

Monografie shrnuje teoretické základy s legislativními a formálními otázkami spolupráce požárních a stavebních specialistů, statiků a pracovníků státní správy při prokazování požární odolnosti stavebních konstrukcí. Navržená forma dokumentace uvádí nezbytné náležitosti pro schválení ověření požární odolnosti statickým výpočtem dotčenými úřady státní správy. Doporučená struktura statického výpočtu k prokázání požární odolnosti stavebních konstrukcí vychází z tradiční formy statického výpočtu za běžné teploty a z požadované formy požárně bezpečnostního řešení stavby.



Integrace statického výpočtu do požárně bezpečnostního řešení stavby



Integrace statického výpočtu do požárně bezpečnostního řešení stavby

František Wald, Kamila Horová, Robert Prix, Ivana Nohová, Petr Bek, František Chuděj, Petr Kuklík,
Jaroslav Procházka, Zdeněk Sokol, Jiří Studnička, Radek Štefan a Jitka Vašková

Tisk Česká technika - nakladatelství ČVUT v Praze
Leden 2012
ISBN 978-80-01-04994-5

České vysoké učení technické v Praze
Praha, leden 2012

Integrace statického výpočtu do požárně bezpečnostního řešení stavby

Monografie byla připravena s laskavou finanční pomocí České asociace ocelových konstrukcí



a Ruukki CZ, s.r.o.

RUUKKI



Integrace statického výpočtu do požárně bezpečnostního řešení stavby

František Wald, Kamila Horová, Robert Prix, Ivana Nohová, Petr Bek, František Chuděj, Petr Kuklík, Jaroslav Procházka, Zdeněk Sokol, Jiří Studnička, Radek Štefan a Jitka Vašková

Tisk Česká technika - nakladatelství ČVUT v Praze

Leden 2012

ISBN 978-80-01-04994-5

250 výtisků, 123 stran

Obsah

	strana
Úvodem	4
1 K návrhu požární odolnosti v národních předpisech	
1.1 Požární bezpečnost	5
1.2 Stanovení požární bezpečnosti	6
1.3 Prokazování požární bezpečnosti	9
1.4 Prokazování shody	10
2 Prokazování požární odolnosti výpočtem	
2.1 Řešení požární bezpečnosti	11
2.2 Požárně bezpečnostní řešení stavby	11
2.3 Statický výpočet požární odolnosti	17
2.4 Metodika	23
3 Možnosti návrhových norem	
3.1 Tepelná a mechanická zatížení	24
3.2 Betonové konstrukce	53
3.3 Ocelové konstrukce	60
3.4 Ocelobetonové konstrukce	63
3.5 Dřevěné konstrukce	70
3.6 Zděné konstrukce	74
3.7 Hliníkové konstrukce	76
4 Hodnoty požární odolnosti bez uvažování namáhání	77
4.1 Stavební výrobek a stavební konstrukce	77
4.2 Namáhání konstrukcí vystavených požáru	77
4.3 Tabulky požárních odolností	78
4.4 Rozsah tabulek v příručce	79
4.5 Příklady použití tabulek	80
4.6 Okrajové podmínky pro použití tabulek	83
5 Konstrukce a požárně bezpečnostní zařízení	84
5.1 Požárně bezpečnostní zařízení	84
5.2 Zohlednění vlivu požárně bezpečnostních zařízení	85
6 Příklad integrace statického výpočtu	88
6.1 Úvodem	88
6.2 Požárně bezpečnostní řešení	88
6.3 Ověření požární odolnosti konstrukce	98
7 Závěrem	116
7.1 Evropský network COST TU0904	116
7.2 Shrnutí	118
Literatura	120

Úvodem

Předkládaná monografie vznikla ve spolupráci ČVUT v Praze a GŘ HZS MV ČR. Seznamuje s možnostmi a posledními poznatky výzkumu ověřeného praxí statických výpočtů stavebních konstrukcí vystavených účinkům požáru a s jejich využitím pro praxi v České republice.

Prokazování požární odolnosti nosných stavebních konstrukcí statickým výpočtem vyžaduje spolupráci autorizovaných inženýrů pro požární bezpečnost staveb, kteří připravují požárně bezpečnostní řešení budovy, a autorizovaných statiků, kteří po ověření chování konstrukce za běžné teploty mají k dispozici údaje o konstrukci. Spolupráce vyžaduje jasnou formulaci úkolů/kompetencí a formálního zpracování dokumentace. Monografie je zaměřena na jak legislativní a formální problematiku této spolupráce tak na posední ověřené poznatky v oboru. Navržená forma dokumentace splňuje nezbytné náležitosti pro schválení průkazu požární odolnosti statickým výpočtem dotčenými úřady státní správy.

Na textech kapitol autoři pracovali následovně: Petr Bek na kap. 6, Kamila Horová kap. 3.1, František Chuděj kap. 5; Petr Kuklík kap. 3.5, Ivana Nohová kap. 1, 2; Jaroslav Procházka kap. 3.2, Robert Prix kap. 1, 2, 6; Zdeněk Sokol kap. 3.3, Jiří Studnička kap. 3.4, Radek Štefan kap. 3.2, Jitka Vašková kap. 3.6, František Wald kap. 1, 2, 4, 3.7, 7 a ed. a Roman Zoufal kap. 4. Recenze monografie se laskavě ujali Vladimír Ferkl, Rudolf Kaiser, Anna Kuklíková, František Krégl a Zdeněk Vít.

Práce byla připravena v rámci projektu MŠMT ČR COST č. 6468/2011-320 s finanční podporou České asociace ocelových konstrukcí a Ruukki CZ, s.r.o.

V Praze 9. 1. 2012

František Wald

1 K návrhu požární odolnosti konstrukcí v národních předpisech ČR

1.1 Požární bezpečnost

Požární ochrana patří ke kulturnímu bohatství, její kvalita se dosahuje vhodnou výchovou a vzděláváním, výzkumem, investicemi do technického řešení a vybavením budov, legislativou, standardy a prací profesionálních i dobrovolných hasičských sborů. Česká republika se, v evropském i celosvětovém statistickém porovnání, dlouhodobě pohybuje na předních místech v úspěšnosti požární ochrany osob a majetků. Statistika ukazuje, že v ČR ve ztrátách na majetku je na čtvrtém místě a ve ztrátách na životech je na osmém místě ve světových tabulkách viz [1.1].

V Československu se v sedmdesátých letech minulého století podařilo zachytit výrazný krok v celosvětovém trendu ke zvýšení požární bezpečnosti vymezit v samostatné části projektové dokumentace „požárně bezpečnostní řešení“ viz [1.2] až [1.6]. Toto vymezení požární bezpečnosti přineslo nároky na spolupráci mezi autorizovanými inženýry pro požární bezpečnost staveb a ostatními profesemi při návrhu, výrobě a údržbě budov. V oblasti stavebních nosných konstrukcí, se spolupráce omezila na předání základních dat pro požární klasifikaci objektu. Větší zapojení autorizovaných statiků do ověření požadované požární odolnosti umožňuje vyšší pasivní požární spolehlivost, spolehlivost nosných a dělicích konstrukcí. Při výpočtech lze uvažovat chování celé konstrukce a jejích částí. Vhodným návrhem, který je založen na popisu fyzikálních jevů, lze optimalizovat a kontrolovaně zvyšovat spolehlivost konstrukcí. Při výpočtu lze doložit a archivovat vstupní a výstupní hodnoty řešení pro příští kontrolu a využití při rekonstrukci. Výpočty lze ověřit spolehlivost konstrukce, která se nyní většinou skládá z nosných konstrukčních prvků a to z různých materiálů.

Požární bezpečnost staveb je jedním ze šesti základních požadavků Směrnice Rady 89/106/EHS, ze dne 21. 12. 1988 o sblížování právních a správních předpisů členských států, které se týkají stavebních výrobků. V nárocích na požární bezpečnost staveb jsou zahrnuty dílčí části: zachování nosnosti a stability konstrukce, omezení rozvoje a šíření ohně a kouře v objektu, omezení šíření požáru na sousední objekty, umožnění bezpečné evakuace osob a umožnění účinného a bezpečného zásahu jednotkám hasičského záchranného sboru.

Problematika požární ochrany je multidisciplinární. Podílí se na ní většina účastníků ve výstavbě, tj. investoři, projektanti, státní správa a stavební výroba. Multidisciplinarita přináší nutnost sjednocování terminologie a symboliky, což je jednou z výhod zapojení do evropského normativního procesu. Jazyk je živý nástroj myšlení, terminologie v normách je platná v době jejich vzniku a její vývoj nelze zmrazit. Při požárním návrhu stavebních

nosných konstrukcí se setkává terminologie požárních národních norem, evropských návrhových norem a legislativy.

1.2 Stanovení požární bezpečnosti

Zcela nový postup při navrhování, povolování, provádění a užívání staveb přinesl zákon č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu, stavební zákon. Stavbou se rozumí veškerá stavební díla, která vznikají stavební nebo montážní technologií, bez zřetele na jejich stavebně technické provedení, použité stavební výrobky, materiály a konstrukce, na účel využití a dobu trvání.

Za stavbu se považuje i výrobek plnící funkci stavby. Nově je v § 103 definována skupina druhů staveb, které nevyžadují stavební povolení ani ohlášení, na které je vydáván stavebním úřadem územní souhlas a neposuzuje je žádný dotčený orgán. Jedná se např. o jednopodlažní stavby do 25 m² zastavěné plochy a 5 m výšky s omezeným způsobem využití. Do druhé skupiny patří jednoduché stavby podle § 104, které vyžadují ohlášení a kam se zařadily např. podzemní nebo nadzemní stavby o zastavěné ploše do 300 m² a 3 m hloubky nebo 10 m výšky, haly do 1000 m² zastavěné plochy a výšky do 15 m s dále definovanými podmínkami, které musí být doloženy stavebnímu úřadu pro ohlášení projektovou dokumentací. Na tyto stavby je vydáván jen územní souhlas stavebního úřadu a je na ně proto zpracovávána pouze jedna projektová dokumentace. Na projektanta je tak kladen velký nárok na získání potřebných podkladů a rozsah projektu. Teprve na třetí skupinu druhů staveb, které nejsou vyjmenovány v dlouhém výčtu § 103 a § 104 stavebního zákona, je vydáváno územní rozhodnutí a následné stavební povolení. V územním rozhodnutí může stavební úřad uložit zpracování prováděcí dokumentace stavby, vyžaduje-li to posouzení veřejných zájmů při provádění stavby, při kontrolních prohlídkách stavby, prováděných stavebním úřadem nebo při vydání kolaudačního souhlasu.

O zpracování prováděcí dokumentace musí rozhodnout stavební úřad, nikoliv projektant nebo stavebník a to v územním řízení na podložený návrh účastníků řízení. Pokud tyto stavby nejsou určeny pro specifikovanou veřejnost, obchod nebo průmysl, postačí po dokončení stavby písemné oznámení stavebníka o záměru započít s užíváním stavby stavebnímu úřadu. Pokud stavební úřad nezjistil při závěrečné kontrolní prohlídce závady, lze stavbu užívat bez rozhodnutí stavebního úřadu a účasti dotčených orgánů. Stanovisko dotčeného orgánu k užívání stavby je požadováno jen jako podklad pro vydání kolaudačního souhlasu u staveb, jejichž vlastnosti nemohou budoucí uživatelé ovlivnit (např. nemocnice, školy, nájemní bytové domy, obchody, průmysl, shromažďovací prostory, ubytovny odsouzených a obviněných). Vznikly tak tři skupiny druhů staveb s výrazným omezením vstupu státní správy a počtu vydávaných rozhodnutí. Dotčené orgány vydávají stanoviska k projektové dokumentaci u vyhrazených staveb na územní řízení a na všechny stavby

podléhající stavebnímu povolení. Kolaudační řízení, při kterém bylo možno uplatnit námitky jen při místním šetření s následným vydáním kolaudačního rozhodnutí, je minulostí. Nahradil jej kolaudační souhlas, který není správním rozhodnutím, ale administrativním úkonem stavebního úřadu po vydání souhlasných stanovisek všech dotčených orgánů k užívání omezeného počtu staveb podle § 122 stavebního zákona, tj. jen u staveb, kde nemohou budoucí uživatelé vlastnosti ovlivnit.

Zcela nové úkoly byly v § 152 stavebního zákona uloženy stavebníkovi. Ten je povinen např. dbát na řádnou přípravu a provádění stavby, být šetrný k sousedství, opatřit předepsanou dokumentaci, ohlašovat závady ohrožující životy a zdraví osob na stavbě. Uložené povinnosti se vztahují na všechny stavby bez ohledu na to, zda vyžadují ohlášení, příp. stavební povolení nebo ne. Veškerá odpovědnost za stavby je na stavebníkovi, nikoliv na úřadech, jak byla i odborná veřejnost doposud zvyklá.

Projektant podle § 159 stavebního zákona odpovídá za správnost, celistvost, a úplnost jím zpracované projektové dokumentace, zejména za respektování požadavků z hlediska ochrany veřejných zájmů a za jejich koordinaci. Nově projektant odpovídá i za správnost, celistvost, úplnost a bezpečnost stavby provedené podle jím zpracované projektové dokumentace a proveditelnost stavby podle této dokumentace. Je povinen dbát právních předpisů a obecných požadavků na výstavbu. Odpovědnost projektanta tak nekončí odevzdáním projektového díla a nemalou důležitost získává autorský dozor na stavbě i proto, že fyzická kontrola stavby je prováděna dotčeným orgánem jen u vymezených druhů staveb.

Pro stavbu mohou být podle § 156 stavebního zákona navrženy a použity jen takové výrobky, materiály a konstrukce, jejichž vlastnosti zaručují, že stavba při správném provedení a běžné údržbě po dobu předpokládané existence splní požadavky na mechanickou odolnost a stabilitu, požární odolnost, hygienu, ochranu zdraví a životního prostředí, bezpečnost při udržování a užívání stavby včetně bezbariérového užívání stavby, ochranu proti hluku a na úsporu energie a ochranu tepla. Výrobky, které mají rozhodující význam pro výslednou kvalitu stavby a představují zvýšenou míru ohrožení oprávněných zájmů, jsou stanoveny a posuzovány podle příslušných nařízení vlády.

Podmínky na stavby jsou uvedeny ve vyhlášce č. 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby. Požární bezpečnost patří mezi tyto základní požadavky, stejně jako mechanická odolnost a stabilita. Za splnění požadavků se považuje dodržení normových hodnot. Technické normy jsou sice od 1. 1. 2000 nezávazné, ale u chráněných zájmů je jejich závaznost uložena technickými právními předpisy. Technickým právním předpisem je zákon, nařízení vlády a vyhláška. Všechny technické právní předpisy jsou obecně závazné. Přílohy technických norem mohou být ve svém názvu normové nebo informativní. Pokud jsou přílohy normové, musí být podle nich postupováno. Informativní přílohy stanovují

rozsah požadovaných postupů nebo informací, korespondujících s logikou předmětné technické normy, ale smysl přílohy může být prokázán odchylným způsobem na stejné úrovni.

Základní požadavky požární bezpečnosti pro navrhování, umístění a užívání stavby jsou uvedeny ve vyhlášce č. 23/2008 Sb., ve znění vyhlášky č. 268/2011 Sb., o technických podmínkách požární ochrany staveb. Podle § 2 vyhlášky musí být stavba umístěna a navržena tak, aby podle druhu splňovala technické podmínky požární ochrany na odstupové vzdálenosti a požárně nebezpečný prostor, zdroje požární vody a jiného hasiva, vybavení stavby vyhrazeným požárně bezpečnostním zařízením, přístupové komunikace a nástupní plochy pro požární techniku, zabezpečení stavby nebo území jednotkami požární ochrany, stanovené v českých technických normách, pokud zvláštní právní předpis nestanoví jinak.

Rozsah a obsah projektové dokumentace je stanoven vyhláškou č. 499/2006 Sb. o dokumentaci staveb, pro ohlašované stavby, pro stavební povolení a dokumentaci skutečného provedení stavby. Vždy musí obsahovat požární bezpečnost, kde musí být řešeno zachování nosnosti a stability konstrukce po určitou dobu, omezení rozvoje a šíření ohně a kouře ve stavbě, omezení šíření požáru na sousední stavbu, umožnění evakuace osob a zvířat, umožnění bezpečného zásahu jednotek požární ochrany. Podrobně je pak v části požárně bezpečnostního řešení uvedena povinnost popisu a umístění stavby a jejích objektů, rozdělení stavby a jejích objektů do požárních úseků, výpočet požárního rizika a stanovení stupně požární bezpečnosti, stanovení požární odolnosti stavebních konstrukcí, evakuace, stanovení druhu a kapacity únikových cest, počet a umístění požárních výtahů, vymezení požárně nebezpečného prostoru, výpočet odstupových vzdáleností, způsob zabezpečení stavby požární vodou nebo jinými hasebními látkami, stanovení počtu, druhu a rozmístění hasicích přístrojů, posouzení požadavků na zabezpečení stavby požárně bezpečnostními zařízeními, zhodnocení technických zařízení stavby, stanovení požadavků pro hašení požáru a záchranné práce.

Projektová dokumentace pro provádění stavby, pokud je uvedena v územním rozhodnutí, musí vždy obsahovat část pozemní stavební objekty, inženýrské objekty a provozní soubory, členěné na jednotlivé položky. Zpracovávají se pouze ty části projektové dokumentace pro provádění stavby, které nejsou shodné s projektem pro ohlášení stavby nebo stavební povolení. V technické zprávě se zpřesňují, doplňují a zdůvodňují veškeré údaje a případné odchylky oproti ověřené projektové dokumentaci, zdůvodňují se a zpřesňují technická, konstrukční, materiálová nebo dispoziční řešení a stanovení případných zvláštních podmínek pro provádění, montáž nebo technologické postupy. Pokud je před zahájením stavby zjištěno, že stavebním úřadem ověřená projektová dokumentace nevyhovuje stavebníkovi nebo možnosti provedení, lze zpracovat a s dotčenými orgány odsouhlasit dokumentaci změny stavby před jejím dokončením.

Souběžně s touto vyhláškou upravuje podrobnost projektové dokumentace v části požárně bezpečnostního řešení i vyhláška č. 246/2001 Sb., o požární prevenci. Pro stavby podléhající stavebnímu povolení rozlišuje, co je podkladem pro územní rozhodnutí a pro stavební povolení. V územním řízení je dostačující návrh koncepce požární bezpečnosti z hlediska předpokládaného stavebního řešení a způsobu využití stavby, řešení příjezdových komunikací a nástupních ploch, potřebného množství požární vody, vybavení objektu vyhrazenými požárně bezpečnostními zařízeními, grafické vyznačení umístění stavby s vymezením předpokládaných odstupových, popřípadě bezpečnostních vzdáleností. V projektu pro stavební povolení musí být kromě prokazovaných podrobností uveden i seznam použitých podkladů pro jeho zpracování.

Hasičský záchranný sbor provádí výkon státního požárního dozoru u vyhrazených druhů staveb posuzováním projektové dokumentace v rozsahu požárně bezpečnostního řešení. Proto musí být v této části projektu uvedeny všechny požadavky na stavbu, které ovlivňují požární bezpečnost a průkaz jejich splnění. Nelze se odkazovat na ostatní části projektu, kde není právně možné požadovat nápravu případných nesprávných postupů. Požárně bezpečnostní řešení je ukládáno s vydaným stanoviskem v dokumentaci Hasičského záchranného sboru. Po dokončení stavby je podle požárně bezpečnostního řešení na místě ověřováno, zda byly dodrženy podmínky požární bezpečnosti stavby, které vyplývají z posouzených podkladů a dokumentace. Státní požární dozor se vykonává také kontrolou dodržování povinností vlastníků a uživatelů stanovených mimo jiné i projektovou dokumentací při následném užívání stavby. Požárně bezpečnostní řešení musí být komplexní částí projektu, podle které lze správnost provedení a užívání stavby ověřit i po desetiletích od dokončení stavby.

1.3 Prokazování požární bezpečnosti

Shodou výrobku se rozumí prokazatelné splnění stanovených požadavků. Prokazatelnost požadovaných vlastností je povinnost výrobce s přímou odpovědností za bezpečnost výrobku. Technický předpis je veřejnoprávní technická specifikace vyhlášená sbírkou zákonů. Vymezuje práva, odpovědnosti, povinnosti a požadavky ve vztahu k výrobku. Způsob stanovování technických požadavků na výrobky, které by mohly ohrozit zdraví nebo bezpečnost osob, majetek nebo přírodní prostředí (oprávněný zájem), práva a povinnosti osob, které uvádějí na trh nebo do provozu výrobky, práva a povinnosti osob, pověřených k činnosti při posuzování shody, upravuje Zákon č. 22/1997 Sb., o technických požadavcích na výrobky a o změně a doplnění některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů.

Posuzování shody je činnost výrobce k dosažení bezpečnosti výrobku a všech jeho vlastností, kterou provádí buď samostatně, nebo za účasti oprávněných osob podle rizikovitosti výrobků. Stanovený postup je technickým předpisem, tj. zákonem nebo nařízením

vlády, vynucený postup posuzování shody. Prokazování shody je poskytování důkazů o splnění stanovených povinností výrobcem a dalšími zúčastněnými osobami oprávněným způsobem tak, že bezpečnost a vhodnost výrobku k určenému používání je snadno zjištělná. Při prokazování shody je třeba klasifikovat výrobek, přiřadit všechny účinné právní předpisy, posoudit stanovené postupy, zhodnotit rizika, shromáždit dokumentaci a důkazy, stanovit opatření k vyloučení rizik a vydat prohlášení.

Výrobky, které mají rozhodující význam pro kvalitu stavby, jsou pro Českou republiku stanoveny a posuzovány podle Nařízení vlády č. 163/2002 Sb., kterým se stanoví technické požadavky na vybrané stavební výrobky, ve znění pozdějších předpisů nebo podle Nařízení vlády č. 190/2002 Sb., kterým se stanoví technické požadavky na stavební výrobky označované CE, ve znění pozdějších předpisů. V případě, že se na výrobek vztahuje několik směrnic a jsou vyrobené ve státech EU, budou předpisy sjednoceny vydáním ES Prohlášení v jednom z úředních jazyků EU. ES prohlášení o shodě, musí být vypracováno v úředním jazyce země určení, tj. při zabudování do stavby v České republice v českém jazyce. Výrobce, zplnomocněný zástupce nebo distributor zajistí překlad prohlášení s dodáním kopie v původním jazyce. ES prohlášení o shodě musí být na požádání ihned dáno k dispozici orgánu dozoru. Za bezpečný výrobek se považuje výrobek splňující požadavky zvláštního předpisu a mezinárodních smluv, kterými je ČR vázána a které byly vyhlášeny ve Sbírce mezinárodních smluv. V projektové dokumentaci nestačí uvést jen normové požadavky, ale projektant musí zjistit, zda pro navrhované konstrukce byl vydán průkaz shody podle příslušného nařízení vlády nebo podle Eurokódů průkaz shody provede. Zhotovitel stavby je podle § 160 stavebního zákona povinen provést stavbu v souladu s ověřenou projektovou dokumentací a nemůže zasahovat do právní odpovědnosti projektanta jiným řešením.

1.4 Prokazování shody

Účinnost národní hodnotové normy ČSN 73 0821 Požární bezpečnost staveb – Požární odolnost stavebních konstrukcí z 1973 dnem 1. 3. 2010 skončila a byla nahrazena ČSN 730821 ed.2. Při posuzování směn staveb je možno využít hodnoty požární odolnosti v ČSN 730834 Z1 a podle evropských/českých návrhových norem, Eurokódů, nebo průkaz shody podle příslušných nařízení vlády, změnila se stavební legislativa a z ní vyplývající Vyhláška č. 23/2008 Sb., o technických podmínkách požární ochrany staveb, ve znění pozdějších předpisů.

Na konstrukce, pro které byly vlastnosti stanoveny výpočtem podle návrhových norem, Eurokódů, vydá dodavatel stavby, kterého lze pro tento účel považovat za výrobce, prohlášení, že stavbu provedl podle ověřené projektové dokumentace a tím splní povinnost prokazování shody.

2 Prokazování požární odolnosti staveb výpočtem

2.1 Řešení požární bezpečnosti

Spoluprací celého tvůrčího týmu již od počátečního stádia projektové činnosti lze zajistit správné a účelné řešení požární bezpečnosti stavby. Koordinují se zejména požadavky architekta, hlavního inženýra, inženýra pro požární bezpečnost staveb a statika případně zástupců dalších profesních projektů tak, aby návrh stavby již v zrodu splňoval základní požadavky všech profesních částí. I kvalitní práce jednotlivých specialistů může být znehodnocena nedostatky v koordinaci týmu.

K vlastnímu ověřování požární odolnosti staveb výpočtem je nutná spolupráce zejména autorizovaného inženýra pro požární bezpečnost staveb, stavebního inženýra a autorizovaného statika. Požadovanou požární odolnost, tj. levou stranu rovnice spolehlivosti, vypracovává autorizovaný inženýr pro požární bezpečnost staveb podle celkové koncepce požární spolehlivosti budovy s podporou národních předpisů, daných zejména kodexem norem požární bezpečnosti řady ČSN 7308xx. Prokázání požární odolnosti statickým výpočtem, tj. pravou stranu rovnice spolehlivosti statického výpočtu konstrukce vystavené účinkům požáru, provádí statik s využitím dat a znalostí o návrhu a chování nosné konstrukce za běžné teploty s podporou návrhových norem ČSN EN 1990 až 1999.

Nezbytnou oblastí spolupráce mezi autorizovaným inženýrem pro požární bezpečnost staveb a autorizovaným statikem je určení požárního scénáře, ze kterého pro danou stavbu plyne vhodný model pro tepelné zatížení, návrhový požár a vstupní data pro tento model, např. požární zatížení, rychlost uvolňování tepla a velikost lokalizovaného požáru. K dispozici jsou nominální teplotní křivky, zjednodušené a zdokonalené modely požáru, viz kap. 3 v ČSN EN 1991-1-2.

Při využití výpočtových softwarů, je zpracovatel povinen prověřit a doložit jejich vhodnost pro daný případ. Zejména je třeba dbát o vhodné použití a doložení vstupů a výstupů z modelování požáru, z výpočtu přestupu tepla do konstrukce a rozvoje teploty v ní a z globální analýzy, tj. statickém modelu, za běžné nebo zvýšené teploty, a ověření spolehlivosti konstrukce obvykle po jednotlivých prvcích a styčnicích.

2.2A Požárně bezpečnostní řešení stavby

Požární bezpečnost stavebních objektů je schopnost objektů bránit v případě požáru ztrátám na životech a zdraví osob, popř. zvířat a ztrátám majetků. Dosahuje se jí vhodným urbanistickým začleněním objektu, jeho dispozičním, konstrukčním a materiálovým řešením nebo požárně bezpečnostními zařízeními a opatřením podle ČSN 73 0802 čl. 3.1.

Faktory, které ovlivňují požární odolnost, závisí na volbě konstrukčního návrhu z hlediska statického, stavebního i požárně bezpečnostního. Stanovení kritérií přijatelnosti návrhu a nastavení hranice pro bezpečné řešení případného požáru musí být v souladu s požadovanými národními předpisy, tj. českými zákony č.133/1985 Sb. o požární ochraně ve znění zákona č. 186/2006 Sb. a vyhláškami a technickými normami, viz příloha č. 1 Vyhlášky 23/2008 Sb., ve znění pozdějších předpisů.

