

# OBSAH

Obsah .....	7
<b>A. ÚVOD (Antonín Smrček) .....</b>	<b>15</b>
Literatura ke kapitole A. ....	18
<b>B. PROCESY PŘI TAVENÍ SKLA (Josef Matoušek a kol.) .....</b>	<b>19</b>
<b>B. 1. První etapy tavicího procesu ( František Novotný) .....</b>	<b>19</b>
1.1. Procesy při ohřevu kmene .....	19
1.2. Reakce mezi hlavními surovinami .....	22
1.3. Vysokoteplotní fázové a chemické rovnováhy .....	25
1.4. Interakce tavenin s pevnými částicemi .....	29
1.5. Základní průmyslově vyráběné skloviny .....	33
1.6. Struktury v tavicím se kmeni .....	41
Literatura k části B.1 .....	45
<b>B. 2. Čeření skel (Lubomír Němec) .....</b>	<b>48</b>
2.1. Mechanismus a chemismus čeřícího procesu. ....	48
2.2. Rozpouštění a transport technologicky významných plynů ve skelné tavenině .....	52
2.3. Základní vztahy popisující proces odstraňování bublin a modelování čeřícího procesu .....	57
2.4. Vliv parametrů čeřícího procesu na jeho průběh .....	64
2.5. Základní používaná čeřící činidla a zkušenosti s jejich použitím .....	77
2.6. Netradiční způsoby odstraňování bublin z roztavených skel .....	83
Literatura k části B.2 .....	89
<b>B. 3. Oxidačně redukční děje při tavení skel (Jaroslav Kloužek) .....</b>	<b>91</b>
3.1. Oxidačně redukční rovnováhy ve sklovinách .....	92
3.2. Rovnovážné konstanty oxidačně redukčních reakcí .....	94
3.3. Závislost rovnovážného redox poměru na složení skloviny .....	96
3.4. Oxidačně redukční rovnováha síry .....	99
3.5. Oxidačně redukční děje významné pro tavení skel .....	106
3.6. Kyslíkové sondy pro měření redox stavu skel .....	115
3.7. Alternativní metody charakterizace redox stavu skel .....	117
Literatura k části B.3 .....	119
<b>B. 4. Vypařování těkavých složek (Josef Matoušek) .....</b>	<b>121</b>
4.1. Těkání při tavení sklářského kmene .....	121
4.2. Těkání ze silikátových tavenin .....	125
4.3. Produkty těkání při průmyslovém tavení .....	134
4.4. Modelové výpočty těkání .....	135
Literatura k části B.4 .....	144

<b>B. 5.</b>	<b>Homogenizace (František Novotný)</b> .....	145
5.1.	Nehomogenita .....	145
5.2.	Difúze .....	149
5.3.	Proudění a homogenita .....	149
5.4.	Míchání .....	153
5.5.	Metody ke stanovení nehomogenity .....	159
	Literatura k části B.5 .....	160
<b>C.</b>	<b>ŽÁROVZDORNÉ MATERIÁLY PRO SKLÁŘSKÉ PECE (Greta Nováková)</b> ...	163
<b>C. 1.</b>	<b>Vlastnosti žárovzdorných materiálů</b> .....	163
<b>C. 2.</b>	<b>Druhy žárovzdorných materiálů pro sklářství</b> .....	170
2.1.	Elektrotavené materiály .....	171
2.2.	Šamot a vysocehlinité materiály .....	182
2.3.	Speciální žárovzdorné materiály .....	186
2.4.	Zásadité materiály .....	190
2.5.	Křemičité materiály .....	192
2.6.	Žárovzdorné kovy .....	194
2.7.	Žáromateriály netvarové .....	199
2.8.	Tepelně izolační materiály .....	204
<b>C. 3.</b>	<b>Chování žárovzdorných materiálů ve sklářské peci</b> .....	208
3.1.	Teorie koroze ve sklovině .....	208
3.2.	Koroze materiálů ve styku se sklovinou .....	213
3.3.	Koroze ve vrchní stavbě .....	215
3.4.	Koroze v regeneračních komorách .....	217
<b>C. 4.</b>	<b>Praktické příklady použití žáromateriálů</b> .....	220
4.1.	Bazén .....	220
4.2.	Vrchní stavba .....	223
4.3.	Hlavní klenba .....	225
4.4.	Regenerační komory .....	228
	Literatura ke kapitole C .....	230
<b>D.</b>	<b>TEPELNÁ TECHNIKA SKLÁŘSKÝCH TAVICÍCH PECÍ</b>	
	(Antonín Smrček a kol.) .....	233
<b>D. 1.</b>	<b>Požadavky na sklářské pece (Antonín Smrček)</b> .....	233
<b>D. 2.</b>	<b>Paliva a spalování (Jiří Gabriel)</b> .....	234
2.1.	Paliva .....	234
2.2.	Spalování .....	235
<b>D. 3.</b>	<b>Přestup tepla ve sklářské peci (Jiří Gabriel)</b> .....	238
3.1.	Mechanismy sdílení tepla ve sklářské peci .....	239
3.2.	Pochody v tavicím prostoru sklářské vanové pece .....	249
3.3.	Tepelná bilance sklářského tavicího agregátu .....	255

