10. Ochrana OK proti korozi a proti požáru

Ochrana proti korozi

Vznik koroze, koroze stavebních konstrukcí, ochranné systémy, návrh ochrany.

Koroze je elektrochemický proces: mezi anodou a katodou ve vodivém prostředí (elektrolytu) vzniká elektrický proud. Na povrchu oceli dochází ke změnám ve složení (vliv prostředí, teploty) a vznikají plošky „anod“ (např. znečistěné plošky) a „katod“ (např. více vystavené kyslíku), které se posunují, mění:

kationty železa

elektrony

V anodě probíhá: $Fe = Fe^{++} + 2e$

hydroxidový iont

V katodě probíhá: $0_2 + 2H_2O + 4e = 4(OH)^-$

Výsledná reakce: $2Fe^{++} + 4(OH)^- = 2Fe(OH)_2$

Vzniklý hydroxid železnatý potom oxiduje na hydratovaný oxid železitý ($Fe_2O_3 \cdot H_2O$) = rez.

Tzn., že koroze vyžaduje současnou přítomnost **kyslíku a vody** :

- pod vodou, v zemi, je kyslíku málo → koroze téměř neprobíhá;
- v atmosféře závisí na množství vody a jejím složení (je mnohem rychlejší při znečistění solemi, kyselinami apod.).

© Prof. Ing. Josef Macháček, DrSc.

Bimetalické koroze: vzniká mezi různými kovy ve vlhku (voda působí jako elektrolyt).
Beketovova řada kovů řadí kovy podle jejich elektrodového potenciálu (tj. jejich tendence k oxidované nebo redukované formě):
Li(-3.04); Al(-1.66); Zn(-0.76); Cr(-0.74); Fe(-0.44); Ni(-0.25); Pb(-0.13); H(0.00); Cu(+0.16); nerezová ocel(+0.60÷0.90); Ag(+0.80); Au(+1.52).

V elektrolytu proudí elektrický proud z méně ušlechtilého kovu (anody, např. Al, Zn) k ušlechtilejšímu kovu (katodě, zde Fe). Méně ušlechtilý kov rychle koroduje, čehož se využívá pro tzv. galvanickou ochranu oceli. Naopak ve styku s katodickými materiály (Cu, nerezová ocel) ocel rychle koroduje.

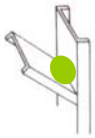
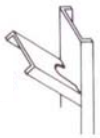
Koroze vnitřních konstrukcí

- **V suchém prostředí budov (i nevytápěné s malou vlhkostí, popř. s ochranou proti požáru) ocel nekoroduje, není nutná ochrana. Nátěr z estetických důvodů.**
- **Vlhké prostory (kuchyně, bazény) nebo chemicky znečistěné nutno chránit.**

Koroze vnějších konstrukcí

Nutno bránit vlhkosti, znečistění: provést ochranu, zajistit odtok vody z koutů (drenážní otvory $Ø_{min}$ 30 mm), umožnit údržbu:

lépe


lépe


© Prof. Ing. Josef Macháček, DrSc.

Návrh ochrany proti korozi

Klasifikace prostředí expozice

Kategorie korozní agresivity pro atmosféru (ČSN ISO 12944-2):

- C1 – velmi nízká (vnitřní OK, vytápěné budovy, čistá atmosféra),
- C2 – nízká (venkovní OK v čisté atmosféře, vnitřní OK v nevytápěných budovách),
- C3 – střední (venkovní OK v městské atmosféře, vnitřní OK s velkou vlhkostí, málo znečistěné),
- C4 – vysoká (venkovní OK v průmyslovém prostředí, vnitřní OK pro chemický průmysl, bazény),
- C5-I – velmi vysoká (venkovní OK v průmyslovém agresivním prostředí),
- C5-M – velmi vysoká (přímořská).

Kategorie pro vodu a půdu:

- Im1 – sladká voda,
- Im2 – mořská a brakická (poloslaná) voda,
- Im3 – uložení v zemi (zóny podponorová, střídavého ponoru, postřiková).

Systémy ochran proti korozi

1. povrchově nechráněné patinující oceli,
2. ochrana betonovou vrstvou (pasivní ochrana v alkalickém prostředí, pozor na karbonataci),
3. nátěry,
4. žárové zinkování (**ponorem** do roztaveného zinku),
5. galvanické (elektrolytické) nebo difuzní (rozžhavením v prostředí zinkového prachu) zinkování,
6. žárové **stříkání** zinkem, hliníkem nebo jejich slitinami (stříkání plamenem nebo v oblouku), dřívější název metalizace, šopování.

© Prof. Ing. Josef Macháček, DrSc.

Příprava povrchu a stupně přípravy (ČSN EN ISO 12944-4)

Podle stupně čistoty povrchu je nutné volit přípravu a dosažení stanoveného stupně přípravy. Předběžně je vhodné odstranit rez, prach, soli, mastnoty.

