

**Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství**

**Ostrava**

---

**MATERIÁLY**  
**Stavební materiály**

Miroslava Netopilová

---

Ostrava 2004

Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta bezpečnostního inženýrství

# **MATERIÁLY**

## **Stavební materiály**

Doc. Ing. Miroslava Netopilová, CSc.

Učební texty pro posluchače Fakulty bezpečnostního inženýrství  
© Netopilová M., Ostrava 2004

ISBN: 80-86634-27-2

## Obsah:

1	Úvod .....	7
2	Surovinová základna pro výrobu stavebních materiálů .....	7
2.1	Vlastnosti některých přírodních kamenných materiálů .....	8
2.1.1	Křemen a silikáty .....	8
2.1.2	Živec .....	9
2.1.3	Žula .....	9
2.1.4	Čedič .....	10
2.1.5	Vápenec .....	10
2.1.6	Pískovec .....	11
2.1.7	Břidlice .....	11
2.1.8	Slídy .....	11
2.1.9	Vermikulit .....	12
2.1.10	Vulkanická skla .....	13
3	Dřevo a celulóзовé materiály .....	14
3.1	Submikroskopická a chemická stavba dřeva .....	14
3.1.1	Elementární a chemická stavba dřevní hmoty .....	15
3.1.2	Základní chemická skladba dřevní hmoty .....	15
3.2	Faktory znehodnocování dřeva a vliv skladby dřevní hmoty .....	17
3.2.1	Přirozená trvanlivost dřeva .....	18
3.3	Vliv teploty na fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva .....	19
3.3.1	Tepelně fyzikální charakteristiky dřeva .....	21
3.3.2	Vliv teploty na mechanické vlastnosti dřevních materiálů .....	21
3.4	Úprava požárně technických vlastností dřeva a materiálů vyráběných na jeho bázi .....	25
3.4.1	Funkční mechanismy působení retardérů hoření .....	25
3.4.2	Inhibice hořlavosti lignocelulóзовých materiálů v různých fázích termolýzního procesu .....	27
3.4.3	Aktivace mechanismu snižování hořlavosti retardačními látkami .....	28
3.5	Konkrétní realizace zvyšování odolnosti dřeva vůči termickému rozkladu ..	29
3.5.1	Retardéry pyrolýzních vlastností dřeva na bázi anorganických solí .....	30
3.5.2	Intumescentní retardační přípravky pro úpravu tepelné degradace dřeva	34
3.6	Vliv antipyrénních nátěrových systémů na požárně technické charakteristiky .....	39
3.7	Celulóзовé materiály, papír .....	39
3.7.1	Snižování hořlavosti celulóзовých materiálů .....	40
4	Keramické materiály .....	41
4.1	Cihlářské výrobky .....	41
4.1.1	Prvky pro svislé konstrukce .....	43
4.1.2	Cihlářské prvky pro vodorovné konstrukce .....	44
4.1.3	Pálená krytina .....	44
4.1.4	Keramické stavební dílce .....	45
4.2	Kanalizační, hospodářská a chemická stavební kamenina .....	46
4.3	Vlastnosti pálených keramických výrobků při zvýšených teplotách .....	47
4.4	Nepálené keramické výrobky .....	47
4.5	Žárovzdorné materiály .....	48
4.5.1	Šamotové výrobky .....	49

4.5.2	Dinasové výrobky .....	50
4.5.3	Magnezitové výrobky .....	50
4.5.4	Magnezitchromové a chrommagnezitové výrobky.....	51
4.5.5	Uhlíkaté výrobky .....	51
4.6	Změná žárovzdorná staviva .....	52
5	Pojiva a maltoviny .....	53
5.1	Vzdušná pojiva.....	53
5.2	Pojiva hydraulická .....	54
5.3	Vlastnosti maltovinových pojiv při zvýšených teplotách.....	57
5.3.1	Vápnó.....	57
5.3.2	Sádra .....	58
5.3.3	Cementy .....	59
5.4	Malty pro omítky ovlivňující požární odolnost .....	59
6	Beton.....	60
6.1	Složky betonu.....	60
6.2	Druhy betonů .....	61
6.2.1	Lehké betony.....	62
6.2.2	Železový beton.....	62
6.3	Vlastnosti betonu .....	63
6.3.1	Třídy betonů.....	63
6.3.2	Přetvárné vlastnosti betonu.....	65
6.4	Vliv zvýšených teplot na beton.....	66
6.4.1	Vliv zvýšených teplot na železový beton .....	68
6.4.2	Vliv zvýšených teplot na předpjatý beton.....	69
7	Kovy.....	70
7.1	Železo v soustavě s uhlíkem a dalšími prvky .....	70
7.1.1	Konstrukční oceli .....	73
7.2	Neželezné kovy a jejich slitiny .....	78
7.2.1	Hliník .....	78
7.2.2	Měď.....	80
7.2.3	Zinek .....	81
7.2.4	Hořčík .....	81
7.2.5	Olovo.....	81
7.2.6	Níkl .....	81
7.2.7	Titan .....	82
7.2.8	Členění skupin slitin kovových materiálů .....	82
7.3	Závislost fyzikálních a mechanických vlastností kovových materiálů na tepelném zatížení .....	90
7.3.1	Změny mechanických vlastností stavebních ocelí.....	90
7.3.2	Změny fyzikálních vlastností.....	91
7.4	Vliv účinku požáru na ocelové konstrukce.....	94
7.5	Materiály pro protipožární ochranu ocelových konstrukcí.....	97
7.5.1	Technologie mokrých procesů.....	97
7.5.2	Zpěňující nátěry .....	99
7.5.3	Obklady deskovými materiály .....	99
8	Materiály v preventivní protipožární ochraně .....	102
8.1	Protipožární nátěrové systémy .....	102
8.2	Protipožární nástřikové hmoty ve stavebnictví.....	107
8.3	Protipožární obkladové materiály .....	110
8.4	Ochrana ocelových konstrukcí.....	116

8.4.1	Protipožární nátěrové systémy pro ochranu ocelových konstrukcí .....	117
8.4.2	Protipožární nástřiky a tepelně izolační omítky ocelových konstrukcí	118
8.4.3	Protipožární obklady používané na ocelové konstrukce.....	118
8.5	Materiály pro ochranu dřevěných konstrukcí .....	119
8.5.1	Protipožární nátěrové systémy uplatňované na dřevěné konstrukce ...	119
8.5.2	Protipožární nástřiky na dřevo .....	120
8.5.3	Obkladové materiály dřevěných konstrukcí .....	120
8.6	Materiály pro ochranu vyztužených betonových konstrukcí.....	120
8.6.1	Protipožární nátěry, nástřiky a obklady .....	121
8.7	Materiály pro stěnové prvky .....	121
8.7.1	Nenosné stěny a příčky jako požárně dělicí konstrukce .....	121
8.7.2	Svislé požárně dělicí konstrukce.....	121
8.8	Materiály upravující požární odolnost vodorovných konstrukcí.....	122
8.9	Ochrana energetických rozvodů .....	122



# 1 Úvod

Požadavky na vlastnosti materiálů, jejich stanovení a navrhování konstrukcí z nich vyráběných jsou postupně začleňovány do návrhů evropských norem (Eurokódů), které jsou přejímány v ČR a doplňovány národními aplikačními dokumenty. Tato změna v dřívějším normalizačním systému ČSN je v přímé souvislosti s přijetím mezinárodních požadavků na harmonizování právních předpisů z oblasti stavebních výrobků v členských zemích EU. Jedná se konkrétně o naplňování Směrnice Rady 89/106/EEC vztahující se ke stavbám a stavebním výrobkům ve smyslu interpretačního dokumentu č. 2, který zahrnuje požární bezpečnost. Akceptování uvedené směrnice bylo v ČR již v novele zákona 262/1992 Sb. a v dalších následujících legislativních opatřeních, viz např. novelizace stavebního zákona č. 50/1976 Sb., ve znění pozdějších předpisů, zákon č. 22/1997 Sb. o technických požadavcích na výrobky; Nařízení vlády č. 178/1997 Sb., kterým se stanoví technické požadavky na stavební výrobky, ve znění Nařízení vlády č. 81/1999 Sb.; Vyhláška Ministerstva pro místní rozvoj č. 132/1998 Sb., kterou se realizují některá ustanovení stavebního zákona atp.

Informace o vlastnostech materiálů určených pro návrh a realizaci stavebních prvků a konstrukcí jsou základní podmínkou a předpokladem dosažení jejich požadovaných vlastností. Znalost vlastností materiálů je rovněž základem úspěšné pasivní protipožární ochrany a požární bezpečnosti staveb.

Není reálné, aby uvedený učební text obsáhl celou širí bohaté škály používaných stavebních hmot a jejich charakteristik. Proto je zaměřen na nejčastěji uplatňované materiály s orientací na jejich vlastnosti a souvislost s požární bezpečností.

## 2 Surovinová základna pro výrobu stavebních materiálů

K základním surovinám vhodným pro výrobu stavebních hmot náleží přírodní kamenné materiály. Pod pojmem přírodní kamenné materiály rozumíme především horniny, skládající se z jednoho či více minerálů.

Přírodní kámen je jedním z nejstarších staviv. Různé druhy hornin se používají jednak v přírodním stavu a jednak po vhodné mechanické úpravě a opracování. Přírodní kámen je využíván pro zdění, jako kupř. lomový kámen a kvádry, dále jako dlažební kostky, stupně, obkladové desky, jako materiál pro některé nosné stavební konstrukce – sloupy, nosníky, překlady atd. Ve formě kameniva se uplatňuje při výrobě malt, betonů, umělého kamene. Hutnickým zpracováním a následnými technologickými postupy je možno z některých hornin či minerálů získat vysoce kvalitní materiály s širokou škálou vhodného uplatnění.

Použití kamene ve stavebnictví spočívá ve využití jeho dobrých vlastností. Je to zvláště velká pevnost v tlaku, hutnost, odolnost proti zvětrávání a možnost povrchového opracování. Nutno však počítat s jeho obtížnou těžbou, s velkou objemovou hmotností, malou tepelně izolační schopností (součinitel tepelné vodivosti se u mnohých hutných kamenných materiálů pohybuje nad  $2,0 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ). V novodobém stavitelství je používání přírodního kamene jako konstrukčního materiálu omezeno a uplatní se tehdy, kdy lze efektivně využít především jeho fyzikálních a estetických vlastností. Pórovité horniny jako např. tufy, tufity, křemelina, perlit, vermikulit a jiné, se výhodně využívají jako lehká plniva do malt a betonů. Nedisponují sice příznivými mechanickými



vlastnostmi, vyznačují se však většinou dobrou tepelnou izolačností. Např. hodnoty součinitele tepelné vodivosti se pohybují přibližně kolem  $0,05 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ . Některé horniny jsou důležitou surovinou pro silikátový průmysl. Pro výrobu pojiv, tj. sádry, vápna a cementu, pro výrobu stavební keramiky – cihlářského zboží, tvarovek, krytin a jiných kusových staviv, dále pro výrobu kameniny, žáruvzdorných výrobků, pro výrobu skla atp. Svým významem jsou mnohdy nezastupitelné i v jiných průmyslových oblastech, jako např. v průmyslu hutním, chemickém, textilním potravinářském atd.

## 2.1 Vlastnosti některých přírodních kamenných materiálů

### 2.1.1 Křemen a silikáty

Křemen je hlavní součástí mnoha vyvřelin a usazených hornin - žuly, porfyrů, pískovců, křemenců atp. Tento minerál je krystalický  $\text{SiO}_2$ , vyznačující se značnou tvrdostí ( $HM = 7$ ). Je mnohem odolnější proti chemickým vlivům než ostatní podstatné součásti hornin. Při vysokých teplotách je schopen reagovat na hydrogensilikáty. Hydrogensilikáty vápníku jsou základem silikátových stavebních materiálů. Měrná hmotnost je přibližně  $2650 - 2700 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , nasákavost  $n_h = 0,01 - 0,2 \%$ , pevnost v tlaku  $245 - 400 \text{ MPa}$ , součinitel tepelné vodivosti  $\lambda = 1,98 - 3,80 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ , střední teplotní vodivost  $\bar{a} = 7,8 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2\cdot\text{s}^{-1}$ , střední hodnota měrného tepla  $\bar{c} = 1214 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ .

Křemen se vyskytuje ve třech různých krystalických modifikacích, které se liší fyzikálně, a to zvláště tepelnou roztažností. Teplota modifikační přeměny  $\beta$ -křemene na  $\alpha$ -křemen je přibližně  $575 \text{ }^\circ\text{C}$ . Při změně dochází k náhlému zvětšení objemu. Lineární tepelná roztažnost čistého křemene je přibližně  $1,42 \%$ . Přeměna  $\alpha$ -křemene na tzv.  $\alpha$ -tridymit probíhá při teplotě  $870 \text{ }^\circ\text{C}$  s prudkým zvětšením objemu o několik procent, součinitel lineární tepelné roztažnosti se zvýší na cca  $5,5 \%$ . Další přeměna  $\alpha$ -křemene na tzv.  $\alpha$ -cristobalit nastává při teplotě  $1470 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Křemičitany (silikáty) tvoří nejvýznamnější třídu minerálů, a to jak z hlediska počtu, tak i co do jejich celkového rozšíření v zemské kůře. Na jejich složení podílí podstatně křemík a kyslík, tzn. dva v zemské kůře nejrozšířenější prvky. Připočteme-li ke křemičitanům i křemen, který s nimi strukturně těsně souvisí, tvoří silikáty asi  $95 \%$  objemu zemské kůry.

Silikáty sehrávají významnou roli i v ekonomice. Průmysl silikátů, kamene a zemin, zpracovávající převážně křemičitany nebo materiály z nich vyrobené, soupeří objemem i hodnotou své produkce s výrobou železa a oceli. Silikáty jsou významné nejen jako vlastní dobývaná surovina, ale i nepřímo jako hlavní složka hornin, které dobývaný substrát doprovázejí nebo jako hlušina, kterou je nutno od složky užitkové různými úpravárenskými postupy oddělit.

Současné znalosti o stavbě silikátů vychází ze základů kvantově mechanického modelu atomu a z přesných strukturních analýz, které byly provedeny již na většině křemičitanů. Základní stavební jednotkou silikátů je pravidelný křemíko-kyslíkový tetraedr  $[\text{SiO}_4]^{4-}$ . Způsob vzájemného spojování aniontových tetraedrů v krystalové struktuře (tzv. aniontové kostře) se ukázal být nejvhodnějším kritériem pro rozdělení a klasifikaci křemičitanů. Podle typu vazby křemíko-kyslíkových tetraedrů v aniontové kostře rozlišujeme šest podtříd křemičitanů. Většina křemičitanů je významná pro poměrně široké průmyslové využití, pro některé křemičitany je typické speciální uplatnění.

Horniny, které obsahují křemen (žula, porfyry, pískovec, křemenec a jiné) vlivem zahřívání zvětšují svůj objem jako důsledek vnitřního pnutí a strukturálního napětí. Tyto faktory vedou k postupnému narušování struktury a k tvorbě trhlin.

### 2.1.2 Živec

Živec náleží k vyvřelým minerálům. Je součástí většiny vyvřelin a krystalických břidlic. Je tvořen hlinitokřemičitany a jednou nebo několika dalšími složkami, které obsahují sodík, draslík, vápník atd. ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ;  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ;  $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ). Živec je málo odolný vůči povětrnostním vlivům a disponuje malou pevností v tlaku. Produktem zvětrávání živců je např. kaolinit ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2 \text{SiO}_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ ). Některé živce mohou dosáhnout tvrdosti  $\text{HM} = 5$ . Měrná hmotnost živců je v rozmezí  $\rho = 2570 - 2760 \text{ kg.m}^{-3}$ , součinitel délkové teplotní roztažnosti  $\alpha = 1,57 - 1,576 \text{ K}^{-1}$ . Vlivem obsahu křemičitanů se živec projevuje při vysokých teplotách roztažností, ne však výrazně skokovou a ke změně objemu dochází při teplotách do  $1000 \text{ }^\circ\text{C}$  rovnoměrněji než u křemene.

Při tepelném namáhání se tedy živce jeví poměrně stabilními minerály. Beton vyrobený z portlandského cementu a živcové drti vykazuje dostatečnou pevnost až zhruba do teploty  $900 \text{ }^\circ\text{C}$ , což je podpořeno tvorbou tepelně značně stabilního anortitu ( $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2 \text{SiO}_2$ ).

### 2.1.3 Žula

Žula patří mezi nejstarší přírodní kamenné stavební materiály. Vyrábí se z ní bloky, kvádry, obkladové desky, schodišťové prvky, dlažební kostky, dlažební desky, obrubníky, sloupy, překlady atd.

Žula je vyvřelá zrnitá a kompaktní hornina. Je tvořena zejména křemenem (20 – 40 %), živcem (40 - 70 %), slídou (5 - 15 %). Pro svou malou nasákavost (0,2 - 0,5 %) je vhodným materiálem např. i na některé vodohospodářské stavby. Je dobře štípatelná, dobře se brousí a leští. V porovnání s některými jinými vyvřelými horninami se žuly vyznačují menší houževnatostí. Charakteristickou je dobrá odolnost vůči povětrnostním vlivům, která se ovšem zmenšuje s rostoucím podílem slídy. Objemová hmotnost činí  $2650 - 2700 \text{ kg.m}^{-3}$ , pevnost v tlaku  $98 - 245 \text{ MPa}$ , střední teplotní vodivost  $\bar{a} = 9,27 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ , střední tepelná vodivost  $\bar{\lambda} = 2,40 \text{ W.m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ , měrné teplo  $\bar{c} = 946 \text{ J.kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ .

Díky množství křemene je zahřívání žuly nad  $575 \text{ }^\circ\text{C}$  doprovázeno skokovou změnou objemu. Objem se silně zvětšuje a nakonec dochází k rozpadu celé struktury. Mimo to v teplotním intervalu  $750$  až  $900 \text{ }^\circ\text{C}$  začíná uvolňování plynů, což vede k narušování struktury. Trhliny, pozorovatelné pouhým okem, vznikají rychlým růstem objemu křemene v žule při  $600$  a více  $^\circ\text{C}$ . Při  $800 \text{ }^\circ\text{C}$  vznikají průběžné trhliny.

Pevnost v tlaku u některých druhů žul při zahřívání do  $200 \text{ }^\circ\text{C}$  vzroste na 160 % počáteční pevnosti. Při teplotě vyšší než  $200 \text{ }^\circ\text{C}$  začíná postupné snižování pevnosti, která se při  $600 \text{ }^\circ\text{C}$  blíží k pevnosti počáteční a nad  $600 \text{ }^\circ\text{C}$  nastává rychlý pokles v důsledku rozevírání trhlin. Při  $800 \text{ }^\circ\text{C}$  představuje 35 % pevnosti počáteční. Růst pevnosti v tlaku při zahřívání do  $200 \text{ }^\circ\text{C}$  se vysvětluje snížením vnitřních napětí, vzniklých v žule vlivem rychlého a nerovnoměrného ochlazování magmatu. Prudké snížení pevnosti při teplotách nad  $600 \text{ }^\circ\text{C}$  je podmíněno skokovou změnou objemu křemene, který je v žule obsažen.

### 2.1.4 Čedič

Čedič náleží mezi vyvřelé horniny. Je kryptokrystalický, beztvářý, tvořen zejména živcem a křemičitanem železitohořečnatým, často obsahuje i určité množství vulkanického skla. Čedič se zpracovává především na štěrk a drti. Je rovněž výchozí surovinou pro výrobky z taveného čediče a čedičového vlákna.

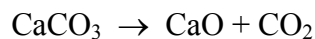
Měrná hmotnost čediče je 2700 - 3300 kg.m<sup>-3</sup>, objemová hmotnost 2000 - 2900 kg.m<sup>-3</sup>, nasákavost 0,28 - 4,9 hmot.%, pevnost v tlaku zhruba 40 - 290 MPa, teplotní vodivost  $a = 4,33 \cdot 10^{-7}$  až  $6,77 \cdot 10^{-7}$  m<sup>2</sup>.s<sup>-1</sup>, měrné teplo  $c = 762 - 2135$  J.kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>. U čediče je významná nízká tepelná roztažnost v poměrně širokém teplotním rozpětí. Až při teplotách 900 °C a výše vykazuje značné zvětšení objemu za současného uvolňování plynů. Plyny se uvolňují v důsledku obsahu vulkanického skla, které se při zahřívání vzdouvá a tento děj je doprovázen vývinem plynných produktů termického rozkladu. Mezní teplotou použití čediče jako horniny je cca 900 °C, kdy ještě nedochází k výrazným tepelným deformacím a souvisejícím změnám zejména mechanických vlastností.

Pro čedič je typické jeho hutnické zpracování na sklovitou taveninu, která je výchozí surovinou pro řadu hutných, pevných a chemicky odolných výrobků, vyznačujících se i minimální obrusností, ale i pro výrobu tepelně a zvukově izolačních vláknitých výrobků. Tavený čedič se vyznačuje pevností v tlaku až 550 MPa, objemovou hmotností 2950 kg.m<sup>-3</sup>, vynikající odolností vůči mechanickému obrusu i vůči chemickému rozrušování. Objemová hmotnost vláknité čedičové vlny je 80 - 110 kg.m<sup>-3</sup>. Je velmi dobrým izolačním materiálem. Nepůsobí na ni vlhkost ani mikroorganismy, nehoří, nepodléhá povětrnostním vlivům, je pružná, a tedy odolná proti setřásání, max. teplota použití je 700 °C. Přibližné hodnoty fyzikálních veličin čedičového skla: součinitel tepelné vodivosti  $\lambda = 1,36 - 1,67$  W.m<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>; teplotní vodivost  $a = 4,21 \cdot 10^{-7} - 5,55 \cdot 10^{-7}$  m<sup>2</sup>.s<sup>-1</sup>; měrné teplo  $c = 1046 - 1256$  J.kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>.

### 2.1.5 Vápenec

Vápenec je surovinovou složkou především pro výrobu pojiv, tzn. cementu a vápna. Je použitelný i jako zdicí materiál, kamenivo, rozemletý na moučku je přísadou pro výrobu skla, jemné keramiky atd. Vápenec se řadí mezi usazené minerály. Je to v podstatě krystalický uhličitan vápenatý CaCO<sub>3</sub>. Vyskytuje se v různých barevných škálách, od barvy bílé a žluté přes červenavou až k tmavě šedé. Je dokonale štěpný (tvrdost 3) a křehký. Hutný vápenec vykazuje měrnou hmotnost 2600 - 2800 kg.m<sup>-3</sup>; objemovou hmotnost 1800 - 2600 kg.m<sup>-3</sup>; pevnost v tlaku 8,1 - 21,2 MPa; nasákavost 0,37 - 1,57 hmot.%. Pórovitý vápenec je charakteristický objemovou hmotností 900 - 1800 kg.m<sup>-3</sup>; nasákavostí 6 - 40 hmot.%; pevností v tlaku 0,39 - 12,3 MPa. Tepelná vodivost vápence je  $\lambda = 0,92 - 4,40$  W.m<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>, teplotní vodivost  $a = 3,91 \cdot 10^{-7} - 16,94 \cdot 10^{-7}$  m<sup>2</sup>.s<sup>-1</sup>, měrné teplo  $c = 753 - 1712$  J.kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>.

Vápenec se vyznačuje velmi dobrými vlastnostmi při tepelném namáhání. Objem vzrůstá rovnoměrně a nepatrně až do 800 - 850 °C. Do této teploty má vápenec lineární tepelnou roztažnost  $\alpha = 1 - 2$  %. Nad 800 °C dochází k chemickým změnám ve struktuře, objem se smršťuje vlivem vylučování oxidu uhličitého a vlivem rozkladu vápence dle reakce:



Na povrchu se tvoří oxid vápenatý CaO s nižší tepelnou vodivostí, jehož tvorba podněcuje vznik tepelně izolační vrstvy zamezující rychlému prohřevu celé tloušťky vápence. Kromě toho rozklad vápence probíhá za značného pohlcování tepla

(1,78 MJ.mol<sup>-1</sup>), což rovněž omezuje prohřev celé tloušťky vápence. Při dlouhodobém tepelném namáhání nastávají změny pevnosti vápence.

Při teplotě 130 °C se pevnost v tlaku zvýší na 136 % původní pevnosti, zůstává stálou téměř do 600 °C a následně klesá. Při 800 - 900 °C a více dochází k rozkladu vápence s úplnou ztrátou pevnosti a soudržnosti. Při zahřívání nad 800 °C se ve vápenci rozevírají trhliny vyvolané tepelným napětím, vznikajícím vlivem různých koeficientů tepelné roztažnosti vápence a vznikajícího oxidu vápenatého a rovněž případně částečným hašením vápna, které může vyprovokovat atmosférická vlhkost.

Působení vlhkosti na konstrukce, které obsahují vápenec a byly zahřány na 800 °C a více, způsobuje hašení vápna, zvýšení jeho objemu a razantní narušování prohrátých vrstev.

### 2.1.6 Pískovec

Pískovec je usazená hornina, tvořená křemičitými zrny stmelenými různým pojivem. Na druhu pojiva je závislá tvrdost, barva, odolnost vůči povětrnostním vlivům. Pískovce se používají jako stavební kámen, na obklady, monumenty atd. Měrná hmotnost pískovců je zhruba v rozmezí 2500 - 2900 kg.m<sup>-3</sup>, objemová hmotnost 1900 - 2700 kg.m<sup>-3</sup>, nasákavost 0,2 - 2,5 hmot.%, pevnost v tlaku 30 - 295 MPa. Tepelná vodivost pískovce je 0,38 - 3,17 W.m<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>, teplotní vodivost  $a = 2,54 \cdot 10^{-7} - 20,43 \cdot 10^{-7}$  m<sup>2</sup>.s<sup>-1</sup>, měrné teplo  $c = 670 - 3345$  J.kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>.

Při tepelném zatěžování vykazují pískovce značné deformace. Po počátečním rovnoměrném nárůstu tepelné roztažnosti následuje při teplotě 575 °C výrazná změna objemu, způsobená modifikační přeměnou křemene obsaženého v pískovci. Pro pevnost pískovců z hlediska jejich použití na nosné konstrukční prvky je zřejmě limitní teplota 500 °C. Při vyšších tepelných zátěžích pevnost výrazně klesá, což je způsobeno významným obsahem křemene.

### 2.1.7 Břidlice

Podle obsahu převládajících složek rozeznáváme břidlice jílovité, amfibolické, slídové, tufobřidlice, fylitické aj. Vyznačují se pevnými krystalickými strukturami, nízkou pórovitostí a nízkou nasákavostí. Přítomnost pevné krystalické struktury má vliv na vyšší tepelnou vodivost  $\lambda = 1,03 - 4,93$  W.m<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>, (břidlice slídová  $\lambda = 0,74 - 2,99$  W.m<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>, tufobřidlice  $\lambda = 2,45 - 3,09$  W.m<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>), teplotní vodivost  $a = 4,90 - 16,17 \cdot 10^{-7}$  m<sup>2</sup>.s<sup>-1</sup> a měrné teplo  $c = 754 - 1729$  J.kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>.

Tepelná roztažnost břidlice roste zpočátku zahřívání rovnoměrně. Avšak velké změny nastávají v okolí teploty 600 °C. Tyto změny jsou způsobeny jednak modifikační přeměnou křemene a jednak přeměnami slídy v břidlici obsažené. Ze slídy se začíná uvolňovat krystalická voda, což vede k narušení kompaktnosti.

Břidlice se vyznačuje vrstevnatostí a dobrou štípatelností. Při jejím jednostranném ohřevu dochází ke značnému tepelnému spádu, jehož důsledkem je razantní odlupování jednotlivých vrstev.

### 2.1.8 Slídy

Slídy jsou horninotvorné minerály. Krystalová struktura slíd je pseudohexagonální, většinou jednoklonná, založená na dvojrozměrných nekonečných trojvrstevných komplexech, které jsou mezi sebou vázány do prostorové stavby

prostřednictvím kationtů, umístěných v mezivrstevních prostorech. V úloze mezivrstevních iontů vystupují nejčastěji K, méně Na a jen vzácně Mg a Fe. Podle stavby kationtové sítě rozlišujeme slídy trioktaedrické (podskupina biotitu) a slídy dioktaedrické (podskupina muskovitu).

Využití slíd se v současné době rozšiřuje. Významné jsou litné slídy (zdroj Li), muskovit a jemu podobné slídy, které jsou používány mj. jako žáruvzdorný a elektricky izolující materiál.

**Biotit** -  $K(Mg, Fe^{II})_3 [(OH)_2 / (Al, Fe^{III})Si_3O_{10}]$  představuje celou izomorfní řadu trioktaedrických trojvrstevných slíd, ve které se vzájemně zastupují hořčík a dvojmocné železo. Název biotit je rovněž používán pro označení nejrozšířenějšího z členů této řady.

Chemicky je biotit poměrně silně variabilní. Může obsahovat až 12 %  $TiO_2$ . Biotit bývá většinou tabulkovitý, místy tvoří i monominerální šupinaté agregáty. Barvu má tmavě hnědou až černou, lesk perleťový u tmavých odrůd s polokovovým charakterem. Štěpné lupénky jsou pružné.

Vzniká v magmatických a regionálně nebo kontaktně metamorfovaných horninách, v nichž bývá jako podstatná součást. Představuje nejrozšířenější slídový minerál. Při zvětvování ztrácí část Fe a Mg, dostává zlatožlutou barvu. Nejvýznamnějšími poznávacími znaky biotitu jsou velmi dokonalá štěpnost, pružnost štěpných lupének a tmavá barva.

**Muskovit** -  $KAl_2 [(OH, F)_2 / AlSi_3O_{10}]$  se většinou vyskytuje v šupinách jako součást hornin, nebo tvoří až monominerální, jemně až hrubě šupinaté agregáty v horninách hlavně metamorfního původu. Bývá nejčastěji bezbarvý až stříbřitě šedý. Štěpné lupénky mají perleťový lesk a jsou dokonale pružné. Vzniká v magmatických, regionálně i kontaktně metamorfovaných horninách, v nichž je důležitým horninotvorným minerálem. Je součástí žul, pegmatitů, rul a svorů.

Technicky významné jsou výskyty vesměs v pegmatitech. Používá se nejvíce jako izolační hmota (kondenzátory, elektronky, topná tělíska). Jako poznávací znak slouží slídová štěpnost, pružnost štěpných lupének a světlá barva.

Obsah vázané vody se při zahřívání slíd mění na vodní páru. Se změnou skupenství vázané vody se značně mění i její objem. Výrazné zvětšování objemu podmiňuje vnitřní pnutí a ve svém konečném důsledku razantní odštěpování povrchových vrstev slíd.

### 2.1.9 Vermikulit

Vzniká hydrotermální a hypergenní přeměnou především biotitu nebo zřídka i muskovitu. Struktura je založena na trojvrstevných komplexech. Vyskytuje se pouze v hrubě nebo jemně šupinatých, někdy i celistvých agregátech, místy tvoří pseudomorfózy po biotitu nebo po jiných druzích biotických slíd. Je hnědý, žlutohnědý, zlatožlutý až bronzový.

Nápadné je jeho chování při zahřívání, pro které byl pojmenován. Při zahřívání se voda v něm obsažená mění ve vodní páru a vermikulit zvětšuje objem na 18 – 50 násobek původní hodnoty. Z jednotlivých šupinek přitom vznikají červovité, zprohýbané útvary (vermicularis - lat. červovitý). Takto expandovaný vermikulit se vyznačuje nízkou hustotou a vynikajícími zvukovými a tepelně izolačními vlastnostmi.

Vermikulit se po vyžhání používá jako izolační materiál např. v hutnictví a stavebnictví, protože v tomto stavu slučuje vynikající zvukově a tepelně izolační

vlastnosti a je i vhodným elektroizolačním materiálem. V keramice se používá jako přísada k odlehčování střepe.

Již zmíněné použití ve stavebnictví je značně široké a různorodé. Expandovaný vermikulit je pro své vlastnosti využíván jako komponent upravující objemovou hmotnost a tepelnou izolačnost betonů, malt a omítkovin. Uplatňuje se při výrobě protipožárních nástřiků a obkladových materiálů. Expandovaný vermikulit je poměrně tepelně stálý až do 1000 °C.

### 2.1.10 Vulkanická skla

Vulkanická skla náleží k představitelům vulkanických hornin vznikajících při sopečných erupcích. Vulkanické sklo je amorfní látka, svým složením odpovídající hlavně ryolitům (velká viskozita magmatu). Vzniká při rychlém tuhnutí na okrajích některých výlevů vulkanických hornin, méně v celých masách (známý obsidián Cliff v Yellowstonském národním parku v USA, mocnost uložených vrstev dosahuje i více než 30 m). I přes rychlé tuhnutí magmatu obsahují vulkanická skla zárodky krystalů, tzv. krystality nebo i vyrostlice živců, křemene a biotitu.

Rozeznáváme čtyři druhy vulkanických skel, které se navzájem od sebe liší buď množstvím vody (obsidián, smolek) nebo strukturou (perlit, pemza).

**Obsidián** obsahuje 1 - 4 % vody. Je barvy nejčastěji černé, méně červenavé nebo zelené, lasturnatého lomu, skelného lesku a na hranách prosvítá. Pro schopnost zaostření hran byly obsidiány používány již v pravěkých civilizacích všude tam, kde se vyskytovaly.

**Smolek** obsahuje až do 10 % vody. Má barvu černošedou nebo zelenošedou, je nepravidelného nebo lasturnatého lomu a typicky smolného lesku.

**Pemza** je pěnovité sklo s malým obsahem vody a značným množstvím pórů, které horninu vylehčují tak, že má menší měrnou hmotnost než voda. Pemza je barvy světlé (šedobílé, žlutavé) a vyskytuje se hlavně v podobě vyvrželin v asociaci s ostatními typy vulkanických skel.

**Perlit** se vyznačuje kulovitou - perlitovou odlučností, která vznikla vnitřním pnutím při ochlazování. Perlity mají šedou nebo modrošedou barvu. U nás se vyskytují spolu s ryolity. Toto kyselé sklo obsahuje 2 - 5 % vázané vody. V důsledku rozpínavosti vodní páry mění zahříváním perlit svou strukturu a výrazně zvětšuje objem. Průmyslová výroba expandovaného perlitu probíhá při teplotách blízkých hodnotě 1200 °C. Některé fyzikální vlastnosti:  $\rho_o = 50 - 200 \text{ kg.m}^{-3}$ ,  $\lambda = 0,035 - 0,042 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ .

Vnitřní porézní až dutinová struktura expandovaného perlitu ho předurčuje k dobré tepelné izolačnosti. Je však uplatňován i jako materiál zvukově izolační, filtrační atd. Široké je jeho využití ve stavebnictví (omítkoviny, betony, sypané izolace), a to i v oblasti požární bezpečnosti staveb. Škála jeho uplatnění je srovnatelná s vermikulitem (viz kap. 2.1.9).

Hydrofobizovaný expandovaný perlit je využíván především jako sorbent při likvidacích ropných havárií.

Vulkanická skla se nachází prakticky ve všech oblastech výskytu kyselých vulkanitů.

### 3 Dřevo a celulózové materiály

Dřevo náleží k materiálům, které člověk od nepaměti využívá k nejrůznějším účelům. Neztratilo svůj význam ani v současné době. I když technický rozvoj přináší na trh stále nové druhy hmot, nepoklesl zájem o zpracování dřeva a právě naopak jeho spotřeba stále stoupá.

Při uplatnění dřeva a využití dřevní hmoty dochází v posledních desetiletích ke značným kvalitativním změnám. K tomu ho předurčují jeho pozitivní fyzikální a mechanické vlastnosti, které lze umocnit vhodným zhodnocením této suroviny. Před klasickými konstrukcemi z rostlého dřeva vystupují do popředí konstrukce příhradové, lamelové, výrobky aglomerované, vrstvené, kompozitní atd. S vynikajícími vlastnostmi dřeva je spjata jeho možnost použití při výrobě nosných prvků velkorozponových konstrukcí využívaných v různých oblastech národního hospodářství. Pozemní objekty s nosnou dřevěnou konstrukcí o rozponu nad 100 m nejsou již v dnešní době zvláštností.

Na širším uplatnění dřeva se kromě výrobně technologických změn při zpracování této suroviny podílí současně i vědeckovýzkumná činnost. Spolu s prohloubením znalostí o chemických, fyzikálních a mechanických vlastnostech lignocelulózových materiálů přispěla k rozšíření použitelnosti těchto hmot i vědeckovýzkumná činnost v oblasti protipožární ochrany, a to nezanedbatelným podílem. Získané informace se uplatňují ve všech sférách, kde je dřevní materiál používán. Ani vzhledem k mnohým hodnotným výsledkům nelze konstatovat, že je tento výzkum již ukončen a že se podařilo podstatně eliminovat negativní vlastnosti lignocelulózových materiálů související s jejich tepelnou degradací.

Výzkumná činnost požárně technického charakteru je i nadále rozvíjena s cílem získávání dalších poznatků o vlastnostech uvedených hmot a jejich pozitivní úpravě. Za tímto účelem pokračuje vývoj nových a účinnějších antipyrénních přípravků, provázený vývojem a zdokonalováním požárně technického zkušebnictví.

#### 3.1 Submikroskopická a chemická stavba dřeva

Po odumření živých buněk je dřevní hmota tvořena především nehomogenními buněčnými stěnami a lumeny buněk. Je to souvrství submikroskopicky a chemicky odlišných zón. Mezi submikroskopickou stavbou a chemickým složením vrstev buněčné stěny existují vzájemně úzké vztahy.

Ve zralé zóně dřeva má skladba buněčné stěny vláknitých elementů dřevní hmoty charakteristické znaky. Mezi dvěma buňkami se nachází pojivá tenká vrstva, tzv. střední lamela. Na ni navazuje primární a dále sekundární stěna.

Řetězové makromolekuly celulózy se seskupují do vyšších stavebních jednotek, tzv. elementárních fibril, které vytvářejí síťovou strukturu. Seskupením elementárních fibril jsou vytvářeny mikro a makrofibrily. Makrofibrily tvoří tzv. lamely a tyto jsou podstatou vrstev tvořících buněčnou stěnu.

Mezi fibrilami jsou submikroskopické prostory, vytvářející bohatě rozvětvenou síť. Bývají vyplněny ligninem, hemicelulózou, pektinovými substancemi apod. Mohou však být i prázdné nebo u vlhkého dřeva zaplněné vodou.

Struktura buněčné stěny do značné míry ovlivňuje fyzikální vlastnosti dřeva. Např. systém submikroskopických dutin a jejich zaplnění vodou či vysušování

způsobuje bobtnání a vysychání dřeva, orientace fibril ovlivňuje mechanické vlastnosti dřeva atd.

### 3.1.1 Elementární a chemická stavba dřevní hmoty

Dřevo, vysušené na konstantní hmotnost, disponuje prakticky podobnou elementární a chemickou skladbou, která není podstatně ovlivněna druhem dřeviny. Poněkud se však liší jeho skladbou různých částí dřevní hmoty. Elementární složení většiny druhů dřeva je zhruba následující:

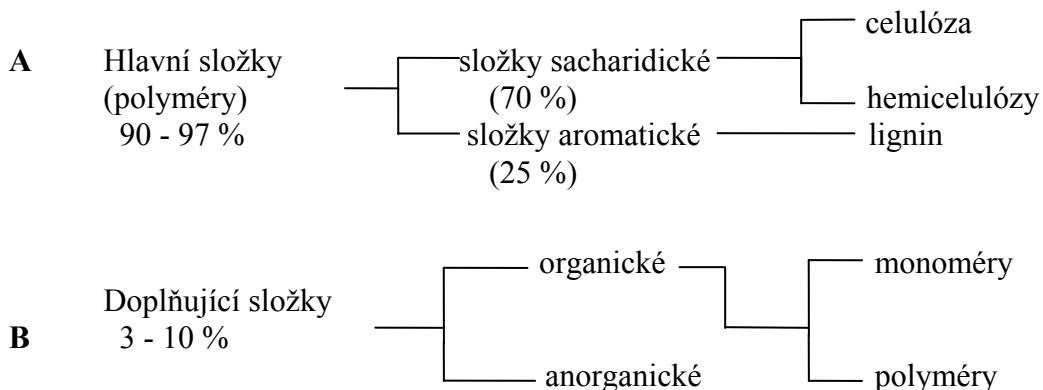
uhlík	-	49,0	±	1,0 %
vodík	-	6,1	±	0,1 %
dusík	-	0,2	±	0,03 %
popel, minerální látky	-	0,2	±	1,0 %
kyslík	-	zbytek		obsahu

Kůra obsahuje méně uhlíku, větší podíl vodíku a minerálních látek na úkor obsahu kyslíku.

Kromě organických látek obsahuje dřevo i látky minerální, které tvoří po tepelné degradaci popel. Rozdíly v údajích různých autorů o obsahu těchto popelovin ve dřevní hmotě jsou ovlivněny podmínkami růstu dřeviny, jakostí půdy, stářím stromu, klimatickými a dalšími podmínkami.

### 3.1.2 Základní chemická skladba dřevní hmoty

Informace o stavbě dřeva se v posledních obdobích značně upřesnily. Přestože dřevo představuje složitý heterogenní systém látek, je možno uvést přibližnou jednoduchou klasifikaci složek dřeva:

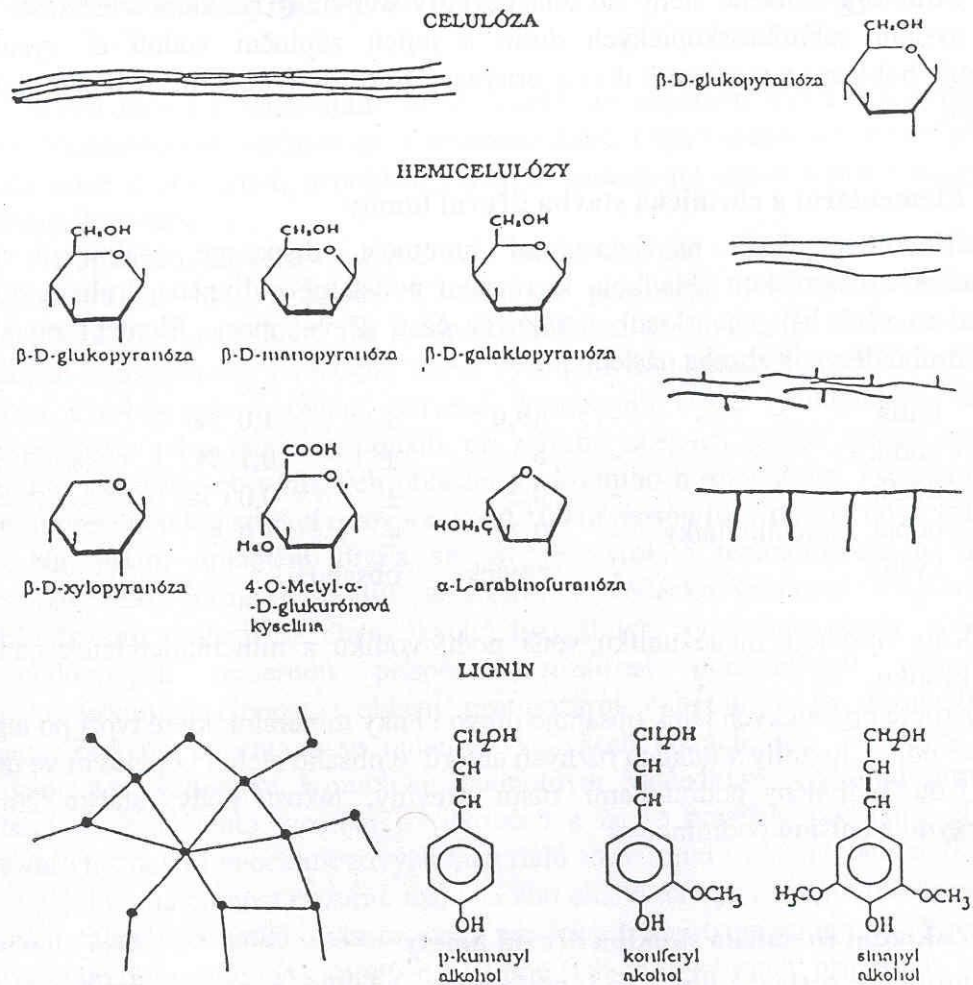


Chemická struktura základních stavebních jednotek polymerů dřeva, tzn. polysacharidů a ligninu je zřejmá z obr. 3.1.

#### Celulóza

Celulóza je sacharidickou složkou dřeva. V průměru tvoří 46 až 56 % z hmotnosti dřeva. Je základní strukturální částí jeho buněčných stěn. Řetězce celulózy jsou navzájem postranně drženy sekundárními vodíkovými vazbami. Sekundární spojení jsou příčinou anizotropie mechanických a fyzikálních vlastností.



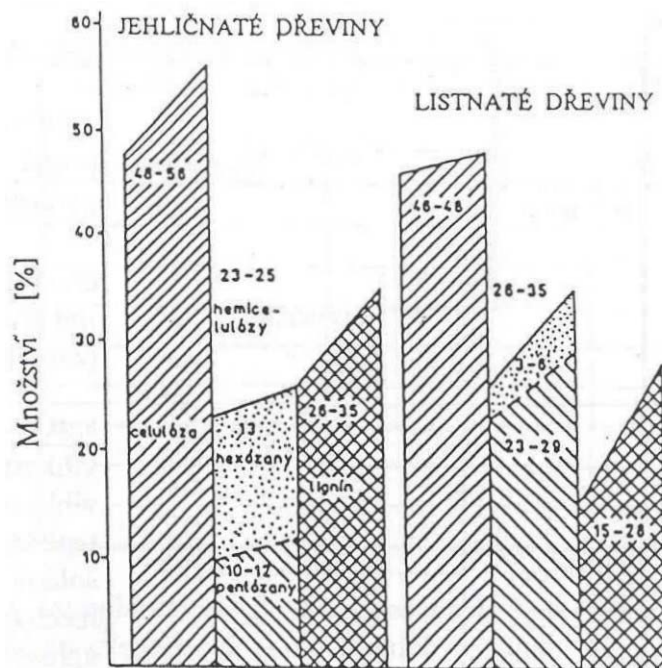


Obr. 3.1 Chemická struktura základních stavebních jednotek polymerů dřeva: polysacharidů a ligninu

Celulóza je schopna vázat určité množství vody, které je v rovnovážném stavu s tlakem vodních par okolní atmosféry. Odolává především tlakovým silám působícím podél molekulových řetězců. S délkou celulóзовého řetězce je přímo úměrná pevnost dřeva.

### Hemicelulózy

Dřevo sestává z 23 - 35 % hemicelulóz. Jejich obsah je větší u dřevin listnatých než u jehličnanů. Hemicelulózy jsou rovněž mechanickou složkou dřevní hmoty. V porovnání s celulózou to jsou polysacharidy s menší relativní hmotností a kratšími řetězci. Spolu s ligninem penetrují kostru buněčných stěn celulózy. Ovlivňují chemické a fyzikální vlastnosti dřeva. Podíl hemicelulóz i dalších hlavních organických látek je znázorněn na obr. 3.2.



Obr. 3.2 Podíl obsahu hlavních organických složek dřeva jehličnatých a listnatých dřevin

### Lignin

Lignin je důležitou stavební složkou dřeva zabezpečující dřevnatění jeho buněčných stěn. Obsah ligninu tvoří zhruba 26 - 35 % hmotnosti dřeva a je vyšší u dřevin jehličnatých než u listnatých, viz obr. 3.2.

Lze říci, že lignin plní hydrofobní funkci. Jeho hlavním úkolem je spojování mezibuněčných vláken a zpevnění celulózových molekul v rámci buněčných stěn. Dřevu dodává pevnost, především v tlaku. Je termoplastický a vyznačuje se absorpcí světla.

## 3.2 Faktory znehodnocování dřeva a vliv skladby dřevní hmoty

Společně s řadou pozitivních vlastností dřeva se na jeho celkové charakteristice podílí i vlastnosti negativní. K nim náleží jeho degradovatelnost různými biotickými i abiotickými činiteli (viz tab. 3.1).

Na míře znehodnocení se kromě jiného přímo uplatňuje narušení struktury dřeva. K různým defektům dochází často již při růstu dřeviny, při těžbě dřeva a jeho zpracování. Záměrně vyvolané změny doznává struktura dřeva při mechanických, chemických anebo biologických zpracovatelských technologiích suroviny na meziprodukty a konkrétní výrobky.

Jednotlivé degradační mechanismy dřeva jsou závislé na jeho struktuře. K významnějším změnám vlastností dochází při degradačních procesech probíhajících přímo na molekulární strukturální hladině dřeva a majících souvislost s poškozením makromolekul polysacharidických složek a ligninu.

Tab. 3.1

Degradální faktory dřevní hmoty

<b>Degradální faktor</b>	Biotický	mikroorganický	bakterie
		rostlinný	dřevokazné houby plísně parazitické rostliny
		živočišný	dřevokazný hmyz jiní živočichové (zvěř, ptactvo)
	Abiotický	chemický	agresivní chemikálie
		atmosférický	vlhkost a voda vlhkostní změny teplotní změny solární radiace mechanické vlivy agresivita atmosféry
		termický	plamen tepelná radiace

Při poškození stavebních polymerů dřevní hmoty se výrazně mění všechny fyzikální, mechanické, funkční a estetické vlastnosti dřeva. Degradace, vznikající na molekulární strukturální hladině vlivem různých činitelů, jako jsou např. vlivy atmosférické, tepelné, chemické, enzymatické aktivity hub atd. (viz tab. 3.1), jsou následně promítány i do anatomické a morfologické strukturální hladiny. Existuje zde spojitost s poškozením anebo rozkladem buněčných stěn i celých buněk, a to často až do hladiny makroskopicky-geometrické v souvislosti se změnami geometrie tvarů, kvality povrchu a všech souvisejících fyzikálních i mechanických vlastností.

Kromě charakteru a mechanismu degradačních procesů ovlivní míru poškození dřeva i faktor rozsahu a stádií uvedených procesů. Při některých degradačních formách způsobených např. vlivem atmosférických činitelů nebo mikroorganismů, nastává tzv. limitované poškození dřeva ve směru od vnějšího povrchu jen do určité hloubky dřevní hmoty. Avšak pro většinu degradačních vlivů rozsah poškození limitován není. Jejich negativní projevy působí v celém objemu i sortimentu dřeva.

### 3.2.1 Přirozená trvanlivost dřeva

Přirozená trvanlivost dřeva vyplývá především z rozdílné stavby dřeva jednotlivých druhů dřevin a různých forem jeho expozičních zatížení (viz tab. 3.2).

Např. na odolnosti dřeva vůči biotickým činitelům se pozitivně projevuje zvýšený podíl doprovodných látek typu tříslovin (jádro dubu, akátu) a živic (borovice), které působí na řadu škůdců toxicky. Naopak některé organické a anorganické složky dřeva na bázi dusíku, hořčíku, fosforu, draslíku, síry a ve stopových množstvích i jiných prvků, obsažených hlavně v rychlerostoucích dřevinách, jsou simulátory růstu aktivity dřevokazových hub.

Tab. 3.2 Poměrná přirozená trvanlivost dřeva různých dřevin ve srovnání s trvanlivostí dřeva dubového

Druh dřeviny	Poměrná trvanlivost při aplikaci dřeva v různých prostředích [%]		
	v exteriéru	ve vodě	v suchém prostředí
dub	100	100	100
borovice stará	85	80	90
borovice mladá	60	70	60
smrk	75	50	75
buk	60	70	40
osika	50	-	95
olše	40	100	38
bříza	40	-	38
topol	30	-	35

Zároveň i komplikovaná stavba buněčných stěn některých dřevin sehrává významnou úlohu při degradační aktivitě mnohých znehodnocujících faktorů dřevní hmoty. Např. konkrétní druhy plísní a bakterií nejsou schopny komplikovanou strukturu dřevních buněčných stěn vůbec atakovat - především nejsou schopny narušovat lignin.

Vliv stavby buněčných stěn se projevuje u všech forem znehodnocování dřeva, a tím působí i na jeho trvanlivost. Problematika ohrožení biologickým napadením je předmětem ČSN EN 335 -1 –2 Trvanlivost dřeva a materiálů na jeho bázi.

Vlivy, které vedou ke znehodnocování dřeva a ke snižování jeho životnosti, jsou zde podány pouze okrajově. Specifické jsou znehodnocující faktory dřeva, které souvisí s jeho termooxidačními degradačními procesy.

### 3.3 Vliv teploty na fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva

Jak fyzikální, tak i mechanické vlastnosti dřeva vyjadřují charakteristiky, na jejichž základě se stanovuje vhodnost jeho použití.