Základní postup pro zajištění požární bezpečnosti stavby určují Vyhláška o technických podmínkách požární ochrany staveb č. 23/2008 Sb., ve znění pozdějších předpisů, §2 odst. 1 a 2, a Vyhláška o stanovení podmínek požární bezpečnosti a výkonu státního požárního dozoru č. 246/2001 Sb. Při zpracování požárně bezpečnostního řešení se vychází z požadavků zvláštních právních předpisů, normativních požadavků a z podmínek vydaných rozhodnutí v daném území. Příslušné podklady z hlediska požární bezpečnosti obsahují:

- Návrh koncepce požární bezpečnosti z hlediska předpokládaného stavebního řešení a způsobu využití stavby. Přitom se vychází z výšky stavby, stavebních konstrukcí, umístění stavby z hlediska předpokládaných odstupových, popřípadě bezpečnostních vzdáleností, údajů o navržené technologii a používaných, zpracovávaných nebo skladovaných látkách.
- Řešení příjezdových komunikací, popřípadě nástupních ploch pro požární techniku, zajištění potřebného množství požární vody, popřípadě jiné hasební látky.
- Předpokládaný rozsah vybavení objektu vyhrazenými požárně bezpečnostními zařízeními, včetně náhradních zdrojů pro zajištění jejich provozuschopnosti.
- Zhodnocení možnosti provedení požárního zásahu, popřípadě vyjádření potřeby zřízení jednotky požární ochrany podniku nebo požární hlídky.
- Grafické vyznačení umístění stavby s vymezením předpokládaných odstupových, popřípadě bezpečnostních vzdáleností, příjezdové komunikace a nástupní plochy pro požární techniku, připojení k sítím technického vybavení apod.

Při navrhování stavby musí být podle druhu stavby dále splněny technické podmínky požární ochrany na:

- stavební konstrukce a technologické zařízení,
- evakuaci osob a zvířat,

které jsou stanoveny v českých technických normách uvedených v příloze č.1 vyhlášky 23/2008 Sb., ve znění pozdějších předpisů. Požárně bezpečnostní řešení, které je nedílnou součástí dokumentace stavby a ve smyslu vyhlášky č. 499/2006 Sb. musí obsahovat:

a) seznam použitých podkladů pro zpracování

b) stručný popis stavby

z hlediska stavebních konstrukcí, výšky stavby, účelu užití, popřípadě popisu a zhodnocení technologie a provozu, umístění stavby ve vztahu k okolní zástavbě. Jedná se zejména o rozměry objektu (půdorysné rozměry, počet podlaží atd., konstrukční návrh objektu, statické schéma objektu vč. stanovení statických závislostí, vnitřní dispozice a urbanistické řešení, koordinace jednotlivých požadavků a navazující návrh technického zařízení budovy včetně požárně bezpečnostních opatření, posouzení technologie provozu, vybavenost aktivním a pasivním požárním zařízením. Návrh objektu musí koordinovat základní požadavky na objekt dané venkovními vlivy, umístěním objektu, požadavky na mezní odstupové vzdálenosti a z toho vyplývající požadavky na dispoziční, konstrukční i požárně bezpečnostní řešení.

c) Rozdělení stavby do požárních úseků

Požární úsek, viz ČSN 73 0802 čl. 3.11 je prostor stavebního objektu, ohraničený od ostatních částí tohoto objektu, popř. od sousedních objektů, požárně dělícími konstrukcemi, popř. požárně bezpečnostním zařízením. Úsek je základní posuzovanou jednotkou z hlediska požární bezpečnosti stavebních objektů. Účelem je bránit šíření požáru. Úseky jsou ohraničeny požárně dělícími konstrukcemi, u kterých se stanoví požární odolnost podle stupně požární bezpečnosti ČSN 73 0802 čl. 7.2. Stavební objekt, který není dělen do požárních úseků, se považuje za jeden požární úsek. Objekt se musí dělit tehdy, přesahuje-li jeho velikost mezní rozměry požárního úseku. Samostatné požární úseky musí tvořit celá řada částí objektu, viz čl. 5.3.2 ČSN 73 0802 resp. čl. 5.2.4 ČSN 73 0804 např. chráněná úniková cesta, evakuační výtahy, instalační šachty, prostory pro zajištění požární bezpečnosti, garážové prostory. Rozdělení objektu na požární úseky musí odpovídat technickému a technologickému rozdělení objektu, aby nedocházelo k neekonomickým požadavkům na požární dělení zejména s ohledem na požární uzávěry, prostupy technologií a technických zařízení budov a musí navazovat na konstrukční a statické řešení objektu z hlediska statických závislostí dílčích konstrukcí, podlažnosti objektu či požárních úseků, rozmístění pož. zatížení vč. požadavků na oddělení prostorů s vyšším požárním zatížením či stanovení prostor s místně soustředěným požárním zatížením, vše za účelem ekonomického, bezpečného a funkčního návrhu stavby.

d) Stanovení požárního rizika popřípadě ekonomického rizika, stanovení stupně požární bezpečnosti a posouzení velikosti požárních úseků.

Při navrhování stavby musí být pro vymezené požární úseky určena pravděpodobná intenzita případného požáru, dále jen požární riziko, v souladu s českými technickými normami uvedenými ve Vyhlášce Ministerstva vnitra č. 23/2008 Sb., o technických

podmínkách požární ochrany, příloze č. 1 částech 2 a 3. Dále je možné stanovení požárního rizika dle ČSN EN 1991-1-2.

Rozsah a intenzita případného požáru v posuzovaném stavebním objektu nebo jeho částí, je určena dle kodexu norem 7308xx výpočtovým požárním zatížením v nevýrobních objektech, viz čl. 3.6 ČSN 73 0802, resp. ekvivalentní dobou trvání požáru a normovými či pravděpodobnými teplotami plynů v hořícím prostoru, viz čl. 3.8 ČSN 73 0804. Závisí zejména na množství a druhu hořlavých látek, na rychlosti jejich odhořívání, účinnosti požárně bezpečnostních zařízení a na tepelně technických vlastnostech konstrukcí ohraničujících posuzovaný požární úsek. Požární zatížení, viz čl. 3.13-3.16 ČSN 73 0804, se stanoví z požárního zatížení nahodilého a stálého. Do nahodilého požárního zatížení se započítává hmotnost a výhřevnost všech hořlavých látek, které se za normálních podmínek provozu nebo užívání vyskytují v požárním úseku. Do stálého požárního zatížení se započítává hmotnost a výhřevnost hořlavých výrobků obsažených ve stavebních konstrukcích posuzovaného úseku nebo objektu, pokud nejde o konstrukce nosné a požárně dělící.

Požární riziko, které se určení podle jiné metodiky, nenahrazuje výpočtové požární zatížení podle norem řady ČSN 7308xx, viz ČSN 730810:2009. Jinak se musí dokázat, že nedochází ke snížení požární bezpečnosti oproti požární bezpečnosti podle norem řady ČSN 7308xx.

Ekonomické riziko, ve výrobních stavbách, resp. mezní velikost požárního úseku, v nevýrobních stavbách, jsou závislé na druhu a charakteru provozu, požárně bezpečnostních zařízeních a opatřeních, velikosti požárního úseku, počtu podlaží v objektu, konstrukčním systému a na předpokládaných škodách.

e) Zhodnocení navržených stavebních konstrukcí a požárních uzávěrů z hlediska jejich požární odolnosti.

Požární odolností stavebních konstrukcí je souhrnně vyjádřena schopností konstrukcí odolávat účinkům požáru a zachovat při požáru svou nosnost, celistvost a izolační schopnost. Požadovaná požární odolnost stavebních konstrukcí, vyjádřena dobou v minutách a požadovaný druh konstrukčních částí se stanoví podle stupně požární bezpečnosti požárního úseku dle ČSN, viz tab. 12 v ČSN 73 0802 Požární odolnost konstrukcí a jejich druh.

Požadovaná požární odolnost konstrukcí musí být při běžném provozu zajištěna po celou dobu předpokládané životnosti objektu. Při posuzování konstrukcí, i neuvedených v tab. 12, se postupuje podle ČSN 73 0810. Jedná se např. o zasklené konstrukce, zvýšené podlahy apod.

V případě návrhu konstrukce, která je vystavena vysokým teplotám za požáru, dle kap. 2 v ČSN EN 1991-1-2, lze požární odolnost prokázat statickým výpočtem s využitím znalostí o chování nosné konstrukce za běžné teploty s podporou návrhových norem ČSN EN 1990 až 1999. Pro jednoduché konstrukce lze použít publikaci Zoufal R. a kol. Hodnoty požární odolnosti stavebních konstrukcí podle Eurokódů, viz [2.1], ve které se vychází z konzervativních hodnot namáhání. Nemusí se tedy stanovovat zatížení ani řešit statický model konstrukce.

f) Zhodnocení navržených stavebních hmot

tj. stupeň hořlavosti, odkapávání v podmínkách požáru, rychlost šíření plamene po povrchu, toxicita zplodin hoření apod.

Navržené stavební materiály se hodnotí zejména dle reakce stavební konstrukce včetně stavebního výrobku určeného k zabudování do stavby na oheň a musí být klasifikovány do tříd A až F včetně přiřazených indexů podle české technické normy ČSN EN 13501-1.

g) Zhodnocení možnosti provedení požárního zásahu,

evakuace osob, zvířat a majetku a stanovení druhů a počtu únikových cest, jejich kapacity, provedení a vybavení.

Únikové cesty musí umožnit bezpečnou a včasnou evakuaci všech osob z požárem ohroženého objektu nebo jeho části na volné prostranství a přístup požárních jednotek do prostorů, napadených požárem. Zajištění úniku osob a zvířat z objektu je řešeno únikovými cestami s rozdělením na nechráněné a chráněné únikové cesty. Únikové cesty tvoří i evakuační a požární výtahy, rampy, eskalátory. Dále jsou řešeny náhradní únikové možnosti, které se nezapočítávají do kapacity únikových cest. V rámci posouzení jsou stanoveny mezní kapacity únikových cest dle typu ochrany a jejich mezní délky či mezní doby evakuace s posouzením dle ohrožení osob zplodinami hoření a kouře u vymezených prostor.

h) Stanovení odstupových, popřípadě bezpečnostních vzdáleností a vymezení požárně nebezpečného prostoru, zhodnocení odstupových, popřípadě bezpečnostních vzdáleností ve vztahu k okolní zástavbě, sousedním pozemkům a volným skladům.

i) Určení způsobu zabezpečení stavby požární vodou včetně rozmístění vnitřních a vnějších odběrních míst, popřípadě způsobu zabezpečení jiných hasebních prostředků u staveb, kde nelze použít vodu jako hasební látku.

j) Vymezení zásahových cest a jejich technického vybavení, opatření k zajištění bezpečnosti osob provádějících hašení požáru a záchranné práce, zhodnocení příjezdových komunikací, popřípadě nástupních ploch pro požární techniku.

k) Stanovení počtu, druhů a způsobu rozmístění hasicích přístrojů vč. hasicí schopnosti dle vyhl. 23/2008 Sb., popřípadě dalších věcných prostředků požární ochrany nebo požární techniky.

l) Zhodnocení technických, popřípadě technologických zařízení stav, rozvodná potrubí, vzduchotechnická zařízení, vytápění apod., z hlediska požadavků požární bezpečnosti

m) Stanovení zvláštních požadavků na zvýšení požární odolnosti stavebních konstrukcí nebo snížení hořlavosti stavebních hmot

Stanovení ochrany je možno řešit použitím výrobové základny pomocí obkladů konstrukcí, nátěry, nástřiky s dokladem o požární odolnosti či dle ověření požární odolnosti statickým výpočtem s využitím znalostí o chování nosné konstrukce za běžné teploty s podporou návrhových norem ČSN EN 1990 až 1999 v rozsahu, daném těmito normami.

n) Posouzení požadavků na zabezpečení stavby požárně bezpečnostními zařízeními, následně stanovení podmínek a návrh způsobu jejich umístění a instalace do stavby, dále jen návrh.

Návrh obsahuje:

- způsob a důvod vybavení stavby vyhrazenými požárně bezpečnostními zařízeními, určení jejich druhů, popřípadě vzájemných vazeb,
- vymezení chráněných prostor,
- určení technických a funkčních požadavků na provedení vyhrazených požárně bezpečnostních zařízení, včetně náhradních zdrojů pro zajištění jejich provozuschopnosti,
- stanovení druhů a způsobu rozmístění jednotlivých komponentů, umístění řídicích, ovládacích, informačních, signalizačních a jisticích prvků, trasa, způsob ochrany elektrických, sdělovacích a dalších vedení, zajištění náhradních zdrojů apod.,
- výpočtovou část,
- stanovení požadavků na obsah podrobnější dokumentace.

o) Rozsah a způsob rozmístění výstražných a bezpečnostních značek a tabulek včetně vyhodnocení nutnosti označení míst, na kterých se nachází věcné prostředky požární ochrany a požárně bezpečnostní zařízení.

2.3 Statický výpočet požární odolnosti

Zpracovatelé

Statický výpočet zpracovávají fyzické osoby, které mají oprávnění k výkonu vybraných činností ve výstavbě. Odpovědnost za záruky je řešena obchodním a občanským zákoníkem. požáru, přestup tepla do konstrukce a ověření konstrukce za vysokých teplot.

Účel

Statický výpočet je dokument, který prokazuje, že konstrukce je schopna bezpečně přenášet působící zatížení, splňuje hlavní požadavky na mechanickou únosnost a stabilitu za běžné teploty a za zvýšené teploty při požáru. Výpočet musí být plnohodnotným podkladem pro vypracování technické dokumentace, která povede k provedení stavby.

Rozsah statického výpočtu má odpovídat stupni projektové dokumentace, jejíž je výpočet součástí. Z tohoto hlediska lze rozeznat statický výpočet pro stavební povolení a statický výpočet pro provedení stavby. Postup návrhu konstrukce vystavené zvýšeným teplotám za požáru je dán kap. 2 v ČSN EN 1991-1-2. Požaduje se jasně definovat a odděleně doložit model

Právní rámec

Pokud je statický výpočet vypracován podle platných norem a osobami mající oprávnění k výkonu činnosti, je to považováno za důkaz, že statický výpočet je v souladu s nároky právního řádu státu a posledními poznatky vědy a techniky.

Základní požadavky

Statický výpočet je dokument, který prokazuje, že konstrukce splňuje základní požadavky, tj. mechanickou únosnost a bezpečnost při požáru, které jsou pro země Evropské unie uvedeny ve Směrnici rady 89/106/EEC pro stavební výrobky. Základní požadavky musí konstrukce splňovat po celou dobu její plánované životnosti, viz ČSN EN 1990. Statické výpočty mají jasnou strukturu, která je dána jejich účelem a potřebou dodatečné kontroly, viz [2.2].

Statický výpočet má mít takové uspořádání, aby umožňoval snadnou a přehlednou orientaci. Vstupy do výpočtu musí být srozumitelné a jejich podklady se musí jasně dokladovat. Výpočet musí obsahovat všechny údaje pro provedení kontrolního přepočtu. Ověřují se všechny rozhodující stavy konstrukce, které ovlivňují únosnost a stabilitu se seřazením od podporovaných prvků k podporujícím.

Statický výpočet konstrukce vystavené účinkům požáru dokládá, že konstrukce si zachová nosnou funkci po příslušnou dobu trvání požáru, která je stanovena požadovanou požární odolností dané konstrukce. Požadavky musí konstrukce splňovat po celou dobu předpokládané životnosti.

Zatížení

Při požární situaci je konstrukce kromě mechanického zatížení vystavena i tepelnému zatížení.

Stanovení mechanického zatížení vychází z návrhu při běžné teplotě, pokud je pravděpodobné, že bude působit i v požární situaci. Pro mimořádné návrhové situace se kombinace mechanického zatížení uvažuje podle vztahů podle ČSN EN 1990. Obvykle lze využít redukce odpovídajících účinků vypočítaných za běžné teploty. Redukční součinitel zatížení závisí na použitém kombinačním pravidlu pro stanovení návrhové hodnoty účinku zatížení pro běžnou teplotu, dílčích a kombinačních součinitelích. Postup stanovení redukčního součinitele je stanoven v druhých kapitolách norem ČSN EN 1992-1-2 až ČSN EN 1999-1-2. Snížené mechanické zatížení při požáru oproti meznímu stavu únosnosti za běžné teploty je jedním ze zdrojů spolehlivosti konstrukcí při požáru.

Nepřímá zatížení konstrukce v důsledku roztažení a přetvoření, způsobená teplotními změnami od požáru, vyvolávají síly a momenty. Nepřímá zatížení lze uvažovat obvykle pouze pokročilou globální analýzou za zvýšené teploty. Nepřímá zatížení od požáru není nutno při výpočtu konstrukce uvažovat, pokud jsou zanedbatelná, příznivá nebo je konzervativně zvolený model podepření a okrajových podmínek. Při hodnocení nepřímých zatížení se má uvažovat vynucené tepelné roztažení vlastních prvků, rozdílné tepelné roztažnosti staticky neurčitých prvků, teplotní gradienty v průřezích, tepelné roztažení sousedních prvků.

Tepelná zatížení se určují na požadované úrovni přesnosti výpočtu podle třetí kapitoly normy ČSN EN 1991-1-2. Nejjednodušším modelem požáru je nominální teplotní křivka, která již po 130 let umožňuje přibližný odhad teploty plynu. Osvědčila se pro zkoušení prvků v laboratořích a při klasifikaci požární odolnosti. Její hlavní nevýhodou pro ověření požární odolnosti je absence popisu chladnutí. Chladnutí popisují zjednodušené i pokročilé modely rozvoje teploty v požárním úseku.

Ekvivalentní doba vystavení účinkům požáru $t_{e,d}$ se definuje jako čas, po který účinky ohřátí stavební konstrukce podle nominální normové teplotní křivky odpovídají účinkům ohřátí stavební konstrukce při požáru. Přechod z teplotní křivky požáru na nominální normovou křivku umožňuje porovnat zkoušky požární odolnosti stavebních konstrukcí, při kterých se zahřívá podle nominální normové teplotní křivky, viz kap. 1.3.7 v [2.4]. Porovnání křivek je možné jen pro některé typy konstrukcí. Je ověřeno a rozvíjeno pro betonové konstrukce, viz [2.5], kde je i podrobně popsána historie vzniku a možnosti požití. Nelze ji vypracovat pro dřevěné konstrukce, viz [2.6]. Ekvivalentní doba vystavení účinkům požáru se v zemích, ve kterých je hlavní mimořádné zatížení zemětřesení a návrh na jeho účinky do jisté míry zajišťuje dostatečnou požární odolnost nosných stavebních konstrukcí, využívá pro stanovení požadované požární odolnosti, viz informativní příloha F v normě ČSN EN 1991-1-

2. V České republice byla pro tuto problematiku vypracována pokročilejší metodika. Výsledná hodnota ekvivalentní doby podle přílohy F k ČSN EN 1991-1-2 se od ekvivalentní doby trvání požáru τ_e podle ČSN 73 0804 liší. Ekvivalentní doba vystavení účinkům požáru $t_{e,d}$ nemůže být proto přímo aplikována do českých projektových norem pro požární bezpečnost staveb.

Návrhové hodnoty materiálových vlastností

Zvýšené teploty konstrukce při požáru způsobí změnu mechanických vlastností konstrukčního materiálu. Změněné, redukované, mechanické vlastnosti ovlivní nosnou způsobilost a odolnost konstrukce. Pro navrhování za běžné teploty se návrhové hodnoty mechanických materiálových vlastností definují charakteristickými hodnotami pevností nebo deformačními vlastnostmi v příslušných návrhových a materiálových normách. Redukce pracovních diagramů jednotlivých materiálů za zvýšené teploty je popsána ve třetích kapitolách norem pro navrhování konstrukcí na účinky požáru ČSN EN 1992-1-2 až ČSN EN 1999-1-2. Pro redukci mechanických vlastností za zvýšených teplot je v normách zaveden redukční součinitel, který závisí na teplotě materiálu.

Metody prokazování

Přestup a rozvoj tepla v konstrukci, teplotní analýza, vychází podle typu konstrukčního prvku z tabulek, přírůstkových a diskretních metod.

Ověření požární odolnosti konstrukce za vysokých teplot, mechanická analýza, může vycházet z výpočtu konstrukce za běžné teploty nebo využít pokročilé přesnější metody a vycházet z globální analýzy za zvýšených teplot. Model konstrukčního systému pro globální analýzu se vytváří tak, aby co nejlépe vystihoval očekávané chování.

Ověření odolnosti lze provést z hlediska času, únosnosti a teploty, viz kap. 2.5 ČSN EN 1991-1-2. Ověření z hlediska času, tj. požadovaná požární odolnost je menší než čas do porušení, nejlépe dokládá rezervy ve spolehlivosti konstrukce. Vyžaduje ale přímé řešení, které je vhodné pouze pro jednoduché výpočty. Pro složitější výpočty je nejvhodnější ověření únosnosti při požadované požární odolnosti. Při výpočtu se ověřuje, že po příslušnou dobu trvání požáru je splněna únosnost a stabilita konstrukce.

Požární zkouškou podle řady zkušebních norem ČSN EN 1363, podrobněji viz [2.3], a odpovídající klasifikací se pro výrobky a výjimečně pro konstrukční části dosahuje ekonomičtějšího ověření požární odolnosti. Výsledky zkoušek se vhodně kombinují s výpočty, což umožňuje rozšíření aplikace zkoušek, viz [2.4].

Obsah statického výpočtu požární odolnosti

Statický výpočet pro prokázání požární odolnosti staveb má obsahovat, viz [2.7] a [2.8], části, které lze zahrnout pod vstupní informace, vlastní výpočet a požadavky na provádění stavby. Jednotlivé části lze dělit do tří částí: vstupní informace, vlastní výpočet a požadavky na provádění stavby.

Vstupní informace

A) Identifikační údaje o stavebním objektu, investorovi, zhotoviteli stavby a zhotoviteli dokumentace

Uvádí se název a adresa stavebního objektu řešeného statickým výpočtem, název a adresa zhotovitele dokumentace statického výpočtu s uvedením jmen zpracovatelů, kontrolora a schvalovatele. Schvalovatel musí mít oprávnění pro schválení statického výpočtu a musí přesvědčit o přijatelnosti vstupních dat a výsledků pomocí kontroly. Součástí je název a adresa investora.

B) Přehled podkladů, vstupních údajů a požadavků

Základní podklady, které poskytl zhotoviteli informace o podmínkách a způsobu provedení objektu. Podklady obsahují požadovanou požární odolnost konstrukce a případně dále požadavky investora, působení zatížení, max. povolené nebo požadované deformace u požárně dělících prvků, atd.

C) Koncepční řešení základního statického působení konstrukce

Stručný popis a charakteristika zajištění únosnosti a stability konstrukce. Popis zvoleného výpočtového modelu s uvedením hlavních specifikací, tj. důležité části konstrukce nebo detaily, které významně ovlivňují statický model. Jako je např. kotvení sloupů, ztužení, hlavní spoje.

V této části se uvede požadovaná požární odolnost konstrukce, dílčí části konstrukce nebo prvku.

D) Dispoziční, stavebně technické, řešení objektu ve smyslu uvedení základních půdorysných a výškových rozměrů

Uvedení základních půdorysných a výškových rozměrů posuzovaného objektu společně s jeho funkcí. Výšková i půdorysná schémata se pro lepší přehlednost znázorňují graficky.

E) Seznam užitých norem a literatury

Uvedení literatury, která sloužila jako podklad pro návrh. Přesná specifikace norem s případnými odkazy na použitou kapitolu. Odborná literatura s uvedením názvu a odvolávky na kapitolu nebo číslo stránky.

F) Údaje o použitém softwaru

Popis programu, který sestává z jeho názvu a čísla verze, stručné charakteristiky a možnosti použití.

Vlastní výpočet

Výpočet může být proveden: ručně, pomocí výpočetního programu nebo kombinací obou metod. Při využití výpočtového programu, je zpracovatel povinen prověřit jeho vhodnost pro daný případ. Zvláště je třeba prověřit vhodnost volené globální analýzy, tj. statického modelu. Ve výstupech z programu musí být samostatně oddělen výpočet teploty v požárním úseku, přestup a rozvoj tepla do konstrukce a mechanická analýza konstrukce za požáru. Ve statickém výpočtu se doloží:

G) Vstupní data pro výpočet

Vstupní data sestávají z modelu pro globální analýzu, zvoleného materiálu na prvky, jejich průřezové charakteristiky a případně další doplňující údaje. Seznam materiálu se uvádí s předpokládanými mechanickými vlastnostmi. Dále se popíše průřezové charakteristiky jednotlivých prvků v konstrukci s uvedením materiálu.

H) Grafická schémata

Uvede se přehledný popis a grafické znázornění výpočetního modelu. Geometrie, okrajové podmínky, kotvení a statické působení má být patrné z popisu nebo grafického výstupu. Uvádí se, pokud je konstrukce něčím specifická. Doplňující údaje se týkají zjednodušení v uvažovaném modelu, redistribuci vnitřních sil apod.

Konstrukci je vhodné rozdělit na dílčí části, u kterých jsou uvedeny výstupní údaje, které jsou nutné pro kontrolu únosnosti a použitelnosti. Výstupní údaje obsažené ve výpočtech jsou z rozhodujících zatěžovacích stavů a kombinací zatížení, které vytváří nejnepríznivější účinky. Tyto údaje mají být prezentovány v obou posudcích za běžné teploty a za požární situace.

I) Tepelná zatížení

Pro tepelné zatížení konstrukce/její části/prvku se popíše zvolená teplotní křivka rozvoje teploty plynu v požárním úseku.

J) Mechanická zatížení

V dokumentu je nezbytné uvést veškerá zatížení, která mohou v průběhu životnosti na konstrukci působit. Popíše se zatěžovací stavy včetně součinitelů zatížení a volené kombinace zatížení.

Zvláštní pozornost se věnuje mimořádným kombinacím zatížení konstrukce vystavené požáru. Zde se popíše zvolené součinitele kombinace a dílčí součinitele za požáru.

K) Ověření při běžné teplotě v případě, že z něj požární návrh vychází

V případě, že požární návrh vychází z ověření za běžné teploty, popíše se dimenze průřezů a porovná se namáhání a únosnost prvků, tzv. jednotkové posudky. Tuto část lze řešit i odkazy na statický výpočet. Odkazy musí být podrobné a adresné a statický výpočet za běžné teploty musí být k požární zprávě přiložen.

L) Ověření při vystavení účinkům požáru

L1) Teplotní analýza

Podle materiálu prvků konstrukce a požadavky na přesnost zvolené metody výpočtu se doloží přestup tepla do konstrukce, u ocelových a hliníkových prvků, rozvoj teploty v konstrukci, u betonových, ocelobetonových a zděných prvků, a odhořívání průřezu, u dřevěných prvků.

L2) Mechanická analýza

Doloží se ověření a dimenze průřezů vystavených účinkům požáru s uvedením rozhodujících namáhání s návrhových sil. Pro přehlednost řešení lze použít jednotkové posudky hlavních prvků konstrukce, případně jejich spojů. U částí konstrukce, které mají požárně dělící funkci, se uvádí ověření deformací. Do této části též patří další výsledky jako hodnoty podporových reakcí, přehled vnitřních sil na prvku atd.

M) Shrnutí rozhodujících výsledků

Pro přehlednost a srozumitelnost se upřednostňuje tabelární podoba, která poskytuje jasnou představu o využití jednotlivých průřezů a jejich požární odolnosti. Ve formě tabulky se uvádí výsledky, které informují o hlavních vstupních datech a závěrech prověření na účinky požáru.

Požadavky na provádění stavby

N) Požadavky na postup výstavby konstrukce a kontrolu jakosti použitého materiálu

Zde mohou být uvedeny požadavky na výrobu, přepravu, postup výstavby, způsoby montáže, podmínky instalace a speciální nároky pro zajištění navržené požární odolnosti.

