

PRAKTICKÁ  
**SLÉVÁRENSKÁ  
PŘÍRUČKA**



SCHIELE & SCHÖN

## Praktická slévárenská příručka

Vážené dámy a vážení pánové,

po dohodě s německým vydavatelstvím SCHIELE & SCHÖN jsme přeložili do češtiny, z německého originálu, slévárenskou brožuru **TASCHENBUCH DER GIESSEREI PRAXIS**. Přeložená brožura je určena pro pracovníky, kteří se ve své praxi setkávají s odlitky, technologií výroby odlitků, organizací slévárenské výroby, kontroly odlitků atd. Soubor slévárenských informací je vydán pod názvem **PRAKTICKÁ SLÉVÁRENSKÁ PŘÍRUČKA**.

Příručka na 750 stranách formátu A5 se snaží komplexně a přehledně obsáhnout problematiku obecných provozních a bezpečnostních problémů ve slévárnách. Dává přehled o většině odlévaných slévárenských materiálech, informuje o metodách snížení spotřeby energií ve slévárnách, dále o kontrolních metodách používaných pro zjišťování kvality odlitků. V neposlední řadě dává základní přehled o práci s 3D daty ve slévárenství a konstrukci odlitků.

Příručka se každoročně aktualizuje o nejnovější poznatky v oboru slévárenství a vypouští se kapitoly, které k roku vydání již nejsou aktuální.

**Cena jedné příručky činí € 59,90 + balné a náklady na dopravu.**

Příručku je možné objednat na adrese:

METOS v. o. s.

Tovární 290

537 01 CHRUDIM IV

+420 469 669 351

+420 777 122 688

jan.slajs@metos.cz

metos@metos.cz

## Obsah a výtah z příručky.

### 1. Tabulky

Základní jednotky	14
Převod jednotek	17
Převod amerických jednotek	24
Stupně Fahrenheita ve stupních Celsia	29
Zlomky palců	30
Vlastnosti prvků, látek a kovů	31
Koeficienty délkové roztažnosti	34
Měrná tepelná kapacita	35
Hustota technických slitin železa	36
Hustota tekutých kovů	37
Sypná hmotnost a sypný objem různých látek	38

### 2. Energie, životní prostředí, bezpečnost práce

Bezpečnostní značky	40
Provozní bezpečnostní předpisy	44
Pravidla DGUV	48
Označování nebezpečných látek	50
Rekuperace tepla	58
Controlling ve slévárně	60
Energetická účinnost ve slévárnách	69
Filtrace odpadního vzduchu tlakového lití	95
Seznam použité literatury	99

### 3. Výroba modelů a forem

Bezpečnost práce a ochrana životního prostředí	101
Přehled norem	103
Materiály	105
Třídy provedení modelů	107
Odborné názvosloví	108
Třídy provedení modelů	110
Smrštění	115
Úkosy	117
Barevné značení	127
Metody bezdotykového měření	128
Elektrochemické zahlubování	133
Seznam použité literatury	135

### 4. Technologie výroby

Bezpečnost práce a ochrana životního prostředí	138
Simulace procesu odlévání	139
Generativní technologie výroby.	155
Tvarování kovu odléváním	164
Technologie výroby forem a odlitků	165
Technologie výroby forem a jader	166
Nálitkování	171
Přesné odlitky	182
Spalitelný model	195
Kokilové odlitky	206
Apretace a povlakování povrchu	216
Seznam použité literatury	223

### 5. Tlakové odlitky

Normy	228
Vlastnosti slitin pro tlakové lití	229
Přesnost tlakově litých odlitků	248

Parametry výrobního procesu	252
Vtokové soustavy	262
Forma a její součásti, průběh teplot, životnosti	266
Uvolňování odlitků z formy	278
Ohřev a chlazení forem	283
Technologie vakuového lití	290
Speciální technologie	298
Seznam použité literatury	302

## 6. Formovací hmoty

Bezpečnost práce a ochrana životního prostředí	306
Základní materiály formovacích směsí	307
Zrnitost ostřiva dle AFS	312
Pojivové systémy	313
Anorganická pojiva	318
Anorganické pojivové systémy pro Fe odlitky	322
Organická pojiva	334
Bentonitová formovací směs	337
Chlazení bentonitové směsi	354
Objem, hmotnost, hustota, sypaná hmotnost	378
Zdroj lesklého uhlíku	381
Zkoušení formovacích směsí	383
Deformační vlastnosti za vysokých teplot	392
Zkoušky formovacích a jádrových směsí za tepla	399
Apretační nátěry	412
Regenerace v provozních podmínkách	413
Regenerování směsných písků	417
Regenerace	418
Seznam použité literatury	420

## 7. Tavení

Bezpečnost práce a ochrana životního prostředí	424
Spotřeba energie	425
Odlévání a měření	432
Vsázka a zpracování	434
Analýza odpadních materiálů	443
Žárovzdorné hmoty	445
Tavení kovů	475
Seznam použité literatury	477

## 8. Materiály\_Normy

Normy	480
Světová produkce	486
Litiny – základy	487
Litina s lupínkovým grafitem	498
Materiálový list	500
Tepelné zpracování	504
Litina s kuličkovým grafitem	508
Litina s vermikulárním grafitem	513
Ausferitické (ADI) litiny	520
Austenitické litiny	524
Otěrovzdorné litiny	529
Speciální litiny	532
Temperované litiny	534
Superslitiny	537
Slévárenské slitiny hliníku	543
Slévárenské slitiny hliníku - vliv legovacích prvků	556

Slévárenské slitiny hliníku - sklon k trhlinám	561
Slévárenské slitiny hliníku - zpracování taveniny	565
Slévárenské slitiny hliníku - metalografické struktury	567
Slévárenské slitiny hliníku - slitiny na písty motorů	570
Slévárenské slitiny hliníku – zpracování HIP	575
Slitiny hořčíku	578
Seznam použité literatury	595

## 9. Zkoušení materiálů a odlitků

### ***Destruktivní zkoušky materiálů***

Zkouška pevnosti v tahu	600
Zkouška tvrdosti	621
Mobilní zkoušky tvrdosti	641
Zkouška tvrdosti – převody	645
Rázová houževnatost – Charpy	646
Zkoušky lomové houževnatosti	651
Cyklické únavové zkoušky	655

### ***Nedestruktivní zkoušky***

Rentgenové / CT zkoušky	661
CT – Metrologie	664
Akustické zkoušky materiálů	670
Zkoušky ultrazvukem	675
Penetrační zkoušky	678
Práškové magnetické zkoušky	680
Digitalizace 3D	682
Seznam použité literatury	686

## 10. Metalografie

Normy	688
Bezpečnost práce a ochrana životního prostředí	690
Úvod	691
Příprava vzorků	692
Kontrast struktury	697
Leptadla pro železné kovy	703
Leptadla pro slitiny hliníku	707
Leptadla pro slitiny mědi	710
Leptadla pro ostatní neželezné kovy	711
Leptadla pro slitiny na bázi titanu	714
Leptadlo na bázi niklu	715
Analýza struktur	717
Mikrostrukturní tomografie	747
Seznam použité literatury	749

Ukázka z kapitoly 1.

Odvozené SI- jednotky se zvláštními názvy a značkami

Název	SI-jednotka		Vztah
	Název jednotky	Značka jednotky	
Přímý úhel	Radián	rad	$1\text{ rad} = 1\frac{\text{m}}{\text{m}} = 1$
Prostorový úhel	Steradián	sr	$1\text{ sr} = 1\frac{\text{m}^2}{\text{m}^2} = 1$
Frekvence periodických dějů	Hertz	Hz	$1\text{ Hz} = \frac{1}{\text{s}}$
Síla	Newton	N	$1\text{ N} = 1\frac{\text{J}}{\text{m}} = 1\frac{\text{m}\cdot\text{kg}}{\text{s}^2}$
Tlak, mechanické napětí	Pascal	Pa	$1\text{ Pa} = 1\frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \frac{\text{kg}}{\text{m}\cdot\text{s}^2}$
Energie, práce, teplo	Joule	J	$1\text{ J} = 1\text{ N}\cdot\text{m} = 1\text{ W}\cdot\text{s} = 1\frac{\text{m}^2\cdot\text{kg}}{\text{s}^2}$
Výkon, tepelný proud	Watt	W	$1\text{ W} = 1\frac{\text{J}}{\text{s}} = 1\text{ V}\cdot\text{A} = \frac{\text{m}^2\cdot\text{kg}}{\text{s}^3}$
Elektrický náboj	Coulomb	C	$1\text{ C} = 1\text{ A}\cdot\text{s}$
Elektrický potenciál, elektrické napětí	Volt	V	$1\text{ V} = \frac{1}{\text{C}} = 1\frac{\text{m}^2\cdot\text{kg}}{\text{s}^2\cdot\text{A}}$
Elektrická kapacita	Farad	F	$1\text{ F} = 1\frac{\text{C}}{\text{V}} = \frac{\text{s}^2\cdot\text{A}^2}{\text{m}^2\cdot\text{kg}}$
Elektrický odpor	Ohm	Ω	$1 = 1\frac{\text{V}}{\text{A}} = 1\frac{\text{m}^2\cdot\text{kg}}{\text{s}^2\cdot\text{A}^2}$
Elektrická vodivost	Siemens	S	$1\text{ S} = \frac{1}{\Omega} = 1\frac{\text{s}^2\cdot\text{A}^2}{\text{m}^2\cdot\text{kg}}$
Magnetický tok	Weber	Wb	$1\text{ Wb} = 1\text{ V}\cdot\text{s} = \frac{\text{m}^2\cdot\text{kg}}{\text{s}^2\cdot\text{A}}$

psi v jednotkách SI

psi	ksi	N/mm²	bar	psi	ksi	N/mm²	bar
lb.p.sq.in	psi·10 <sup>-3</sup>		N/cm²	lb.p.sq.in	psi·10 <sup>-3</sup>		N/cm²
1 000	1	6,89	68,948	36 000	36	248,21	2 482,11
2 000	2	13,79	137,895	37 000	37	255,11	2 551,06
3 000	3	20,68	206,843	38 000	38	262	2 620,01
4 000	4	27,58	275,79	39 000	39	268,9	2 688,96
5 000	5	34,47	344,738	40 000	40	275,79	2 757,90
6 000	6	41,37	413,686	41 000	41	282,69	2 826,85
7 000	7	48,26	482,633	42 000	42	289,58	2 895,80
8 000	8	55,16	551,581	43 000	43	296,47	2 964,75
9 000	9	62,05	620,528	44 000	44	303,37	3 033,69
10 000	10	68,95	689,476	45 000	45	310,26	3 102,64
11 000	11	75,84	758,42	46 000	46	317,16	3 171,59
12 000	12	82,74	827,37	47 000	47	324,05	3 240,54
13 000	13	89,63	896,32	48 000	48	330,95	3 309,46
14 000	14	96,53	965,27	49 000	49	337,84	3 378,43
15 000	15	103,42	1 034,21	50 000	50	344,74	3 447,38
16 000	16	110,32	1 103,16	51 000	51	351,63	3 516,33
17 000	17	117,21	1 172,11	52 000	52	358,53	3 585,28
18 000	18	124,11	1 241,06	53 000	53	365,42	3 654,22
19 000	19	131,00	1 310,00	54 000	54	372,32	3 723,17
20 000	20	137,90	1 378,95	55 000	55	379,21	3 792,12
21 000	21	144,79	1 447,90	56 000	56	386,11	3 861,07
22 000	22	151,69	1 516,85	57 000	57	393	3 930,01
23 000	23	158,58	1 585,79	58 000	58	399,9	3 998,96
24 000	24	165,47	1 654,74	59 000	59	406,79	4 067,91
25 000	25	172,37	1 723,69	60 000	60	413,69	4 136,86
26 000	26	179,26	1 792,64	61 000	61	420,58	4 205,80
27 000	27	186,16	1 861,59	62 000	62	427,48	4 274,75
28 000	28	193,05	1 930,53	63 000	63	434,37	4 343,70
29 000	29	199,95	1 999,48	64 000	64	441,26	4 412,65
30 000	30	206,84	2 068,43	65 000	65	448,16	4 481,59
31 000	31	213,74	2 137,38	66 000	66	455,05	4 550,54
32 000	32	220,63	2 206,32	67 000	67	461,95	4 619,49
33 000	33	227,53	2 275,27	68 000	68	468,84	4 688,44
34 000	34	234,42	2 344,22	69 000	69	475,74	4 757,38
35 000	35	241,32	2 413,17	70 000	70	482,63	4 826,33

Měrná tepelná kapacita slévarenských slitin

Přepočet jednotek tlaku

Jednotky		Zákonné jednotky						
		Pa=N/m²	kPa	MPa	GPa	bar	mbar	μbar
Pascal	1 Pa =	1	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-9</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-2</sup>	10
Kilopascal	1 kPa =	10 <sup>3</sup>	1	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-2</sup>	10	10 <sup>4</sup>
Megapascal	1 Mpa =	10 <sup>6</sup>	10 <sup>3</sup>	1	10 <sup>-3</sup>	10	10 <sup>3</sup>	10 <sup>7</sup>
Gigapascal	1 Gpa =	10 <sup>9</sup>	10 <sup>6</sup>	10 <sup>3</sup>	1	10 <sup>3</sup>	10 <sup>6</sup>	10 <sup>10</sup>
Bar	1 bar =	10 <sup>5</sup>	10 <sup>2</sup>	0,1	10 <sup>-4</sup>	1	10 <sup>3</sup>	10 <sup>8</sup>
Milibar	1 mbar =	10 <sup>2</sup>	0,1	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-3</sup>	1	10 <sup>-3</sup>
Mikrobar	1 μbar =	0,1	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-10</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-3</sup>	1
Již nepřipustné jednotky	1 kp/cm² = 1 at =	9,81·10 <sup>-4</sup>	9,81	9,81·10 <sup>-2</sup>	9,81·10 <sup>-5</sup>	0,981	981	9,81·10 <sup>8</sup>
	1 atm =	1,01310 <sup>5</sup>	101,3	0,1013	1,013 ·10 <sup>-4</sup>	1,013	1,01310 <sup>5</sup>	1,01310 <sup>8</sup>
	1 Torr = 1 mmHg =	133,3	0,1333	1,333 ·10 <sup>-4</sup>	1,333 ·10 <sup>-7</sup>	1,333 ·10 <sup>-3</sup>	1,333	1,333·10 <sup>8</sup>
	1 mH₂O =	9,81·10 <sup>3</sup>	9,81	9,81·10 <sup>-3</sup>	9,81·10 <sup>-6</sup>	9,81·10 <sup>-2</sup>	9,81	9,81·10 <sup>8</sup>
	1 mmHg =	9,81	9,81·10 <sup>-3</sup>	9,81·10 <sup>-6</sup>	9,81·10 <sup>-9</sup>	9,81·10 <sup>-5</sup>	9,81·10 <sup>-2</sup>	98,1

Slévarenská slitina	Specifická měrná kapacita
	J/(g·K)
Litiny s lupinkovým grafitem 20–200 °C	0,46
Litiny s lupinkovým grafitem 20–600 °C	0,535
Litiny s kuličkovým grafitem 20–100 °C	0,46–0,50
Temperované litiny (20 °C)	0,46–0,50
Korozivzdorné oceli feritické (20 °C)	0,46
Korozivzdorné oceli austenitické (20 °C)	0,5
Oceli žárovzdorné (20 °C)	0,5
Al slitiny V	0,90–0,94
Zn slitiny (20 - 100°C)	0,42
CuAl slitiny (20 °C)	0,44
CuNi slitiny (20 °C)	0,38
CuZn slitiny 20–200 °C	0,40–0,41
CuSn slitiny (20 °C)	0,38
Mg slitiny (20 °C)	1,05



## Ukázka z kapitoly 2

Geometrické tvary					
	Kružnice s diagonálním pruhem	Kruh	Rovnoramenný trojúhelník se zaoblenými rohy	Čtverec	Čtverec
Bezpečnostní barva	červená	modrá	žlutá	zelená	červená
Význam	zákaz	příkaz	výstraha	bezpečnost	požární ochrana
Kontrastní barva	bílá <sup>1)</sup>	bílá <sup>1)</sup>	černá	bílá <sup>1)</sup>	bílá <sup>1)</sup>
Barva grafických symbolů	černá	černá	černá	bílá <sup>1)</sup>	bílá <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Bílá barva uzavírá barvu pro luminiscenční materiály za denních podmínek (viz ISO 3864-4:2011). Tyto barvy musí odpovídat specifikaci dle ISO 3864-1:2011.