Dřevo se vyznačuje poměrně nízkou hmotností, přesto však disponuje vysokou pevností, což ho z kvalitativního hlediska staví před jiné průmyslově vyráběné materiály. Poměr pevnosti dřeva k objemové hmotnosti lze porovnat např. s kovy, které svými vlastnostmi někdy i převyšuje. Na rozdíl od kovů se vyznačuje malou plastickou deformací a značnou odolností vůči rázovému namáhání a kmitání. Pro technickou praxi je často problematická hydroskopičnost dřevních materiálů, jejich bobtnání a sesychání. Tyto vlastnosti následně ovlivňují celou řadu jiných parametrů jako např. objemovou hmotnost, pevnost, životnost, rozměrovou stálost, tepelně technické vlastnosti a další. Vlivem anizotropie dřeva se jeho vlastnosti různí vzhledem k orientaci vláknité struktury. Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva nejsou konstantní. Jedná se o proměnné veličiny, které jsou ovlivněny řadou faktorů. K nejvýraznějším se řadí vlivy termické a vlhkostní.

Pro posuzování vlivu požáru na konstrukce navržené ze dřeva byl již v r. 1996 vydán návrh předběžné normy ČSN P ENV 1995-1-2 Eurokód 5 - Navrhování dřevěných konstrukcí, část 1,2 - Navrhování konstrukcí na účinky požáru a v r. 1997 rovněž z ČSN P ENV 1991 Eurokód 1 - Zásady navrhování a zatížení konstrukcí, část

2,2 - Zatížení konstrukcí namáhaných požárem. Uvádí metody postupu navrhování dřevěných konstrukcí s uvažováním různých proměnných faktorů působících na dřevo jako konstrukční materiál, tzn. např. parametry teplotní zátěže při požáru, změnu mechanických vlastností, nestabilitu rozměrů posuzovaného konstrukčního prvku, ale rovněž účinek aktivních protipožárních opatření a vliv následků dosažení mezních stavů požární odolnosti.

V současnosti je však problematické veškeré zde uvedené a ostatní související parametry zcela spolehlivě uplatnit. U konstrukčních soustav a prvků naráží výpočetní metody na praktické obtíže jak při výpočtu nestacionárních teplotních polí, tak při navazujícím výpočtu vnitřních sil a příslušných mezních stavů. Proto nelze exaktně jednoznačně prokázat, že se dřevní materiál a konstrukce z něj vyrobené budou projevovat zcela přesně podle uvažovaného předpokladu.

Při navrhování dřevěných konstrukcí na účinky požáru lze v podstatě zohlednit tři alternativní způsoby posouzení vlivu účinku požáru na charakteristiky konstrukčního materiálu. Jsou to:

- zjednodušená metoda účinného průřezu,
- metoda redukované pevnosti a tuhosti,
- obecná metoda.

Ve zjednodušené metodě účinného průřezu se stanovuje únosnost účinného průřezu za předpokladu, že původní pevnost a tuhost není požárem ovlivněna. Místo toho je faktické zhoršení pevnosti a tuhosti kompenzováno užitím zvětšené hloubky zuhelnatění.

V metodě redukované pevnosti a tuhosti se početně stanoví únosnost zbytkového průřezu se sníženou pevností a zhoršeným modulem pružnosti materiálu.

V obecné metodě se určuje teplota a vlhkost zbytkového průřezu dřevěného prvku a vztah mezi pevností, popř. modulem pružnosti a fyzikálními charakteristikami materiálu, tj. teplotou a vlhkostí.

Rozhodujícím parametrem pro návrh dřevěné konstrukce na účinky požáru je hloubka zuhelnatění dřevěného materiálu ( $d_{char}$ ). Lze ji stanovit dle vztahu 3.1:

$$d_{char} = \beta_0 \cdot t \quad [\text{mm}], \quad (3.1)$$

kde  $t$  je doba plně rozvinutého požáru [min],  
 $\beta_0$  míra zuhelnatění [ $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$ ].

Dřevo v třídách pevnosti dle EN 338, EN 1194 i našich tříd pevnosti vykazuje míru zuhelnatění ( $\beta_0$ ) různou dle jeho druhu a úpravy, viz EN 1995-1-2:

dřevo měkké	- rostlé, minimální rozměr 35 mm;	$\rho \geq 290 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$	.....	0,8 $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$
	- lamelové lepené	$\rho \geq 290 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$	.....	0,7 $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$
	- dřev. desky, tl. 20 mm	$\rho = 450 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$	.....	0,9 $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$
dřevo tvrdé	- rostlé i lamelové lepené	$\rho \geq 450 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$	.....	0,5 $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$

Pro testy na bázi dřeva podle EN 309, EN 313-1, EN 300, EN 1316 a pro naše materiály s charakteristickou hustotou  $\rho = 450 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  a tl. 200 mm se stanoví míra zuhelnatění ( $\beta_0$ ) dle EN 1995-1-2 následovně:

- překližky ..... 1,0  $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$
- nepřekližkový deskový materiál ..... 0,9  $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$

U vrstvených dřevních materiálů s těsně spojenými vrstvami vzájemně mezi sebou, lze míru zuhelnatění počítat pro výslednou tloušťku prvku.

### 3.3.1 Tepelně fyzikální charakteristiky dřeva

K nejvýznamnějším charakteristikám dřeva náleží např. tepelná vodivost a měrné teplo. Tepelná vodivost dřeva a materiálů na bázi dřeva závisí na teplotě, hmotnosti a absolutní vlhkosti dřeva. Přibližně lze používat pro teplotu 20 °C a tepelný tok kolmo k vláknům hodnot  $\lambda_0 = 0,13 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$  pro měkké dřevo,  $\lambda_0 = 0,19 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$  pro tvrdé dřevo a  $\lambda_0 = 0,10 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$  pro zuhelnatělé dřevo. Vliv hustoty a absolutní vlhkosti je možno uvažovat takto:

$$\lambda_0 = [237 + 0,02 \rho_0 (1 + 2 \omega)] \cdot 10^{-4}, \quad (3.2)$$

kde  $\rho_0$  je objemová hmotnost absolutně suchého dřeva [ $\text{kg.m}^{-3}$ ] a  $\omega$  jeho absolutní vlhkost v %. Rovnici 3.2 lze použít pro hmotnost  $\rho_0$  od 300 do 800  $\text{kg.m}^{-3}$  a vlhkost do 40 %. Vliv teploty  $\theta_w$  dřeva v rozmezí od +20 do +100 °C na jeho tepelnou vodivost  $\lambda$  lze vyjádřit rovnicí 3.3:

$$\lambda = \lambda_0 \left[ 1 + (1,1 - 9,8 \cdot 10^{-4} \rho) \frac{\theta_w - 20}{100} \right], \quad (3.3)$$

kde  $\rho$  je objemová hmotnost vlhkého dřeva při 20 °C [ $\text{kg.m}^{-3}$ ].

Měrné teplo  $c$  [ $\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ] měkkého dřeva lze určit při jeho teplotě  $\theta_w \leq 100$  °C z rovnice 3.4:

$$c = \frac{c_{dry} + \omega \cdot c_{water}}{1 + \omega}, \quad (3.4)$$

kde měrné teplo suchého dřeva  $c_{dry} = 1110 + 4,2 \theta_w$  a měrné teplo vody  $c_{water} = 4200 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ . Pro  $\theta_w > 100$  °C již platí  $c = c_{dry}$ .

Měrné teplo  $c$  [ $\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ] zuhelnatělého dřeva určuje příloha ČSN EN 1995 Eurokód 5 pro teplotu dřeva  $\theta_w = 400$  °C hodnotou  $c = 1000 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ , pro teplotu dřeva  $\theta_w = 600$  °C hodnotou  $c = 1400 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$  a pro teplotu dřeva  $\theta_w = 800$  °C hodnotou  $c = 1650 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ .

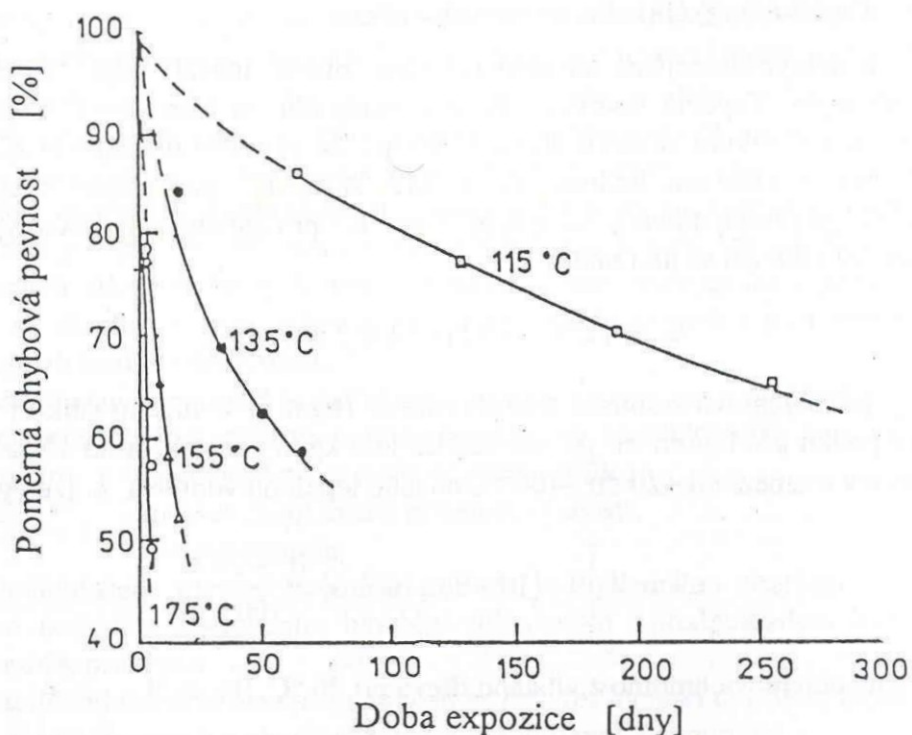
Z praktického hlediska nelze opomenout zmínku o délkové a objemové roztažnosti dřeva, případně i další fyzikální charakteristiky, které jsou ovlivňovány tepelnou zátěží dřevěného materiálu.

Stručným shrnutím existujících poznatků lze konstatovat, že pro dřevní materiály platí obecné zákonitosti teplotních vlivů na fyzikální vlastnosti pevných materiálů. V důsledku anizotropie dřeva se však tyto vlastnosti různí vzhledem k orientaci vláknité stavby dřevní hmoty. Proto je nutné hodnoty veškerých parametrů doplňovat údaji o vztahu k hlavním řezům dřeva nebo o orientaci ke směru vláknité struktury. Tytéž požadavky se uplatňují u vlastností mechanických.

### 3.3.2 Vliv teploty na mechanické vlastnosti dřevních materiálů

Pro požární odolnost dřevěných stavebních prvků a konstrukcí jsou prioritní změny jejich mechanických vlastností při tepelném namáhání.

Intenzita poklesu pevnostních charakteristik je závislá jednak na výši teploty, ale i na době, po kterou působí. Např. podle Reinprechta poklesne ohybová pevnost o 20 % při teplotě 135 °C až za 3 týdny (viz obr. 3.3).



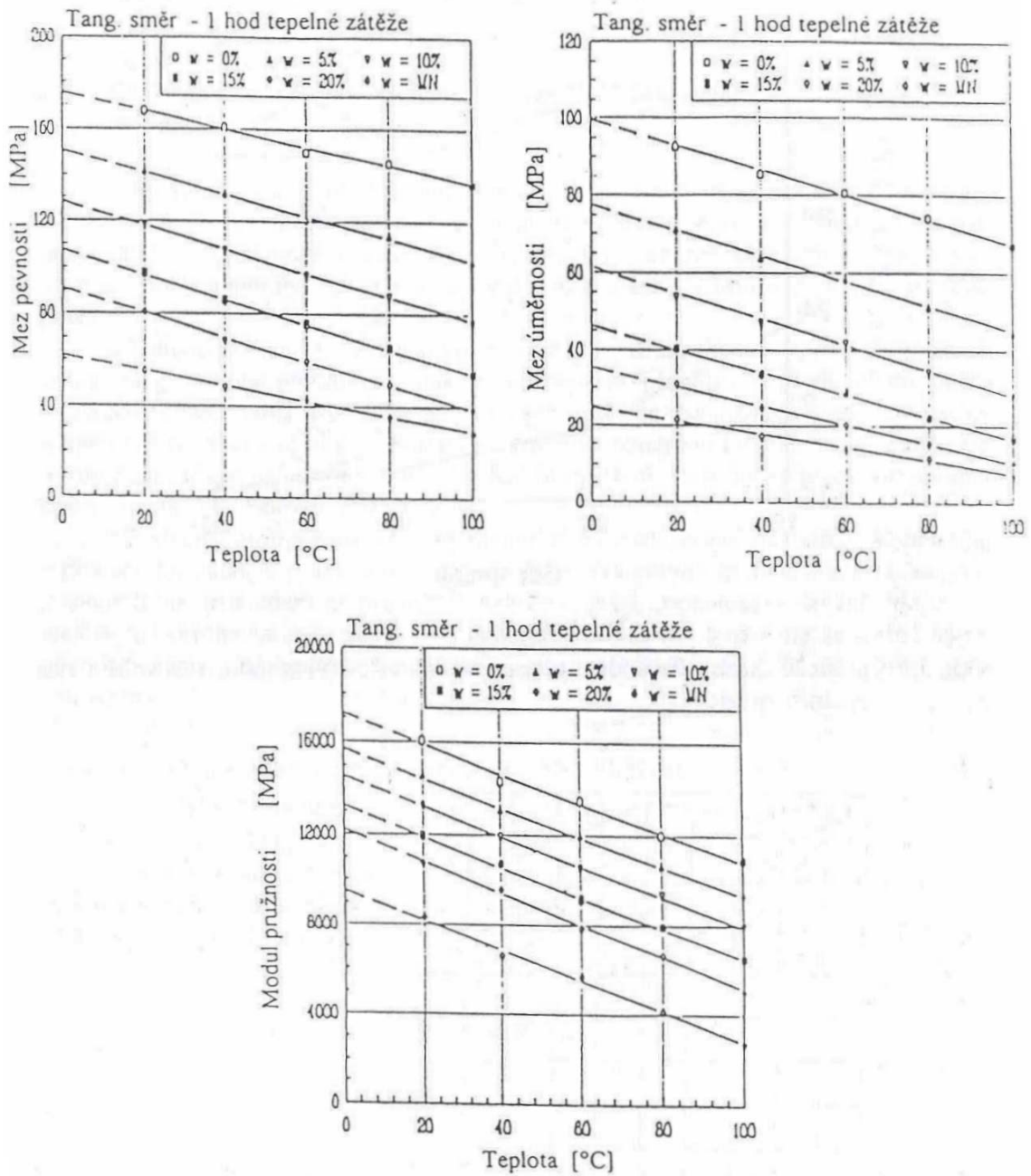
Obr. 3.3 Vliv expoziční teploty a času na pokles ohybové pevnosti dřeva

Vzájemné porovnání experimentálních výsledků různých autorů se mnohdy různí, avšak většinou se potvrdilo, že napěťové charakteristiky (meze pevnosti a úměrnosti, modul pružnosti) s nárůstem teploty lineárně klesají v poměrně širokém teplotním intervalu. Při nulové vlhkosti se v některých případech uvádí lineární závislost až do cca 250 °C. Na obr. 3.4 je znázorněno ovlivnění napěťových charakteristik bukového dřeva ve statickém ohybu s růstem teploty a změnou vlhkosti.

Bylo prokázáno, že s rostoucí výší zatěžovací teploty a délkou jejího působení je zvyrazněn pokles napěťových charakteristik. Tyto se s expozičním časem blíží k limitní hodnotě. Při krátkodobých teplotních zátěžích nejsou uvedené změny příliš markantní.

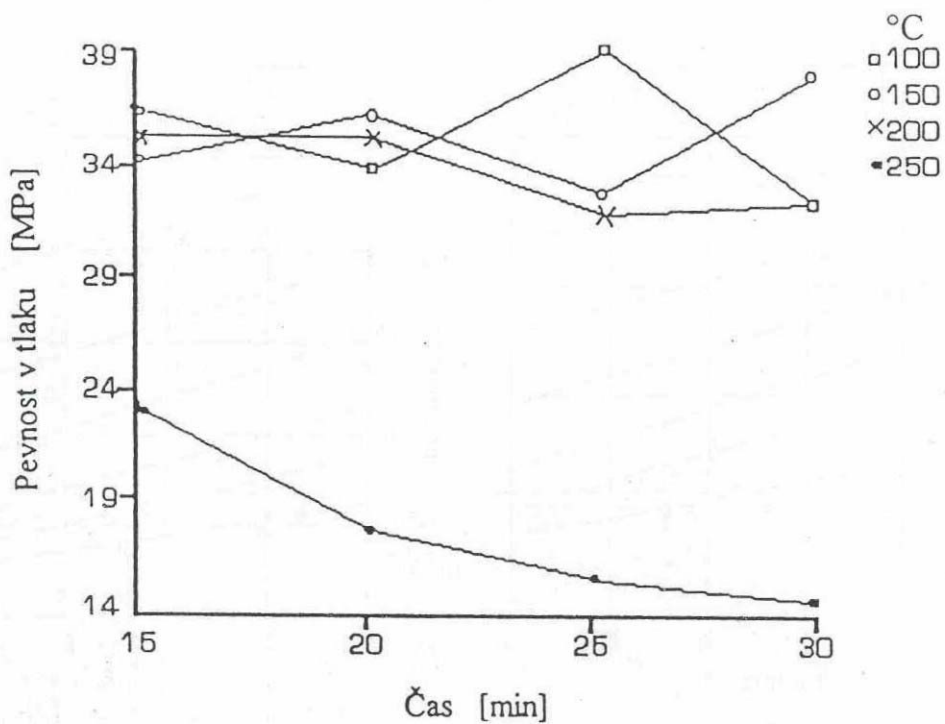
Byl stanoven nesporný negativní vliv tepelné zátěže na veškeré napěťové charakteristiky, tzn. na pevnost v tlaku, tahu, ohybu, ve smyku atd. i na jejich kombinace.

Vliv změn mechanických vlastností jehličnatého dřeva v závislosti na teplotě dokumentuje např. i Osvald [9], viz obr. 3.5.

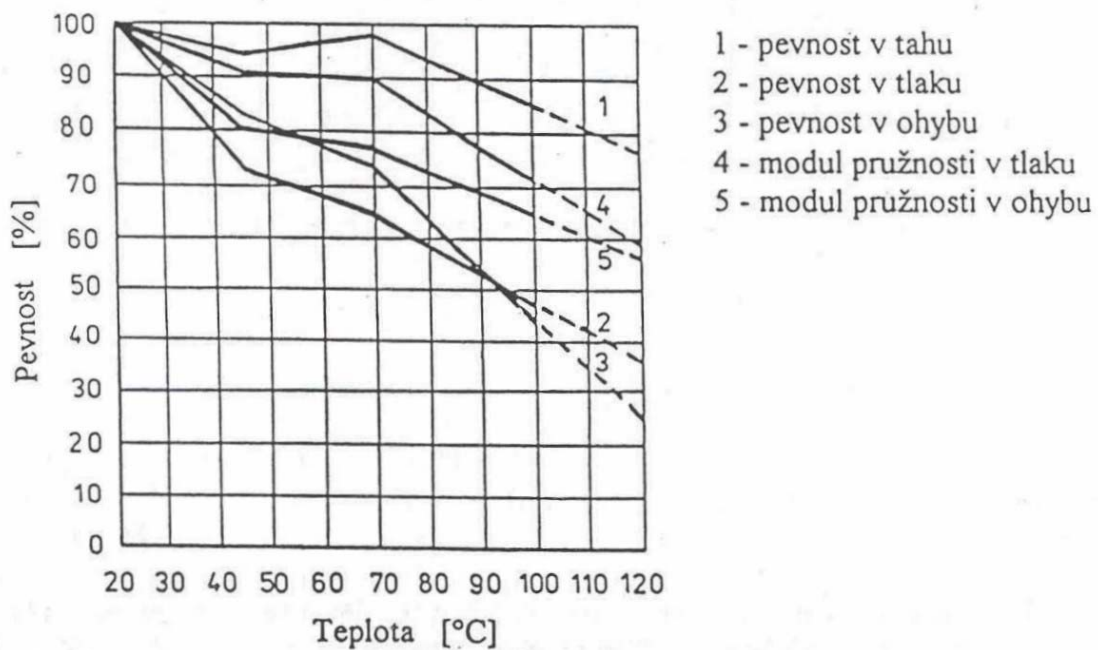


Obr. 3.4 Závislost napět'ových charakteristik bukového dřeva ve statickém ohybu ( $\perp$ ) na teplotě po 1 hod. působení při různé vlhkosti





Obr. 3.5 Grafické znázornění hodnot pevnosti v tlaku  $R_{cd}$  (||) závislosti na době a výši tepelné expozice



Obr. 3.6 Změny mechanických vlastností jehličnatého dřeva o vlhkosti 12 % v závislosti na teplotě

Na základě experimentálních výsledků dochází k závěrům, že teploty do 200 °C a doby expozice menší než 30 min sledované vlastnosti výrazně neovlivní.

K podstatným změnám mechanických a fyzikálních vlastností dochází při teplotách kolem 250 °C. Při této teplotě se markantně zvýrazňuje i časový faktor tepelné zátěže.

Reichel [10] uvádí rovněž výsledky testování vlivu tepelné zátěže na mechanické vlastnosti jehličnatého dřeva. Sumarizací závěrů je obr. 3.6.

Ze zmíněných poznatků o změnách mechanických i jiných vlastností dřeva v závislosti na teplotě je sice zřejmá řada shodných závěrů, ale nejsou zcela totožné. Výsledky analýz mnoha dalších autorů rovněž vzájemně zcela nekorespondují.

Vzhledem k této skutečnosti lze pouze konstatovat existující variabilitu výsledků četných experimentů. Tyto dokumentují stávající nejednotnost v řešení problematiky, pro kterou zatím neexistovalo mezinárodně uznávané jednotné stanovisko, podložené přesným matematickým vyjádřením. Přínosem k řešení této situace je uplatnění Eurokódů pro výpočet mechanických vlastností dřevěných konstrukcí.

### **3.4 Úprava požárně technických vlastností dřeva a materiálů vyráběných na jeho bázi**

Dřevo jako hlavní představitel lignocelulóзовých materiálů náleží k významným základním domácím surovinám s možností použití v široké sféře národního hospodářství, především však ve stavebnictví. Energetická náročnost výroby a zpracování stavebních materiálů se nyní stává jedním z limitujících faktorů jejich použitelnosti.

Z tohoto hlediska je dřevo a dřevěné konstrukce schopno ekonomické konkurence s mnoha jinými materiály, a to především při zajištění předpokladu úměrné doby životnosti, s čímž úzce souvisí i zlepšení požárně technických vlastností. Časové rozpětí snahy lidstva o inhibici hořlavosti dřevních materiálů lze měřit na staletí, avšak dosud není možné jednoznačně určit konkrétní opatření, které by vyhovovalo mnohým, často vzájemně rozporným požadavkům.

Realizace protipožární ochrany materiálů a konstrukcí na bázi dřeva se uplatňuje v různých formách. V praxi se obvykle sdružuje preventivně správné konstrukční pojetí s konkrétním provedením příslušné ochrany proti nežádoucí tepelné degradaci. Nejčastější pasivní protipožární ochranou jsou chemické přípravky používané ve formě nátěrů, postřiků nebo impregnací, označované jako požárně retardací systémy neboli antipyrény.

#### **3.4.1 Funkční mechanismy působení retardérů hoření**

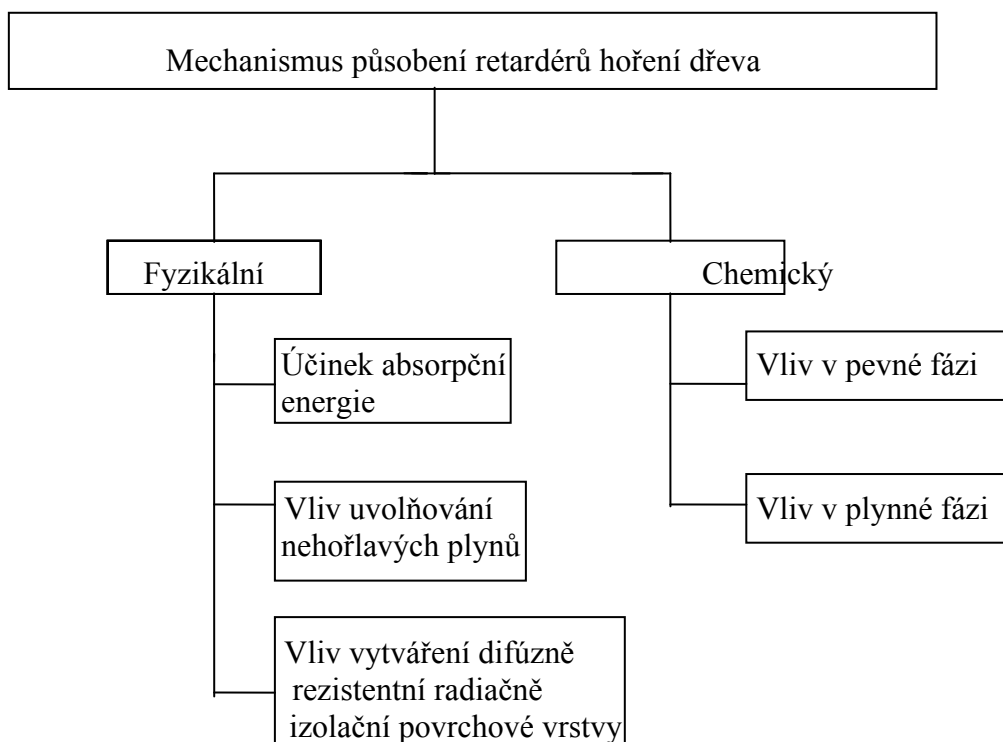
Pro retardéry hoření je charakteristické usměrňování nebo potlačení různých přenosových a reakčních dějů v materiálu, vyvolaných působením termické zátěže. V souvislosti s uvedeným působením potlačují termický rozklad, vznětlivost a hoření dřeva, a to pomocí mnoha fyzikálních a chemických mechanismů, viz obr. 3.7.

Tyto fyzikální a chemické mechanismy retardace pyrolýzních reakcí dřevních materiálů mohou být dle svých účinků členěny do tří kategorií:

- 1) mechanismy s chemickými účinky na pyrolýzní reakce,
- 2) mechanismy s inhibičními účinky v plynné fázi,

### 3) mechanismy s termoizolačními efekty.

Retardační přípravky, působící v první kategorii, směřují k modifikaci průběhu pyrolýzy se snahou produkovat nehořlavé těkavé látky, které snižují rychlost pyrolýzních procesů, nebo mohou podpořit tepelnou stabilizaci chemické struktury dřeva. Jednou z modifikací je dehydratace a karbonizace, které produkují nehořlavé produkty vody a uhlíku. Ačkoliv se pro tuto modifikaci používá mnoho různých retardérů, nebylo těmito mechanismy nikdy dosaženo zcela uspokojivé protipožární retardace dřeva.



Obr. 3.7 Mechanismy působení retardérů hoření

Retardéry druhé kategorie inhibují hoření hořlavých těkavých látek tvorbou halogenových radikálů, vstupují do terminačních reakcí s požárem vzniklými radikály za vzniku nehořlavých produktů.

Účinnost halonových komponentů k potlačení plamenného hoření se projevila efektivněji než účinnost ředěním nehořlavých plynů, jako jsou  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{N}_2$  atd.

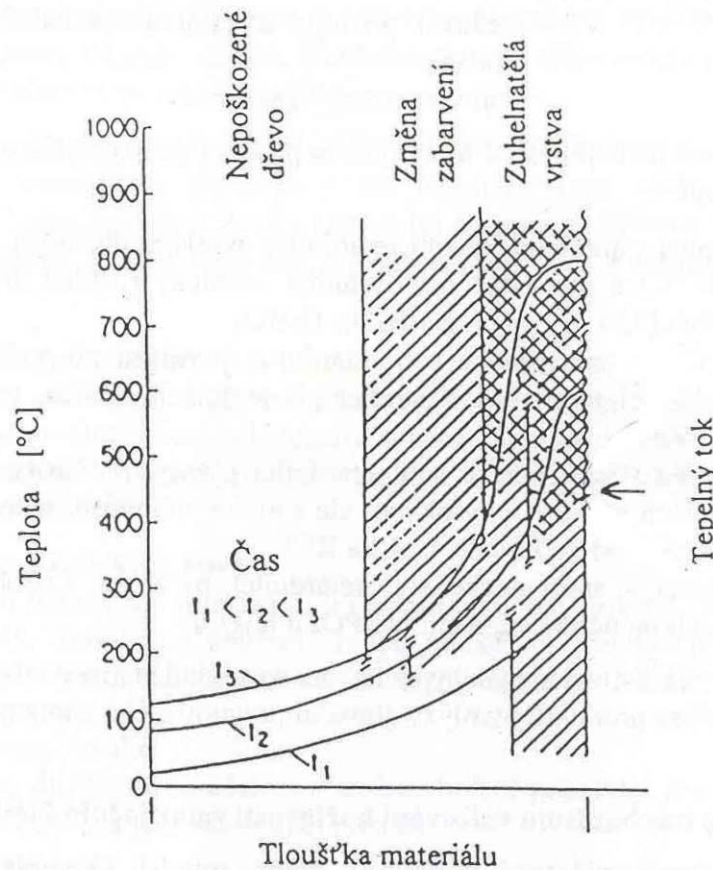
Třetí kategorie retardace omezuje nárůst teploty tvorbou termicky izolačních povlaků na povrchu dřeva či uhlíkaté vrstvy chemickým nebo fyzikálním absorbováním tepla.

Během tepelné zátěže dřeva je teplota průřezu dřevěného prvku, způsobující degradaci dřevní struktury, funkcí času a vzdálenosti od ohřívaného povrchu. Předpokládané teplotní profily uvádí obr. 3.8.

Hlavní pyrolýzní procesy začínají při teplotách nad  $250\text{ }^\circ\text{C}$  a kulminují při teplotách kolem  $400\text{ }^\circ\text{C}$ . Zuhelnatělý povrch dřeva však během hoření dosahuje teplot i nad  $800\text{ }^\circ\text{C}$ . Pro modifikaci průběhu pyrolýzy tudíž vyplývá požadavek:

- funkčnosti retardérů hoření již při teplotách nižších než 250 °C,
- působení retardérů hoření v širokém teplotním rozsahu (250 - 800 °C);  
v průběhu modifikace je žádoucí, aby tepelně stabilizované struktury zůstaly neporušené i při vysokých teplotách.

Významný účinek ve 3. kategorii retardačních mechanismů by bylo možno získat udržováním teploty pod teplotní mezí, kdy celulóza začíná aktivně uvolňovat těkavé látky.



Obr. 3.8 Předpokládané teplotní profily v tepelně namáhaném dřevě v závislosti na čase

### 3.4.2 Inhibice hořlavosti lignocelulózových materiálů v různých fázích termolýzního procesu

Z kapitoly 3.4.1 vyplývá, že inhibici hoření pomocí retardérů lze specifikovat pro různá stádia termolýzy. Konkrétně pro materiály na bázi dřeva lze retardaci uplatnit:

- ve stádiu iniciace
  - spotřebou tepla pro průběh endotermních reakcí (odpařování, sublimace apod.)
  - změnou tepelné a teplotní vodivosti
    - změnou tepelné kapacity dřevního materiálu
    - inhibicí procesů fotooxidace, biooxidace a termooxidace vyvolávajících samozahřívání
- během pyrolýzního procesu
  - ovlivněním průběhu pyrolýzy na základě dehydratační

- teorie
  - inhibicí termolytické reakce za vzniku levoglukozanu
  - inhibicí jako komplexu různých procesů
- c) během plamenného hoření
  - podporou tvorby inertní atmosféry emisí nehořlavých plyných látek a redukováním koncentrace oxidační atmosféry
  - tlumením plamenného hoření
- d) v procesu bezplamenného hoření
  - redukcí přístupu kyslíku a zpomalováním oxidačních reakcí
  - úpravou procesu oxidace

V závislosti na účinnosti v termolýzním procesu jsou obvykle uváděny 4 skupiny anorganických solí

- I. skupina - anorganické soli retardující pyrolýzu dřeva při vyšších teplotách (350 °C) a podstatně neovlivňující termický rozklad dřeva při teplotách nižších (250 °C), např.  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ,  $\text{H}_3\text{BO}_3$ .
- II. skupina - anorganické soli retardující pyrolýzu při vyšších teplotách a urychlující termickou destrukci při teplotách nižších, např.  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$  nebo  $\text{ZnCl}_2$ .
- III. skupina - anorganické soli retardující pyrolýzu v široké teplotní škále (v teplotách nízkých i vysokých) ale s malou účinností, jako např. sloučeniny odvozené od  $\text{SiO}_2$ , dále  $\text{NaCl}$  a  $\text{KCl}$ .
- IV. skupina - anorganické soli retardující pyrolýzu v široké teplotní škále s vysokou účinností, např.  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  a  $\text{K}_3\text{PO}_4$ .

Tato hrubá klasifikace byla vypracována na základě termoanalytických sledování a na základě analýzy produktů pyrolýzy dřeva impregnovaného anorganickými solemi.

### 3.4.3 Aktivace mechanismu snižování hořlavosti retardačními látkami

Mechanismus snižování hořlavosti přímo souvisí s komplexním výzkumem konkrétních vhodných přípravků. Nejčastěji jsou v oblasti preventivní protipožární ochrany používány sloučeniny fosforu, bóru, chlóru, brómu, antimonu a dusíku.

#### a) Sloučeniny fosforu

K nejpoužívanějším látkám snižujícím hořlavost dřevních materiálů patří retardéry na bázi sloučenin fosforu. Především amonné soli tvoří podstatnou složku mnohých komerčních přípravků. Podle prvních teorií chemismu retardace hoření těmito látkami esterifikuje kyselina fosforečná, resp. její anion polysacharidické složky dřeva, přičemž se uvolňuje voda. Mnohé retardéry obsahující fosfor uvolňují při zahřívání kyselinu ortofosforečnou, která reaguje při teplotě cca 200 °C s celulózu za vzniku poměrně tepelně stálého esteru. Při dalším zvyšování teplot nastává rozkladem esterů kyseliny fosforečné totální dehydratace sacharidů. Jiné teorie vycházejí z poznatku, že sloučeniny fosforu retardují bezplamenné hoření.

#### b) Boritany

Zjevný retardační účinek projevují i boritany. Původně se borax ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ) a kyselina boritá ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ) začal používat k úpravě hořlavosti přírodních (bavlněných)

textílií. Pro ochranu dřevních materiálů je vhodné použít těchto sloučenin v poměru 7 : 3, kdy vzniká nekystalická směs schopná vytvářet na povrchu chráněného materiálu sklovitý povlak. Postupná dehydratace kyseliny borité probíhá v teplotním intervalu 130 - 270 °C za vzniku oxidu boritého. Tavenina tohoto oxidu pokrývá povrch uhlíkatého zbytku a při teplotách 320 - 500 °C retarduje hoření. Boritany katalyzují dehydratační reakce polysacharidů (uplatnění dehydratační teorie retardace). Tento dehydratační účinek boritanů se zvyšuje u sloučenin s halogeny, výrazný je především u fluoroboritanů.

c) Halogenované sloučeniny

Halogenované sloučeniny patří dnes již ke klasickým retardérům hoření, a to především sloučeniny brómu a chlóru.

K nejúčinnějším chloridům patří  $ZnCl_2$  a  $CaCl_2$ , které aktivně retardačně působí v celém procesu termického rozkladu. Méně účinnými jsou  $AlCl_3$  a  $NH_4Cl$ , které omezují termický rozklad jen v úzkém teplotním rozmezí. Účinnost sloučenin chlóru a brómu se podstatně zvýší v důsledku synergického účinku s antimonem, především s  $Sb_2O_3$ . Vzhledem k nižší disociační energii vazeb C-Br než C-Cl jsou sloučeniny brómu účinnější.

d) Sloučeniny antimonu

Sloučeniny antimonu za účelem retardace procesu hoření představuje především oxid  $Sb_2O_3$  a jeho sloučenina s halogenvodíkem. Působení retardérů obsahujících antimon se vysvětluje terminací volných radikálů uvolněným halogenem a katalýzou dehydratačních reakcí.

e) Oxaláty alkalických kovů

Retardační účinek byl prokázán i u oxalátů alkalických kovů. Mezi nejznámější patří oxalát sodný, draselný a amonný. Jejich účinek se zřetelně projevuje změnou průběhu pyrolýzy, plamenného hoření i ve fázi bezplamenného hoření.

f) Sloučeniny dusíku

Sloučeniny dusíku se za účelem retardace hoření používají jen v omezené míře. Jsou využívány především jako doplňující přísady.

### 3.5 Konkrétní realizace zvyšování odolnosti dřeva vůči termickému rozkladu

Vzhledem k mechanismům snižování hořlavosti dřeva retardačními látkami (viz kap. 8.1.2) lze zvýšení požární bezpečnosti dřeva a materiálů na jeho bázi dosáhnout různými aspekty. Patří k nim zejména zabránění rychlého prohřevu materiálu na dekompoziční teplotu, omezení přístupu kyslíku k povrchu hořlavého materiálu, inertizace vznikajících hořlavých plynných produktů, termoreflexní efekty, podpoření tvorby zuhelnatělé vrstvy a zamezení jejího žhnutí.

Zabránění rychlého prohřevu materiálů se dosahuje obvykle aplikací povrchového materiálu s dostatečnou hodnotou tepelné kapacity či materiálů s termoreflexním účinkem. Nejběžnějšími jsou materiály obkladové (sádrokartonové, či sádrovláknité desky, desky Ordexal na bázi minerálních vláken atp.), laminovací, protipožární nátěry, případně materiály na bázi omítkovin (protipožární nástřiky). Uvedenými mechanickými způsoby lze zabránit i přístupu vzduchu, resp. kyslíku, k palivu. Tohoto efektu se však s úspěchem dosahuje i chemickou cestou, především

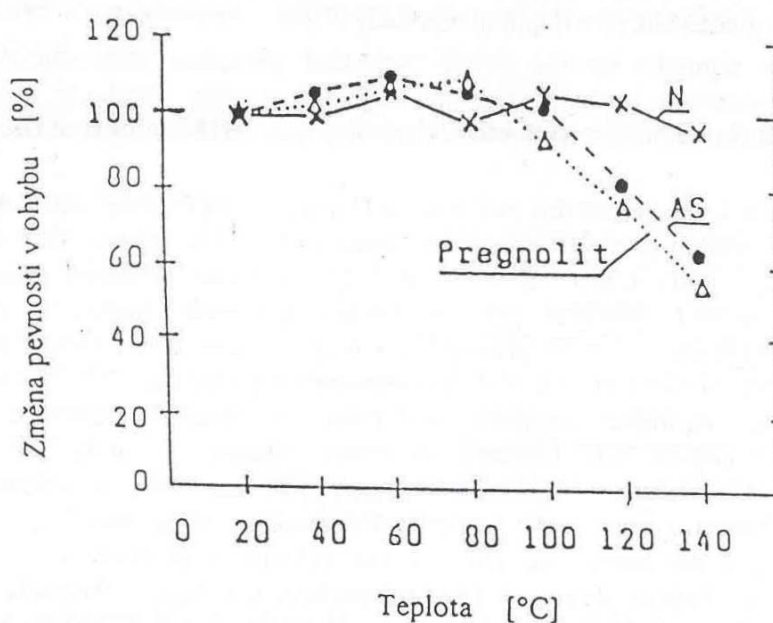
aplikací nátěrových zpěňujících (intumescentních) retardačních látek. Součástí těchto antipyrénů bývají např. chloroprenové a silikonové kaučuky, močovinoformaldehydové kondenzáty s polyalkoholy, případně se sloučeninami obsahujícími dusík (močovina, melamin) a další.

Inertizaci hořlavých plynných zplodin, vznikajících při tepelné degradaci dřeva, lze docílit nátěry nebo impregnací. Používané sloučeniny se vyznačují termickým rozkladem na jednodušší nehořlavé plynné látky. Pro tento účel jsou vhodné např. amonné soli (fosforečnany, sírany, bromidy, chloridy) a sloučeniny, které mají schopnost vázat na svou molekulu krystalickou vodu (uhličitan draselný, chlorid vápenatý, síran hlinitý). Vázaná voda se vlivem zvýšené teploty odštěpuje. Všechny tyto látky brání svým retardačním mechanismem zahřátí chráněného materiálu na dekompoziční teplotu do té doby, než je spotřebováno teplo nutné pro jejich rozklad. Ředěním hořlavé plynné atmosféry se ovlivňuje i možnost oxidace hořlaviny.

Do skupiny chemických sloučenin, podporujících tvorbu zuhelnatělé vrstvy, patří látky kyselé nebo alkalické povahy (fosfáty, sírany, octany, alkalické uhličitany atp.). Účinný efekt působení karbonizovaného povrchu dřevních materiálů je podmíněn zamezením žhnutí karbonizované vrstvy. Za tímto účelem je vhodné použití např. boritanů, chloridů, octanů a fosfátů.

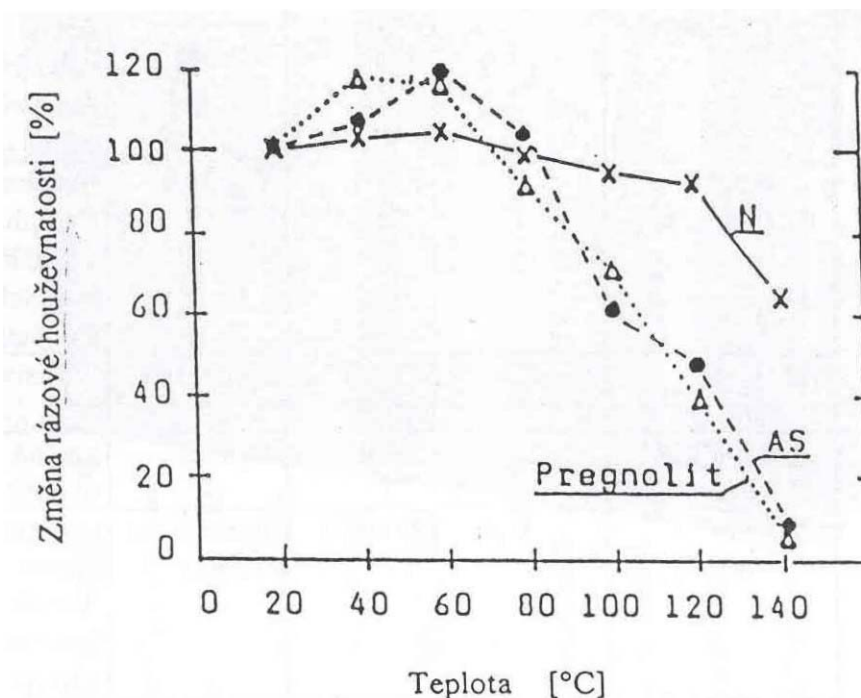
### 3.5.1 Retardéry pyrolýzních vlastností dřeva na bázi anorganických solí

Požárně retardační látky vyráběné na bázi anorganických solí měly donedávna na našem trhu prioritní postavení. Tato situace byla podmíněna jednak omezeným dovozem kvalitních zahraničních přípravků a také některými z pozitivních aspektů plynoucích z aplikace uvedených antipyrénů. K jejich výhodám patří především dobrá rozpustnost ve vodě, tudíž možnost různých způsobů aplikace (nátěrem, postříkem, povrchovou nebo hloubkovou impregnací). Naproti tomu jejich nevýhodou je poměrně snadná vyluhovatelnost, z čehož vyplývají i požadavky na jejich uplatnění. K negativům retardačních přípravků přísluší i snižování mechanických vlastností (viz obr. 3.9 a 3.10) a podněcování koroze kovových spojovacích prvků dřevěných konstrukcí.



Obr. 3.9 Změna pevnosti v ohybu vlivem zvyšování tepelné zátěže borovicového dřeva dle ČSN 49 0115

K nejstarším nátěrovým antipyrénním látkám pro úpravu lignocelulóзовých materiálů patří soli kyseliny křemičité, tzn. vodní sklo. V ČR původně vyráběný BETOGEN D 55 nahradil PYROTON. Jako hlavní složku impregnačního přípravku lze používat hydrogenfosforečnan amonný a síran amonný. Na této bázi je z výrobků dřívější produkce ČR možno zmínit např. SYNPREG (fosforečnan amonný 85 %, síran amonný 12 %, fluorokřemičitan amonný 3 %), Látka CF (fosforečnan amonný 62,5 %, síran amonný 32,5 %, chlorid amonný 5 %) a Látka AS (fosforečnan amonný 65 %, síran amonný 35 %). Amonné soli s přidavkem aditiv byly podstatou vodorozpustné látky PYRONIT. Pro impregnaci důlního dříví byl původně vyvinut PREGNOLIT, obsahující chlorid hořečnatý, chlorid amonný a kyselinu boritou. Jeho vodní roztok se s úspěchem používal na protipožární ochranu dřevěných konstrukcí všeho druhu i v pozemním stavitelství. K protipožárním nátěrovým hmotám náležel i BORONIT, který však byl především ochranným přípravkem proti napadení dřeva dřevokaznými houbami a hmyzem, ale jeho větší aplikační dávka ovlivňovala i požárně technické vlastnosti dřevních materiálů. Byl vyráběn na bázi boritých sloučenin s přidavkem vhodných aditiv. WOLMANIT - licenčně vyráběný přípravek určený původně na ochranu dřeva proti plísním. Hlavní komponenty:  $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ,  $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$  a  $\text{H}_3\text{BO}_3$ .



Obr. 3.10 Vliv tepelného zatížení na rázovou houževnatost borovicového dřeva dle ČSN 49 0117

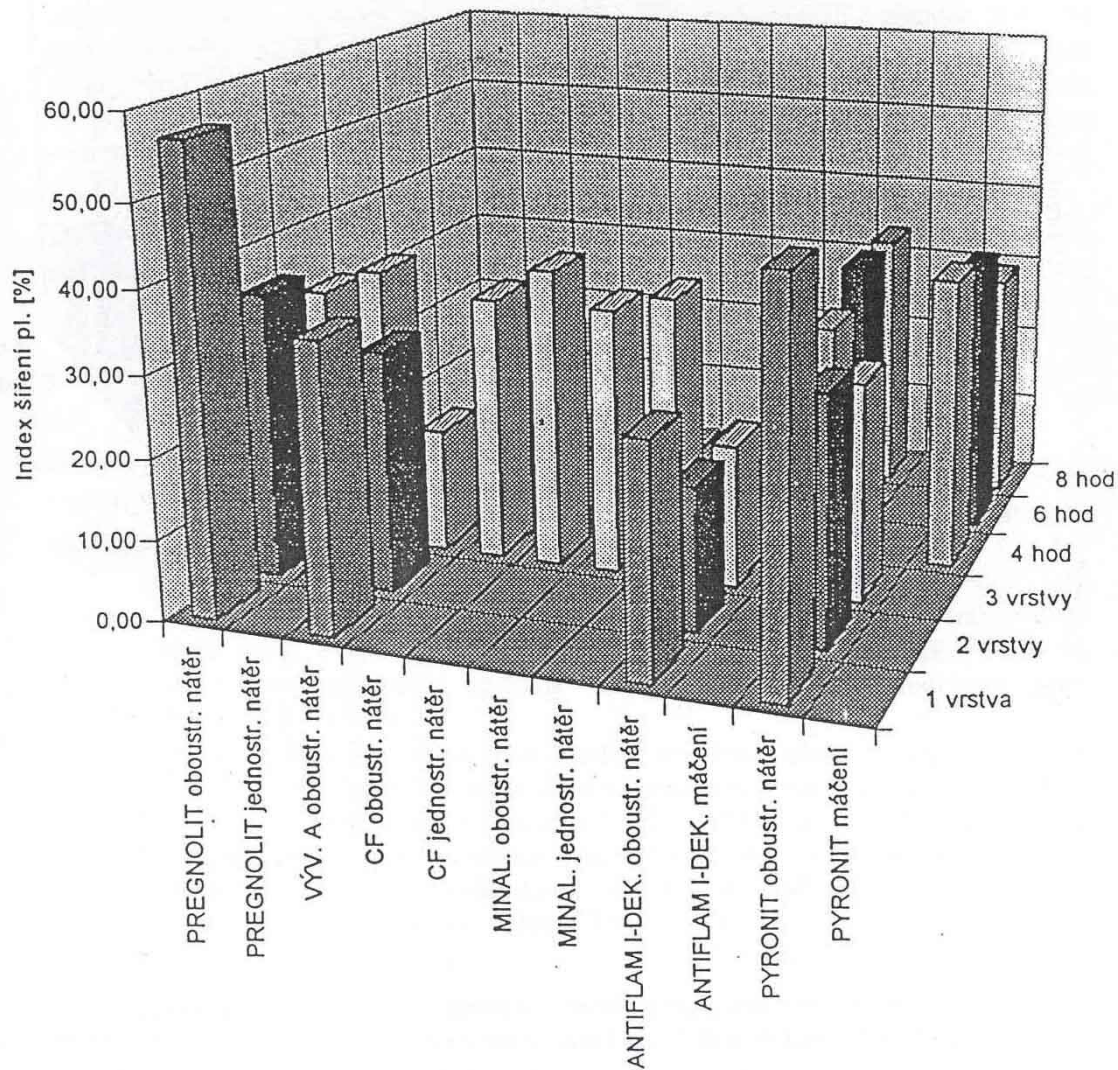
Mnohdy byla diskutována a zpochybňována účinnost těchto retardérů hoření. V rámci resortního výzkumného úkolu “Výzkum hořlavosti materiálů a nebezpečného působení dýmu”, byla na VŠB HGF, provedena ve spolupráci s TU Zvolen řada zkušebních testů, ověřujících požárně technické parametry některých z uvedených přípravků. Jejich hodnocení se v podstatě ztotožnilo se závěry testů provedených ve VVÚD Praha, pracoviště Březnice, viz tab. 3.3.