O) Předpoklady použití a jiné speciální nároky spojené s výstavbou konstrukce pro zajištění navržené požární odolnosti.

V této části se uvádí nároky při výstavbě, které mohou ovlivnit požární odolnost budovy. Nejedná se o požární posouzení během výstavby, které jsou požadavky shrnuty v § 29 Provádění stavby Vyhláška č. 23/2008 Sb. O technických podmínkách požární ochrany staveb, ve které jsou shrnuty předpisy a dokladů jimi požadovanými.

2.4 Metodika

Pro ověření požární odolnosti nosné konstrukce stavby výpočtem je třeba jasná a přehledná struktura dokladů, které dokládají vstupy, potup řešení a výstupy. Požadovanou požární odolnost připravuje autorizovaný inženýr pro požární bezpečnost staveb v kontextu koncepce požární spolehlivosti budovy. Požadavky na formu dokladů jsou přesně dány zvyky i legislativou. Ověření požární odolnosti výpočtem provádí autorizovaný statik. Forma statického výpočtu pro ověření konstrukce za běžné teploty se učí na školách a je přesně formulována profesními organizacemi. Pro usnadnění spolupráce při posouzení konstrukce vystavené požáru je v této kapitole vypracována metodika, která umožňuje jasné prokázání požární spolehlivosti a obsahuje všechny nezbytné informace pro schválení navrženého řešení dotčenými úřady státní správy. Vypracování metodiky pro podporu spolupráce zúčastněných partnerů a usnadnění kontroly je v současnosti aktuální nejen v České republice, ale na celém světě, viz např. [2.8].

Příklady formy zpracování dokumentace k prokázání požární odolnosti jsou uvedeny ve třetí kapitole této monografie. V příkladech, které dokládají zjednodušené modely předpovědi teploty v požárním úseku, přestupu a rozvoje tepla v konstrukci a analýzy konstrukce za požáru, je dbáno na úplnost a přehlednost dokumentace. Pro názornost jsou výpočty doplněny výkladem, který je v praxi potlačen. Pro zpřehlednění textu jsou v textu vynechány některé opakující se části. Vynechání je v textu označeno. Forma dokumentace při prokázání požární odolnosti pokročilými modely je obdobná jako při prokázání modely jednoduchými. Vzhledem k rozsahu monografie nebyly případové studie s pokročilými modely do monografie zahrnuty.

3 Možnosti návrhových norem

3.1 Tepelná a mechanická zatížení

Tepelná a mechanická zatížení konstrukcí při požární situaci lze určit podle ČSN EN 1991-1-2. Tato norma přejímá evropskou normu EN 1991-1-2:2002 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-2: Obecná zatížení – Zatížení konstrukcí vystavených účinkům požáru. ČSN EN 1991-1-2 se musí pro stavby umístěné na území České republiky používat s národní přílohou NA, která obsahuje údaje platné pro území ČR. Pro navrhování konstrukcí na účinky požáru se použije společně s částmi EN 1992 až EN 1996 a EN 1999, viz kapitola 3.2 až 3.7. Vzhledem k tomu, že se EN 1991-1-2 zabývá stanovením požárního zatížení konstrukcí vystavených účinkům požáru dělení stavby do požárních úseků, mezní rozměry požárních úseků, stanovení stupňů požární bezpečnosti, stanovení mezních délek, kapacit a typů únikových cest, zajištění podmínek k provedení požárního zásahu, instalace požárně bezpečnostních zařízení a specifické požadavky na jednotlivé druhy staveb jsou pak řešeny v národních technických předpisech.

Tepelné zatížení

Stanovení rozvoje požáru v požárním úseku s následným zjištěním teploty v jednotlivých částech konstrukce vyžaduje znalost mnoha parametrů. Nejdůležitějším krokem je stanovení návrhového požárního scénáře, který nejlépe odpovídá mimořádné požární situaci. Na základě návrhového požáru lze popsat průběh teplot v požárním úseku a určit přestup tepla do konstrukce. Tepelné zatížení, jemuž je konstrukce při požáru vystavena, je dáno čistým tepelným tokem $\dot{h}_{net}$ [W/m²] dopadajícím na povrch prvku. Čistý tepelný tok je způsoben prouděním a sáláním horkých plynů, plamenů nebo horkých povrchů konstrukcí. Důležitou úlohu při přestupu tepla představují součinitel emisivity povrchů a součinitel přestupu tepla prouděním. Podle EN1991-1-2 kap. 3 jej lze stanovit jako

$$\dot{h}_{net} = \dot{h}_{net,c} + \dot{h}_{net,r} \quad [\text{W/m}^2] \quad (3.1)$$

kde $\dot{h}_{net,c}$ je složka čistého konvekčního tepelného toku,

$\dot{h}_{net,r}$ je složka čistého sálavého tepelného toku.

Složka čistého konvekčního tepelného toku se stanoví podle:

$$\dot{h}_{net,c} = \alpha_c (\theta_g - \theta_m) \quad [\text{W/m}^2] \quad (3.2)$$

Složka čistého sálavého tepelného toku se stanoví podle:

$$\dot{h}_{\text{net},r} = \Phi \cdot \varepsilon_m \cdot \varepsilon_f \cdot \sigma [(\vartheta_r + 273)^4 - (\vartheta_m + 273)^4] \quad [\text{W/m}^2] \quad (3.3)$$

Základem rovnice pro čistý přenos tepla sáláním je Stephan-Boltzmannův zákon o sálání. Podle tohoto zákona určuje „teplota sálání z plamenů“ maximální sálání do ocelového prvku. Konzervativně může být tato teplota brána jako teplota plynu. Ta může být určena na základě modelu požáru. V rovnici čistého sálavého tepelného toku hrají roli následující fyzikální veličiny:

Stephan-Boltzmannova konstanta ($\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$); fyzikální konstanta,
povrchová emisivita prvku (ε_m); závisí na povrchovém materiálu,
emisivita požáru (ε_f),
polohový faktor (Φ); geometrická konstanta.

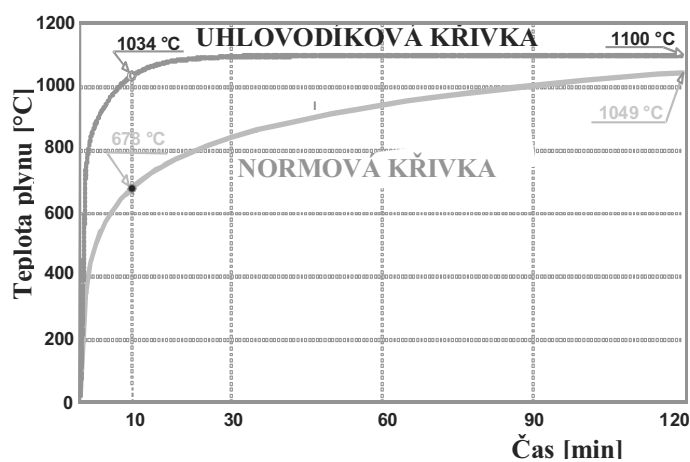
Čistý přenos tepla prouděním může být přibližně uvažován jako rozdíl teplot ($\vartheta_g - \vartheta_m$) a je charakterizován součinitelem přestupu tepla prouděním α_c . V praxi se pohybuje od 25 (nominální požár) do $50 \text{ W/m}^2\text{K}$ (uhlovodíkové hoření).

Modely požáru

ČSN EN 1991-1-2 uvádí různé přístupy pro stanovení tepelného zatížení - normativní přístup, který používá pro stanovení tepelného zatížení nominální požár a přístup vycházející z vlastností využívající fyzikální a chemické parametry. Modely pro fyzikálně podložená tepelná zatížení lze nalézt v přílohách A, C a D. Rozložení teplot v požárním úseku při plně rozvinutém požáru lze předpovědět několika způsoby.

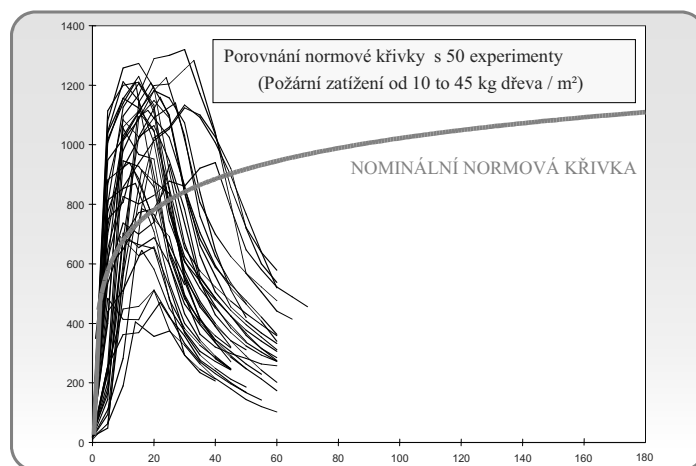
Nominální teplotní křivky

Nominální normová teplotní křivka, definovaná v EN 1991-1-2, je základním z možných přístupů při výpočtu požární spolehlivosti konstrukcí. Dalšími nominálními křivkami uvedenými v normě jsou křivka vnějšího požáru a uhlovodíková křivka, viz obr. 3.1.



Obr. 3.1 Nominální normová a uhlovodíková teplotní křivka.

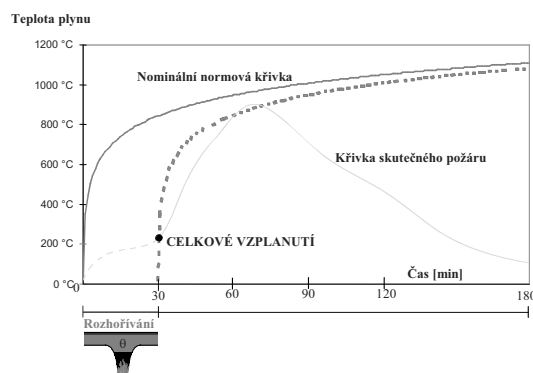
Na obr. 3.2 jsou srovnány teplotní křivky přirozeného požáru pro různé konfigurace, tj. velikost požárního úseku, požární zatížení, izolace stěn, charakteristiky hořlavosti, a nominální normová požární křivka.



Obr. 3.2 Teplotní křivky přirozeného a normového požáru, viz [3.3].

Z obrázku jsou zřejmé nepřesnosti při ověřování chování konstrukcí vystavených skutečnému požáru při uvažování nominální normové křivky. Některé faktory ovlivňující chování skutečného požáru, nominální normová křivka neuvažuje. Na obr. 3.3 jsou zachyceny fáze skutečného požáru, které zahrnují:

- fázi doutnání: zapálení a doutnající požár při velmi nízkých teplotách, jehož trvání lze obtížně odhadnout. Tato fáze není zachycena na obr. 3.3.
- fázi rozvoje: rozhořívání (lokální požár), jehož trvání závisí především na charakteristikách požárního úseku. Požár setrvává lokální až do případného celkového vzplanutí;
- okamžik celkového vzplanutí: lokální požár přechází v prostorový. Tato fáze je obecně velmi krátká.
- fázi plně rozvinutého požáru: trvání této fáze závisí na požárním zatížení a podmínkách ventilace.
- fázi dohořívání: pokles teplot nastává po vyhoření všech hořlavých materiálů.



Obr. 3.3 Fáze požáru, viz [3.3].

Přirozené modely požáru

Z modelů požáru založených na fyzikálních parametrech se rozlišují tyto modely požáru:

- zjednodušené: převážně parametrické požáry, lokální požáry, je-li celkové vzplanutí požárního úseku nepravděpodobné
- zdokonalené: tyto modely uvažují všechny hlavní faktory ovlivňující požár jako je výměna plynu, hmotnostní výměna a energetická výměna. Jedná se o jednozónový model, dvouzónový model a výpočtové dynamické modely kapalin a plynů.

Jednozónový model uvažuje rovnoměrné rozdělení teplot v požárním úseku, zatímco dvouzónový proměnnou tloušťku horní vrstvy kouře s rovnoměrnou teplotou a dolní vrstvu o nižší teplotě.

Rozvoj požáru je ovlivněn rychlostí uvolňování tepla (RHR). Tato hodnota je určena velikostí požárního úseku, typem provozu v požárním úseku a časem. Ve fázi rozhořívání se jedná o požár lokální. Počátek této fáze je charakterizován rozvojem požáru, který lze popsat členem t^2 . Rychlost uvolňování tepla je tak popsána parabolicky. Provozy v budovách lze rozdělit do 4 kategorií podle rychlosti rozvoje požáru: pomalý, střední, rychlý a velmi rychlý. Rychlost uvolňování tepla dosáhne maximální hodnoty ve fázi ustáleného stavu hoření, které může být řízeno palivem nebo ventilací.

Rozhodující je informace o změně RHR v čase a stanovení, zda se požár rozvine v prostorový nebo zda zůstane lokální. Pokud nenastane okamžik celkového vzplanutí, požár setrvá lokální. V tomto případě lze použít dvouzónový výpočetní model. Účinky lokálního požáru lze určit dvouzónovým výpočetním modelem nebo empirickými modely vyvinutými při výzkumech pro modely požáru rozměrných požárních úseků, viz [3.5]. Tepelné účinky lokálního požáru řeší metoda HASEMI [3.6], která je založena na výsledcích pořízených při experimentech. Použitím obou zmíněných metod lze stanovit rozložení teplot v prostoru kolem lokálního požáru.

Charakteristiky požárního úseku

Pro výpočet je nezbytné znát charakteristiky budovy. Požární úsek se charakterizuje nejen geometrií, ale i tepelnými vlastnostmi dělicích konstrukcí, které jsou schopny akumulace a velkého přenosu tepla získaného z požáru, a okenními otvory, které přivádějí vzduch z okolního prostoru. V postupech požárně bezpečnostního inženýrství je požární návrh obvykle založen na fyzikálním popisu tepelného zatížení. Ve srovnání s návrhovými postupy za běžných teplot, je při požárním návrhu rozhodující velikost požárního zatížení, rychlost uvolňování tepla a podmínky ventilace.

Hustota požárního zatížení

Hustota požárního zatížení vycházející z národní klasifikace provozů (statistický přístup) nebo ze speciálně provedeného rozboru požárního zatížení (deterministický přístup) je uvedena v příloze E normy ČSN EN 1991-1-2. Obvykle je požární zatížení stanoveno statisticky, pouze ve výjimečných případech je definováno deterministicky.

Deterministický přístup

Požární zatížení Q v požárním úseku je definováno jako celkové množství energie, které se může uvolnit v průběhu požáru. Část celkové energie je použita na zahřátí požárního úseku (dělících konstrukcí a vnitřního vzduchu), zbytek je odveden otvory. Jednotlivé součásti budovy jako jsou hořlavá obložení stěn, podlah a stropů nebo vybavení uvnitř budovy, jako je například nábytek, tvoří požární zatížení. Požární zatížení Q na jednotku plochy požárního úseku se nazývá hustota požárního zatížení q_f .

V EN 1991-1-2 je charakteristická hodnota hustoty požárního zatížení uvažována podle vztahu:

$$q_{f,k} = \sum M_{k,i} \cdot H_{ui} \cdot \psi_i / A_f \quad [\text{MJ/m}^2] \quad (3.4)$$

kde M_{ki} je množství hořlavého materiálu i (kg);

H_{ui} je čistá výhřevnost materiálu i (MJ/kg), viz tab. 3.1;

ψ_i je součinitel chráněného požárního zatížení pro materiál i ;

A_f podlahová plocha požárního úseku (m^2).

Hodnoty H_{ui} a M_{ki} představují celkové množství energie obsažené v materiálu i uvolněné pro hoření. Čistá výhřevnost dřeva H_u je 17,5 MJ/kg, případně 14 MJ/kg pro ($m H_u$).

Statistický přístup

Hustotu požárního zatížení lze určit deterministickým přístupem, tj. sečtením veškerého požárního zatížení v požárním úseku. Pro některé specifické provozy, jako jsou například kanceláře nebo školy, jsou hodnoty hustoty požárního zatížení známy. U provozů, kde se předpokládá podobné množství hustoty požárního zatížení, lze použít statistický přístup. V těchto případech je hustota požárního zatížení uvažována střední hodnotou.

Hodnoty hustoty požárního zatížení pro různé provozy jsou uvedeny v tab. 3.2. Pravděpodobnost dosažení hustoty požárního zatížení při požáru je zohledněna pomocí 80, 90 a 95% kvantilu Gumbelova rozdělení s variačním koeficientem 0,3.

Tab. 3.1 Doporučené hodnoty čisté výhřevnosti H_u (MJ/kg) hořlavých materiálů pro výpočet požárního zatížení, viz EN 1991-1-2

Pevné látky	
Dřevo	17,5
Jiné celulózní materiály • Oděvy • Korek • Bavlna • Papír, lepenka • Hedvábí • Sláma • Vlna	20
Uhlíkaté látky • Antracit • Dřevěné uhlí • Uhlí	30
Chemické látky	
Parafinová řada • Methan • Ethan • Propan • Butan	50
Olefinová řada • Etylen • Propylen • Butylen	45
Aromatická řada • Benzen • Toluén	40
Alkoholy • Methanol • Ethanol • Ethylalkohol	30
Paliva • Benzin, petrolej • Nafta	45
Čisté uhlovodíkové plasty • Polyethylen • Polystyren • Polypropylen	40
Ostatní výrobky	
ABS (plast)	35
Polyester (plast)	30
Polyizokyanát a polyuretan (plast)	25
Polyvinylchlorid, PVC (plast)	20
Živice, asfalt	40
Kůže	20
Linoleum	20
Gumové pneumatiky	30
POZNÁMKA Hodnoty uvedené v této tabulce neplatí pro výpočet energetického obsahu paliv	

Tab. 3.2 Hustoty požárního zatížení pro různé provozy v (MJ/m²) podle Gumbelova rozdělení, viz EN 1991-1-2

	Odchylka	Průměr	80% kvantil	90 % kvantil	95 % kvantil
Byty	234	780	948	1085	1217
Nemocnice (pokoje)	69	230	280	320	359
Hotely (pokoje)	93	310	377	431	484
Knihovny	450	1500	1824	2087	2340
Kanceláře (standardní)	126	420	511	584	655
Školní třídy	85,5	285	347	397	445
Nákupní centra	180	600	730	835	936
Divadla (kina)	90	300	365	417	468
Doprava (veřejné prostory)	30	100	122	139	156

Návrhovou hodnotu hustoty požárního zatížení lze stanovit jako

$$q_{f,d} = q_{f,k} m \delta_{q1} \delta_{q2} \delta_n \quad [\text{MJ/m}^2] \quad (3.5)$$

Součinitel m je bezrozměrné číslo, které se uvažuje v rozmezí od 0 do 1 a představuje účinnost hoření: $m = 1$ pro velmi hořlavé materiály a $m = 0$ pro materiály nehořlavé. Pro standardní celulózní materiály je $m = 0,8$.

Pravděpodobnost, že požár vznikne a postupně se rozšíří do plně rozvinutého stádia, závisí na charakteristikách požárního úseku a na přítomnosti aktivních, požárně bezpečnostních opatření jako jsou samočinná hasicí zařízení (spriklery), samočinné požární hlásiče (kouřové, tepelné), zařízení dálkového přenosu k požární jednotce a zásah požární jednotky. Tyto okolnosti zahrnují součinitele δ_{q1} , δ_{q2} a δ_n . Součinitel δ_{q1} a δ_{q2} zohledňují nebezpečí vzniku požáru vlivem velikostí požárního úseku a typem provozu, a δ_n zohledňuje vliv aktivní požární ochrany, viz tab. 3.3.

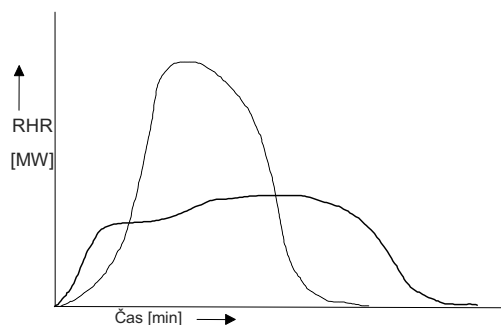
Tab. 3.3 Souhrnná tabulka součinitelů δ , viz [3.2]

Podlahová plocha požárního úseku A_f [m ²]	Nebezpečí vzniku požáru δ_{q1}	Nebezpečí vzniku požáru δ_{q2}	Příklady typů provozů
25	1,10	0,78	umělecké galerie, muzea, plavecké bazény
250	1,50	1,00	byty, hotely, kanceláře
2500	1,90	1,22	výroba strojů a motorů
5000	2,00	1,44	chemické laboratoře lakovny
10000	2,13	1,66	výroba zábavné pyrotechniky nebo barev

δ_n Aktivní požárně bezpečnostní opatření									
Samočinné hasicí zařízení		Samočinné požární hlásiče			Manuální hašení požáru				
Samočinné vodní hasicí zařízení δ_{n1}	Nezávislé vodní zdroje δ_{n2}	Elektrická požární signalizace δ_{n3}	Zařízení dálkového přenosu k požární jednotce δ_{n4}		Závodní požární jednotka δ_{n6}	Externí požární jednotka δ_{n7}	Bezpečné přístup. cesty δ_{n8}	Tech. prostř. požární ochrany δ_{n9}	Zařízení pro odvod kouře δ_{n10}
0,61	1,0 0,87 0,7	0,87 or 0,73	0,87		0,61 or 0,78	0,9 or 1 1,5*	1,0 1,5*	1,0 1,5*	1,0 1,5*

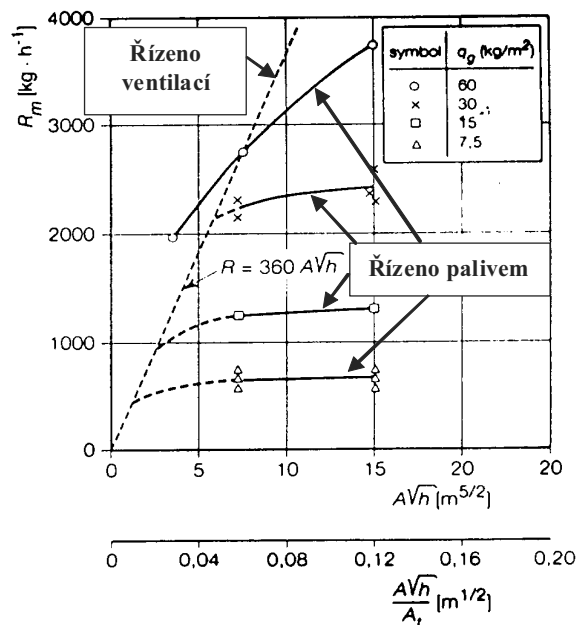
Rychlost uvolňování tepla

Rozvoj a útlum požáru je ovlivněn rychlostí odhořívání požárního zatížení v čase. Tuto informaci poskytuje hodnota rychlosti uvolňování tepla RHR . Shodné požární zatížení může hořet velmi rychle nebo velmi pomalu, což vede k naprosto rozdílným teplotním křivkám, viz obr. 3.4.



Obr. 3.4. Rozdílné průběhy rychlosti uvolňování tepla RHR pro stejné množství požárního zatížení a stejnou plochu požárního úseku.

Hodnota rychlosti uvolňování tepla RHR ovlivňuje průběh teplot plynů v čase. Fáze rozvoje, kdy z požáru malých rozměrů vzniká požár rozsáhlý, je závislá na množství kyslíku dostupného při hoření. Při dostatečném přístupu kyslíku do místa hoření je rychlost uvolňování tepla ovlivněna množstvím požárního zatížení v požárním úseku - požár řízen palivem. V případě malých ploch otvorů obvodových konstrukcí je rychlost uvolňování tepla ovlivněna nedostatečným množstvím kyslíku pro hoření - požár řízen ventilací. U obou případů dochází k rasantnímu nárůstu rychlosti uvolňování tepla RHR po celkovém vzplanutí. Tento okamžik určuje přechod mezi lokálním a prostorovým požárem, který pohltí veškeré hořlavé materiály požárního úseku. Porovnání požárů řízených palivem nebo ventilací, podle množství hořícího paliva v závislosti na podmínkách ventilace, je zobrazeno v následujícím grafu, viz obr 3.5. Hodnota $A_w \sqrt{h}$ představuje podmínky ventilace, kde A_w je celková plocha otvorů a h výška otvorů. Každá křivka je sestavena pro rozdílnou hustotu požárního zatížení. Z grafu je patrný přechod od požáru řízeného ventilací k požáru řízeného palivem. Se vzrůstající hodnotou $A_w \sqrt{h}$ postupně vzrůstá množství hořícího paliva až do hodnoty maximálně dostupného požárního zatížení v požárním úseku.



Obr. 3.5 Množství hořícího paliva v závislosti na podmínkách ventilace, viz [3.2]

Rychlost uvolňování tepla RHR ve fázi rozvoje, viz obr. 3.6, až do maximální hodnoty lze popsat:

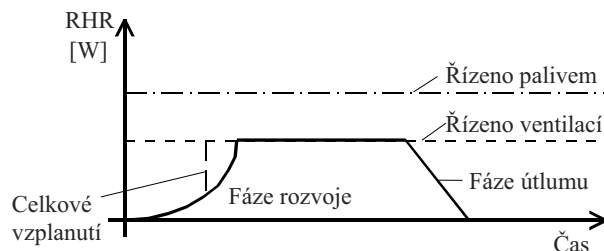
$$Q = 10^6 \left(\frac{t}{t_\alpha} \right)^2 \quad (3.6)$$

kde Q je rychlost uvolňování tepla ve fázi rozvoje (W),

t je čas (s),

t_α je doba potřebná pro dosažení rychlosti uvolňování tepla 1 MW (s).

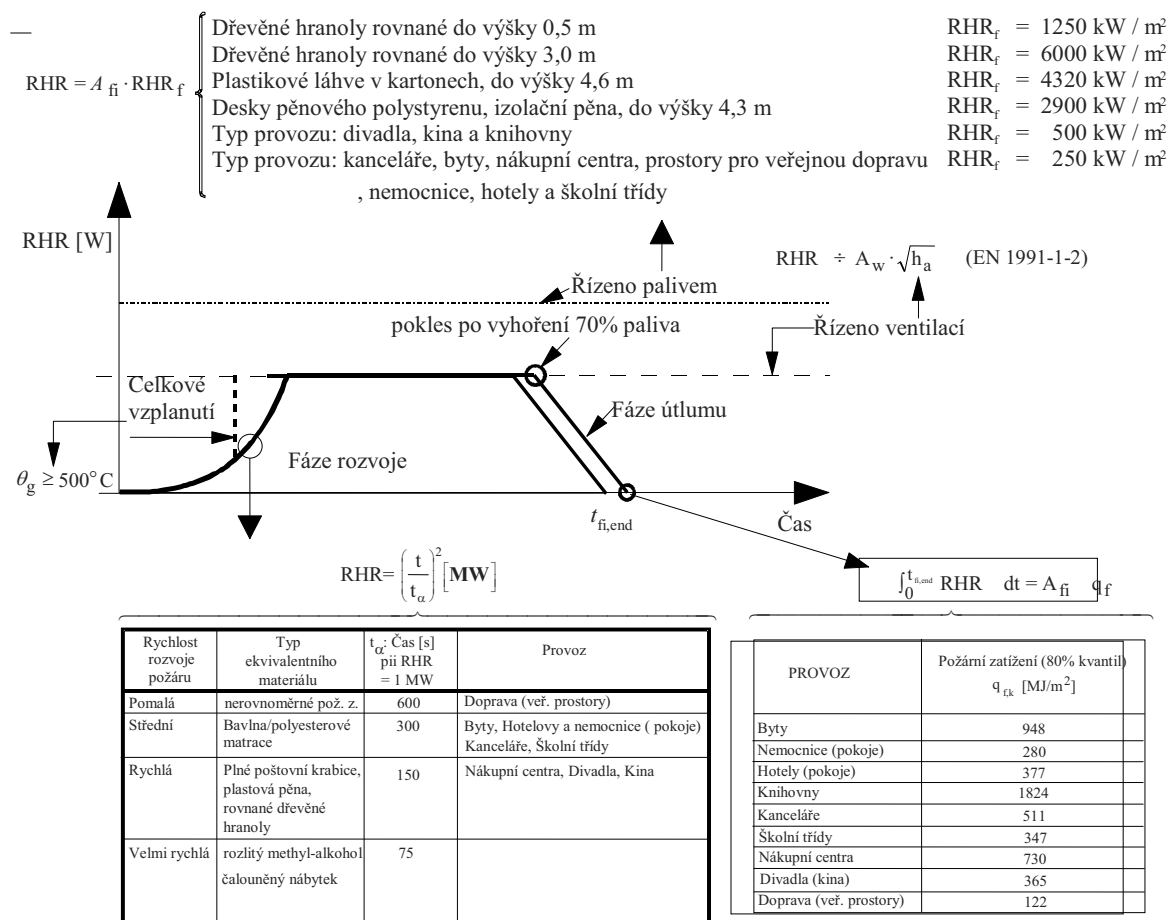
Jak již bylo zmíněno, lze průběh požáru charakterizovat třemi fázemi: fází rozvoje, ustáleným stavem, fází útlumu. Rychlost rozvoje požáru závisí na typu provozu v požárním úseku, ale i na dalších okolnostech, viz obr. 3.7. Po fázi rozvoje následuje ustálený stav, kde hodnota RHR dosahuje svého maxima. Fáze útlumu hoření je vyjádřena lineárním poklesem RHR .