### Zákazové značky

Všeobecný zákaz	Zákaz kouření	Zákaz fotografování	Přechod pro pěší zakázán	Voda nevhodná pro pití	Nedotýkat se, vysoké napětí
Nepovoláný vstup zakázán	Zákaz použití vody pro hašení	Zákaz vstupu s mobilním telefonem	Nedotýkat se	Zákaz jízdy na paletovém vozíku	Zákaz vstupu do kolejí
Neodkládat, neskladovat	Zákaz vstupu s kardiostimulátorem	Zákaz vstupu na plochu	Zákaz provozu příjezdu vozíků	Zákaz vstupu s alkoholickými nápoji	Nedotýkej se
Zákaz vstupu se zbraní	Zákaz jídla a pití	Zákaz výskytu otevřeného ohně			

### Varovné značky

POZOR elektrické napětí	POZOR hořlavé látky	POZOR výbušné látky	POZOR žíravé látky	POZOR toxické látky	POZOR oxidující látky
POZOR horký povrch	POZOR nebezpečí	POZOR nebezpečí pádu	POZOR neonizující záření	Ochranné pásmo 1. stupně	POZOR tlakové láhve
POZOR nebezpečí sevržení	POZOR nebezpečí rozmachání	POZOR radioaktivní materiál	POZOR biologické nebezpečí	POZOR VZV	POZOR nízká teplota
POZOR nahore se pracuje	POZOR horký povrch				

## Prostředky pro rekuperaci tepla z odsávaného vzduchu ve slévárnách [3]

Jsou to zařízení, která na filtrech odstraňují z odsávaného vzduchu maximální možné množství nečistot vznikajících v procesu slévárenské výroby. Množství odsávaného vzduchu z výrobních hal je možné řešit intenzivním vývojem zařízení pro odtah odsávaného vzduchu. Přesto není vzácností, že množství odsávaného vzduchu ve slévárenských provozech dosahuje hodnot vyšších než 100 000 m<sup>3</sup>/hod. Toto množství, které bylo z haly odsáto, musí být zákonitě

přivedeno zpět. Toto je ve velmi významné, především v topné sezóně, kdy náklady na vytápění jsou značné. Například při venkovní teplotě 0 °C je potřebný topný výkon kolem 72 kWh / 10 000 m<sup>3</sup> / h. Chcete-li se zcela vyhnout nákladům na vytápění nebo je snížit na minimum, jsou slévárnám nabízena různá řešení.



## Controlling ve slévárnách

### Nákupní dovednosti

Protože ve většině společností dosahuje nákup materiálu, energie a někdy externích služeb více než padesáti procent obratu, jsou zde nepostradatelné zvláštní kompetence pro nákup. Obzvláště pro řízení naskladňování a vyskladňování kovové vsázky je tato kompetence pro úspěšnost slévárny uváděná jako klíčová.

### Neustálé zlepšování a ochota ke změně

Odborníci to chápou jako trvalé hledání námětů především ve stávajících procesech a organizování změn pomocí vlastních zaměstnanců. Nápady a změny se provádějí organizovaným procesem: požadavek,

analýza, realizace. Přístup ke změnám naproti tomu obecně popisuje ochotu ke změnám obecně.

#### *Spolehlivost dodávek*

Pod tím se rozumí trvalé přesné dodávky zákazníkům. Spolehlivost dodávky se zpravidla měří jako poměr přesných dodávek, to znamená, přesně v termínu dodaných dodávek ke všem dodávkám.

#### *Logistika*

Faktor úspěšnosti je spatřován v přidané hodnotě logistiky vyladěné dle potřeb zákazníka, a to zejména u sléváren automobilového průmyslu.

#### *Koncepce řízení*

Zde dotazovaní manažeři poukazují na to, že kromě školení, zkušeností a kompetencí managementu má být použit koncept řízení, který je dlouhodobě a neustále použitelný, popř. je rozvíjen na základě aktuální situace.

#### *Materiálová kompetence*

To znamená, že tato kompetence má zvláštní znalosti o určitých materiálech a inovačních možnostech, aby mohly být nabídnuty lepší materiály pro výrobu nebo tyto materiály měly vyšší užitnou hodnotu u zákazníka.

#### *Otevřenost*

Manažer slévárny to chápe jako ochotu otevřeně nabídnout vlastní data zákazníkům a zejména sesterským společnostem a vstoupit do konstruktivního procesu zlepšování. Srovnatelné společnosti by měly být v benchmarkingu měřitelné.

#### *Sociální dovednosti*

Tady je poukázáno na důležitost vedení a jednání u zákazníků, a to zejména u vlastních zaměstnanců. Často ve slévárnách najdeme, že spolu v různých situacích pracují různé sociální struktury, mnoha národností a s různými často rozmanitými zvyklostmi.

Jak uvádějí mnozí odborníci, žádná slévárna nemůže dlouhodobě fungovat bez toho, aniž by spolupracovníci získali detailní informace o slévárenské práci a možnostech jak ovlivňovat produktivitu práce a kvalitu. Tento postup není možné absolvovat bez odpovídajících sociálních dovedností.

#### *Místo*

Především u odlitků s vysokými mzdovými náklady je poloha slévárny ve spojení s produktivitou uváděna jako rys úspěšnosti se zřetelem na nižší mzdové náklady.

#### *Strategie*

Rozumná a profesionálně vyvinutá strategická orientace společnosti, která je pravidelně kontrolovaná, případně upravená.

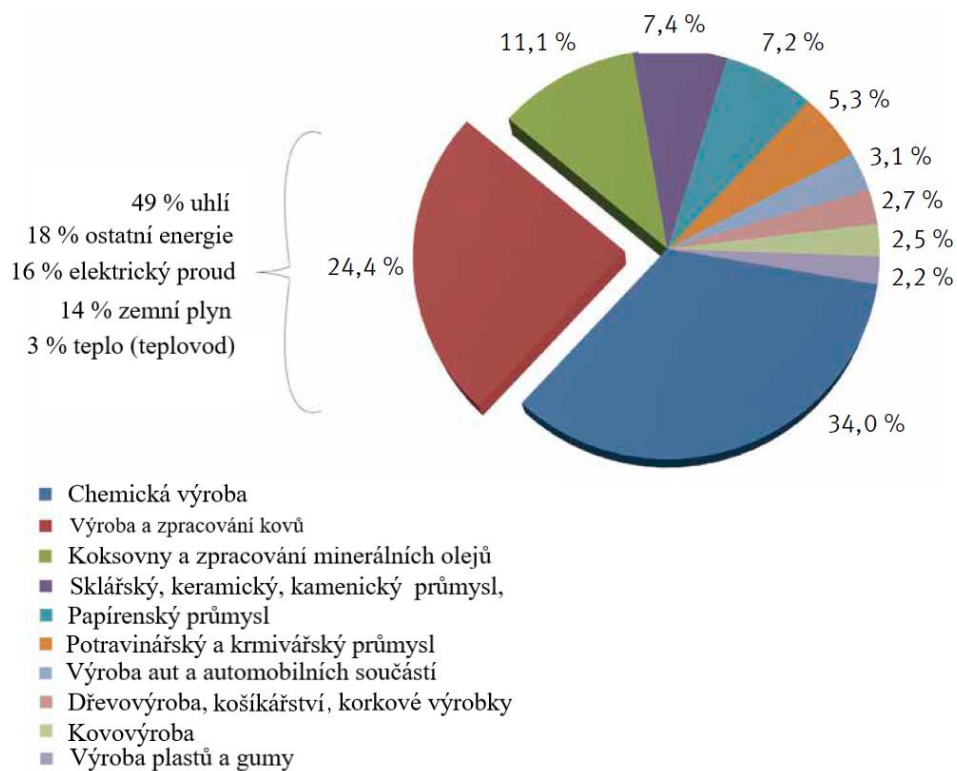
#### *Výroba modelových zařízení*

Z důvodu značného vlivu kvality modelů na kvalitu odlitků a délku realizace, zvláště ve fázi náběhu nových výrobků, je jako faktor úspěšnosti spatřována výroba modelů ve vlastní kompaktní modelárně s vlastními odborníky.

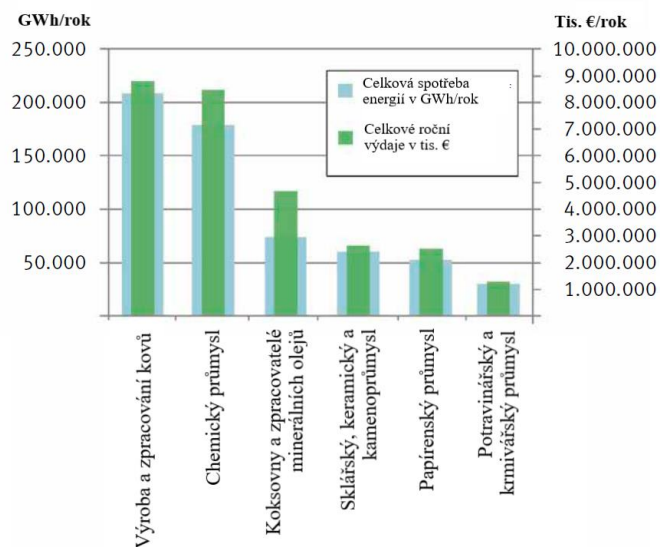
### **Energetická účinnost ve slévárenských provozech**

Vysoké náklady na energii, zvyšující se znečištění životního prostředí a politická zadání jsou základní aspekty, které vedou podniky stále více ke změně myšlení v oblasti energetické účinnosti a zdrojích úspor. Především provozy s vysokou spotřebou energií mohou profitovat ze zákonných opatření se zřetelem na certifikovaný energetický management. Pouze ten kdo ví, která energie, jak, kdy a kde se ve výrobě spotřebuje, může trvale reagovat a jednat, viz Kapitola o energetické účinnosti dává pohled na toto téma.



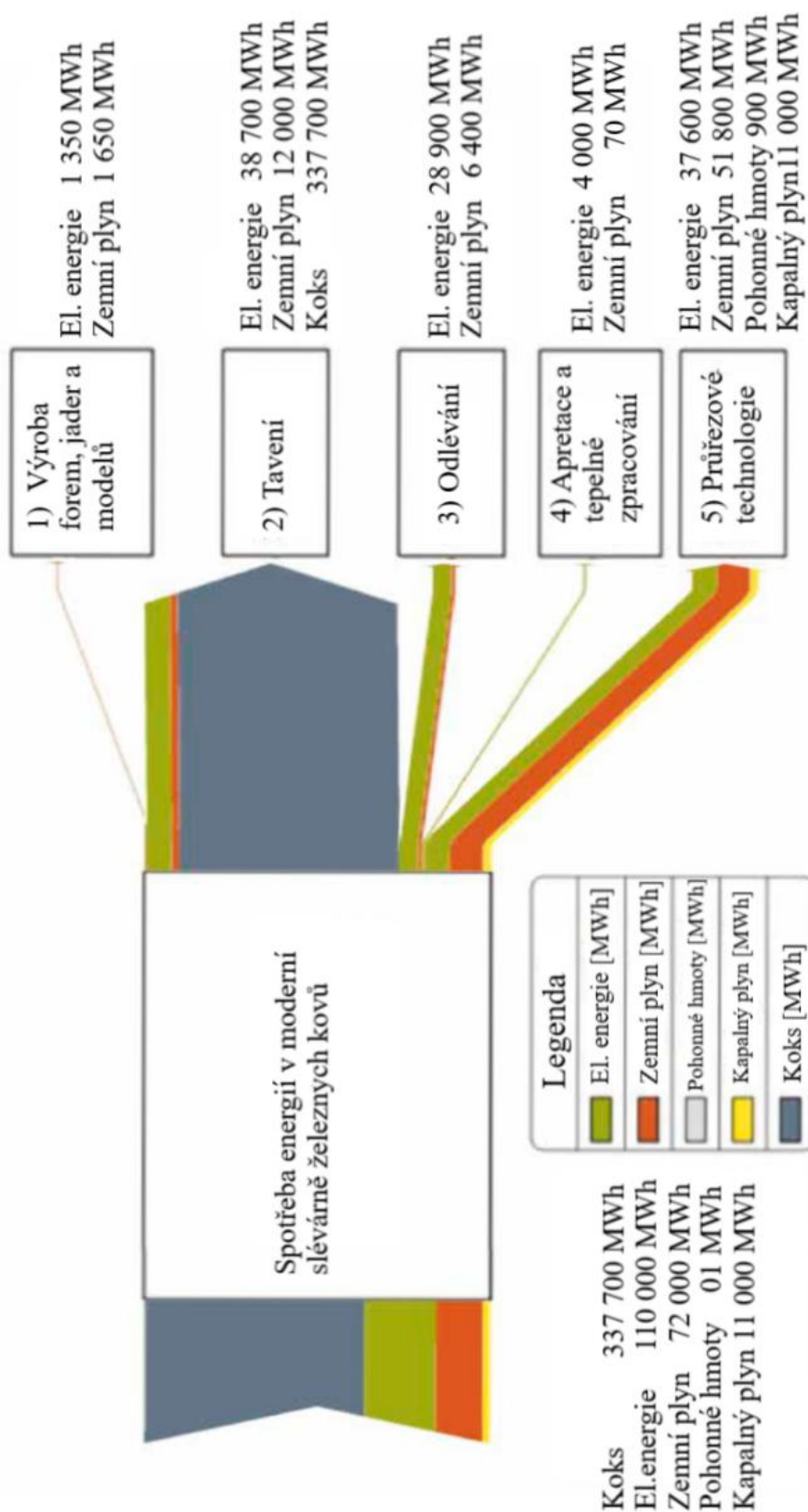


Obr. 1 Obory zpracovatelského průmyslu s nejvyšší spotřebou energií v roce 2012



Obr.2 Celková spotřeba energie a celkové výdaje za energie šesti průmyslových oborů s největší spotřebou v roce 2012