Čistění je možné: vodou, rozpouštědly, chemikáliemi (např. mořením v kyselině); mechanicky ručně nebo strojně (např. rotační kartáče); otryskáváním odstředivým zařízením, stlačeným vzduchem (popř. s odsáváním použitého abraziva), vlhkým otryskáváním abrazivem s kapalinou, mokrým otryskáváním vodou a abrazivem, suspenzí nebo tlakovou vodou; čistění kyslíko-acetylenovým plamenem. Abrazivo: ocelové broky, ocelová nebo litinová drť, měděná nebo vysokopecní struska.

Stupně přípravy pro celkovou přípravu povrchu (úprava až na čistý kov):

Sa 1	otryskávání	(odstraněna špatně přilnavá rez, okuje, staré nátěry),
Sa2	otryskávání	(odstraněna většina rzi, okují; zbytky musí být pevně přilnavé),
Sa2½	otryskávání	(vše odstraněno, nečistoty jen jako stíny ve formě skvrn a pásů),
Sa3	otryskávání	(vše odstraněno, povrch má jednotný kovový vzhled),
St2	ruční a mechan. čistění	(odstraněny nepřilnavé okuje, rez, nátěry),
St3	ruční a mechan. čistění	(povrch musí vykazovat kovový odstín),
Fl	čistění plamenem	(odstraněna rez, okuje; zbytky jen jako barevný odstín),
Be	moření v kyselině	(kompletně odstraněna rez, okuje, zbytky nátěrů).

© Prof. Ing. Josef Macháček, DrSc.

Ochrany

Patinující oceli

Podle ČSN EN 10020 se klasifikují jako legované ušlechtilé oceli se zvýšenou odolností proti atmosférické korozi.

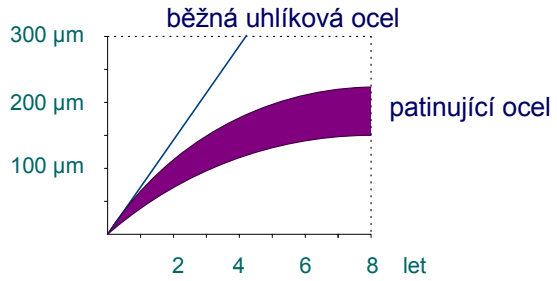
Nízkolegované oceli s příměsí Cr, Cu, Si, Ni, Mo (max. 3%), vytvářející na povrchu hustou a jemnou vrstvu rzi, která navíc chemicky reaguje s atmosférickou sírou vytvářející nerozpustný povlak bez pórů. Nepatinující ocelí ve styku s patinujícími nutno chránit proti korozi.

Vytvoření ochranné vrstvy vyžaduje:

- střídání vlhkého a suchého prostředí (v trvale vlhkém nebo trvale suchém prostředí ochranný film nevznikne, póry proniká vlhkost a koroze pokračuje; obdobně v místě štěrbin),
- ochranná vrstva nevzniká ve slaném (mořském) prostředí.

Oceli byly vyvinuty v USA (Corten), v evropském značení mají písmeno W (weathering steel).
Obchodní značka v ČR je Atmofix: S355J0W (Atmofix A), S355J2W (Atmofix B).
Arcelor Mittal Ostrava vyrábí Arcorox®: odpovídá S355J2W

Očekávané korozní úbytky v průběhu let:



© Prof. Ing. Josef Macháček, DrSc.

Nátěry

Nátěr má 3 složky:

- pigment (pevné částečky dodávající barvu, tvrdost a bránící korozním procesům),
- pojivo (pryskyřice nebo olej spojující pigmentové částečky a vytvářející pružný lepkavý film),
- rozpouštědlo (snižuje viskozitu pojiva a umožňuje aplikaci nátěru).

Nátěry se obvykle rozdělují podle pojiva na:
živičné, olejové, alkydové (olejové), akrylátové (vodou ředitelné), epoxiesterové, chlorkaučukové, vinylové, epoxidové, polyuretanové, ethylsilikátové.

Nátěrový systém se skládá z několika vrstev:

- základní (primér): poskytuje přilnutí, brání korozi, může chemicky rozložit vlhkost (např. suřík, zinkchroman, zinkfosfát apod.),
- mezivrstvy: tvoří tloušťku nátěru, vyztužují nátěr proti poškození,
- vrchní nátěr: tvoří inertní ochranu před prostředím, a má estetickou funkci.

Celková tloušťka závisí na agresivitě prostředí (jednotlivé vrstvy obvykle 40÷80 μm). Norma ČSN ISO 12944-5 uvádí příklady nátěrových systémů pro různé kategorie korozní agresivity (např. pro C2 až C4 značené S1.01 až S1.42), obdobně pro jinou agresivitu.

Příklad:
Korozní agresivita C2, požadovaná životnost 5÷15 let:

- např. nátěrový systém S2.04, povrch Sa 2½, 1x alkydový primér 80 μm,1x alkydová vrchní 40 μm.
- nebo nátěrový systém S2.12, povrch Sa 2½, 1x alkrylátový primér 80 μm,1x akrylátová vrchní 40 μm.