Obr. 3.6. Rychlost uvolňování tepla RHR v čase

Na základě mnoha požárních experimentů bylo zjištěno, že počátek fáze útlumu nastává po vyhoření 70 % veškerého požárního zatížení v požárním úseku. Na následujícím obrázku je

uveden návrh křivky *RHR* používané ve výzkumném projektu NFSC, viz obr. 3.7. Křivka zahrnuje fázi rozvoje, ustálený stav a fázi útlumu.



Obr. 3.7 Návrh *RHR* křivky, viz [3.2]

Experiment je dalším možným přístupem stanovení křivky *RHR*. Metoda experimentálního určení křivky *RHR*, známá již několik let, je založena na principu měření spotřeby kyslíku při požáru v požárním úseku.

V práci [3.3] je uveden postup, který definuje průběh požáru pomocí *RHR* křivek pro jednotlivé předměty nacházející se v požárním úseku. Databáze výsledků zahrnuje pouze omezený počet předmětů používaných především v obytných prostorech, jako jsou například židle, televizory nebo vánoční stromky. Toto omezení je vyváženo výhodou, která spočívá v důkladném popisu všech tří fází průběhu požáru. Hodnotným zdrojem informací je databáze "Initial Fires" [3.3], zpracovaná na University of Lund, která navazuje na databázi výsledků v [3.4]. Uvádí rozšířený počet předmětů užívaných v obytných prostorech i další předměty, jako jsou například různé typy automobilů. Na CTICM ve Francii byly uskutečněny požární experimenty pro zjištění *RHR* křivek nových automobilů (vyrobených v roce 1996), hotelových pokojů a nábytku.

Přirozené modely požáru

Zjednodušené výpočtové modely požáru pro fázi požáru před celkovým vzplanutím (modely lokálního požáru a dvouzónové modely) a fázi po celkovém vzplanutí (modely plně rozvinutého požáru – jednozónový model a parametrická teplotní křivka) jsou popsány v přílohách A, C a D normy ČSN EN 1991-1-2. Řešení pomocí prostorových modelů (např. CFD - Dynamická analýza plynů) jsou příliš složitá pro běžné použití, a proto jsou z této kapitoly vyjmuty.

Parametrická teplotní křivka

Parametrická teplotní křivka využívá pro popis rozvoje požáru v budově hlavních fyzikálních závislostí ovlivňujících hoření. Na rozdíl od nominální normové křivky je popis závislosti teploty v požárním úseku na čase doplněn o další parametry, které vystihují skutečný požár. Téměř všechny modely parametrických teplotních křivek popsaných v dostupné literatuře uvažují tyto parametry:

- geometrické charakteristiky požárního úseku;
- požární zatížení v požárním úseku;
- velikost otvorů v obvodových konstrukcích, střeše nebo stropu;
- typ obvodových konstrukcí, které tvoří hranice požárního úseku.

Parametrické křivky jsou založeny na předpokladu rovnoměrně rozložené teploty v celém prostoru požárního úseku, což omezuje jejich použití ve fázi po celkovém vzplanutí u požárních úseků běžných rozměrů. Přesto jsou tyto modely v porovnání s nominálními modely významným vylepšením při předpovědi rozložení teplot v požárním úseku. Výhodou je především snadný a rychlý analytický popis předpovědi, který nevyžaduje žádné sofistikované počítačové nástroje.

Návod pro výpočet parametrické teplotní křivky je obsažen v příloze A v EN 1991-1-2, který je omezen následujícími předpoklady: velikost podlahové plochy požárního úseku se uvažuje maximálně do 500 m², ve střešní nebo stropní konstrukci se nenacházejí otvory, výška prostoru nepřesahuje 4 m, koeficient b je v rozmezí 1.000 – 2.200 J/m²s^{1/2}K a součinitel O v rozmezí 0,02 – 0,20. Výpočet koeficientu b a součinitele O je popsán níže.

Rozvoj teploty plynů v požárním úseku je určen podle:

$$\theta_g = 20 + 1\,325 \left(1 - 0,324 e^{-0,2t^*} - 0,204 e^{-1,7t^*} - 0,472 e^{-19t^*} \right) \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (3.7)$$

kde

$$t^* = \Gamma t \quad (3.8)$$

$$\Gamma = \frac{(O/0,04)^2}{(b/1,160)^2} \quad (3.9)$$

$$O = A_v \sqrt{h} / A_t \quad (3.10)$$

kde t je čas [hod]

A_v celková plocha svislých otvorů [m^2]

h výška svislých otvorů [m]

A_t celková plocha konstrukcí (stěn, stropu, podlahy, včetně otvorů) [m^2]

b koeficient povrchů [$\text{J/m}^2\text{s}^{1/2}\text{K}$], který je závislý na tepelné pohltivosti konstrukcí ohraničujících požární úsek (výpočet popsán dále)

Tepelné vlastnosti materiálů charakterizují tři hlavní parametry:

- měrné teplo c_p
- hustota ρ
- tepelná vodivost λ

Tepelná vodivost a měrné teplo závisí na teplotě.

U zjednodušených výpočtů je tepelná pohltivost konstrukce popsána koeficientem b , který je určen z tepelných vlastností materiálů rovnicí:

$$b = \sqrt{\lambda \cdot \rho \cdot c_p} \quad (3.11)$$

- při výpočtu koeficientu povrchu b , lze hodnoty hustoty ρ , měrného tepla c_p , a tepelné vodivosti λ , uvažovat za běžných teplot, viz EN 1991-1-2.

V případě vícevrstvých konstrukcí je doporučeno hodnotu koeficientu b odvodit následovně:

- pro dvě rozdílné vrstvy s koeficienty b_1 a b_2 , pro které platí $b_1 < b_2$, potom je výsledná hodnota součinitele $b = b_1$;
- v případě, že platí $b_1 > b_2$, je počítána mezní tloušťka materiálu vystaveného požáru podle:

$$s_{1,\text{lim}} = \sqrt{\frac{t_d \lambda_1}{c_1 \rho_1}}, \text{ kde } t_d \text{ je čas požáru až do fáze útlumu} \quad (3.12)$$

Potom je koeficient b určen:

$$\text{pro } s_1 > s_{1,\text{lim}}, \quad \text{jako } b = b_1 \quad (3.13)$$

$$\text{pro } s_1 < s_{1,\text{lim}}, \quad \text{jako } b = \frac{s_1}{s_{1,\text{lim}}} b_1 + \left(1 - \frac{s_1}{s_{1,\text{lim}}}\right) b_2 \quad (3.14)$$

Tepelné vlastnosti při různých teplotách běžně používaných materiálů jsou uvedeny v tab.

3.4.

Tab. 3.4 Tepelné vlastnosti materiálů

Materiál	Teplota (°C)	λ (W/m/K)	ρ (kg/m ³)	c_p (J/kg°K)
Prostý beton	20	2	2300	900
	200	1,63	2300	1022
	500	1,21	2300	1164
	1000	0,83	2300	1289
Lehký beton	20	1	1500	840
	200	0,875	1500	840
	500	0,6875	1500	840
	1000	0,5	1500	840
Ocel	20	54	7850	425
	200	47	7850	530
	500	37	7850	667
	1000	27	7850	650
Rohože z křem. vláken	20	0,035	128	800
	200	0,06	128	900
	500	0,12	128	1050
	1000	0,27	128	1100
Těsnící tmel	20	0,0483	200	751
	250	0,0681	200	954
	500	0,1128	200	1052
	800	0,2016	200	1059
Křemíkové desky	20	0,0685	450	748
	250	0,0786	450	956
	450	0,0951	450	1060
	1050	0,157	450	1440
Dřevo	20	0,1	450	1113
	250	0,1	450	1125
	450	0,1	450	1135
	1050	0,1	450	1164
Zdivo	20	1,04	2000	1113
	200	1,04	2000	1125
	500	1,18	2000	1135
	1000	1,41	2000	1164
Sklo	20	0,78	2700	840

Otvory v požárně dělící konstrukci mohou být tvořeny okny, dveřmi a stropními otvory. Průběh požáru je závislý na počtu a velikosti těchto otvorů. Součinitel otvorů O pro samostatný svislý otvor lze určit podle vzorce:

$$O = A_w \sqrt{H} \quad (3.15)$$

Pro více otvorů se uvažuje s celkovou plochou svislých otvorů a s váženým průměrem výšek otvorů podle:

$$A_w = \sum A_{wi} \quad (3.16)$$

$$H = \left[\frac{\sum A_{wi} \sqrt{H_i}}{\sum A_{wi}} \right]^2 \quad (3.17)$$

kde A_w je plocha svislého otvoru, H je výška otvoru a i je pořadové číslo otvoru.

Průběh fáze rozhořívání je určen podle:

$$t_{\max} = \max(0,2 \times 10^{-3} q_{t,d} / O ; t_{\lim}) \text{ [hod]} \quad (3.18)$$

kde $q_{t,d}$ je návrhová hodnota hustoty požárního zatížení pro A_t [MJ/m²]

$t_{\lim}$ 20 min, obdobný jako pro volné hoření τ_F podle přílohy B v ČSN EN 1991-1-2.

Podle $t_{\max}$ mohou nastat dva možné případy:

- buď je průběh fáze zahřívání vypočtené podle prvního členu rovnice, $0,2 \times 10^{-3} q_{t,d} / O$, delší než limitní hodnota času $t_{\lim}$. Potom je výpočet uvažován bez jakýchkoliv úprav.
- nebo je průběh fáze zahřívání vypočtené podle prvního členu rovnice, $0,2 \times 10^{-3} q_{t,d} / O$, kratší než limitní hodnota času $t_{\lim}$. V tomto případě je výpočet modifikován koeficientem otvorů $O_{\lim}$, který lze vyjádřit jako:

$$O_{\lim} = 0,1 \times 10^{-3} q_{t,d} / t_{\lim}$$

$t_{\max}$ je modifikován následujícím způsobem:

$$t_{\lim}^* = \Gamma_{\lim} t \quad (3.19)$$

$$\Gamma_{\lim} = \frac{(O_{\lim}/0,04)^2}{(b/1.160)^2} \quad (3.20)$$

kde $t_{\lim}^*$ nahrazuje v rovnici parametrické křivky hoření hodnotu t^* .

Vliv ventilace během fáze zahřívání, v případě že $t_d = t_{\lim}$, lze popsat:

$$\text{pokud } O > 0,04 \text{ a } q_{t,d} < 75 \text{ a } b < 1,160 \quad (3.21)$$

$$\text{potom } k = 1 + \left(\frac{O - 0,04}{0,04} \right) \left(\frac{q_{t,d} - 75}{75} \right) \left(\frac{1,160 - b}{1,160} \right) \quad (3.22)$$

$$\text{a } \Gamma_{\lim} = k \frac{(O_{\lim}/0,04)^2}{(b/1.160)^2} \quad (3.23)$$

Teplotní křivka ve fázi chladnutí je dána vztahy:

$$\theta_g = \theta_{\max} - 625(t - t_{\max}^* \cdot x) \quad \text{pro } t_d^* \leq 0,5 \quad (3.24)$$

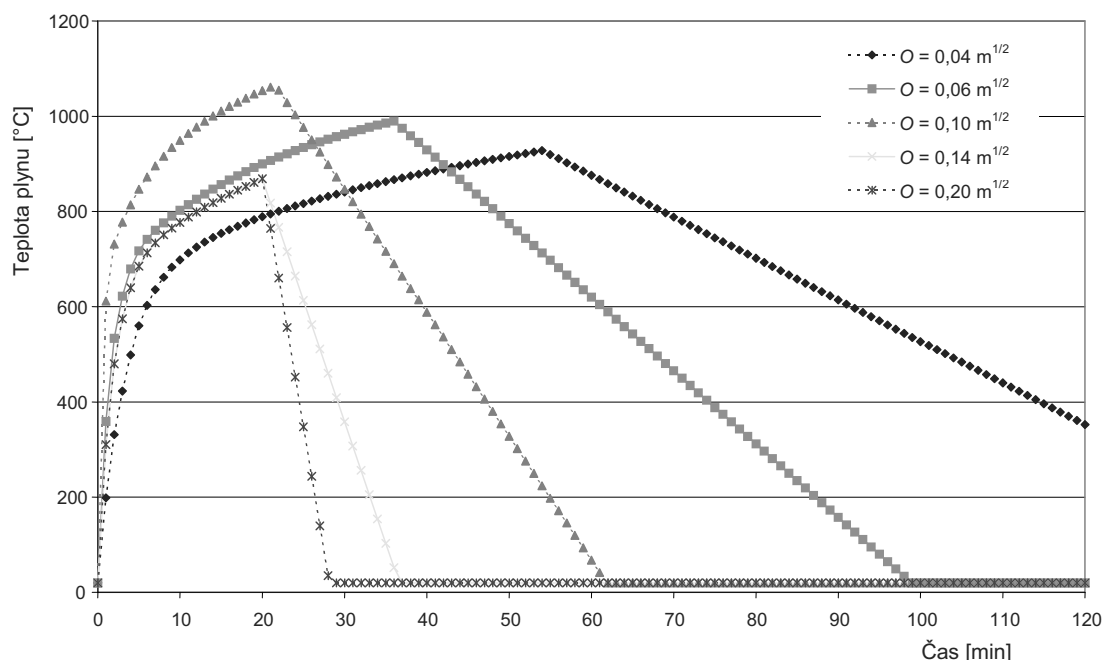
$$\theta_g = \theta_{\max} - 250(3 - t_{\max}^*)(t - t_{\max}^* \cdot x) \quad \text{pro } 0,5 \leq t_d^* \leq 2,0 \quad (3.25)$$

$$\theta_g = \theta_{\max} - 250(t - t_{\max}^* \cdot x) \quad \text{pro } 2,0 \leq t_d^* \quad (3.26)$$

kde $\theta_{\max}$ je největší teplota na konci fáze zahřívání podle parametrické rovnice hoření,

kde $t = t_d$.

Příklad stanovení parametrické požární křivky je zobrazen na následujícím obrázku, požární zatížení $q_{t,d} = 180 \text{ MJ/m}^2$, $b = 1.160 \text{ J/m}^2\text{s}^{1/2}\text{K}$, koeficient otvorů O se uvažuje v rozsahu od $0,04 \text{ m}^{1/2}$ do $0,20 \text{ m}^{1/2}$.



Obr. 3.8 Příklady parametrických požárních křivek

Lokální požáry

Při lokálním požáru je prostor požárního úseku horizontálně rozdělen do horní horké vrstvy, kde dochází k hromadění zplodin hoření, a do spodní vrstvy, kde je teplota plynů mnohem nižší.

Tento případ požáru lze velmi dobře popsat dvouzónovými modely. Kromě předpovědi vývoje teploty plynů tyto modely poskytují informace o šíření kouře v budově a bezpečnosti osob v budově v závislosti na tloušťce horní vrstvy kouře, množství toxických plynů, hustotě tepelného toku a optické hustoty.

Horizontální části konstrukce situované nad požárem jsou ovlivněny tepelným zatížením, které závisí především na vzdálenosti povrchů konstrukce od plamenů. Výpočtem účinků lokálního požáru na okolní konstrukce se zabývají metody Heskestad a Hasemi, viz [3.6].

Metoda Heskestad

Tepelné zatížení lokálního požáru řeší metoda Heskestad EN 1991-1-2. Rozlišují se dva případy podle relativní délky plamene vůči stropu.

Délka plamene L_f lokálního požáru, viz obr. 3.9, je dána vztahem:

$$L_f = -1,02 D + 0,0148 Q^{2/5} \quad (3.27)$$

Pokud plameny nezasahují strop požárního úseku, $L_f < H$; viz obr. 3.9, nebo v případě požáru ve volném prostoru, je teplota $\Theta_{(z)}$ v oblaku hořících plynů po výšce svislé osy dána vztahem:

$$\Theta_{(z)} = 20 + 0,25 Q_c^{2/5} \cdot (z-z_0)^{-5/3} \quad (3.28)$$

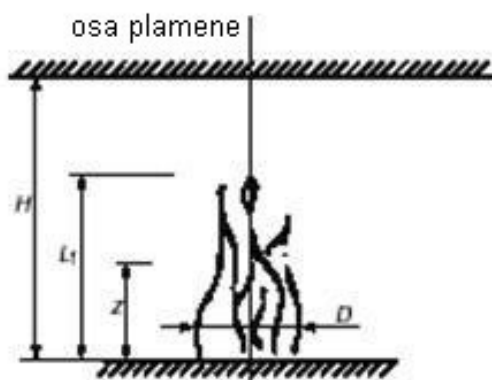
kde: D je průměr ohně, viz obr. 3.9, [m]

Q je rychlost uvolňování tepla při požáru [W]

Q_c je část rychlosti uvolňování tepla při požáru sdílená prouděním [W],
lze uvažovat $Q_c = 0,8 Q$

z je proměnná výška plamene podél osy plamene [m]

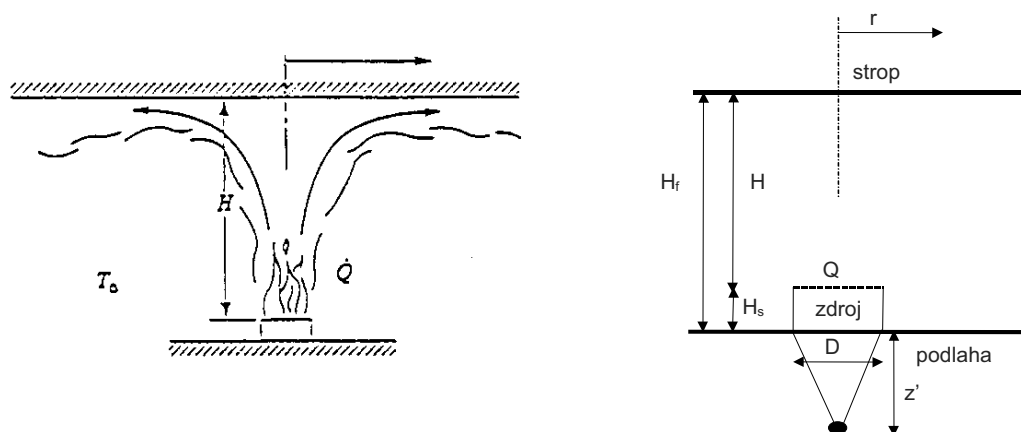
H je svislá vzdálenost mezi stropem a zdrojem požáru, viz obr. 3.9, [m]



Obr. 3.9 Model lokálního požáru pro případ, kdy plameny nezasahují strop

Metoda Hasemi

Metoda Hasemi je jednoduchý nástroj pro zhodnocení účinků lokálního požáru na vodorovné prvky konstrukcí nad požárem. Je založena na výsledcích experimentů uskutečněných na „Building Research Institute“ v Tsukubě v Japonsku.



Obr. 3.10 Model lokálního požáru pro případ, kdy plameny zasahují strop

Potřebné údaje pro použití metody jsou:

- Q je rychlost uvolňování tepla při požáru [W]
- H_f svislá vzdálenost mezi stropem a podlahou [m]
- D průměr ohně [m]
- H_s svislá vzdálenost mezi podlahou a ohniskem zdroje požáru [m]

Proměnné:

- H je svislá vzdálenost mezi stropem a zdrojem požáru [m]
- Q^* součinitel rychlosti uvolňování tepla při požáru [-]
- Q_H^* součinitel rychlosti uvolňování tepla při požáru [-]
- z' svislá poloha virtuálního zdroje tepla [m]
- L_H vodorovná délka plamene v místě stropu [m]
- r vodorovná vzdálenost mezi osou ohně a bodem u stropu [m]

Postup výpočtu:

Stanovení H
$$H = H_f - H_s \quad (3.29)$$

Stanovení Q^*
$$Q^* = \frac{Q}{1,11 \times 10^6 D^{2,5}} \quad (3.30)$$

Stanovení Q_H^*
$$Q_H^* = \frac{Q}{1,11 \times 10^6 H^{2,5}} \quad (3.31)$$

Stanovení z'
$$z' = 2,4 D (Q^{*2/5} - Q^{*2/3}) \quad Q^* < 1,00 \quad (3.32)$$

$$z' = 2,4 D (1,00 - Q^{*2/5}) \quad Q^* \geq 1,00 \quad (3.33)$$

Stanovení $(L_H + H)/H$
$$\frac{L_H + H}{H} = 2,90 Q_H^{*0,33} \quad (3.34)$$

Stanovení L_H pomocí hodnoty stanovené předchozím vztahem a z hodnoty H

Stanovení tepelného toku q'' v [kW/m²] ve vzdálenosti r , podle

$$q'' = 100 \quad y < 0,30 \quad (3.35)$$

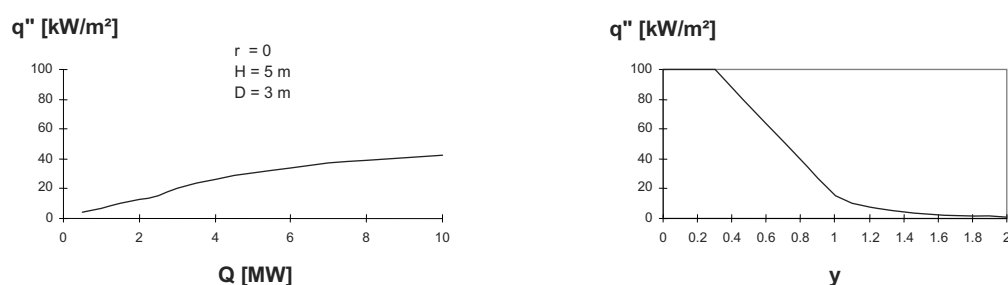
$$q'' = 136,30 - 121,00 y \quad 0,30 < y < 1,0 \quad (3.36)$$

$$q'' = 15 y^{-3,7} \quad y > 1,0 \quad (3.37)$$

kde

$$y = \frac{r + H + z'}{L_H + H + z'} \quad (3.38)$$

Pokles tepelného toku q'' , který dopadá na povrch stropu je funkcí součinitele y a jeho růst závisí na Q . Obě funkce jsou zobrazeny na obr. 3.11 pro $r = 0$, $H = 5$ m, $D = 3$ m.



Obr. 3.11 Závislost tepelného toku q'' na y a Q

Zónové modely

Zónový model je název pro numerické řešení rozvoje teploty plynů v čase integrací obyčejných diferenciálních rovnic, které vyjadřují zachování hmoty a energie v každé vrstvě (zóně) požárního úseku. Je založen na předpokladu rovnoměrné teploty plynů v každé vrstvě. Pomocí zónových modelů lze, kromě rozvoje teploty plynů v čase, rovněž určit rozvoj teploty okolních konstrukcí nebo únik plynů otvory obvodových konstrukcí.

Údaje potřebné pro výpočet zónovým modelem:

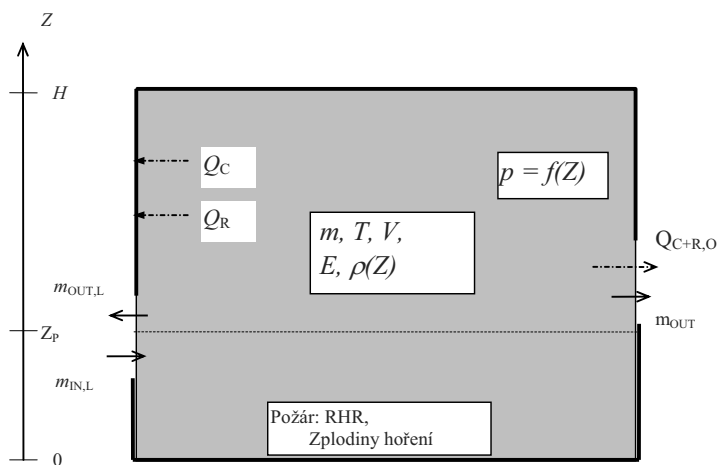
- geometrické charakteristiky - rozměry požárního úseku, otvorů a dělících příček;
- materiálové charakteristiky obvodových konstrukcí požárního úseku,
- charakteristiky požáru - RHR křivka, rychlost tepelného rozkladu, teplo při hoření paliva.

Rozsah použití dvouzónového modelu je zaměřen především na fázi před celkovým vzplanutím. Pro předpověď rozvoje teplot u plně rozvinutého požáru je vhodnější použít jednozónový model.

Jednozónový model

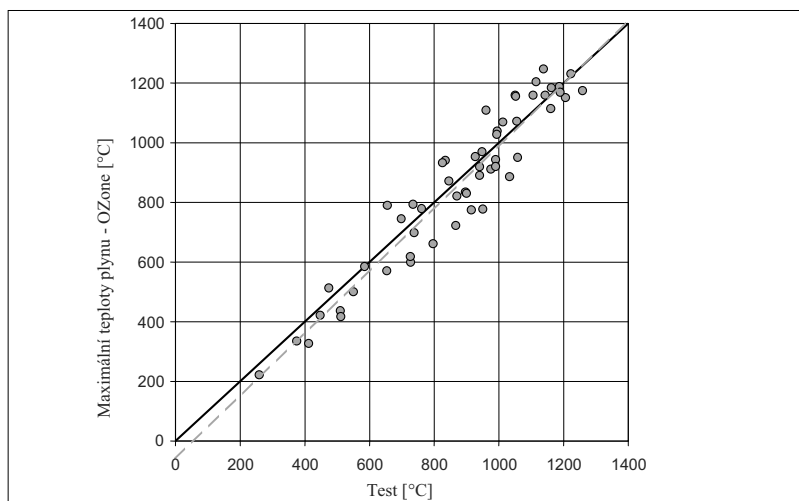
Jednozónové modely požáru jsou platné pro fázi po celkovém vzplanutí a jsou založeny na předpokladu rovnoměrné teploty plynu v celém požárním úseku v průběhu požáru. Vstupní údaje potřebné pro výpočet jsou shodné s údaji u dvouzónových modelů. V porovnání se

vstupy pro parametrické předpovědní křivky jsou podrobnější. Na následujícím obrázku je zobrazen jednozónový model požárního úseku.