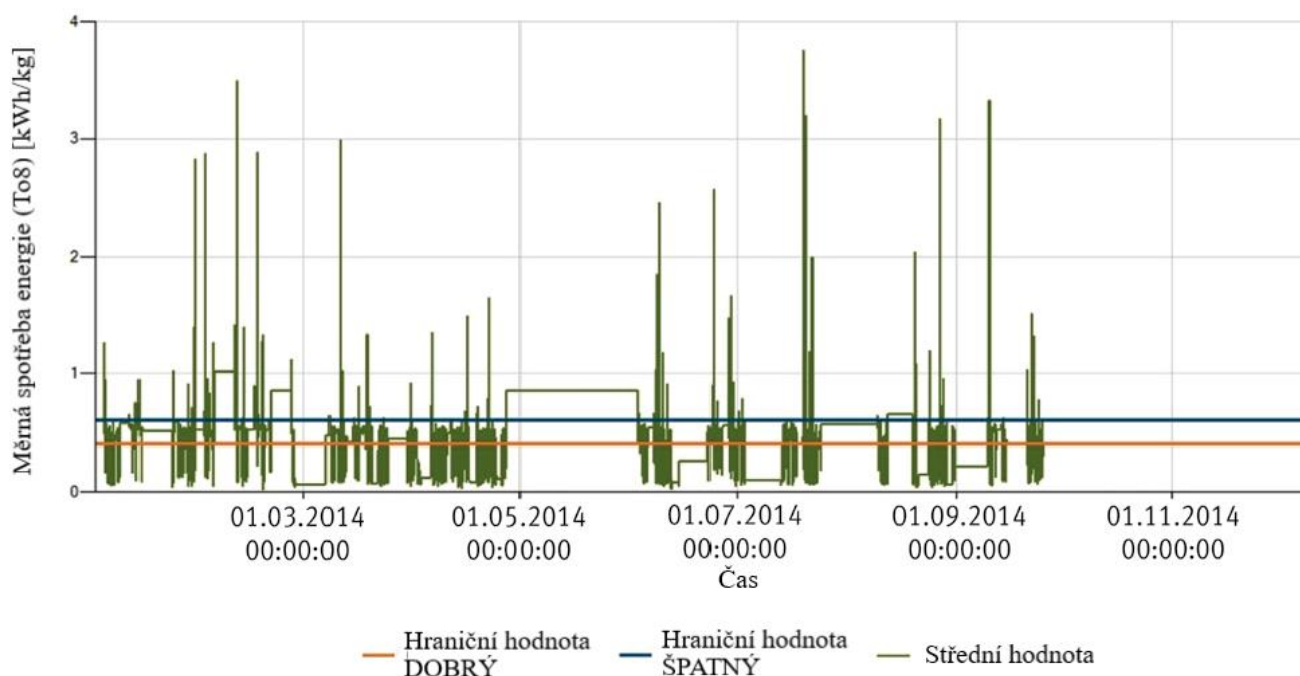
## Energetická účinnost ve slévárnách



Obr. 4 Diagram toku energií moderní hypotetické slévárny železných kovů [dle Bosse]

Tabulka 4 Tabulka selektivně vybraných energetických ukazatelů pro vyhodnocení výroby a procesu modelové slévárny v Anlenung am Posch (2011) ze sléváren Schieferdecker (2006), Kahlenborn (2012), Bauer (1988), Overath (2001) a Genuß (1994)

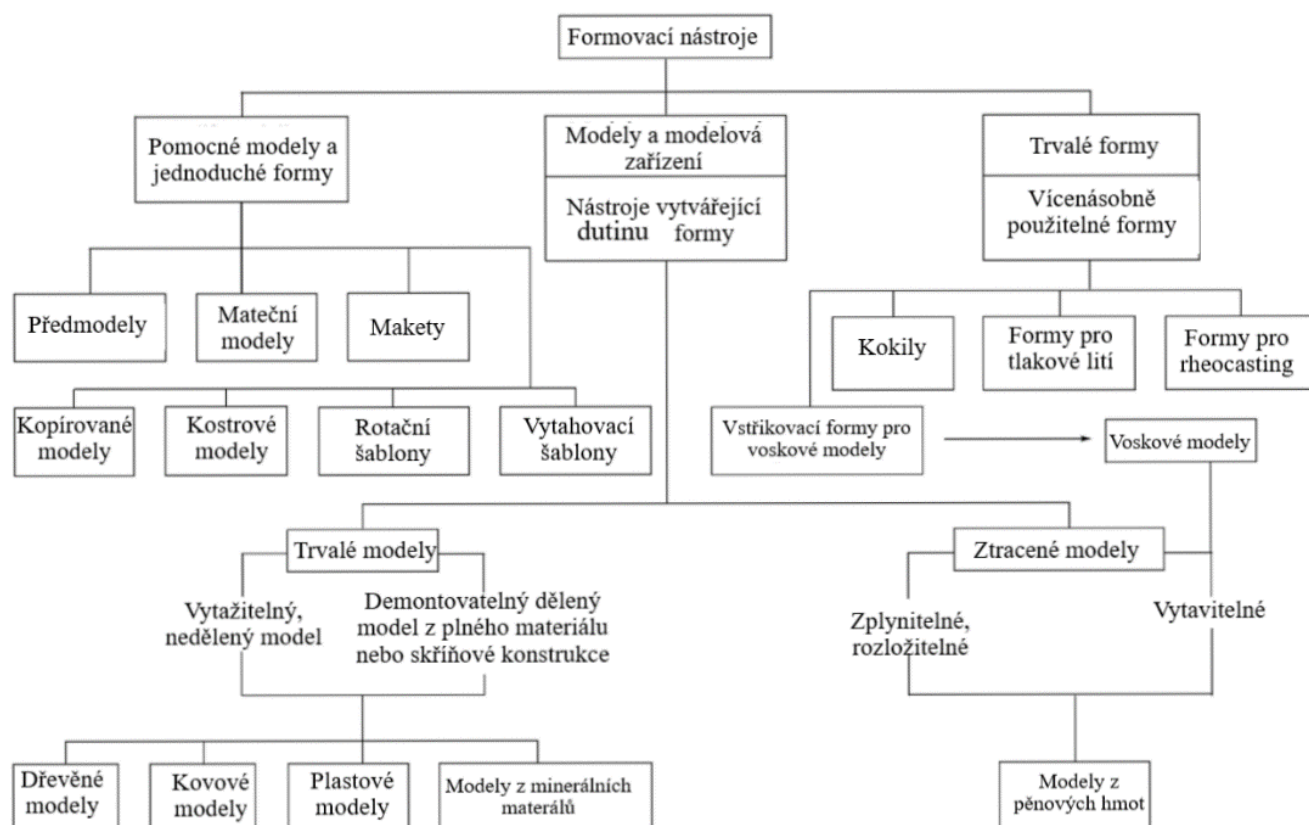
	Výroba celkem	Tavárna	Formovna/slévárna	Apřetace a tepelné zpracování	Výroba forem a jader, příprava směsí	Průřezové technologie	Malé skupiny spotřebičů (osvětlení, roboty, kancelářská zařízení)
Popis	Úrovně evidence slévárny						
Hodnota ukazatelů slouží pro hrubé srovnání a kategorizaci jednotlivých výrobních oblastí	X	X	X	X	X	X	X
Spotřebitelé energií, pokrytí monitoringem	X	X	X	X	X	X	X
Náklady (nosiče energií a systémové energie na množstevní jednotky spotřebované energie)	X	X					
Poměr spotřeb na nositele energií k celkové spotřebě výrobního úseku	X	X	X				
Poměr spotřebované energie na nositele energie k celkové energetické spotřebě ve výrobě	X	X	X		X	X	X
Spotřeba energie na jednotku vyrobeného nebo zpracovaného produktu	X	X	X	X	X	X	X
Podíl užitečné energie na celkovém množství energie, která je k dispozici	X	X	X		X	X	X
Podíl spotřebované energie procesu X na výrobní spotřebě energie				X	X	X	X
Odhylka procesní spotřeby energie od plánované spotřeby	X	X	X	X	X	X	X
Porovnání performancí zařízení stejného druhu	X	X	X	X	X	X	X
Porovnání performancí různých časových úseků	X	X	X	X	X	X	X
CO <sub>2</sub> - emise z celkové spotřeby energie v porovnání k vyrobené hmotnosti odlitků	X	X	X				
CO <sub>2</sub> - emise spotřebičů energie ve vztahu k použitým energetickým médii	X	X	X	X			



Obr. 7 Měrná spotřeba energie [kwh/kg] indukční kelímkové pece v monitorovacím software é. Visor

## Ukázka z kapitoly 3

### Přehled modelů a formovacích nástrojů



Smrštění [2, 3, 7]

Slévarenská slitina	Smrštění [%]			
	Písková forma*		Kokilové odlitky	Tlakové odlitky
	Rozptyl	Směrná hodnota		
Litina				
S lupinkovým grafitem	0,9 - 1,1	1	0,7 - 0,9	
S kuličkovým grafitem v litém stavu	0,8 - 1,6	1,2		
S kuličkovým grafitem feriticky žhaná	0,3 - 0,7	0,5		
S červikovitým grafitem	0,8 - 1,4	1,1		
Austenitické litiny	1,5 - 2,5	2		
Otěruvzdorná Ni-Resist	1,4 - 1,6	1,5		
Otěruvzdorná Ni-Hard	1,87 - 2,1	1,9		
Temperovaná litina ČSN EN 1562				
Žhaná v redukční atmosféře - s černým lomem	0,3 - 0,7	0,5		
Žhaná v oxidační atmosféře - s bílým lomem	1,0 - 2,0	1,6		
Ocel				
Uhlíkové a nízkolegované	1,6 - 2,0	2		
Nerezové feritické	1,5 - 2,5	2		
Nerezové austenitické	2,4 - 2,8	2,6		
Manganové otěruvzdorné	2,4 - 2,8	2,3		
Slitiny hliníku				
Slitiny Al-Si-Cu	0,9 - 1,3	1,2	0,6 - 1,0	0,5 - 0,7
Slitiny Al-Mg	1,0 - 1,4	1,2	0,8 - 1,2	0,6 - 0,9
Slitiny hořčíku				
Slitiny Mg	0,8 - 1,6	1,2	0,87 - 1,2	0,6 - 1,0

\* Hodnoty jsou závislé na stabilitě formy, kvalitě formovací směsi a upěchování.

Smrštění [2,3,7]

Slévarenská slitina	Smrštění [%]			
	Písková forma*		Kokilové odlitky	Tlakové odlitky
	Rozptyl	Směrná hodnota		
Slitiny mědi				
slitina Cu nelegovaná nebo nízko legovaná	1,6 - 2,2	1,9	1,6 - 2,0	
slitiny Cu-Al	1,8 - 2,4	1,9	1,6 - 2,2	
slitiny Cu-Ni	1,6 - 2,4	2		
slitiny Cu-Ni-Zn	0,8 - 1,4	1,1		
slitiny Cu-Pb-Sn	1,2 - 1,7	1,4		
slitiny Cu-Sn	1,0 - 1,8	1,5		
slitiny Cu-Sn-Zn	1,0 - 1,5	1,1		
slitiny Cu-Zn	0,8 - 1,5	1,2	0,8 - 1,2	0,7 - 1,1
Slitiny niklu a Ni-Cu				
Ni, Ni-Cu	1,6 - 2,4	2		
Slitiny zinku				
slitiny Zn	0,8 - 1,6	1,3	0,6 - 1,0	0,4 - 0,6
Slitiny olova				
tlakové lité Pb odlitky				0,2 - 0,5
základní Pb slitina	0,3 - 0,8	0,6	0,3 - 0,8	
Slitiny cínu				
tlakové lité Sn odlitky				0,2 - 0,4
základní Sn slitina	0,4 - 0,6	0,5	0,4 - 0,6	

\* Hodnoty jsou závislé na stabilitě formy, kvalitě formovací směsi a upěchování

## Tabulka úkosů

N/°	0,3°	0,5°	1°	1,5°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	15°	20°	30°
1	0,01	0,01	0,02	0,03	0,03	0,05	0,07	0,09	0,11	0,12	0,14	0,16	0,18	0,27	0,36	0,58
2	0,01	0,02	0,03	0,05	0,07	0,10	0,14	0,17	0,21	0,25	0,28	0,32	0,35	0,54	0,73	1,15
3	0,02	0,03	0,05	0,08	0,10	0,16	0,21	0,26	0,32	0,37	0,42	0,48	0,53	0,80	1,09	1,73
4	0,02	0,03	0,07	0,10	0,14	0,21	0,28	0,35	0,42	0,49	0,56	0,63	0,71	1,07	1,46	2,31
5	0,03	0,04	0,09	0,13	0,17	0,26	0,35	0,44	0,53	0,61	0,70	0,79	0,88	1,34	1,82	2,89
6	0,03	0,05	0,10	0,16	0,21	0,31	0,42	0,52	0,63	0,74	0,84	0,95	1,06	1,61	2,18	3,46
7	0,04	0,06	0,12	0,18	0,24	0,37	0,49	0,61	0,74	0,86	0,98	1,11	1,23	1,88	2,55	4,04
8	0,04	0,07	0,14	0,21	0,28	0,42	0,56	0,70	0,84	0,98	1,12	1,27	1,41	2,14	2,91	4,62
9	0,05	0,08	0,16	0,24	0,31	0,47	0,63	0,79	0,95	1,11	1,26	1,43	1,59	2,41	3,28	5,20
10	0,05	0,09	0,17	0,26	0,35	0,52	0,70	0,87	1,05	1,23	1,41	1,58	1,76	2,68	3,64	5,77
11	0,06	0,10	0,19	0,29	0,38	0,58	0,77	0,96	1,16	1,35	1,55	1,74	1,94	2,95	4,00	6,35
12	0,06	0,10	0,21	0,31	0,42	0,63	0,84	1,05	1,26	1,47	1,69	1,90	2,12	3,22	4,37	6,93
13	0,07	0,11	0,23	0,34	0,45	0,68	0,91	1,14	1,37	1,60	1,83	2,06	2,29	3,48	4,73	7,51
14	0,07	0,12	0,24	0,37	0,49	0,73	0,98	1,22	1,47	1,72	1,97	2,22	2,47	3,75	5,10	8,08
15	0,08	0,13	0,26	0,39	0,52	0,79	1,05	1,31	1,58	1,84	2,11	2,38	2,64	4,02	5,46	8,66
16	0,08	0,14	0,28	0,42	0,56	0,84	1,12	1,40	1,68	1,96	2,25	2,53	2,82	4,29	5,82	9,24
17	0,09	0,15	0,30	0,45	0,59	0,89	1,19	1,49	1,79	2,09	2,39	2,69	3,00	4,56	6,19	9,81
18	0,09	0,16	0,31	0,47	0,63	0,94	1,26	1,57	1,89	2,21	2,53	2,85	3,17	4,82	6,55	10,39
19	0,10	0,17	0,33	0,50	0,66	1,00	1,33	1,66	2,00	2,33	2,67	3,01	3,35	5,09	6,92	10,97
20	0,10	0,17	0,35	0,52	0,70	1,05	1,40	1,75	2,10	2,46	2,81	3,17	3,53	5,36	7,28	11,55
21	0,11	0,18	0,37	0,55	0,73	1,10	1,47	1,84	2,21	2,58	2,95	3,33	3,70	5,63	7,64	12,12
22	0,12	0,19	0,38	0,58	0,77	1,15	1,54	1,92	2,31	2,70	3,09	3,48	3,88	5,89	8,01	12,70
23	0,12	0,20	0,40	0,60	0,80	1,21	1,61	2,01	2,42	2,82	3,23	3,64	4,06	6,16	8,37	13,28
24	0,13	0,21	0,42	0,63	0,84	1,26	1,68	2,10	2,52	2,95	3,37	3,80	4,23	6,43	8,74	13,86
25	0,13	0,22	0,44	0,65	0,87	1,31	1,75	2,19	2,63	3,07	3,51	3,96	4,41	6,70	9,10	14,43
26	0,14	0,23	0,45	0,68	0,91	1,36	1,82	2,27	2,73	3,19	3,65	4,12	4,58	6,97	9,46	15,01
27	0,14	0,24	0,47	0,71	0,94	1,42	1,89	2,36	2,84	3,32	3,79	4,28	4,76	7,23	9,83	15,59
28	0,15	0,24	0,49	0,73	0,98	1,47	1,96	2,45	2,94	3,44	3,94	4,43	4,94	7,50	10,19	16,17
29	0,15	0,25	0,51	0,76	1,01	1,52	2,03	2,54	3,05	3,56	4,08	4,59	5,11	7,77	10,56	16,74

### Úkosy odlítků tlakového lití (směrné hodnoty) [7]

Slitina	Vnější plochy k <sub>1</sub> =% hloubky t	Minimální úkos vnitřních ploch *)			
		U pohyblivých vložek-jader		U pevných jader	
		k <sub>1</sub>	ne menší než... [mm]	k <sub>1</sub>	ne menší než... [mm]
Hliník	0,2 - 0,5 %	0,50%	0,05	1,00%	0,1
Zinek	0,0 - 0,2 %	0,20%	x	0,40%	0,03
Hořčík	0,0 - 0,3 %	0,30%	0,03	0,60%	0,05
Měď	1,0 - 1,5 %	2,00%	0,1	4,00%	0,2
Olovo, cín	0,0 - 0,1 %	0,10%	x	0,20%	x

\*) Platí pro šířku jádra do 100 mm každé plochy.