<b>D.4.</b>	<b>Proudění a teplotní pole ve sklovině ve vanové peci (Josef Smrček)</b>	267
4.1.	Vývoj poznatků o proudění skloviny	267
4.2.	Odvození rychlosti proudění skloviny	268
4.3.	Měření rychlosti	269
4.4.	Proudění v průtoku	270
4.5.	Měření teplotního pole ve sklovině	271
<b>D.5.</b>	<b>Výplachová křivka vanové pece (Josef Smrček)</b>	273
5.1.	Výměna skloviny ve vaně	273
5.2.	Typy výplachových mechanismů	274
5.3.	Doba průchodu	276
5.4.	Porovnání naměřených hraničních odezвовých křivek	277
5.5.	Přebarvování, využití výplachových křivek	278
<b>D.6.</b>	<b>Charakteristiky vanových pecí (Antonín Smrček)</b>	279
<b>D.7.</b>	<b>Výkonová křivka sklářské tavicí pece (Antonín Smrček)</b>	283
7.1.	Odvození výkonové křivky	283
7.2.	Příkon naprázdno	286
7.3.	Vliv účinnosti - sklon výkonové křivky	287
7.4.	Vliv tavicí teploty, pracovní diagram tavicí pece	288
7.5.	Elektropříhřev, elektrické tavení, kyslík	291
7.6.	Použití výkonových křivek	291
<b>D.8.</b>	<b>Výrobní teplo skloviny, vliv střepů (Antonín Smrček)</b>	293
<b>D.9.</b>	<b>Stárnutí vanových pecí (Antonín Smrček)</b>	300
<b>D.10.</b>	<b>Sledování a řízení provozu vanových pecí (Ant. Smrček)</b>	302
10.1.	Obsah bublin ve sklovině	302
10.2.	Obsah kamínků ve sklovině	303
10.3.	Homogenita skla	303
10.4.	Sledování složení a vlastností skla	304
10.5.	Sledování provozu pece	305
10.6.	Řízení vanové pece	307
<b>D.11.</b>	<b>Racionalizace tavicích pecí (Antonín Smrček)</b>	308
11.1.	Zvýšení měrného výkonu pece	309
11.2.	Snížení kominové ztráty	311
11.3.	Snížení ztrát zdívmem a zpětným tokem	312
11.4.	Porovnání hlavních typů vanových pecí	312
<b>D.12</b>	<b>Ekonomie sklářských pecí (Antonín Smrček)</b>	314
	Literatura ke kapitole D	317
<b>E.</b>	<b>PALIVOVÉ VANOVÉ PECE (Jaroslav Veverka)</b>	323
<b>E.1.</b>	<b>Typy palivových pecí pro výrobu skla</b>	323
1.1.	Stručně o vývoji palivových pecí	323
1.2.	Regenerativní pece	324