Obr. 3.12 Požární úsek vyšetřovaný jednozónovým modelem požáru

V rámci projektů ECSC a NFSC 1 & 2 byl na University of Liège společně s Profilarbed Research vyvinut program OZone, který je založen na principu zónových modelů. Tento software byl využit pro porovnání s výsledky 54 experimentů. Na obr. 3.13 jsou porovnány největší teploty plynu v požárním úseku změřené při experimentech s vypočtenými v programu OZone. Body v grafu představují výsledky experimentů a plná úsečka jejich ideální polohu podle programu OZone. Pomocí lineární regrese byla proložena všemi body přímka, viz čárkovaná úsečka.

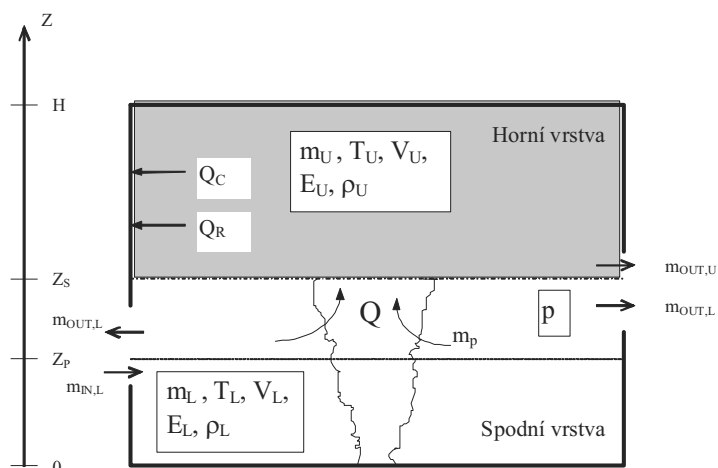


Obr. 3.13. Porovnání teplot plynu naměřených a vypočtených programem OZone

Dvouzónový model

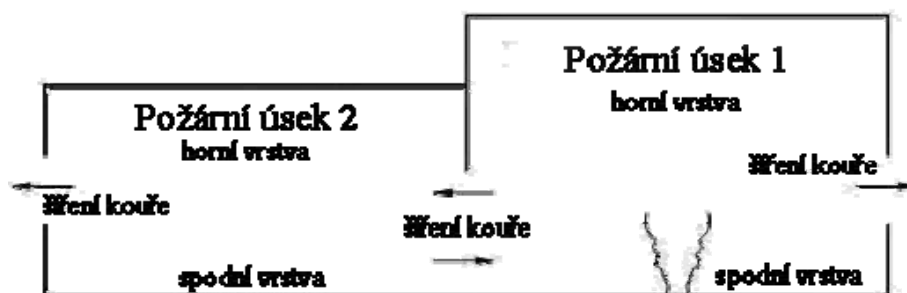
Každá vrstva požárního úseku je popsána pomocí rovnic vyjadřujících rovnováhu zachování energie. Řešení přináší informace o rozvoji teplot plynů v každé ze dvou vrstev, rozvoji teploty okolních konstrukcí a úniku plynů otvory v obvodových konstrukcích. Důležitou

informací je změna tloušťky vrstev v čase. Znalost tloušťky spodní vrstvy, která je chladnější a neobsahuje škodlivé látky vzniklé při hoření, je nezbytná pro stanovení možnosti úniku osob z požárního úseku v případě požáru. Rozdělení požárního úseku do vrstev s rozdílnými charakteristikami je uvedeno na obr. 3.14.



Obr. 3.14. Rozdělení požárního úseku do vrstev.

Na obr. 3.14 je zachycen typický případ požárního úseku, kdy dochází k výměně hmoty a energie pouze s okolním prostředím. Tyto modely však umožňují řešit i mnohem složitější případy, při kterých dochází nejenom k výměně hmoty a energie s okolním prostředím, ale i s okolními požárními úseky obklopující zkoumaný požární úsek. Lze tak snadno určit šíření kouře do ostatních požárních úseků. Takový případ je zachycen na obr. 3.15.

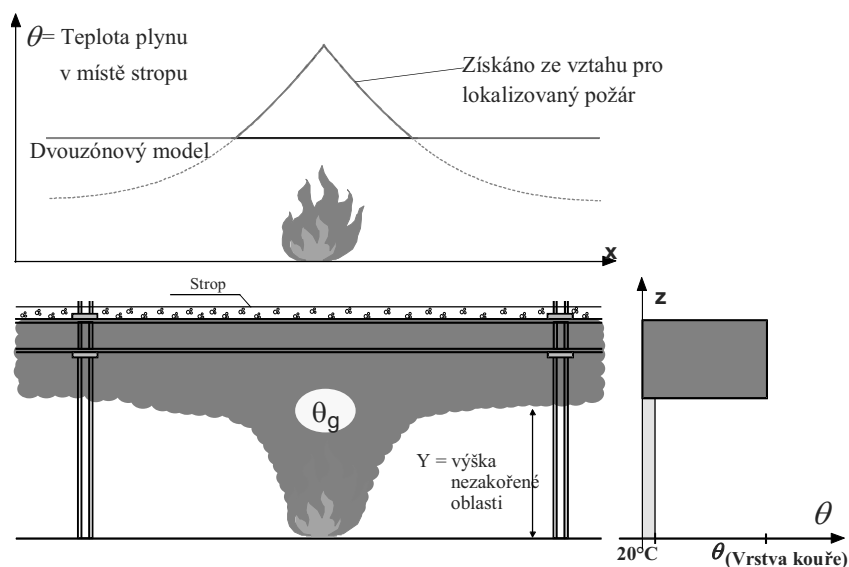


Obr. 3.15 Šíření hmoty a energie mezi požárními úseky

Kombinace dvouzónového modelu a modelu lokálního požáru

Rozložení teplot plynů v požárním úseku při lokálním požáru lze předpovědět dvouzónovým modelem. Tento model předpokládá rovnoměrnou teplotu v každé uvažované vrstvě. Předpoklad rovnoměrné teploty v teplejší vrstvě je dostatečně výstižný pro stanovení množství kouře vzniklého v požárním úseku, pravděpodobnosti celkového vzplanutí, kolapsu střešní nebo stropní konstrukce, atd. Při výpočtu chování části konstrukce přímo nad

zdrojem požáru není předpoklad rovnoměrné teploty dostatečně výstižný, a proto se doporučuje dvouzónový model kombinovat s modelem lokálního požáru. Ve výpočtu jsou teploty v těsné blízkosti posuzované konstrukce, pro každý bod podél konstrukčního prvku, uvažovány největší hodnotou z obou předpovědních modelů.



Obr. 3.16 Kombinace dvouzónového modelu s modelem lokálního požáru, viz [3.3].

Kombinace jednozónových a dvouzónových modelů, výběr modelu

Pokud byly stanoveny všechny potřebné charakteristiky požáru, jako jsou např. křivka RHR , geometrické údaje požárního úseku nebo charakteristiky dělicích konstrukcí, je dalším nezbytným krokem správný výběr modelu podle uvažovaného požárního scénáře. Výběr závisí na rozsahu oblasti použití každého z modelů. Obvykle jsou počáteční fáze požáru modelovány pomocí dvouzónového modelu, který v určitém okamžiku přechází v jednozónový model. Otázkou je, kdy a jak tento přechod nastává.

Dvouzónový model požáru poskytuje dvě základní hodnoty:

- teplotu horní vrstvy v požárním úseku T_u ;
- tloušťky obou vrstev H_i .

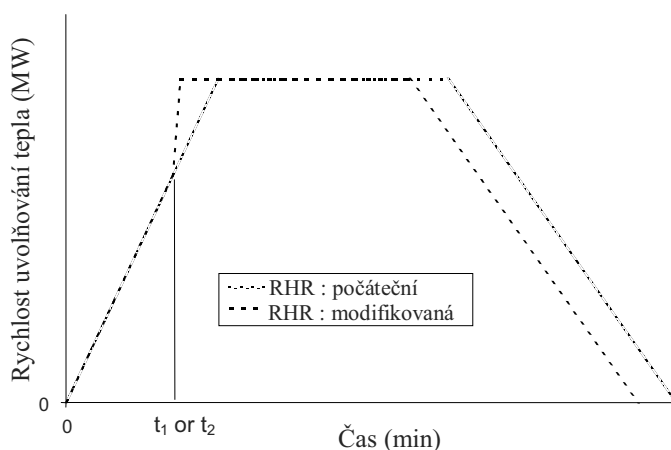
Tyto hodnoty určují rozsah aplikace modelu. Použití dvouzónového modelu je omezeno následujícími podmínkami, viz obr. 3.18:

- Podmínka 1 (C1): $T_u > 500^\circ\text{C}$; vysoká teplota zplodin hoření (vyšší než 500°C) vede k celkovému vzplanutí veškerého požárního zatížení vlivem sálání.
- Podmínka 2 (C2): $H_i < H_q$ a $T_u > T_{\text{ignition}}$; pokud dojde ke snížení tloušťky spodní vrstvy (H_i) tak, že hořlavé materiály se nacházejí v horní vrstvě kouře, a pokud je v horní vrstvě vysoká teplota (vyšší než T_{ignition} , kolem 300°C), potom dojde k šíření požáru samovznícením.

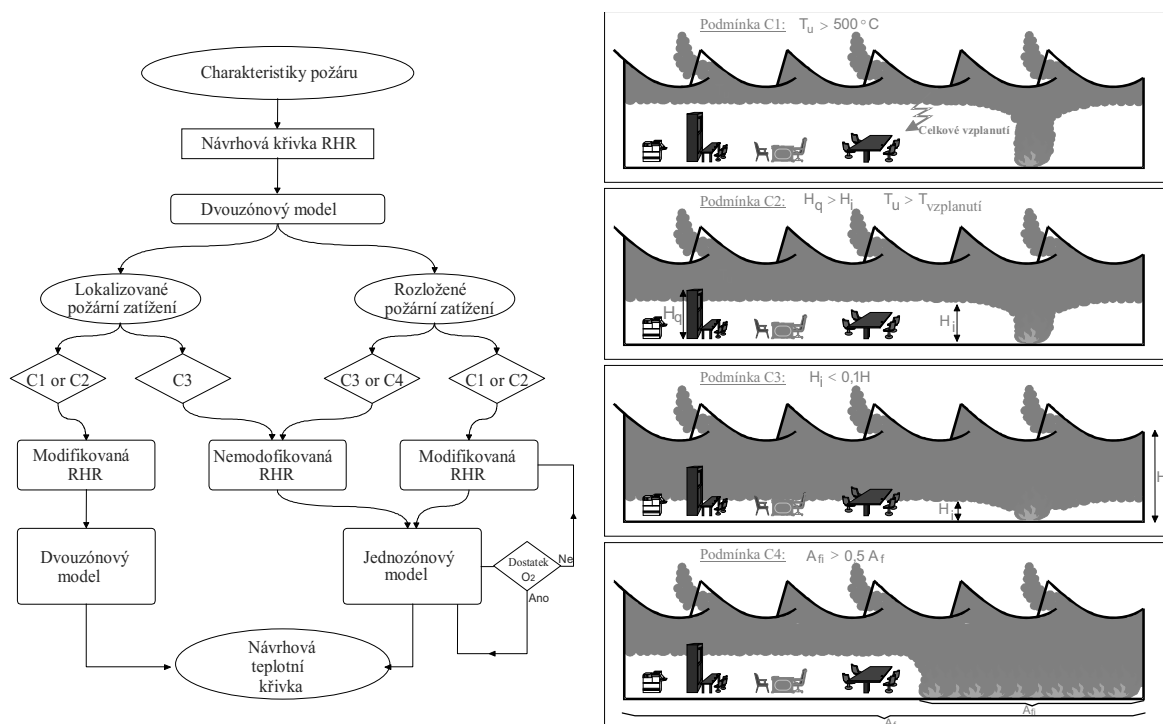
- Podmínka 3 (C3): $H_i < 0,1 H$; tloušťka spodní vrstvy je minimální, což neodpovídá předpokladu dvouzónového modelu.
- Podmínka 4 (C4): $A_{fi} > 0,5 A_f$; velikost hořící plochy je v porovnání s celkovou plochou požárního úseku tak velká, že se již nejedná o lokální požár.

V případě splnění podmínek 1 a 2 se přistupuje k modifikaci rychlosti uvolňování tepla RHR v počáteční fázi (popis dvouzónovým modelem) pro popis jednozónovým modelem. Příklad modifikace je uveden na obr. 3.17.

Výše zmíněný postup výpočtu je shrnut ve vývojovém diagramu na obr. 3.18.



Obr. 3.17 Návrh křivky rychlosti uvolňování tepla RHR při požáru



Obr. 3.18 Kombinace jednozónového a dvouzónového modelu, viz [3.2].

Mechanické zatížení

Stanovení mechanického zatížení vychází z návrhu při běžné teplotě, pokud je pravděpodobné, že bude působit i v požární situaci. Pro mimořádné návrhové situace se kombinace mechanického zatížení uvažuje podle vztahů podle ČSN EN 1990:

$$\sum_{i \geq 1} G_{k,i} + (\psi_{1,1} \text{ nebo } \psi_{2,1}) Q_{k,1} + \sum_{i \geq 2} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (3.39)$$

kde $G_{k,i}$ je charakteristická hodnota stálého zatížení

$Q_{k,1}$ charakteristická hodnota hlavního proměnného zatížení

$Q_{k,i}$ charakteristická hodnota vedlejšího proměnného zatížení

$\psi_{1,1}$ součinitel pro častou hodnotu proměnného zatížení

$\psi_{2,i}$ součinitel pro kvazistálou hodnotu proměnného zatížení

Doporučené hodnoty součinitelů ψ_1 a ψ_2 jsou uvedeny v tabulce A1.1 v ČSN EN 1990, viz tab. 3.5. V národní příloze ČSN EN 1991-1-2 jsou tyto hodnoty upraveny.

Tab. 3.5 Doporučené hodnoty součinitelů ψ pro pozemní stavby

Zatížení	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Kategorie užitných zatížení pro pozemní stavby, viz norma (ČSN EN 1991-1-1: 2004)	0,7	0,5	0,3
Kategorie A: obytné plochy	0,7	0,5	0,3
Kategorie B: kancelářské plochy	0,7	0,7	0,6
Kategorie C: shromažďovací plochy	0,7	0,7	0,6
Kategorie D: obchodní plochy	1,0	0,9	0,8
Kategorie E: skladovací plochy			
Kategorie F: dopravní plochy, tíha vozidla ≤ 30 kN	0,7	0,7	0,6
Kategorie G: dopravní plochy, $30 \text{ kN} < \text{tíha vozidla} \leq 160 \text{ kN}$	0,7	0,5	0,3
Kategorie H: střechy	0	0	0
Zatížení sněhem, viz norma (ČSN EN 1991-1-3: 2004)			
Finsko, Island, Norsko, Švédsko	0,7	0,5	0,2
Ostatní členové CEN, pro stavby umístěné ve výšce $H > 1000 \text{ m n.m.}$	0,7	0,5	0,2
Ostatní členové CEN, pro stavby umístěné ve výšce $H \leq 1000 \text{ m n.m.}$	0,5	0,2	0
Zatížení větrem, viz norma (ČSN EN 1991-1-4: 2004)	0,6	0,2	0
Teplota (ne od požáru) pro pozemní stavby, viz norma (ČSN EN 1991-1-5: 2004)	0,6	0,5	0

Nepřímá zatížení konstrukce v důsledku roztažení a přetvoření, způsobená teplotními změnami od požáru, vyvolávají síly a momenty. Nepřímá zatížení lze uvažovat obvykle pouze pokročilou globální analýzou za zvýšené teploty. Nepřímá zatížení od požáru není nutno při výpočtu konstrukce uvažovat, pokud jsou zanedbatelná, příznivá nebo je konzervativně zvolený model podepření a okrajových podmínek. Při hodnocení nepřímých zatížení se má uvažovat vynucené tepelné roztažení vlastních prvků, rozdílné tepelné

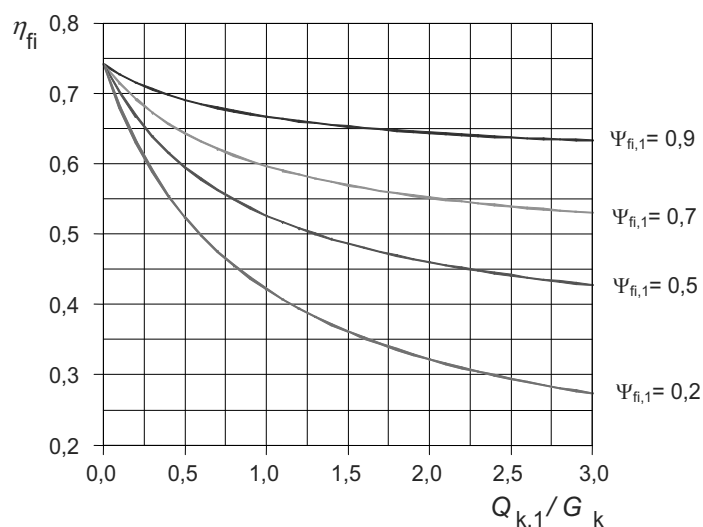
roztáhnosti staticky neurčitých prvků, teplotní gradienty v průřezech, tepelné roztažení sousedních prvků.

Důležitou veličinou používanou při požárním návrhu podle EN 1991-1-2 je redukční součinitel účinku zatížení při požární situaci $\eta_{fi,t}$, který je definován jako $\eta_{fi,t} = \frac{E_{d,fi}}{E_d}$, kde E_d je návrhový účinek zatížení při pokojové teplotě a $E_{d,fi}$ je návrhový účinek zatížení při zvýšené teplotě. Redukční součinitel lze určit rovněž podle následujícího vztahu:

$$\eta_{fi,t} = \frac{G_k + \psi_{fi,1} Q_{k,1}}{\gamma_G G_k + \gamma_{Q,1} Q_{k,1}} \quad (3.40)$$

kde $\gamma_{Q,1}$ je dílčí součinitel pro hlavní proměnné zatížení.

Redukční součinitel $\eta_{fi,t}$ závisí především na součiniteli $\psi_{1,1}$, který se mění podle kategorie zatížení v budově. V ČSN EN 1993-1-2 (část pro požární zatížení ocelových konstrukcí) a ČSN EN 1994-1-2 (část pro požární zatížení spřažených konstrukcí) je uveden graf závislosti $\eta_{fi,t}$ na poměru $Q_{k,1}/G_k$ a součiniteli $\psi_{1,1}$, viz obr. 3.19.



Obr. 3.19 Závislost redukčního součinitele $\eta_{fi,t}$ na poměru $Q_{k,1}/G_k$ a součiniteli $\psi_{1,1}$

Národní příloha k ČSN EN 1991-1-2

Národní příloha normy ČSN EN 1991-1-2 je informativní, národně stanovené parametry, kterých je deset, mají pro stavby umístěné na území České republiky normativní charakter. Prvních devět národně stanovených parametrů uplatňuje hodnoty doporučené v jednotlivých člancích normy. Článek NA 2.10 uvádí, že se v ČR pro reprezentativní hodnotu proměnného zatížení Q_1 má použít její kvazistálá hodnota $\psi_{2,1} \cdot Q_1$. Podle charakteru konstrukce budovy a

jejího umístění se doporučuje, zejména u halových objektů, pro zatížení větrem a větrem během požáru použít častou hodnotu zatížení $\psi_{1,1} \cdot Q_1$. Doporučené hodnoty součinitelů $\psi_{1,1}$ a $\psi_{2,1}$ jsou uvedeny v normě ČSN EN 1990, tabulka A1.1.

Symbols v ČSN EN 1991-1-2

A	plocha požárního úseku
$A_{ind,d}$	návrhová hodnota nepřímého zatížení vyvolaného požárem
A_f, A_{fi}	podlahová plocha požárního úseku, plocha požáru
A_h	plocha vodorovných otvorů ve střeše požárního úseku
$A_{h,v}$	celková plocha otvorů v konstrukcích ohraničujících požární úsek ($A_{hv} = A_h + A_v$)
A_j	plocha povrchu j -té konstrukce ohraničující požární úsek, bez otvorů
A_t	celková plocha konstrukcí ohraničujících požární úsek (stěny, strop a podlaha, včetně otvorů)
A_v	celková plocha svislých otvorů ve všech stěnách ($A_v = \sum_i A_{v,i}$)
$A_{v,i}$	plocha i -tého okna
C_i	součinitel ochrany i -té povrchové plochy prvku
D	hloubka požárního úseku; průměr požáru
E_d	návrhová hodnota příslušných účinků zatížení ze základní kombinace podle EN 1990
$E_{fi,d}$	konstantní návrhová hodnota příslušných účinků zatížení při požární situaci
$E_{fi,d,t}$	návrhová hodnota příslušných účinků zatížení při požární situaci v čase t
E_g	vnitřní energie plynu
H	vzdálenost mezi zdrojem požáru a stropem
H_u	hodnota čisté výhřevnosti včetně vlhkosti
H_{u0}	hodnota čisté výhřevnosti suchého materiálu
H_{ui}	hodnota čisté výhřevnosti i -tého materiálu
L_c	délka jádra
L_f	délka plamene podél osy
L_H	vodorovný průmět plamene (z fasády)
L_h	vodorovná délka plamene
L_L	výška plamene (od horní části okna)
L_x	délka osy od okna k bodu, pro který se provádí výpočet
$M_{k,i}$	množství i -tého hořlavého materiálu
O	faktor otvorů požárního úseku ($O = A_v \sqrt{h_{eg}} / A_t$)
O_{lim}	redukovaný faktor otvorů v případě požáru řízeného palivem
P_{int}	vnitřní tlak
Q	rychlost uvolňování tepla při požáru
Q_c	konvekční část rychlosti uvolňování tepla Q

$Q_{fi,k}$	charakteristické požární zatížení
$Q_{fi,k,i}$	charakteristické požární zatížení i -tým materiálem
Q_D^*	součinitel uvolňování tepla vztažený na průměr D lokálního požáru
Q_H^*	součinitel uvolňování tepla vztažený na výšku H požárního úseku
$Q_{k,1}$	charakteristická hodnota hlavního proměnného zatížení
Q_{max}	maximální rychlost uvolňování tepla
Q_{in}	rychlost uvolňování tepla vstupujícího otvory vlivem proudění plynů
Q_{out}	úbytek rychlosti uvolňování tepla vlivem proudění plynů vystupujících z otvorů
Q_{rad}	úbytek rychlosti uvolňování tepla vlivem sálání z otvorů
Q_{wall}	úbytek rychlosti uvolňování tepla sáláním a prouděním na povrchové plochy požárního úseku
R	konstanta ideálního plynu (= 287 J/kgK)
R_d	návrhová hodnota únosnosti prvku při normální teplotě
$R_{fi,d,t}$	návrhová hodnota únosnosti prvku při požární situaci v čase t
RHR_f	maximální rychlost uvolňování tepla na metr čtvereční
T	teplota [K]
T_{amb}	teplota okolí [K]
T_0	počáteční teplota (= 293 K)
T_f	teplota v požárním úseku [K]
T_g	teplota plynu [K]
T_w	teplota plamene u okna [K]
T_z	teplota plamene podél jeho osy [K]
W	šířka stěny s okny (W_1 a W_2)
W_1	šířka stěny 1, u které se předpokládá největší plocha oken
W_2	šířka stěny požárního úseku, kolmé ke stěně W_1
W_a	vodorovný průmět markýzy nebo balkonu
W_c	šířka jádra
b	tepelná pohltivost celé ohraničující konstrukce ($b = \sqrt{(\rho c \lambda)}$)
b_i	tepelná pohltivost i -té vrstvy povrchové plochy jedné ohraničující konstrukce
b_j	tepelná pohltivost povrchové plochy j -té ohraničující konstrukce
c	specifické teplo
d_{eq}	geometrická charakteristika vnějšího nosného prvku (průměr nebo strana)
d_f	tloušťka plamene
d_i	rozměr i -té povrchové plochy prvku
g	gravitační zrychlení
h_{eq}	vážený průměr výšky oken ve všech stěnách ($h_{eq} = (\sum_i (A_{v,i} h_i)) / A_v$)
h_i	výška i -tého okna

$\dot{h}$	tepelný tok na jednotku plochy povrchu
$\dot{h}_{\text{net}}$	čistý tepelný tok na jednotku plochy povrchu
$\dot{h}_{\text{net,c}}$	čistý tepelný tok na jednotku plochy povrchu vlivem proudění
$\dot{h}_{\text{net,r}}$	čistý tepelný tok na jednotku plochy povrchu vlivem sálání
$\dot{h}_{\text{tot}}$	celkový tepelný tok na jednotku plochy povrchu
$\dot{h}_i$	tepelný tok na jednotku plochy povrchu vlivem i -tého požáru
k	opravný součinitel
k_b	převodní součinitel
k_c	opravný součinitel
m	hmotnost; součinitel hoření
$\dot{m}$	rychlost toku hmoty (pohybu plynů)
$\dot{m}_{\text{in}}$	rychlost hmoty plynu vstupujícího otvory
$\dot{m}_{\text{out}}$	rychlost hmoty plynu odcházejícího otvory
$\dot{m}_{\text{fi}}$	rychlost vytváření produktů pyrolýzy
q_f	požární zatížení vztažené na jednotku podlahové plochy A_f
$q_{f,d}$	návrhová hustota požárního zatížení vztažená na podlahovou plochu A_f
$q_{f,k}$	charakteristická hustota požárního zatížení vztažená na podlahovou plochu A_f
q_t	požární zatížení vztažené na jednotku plochy povrchů A_t
$q_{t,d}$	návrhová hustota požárního zatížení vztažená na plochu povrchů A_t
$q_{t,k}$	charakteristická hustota požárního zatížení vztažená na plochu povrchů A_t
r	vodorovná vzdálenost mezi svislou osou požáru a bodem u stropu, pro který se počítá tepelný tok
s_i	tloušťka i -té vrstvy
s_{lim}	mezní tloušťka
t	čas
$t_{e,d}$	ekvivalentní doba vystavení účinkům požáru
$t_{fi,d}$	návrhová doba požární odolnosti (vlastnost prvku nebo konstrukce)
$t_{fi,requ}$	požadovaná doba požární odolnosti
t_{lim}	doba pro dosažení maximální teploty plynů v případě požáru řízeného palivem
t_{max}	doba pro dosažení maximální teploty plynů
t_α	součinitel rychlosti rozvoje požáru
u	rychlost větru; vlhkost
w_i	šířka i -tého okna
w_t	součet šířek oken ve všech stěnách ($w_t = \sum w_i$); součinitel odvětrání vztažený k A_t
w_f	šířka plamene; součinitel odvětrání
y	součinitel; parametr
z	výška

z_0	virtuální počátek výšky z
z'	svislá poloha virtuálního zdroje tepla
Φ	polohový faktor
Φ_f	celkový polohový faktor prvku pro přenos tepla z otvoru sáláním
$\Phi_{f,i}$	polohový faktor i -té povrchové plochy prvku pro daný otvor
Φ_z	celkový polohový faktor prvku pro přenos tepla z plamene sáláním
$\Phi_{z,i}$	polohový faktor i -té povrchové plochy prvku pro daný plamen
Γ	časově závislá funkce faktoru otvorů O a tepelné pohltivosti b
Γ_{lim}	časově závislá funkce faktoru otvorů O_{lim} a tepelné pohltivosti b
Θ	teplota [$^{\circ}\text{C}$]; $\Theta [^{\circ}\text{C}] = T[\text{K}] - 273$
$\Theta_{cr,d}$	návrhová hodnota kritické teploty materiálu [$^{\circ}\text{C}$]
Θ_d	návrhová hodnota teploty materiálu [$^{\circ}\text{C}$]
Θ_g	teplota plynu v požárním úseku, nebo v blízkosti prvku [$^{\circ}\text{C}$]
Θ_m	teplota povrchu prvku [$^{\circ}\text{C}$]
Θ_{max}	maximální teplota [$^{\circ}\text{C}$]
Θ_f	účinná teplota sálání prostředí požáru [$^{\circ}\text{C}$]
Ω	$(A_f q_{f,d}) / (A_v A_t)^{1/2}$
Ψ_i	součinitel pro chráněné požární zatížení
α_c	součinitel přestupu tepla prouděním
α_h	plocha vodorovných otvorů vztažená na podlahovou plochu
α_v	plocha svislých otvorů vztažená na podlahovou plochu
δ_{hi}	součinitel, kterým se uvažuje existence i -tého specifického hasicího zařízení
δ_{q1}	součinitel, kterým se uvažuje nebezpečí vzniku požáru vzhledem k velikosti úseku
δ_{h2}	součinitel, kterým se uvažuje nebezpečí vzniku požáru vzhledem k druhu provozu
ε_m	povrchová emisivita prvku
ε_f	emisivita plamenů, ohně
η_{fi}	redukční součinitel
$\eta_{fi,t}$	úroveň zatížení pro návrhový požár
λ	tepelná vodivost
ρ	hustota
ρ_g	hustota vnitřního plynu
σ	Stephan-Boltzmannova konstanta ($= 5,67 \cdot 10^{-8} [\text{W}/\text{m}^2\text{K}^4]$)
τ_F	doba volného hoření ohně (předpokládá se 1 200 [s])
ψ_0	součinitel kombinace pro charakteristickou hodnotu proměnného zatížení
ψ_1	součinitel kombinace pro častou hodnotu proměnného zatížení
ψ_2	součinitel kombinace pro kvazistálou hodnotu proměnného zatížení

3.2 Betonové konstrukce

Betonová konstrukce navržená podle ČSN EN 1992-1-1, která může být vystavena požáru, musí být posouzena na účinky požáru podle ČSN EN 1992-1-2. Norma ČSN EN 1992-1-2 obsahuje překlad normy EN 1992-1-2 a národní přílohu, která je platná pro stavby postavené na území ČR. Při posuzování požární odolnosti betonových konstrukcí se tedy vychází z návrhu konstrukce navržené za běžné teploty podle normy ČSN EN 1992-1-1.