### Směrné hodnoty délek předlitých otvorů

Slitina	Minimální průměr d [mm]	Maximální délka vztažena k průměru d	Maximální délka slepé díry vztažena k průměru d
Hliník	2,5	5 x d	3 x d
Zinek	0,8	8 x d	4 x d
Hořčík	2	5 x d	3 x d
Měď	4	3 x d	2 x d

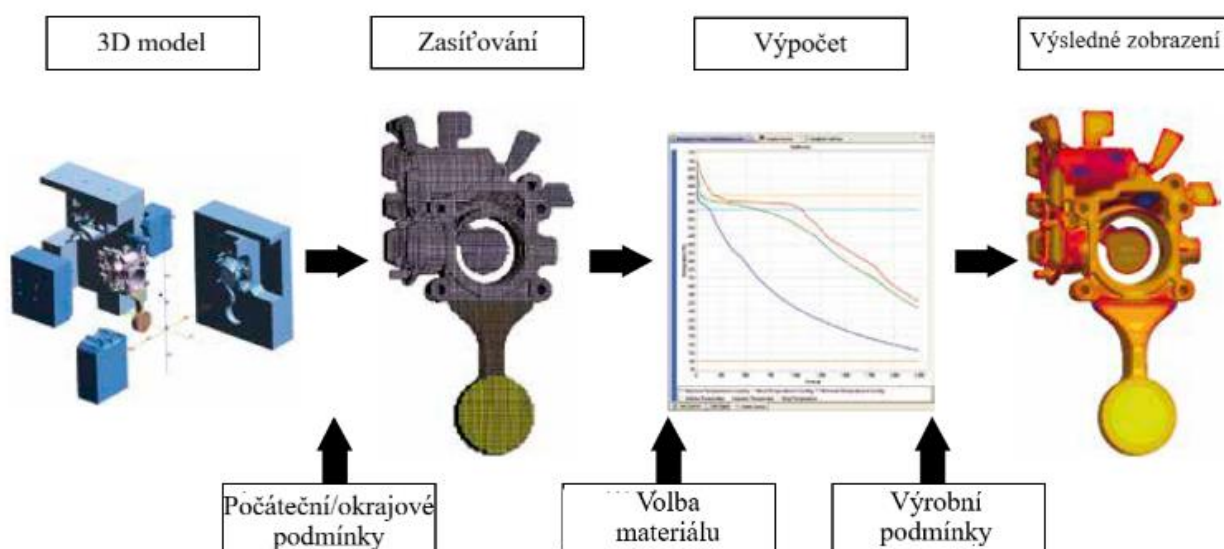


## Ukázka z kapitoly 4

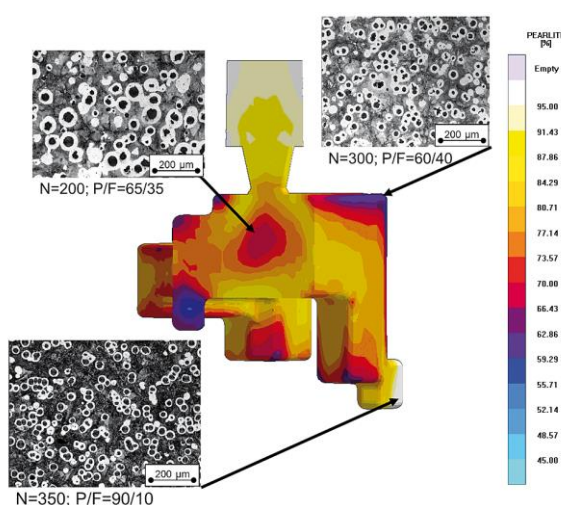
### Technologie výroby Simulace procesu odlévání

**Zasít'ování** -. Vytvořená síť – rozčlenění 3D modelu odlitku na matematicky použitelné elementy (diskretizace 3D objemových dat). V dnešní době probíhá zasít'ování zcela automaticky pomocí předem nadefinovaných algoritmů, které berou zřetel na kritické atributy dílce (např. na tloušťku stěny). V podstatě se zasít'ování provádí z důvodu maximální efektivity procesu simulace, kde se využívá pravidla “pouze tak jemně, jak je nezbytně nutné“. Využití symetrie modelu a nástrojů pro automatické zvětšení elementu je podporováno obsluhou.

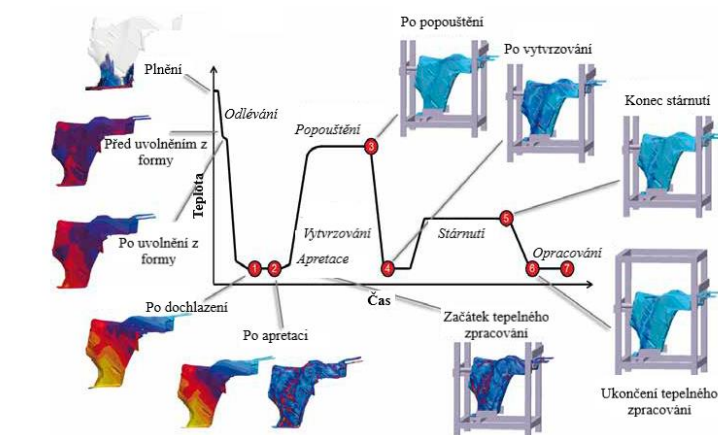
**Definice procesu**, kterými se stanovují jeho parametry, jako je např. doba lití, vstřikovací křivky, slitiny, lící teplota, materiál formy, temperovací médium a jejich teploty, které uživatel doplňuje jako údaj nutný pro zadání simulace. V podstatě s přibývajícím počtem okrajových podmínek a parametrů narůstá přesnost grafického znázornění a predikce výsledků simulace. Ale i velmi silně zjednodušený model simulace však může v odpovídající fázi vývoje podat spolehlivé informace.



Od 3D modelu k vypočteným výsledkům simulace procesu odlévání a tuhnutí

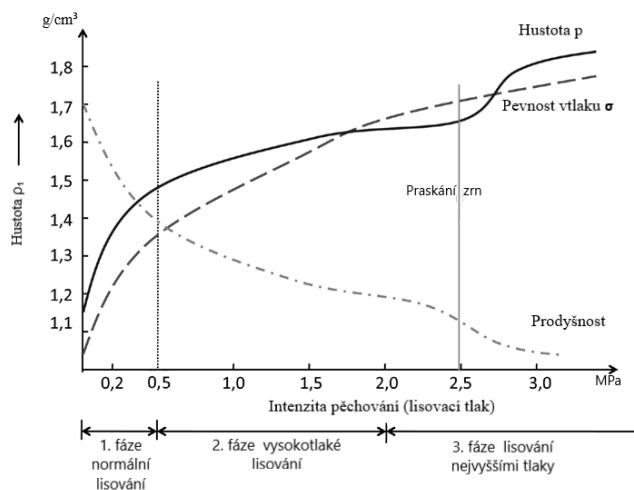


Znázornění virtuálního i výrobního řetězce po operacích, včetně tepelného zpracování (Simulace MAGMASOFT®)

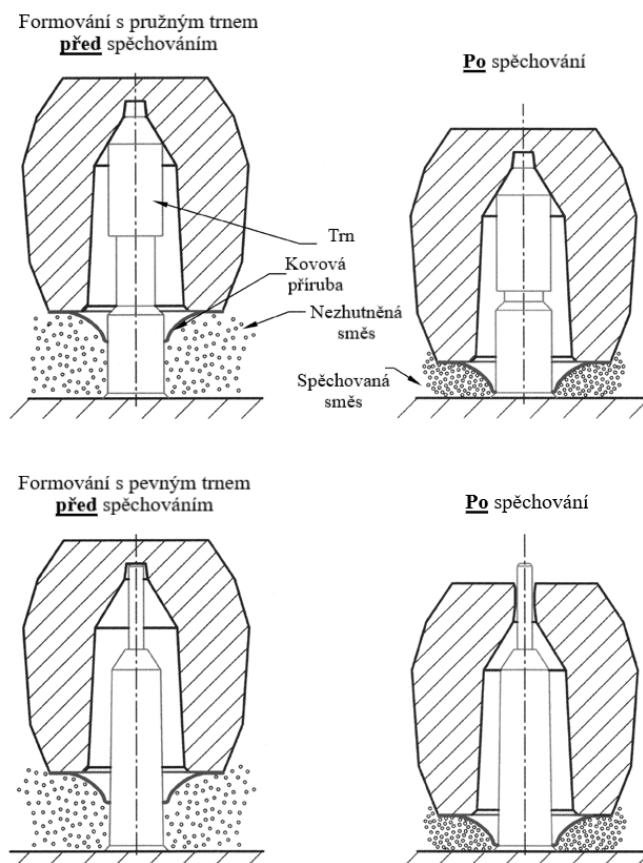


Kvantitativní predikce struktury pro odlitek z LKG Zde: lokální podíl perlitu ve struktuře (Simulace MAGMASOFT®)

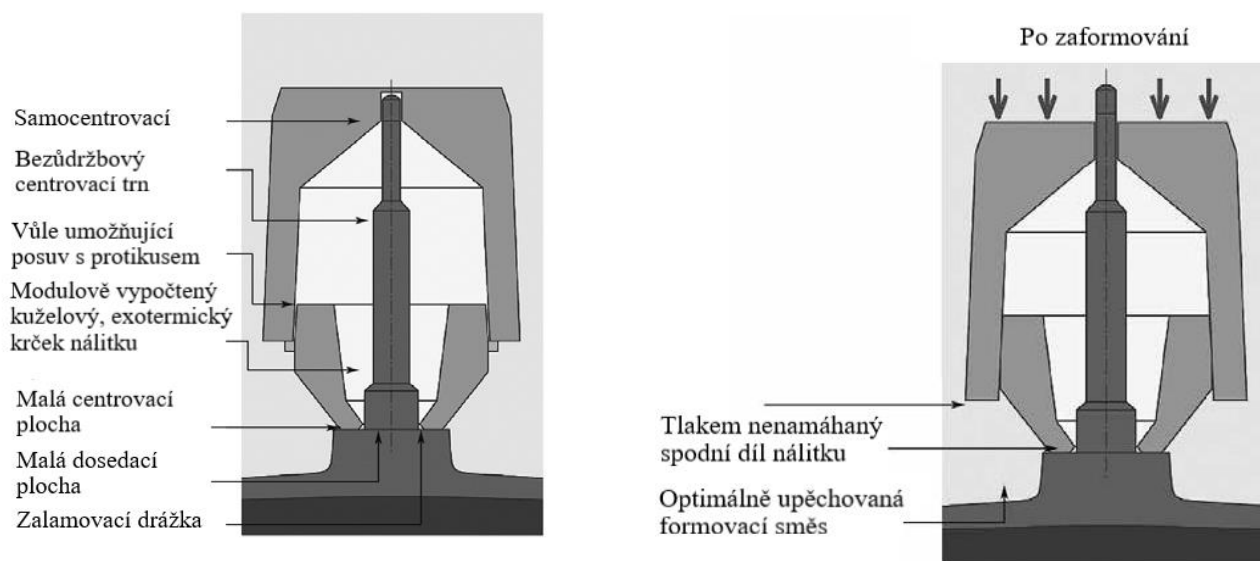
**Výroba forem z bentonitových formovacích směsí  
průběh spečování při lisování**



## Schéma použití nálitků s pružným trnem a pevným trnem [10]



## Schéma technologie nálitků s teleskopickým zaváděním, které chrání nálitky před poškozením při vysokotlakém lisování





Ukázka z kapitoly 5

Mechanické vlastnosti slitin hořčíku používaných pro tlakové liti, v litém stavu, při pokojové teplotě [2] (pokračování)					
Označení slitiny	Mez kluzu Rp 0,2	Pevnost v tahu	Mez únavy v ohybu při střídavém namáhání	Tažnost	Tvrdost
	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[%]	[HB]
AZ91	148	248		6,6	70
AM60	123	247		12	65
AM50	116	237		14	60
AM20	94	206		16	45
AS41	130	240		10	60
AS21	120	230		12	55
AE42	130	237		13	60
AZ91 HP	150 až 170	200 až 250		0,5 až 3	65 až 85
AM50 HP	110 až 140	180 až 220		5 až 9	50 až 65
AE41 HP	110	215		15	60
AE42HP	137	225		11 až 17	63
AZ91HP	150 až 170	200 až 250	50 až 70	0,5 až 3	65 až 85
AZ81HP	140 až 160	200 až 240	50 až 70	1 až 3	60 až 85
AM60HP	120 až 150	190 až 230	50 až 70	4 až 8	55 až 70
AM50HP	110 až 140	180 až 220	50 až 70	5 až 9	50 až 65
AM20HP	90 až 120	160 až 210	50 až 70	8 až 12	40 až 55

Mechanické vlastnosti slitin zinku používaných pro tlakové liti, v litém stavu, při pokojové teplotě [2]					
Označení slitiny	Mez kluzu Rp 0,2	Pevnost v tahu	Mez únavy v ohybu při střídavém namáhání	Tažnost	Tvrdost
	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[%]	[HB]
ZnAl4	210 až 250	250 až 320		3 až 10	80 až 120
ZnAl4Cu1	250 až 300	290 až 370		3 až 10	90 až 110
ZnAl4Cu3	290 až 350	320 až 400		3 až 10	100 až 120
ZnAl8Cu1	280 až 300	360 až 385		5 až 10	95 až 105
ZnAl11Cu1	310 až 330	320 až 415		4 až 7	95 až 105
ZnA27Cu2	360 až 380	405 až 440		1 až 2	110 až 120
GD-ZnAl4	200 až 230	250 až 300	60 až 80	3 až 6	70 až 90
GD-ZnAl4Cu1	220 až 250	280 až 350	70 až 100	2 až 5	85 až 105
GD-ZnAl8Cu1	290	375		6 až 10	100
GD-ZnAl11Cu1	320	400		4 až 7	100
GD-ZnAl27Cu2	370	425		2 až 3,5	120
AG40A	-	283	48	10	82
AG40B	-	283	47	13	80
AC41A	-	328	56,5	7	91
AC43A	-	358	59	7	100
ZA8	290	374	103	8	103
ZA12	320	404	117	5	100
ZA27	371	426	117	2,5	119

Závislost měrné hmotnosti a součinitel tepelné roztažnosti na teplotě u normovaných slitin tlakového liti [2]												
Index 20: při pokojové teplotě 20°C												
Index L: při teplotě likvidu												
Index S: při teplotě solidu												
(pokračování)												
Označení slitiny	Měrná hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]			Součinitel tepelné roztažnosti [10-6/k]						Teplota [°C]		Teplota [°C]
				Teplota [°C]						Solidus	Likvidus	
	P20	Ps	PL	20 až 100	200	300	400	500	20 až solidus			
CuZn33Pb2Si-C	8063	7659	7323	19,4	20	20,5	20,9	21,3	25,8	900	930	2,27
CuZn35Pb2Al-C	8064	7653	7283	19,9	20,7	21,1	21,5	21,9	26,6	900	915	2,34
CuZn39Pb1Al-C	7977	7573	7210	20,2	21	21,6	22	22,4	27	895	900	2,36
CuZn16Si4-C	7736	7358	7101	16,9	17,4	17,7	18	18,4	22,8	1000	1020	2,23
ZP3 (ZnAl4)	6700	6406	6130	30	33	35			37	381	387	1,33
ZP5 (ZnAl4Cu1)	6708	6420	6140	29,7	32,7	34,7			36,7	380	386	1,32
ZP2 (ZnAl4Cu3)	6734	6440	6160	29,2	32,1	34			36,3	379	390	1,3
ZP8 (ZnAl8Cu1)	6315	6040	5762	29,4	32,2	34,1			36,3	375	404	1,29
ZP12 (ZnAl11Cu1)	6050	5782	5507	29,1	32	33,8			36	377	432	1,28
ZP27 (ZnAl27Cu2)	4950	4721	4463	27,7	30	31,5			34,2	375	484	1,21