1.3.	Rekuperativní pece .....	329
1.4.	Kyslíkové pece .....	332
<b>E.2.</b>	<b>Konstrukce částí pece .....</b>	<b>337</b>
2.1.	Bazén pece .....	338
2.2.	Průtok .....	344
2.3.	Vrchní stavba pece .....	347
2.4.	Klenba pece a záklenky .....	350
2.5.	Hořákové vlety .....	355
2.6.	Regenerátory a rekuperátory .....	358
2.7.	Nosná a vázací ocelová konstrukce .....	370
<b>E. 3.</b>	<b>Intenzifikační prostředky tavení .....</b>	<b>371</b>
3.1.	Elektrický přihřev .....	371
3.2.	Probublávání skloviny .....	379
3.3.	Jízek .....	384
<b>E. 4.</b>	<b>Chladicí systémy pecí .....</b>	<b>385</b>
4.1.	Systém vzduchového chlazení .....	386
4.2.	Systém vodního chlazení .....	387
4.3.	Další pomůcky pro chlazení .....	389
<b>E. 5.</b>	<b>Otop palivových pecí .....</b>	<b>389</b>
5.1.	Svitivost, délka a bohatost plamene .....	389
5.2.	Typy spalovacích systémů .....	391
5.3.	Hořákové vybavení .....	395
	Literatura ke kapitole E .....	399
<b>F.</b>	<b>POMOCNÁ PECNÍ ZAŘÍZENÍ, STAVBA A PROVOZ PECE</b>	
	(Jaroslav Veverka) .....	401
<b>F. 1.</b>	<b>Pomocná zařízení .....</b>	<b>401</b>
1.1.	Zakládání kmene .....	401
1.2.	Hladinoměry .....	406
1.3.	Odtahový a reverzační systém .....	409
1.4.	Instrumentace a řízení pece .....	415
1.5.	Předeřhívání vsázky a střepů .....	419
1.6.	Spalinové kotle .....	420
<b>F.2.</b>	<b>Stavba pece a její uvedení do provozu .....</b>	<b>422</b>
2.1.	Hlediska projektování pecí .....	422
2.2.	Žáromateriály pro stavbu pece .....	423
2.3.	Stavba pece .....	426
2.4.	Temperování pece .....	428
2.5.	Příprava na temperování .....	430
2.6.	Temperovací křivka .....	432
2.7.	Ovládání ocelové konstrukce pece .....	438

2.8.	Plnění pece .....	440
2.9.	Vypouštění pece .....	441
2.10.	Odtemperování pece .....	443
2.11.	Vyhodnocení stavu vanové tavicí pece po výhase .....	445
<b>F. 3.</b>	<b>Provoz vanových pecí .....</b>	<b>449</b>
3.1.	Konstrukční a provozní faktory .....	449
3.2.	Vliv složení a granulometrie kmene .....	450
3.3.	Použití střepů .....	452
3.4.	Teploty a teplotní gradienty .....	453
3.5.	Vliv zakládání kmene .....	456
3.6.	Řízení spalování .....	459
3.7.	Reverzace hoření .....	460
3.8.	Pecní tlak a tlakové gradienty v peci .....	461
3.9.	Provoz pecí a jejich energetická účinnost .....	464
3.10.	Praxe tavení .....	467
<b>F. 4.</b>	<b>Diagnostika pecí .....</b>	<b>468</b>
4.1.	Pravidelné prohlídky pecí .....	468
4.2.	Použití pecního periskopu .....	471
4.3.	Použití termografie .....	472
4.4.	Měření tloušťky vyzdívky za provozu .....	476
<b>F. 5.</b>	<b>Údržba a opravy pecí .....</b>	<b>479</b>
5.1.	Opravy pecí za tepla .....	480
5.2.	Opravy v místech kontaktu se sklem .....	482
5.3.	Opravy vrchní stavby pecí .....	488
5.4.	Nouzové stavy .....	501
5.5.	Opravy keramickým svařováním .....	505
	Literatura ke kapitole F. ....	507
<b>G.</b>	<b>ELEKTRICKÉ TAVENÍ SKLA (Josef Smrček a kol.) .....</b>	<b>509</b>
<b>G.1.</b>	<b>Teoretické základy (Josef Smrček) .....</b>	<b>509</b>
1.1.	Teplotní pole v lázni .....	510
1.2.	Mechanismy přenosu tepla ke vsázce .....	512
1.3.	Výkonové pole ve sklovině (Josef Smrček, Antonín Lisý) .....	516
1.4.	Možnosti ovlivnit přehřívání skloviny před elektrodou .....	518
1.5.	Proudění skloviny v celoelektrické peci .....	519
1.6.	Možnosti zvýšit výkon vany či kvalitu .....	530
<b>G.2.</b>	<b>Děje ve vrstvě vsázky nad krustou .....</b>	<b>531</b>
<b>G.3.</b>	<b>Konstrukce elektrických van, zavedení elektrod (Josef Smrček, Jiří Zajíc, Ivo Kořínek) .....</b>	<b>532</b>
3.1.	Zavedení elektrod do skloviny .....	532
3.2.	Držáky elektrod .....	532