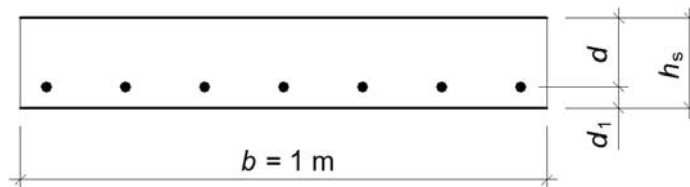
Norma ČSN EN 1992-1-2 zajišťuje požární odolnost výhradně pasivními prvky (vlastní odolností konstrukce). Hlavním úkolem návrhu je zabránit předčasnému kolapsu konstrukce a omezit šíření požáru. Norma ČSN EN 1992-1-2 platí pro konstrukce nebo jejich prvky navržené podle ČSN EN 1992-1-1, ale neplatí pro předpjaté konstrukce s vnějšími kabely a skořepiny. Metody uvedené v normě ČSN EN 1992-1-2 je možné použít až do třídy betonu C90/105 s tím, že pro třídu vyšší než C50/60 jsou v normě uvedena doplňující pravidla. Při návrhu betonových konstrukcí na účinky požáru se uvažuje mimořádná návrhová situace za požáru (viz ČSN EN 1992-1-1 a ČSN EN 1991-1-2); při návrhu se zohledňují jen rozdíly nebo dodatky k návrhu konstrukce za normální teploty. Norma obsahuje následující přílohy:

- A – Teplotní profily (plná deska, základní průřezy trámů a sloupů)
- B – Jednoduché metody výpočtu (metoda izotermy 500°C, zónová metoda)
- C – Vzpěr sloupů za požáru (vliv účinků 2. řádu)
- D – Výpočtové metody pro smyk, kroucení a kotvení výztuže
- E – Zjednodušená metoda výpočtu pro trámy a desky (při rovnoměrném zatížení).

Příklad dále ukazuje možnosti ověření požární odolnosti konstrukce podle ČSN EN 1992-1-2. Pro další studium lze použít např. literaturu [3.1]

Řešený příklad - Deska prostě podepřená

Posudte prostě podepřenou desku na požární odolnost REI 90 (požár působí ze spodní strany). Deska o rozpětí $l = 3,0$ m má tloušťku $h_s = 0,12$ m a je zatížena stálým zatížením $g_k = 7,3 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$ (včetně vlastní tíhy) a proměnným zatížením $q_k = 5,0 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$. Deska se nachází v obchodním domě, uvažovaný stupeň vlivu prostředí XC1. Návrhová životnost je 50 let. Použité materiály: beton C25/30, výztuž B500B.



Obr. 3.20 Příčný řez stropní deskou

Návrh za běžné teploty

Návrh a posouzení za běžné teploty se provede podle normy ČSN EN 1992-1-1.

Materiály

Beton C25/30: $f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 1,0 \cdot \frac{25}{1,5} = 16,7 \text{ MPa}$; $\alpha_{cc} = 1,0$; $\varepsilon_{cu,3} = 3,5 \text{ ‰}$; $\eta = 1,0$; $\lambda = 0,8$;

$$f_{ctm} = 2,6 \text{ MPa}.$$

Výztuž B500B: $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,8 \text{ MPa}$; $\varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{434,8}{200 \cdot 10^3} = 2,174 \text{ ‰}$;

$$\xi_{bal,1} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \varepsilon_{yd}} = \frac{3,5 \cdot 10^{-3}}{3,5 \cdot 10^{-3} + 2,174 \cdot 10^{-3}} = 0,617.$$

Návrhová hodnota momentu od zatížení

$$m_{Ed} = \frac{1}{8} (\gamma_G \cdot g_k + \gamma_Q \cdot q_k) \cdot l^2 = \frac{1}{8} (1,35 \cdot 7,3 + 1,5 \cdot 5,0) \cdot 3,0^2 = 19,5 \text{ kNm/m}.$$

Krytí hlavní nosné výztuže

Předpokládáme průměr hlavní nosné výztuže $\phi = 10$ mm. Podle ČSN EN 1992-1-1 navrženo

c = 20 mm.

$$d_1 = c + 0,5 \cdot \phi = 20 + 0,5 \cdot 10 = 25 \text{ mm}, \quad d = h_s - d_1 = 120 - 25 = 95 \text{ mm}.$$

Z návrhu vychází:

$$a_{s,req} = 509 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \rightarrow \text{Navrhujeme } \phi 10 \text{ mm po } 150 \text{ mm } (a_s = 524 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2).$$

Takto navržená výztuž vyhovuje dle ČSN EN 1992-1-1.

Posouzení požární odolnosti

Posouzení požární odolnosti se provede podle normy ČSN EN 1992-1-2.

a) Posouzení podle tabulek

Posouzení podle tabulek sestává z ověření splnění tabulkových požadavků na minimální tloušťku desky a minimální osovou vzdálenost výztuže od povrchu betonu vystaveného požáru.

Pro prostě podepřenou desku pnutou v jednom směru platí sloupce 2 a 3 v tabulce normy.

Pro požadovanou požární odolnost REI 90 jsou v tabulce uvedeny následující hodnoty:

$$h_{s,min} = 100 \text{ mm}; a_{min} = 30 \text{ mm}.$$

Požadavek na minimální tloušťku desky $h_s \geq h_{s,min}$ je splněn:

$$h_s = 120 \text{ mm} > h_{s,min} = 100 \text{ mm} \rightarrow \text{Vyhovuje.}$$

Tím je zajištěna požadovaná požárně dělicí funkce (kritérium E a I). Pro splnění nosné funkce (kritérium R) však musí současně vyhovět také požadavek na minimální osovou vzdálenost výztuže od líce betonu: $a \geq a_{min}$, což v našem případě neplatí, neboť:

$$a = d_1 = 25 \text{ mm} < a_{min} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{Nevyhovuje.}$$

Norma ČSN EN 1992-1-2 v těchto případech umožňuje tabulkovou vzdálenost a_{min} upravit (redukovat) s přihlédnutím ke kritickému napětí ve výztuži. To se určí ze vztahu:

$$\sigma_{s,fi} = \frac{E_{d,fi}}{E_d} \cdot \frac{f_{yk}(20^\circ\text{C})}{\gamma_s} \cdot \frac{a_{s,req}}{a_{s,prov}},$$

kde poměr $E_{d,fi}/E_d$ je definován jako redukční součinitel pro úroveň návrhového zatížení pro požární situaci η_{fi} , jenž lze pro betonové konstrukce zjednodušeně uvažovat hodnotou $\eta_{fi} = 0,7$, pokud se nepočítá přesněji.

V našem případě hodnotu součinitele η_{fi} stanovíme výpočtem

$$\eta_{fi} = \frac{G_k + \psi_{fi} \cdot Q_{k,1}}{\gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot Q_{k,1}} + \frac{7,3 + 0,6 \cdot 5,0}{1,35 \cdot 7,3 + 1,5 \cdot 5,0} = 0,593,$$

kde hodnotu součinitele ψ_{fi} uvažujeme podle Národní přílohy normy ČSN EN 1991-1-2 jako $\psi_{2,1}$, která je podle Tabulky A1.1 v ČSN EN 1990 pro obchodní plochy dána hodnotou $\psi_{2,1} = 0,6$.

Napětí ve výztuži:

$$\sigma_{s,fi} = \frac{E_{d,fi}}{E_d} \cdot \frac{f_{yk}(20^\circ\text{C})}{\gamma_s} \cdot \frac{a_{s,req}}{a_{s,prov}} = 0,593 \cdot \frac{500}{1,15} \cdot \frac{509 \cdot 10^{-6}}{524 \cdot 10^{-6}} = 250,4 \text{ MPa}.$$

Dále stanovíme hodnotu redukčního součinitele $k_s(\theta_{cr})$:

$$k_s(\theta_{cr}) = \frac{\sigma_{s,fi}}{f_{yk}(20^\circ\text{C})} = \frac{250,4}{500} = 0,501.$$

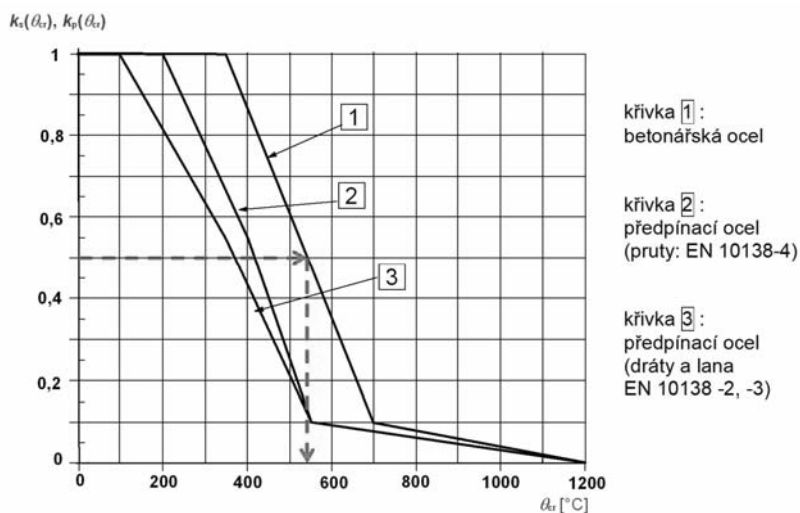
Kritická teplota výztuže θ_{cr} odpovídající zjištěné hodnotě $k_s(\theta_{cr})$ se odečte z grafu (pro betonářskou ocel platí křivka [1]) nebo se vypočítá pomocí referenčních vztahů uvedených v normě ČSN EN 1992-1-2.

Z příslušného grafu (viz obr. 3.21) je patrné, že pro hodnotu redukčního součinitele $k_s(\theta_{cr}) = 0,501$ leží kritická teplota výztuže v intervalu 500 °C až 700 °C. Pro tento interval je v normě uveden následující referenční vztah (pro křivku 1):

$$k_s(\theta_{cr}) = 0,61 - 0,5 \cdot (\theta_{cr} - 500) / 200,$$

ze kterého se stanoví kritická teplota následovně:

$$\theta_{cr} = 500 + \frac{200}{0,5} (0,61 - k_s(\theta_{cr})) = 500 + \frac{200}{0,5} (0,61 - 0,501) = 544 \text{ °C}.$$



Obr. 3.21 Zjištění kritické teploty ve výztuži – referenční křivky pro kritickou teplotu betonářské a přepínací oceli θ_{cr} odpovídající redukčnímu součiniteli $k_s(\theta_{cr})$ nebo $k_p(\theta_{cr})$

Pro 350 °C < θ_{cr} < 700 °C lze upravit požadovanou osovou vzdálenost výztuže od líce betonu podle vztahu:

$$a'_{min} = a_{min} + \Delta a = a_{min} + 0,1 \cdot (500 - \theta_{cr}) = 30 + 0,1 \cdot (500 - 544) = 25,6 \text{ mm}.$$

Tato hodnota je opět větší než navržená vzdálenost výztuže a :

$$a = d_1 = 25 \text{ mm} < a'_{min} = 25,6 \text{ mm} \rightarrow \text{Nevyhovuje.}$$

Na základě tabulkového posouzení lze tedy konstatovat, že deska nesplňuje požadovanou požární odolnost REI 90.

Pro splnění požadované požární odolnosti je nutné parametry navržené desky změnit, případně se pokusit prokázat požární odolnost jiným způsobem. V následujících odstavcích bude požární odolnost posouzena zjednodušenou výpočetní metodou – metodou izoterm 500 °C.

b) Posouzení metodou izoterm 500 °C

Aby mohla být metoda izoterm 500 °C použita, musí se nejprve ověřit, zda tloušťka desky h_s splňuje požadavek na minimální rozměr průřezu pro použití metody izoterm 500 °C.

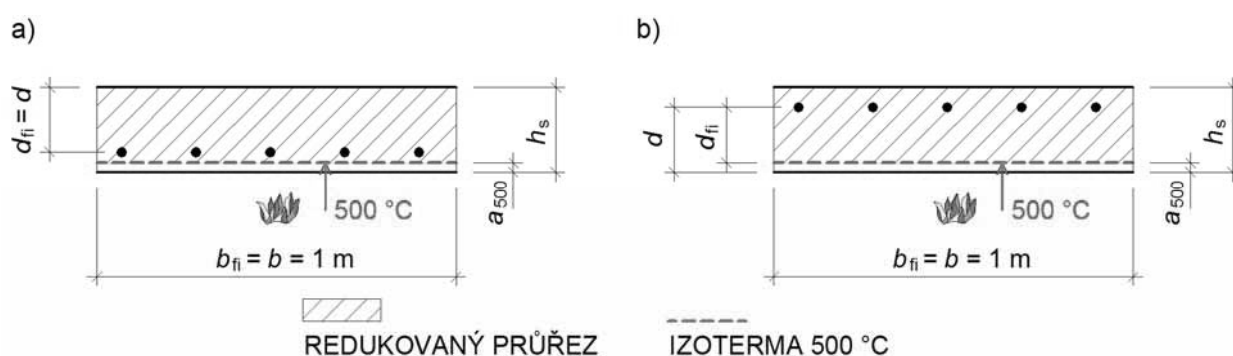
V tabulce je pro požární odolnost R 90 uvedena hodnota $h_{\min,B,1} = 120 \text{ mm}$ a podmínka $h_s \geq h_{\min,B,1}$ je tedy splněna:

$$h_s = 120 \text{ mm} = h_{\min,B,1} = 120 \text{ mm} \rightarrow \text{Vyhovuje.}$$

Metodu izotermy 500 °C je možné použít.

Tato metoda je založena na předpokladu, že beton s teplotou vyšší než 500 °C nepřispívá k únosnosti, zatímco beton ve zbývající části průřezu si zachovává svou původní pevnost. Pevnost výztuže se redukuje v závislosti na její teplotě. Posouzení spočívá v porovnání momentu únosnosti redukovaného průřezu s momentem od zatížení při požární situaci.

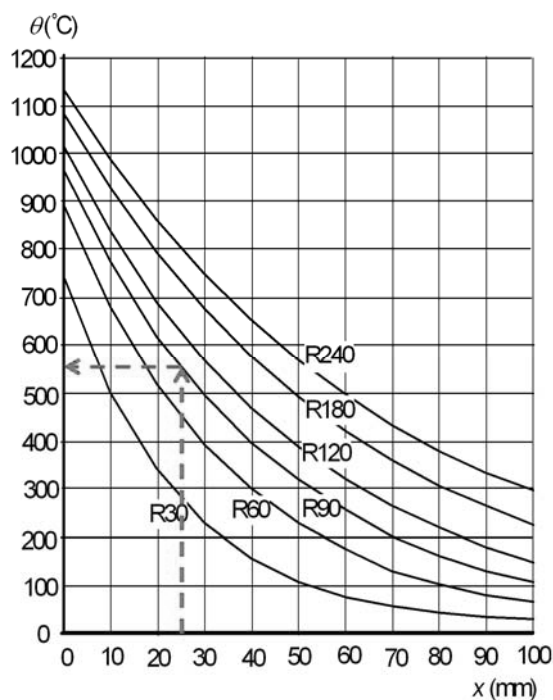
V uvažovaném případě, kdy je požáru vystavena spodní, tažená část průřezu, se úloha redukuje na odečtení teploty v ose výztuže. Poloha izotermy 500 °C se v tomto případě při výpočtu neuplatní.



Obr. 3.22 Redukce průřezu desky při použití metody izotermy 500 °C

a) požár na tažené straně průřezu, b) požáru na tlačené straně průřezu

Teplota ve výztuži θ_s se určí z teplotního profilu uvedeného na Obr. A.2 normy ČSN EN 1992-1-2. Pro požární odolnost R 90 a osovou vzdálenost výztuže od líce betonu vystaveného požáru $x = a = d_1 = 25 \text{ mm}$ vychází teplota $\theta_s = 560 \text{ °C}$, viz obr. 3.23.

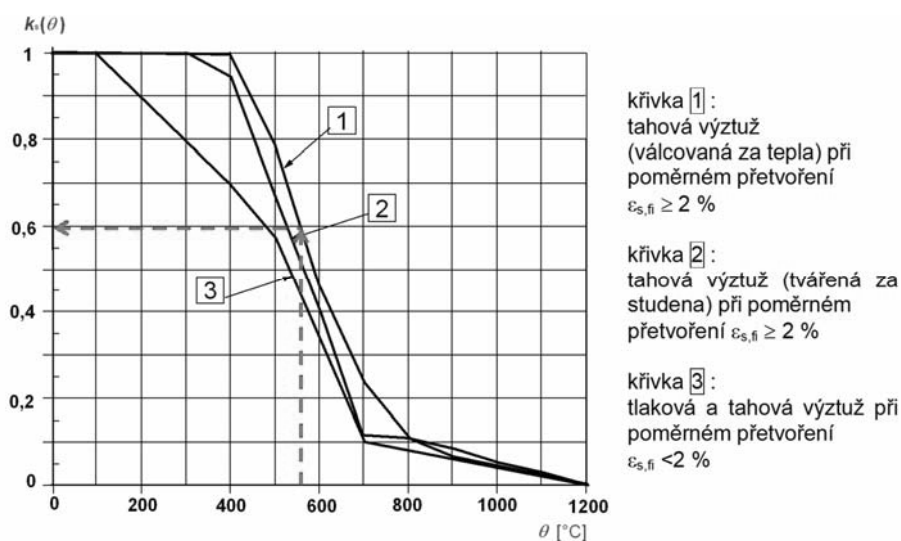


Obr. 3.23 Zjištění teploty ve výztuži – teplotní profily pro desky ($h_s = 200$ mm)
pro R 60 až R 240 (viz ČSN EN 1992-1-2, Obrázek A.2)

Redukční součinitel pro redukci pevnosti výztuže se určí v závislosti na teplotě výztuže θ_s z grafu pro (výztuž třídy N, pro tahovou výztuž válcovanou za tepla platí křivka [1], viz obr. 3.24).

Pro teplotu $\theta_s = 560$ °C vychází redukční součinitel $k_s(\theta) = 0,594$. Odpovídající redukovaná pevnost výztuže:

$$f_{y,d,fi} = k_s(\theta) \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M,fi}} = 0,594 \cdot \frac{500}{1,0} = 297,0 \text{ MPa.}$$



Obr. 3.24 Součinitel $k_s(\theta)$ pro redukci charakteristické pevnosti (f_{yk}) tahové a tlakové výztuže
(třída N) (viz Obrázek 4.2a normy ČSN EN 1992-1-2)

Pevnost betonu v redukovaném průřezu se při použití metody izotermie 500 °C neredukuje – uvažuje se tzv. návrhová hodnota pevnosti betonu v tlaku pro požární situaci při běžné teplotě (20 °C), označená jako $f_{cd,fi}(20)$ a určená podle vztahu:

$$f_{cd,fi}(20) = \frac{f_{ck}}{\gamma_{M,fi}} = \frac{25,0}{1,0} = 25,0 \text{ MPa.}$$

Posouzení průřezu se dále provede obdobně jako při výpočtu za běžné teploty, při uvažování rozměrů redukovaného průřezu (v našem případě $b_{fi} = b = 1,0 \text{ m}$ a $d_{fi} = d = 0,095 \text{ m}$) a příslušných pevností betonu a výztuže ($f_{cd,fi}(20)$ a $f_{yd,fi}$).

Poloha neutrální osy:

$$x_{fi} = \frac{a_s \cdot f_{yd,fi}}{b_{fi} \cdot \lambda \cdot \eta \cdot f_{cd,fi}(20)} = \frac{524 \cdot 10^{-6} \cdot 297,0 \cdot 10^6}{1,0 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 25,0 \cdot 10^6} = 0,0078 \text{ m.}$$

Moment únosnosti za požární situace:

$$m_{Rd,fi} = a_s \cdot f_{yd,fi} \cdot (d_{fi} - 0,5 \cdot \lambda \cdot x_{fi}) = 524 \cdot 10^{-6} \cdot 297,0 \cdot 10^6 \cdot (0,095 - 0,5 \cdot 0,8 \cdot 0,0078)$$

$$m_{Rd,fi} = 14,3 \text{ kNm/m.}$$

Moment od zatížení za požární situace (při uvažování $\eta_{fi} = 0,593$, viz výše):

$$m_{Ed,fi} = \eta_{fi} \cdot m_{Ed} = 0,593 \cdot 19,5 = 11,6 \text{ kNm/m.}$$

Podmínka spolehlivosti za požární situace:

$$\underline{\underline{m_{Rd,fi} = 14,3 \text{ kNm/m} > m_{Ed,fi} = 11,6 \text{ kNm/m} \rightarrow \text{Vyhovuje.}}}$$

Deska splňuje požadovanou požární odolnost REI 90.

3.3 Ocelové konstrukce

Norma ČSN EN 1993-1-2: Navrhování ocelových konstrukcí, Obecná pravidla, Navrhování konstrukcí na účinky požáru přináší ucelený postup pro navrhování ocelových konstrukcí vystavených požáru. Přímou navazuje na normu ČSN EN 1991-1-2: Zatížení konstrukcí vystavených účinkům požáru, která slouží k určení teploty plynů v požárním úseku, od níž se odvíjí teplota posuzované konstrukce. Obě společně poskytují kompletní návrhový postup pro ocelové konstrukce. V přílohách k normě ČSN EN 1993-1-2 lze nalézt doplňující informace o materiálových charakteristikách nerezových ocelí a metodiku návrhu tenkostěnných konstrukcí a navrhování styčníků.

Příklad dále ukazuje možnosti ověření požární odolnosti nosníku podle ČSN EN 1993-1-2. Pro další studium lze použít např. literaturu [3.1]

Řešený příklad - Návrh nosníku

Navrhněte prostý nosník s rozpětím 5,9 m, zatížený rovnoměrným spojitým zatížením, použijte ocel S 275. Stálé zatížení je $g_k = 3,8 \text{ kN/m}$, proměnné zatížení $q_k = 5,8 \text{ kN/m}$. Stabilitu tlačené pásnice nosníku zajišťuje ocelobetonová deska. Teplota v požárním úseku narůstá podle normové teplotní křivky. Ověřte požadovanou požární odolnost R 15.

Návrh nosníku za běžné teploty

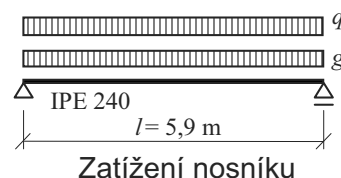
Návrhová hodnota zatížení

$$v_d = g_k \gamma_G + q_k \gamma_Q = 3,8 \cdot 1,35 + 5,8 \cdot 1,5 = 13,83 \text{ kN/m}.$$

Působící ohybový moment

$$M_{sd} = \frac{1}{8} v_d l^2 = \frac{1}{8} \cdot 13,83 \cdot 5,9^2 = 60,2 \text{ kNm}.$$

Navrhne se průřez IPE 240. Průřez je třídy 1.



Ověření za běžné teploty

Momentová únosnost nosníku 1. třídy s horní pásnicí drženou proti ztrátě stability při ohybu se stanoví jako

$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{366,6 \cdot 10^3 \cdot 275}{1,0} = 100,8 \text{ kNm} > 60,2 \text{ kNm} = M_{Ed}.$$

Průhyb nosníku je

$$\delta = \frac{5}{384} \frac{(g_k + q_k) l^4}{E I_y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{(3,8 + 5,8) \cdot 5900^4}{210000 \cdot 38,91 \cdot 10^6} = 18,5 \text{ mm} < 23,6 \text{ mm} = \frac{l}{250}.$$

Nosník za běžné teploty vyhovuje.