**Specifikace zinkových slitin vhodných pro výrobu tlakových odlitků dle DIN EN 12844: 1999-01:**  
**Zinek a zinkové slitiny – slévárenské slitiny – ve formě bloků a v tekutém stavu (označení ZL)**

**Specifikace zinkových slévárenských slitin dle EN 12844 pro zinkové odlitky.**

Označení slitiny		ZP3	ZP5	ZP2	ZP8
Značka		ZP0400	ZP0410	ZP0430	ZP0810
Zkráceně		ZnAl4	ZnAl4Cu1	ZnAl4Cu3	ZnAl8Cu1
Hliník [%]	Max.	4,3	4,3	4,3	8,8
	Min.	3,7	3,7	3,7	8
Měď [%]	Max.	0,1	1,2	3,3	1,3
	Min.		0,7	2,7	0,8
Hořčík [%]	Max.	0,05	0,05	0,05	0,03
	Min.	0,025	0,025	0,025	0,015
Olovo [%]	Max.	0,005	0,005	0,005	0,006
Kadmium [%]	Max.	0,005	0,005	0,005	0,006
Cín [%]	Max.	0,002	0,002	0,002	0,003
Železo [%]	Max.	0,05	0,05	0,05	0,06
Nikl [%]	Max.	0,02	0,02	0,02	0,02
Křemík [%]	Max.	0,03	0,03	0,03	0,045
Zinek	Zbytek	Zbytek	Zbytek	Zbytek	Zbytek

**Tolerance délkových rozměrů pro tlakově lité odlitky (DCT) v závislosti na jmenovitém rozměru a tolerančním stupni DCTG (dle DIN EN ISO 8062-3)**

Jmenovitý rozměr		Tolerance délkových rozměrů						
		Toleranční stupeň						
		DCTG 3	DCTG 4	DCTG 5	DCTG 6	DCTG 7	DCTG 8	DCTG 9
	≤ 10	0,18	0,26	0,36	0,52	0,74	1,00	1,50
> 10	≤ 16	0,20	0,28	0,38	0,54	0,78	1,10	1,60
> 16	≤ 25	0,22	0,30	0,42	0,58	0,82	1,20	1,70
> 25	≤ 40	0,24	0,32	0,46	0,64	0,90	1,30	1,80
> 40	≤ 63	0,26	0,36	0,50	0,70	1,00	1,40	2,00
> 63	≤ 100	0,28	0,40	0,56	0,78	1,10	1,60	2,20
100	≤ 160	0,30	0,44	0,62	0,88	1,20	1,80	2,50
> 160	≤ 250	0,34	0,50	0,70	1,00	1,40	2,00	2,80
> 250	≤ 400	0,40	0,56	0,78	1,10	1,60	2,20	3,20
> 400	≤ 630		0,64	0,9	1,20	1,80	2,60	3,60
> 630	≤ 1 000			0,1	1,40	2,00	2,80	4,00
> 1 000	≤ 1 600				1,60	2,20	3,20	4,60

**Tolerance tvaru a polohy GCTG tlakově litých odlitků v závislosti na jmenovitém rozměru a tolerančním stupni GCTG (dle DIN EN ISO 8062-3)**

Jmenovitý rozměr		Tolerance tvarů a polohy					
		Tolerance přímosti			Tolerance rovinnosti		
		GCTG 2	GCTG 3	GCTG 4	GCTG 2	GCTG 3	GCTG 4
	≤ 10	0,08	0,12	0,18	0,12	0,18	0,27
> 10	≤ 30	0,12	0,18	0,27	0,18	0,27	0,40
> 30	≤ 100	0,18	0,27	0,40	0,27	0,40	0,60
> 100	≤ 300	0,27	0,40	0,60	0,40	0,60	0,90
> 300	≤ 1 000	0,40	0,60	0,90	0,60	0,90	1,40

Jmenovitý rozměr		Tolerance tvarů a polohy					
		Tolerance souososti			Tolerance rovnoběžnosti, kolmosti, symetričnosti, kruhovitosti,		
		GCTG 2	GCTG 3	GCTG 4	GCTG 2	GCTG 3	GCTG 4
	≤ 10	0,27	0,40	0,60	0,18	0,27	0,40
> 10	≤ 30	0,40	0,60	0,90	0,27	0,40	0,60
> 30	≤ 100	0,60	0,90	1,40	0,40	0,60	0,90
> 100	≤ 300	0,9	1,4	2,00	0,60	0,90	1,4
> 300	≤ 1 000	1,4	2,00	3,00	0,90	1,40	2,00

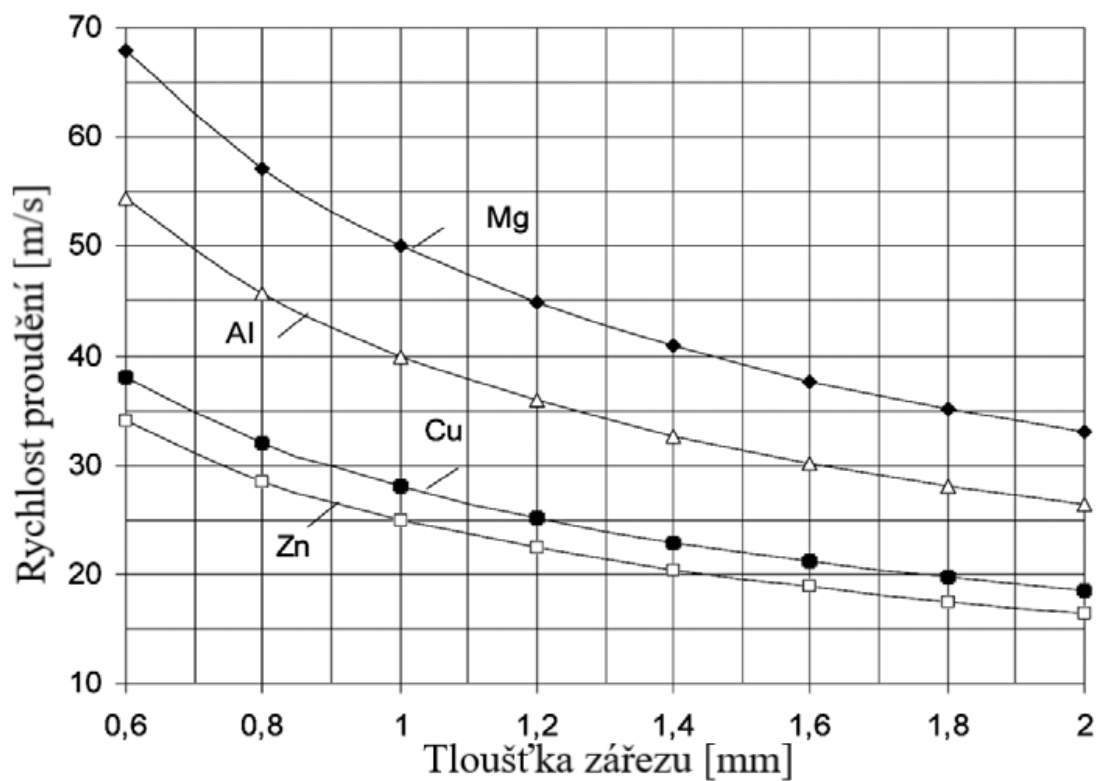
Doba lití a délka toku pro slitinu hliníku En-AC-AlSi9Cu3 v závislosti na střední tloušťce stěny odlitku, teplotě formy před odlitím a rychlosti proudění taveniny do dutiny formy.[2]

Teplota [°C]	Středním tloušťka odlitku	Rychlost vstřikování taveniny [m/s]					
		3		5		10	
		Doba lití [ms]	Délka toku [mm]	Doba lití [ms]	Délka toku [mm]	Doba lití [ms]	Délka toku [mm]
200	1	11	33	10	50	9	90
	2	18	54	16	80	13	130
	3	37	111	32	160	24	240
	4	61	183	51	255	37	370
	5	88	264	72	360	52	520
	6	119	357	96	480	67	670
250	1	16	48	15	75	12	120
	2	23	69	20	100	16	160
	3	47	141	40	200	30	300
	4	77	231	64	320	47	470
	5	111	333	91	455	65	650
	6	150	450	121	605	84	840

Licí doba a délka toku slitiny zinku ZPS ( GD-ZnAl4Cu1) v závislosti na střední tloušťce stěny odlitku, teplotě formy před odlitím a rychlosti proudění taveniny do dutiny formy [2]

Teplota [°C]	Středním tloušťka odlitku	Rychlost vstřikování taveniny [m/s]					
		3		5		10	
		Doba lití [ms]	Délka toku [mm]	Doba lití [ms]	Délka toku [mm]	Doba lití [ms]	Délka toku [mm]
160	1	10	30	9	45	7	70
	2	26	78	22	110	17	170
	3	52	156	44	220	32	320
	4	85	255	69	345	50	500
	5	121	363	98	490	68	680
	6	163	489	129	645	87	870

**Optimální rychlost proudění taveniny v zářezích pro různé slitiny v závislosti na tloušťce zářezu [2]**



## Ukázky z kapitoly 6

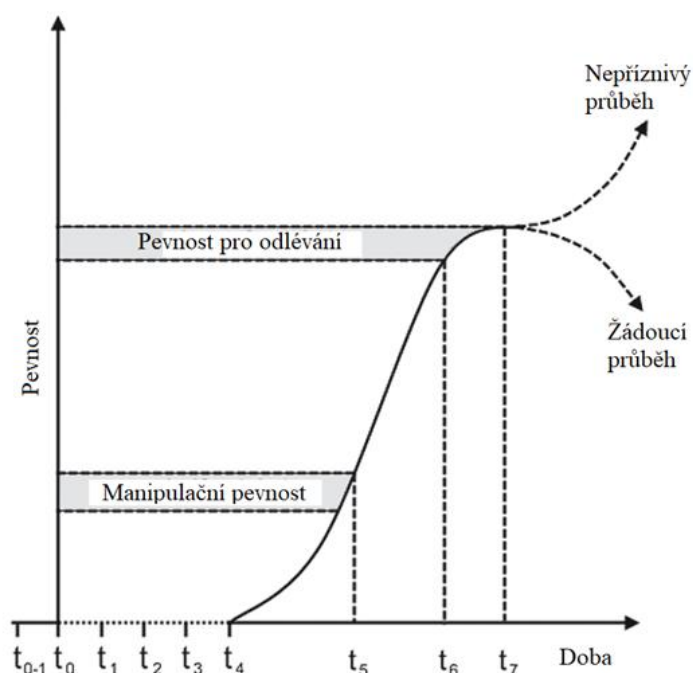
### Porovnání vybraných vlastností speciálních písků [4,22]

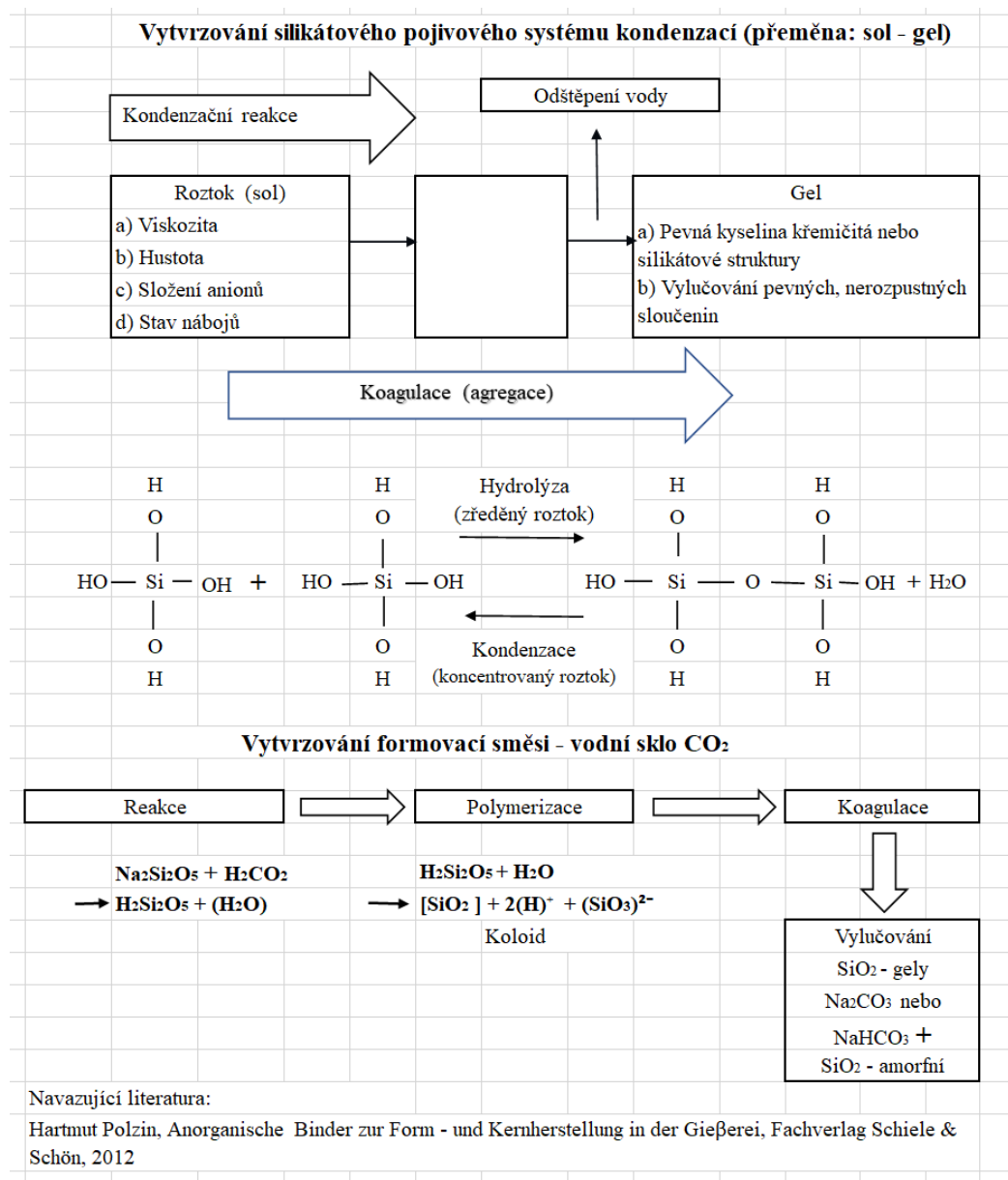
Materiál	Hustota	Tvar zrna	Koeficient lineární roztažnosti			Tepelná vodivost	Nasákavost
	[g/cm³]		[α 10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup> ]			[W/mK]	vodou
			20 - 300°C	20 - 600°C	20 - 800°C	100 - 1000°C	[%]
Křemen	2,65	Polokulaté	14	23	17	0,32 - 0,76	0,77
Kerphalit	3,13	Hranaté	5,3	6,5	7,0	0,26 - 0,55	0,84
Chromová ruda	4,7	Hranaté	7,1	7,5	7,5	0,35 - 0,65	0,15
Bauxit	3,31	Kulaté	6,2	7,2	7,4	0,35 - 0,50	0,27
Zirkon	4,6	Ostrohranné	3,4	4,1	4,5	0,31 - 0,57	0,18
Cerabeads	2,86	Kulaté	3,5	4,0	4,3	0,24 - 0,50	1,11
Mullit	3,11	Hranaté	4,2	4,5	4,8	0,26 - 0,55	0,25