Nátěry ovlivňující jakost svaru nutno omezit do vzdálenosti 150 mm od svaru (ČSN EN 1090-2)!

© Prof. Ing. Josef Macháček, DrSc.

Žárové zinkování („zinkování ponorem“)

Zinek působí proti korozi oceli dvojím způsobem:

- jako bariéra přístupu kyslíku k povrchu oceli,
- jako katodická ochrana v místě porušení škrábanci apod.

Ochrana vzniká ponorem do roztavené lázně zinku nebo zinkových slitin (ČSN EN ISO 1461) na technologických linkách v zinkovnách. Vany o rozměrech až 15x1,8x3,2 m (*L*x*B*x*H*, Wiegel CZ sro.), probíhá při teplotě cca 450÷470 °C po dobu cca 1,5÷5 minut. Běžná tloušťka povlaku je 40÷80 μm, větší tloušťky (např. 200 μm) vyžadují oceli s určitým obsahem Si. Uzavřené prostory dílce musí být před ponorem opatřeny odvzdušňovacími otvory. Životnost ochrany je 25-40 let.

Úprava povrchu vyžaduje zbavení nečistot, odmaštění, moření (HCl) a oplachy. Lázeň obsahuje zinek a malé množství legur ke snížení teploty a zlepšení povlaku. Při ochlazování konstrukčních ocelí uklidňovaných hliníkem (nevyskytne se křemíkem) povrch zinku krystalizuje ve formě „květu“.

Výhodou je tvrdost povlaku (větší než oceli), odolnost proti běžnému mechanickému poškození a rovnoměrný povlak. Pro zinkování se vyžaduje upravit ostré hrany zaoblením o poloměru 2 mm.

V místech se stálou vlhkostí (štěrbinách) se může vytvářet „bílá rez“ (ve formě bílého prášku – nutno chemicky nebo mechanicky očistit). Ve styku s mědí koroduje bimetalickou korozí. Konstrukce lze svařovat běžnými postupy za náležitých opatření (technologické i zdravotní důvody: problémem je vývoj plynů a porozita svaru), nebo procesem GMA (elektroda na bázi Cu, v ochranné atmosféře Argonu). Ve svaru zinek shoří a ochranu je nutné obnovit po otryskání nebo kartáčování zinkovým nátěrem/nástřikem.

Duplexní systém znamená dodatečnou ochranu pozinkovaného povrchu nátěry. Ke zvýšení životnosti se doplní základní a vrchní nátěr (viz ČSN EN ISO 12944-5), např:

žárový pozink + systém S9.10: tj. 1x akrylátový primér 40 μm + 1x epoxidový vrchní 80 μm.

© Prof. Ing. Josef Macháček, DrSc.

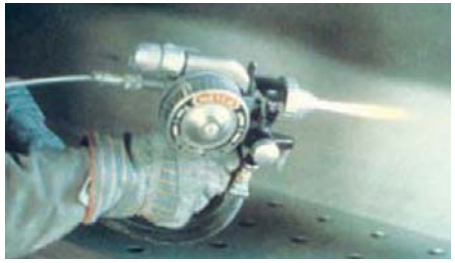
Galvanické a difuzní zinkování

Po přípravě povrchu odmaštěním a mořením probíhá po ponoření dílce do elektrolytu (vodný roztok zinečnaté soli). Na zdroj stejnosměrného proudu se zapojí dílec (katoda) a deska z čistého zinku (anoda). Zinek z anody ve formě zinečnatých iontů proudí a usazuje se (redukuje) na dílci. Vytváří se jemnozrnná struktura zinkového povlak s tloušťkou 3÷20 μm (větší tloušťky nutno nanášet žárově). Lesklý povrch se často chromátuje (bezbarvě nebo s různými barevnými odstíny) pro ochranu před poškozením při manipulaci. Pro venkovní prostředí se galvanické zinkování nedoporučuje.

Difuzní zinkování (sherardizace) se prování mícháním dílců v bubnu se zinkovým prachem a míchá při teplotě blízké tavení zinku (420 ºC). Na povrchu oceli se vytvářejí v tenké vrstvě (do 40 μm) sloučeniny železa a zinku.

Žárové stříkání Zn, Al a jejich slitinami

Po přípravě povrchu do stupně minimálně Sa 2½ se ochranný kov ve formě prášku nebo drátu taví v plynovém hořáku popř. v elektrickém oblouku a nanáší ve formě kapiček stlačeným vzduchem na dílec. Povrch je proto poněkud porézní a lze vylepšit dodatečnými nátěry. Tloušťka povlaku 30÷300 μm, obvykle 120÷160 μm. Obvykle se pro lepší přilnavost aplikuje napřed vrstva Zn (~40 μm) a poté Al (~160 μm). Hliník je levný a dobře chrání, avšak snadno oxiduje (častěji se proto užívají slitiny ZnAl – např. ZINACOR, 85% Zn + 15% Al).