Ověření za požáru

Redukční součinitel η_f pro zatížení při požáru se určí z poměru zatížení

$$\eta_{fi} = \frac{g_k + \psi_{1,1} q_k}{g_k \gamma_G + q_k \gamma_Q} = \frac{3,8 + 0,3 \cdot 5,8}{3,8 \cdot 1,35 + 5,8 \cdot 1,5} = 0,401,$$

kde $\psi_{2,1} = 0,3$ je součinitel kombinace pro mimořádnou kombinaci zatížení. Ohybový moment při požární návrhové situaci je

$$M_{fi,Ed} = \eta_{fi} M_{Ed} = 0,401 \cdot 60,2 = 24,2 \text{ kNm}.$$

Momentová únosnost se určí pomocí redukčního součinitele meze kluzu oceli. Při teplotě $\theta_a = 20^\circ\text{C}$ je redukční součinitel $k_{y,\theta} = 1,0$ a návrhová únosnost

$$M_{fi,\theta,Rd} = \frac{W_{pl,Rd} k_{y,\theta} f_y}{\gamma_{M,fi}} = \frac{366,6 \cdot 10^3 \cdot 1,0 \cdot 275}{1,0} = 100,8 \text{ kNm}.$$

Pro nechráněný ocelový nosník vystavený požáru ze tří stran s betonovou deskou na čtvrté straně je součinitel $\kappa_1 = 0,7$. Součinitel κ_2 , který vyjadřuje rozdělení teploty po délce nosníku, je $\kappa_2 = 1,0$. Momentová únosnost při požáru s vlivem nerovnoměrného rozdělení teploty je v čase $t=0$ rovna

$$M_{fi,t,Rd} = \frac{M_{fi,\theta,Rd}}{\kappa_1 \kappa_2} = \frac{100,8}{0,7 \cdot 1,0} = 144,0 \text{ kNm}.$$

Stupeň využití průřezu při požáru je

$$\mu_0 = \frac{M_{fi,Ed}}{M_{fi,t,Rd}} = \frac{24,1}{144,0} = 0,167,$$

tomuto stupni využití odpovídá kritická teplota určená z nominální teplotní křivky

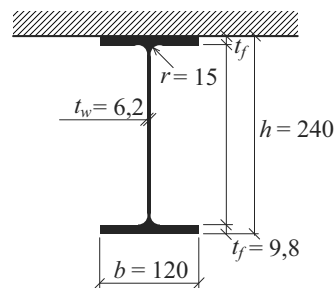
$$\theta_{a,cr} = 39,19 \ln \left[\frac{1}{0,9674 \mu_0^{3,833}} - 1 \right] + 482 = 39,19 \ln \left[\frac{1}{0,9674 \cdot 0,168^{3,833}} - 1 \right] + 482 = 751^\circ\text{C}.$$

Požární odolnost nechráněného ocelového průřezu se vypočte jako doba potřebná k dosažení kritické teploty průřezu. Výpočet se provede přírůstkovou metodou

$$\Delta\theta_{a,t} = 0,9 k_{sh} \frac{A_m/V}{c_a \rho_a} h_{net,d} \Delta t = 0,9 \frac{(A_m/V)_b}{A_m/V} \frac{A_m/V}{c_a \rho_a} h_{net,d} \Delta t = 0,9 \frac{(A_m/V)_b}{c_a \rho_a} h_{net,d} \Delta t$$

kde součinitel průřezu pro povrch obdélníka opsaného průřezem $(A_m/V)_b$ se určí pro nosník vystavený požáru ze tří stran

$$\left(\frac{A_m}{V} \right)_b = \frac{b + 2h}{A} = \frac{120 + 2 \cdot 240}{3912} = 0,153 \text{ mm}^{-1} = 153 \text{ m}^{-1}.$$



Průřez nosníku

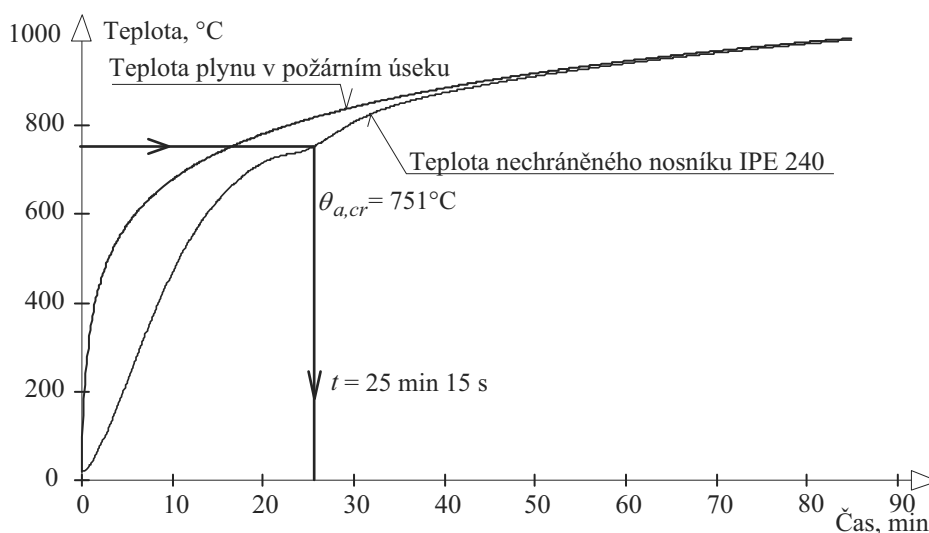
Hustota oceli je $\rho_a = 7850 \text{ kg/m}^3$ a měrné teplo oceli c_a se uvažuje v závislosti na teplotě oceli, účinek tepelného toku prouděním se stanoví pro nominální normovou teplotní křivku s teplotou $\theta_g = 20 + 345 \log(8t + 1)$, součinitel přestupu tepla prouděním $\alpha_c = 25 \text{ W/m}^2\text{°C}$.

Sálavý tepelný tok se určí pro polohový faktor $\Phi = 1$ a emisivitu $\varepsilon = 0,7$. Rozvoj teploty v konstrukci se vypočte přírůstkovou metodou tabulkovým procesorem, viz tab. 3.5.

Tab. 3.5 Výpočet teploty konstrukce tabulkovým procesorem

Čas min:s	t min	θ_g °C	$h_{net,r}$ W/m ²	$h_{net,c}$ W/m ²	$h_{net,d}$ W/m ²	c_a J kg ⁻¹ °C ⁻¹	$\Delta_{a,t}$ °C	$\theta_{a,t}$ °C
0:00	0	20,0	0	0	0	440	0,0	20,0
0:05	0,0833	96,5	448	1913	2361	440	0,5	20,5
0:10	0,1667	147,0	940	3162	4102	440	0,8	21,3
0:15	0,2500	184,6	1443	4083	5526	440	1,1	22,4
0:20	0,3333	214,7	1943	4807	6750	441	1,3	23,7
14:45	14,750	736,1	15302	2769	18071	781	2,0	627,4
14:50	14,833	736,9	15203	2739	17942	784	2,0	629,4
14:55	14,917	737,7	15104	2709	17813	786	2,0	631,4
15:00	15,000	738,6	15006	2679	17685	788	2,0	633,4
15:05	15,083	739,4	14907	2650	17558	790	1,9	635,3
15:10	15,167	740,2	14810	2622	17432	793	1,9	637,3
25:00	25,000	814,6	12467	1674	14141	1617	0,8	748,4
25:05	25,083	815,1	12438	1668	14106	1569	0,8	749,2
25:10	25,167	815,6	12406	1660	14066	1525	0,8	750,0
25:15	25,250	816,1	12369	1652	14021	1483	0,9	750,8
25:20	25,333	816,6	12328	1644	13972	1444	0,9	751,7
25:25	25,417	817,1	12283	1635	13918	1407	0,9	752,6
25:30	25,500	817,6	12235	1625	13860	1372	0,9	753,4

Čas potřebný k dosažení kritické teploty nosníku je 25 min 15 s, nosník splňuje požadovanou požární odolnost 15 min.



Obr. 3.25 Rozvoj teploty v nechráněném ocelovém průřezu

3.4 Spřažené ocelobetonové konstrukce

Od 1. 1. 2007 platí ČSN EN 1994-1-2 Eurokód 4: Navrhování spřažených ocelobetonových konstrukcí – Část 1-2: Obecná pravidla – Navrhování konstrukcí na účinky požáru. Obsah normy a možnosti, které norma otevírá pro posouzení či návrh požárem ohrožených ocelobetonových konstrukcí, budou popsány dále, podrobněji viz [3.1]. Aplikace normy na praktickém příkladě bude ukázána v odst. 3.4.3.

Norma se vztahuje na obvyklé stavební ocelobetonové konstrukce, jako jsou stropní desky, nosníky a sloupy, přičemž zahrnuje i ustanovení pro obetonované a částečně vybetonované konstrukce používané u moderních skeletů budov.

Zásady návrhu se opírají o stanovení mechanické únosnosti konstrukce vystavené normovému požáru (kritérium R) po určitou dobu, tzv. dobu požární odolnosti, která je pro statika zadáním, stanoveným požárními specialisty. Počítá se přitom se sníženým zatížením podle ČSN EN 1991-1-2, přičemž snížení se konzervativně dá předpokládat jako 70 % hodnoty pro zatížení v běžné teplotě, nebo se vypočítá přesněji.

Norma definuje změny pevnostních charakteristik oceli i betonu v závislosti na teplotě konstrukčních částí.

Samotné posouzení konkrétní ocelobetonové konstrukce na konci doby požadované požární odolnosti se dá podle normy provést ve třech úrovních náročnosti:

podle tabulek

jednoduchým výpočtem

zpřesněným výpočtem.

Při použití tabulek se pro požadovanou požární odolnost určují nejmenší přípustné rozměry konstrukcí, nejčastěji sloupů: jsou-li tyto rozměry dodrženy, konstrukce vyhovuje. Postup je samozřejmě výrazně na bezpečné straně a omezením je, že tabulky existují jen pro určité případy.

Jednoduché výpočty umožňují výpočtem stanovit únosnost konstrukce vystavené požáru po určitou dobu: vychází se přitom ze vztahů, které umožňují zahrnout do výpočtu sníženou pevnost zahřátých částí a to buď přímo redukcí návrhových hodnot anebo redukcí rozměrů. Příklad uvedený v dalším odstavci ukazuje jeden takový výpočet stropního nosníku.

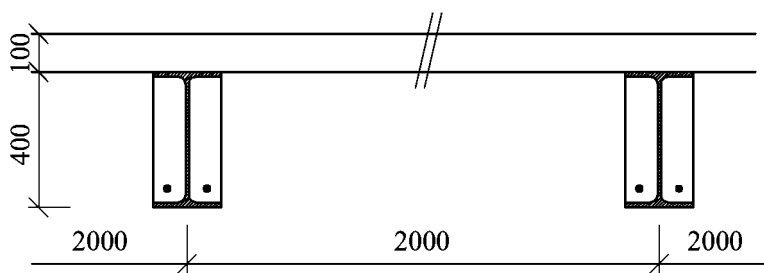
Zpřesněné neboli pokročilé výpočty vycházejí z podrobné analýzy konstrukce vystavené působení požáru a jsou zcela obecné. Prakticky je ale lze použít pouze formou (placeného) softwaru.

Důležitou součástí normy jsou konstrukční zásady, které shrnují poznatky zejména o styčnicích ocelobetonových konstrukcí, které mnohdy významně ovlivňují chování celé konstrukce.

Příklad výpočtu - Spojitý ocelobetonový nosník

Má se posoudit spojitý ocelobetonový nosník s průřezem podle obr. 3.26. Nosník je součástí stropní konstrukce v budově s obchodními plochami a má vyhovět pro dále definovaná zatížení při normální teplotě i 60 min při požáru (R60). Nosník má rozpětí $2 \times 8,5$ m. Nosník (válcované IPE 400) je z oceli S355, deska konstantní tloušťky 100 mm je z betonu C30/37 a podélná výztuž betonové desky (profily 10 mm po 100 mm při obou površích) má mez kluzu $f_{sk} = 500$ MPa. Ocelový nosník je kvůli zlepšení požární odolnosti ještě vybetonován mezi pásnicemi a poblíž dolní pásnice jsou v tomto betonu umístěny dva podélné výztužné pruty profilu 30 mm ze stejné oceli jako je výztuž desky. Nosník je při normální teplotě zatížen charakteristickým zatížením stálým $g_k = 20$ kN/m a proměnným $q_k = 25$ kN/m. Nosník se při výstavbě podepírá na lešení. Nosníky jsou 2 m od sebe.

Posouzení při běžné teplotě



Obr. 3.26 Příčný řez stropní konstrukcí

Účinná šířka desky v běžné teplotě:

- v poli: $L_e = 0,85 \cdot 8500 = 7225$ mm; $b_{eff} = 0,25 \cdot 7225 = 1806$ mm

- v podpoře: $L_e = 0,25 \cdot 2 \cdot 8500 = 4250$ mm; $b_{eff} = 0,25 \cdot 4250 = 1062$ mm

Účinná šířka při požáru bude určena později.

Ohybový moment (pružný výpočet, nosník konstantního průřezu po délce, tzv. analýza „bez trhlin“):

- ve vnitřní podpoře:

$$M_{Ed} = 0,125 (1,35 \cdot 20 + 1,5 \cdot 25) 8,5^2 = 583 \text{ kNm}$$

- v poli:

$$M_{Ed} = (0,0703 \cdot 1,35 \cdot 20 + 0,0957 \cdot 1,5 \cdot 25) 8,5^2 = 396 \text{ kNm}$$

Momenty je nutno v důsledku vzniku trhlin v desce v oblasti vnitřní podpory upravit. Použije se 40 % snížení podporového momentu (tabulka 5.1 ČSN EN 1994-1-1).

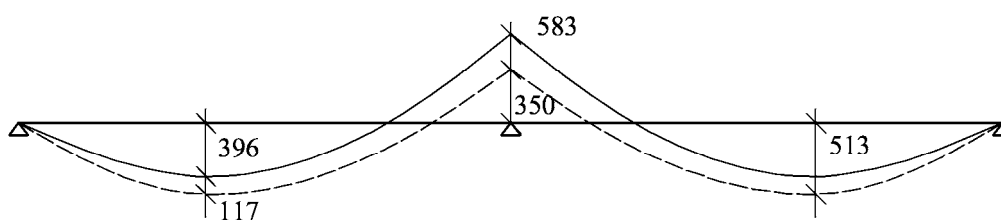
Po redistribuci bude:

$$M_{Ed} = 0,6 \cdot 583 = 350 \text{ kNm}$$

a moment v poli

$$M_{Ed} = 396 + 0,2 \cdot 583 = 513 \text{ kNm}$$

Momenty před redistribucí a po redistribuci jsou vykresleny na obr. 3.27.



Obr. 3.27 Momenty na spojitém nosníku (plná čára - pružný výpočet, přerušovaná - po redistribuci)

Materiálové vlastnosti při běžné teplotě:

- Beton $f_{ck} = 30 \text{ MPa}$; $f_{cd} = 0,85 \cdot f_{ck} / \gamma_c = 0,85 \cdot 30 / 1,5 = 17 \text{ MPa}$
- Ocel $f_y = 355 \text{ MPa}$; $f_{yd} = f_y / \gamma_a = 355 / 1,0 = 355 \text{ MPa}$
- Výztuž $f_{sk} = 500 \text{ MPa}$; $f_{sd} = f_{sk} / \gamma_s = 500 / 1,15 = 435 \text{ MPa}$

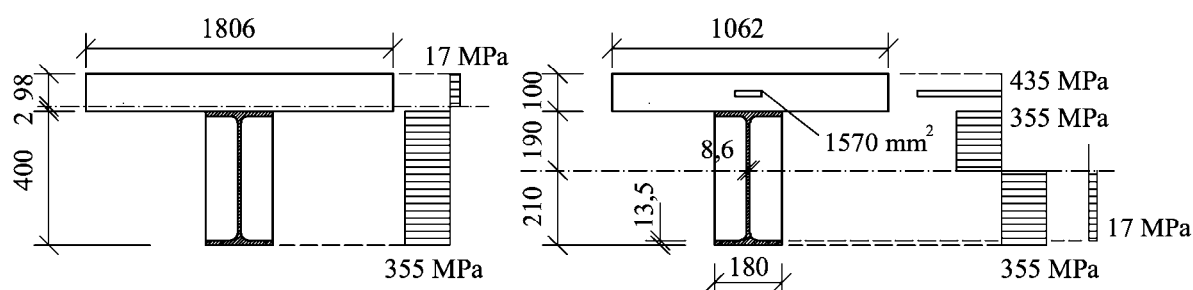
Ve výpočtech se dále uplatní:

Plocha ocelového průřezu $A_a = 8450 \text{ mm}^2$ (pásnice $A_f = 180 \cdot 13,5 = 2430 \text{ mm}^2$)

Plocha výztuže v desce (jeden profil 10 mm) $A_s = \pi \cdot 10^2 / 4 = 78,5 \text{ mm}^2$

Účinný průřez působící při běžné teplotě v poli a ve vnitřní podpoře je vykreslen na obr.

3.4.3. Vlevo je průřez v poli, vpravo průřez ve vnitřní podpoře.



Obr. 3.28 Účinné průřezy při běžné teplotě

Stanovíme únosnost průřezů.

Průřez v poli:

Poloha neutrální osy:

$$x = 8450 \cdot 355 / 17 \cdot 1806 = 98 \text{ mm, viz obr. 3.28 vlevo}$$

Moment únosnosti:

$$M_{pl,Rd} = 8450 \cdot 355 (300 - 98/2) = 753 \cdot 106 \text{ Nmm} = 753 \text{ kNm} > 513 \text{ kNm, tzn. že průřez v poli vyhovuje.}$$

Průřez ve vnitřní podpoře:

Poloha neutrální osy (290 mm od horního okraje desky, viz obr. 3.28 vpravo) byla nalezena zkusmo a lze se přesvědčit, že je správná, protože je s dostačující přibližností splněna vodorovná výminka rovnováhy:

$$1570.435 = 20.8,6.355 + (210 - 13,5).(180 - 8,6)17$$

$$682\,950 \cong 617\,253$$

Z průběhu napětí lze odvodit moment únosnosti

$$M_{pl,Rd} = 355(2430(343-57) + 196,5.8,6.338 - 176,5.8,6.152) + 17.196,5.171,4.338 = 561.106$$

Nmm = 561 kNm > 350 kNm, takže i průřez v podpoře vyhovuje.

3.4.3.2 Posouzení při požáru

Při požáru se zatížení nosníku zmenšuje. Zmenšovací součinitel η_{fi} se určí ze vztahu

$$\eta_{fi} = (G_k + \psi_{fi}Q_k)/(\gamma_g G_k + \gamma_q Q_k) = (20 + 0,7.25)/(1,35.20 + 1,5.25) = 0,58$$

kam jsme pro objekt s obchodními plochami podle tab.A1.1 normy ČSN EN 1990 dosadili

$$\psi_{fi} = 0,7$$

Momenty se tak při požáru sníží na 0,58násobek hodnoty v běžné teplotě. Protože při požáru můžeme/musíme předpokládat totální plastifikaci nosníku a tudíž úplné vyrovnaní podporového a mezipodporového momentu, bude pro nosník o dvou polích

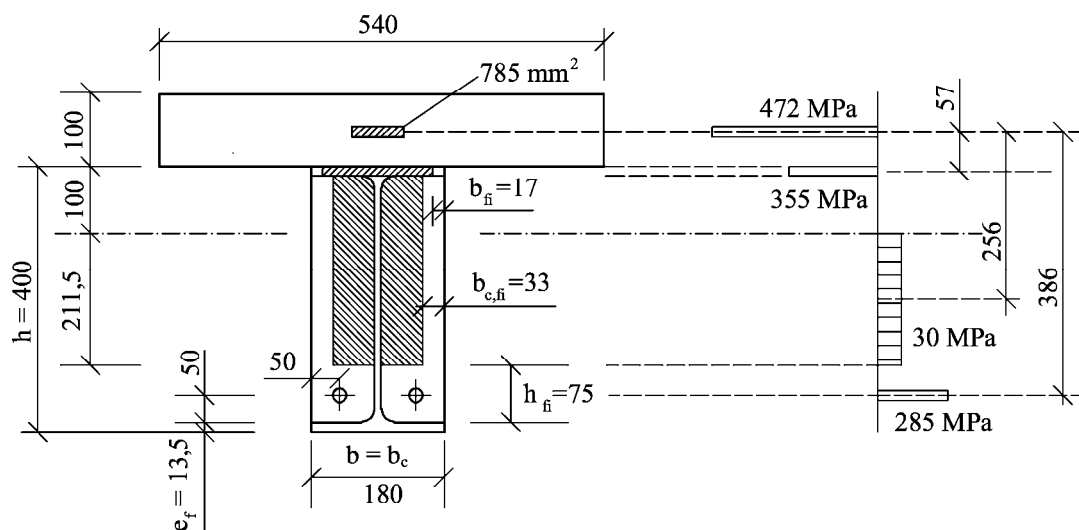
$$M_{fi,Ed} = 0,58(1,35.20 + 1,5.25)8,52/11,6 = 233 \text{ kNm}$$

Únosnost podporového průřezu při požáru (R60) budeme určovat pro účinný průřez z obr. 3.29. Účinný průřez bude tvořen výztuží desky (v rozsahu účinné šířky, která je při požáru pouze trojnásobkem šířky pásnice ocelového nosníku), horní pásnicí ocelového nosníku (s redukovanou šířkou), betonem mezi pásnicemi (s redukovanou šířkou) a výztuží umístěnou poblíž dolní pásnice. Ostatní části nosníku se při požáru považují za neúčinné. Návrhová pevnost výztuže se navíc ještě snižuje v důsledku teploty. Všechny součinitele materiálu $\gamma_{M,fi}$ jsou rovny jedné. Podrobnosti se převezmou z ČSN EN 1994-1-2, Příloha F.

$$\text{Plocha výztuže desky } A_s = 10.78,5 = 785 \text{ mm}^2$$

$$\text{Redukční součinitel pro dolní výztuž v desce } k_s = 0,022u + 0,34 = 0,022.25 + 0,34 = 0,89,$$

kde u je vzdálenost osy výztuže od dolního povrchu desky.



Obr. 3.29 Účinný průřez u podpory při R60

Horní výztuž je v málo ohřáté oblasti a její pevnost se tudíž neredukuje. Protože polovina výztuže je nahoře a polovina dole, budeme zjednodušeně počítat s průměrnou návrhovou pevností pro celou plochu výztuže, takže

$$k_s f_{sk} / \gamma_{M,fi,s} = (1 + 0,89) 0,5.500 / 1,0 = 472 \text{ MPa}$$

Šířka horní pásnice se zredukuje z obou stran o hodnotu

$$b_{fi} = e_f/2 + 10 + (b - b_c)/2 = 13,5/2 + 10 = 17 \text{ mm}$$

ale návrhová pevnost oceli pásnice se nezmenší, vezme se jako při běžné teplotě.

Beton mezi pásnicemi se z obou stran zeštíhlí o hodnotu

$$b_{c,fl} = 60 - 0,15b_c = 60 - 0,15 \cdot 180 = 33 \text{ mm}$$

a zespodu se odejme vrstva o tloušťce

$$h_{fi} = 165 - 0,4b_c - 8h/b_c = 165 - 0,4 \cdot 180 - 8 \cdot 400/180 = 75 \text{ mm}$$

Návrhová pevnost betonu mezi pásnicemi se uvažuje stejně jako při běžné teplotě

$$f_{c,fl} = f_{ck} / \gamma_{M,fl,c} = 30 / 1,0 = 30 \text{ MPa}$$

Návrhová pevnost výztuže umístěné poblíž dolní pásnice se zredukuje součinitelem

$$k_r = ((ua_3 + a_4)a_5)/\sqrt{A_m} V = ((21.0,034 - 0,04)0,101/\sqrt{980/72\,000} = 0,57$$

kde

$$A_m = 2h + b_c = 2.400 + 180 = 980 \text{ mm}$$

$$V = hb_c = 400.180 = 72\,000 \text{ mm}^2$$

$$u = 1/((1/u_i) + 1/u_s) + 1/(b_c - e_w - u_{si}) = 1/((1/50 + 1/50 + 1/(180 - 8,6 - 50)) = 21 \text{ mm}$$

Návrhová pevnost výztuže tedy bude

$$k_r f_{sk} / \gamma_{M,fi,s} = 0,57.500 / 1,0 = 285 \text{ MPa}$$

Plocha výztuže je

$$A_s = 2 \cdot \pi 30^2/4 = 1414 \text{ mm}^2$$

Poloha neutrální osy (200 mm od horního okraje desky) byla nalezena zkusmo a lze se přesvědčit, že je správná, protože je dostatečně přesně splněna vodorovná výminka rovnováhy:

$$785.472 + (180 - 2.17)13.5.355 = 211.5(180 - 2.33 - 8.6)30 + 1414.285 \\ 1\,070\,525 = 1\,071\,753$$

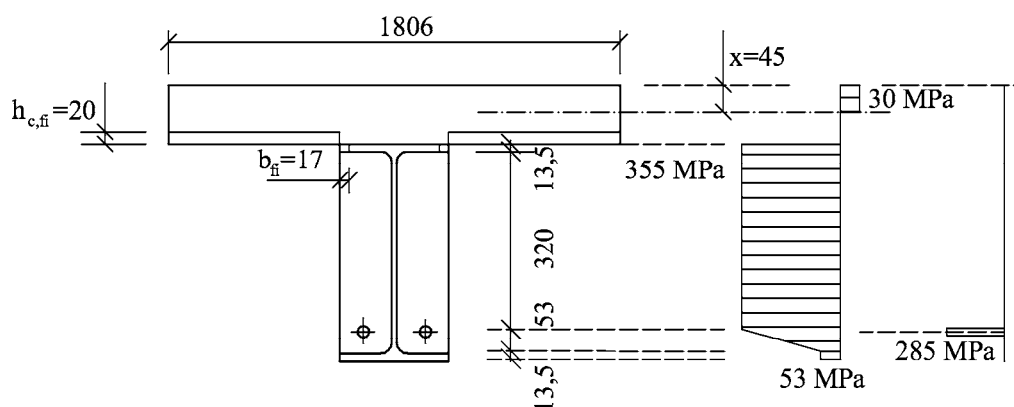
Z průběhu napětí (obr. 3.29 vpravo) lze odvodit moment únosnosti

$$M_{fi,pl,Rd} = 1414.285.386 + 105.4.211.5.30.256 - 146.13.5.355.57 = 287.106 \text{ Nmm} \\ = 287 \text{ kNm}$$

Nosník při požáru ve vnitřní podpoře tudíž vyhoví, neboť

$$M_{fi,Ed} = 233 \text{ kNm} < M_{fi,pl,Rd} = 300 \text{ kNm}$$

Únosnost průřezu v poli při požáru (R60) se určí obdobně jako u podporového průřezu. Účinný průřez je na obr. 3.30.



Obr. 3.30 Účinný průřez v poli při R60

Je vidět, že účinnou šířku desky uvažujeme stejně jako při běžné teplotě, v důsledku zvýšené teploty ale nepočítáme s vrstvou $h_{c,fi}$ ve spodní části desky. Pro R60 je

$$h_{c,fi} = 20 \text{ mm}$$

Podobně jako u podporového průřezu zúžíme horní pásnici na obou stranách o

$$b_{fi} = 17 \text{ mm}$$

Stojina ocelového průřezu se rozdělí na části h_h a h_l . Výška dolní části je

$$h_h = a_1/b_c + a_{2ew}/(b_{ch}) = 9500/180 + 0 = 53 \text{ mm}$$

Návrhová pevnost horní pásnice a horní části stojiny se nesnižuje, v dolní části stojiny se předpokládá, že pevnost lineárně klesá až na hodnotu odpovídající dolní pásnici. U té se uplatní redukční součinitel

$$k_a = (0.21 - 26/b_c + h/24b_c)a_0 = (0.21 - 26/180 + 400/24.180)0.943 = 0.149$$

kde

$$a_0 = (0,018 e_f + 0,7) = 0,018 \cdot 13,5 + 0,7 = 0,943$$

Snížená návrhová pevnost dolní pásnice bude

$$0,149 \cdot 355 = 53 \text{ MPa}$$

Návrhová pevnost výztuže umístěné poblíž dolní pásnice se zredukuje stejně jako u podporového průřezu, tzn. na 285 MPa.

Průběh napětí při plném využití průřezu je vykreslen na obr. 3.30 vpravo.

Poloha neutrální osy, měřeno od horního okraje desky, je

$$x = (2430 \cdot (355 + 53) + 320 \cdot 8,6 \cdot 355 + 53 \cdot 8,6 \cdot 204 + 1414 \cdot 285) / (30 \cdot 1806) = 45 \text{ mm}$$

Moment únosnosti průřezu v poli je

$$M_{fi,pl,Rd} = 2430 \cdot 53 \cdot 471 + 53 \cdot 8,6 \cdot 204 \cdot 437 + 320 \cdot 8,6 \cdot 355 \cdot 251 + 2430 \cdot 355 \cdot 84 + 1414 \cdot 285 \cdot 414 = 586 \cdot 106 \text{ Nmm} = 586 \text{ kNm} > 233 \text{ kNm},$$

takže i tento průřez vyhovuje.