Příklad výpočtu čísla zrnitosti AFS pomocí AFS multiplikátoru

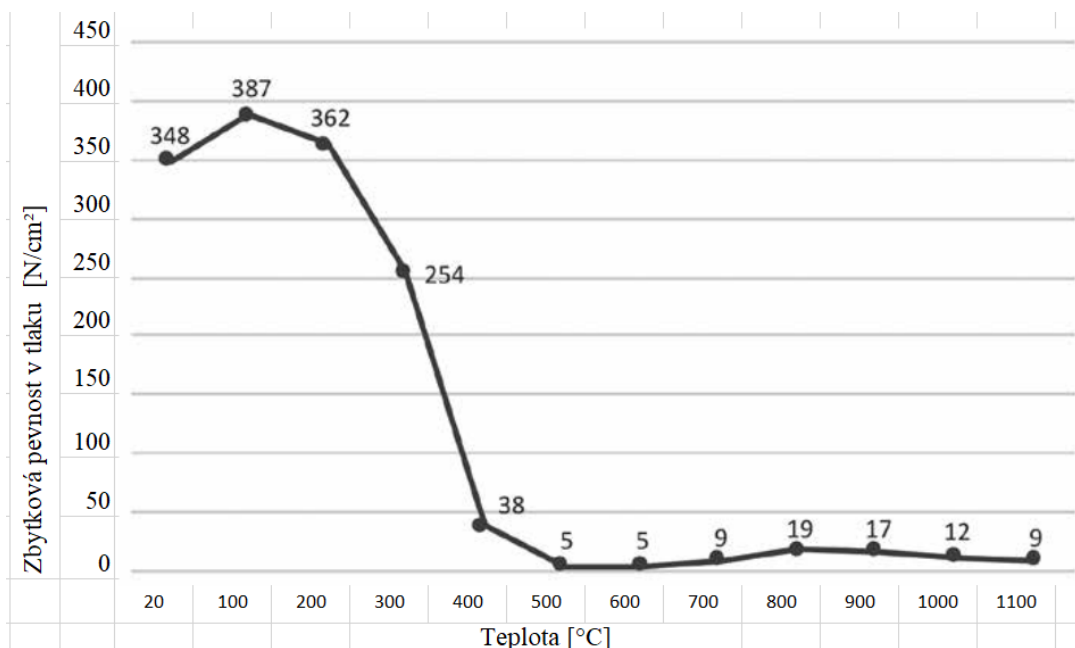
Průměrné zrna [mm]	Hmotnostní podíl průměrných zrn [g]	Násobič	Výsledek: hmotnostní podíl * multiplikátor
1 - 0,71	0,55	15	8,25
0,71 - 0,5	5,70	25	142,50
0,5 - 0,355	12,30	35	430,50
0,355 - 0,25	32,60	45	1 467,00
0,25 - 0,18	18,20	60	1 092,00
0,18 - 0,125	4,50	81	364,50
0,125 - 0,09	1,10	118	129,80
0,09 - 0,063	0,20	164	32,80
0,063 - 0,020	0,15	275	41,25
Součet	75,30		3708,60
AFS koeficient = $\frac{3\,708,60}{75,30} = 49,25$			

- t<sub>c-1</sub> Počátek mísení (ostřívo + tvrdidlo)
- t<sub>c</sub> Začátek reakce (přísada pojiva)
- t<sub>1</sub> Konec doby mísení
- t<sub>2</sub> Doba zpracování
- t<sub>3</sub> Maximální doba zpracování
- t<sub>4</sub> Počátek objemového vytvrzování
- t<sub>5</sub> Doba vyjmutí modelu
- t<sub>6</sub> Doba vhodná pro odlévání
- t<sub>7</sub> Maximální pevnost





**Obr. 5: Zbytková pevnost v tlaku při obsahu pojiva 1,75 % v závislosti na teplotě**





# Technologie PUR-Cold-box [4]

## Příprava směsi:

Ostrivo +  
Fenolresol + MDI

## Zhutňování, formování:

Vstřelování  
Pěchování  
Vibrování

## Profukování

amin/vzduch  
Vytvrzování

## Jádra

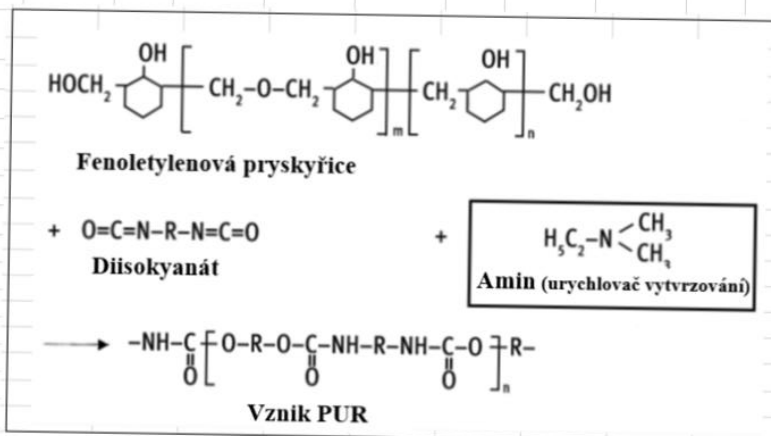
Propláchnutí  
Odsávání

## Likvidace

přebytečného  
plynu v pračce  
kyselinou

V praxi se používají následující vstupní suroviny.

Pojivo:	Fenolresol, 50 - 60 % kapalná směs.
Aktivátor:	Polysokyanát, zpravidla dimethylmetan - 4,4 - dizokyanát (MDI), rozpuštěný v rozpouštědle.
Katalyzátor:	Amin, jako triethylamin/TEA, dimethylisopropylen (DMIA), dimethylethylamin (DMEA), dimeethyl-n-propylamin (DMPA).



Dávkování - vztaženo na  
hmotnost ostřiva

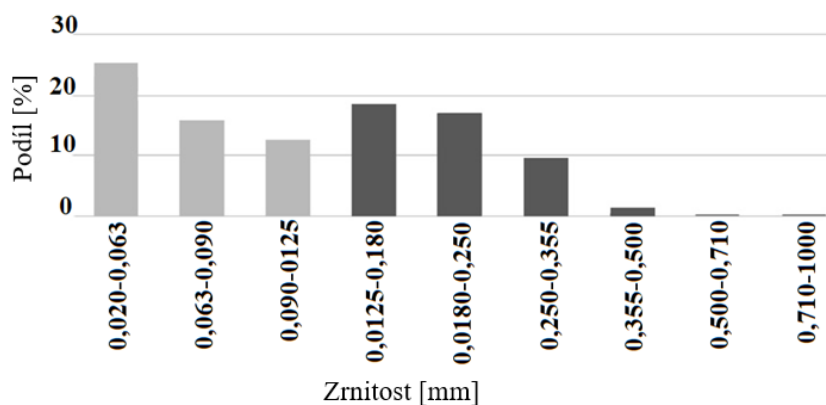
Pojivo	0,5 - 1,0 %
Aktivátor	0,5 - 1,0 %
Katalyzátor	0,02 - 0,1 %

Technologie PUR-Cold-box  
Rovnice reakce

Krátká bilance formovací směsi v přehledu pro slévárny železných kovů [

	Praktický obsah běžně používané formovací směsi		Hraniční hodnota	Možné vady odlitků
	[%]			
	min.	max.		
Fluor	0,01	0,052	0,035	Hrubý (zjizvený) povrch, výpotky (rybí oči)
Dusík	0,04	0,12	0,09	Pinhole, bodliny
Síra	0,05	0,09	0,07	Oduhličení
Obsah vyplavitelných látek	0,2	2,9	2,5	Bublinky způsobené vodou obsaženou ve vyplavitelných látkách
Dusík v prachových podílech z filtru	0,3	0,9	Dle přídatku prachových podílů z filtrů do formovací směsi	

Rozložení, zrnitost odpadu z filtrů, střední zrno 0,14 mm [2]



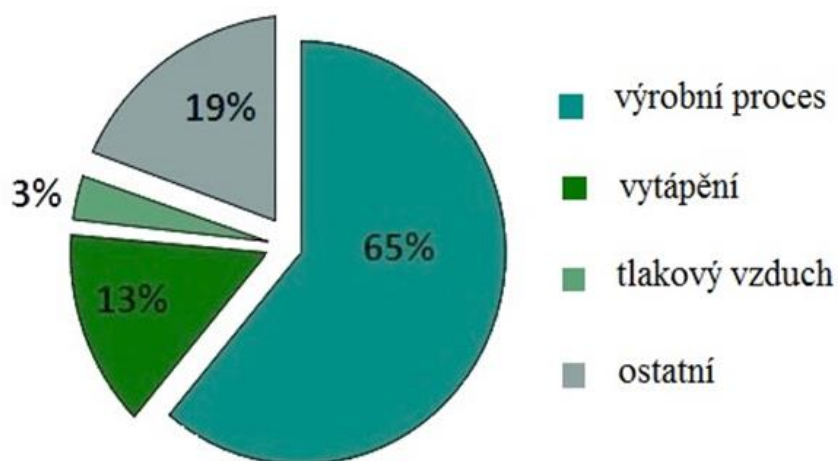


## Ukázky z kapitoly 7

Spotřeby energie pro tavení [2, 6, 12]

Typ pece	Materiál	Spotřeba energie k tavení	Celková spotřeba energie při tavení včetně vedlejší spotřeby (příprava vsázky, chlazení atd..)
		[kWh/t tekutý kov]	[kWh/t tekutý kov]
Studenovětrná kupolová pec	litina	1105-1275	1342
Horkovětrná kupolová pec	litina	765-1148	1271
Oblouková pec	nelegovaná ocel	500	-
Nízkofrekvenční indukční pec	litina	500-550	727
Středofrekvenční indukční pec	litina	491-520	657

Měrné spotřeby energií ve slévárnách železných kovů [6]



Termočlánky z ušlechtilého kovu

Rozsah měření	Positivní kov (vodič)	Negativní kov (vodič)
-270 až -230 °C	Cu	AuFe0, 0,2at %
-270 až 0 °C	Cu	AuCo2, 1at %
0 až 700 °C	PtIr10	AuPd40
0 až 1200 °C	PtPd12,5	AuPd46
0 až 1200 °C	Pd83Pt14Au3	AuPd35
850 až 1600 °C	PtRh10	Pt
1000 až 1800 °C	PtRh30	PtRh6
1000 až 2200 °C	RhIr60	Ir

## Struska a prach jako vedlejší produkt tavení v kupolových pecích

Struska		Prachové emise	
<i>Množství strusky</i>		<i>Množství prachu</i>	5-13 kg/t <sub>Fe</sub>
4-8%/40-80 kg/t <sub>Fe</sub>			
<i>Analýza strusky</i>		<i>Analýza prachových podílů</i>	
SiO <sub>2</sub>	45-55%	Oxid železitý (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , a jiné)	30-60%
CaO	25-40%	SiO <sub>2</sub> (také jako Fe <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub> )	cca 25%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8-20%	Otěr koksu / Uhlík (také ztráta žiháním)	3-15%
MgO	1-3%	MnO	3-10%
MnO	1-4%	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1-3%
FeO	1-6%	MgO	1-3%
Ca+FeS+MnS	-1%	CaO	<1%
TiO <sub>2</sub>	-1%	ZnO (podle vsázky)	do 3% (max. 20%)
ZnO	-1%	PbO a těžké kovy	< 1%
		Síra	do 2%
		Alkalické oxidy rozpustné ve vodě Na <sub>2</sub> O, K <sub>2</sub> O z popele z koksu	0,3 – 5%
		Sírany rozpustné ve vodě	0,3 – 5%
		Velikost zrna < 10 μm *)	KW 20% HW 30%
		Velikost zrna < 100 μm*)	KW 50% HW 70%
		Velikost zrna ZnO	0,01 – 3 μm

\*) KW - Studenovětrná kupolová pec      HW – Horkovětrná kupolová pec

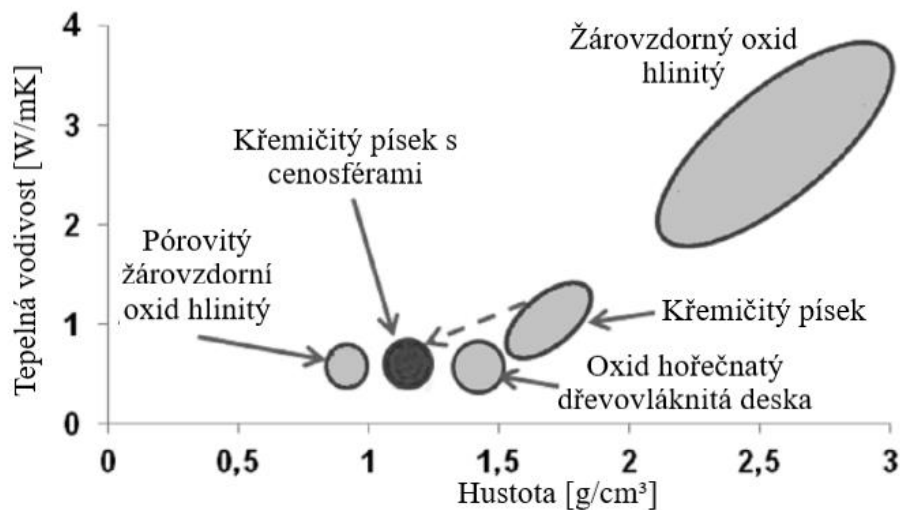
### Příklad použití QuickDry (QD) - materiálu [21]:

#### Kanálková indukční pec 115 t / induktor 1.200 kW

Materiál odlitků:	GJS/GJL
Doba zhotovení vyzdívky:	18 dnů
Materiál vyzdívky:	52 t/pec
Životnost vyzdívky:	300.000 t – tekutý kov, který prošel pecí za 24 měsíců
Hořák předehřevu:	1.200 kW – výkon hořáku
Spotřeba energie	
Předehřev:	60.000 kWh
Úspora energie proti obvyklým žárovzdorným materiálům:	43.000 KWh (41 %)

#### Množství vody spotřebované:

Na výdusku:	1780 l      odpovídá 4,84% vody
-------------	---------------------------------



Obr. 2 Znázorňuje závislost tepelné vodivosti a hustoty různých žárovzdorných komponent při pokojové teplotě.

## Ukázky z kapitoly 8



## Uhlíkový ekvivalent CE (angl.: Carbon Equivalent)

$$CE = C[\%] + \frac{Si[\%] + P[\%]}{3}$$

CE = 4,3 odpovídá eutektickému složení

Stupeň nasycení  $S_c$

charakteristická veličina k poloze eutektického bodu

$$S_c = \frac{C[\%]}{4,23 - 0,31 \times Si[\%] - 0,33 \times P[\%] + 0,07 \times Mn[\%]}$$

$S_c = 1,0$  eutektické složení litiny

$Sc > 1,0$  nadeutektické složení

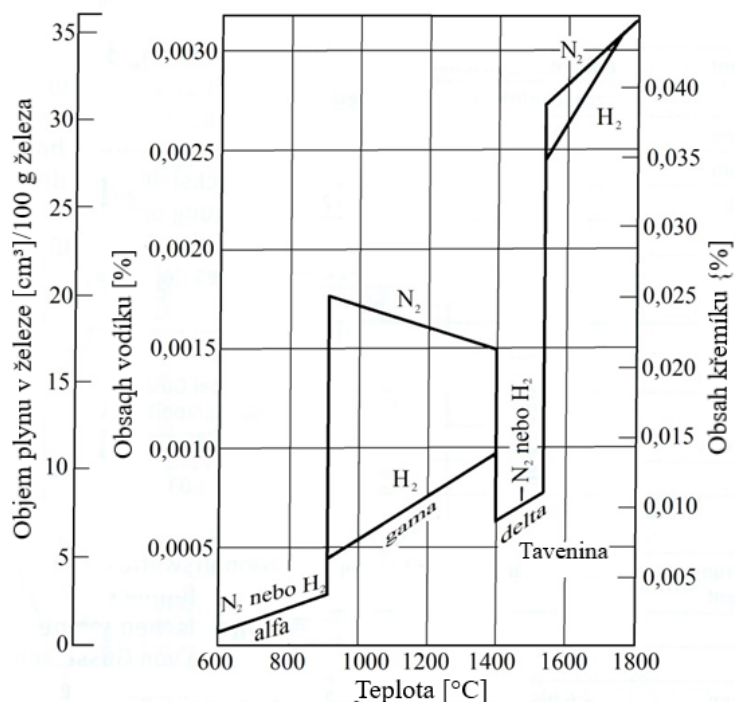
$Sc < 1,0$  podeutektické složení

### Rozpustnost dusíku a vodíku čistém železe v pevném a tekutém stavu [8]

Rozpustnost vodíku je asi 15krát nižší než rozpustnost dusíku. Vzhledem k rozdílu v hustotě je objem plynu, který se rozpustí během tuhnutí srovnatelný.