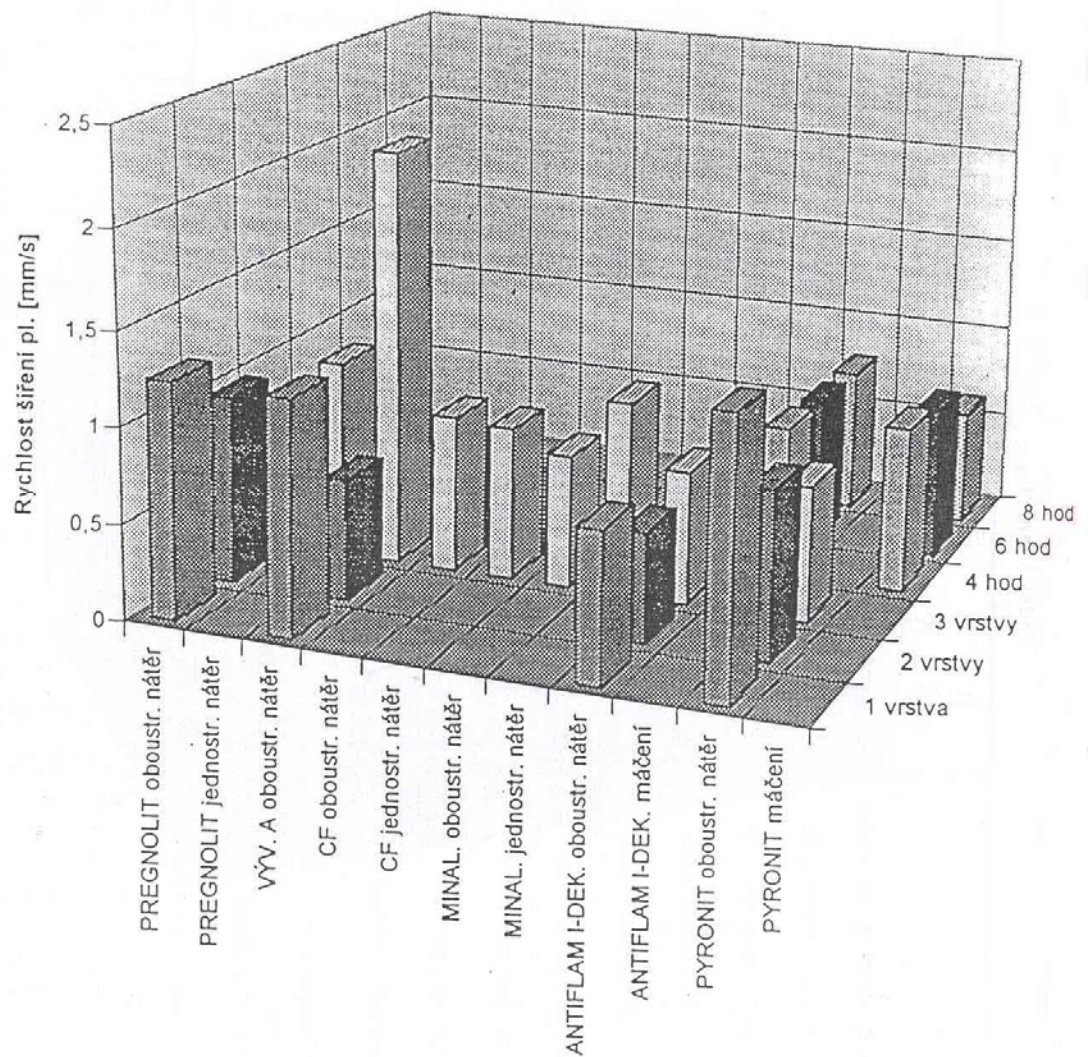
Tab. 3.3 Přehled testovaných vlastností některých dřívě používaných antipyrénů

Protipožární přípravek	Min. množství nánosu	Stupeň hořlavosti	Zkušeb. metoda	Životnost	Poznámka
PYROTON 50	500 g.m <sup>-2</sup> (2 nánosy)	C1	73 0853	-	zastaralý, obtížná obnova
SYNPREG	350 g.m <sup>-2</sup> (3-4 nánosy)	C2 - C1	73 0853 73 0862	3 - 5 let	rozvlákňov. korozivnost (kovů,dřeva)
LÁTKA CF	370 g.m <sup>-2</sup> (2-4 nánosy)	C2 - C1	73 0853	do 10 let dle výrobce	
PYRONIT	150-200 g.m <sup>-2</sup> (2-4 nánosy)	C1 - B	73 0853 73 0862	min.5 let	obvykle není nutný celkový renovační nános
PYRONIT 15	150-200 g.m <sup>-2</sup> (2-4 nánosy)	C1 - B	73 0853 73 0862	min.5 let	obdoba Pyronitu s přidáním boritých sloučenin
PREGNOLIT	400 g.m <sup>-2</sup> (3 nánosy)	C1	73 0862	min.3 roky	korozivnost
PLAMOR	250-400 g.m <sup>-2</sup> (2-3 nánosy)	C1 - B	73 0862	do 5 let	pracná obnova
IZONIT	500 g.m <sup>-2</sup> (2-3 nánosy)	B	73 0862	dlouhodobě (10 let)	pěnotvorný i proti dřevokaz. houbám a hmyzu
IZOPA L	200 g.m <sup>-2</sup> (2-3 nánosy)	B	73 0862	min. 10 let	pěnotvorný i proti dřevokaz. houbám a hmyzu

Účinnost antipyrénních systémů, uplatňovaných na dřevní materiály, může být významně ovlivněna i aplikačními technologiemi, se kterými úzce souvisí i vlastní množství naneseného přípravku. Výsledky testování těchto vlivů na požárně technické charakteristiky znázorňují obr. 3.11 a 3.12.



Obr. 3.11 Vliv druhu a aplikační technologie protipožární úpravy smrkového dřeva na index šíření plamene po jeho povrchu



Obr. 3.12 Vliv druhu a aplikační technologie protipožární úpravy smrkového dřeva na rychlost šíření plamene po jeho povrchu

### 3.5.2 Intumescentní retardační přípravky pro úpravu tepelné degradace dřeva

Vývoj intumescentních antipyrénních systémů byl zahájen po r. 1950. Intenzivněji však pokračoval od r. 1969, kdy byly v USA zahájeny výzkumy v oblasti zlepšení bezpečnosti proti nežádoucímu zahřívání zbraní. Výzkumný program byl zaměřen na ochranu střel, bomb, raket a jiného vojenského materiálu před požáry či jiným faktorem způsobujícím nebezpečnou tepelnou zátěž munice.

V oblasti požární bezpečnosti staveb nyní náleží intumescentní přípravky ke kvalitním antipyrénním látkám uplatňovaným na různé druhy konstrukčních materiálů a v různých aplikačních formách. Tyto pěnотvorné retardéry zpomalují tepelný průstup povrchem konstrukce, brání vzniku hořlavých plynných produktů tepelného namáhání a jejich oxidaci. Při použití na dřevních materiálech se řadí k neúčinnějším látkám zabraňujícím termickému rozkladu a termooxidačnímu procesu.

Intumescentní retardéry hoření je možno používat v různých formách nánosu na chráněný materiál, a to např. jako nátěr, stěrkový nános, nástřík, tapetu či fólii, protipožární desky, pěnotvorné těsnicí pásy, sypaný izolační granulát atd. Na antipyrénní retardaci dřevěných materiálů se uplatňují především nátěrové systémy. Jsou určeny pro inhibici termolýzních projevů v počáteční fázi rozvoje požáru, pro zmenšení rychlosti jeho povrchového šíření a další průvodní jevy. Ve svých důsledcích vedou ochranné účinky některých intumescentních materiálů i ke zlepšení požární odolnosti dřevěných konstrukcí, viz tab. 3.4.

Intumescentní antipyrénní systémy jsou v podstatě tvořeny třemi základními složkami, a to:

- plnivem, nositelem pěnotvorných vlastností
- pojivem, zajišťujícím kompaktnost systému, adhezi k podkladovému materiálu a odolnost vůči prostředí
- fixační složkou, stabilizující a zpevňující vzniklou izolační pěnu

Funkce jednotlivých základních složek mohou být kumulovány.

Oblast pěnotvorných systémů zahrnuje několik základních kategorií materiálů, jako jsou např.:

- 1) filmotvorné vrstvy na bázi elastomerů s obsahem bobtnajících látek, jako jsou např. hydráty solí bóru, křemičitany alkalických kovů a minerální látky, např. perlit a vermikulit; elastomerními pojivy jsou polyuretany, silikony, chloropreny, polysulfid a jejich směsi s tuhými plasty, jako jsou např. fenolické pryskyřice
- 2) systémy tvořené melaminem, formaldehydem, močovinoformaldehydem, hydratovanými solemi a bobtnajícími minerálními přísadami
- 3) anilín - bisulfidové adiční produkty, které při ohřevu zvětší objem a zuhelnatí
- 4) nátěry s bobtnajícími látkami obsahující hydratované soli, minerály a organická činidla, která oxidují a zuhelnatí, např.
  - a) polysacharidy, tzn. cukry a škroby
  - b) fenolické látky atd.
- 5) zvláštní skupinou protipožárních nátěrů jsou epoxidové intumescentní nátěry, které mnohem méně vypěňují než nátěry intumescentní, musí mít proto podstatně větší tloušťku; vyznačují se výbornými fyzikálně mechanickými vlastnostmi, velmi dobrou odolností vůči agresivním chemikáliím a rozpouštědlům i povětrnostnímu stárnutí.

Zpěňující přípravky na ochranu dřeva proti ohni jsou v konkrétní podobě obvykle vodou ředitelné nátěrové systémy na bázi vodních disperzí polymerů (PVAC, MF pryskyřice) s přísadou retardérů hoření (fosfáty amonné aj.) a pěnotvorných plniv (pentol, polysacharidy, močovina atd.). Princip jejich ochranného účinku spočívá v tom, že působením teplot nad 150 °C vytváří svým tepelným rozkladem na povrchu chráněného materiálu nehořlavou, tepelně izolující, mikroporézní uhlíkatou pěnovou vrstvu, která tvoří dočasnou ochrannou bariéru vůči působení tepelné radiace a plamenného hoření.

Na tuzemském trhu je k dispozici řada více či méně kvalitních pěnotvorných přípravků vhodných na protipožární úpravu dřeva. Z dřívě vyráběných lze např. zmínit:



Izonit, Izopa L, Izopa L-40, Pyroman, Antiflam I-Dekora. Některé přípravky na našem trhu s informací o jejich účinnosti uvádí tab. 3.4 a obr. 3.13.

Tab. 3.4 Částečný přehled intumescentních požárně retardačních nátěrových přípravků pro materiály na bázi dřeva

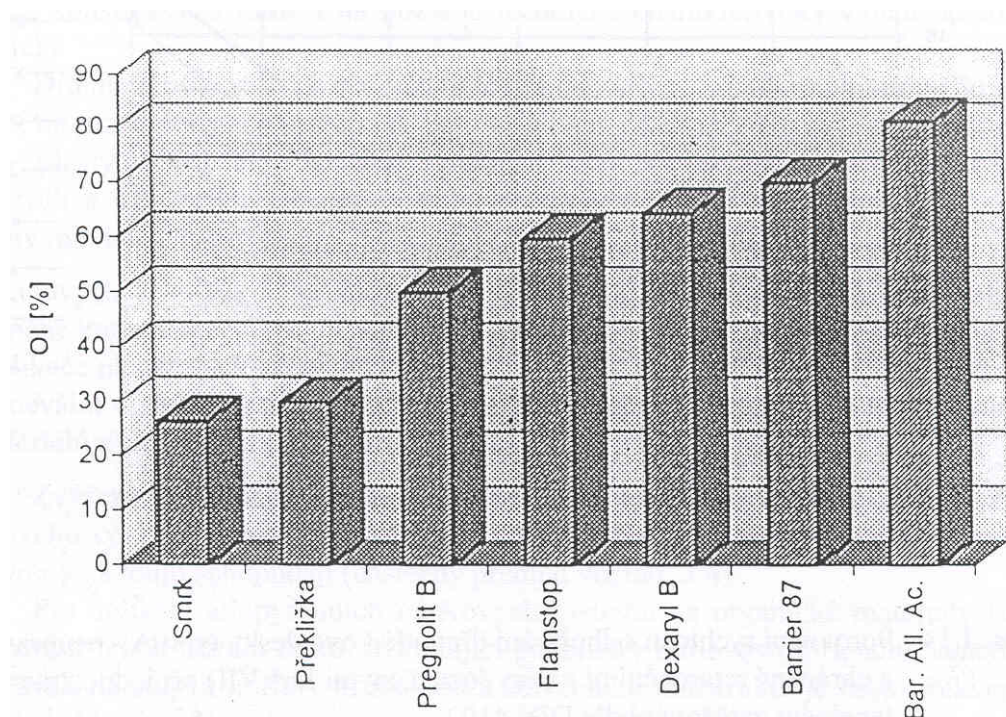
Název	Sušina [g.m <sup>-2</sup> ]	Stupeň/třída* hořlavosti	Pož. odolnost [min]	Použitelnost
DEXARYL B/H	510	B/A2		pro průmyslové nátěry do interiéru, bez požadavků na estetický vzhled
DEXARYL B	600	B/A2	+ 15	pro průmyslové nátěry do interiéru, bez požadavků na estetický vzhled
DEXARYL B Transparent	500	B/A2	>+ 15	Transparent, lesklý nebo matný nátěr do interiéru, pro nosníky a sloupy o min. hraně 100 x 100 mm - na rostlém dřevě
PROMADUR	420	C1/B	+ 10	Transparentní nátěr do interiéru pro nosníky a sloupy o min. hraně 100 mm.
FLAMGARD Transparent	490	B/A2	> + 15	Transparentní nátěr do interiéru
UNITHERM Transparent	400	B/A		Transparentní nátěr do interiéru
HCA	-	A/A1	+ 15, > + 15	Několik modifikací; i jako transparentní

\* klasifikace podle ČSN EN 1305-1

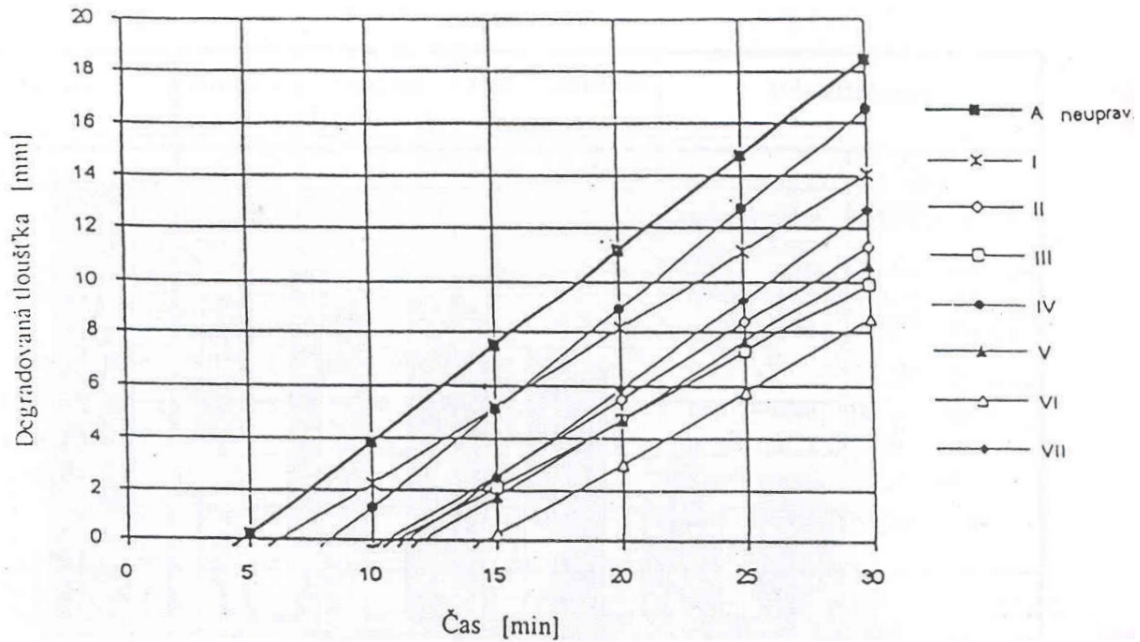
Testování účinnosti pěnotvorných nátěrových antipyrénů dle DIN 4102-8 a potvrzení nesporné účinnosti konkrétněji neuvedených německých přípravků uvádí obr. 3.14 a 3.15.

Nejdůležitější vlastností intumescentního nátěru je jeho schopnost expanze při působení plamene, přičemž vznikající pěna by neměla praskat, odtrhávat se od podkladu, případně na svislých plochách sklouzávat. Složení intumescentního nátěru, které umožňuje vznik uhlíkaté pěny, schopné chránit podklad proti ohni, však přináší i určité problémy. Jedná se především o to, že některé z používaných složek jsou více či méně rozpustné ve vodě. To znamená, že nátěry špatně odolávají nejen přímému působení vody, ale nejsou vhodné ani do prostředí s relativní vlhkostí vyšší než cca 80 %. Jejich použitelnost je tedy primárně omezena na suchý interiér. Do jisté míry lze malou odolnost intumescentního nátěru proti vodě zlepšit krycím nátěrem vhodnou nátěrovou hmotou a dosáhnout tak použitelnosti intumescentního nátěru minimálně v chráněném exteriéru. Tento postup rovněž umožňuje dosáhnout libovolného

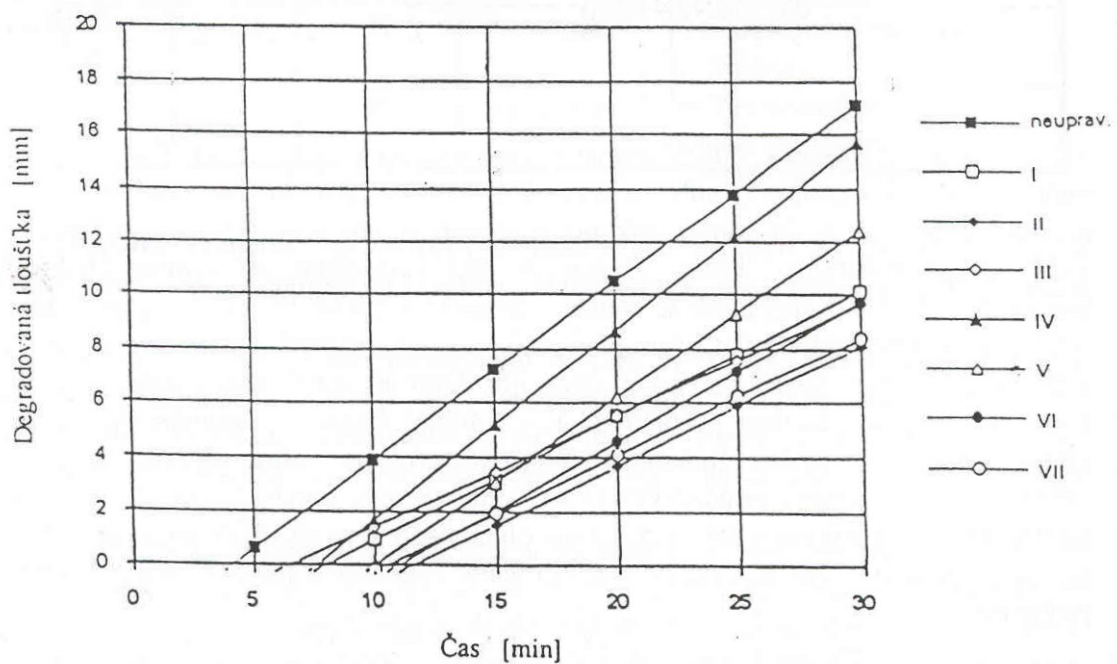
barevného odstínu. Krycí nátěr se nanáší v tloušťkách 50 až 100  $\mu\text{m}$  a nesmí omezovat tvorbu pěny nebo podporovat šíření plamene. I v tomto případě někteří výrobci dodávají speciální nátěrovou hmotu pro krycí nátěr, jiní doporučují některou z nátěrových hmot, které jsou na trhu. Dalším problémem je i funkční životnost intumescentních nátěrů (doba, kdy je zachována funkčnost nátěru), kterou je velmi obtížné určit, avšak vzhledem k současným praktickým poznatkům se jeví jejich životnost ve srovnání s antipyrény, uvedenými v kap. 3.5.1, i několikanásobně vyšší. Odstranitelnost dožilých nátěrů je poměrně snadná, vlastní odstraňování však může přinášet značné technické problémy.



Obr. 3.13 Oxygen index testovaných materiálů - vyhodnocení testu dle ČSN 64 0756



Obr. 3.14 Porovnání rychlosti odhořívání dřevotřískové desky typu A - neupravené a chráněné retardačními nátěry (označenými I až VII) při jednostranném tepelném zatěžování dle DIN 4102



Obr. 3.15 Rychlost odhořívání a doba do zapálení smrkového dřeva bez požární úpravy a upraveného retardačními nátěry (označenými I až VII) při jednostranném tepelném zatížení dle DIN 4102

### 3.6 Vliv antipyrénních nátěrových systémů na požárně technické charakteristiky

V současné době značně rozšířené používání protipožárních nátěrových systémů bylo podmíněno cílenou legislativou v oblasti požadavků na požární bezpečnost objektů a jejich konstrukcí, a tudíž i na požárně technické charakteristiky v nich uplatněných materiálů.

Dlouhodobý pozitivní vývoj antipyrénních nátěrových přípravků umožňuje jejich použití na různých typech materiálů, jako jsou např. materiály kovové, materiály na bázi dřeva, plasty, textil atd. Nejširší uplatnění však nachází jako povrchová úprava ocelových a dřevěných konstrukcí, kde jsou na ně z hlediska protipožární prevence kladeny mnohé požadavky:

- u ocelových konstrukcí se předpokládá především zvýšení požární odolnosti takto chráněné konstrukce,
- u aplikace na organické stavební materiály je při posuzování jejich účinku rozhodující především dosažený stupeň hořlavosti, index šíření plamene po povrchu chráněných materiálů a parametry vznětlivosti a v souvislosti s evropskou normalizací pozitivní ovlivnění reakce na oheň.

Zvýšení požární odolnosti u dřevěných konstrukcí vlivem účinku antipyrénního nátěrového systému nebývá samozřejmostí. Přesto však na našem trhu existují nátěrové antipyrény i s touto schopností (částečný přehled viz tab. 3.4).

### 3.7 Celulózové materiály, papír

Ze dřeva jako suroviny vychází v celostátní produkci cca 10 % různých výrobků. Chemicky se dřevní hmota zpracovává předhydrolyzou, hydrolyzou a delignifikací. Hlavním produktem chemického zpracování dřeva je celulóza (buničina), lze však izolovat a dále využít i ostatní složky (lignin, hemicelulózy, cukry, silice a pryskyřice).

**Papír** je výrobek získaný zplst'ováním jemných celulózových vláken zformovaný na papírenském síti. Celulóza, používaná k výrobě papíru, není chemicky čistá a označuje se jako buničina. Roční světová výroba papíru dosahuje > 100 mil. t a spotřeba stále vzrůstá.

**Lepenka** se vyrábí na zvlňovacím stroji rychlostí 100 - 450 m.min<sup>-1</sup>. Zvlňovací stroj vytváří na pásu vlny mezi rýhovacími válci. Vrcholy vln opatřuje lepidlem a slepuje s krycím kartónem. Slepěná lepenka se tepelně vytvrzuje. Lepicí funkci zajišťuje roztok vodního skla nebo syntetické pryskyřice.

Papírenské materiály lze charakterizovat jako lehce zápalné a snadno hořlavé materiály, jejichž OI se pohybuje v rozmezí 18,8 - 20,8. Papíry a lepenky obsahují převážnou měrou vlákninu s přídavkem plnidel a dalších přísad. Mezi nejdůležitější používané vlákniny patří: sulfátová celulóza, sulfitová celulóza, dřevovina, bavlna, textilní vlákna, syntetická vlákna, skleněná či jiná vlákna.

Jako plniva jsou využívány: kaolin, hlinité silikáty, saze, CaCO<sub>3</sub> (vápenec, křída), CaSO<sub>4</sub> (sádra), BaSO<sub>4</sub>, MgSO<sub>4</sub>, TiO<sub>2</sub> (titanová běloba), ZnO (zinková běloba) a další. K dalším přísadám patří: klíh, škrob, kasein, vosky, parafin, syntetické



pryskyřice, změkčovadla, barviva, vodní sklo, ohnivzdorné impregnační prostředky a další.

### 3.7.1 Snižování hořlavosti celulózových materiálů

Produkty papírenského průmyslu aplikované v různých formách v různém prostředí bývají velmi často zdrojem vzniku a rychlého šíření požáru. Velmi často tedy zvyšují požární riziko v objektech. Z tohoto důvodu je dlouhodobě věnována pozornost problematice snižování hořlavosti uvedených hmot. Také výrobci se již snaží aplikovat různé způsoby ochrany, neboť je k tomu nutí zákonná opatření, vymezující použití papírenských materiálů. Je pochopitelné, že v praxi není zapotřebí chránit vůči hoření všechny druhy vyráběných produktů, ale jen ty, které v daných podmínkách použití tuto ochranu vyžadují, např. některé obalové materiály, obklady, dekorační lamináty, izolační lepenky, divadelní kulisy atd.

Papír a lepenky se sníženou hořlavostí jsou vyráběny zejména pro potřebu obalových materiálů používaných v letecké nebo lodní dopravě, pro dekorační účely ap. Snižování hořlavosti se realizuje zejména těmito způsoby:

- 1) změnou vláknitého složení papíru a lepenky přidáním nehořlavých nebo těžce hořlavých vláken,
- 2) chemickou modifikací vláken,
- 3) přidáním retardérů hoření.

V prvním případě se hořlavá celulózová vlákna částečně nebo výrazně nahradí skleněnými, minerálními nebo kovovými vlákny. Takto upravený papírenský materiál se vyrábí jen pro velmi úzké speciální použití.

Úprava chemickou modifikací se provádí u celulózové vlákniny ještě před výrobou papíru nebo přímo v procesu výroby papíru. Do této skupiny ochrany lze zařadit i strukturální modifikaci, při níž se využívají zejména syntetické polymery. Strukturální modifikace je proces, při kterém syntetický polymer se sníženou hořlavostí vyplní pórovitou strukturou papíru.

Třetí způsob úpravy je nejrozšířenější. Jedná se o aplikaci retardérů hoření v různých stupních procesu výroby papírenského materiálu:

- přidáním retardérů do papírenské suspenze,
- impregnací,
- postřikem, nátěrem,
- povrchovým klížením.

Problematika ochrany papírenských materiálů proti hoření je ve srovnání s ochranou dřevěných výrobků složitější. Přispívá k tomu skutečnost, že papírenské výrobky se vyrábějí v širokém sortimentu a často jen v malých sériích. Ve výrobním procesu se úprava papírenských materiálů provádí převážně třemi způsoby:

- úpravou celulózové vlákniny (vnitřní impregnace),
- postřikem,
- vnější impregnací.

Zvláštní pozornost byla ve světě věnována nehořlavé úpravě lepenek používaných v interiérech automobilů. Byl ověřen vysoce účinný retardační systém na bázi roztoku polyamidu.

Mezi známé preparáty využívané ke snižování hořlavosti papírenských materiálů náleží např. některé modifikace přípravku PYREX, které jsou směsí anorganických solí. Nejvhodnější aplikací je impregnace nátěrem, vhodným roztokem o koncentraci 150 - 200 g sušiny na 1 l vody. Na bázi fosforu a anorganických sloučenin síry je známým přípravkem ALBAPLAS.

Zmíněnými prostředky lze dosáhnout uspokojivého snížení hořlavosti, nevýhodou však je snížení pevnosti materiálu až o 30 %.

## 4 Keramické materiály

Pro své vynikající vlastnosti, poměrně snadnou technologii výroby a pro existující bohatou surovinovou základnu je keramika již po mnoho století materiálem se širokým uplatněním - první cihlářská keramika je známa již několik tisíciletí př. n. l.

Keramické materiály se vyrábějí z anorganických nerudných surovin. Základní suroviny jsou tvořeny převážně minerály, které náleží ke skupině křemičitanů hlinitých, obsahujících krystalickou vodu. Jsou to převážně zvětralé vyvřelé horniny.

Keramické výrobky jsou významnou skupinou stavebních hmot synteticky vyrobených, vytvarovaných a žárovým zpevněním upravených anorganických surovin. Chemicky jsou tvořeny křemičitany s podílem různých oxidů, např. oxidů kovů a jejich sloučeninami. Vyznačují se mechanicko-fyzikálními vlastnostmi, zejména tvrdostí, vysokou pevností v tlaku, avšak menší pevností v tahu, pozitivním modulem pružnosti, nízkou tepelnou a elektrickou vodivostí.

Charakteristickým znakem je keramický střep, tj. základní keramická hmota bez ohledu na tvar. Celistvost keramického střepu se porušuje místním tahovým napětím za vzniku trhlin.

Keramické výrobky můžeme dělit na hrubé, které jsou vyrobeny ze surovin hruběji zrnitých, bez přísad taviv, u nichž při pálení dochází chemickými reakcemi ke zpevnění hmoty a konečný výrobek má střep pórovitý, nebo jemné, u nichž se při pálení výrobků ve hmotě taviva roztaví, tavenina rozpouští další složky a vyplňují se mezery mezi zrny minerálů. Tento děj zvaný slinování (slinutí) je provázen smrštěním hmoty.

Nejčastěji se vyrábí klasickým keramickým způsobem, tzn. po přípravě surovinové směsi se tato tvaruje, suší a pak vypaluje. Teplota vypalování je různá dle druhu surovin a druhu keramického výrobku:

cihlářské výrobky	900 - 1100 °C
kameninové výrobky	1150 - 1350 °C
pórovinové výrobky	1050 - 1280 °C
žárovzdorné výrobky	1300 - 1600 °C
porcelán	1350 - 1450 °C

Kromě keramiky používané ve stavebnictví (stavební keramiky) známe ještě keramiku užitkovou, technickou, elektrotechnickou, speciální atd. Podle vlastností keramického střepu (dle jeho hutnosti, barvy, pórovitosti, nasákavosti) dělíme keramiku na výrobky se střepem pórovitým, hutným a slinutým.

### 4.1 Cihlářské výrobky

Snad nejznámější a nejrozšířenější sortiment výroby keramického zboží zahrnuje právě keramiku stavební. Náleží k ní cihlářské výrobky pro zdění, výrobky pro vodorovné konstrukce střešní krytina, výrobky z kameniny, z póroviny a porcelánu, žárovzdorné výrobky a keramické izolační výrobky atp.

První, ovšem ještě nepálené stavební cihly, jsou staré 7000 let a pocházejí z Mezopotámie. Pálené cihly se objevují až o dvě tisíciletí později při vnějším obložení monumentálních staveb v Babylónii. Odtud se používání cihel poměrně rychle rozšířilo do Egypta, Středomoří a později i do Indie a Číny. Významné místo zaujímá pálená cihla v civilizaci Etrusků. Nachází zde uplatnění nejen ve stavebnictví, nýbrž i k výrobě sarkofágů, náhrobků, uren s popelem či obětních sošek. Umění výroby pálených cihel dovedli k dokonalosti řemeslníci antického Říma. Historický přehled následného využívání pálené hlíny pro stavební architektonické i jinak dekorativní účely by musel být značně obsáhlý, není však pro toto skriptum podstatný.

Pro zhotovování cihlářských výrobků jsou cihlářské zeminy hlavní surovinou s rozhodujícím vlivem na požadované vlastnosti výrobků po vypálení. Představují je vhodné keramické zeminy, které jsou podstatnou složkou budoucího výrobku. Zeminy jsou obvykle nezápevněné, jemnozrnné usazené horniny, zejména hlíny, jíly, spraše, kaoliny, případně jílové břidlice nebo lupky. Tyto zeminy, obsahující jílové nerosty, ve spojení s vodou získávají plastičnost, nutnou pro vytváření výrobků, které se vypálením zpevňují.

Vedlejšími surovinami v cihlářské výrobě jsou především ostřiva a lehčiva. Ostřivem je nejčastěji písek nebo cihlová či jiná drť z rozemletých vypálených střepů. Lehčivem bývá uhelný mour, rašelina, dřevěné piliny, křemelina apod. Po přípravě a úpravě surovin následuje jejich strojní tváření a sušení. Při sušení se výrobky zbavují v této fázi již nežádoucí vlhkosti, aplikované do suroviny pro její větší plastičnost, potřebnou k tváření. Vysušené výrobky jsou připraveny k výpalu.

Pálení je podstatná část technologického procesu keramických výrobků, při němž získávají konečné vlastnosti, jež mají mít v konstrukci. Jsou to především vlastnosti tvarové, vzhledové a mechanicko-fyzikální, jako je objemová hmotnost, pevnost, odolnost proti mechanickému opotřebení a proti chemickým vlivům, vodotěsnost, trvanlivost a tepelně izolační vlastnosti. Při pálení probíhají fyzikálně chemické změny, které způsobují, že z vysušeného výlisku obdržíme keramický střep, který má nové vlastnosti. Zpevňování střepu je způsobeno slinováním. Zrna suroviny se postupně vzájemně stmelují a vzniká tuhá, pevná hmota. Cihlářské výrobky se páli v pecích při teplotách nad 900 °C podle druhu výrobku.

Průběh pálení je rozdělen do různých fází podle tepelného režimu:

- fáze předehřívací, při níž dochází k reakcím a tvorbě nových sloučenin při teplotách kolem 700 °C;
- fáze slinování, která vzniká při teplotách nad 700 °C a je ovlivňována množstvím uhlíčanů ve směsi. Dochází ke zhuňování a zpevňování střepu, které je doprovázeno smršťováním; při teplotách kolem 900 °C začíná pozvolná tvorba taveniny a nových sloučenin. Další zvyšování teploty má za následek narůstání podílu taveniny a snižování obsahu pórů;
- fáze chladicí, při níž se střep smršťuje a vzniká vnitřní napětí, které musí být menší, než je pevnost střepu, jinak by se vytvořily nežádoucí trhliny. Tvoření trhlin je nepříznivě ovlivněno i vyšším obsahem křemene v surovině.

Vlastní pálení keramických výrobků probíhá v pecích a je buď periodické, nebo kontinuální. Technologický postup výpalu je tvořen třemi na sebe navazujícími pásmy: předehřívací, žárové a chladicí. Vypalovací teplota závisí na druhu vypalovaného výrobku a též na vlastnostech použitých surovin.

Cihlářské výrobky jsou pórovité s barevným střepem, obvykle neglazované, dostatečně pevné. Mohou být buď plné nebo vylehčené otvory, dutinami nebo zvyšováním pórovitosti. Mají dobré tepelně izolační vlastnosti, ve většině případů jsou

mrazuvzdorné, a to buď s 15 zmrazovacími cykly, označené M 15, nebo s 25 cykly, označené M 25. Nasákavost je min. 10, 12 a 18 % podle druhu výrobku. Podle pevnosti v tlaku rozlišujeme značky P 2, P 4, P 7, P 8, P 10, P 15, P 20, P 25, P 30, P 35 a P 40. Číslo značky udává mez pevnosti v tlaku (MPa).

Dle účelu, ke kterému jsou cihlářské výrobky využívány, je dělíme na:

- a) cihlářské prvky pro svislé konstrukce,
- b) cihlářské prvky pro vodorovné konstrukce,
- c) pálenou krytinu,
- d) cihlářské prvky pro zvláštní účely.

#### 4.1.1 Prvky pro svislé konstrukce

V současné době je na tuzemském trhu široký sortiment cihlářských prvků pro zdící konstrukce. Jejich dílčí přehled uvádí obr. 4.1. Podrobnější přehled vlastností je pro názornost uveden alespoň u dvou klasických výrobků:

**Cihly plné (CP)** se vyrábějí v rozměrech a značkách podle sestavení, které je uvedeno v tab 4.1.

Tab. 4.1 Rozměry a značky plných pálených cihel

Délka l [mm]	Šířka b [mm]	Výška h [mm]	Objemová hmotn. max. [kg.m <sup>-3</sup> ]	Informativní hmotn. 1 ks [kg]	Pevnostní značka [MPa]	Nasá- kavost [%]
290	140	65	1800	4,7	P 7	12
					P 10	
250	120	65	1800	3,5	P 15	12
					P 20	
					P 25	

Cihly značky P 7 nejsou mrazuvzdorné, cihly P 10, 15, 20 mohou být mrazuvzdorné, P 15 a cihly P 25 jsou vždy mrazuvzdorné - mrazuvzdornost M 25. Boční stěny jsou rýhované. Součinitel tepelné vodivosti  $\lambda = 0,65$  až  $0,8 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ . Cihly plně pálené, zvláště rozměrů 290 x 140 x 65 mm, bývaly nejběžnějším cihlářským výrobkem. Používají se na zdění nosných zdí, pilířů, komínů i příček, obytných, průmyslových i občanských staveb.

**Cihly děrované** metrického formátu (CD<sub>m</sub>), jsou cihly děrované příčně, s jedním nebo dvěma úchytnými otvory nebo bez nich (obr. 4.1.). Příklady rozměrů a značek některých výrobků viz tab. 4.2.

Tab. 4.2 Rozměry a značky děrovaných pálených cihel

Délka l [mm]	Šířka b [mm]	Výška h [mm]	Objemová hmotn. max. [kg.m <sup>-3</sup> ]	Pevnostní značka [MPa]	Nasá- kavost [%]
360	240	140	1100	P 4	12
			(1250)	P 7	
				P 10	
320	240	140	1100	P 15	12
			(1250)	P 20	
				P 25	
290	240	140	1100		12

Cihly značek P 4 a P 7 nejsou mrazuvzdorné, ostatní mohou být mrazuvzdorné M 15. Boční stěny jsou rýhované, úchytné otvory mohou být maximálně dva. Tyto cihly se používají na nosné i nenosné zdivo.

#### 4.1.2 Cihlářské prvky pro vodorovné konstrukce

Pro vytváření vodorovných konstrukcí existuje řada keramických desek a vložek, tak jako i tvarovek pro skladbu nosníků, kde pro jejich tvarování hraje rozhodující roli opět keramika. Keramické prvky jsou dnes již nepostradatelnými i při realizaci ostatních vodorovných konstrukcí jako jsou např. překlady a ztužující věnce. Po doplnění jejich skladby obvykle ocelovými výztužnými profily a betonovou zálivkou spoluvytvářejí vodorovné, případně i klenuté prvky, s četnými pozitivními vlastnostmi. Jejich bohatou druhovost nelze v tomto studijním materiálu obsáhnout. Obr. 4.2 poskytuje alespoň částečný přehled.

#### 4.1.3 Pálená krytina

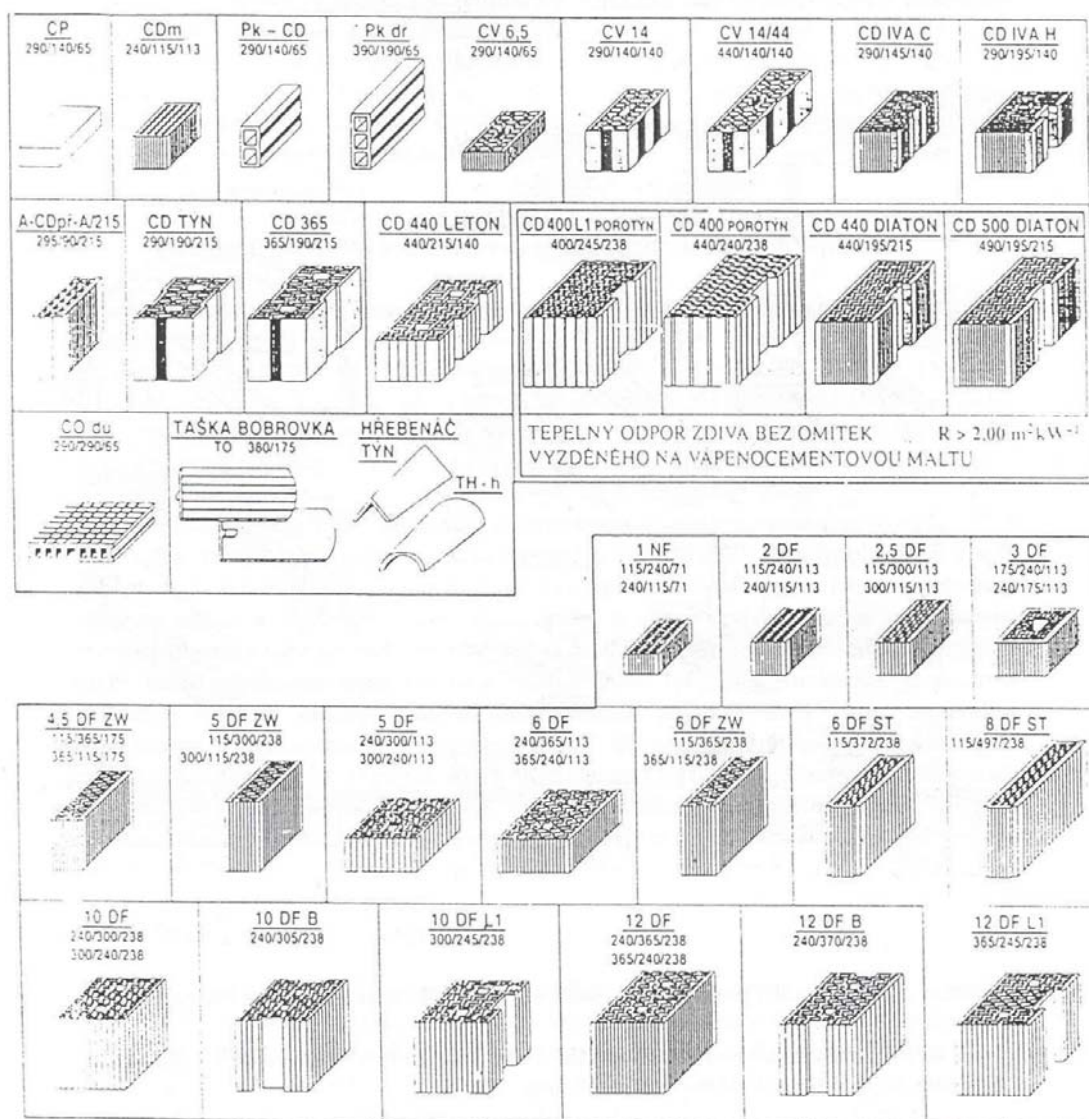
Pálená krytina se používá především pro krytí střech s konstrukcí krovu nebo s vazníkovou konstrukcí. Je to tradiční krytinový materiál nyní opět hojně používaný, a to nejen ke klasickým účelům, ale i jako vyhledávaný esteticky hodnotný obkladový prvek. Pro přiblížení výrobku a jeho vlastností je uvedena bližší informace o dvou y mnoha druhů krytinových prvků používaných v ČR:

##### **Taška obyčejná - Bobrovka (viz obr. 4.1)**

Vyrábí se s lící plochou hladkou nebo rýhovanou, režnou, event. opatřenou glazurou nebo engobou. Je velmi jednoduchou krytinou a klade se na řídké laťování (300 mm) dvojité, nebo na husté laťování (150 mm). Tašky jsou 380 mm dlouhé, 175 mm široké, mají hmotnost 1,65 kg s minimální únosností 550 N při vzdálenosti podpor 240 mm.

**Taška drážková tažená** - nazvaná podle způsobu výroby; vyrábí se v několika druzích, např. Stadler, Steinbrück, Standard. Taška má podél jednoho kraje dvě drážky, do nichž zapadají dva ozuby druhé tašky, které jsou podél druhého kraje tašek (zdola). Rozměrově jsou tašky 400 mm dlouhé, 200 mm široké. Hmotnost 1 kusu je 2,6 kg a únosnost při vzdálenosti podpor 300 mm činí 800 N. Kromě tašek, základních krytinových prvků, se vyrábí i široký sortiment pálených keramických prvků

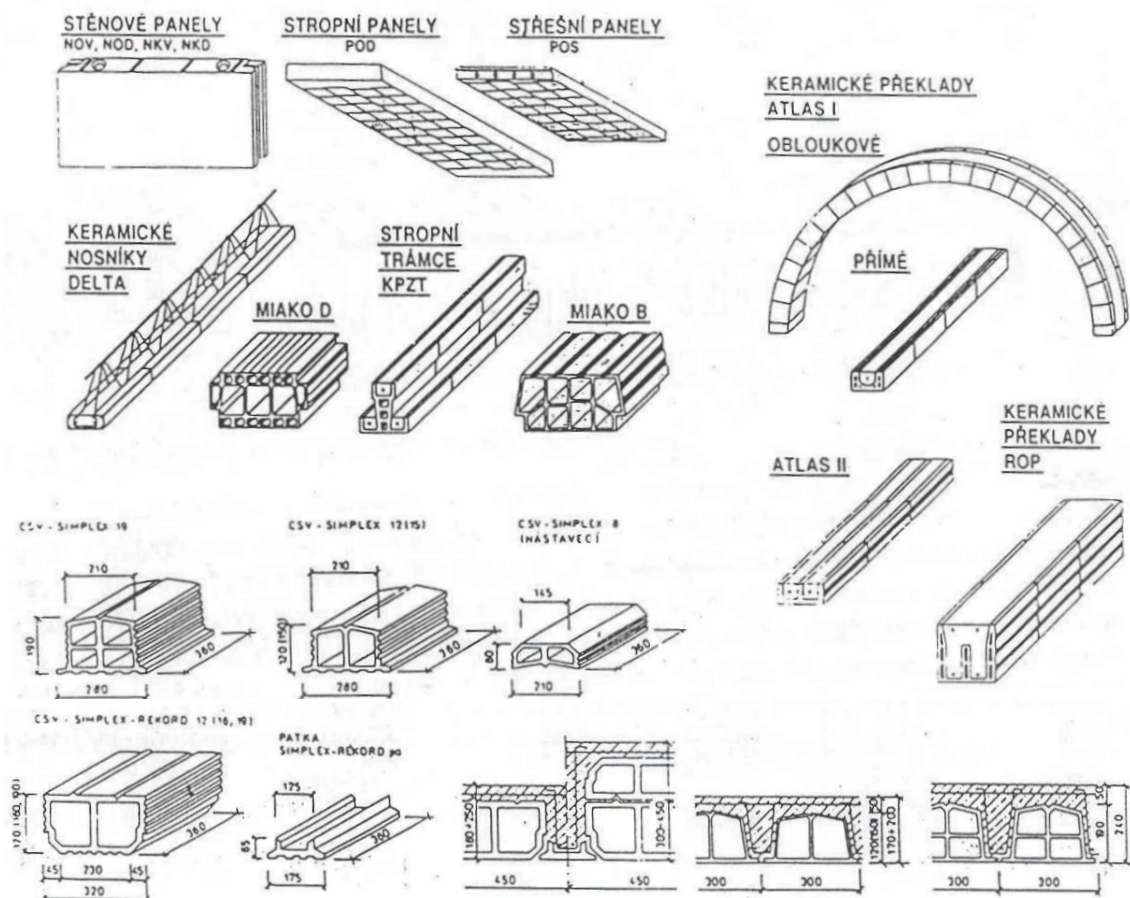
doplňkových zhodnocujících funkční vlastnosti a estetickou stránku keramických krytin střešních konstrukcí.



Obr. 4.1 Dílčí přehled pálených keramických prvků (značení dle ČSN a DIN)

#### 4.1.4 Keramické stavební dílce

Mnohdy se přechází od tradičního používání cihlářských výrobků na výrobu keramických stavebních dílců, které se uplatňují zejména u stěnových, stropních a střešních konstrukcí. Při výrobě keramických dílců se s výhodou využívají velmi dobré vlastnosti keramického střepu i celého cihlářského výrobku, jeho dobré pevnosti, výhodný poměr tepelné vodivosti hmoty k její pevnosti atd. Pevnost keramického dílce je ovlivněna nezbytnou přítomností výztuže a betonu. Železobeton, případně předpjatý železobeton, se uplatní jednak jako nosný rám celého prefabrikátu a rovněž jako žebra v prostorech mezi jednotlivými keramickými tvarovkami (obr. 4.2).



Obr. 4.2 Keramické prefabrikáty; tvarovky pro vodorovné a klenuté konstrukce

Keramické stavební dílce se vyrábějí v ambulantních nebo stálých výrobnách. Výrobní postup ovlivňuje druh použité výtzuže.

## 4.2 Kanalizační, hospodářská a chemická stavební kamenina

Výroba kameninového zboží je významným odvětvím keramického průmyslu. Kameninové výrobky se používají v různých průmyslových oborech: ve stavebnictví, v hutní, chemické a potravinářské výrobě a také v zemědělství. Pod pojmem stavební kamenina rozumíme kanalizační, hospodářskou, chemickou stavební a vystýlkovou kameninu. Všechny uvedené druhy stavební kameniny jsou z hlediska technologie výroby úzce příbuzné. K jejich výrobě se používají téměř stejné suroviny a většinou i stejné výrobní postupy.

Kamenina je název pro výrobky z jílových slinujících surovin, nebo pro výrobky tvářené ze směsi těchto surovin a vypalování při teplotách do 1350 °C. Tento materiál se vyznačuje vysokým stupněm hutnosti a velkou odolností vůči chemikáliím (odolává všem kyselinám kromě kyseliny fluorovodíkové a fosforečné). Kamenina náleží do skupiny keramických materiálů se slinutým nebo s částečně slinutým střepelem (nasákavost do 5 %). Výrobky se většinou povrchově upravují glazurou, chemická kamenina stavební a vystýlková se obvykle neglazuje.

### 4.3 Vlastnosti pálených keramických výrobků při zvýšených teplotách

Chování pálených keramických výrobků při zvýšených teplotách je s přírodními materiály jen těžce porovnatelné. Keramické materiály, na které při výrobě působily teploty téměř 1000 °C, se v podmínkách zahřívání chovají podstatně lépe než materiály přírodní. Společné jim však je odlupování. Keramické materiály se vyznačují menší tepelnou vodivostí- nastává u nich prudší tepelný spád, což při jednostranném zahřívání má za následek značná vnitřní pnutí projevující se tvarově charakteristickým odlupováním povrchových vrstev.

Při odlupování cihel mají narušené vrstvy delší konce ve styčných spárách, které zabraňují jejich okamžitému odpadávání. Při destrukci povrchové vrstvy tato ze zdiva neodpadává, pouze se poněkud uvolní a vytvoří malou vzduchovou mezeru, působící jako tepelně izolační vrstva, částečně chránící zbytek cihelného zdiva před dalším prostupem tepla a dalším odlupováním. Při hasebním zásahu je žádoucí vyvarovat se smáčení narušené cihelné stěny přímým proudem vody. Tím je omezeno vyplavování a uvolňování narušených vrstev. U děrovaných a dutinových cihlářských výrobků se odlupují od svislých stojin celé jejich vnější části.

K narušení celistvosti keramických pálených materiálů dochází tehdy, jestliže jejich vnitřní napětí, vyvolané tepelnou zátěží, převyší napětí vnesené do tohoto prvku při jeho výrobě výpalem a následným chlazením.

### 4.4 Nepálené keramické výrobky

Nepálené keramické materiály nezískávají své konečné vlastnosti výpalem v pecích. Proces jejich tuhnutí a tvrdnutí probíhá buďto pomocí přidávaných pojiv nebo stmelením jednotlivých složek výchozích surovin. Technologický proces výroby těchto keramických hmot je jednoduchý, energeticky méně náročný a případně lze využívat i tzv. druhotných surovin. K nepáleným keramickým výrobkům se řadí např. výrobky z písku a vápna, ze sádry, strusky apod.

Výrobky z písku a vápna jsou nejznámějšími a nejrozšířenějšími nepálenými keramickými materiály. Jedná se především o cihlářské zboží. Výrobky jsou formovány a tlakově lisovány. Při lisování probíhá zároveň i proces tuhnutí, přičemž se mění hydraulické vápno s volnou kyselinou křemičitou na hydrogenkřemičitan vápenatý, čímž materiál tvrdne.

Chování těchto výrobků za zvýšených teplot je ovlivněno silným obsahem křemičitého písku. Zpravidla však narušené vrstvy konstrukce neodpadávají, ale ulpívají v konstrukci, obdobně jak je tomu i u plných pálených cihel.

Tvárnice z písku a vápna, vylehčené otvory, praskají až do hloubky 50 mm i více, a proto nejsou vhodné pro požárně dělicí konstrukce. Jejich poměrně značná hydroskopičnost znemožňuje i jejich použití pro venkovní nechráněné zdivo.

K nepáleným keramickým materiálům lze zařadit i jiná staviva, jako např. nepálené křemelinové výrobky, které disponují vysokou odolností vůči tepelnému namáhání atd.

V soustavě harmonizovaných evropských norem zahrnuje požadavky na navrhování konstrukcí prováděných ze zdících materiálů ČSN EN 1996 Eurokód 6 Navrhování zděných konstrukcí - část 1,2: Navrhování požární odolnosti zděných konstrukcí. Avšak pokud se jedná o komplexní analytický přístup k návrhu zděné



konstrukce v závislosti na reálném vývoji teploty plynů v požárním úseku, účinků tepelného zatížení a dimenzování konstrukcí s uplatněním závislosti jejich pevnostních i přetvárných vlastností na teplotě požáru, uvádí zmíněný eurokód přímo, že toto komplexní pojetí je v současnosti teprve rozpracováno. Proto dosud projektanti využívají zjednodušené řešení, respektující jen některé z podmínek návrhu, který prokáže požadovanou odolnost zděné konstrukce během požáru.

## 4.5 Žárovzdorné materiály

Mezi klasickými keramickými výrobky zaujímají žárovzdorniny specifické postavení. Náleží k nim materiály s vysokou žárovzdorností, tj. takové, které se při teplotě minimálně 1500 °C vyznačují počátkem pyroplastického stavu a příslušnými deformacemi.