V duplexním uspořádání se nástřik kryje nátěry, např.:
žárové stříkání Zn+Al a do 4 hodin realizovat systém S4.09:
akrylátový primér 80 μm + akrylátový vrchní 160 μm.

© Prof. Ing. Josef Macháček, DrSc.

Ochrana proti požáru

Účinky požáru a stupeň požární bezpečnosti, požární odolnost konstrukcí, zatížení konstrukcí vystavených požáru, navrhování OK na účinky požáru, ochrana (izolační materiály) proti požáru.

Účinky požáru

Požadavky vycházejí z normy ČSN 73 0810/2009 (Požární bezpečnost staveb – Společná ustanovení + změny Z1, Z2, Z3).

Podle reakce na oheň se materiály a výrobky klasifikují třídou:

- **A1 (např. vermikulit, beton, kovy, sklo),**
- **A2 (např. sádrokarton),**
- **B, C, D (např. dřevo, lepené laminované dřevo),**
- **E, F.**

Podle uvolňovaného tepla se třídí konstrukce na:

- **DP1 (nezvyšují intenzitu požáru, s vysokými požadavky na materiály a skladbu),**
- **DP2 (nižší požadavky),**
- **DP3 (zvyšují intenzitu požáru).**

© Prof. Ing. Josef Macháček, DrSc.

Požární odolnost vyjadřuje schopnost zachovat při požáru po dobu t:

- nosnost R(t), (resistance)
- celistvost E(t), (entirety)
- izolační schopnost I(t), (insulation)
- další požadavky (hustotu tepelného toku, kouřotěsnost, apod.).

Stanovuje se podle požárního scénáře:

a) Pro normový průběh požáru (uvažuje se normová požární křivka).
b) Parametrický (pravděpodobný) průběh požáru (používá pravděpodobný průběh požáru, např. včetně fáze chladnutí).

Požární odolnost lze stanovit požární zkouškou, nebo normovou hodnotou, nebo výpočtem podle Eurokódů.

Podle norem řady ČSN 73 08.. odpovídajícím **účelu stavby** (výrobní objekty 730804, nevýrobní 730802, pro bydlení 730833, shromažďovací 730831, zemědělské 730842 ...) a dále:

- **konstrukčního systému** (nehořlavý, smíšený, hořlavý),
- **„výpočtového požárního zatížení“** (množství hořlavých látek přepočtených na dřevo pomocí řady součinitelů),
- **výšky stavby, rozsahu požárního úseku** apod.

se určí: **stupeň požární bezpečnosti požárního úseku (I až VII).**

© Prof. Ing. Josef Macháček, DrSc.

Požární odolnost

Podle stupně požární bezpečnosti se poté z tabulek norem pro příslušný objekt pro jednotlivé části konstrukce (např. obvodové stěny, střechy, vnitřní nosné konstrukce, schodiště, požární stěny apod.) určí

požadovaná doba požární odolnosti:

15, 30, 45, 60, 90, 120 a 180 minut.

Konstrukce (např. pro *t* = 30 minut) potom musí splňovat příslušné požadavky:

- **únosnosti (např. R 30),**
- **celistvosti (nesmí dojít k procházení plamenů, např. E 30)**
- **izolace (zabránění průchodu horka vedením, např. I 30),**

(popř. souhrnně REI 30).

Kritickou teplotou je u ocelové konstrukce a spřažené nosné konstrukce ~ 500 °C, u žel.bet. konstrukcí 530 °C, u dřevěných konstrukcí 120 °C.

Podrobnosti pro jednotlivé části konstrukce (stropy, stěny, uzávěry, podhledy, schodiště, pláště, prostupy, zařízení pro odvod kouře, ventilace, hasicí přístroje, sprinklery apod.) viz ČSN 73 0810 (Požární bezpečnost staveb, společná ustanovení).

© Prof. Ing. Josef Macháček, DrSc.

Zatížení konstrukcí vystavených požáru (ČSN EN 1991-1-2)

Zatížení při požáru se klasifikuje jako <u>mimořádné</u> !!

Volí se požární scénář a příslušný návrhový požár (normový, přirozený), provede se teplotní analýza prvků a mechanická analýza z hlediska:

času - **návrhová doba odolnosti je větší než doba požadovaná $t_{fi,d} \geq t_{fi,requ}$ (viz např. při užití nomogramu na str. 20);**

únosnosti - **návrhová únosnost je větší než návrhové účinky zatížení $R_{fi,d,t} \geq E_{fi,d,t}$; tento průkaz je obvyklý a je uveden dále;**

nebo teploty - **návrhová teplota je menší než návrhová kritická teplota $\Theta_d \leq \Theta_{cr,d}$.**

Teplota plynů Θ_g se určí:

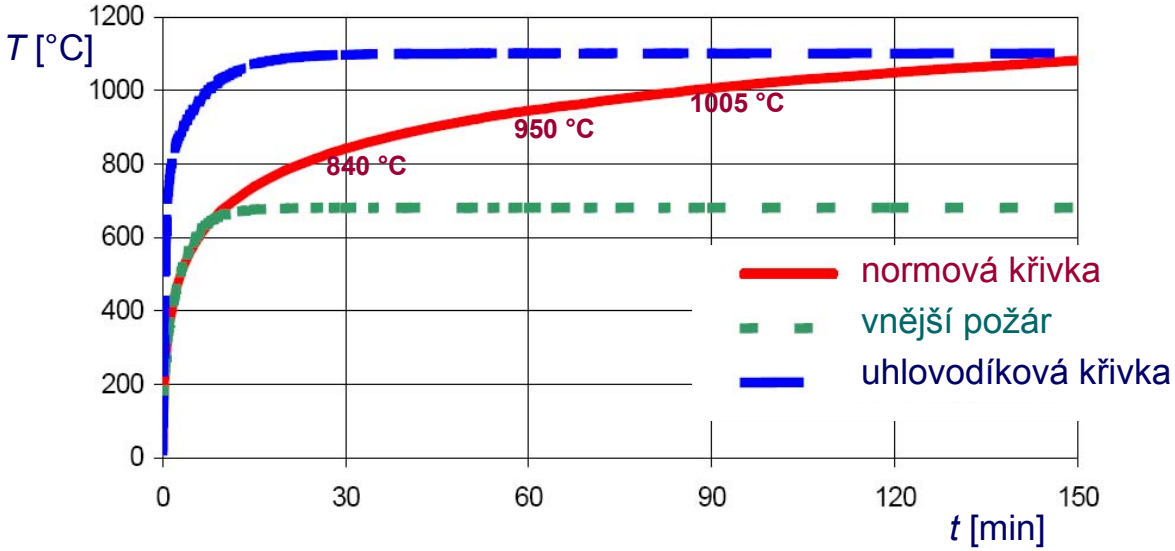
a) Podle nominálních teplotních křivek daných vzorcem v závislosti na čase *t*:

- **normová křivka (normální požár v budovách),**
- **nebo křivka vnějšího požáru (pro vnější části konstrukcí, vně úseku),**
- **nebo uhlovodíková křivka (pro požár uhlovodíkových paliv).**

© Prof. Ing. Josef Macháček, DrSc.

Např. normová křivka:

$\Theta_g = 20 + 345 \log(8t + 1)$



b) Podle přirozených modelů požáru, obsahujících i fázi chladnutí

(zjednodušené nebo zdokonalené modely, zohledňující řadu parametrů, které jsou popsány v přílohách Eurokódu ČSN EN 1991-1-2).

© Prof. Ing. Josef Macháček, DrSc.

Analýza konstrukce při požáru

Analýza má zahrnovat vynucené deformace způsobené teplotními změnami. Při zjednodušeném výpočtu při podmínkách normového požáru se nepřímá zatížení od těchto účinků mohou zanedbat.

Zatížení požárem v mimořádné kombinaci lze zjednodušeně předpokládat jako redukované zatížení při normální teplotě podle vztahu:

$$E_{fi,d,t} = E_{fi,d} = \eta_{fi}\, E_d$$ (tj. jako konstantní zatížení během celé doby požáru)

kde η_{fi} je redukční součinitel podle jednotlivých materiálových Eurokódů,

E_d návrhová hodnota účinků zatížení ze základní kombinace, tj.:

$$\sum_{j\geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i>1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Pro ocelové konstrukce (podle ČSN EN 1993-1-2) platí:

$$\eta_{fi} = \frac{G_k + \psi_{fi} Q_{k,1}}{\gamma_G G_k + \gamma_{Q,1} Q_{k,1}}$$

kde

G_k je charakteristická hodnota stálého zatížení;

$Q_{k,1}$ charakteristická hodnota rozhodujícího proměnného zat.;

ψ_{fi} se uvažuje jako součinitel kombinace $\psi_{1,1}$.

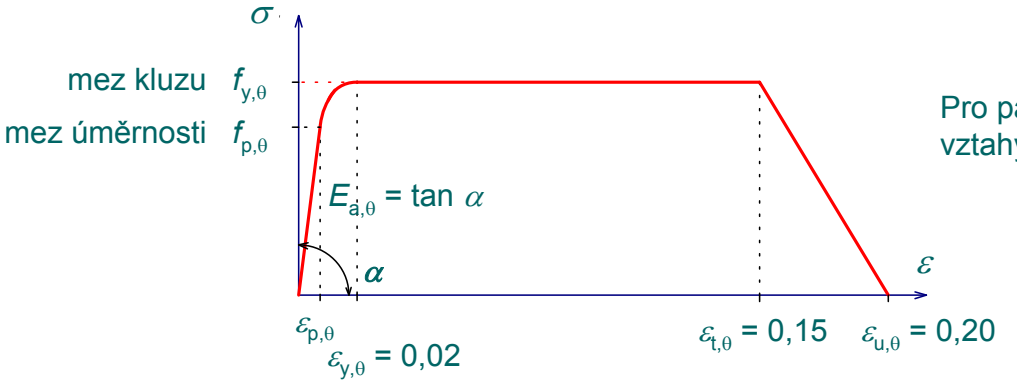
Doporučený zjednodušený přistup zavádí hodnotu redukčního součinitele

