O ₅	0,1
H ₂ O ⁺	5,3 – 6,3

Tab. 4 Parametry slévárenského bentonitu [8]
Tab. 4 Parameters of foundry bentonite [8]

Název	Sabenil 65
Vlhkost [%]	7 – 14
Zbytek na síť 0,315 za sucha	max. 1
Zbytek na síť 0,063 za sucha	max. 30
Vaznost [kPa]	min. 80
Pevnost v tahu v KZ [kPa]	min. 1,9

Pro mísení formovací směsi a měření bude využito vybavení laboratoře formovacích materiálů na VŠB-Technické univerzitě Ostrava. Vybavení bylo dodáno firmou Multiserw-Morek.

Kumulativní mísení a stanovení indexu mísení bude provedeno na laboratorním kolovém mísiči LM-2e. Je určen pro přípravu jak formovacích směsí, tak i pro mísení a mletí keramických materiálů o tvrdosti dle Mohsovy stupnice menší než 5. Mísič je automatizovaný, s možností nastavení přesného programu mísení. Určuje jak otáčky, tak i přesný čas mísení. Parametry kolového mísiče LM-2e jsou uvedeny v tab. 5 [9].

Tab. 5 Parametry kolového mísiče LM-2e [9]
Tab. 5 Parameters of the wheel sand mulling machine LM-2e [9]

Minimální hmotnost navážky [kg]	6
Otáčky [ot.min ⁻¹]	30 – 160
Přítlak [N]	115 – 330
Průměr mísy [mm]	500
Výška mísy [mm]	240
Průměr kola [mm]	260
Výška kola [mm]	70

Stanovení optimální doby mísení, vhodná rychlost otáček míchadla a rychlost otáčení nádoby mísiče budou řešeny pro laboratorní vířivý mísič LM-3e. Mísič je určen pro mísení různorodých materiálů v suchém i vlhkém stavu. Také tento mísič je automatizován a vybaven možností nastavení přesného programu mísení. Parametry vířivého mísiče LM-3e jsou uvedeny v tab. 6 [9].

Tab. 6 Parametry vířivého mísiče LM-3e [9]
Tab. 6 Parameters of the swirl sand mulling machine LM-2e [9]

Objem mísy [l]	18,4
Otáčky mísy [min ⁻¹]	10 – 72
Otáčky míchadla [min ⁻¹]	100 – 2760
Průměr mísy [mm]	305
Výška mísy [mm]	252

Dále bude pro experiment využito univerzální pevnostní přístroj LRU-2e pro měření pevnostních vlastností bentonitové směsi a poloautomatický laboratorní pýchovací přístroj LUA-2e/Z pro přípravu zkušebních vzorků a stanovení spěchovatelnosti.

4. Metodika kumulativního mísení

Pokud bych se vycházelo ze stanovení indexu mísení dle E. C. Troye, je nutné nejprve provést kumulativní mísení směsi o předem definované vlhkosti. V literatuře se běžně uvádí postup výpočtu přídavku vody zohledňující i množství vody, které přinese přidávané množství bentonitu. V našem případě nebude obsah vody v bentonitu brán v potaz, jelikož se vzhledem k celkovému množství namísené směsi jedná o zanedbatelné množství, které není pro naše účely relevantní. Dosažení požadovaného výchozího navlhčení před zahájením kumulativního mísení bude kontrolováno měřením skutečné vlhkosti směsi po 1 minutě mísení, kdy v případě nízké vlhkosti bude směs dovlhčena. Takto se také dá přiblížit i skutečným provozním podmínkám sléváren, kdy kontrola výchozí vlhkosti směsi nezahrnuje vlhkost bentonitu.

Dále bude oproti literatuře použita ne voda destilovaná [2], nýbrž voda z běžného vodovodního řádu, a to vzhledem k používání této vody v běžné slévárenské praxi. Případný vliv obsažených minerálů zde nebude hodnocen.

Parametry směsi, které bude pro kumulativní mísení použito, je uvedeno v tab. 7.

Tab. 7 Parametry použité formovací směsi
Tab. 7 Parameters of used moulding mixture

	Hm. díly [%]	Hmotnost [g]
Ostřivo	100	8000
Pojivo	8	640
Vlhkost 1	2,5	200
Vlhkost 2	3,5	280

Hodnocena bude směs s optimální vlhkostí pro směsi na lisování (vlhkost 2,5 %) a pro směsi pro formování na syrovo (vlhkost 3,5 %). V případě výrazného výkyvu ve výsledcích neodpovídajících předpokládanému vývoji při zvýšení vlhkosti bude provedeno ještě měření pro vlhkost 3,0 %. S touto variantou se ale nyní nepočítá.