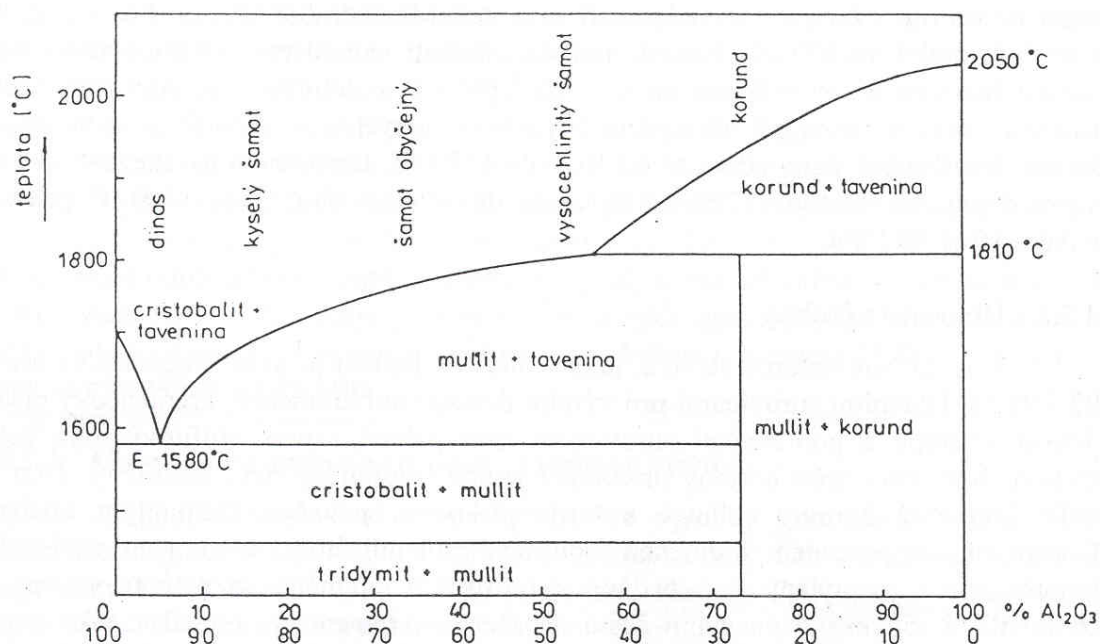
Znalostí žárovzdorných vlastností keramiky spadají již do dávné historie. Byly to v první řadě různé plastické jíly, u nichž se ověřila jejich odolnost vůči přímému působení plamene a žáru, a proto se začaly používat např. ke stavbě pecí na tavení kovů. Problémem zde však bylo velké smršťování během sušení i při výpalu, které by vedlo ke vzniku nežádoucích trhlin, a tak i ke snížení pevnosti s vlastní žárovzdorností. Tato nevýhoda jílovitých surovin byla později odstraňována přidáváním ostřiv k základní surovině. Jako ostřiv bylo používáno vypáleného jílu neboli šamotu a tento princip technologie výroby se udržel až dosud.

Žárovzdorné výrobky byly později (v 19. stol.) rozšířeny o výrobky dinasové a magnezitové, žárovzdorné zboží uhlíkaté a z dolomitu. Vývoj nových druhů technologií výroby i vlastních výrobků neustále pokračoval a pokračuje i nyní, kdy známe již celou řadu žárovzdorných materiálů a třídíme je dle různých hledisek:

- a) podle chemicko-mineralogického složení
- b) podle stupně žárovzdornosti
- c) podle stupně zhutnění
- d) podle způsobu výroby
- e) podle tepelného zpracování atd.

Podle tvaru rozlišujeme výrobky tvarované a zrněné. Tvarované jsou takové, které jsou vytvarovány na požadovaný tvar a zrněné jsou většinou mleté polotovary, sloužící k přípravě malt, tmelů, past apod.

Žárovzdorné zboží je charakterizováno obsahem hlavního žárovzdorného oxidu, který je pro příslušný druh zboží nositelem hlavních vlastností žárovzdorných materiálů, tj. žárovzdornosti a únosnosti v žáru. Pro šamotové zboží jsou hlavní dva žárovzdorné oxidy - oxid hlinitý a oxid křemičitý. Poměr obsahu obou oxidů určuje žárovzdornost příslušného materiálu podle stavového diagramu  $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$ , znázorněného na obr. 4.3. Oblast šamotového zboží je vymezena jednak hranicí minimální žárovzdornosti 1500 °C, jednak složením páleného kaolinitu  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2 \text{SiO}_2$ . Dolní hranice odpovídá složení asi 95 %  $\text{SiO}_2$  a 5 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , horní hranice odpovídá 54,1 %  $\text{SiO}_2$  a 45,9 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Výrobky s vyšším obsahem  $\text{SiO}_2$  než 95 % patří do skupiny dinasového zboží, výrobky s obsahem  $\text{Al}_2\text{O}_3$  nad 45,9 % řadíme do skupiny vysokohlinitého zboží.



Obr. 4.3 Zjednodušený stavový diagram  $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$

#### 4.5.1 Šamotové výrobky

Šamot je v ČR nejpoužívanějším žárovzdorným materiálem. Šamotové výrobky jsou žárovzdorná staviva, vyráběná z jílovitých zemin ostřených šamotem, tj. hlinitokřemičitou zeminou vypálenou na vysokou teplotu. Z hlediska chemického složení se jedná o bezvodé hlinitokřemičitany obsahující oxidy  $\text{Al}_2\text{O}_3$  a  $\text{SiO}_2$ . Hlavními surovinami jsou pálené lupky, jíly, kaoliny a šamotové střepy.

Výpal je jednou z nejdůležitějších operací při výrobě šamotu stejně jako při výrobě ostatních keramických výrobků. Výrobek tak získává konečné charakteristické vlastnosti. Šamotové výrobky se vypalují při různých teplotách podle druhů a jakosti:

kyselý šamot a šamot nižších druhů jakosti	1300 až 1380 °C
šamot střední jakosti	1380 až 1410 °C
vysoce jakostní zásadité šamoty	1410 až 1450 °C

V zásadě platí, že šamotové výrobky se vypalují na vyšší teplotu, než jaké budou vystaveny při použití. Jejich předností je vysoká odolnost vůči náhlým změnám teploty (u nejlepších druhů bylo zaznamenáno 50 a více cyklů změn teploty bez porušení materiálu). Typickou vlastností šamotů je měknutí hluboko pod bodem tavení (o 200 až 400 °C), zvláště jsou-li zatíženy tlakem. Šamot nesnáší velká zatížení v žáru a se stoupajícím zatížením jeho žárovzdornost rychle klesá. Rozdíl mezi únosností v žáru a žárovzdorností je u nejlepších druhů šamotů 200 - 250 °C, u horších druhů až 400 °C. Rovněž průběh měknutí jednotlivých druhů šamotů není stejný. Jakostní druhy měknou při vyšších teplotách a deformují se pozvolna, méně kvalitní druhy měknou již při teplotách 1300 °C a rychle se deformují. Z vlastností šamotu lze shrnout: žárovzdornost od 1670 do 1770 °C, hmotnostní nasákovatost od 8 do 16 %, objemová hmotnost 1750 - 2100  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , únosnost v žáru 1330 - 1480 °C, pevnost v tlaku 10 až 40 MPa.

#### 4.5.2 Dinasové výrobky

Jsou to žárovzdorná staviva, jejichž hlavní složkou je oxid křemičitý v obsahu 92 – 95 %. Hlavními surovinami pro výrobu dinasů je křemenec, křemencový písek, dinasové střepy a pomocnými surovinami je pálené vápno, sulfitový louh nebo melasa. Křemenec jsou horniny obsahující jemně krystalický oxid křemičitý. Jsou to tudíž křemičité horniny - hutné a tvrdé pískovce zpevněné křemičitým tmelem. Důležitým komponentem křemenců jsou tzv. mineralizátory, které jsou v základní hmotě jemně rozptýleny a usnadňují modifikační přeměnu křemenců v žáru na cristobalit a tridymit. Jsou velmi často obsaženy v křemencích, převážně jako oxidy železa a titanu nebo jako křemičitan železnatý a vápenatý. Velmi účinným mineralizátorem je i CaO. Dinasové zlomky se používají při výrobě dinasů jak z důvodů technologických, tak i hospodářských. Jelikož již byly vypáleny, neprojevují se v žáru růstem objemu a snižují tak nárůst objemu i u dinasových výrobků. Zvyšují částečně pórovitost a tím snižují pevnost dinasů. Pálené vápno slouží při výrobě dinasů jako pojivo. Sulfitový louh má rovněž pojivou funkci, právě tak jako melasa atp.

Teplota výpalu dinasů se pohybuje od 1370 do 1430 °C. Při výpalu nastávají fyzikální, chemické i krystalické přeměny. Nejvyšší dinas obsahuje 50 - 70 % tridymitu a 20 - 30 % cristobalitu. Nazývá se tridymitovaný dinas.

Typickou vlastností dinasů je náhlý přechod z tuhého stavu do tekutého - teplota tání je téměř shodná s teplotou měknutí. Proto má dinas i poměrně značnou únosnost v žáru, a to 1600 až 1660 °C. Na rozdíl od šamotu odolává dobře zatížení i při vyšších teplotách aniž měkne. Nesnáší však prudké změny teplot do 600 °C, protože při této tepelné zátěži v něm probíhá nejvíce modifikačních přeměn. Při teplotách vyšších, hlavně nad 1000 °C, překonává teplotní výkyvy téměř beze změn. Jelikož je kyselým stavivem, odolává velmi dobře kyselým struskám a je tudíž využíván k vyzdívce pecí, kde se kyselá struska tvoří. Jinak je vhodný k vyzdívce pecí, kde je zajištěn jejich nepřetržitý provoz (sklářství, hutnictví, koksárenství, v keramické výrobě atd.).

#### 4.5.3 Magnezitové výrobky

Jsou to žárovzdorná staviva vyráběná ze slinutých magnezitů, jejichž zrna jsou buď stmelena žářem nebo chemickou cestou. Základní surovinou je hornina zvaná magnezit - v podstatě uhličitán hořečnatý  $MgCO_3$ . Obsažený MgO je nositelem vysoké žárovzdornosti. Čistý MgO se vyznačuje žárovzdorností až 2800 °C a magnezitové výrobky mírně nad 2000 °C.

Pokud jsou magnezitové výrobky vypalovány, pohybuje se teplota výpalu v rozmezí 1450 - 1600 °C. Během výpalu dochází k celé řadě fyzikálně chemických dějů: vypuzování chemicky vázané vody a tím i rozrušování strusky výrobku, tvoření taveniny (nad 1200 °C), slinování, rekrystalizace.

Chemicky vázané magnezitové výrobky nezískávají svou pevnost a další vlastnosti procesem pálení, ale chemickou cestou. Základní surovina se za tepla mísí s roztokem síranu hořečnatého  $MgSO_4$ , který naleptává a rozpouští povrch zrn MgO. Tím se vytváří koloidní roztok tmelící naleptaná zrna v pevný celek. Pokud podrobíme chemicky vázané výrobky výpalu, jejich původní pevnost v tlaku, rovná 40 až 50 MPa, zpočátku značně klesá, ale při teplotách nad 1200 °C opět stoupá.

Magnezitové výrobky disponují vysokou žárovzdorností (přes 2000 °C), ale podobně jako šamot měknou již při teplotách nižších. Proto je pro jejich použití rozhodující únosnost v žáru, která se pohybuje od 1450 do 1700 °C. Nevýhodou je jejich malá odolnost proti náhlým změnám teploty a značná citlivost k vlhkosti a vodní

páře. Magnezit se vyznačuje dobrou tepelnou vodivostí, přibližně dvounásobnou ve srovnání se šamotem. Objemová hmotnost se pohybuje v rozmezí 2750 až 2900 kg.m<sup>-3</sup>, pevnost v tlaku 20 až 45 MPa.

#### 4.5.4 Magnezitchromové a chrommagnezitové výrobky

Magnezitchromové a chrommagnezitové výrobky jsou žárovzdorné výrobky získané z magnezitového slínku a upravené chromové rudy. Chromová ruda je hornina, jejíž převažující složkou (nad 80 %) je minerál chromit  $\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$ , doprovázený vodnatými křemičitany hořečnatými, zvláště serpentinem  $3 \text{MgO} \cdot 2 \text{SiO}_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$  a dalšími přímíšeninami, zejména křemencem, spinelem  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ , zčásti vápencem a menším množstvím organických látek.

K výrobě magnezitchromových a chrommagnetitových výrobků je vhodná vytríděná chromová ruda zbavená samostatných křemenných kusů a prašného podílu, s obsahem nejméně 85 % chromitu  $\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$ . Nežádoucí příměsí, která snižuje žárovzdornost chromitu, je křemen; jeho obsah má být pokud možno co nejnižší. Proto se také jakost chromové rudy z hlediska chemického složení určuje zejména podle obsahu oxidu křemičitého a poměru oxidu chromitého k oxidu železa.

Magnezitchromové a chrommagnezitové výrobky se vypalují v široko-profilových tunelových pecích vytápěných zemním plynem při teplotách 1470 až 1600 °C. Při pálení výrobků probíhají složité fyzikálně chemické děje. Vlastnosti a jakost výrobků závisí značnou měrou na podmínkách, za kterých tyto děje probíhají.

Magnezitchromové a chrommagnezitové výrobky mají podobné vlastnosti jako magnezitové výrobky, mají však nižší únosnost v žáru a pevnost v tahu za studena, zato jsou mnohem odolnější proti náhlým změnám teploty. Jsou vhodné především k vyzdívání ocelářských pecí, a to jak stěn, tak hlavně kleneb. Uplatňují se též při vyzdívce dna i stěn plamenných pecí a k vyzdívání žárového pásma pecí.

#### 4.5.5 Uhlíkaté výrobky

Uhlíkaté výrobky jsou žárovzdorné výrobky získané z uhlíku a jeho sloučenin. Vyznačují se vysokou žárovzdorností a odolností proti redukčnímu žáru, vysokou tepelnou i elektrickou vodivostí, zachovávají si tvar i při vysokých teplotách a mají vysokou únosnost v žáru.

Do skupiny uhlíkatých výrobků patří výrobky: tuhové, siliciumkarbidové a uhlíkové.

##### **Tuhové výrobky**

Tuha neboli grafit je jednou ze tří modifikací uhlíku. Vyznačuje se vysokou teplotu tavení (3800 °C), výbornou chemickou odolností, dobrou tepelnou vodivostí a velkou objemovou stálostí v žáru. Měkne při 2500 °C. Při vysokých teplotách vstupuje do oxidačních reakcí.

##### **Siliciumkarbidové výrobky**

Názvem siliciumkarbidové výrobky se označují žárovzdorné výrobky, jejichž podstatnou částí je karbid křemíku SiC (siliciumkarbid). Průběh reakce vzniku karbidu křemíku lze vyjádřit zjednodušenou rovnicí:  $\text{SiO}_2 + 3 \text{C} \rightarrow \text{SiC} + 2 \text{CO}$ . Tavení probíhá ve speciálních elektrických pecích při teplotách 1600 - 2000 °C. Vzniklý produkt je vysoce žárovzdorný a značně tvrdý (9,5 stupňů tvrdosti podle Mohse), má výraznou tepelnou vodivost, nízký součinitel teplotní roztažnosti, vysokou mechanickou pevnost

(přibližně desetinásobnou ve srovnání se šamotem) a vysokou odolnost proti deformaci v žáru při zatížení (až 1760 °C).

K dalším žárovzdorninám náleží např.: chromit, spinel, zirkonové výrobky, forsterit, žárovzdorné oxidy (např. thoričitý, berylnatý) atd.

## 4.6 Zrněná žárovzdorná staviva

K těmto materiálům patří především žárovzdorné malty, vystýlací hmoty, tmely a žárovzdorné betony, které se dodávají k dalšímu zpracování ve formě suchých zrnitých směsí.

### **Žárovzdorné malty**

jsou šamotové, dinasové a magnezitové. Dodávají se jako moučky, které se při používání upravují, obvykle vodou. Užívají se na vyplňování spár mezi žárovzdornými tvarovkami. Musí mít stejnou tepelnou roztažnost a smrštitelnost jako tvarovky, které spojují. Vystýlací hmoty slouží k vystýlání pecí a nahrazují vyzdívání pecí tvarovkami. Zpravidla se při vystýlání dusají (pěchují) ze žárovzdorných surovin.

### **Tmely a potěry**

slouží k vyspravování a utěšňování porušeného žárovzdorného zdiva. Sypká směs se směšuje nejčastěji s vodním sklem. Potěry mají za účel ochraňovat povrch zdiva a svým složením a přípravou na použití se podobají klasickým tmelům.

### **Žárovzdorné betony**

Žárovzdornými betony se běžně nazývají takové betony, které jsou schopné uchovat si v daných mezích své fyzikálně mechanické vlastnosti i při dlouhodobém působení teplot. Jsou předurčeny pro použití v různých tepelných zařízeních a stavebních konstrukcích vystavených tepelnému namáhání.

Podle odolnosti v žáru dělíme žárovzdorné betony na vysokožárovzdorné s odolností 1770 °C, na žárovzdorné v rozmezí teplot 1500 - 1770 °C a na žárovzdorné do teploty 1500 °C.

Podle použitého pojiva dělíme žárovzdorné betony na portlandskocementové nebo struskoportlandskocementové, na betony s vysokým obsahem žárovzdorných zemin - hlinitanové, s obsahem žárovzdorných zemin a konečně na betony, jejichž pojivem je vodní sklo.

Do betonových směsí s portlandským cementem a vodním sklem se přidávají jemně mleté přísady: chromit, šamot, magnezit, cihelná moučka, andezit, vysokopecní struska, strusky z topenišť, pemza, spraš, sprašové písčité půdy, popílek. Jako hrubozrnných a jemnozrnných plnidel se v žárobetonech používá žárovzdorných materiálů: sopečný tuf, drť z magnezitových a chrommagnezitových cihel, drť z šamotových cihel, kusový šamot, vysokopecní struska, andezit a řada dalších materiálů majících dostatečnou žárovzdornost. Maximální teplota použití žárovzdorných betonů závisí na druhu použitého pojiva, jemně mletých přísad a plniv. Žárovzdorný beton s šamotovým plnivem pojený vodním sklem má maximální použití do 1000 °C. Tento beton pojený ale portlandským cementem má teplotu použití do 1150 °C a s cementem hlinitanovým do 1300 °C. Žárovzdorný beton na bázi vodního skla je současně také korozivzdorný. Byly prováděny rovněž zkoušky žárovzdorných betonů použitelných až do teplot kolem 1800 °C a také lehkých tepelně izolačních betonů, žárovzdorných plynobetonů a pěnobetonů.

Sortiment keramických výrobků představuje širokou škálu. Příčinou je jednak značná variabilita druhovosti keramických materiálů a rovněž široká možnost

konkrétního uplatnění. Progresivní uplatnění keramiky je v oblasti izolačních materiálů jako např. lehčená staviva a vláknité materiály. Značného rozvoje doznává i tzv. technická keramika, kde se uplatňují především perspektivní keramické kompozity.

## 5 Pojiva a maltoviny

Pod pojmem pojiva rozumíme hmoty, které jsou schopné spojovat jiné materiály v kompaktní celek. Podle toho, zda při tuhnutí a tvrdnutí dochází ke změně jejich chemického složení, rozdělujeme je na pojiva mechanická a chemická. Mezi mechanická pojiva, u nichž nedochází ke změně chemického složení, se řadí jíly, asfalty, dehty, některá lepidla, pájky. Mezi pojiva chemická, tj. taková, která se po chemické stránce mění, patří např. vápno, sádra, cement.

Z hlediska stavební praxe rozumíme pod pojmem pojiva práškovité hmoty, které smíchány s vodou po určité době tuhnou, tvrdnou a trvale spojují jiné kusové stavební hmoty. Podle toho, v jakém prostředí jednotlivá pojiva tuhnou a tvrdnou, dělíme je na vzdušná - tuhnou a tvrdnou pouze na vzduchu, a na hydraulická - tuhnou a tvrdnou nejen na vzduchu, ale i ve vlhku, případně pod vodou.

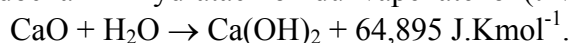
Mezi pojiva vzdušná se zahrnuje vápno vzdušné, sádra, anhydritové pojivo a hořečnaté pojivo; mezi pojiva hydraulická náleží hydraulická vápna, směsné hydraulické pojivo a cementy.

Nejrozšířenější pojiva, která se běžně používají, jsou především pojiva na bázi maltovin. Náleží k nim vápno, sádra a cement. Tyto materiály nachází široké uplatnění nejen jako pojiva, ale i jako omítkoviny, štukatérský materiál a výplňový materiál.

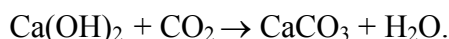
### 5.1 Vzdušná pojiva

Ke vzdušným anorganickým pojivům se řadí především vzdušné vápno, hydrofobní vzdušné vápno, vápno acetylenové, sádra, hořečnaté pojivo atp.

**Vzdušné vápno** vzniká pálením rozdrceného a roztráveného vápence a dolomitického vápence ( $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ ), který obsahuje max. 6 - 8 % příměsí. Vápeneč se pálí při teplotě 800 - 1300 °C:  $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ . Při pálení se vylučuje 44 %  $\text{CO}_2$  hmotnosti  $\text{CaCO}_3$ . Objem produktu pálení se zmenšuje max. o 14 %. Při styku s vodou dochází k hydrataci oxidu vápenatého (tzv. hašení vápna).



Výsledným produktem je hašené vápno, jehož objem je 2 - 3,5krát větší než objem  $\text{CaO}$ . Následným procesem je proces tvrdnutí - tzv. vzdušná karbonizace, probíhající podle rovnice



Vzdušné vápno s přebytkem vody se používá jako vápenné mléko pro povrchové nátěry s dezinfekčním účinkem vůči bakteriím a plísním, jako pojivo vápenných malt do zdiva, pro omítky atp.

**Sádra** - stavební sádra se vyrábí cestou tepelného zpracování přírodního sádrovce  $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ . Podstatou vzniku sádrového pojiva je přechod dihydrátu síranu vápenatého na různé krystalové modifikace polohydrátu nebo anhydridu síranu vápenatého zahříváním při různých teplotách. Pro jejich vznik platí chemické rovnice 5.1 a 5.2:



Hydraulická vápna vyrábíme buď pálením vápenců vhodného složení pod mez slinutí (přírozně hydraulická vápna) nebo společným rozemletím vápna vzdušného s hydraulickými přísadami.

**Přírozně hydraulické vápno** - vyrábí se z vápenců, které jsou silněji znečištěny sloučeninami prvků Si, Al, Fe. Po vypálení pod mez slinutí přecházejí tyto prvky ve formě oxidů do vápna, takže přírozně hydraulické vápno obsahuje vedle CaO ještě SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, které nazýváme souborně hydraulity nebo hydraulofaktory, protože dodávají vápnu hydraulické vlastnosti, tj. schopnost tuhnout a tvrdnout nejen na vzduchu, ale i ve vlhku, případně pod vodou po předchozím náležitém zatuhnutí na vzduchu.

Z přírozně hydraulických vápen lze vyrobit malty s větší pevností a vodotěsností a s menším smršťováním vhodných do malt zdiva i na omítky. Uplatňují se všude tam, kde se používají malty nastavované (vápenocementové), jestliže vyhovují požadované pevnosti. Přírozně hydraulické vápno bývá komponentem pro výrobu suchých omítkových směsí, umělého kamene atp.

**Cement** - je práškovité hydraulické pojivo pozvolna tuhnoucí, vyráběné pálením vhodných surovin až na mezi slinutí a rozemletím získaných slínek společně s přísadami na jemný prášek. Cement smíšený s vodou tuhne a tvrdne, získává na pevnosti i pod vodou a má schopnost pojít jiné kusové hmoty. Podle toho, které z petrografických složek převládají, bylo možno zařadit cementy do dvou hlavních skupin:

- cementy silikátové,
- cementy aluminátové.

Od 1.1. 1994 vstoupila v platnost tehdy předběžná cementářská norma ČSN P ENV 197 - 1 Cement. Složení, jakostní požadavky a kritéria pro stanovení shody. Zásadní změnou oproti původní ČSN je třídění cementů. Cementy se nyní dle uvedeného eurokódu zatřídí do 5 hlavních druhů:

- I - Portlandský cement
- II - Portlandský cement směsný
- III - Vysokopecní cement
- IV - Pucolánový cement
- V - Směsný cement

Druh II se dle přidávaných složek dále dělí na dalších 7 skupin s názvy uvedenými v tab. 5.2, která je převzata z ČSN EN 197 - 1. Tabulka obsahuje i požadavky na složení jednotlivých druhů. Oproti dosavadní klasifikaci se liší i třídy cementů dané nejnižší 28denní pevností v tlaku (tab. 5.1). Pro všechny třídy se zavádí podtřídy s označením „R“ u cementů s vyšší počáteční pevností. Na rozdíl od dosavadních požadavků není normována pevnost v ohybu.

Tab. 5.1

Požadavky na mechanické a fyzikální vlastnosti cementů



Pevnostní třída	Pevnost v tlaku [MPa]				Počátek tuhnutí [min]	Objemová stálost [mm]
	Počáteční pevnost		Normalizovaná pevnost			
	2 dny	7 dnů	28 dnů			
32,5	-	≥ 16	≥ 32,5	≤ 52,5		
32,5 R	≥ 10	-			≥ 60	
42,5	≥ 10	-	≥ 42,5	≤ 62,5		≤ 10
42,5 R	≥ 20	-				
52,5	≥ 20	-	≥ 52,5	-	≥ 45	
52,5 R	≥ 30	-				

Poznámka: Národní dodatek rozšiřuje novou normu o nejnižší třídu cementu 22,5.

Tab. 5.2 Druhy cementů a jejich složení v hmotnostních procentech (Hodnoty v tabulkách se vztahují k hlavním a doplňujícím složkám cementu bez síranu vápenatého a přísad)

Druh cem.	Název cementu	Označ. cementu	Slínek	Vysokop. struska	Křemičitý úlet	Pucolán		Popílek		Kalcov. břidlice	Vápenec	Doplňk. složky
			(K)	(S)	(D)	přír. (P)	prům. (Q)	křemič. (V)	vápen. (W)	(T)	(L)	
I	portlandský	I	95-100	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
II	portlandský struskový	II A-S	80-94	6-20	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		II B-S	65-79	21-34	-	-	-	-	-	-	-	0-5
	portlandský s křem. úletem	II A-D	90-94	-	6-10	-	-	-	-	-	-	0-5
	portlandský pucolánový	II A-P	80-94	-	-	6-20	-	-	-	-	-	0-5
		II B-P	65-79	-	-	21-35	-	-	-	-	-	0-5
		II A-Q	80-94	-	-	-	6-20	-	-	-	-	0-5
		II B-Q	65-79	-	-	-	21-35	-	-	-	-	0-5
	portlandský popílkový	II A-V	80-94	-	-	-	-	6-20	-	-	-	0-5
		II B-V	65-79	-	-	-	-	21-35	-	-	-	0-5
		II A-W	80-94	-	-	-	-	-	6-20	-	-	0-5
		II B-W	65-79	-	-	-	-	-	21-35	-	-	0-5
	portlandský s kalcinova- nou břidlicí	II A-T	80-94	-	-	-	-	-	-	6-20	-	0-5
		II B-T	65-79	-	-	-	-	-	-	21-35	-	0-5
	portlandský s vápencem	II A-L	80-94	-	-	-	-	-	-	-	6-20	0-5
		II B-L	65-79	-	-	-	-	-	-	-	21-35	0-5
	portlandský směsný	II A-M	80-94					6-20				
		II B-M	65-79					21-35				
	vysokopecní	III A	35-64	35-65	-	-	-	-	-	-	-	0-5
III	vysokopecní	III B	20-34	66-80	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		III C	5-19	81-95	-	-	-	-	-	-	-	0-5
IV	pucolánový	IV A	65-89	-			11-35					0-5
		IV B	45-65	-			36-55					0-5
V	směsný	V A	40-64	18-30	-		18-30					0-5
		V B	20-39	30-50	-		30-50					0-5

K nejpoužívanějším cementům náleží především cementy portlandské a cementy portlandské směsné.

**Cementy portlandské** - do této skupiny náleží řada nejpoužívanějších cementů. Hlavními surovinami pro jejich výrobu jsou hlinité vápence, slíny, hlinité břidlice, případně další přísady, které se sice přidávají jen v menším množství, ale tvorby slínku se zúčastňují.

Smísíme-li cement s vodou, dochází vlivem hydratace postupně k tunutí a tvrdnutí cementové kaše. Tuhnutím se nazývá přechod ze stavu kašovitého do stavu tuhého, vyznačujícího se již určitou soudržností. Při procesu tvrdnutí dochází

k postupnému nabývání pevnosti. Tuhnutí trvá několik hodin, tvrdnutí případně až řadu let. Oba pochody se společně nazývají zpevňováním. Požadovaných pevností má být dosaženo za 28 dnů. Hydratací rozumíme děj, při kterém působením vody na petrografické složky vznikají přímou adicí nové sloučeniny s chemicky vázanou vodou.

**Portlandské směsné cementy** - jsou cementy vyrobené ze slínku portlandského cementu, hlavní přísady regulující jejich tuhnutí (sádrové střeby nebo sádrovec) a vedlejší hydraulické přísady. Názvy, značení a složení těchto cementů uvádí tab. 5.2.

Kvalita pojivých materiálů, tudíž i cementů, se testuje souborem normalizovaných zkušebních testů stanovujících fyzikální a mechanické vlastnosti. Z fyzikálních vlastností cementů to jsou především doba tuhnutí, objemová stálost a měrná hmotnost. Mechanické vlastnosti cementů se ověřují např. stanovením:

- pevnosti cementu jako stanovení pevnosti cementové malty
  - a) v ohybu na zkušebních trámečcích o rozměrech 40 x 40 x 160 mm; pevnost v ohybu  $R_f$  se stanoví z rovnice 5.5, a to:

$$R_f = \frac{1,5 \cdot F_f \cdot \ell}{b^3} \quad [\text{MPa}], \quad (5.5)$$

kde  $F_f$  je lomové zatížení, vynaložené na střed zkušebního trámce [N],  
 $\ell$  vzdálenost podpor trámce [mm],  
 $b$  délka strany příčného průřezu trámce [mm];

- b) v tlaku na zlomcích trámečků po zkoušce pevnosti v ohybu; pevnost v tlaku  $R_c$  se stanoví početně z rovnice 5.6, a to:

$$R_c = \frac{F_c}{A} \quad [\text{MPa}], \quad (5.6)$$

kde  $F_c$  je nejvyšší tlakové zatížení při porušení zkušebního vzorku [N],  
 $A$  průřezová plocha vzorku [mm<sup>2</sup>].

Z cementů a anorganických případně i organických přísad se vyrábí i další hydraulická pojiva používaná především pro vodotěsné izolace, vodotěsné omítkoviny, spárové hmoty apod. Jedná se o hydraulické tmely jako např.:

THOROSEAL - těsnicí hmota na cementové bázi,  
 WATERPLUG - rychletuhnoucí těsnicí hmota z hlinitanového cementu,  
 PLASTERMIX - vodotěsná omítková směs,  
 ST - tmel odolávající alkalické vodě  
 XYPEX - tmel s dobrou chemickou odolností pro vnitřní i vnější

použití

a další.

## 5.3 Vlastnosti maltovinových pojiv při zvýšených teplotách

### 5.3.1 Vápno

Vzdušné vápno jako pojivo ve formě hydroxidu vápenatého  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  je při působení tepelné zátěže ještě méně odolné než přírodní vápenec. Toto pojivo se

v delším časovém horizontu postupně mění v důsledku vzdušné karbonizace zpět na  $\text{CaCO}_3$ . Pro odolnost vápenné malty je rozhodující rozpad  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , který nastává při 520 až 580 °C. Rozpad vápence nastává při  $\approx 800$  °C a více.

Takto vzniklý oxid  $\text{CaO}$  je schopen další hydratace, která způsobuje zvětšení objemu a rozrušení struktury zatvrdlé vápenné malty. Ke značnému snížení pevnosti vápenné malty dochází tedy při teplotách 500 - 600 °C. Ohřevem na teplotu  $\geq 900$  °C zatvrdlá malta zcela ztrácí svou pevnost. Při zahřívání vznikají v maltě trhliny a vápenná omítka odpadá od podkladu. Odpadávatí omítek se zabráňuje vkládáním jedné (při tl. omítky do 30 mm), či více vrstev stavebního pletiva.

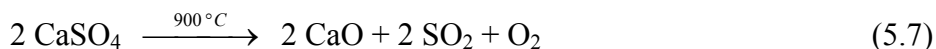
Vznik trhlin se vysvětluje opětovnou tvorbou  $\text{CaO}$  a vlivem napětí, působícího v maltě v důsledku různých koeficientů tepelné roztažnosti  $\text{CaO}$  a  $\text{CaCO}_3$  a vlivem různých tepelných deformací zatvrdlého vápna a křemičitého písku, který má funkci plniva. Vápno se v jisté fázi nárůstem tepelné zátěže smršťuje a křemenný písek se roztahuje. Zlom v tepelné roztažnosti křemene nastává při 575 °C (viz kap. 2).

Hydraulická vápna se chovají při teplotách závisle na obsahu jílovitých podílů a oxidu  $\text{Al}_2\text{O}_3$  v základní surovině. Čím vyšší je tento obsah, tím lepší je i jejich odolnost vůči zvyšování teplot a s rostoucím obsahem těchto komponentů klesá obsah  $\text{Ca}$ .

Vápenná omítka zlepšuje požární odolnost konstrukcí, což se projevuje zejména u zdíva menších tlouštěk. Podmínkou zvýšení požární odolnosti je dobrá adheze a spolupůsobení této povrchové úpravy s chráněnou konstrukcí.

### 5.3.2 Sádra

Při zahřívání zatvrdlé sádry začíná proces dehydratace již při teplotě 70 °C a je doprovázen narušováním struktury, vedoucí k postupné ztrátě pevnosti sádry. Při teplotě cca 400 °C je pevnost rovna 39 % při zahřívání a 23 % původní pevnosti při ochlazování. Při tomto zahřátí se projeví maximální ztráta hmotnosti a rovná se 21 %. Ztráta hmotnosti se vysvětluje dehydratací sádrové malty. Při zahřívání nad 700 °C se pevnost snižuje téměř na nulu a po ochlazení vzroste na 17 % původní pevnosti. Smrštění dosahuje hodnoty cca 3,1 %. Při dalším zvyšování teploty na 900 °C probíhá rozpad síranu vápenatého, viz rov. 5.7:



Vznikající  $\text{CaO}$  je opět způsobilý k hydrataci s viditelným zvětšováním objemu, což vede k rozpadu sádrové malty.

K přeměně sádrovce na půlhydrát, při které je uvolněno 75 % krystalické vody, se spotřebuje určité množství tepla. Pro zvýšení teploty sádrovce na 150 °C je zapotřebí asi  $7,24 \cdot 10^5 \text{ J.kg}^{-1}$  tepla, přičemž se odpaří asi 80 % krystalické vody (u betonu k dosažení stejné teploty jen  $1,255 - 1,675 \cdot 10^5 \text{ J.kg}^{-1}$ ). Odolnost proti vysokým teplotám je tím lepší, čím vyšší je obsah sádry ve směsi.

Uvedené chemické změny jsou tudíž endotermními reakcemi se značnou tepelnou náročností. Tím je vysvětlena i dobrá odolnost sádry proti vysokým teplotám a pomalejší oteplování konstrukcí chráněných sádrovými obklady nebo sádrovou omítkou. Pro zlepšení funkčnosti sádrových omítek se přidávají do základní směsi vláknité příměsi, případně se omítka vyztuží stavebním pletivem (viz kap. 5.3.1). Tyto úpravy pomáhají čelit vzniku kontrakčních trhlin.

Výše uvedené vlastnosti sádry umožňují její uplatnění především pro výrobu protipožárních obkladových sádkartonových desek.

### 5.3.3 Cementy

Objasnění změn vlastností cementů probíhajících při vyšších teplotách je značně problematické. Cement má mnohem složitější chemickou skladbu než ostatní pojiva a také procesy tuhnutí a tvrdnutí jsou komplikovanější.

Odolnost cementu a jeho zbytková pevnost v průběhu nárůstu teplot závisí na objemových změnách a na rozpadu sloučenin, vzniklých v hydratačním procesu během tuhnutí a tvrdnutí. Dále je nutno uvažovat s poměrem voda - cement a se stářím zatvrdělého cementu. Provedené zkoušky prokázaly, že odolnost se znatelně zvyšuje s nárůstem časového intervalu zrání cementové malty a ubývajícím vodním součinitelem. V důsledku doplňující hydratace minerálů při zvýšení teploty na cca 100 °C dochází k částečnému zvýšení pevnosti.

Do teploty 150 - 160 °C se u cementového kamene projevuje rozpínání. Při dalším zvyšování teploty dochází ke kontrakci, která svou hodnotou původní zvětšení objemu převyšuje.

Při zahřátí na 200 - 300 °C se pevnost při zatížení zvyšuje současně se zpevněním struktury. Toto probíhá v důsledku vypuzování vody a rovněž jako důsledek usilovné krystalizace hydroxidu vápenatého, který působí zpevnění cementového kamene.

Zahřátí na 400 °C vede k postupnému snižování pevnosti vlivem dehydratace hlinitanů vápenatých. Při dalším zvyšování teploty nad 550 °C probíhá dehydratace hydroxidu vápenatého za vzniku CaO s doprovodným narušením struktury a postupnou ztrátou pevnosti. Markantnější narušování struktury a pokles pevnosti je zřejmý při teplotě cca 800 - 900 °C. Při vyšších teplotách probíhá disociace uhličitanu vápenatého.

Pozitivnější vlastnosti vykazují v podmínkách tepelného zatěžování cementy s vyšším obsahem oxidu Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, které je možno použít pro výrobu žárobetonů a žárovzdorných malt.

## 5.4 Malty pro omítky ovlivňující požární odolnost

Z hlediska požadavků na požární odolnost se malty pro omítky zařazují do:

- a) malty skupiny I - sádroperlitová malta v poměru nejméně 1 : 3 (sádra / expandovaný perlit); sádrovermikulitová malta v poměru nejméně 1 : 4 (sádra / vermikulit);
- b) malty skupiny II - malta sádrová v poměru nejvýše 1 : 3 (sádra / hutné kamenivo); malta vápenosádrová v poměru 2 : 1 : 2 (sádra / vápno / hutné kamenivo);
- c) malty skupiny III - malta vápenná v poměru 1 : 4; malta vápenocementová; malta cementová (pokud tyto malty obsahují přírodní hutné kamenivo těžené nebo drcené).

Žádná z výše uvedených malt nesmí obsahovat organické příměsi. Malty pro omítky, které zde nejsou do skupiny I až III zařazené, zejména omítky z malt na stavebních konstrukcích s předpokládanou vyšší požární odolností (např. omítky

vyztužené minerálními vlákny nebo jinými anorganickými vlákny, omítky s cementem s vyšším obsahem  $Al_2O_3$  apod.) je nutno ověřit zkouškou podle ČSN 73 0851.

Pokud mají malty skupiny I a II složení z hlediska požární odolnosti méně vhodné, než je uvedeno v příslušné skupině, zařazují se o skupinu níže (např. místo skupiny I do skupiny II).

Omítky na stavebních konstrukcích (stěnách, střepech apod.), které lze započítat jejich účinností do požární odolnosti posuzované konstrukce, musí:

- a) být z maltové směsi vyrobené podle odpovídajících předpisů (ČSN);
- b) mít u malt skupiny I a III tloušťku nejméně 12 mm a u malt skupiny II nejméně 10 mm;
- c) odpovídat svým provedením stanoveným požadavkům;
- d) mít upraven povrch konstrukcí, pokud jsou nanесeny na dřevěné konstrukce (z řeziva, z aglomerovaného dřeva, z překližek apod.), na kovové konstrukce (plechy, kovové nosné konstrukce apod.) nebo na konstrukce z plastických hmot (desky, fólie apod.). Povrch konstrukce lze upravit upevněním keramického pletiva, pletiva s nalisovanými tělisky nebo drátěnou sítí o velikosti ok nejvýše 12,5 mm, a to nejsou-li plochy uvedených konstrukcí zvlášť upraveny pro omítání;
- e) mít vloženou síť nebo pletivo podle odst. d), pokud je jejich úhrnná tloušťka (jádrová vrstva a povrch) větší než 15 mm, popř. dvojitou síť nebo dvojitě pletivo, je-li jejich úhrnná tloušťka větší než 30 mm;
- f) vykazovat odpovídající adhezi celého systému povrchové úpravy.

## 6 Beton

Beton je umělé stavivo, tvořené směsí plniva, pojiva a vody, případně přísadami upravujícími jeho vlastnosti. Podle druhu pojiva se rozlišují následující druhy betonů: cementový, sádrový, asfaltový, beton s makromolekulárními pryskyřicemi (plastbeton) a jiné. Prostým označením „beton“ se však rozumí beton cementový, který je pro své dobré konstrukční a mechanické vlastnosti nejrozšířenější.

Jelikož je beton umělým kamenem, vykazuje v zatvrdlém stavu obdobné vlastnosti jako kamenné materiály, a to vysokou pevnost v tlaku, avšak nízkou pevnost v tahu, ohybu atd. Nevyztužený se používá především na konstrukce namáhané tlakem (sloupy, pilíře, základy). Aby bylo možno použít beton i na konstrukce, které nebudou namáhány pouze tlakem, vkládají se do betonu pruty betonářské oceli, přenášející tahová, smyková či jiná napětí. Tato konstrukce se nazývá železobetonovou. K vyztužení betonu lze použít i jiné materiály, jako např. skelná a plastová vlákna či sítě atp.

### 6.1 Složky betonu

**Cement** je nejčastěji používaným pojivem betonových směsí. Běžně se pro výrobu betonu užívá pomalu tuhnoucího portlandského cementu nebo směsných cementů s normálním průběhem tuhnutí. Volbu třídy cementu ovlivňuje požadavek na pevnost betonové konstrukce.

**Kamenivo** - je nejčastěji používaným plnivem betonů. Fyzikální a mechanické vlastnosti kameniva ovlivňují vlastnosti betonu. Procentové zastoupení zrn kameniva konkrétní velikosti je vyjádřeno zrnitostí. Zrnitost ovlivňuje zpracovatelnost betonové směsi, pevnost betonu a jeho další vlastnosti. Často je konkrétně stanoveno množství zrn určité frakce - tj. skupiny zrn v rozsahu mezních velikostí.

**Voda** - záměsová voda je nutná k hydrataci cementu i k vytváření dobře zpracovatelné betonové směsi. Množství vody v čerstvé směsi se vyjadřuje v hmotnostním poměru vody k cementu  $w = \frac{v}{c}$  (vodní součinitel) nebo reciprokou hodnotou  $\frac{c}{v}$  (cementový součinitel). Pro hydrataci se požaduje  $w = 0,19 - 0,21$ , avšak běžně v praxi se tato hodnota zvyšuje v důsledku zpracovatelnosti směsi na  $0,25 - 0,9$ . Vhodnost a kvalita záměsové vody je určena řadou požadavků stanovených v normalizačních předpisech.

**Přísky do betonu** - jsou látky, kterými lze upravovat některé vlastnosti betonu jako např. rychlost tuhnutí, tvrdnutí, plastičnost směsi, vodovzdornost betonu atd.

## 6.2 Druhy betonů

Pro rozlišení druhů betonů existují mnohá různá hlediska. Nejběžnější je dělení betonů podle požadované kvality a podle objemové hmotnosti:

beton lehký nebo lehčený	- $\rho_{oc} \leq 2000 \text{ kg.m}^{-3}$
beton normální konstrukční	- $\rho_{oc} = 2000 - 2800 \text{ kg.m}^{-3}$
beton těžký	- $\rho_{oc} > 2800 \text{ kg.m}^{-3}$

Dle ČSN EN 1992-1-1 se za běžný (obyčejný) hutný beton považuje beton, který vykazuje ve vysušeném stavu objemovou hmotnost v rozmezí 2000 až 2800  $\text{kg.m}^{-3}$ .

Dalším hlediskem dělení je třídění betonů podle použití a speciálních vlastností:

konstrukční	- nosný
výplňový	- nenosný
základový, podkladní, žárovzdorný, pancéřový atp.	

Z hlediska požadavků na požární odolnost stavebních konstrukcí se betonové směsi zařazují do těchto skupin:

- beton skupiny A - betonová směs z pórovitého kameniva umělého (např. škváry pro beton, vysokopecní zpěněné strusky, popílkových spékaných sbalků, popílkových sbalků zpevněných za studena, z formovaných zrn létavých popílků spékaných na aglomeračním roštu, břidlice nadýmané za vyšších teplot, jílu nebo jílovce vypalovaného na teplotu expandování, cihelné drti, struskové pemzy) nebo z pórovitého kameniva přírodního (např. sopečné pemzy, sopečných tufů a tufitů), popř. i z jiného pórovitého kameniva. Hmotnost kameniva je menší než  $1800 \text{ kg.m}^{-3}$  a množství organických příměsí není větší, než je určeno příslušnými technickými ustanoveními. Pokud betonová směs obsahuje kromě uvedených pórovitých kameniv i kameniva hutná, může to být nejvýše v poměru 1 : 10 ve vztahu k objemu pórovitého kameniva;

b) beton skupiny B - betonová směs z hutného přírodního kameniva těžného nebo drceného, popř. z jiného kameniva, jehož hmotnost je větší než  $1800 \text{ kg.m}^{-3}$ .

### 6.2.1 Lehké betony

Jsou používány převážně jako výplňové, avšak některé i jako betony konstrukční; lehké betony plní často různé izolační funkce.

Protože i tyto betony jsou ze silikátových surovin o měrné hmotnosti až  $2500 \text{ kg.m}^{-3}$ , je nutné jejich vylehčení. Toho je možno dosáhnout:

- využitím mezerovosti plniva - betony mezerovité,
- zvýšením pórovitosti plniva - betony nepřímo lehčené,
- vytvořením pórů přímo ve vyráběné hmotě - přímo lehčené betony.

Jednotlivé způsoby lze vzájemně kombinovat a mnohé vlastnosti betonů se mohou v širokém rozmezí měnit.

### 6.2.2 Železový beton

Prostý, nevyztužený beton vzdoruje výborně tlaku, ale je zároveň křehkým materiálem neschopným větších deformací. Vyznačuje se nízkou únosností v tahu, ohybu, smyku atd. Toto negativum se eliminuje vkládáním většinou ocelových vložek (armatur), umístěvaných do tažené či jinak kriticky namáhané oblasti průřezu betonového prvku tak, aby výhodným a účelným způsobem přenášely vzniklá napětí.

U vyztužených betonů je tzv. krycí vrstva prostoupena trhlínkami a je tudíž z nosného působení vyloučena. Betonářská výztuž bývá (podle své jakosti) napjata zpravidla na 120 až 250 MPa. Kvalitnější oceli nelze pro železobeton dostatečně využít, neboť modul pružnosti je u všech ocelí přibližně stejný (210 000 MPa - u vysoce kvalitních ocelí spíše o málo nižší), a proto i jejich poměrné protažení by bylo při plném využití příliš velké. Beton je před vznikem trhlin schopen protažení při tahu za ohybu jen asi 0,3 %. Vznik trhlin v krycí vrstvě je pro železobetonové konstrukce běžným předpokladem.

Výztuží se rozumí všechny ocelové vložky anebo jiné ztužující materiály, jejichž účelným umístěním v betonovém prvku se zlepšují mechanicko-fyzikální nebo konstrukční vlastnosti betonu. Množství, poloha i úprava výztužných vložek se řídí konstrukčními požadavky a statickými výpočty.

Kromě tyčové výztuže se pro výrobu železobetonu používají i svařované sítě, svařované mřížoviny, svařované kostry, prostorové výztužné prvky, tuhá výztuž (vytvoření nosné kostry pomocí tvarované válcované oceli), vláknitá rozptýlená výztuž atd.

### Předpjatý beton

Je železový beton, do něhož se záměrně a cíleně vnáší napětí, a to tak, aby při účincích vnějších sil byla v betonovém prvku pokud možno vyloučena napětí tahová. Je-li splněn tento požadavek, pak hovoříme o předpjatém betonu s plným předpětím. Celá průřezová plocha je zde pouze tlačena a nedochází k tvorbě trhlinek vznikajících v betonovém prvku namáhaném na tah. U betonů s částečným předpětím vznikají v průřezu betonového prvku tahová napětí, avšak menší, než je dovolené mezní napětí betonu v tahu. Podle technologie výroby rozlišujeme beton předem předpínaný, kdy je napjatá výztuž zalévána betonovou směsí, a beton dodatečně přepínaný, kdy se výztuž provléká otvory vynechanými v zatvrdlém betonovém prvku a pak následuje její předpětí

Předpětím nazýváme záměrné zavedení trvalého tlakového napětí do průřezu betonového prvku. Vyvozený stav trvalé napjatosti je na vnějším zatížení nezávislý. Předpětím je do spolupůsobení s výztuží zahrnuta i ta část průřezu betonu, která je u železobetonu vlivem tahových napětí prostoupena trhlinkami (krycí vrstva) a je ze statického spolupůsobení vyloučena.

### 6.3 Vlastnosti betonu

O uplatnění betonu rozhodují obvykle jeho pevnostní vlastnosti.

**Pevnost betonu v tlaku** se stanoví normovými zkouškami, na betonových válcích nebo na krychlích, viz Eurokód ČSN ENV 1992-1-1 (73 1201).

Za **pevnost v tahu** se považuje největší napětí, které může beton přenést při namáhání jednoosým tahem. Skutečná hodnota pevnosti v tahu se určí v souladu s normalizovanými požadavky. Odvozuje-li se pevnost v tahu z pevnosti v příčném tahu  $f_{ct,sp}$  nebo z pevnosti betonu v tahu za ohybu  $f_{ct,f}$ , lze přibližnou hodnotu pevnosti betonu v tahu při osovém namáhání  $f_{ct,ax}$  získat z uvedených pevností těmito převodními vztahy 6.1-2 :

$$f_{ct,ax} = 0,9^8 f_{ct,sp}, \quad (6.1)$$

nebo

$$f_{ct,ax} = 0,5^8 f_{ct,fl}. \quad (6.2)$$

Nejsou-li k dispozici přesnější údaje, lze střední a charakteristickou hodnotu pevnosti betonu v tahu určit ze vztahů 6.3 až 6.5:

$$f_{ctm} = 0,30 f_{ck}^{2/3}, \quad (6.3)$$

$$f_{ctk 0,05} = 0,7 f_{ctm}, \quad (6.4)$$

$$f_{ctk 0,95} = 1,3 f_{ctm}, \quad (6.5)$$

přičemž:

$f_{ctm}$  je střední hodnota pevnosti v tahu,

$f_{ck}$  charakteristická hodnota pevnosti v tlaku, zjištěná na válcích,

$f_{ctk 0,05}$  dolní charakteristická hodnota pevnosti v tahu,

$f_{ctk 0,95}$  horní charakteristická hodnota pevnosti v tahu.

Pro jednotlivé třídy betonu jsou odpovídající střední a charakteristické hodnoty uvedeny v tab. 6.1.

Tab. 6.1 Pevnostní třídy betonu dle ČSN P ENV 206 Beton

Třída betonu	C12/15	C 16/20	C 20/25	C 25/30	C 30/37	C 35/45	C 40/50	C 45/55	C 50/60
$f_{ck}$	12	16	20	25	30	35	40	45	50
$f_{ctm}$	1,6	1,9	2,2	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1
$f_{ctk 0,05}$	1,1	1,3	1,5	1,8	2,0	2,2	2,5	2,7	2,9
$f_{ctk 0,95}$	2,0	2,5	2,9	3,3	3,8	4,2	4,6	4,9	5,3

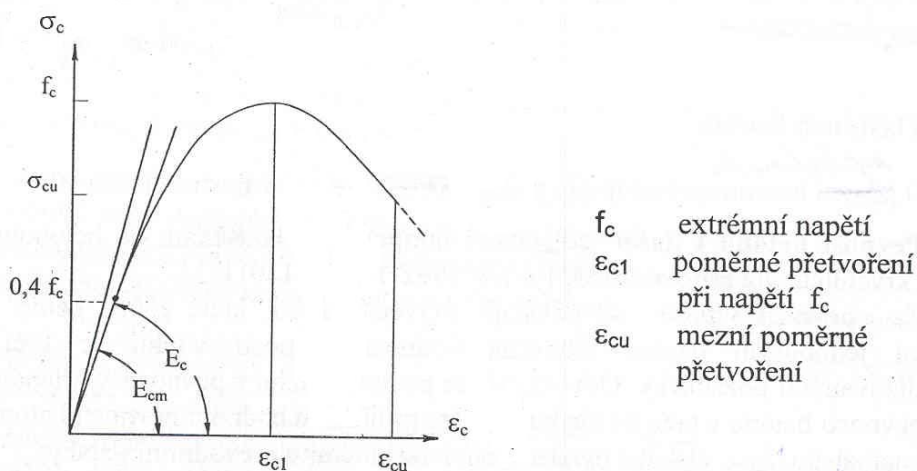
Poznámka: Za písmenem C je udána hodnota válcové pevnosti [MPa] a za lomící čarou je hodnota krychelné pevnosti [MPa].