$\eta_{fi} = 0{,}65$ (výjimkou jsou skladové prostory se zbožím, kde $\eta_{fi} = 0{,}7$)

© Prof. Ing. Josef Macháček, DrSc.

Materiálové vlastnosti oceli

Pracovní diagram oceli při zvýšených teplotách se uvažuje podle obrázku:



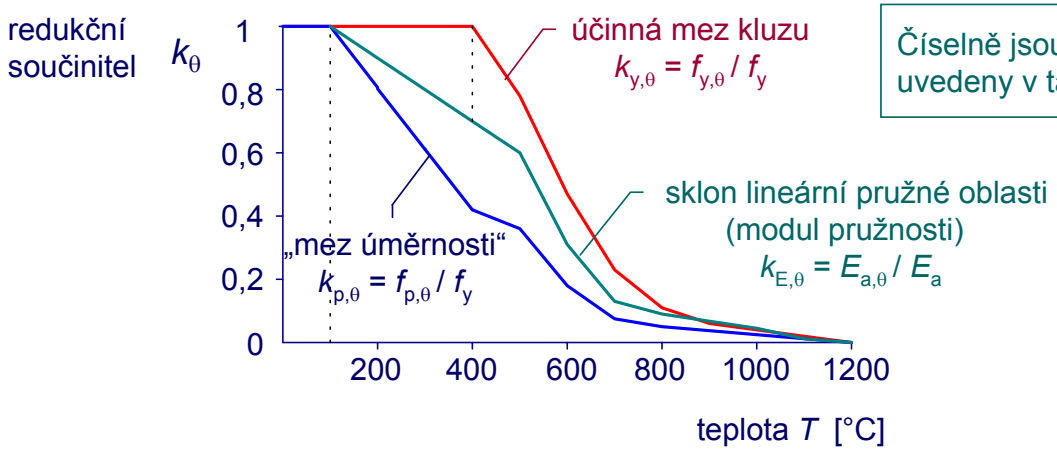
Pro parabolickou část platí vztahy podle Eurokódu.

Pro mez kluzu, mez úměrnosti a modul pružnosti se při zvýšených teplotách zavádějí redukční součinitele $k_{y,\theta}$, $k_{p,\theta}$, $k_{E,\theta}$:

$$k_{y,\theta} = f_{y,\theta} / f_y \qquad k_{p,\theta} = f_{p,\theta} / f_y \qquad k_{E,\theta} = E_{a,\theta} / E_y$$

© Prof. Ing. Josef Macháček, DrSc.

Redukční součinitele



Číselně jsou hodnoty uvedeny v tabulce Eurokódu.

Pro výpočty uvádí Eurokód grafy a vztahy pro tepelné vlastnosti oceli:

- tepelnou roztažnost,
- měrné teplo,
- tepelnou vodivost.

© Prof. Ing. Josef Macháček, DrSc.

Navrhování na účinky požáru

Návrhové metody zahrnují:

- **jednoduché výpočetní modely** (používají se pro jednotlivé prvky),
- **zpřesněné výpočetní modely** (metody založené na fyzikálních principech, zahrnují tepelnou odezvu, vhodnou mechanickou odezvu, vhodnou teplotní křivku, nutnost ověření testy),
- **požární zkoušky.**

Jednoduché výpočetní modely

Běžné posudky obsahují průkaz, že návrhová únosnost prvku po dobu trvání požáru *t* při návrhovém zatížení při požární situaci vyhovuje. Obecně:

namáhání při požáru

únosnost při požáru v čase *t* (pro teplotu θ)

$$\underbrace{E_{fi,d} \leq R_{fi,d,t}}$$

posudek zahrnuje tah, tlak (N_{fi}), moment (M_{fi}) atd.

Pozn.: Alternativně lze prokázat, že nebylo dosaženo „kritické teploty“ $\theta_{a,cr}$ (ta je dána tabulkou podle stupně využití prvku μ_0 při pokojové teplotě). Např. pro stupeň μ_0 = 0,7 je $\theta_{a,cr}$ = 526 °C.

Posudky na *N*, *M*, *V*, kombinace (klasifikace a stanovení únosnosti pro teplotu θ):

1) Klasifikace průřezů se provede jako za běžné teploty, ale s redukovaným součinitelem $\varepsilon = 0{,}85(235/f_y)^{0,5}$.

© Prof. Ing. Josef Macháček, DrSc.