3.3.	Využití molybdenu a platiny ve sklářství (Ivo Kořínek) .....	532
3.4.	Zakládání a regulace elektrických van (Jiří Zajíc, Josef Smrček) .....	535
3.5.	Provoz elektrických van, koroze .....	535
<b>G.4.</b>	<b>Elektrické pole ve sklovině (Stanislav Kasa, František Novotný) .....</b>	<b>536</b>
4.1.	Elektromagnetické pole .....	536
4.2.	Potenciál elektrody .....	537
4.3.	Odpor mezi elektrodami .....	538
4.4.	Další elektrotechnické veličiny .....	541
<b>G.5.</b>	<b>Koroze a jiné nežádoucí děje na elektrodách a způsoby jejich potlačení (Jiří Matěj) .....</b>	<b>543</b>
5.1.	Nežádoucí děje na elektrodách .....	543
5.2.	Specifické rysy koroze a ochrana elektrod z různých materiálů .....	545
<b>G.6.</b>	<b>Napájení elektrických pecí (Stanislav Kasa) .....</b>	<b>552</b>
6.1.	Zdroje elektrického proudu .....	552
<b>G.7.</b>	<b>Elektrický přířev (Stanislav Kasa, Josef Smrček) .....</b>	<b>557</b>
	Literatura ke kapitole G .....	559
<b>H.</b>	<b>TAVENÍ V PÁNVOVÝCH PECÍCH (Karel Pešek) .....</b>	<b>565</b>
<b>H.1.</b>	<b>Druhy a použití pánvových pecí .....</b>	<b>565</b>
1.1.	Obecné členění .....	565
1.2.	Průmyslová oblast využívání .....	565
1.3.	Technologická specifika tavení v pánvích .....	566
<b>H.2.</b>	<b>Používané typy pánvových pecí .....</b>	<b>566</b>
2.1.	Dolnoplamenné pece .....	567
a.	Tavicí pánvová pec Siemens-Siebertova .....	567
b.	Dolnoplamenné pece typu Knoblauch .....	570
2.2.	Hornoplamenné pece .....	571
a.	Pece s přímým vedením plamene .....	571
b.	Tavicí pec s dvojitým U-plamenem .....	574
2.3.	Tangenciální pece .....	575
2.4.	Ateliérové pece .....	579
2.5.	Požadavky na optimální technologickou funkci plynové pánvové pece .....	582
2.6.	Požadavky ke snížení tepelné zátěže sklářů .....	584
2.7.	Hořákové systémy a automatická regulace tavicího procesu .....	584
2.8.	Kovové rekuperátory .....	586
2.9.	Elektrické pánvové pece .....	588
2.10.	Technicko-ekonomické hodnocení pánvových pecí .....	594
<b>H.3.</b>	<b>Životnost plynových pánvových pecí a rozsah oprav .....</b>	<b>599</b>
<b>H.4.</b>	<b>Základní projektové parametry a výpočty pro pánvové pece .....</b>	<b>600</b>
<b>H.5.</b>	<b>Keramické pánve .....</b>	<b>609</b>
5.1.	Výrobní postup .....	609