#### 6.3.1 Třídy betonů

Při dimenzování se musí vycházet z pevnostní třídy betonu, která odpovídá předepsané hodnotě charakteristické pevnosti betonu v tlaku. Pevnost betonu v tlaku se klasifikuje podle pevnostních tříd, vztahujících se k válcové pevnosti nebo ke krychelné



pevnosti. Pracovní diagram betonu při jednoosém tlakovém napětí má zpravidla tvar podle obr. 6.1.



Obr. 6.1 Pracovní diagram betonu pro jednoosý tlak

Pro jednotlivé třídy betonu jsou charakteristické hodnoty pevnosti  $f_{ck}$  v tlaku a odpovídající hodnoty pevnosti v tahu uvedeny v tab. 6.1. Kromě pevnostní třídy betonu, charakteristické pevnosti betonu v tlaku  $f_{ck}$  (válcové), střední pevnosti betonu v tahu  $f_{ctm}$  uvádí tab. 6.1 i charakteristické pevnosti betonu v tahu  $f_{ctk}$  v  $[N.mm^{-2}]$ . (Klasifikace betonu, např. C 20/25, se vztahuje k válcové/krychelné pevnosti definované v ENV 206.) Pevnostní třídy betonu nižší než C 12/15 a vyšší než C 50/60 se nedoporučují používat pro železový a předpjatý beton, pokud není jejich návrh řádně zdůvodněn.

Pro ČSN 73 1201 a ČSN 73 2400 bylo rozlišení tříd betonů a jejich značení stanoveno - viz přehled uvedený v tab. 6.2.

Tab. 6.2 Požadavky na pevnost betonu v tlaku dle ČSN 73 1201 a 73 2400

Označení třídy dle ČSN 73 1201	0I	0	I	II	III	IV	V	VI										
Označení dle ČSN 73 2400	B 3,5	B 5	B 7,5	B 10	B 12,5	B 13,5	B 15	B 20	B 25	B 28	B 30	B 35	B 40	B 45	B 50	B 55	B 60	
dolní mez prům. pevnosti $R_{b,min}$	6,0	*)	7,5	10,5	13,5	13,4	17,5	20,4	25	29,4	33,0	35,0	40,0	45	50	55	60	65
horní mez prům. pevnosti $R_{b,max}$	9,5	12,0	16,0	20,0	23,6	25,0	26,9	33	38,6	42,0	44,3	50,0	56,0	62,0	67,0	73,0	78,0	
kontrolní pevnost $R_{b,co}$	5,5	7,5	10,5	13,5	16,4	17,5	20,4	25,0	29,3	33,0	35,0	40,0	45,0	50,0	55,0	60,0	65,0	
charakteristická pevnost $R_{b,ch}$	4,3	*)	6,2	8,0	11,0	13,5	14,5	15,0	20,0	24,8	27,5	29,2	33,3	37,5	42,5	47,5	52,5	57,5
směrná pevnost $R_{b,noc}$	9,0	10,5	14,5	18,0	21,0	22,5	24,5	30,0	35,0	38,0	40,5	45,5	51,0	56,0	61,0	67,0	72,0	
variační koef. $V_{Rb,max}$	0,29	*)	0,27	0,25	0,23	0,22	0,21	0,20	0,19	0,18	0,17	0,16	0,16	0,15	0,14	0,13	0,12	0,11
zaručená pevnost $R_{bg}$	3,5	5,0	7,5	10,0	12,5	13,5	15,0	20,0	25,0	28,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	55,0	60,0	

\*) Informativní hodnoty zjištěné interpolací

Číslo značky zde znamená krychelnou pevnost v MPa betonu po 28 dnech, pod kterou nesmí klesnout hodnota všech výsledků kontrolních zkoušek krychelné pevnosti vyrobeného betonu. Po 28 dnech není pevnost betonu konečná (činí zhruba 30 %). S časem u většiny betonů teoreticky dále narůstá přibližně dle vztahu 6.6:

$$\kappa_D = a + b \cdot \log D, \quad (6.6)$$

kde  $a, b$  jsou koeficienty závislé na druhu betonu,  
 $\kappa_D$  pevnost po  $D$  dnech.

### 6.3.2 Přetvárné vlastnosti betonu

Na pevnostní vlastnosti betonu úzce navazují vlastnosti přetvárné. Avšak charakteristiky, které jsou nutné pro výpočet okamžitých i dlouhodobých přetvoření, nezávisí jen na pevnostní třídě betonu, ale také na vlastnostech kameniva a dalších parametrech souvisejících se složením směsi, a na prostředí působícím na beton během jeho tuhnutí, tvrdnutí i během jeho celé životnosti.

Pro požární bezpečnost staveb je zřady přetvárných vlastností betonu významná především jeho teplotní roztažnost. Je vyjádřena součinitelem délkové teplotní roztažnosti  $\alpha_c$ , ze kterého lze usuzovat i na roztažnost objemovou  $\beta_c$ . Hodnota součinitele délkové roztažnosti betonu je za běžných teplot zhruba  $\alpha_c = 10 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  ( $12 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ ) a je srovnatelná s délkovou roztažností betonářské oceli. Proto je možno betony ocelí vyztužovat bez obav ze ztráty vzájemné soudržnosti.

Dle Eurokódu ČSN ENV 1994-1-2 lze stanovit teplotní protažení běžného betonu se silikátovým kamenivem jako poměrné protažení z rovnice 6.7 a 6.8:

$$\Delta \ell / \ell = (-1,8 \cdot 10^{-4}) + (9 \cdot 10^{-6} \Theta_c) + (2,3 \cdot 10^{-11} \Theta_c^3) \quad \text{pro } 20 \text{ }^\circ\text{C} < \Theta_c \leq 700 \text{ }^\circ\text{C} \quad (6.7)$$

$$\Delta \ell / \ell = 14 \cdot 10^{-3} \quad \text{pro } 700 \text{ }^\circ\text{C} < \Theta_c \leq 1200 \text{ }^\circ\text{C} \quad (6.8)$$

kde  $\ell$  je délka betonového prvku při pokojové teplotě,  
 $\Delta \ell$  protažení betonového prvku při teplotě  $\Theta_c$ ,  
 $\Theta_c$  teplota betonu [ $^\circ\text{C}$ ].

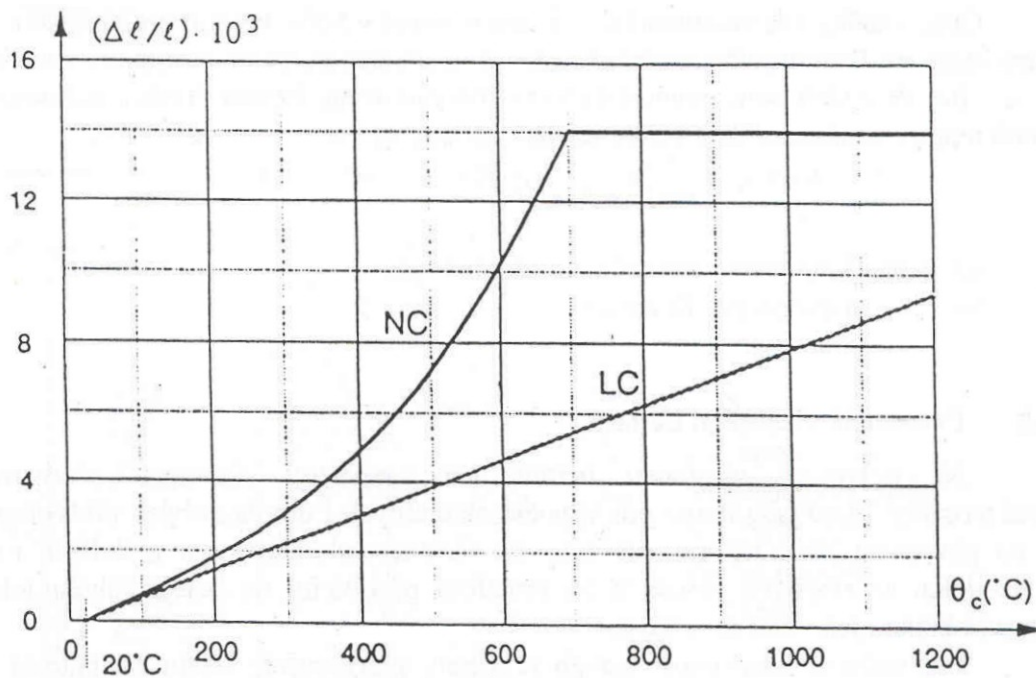
V jednoduchých výpočetních modelech lze závislost mezi součinitelem tepelné roztažnosti a teplotou betonu uvažovat jako lineární.

Závislost teplotní roztažnosti na změně teploty znázorňuje obr. 6.2 (ENV 1994-1-2: 1994) jak pro betony běžné ( $\rho_0 \cong 2300 \text{ kg.m}^{-3}$ ), tak i pro betony lehké ( $\rho_0 < 2000 \text{ kg.m}^{-3}$ ).

Teplotní protažení lehkého betonu  $\Delta \ell / \ell$  lze definovat vztahem 6.9:

$$\Delta \ell / \ell = 8 \cdot 10^{-3} (\Theta_c - 20), \quad \text{pro } 20 \text{ }^\circ\text{C} < \Theta_c \leq 1200 \text{ }^\circ\text{C} \quad (6.9)$$

kde  $\ell$  je délka betonového prvku při pokojové teplotě,  
 $\Delta \ell$  protažení betonového prvku vlivem teploty,  
 $\Theta_c$  teplota betonu [ $^\circ\text{C}$ ].



Obr. 6.2 Poměrná přetvoření normálního betonu (NC) a lehkého betonu (LC) jako funkce teploty

Bližší informace o ostatních přetvárných vlastnostech betonu, tzn. o dotvarování, smršťování, modulu pružnosti, Poisonově součiniteli atd. - viz EN 1992-1-1.

## 6.4 Vliv zvýšených teplot na beton

Beton je nehořlavým materiálem, avšak teploty, vznikající při požáru či z jiných příčin, mohou značně ovlivnit jeho vlastnosti. Dochází k dočasným nebo trvalým změnám vlastností mechanických i fyzikálních.

U portlandských cementů vlivem vypuzování vody nastává jejich smršťování, které značně roste při teplotách do 500 °C. Smršťování je trvalého charakteru (velikost objemového smrštění je až 0,5 %) a na povrchu betonu mohou vznikat trhlinky. Při vyšších teplotách probíhá dehydratace hydroxidu vápenatého na oxid vápenatý. Po ochlazení se může uplatnit nová hydratace oxidu vápenatého, která je provázena růstem objemu. Mnohem příznivěji se chovají betony s cementem obsahujícím i strusku (portlandský struskový, vysokopecní). Dobré vlastnosti vykazují v tomto směru cementy s vysokým obsahem oxidu  $Al_2O_3$ , u kterých se při hydrataci netvoří vápenné hydráty. Krystalická voda se vypuzuje bez značného smršťování betonu.

Ovlivnění změn vlastností betonu vzrůstem teplot je závislé i na změně vlastností použitého plniva. Tyto změny ovlivňuje rychlost růstu teplotní roztažnosti a míra trvalých objemových změn, které zůstávají po ochlazení. Je nutno připomenout modifikační a objemové změny křemene např. při teplotách kolem 575 °C. Rovněž nepříznivě působí i trvalé protažení po ochlazení (-3,5 %). Příznivě se projevují betony s plnivem z vápencových štěrků, pemzy, čediče atp., vykazující malé objemové změny.

Značný rozdíl mezi tepelnými deformacemi pojiva (např. smršťováním cementu v přibližné oblasti teplot 100 - 500 °C) a plniva (zvyšování objemu u většiny

používaných plniv) zapříčiňují vznik místních napětí ve vzájemných dotkových plochách kameniva a cementové malty. Tato místní napětí poškozují soudržnost složek betonu jak v tepelné zátěži, tak i po vychladnutí.

Zdrojem vnitřních napětí je rovněž tepelný prostup, postupné prohřívání a vznikající objemové změny jednotlivých vrstev materiálu, které jsou vlivem tepelného spádu různé v závislosti na jejich vzdálenosti od zahřívajícího povrchu betonu. Prudký teplotní spád a velká napětí nastávají při náhlém ochlazení, např. při hasení zásahu a mají značný vliv na poškození betonu. Mimoto nastane trvalými tepelnými deformacemi i chemickými změnami změna objemu a pokles hutnosti, jež ovlivní pevnost betonu.

Teplota požáru působí jak na pevnost, tak i na ostatní charakteristiky betonu, jako např. modul pružnosti. Při zahřívání na 100 °C se odpařováním volné a zčásti i fyzikálně vázané vody pevnost betonu zvětšuje, ale zmenšuje se modul pružnosti. Zvýšení pevnosti běžných betonů při působení teploty do 100, příp. 200 °C, se vysvětluje jako příznivý vliv na jádra cementu, která se dosud neúčastnila hydratačního procesu. V rozmezí teplot 100 - 400 °C se pevnost pozvolna snižuje a modul pružnosti dále klesá. Při teplotách 400 - 500 °C se uvolňuje voda vázaná chemicky a růst objemu vlhkostního podílu při změně skupenství (vodní pára) působí destruktivním účinkem - vazba se uvolňuje, pevnost i modul pružnosti se snižují a se zvyšující se teplotou dále klesají. Jen u žárovzdorných betonů se při teplotách nad 800 do 1000 °C pevnost může znovu nepatrně zvýšit. Beton se taví při teplotě kolem 1600 °C.

U prostých betonů nemají teploty 200 - 300 °C ani při dlouhodobém působení podstatný vliv na změnu pevnosti. Při krátkodobém působení nesnižují kvalitu prostého betonu ani teploty do 500 °C.

Z posouzení výsledků prováděných krychelných zkoušek pevnosti betonu v tlaku bylo konstatováno, že beton zahřátý pod teplotu 500 °C získává časem znovu z ovzduší vlhkost a nabývá i značnou část své původní pevnosti. Po roce pak jeho pevnost činí asi 90 % pevnosti původní.

Teplotu, která působila na povrch betonu, lze určit podle nevratných změn cementového tmele, např. pomocí termogravimetrických či dilatometrických metod nebo se stanovuje výpočtem. Přibližně ji lze určit podle změny jeho barvy. Hutný beton s přírodním kamenným plnivem změní barvu vlivem teplot > 300 °C.

Změny fyzikálních a zejména mechanických vlastností konstrukčního materiálu v reakci na tepelné zatížení jsou výchozím parametrem pro stanovení chování stavebních prvků a konstrukcí na účinky požáru. Tato zásada je uplatňována i u konstrukcí betonových. Požadavky na požární odolnost konstrukcí se vyjadřují v Eurokódech mezními stavy konstrukcí, a to pomocí kritéria mechanické odolnosti (R), celistvosti konstrukce (E), tepelně izolačních schopností (I) a případně pomocí i dalších kritérií, viz např. ČSN 73 0810 Požární bezpečnost staveb – Požadavky na požární odolnost stavebních konstrukcí. Navrhování betonových konstrukcí na účinky požáru je předmětem ČSN EN 1992 Eurokód 2 Navrhování betonových konstrukcí - Navrhování konstrukcí na účinky požáru. Zde jsou stanoveny návrhové hodnoty tepelných a mechanických vlastností materiálu pro mimořádnou návrhovou situaci, kterou je požár.

Pro navrhování spřažených ocelobetonových konstrukcí platí (od r. 1996 jako návrh normy) ČSN EN 1994-1-2 Navrhování spřažených ocelobetonových konstrukcí. Část 1.2: Navrhování konstrukcí na účinky požáru.

Posuzování konstrukcí pro návrhovou situaci při požáru je možno realizovat několika způsoby. Reálné hodnocení konstrukce, se zohledněním vlastností materiálu, poskytuje tzv. obecná metoda výpočtu. Využívá fyzikálních metod umožňujících

spolehlivou aproximaci předpokládaného chování konstrukcí a jejich částí během požáru. Její součástí je modelování tepelné odezvy, která mimo jiné vychází z tepelné technických vlastností materiálů (viz Eurokód 2 až 6) a z účinku případných požárně ochranných povrchových úprav. Tato metoda naráží na praktické obtíže, jako např. při výpočtu nestacionárních teplotních polí, výpočtu příslušných mezních stavů atd. Proto se při návrhu konstrukcí na účinky požáru někdy preferují tzv. zjednodušené metody výpočtu, vycházející z jednoduchých tvarových parametrů a tabelárních hodnot v návaznosti na výsledky zkušebních testů požární odolnosti. Při zjednodušených metodách výpočtu a vývoje teploty blízkém normové teplotní křivce požáru se provádí redukce charakteristické pevnosti:

- a) betonu v tlaku, a to jako funkce teploty  $\Theta$ , pomocí součinitele  $k_c(\Theta)$  dle rovnice 6.10:

$$f_{ck}(\Theta) = k_c(\Theta) \cdot f_{ck}(20\text{ }^\circ\text{C}), \quad (6.10)$$

kde  $f_{ck}(20\text{ }^\circ\text{C})$  je charakteristická pevnost betonu v tlaku (při teplotě  $20\text{ }^\circ\text{C}$ ),  
 $k_c$  součinitel pro redukci charakteristické pevnosti betonu při teplotě  $\Theta$ ;

- b) betonářské výztuže jako funkce teploty  $\Theta$  pomocí součinitele  $k_s(\Theta)$  dle rovnice 6.11:

$$f_{sk}(\Theta) = k_s(\Theta) \cdot f_{sk}(20\text{ }^\circ\text{C}), \quad (6.11)$$

kde  $f_{sk}(20\text{ }^\circ\text{C})$  je charakteristická pevnost betonářské výztuže (při teplotě  $20\text{ }^\circ\text{C}$ ),  
 $k_s$  součinitel pro redukci charakteristické pevnosti výztuže při teplotě  $\Theta$ ;

- c) redukce charakteristické pevnosti předpínací výztuže dle rovnice 6.12:

$$f_{pk}(\Theta) = k_p(\Theta) \cdot f_{pk}(20\text{ }^\circ\text{C}), \quad (6.12)$$

kde  $f_{pk}(20\text{ }^\circ\text{C})$  je charakteristická pevnost předpínací výztuže (při  $20\text{ }^\circ\text{C}$ ),  
 $k_p$  součinitel pro redukci charakteristické pevnosti předpínací výztuže při teplotě  $\Theta$ .

Ostatní zjednodušení návrhu a redukce charakteristických vlastností betonu a výztuže zahrnují příslušné Eurokódy (EC 1 až EC 6).

#### 6.4.1 Vliv zvýšených teplot na železový beton

U vyztuženého betonu má vliv na jeho vlastnosti při zvyšování teplot mimo jiné i soudržnost výztuže s betonem. Tato je v oblasti normálních teplot zaručena především díky téměř shodnému součiniteli teplotní roztažnosti. Při zvyšování teplot nad  $100\text{ }^\circ\text{C}$  se však hodnota délkové teplotní roztažnosti u betonu a jeho výztuže postupně různí.

Odolnost železobetonu vůči teplotě požáru je značně závislá na ochraně ocelových výztužných vložek proti prohřátí na kritické teploty. Tak např. při vnější teplotě, odpovídající normové křivce požáru, se výztuž zahřeje nad kritickou teplotu ( $\approx 500\text{ }^\circ\text{C}$ ) při tloušťce krycí vrstvy betonu  $10\text{ mm}$  cca za  $50$  minut, při krycí vrstvě o tloušťce  $20\text{ mm}$  se teplota výztuže ve stejném prostředí a ve stejném časovém období pohybovala okolo  $350\text{ }^\circ\text{C}$  a při krycí vrstvě  $50\text{ mm}$  jen okolo  $130\text{ }^\circ\text{C}$ . Při okolní teplotě  $1000\text{ }^\circ\text{C}$  se výztuž, chráněná krycí vrstvou tl.  $25\text{ mm}$ , prohřála na teplotu  $550\text{ }^\circ\text{C}$  za  $1$  hodinu a při krycí vrstvě  $50\text{ mm}$  až za dobu přesahující  $2$  hodiny.

Kromě druhu ocelí a způsobu jejich uložení v železobetonu působí na požární odolnost tohoto staviva i odstup napětí oceli od její meze průtažnosti, především v oblasti železobetonového prvku namáhané tahem. Je-li výztuž zahřata na 200 °C, klesá mez průtažnosti. Kritická teplota běžné výztuže se pohybuje kolem 500 °C. Současně při těchto teplotách klesá i pevnost v tahu. Jestliže je dosaženo meze průtažnosti, pak u konstrukcí, namáhaných na ohyb, nastává zlom.

Vedle jmenovaných účinků ovlivňuje silně požární odolnost stavebních prvků ze železového betonu jejich tvar a rozměry. Tzn. poměr obvodu betonového prvku k jeho průřezové ploše, tj. tvarový faktor O/A (dříve O/F).

Závislost požární odolnosti některých konkrétních stavebních konstrukcí na poměru O/A je tabelárně zpracována a uvedena např. v AKTUAL-BULLETIN SPECIALu, či v jiné odborné literatuře.

#### 6.4.2 Vliv zvýšených teplot na předpjatý beton

Předpjatý beton se uplatňuje především u konstrukcí namáhaných ohybem. Jeho nosná funkce závisí obvykle na spolupůsobení betonu a předpínací výztuže. Vliv požáru na nosnou funkci prvků z předpjatého betonu je značně nepříznivý, a to v důsledku zmenšování pevnosti a modulu pružnosti u betonu i výztuže, zvětšování dotvarování předpínací výztuže a zhoršování vzájemné soudržnosti. Nosná funkce předpjatého prvku vystaveného požáru se může narušit i při zatížení menším, než je zatížení normové, pro které je navržen, např. porušením betonu, přetržením předpínací výztuže, usmyknutím v šikmé trhlině nebo selháním kotevní soudržnosti. Během požáru se v důsledku zvětšeného dotvarování předpínací výztuže zmenšuje předpětí, což vede ke vzniku trhlin v tažené zóně betonu a poklesu tuhosti konstrukce. Nosnou funkci ohrožuje i odprýskávání betonu. Hlavní příčinou trvalého poškození již vychladlého předpjatého betonu po požáru je zmenšení předpětí.

Poznatky o vlivu tepelného zatížení na předpjatý beton lze citovat takto:

- prvky z předpjatého betonu jsou při teplotách požáru zvláště citlivé,
- při prohřátí průřezu na teplotu od 350 do 400 °C (max. 450 °C) je nutno počítat s jejich selháním,
- požární odolnost prvků je závislá na ochraně předpjatých prutů vůči ohřevu,
- vlivem odprýskávání povrchových vrstev betonu dochází k obnažování výztuže,
- nezatížené předpjaté prvky jsou pro své vysoké vnitřní napětí průřezu na zvýšené teploty daleko citlivější než prvky zatížené, u kterých je toto napětí vyrovnáváno.

U veškerých betonových, konstrukcí vystavených požáru, lze předpokládat odpadávání povrchových vrstev průřezu s razantním až explozivním charakterem, a to zejména v těch oblastech konstrukcí, které jsou namáhané tlakem. U desek a stěn trámů odprýskává beton v plochách 0,01 m<sup>2</sup> i několik m<sup>2</sup> do hloubky až 40 mm. Vyskytují se rovněž drobná odprýsknutí velikosti zrna kameniva ve tvaru kráteru hlubokého do 5 mm. Mezi odprýskávání se nezahrnuje odpadávání kusů betonu z rozrušené konstrukce, které se projevuje zhruba po 60 minutách trvání požáru. Odprýskání betonu působí negativním vlivem na nosnou funkci betonového prvku. Zmenšuje plochu průřezu, mění výstřednost normálových sil, zmenšuje nosnost konstrukce vedoucí často k náhlé

destrukci. U vyztužených betonů je vlivem odpadávání povrchových vrstev zeslabována nebo zcela zrušena krycí vrstva s následným teplotním protažením výztuže, porušením soudržnosti oceli a betonu a s rychlým prohřevem hlavní výztuže na kritickou teplotu.

U betonů předpjatých může být příčinou destrukce i samotná předpínací síla, působící na průřez se zmenšenou plochou a při větší výstřednosti. Odprýskne-li krycí vrstva, obnaží se předpínací výztuž a je vystavena přímému působení požáru, prudce se prohřívá a zmenšuje svou nosnou schopnost. Odprýskávání betonu je způsobeno jeho přemáháním při současném působení normálových napětí v tahu v příčném směru. Podélná napětí v tlaku jsou vyvozována převážně předpětím a zatížením konstrukce vnitřním pnutím a vynuceným přetvořením. Příčné napětí v tahu je vyvoláváno vnitřním pnutím a přetlakem páry, vypuzované z ohřívaného betonu.

## 7 Kovy

Pojem „kovy“ zahrnuje skupinu látek společných vlastností. Z fyzikálních vlastností vynikají především dobrou tepelnou a elektrickou vodivostí, dobrou tvárností, houževnatostí, pružností atd. Z chemického hlediska se vyznačují vysokým koordinačním číslem (počtem atomů, molekul nebo skupin koordinovaně vázaných ve sloučenině s atomem některého prvku) a poměrně dosti nízkou ionizační energií. Atomy kovů odštěpují snadno valenční elektrony a přecházejí v kladně nabitě kationty. Snadno se slučují s nekovovými prvky. Z technologického hlediska mají kovy mimořádný význam téměř ve všech oborech hospodářství.

Dělíme je zpravidla na slitiny železa (oceli, litiny), popř. surová železa a na kovy neželezné (ostatní kovy a jejich slitiny). Neželezné kovy lze dělit na kovy obecné, kovy drahé (zlato, stříbro, platina) a kovy vzácné (berillium, cesium). Podle měrné hmotnosti lze rozlišit kovy těžké a lehké (hliník, hořčík, titan). Dle výše teploty tavení rozlišujeme kovy o vysoké tavicí teplotě (molybden, wolfram, tantal, niob), kovy nízkotavitelné (cín, olovo) a rtuť, tekutou za běžných teplot.

### 7.1 Železo v soustavě s uhlíkem a dalšími prvky

Čisté železo je polymorfní kov s teplotou tání 1539 °C. Za vyšších teplot ztrácí železo své feromagnetické vlastnosti. V teplotách do 1392 °C má železo kubickou prostorově centralizovanou mřížku. Uhlík výrazně mění vlastnosti železa v závislosti na své rozpustnosti která je dána malým rozměrem jeho atomu. Tvoří pak se železem různé tuhé roztoky se specifickými vlastnostmi, jako je například ferit, austenit a další. Na vlastnosti výsledné železné slitiny má nejen vliv obsah uhlíku, ale i rychlost ochlazování a vliv dalších prvků ve slitině obsažených. Podle obsahu uhlíku se technické železo rozlišuje jako:

- a) čisté železo (velmi nízký obsah uhlíku a dalších prvků),
- b) ocel (obsah uhlíku zpravidla nepřevyšuje 2 %),
- c) surová železa a litiny (obsah uhlíku převyšuje 2 %).

Některé prvky jsou přítomny vždy a jejich výskyt souvisí s použitými surovinami a výrobní technologií. Nazývají se doprovodnými prvky a je snaha o snížení obsahu těchto nečistot na minimum. Platí zde přímá úměra - čím méně ekonomicky náročná výroba, tím vyšší je obsah doprovodných prvků. Tyto prvky lze rozlišovat na

nežádoucí (škodlivé), mezi které patří např. síra, kyslík, fosfor, vodík a dusík a na prospěšné doprovodné prvky, mezi které se řadí zejména hořčík, křemík, měď a hliník.

Do technických slitin železa jsou další prvky záměrně přidávány s cílem úpravy vlastností. Tyto prvky se nazývají přísadovým, slitinovými, nebo legujícími. Patří mezi ně např. chrom, nikl, mangan, hořčík, molybden, wolfram, kobalt, titan, hliník, olovo, zirkon, berylium a další. Některé z nich přibližuje následující přehled.

**Síra** – škodlivý doprovodný prvek, který vstupuje do oceli z železné rudy a z paliva. S železem tvoří sirník železnatý FeS, který je v tuhém železe nerozpustný. Způsobuje lámavost oceli za tepla a vznik mezikrystalických trhlin. Zhoršuje houževnatost oceli i za běžné okolní teploty a svařitelnost. Nepříznivý vliv síry v oceli lze kompenzovat přísadou manganu. Maximální obsah síry v běžných ocelích bývá 0,06 % a v ušlechtilých ocelích 0,04%. Svařovací dráty obsahují cca 0,03 % síry.

**Kyslík** – škodlivý doprovodný prvek, který se dostává do oceli během oxidační periody při zkujňování a jeho obsah je při teplotě tavení železa 0,05%. Uhlík rozpustnost kyslíku ve slitině železa snižuje. Obsah kyslíku v oceli snižuje vrubovou houževnatost. Množství kyslíku v oceli lze upravit desoxidací, tj. přísadou prvků s vyšší afinitou ke kyslíku než k železu (Mn, Si, Al, Ti). Podle stupně desoxidace získáváme ocel uklidněnou, polouklidněnou a neuklidněnou.

**Fosfor** – škodlivý doprovodný prvek, který u železa značně snižuje tažnost a vrubovou houževnatost, ale zvyšuje pevnost kovu. Nepříznivě ovlivňuje svařitelnost, což je u ocelových konstrukcí závažný nedostatek.

**Dusík** – škodlivý doprovodný prvek, který vstupuje do kovu z pecní atmosféry a reakcí s okolím. Jeho přítomnost způsobuje takzvané stárnutí oceli doprovázené negativní změnou mechanických vlastností oceli.

**Vodík** – škodlivý doprovodný prvek, který se do oceli dostává z pecní atmosféry, z vlhkosti závážky a přísad. Vodík může částečně ocel atakovat při jejich úpravách (moření, galvanické pokovování). Obsah vodíku v kovu způsobuje vznik mikrotrhlin v důsledku čehož se snižuje tažnost a vrubová houževnatost oceli.

**Mangan** – prospěšný doprovodný prvek, který je základní desoxidací a odsiřovací přísadou ocelí. Jeho obsah se pohybuje v 0,1-0,9 % objemu. Působí příznivě na zvýšení meze kluzu, a nemá vedlejší nepříznivé vlivy na houževnatost a svařitelnost. Vyznačuje se zvýšením prokalitelnosti ocelí snížením vnitřního pnutí při tepelném zpracování. Zvyšuje odolnost proti opotřebení.

**Křemík** – prospěšný doprovodný prvek, který zvětšuje pevnost oceli a tvrdost, ale bohužel současně zhoršuje tvárnost oceli za studena. Bývá obsažen do 0,5 % objemu. Zvyšuje prokalitelnost ocelí snížením vnitřního pnutí při tepelném zpracování. Zvyšuje elektrický odpor, žáruvzdornost, tvárnost a ovlivňuje magnetické vlastnosti ocelí. Zlepšuje korozivzdorné vlastnosti.

**Měď** – prospěšný doprovodný prvek, který se dostává do ocelí z některých druhů rud, nebo přetavováním vratného odpadu a nedá se hutnicky odstranit. Obsah se pohybuje do 0,2 % objemu. Nepatrně zvětšuje pevnost oceli tím, že zpomaluje překrystalizaci. Při obsahu 0,2 % objemu dochází ke zvýšení odolnosti ocelí proti atmosférické korozi, vyšší obsah mědi však způsobuje povrchové praskání při zpracování ocelí nad 1000 ° C.

**Hliník** – prospěšný doprovodný prvek, který se používá jako desoxidací přísada ke stabilizaci oceli. Upravuje elektrické a magnetické vlastnosti ocelí. Zvyšuje žáruvzdornost.



**Chrom** – vyznačuje se zvýšením prokalitelnosti ocelí snížením vnitřního pnutí při tepelném zpracování. Zvyšuje tvrdost ocelí. Upravuje elektrické a magnetické vlastnosti ocelí. Zvyšuje také žárovevnost a žáruvzdornost ocelí. Zlepšuje korozivzdorné vlastnosti a odolnost proti opotřebení včetně otěruvzdornosti.

**Nikl** – vyznačuje se zvýšením prokalitelnosti ocelí snížením vnitřního pnutí při tepelném zpracování. Zvyšuje pevnost při zachování houževnatosti. Zlepšuje také korozivzdorné vlastnosti.

**Molybden** – vyznačuje se zvýšením prokalitelnosti ocelí snížením vnitřního pnutí při tepelném zpracování. Zvyšuje tvrdost ocelí. Potlačuje sklon ke křehkosti oceli při popouštění. Zvyšuje také žárovevnost. Zlepšuje korozivzdorné vlastnosti. Snižuje citlivost oceli na přehřátí při tepelném zpracování. Obsah v konstrukčních ocelích bývá 0,3 %.

**Vanad** – zvyšuje prokalitelnosti ocelí snížením vnitřního pnutí při tepelném zpracování. Zvyšuje tvrdost ocelí a žárovevnost. Jeho přítomnost je v ocelích namáhaných při vyšších teplotách.

**Wolfram** - zvyšuje prokalitelnost a tím i tvrdost ocelí.

**Kobalt** - Upravuje elektrické a magnetické vlastnosti ocelí.

Podle významu a nejčastějšího použití je možno slitinové prvky seřadit v následujícím pořadí: chrom, nikl, mangan, křemík, molybden, wolfram, vanad, kobalt, titan, hliník, měď, olovo, zirkon, berylium a dusík. Podle prvních sedmi prvků se označují i druh oceli (chromová, manganová a podobně).

Rozmanitých vlastností slitin železa se dosahuje především legováním a tepelným zpracováním, které je založeno na jejich polymorfii a fázových přeměnách v tuhém stavu. Slitiny železa pro finální výrobky se dělí na oceli a litiny.

Slitiny železa s uhlíkem, v nichž obsah dalších prvků nepřekračuje konvenčně stanovené meze a které lze ohřevem zcela austenitizovat, se označují jako nelegované oceli. Jejich mechanické a technologické vlastnosti ovlivňuje rozhodujícím způsobem obsah uhlíku. Zatímco pevnostní charakteristiky se s rostoucím obsahem uhlíku zvyšují, plasticita a houževnatost klesají a zhoršuje se tvařitelnost, svařitelnost a obrobitelnost. Na celkovou jakost nelegovaných ocelí mají také vliv doprovodné prvky (Mn a Si), nečistoty (S a P) a metalurgická čistota (plyny a vměstky). Podle jakosti rozdělujeme nelegované oceli do tří skupin: na oceli obvyklé jakosti, jakostní a ušlechtilé (ČSN EN 10020).

Legované jakostní oceli se vyznačují vymezeným chemickým složením na nízkém stupni legování, zejména v podskupině svařitelných jemnozrnných ocelí pro ocelové konstrukce. Nejsou všeobecně určeny k zušlechťování nebo povrchovému kalení, ale mají vyšší minimální mez kluzu (420 nebo 460 MPa). Uvedené hodnoty se snižují s rostoucími příčnými rozměry. Ocelové konstrukce vystavené působení nízkých teplot se vyrábějí z normalizačně žíhaných a vysokopopouštěných ocelí, které mají zaručenou vrubovou houževnatost do -50 °C. Ostatní oceli pro ocelové konstrukce mají vrubovou houževnatost zaručenou do -20 °C.

Pro ocelové konstrukce vystavené agresivnímu působení znečištěné městské či průmyslové atmosféry se doporučuje zhotovení z jakostních ocelí nízkolegovaných prvky Si, Cr, Cu.

Nejvyšší požadavky na zpracování a na konečné vlastnosti jsou kladeny na legované ušlechtilé oceli. Jsou charakteristické nízkým obsahem nečistot a jsou legovány různými kombinacemi přísadových prvků obvykle na vyšší úrovni než legované jakostní oceli. Mezi ušlechtilé oceli patří oceli k chemicko-tepelnému zpracování, k zušlechťování, na ocelové konstrukce, oceli antikorozi, na valivá ložiska, se zvláštními fyzikálními vlastnostmi, žárovzdorné a žárovevné.

Pojem žárovzdornost zde není identický s názvoslovím používaným pro žárovzdornou keramiku. Jako **žárovzdorné oceli** se označují takové, které odolávají především chemické korozi v plynných prostředcích při teplotách 600 až 1200 °C. K omezení difúze kyslíku oxidickou povrchovou vrstvou z prostředí do oceli obsahují 7 až 25 % Cr a přísadu do 6 % Al nebo Si. Vzhledem k obsahu chromu jsou všechny nerezavějící oceli žárovzdorné do 800 °C. Podobně jako nerezavějící oceli jsou podle chemického složení i žárovzdorné oceli chromové nebo chromoniklové a mají i podobné fázové složení matrice, tepelné zpracování i mechanické vlastnosti. Poloferitické a feritické chromové oceli se používají na součásti odolávající žáru i v redukčním a sirtém prostředí do 800 až 1100 °C. Austenitické oceli jsou určeny pro teploty 1000 až 1200 °C v hutním a sklářském průmyslu.

**Žárovevné oceli** odolávají tečení a relaxaci v rozmezí teplot 450 až 750 °C, čímž navazují na pracovní rozsah ocelí pro ocelové konstrukce, jejichž rozhodující charakteristikou je mez kluzu, nikoliv mez tečení.

### 7.1.1 Konstrukční oceli

Existuje mnoho různých druhů ocelí jejichž vlastnosti byly získány kombinací obsahu uhlíku a legujících prvků. Normy v ČR registrují zhruba 500 druhů ocelí.

Oceli se rozlišují podle několika hledisek. Nejčastější je rozdělení podle způsobu výroby, způsobu uklidnění, chemického složení a podle způsobu použití.

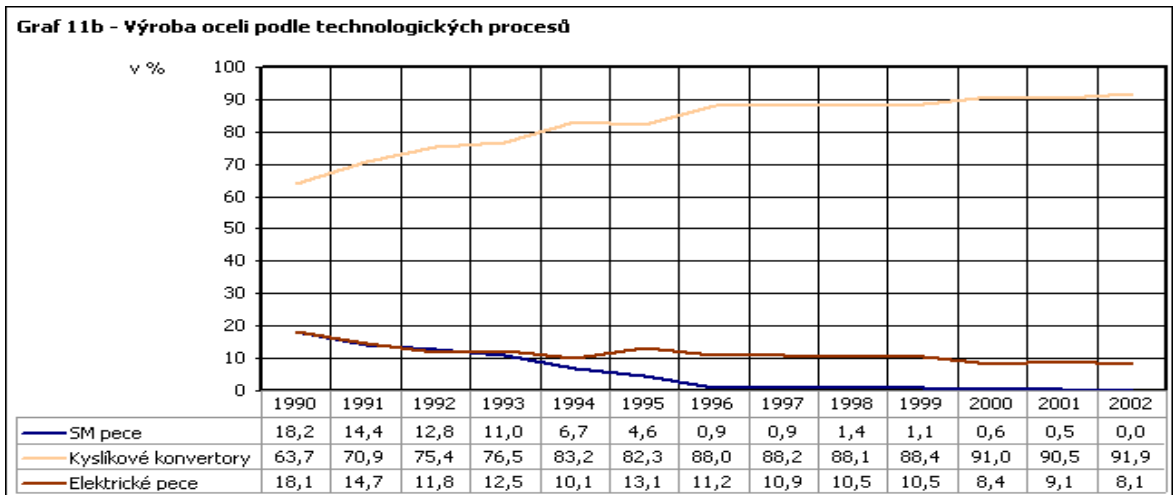
Rozdělení podle výroby :

- a) výroba v Siemens-Martinských pecích zásaditým, nebo kyselým způsobem, nevýhodou je poměrně nízký výkon těchto pecí, velké investiční a provozní náklady. Tyto pece jsou již vytlačovány modernějšími kyslíkovými pochody;
- b) kyslíková ocel vyráběná v kyslíkových konvertorech nebo tandemových pecích, předností kyslíkových konvertorů je vysoký výkon a nižší investiční náklady;
- c) elektroocel se většinou taví v obloukových pecích, vyznačuje se nízkým obsahem nečistot a vyrábí se takto především legované oceli.

Rozdělení ocelí podle způsobu uklidnění :

- a) neuklidněná ocel
- b) uklidněná ocel
- c) polouklidněná ocel

Přehled o množství oceli vyrobené v ČR v období let 1990 až 2002 různými technologiemi udává obr. 7.



Obr. 7 Přehled uplatnění různých technologií na výrobě oceli v ČR

Rozdělení podle chemického složení:

- a) uhlíková ocel 1
  - do 0,6 % uhlíku jde o konstrukční ocel
  - od 0,6 do 1,5 % uhlíku jde o nástrojovou ocel
- b) legovaná ocel
  - obsahuje vedle uhlíku další úmyslně přidané prvky

Rozdělení podle použití:

- konstrukční oceli
  - c) obvyklých jakostí
    - nízkouhlíkové do 0,25 % uhlíku
    - středně uhlíkové do 0,6 % uhlíku
    - vysokouhlíkové nad 0,6 % uhlíku
  - d) ušlechtilé konstrukční oceli, které se vyznačují větší čistotou, dokonalejším způsobem výroby,
    - nízkolegované do 2,5 % legur.
    - středně legované 2,5 až 5 % legur
    - výše legované 5 až 10 % legur.
    - vysoce legované nad 10 % legur.
- nástrojové oceli
  - uhlíkové 0,6 až 1,5 % uhlíku
  - slitinové, splňují vyšší požadavky na mechanické a fyzikální vlastnosti
  - rychlořezné, vysoká tvrdost, trvanlivost ostří až do 600 °C

Rozdělení podle zpracování:

- oceli ke tváření
- oceli na odlitky

Označování ocelí upravuje ČSN 42 0002, podle které rozeznáváme 9 základních tříd ocelí od třídy 10 do třídy 19:

**Třída 10** – Konstrukční oceli obvyklých jakostí. Jde o nejlevnější oceli určené pro hromadnou spotřebu a zaujímají proto největší podíl vyráběných ocelí vůbec.

Mají nízký obsah uhlíku, bez záruky dalšího složení. Je obvykle zaručena minimální hodnota pevnosti v tahu, případně meze kluzu, svařitelnost, tvárnost za tepla. Vyrábějí se zpravidla jako neuklidněné v konvertorech a Siemens - martinských pecích. Zpracovávají se nejčastěji tvářením na plechy a dráty. Používají se také jako výztuže do betonu – na betonářské dráty.

**Třída 11** – Konstrukční oceli obvyklých vlastností. Tyto oceli mají předepsanou čistotu, resp. obsah fosforu a síry, zaručenou mez pevnosti v tahu, zpravidla také mez kluzu, tažnost a některé další vlastnosti. Nemají však vymezeny hranice chemického složení, hlavně spodní hranici uhlíku. Nedoporučuje se jich užívat k výrobě náročných dílů. Vyrábějí se většinou v konvertorech.

**Třída 12** – Konstrukční oceli ušlechtilé, uhlíkové na cementování, zušlechťování, pružinové.

**Třída 13** - Konstrukční oceli ušlechtilé slitinové na cementování, zušlechťování, přímé kalení, nitridování, pružinové. Nejčastěji legované manganem, křemíkem a jejich slitinami.

**Třída 14** – - Konstrukční oceli ušlechtilé slitinové na cementování, zušlechťování, přímé kalení, nitridování, pružinové. Nejčastěji s příměsí chromu, manganu, křemíku, hliníku a jejich směsí.

**Třída 15** – - Konstrukční oceli ušlechtilé slitinové na cementování, zušlechťování, přímé kalení, nitridování, pružinové. Nejčastěji s příměsí molybdenu, chromu, vanadu, hliníku a jejich směsí.

**Třída 16** – Konstrukční oceli ušlechtilé slitinové na cementování, zušlechťování, přímé balení, nitridování, pružinové. Nejčastěji s příměsí niklu, chromu, molybdenu, wolframu, křemíku a vanadu a jejich směsí.

**Třída 17** – Konstrukční oceli ušlechtilé slitinové s vysokým obsahem přísadových prvků. Korozivzdorné, žáruvzdorné, žáropevné, speciální.

**Třída 18** – Slinuté karbidy (karbidy těžkých kovů) skupiny P, M a K

**Třída 19** – Nástrojové oceli, uhlíkové, slitinové, rychlořezné.

Po vstupu do Evropského společenství bude pro číselné označování a rozdělení ocelí ke tvářením i ČSN 42 0002 i následně souběžně i evropským značením ně, a to vzhledem k ekonomickým ztrátám, které by její zrušení přineslo. Platné zůstávají i jiné národní systémy označování ocelí. Například ve Francii a Německu. Výrobci ocelí v ČR jsou nadále schopni dodat oceli buď podle evropského označení nebo podle doposud platného národního označení.

Postupně se však přiřazují k vyráběným jakostem ocelí i označení podle nově zaváděných evropských norem - ČSN EN. Platné je označování ocelí podle ČSN EN 10027-2 – Systémy označování ocelí. Část 1: Systém zkráceného označování a ČSN EN 10027-1 – Systémy označování ocelí. Část 2: Systém číselného označování.

ČSN EN 10027-1 udává význam značek písmenných značek druhů ocelí, Značka, vytvořená na základě mechanických nebo fyzikálních vlastností oceli, musí obsahovat tyto symboly:

S – oceli na ocelové konstrukce pro všeobecné použití

P – oceli pro tlakové nádoby

L – oceli pro potrubí

E – oceli pro strojní součásti.

Za písmenem následuje číslo, které odpovídá minimální mezi kluzu v MPa pro nejmenší tloušťku výrobku a po ní následují písmena specifikace podle příslušné normy polotovaru.

Příklady označení některých ocelí podle ČSN EN 10027-1:

<i>Podle ČSN</i>	<i>podle ČSN EN 10027-1</i>	<i>odpovídající ČSN EN</i>
11 368	P235GH	10028-2
11 373	S235JRG1	10025
11378	S235JO	10025
11 418	P265GH	10028-2
11 503	S355J2G3	10025
11 523	S355JO	10025
12 020	C16E	10083-2

V současné době je do české normalizace zapracováno již více než 130 evropských norem pro železo, ocel a litinu. Alespoň některé z nich uvádí následující přehled:

<b>ČSN CR 10260</b>	Systém označování ocelí. Přídavné symboly
<b>ČSN ECISS IC 10</b>	Systémy označování ocelí. Systém zkráceného označování. Přídavné symboly
<b>ČSN EN 1559-2</b>	Slévárství - Technické dodací podmínky - Část 2: Doplnkové požadavky na ocelové odlitky
<b>ČSN EN 1559-3</b>	Slévárství - Technické dodací podmínky - Část 3: Doplnkové požadavky na litinové odlitky
<b>ČSN EN 1560</b>	Slévárství - Systém označování litiny - Značky materiálů
<b>ČSN EN 1564</b>	Slévárství - Izotermicky kalené litiny s kuličkovým grafitem
<b>ČSN EN 10001</b>	Definice a rozdělení surových želez
<b>ČSN EN 10016-1</b>	Válcovaný drát z nelegované oceli k tažení a/nebo válcování za studena. Část 1: Všeobecné požadavky všeobecné použití
<b>ČSN EN 10020</b>	Definice a rozdělení ocelí
<b>ČSN EN 10021</b>	Všeobecné technické dodací podmínky pro ocel a ocelové výrobky
<b>ČSN EN 10024</b>	Tyče průřezu "I" válcované za tepla se skloněnými přírubami. Tolerance tvaru a mezní úchylky rozměrů
<b>ČSN EN 10025</b>	Výrobky válcované za tepla z nelegovaných konstrukčních ocelí. Technické dodací podmínky. (Obsahuje změnu A1:1993)
<b>ČSN EN 10027-1</b>	Systémy označování ocelí. Část 1: Systém zkráceného označování. Základní symboly
<b>ČSN EN 10027-2</b>	Systémy označování ocelí. Část 2: Systém číselného označování
<b>ČSN EN 10028-1</b>	Ploché výrobky z ocelí pro tlakové nádoby a zařízení. Část 1: Všeobecné požadavky
<b>ČSN EN 10029</b>	Plech ocelové válcované za tepla, tloušťky od 3 mm. Mezní úchylky rozměrů, tvaru a hmotnosti
<b>ČSN EN 10034</b>	Tyče průřezu "I" a "H" z konstrukčních ocelí. Mezní úchylky rozměrů a tolerance tvaru
<b>ČSN EN 10048</b>	Ocelové úzké pásy válcované za tepla - Mezní úchylky rozměrů

	a tolerance tvaru
<b>ČSN EN 10051</b>	Plechý a pásy spojitě válcované za tepla bez povlaku z nelegovaných a legovaných ocelí. Mezní úchytky rozměrů a tolerance tvaru
<b>ČSN EN 10079</b>	Hutnictví železa. Definice ocelových výrobků
<b>ČSN EN 10083-1</b>	Oceli k zušlechťování. Část 1: Technické dodací podmínky pro ušlechtilé oceli
<b>ČSN EN 10084</b>	Oceli k cementování - Technické dodací podmínky
<b>ČSN EN 10087</b>	Oceli automatové - Technické dodací podmínky pro předvalky, tyče a dráty válcované za tepla
<b>ČSN EN 10088-1</b>	Korozivzdorné oceli - Část 1: Přehled korozivzdorných ocelí
<b>ČSN EN 10090</b>	Oceli a slitiny na ventily pro spalovací motory
<b>ČSN EN 10095</b>	Oceli a niklové slitiny žáruvzdorné
<b>ČSN EN 10113-3</b>	Výrobky válcované za tepla ze svařitelných jemnozrných konstrukčních ocelí. Část 3: Dodací podmínky pro termomechanicky válcované oceli
<b>ČSN EN 10120</b>	Ocelové plechy a pásy pro svařované láhve na plyn
<b>ČSN EN 10137-2</b>	Plechý a široká ocel z konstrukčních ocelí, s vyšší mezí kluzu, v zušlechťeném nebo vytvrzeném stavu - Část 2: Technické dodací podmínky pro zušlechťované oceli
<b>ČSN EN 10147</b>	Plechý a pásy žárově pozinkované spojitým pochodem z konstrukčních ocelí. Technické dodací podmínky
<b>ČSN EN 10152</b>	Ocelové ploché výrobky válcované za studena elektrolyticky pozinkované - Technické dodací podmínky
<b>ČSN EN 10154</b>	Ocelové plechy a pásy kontinuálně žárově pokovené povlakem hliník-křemík (AS) - Technické dodací podmínky
<b>ČSN EN 10155</b>	Konstrukční oceli se zvýšenou odolností proti atmosférické korozi. Technické dodací podmínky
<b>ČSN EN 10169-1</b>	Ocelové ploché výrobky kontinuálně povlečené organickými povlaky (svitky s povlakem) - Část 1: Všeobecně (definice, materiály, úchytky, zkušební metody)
<b>ČSN EN 10204</b>	Kovové výrobky. Druhy dokumentů kontroly
<b>ČSN EN 10208-1</b>	Ocelové trubky pro potrubí na hořlavá média - Technické dodací podmínky - Část 1: Trubky s požadavky třídy A
<b>ČSN EN 10208-2</b>	Ocelové trubky pro potrubí na hořlavá média - Technické dodací podmínky - Část 2: Trubky s požadavky třídy B
<b>ČSN EN 10218-2</b>	Ocelový drát a výrobky z drátu - Všeobecně - Část 2: Rozměry drátu, mezní úchytky rozměrů a tolerance tvaru Niklové oceli se stanovenými vlastnostmi při nízkých teplotách
<b>ČSN EN 10229</b>	Hodnocení odolnosti ocelových výrobků vzniku trhlin indukovaných vodíkem (HIC)
<b>ČSN EN 10257-1</b>	Dráty z nelegovaných ocelí na výrobu kabelů pro telekomunikace s povlakem zinku nebo zinkových slitin - Část 1: Pozemní kabely
<b>ČSN EN 10269</b>	Oceli a niklové slitiny pro upevňovací prvky pro použití při zvýšených a/nebo nízkých teplotách

## 7.2 Neželezné kovy a jejich slitiny

Skupina neželezných kovů zahrnuje řadu prvků s širokým technickým využitím jednak jako čisté kovy nebo jako slitiny. Mnohé z nich a další prvky se využívají jako přísady do slitin různých kovů včetně železa.

Kategorizace neželezných kovů vychází z různých kritérií. Nejběžnější je členění podle teploty tání, což je významný faktor nejen z hlediska technologického, ale i jako přibližné měřítko pro srovnání jejich vlastností pevnostních, viz tab. 7.1. Se zvyšující se teplotou tání je reálná pravděpodobnost vyšší pevnosti výchozího stavu. Velmi důležitá je čistota kovů, u většiny běžně činí 99,5 až 99,8 %, u některých lze v případě potřeby dosáhnout čistoty až 99,999995 %, avšak obvykle se značnou finanční náročností.

K nejznámějším a nejpoužívanějším neželezným kovům patří především hliník a měď, méně rozsáhlé použití je např. u zinku, olova a dalších neželezných kovů.