2) Tažené pruty (za předpokladu rovnoměrně rozložené teploty θ v požadované době *t*):

$$N_{\mathrm{fi},\theta,\mathrm{Rd}} = A k_{\mathrm{y},\theta} f_{\mathrm{y}} / \gamma_{\mathrm{M,fi}} \qquad \gamma_{\mathrm{M,fi}} = 1{,}0$$

3) Tlačené pruty (za předpokladu rovnoměrně rozložené teploty θ v požadované době *t*):

$$N_{\mathrm{b,fi,t,Rd}} = \chi_{\mathrm{fi}} A k_{\mathrm{y},\theta} f_{\mathrm{y}} / \gamma_{\mathrm{M,fi}})$$

součinitel vzpěrnosti při zvýšené teplotě se určí jako:

$$\chi_{\mathrm{fi}} = \frac{1}{\varphi_\theta + \sqrt{\varphi_\theta^2 - \bar{\lambda}_\theta^2}} \qquad \varphi_\theta = \frac{1}{2}\left[1 + \alpha\bar{\lambda}_\theta + \bar{\lambda}_\theta^2\right] \qquad \alpha = 0{,}65\sqrt{235/f_{\mathrm{y}}}$$

kde štíhlost pro teplotu θ_{a}: $\bar{\lambda}_\theta = \bar{\lambda}\left[k_{\mathrm{y},\theta} / k_{\mathrm{E},\theta}\right]^{0,5}$

Důležitá poznámka:

Vzpěrné délky sloupů při požární situaci mohou vzít v úvahu příslušnou deformaci při vybočení. Např. se běžně předpokládá, že podlaží jsou požárními úseky, takže při neposuvnosti uložení lze pro mezilehlá patra uvažovat vetknutí do ostatních podlaží ($L_{\mathrm{cr}} \approx 0{,}5\,L$; v horním patře $L_{\mathrm{cr}} \approx 0{,}7\,L$).

4) Ohýbané nosníky (za předpokladu rovnoměrně rozložené teploty θ v požadované době *t*):

$$M_{\mathrm{fi},\theta,\mathrm{Rd}} = k_{\mathrm{y},\theta} M_{\mathrm{Rd}} \underbrace{[\gamma_{\mathrm{M,0}} / \gamma_{\mathrm{M,fi}}]}_{= 1/1 = 1}$$

při běžné teplotě

(při klopení úprava χ_{LT}, viz Eurokód)

Podobně kombinace namáhání.

© Prof. Ing. Josef Macháček, DrSc.

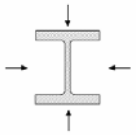
Stanovení teploty θ

(pro určení redukčních součinitelů $k_{y\theta}$ potřebných výše pro stanovení únosnosti v čase t.

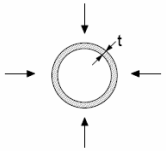
Teplota T v požadované době požární odolnosti t se stanoví přírůstkovou metodou pro časový interval Δt podle vztahů v Eurokódu ČSN EN 1993-1-2:

- vnitřní nechráněné prvky pro interval $\Delta t \leq 5$ sec:

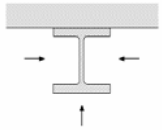
$$\Delta\theta_{a,t} = f\left(A_m/V;\ \Delta t;\ \text{měrné teplo oceli, tepelný tok na jednotku plochy; měrná tíha oceli}\right)$$



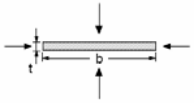
$$\frac{A_m}{V} = \frac{\text{obvod průřezu}}{\text{plocha průřezu}}$$



$$\frac{A_m}{V} = \frac{1}{t}$$



$$\frac{A_m}{V} = \frac{\text{obvod vystavený požáru}}{\text{plocha průřezu}}$$



$$\frac{A_m}{V} = \frac{2(b+t)}{bt}$$

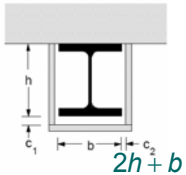
- vnitřní prvky izolované požárně ochranným materiálem pro $\Delta t \leq 30$ sec:

$$\Delta\theta_{a,t} = f\left(A_p/V;\ \Delta t;\ \text{měrné teplo oceli a izolace, tloušťka izolace } d_p\text{; tepelná vodivost izolace } \lambda_p\text{; měrné tíhy; teplota prvku a plynů}\right)$$

$$\frac{A_p}{V} = \frac{\text{obvod průřezu}}{\text{plocha ocel. průřezu}}$$

$$\frac{A_p}{V} = \frac{2(b+h)}{\text{plocha ocel. průřezu}}$$

$$\frac{A_p}{V} = \frac{\text{obvod ocel. prvku} - b}{\text{plocha ocel. průřezu}}$$