5.2.	Sušení pánví a expedice .....	612
5.3.	Rozměry a obsah pánví .....	614
5.4.	Temperování pánví a temperovací pece .....	616
5.5.	Temperovací křivka .....	618
5.6.	Slinování nových pánví v tavicí peci .....	620
5.7.	Temperování a výpal kroužků .....	622
5.8.	Vlastnosti pánvových hmot po tepelném zpracování .....	624
<b>H.6.</b>	<b>Technologie tavení skla v pánvích</b> .....	627
6.1.	Suroviny a příprava kmene .....	627
6.2.	Technologický postup tavení .....	630
6.3.	Vady skla z pánví .....	642
	a. Kamínky .....	642
	b. Šlíry .....	643
	c. Bublíny .....	647
	Literatura ke kapitole H .....	650
<b>I.</b>	<b>SPECIÁLNÍ TAVICÍ ZAŘÍZENÍ A TAVENÍ V NICH (Vlastimil Dvořák)</b> .....	653
<b>I. 1.</b>	<b>Kelímkové středofrekvenční a vysokofrekvenční pece</b> .....	654
1.1.	Tavení v platinových kelímcích .....	654
1.2.	Tavení v keramických pánvích .....	655
1.3.	Tavení ve studeném kelímku .....	655
1.4.	Mikrovlnná sklářská pec .....	656
<b>I. 2.</b>	<b>Plazmové tavení křemenného skla</b> .....	657
<b>I. 3.</b>	<b>Tavení křemenného skla elektrickým obloukem</b> .....	658
<b>I. 4.</b>	<b>Tavení křemenného skla grafitovými elektrodami</b> .....	659
<b>I. 5.</b>	<b>Tavení křemenného skla technické kvality</b> .....	660
5.1.	Vysokofrekvenční tavení v grafitových týglech .....	660
5.2.	Vakuum-kompresní způsob tavení .....	661
5.3.	Kyslíko-vodíkové tavení čirého křemenného skla .....	661
<b>I. 6.</b>	<b>Tavení ve vodou chlazené peci na výrobu keramického vlákna (František Novotný)</b> .....	662
<b>I. 7.</b>	<b>Kontinuální linka na výrobu výlisků optické kvality (Vlastimil Dvořák)</b> .....	663
	Literatura ke kapitole I .....	664
<b>J.</b>	<b>EKOLOGIE TAVENÍ (Petr Beránek)</b> .....	665
<b>J. 1.</b>	<b>Emise z tavicího procesu a jejich složení</b> .....	665
1.1.	Měření a hodnocení emisí .....	665
1.2.	Prach (tuhé znečišťující látky) .....	666
1.3.	Těžké kovy a stopové prvky .....	666
1.4.	Spaliny z paliv .....	666
1.5.	Plyny z kmene .....	667

1.6.	Složení emisí ze sklářských tavicích pecí .....	669
<b>J. 2.</b>	<b>Technické možnosti snižování emisí .....</b>	<b>671</b>
2.1.	Tuhé znečišťující látky .....	671
2.2.	Oxidy dusíku (NO <sub>x</sub> ) .....	672
2.3.	Oxidy síry (SO <sub>x</sub> ) .....	673
2.4.	Fluoridy (HF) a chloridy (HCl) .....	674
<b>J. 3.</b>	<b>Emisní legislativa .....</b>	<b>675</b>
3.1.	Evropská legislativa, směrnice o integrované prevenci a omezování znečištění .....	675
3.2.	Národní zákon o ochraně ovzduší a prováděcí emisní vyhlášky .....	676
3.3.	Obchodování s emisemi .....	676
	Literatura ke kapitole J .....	679
<b>K.</b>	<b>PECE BUDOUCNOSTI (Antonín Smrček) .....</b>	<b>681</b>
<b>K.1.</b>	<b>Technologie tavení .....</b>	<b>681</b>
<b>K.2.</b>	<b>Vývoj pecí malotonážního sklářství .....</b>	<b>682</b>
<b>K.3.</b>	<b>Pec pro velkotonážní sklářství .....</b>	<b>684</b>
<b>K.4.</b>	<b>Jaká bude pec budoucnosti? .....</b>	<b>694</b>
	Literatura k části K .....	695