### 7.2.1 Hliník

Hliník je třetí nejrozšířenější prvek zemské kůry a náleží k nejvýznamnějším neželezným kovům. Po oceli je druhým nejpoužívanějším konstrukčním kovem. Má objemovou hmotnost  $\rho = 2700 \text{ kg.m}^{-3}$ , dobrou elektrickou vodivost (61 % IACS), tepelnou vodivost  $\lambda = 234 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ , velmi dobrou tvařitelnost. Dobře odolává povětrnostním vlivům, různým chemickým látkám např. kyselinám, méně již alkalickým prostředím. Jeho pevnost se pohybuje, v závislosti od složení a mechanického a tepelného zpracování, od 30 MPa u hliníku až nad 600 MPa u slitin typu Al-Zn-Mg-Cu. Čistý hliník vyniká velmi dobrou elektrickou vodivostí, dobrou korozní odolností a nízkou měrnou hmotností. Kromě dobré tvárnosti za tepla i za studena odolává dobře korozi, což zabezpečuje vrstva jeho oxidu, která je pevná a hustá, takže zabraňuje pronikání kyslíku do kovu. Hliník se používá pro výrobu chemických zařízení, v potravinářství, v obalové technice, ve stavebnictví a v dopravě. Na elektrickou vodivost hliníku má vliv jeho čistota a tváření za studena, ovlivňující i jeho mechanické vlastnosti. Elektrickou vodivost hliníku zhoršují zejména chrom, vanad a mangan. Tepelnou vodivost hliníku snižují hlavně mangan, hořčík a měď. Hliník je výrazně reflexním materiálem, zvláště jeho slitina s malým množstvím hořčíku. Hliníkové fólie jsou uplatňovány pro svou schopnost odrážet tepelné záření.

Po odlití je hliník hrubozrnný, ke zjemnění se užívá malých množství Ti, Zr, V, Nb a Ta, přičemž nejúčinnější je titan. Abychom v čistém hliníku zabránili rekrystalizaci s výslednou hrubozrnnou strukturou v součástech namáhaných při vyšších teplotách, spékají se vylisované polotovary z jemného hliníkového prášku s práškem z oxidu hlinitého. Polotovary se spékají při teplotách 500 až 600 °C a ještě za tepla se tváří. Částice hliníku jsou obalené oxidickou vrstvou, a proto ani při vysokých teplotách nenastává rekrystalizace. Elektrolytickou rafinací se vyrábí hliník o čistotě 99,999 %, který se používá převážně v jaderné technice. Jeho velmi dobrá zpracovatelnost na plechy, pásy a fólie se využívá v obalové technice. Z hliníkových slitin lze vyrábět lisované profily od jednoduchých až po komplikované průřezy pro použití ve stavebnictví i strojírenství a ze slitin vysoké pevnosti i pro letectví.

Tab. 7.1 Charakteristické vlastnosti některých neželezných kovů a slitin

Kov (slitiny)	Teplota tání $T_t$ [°C]	Objemová hmotnost $\rho$ [kg.m <sup>-3</sup> ]	Pevnost $R_m$ [MPa]	Modul pružnosti $E$ [GPa]
Olovo	327	11 300	16	18
Zinek	420	7 400	80 až 170	
Hořčík slitiny	650	1 700	180 až 250 200 až 350	45
Hliník slitiny žíhané slitiny tvářené slitiny vytvrzené	660	2 700	50 až 130 110 až 300 150 až 400 200 až 670	71
Měď slitiny žíhané slitiny tvářené slitiny vytvrzené	1083	8 900	200 až 300 240 až 650 240 až 800 700 až 1400	117
Nikl slitiny žíhané slitiny tvářené slitiny vytvrzené	1453	8 900	320 až 550 340 až 800 450 až 1200 960 až 1700	215
Titan slitiny žíhané $\alpha$ slitiny žíhané $\alpha+\beta$ tepelně zprac. $\alpha+\beta$ tepelně zprac. $\beta$	1688	4 500	340 až 550 725 až 1000 900 až 1200 1100 až 1250 1100 až 1500	100 až 105
Zirkonium	1852	6 500	280 až 620	77
Molybden	2610	10 200	400 až 600	350

U slitin jsou mnohé vlastnosti lepší než u samotného hliníku, avšak je jim vlastní i vyšší křehkost, snadněji podléhají korozi a snižuje se i elektrická vodivost. Vlastnosti slitin jsou závislé na chemickém složení, tvářením, tepelném zpracování a na vytvrzení. Na rozdíl od oceli hliník při teplotách nižších než 0 °C nekřehne. Jeho tažnost klesá se stoupající pevností. Elektrická vodivost se snižuje tvářením za studena.

Měrná hmotnost hliníku je asi 3x menší než u oceli, rovněž tak i modul pružnosti. Součinitel délkové teplotní roztažnosti je  $23,5 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ . Vlivem trvalého působení teplot nad 100 °C klesá jeho pevnost. Hliník a jeho slitiny nelze zatěžovat nad mez průtažnosti.

Velkou předností hliníku a jeho slitin je odolnost proti korozi. Korozivně působí vlhké prostředí, kyselina chlorovodíková, asfalty a dehty (pokud nejsou chemicky neutrální). Pokud dojde ve vlhkém prostředí ke styku hliníku s jiným kovem, vzniká galvanický článek a dochází k elektrolytické korozi.

Mezi typické vlastnosti hliníku a některých jeho slitin patří i schopnost zušlechťování povrchů anodickou oxidací i nanášením vypalovacích laků. To se využívá především ve stavebnictví u slitin s malým obsahem legujících prvků, umožňujících výrobu i složitých profilů. Slitiny obsahující měď nejsou pro povrchové úpravy vhodné.



**Slitiny hliníku** lze rozdělit do dvou skupin, a to na tvářené a slévárenské, podle podstaty zpevňování legováním a tvářením nebo vytvrzováním. Uvnitř těchto skupin se slitiny dělí podle druhů legujících prvků a jejich obsahů. Důležité jsou zejména slitiny s hořčíkem (typická je slitina AlMg<sub>4,5</sub>Mn) nebo nejznámější klasická slitina AlCu4Mg, ale významné jsou i slitiny AlZnMg(Cu) či nové slitiny s lithiem. Slitiny vytvrzované mají podstatně vyšší pevnost (tab. 7.1), nevýhodou je omezená teplota dlouhodobého použití do 100 max. 120 °C, případně do 200 °C u slitin s přídavkem niklu, nebo do 400 °C u slitin disperzně zpevňovaných. Ty tvoří zvláštní skupinu spolu se slitinami, které jsou připravované práškovou metalurgií, jsou mechanicky legované a zpevňované i uhlíkem. Vynikají svými vlastnostmi zejména při dlouhodobém použití za vysokých teplot.

U některých vytvrzovaných hliníkových slitin lze dosáhnout pevností srovnatelných s běžnými oceli, je však nutno počítat s nižším modulem pružnosti v tahu. To je výhodné při rázovém namáhání, požadavek stejné tuhosti lze dosáhnout volbou vhodného průřezu. Velkou předností hliníku a slitin AlMg jsou vlastnosti za nízkých i velmi nízkých teplot, kdy při zvyšování pevnosti zůstávají zachovány (nebo se dokonce zlepšují) plastické vlastnosti. Jejich významné použití je v chemii a kryogenní technice.

Ve stavebnictví se hliníku a jeho slitin používá jednak ve formě tyčových prvků (na nosné prvky hal, mostů, oken, dveří atd.), dále jako plechů ať již hladkých, profilovaných či vlnitých (na střešní krytiny, obklady stěn, stropní podhledy, fasády) a nebo jako fólie (reflexní tepelná izolace). Pro stavební kování se použijí různé výlisky, výkovky a odlitky, a na elektrické vodiče se používá hliníkový drát. Jako plynotvorná přísada do plynosilikátů a plynobetonů se uplatní hliníkový prášek. Hliníku ve formě drátu nebo prášku se používá též k povrchové úpravě hmot pokovením.

## 7.2.2 Měď

Měď se vyrábí především ze sulfitových rud, nejčastěji z chalkopyritu (CuFeS<sub>2</sub>). Teplota tavení mědi je 1083 °C a teplota varu 2350 °C. Je vyhledávána především pro svou vysokou elektrickou vodivost (téměř 100% IACS), ve které ji překoná pouze stříbro. Rovněž tepelná vodivost mědi (391 W.m<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>) je po stříbře největší (asi 8x vyšší než u oceli). Měrné teplo je poměrně nízké - asi 75 % hodnoty u oceli. Pevnost mědi (čistá měď 200 MPa, vytvrzované slitiny Cu-Be až 1400 MPa) jsou silně závislé na teplotě. V rozmezí teplot 450 až 550 °C se snižuje plasticita mědi. Proto se v této teplotní oblasti měď ani netváří, ani jiným způsobem netvaruje. Plastickou deformací se měď značně zpevňuje. Díky tomu lze rekrystalizačním žháním regulovat velikost jejího zrna. Měď totiž nepřekrystalizuje, tzn. že nemá alotropické modifikace. Mechanická pevnost mědi klesá žháním, tavením je ji možno zvýšit až o 100 %, avšak při současném snížení tažnosti. Při zvýšení teplot se chová již při nepatrném zatížení plasticky. Vyznačuje se vysokou odolností vůči korozi, a to i ve vlhkém ovzduší. Po delší době se její povrch pokrývá oxidem měďným, který chrání kov před další oxidací. Zelený povlak, tzv. patina, je zásaditý uhličitán měďnatý a vzniká působením znečištěného vzduchu a vlhkosti. Zvláštním druhem je měď bezkyslíkatá pro vybrané součástky vakuové techniky, která se vyznačuje velmi dobrou elektrickou vodivostí. I malé obsahy kyslíku (0,05 %) v mědi mohou v redukčním prostředí vyvolat vzájemnou chemickou reakci křehkost tohoto kovu. Podobně působí i síra, ale její účinek je menší.

Slitiny mědi se dělí na mosazi (slitiny se zinkem) a bronzy (slitiny s ostatními kovy mimo nikl).

Použití mědi ve stavebnictví se zaměřuje především na plechy pro střešní krytiny a jejich detaily, trubní materiál a různé kovové části.

### 7.2.3 Zinek

Často používaným kovem je zinek, který vyniká odolností proti atmosférické korozi a slabším zásadám. Výborná je také slévatelnost, tvařitelnost je horší v důsledku hexagonální mřížky. Tavení nastává již při teplotě 420 °C. Největší spotřeba je na pozinkování ocelových plechů a k výrobě slitin mědi (mosazí). Slitiny zinku jsou vhodné pro výrobu složitých tenkostěnných odlitků s dobrou pevností.

### 7.2.4 Hořčík

Hořčík má nejmenší měrnou hmotnost z běžných kovů a jeho slitiny se s výhodou používají na tlakově lité odlitky, zejména nové slitiny mají vysokou pevnost a dobré vlastnosti i za vyšších teplot. Odolnosti proti atmosférickým vlivům se dosahuje povrchovými úpravami. Tváření je výhodnější za tepla, výkovky a výlisky ze slitin hořčíku vykazují střední pevnosti a jsou vhodné pro běžná namáhání. Některé fyzikální a mechanické vlastnosti hořčíku uvádí tab. 7.1.

### 7.2.5 Olovo

Olovo je charakteristické značnou hustotou, s níž souvisí i výrazná schopnost pohlcování záření. Pozitivní je u olova jeho chemická odolnost, zejména odolnost proti působení kyselin, především kyseliny sírové. Malá pevnost je výhodou při výrobě polotovarů i jejich zpracování, ale omezením při použití - používá se spíše jako povlak nebo k vystýlkám nádob z oceli či z jiného materiálu. Olovo má nízkou teplotu tání, a to 327 °C.

### 7.2.6 Nikl

Nikl a slitiny niklu se vyznačují především značnou odolností proti korozi a dobrými mechanickými vlastnostmi i za vyšších teplot. Velká část čistého niklu se spotřebuje pro vysoce legované oceli, do slitinových ocelí, na povrchové úpravy a do niklových slitin, vyznačujících se korozní odolností, pevností v žáru a dobrými mechanickými vlastnostmi. Slitiny niklu lze rozdělit na dvě skupiny podle typických vlastností a použití: v první jsou slitiny se železem (a případně dalšími prvky), které mají významné fyzikální vlastnosti, zejména magnetické nebo elektrické (velký odpor) a různou teplotní roztažnost. Ve druhé skupině jsou slitiny s chromem, tvořící základ slitin žárovepevných.

Žáropevné slitiny zaznamenaly v posledních letech značný rozvoj. Jejich podstatu tvoří jednoduchá slitina NiCr<sub>20</sub>, která je také známou slitinou pro topné odporové dráty. Přídavkem dalších prvků (Al, Mo, Co a prvků vzácných zemin) se podařilo vyvinout slitiny odolávající tečení i za vysokých teplot. Mnohé z nich jsou vyráběny pod firemními názvy a výrobci u nich zaručují především dlouhodobé vlastnosti. Limitující však může být jejich odolnost proti oxidaci.

### 7.2.7 Titan

Titan a jeho slitiny jsou významným novým konstrukčním materiálem (po roce 1960). Čistý titan má nízkou měrnou hmotnost ( $4500 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ), vynikající korozní odolnost zejména proti chloru a chloridům, kterým žádné jiné kovy neodolávají a dobré mechanické vlastnosti. Zpracovatelnost za tepla i za studena je dobrá a umožňuje výrobu všech polotovarů běžných rozměrů. Mechanické vlastnosti závisí značně na obsahu nečistot (kyslíku, dusíku a uhlíku), vodík zhoršuje vrubovou houževnatost. Z technologických vlastností je nepříznivý vysoký součinitel tření a náchylnost k zadírání.

Titan má alotropickou fázovou přeměnu při  $880 \text{ }^\circ\text{C}$ , ale je ovlivnitelná příměsí dalších prvků (ve slitinách). Slitiny titanu se rozdělují na jednofázové alfa nebo beta a dvoufázové. Předností jednofázových slitin alfa jsou dobré mechanické vlastnosti i při vyšších teplotách (do  $550$  až  $600 \text{ }^\circ\text{C}$ ), nevýhodou je však omezená možnost tváření za studena. Pevnost jednofázových slitin beta lze zvýšit tepelným zpracováním (nad  $1000 \text{ MPa}$  při  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Ve vyžíhaném stavu jsou některé z nich tvařitelné i za studena, jsou však citlivé na obsah nečistot.

Bylo vyvinuto mnoho dvoufázových slitin titanu, ale užívají se jen některé z nich. Po tepelném zpracování mají pevnosti  $1000$  až  $1250 \text{ MPa}$ , ale omezenou teplotu použití (do  $450 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Příznivě vysoký poměr pevnosti a měrné hmotnosti zdůvodňuje použití titanových slitin nejen v letectví, ale i ve strojírenství.

### 7.2.8 Členění skupin slitin kovových materiálů

Členění slitinových materiálů v českých i zahraničních normách odpovídá zejména způsobu jejich výroby. Slitiny jsou podle norem nebo podle označení rozdělené do skupin materiálů, které mají podobné složení a vlastnosti. ČSN dělí materiály do následujících skupin:

- 42 30 Měď a slitiny mědi tvářené. Materiálové listy
- 42 31 Měď a slitiny mědi na odlitky. Materiálové listy
- 42 32 Slitiny měď-zinek tvářené. Materiálové listy
- 42 33 Slitiny měď-zinek na odlitky. Materiálové listy
- 42 34 Nikl, kobalt a slitiny niklu tvářené. Materiálové listy
- 42 35 Nikl, zinek a jejich slitiny na odlitky. Materiálové listy
- 42 36 Olovo, cín a jejich slitiny tvářené. Materiálové listy
- 42 37 Olovo, cín, antimon a jejich slitiny na odlitky. Materiálové listy
- 42 38 Ušlechtilé kovy a jejich slitiny. Materiálové listy
- 42 39 Nízkotavitelné slitiny neželezných kovů. Materiálové listy
- 42 40 Hliník tvářený. Materiálové listy
- 42 41 Hliník na odlitky. Materiálové listy
- 42 42 Slitiny hliníku tvářené. Materiálové listy
- 42 43 Slitiny hliníku na odlitky. Materiálové listy
- 42 44 Slitiny hliníku tvářené. Materiálové listy
- 42 45 Slitiny hliníku na odlitky. Materiálové listy
- 42 49 Hořčík a slitiny hořčíku na odlitky. Materiálové listy

Řada evropských norem je zahrnuta do ČSN EN. Dílčí přehled jednotlivých skupin materiálů, pro které byly vypracovány normy EU:

- Al a slitiny Al tvářené
- Al a slitiny Al slévárenské

Cu a slitiny Cu tvářené  
 Cu a slitiny Cu slévárenské  
 Mg a slitiny Mg slévárenské  
 Zn a slitiny Zn tvářené a slévárenské  
 Pb, Sn a jejich slitiny, měkké a tvrdé pájky  
 Fe, oceli a litiny.

Vzhledem k tomu, že se ČR stala členskou zemí NATO, přistoupila také v obranném průmyslu k systému norem vedených v členských zemích. Tyto normy jsou respektovány při zachování platnosti norem národních. Informační tab.7.2 znázorňuje převod značení některých slitin a ocelí v leteckém a obranném průmyslu.

Tab. 7.2 Původní značení některých materiálů v obranném a leteckém průmyslu dle ČSN  
 a nové značení používané v NATO

No.	Značka - původní	Značka - náhrada	Norma jakosti	Poznámka zpracování - vlastnosti
1	ČSN 11373	AISI 1015 UNS <sup>d</sup> G10150	SAE AMS 5060H 6/2003	Standardní jakost NATO Code= AD09ST1015; AD09ST1015 (e)
2	ČSN 11600	AISI 1050 UNS G 10500	SAE AMS 5085F 5/2003	Standardní jakost NATO Code= AD09ST1050
3	ČSN 12020 VAR	AISI 1018 UNS G10180	SAE AMS 5069E 1/1990 SAE AMS 5061E 7/1994 SAE AMS-S-11310 11/1998#]	Standardní jakost NATO Code= AD09ST1018 #] Oceli pro tvářeni za studena, muniční aplikace; konverze MIL-S-11310
4	ČSN 12024 L-VARD (b)	AISI 1018 UNS 10100	SAE AMS 5047E 5/2001 SAE AMS 5042K 7/1994	Hlubokotažný plech Pro tvářeni za studena NATO Code= AD09ST1018
5	ČSN 12024 L-VARD (b)	AISI 1018 UNS G10180	SAE AMS 5069E 1/1990	Trubky, výkovky NATO Code= AD09ST1018
6	ČSN 12050 W6H6 (b)	AISI 1045 UNS 10450	SAE AMS QQ-S-700A 7/2002 SAE AMS-S-11310 #] 11/1998	Standardní jakost; NATO Code= AD09ST1045 #] Oceli pro tvářeni za studena, muniční aplikace; konverze MIL-S-11310
7	ČSN 12060 W 5	AISI 1055 UNS G10550 SAE 1055	SAE AMS-QQ-S-700A 7/2002	Standardní jakost konverze Fed-Std-QQ-700D NATO Code= AD09ST1055
8	ČSN 12090 PO	AISI 1080 UNS G10800	SAE AMS 5110H 10/2001	Standardní jakost NATO Code= AD09ST1080
9	ČSN 13180 W 2 EXTRA	AISI 1080; 1084	SAE AMS 5110H 10/2001 SAE AMS-QQ-S-700A 7/2002	Standardní jakost NATO Code= AD09ST1080

		<b>UNS 10800</b>		
10	ČSN 14140 L-AUTOR (b)	<b>AISI 4135; 4137 UNS G41350; 41370</b>	SAE AMS 6352G 10/1999 SAE AMS 6372J 10/1999 SAE AMS-T-6735 12/1998	Plechý, pásy desky, Trubky, Trubky-bezešvé, NATO Code= AD09ST4135
11	ČSN 14220 L-CE	<b>AISI 5120 UNS G51200 AISI 8620 UNS G86200</b>	<u>ASTM A29; ASTM A 519</u> <u>ASTM A 646 *</u> SAE AMS 6274M 2/2002 SAE AMS 6276G [VAR] 1/1999	DIN1.7028, 1.7027, 1.7147GS vhodné cementační oceli viz také SAE AMS 2759/7A -TAB.I. *) letecká jakost, NATO Code= AD09ST8620
12	ČSN 14260 SCH ČSN 14261	<b>SAE 6150 UNS G61500</b>	SAE AMS 6455H => plechy, pásy; 7/2001; viz též <u>ASTM A29-M</u> SAE AMS 6450G => dráty, pružiny; 4/1997 SAE AMS 6448H => tyče, výkovky 8/1999	Pružinová legovaná oceli, polotovary pásy, plechy, dráty a pružiny NATO code => AD09ST6150 (plechy, pásy)
		<b>SAE 9254 UNS G92540</b>	SAE AMS 6451B 9/2000	Pružinový drát pro tepelně zpracované pružiny. NATO code => AD09ST9254
13	ČSN 14 33 L-ROL(b)	<b>AISI 4130 UNS G41300</b>	SAE AMS-S-6758 7/1998*) SAE AMS 6528B 8/2002**) SAE AMS 6385F 6/2003 <sup>#)</sup> <a href="http://www.zdas.cz">www.zdas.cz</a>	Tyče, výkovky *) letecká jakost. Konverze MIL-S-6758; [Možná náhrada oceli AISI 4340 podle SAE AMS 6415R (UNS G43406)]. NATO code => AD09ST4130 **) Normalizovaný stav, letecká jakost. <sup>#)</sup> Plechy, desky, pláty.
14	ČSN 15130 L-CM3 (b)	<b>AISI 4130 UNS G41300</b>		
15	ČSN 15142 CM 5	<b>SAE 4140 AISI 4140</b>	SAE AMS-S-5626 12/1998 SAE AMS 6529B 8/2002**) <a href="http://www.zdas.cz">www.zdas.cz</a>	Konverze MIL-S-5626; Tyče, pruty, výkovky pro letecké aplikace včetně trubek NATO code=> AD09ST4140
16	ČSN 15231 L-MVC3 (b)	<b>AISI 4130 UNS G41300</b>	SAE AMS 6348B 5/1994 SAE AMS 6350J 12/2000 SAE AMS 6351E 7/1990	Tyče; plechy, pásy, desky NATO Code= AD09ST4130
17	ČSN 15340 L-A114 (b)	<b>Nit.135 UNS K24065</b>	ASTM A 645 SAE AMS 6470K 9/2000 SAE AMS 6471D 1/1992	Standardní jakost NATO Code= AD09ST0532 Vakuově přetavená
18	ČSN 16220 L-BEV2	<b>AISI 4320 AISI 8620 AISI 4720</b>	<u>ASTM A29</u>	NATO Code= AD09ST8620 Standardní jakost

20	ČSN 16341 BOZ ; 34CrNiMo6	AISI 4340 SAE 4340 UNS G43400	SAE AMS 6415R 6/2003 SAE AMS 6413H 10/1990 SAE AMS 6414J 6/2003	Tyče => standardní metalurgická jakost Trubky=> standardní metalurgická jakost NATO Code= AD09ST4340 VAC-VAR=> vakuově přetavené
21	ČSN 16431	AISI 4330 SAE 4330 UNS K23080	SAE AMS 6427 1/1999 SAE AMS 6411 3/2000	Tyče, výkovky, trubky=> standardní jakost. => VAC-VAR
22	ČSN 16531 L-ROLN (b)	SAE 8630 UNS K32550	SAE AMS-S-7108 12/1998 SAE AMS 6425B 1/2002 SAE AMS-S-6050 11/1998 SAE AMS 6280J 1/2003	VAC-VAR=> vakuově přetavená Standardní metalurgie konverze MIL-S-6050 NATO code => AD09ST8630
23	ČSN 16640 L-CNL (b)	35NCD16 BS970 817M40 BS EnNo.30B	<a href="http://www.timken.com/latrobe/technical_info/DEF_STAN_10-13/3">http://www.timken.com/latrobe/technical_info/DEF STAN 10-13/3</a>	Vakuově přetavovaná, vysoce jakostní, hlavňová ocel. viz. 34CHN3MFA
24	ČSN 16720 HOR	ASTM 579- Grade 11 AISI 4820; SAE 9315	<u>ASTM A 579.</u>	Není ekvivalentní náhradou; možná náhrada podle ASTM A579 s ohledem na žádané vlastnosti.
		SAE 9317	SAE AMS 6264H 9/2000	Přibližně ekvivalentní náhrada.
		SAE 9310	SAE AMS 6265K 8/2002 SAE AMS 6267F 1/2002	Alternativa s nižším obsahem uhlíku (0.07-0.13%) pro cementaci. VAC-VAR=> vakuově přetavená NATO Code= AD09ST0031
25	ČSN 17023 AK 3R	SAE 51420F SAE 51420Se UNS 42020 UNS 42023	SAE AMS 5620F 7/1999 SAE AMS 5621E 6/2001	Nerezavějící-ocel-kalitelná NATO code => AD09ST0420
26	ČSN 17241 AKVN	SAE 30302 UNS S30200 (DIN 1.4301) SAE 30305 UNS S30500 DIN 1.4303	SAE AMS 5516M 6/2000 SAE AMS 5514G 7/2000	Nerezavějící austenitická ocel s dobrou odolností vůči atmosférické korozi, tvárná za studena NATO code => AD09ST0302; AD09ST0305
27	ČSN 17246 AKVS	SAE 30321 AISI 321 UNS	SAE AMS 5689F 11/2001 <u>ASTM A473</u> <u>ASTM A666</u>	Klasická nerezavějící ocel NATO Code =>AD09ST0321

		<b>321000</b>		
28	ČSN 17255 AKC	SAE 30310S UNS S31008	SAE AMS 5521G 5/1994 SAE AMS 5694G 12/1995***)	Pásky, plechy AD09ST0154; ***) Svařovací drát
29	ČSN 19552 TLH	H11 UNS T20811	SAE AMS 6487J 7/2002#) SAE AMS 6488F 3/1998	#) VAR => vakuově přetavená Nástrojová ocel, zápustková. Zvýšená odolnost proti opotřebení za zvýšených teplot. NATO Code =>AD09ST0043
30	ČSN [nespec.] D6AC	UNS K24728	SAE AMS 6438E 10/2001	VAC-VAR; možná náhrada 35NCD16; vysoce pevná ocel s lomovou odolností při nízkých teplotách.
31	DIN 1.7228 (d)50CrMo4	AISI 4147 UNS 41470	<u>ASTM A29;</u> <u>ASTM A322</u>	Standardní jakost NATO Code= AD09ST4147
32	16426,16522, 16523 L-TER; L-TER1; L- TEMR (b)	SAE 9310 SAE 9315	SAE AMS 6260N 9/2002 SAE AMS 6267F 1/2002 SAE AMS 6263J 10/2000	Standardní jakost NATO Code= AD09ST0031 VAC VAR =>tyče, výkovky, trubky NATO Code= AD09ST9315
33	ČSN [nespec.] 300M (c) ČSN16341+Si	UNS K44220	SAE AMS 6417F 1/2002 SAE AMS 6419F 3/2002 <a href="http://www.zdas.cz">www.zdas.cz</a>	ESR [ocel s pevností až 2000 MPa] VAC-VAR=> vakuově přetavená;[letecké aplikace]
34	ČSN [nespec] HP 9-4-30 (c) VASCO 9-4-30	UNS K91283	SAE AMS 6526E 2/2002	[ocel s pevností až 1517 MPa] min. KIC=> 99 MPam <sup>1/2</sup> . VAC-VAR=> vakuově přetavená;[letecké aplikace].
35	ČSN [nespec] AerMet 100 (c)	UNS K92580	SAE AMS 6532B 10/2001	Tyče, výkovky [ocel s pevností až 1930 MPa] min. KIC=> 110 MPam <sup>1/2</sup> . VAC-VAR=> vakuově přetavená;[letecké aplikace].
36	ČSN [nespec] AF 1410 (c)	UNS K92571	SAE AMS 6527C 9/1996	[ocel s pevností až 1620 MPa] min. KIC=> 143 MPam <sup>1/2</sup> . VAC-VAR=> vakuově přetavená
37	H-11 Dynaflex ?ČSN 19552	UNS T20811	SAE AMS 6488F 3/1998 <a href="http://www.zdas.cz">www.zdas.cz</a> SAE AMS 6487J 7/2002	Ocel s pevností až do 1930 MPa, vysoká lomová houževnatost [KIC] VAC VAR NATO Code= AD09ST0043
38	40ChN3MFA (a)	35NCD16 DIN 1.6747 BS EnNo.30B BS970 817M40	<a href="http://www.timken.com/latrobe/technical_info/">http://www.timken.com/latrobe/ technical_info/</a>	Náhrada oceli podle GOST=>hlavní ocel; VAC-VAR (vakuově přetavovaná) <u>DEF STAN 10-13/3</u>

Poznámky:

- (a) Značení podle GOST.
- (b) Značení podle dřívější produkce POLDI resp. podle zastaralé ONL 2106 z roku 1982.
- (c) Značení podle výrobce- běžné značení v návazné souhrnné literatuře a MIL-HDBK-5J, resp. SAE J1099 (únavová pevnost => materiálové charakteristiky). Seznam materiálů pro letecké konstrukce a jejich vlastnosti s odkazem na adekvátní normy jakosti SAE AMS viz MIL-HDBK-5J Annex B.
- (d) Značení podle DIN.
- (e) NATO Code => označení materiálu podle číselníku Master Requirements Directory (MRC- SEC0107) v souladu s kodifikací položek v systému NATO [informativní údaje 3/2002] viz => DLIS.
- (f) UNS => Unified Numbering System, viz ASTM E-527, také DLIS.
- (g) Značení podle SAE => SAE J402 a návazné SAE J401, J1442, J403, J404, J405, J1268, J1392 aj.

### **Kovové materiály používané ve stavebnictví**

V oboru stavebnictví se kovy uplatňují především jako výborný konstrukční materiál. Jejich použití místo klasických konstrukčních materiálů (např. železobetonu) je podmíněno řadou pozitiv. Především je to omezení sezónnosti práce, vylehčení stavebního díla, uvolnění dispozičního řešení, menší nárok na únosnost dopravních mechanismů, výborné mechanické vlastnosti atd. Veškeré tyto i další výhody kovových konstrukčních materiálů byly opodstatněným důvodem pro jejich značné rozšíření. Přehled některých kovových materiálů, používaných ve stavebnictví, je obsažen v následujícím textu.

Významní výrobci těchto materiálů v ČR jsou:

- Nová huť, a.s., Ostrava,
- Třinecké železářny, a.s., prodej Moravia steel, a.s.,
- Železářny Chomutov, a.s.,
- Železářny a drátovny Bohumín, a.s.



Tab. 7.3 Ocel obvyklých jakostí pro výztuž betonových konstrukcí

Ocel ČSN	Chemické složení [%]				Polotovary - - použití	Mechanické vlastnosti		
	C max.	Ti	P max.	S max.		Mez kluzu min. (MPa)	Mez pevnosti (MPa)	Tažnost min. (%)
10335 ČSN 410335	0,25	-	0,05	0,05	Žebírkové tyče válcované za tepla	325	440 - 706	18
10338 ČSN 410338	Není předepsáno				Hladké a žebírkové tyče zkrucované za tepla	325	min. 390	12
10425 ČSN 410425	0,28	0,02 - - 0,1*)	0,05	0,05	Žebírkové tyče válcované za tepla	410	520 - 770	14
10505 ČSN 410505	0,22	-	0,05	0,05	Žebírkové tyče	500	550	10
10607 ČSN 410607	Není předep.	-	0,05	0,05	Žebírkové tyče válcované za tepla	590	850	8

### Konstrukční oceli vyšších pevností

Podle evropského značení jde o oceli S 420 a S 460, které patří do skupiny jemnozrnných konstrukčních ocelí. V České republice pro tyto oceli platí:

ČSN EN 10113-1:1995 "Výrobky válcované za tepla ze svařitelných jemnozrnných konstrukčních ocelí Část 1: Všeobecné dodací podmínky"

ČSN EN 10113-2:1995 "Výrobky válcované za tepla ze svařitelných jemnozrnných konstrukčních ocelí Část 2: Dodací podmínky pro normalizačně žíhané nebo normalizačně válcované oceli"

ČSN EN 10113-3:1995 „Výrobky válcované za tepla ze svařitelných jemnozrnných konstrukčních ocelí Část 3: Dodací podmínky pro termomechanicky válcované oceli“

V jakostech S 420 a S 460 se v současné době v ČR produkují pouze tlusté plechy v provedení podle ČSN EN 10113-2, tj. ve stavu normalizačně žíhaném – výrobce Vítkovice, a.s. Nejprogresivnější jsou ve vývoji technologie výroby těchto ocelí v Evropě Itálie a Německo. Garance mechanických vlastností, sortiment a technické dodací podmínky konstrukčních ocelí pevnostních tříd S 420 a S 460 určuje ČSN EN

10113. Oceli S 420 a S 460 mohou být dodávány v různých modifikacích podle účelu použití a záruk rázových vlastností pro:

- konstrukce pracující za zvýšených teplot,
- konstrukce pracující za snížených teplot;
- tvarování za studena.

Základní mechanické vlastnosti ocelí S 420 a S 460 znázorňuje tab. 7.4. Vývoji těchto ocelí v našich podmínkách se v posledních letech věnuje společnost AVP Metal v Ostravě.

Tab.7.4 Základní mechanické vlastnosti ocelí S 420 a S 460

Třída oceli	Značka oceli	Tloušťka výrobku [mm]	Mez kluzu $R_e$ [MPa]	Pevnost $R_m$ [MPa]	Tažnost $A_5$ [%]	$\varnothing$ trnu
S 420	S 420 NC S 420 NL	$\leq 16$	420	520 až 680	19	2,5 a (3,5 a)
		$16 \leq 40$	400			
		$40 \leq 60$	390			
		$60 \leq 80$	370			
		$80 \leq 100$	360			
		$100 \leq 150$	340			
	S 420 MC	$\leq 16$	420	480 až 620	21	0,5 a
	S 420 NC	$\leq 16$	420	520 až 680	23	0,5 a
S 460	S 460 N S 460 NL	$\leq 16$	460	550 až 720	17	3,0 a (4,0 a)
		$16 \leq 40$	440			
		$40 \leq 60$	430			
		$60 \leq 80$	410			
		$80 \leq 100$	400			
	S 460 MC	$\leq 16$	460	520 až 680	19	1,0 a
	S 460 NC	$\leq 16$	460	550 až 720	21	1,0 a

Tab. 7.5 Oceli pro stavební konstrukce a prvky - doporučené základní materiály pro svařované ocelové konstrukce

Pevnostní třída oceli podle ČSN EN 10025+A1	Jakostní stupeň podle ČSN EN 10025+A1			
	JR	J0	J2	K2
S235	11 373 11 375	11 378	11 378	
S275	11 443	11 448	11 448 11 449	
S355		11 523	11 523 11 503	11 503

## 7.3 Závislost fyzikálních a mechanických vlastností kovových materiálů na tepelném zatížení

Fyzikální a mechanické vlastnosti kovů jsou většinou značně ovlivňovány teplotou. Tato skutečnost je důsledkem změny vazebních sil ve struktuře kovů s rostoucí teplotou a tudíž většími rozkmity atomů v uzlových bodech mřížky. Obecně platí, že s rostoucí teplotou klesají pevnostní vlastnosti, ale tažnost a plastické vlastnosti rostou. Naopak s klesající teplotou se pevnost zvyšuje a tažnost, kontrakce i vrubová houževnatost zpravidla klesají. Některé zákonitosti změn vlastností monokrystalů s teplotou se projevují i u polykrystalických materiálů. S klesající teplotou se mez kluzu málo mění, pevnost roste. U hliníku, mědi a některých jejich slitin se i za nízkých teplot tažnost nesnižuje.

Pevnost za vyšších teplot se udává u většiny konstrukčních kovů a slitin jako výsledek zkoušky tahem (krátkodobá pevnost), má však jen informativní význam a její hodnota závisí na podmínkách zkoušky, zejména na rychlosti deformace. Pro dlouhodobé použití za vyšších teplot jsou rozhodující vlastnosti určené zkouškami tečení. V průběhu požáru se mění fyzikálně mechanické vlastnosti oceli v závislosti na její stoupající teplotě. Při dosažení kritické teploty oceli ztrácí ocelový prvek schopnost plnit stanovené požadavky dané mezním stavem únosnosti a mezním stavem přetvoření. Změny, které s růstem teploty nastanou, snižují meze únosnosti a přetvoření. Změnami mechanických vlastností oceli při tepelném namáhání se u nás zabývají některá vědeckovýzkumná pracoviště včetně Požárně atestačního a výzkumného ústavu stavebního (PAVÚS) Praha. Byly provedeny zkoušky, které testovaly vlastnosti našich i zahraničních ocelí za vysokých teplot. Důležitým poznatkem zkoušek bylo zjištění, že oceli stejné kvality za normální teploty, vyrobené u nás a v zahraničí, vykazují při tepelném namáhání někdy až výrazně diferentní vlastnosti.

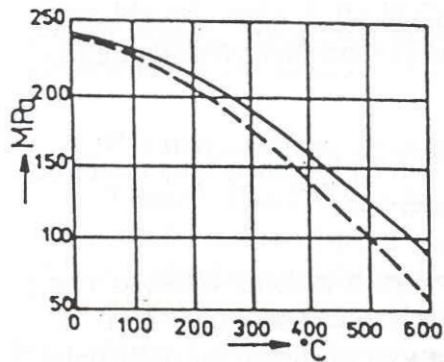
### 7.3.1 Změny mechanických vlastností stavebních ocelí

**Mez kluzu** - vlivem vyšších teplot klesá. Závislost je podobná parabole s vrcholem v bodě 20 °C, viz obr. 7.1 (plná čára znázorňuje průběh meze kluzu okamžitě po dosažení konkrétní teploty, přerušovaná křivka znázorňuje průběh meze kluzu měřené po pětihodinové prodlevě).

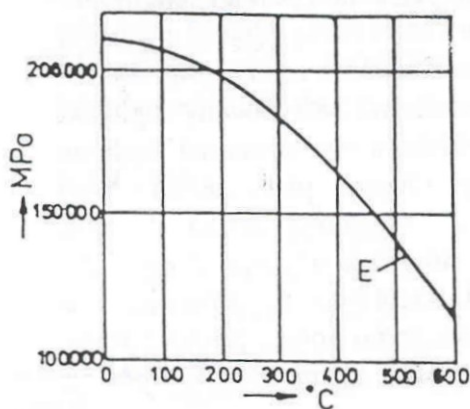
**Mez pevnosti** (obr. 7.2) - pevnost oceli roste přibližně do teploty 350 až 400 °C. Mezi jednotlivými druhy ocelí jsou však značné rozdíly a s obsahem uhlíku růst pevnosti klesá. U jakostnějších ocelí je maximální zvýšení pevnosti při teplotě 350 °C. Od teploty 350 °C pevnost rychle klesá a při 650°C činí pouhých 20-25 % původní pevnosti, současně se však zmenšují rozdíly mezi jednotlivými druhy stavebních ocelí. Přerušovaná křivka na obr. 7.2 znázorňuje průběh pevnosti po pětihodinové prodlevě.

**Tažnost** - do 250 °C klesá a od této teploty nastává prudký vzestup.

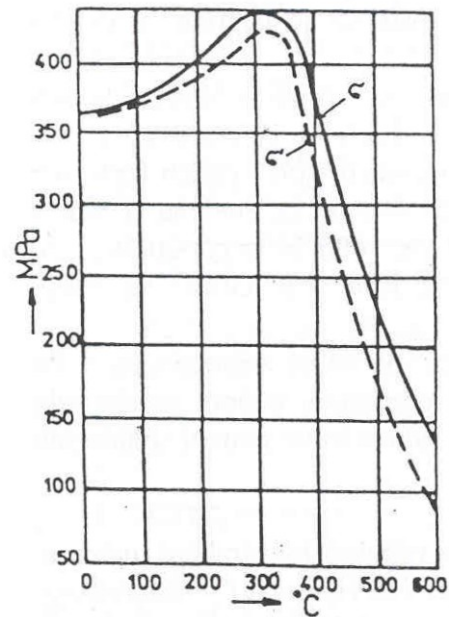
**Modul pružnosti** (obr. 7.3) - má konstantní hodnotu pouze do meze úměrnosti. Jestliže se zvýší napětí, modul pružnosti klesá. Při požáru se vzrůstem teploty klesá mez úměrnosti, napětí se stává vyšší než tato mez a dostává se do plastické oblasti. V plastické oblasti je hodnota modulu pružnosti závislá na napětí a prudce klesá.



Obr. 7.1 Hodnoty meze kluzu stavebních ocelí v závislosti na teplotě



Obr. 7.3 Průběh modulu pružnosti stavebních ocelí



Obr. 7.2 Hodnoty meze pevnosti v tahu stavebních ocelí

Obr. 7.3 Průběh modulu pružnosti stavebních ocelí

**Tečení oceli** - důležitou vlastností kovů je jejich tečení za vyšších teplot (creep), na rozdíl od tečení kovů, které vzniká po dosažení meze kluzu při normální teplotě.

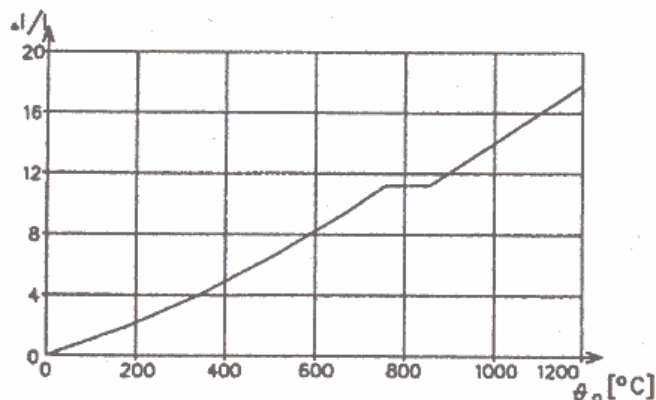
Z hlediska požární bezpečnosti staveb se jedná především o zjištění velikosti růstu deformací, zejména plastických. Stavební konstrukce, u kterých skutečné napětí činí 50-70 % meze kluzu při 20 °C, nejsou a nemohou být stabilní za vyšších teplot po delší dobu. Konstrukce strojírenské jsou vesměs dimenzovány na tepelné namáhání a jsou proto stabilní pro značné časové limity.

### 7.3.2 Změny fyzikálních vlastností

#### Teplotní roztažnost

Délkové změny kovových materiálů při zvýšení teploty se vyjadřují pomocí **teplotního součinitele délkové roztažnosti**  $\alpha$ . Lze ho stanovit experimentálně z délkových změn v určitém rozsahu teplot. Pro čisté kovy se přibližně určí početně nebo se odvozuje s využitím termodynamiky a stavové rovnice tuhých látek. Může být velkým zdrojem nebezpečí ocelových konstrukcí. Např. při zahřátí ocelového nosníku délky 10 m na 400 °C nastane jeho prodloužení až o 50 mm. U dokonale vetknutých konstrukcí, které nemají možnost prodloužení, dosahují již při teplotách nad 100 °C

namáhání blízké mezi průtažnosti. Aby se zabránilo vybočení ocelové konstrukce samotné nebo poškození konstrukcí okolních, je nutno dbát na dostatečnou a účinnou dilataci. Grafické znázornění roztažnosti oceli v závislosti na teplotě dokumentuje obr. 7.4.



Obr. 7.4 Teplotní protažení oceli

Poměrné teplotní protažení oceli  $\Delta l/l$  lze přesně stanovit poččetně z rovnic 7.1 až 7.4 (viz ČSN EN 1993 – Eurokód 3).

$$\Delta l/l = 1,2 \cdot 10^{-5} \theta_a + 0,4 \cdot 10^{-8} \cdot \theta_a^2 - 2,416 \cdot 10^{-4} \quad \text{pro } 20^\circ \text{C} \leq \theta_a < 750^\circ \text{C} \quad (7.1)$$

$$\Delta l/l = 1,1 \cdot 10^{-2} \theta_a \quad \text{pro } 750^\circ \text{C} \leq \theta_a < 860^\circ \text{C} \quad (7.2)$$

$$\Delta l/l = 2 \cdot 10^{-5} \theta_a - 6,2 \cdot 10^{-3} \quad \text{pro } 860^\circ \text{C} \leq \theta_a \leq 1200^\circ \text{C} \quad (7.3)$$

kde  $l$  je délka při teplotě  $20^\circ \text{C}$  [mm],  
 $\Delta l$  teplotní protažení [mm],  
 $\theta_a$  teplota oceli [ $^\circ \text{C}$ ].

Pro přibližné vyjádření poměrného teplotního protažení oceli v širokém teplotním intervalu platí rov. 7.4:

$$\Delta l/l = 14 \cdot 10^{-6} (\theta_a - 20) \quad \text{pro } 20^\circ \text{C} \leq \theta_a \leq 1200^\circ \text{C} \quad (7.4)$$

Pro praxi je důležitý vztah mezi teplotou tání kovů a délkovou roztažností. Délková roztažnost je nepřímo úměrná modulu pružnosti a atomového objemu, je tedy funkcí atomového čísla. Při fázových přeměnách dochází ke změnám délkové roztažnosti. Významnou roli má roztažnost nejen u kovů, ale i u slitin s minimální, maximální a definovanou roztažností v určitém teplotním intervalu (např. při spojování kovů se sklem nebo keramikou). Vyrábějí se slitiny s nulovou délkovou roztažností mezi 0 až  $100^\circ \text{C}$ . Pro tepelné pojistky a bimetaly se naopak požadují co největší hodnoty délkové roztažnosti. Vliv tepelné roztažnosti u ocelových konstrukcí by měl být posuzován s ohledem na měnící se hodnoty součinitele  $\alpha$ , neboť při vyšších teplotách jsou až 20% rozdíly oproti běžné hodnotě, kdy  $\alpha \cong 12 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ . Oceli s vyšším obsahem uhlíku se vyznačují nižší tepelnou roztažností.

### Měrné teplo

Teplotní účinky ovlivňují i další fyzikální vlastnosti oceli, jako např. měrné teplo  $c_a$  [ $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ], viz obr. 7.5 a rovnice 7.5 až 7.12.

$$c_a = 425 + 0,773 \theta_a - 1,69 \cdot 10^{-3} \theta_a^2 + 2,22 \cdot 10^{-6} \theta_a^3 \quad \text{pro } 20 \text{ }^\circ\text{C} \leq \theta_a < 600 \text{ }^\circ\text{C} \quad (7.5)$$

$$c_a = 666 + 13003/(738 - \theta_a) \quad \text{pro } 600 \text{ }^\circ\text{C} \leq \theta_a < 735 \text{ }^\circ\text{C} \quad (7.6)$$

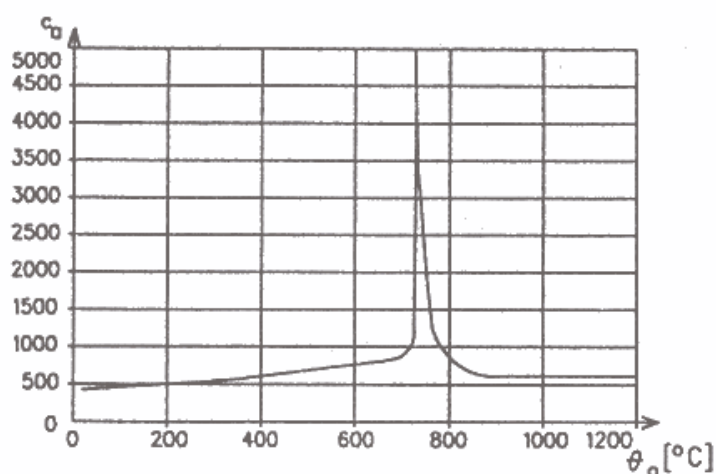
$$c_a = 545 + 17280/(\theta_a - 731) \quad \text{pro } 735 \text{ }^\circ\text{C} \leq \theta_a < 900 \text{ }^\circ\text{C} \quad (7.7)$$

$$c_a = 650 \quad \text{pro } 900 \text{ }^\circ\text{C} \leq \theta_a \leq 1200 \text{ }^\circ\text{C} \quad (7.8)$$

kde  $\theta_a$  je teplota oceli [ $^\circ\text{C}$ ],

V jednoduchých výpočetních metodách může být měrné teplo uvažováno jako nezávislé na teplotě oceli. V tomto případě se použije hodnota dle rovnice 7.9:

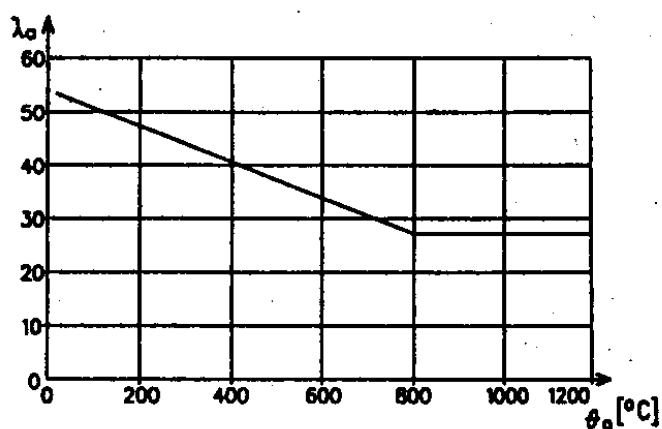
$$c_a = 600 \text{ [J.kg}^{-1}\text{.K}^{-1}] \quad (7.9)$$



Obr. 7.5 Měrné teplo oceli v závislosti na teplotě

### Tepelná vodivost

Tepelná vodivost se vyjadřuje pomocí součinitele  $\lambda_a$  [ $\text{W.m}^{-1}\text{.K}^{-1}$ ]. Se vzrůstající teplotou lze její pokles vyjádřit rovnicemi 7.10 – 7.12. Grafické vyjádření viz obr. 7.6.



Obr. 7.6 Tepelná vodivost oceli v závislosti na teplotě

$$\lambda_a = 54 - 3,33 \cdot 10^{-2} \theta_a \quad \text{pro } 20 \text{ }^\circ\text{C} \leq \theta_a < 800 \text{ }^\circ\text{C} \quad (7.10)$$

$$\lambda_a = 27,3 \quad \text{pro } 800 \text{ }^\circ\text{C} \leq \theta_a < 1200 \text{ }^\circ\text{C} \quad (7.11)$$

Ve zjednodušených početních metodách je možno uplatnit hodnotu:

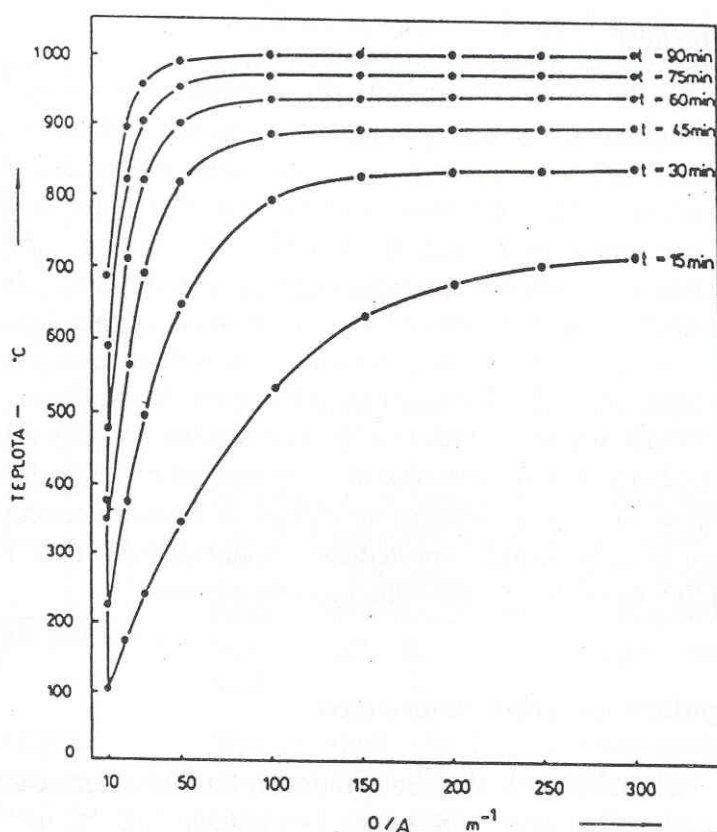
$$\lambda_a = 45 \text{ [W.m}^{-1}\text{.K}^{-1}\text{]} \quad \text{pro } 20 \text{ }^\circ\text{C} \leq \theta_a < 1200 \text{ }^\circ\text{C} \quad (7.12)$$

### Objemová hmotnost

Objemová hmotnost oceli  $\rho_a = 7850 \text{ kg.m}^{-3}$  se může uvažovat jako nezávislá na teplotním intervalu.