Dle literatury u natrifikovaných bentonitů hraje významnou roli při stanovení efektivní doby mísení i pořadí přidávaných surovin. Z dostupných informací vyplývá, že na rozdíl od Ca^{2+} bentonitu má Na^+ bentonit rozdílné vlastnosti při stejné době mísení a stejné vlhkosti v závislosti na tom, jestli se po nasazení písku prvně písek dovlhčoval a až poté přidával stanovený obsah bentonitu, či naopak [2]. Pro naše účely stanovení efektivní doby mísení budou vyhodnoceny obě tyto varianty v rámci kumulativního mísení na kolovém mísiči. Na základě výsledků pevnosti a spěchovatelnosti se bude dále pracovat s více vyhovujícím pořadím.

Postup kumulativního mísení, odběru vzorků a měření bude následující:

- Přesné navážení stanoveného množství surovin.
- Přidání 8000 g suchého křemenného písku do kolového mísiče.
- Navlhčení písku přídatkem stanoveného množství vody, či přídatkem bentonitu dle zvoleného postupu přidávání surovin a promísání po dobu 1 minuty s uzavřeným víkem.
- Přidání poslední složky směsi, bentonitu, či vody dle stanoveného postupu a mísení s uzavřeným víkem po dobu 1 minuty.
- Kontrola vlhkosti. Pokud vlhkost neodpovídá stanovené výchozí hodnotě pro zahájení kumulativního mísení, je nutno směs dovlhčit na požadovanou hodnotu. Následuje mísení po dobu 4 minut.
- Po 4 minutách otevření víka mísiče z důvodu přirozeného odparu vlhkosti a další mísení do stavu, kdy se směs bude vizuálně jevit jako suchá, po dobu zhruba dalších 10 minut.
- Po vymísení následuje odebrání části směsi pro okamžitě stanovení vlhkosti a spěchovatelnosti. Zbytek směsi bude uchováván v uzavřené nádobě, aby se zabránilo další ztrátě vlhkosti.
- Stanovení sypné objemové hmotnosti, pro kterou byla připravena nádoba o přesně definovaném objemu. Sypná objemová hmotnost zde představuje dokreslení hodnoty spěchovatelnosti. S prodlužující se dobou mísení spěchovatelnost stoupá úměrně s poklesem sypné objemové hmotnosti, jelikož kromě rovnoměrné distribuce vody závisí i na vývoji pojivové schopnosti jílu a kvalitě obalení zrn písku jílovým těstem.
- Příprava zkušebních normo válečků $\varnothing 50 \times 50$ mm pro stanovení pevnosti v tlaku, ve stříhu a ve štěpu pomocí měřicího přístroje LRu-2e. Pro stanovení hodnoty A pro kumulativní mísení by bylo dostačující

pouze měření pevnosti v tlaku. Z důvodu vyhodnocení efektivnosti pořadí v přidávání surovin se přistoupí i k měření pevnosti ve stříhu a ve štěpu, abychom se lépe vyhodnotila houževnatost směsi a vliv pořadí a doby přídatku vody.

- Veškerá použitá bentonitová směs ze zkušebních vzorků se vrátí pokud možno beze zbytku, zpět do mísiče.
- Na základě skutečně naměřené vlhkosti se dopočte nutný přídatok vody pro dosažení stanovené vlhkosti 2,5 % a potřebné množství vody se přidá ke směsi v mísiči.
- Celý proces mísení a měření se opakuje, dokud se vypočtená hodnota A neustálí na určité hodnotě a dále se nemění. Stane se tak pro další měření konstantou.
- Jakmile je A konstantní, opět se dovlhčí směs na požadovanou vlhkost 2,5 %. Znovu směs se promísí a plynule, bez vypínání mísiče, se odeberou vzorky do uzavíratelných nádob po 1 a 3 minutách mísení.
- Pro obě doby odběru vzorků směsi (1 a 3 minuty) se stanoví v co nejkratším čase přesná hodnota vlhkosti, spěchovatelnost a sypná objemová hmotnost a provedou se pevnostní zkoušky. Zkouška spěchovatelnosti a pevnostní zkoušky se provádějí vždy nejméně pro 3 vzorky, ideálně však pro 5 vzorků s možností vyloučení krajních hodnot.

Po ukončení kumulativního mísení je tedy známa konstanta A . Lze přistoupit k výpočtu převrácené hodnoty B . Za tím účelem se připraví nová směs, ze které se v průběhu mísení odeberou jednotlivé vzorky v předem stanovených, zhruba minutových intervalech. U každého odebraného vzorku bude proveden celý výčet výše zmíněných zkoušek včetně stanovení vlhkosti. Vypočtou se jednotlivé hodnoty A' a stanoví se index mísení pro daný mísič.

Závěr

I přes neustále se vyvíjející moderní technologie a zařízení nebyla metoda kumulativního mísení, a tím také stanovení efektivní doby mísení, dostatečně přesně nahrazena. Jako výsledek procesu kumulativního mísení a stanovení indexu mísení pro kolový mísič LM-2e se očekává informace, ve které fázi procesu mísení získává směs maximální vaznost a v jakém pořadí přidávaných surovin se toho dosáhne. Výsledek se bude dále aplikovat pro stanovení optimálních parametrů mísení pro vířivý mísič LM-3e. Výrobce doporučovaná doba mísení směsi je stanovena na cca 90 s, ovšem další parametry, jako efektivní otáčky mísy a míchadla, jsou pro každou směs obvykle jiné a musí být předmětem dalšího zkoumání. Důvodem je nutnost dodržet konstantní efektivní dobu a parametry mísení bentonitové směsi na vířivém mísiči pro další přípravu vzorků směsí z různých typů bentonitu a křemenných písků. Budou následovat další práce

na vyhodnocování výše popsaných experimentů, a to se zaměřením na vliv granulometrie ostřiva na kvalitu směsí pojených bentonitem.