Rozpustnost vodíku a dusíku se s použitím legerů podstatně mění

### Rozpustnost dusíku a vodíku [9,10]

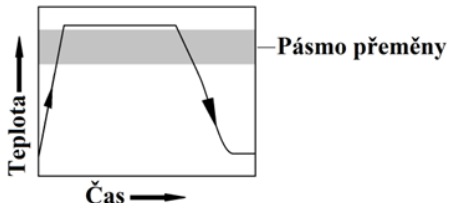


### Termofyzikální vlastnosti litin

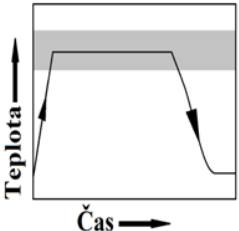
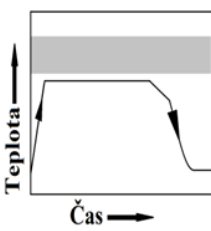
Fyzikální vlastnost	Při pokojové teplotě	Při teplotě solidu	V intervalu tuhnutí	V tekutém stavu
Tepelná vodivost [W/km]	30-50	25-30	Relativně konstantní	25-35
Měrné teplo [J/kgK]	460-700	850-1050	Klesající	800-950
Hustota [kg/m³]	6900-7400	6750-7350	Smršťování / expanze	6700-7300
Viskozita [mm²/s]	$\infty$		Velmi silné snižování	0,5-0,8
Modul pružnosti [GPa]	80-160	60-100	Neexistuje	
Tepelná roztažnost [ $\mu\text{m}/\text{m}^\circ\text{C}$ ]	XI.14	17-22	nenadále stoupající	x
Entalpie tavení [kJ/kg]	x	x	180-240	x

## Tepelné zpracování litin

### Žihání na rozpad karbidů

Rozpad karbidů žiháním	Litina s lupinkovým grafitem	Litina s kuličkovým grafitem
Rychlost ohřevu	50 do 100 K/h	
Teplota zpracování	850 do 950°C	850 do 920°C
Výdrž na tloušťku stěny	2 h do 25 mm + 1 h na dalších 25 mm	
Ochlazení	Na vzduchu nebo v peci (40 do 60 K/h), pokud nebude následovat feritizace (při ochlazení v peci může dojít k feritizaci)	
Diagram tepelného zpracování		

### Feritizační žihání

Feritizace	Feritizace v rozsahu teplot přeměny	Podkritická feritizace
Rychlost ohřevu	50 do 100 K/h	
Teplota zpracování	740 do 780°C	680 do 700°C
Výdrž	4 až 12 h	4 až 24 h
Ochlazení	Na vzduchu nebo v peci (40 až 60 K/h)	V peci (20 až 50 K/h) na 580°C, poté ochlazení na vzduchu nebo v peci (50 až 60 K/h)
Diagram tepelného zpracování		

### Vlastnosti odlitků z ADI litiny kvality EN-GJS-800 a EN-GJS-1200-2

Vlastnosti ADI litiny kvality EN-GJS-800-8				
HB	Rm	Rp0,2	A5	KV
	[MPa]	[MPa]	[%]	[J]
311	1001	772	7,9	Neznámo
Vlastnosti ADI litiny kvality EN-GJS-1200-2				
HB	Rm	Rp0,2	A5	KV
	[MPa]	[MPa]	[%]	[J]
388	1361	1110	4,6	Neznámo

## Vlastnosti a použití austenitických druhů litin dle EN 13835, 2012

Označení materiálu		Vlastnosti	Použití
Zkrácené značení	Číslo		
Obvyklé značky			
EN-GJLA-XNiCuCr15-6-2	5.1500	Dobrá odolnost proti korozi, obzvláště proti alkáliím, zředěným kyselinám, mořské vodě a solným roztokům; dobrá žárovzdornost, dobré frikční vlastnosti, vysoký součinitel tepelné roztažnosti při nízkém obsahu chromu, materiál je nemagnetický.	Čerpadla, ventily, komponenty pro stavby pecí, pouzdra, pístní kroužky pro písty z lehkých slitin, nemagnetické odlitky.
EN-GJSA-XNiCr20-2	5.3500	Dobrá odolnost proti korozi a vysokým teplotám. Dobré frikční vlastnosti, vysoký součinitel tepelné roztažnosti při nízkém obsahu chromu, nemagnetický Zvýšená pevnost za vysokých teplot při obsahu Mo nad 1%.	Čerpadla, ventily, kompresory, pouzdra, tělesa turbodmychadel, výfuková potrubí, nemagnetické odlitky.
EN-GJSA-XNiMn23-4	5.3501	Vysoká tažnost. Dobrá houževnatost do teploty až 196 °C. Materiál je nemagnetický.	Odlitky pro chladičství, použití do -196 °C.
EN-GJSA-XNiCrNb20-2	5.3502	Vhodná pro technologické svařování, ostatní vlastnosti jako u EN-GJSA-XNiCr20-2.	Jako u EN-GJSA-XNiCr20-2

## Ukázky z kapitoly 9

**Tabulka 1: Rozměry zkušebních těles pro zkoušku tahem**

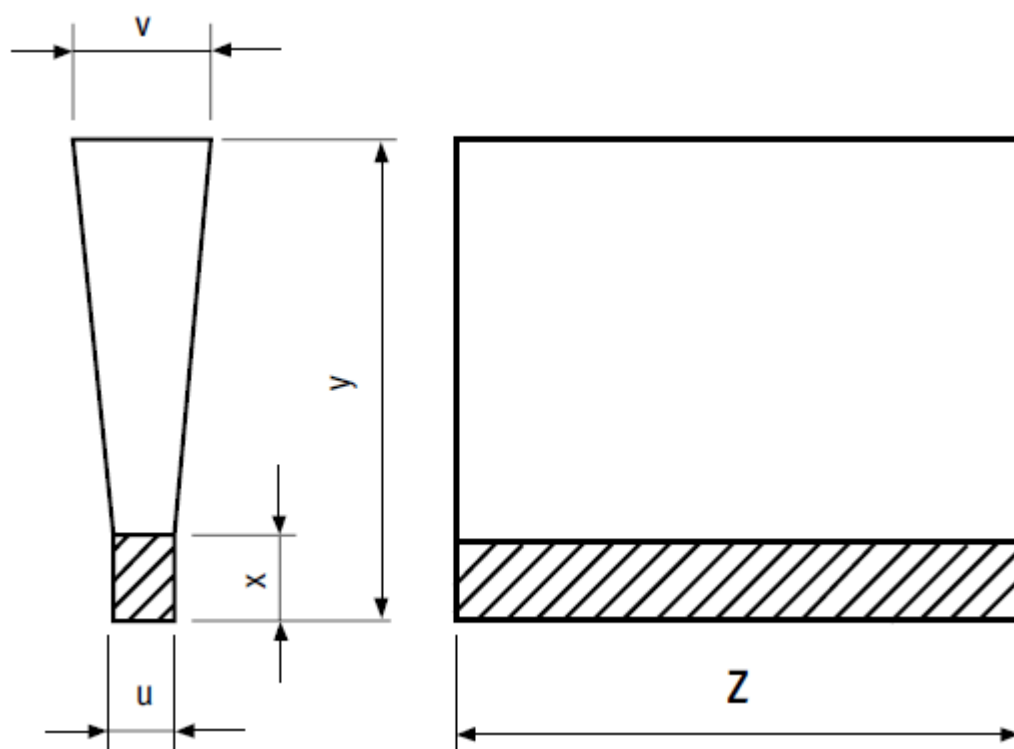
Průměr da	Závit pro tělesa se závitovou hlavou d2	Délka závitu Ls	Průměr d1 pro hladké hlavy	Celková délka zkušebních tyčí se závitovou hlavou
[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
6±0,1	M 10	13	8	46
8±0,1	M 12	16	10	53
10±0,1	M 16	20	12	63
12,5±0,1	M 20	24	15	73
16±0,1	M 24	30	20	87
<b>20±0,1</b>	<b>M 30</b>	<b>36</b>	<b>23</b>	<b>102</b>
25±0,1	M 36	44	30	119
32±0,1	M 45	55	40	143
<i>Poznámka 1 : <math>L_p &gt; L_s</math>, musí odpovídat upínacímu zařízení</i>				
<i>Poznámka 2: Tučně vtištěné rozměry jsou upřednostňovány</i>				

**Tabulka 2: Pevnosti v tahu odlitků zhotovených z litiny s lamelárním grafitem zjišťovaných na zkušebních tělesech, která byla zhotovena mechanickým opracováním dle DIN EN 1561**

Označení materiálu		Směrodatná tloušťka stěny t		Minimální pevnosti v tahu <sup>a)</sup> Rm hodnoty, které je nutno dodržovat
		[mm]	[mm]	
Zkrácená značka	Číslo	>	<	MPa
EN-GJL-100	5.1100	5	40	<b>100</b>
EN-GJL-150	5.1200	2,5 <sup>b)</sup>	50	<b>150</b>
		50	100	130
		100	200	110
EN-GJL-200	5.1300	2,5 <sup>b)</sup>	50	<b>200</b>
		50	100	180
		100	200	160
EN-GJL-250	5.1301	5 <sup>b)</sup>	50	<b>250</b>
		50	100	220
		100	200	200
EN-GJL-300	5.1302	10 <sup>b)</sup>	50	<b>300</b>
		50	100	260
		100	200	240
EN-GJL-350	5.1303	10 <sup>b)</sup>	50	<b>350</b>
		50	100	310
		100	200	280



**Zkouška pevnosti v tahu dle DIN EN 1563 (duben 2019) pro litinu s kuličkovým grafitem**  
*Odděleně nebo přilítá zkušební tělesa – Y zkušební těleso*



**Zkouška tvrdosti dle Brinella**

Symbol	Jednotka	Název
D	[mm]	Průměr kuličky
F	[N]	Zatěžovací síla
d	[mm]	Sřední průměr vtisku = $\frac{d_1 + d_2}{2}$
h	[mm]	Hloubka vtisku = $\frac{D - \sqrt{D^2 - d^2}}{2}$
Tvrdost	HWB	Tvrdost podle Brinella
		= konstanta x $\frac{\text{Zatěžovací síla}}{\text{Plocha vtisku}}$
		= 0,102 x $\frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$
Poznámka: Konstanta = $\frac{1}{g_n} = \frac{1}{9,980665} = 0,102$		

**Zkouška tvrdosti podle Vickerse**  
*Zkoušení na zakřivených plochách*

Rozsah pro makrotvrdosti		Rozsah pro malé síly		Rozsah pro mikrotvrdosti <sup>2)</sup>	
Symbol tvrdosti	Zatěžovací síla F	Symbol tvrdosti	Zatěžovací síla F	Symbol tvrdosti	Zatěžovací síla F
	[N]		[N]		[N]
x	x	x	x	HV 0,001	0,09807
x	x	x	x	HV 0,002	0,147
x	x	x	x	HV 0,003	0,1961
x	x	x	x	HV 0,005	0,2452
HV 5	49,3	HV 0,2	1,961	HV 0,01	0,09807
HV 10	98	HV 0,3	2,942	HV 0,015	0,147
HV 20	7	HV 0,5	4,903	HV 0,02	0,1961
HV 30	196,1	HV 1	9,807	HV 0,025	0,2452
HV 50	294,2	HV 2	19,61	HV 0,05	0,4903
HV 100 <sup>1)</sup>	980,7	HV 3	29,42	HV 0,1	0,9807

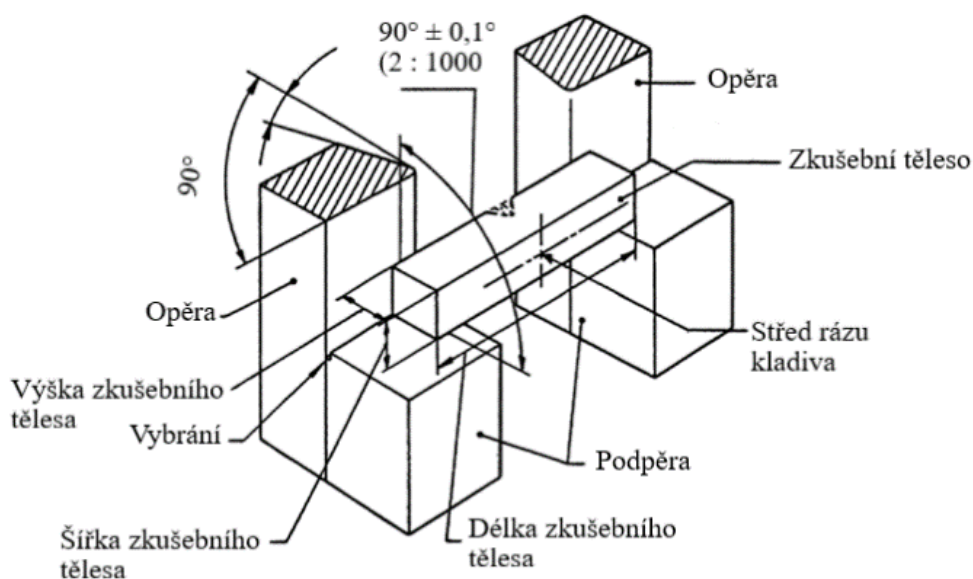
<sup>1)</sup> Zatěžovací síly > 980,7 N mohou být použity

**Konstanty dle stupnic zkušební metody dle Rockwella**

Symbol	Název
HRA	Tvrdost dle Rockwella = $100 - \frac{h}{0,002}$
HRC	
HRD	
HRB	Tvrdost dle Rockwella = $130 - \frac{h}{0,002}$
HRE	
HRF	
HRG	
HRH	
HRK	
HRN	Tvrdost dle Rockwella = $100 - \frac{h}{0,001}$
HRT	

## Rázová zkouška v ohybu dle Charpy

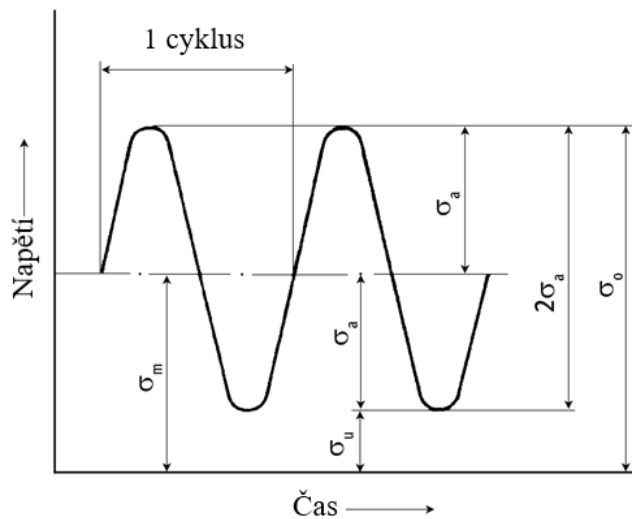
Dispozice zkoušky, uložení, opěra [11]