$$\frac{A_p}{V} = \frac{2h+b}{\text{plocha ocel. průřezu}}$$

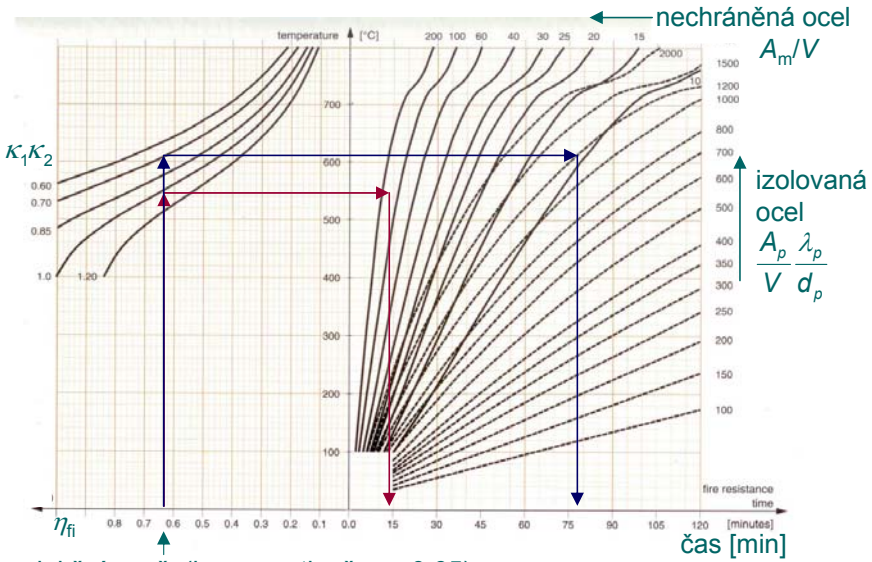
tj. hlavním parametrem je tzv. **součinitel průřezu** A_m/V, popř. A_p/V [m^{-1}].

© Prof. Ing. Josef Macháček, DrSc.

- **obdobně pro prvky v prostoru chráněném tepelnými clonami,**
- **komplikovaněji pro venkovní ocelové konstrukce.**

Praktické posouzení, resp. návrh tloušťky ochranného materiálu:

Praktický návod k určení požární odolnosti v minutách pro dané využití η_{fi} (viz str. 14), popř. naopak určení potřebné kvality a tloušťky obkladu nebo nástřiku nechráněné nebo chráněné ocelové konstrukce umožňuje publikace ECCS No° 89 Fire Resistance of Steel Structures (Brussels, 1995).



Součinitelé podmínek působení:
- rovnoměrné rozdělení teploty $\kappa_1\kappa_2$ = 1;
- chránění bet. deskou z jedné strany $\kappa_1\kappa_2$ = 0,7

Příklad 1 (červené spojnice):
Sloup HEB300, nechráněný, A_m/V = 116 m^{-1}
Z nomogramu plyne doba odolnosti 15 minut.

Příklad 2 (modré spojnice):
Nosník IPE300, chráněný bet deskou a obkladem z cementových vláknitých desek tloušťky d_p = 18 mm, λ_p = 0,15 W/(mK);
λ_p/d_p = 8,33 W/(m^{2}K); A_p/V = 139 m^{-1};

$$\frac{A_p}{V}\frac{\lambda_p}{d_p} = 139 \cdot 8{,}33 = 1158 \left[\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m^3K}}\right]$$

Z nomogramu plyne doba odolnosti 79 minut.

© Prof. Ing. Josef Macháček, DrSc.

Poznámky k izolačním materiálům:

Izolační materiály vytvářejí bariéru mezi ocelí a ohněm. Běžně nejlevnější variantou je beton nebo cihly.

Nové lehké materiály jsou obvykle na bázi expandovaného vermikulitu (jílovitá hornina, v peci expanduje) použité jako nástřik nebo obkladové desky. Azbest se ze zdravotních důvodů nadále vylučuje.

Nástřiky jsou nejlevnější (cca 15 % ceny konstrukce), pokrývají složité tvary, avšak jde o mokrý proces (v mrazu u venkovních konstrukcí nelze používat).

Obklady jsou asi 2x dražší než nástřik (pracnější při kotvení: lepení, fixace šrouby, skobkami), ale jsou obvykle esteticky přijatelnější.

Intumescentní (zpěňovací) nátěry chrání konstrukci díky chemické reakci při cca 150-200 º, kdy dojde ke vzniku plynů a vytvoření izolační vrstvy z uhlíkaté nehořlavé pěny. Napěněním se vrstva původního nátěru (cca 1 mm) zvětší až padesátkrát: výsledná vrstva pěny tak může dosahovat až několik centimetrů. Nátěr může být na bázi epoxidových nebo vinylových pryskyřic (odolnost cca 2 hod.), je však drahý. Levnější mají menší účinnost. Tyto nátěry se nehodí do mokrých aplikací. Nátěry mají podle ČSN 73 0810 omezené použití (jen do REI 30, nízké objekty, žádat průkaz životnosti min. 10 let).

© Prof. Ing. Josef Macháček, DrSc.