Poděkování

Príspevek vznikl za finanční podpory projektů „Studentské grantové soutěže“ čísel SP2021/39 a SP2021/41.

Literatura

- [1] JELÍNEK, P., MIKŠOVSKÝ, F. Príspevek k hodnocení účinnosti mísičů jednotné bentonitové směsi. *Slévárství*, 33 (1985) 7, 268–274.
- [2] TROY, E. C. et al. A Mulling Index Applied to Sand-water-bentonite. *AFS Transactions*, 79 (1971) 213–224.
- [3] DIETERT, H. W., GRAHAM, A. L., SCHUMACHER, J. S. How Mulling Time Affects Sand Properties. *Foundry*, (1971) July, 42–47
- [4] KUMARI, A., MURARI, A. K., PRASAD, U. Prediction of Green Sand Moulding Properties Using Artificial Neural Network. In: *Advances in Science & Technology*, editor: Empyreal publishing house, The first Impression, 2020, pp 39-52. ISBN 978-81-946375-0-9
- [5] JELÍNEK, P. *Pojivové soustavy slévárenských formovacích směsí – chemie slévárenských pojiv*, 1. vyd. Ostrava: vlastní náklad, 2004. 241 s., ISBN 80-239-2188-6
- [6] KYNCL, M. Zhodnocení účinnosti mísičů. (Diplomová práce). Ostrava: VŠB-TU Ostrava, Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství, 2008.
- [7] Technický list – Křemenný písek Biala Góra. *Sand Team, s.r.o.* [online] [cit. 2021-05-28]. Dostupné z: https://www.sandteam.cz/wp-content/uploads/2019/04/Biala_Gora_v5.pdf
- [8] Bentonity pro slévárství. *Keramost, a.s.* [online] [cit. 2021-05-28]. Dostupné z: <https://www.keramost.cz/cz/produkty/bentonity/bentonity-pro-slevarenstvi>
- [9] Katalog urzadzenia do badania mas formierskich i rdzeniowych. *Multiserw-Morek*. Propagační materiál. Brzeźnica, Polska.

Střelné zbraně po celém světě využívají pružiny z Bohumína

www.trz.cz, tisková zpráva z 10.05.2021

Armáda a policie České republiky používají různé typy zbraní, pro něž zásobníkové pružiny mimo jiné vyrábí a dodává ŽDB Drátovna z Bohumína.

Produkty z bohumínského provozu Pérovna jsou například součástí útočných pušek, pistolí nebo samopalů, které se vyrábějí v České zbrojovce Uherský Brod.

Pružiny pro renomovanou zbrojovku se dodávají od doby zahájení výroby provozu Pérovna, tedy od roku 1965. Jde o velmi významnou spolupráci, a to nejen s ohledem na prestiž segmentu trhu, ale také s ohledem na fakt, že podíl dodávek v posledních 5 letech vyrostl na přibližně 10 procent tržeb z celkového portfolia výroby provozu Pérovna. Zásobníkové pružiny z Bohumína lze nalézt v téměř stovce zemí světa, do nichž míří zbraně z Uherského Brodu.

Pružiny dodávané České zbrojovce jsou velmi náročné na výrobu. Musí být broušené, stabilizované a některé z nich také stoprocentně kontrolované. Jedná se o pružiny tlačné, zkrutné, tvarové a zásobníkové od průměru drátu 0,3 až po 4 milimetry. Odběratel dbá na spolehlivost v dodávkách a kvalitu pružin. V minulých letech na vytipovaných pružinách prováděl vojenskou přejímku přímo zástupce České zbrojovky. V Bohumíně pro zbrojovku ročně testují 5 až 10 nových typů pružin.

Provoz Pérovna vyrobí ročně 70 až 80 milionů kusů pružin. Největší objem výroby tvoří tvarové pružiny, následují tlačné a tažné pružiny. Největšími odběrateli jsou firmy z textilního, zbrojního odvětví, a dále tiskárenský, automobilový a nábytkářský průmysl. Provoz Pérovna je držitelem certifikátu IATF 16949, který stanovuje požadavky systému managementu kvality pro dodávky do automobilového průmyslu.

Dceřiná společnost Třineckých železáren ŽDB Drátovna ročně vyrábí téměř 120 tisíc tun za studena taženého drátu a výrobků z drátů. Hlavní výrobní portfolio tvoří především tažený patentovaný drát, tažený nepatentovaný drát, žíhaný drát, ocelová lana, ocelové kordy, pružiny a kovové tkaniny. Zaměstnává okolo tisícovky lidí.