## 7.4 Vliv účinku požáru na ocelové konstrukce

Přestože je ocel nehořlavý stavební materiál, lze chování ocelových konstrukcí v podmínkách požáru označit jako nepříznivé. Do teploty 350 °C neklesají mechanické vlastnosti natolik, aby byla ohrožena bezpečnost staveb. Avšak při teplotě 500 až 700 °C pozbývá ocel téměř zcela svou únosnost, avšak pokud není deformována, lze ji po požáru opět použít.

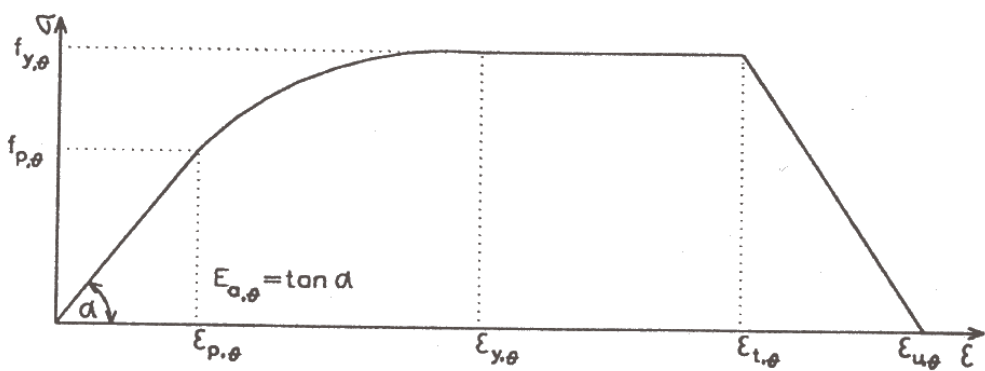


Obr. 7.7 Vliv tvarového faktoru O/A na růst teploty nechráněných ocelí

Základním principem zvýšení odolnosti ocelových konstrukcí vůči požáru je zamezení jejich prohřátí na teplotu  $\approx 500\text{ }^{\circ}\text{C}$  a vyšší. Výši kritické teploty ovlivní (viz obr. 7.7) poměr  $O/A$  (obvod průřezu  $[\text{m}]$  k jeho ploše  $[\text{m}^2]$ ). Z materiálově konstrukčního hlediska lze k tomuto účelu uplatnit i některé způsoby povrchových úprav realizovaných na ocelových konstrukcích, jako jsou např. obetonování, obezdívání, omítání či nástřiky, nátěry a obklady deskovými materiály. Tyto způsoby ochrany ocelových konstrukcí mohou zvýšit jejich požární odolnost (požární odolnost nechráněné ocelové konstrukce se pohybuje okolo 7 až 15 minut).

Zásady navrhování ocelových konstrukcí, včetně návrhu na účinky případného požáru, zahrnuje ČSN EN 1993 – Navrhování ocelových konstrukcí. Obecná pravidla – Navrhování konstrukcí na účinky požáru.

Pevnostní a deformační vlastnosti oceli při teplotě  $\theta_a$  rostoucí rychlostí 2 až 50  $\text{K}\cdot\text{min}^{-1}$  se určují z diagramu viz obr. 7.7. Uvedený diagram slouží pro výpočet odolnosti v tahu, tlaku, ohybu a smyku.



$f_y, \theta$	je účinná mez kluzu,
$f_p, \theta$	mez úměrnosti,
$E_a, \theta$	sklon lineární pružné části,
$\epsilon_p, \theta$	protažení na mezi úměrnosti,
$\epsilon_y, \theta$	protažení na mezi kluzu,
$\epsilon_t, \theta$	mezní protažení pro mez kluzu,
$\epsilon_u, \theta$	konečné protažení.

Obr. 7.8 Závislost napětí na poměrném přetvoření oceli při zvýšených teplotách

Jak již bylo uvedeno vlivem účinků vysokých teplot dochází při požáru k poklesu meze kluzu, pevnosti a modulu pružnosti ocelových konstrukcí. Snižuje se rovněž tepelná vodivost, ale teplotní roztažnost roste. Při sledování ocelových, zejména tyčových, konstrukcí za vysokých teplot bylo prokázáno, že pro požární odolnost je tzv. tvarový faktor rozhodující, daný poměrem  $O/A$ . Je důležitým ukazatelem pro stanovení požární odolnosti stavebních konstrukcí, tudíž i konstrukcí ocelových. Jestliže se tento poměr zvětšuje, zvětšuje se rovněž tepelná jímavost profilu (viz obr. 7.8) a požární odolnost konstrukce klesá.

Stavební konstrukce dosáhne požadované požární odolnosti tehdy, jestliže po určitý čas nedojde k porušení její funkce, tj. k naplnění některého z mezních stavů (viz ČSN 73 0810):

- a) ztráty únosnosti a stability R,
- ztráty celistvosti E,
- limitních teplot na neohřívaném povrchu I.



Pro staticky namáhané ocelové prvky přichází v úvahu pouze plnění mezního stavu únosnosti a stability. Požární odolnost je limitována časem, ve kterém nebude překročena kritická teplota oceli. Překročení této teploty je předpokladem destrukce ocelové konstrukce. Vztah mezi O/A a časem dosažení kritické teploty nechráněné oceli přibližuje obr. 7.9.

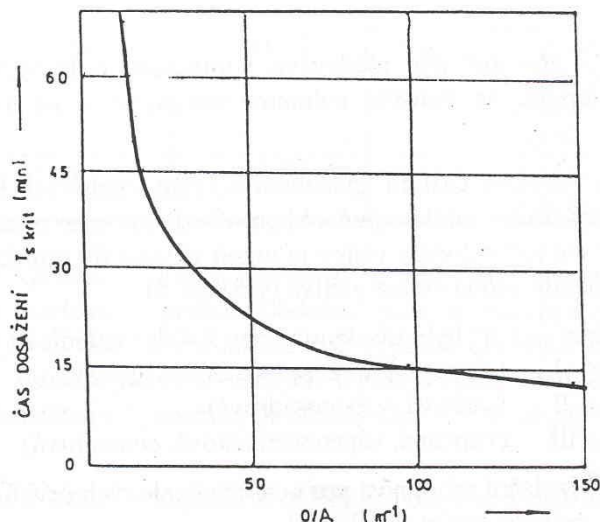
Přibližná kritická teplota oceli je  $\approx 500$  °C. Přesnou hodnotu kritické teploty je možno podle ČSN EN 1993-1-2 určit z rov. 7.13:

$$\theta_{a,cr} = 39,19 \ln \left[ \frac{1}{0,9674 \mu_0^{3,833}} - 1 \right] + 482 \quad (7.13)$$

kde  $\mu$  je stupeň využití v čase  $t = 0$ ,  
 $\theta_{a,cr}$  teplota oceli v čase  $t$  [°C].

Výška kritické teploty může být ovlivněna řadou činitelů:

- a) Prvek ztrácí únosnost při teplotě, která je rovněž závislá na počáteční rezervě v pevnosti. Tato rezerva je dána výpočtovým namáháním oceli a skutečným zatížením. Jestliže prvek je předdimenzován, nebo zatížení je ve skutečnosti menší, hranice kritické teploty je vyšší.
- b) Určení kritické teploty je obtížné u prvků staticky neurčitých. Oproti kritickým teplotám prvků staticky určitých mohou být diferentní. Např. u spojitého nosníku se při vyšší teplotě vytvoří nad středními podporami plastické klouby a teprve následně přechází soustava do statické určitosti. Proto kritické teploty u nosníků spojitých vykazují vyšší hodnoty.
- c) Hranici kritické teploty rovněž ovlivňuje nerovnoměrný ohřev materiálu. To platí především u vysokých nosníků, kde rozložení teploty po výšce průřezu není rovnoměrné.
- d) Rovněž creep oceli ovlivňuje kritickou teplotu. Projeví se především u pomalého narůstání teplot. Čím delší je doba tepelného namáhání, tím je nižší kritická teplota.
- e) Kritická teplota svislých prvků (sloupů, pilířů) závisí na jejich štíhlostním poměru atd.



Obr. 7.9 Vliv mezi tvarovým faktorem  $O/A$  nechráněné oceli a časem dosažení kritické teploty oceli  $\theta_{a,cr} = 470 \text{ }^\circ\text{C}$

Požární odolnost stavebních konstrukcí lze stanovit normalizovaným zkušebním testem nebo výpočtem.

## 7.5 Materiály pro protipožární ochranu ocelových konstrukcí

Podle použité technologie aplikace ochranných materiálů lze rozdělit způsoby požárních ochran na:

- technologii mokrých procesů,
- technologii nátěrů,
- technologii obkladů deskovými materiály,
- speciální technologie.

Výběr technologie pro danou ocelovou konstrukci bude především záviset na hledisku účinného efektu a technické realizovatelnosti. Rovněž ekonomické hledisko není zanedbatelné.

Technologie obkladů deskovými materiály je výhodná v případech značné opakovatelnosti pravidelných jednoduchých tvarů ocelových tyčových prvků s relativně jednoduše řešenými detaily spojů.

Technologii mokrých procesů a nátěrů bude výhodné použít v případech nepravidelných členitějších tvarů konstrukčních prvků a složitějších řešení jejich styků.

### 7.5.1 Technologie mokrých procesů

**Obetonování** - patří mezi starší způsoby ochrany a dnes se používá ve stále menší míře. Jeho nevýhoda spočívá především ve značné hmotnosti. Rovněž je nutné zohlednit chování použitého kameniva za vysoké teploty. Touto protipožární ochranou lze dosáhnout až 180 min požární odolnosti.

Pro všechny případy svislých i vodorovných ocelových a ocelobetonových prvků, a to jak s ohledem na použití druhu materiálu, tak i na detaily v jejich provedení,

jsou hodnoty požární odolnosti uvedeny v ČSN nebo v příslušných směrnících (viz AKTUAL BULLETIN SPECIAL).

**Obezdivání** - účinnost této především v minulosti uplatňované metody závisí na druhu použitých materiálů, na tloušťce ochranné obezdívky a na tom, zda je obezdívka opatřena omítkou.

**Omítání** - je poměrně častým způsobem ochrany ocelových konstrukcí. Při požáru však vykazují všechny druhy omítek jiné objemové změny než ocel. Z důvodu zamezení uvolňování a odpadávání jednotlivých vrstev je nutno vkládat do omítky pletivo. Při tloušťce omítky do 30 mm postačuje jedna vrstva pletiva (viz kap. 5).

Dobrou tepelně izolační schopnost pro ochranu ocelových prvků mají malty skupiny I, nižší malty skupiny II, nejnižší malty skupiny III.

**Nástřiky** - ochrana ocelových konstrukcí stříkanými tepelně izolačními materiály prováděnými většinou na bázi omítkovin patří mezi nejrozšířenější způsoby ochran. Výhodou této metody je relativně malá hmotnost ochranné vrstvy. Vliv na požární odolnost ocelových konstrukcí je v závislosti na tloušťce nástřiku (5 až 75 mm) a na tvarovém faktoru O/A ocelového profilu, tj. na poměru obvodu k průřezové ploše prvku.

Pro zajištění spolehlivé a dokonalé přilnavosti slouží aplikace kotvicí vrstvy. Její funkcí je dokonalé přilnutí na povrch ocelové konstrukce a zajištění adheze uplatňovaného antipyrénního nástřikového materiálu. Tyto kotvicí nátěry mohou být tvořeny např. směsí cementu, písku, polymerních pojiv, adheziv a barviv (pro optickou kontrolu nanesené vrstvy).

Trh nabízí několik druhů tuzemských i zahraničních antipyrénních nástřikových systémů a omítkovin. Jsou to např. již řadu let známé omítkoviny PORFIX, TERFIX a THERMO včetně modifikací, DEXAFLAMM, PYROTHERM, PYROIZOL, ANTIPYRONÁT, TAHIZOL, NOVASIT atd. (některé z nich viz tab. 7.6). Jejich podstatu tvoří většinou vláknité, případně zrnité plnivo a vhodné pojivo (cement, sádra, akrylátové disperze, případně vápenný hydrát atd.). Některé jsou určeny i pro protipožární ochranu stavebních prvků a konstrukcí z nekovových materiálů.

Tab. 7.6 Některé protipožární nástřiky na ocelové konstrukce

Název	Rozsah použití pro O/A [m <sup>-1</sup> ]	Požární odolnost *) [min]	Tl. pěnové vrstvy [mm]	Použitelnost
TERFIX TCVV 800/400	≤ 450	180	5 až 60	omítka pro interiér, s dostatečnou povrchovou úpravou lze použít i v exteriéru
PORFIX	≤ 450	180	5 až 77	stříkaná tepelně izolační omítka, výhradně pro interiér
TERMO XU (PS)	≤ 450	180	5 až 60	tepelně izolační omítka, výhradně pro interiér, s dodatečnou povrchovou úpravou i pro vyšší r.v.v.
PYROTHERM	≤ 300	180	6 až 73	tepelně izolační omítka s nižší obj. hmotn., výhr. pro interiér

\*) Požární odolnost byla stanovena podle ČSN 73 0851.

### 7.5.2 Zpěňující nátěry

jsou to ochranné materiály s nejširší použitelností pro ochranu ocelových konstrukcí stavebních objektů. Avšak tento způsob protipožární ochrany stále ještě není v konečné fázi celosvětového výzkumu, přestože dosahované požární odolnosti jsou běžné i 30 min.

Jejich velkým kladem je nízká hmotnost a minimální tloušťka nanesené vrstvy, zachovávající štíhlost ocelového prvku. Obdobně jako u intumescentních antipyrénních nátěrových přípravků dřeva tvoří se i u nátěrových systémů určených k protipožární ochraně ocelových konstrukcí, vlivem poměrně nízkých teplot, bohatá tepelně izolační pěna. Dílčí přehled protipožárních nátěrových systémů používaných v ČR uvádí tab. 7.7.

Tab. 7.7 Některé protipožární nátěry pro ocelové konstrukce

Název	Rozsah použití pro O/A [m <sup>-1</sup> ]	Požární odolnost *) [min]	Tl. pěnové vrstvy [μm]	Použitelnost
DEXAMIN SPECIAL	≤ 315 ≤ 160	45 60	3000 až 8000	pro prostředí s vyšší korozní agresivitou, až do r.v.v. 95 %, pro nepřímý styk s potravinami
PITTURA IE 20	≤ 315	45	300 až 800	do interiéru pro 80 % r.v.v. max., pružný, hladký rozp. systém, libovolný odstín dle RAL
PITTURA LA 60	≤ 450 ≤ 295 ≤ 177	30 45 60	300 až 1000	do interiéru pro 80 % r.v.v. max., pružný, hladký rozp. systém, libovolný odstín dle RAL
BARRIER All Acqua	≤ 315 ≤ 200	30 45	300 až 1000	do interiéru pro 80 % r.v.v. max., vodou ředitelný, pro nepřímý styk s potravinami
BARRIER 95	≤ 400 ≤ 320 ≤ 100	30 45 60	300 až 900	do interiéru pro 80 % r.v.v. max., vodou ředitelný systém
PROMAPAIN	≤ 300	30	1400	disperzní nátěr. systém - do interiéru pro 80 % r.v.v. max.
FLAMMO-PLAST SP 30	≤ 300	30	1000	do interiéru pro max. 80 % r.v.v.
FLAMMSTOP FE W	≤ 291 ≤ 159	45 60	neuveđeno	do interiéru pro max. 80 % r.v.v.

\*) Požární odolnost byla stanovena podle ČSN 73 0851.

V současnosti používanými přípravky jsou např.: DEXAMIN - SPECIAL, PITTURA IE20 a LA 60, BARRIER, PROMAPAIN, FLAMO-PLAST SP30, HEAT SHIELD a další.

### 7.5.3 Obklady deskovými materiály

Velkou předností této technologie je potlačení mokrého procesu, poměrně malá pracnost a nízká hmotnost. Deskové materiály se stávají stále žádanější protipožární

ochranou nejen ocelových konstrukcí, ale i svým uplatněním v sendvičových stěnových konstrukcích, v podhledech atd.

Protipožární obklady ocelových konstrukcí jsou značně perspektivní, protože na rozdíl od nátěrů je lze považovat za téměř neomezeně trvanlivé. Podmínkou však je technologická kázeň při jejich instalaci, trvalá kompaktnost a vyloučení mechanického poškození.

Výběr kvalitních protipožárních obkladových materiálů zajišťuje řada našich i zahraničních výrobců, jako jsou např.: PROMATECT (H, L, HIL), RIGIPS, KNAUF, ARMSTRONG, CETRIS, ORSIL, LAFARGE, GYPROC, DEKALIT P, FIREBOARD, DUPRONIT, PYROLIT, CONLIT, ORDEXAL, VERMICULUX a další. Bližší informace o některých z nich viz tab. 7.8. V ČR jsou uplatňovány zejména protipožární desky:

- sádrovláknité (FIREBOARD, FERMACEL a RIDMIT)
- sádrokartonové (GKF, GKB A DALŠÍ)
- vláknocementové (DEKALIT)
- z minerální plsti (ORDEXAL)
- vápenosilikátové (PROMATECT)
- vermikulitové (THERMAX)

O účinnosti této ochrany nerozhodují jen vlastní protipožární desky, ale celý systém upevnění ke chráněné konstrukci, popř. i vložená tepelná izolace.

Protipožární deskové materiály jsou mnohdy použitelné i pro jiné účely jako např. pro obklad dřevěných konstrukcí, pro konstrukci stěn, příček nebo stropních či střešních podhledů.

Nejzávažnějším problémem systému deskových obkladů je potlačení vzniku tepelných mostů v místech spojů. Vlivem zvýšené teploty dochází k objemovým změnám, které mohou mít za následek rozevírání spár mezi deskami.

Každý z uvedených způsobů ochrany ocelových konstrukcí před účinky požáru je charakteristický svými přednostmi a nedostatky. Pro jeho navržení je třeba zvážit konkrétní podmínky stavby (technické, ekonomické a dodavatelské) a vybrat nejvhodnější řešení vzhledem k požadované výši požární odolnosti chráněné konstrukce.

V rámci Eurokódů je zahrnuta i problematika požární odolnosti ocelových konstrukcí, a to při konkrétní aplikaci na podmínky ČR v ČSN EN 1993-1-2 73 1401 Navrhování ocelových konstrukcí - Navrhování konstrukcí na účinky požáru. Ocelobetonové konstrukce jsou zahrnuty v ČSN EN 1994-1-2 73 2089 Navrhování spřažených ocelobetonových konstrukcí - Navrhování konstrukcí na účinky požáru atd.

Tab. 7.8

Některé protipožární obkladové materiály

Název	Rozsah použití pro O/A [m <sup>-1</sup> ]	Pož. odonost ČSN 73 0851 [min]	Tloušťka [mm]	Použitelnost
Sádrokarton GKF - Knauf (nosníky)	≤ 300	120	až 40 (až 3 vrstvy)	jedno- a vícevrstvý obklad, kotvený do L a CD profilů - pro nosníky, pro některé profily přímo
Sádrokarton GKF - Knauf (sloupy)	≤ 300	180	až 75 (až 5 vrstev)	jedno- a vícevrstvý obklad kotvený na profil sloupu
FIREBOARD Knauf (nosníky)	≤ 450	180	až 55 (až 5 vrstev)	jedno- a vícevrstvý obklad kotvený na profil nosníku přímo nebo přes pomocné kotvicí prvky
FIREBOARD Knauf (sloupy)	≤ 450	180	až 70 (až 5 vrstev)	jedno- a vícevrstvý obklad kotvený na profil sloupu přímo nebo přes pom. kotvicí prvky
PROMATECT H (sloupy)	≤ 300 ≤ 235 ≤ 122	90 D1 120 D1 180 D1	až 45 až 50 až 50	jedno- a vícevrstvé složené obklady ze silikátových bezazbest. desek do interiéru s obj. hmotností 870 kg.m <sup>-3</sup> ; lze hydrofobizovat
PROMATECT L (sloupy)	≤ 300 ≤ 208	120 D1 180 D1	až 60 až 60	jedno- a vícevrstvé složené obklady ze silikátových bezazbest. lehč. desek do interiéru s obj. hmotností 450 kg.m <sup>-3</sup> ; lze hydrofobizovat
PROMATECT HIL (nosníky)	≤ 300	180 D1	až 55	jedno- a vícevrstvé složené obklady ze silikátových bezazbest. desek do interiéru s obj.hmotn. 870 (450) kg.m <sup>-3</sup> ; lze hydrofobizovat
PROMA-CLAD (nosníky)	≤ 300 ≤ 150	120 D1 180 D1	až 52	jedno- a vícevrstvé složené obklady ze silikátových bezazbest. desek do interiéru
THERMAX SL (sloupy)	≤ 300 ≤ 198 ≤ 92	90 D1 120 D1 180 D1	až 50	nehořlavé desky na bázi vermikulitu, obj.hm 457 kg.m <sup>-3</sup> lze hydrofobizovat
THERMAX SL (nosníky)	≤ 300 ≤ 225 ≤ 103	90 D1 120 D1 180 D1	až 40	nehořlavé desky na bázi vermikulitu, obj.hm 457 kg.m <sup>-3</sup> lze hydrofobizovat
CETRIS (sloupy i nosníky)	≤ 400	180 D1	až 67	cementotřískové desky, oboustranně lisované, hladké; po hydrofobizaci i pro exteriér
DEKALIT (sloupy i nosníky)	≤ 450	180 D1	až 68	tvrdé silikátové bezazb. desky jednostranně hladké; pouze pro interiér
ORDEXAL	≤ 487 ≤ 310	120 180	až 120	lepený obklad na bázi desek z čedičové vlny ORSIL PYRO, nehořl. pružného tmelu DEXA-FLAMM S a mechanických prvků

## 8 Materiály v preventivní protipožární ochraně

V předchozím textu těchto skript bylo pojednáno o některých stavebních materiálech, o jejich základních vlastnostech a o vlivu tepelné zátěže na změnu jejich charakteristik. Negativní působení tepelného namáhání se upravuje buď pasivní protipožární ochranou, tj. různými protipožárními a tepelně izolačními materiály nebo vhodným materiálovým a konstrukčním řešením.

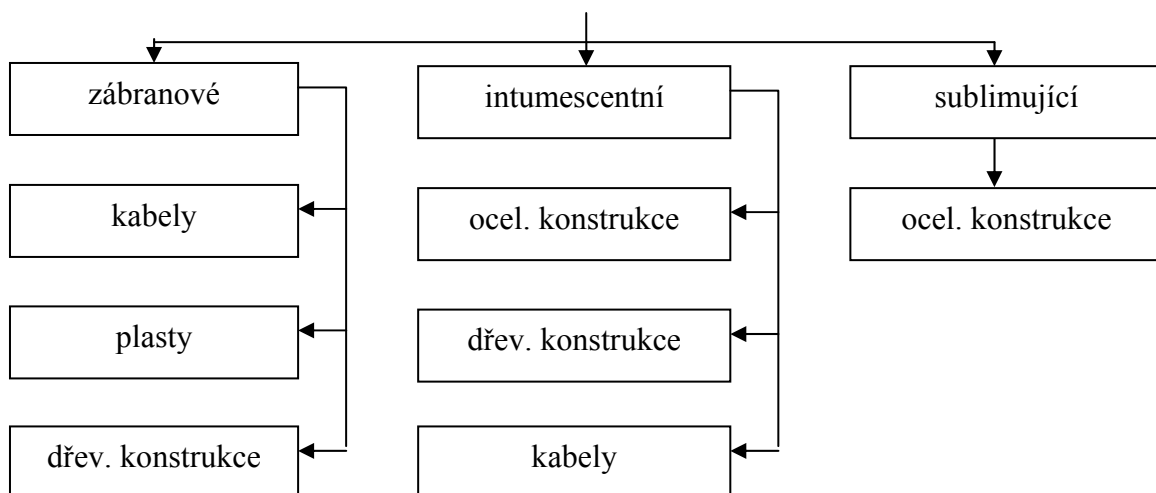
Přes uspokojivý sortiment výrobků, používaných v preventivní (pasivní) protipožární ochraně, prezentovaných řadou více či méně renomovaných výrobců, nelze veškerou nabídku považovat za zcela seriózní. Ne všechny nabízené materiály disponují příslušnými osvědčeními o vhodnosti jejich použití, o jejich účinnosti, životnosti, certifikaci a o shodě výrobku v návaznosti na uplatnění zákona č. 22/97 Sb., o technických požadavcích na výrobky atp. Přitom je nutné připomenout, že mezi výsledky národních zahraničních a tuzemských zkušebních testů požárně technických charakteristik (PTCH) materiálů, které se do plného uplatnění evropských norem v jednotlivých státech výhradně používaly, neexistuje totožnost ani žádné korelační vztahy.

Klasifikace jednotlivých stavebních hmot podle výsledků zkoušek se provádí dle nové evropské normy **ČSN EN 13501-1 Požární klasifikace stavebních výrobků a konstrukcí staveb – Část 1: Klasifikace podle výsledků zkoušek reakce na oheň**. Nové zkušební metody ČSN EN ISO 1182, ČSN EN ISO 1716, ČSN EN 13823, ČSN EN ISO 11925-2, ČSN ISO 9239-1 nejsou shodné s dosud užívanými českými postupy a hodnotí materiály podle jiných principů. Výsledné hodnocení je vyjadřováno odlišným způsobem, je posuzován i vývin a množství kouře a některé další parametry. Na rozdíl od stávající české normy, která je metodou spíše selektivní porovnávající podle jednotného kritéria stavební hmoty mezi sebou, je hlavním cílem zmíněné evropské normy zhodnotit jednotlivé stavební materiály co nejobjektivněji z hlediska všech parametrů ovlivňujících chování hmot při požáru. V České republice je platná od července 2002 a platnost stávající ČSN 73 0862 je datována ke 31. 12. 2003 s tím, že platnost testů je stanovena do r. 2007.

Na základě výsledků zkoušek reakce na oheň jsou evropskou klasifikací stavební materiály zařazeny do pěti klasifikačních tříd označených písmennými symboly A až F. Převod tříd reakce na oheň podle evropské klasifikace na stupeň hořlavosti, používaný dle ČSN 73 0862, bude pravděpodobně realizován podle pravidla: třída A1 = stupeň A; třída A2 = stupeň B; třída B = stupeň C1; třídy C a D = stupeň C2; třídy E a F = stupeň C3.

### 8.1 Protipožární nátěrové systémy

Nejdiskutovanější je v současnosti problematika protipožárních nátěrových systémů, zejména vzhledem k jejich účinnosti, životnosti a vhodnosti použití na různé druhy materiálů, především však na ocelové konstrukce. Podle charakteru, účelu a účinku, jakým se projevují při požáru, lze protipožární nátěry rozlišit podle znázornění dle obr. 8.1.



Obr. 8.1 Nátěrové systémy a jejich prioritní možnosti použití

#### a) Zábranové protipožární nátěry

Přesto že zábranové protipožární nátěry nejsou pěnotvorné, brání přístupu plamene k povrchu materiálu a po určitou dobu nedovolí jeho vznícení. Omezují přístup kyslíku a brání šíření plamene po povrchu. Tyto systémy jsou používány především pro hořlavé materiály a z nich vyrobené konstrukce. Mimo dřeva jsou jimi nejčastěji chráněny plasty, ať již v podobě kabelových izolací nebo plastových potrubí atd. Podle svého složení a způsobu použití může být zejména na kabelových rozvodech jejich účinnost značně vysoká, případně i srovnatelná s nátěry intumescentními. Bývají obvykle vyráběny na bázi anorganických systémů - nejčastěji lehce tavitelných sklovin, glazur, často s přísadou některých aditiv, synergicky působících na zhášení plamene (např. sloučeniny antimonu při aplikaci na měkčené PVC). Při požáru dochází většinou k rychlému odhoření organického polymerního pojiva nátěru a anorganický zbytek syntruje na pevnou krustu, která dobře lpí na podkladu a působí proti šíření plamene. Tyto nátěry nemají tepelně izolační schopnost a jejich funkce je výhradně založena na bariérovém, resp. „wall“ efektu.

Mezi zábranové nátěry lze zařadit i tenkovrstvé systémy, které odolávají vysoké teplotě, odrážejí teplo, čímž snižují povrchovou teplotu požárem namáhaného povrchu. Podstatou je orientovaná vrstva křemenných mikrodestiček, případně kombinovaná s dalšími materiály (slída, bentonitové jíly) – v řadě případů bylo dosaženo velmi pozitivních výsledků.

Zábranové nátěry nachází své použití i při ochraně kabelových rozvodů a některých dalších plastů. V tomto případě je jejich hlavním účelem omezit šíření plamene po kabelových izolacích, případně zajistit funkceschopnost chráněného kabelového rozvodu po stanovenou dobu. Pro tyto účely bylo již před několika lety zavedeno hodnocení ochranných systémů dle předpisu IEC 332-3 a IEC 331. Současně musí jejich vlastnosti odpovídat požadovanému účelu, tj. musí mít dobrou přilnavost k povrchu plastových izolací, a to nejen za normální, ale i za zvýšené teploty. Musí být odstranitelné v případě že dojde k výměně kabelu ve svazku. Nesmí tepelně izolovat (oteplovat) kabel, protože tím by došlo k omezení jeho použitelnosti a v mezní situaci by mohlo dojít ke zkratu. Nátěr musí být pružný, aby nepraskal při dilatačních



pohybech kabelů, musí bez poškození odolávat určitému mechanickému namáhání, vlhkosti, plísním, biotickým škůdcům, hlodavcům atp. Pro speciální účely musí odolávat i dezaktivacím roztokům (v jaderné energetice) a plnit některé další podmínky. Některé zábranové nátěry obsahují složky snižující vývin a toxicitu kouře. Bývají to většinou látky, které za vyšších teplot reagují s volným chlorem nebo HCl a snižují tak obsah agresivních látek ve spalinách. Klasickým příkladem těchto přísad je antimontrioxid, který při hoření PVC vytváří s chlorem různé stupně oxichloridů v závislosti na teplotě. Protože je tato reakce vratná, má poměrně malé množství dané látky vysoké účinky.

#### b) Zpěňující (intumescentní) protipožární nátěry

Nejrozšířenějším typem protipožárních nátěrů ve stavebnictví jsou nyní nátěry intumescentní. Podstatou působení nátěrů, až do nedávna vyráběných vesměs na organické bázi, je chemická reakce, iniciovaná vyššími teplotami při požáru, v jejímž průběhu se dehydratací, obvykle polyalkoholů vytváří na povrchu chráněného předmětu objemný uhlíkatý zbytek, ze kterého se vlivem přítomného nadouvadla vytváří izolační vrstva nehořlavé pěny. Struktura, výška napěnění a velikost jednotlivých buněk této pěny limituje účinnost konkrétního nátěrového systému.

Nejznámější a dosud nejpoužívanější kyselinou je kyselina fosforečná, přidávaná do těchto systémů obvykle v podobě amonumpolysosfátů. Dříve užívané fosforečné soli byly značně hydroscopické, což podstatně omezovalo použitelnost. Jako nadouvadla se používá většinou látek s vyšším obsahem dusíku – nejčastěji melaminu, dikyandiamidu, glycinu nebo močoviny; mezi často užívané polyalkoholy patří pentaerytritol, rezorcin, škroby, karboxymethylcelulóza, vzácněji arabinoza, glukóza či maltoza atd. Ke zpevnění pěny a zlepšení jejích vlastností se používá rovněž řada aditiv, někdy i krátkých vláken nebo skleněných vloček.

Intumescentní nátěry mají široké použití pro protipožární ochranu ocelových konstrukcí, protože na rozdíl od nátěrů zábranových mají zejména tepelně izolační funkci. Užívají se však i pro ochranu dřevěných materiálů a konstrukcí a pro ochranu plastových kabelových rozvodů.

Jak je zřejmé ze schématu, viz obr. 8.1, užívají se zpěnitelné nátěry v současné době prakticky pro všechny kategorie použití. Je ale nutno zvážit, zda je tato široká aplikace opravdu opodstatněná.

Při použití intumescentních nátěrů na kabelových rozvodech je požadováno omezení rychlosti šíření plamene a zajištění funkčnosti kabelových vedení. To znamená, že po napěnění musí nátěr bránit přístupu vzduchu k hořlavému povrchu izolace a zpomalit tak hoření. Vniklá pěna musí současně povrch izolace tepelně izolovat tak, aby se snížila teplota pod bod jeho plastifikace, tedy u měkčeného PVC přibližně pod 160 – 180 ° C. Pokud tato podmínka není splněna a izolace začíná měknout, ztrácí nátěr oporu a tím i svou funkci, protože se pěnová vrstva začíná trhat. Avšak většina nátěrů začíná teprve při této teplotě zpěňovat. To znamená, že pro kabelové izolace musí být zpěnitelné nátěry formulovány odlišně např. od nátěrů na ocel, případně na dřevo, a vznikající pěna musí mít co největší pružnost, pevnost a soudržnost. Musí umožňovat unikání plynů vznikajících při tepelné degradaci izolace pod nátěrem. Její tvorba je žádoucí při co nejnižších teplotách s předpokladem co největší odolnosti vůči působení plamene, proudění vzduchu při požáru a různých agresivních vlivů s ohledem na poměry v kabelových kanálech.

Zpěňovatelné nátěry na ocelových nosných konstrukcích jsou limitovány mezním stavem R, tedy stabilitou staticky zatížené nosné konstrukce. Čím více je

konstrukce ve stavbě zatěžována, tím nižší je její požární odolnost. Zkušebními postupy je uvažováno takové statické zatížení ocelové nosné konstrukce, které vyvolá kritickou ztrátu stability při teplotě cca 470 °C. To jinými slovy znamená, že v daném případě se od nátěru vyžaduje tepelně izolační schopnost, která musí zajistit, aby k překročení tohoto limitu došlo co nejpozději. Současně ovšem musí být pod požárním nátěrem zaručena i dobrá korozní odolnost, což obvykle znamená, že nátěr musí být kompatibilní alespoň s některými anitkorozními nátěry. Jelikož u protipožárních nátěrů se jedná vždy o nátěry s vysokým obsahem sušiny s nízkou odolností proti vodě a agresivním vlivům, musí se tyto nátěry prakticky vždy aplikovat v prostředí, kde jsou proti těmto vlivům chráněny. Vrchní krycí nátěr nesmí bránit vývinu pěnivostné vrstvy a musí mít dobrou adhezi. Tyto nátěry jsou většinou aplikovány na viditelných částech konstrukcí a je od nich žádoucí i estetický efekt.

Zpěňovatelné nátěry na dřevěné konstrukce mohou sloužit ke dvěma různým účelům. Buď přispívají ke snížení hořlavosti upraveného povrchu ve smyslu ČSN 73 0862 (její platnost do 31. 12. 2003) a v takovém případě působí obdobně jako nátěry zábranové. Někdy je od nich vyžadováno i zvýšení požární odolnosti dřevěné nosné konstrukce, obdobně jako u nátěrů na ocel. Nátěry na dřevo musí odpovídat způsobu aplikace s možností penetrace alespoň části nátěru do dřeva, aby tak byla zajištěna dokonalejší soudržnost vznikající pěny s podkladem. Nátěr musí vypěňovat při nízkých teplotách, protože za kritickou mez, při zatížení nosné dřevěné konstrukce, se považuje teplota jádra průřezu cca 120 ° C, resp. teplota vznícení uvažovaná hodnotou větší než 270 °C (cca 300 °C). Často se vyžaduje kompatibilitnost s dalším tzv. krycím nátěrem, který nesmí omezovat tvorbu pěny.

Tabulky 8.1 až 8.3 poskytují částečný přehled v ČR nejpoužívanějším protipožárních nátěrů na konstrukce ocelové, dřevěné a pro protipožární nátěry na kabelových rozvodech.

Tab.8.1 Částečný přehled v ČR nejpoužívanějších protipožárních nátěrů ocelových konstrukcí

Název	Účel	Typ	Původ
DEXAMIN DV/S	ocel, dveře	intumescentní	český
PITTURA IE 20	ocel	intumescentní	italský
PROTION	ocel	intumescentní	český
FLAMIZOL	ocel	intumescentní	český
PROMAPAIN 30	ocel	intumescentní	německý
PYROSTOP STEEL	ocel	intumescentní	slovenský
PLAMOSTOP P9	ocel	intumescentní	český

Tab. 8.2 Částečný přehled v ČR nejpoužívanějších protipožárních nátěrů na dřevěné konstrukce

Název	Účel	Typ	Původ
DEXARYL B	dřevo (PO)	intumescentní	český
DEXARYL B TRANSPARENT	dřevo (PO)	intumescentní	český
PROMADUR	dřevo (PO)	intumescentní	německý
FLAMGARD	dřevo (PO)	intumescentní	český
PYRONIT	dřevo (H)	zábranový	český

Poznámka: H = hořlavost podle ČSN 73 0862; PO = požární odolnost podle ČSN 73 0851

Tab. 8.3 Částečný přehled v ČR nejpoužívanějších protipožárních nátěrů na kabelová vedení

Název	Účel	Typ	Původ
HEAT SHIELD FR 15	kabely, ucpávky	intumescentní	český
DEXAFLAMM R	kabely, ucpávky	zábranový	český
INTUMEX C	kabely, ucpávky	intumescentní	rakouský
DICO H	kabely, ucpávky	zábranový	německý
HILTI CP 671	kabely, ucpávky	intumescentní	německý

S uplatňováním materiálů v pasivní protipožární ochraně souvisí příslušná legislativní opatření, jejichž uplatňování není vždy bezproblémové. Podle doporučení Rady Evropy, zapracovaného do všech posledních novel stavebního zákona, musí mít všechny materiály, používané ve stavbách, při běžné údržbě stejnou životnost jako stavba sama, resp. musí být plně funkční po celou dobu existence stavby (§ 47, odst. 1 zákona č. 50/1976 Sb., v platném znění). Ve stejném duchu jsou i ustanovení platné vyhlášky 137/1998 Sb., zákon 22/1997 Sb., o technických požadavcích na výrobky a některé další předpisy.

Vysokосуšínové protipožární nátěry s obsahem organických aditiv, částečně narušitelných agresivními vlivy prostředí mají zcela nepochybně omezenou životnost, což se prokázalo i některými dlouhodobými testy stárnutí (např. u nátěru DEXAMIN, kde došlo ke snížení funkce po 10 letech za optimálních podmínek uložení o cca 10 až 15 %). Je třeba zmínit vyhlášku MV 246/2001 Sb., o stanovení podmínek požární bezpečnosti a výkonu státního požárního dozoru, kde jsou tyto nátěry zařazeny mezi požárně bezpečnostní zařízení, viz § 1d a §2 f a dále § 6, kde je stanovena povinnost písemně potvrzovat splnění podmínek pro aplikaci požární bezpečnostních zařízení a následně je pravidelně kontrolovat (§ 7 odst. 4) a kontroly dokladovat (§ 10). To v praxi znamená, že pokud výrobce uvádí, že životnost jeho nátěru je neurčitá, je nutno kontrolovat jeho funkci ve smyslu vyhlášky, a to každý rok. Pokud výrobce sděluje, že po uplynutí určité doby (10 a více let), je nutno funkci nátěru zkontrolovat, musí současně uvést, jakým způsobem a vytvořit ve svých technických aplikačních přepisech k takové kontrole možnosti. V opačném případě je třeba mít za to, že po uplynutí stanovené doby funkce systému skončila a musí být obnoven. Funkce protipožárního

nátěru končí tím, že přestává vytvářet dostatečně účinnou pěnovou vrstvu. Tato skutečnost se ovšem nedá zjistit vizuálně, ale výhradně v peci.

Intumescentní nátěry mají svůj význam na otevřených voně přístupných konstrukcích za předpokladu, že jsou provedeny odbornými firmami, které plně ovládají veškeré technologické postupy pro jejich aplikaci a které jsou v tomto smyslu akreditovány. Po aplikaci protipožárních nátěrů by měl být vždy zpracován jednak garanční list, ve kterém prováděcí firma deklaruje, o jakou aplikaci se jednalo a na základě jakých dokladů nátěr provedla, včetně doby předpokládané životnosti. Nedílnou součástí by měly být i náležitosti vyplývající ze zákona 22/1997 Sb.

V provozních předpisech, či v kolaudačním protokolu stavby, kde byly nátěry aplikovány, by mělo být uvedeno, že funkce nátěru musí být nejpozději po výrobcem garantované době funkční životnosti zkontrolována a nátěry podle potřeby opraveny nebo obnoveny. Součástí této dokumentace by měl být i postup, jakým má být funkce nátěru po uplynutí dané doby ověřena.

Na rozdíl od nátěrů na ocelové konstrukce se nátěry na dřevo a dřevěné prvky jeví jako perspektivnější a účelné. Jedná se převážně o systémy, kde je vyžadována požární odolnost do 30 min. V současné době již byla průkazně odzkoušena a certifikována řada transparentních nátěrů v matném i lesklém provedení. Některé z nich jsou klasifikovány až ve stupni/třídě hořlavosti A. Nátěry lze povrchově poměrně snadno odstranit obroušením a omytím vodou, přičemž u nejlepších z nich existuje oprávněný předpoklad minimální životnosti nejméně 10 let. Nátěry musí být prováděny výhradně výrobcem akreditovanou firmou.

## **8.2 Protipožární nástřikové hmoty ve stavebnictví**

Nejstarším takovým materiálem byl jíl a hliněné omítky, kterými byly chráněny dřevěné a rákosové stěny stavebních objektů a které se v mnoha zemích užívají dodnes, i když samozřejmě ne jenom jako ochrana proti požáru. Ke zvýšení požární odolnosti celá staletí sloužily všechny vápenné i cementové omítky, ať již bez výztuže nebo i vyztužené např. rákosou či jinými materiály. Všechny materiály však měly své limity, jejich parametry odpovídaly většinou dnešním omítkám skupiny III a jejich tepelné izolační vlastnosti byly poměrně nízké. Ostatně – i dnes má smysl používání omítek v protipožární ochraně (bez ohledu na zařazení) až od tloušťky 10 mm a více. Po velkých požárech v Praze a Ostravě a zejména s ohledem na přípravu stavby první moderní jaderné elektrárny v Dukovanech se řada výzkumných pracovišť v celé republice začala v 70. letech minulého století intenzivně zabývat vývojem protipožárních hmot. Vedle toho byly pro potřeby velkých administrativních objektů dovozních společností a dalších budov (KOVO, STROJIMPORT, MOTOKOV, CHEMAPOL, Palác kultury), jejichž výstavba byla v uvedených letech zahájena, dováženy protipožární nástřiky ze zahraničí.

K nejlepším tehdy dováženým nástřikům patřil vermikulitový protipožární nástřik THERMAX (ISOVOLTA Vídeň), byl dovážen i nástřik PYROK, jehož výrobní licenci později zakoupilo VD SIAL. Anglická firma J. W. Roberts dodávala pro stavbu některých objektů nástřik LIMPET obsahující až 75 % vláknitého azbestu; pro aplikace bych schválen i nástřik AZBESTOSPRAY. Slovenská firma Prefmonta ověřovala v letech 1978 – 1979 vlastní nástřik TERMIZOL, o něco později n. p. Stavokonstrukce Praha uvedla na trh nástřik UNIPRON - určitou obdobu předchozího PYROKu, ve kterém byl vermikulit nahrazen experlitem. Stavební izolace Praha nabídly k aplikaci

obdobný nástřík obsahující minerální vlákno pod názvem METIZOL P. Velmi dobře propracovaný byl i slovenský nástřík SIBATERM, vyráběný a aplikovaný přibližně do roku 1992 firmou Stavindustria Bratislava. Je třeba zmínit i dovážený maďarský nástřík POLYSTOP K – POLIPLAST, který k nám byl dovážen přibližně ve stejných letech maďarskou firmou Dunamenti.

Většina těchto nástříků dosáhla pouze malého rozšíření a od jejich používání bylo postupně upuštěno.

Výzkumný ústav stavební v Košicích vyvinul v letech 1976 – 1978 protipožární nástřík, kde bylo užito sádry jako pojiva, pod obchodním názvem PYROTHERM. Tento nástřík byl průkazně odzkoušen na ocelové konstrukce a je u nás dosud jediným nástříkem používaným na této bázi. Pokud je přesně dodržena správná aplikační technologie, jedná se o velmi kvalitní a účinný systém.

V letech 1972 - 1974 byl v rámci výzkumného úkolu VVÚSZ v Praze – Malešicích zahájen vývoj prvního skutečně moderního protipožárního nástříkového systému na vápenocementové bázi pod názvem PORFIX. Nástřík se po dořešení aplikační technologie a po dokončení komplexních zkoušek požární odolnosti velmi rychle ujal hlavně proto, že byl včas nalezen i vhodný výrobce. PORFIX byl potom základem pro další zlepšování funkce a aplikačních vlastností a v průběhu několika let (1980) se objevila zlepšená varianta pod názvem TERFIX TCVV 800/400. Dodnes se používají obě varianty. Posledním stupněm v této vývojové řadě je dále zlepšený nástřík TERFIX/TERMO PS a jeho úpravy v podobě koncentrátů.

Na trhu se dodnes udrželo pouze několik systémů, které byly dostatečně propracovány a které dodnes vyhovují náročným měřítkům průběžně se zpřísnujících norem a požadavků.

Současný sortiment na českém trhu doplňuje poslední výrobek průkazně odzkoušený a vyvinutý brněnským VÚSH pod názvem UNIMIX POO. Nástřík je formulován na bázi vermikulitu a lze očekávat, že po dořešení některých technologických problémů s aplikací, s ohledem na své velmi dobré vlastnosti, jistě nalezne uplatnění především pro ochranu ocelových konstrukcí.

Zajímavým byl protipožární nástřík na bázi vodního skla, který se objevil na Slovensku přibližně v letech 1994 – 1995 pod obchodním označením TAHIZOL. Tento nástřík s velmi dobrými funkčními i fyzikálně mechanickými vlastnostmi byl úspěšně odzkoušen ve zkušebně PAVÚS – Veselí nad Lužnicí. Při požáru velmi rychle vytvářel tvrdou dobře tepelně izolující pěnu a jeho objem se během zkoušky zvětšil až 10x.

Na rozdíl od protipožárních nátěrů mají nástříky nesrovnatelně horší vzhled a nelze je použít do běžného interiéru. Jejich povrch je nerovný a až na výjimky je nelze uspokojivě vyhladit. Dodatečná povrchová úprava je značně náročná a dosti nákladná. Jejich objemová hmotnost je proti nátěrům mnohonásobně vyšší, více zatěžují konstrukci, problematická je v řadě případů i jejich adheze k povrchu, zejména u železobetonových prvků z kvalitnějších hutněných nebo propařovaných betonů. Nepříjemné je, že k odpadávání nástříků může dojít až po určité době – někdy i za několik let, kdy už uplynula garanční lhůta a hlavně, kdy už se nástřík mokrou cestou opravuje problematicky. V provozech může být na závalu značně velký povrch nástříku (vzhledem k nerovnostem), což má za následek usazování prachu, který pak lze odstranit jen velmi obtížně. Nástříky jsou také poměrně křehké a nesnášejí dynamické namáhání konstrukce.

Oproti nátěrům však nástříky nabízejí řadu výhod. Umožňují zajistit většinu ocelových, někdy železobetonových nosných konstrukcí prakticky všechny požadavky, kladné projektovými normami, tedy požární odolnost od 15 až do 180 minut, jsou při správné aplikaci a vhodném prostředí stále a stárnou jen velmi pomalu, což znamená, že

jejich parametry zůstávají zachovány dlouhodobě. Na konstrukci nastříkaná vrstva dosahuje po dokončení a vysušení prakticky všech svých vlastností ihned a nikoliv (jako u nátěrů) až při požáru. To také znamená, že nemůže dojít k ovlivnění jejich tepelně izolační funkce jakýmikoliv dalšími změnami konstrukce, dodatečnými obklady nebo jinými úpravami, a proto lze požární odolnost nastříkané konstrukce a následných protipožárních úprav téměř vždy sčítat. Neposlední výhodou jsou ve srovnání s nátěry i výrazně nižší náklady na dosažení požadované požární odolnosti.

Jejich funkce při požáru je dána jejich složením. Jedná se vesměs o silikátové hmoty (viz obr. 8.2), obsahující obvykle lehčené složky s vysokým obsahem vzduchu, případně doplněné o další plniva, zlepšující tepelně izolační vlastnosti. Podmínkou je, aby všechny základní použité materiály odolávaly co nejdéle vysokým teplotám a zůstávaly dlouhodobě stabilní i při běžných provozních podmínkách. Dalším požadavkem je dobrá adheze k podkladu, odolnost proti agresivnímu prostředí a průmyslovým atmosférám, nízká hmotnost a co nejlepší fyzikálně mechanické vlastnosti. Požadavků tedy není málo a téměř žádný z nabízeného sortimentu nástřiků není schopen vyhovět všem; každé materiálové provedení má své výhody a nevýhody.

Mezi nejlepší a technicky nejvýhodnější lze řadit protipožární nástřiky na bázi vermikulitu s přidávkou cementu a vápenného hydrátu. V posledních letech jsou do směsi přidávány i některé typy akrylátových disperzí. S ohledem na obsah vermikulitu mají tyto nástřiky velmi dobré tepelně izolační vlastnosti, což se projevuje nižšími požadavky na výslednou tloušťku ochranné vrstvy. Náklady na tento typ nástřiků bývají obvykle vyšší, úspory lze však dosáhnout jednak nižší spotřebou hmoty a v důsledku toho i nižší pracností.



Obr. 8.2 Protipožární nástřikové hmoty na silikátové bázi

Srovnatelné a z hlediska funkce jen mírně horší jsou nástřiky obsahující totéž pojivo a expandovaný perlit. Pro dosažení stejné požární odolnosti je však zapotřebí silnějších vrstev hmoty a výsledný nástřik má mírně horší fyzikálně mechanické vlastnosti.

Nástřiky na bázi hydrátu síranu vápenatého, tj. sádrové nástřiky, ať již s vermikulitem či experlitem, jsou z funkčního hlediska velmi dobré a plně srovnatelné s předchozími. Jejich výhodou je navíc to, že při teplotách nad 100 °C se ze sádry uvolňuje velké množství chemicky vázané i volné vody, která snižuje v prvních fázích

teplotu plamene a zpomaluje ohřívání nastříkané vrstvy. Naopak podstatnou nevýhodou sádry jako pojiva jsou značné objemové změny při vyšších teplotách, způsobené právě ztrátou vody. Tyto objemové změny mají za následek jednak vznik trhlin v nástřiku, jednak se mohou postupně oddělovat i jednotlivé stříkané vrstvy od sebe. I když je možno velkou část změn eliminovat vyztužením stříkané směsi anorganickými vlákny, je kvalita těchto typů nástřiků přímo závislá na přesné práci, přesném dodržování výrobní technologie a dodržení optimálního stechiometrického poměru vody se sádrou při míchání nástřikové směsi.

### 8.3 Protipožární obkladové materiály

Na rozdíl od protipožárních nátěrů a nástřiků, které jsou do značné míry zaměřeny pouze jedním směrem, a to obvykle na zvýšení požární odolnosti nosných převážně tyčových prvků, mohou být desky a z nich realizované konstrukce využity v daleko širším měřítku. V oblasti požární ochrany je nabízen široký sortiment plně certifikovaných aplikací. Je zřejmé, že vhodnější je zvolit raději dražší, ale předem odzkoušenou a pro daný účel schválenou konstrukci, než dodatečně prokazovat funkci aplikací ze sice levnějších, ale neodzkoušených prvků. To je také důvodem, proč se na českém trhu v oblasti protipožárních deskových systémů vyskytuje poměrně velmi úzký sortiment materiálů. Problémem jsou obvykle náklady na jejich certifikaci a zejména na průkazné zkoušení konečných aplikací.

Desky využitelné v požární ochraně staveb lze rozdělit buď podle materiálu, ze kterého jsou zhotoveny, podle jejich struktury, případně podle jejich chování při požáru.