Obr. 2: Tvary zkušebních těles pro stanovení lomové houževnatosti

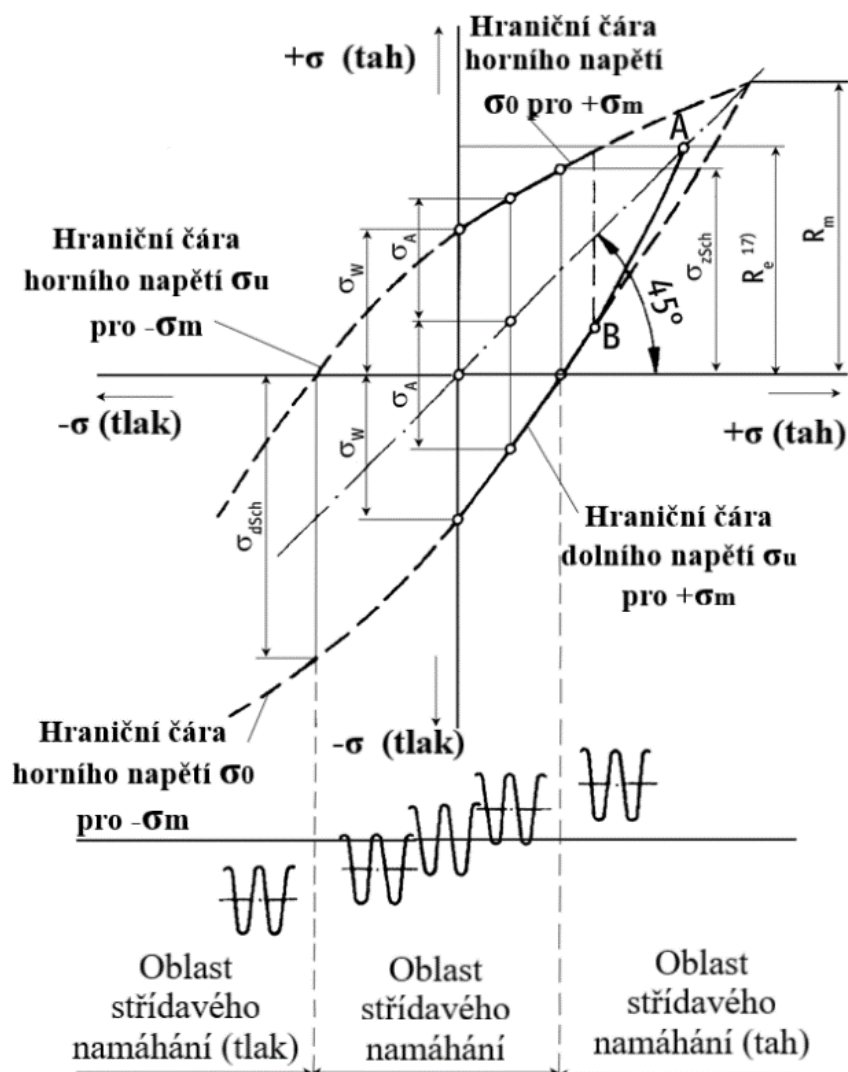
Typ	Zkratka	Charakteristika	Tvar zkoušky	Minimální rozměry
Tří-bodová zkouška	3PB	Zkušební těleso je hranol s jednostranným vrubem na delší menší straně		$\left. \begin{array}{l} a \geq 2,5 \\ B \geq 2,5 \\ W \geq 5,0 \end{array} \right\} \cdot \left( \frac{K_{Ic}}{R_{eS}} \right)^2$ $S = 4 \cdot W$ $L \geq 4,2 \cdot W$
Kompaktní zkouška v tahu, kvadratická	CT	Kvadratické krychli blízké zkušební těleso pro zkoušku v tahu s bočním vrubem a k tomu připojené dva symetrické vývrty pro přívod zatěžující síly		$\left. \begin{array}{l} a \geq 2,5 \\ B \geq 2,5 \\ W \geq 5,0 \end{array} \right\} \cdot \left( \frac{K_{Ic}}{R_{eS}} \right)^2$ $W = 2 \cdot B$ $L = 2,4 \cdot B$ $S = 1,1 \cdot B$
Kompaktní zkouška v tahu, kruhová	RCT	Kruhové zkušební těleso pro zkoušku v tahu s radiálně umístěným vrubem a k tomu připojené dva symetrické vývrty pro přívod zatěžující síly		$\left. \begin{array}{l} a \geq 2,5 \\ B \geq 2,5 \\ W \geq 5,0 \end{array} \right\} \cdot \left( \frac{K_{Ic}}{R_{eS}} \right)^2$ $S = 0,41 \cdot D$ $D = 2,7 \cdot B$ $W = 0,74 \cdot D$

**Obr. 1: Diagram napětí – čas při únavové zkoušce (schéma)**



$\sigma_o$  = Horní napětí  
 $\sigma_m$  = Střední napětí  
 $\sigma_u$  = Dolní napětí  
 $\sigma_a$  = Amplituda napětí  
 $2\sigma_a$  = Oscilační rozsah intenzity napětí

**Obr. 4: Smithův únavový diagram** (schéma) Měřítka pro úsečky a souřadnice je shodné [16]



$\sigma_m$  = Střední napětí cyklu

$R_e$  = Mez kluzu

$\sigma_A$  = Mezní amplituda napětí

$R_m$  = Pevnost v tahu

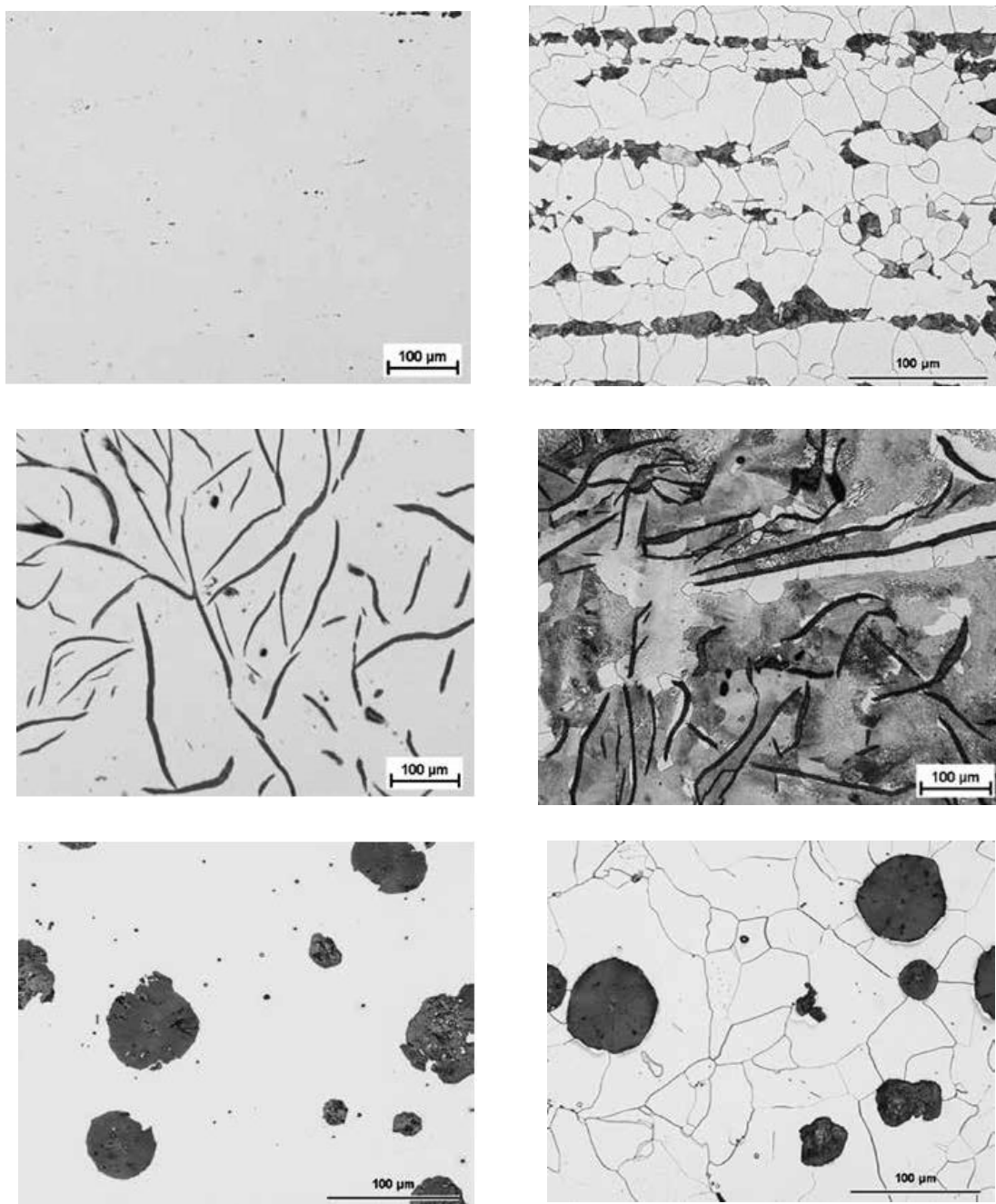
$\sigma_0$  = Horní napětí na mezi únavy

$\sigma_w$  = Mez únavy při střídavém napětí

$\sigma_{Sch}$  = Pevnost při mívivém napětí

$\sigma_u$  = Dolní napětí na mezi únavy

## Ukázky z kapitoly 10



**Obrázek 3: Porovnání leptaných a neleptaných vzorků [3]**

*Nahoře: Ocel*

*Střed: Litina s lamelárním grafitovým dnem*

*Dole: Litina s kuličkovým grafitem*

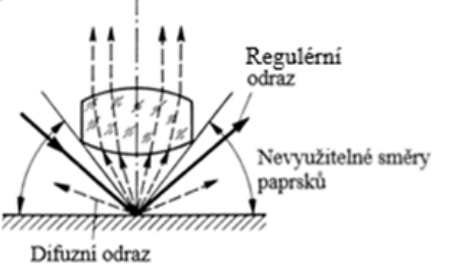
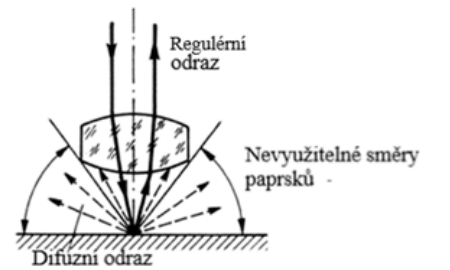
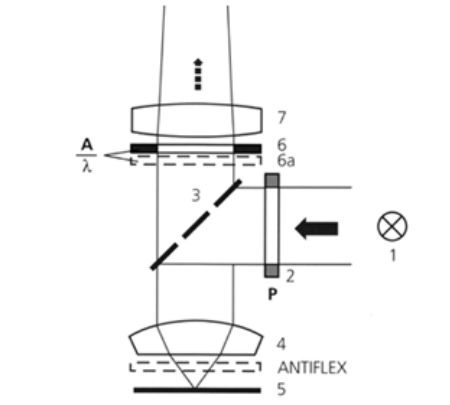
### Tabulka 1: Vybraná leptací činidla pro železné kovy

S použitím [1, 4–10]

Pozor! Kyselina pikrová, kyselina šťavelová a leptací činidla obsahující fluorid vyžadují zvláštní bezpečnostní opatření

Určeno pro	Název - složení - účinek - použití
Nelegované oceli, litiny	<p>90 ml etanol <math>C_2H_5OH</math></p> <p>10 ml kyselina dusičná <math>HNO_3</math> 65 %</p> <p>Leptat několik sekund při pokojové teplotě</p> <p>► Makroleptání, vizualizace segregace, nauhličené a oduhličené povrchy</p>
Nelegované oceli, nízkolegované oceli, mikrolegované oceli, tvrdé manganové oceli	<p>100 ml <math>H_2O</math> destilovaná</p> <p>10 g peroxodisíran amonný <math>(NH_4)_2S_2O_8</math></p> <p>Leptaný povrch, vybroušené plochy důkladně protřít vatou</p> <p>► Makroleptání, kontrola svarů</p>
Nelegované oceli, legované ocelolitiny	<p>Leptací činidlo podle Oberhofferů:</p> <p>500 ml <math>H_2O</math> destilovaná</p> <p>500 ml ethanol <math>C_2H_5OH</math></p> <p>30 ml kyselina chlorovodíková <math>HCl</math> 32 %</p> <p>30 g chlorid železitý <math>FeCl_3</math></p> <p>0,5 g chlorid cínatý <math>SnCl_2</math></p> <p>0,1 g chlorid měďnatý <math>CuCl_2</math></p> <p>Leptání leštěného povrchu, při pokojové teplotě, poté opláchnout směsí ethanol - <math>HCl</math> (4:1)</p> <p>► Detekce segregovaného fosforu, vizualizace průběhu vláken, silnější účinek v nízkolegovaných oblastech-tmavý</p>
Legované oceli	<p><i>Sauveur</i>:</p> <p>30 ml <math>H_2O</math> destilovaná</p> <p>20 ml kyselina sírová <math>H_2SO_4</math> 95–97%</p> <p>10 ml kyselina chlorovodíková <math>HCl</math> 32 %</p> <p>► Makroleptání</p>
Vysoce legované korozivzdorné oceli	<p><i>Adler</i>:</p> <p>a) 25 ml <math>H_2O</math> destilovaná</p> <p>3 g dihydrát tetrachlorměďnan amonný (II) <math>(NH_4)_2CuCl_4 \cdot 2 H_2O</math></p> <p>b) 50 ml kyselina chlorovodíková <math>HCl</math> 32 %</p> <p>15 g chlorid železitý <math>FeCl_3</math></p> <p>Roztok b) přidat k roztoku a), po leptání dokonale broušenou plochu pod vodou opláchnout</p> <p>► Makroleptání, leptání povrchu zrn</p>



<p>Zobrazení ve světlém poli (HF)</p> 	<p>– Standardní metoda:</p> <p>– Dopadající světlo prochází čočkou a dopadá kolmo na povrch vzorku</p> <p>– Regulérní odraz na hladkých plochách povrchu kolmých k dopadu světla se zobrazí jako světlé</p> <p>– Šikmé nebo zdrsňené oblasti zůstávají tmavé, protože světlo je rozptýleno difúzně</p>
<p>Zobrazení v tmavém poli (DF)</p> 	<p>– Speciální metoda:</p> <p>– Je vhodná pro posouzení kvality výbrusu nebo pro detekci Cu (I) oxidů, které v tmavém poli se rozsvítí v granátově červené barvě</p> <p>– Dopadající světlo dopadá na povrch vzorku pod úhlem</p> <p>– Pravidelný odraz na drsných nebo šikmých plochách se zobrazuje jako světlé</p> <p>– Hladké plochy se zobrazují tmavě, difúzní rozptyl</p>
<p>Zobrazení v polarizovaném světle (POL)</p> 	<p>– Speciální metoda:</p> <p>– Je vhodná pro kontrolu přípravy vzorku nebo pro detekci nekubických substancí</p> <p>– Světlo dopadá na povrch vzorku kolmo (5), ale nejprve projde polarizátorem (2)</p> <p>– Nekubické (opticky anizotropní) strukturní části výbrusu mění polarizační stav světla, odražené světlo prochází čočkou (4) a je částečně přenášeno analyzátozem (6)</p> <p>– V důsledku toho se nekubické látky rozsvítí, zatímco kubické oblasti zůstávají tmavé</p>

Obr. 7: Principy funkce některých vybraných metod pro zkoumání pomocí světelné mikroskopie podle [1, 2, 11]

Konec prezentace