**Podle struktury** lze desky dělit na:

- a) **Desky homogenní**, tedy desky, jejichž složení je ve všech místech stejné. Deska sama se může skládat např. ze směsi různých velikých částic, včetně případných vyztužujících vláken, ale je zhotovena z této směsi v celém svém průřezu. Do zmíněné skupiny lze zařadit např. vápenocementové desky (např. PROMATECT), desky na bázi vermikulitu (např. THERMAX), sádrovláknité a sádrové desky, desky z minerálních vláken, některé typy cementových desek atd. Patří sem i plně dřevovláknité desky bez ohledu na to, že se jedná o organický materiál. Pokud mají desky ustálenou vlhkost, jsou z požárního hlediska většinou značně odolné proti praskání při vyšších teplotách, obvykle mají i dobré tepelně izolační schopnosti.
- b) **Desky sendvičové** jsou desky opatřené oboustranným pláštěm, obvykle z jiného materiálu. Může mít buď funkci pouze estetickou, tepelně izolační, vyztužující, případně může plnit více funkcí zároveň. Vzhledem k tomu může být proměnlivá i jeho tloušťka. Do této kategorie lze zařadit všechny sádrokartonové desky, některé desky sádrovláknité (FIREBOARD, RIDURIT), cementové desky NOVATONE, ale i většinu montovaných sendvičových prvků s ocelovým či hliníkovým pláštěm a jádrem z minerální vlny, PUR či polystyrenu. Povrchové pláště zajišťují při požáru zvýšenou pevnost, na druhé straně však mohou být zdrojem poruch a deformací, dojde-li k jejich částečnému porušení.
- c) **Desky s nehomogenní strukturou**. Jedná se o desky, ve kterých je jádro i plášť tvořeno stejným materiálem, ale s nehomogenním rozvrstvením hmoty. Jádro desky je obvykle řídké, porézní a směrem k povrchu je hmota ztuhlejší, konečný povrch je potom většinou hladký a tvrdý. Příkladem mohou být cementotřískové desky CETRIS, podobně jsou vyráběny i některé typy

strukturně lehčených PUR desek, určených pro jádra sendvičů. Desky jsou velmi pevné s dobrými fyzikálně mechanickými vlastnostmi, jejich chování při požáru závisí na jejich vnitřní vlhkosti a způsobu ukotvení na konstrukci - vykazují značné objemové změny, způsobené tepelnou roztažností hmoty nebo ztrátou vnitřní vlhkosti, což může vést u některých typů aplikací ke ztrátě celistvosti.

- d) **Desky vrstvené, lamináty.** V nejjednodušším provedení se může jednat např. o překližky, lepené po vrstvách z tenké dýhy, v požární ochraně však nabývají stále většího významu laminátové desky ze speciálních typů epoxidových pryskyřic, kterým se spíše ze setrvačnosti říká „sublimační nátěry“. Deska není užívána jako konstrukční materiál, svými vlastnostmi nabývá až po nanesení a vytvrzení přímo na konstrukci, kdy se laminováním postupně vytvoří tvrdá, podle chráněného podkladu tvarovaná vrstva o tloušťce až 10 mm a více, která se při požáru rozkládá a svými pyrolyzními produkty ochlazuje konstrukční prvek, na kterém je nanesena. Podle typu použitého pojiva má takto vzniklá deska většinou i velmi dobré fyzikálně mechanické vlastnosti a může působit jako dodatečný vyztužující prvek celé konstrukce.

Další existující varianty skladby protipožárních desek jsou méně rozšířeny a uplatňovány. Jak vyplývá z jednotlivých příkladů, jsou fyzikálně mechanické i požárně technické vlastnosti desek většinou odvozeny z vnitřního uspořádání a z materiálu, ze kterého jsou zhotoveny. **Podle složení** lze protipožární desky ve velmi hrubých rysech rozdělit na **desky z anorganických a organických hmot a desky kombinované**. Desky z anorganických hmot jsou představovány deskami cementovými, sádrovými a vápenocementovými. Lze je dále dělit na *desky vyztužené (armované) a nevyztužené (nearmované)*. Z hlediska požárně technických vlastností a využití jednotlivých typů v požární ochraně jsou nejdůležitější desky na anorganické bázi.

Pro všechny skupiny desek je základním kritériem jejich chování při požáru. Hlavními parametry, které jsou od deskových prvků vyžadovány, jsou především tepelně izolační vlastnosti, schopnost desky aktivně působit proti účinku plamene, celistvost desky při zvýšených teplotách, stupeň hořlavosti, případně šíření plamene. Lze konstatovat, že uvedené parametry jsou pro většinu konstrukcí z nich vyrobených určující a vhodnou volbou výchozí desky lze dosáhnout potřebné požární odolnosti konstrukce. Ne ovšem vždy – právě tak, jako u nátěrů či nástřiků lze i velmi kvalitní desku znehodnotit špatným zpracováním.

Deskové obklady jsou obvykle trvanlivé a dlouhodobě nemění vlastnosti, v závislosti na své bázi odolávají vlivům prostředí podstatně více než nátěry a nástřiky, většinou mají i potřebnou konstrukční pevnost a lze z nich montovat dlouhodobě stabilní samonosné konstrukce. Rozhodující význam mají především při plošných aplikacích, kde jsou prakticky nenahraditelné. Dají se dobře esteticky upravovat, lze je (až na výjimky) poměrně snadno zpracovávat, dělit a spojovat běžnými technologiemi a naprostá většina jejich dodavatelů poskytuje k použitým materiálům kompletní servis a technickou dokumentaci.

Podle struktury a výchozího materiálu má každá desková konstrukce své specifické vlastnosti a kritická místa, která je nutno při montáži zohlednit. To je jeden z důvodů, proč nestačí pouze stanovit nebo vypočítat požární odolnost samotné desky, ale proč je nutné vždy uvažovat její velikost i konkrétní způsob aplikace, namáhání a prostředí, ve kterém bude konstrukce uplatněna. Pro výslednou funkci je důležitá nejenom deska samotná, ale i materiál a dimenze nosné konstrukce (pokud je použita), způsob upevnění desek na konstrukci, bez ohledu na to, zda se jedná o obklad, stěnu nebo strop, dilatační spáry mezi deskami, vzdálenosti jednotlivých prvků podpůrných



konstrukcí, způsob podložení a utěsnění spár mezi deskami, kotvení a utěsnění deskových konstrukcí k podlaze, sousedícím stěnám a stropu, těsnění a spojování desek v úhlech k sobě a řada dalších faktorů.

Je třeba brát v úvahu, že téměř každý materiál podléhá při změnách vlhkosti a teploty objemovým i tvarovým změnám, dochází k deformacím a pnutí, které je příčinou narušování struktury, rozevírání trhlin, uvolňování spojů ve spárách atd. Proto je výhodné použití materiálů odolávajících teplotním změnám. To jsou především deskové prvky z nehořlavých, tepelně odolných hmot s homogenní strukturou, případně rovnoměrně armované. Jak již bylo řečeno, patří sem především *desky vápenocementové* a *vermikulitové*. Tyto desky mají minimální tendenci k praskání a vzhledem ke svému složení poměrně velmi dlouho zachovávají celistvost. Deska na bázi vermikulitu o tloušťce 22 mm dosahuje požární odolnosti cca 30 minut, což bylo prokázáno jak výpočtem, tak i informativní zkouškou. Nedochází k popraskání, ale k překročení teplot na odvrácené straně, velmi krátce po překročení mezních teplot se začíná bortit a rozpadat a ztrácí své mechanické vlastnosti. Z hlediska mechanických vlastností jsou v tomto ohledu lepší desky vápenocementové, které jsou i značně odolnější proti vyšší vlhkosti a vodě.

Desky z těchto materiálů jsou proto velmi vhodné pro nejnáročnější aplikace s požadovanou vysokou požární odolností – 90 až 180 minut. Výhodné jsou především tam, kde je možno plně využít jejich velmi dobrých vlastností, tj. pro konstrukce s vysokou požární odolností, nebo tam, kde je to nutné z technických či technologických důvodů. Pro běžné aplikace je určitou nevýhodou poměrně vysoká výchozí cena desek, a proto je nutné u každé aplikace vždy předem vyhodnotit poměr cena/užitné vlastnosti, volit z několika různých materiálových variant a porovnat jejich výhody a nevýhody. Variantních řešení pro různé typy aplikací je na našem trhu celá řada.

Pro suchou montáž velké většiny všech běžných protipožárních konstrukcí s požární odolností 15 až 90 minut je v současné době ve stavebnictví jedním z nejužívanějších materiálů *sádra a desky na její bázi*. Jsou vyráběny 3 základní typy protipožárních desek.

#### **Desky na bázi sádry:**

- a) ***Sádrokartonové desky***, tj sendvičové desky, tvořené oboustranným pláštěm z kartonu, mezi nimž je jádro ze sádry, armované obvykle skleněnými či minerálními vlákny. Desky jsou užívány pro naprostou většinu všech protipožárních obkladů, přiček a stropů, resp. dalších protipožárních aplikací. Jejich velmi dobré požárně technické parametry vyplývají především z vlastností samotné sádry. Tvorbou prasklin deska postupně ztrácí mechanickou pevnost. Podle pozorování při zkouškách dochází obvykle k popraskání požárně odolné desky o standardní tloušťce 12,5 mm při teplotách okolo 680 – 780 °C, tedy přibližně mezi 15. – 20. minutou zkoušky. Okamžik, kdy deska praskne, nelze přesně stanovit. Rozhodující je vnitřní vlhkost, způsob upevnění na konstrukci, vlastnosti a charakter podkladní konstrukce atp. Prasklina také ještě nemusí znamenat ztrátu tepelně izolační funkce celé konstrukce, pokud je konstrukce řešena s další tepelnou izolací. V těchto případech záleží na každém detailu a je proto velmi důležité, aby byly dodrženy veškeré montážní předpisy, uváděné jednotlivými výrobci, protože se jedná o průkazně odzkoušené postupy, ze kterých vycházejí i platné certifikáty k daným materiálům. Protipožární sádrokartonové konstrukce užívají i řadu atypických pomocných materiálů, u některých aplikací musí být dodrženy i některé specifické rozteče nosných

prvků, vzdálenosti od stropních nosníků, způsoby kotvení na svislé prvky. To jsou detaily, které mohou výslednou konstrukci zcela znehodnotit. Protože s ohledem na výše uvedené vlastnosti sádrokartonů nelze požární odolnost požárně dělicí konstrukce tvořené jedinou deskou zaručit, montují se obvykle, a to nejen s ohledem na požární bezpečnost, ale i z pevnostních důvodů, tyto prvky v podobě sendvičových konstrukcí. Jak již bylo řečeno, kritická místa (nejenom u sádrokartonů) jsou spáry mezi deskami a jejich kotvení na nosný rastr, který je u sendvičů pravidlem. V okamžiku, kdy dojde k popraskání pláštěů umístěných směrem k požáru, je pro další osud konstrukce velmi důležité, jak a zda vůbec jsou upevněny vnitřní tepelně izolační desky z minerální vlny (pokud v konstrukci jsou) proti vypadnutí a zda jsou podloženy a dobře zatmeleny spáry vnějšího pláště. V opačném případě dochází ke ztrátě celistvosti a tím i ke ztrátě protipožární funkce celé konstrukce. Velmi důležitý je materiál použitý pro vyrovnání desky proti nosnému rastru. Většina výrobců pro tyto účely doporučuje buď speciální tmel, případně lze užít pásku na bázi kaolinových vláken, zatímco pro běžné nepožární konstrukce se používá páska plastová. Při zkouškách stěnových prvků ze sádrokartonu bylo zjištěno, že záměnou předepsaného tmelení za hořlavou pásku na svislém konstrukčním prvku může dojít ke ztrátě celistvosti konstrukce až o 15 minut dříve proti správně podložené desce. Páska odhoří a deska se na profilu uvolní. Mimo to dochází k rychlejšímu prohoření profilem podložené spáry. Podobné problémy nastanou při záměnách vnitřní izolace z minerálních vláken za jiný typ či jinou tloušťku, při záměně kotvicích elementů atd. Je zřejmé, že čím vyšší jsou požadavky na požární odolnost, tím citlivější je konstrukce na tyto a podobné nedostatky či pochybení.

- b) **Sádrovláknité desky** jsou vyráběny ve dvou různých typech. Buď se jedná opět o desky sendvičové konstrukce, jejichž plášť tvoří skleněná rohož nebo tkanina (v ČR např. FIROBOARD, RIDURIT) nebo o homogenní sádrové desky, vyztužené delšími např. celulózovými vlákny v celém průřezu, avšak bez plášťování (v ČR prodávány pod značkou FERMACEL). Sádrovláknité desky mají proti sádrokartonům vyšší fyzikálně mechanické parametry, objemovou hmotnost až cca  $1200 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , vyšší únosnost pro zavěšení břemene, nižší sklon k praskání a tím i vyšší požární odolnost v konstrukcích, obvykle však i mírně vyšší cenu. Používají se pro montáž obdobně jako desky ze sádrokartonu. Na bázi těchto desek lze realizovat i ty protipožární konstrukce, které ze sádrokartonů řešit nelze (např. podlahy s požární odolností shora až 90 min) a v některých případech úspěšně konkurují i vápenocementovým deskám, proti nimž jsou výrazně levnější.
- c) **Plné sádrové desky** jsou neprávem opomíjeným typem sádrových desek pro konstrukci nenosných příček. Vyrábějí se ve třech základních tloušťkách 60, 80 a 100 mm o základním rozměru cca 600 x 500 mm. Do ČR jsou dodávány zatím dvěma dovozci. Aplikují se technologií přesného zdění na péro a polodrážku. Jejich fyzikálně mechanické vlastnosti jsou srovnatelné, případně lepší než u sádrokartonových sendvičů. Lze jimi bez obtíží řešit nenosné konstrukce s požární odolností od 90 do 180 minut. V závislosti na tloušťce desky jsou stěny samonosné do výšky od 4 do 6 m, a to za cenu v přepočtu na požární odolnost značně nižší než u jiných montovaných konstrukcí.

### **Desky na cementové bázi**

Kvalitních cementových, certifikovaných desek pro požární aplikaci je na našem trhu poměrně velmi málo a jejich užívání pro požárně dělicí konstrukce či obklady není

v současné době příliš rozšířené. Rychlý ústup z trhu byl způsoben především zákazem používání azbestových vláken, které byly pro jejich vyztužování nejčastěji užívány. I když řada výrobců mezitím nahradila azbest vlákny z jiných materiálů, přesto se užívání těchto typů zatím dostatečně neprojevovalo, a to i přesto, že desky na cementové bázi v řadě případů sloužily pro vnější pláště a protipožární úpravy venkovních konstrukcí. Ve srovnání se sádrovými výrobky mají tyto desky některé výhody. Je to především odolnost proti povětrnostním vlivům, vlhkosti a vodě a podstatně lepší jsou i jejich fyzikálně mechanické vlastnosti (u některých desek dosahuje rázová houževnatost až  $8,5 \text{ kJ.m}^{-2}$ , pevnost v tahu za ohybu až 17 MPa). Jsou podstatně těžší (12000 až 1700  $\text{kg.m}^{-3}$ ) a hůře obrobitelné. Jejich požární odolnost je ve srovnání se sádrovými deskami vyšší.

Vedle dříve používaných azbestocementových desek je možno desky na cementové bázi rozdělit do dvou skupin. Jsou to především **desky z cementu** a různých anorganických plniv, písku, Liaporu, obvykle armované dlouhými a krátkými skleněnými vlákny, dále tytéž desky oboustranně plášťované skleněnými tkaninami, případně desky armované skleněnou sítí ve hmotě. K vyztužování jsou užívány speciální alkalirezistentní skleněná vlákna, protože běžné typy skla v alkalickém prostředí hydrolyzují a ztrácí své funkční vlastnosti. V ČR se obdobné desky vyrábějí, pro požární aplikace se však ve větší míře nerozšířily.

Lze očekávat, že v souvislosti s platností norem EN a vstupu ČR do EU naleznou většího rozšíření oboustranně plášťované desky typu AQUAPANEL, jejichž struktura je obdobná sádrovým sendvičům.

Druhou materiálovou skupinou na cementové bázi jsou tzv. **cementotřískové desky**. Jedná se o směs portlandského cementu a různě dlouhých dřevěných třísek, vyráběné lisováním za tepla. Desky mají velmi dobré fyzikálně mechanické vlastnosti a jejich jediný výrobce v ČR – firma CIDEM Hranice a. s. dovedla řešení pod obchodní známkou CETRIS až do konce a desky jsou jako jedny z mála průkazně odzkoušeny v řadě aplikací i k protipožárním účelům. Výsledky zkoušek byly shrnuty v katalogu a certifikovány podle zákona č. 22/1997 Sb. Z požárního hlediska jsou odzkoušeny dřevěné stropy se zavěšeným podhledem, případně s přímým obkladem jako konstrukce REI, požárně dělicí příčky a stěny až ERI 120 a předsazené stěny a obklady ocelových nosníků a sloupů. Hlavní předností obkladů je možnost jejich aplikací v exteriéru.

### **Vápenocementové desky**

Vápenocementové (kalciumsilikátové) desky patří k nejkvalitnějším a nejbezpečnějším materiálům pro aplikace v požární ochraně. Desky jsou vyráběny za vysoké teploty a tlaku v různých tloušťkách a formátech, přičemž podle zvolené technologie a materiálu lze získat i výrobky s různými vlastnostmi. Desky mají i poměrně dobré fyzikálně mechanické vlastnosti a při požáru nepraskají, resp. zůstávají obvykle až do ztráty tepelně izolačních schopností celistvé. To umožňuje vyrábět z nich i jednoplášťové prostorové konstrukce, např. vzduchotechnická vedení a zejména potrubí, užívané pro odvod tepla a kouře, kde nelze používat plech či prvky z jiných materiálů. Po impregnaci jsou použitelné i ve vlhkých prostorách. Vyrábí je v současné době v zahraničí již řada výrobců a do ČR je pro požární aplikace (na základě velmi propracovaného a plně certifikovaného katalogu) dováží firma PROMAT s. r. o. V poslední době se začínají objevovat obdobné desky německé firmy SILKA (zatím pro nepožární účely). O vstupu na náš trh již delší dobu uvažuje firma CAPE Boards Limited - další světový výrobce uvedených desek. Lze očekávat, že po vstupu ČR do EU dojde i na našem trhu k velmi žádoucí konkurenci výrobců a tím k poklesu dosud

vysokých cen, což umožní širší využití desek i tam, kde to dosud právě ze zmíněných důvodů není možné.

### **Desky na bázi vermikulitu**

S ohledem na své složení jsou desky z těchto materiálů vysoce odolné proti vysokým teplotám, a proto jsou předurčeny pro různé typy aplikací v požární ochraně. Jsou vyráběny v různém provedení a s různými objemovými hmotnostmi od cca 450 do 9000 kg.m<sup>-3</sup>. Protože se dobře zpracovávají běžnými technologiemi, jsou vítaným materiálem pro různé typy prostorových konstrukčních prvků, sloužících protipožární ochraně. Variantní typy desek jsou průkazně odzkoušeny – obdobně jako desky vápenosilikátové – pro velkou většinu protipožárních aplikací, počínaje stěnami a příčkami přes obklady, podhledy až po vzduchotechnická potrubí a potrubí pro odvod kouře a tepla. Svými tepelně izolačními vlastnostmi jsou plně srovnatelné s kalciumsilikátovými, avšak jejich fyzikálně mechanické vlastnosti jsou poněkud horší. Značnou nevýhodou je nízká odolnost proti vlhkosti a vodě, kterou je možno snížit pomocí různých hydrofobních impregnací, ale ani pak je nelze užít do prostředí, kde by byly trvale namáhány při zvýšené vlhkosti nad 75 – 80 %.

Na našem trhu jsou zastoupeny firmou THERMAX Brandschutzteile Gesellschaft, která v ČR nabízí řadu certifikovaných protipožárních aplikací v rámci svého schváleného katalogu.

V letech 2000 až 2002 byla výroba podobných desek zavedena i v ČR a desky na této bázi nabízí v současné době i firma Grena a. s., která na trh uvedla hned dva typy. Typ GREMAT B obsahuje vedle vermikulitu i určitý podíl dřevěných třísek, které desky činí značně pevnějšími, než je typ GREMAT A s vermikulitem. Firma výrobu obou typů dovedla až do stavebnicového systému s různými druhy povrchových úprav počínaje kaširovaným papírem až po povrchy, opatřené různými druhy dých a laminátů.

### **Desky na bázi minerálních vláken**

Desky z minerálních vláken představují poněkud specifickou kategorii. Na rozdíl od všech dosud uvedených desek nejde o konstrukční prvky. Jejich aplikace mohou sloužit výhradně pro zvýšení požární odolnosti konstrukcí, vyrobených z jiných hmot. Nejčastěji jsou používány ve formě tepelných izolací v sendvičových stěnách, montovaných z jiných požárně odolných desek (sádkartonové, sádrovláknité, cementotřískové, vermikulitové nebo vápenocementové sendviče), jako výplně křídel požárních uzávěrů atd. Firmou Knauf byly provedeny průkazné zkoušky stěnových prvků, u kterých bylo prokázáno, že při správném kotvení výztuží k nosným elementům byla záměny vnitřní minerální izolace (při stejné skladbě obou plášťů) zvýšena požární odolnost příček až o 60 minut.

Obdobně jsou desky a rohože z minerálních vláken užívány již řadu let pro zvýšení požární odolnosti vzduchotechnického potrubí a ve formě lisovaných povrchově upravených tenkých desek i jako požárně odolné kazetové podhledy.

Před několika lety byl vyvinut speciální typ desek na bázi čedičové vlny s označením ORSILL PYRO a na jejich základě byl navržen a průkazně odzkoušen obkladový systém ORDEXAL. Během roku 2002 byly provedeny některé další zkoušky ve zkušebně PAVÚS a. s. Veselí nad Lužnicí a ve spolupráci s REPO Praha byla dokončena další samostatná aplikace – požární izolace plastových instalačních potrubí na bázi PVC a PE až do průměru 500 mm, je možno užívat lepené obklady ORDEXAL i pro zvýšení požární odolnosti zděných a silnostěnných plechových stěn stavebních prvků a technologických zařízení. V řešení jsou i nové typy kabelových postupů a

žlabů, dořešena byla i otázka povrchových estetických úprav a aplikace materiálů ve venkovním prostředí a na válcových sloupech. Tuzemské lepené obklady ORDEXAL jsou v současné době samostatnou kategorií v oblasti požární ochrany a již dnes lze konstatovat, že se podařilo vyvinout a certifikovat ucelený systém, který díky velmi stabilním deskám a spolehlivému kotvicímu systému představuje technicky i ekonomicky srovnatelnou alternativu dosud užívaným materiálům zvyšujícím požární odolnost konstrukcí. K tomu je nutno připomenout, že se jedná zároveň o multifunkční řešení zajišťující současně zateplení interiéru a zlepšení jeho akustických parametrů, dobře snášející i vibrace a dynamické rázy.

Z hlediska počtu a rozšíření protipožárních aplikací ve stavebnictví jsou v interiéru jednoznačně prioritní sádkartonové desky a konstrukce z nich, a to především v podobě stěn a stropů, obkladů dřeva a ocelových konstrukcí. Za nimi ve stejných typech aplikací následují sádrovláknité desky, kde je však patrný posun směrem k vyššímu požárnímu odolnostem. Zajímavé je, že desky s celulozovými vlákny (Fermacel) se u nás příliš nerozšířily, ačkoliv jsou v zahraničí, zejména v Německu, užívány ve značně větší míře, zejména s ohledem na svoji vyšší pevnost. Poněkud jsou opomíjeny konstrukce ze sádrových desek pro přesné zdění, a to i přesto, že se před léty u nás poměrně často používaly (desky PROMONTA). Jejich montáž umožňuje aplikaci poměrně stabilních nenosných stěn se zaručenou požární odolností.

Pro aplikace ve venkovním prostředí jsou k dispozici zatím desky CETRIS, v současné době lze po povrchových úpravách využít i desky ORDEXAL a po impregnaci snad i desky na vápenosilikátové bázi. Budoucí praktické využívání prověří cementové desky AQUAPANEL.

Vápenosilikátové desky lze použít téměř univerzálně. Výroba desek je technologicky náročná a tedy i jejich cena je nutně vyšší.

Desky na bázi vermikulitu jsou z požárního hlediska velmi dobré a v některých aplikacích předčí i desky kalciumsilikátové. Aplikace desek je vhodná výhradně do interiéru, a to pouze do vlhkostně ustáleného prostředí. Citlivost desek na vlhkost je vysoká a je nutné ji respektovat. Po dokončení montáže a při respektování všech technologických postupů výrobců lze považovat takové konstrukce za velmi bezpečné a z požárního hlediska za spolehlivé. Je předpoklad, že z hlediska prostředí budou zajímavé desky GRENAMAT, protože jejich výrobce nabízí v sortimentu i desky oboustranně opláštěvané. To může zvýšit jejich stabilitu i při vyšší vlhkosti.

Desky na bázi minerálních vláken jsou považovány i nadále za velmi perspektivní. Jejich protipožární aplikace jsou na prahu svého dalšího vývoje, především proto, že jsou polyfunkční a ekonomické, nadměrně nezatěžují stavbu, mají dlouhodobou životnost a řadu dalších pozitivních parametrů.

Všechny protipožární konstrukce a jakákoliv požární opatření zvyšující požární bezpečnost staveb by měly provádět zásadně jen odborné a řádně zaškolené firmy.

## **8.4 Ochrana ocelových konstrukcí**

V předchozím textu byly uvedeny nejpoužívanější způsoby protipožární ochrany. K nim se řadí kromě nátěrů i nástřiky a omítkoviny, obklady, systémy zajišťující ochlazování tepelně namáhaných konstrukcí atp..

#### 8.4.1 Protipožární nátěrové systémy pro ochranu ocelových konstrukcí

Při uplatnění protipožárních nátěrů je vhodné hovořit o nátěrovém systému. Antipyrénní nátěrová technologie totiž obvykle vyžaduje několikavrstvý nános účinného nátěru, často antikorozi a podkladní nátěr a povrchovou krycí nátěrovou vrstvu. U protipožárních nátěrových systémů používaných na ocelové konstrukce se vesměs jedná o nátěry intumescentní. Funkce intumescentních nátěrů je dána tvorbou uhlíkaté pěny, vznikající při styku s plamenem. Tepelně izolační schopnost této pěny, její struktura, výška a adhezni schopnost za podmínek požáru, to jsou limitující faktory, které ovlivňují požární odolnost takto chráněné konstrukce. Bližší údaje o některých protipožárních nátěrových systémech:

DEXAMIN – DV/S - protipožární nátěr na ocelové konstrukce české provenience, který umožňuje použití do prostředí s vyšší r. v. v. Odolává i poměrně agresivní průmyslové atmosféře. S ohledem na své složení je použitelný do chemických provozů, pokud v nich nedochází ke kondenzaci vodních par. Je schválen pro aplikaci v potravinářských provozech pro nepřímý styk s potravinami a pokrývá oblasti od 15 do 60 min (dle ČSN 73 0851). Nátěr splňuje veškeré podmínky stavebního zákona.

PITTURA IE20 - nátěr na ocelové konstrukce. Rozsah použitelnosti je od 15 do 45 min požární odolnosti. Umožňuje libovolné barevné úpravy a s ohledem na své složení je poměrně odolný i proti agresivitě prostředí. Je určen výhradně pro použití v interiéru s maximální relativní vlhkostí vzduchu 80 %.

BARRIER All Acqua - je vyráběn na vodou ředitelné bázi, byl schválen pro nepřímý styk s potravinami. Použitelný pro požární odolnost od 15 do 30 min, pro některé nosníky a sloupy i do 45 min.

BARRIER 95 - je novější verze téhož italského výrobce. Zkoušky v Požárně atestačním a výzkumném ústavu stavebním byly provedeny v roce 1995 s pozitivními výsledky. Jedná se opět o ředitelný disperzní systém, jehož největší předností je rozšířená oblast použití i pro subtilnější konstrukce. Byl ověřován pro prvky s O/A = 400 a méně, a to na 15 až 30 min požární odolnosti. Vyhověl požadavkům na 45 min až do O/A = 320, tedy pro všechny běžně užívané tyčové prvky.

PROMAPAIN 30 - je certifikovaný nátěr na ocelové konstrukce atestovaný pro rozsah požární odolnosti 15 až 30 min a pro prvky do O/A = 300 a méně.

FLAMMO-PLAST SP30 - byl testován pro stejný rozsah požární odolnosti jako uvedený PROMAPAIN.

HEAT SHIELD - je v ČR vyráběn licenčně v několika modifikacích, které jsou použitelné na ochranu kovových konstrukcí, ale zejména elektrokabelů a plastických hmot.

Z dalších protipožárních nátěrových systémů je možno uvést např. kvalitní přípravky H.C.A dodávané firmou Flame Guard Praha, s.r.o., nátěr Pyrostop, PITTURA IE30, případně a řadu dalších (částečný přehled viz tab. 7.7).

Uvedené přípravky jsou nátěry intumescentní, určené pro aplikaci do interiéru a prostředí s limitovanou relativní vlhkostí. Vzhledem k tloušťce nánosu nelze hovořit o zatěžování chráněné konstrukce hmotností nátěru ( $< 1 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ ). Vyrábějí se obvykle i v barevné škále a poskytují kvalitní a estetický povrch. Jejich negativní stránkou je omezená životnost a funkční použitelnost.

#### 8.4.2 Protipožární nástřiky a tepelně izolační omítky ocelových konstrukcí

Z protipožárních nástřikových systémů náleží v ČR k dosud nejpoužívanějším např. PORFIX, TERFIX TCVV 800/400 a TERFIX/TERMO PS.

Původní TERFIX TCVV je testován průběžně ve velmi těžkých podmínkách (exteriér, průmyslová atmosféra) již po dobu řady let a nevykazuje známky většího poškození i ve vrstvách o tl. 30 - 40 mm. Životnost TERFIXU a PORFIXU v interiéru je prokázána již po dobu zhruba 20 let. Uvedeným nástřikovým hmotám byly uděleny platné certifikáty.

ANTIPYRONÁT - tvoří přechod mezi nátěrem a omítkovinou.

TAHIZOL - protipožární nástřik novější generace (1995). Byly provedeny průkazné zkoušky v PAVÚS, a to s velmi dobrými výsledky. Je prvním představitelem intumescentních silikátových nástřiků chránících nejenom ve funkci tepelně izolační omítky, ale i jako částečně zpěňující hmota. Při napěnění slabě sintruje a vytváří silikátové pěny vzdáleně podobné plynosilikátům. Z hlediska složení je reálná pravděpodobnost jeho vysoké životnosti. Dobrá účinnost a ostatní vlastnosti ho činily perspektivním i s ohledem na požadavky stavebního zákona. V současné době se nevyrábí.

Protipožární nástřiky a omítkoviny se uplatní především do interiérů. Do prostředí s vysokou r.v.v jsou vhodné jen při aplikaci hydrofobizujících povrchových úprav. Pro použití v externím prostředí jsou (až na výjimky) nevhodné. Objemová hmotnost 450 - 650 kg.m<sup>-3</sup>, případně i více, dlouhodobá životnost a funkčnost, poměrně příznivá pořizovací cena. Protipožární nástřiky lze kombinovat s obklady, což může vést k dalšímu zvýšení požární odolnosti chráněné konstrukce, avšak jen při vhodném konstrukčním řešení.

#### 8.4.3 Protipožární obklady používané na ocelové konstrukce

Vzhledem k tomu, že protipožární obklad poskytuje mnohem vyšší garance dlouhodobé funkce a životnosti, lze očekávat, že se pozitivní trend jejich používání bude i nadále prohlubovat. Obklady vyžadují dobré znalosti technologických a montážních postupů a nelze u nich podceňovat ani technickou přípravu. Na rozdíl od nátěrů či nástřiků, kde je obvykle postačující dimenzační tabulka a přepočet tloušťky podle tvarového faktoru O/A, je u obkladů nutno vždy posuzovat i jeho konstrukční řešení a soulad s konstrukčním řešením ve schváleném katalogu výrobce.

Velmi úspěšně se na náš trh uvedly např. firmy PROMAT a KNAUF, nabízející kompletní katalog průkazně odzkoušených a schválených aplikací. Každá uvedená aplikace byla samostatně posouzena a schválena PAVÚS i HZS. Uvedené katalogy nabízí i řešení na téměř všechny konstrukční prvky objektu.

Velmi dobrý materiál na bázi vermikulitu byl komplexně odzkoušen firmou THERMAX. Obklady ocelových konstrukcí deskami THERMAX SNO 450, THERMAX M, THERMAX SL, THERMAX MA a THERMAX A byly testovány a celkově posouzeny k aplikaci až do 180 min požární odolnosti.

Pro firmu KNAUF byl úspěšně testován soubor deskových obkladů. Tento známý výrobce nabízí široký sortiment výrobků na bázi sádrovláknitých desek, uváděných na trh pod značkou FIREBOARD. Obklady lze rovněž navrhnout pro požární odolnost až 180 min.

K sádrovláknitým deskám náleží i desky FERMACEL. Obdobně jako u desek FIREBOARD je jejich použití vhodné do interiérů. Pro prostředí s vyšší r.v.v. je lze impregnovat. Vyznačují se dobrou mechanickou pevností, objemovou hmotností až do

1300 kg.m<sup>-3</sup> a vysokou životností. Sádroláknité desky jsou však cenově nad cenou obkladů sádrokartonových.

Již v dřívější době podala firma EZA Šumperk ke komplexní atestaci cementovláknitý deskový materiál DEKALIT P. Výsledky zkoušek byly průkazné a poskytovaly možnost aplikace na ocelové konstrukce až do požární odolnosti 120 min. Podle údajů výrobce podléhá DEKALIT P objemovým změnám.

Vysokou kvalitu potvrdily průkazné zkoušky obkladů na bázi minerální vlny ORSIL S. Byla provedena zkouška na nosníku IPE 140, na které se současně ověřila jednoduchá a rychlá montáž lepením. Zkouškou bylo dle ČSN 73 0851 dosaženo faktické požární odolnosti 165 min.

ORDEXAL OK. K podkladu se lepí disperzním pružným tmelem s dobrou tepelnou odolností a stabilizuje se kovovými spojovacími prvky. Střední hmotnost 700 – 800 kg.m<sup>-3</sup>, lze je kombinovat s nástřiky a výslednou požární odolnost sčítat. Tuzemský výrobce, firma J. Seidl a spol., s.r.o., uvádí dobrou účinnost a dlouhodobou životnost.

Firma CIDEM Hranice a.s. provedla v PAVÚS průkazné zkoušky desek CETRIS. Obklady ocelových konstrukcí jsou rovněž montovány na zkušební nosník IPE 140. Pro požární účely jsou postupně zkoušeny stěnové a stropní prvky, i prvky pro vzduchotechnická potrubí. Dobré mechanické vlastnosti těchto desek mohou na našem trhu zajistit existenci dosud chybějícího vhodného materiálu. Určitým nedostatkem je vysoká objemová hmotnost. Částečný přehled deskových materiálů uvádí tab. 7.8.

Protipožární obklady na bázi sádrokartonu (objemová hmotnost 750 - 800 kg.m<sup>-3</sup>) jsou charakterizovány dobrou účinností a dlouhou životností. Lze je kombinovat s protipožárními nástřiky a lepenými obklady.

Lepené obkladové materiály jsou určeny především do interiéru, maximální, lze je kombinovat i s jinými vhodnými protipožárními úpravami.

Sádroláknité desky ( $\rho_0$  až 1300 kg.m<sup>-3</sup>) jsou představiteli materiálů, které výrazně přispívají ke zvýšení požární odolnosti konstrukcí. Ostatní vlastnosti viz např. FIREBOARD a FERMACEL.

## **8.5 Materiály pro ochranu dřevěných konstrukcí**

Nejběžnější antipyretní ochranou dřevěných konstrukcí jsou protipožární nátěrové systémy, případně impregnace. Lze také uplatnit protipožární nástřiky a obkladové materiály.

### **8.5.1 Protipožární nátěrové systémy uplatňované na dřevěné konstrukce**

#### **a) úprava hořlavosti**

Povrchová protipožární ochrana materiálů na bázi dřeva prokazuje své opodstatnění především v úpravě stupně hořlavosti chráněných materiálů. Přestože je vyráběna řada protipožárních nátěrových systémů, lze s ohledem na povinnost jejich schvalování uvést především DEXARYL, PYRONIT, PITTURA, FLAME GUARD, příp. PROMADUR. Uvedené přípravky snižují hořlavost dřeva do stupně hořlavosti C1 až A (ČSN 73 0862), ovšem jen po časově omezenou dobu a nikoliv v celé délce trvání požáru.

#### **b) úprava požární odolnosti**



Pro zvýšení požární odolnosti je z tuzemských přípravků vhodný především nátěr DEXARYL B a jeho transparentní varianta DEXARYL B - transparent. Uvedený nátěr zvyšuje požární odolnost svislých prvků minimálně o 15 min u průřezu 100 x 100 mm, u vodorovných prvků stejného průřezu o 10 min. Požární odolnosti 30 min lze dosáhnout u průřezu 130 x 130 mm u sloupů a 100 x 145 mm u vodorovných nosníků. Pomocí speciální konstrukční úpravy lze po dobu 30 min chránit i prvky menšího průřezu či jiného charakteru.

K požárním nátěrům lze obecně říci, že vesměs neodolávají vodě a vysoké vlhkosti nad 80 % r.v.v. To znamená, že při použití na požárně dělicí konstrukce se znemožňuje jejich čištění a mytí, což je aktuální např. u vstupních dveří bytových jednotek a dalších konstrukcí. Mimo to nelze srovnávat s běžnými nátěry ani kvalitu povrchu těchto systémů.

### **8.5.2 Protipožární nástřiky na dřevo**

Pro zvýšení požární odolnosti dřevěných konstrukcí byly provedeny průkazné testy již zmíněné tepelně izolační omítky PORFIX, TERFIX a dalších. U TERFIXu lze např. 10 mm silným nástřikem zvýšit požární odolnost dřevěného tyčového prvku až o 20 min. Účinnost nástřiků na dřevěných konstrukcích je však nižší než u prvků ocelových nebo železobetonových. Ochrana tímto způsobem je proto jednak dražší a z estetického hlediska i podstatně horší.

Protipožární nástřiky na dřevo mohou být používány pro zvýšení požární odolnosti výhradně na pletivu při minimální tloušťce nástřiku 10 mm a na konstrukce stanovených průřezů.

### **8.5.3 Obkladové materiály dřevěných konstrukcí**

K obkladům dřevěných nosných konstrukcí je možno vesměs použít tytéž druhy obkladových desek jako pro ocelové konstrukce. Z průkazně testovaných deskových obkladů lze uvést desky THERMAX, PROMATECT, CETRIS a řadu dalších, především sádrovláknité a sádrokartonové desky (viz kap. 8.3). Obklady na dřevěných konstrukcích testovaly některé firmy, např. firma KNAUF - sádrokarton GKF pro vodorovné nosníky. Nověji byly firmou J. Seidl a spol., s.r.o. úspěšně testovány protipožární obklady ORDEXAL.

## **8.6 Materiály pro ochranu vyztužených betonových konstrukcí**

U železových betonů, či betonů s jiným druhem výztuže, zajišťuje tepelnou ochranu výztuže především tzv. krycí betonová vrstva. Zvyšování její tloušťky zvyšuje i požární odolnost stavebního prvku či konstrukce. Návrh tloušťky krycí vrstvy je realizován nejen s ohledem na statické požadavky, ale i na požadavky požární bezpečnosti staveb. Pozitivní ovlivnění požární odolnosti lze podpořit i vhodnými nátěry, nástřiky (omítkovinami), obklady nebo jiným účinným systémem.

Desky ORSIL PYRO jsou základem nového obkladového deskového systému ORDEXAL ZLB. Desky jsou vyrobeny z rozvlákněné taveniny zejména směsi čediče a vysokopecní strusky. K podkladu se lepí disperzním pružným tmelem s dobrou tepelnou odolností a stabilizuje se kovovými spojovacími prvky.

### **8.6.1 Protipožární nátěry, nástřiky a obklady**

V ČR dosud nebyly žádné účinné a vhodné protipožární nátěry pro výlučnou ochranu železového betonu testovány. Orientační zkoušky sice naznačovaly úspěšnou aplikaci protipožárních nátěrů i na železobetonové konstrukce, výsledky průkazných zkoušek však nejsou k dispozici.

Nástřikové hmoty PORFIX, TERFIX, THERMO a sádrové omítky byly na betonových konstrukcích ověřeny jednak příslušnými zkušebními testy, ale i praxí. Předpjaté železobetonové konstrukce je nutno posuzovat individuálně. Protipožární obklady nosných železobetonových prvků v podobě jaké se uplatňují u ocelových sloupů či nosníků nabízí v průkazné formě výrobce desek THERMAX. Mají komplexně řešenou ochranu železobetonu (viz směrnice 97.02), a to včetně předpjatých prvků. Aplikace je možná v interiéru s max. 80% r.v.v. Perspektivními jsou zejména lepené protipožární obkladové systémy ORDEXAL ZLB. Jsou vhodné jak do běžných vytápěných i nevytápěných interiérů, tak i do průmyslových prostředí.

Funkci obkladů lze odvodit přepočtem obdobných materiálů podle jejich tloušťky s ohledem na to, že obklady v podstatě zvyšují krytí tahové výztuže. Tento výpočet je možný za podmínky, že koeficient tepelné vodivosti použitých materiálů bude srovnatelný s jeho hodnotou pro beton nebo omítku příslušné třídy.

## **8.7 Materiály pro stěnové prvky**

Požadavky požární odolnosti stěnových konstrukcí, ať již se jedná o stěny nosné či nenosné, může splnit použití vhodných protipožárních materiálů. Především se jedná o materiály deskové, viz předchozí kapitoly.

### **8.7.1 Nenosné stěny a příčky jako požárně dělicí konstrukce**

U těchto konstrukcí lze zmínit jednak veškeré montované stěny a příčky na bázi sádrokartonů různých značek s minerální výplní nebo bez ní a s požární odolností 30 - 90 min. Dále stěny a příčky na bázi desek FIREBOARD nebo THERMAX SNO 450 s požární odolností 30 - 120 min. Obdobně lze uvést i příčky a přepážky na bázi desek SKLO-BET, stěny na bázi desek PROMATECT L a H, které vykazují požární odolnost až do 180 min. Kromě těchto materiálů byla testována i řada stěnových prvků s obvyklou požární odolností od 15 do 90 min na bázi desek CETRIS, DEKALIT, NOVOS, PYROLIT atd. Jednotlivé stěny se od sebe liší obvykle pouze použitým typem deskového materiálu, fyzikálně mechanickými vlastnostmi a konstrukčním řešením.

### **8.7.2 Svislé požárně dělicí konstrukce**

Svislé požárně dělicí konstrukce jsou představovány prioritně požárně dělicími stěnami. Mohou být realizovány jako jednovrstvé nebo jako sendvičové systémy, sestavované s použitím protipožárních deskových materiálů.

Z dosud průkazně testovaných systémů je možno zmínit např. stěny na bázi desek PROMATECT H s požární odolností 90 - 180 min s kovovou nosnou konstrukcí, alternativně i hrázděné dřevěné nosné konstrukce s požární odolností 30 - 90 min rovněž s pláštěm na bázi desek PROMATECT H. Nabídku v tomto sortimentu dále rozšiřují sádrovláknité, silikátové, minerální či jiné desky (THERMAX, DEKALI P, CETRIS, FERMACEL atd.).

Specifickou oblast tvoří uplatnění skelných materiálů. Je možno je použít na prosklené nebo celoskleněné svislé požárně dělicí konstrukce (např. PILKINGTON, PYROBEL, NEOCERAN) nebo jako deskový materiál z pěnového skla (FOAMGLASS, SPUMAVIT). Při jejich uplatnění je nutno respektovat maximální možné plošné rozměry použitých skelných tabulí či desek a řadu dalších především technologických podmínek.

Protipožární rolety, např. fy Bolton Brady, jsou zatím pro zvýšení požární bezpečnosti stavebních objektů v ČR spíše výjimečným řešením.

## 8.8 Materiály upravující požární odolnost vodorovných konstrukcí

Požární odolnost vodorovných konstrukcí, tj. stropů a případně střech, je možno pozitivně upravit např. deskovými materiály (zavěšené podhledy) nebo protipožárními nástříky či nátěry.

- a) zavěšené podhledy** - bezesparé zavěšené podhledy existují např. na bázi sádkartonových desek. Z běžného sortimentu používaného v ČR lze na základě testů realizovaných firmou KNAUF zmínit jednoplášťový podhled včetně zateplení, který dle ČSN 73 0856 vykázal 45 min požární odolnosti. Pro vyšší požární odolnost je vhodné tepelně i zvukově izolované požární podhledy používat např. z desek THERMAX nebo PROMATECT, které zvyšují požární odolnost až do 120 min. Kazetové podhledy z desek THERMAX ARMSTRONG, OWA, ROCKFON nebo DONN vykazují požární odolnost rovněž do 120 min, a to včetně zapuštěných svítidel a povrchových úprav. Tyto podhledy lze aplikovat jak na ocelovou, tak i na železobetonovou nebo dřevěnou nosnou konstrukci. Uvedené možnosti realizace úprav požární odolnosti vodorovných konstrukcí jsou jen dílčím výčtem současných možností v této oblasti.
- b) nástřikové materiály** - pro zvýšení požární odolnosti železobetonových stropních podhledů lze uplatnit např. TERFIX, PORFIX a THERMO. V závislosti na tloušťce krytí hlavní výztuže lze dosáhnout požární odolnosti až 180 min.

Bližší údaje k nástřikovým (i nátěrovým) materiálům vhodným pro zvýšení požární odolnosti ocelových konstrukcí viz kap. 7.

## 8.9 Ochrana energetických rozvodů

Pro protipožární ochranu kabelových vedení a všech jeho součástí se uplatňuje ochranný systém, zahrnující nátěry (zábranové, zpěňovatelné); nástříky; svislé a vodorovné ucpávky a manžety (tvrdé, měkké, rozebíratelné); přepážky; ochranné rohože (zábranové, zpěňovatelné), případně jiné systémy. Některé z používaných materiálů:

- a) kabelové izolace** - i přes řadu nových nátěrových systémů, které se k nám ze zahraničí dodávají, vyhovuje nadále díky výsledkům u průkazných zkoušek, a to i podle nových předpisů, tuzemský výrobek DEXAFLAMM-R. Pro nástříky kabelových izolací na intumescentní bázi, vyhovující IEC 332-3, resp. IEC 331, je možno zmínit i další schválené prostředky jako např. HEAT SHIELD, FLAMMOPLAST KS a další. Alternativně pro určité aplikace i nátěr patřící do systému rakouské firmy Chemie Linz pod označením INTUMEX C. V současné době existuje i několik dalších vhodných nátěrů na intumescentní bázi.

**b) materiály pro kabelové ucpávky** - koncem r. 1994 byly provedeny zkoušky požárně těsnících vložek PTV, a to jak ve vodorovné, tak i ve svislé poloze. Výsledky těchto zkoušek splnily očekávání a PTV vyhověly pro všechny ucpávky s požární odolností 60 min. V dalších letech se sortiment podstatně rozšířil. Pro ucpávky kabelových rozvodů a jednotlivých kabelů všech typů a provedení ve stěnách a stropech, při použití převážně v prostředí s vyloučením tekoucí nebo kapající vody, je možno nyní uplatnit systémy INTUMEX, HILTI, PROMASTOP, MV/DEX, DICO atd. Jsou rovněž používány těsnící manžety, zpěnitelné malty, pružný termicky odolný tmel DEXAFLAMM – R, pružná požárně těsnící pěna FOMOX atp.

System MV-DEX, tzn. měkké ucpávky na bázi minerální vlny je systémem, který splnil požadavek na požární odolnost 90 min ve svislé i vodorovné poloze a 120 min pro jednotlivé kabely a těsnění otvorů do velikosti 100 x 100 mm.

Srovnatelné, v některých případech i lepší výsledky, byly dosaženy se systémem INTUMEX, kde v řadě případů byla ověřena požární odolnost až 120 min, a to jak u ucpávek z intumescentních polštářků, tak i u ucpávek měkkých. Byly testovány i další systémy firem HILTI, SVT Brandschutz a EVENARIUS a další.

## Seznam použité literatury

- Fraňo, V. a kol.: Stavební látky. Bratislava, *SNTL-Alfa*, 1984.
- Kolář, K. a kol.: Stavební hmoty. *Skriptum, ČVUT, Praha*, 1983.
- Macek, K. a kol.: Struktura a vlastnosti konstrukčních materiálů. *Skriptum, ČVUT, Praha*, 1996.
- Ševěček, P., Netopilová, M.: Nauka o materiálu. Požárně technické vlastnosti syntetických a přírodních materiálů. *Skriptum, Ostrava, VŠB*, 1984.
- Mikolaj, I., Olbřímek, J.: Zasklené požiarne steny. In *150 Hoří, r. VIII / 2, Praha*, 1998, s. 8 – 11.
- Netopilová, M.: Stavební materiály a jejich požárně technické charakteristiky. In *Stavební aktuality, 10*, 1994.
- Netopilová, M., Filipi, B.: Vliv stárnutí antipyrénních nátěrových systémů na jejich kvalitu. In *Sborník mezinárodní vědecké konference, Ostrava, VŠB-TUO*, 1995.
- Netopilová, M.: Účinek solární radiace na kvalitu intumescentních nátěrových systémů. In *Drevo, ALFA Bratislava, 10/1995*.
- Netopilová, M.: Retardační látky a způsoby retardace dřeva. In *Biologická a protipožární ochrana dřeva. Žilina, DT ČSVTS*, 1990.
- Netopilová, M.: Požárně technické charakteristiky dřeva, jejich úprava a testování. *Habilitační práce, Ostrava, VŠB-TUO*, 1996, 99 s.
- Netopilová, M.: Antipyrénní nátěrové systémy stavebních materiálů a jejich degradace. In *Sborník sympozia Údržba, rekonstrukce a modernizace staveb. VA Brno*, 1996 s. 9 – 14.
- Netopilová, M.: Stavební materiály a požární bezpečnost. *Skriptum; rekvalifikační studium, Ostrava, VŠB-TUO*, 2000.
- Netopilová, M.: Sklo jako součást stavebních konstrukcí. In *Sborník mezinárodní vědecké konference, Ostrava, VŠB-TUO*, 2001, s. 299 – 307.
- Netopilová, M., Bradáčová, I.: Implementing European Technical Standards Into the System of Czech Technical Norms. In *Fire engineering – the 1. international conference, TU Zvolen*, 2002, s. 231 – 237.
- Novák, J., Novotný, J., Tobolka, Z.: Stavební materiály. *Skriptum, Praha, ČVUT*, 1991.
- Olbřímek, J.: Reaction to fire according to actual Slovak norms and Euroclass reaction to fire. In *Sborník mezinárodní vědecké konference Požární ochrana 2000, VŠB-TUO*, 2000, s. 332 – 339.
- Osvald, A.: Horenie dreva a materiálov na báze dreva. In *Zborník vedeckých prác, VŠLD Zvolen, Bratislava, Alfa*, 1984, s. 197-215.
- Osvald, A.: Building Materials & Fire Safety. In *Fire engineering – the 1. international conference, TU Zvolen*, 2002, s. 281 - 283.
- Osvald, A.: Komplexná ochrana smrekového dreva. In *Sborník mezinárodní vědecké konference Požární ochrana 2003, VŠB-TUO Ostrava*, 2003, s. 312 – 321.
- Reichel, V.: Hodnoty požární odolnosti stavebních konstrukcí. *Praha, VÚPS*, 1971, s. 15-36.
- Skotnicová, I. a kol.: Zkoušení stavebních hmot. *Skriptum, Ostrava, VŠB-TUO*, 1996.
- Vaniš, P.: Pravidelná informace o jednáních subkomise TNK 27 „Požární zkoušky“. In *Informace, technický zpravodaj, 23, fa Seidl a spol., s.r.o.*, 2003
- Vašátko, E.: Materiálová nabídka fy Seidl a spol., s.r.o.
- Vašátko, E.: Protipožární nátěry ve stavebnictví. In *Informace, technický zpravodaj, 20, fa Seidl a spol., s.r.o.*, 2001
- Vašátko, E.: Protipožární nástříkové hmoty ve stavebnictví. In *Informace, technický zpravodaj, 21, fa Seidl a spol., s.r.o.*, 2002

Vašátko, E.: Problematika desek a deskových konstrukcí v protipožární ochraně staveb.  
In *Informace, technický zpravodaj*, 22, fa Seidl a spol., s.r.o., 2002  
Soubor platných norem

---

**Materiály.**

**Stavební materiály**

Doc. Ing. Miroslava Netopilová, CSc.

Vydalo Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství v Ostravě, roku 2004

Vytisklo Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství

1. vydání

Publikace neprošla jazykovou úpravou

**ISBN: 80-86634-27-2**