3.5 Dřevěné konstrukce

Norma ČSN EN 1995-1-2: Navrhování dřevěných konstrukcí, Obecná pravidla, Navrhování konstrukcí na účinky požáru včetně Národní přílohy má 68 stran. Obsahuje informace o materiálu, modely rychlosti zuhelnatění i jednoduché a pokročilé návrhové modely pro stanovení požární odolnosti dřevěných konstrukcí a konstrukcí na bázi dřeva vystavených požáru podle nominální normové křivky i pokročilých modelů požáru. Samostatná část je věnována návrhu spojů prutových dřevěných konstrukcí a stěnovým konstrukcím. Struktura normy odpovídá skladbě návrhových norem:

Národní předmluva

Předmluva

1 Všeobecně

2 Zásady navrhování

3 Vlastnosti materiálu

4 Postupy navrhování na mechanickou odolnost

5 Postupy navrhování pro stěnové a stropní sestavy

6 Spoje

7 Konstrukční opatření

Příloha A Vystavení účinkům parametrického požáru

Příloha B Zpřesněné výpočetní metody

Příloha C Nosné stropní nosníky a sloupky stěn v sestavách, jejichž dutiny jsou zcela vyplněny izolací

Příloha D Zuhelnatění prvků v sestavách stěn a stropů s prázdnými dutinami

Příloha E Analýza dělicí funkce stěnových a stropních sestav

Příloha F Návod pro uživatele této části Eurokódu

Národní příloha NA se týká pěti článků, v nichž je umožněna národní volba.

Příklad dále ukazuje možnosti ověření požární odolnosti konstrukce podle normy ČSN EN 1995-1-2. Pro další studium lze použít např. literaturu [3.1]

Příklady výpočtů - Nosník

Návrh prostě podepřeného nosníku na požární odolnost R 60. Rozpětí nosníku je 5,0 m a je zatížen návrhovým zatížením $g_d + q_d = 6,5 \text{ kN/m}$. Poměr rozhodujícího proměnného zatížení (sněhu) a součtu stálých zatížení $Q_{k,1}/G_k = 1,0$. Příčná a torzní stabilita nosníku je zajištěna bedněním. Nosník je ze smrkového dřeva třídy S13 a je zabudován ve třídě vlhkosti 1.

Návrh na běžnou teplotu

Ohybový moment

$$M_d = \frac{(g_d + q_d) \ell^2}{8} = \frac{6,5 \cdot 5^2}{8} = 20,31 \text{ kNm}$$

Návrhová pevnost v ohybu

$$f_{m,d} = k_{\text{mod}} \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 0,9 \frac{22}{1,3} = 15,2 \text{ MPa}$$

Navržený průřez 180/220 mm.

Posouzení normálového napětí za ohybu

$$\sigma_{m,d} \leq k_{\text{crit}} f_{m,d}$$

$$k_{\text{crit}} = 1,0 \text{ (příčná a torzní stabilita nosníku je zajištěna)}$$

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_d}{W} = \frac{6 \cdot 20,31 \cdot 10^6}{180 \cdot 220^2} = 14,0 \text{ MPa} < 15,2 \text{ MPa}$$

Nosník na ohyb při běžné teplotě vyhoví.

Návrh na účinky požáru

Ohybový moment

$$\xi = Q_{k,1} / G_k = 1,0$$

$$\eta_{fi} = (1,0 + \psi_{1,1} \xi) / (\gamma_G + \gamma_{Q,1} \xi) = (1,0 + 0,2 \cdot 1,0) / (1,35 + 1,5 \cdot 1,0) = 0,42 < 0,65$$

$$M_{d,fi} = \eta_{fi} M_d = 0,42 \cdot 20,31 = 8,53 \text{ kNm}$$

1) Metoda redukovaného průřezu

$$k_{\text{mod},fi} = 1,0$$

$$k_{fi} = 1,25$$

$$\gamma_{M,fi} = 1,0$$

$$\beta_n = 0,8 \text{ mm/min (rostlé dřevo)}$$

$$d_0 = 7 \text{ mm}$$

$$k_0 = 1,0 \text{ (povrch nosníku není chráněn)}$$

Účinná hloubka zuhelnatění

$$d_{ef} = \beta_n t + k_0 d_0 = 0,8 \cdot 60 + 1,0 \cdot 7 = 55 \text{ mm}$$

Průřezový modul (nosník je vystaven požáru ze tří stran)

$$b_{fi} = b - 2 d_{ef} = 180 - 2 \cdot 55 = 70 \text{ mm}$$

$$h_{fi} = h - d_{ef} = 220 - 55 = 165 \text{ mm}$$

$$W_{fi} = \frac{b_{fi} \cdot h_{fi}^2}{6} = \frac{70 \cdot 165^2}{6} = 318 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

Návrhová pevnost v ohybu

$$f_{m,d,fi} = k_{mod,fi} k_{fi} \frac{f_{m,k}}{\gamma_{M,fi}} = 1,0 \cdot 1,25 \frac{22}{1,0} = 27,5 \text{ MPa}$$

Posouzení normálového napětí za ohybu

$$\sigma_{m,d,fi} \leq k_{crit} f_{m,d,fi}$$

$$k_{crit} = 1,0 \text{ (příčná a torzní stabilita nosníku je zajištěna)}$$

$$\sigma_{m,d,fi} = \frac{M_{d,fi}}{W_{fi}} = \frac{8,53 \cdot 10^6}{318 \cdot 10^3} = 26,8 \text{ MPa} < 27,5 \text{ MPa}$$

Nosník na ohyb pro R60 vyhoví.

2) Metoda redukovaných vlastností

$$k_{fi} = 1,25$$

$$\gamma_{M,fi} = 1,0$$

$$\beta_n = 0,8 \text{ mm/min (rostlé dřevo)}$$

Hloubka zuhelnatění

$$d_{char} = \beta_n t = 0,8 \cdot 60 = 48 \text{ mm}$$

Průřezový modul (nosník je vystaven požáru ze tří stran)

$$b_r = b - 2 d_{char} = 180 - 2 \cdot 48 = 84 \text{ mm}$$

$$h_r = h - d_{char} = 220 - 48 = 172 \text{ mm}$$

$$W_r = \frac{b_r h_r^2}{6} = \frac{84 \cdot 172^2}{6} = 414 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

Návrhová pevnost v ohybu

$$A_r = b_r h_r = 0,084 \cdot 0,172 = 1,4 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$p = b_r + 2 h_r = 0,084 + 2 \cdot 0,172 = 42,8 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$k_{mod,fi} = 1,0 - \frac{1}{200} \frac{p}{A_r} = 1,0 - \frac{1}{200} \frac{42,8 \cdot 10^{-2}}{1,4 \cdot 10^{-2}} = 0,85$$

$$f_{m,d,fi} = k_{mod,fi} k_{fi} \frac{f_{m,k}}{\gamma_{M,fi}} = 0,85 \cdot 1,25 \frac{22}{1,0} = 23,4 \text{ MPa}$$

Posouzení normálového napětí za ohybu

$$\sigma_{m,d,fi} \leq k_{crit} f_{m,d,fi}$$

$k_{crit} = 1,0$ (příčná a torzní stabilita nosníku je zajištěna)

$$\sigma_{m,d,fi} = \frac{M_{d,fi}}{W_r} = \frac{8,53 \cdot 10^6}{414 \cdot 10^3} = 20,6 \text{ MPa} < 23,4 \text{ MPa}$$

Nosník na ohyb pro R60 vyhoví.

3.6 Zděné konstrukce

Pod pojem zdivo se řadí celá škála materiálů různých vlastností, a to z hlediska pevnosti, přetvárných vlastností, izolačních schopností, trvanlivosti i požární odolnosti. Obecně je zdivo materiálem nehořlavým, ovšem podle použitých zdicích prvků, malty a konkrétního provedení má velmi různou schopnost zachovat nosnou funkci při vyšších teplotách i plnit dělicí funkci zabráněním šíření požáru po určitou dobu. Norma ČSN EN 1996-1-2 platí pro navrhování zděných konstrukcí při mimořádné situaci účinkem požáru a je určena pro užití společně s normami pro navrhování zděných konstrukcí ČSN EN 1996-1-1, ČSN EN 1996-2, ČSN EN 1996-3 a základní normou pro zatížení konstrukcí účinkem požáru ČSN EN 1991-1-2. Vztahuje se na konstrukce a jejich části, které byly podle norem ČSN EN 1996-1-1, ČSN EN 1996-2, ČSN EN 1996-3 navrženy a provedeny. Zabývá se pasivními metodami požární ochrany tj. dimenzování odpovídající únosnosti stavebních konstrukcí a jejich částí, nezbytné pro zajištění podmínek bezpečné evakuace osob a provádění hasebního zásahu, a kde je to nutné, i pro omezení rozvoje požáru. Aktivní metody nejsou předmětem této části normy.

Norma ČSN EN 1996-1-2 definuje řadu pojmů, které v tomto příspěvku nelze podrobně citovat, navíc některé jsou společné pro navrhování na účinky požáru i pro konstrukce z ostatních materiálů. Vzhledem k charakteru zděných konstrukcí jsou důležité termíny požární stěna, nosná a nenosná stěna, dělicí a nedělicí stěna, dutinová stěna, zdvojená stěna. Další speciální termíny vztahující se k výpočetním metodám, některé jsou uvedeny a vysvětleny níže.

Zděné konstrukce musí pro zajištění obecné požární bezpečnosti při namáhání požárem splňovat základní funkce – nosnou a dělicí. Pro splnění nosné funkce musí být konstrukce navrženy a provedeny tak, aby splňovaly kritéria únosnosti (kritérium R), případně též mechanické odolnosti (odolnost rázu dle EN 1363 - kritérium M) po celou požadovanou dobu požární odolnosti, případně po celou dobu trvání požáru. Splnění dělicí funkce znamená zabránění předčasnému zřícení konstrukce a zamezení šíření požáru (plameny, horké plyny, přebytečné teplo) mimo navržené prostory.

Kritéria normy jsou specifikována podle užitého požárního namáhání (nominální nebo parametrické). Např. při užití nominálního požárního namáhání se předpokládá, že dělicí funkce v souvislosti s izolačním kritériem (kritérium celistvosti E a izolační kritérium I) je zajištěna tehdy, jestliže průměrný nárůst teploty na straně odvrácené od požáru není větší než 140 K a maximální nárůst v žádném bodě tohoto povrchu nepřekročí 180 K. Při parametrickém požární namáhání musí být kromě uvedené podmínky splněn požadavek, že průměrný nárůst teploty na straně odvrácené od požáru během fáze ochlazování nepřekročí 180 K a maximální nárůst v žádném bodě tohoto povrchu nepřekročí 220 K.

Hodnoty zatížení, včetně teplotní analýzy, se určují podle normy ČSN EN 1991-1-2. Norma ČSN EN 1996-1-2 určuje, že hodnota součinitele povrchové emisivity ε_m je stanovena

Národní přílohou (NP) a závisí na materiálu zdiva. NP ČR uvádí pro omítnutý i neomítnutý povrch zdiva hodnotu $\varepsilon_m = 0,80$.

Návrhové hodnoty mechanických i tepelných vlastností materiálu jsou pro zdivo, obdobně jako pro ostatní stavební materiály, určovány z charakteristických hodnot dělením (event. násobením pro případ negativního vlivu zvýšení tepelné vlastnosti) dílčím součinitelem spolehlivosti $\gamma_{M,fi}$. Doporučená hodnota součinitele $\gamma_{M,fi} = 1,0$. Posouzení požární odolnosti zděné konstrukce je možné provést:

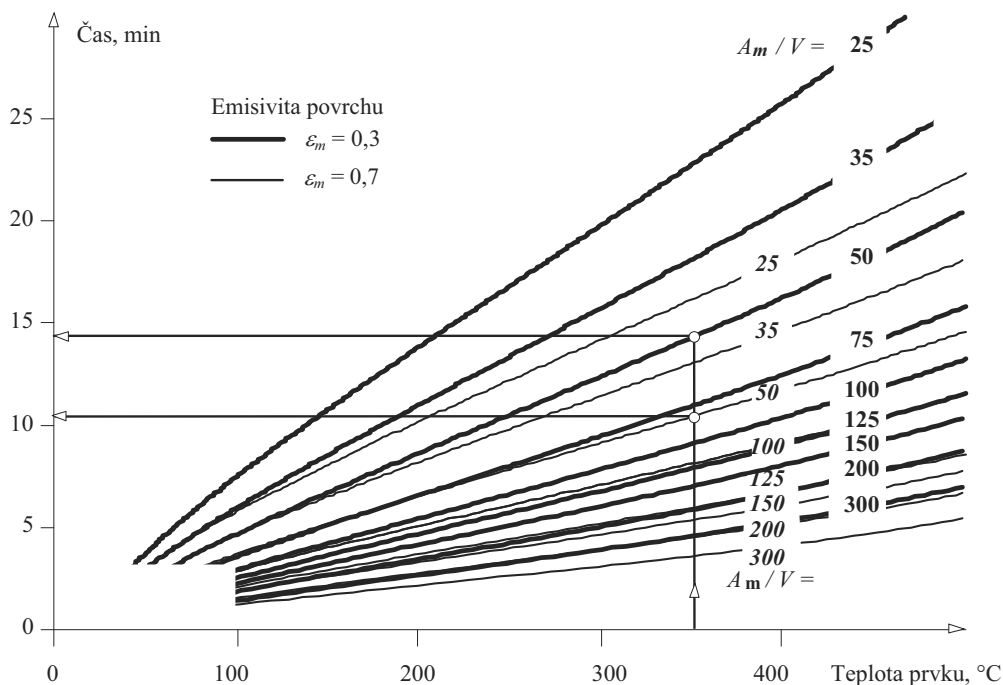
- zkouškou konstrukce,
- použitím tabulkových hodnot, přičemž tabulkové údaje odpovídají normové závislosti teplotě na čase při požáru podle EN 1363,
- posouzením výpočtem, a to posouzením prvku, části konstrukce nebo celé konstrukce.

3.7 Hliníkové konstrukce

Text evropské normy ČSN EN 1999-1-2: 2006: Navrhování hliníkových konstrukcí, Obecná pravidla, Navrhování na účinky požáru platí v ČR od roku 2006. Jedná se o první normu na požární návrh stavebních hliníkových konstrukcí vůbec. Text mimo jiné umožňuje upřesnění součinitele emisivity povrchu ε_m , možnost uvažovat zastínění části průřezu dolní pásnicí u prvků vystavených nominální teplotní křivce a možnost redukce vzpěrných délek tlačných prutů vlivem studených konců ve styčnicích, které se používá i u ocelových konstrukcí. Klasifikace průřezu využívá klasifikace za běžné teploty. Pro výpočet součinitele vzpěrnosti se uvažuje s ověřenou redukcí chování za studena součinitelem 1,2.

Součinitel emisivity povrchu

Pro výpočet přestupu tepla do nechráněné i chráněné hliníkové konstrukce se v normě využívá stejných principů a vztahů jako v normě ČSN EN 1993-1-2: 2005 pro ocelové konstrukce. Liší se pouze tepelné vlastnosti materiálu. Emisivita povrchu materiálu se pro nenatřené hliníkové konstrukce uvažuje hodnotou $\varepsilon_m = 0,3$. V případě povrchu s nátěrem se zvětší na 0,7. Na obr. 3.31 je zobrazen vliv emisivity povrchu na teplotu prvku pro A_m / V od 25 po 300 m⁻¹. Zastínění není v grafu zohledněno. Je vidět, že pro prvek se součinitelem průřezu 50 m⁻¹ se teplota 350 °C dosáhne pro nenatřený povrch s emisivitou $\varepsilon_m = 0,3$ za asi 14,3 min a pro natřený povrch s $\varepsilon_m = 0,7$ za asi 10,4 min.



Obr. 3.31 Vliv emisivity povrchu na teplotu hliníkového profilu, pro A_m / V od 25 po 300 m⁻¹

4 Hodnoty požární odolnosti bez uvažování namáhání

4.1 Stavební výrobek a stavební konstrukce

Při řešení požární bezpečnosti staveb je třeba znát hodnoty požární odolnosti stavebních výrobků a konstrukcí a navrhovat konstrukce, které požadované hodnoty požární odolnosti splní. Při realizaci staveb lze rozlišit dvě kategorie prvků: stavební výrobky a stavební konstrukce.

U stavebního výrobku se jedná o věc movitou a určenou k uvedení na trh se základní identifikací výroby a s určením pro trvalé zabudování do staveb. Stavební konstrukcí se rozumí část stavebního díla, navržená a vypočtená v rámci projektu individuálně pro jednotlivou konkrétní stavbu a zhotovená na základě stavebních prací přímo na stavbě v rámci realizace konkrétního stavebního díla.

ČSN 73 0821 z 28. února 1973, která uvádí hodnoty požárních odolností některých stavebních výrobků a konstrukcí, je rušena jako konfliktní s přijatými návrhovými normami k 1. březnu 2010. Konfliktnost spočívá v těchto aspektech. Na většinu stavebních výrobků, podhledy, příčky, nosné stěny apod., jsou zpracovány nebo se připravují evropské harmonizované normy, tj. normy, které stanoví podmínky a vlastnosti pro uvádění těchto výrobků na trh včetně zkušebních postupů pro jejich ověřování. Podmínkou klasifikace jsou zkoušky podle příslušných evropských zkušebních norem pro konkrétní konstrukce, včetně materiálového provedení a konkrétního výrobce.

U harmonizovaných stavebních výrobků nelze normou vyčerpávajícím způsobem popsat varianty odzkoušených výrobků, včetně případných přímých a rozšířených aplikací. K tomu slouží proces posuzování shody podle nařízení vlády, které se na daný výrobek vztahují. Na základě úspěšně ukončeného procesu posouzení shody výrobci vydávají svoje katalogy, vyrábějí výrobky, které jsou umísťovány na trh a následně zabudovávány do staveb. V žádném případě nemohou být hodnoty požárních odolností stavebních výrobků předmětem hodnotové normy.

V případě stavebních konstrukcí není možné, aby jednotlivé členské země měly duplicitní normy k evropským normám, tj. v tomto případě k návrhovým normám Eurokódům ČSN EN 199x-1-2, což je důvod k rušení ČSN 73 0821:1973 k datu ukončení přechodného období.

4.2 Namáhání konstrukcí vystavených požáru

Při požární situaci je konstrukce vystavena tepelnému a mechanickému zatížení, která se liší od zatížení při běžné teplotě. Tepelné zatížení se již po 130 let osvědčilo zjednodušeně a

většinou velmi konzervativně modelovat nominální normovou teplotní křivkou. Nižší mechanické zatížení při požáru oproti meznímu stavu únosnosti za běžné teploty je spolu s požární ochranou konstrukce zdrojem spolehlivosti konstrukcí při požáru. Pro prvky, které nejsou vystaveny stabilitním jevům, lze uvažovat, že redukce namáhání odpovídá redukci zatížení. Pro tyto prvky lze konzervativně odhadnout nejnepříznivější možnou redukci zatížení a na tomto odhadu vypracovat tabulky požární odolnosti prvků.

Redukci zatížení lze popsat pomocí redukčního součinitele úrovně zatížení při požáru, který závisí na použitém kombinačním pravidlu pro stanovení návrhové hodnoty účinku zatížení pro běžnou teplotu, dílčích a kombinačních součinitelích. Účinek zatížení pro požární situaci $E_{fi,d}$, který se stanoví podle ČSN EN 1991-1-2, lze zjednodušeně získat analýzou konstrukce za běžné teploty ze vztahu

$$E_{fi,d} = \eta_{fi} E_d \quad (4.1)$$

kde E_d je návrhová hodnota příslušné vnitřní síly nebo momentu, určená pro navrhování pro běžnou teplotu a pro základní kombinaci zatížení podle ČSN EN 1990, a η_{fi} redukční součinitel úrovně zatížení při požáru. Postup stanovení redukčního součinitele je definován v kap. 4.3 normy ČSN EN 1991-1-2 (Kombinační pravidla pro zatížení), pro jednotlivé materiály upřesněn v částech 2 norem ČSN EN 1992-1-2 až ČSN EN 1999-1-2, kde jsou též uvedeny konzervativní hodnoty jeho nejvyššího odhadu pro zjednodušený výpočet.

4.3 Tabulky požárních odolností

Pro potřeby projektové praxe je vhodné mít k dispozici jednoduše získatelné konzervativní hodnoty odhadu požární odolnosti, proto byla vypracována příručka, která na základě evropských návrhových norem tyto hodnoty tabelárně a přehledně uvádí. Vypracování se v loňském roce ujalo Centrum technické normalizace pro požární ochranu PAVUS, a.s., viz [4.1]. Závěr oponentního jednání, konaného 7. 10. 2009, doporučuje vydání příručky jako pomůcku pro projektanty a státní správu na úseku požární ochrany s vazbou na právní předpisy, § 99 Zákona č. 133/1985 Sb. o požární ochraně a české technické normy, čl. 4.3 ČSN 73 0810:2009. Dále konstatuje, že hodnoty požární odolnosti uvedené v příručce je možno považovat za průkazné a splňující podmínku jejich použití ve stavebním řízení.

Předpokladem použití hodnot požární odolnosti jednotlivých konstrukcí podle příručky je skutečnost, že posuzovaná konstrukce je navržena na účinky zatížení při běžné teplotě podle příslušné normy ze soustavy evropských návrhových norem Eurokódů, ČSN EN 1990 až ČSN EN 1999 pro pozemní stavby.

Je třeba konstatovat, že hodnoty v tabulkách jsou výrazně konzervativní, tj. na straně bezpečné, a že pro přesnější výsledky lze stanovit hodnoty požární odolnosti výpočtem podle Eurokódů, zkouškou podle příslušných ČSN EN nebo jejich kombinací. V tabulkách nelze interpolovat, ale lze využít dimenzi stanovenou pro vyšší požární odolnost.

V příručce, s ohledem na to, že je určena k přímému vyhledávání hodnot, nejsou uváděny zásady a postupy výpočtů podle Eurokódu a pro konkrétní informace se odkazuje na publikaci F. Wald a kol.: Výpočet požární odolnosti stavebních konstrukcí, viz [4.2].

K normě ČSN 73 0821:1973 byla v květnu 2007 vydána norma ČSN 73 0821 ed. 2, kterou není třeba rušit, poněvadž konstrukce, které jsou jejím předmětem, tj. hrázděné stěny, vložkové stropy, dřevěné stropy apod., nejsou konfliktní s EN. Mimoto ČSN 73 0821 ed. 2 obsahuje příklady a detaily spojování a napojování stěn, stropů a podhledů, příklady řešení spár, drážek a zárubní a příklady zajištění prostupů. Tyto příklady a detaily jsou obecně použitelné při provádění a zajištění požární odolnosti stavebních konstrukcí.

Snadnou dostupnost požární klasifikace stavebních výrobků není třeba touto příručkou řešit, poněvadž jednotliví výrobci uvádějí certifikované výrobky ve svých katalozích. PAVUS, a.s., jako akreditovaná požární laboratoř, vede databázi vydaných klasifikací, viz www.pavus.cz, v níž se lze jednoduše orientovat, a to jak podle druhu výrobků, průkazných hodnot požárních vlastností, době platnosti, tak i údajích o příslušném výrobcu.

4.4 Rozsah tabulek v příručce

Pro betonové konstrukce byly hodnoty vypracovány podle ČSN EN 1992-1-2 pro redukční součinitel úrovně zatížení při požáru $\mu_{fi} = 0,7$ a pro kritickou teplotu nepřepínaných prutů $\theta_{cr} = 500^{\circ}\text{C}$. Tabulky zahrnují: železobetonové sloupy, nenosné stěny, nosné stěny, prostě podepřené nosníky, spojitě nosníky, prostě podepřené desky s výztuží v jednom a dvou směrech, lokálně podepřené desky a prostě podepřené žebrové desky.

U ocelových konstrukcí lze podle ČSN EN 1993-1-2 pro zjednodušení použít hodnotu redukčního součinitele $\eta_{fi} = 0,65$ kromě prostorů umožňujících nashromáždění zboží, kde se doporučuje hodnota 0,7. Při hodnocení požární odolnosti ocelových prvků je v tabulkách podle našich ověřených národních zvyků považována za kritickou teplotu hodnota 500°C pro sloupy nosníky, průvlaky, vazníky apod. zajišťující stabilitu objektu nebo jeho části, nebo pro sloupy podpírajících technická a technologická zařízení; 560°C u ztužujících prvků, střešních nosníků, vaznic, krokví, či prvků střešních plášťů, roštových podlahových prvků apod. a 620°C u nosných prvků obvodových plášťů, které nezajišťují stabilitu objektu ani jeho části. Pro nechráněné ocelové konstrukce je rozhodující teplota konstrukce, která závisí na součiniteli průřezu A_m / V , kde A_m je plocha povrchu prvku na jednotku délky a V objem prvku na jednotku délky. Tabulky pro ocelové konstrukce zahrnují nechráněné ocelové sloupy a nosníky, možný stupeň využití průřezu pro požární odolnost nechráněných ocelových nosníků a sloupy z nosných profilovaných plechů vyplněných betonem.

Pro spřažené ocelobetonové konstrukce, které se za požáru navrhují podle ČSN EN 1994-1-2, viz [4], se vycházelo ze stejné hodnoty redukčního součinitele

$\eta_{fi} = 0,65$ jako pro ocelové konstrukce. Pro tabulky bylo možno využít hodnoty uváděné v normě pro spřažené sloupy se zcela i částečně obetonovanými ocelovými průřezy, pro spřažené sloupy z dutých ocelových průřezů vyplněných betonem, pro spřažené částečně obetonované ocelové nosníky, spřažené sloupy a nosníky a pro spřažené stropy betonované do nosných profilovaných plechů.

Pro dřevěné konstrukce je v kap. 2 ČSN EN 1995-1-2 pro zjednodušení doporučena hodnota $\eta_{fi} = 0,6$ mimo prostory, kde dochází k hromadění zboží včetně přístupových prostor, kde je doporučena hodnota $\eta_{fi} = 0,7$. Hodnoty v tabulkách jsou vypočteny metodou redukovaného průřezu pro prvky z rostlého dřeva jehličnatých a listnatých dřevin a pro prvky z lepeného lamelovaného dřeva jehličnatých dřevin bez pláště požární ochrany, pro nosníky a sloupy z jehličnatých dřevin a buku, nosníky a sloupy z listnatých dřevin mimo buku, nosníky a sloupy z lepeného lamelového dřeva. Nosníky jsou vystavené požáru ze tří i čtyř stran, sloupy jsou vystavené požáru ze čtyř stran a hodnoty požární odolnosti jsou zpracované pro délky 2,6 m, 2,8 m, 3,0 m, 3,2 m, 3,4 m a 6,0 m. U sloupů se předpokládá kloubové uložení jejich konců, vzpěrná délka je jejich výška.

Pro zděné konstrukce byly zjednodušeny tabulky zpracované v ČSN EN 1996-1-2 pro zdivo z pálených zdicích prvků, zdivo z vápenopískových zdicích prvků, zdivo z betonových tvárnic s hutným nebo pórovitým kamenivem a zdivo z pórobetonových tvárnic. V každé skupině zdicích prvků jsou zpracovány tabulky, a to pro zdivo bez omítky i s omítkou pro požárně dělicí nenosné (EI), požárně dělicí nosné (REI), požárně nedělicí nosné zdivo délky $\geq 1,0$ m (R), požárně nedělicí nosné zdivo délky $\leq 1,0$ m (sloupy) (R) a požárně dělicí nosné a nenosné zdivo pro kritérium REI-M, EI-M.

Na závěr příručky je popsán databázový systém klasifikací pro stavební výrobky, který je doplněn manuálem k vyhledání požadovaných hodnot.

4.5 Příklad použití tabulek - Požární odolnost dřevěného sloupu

Zadání

Má se ověřit požární odolnost dřevěného sloupu průřezu 100×100 mm z rostlého dřeva z jehličnatých dřevin. Délka sloupu je 3,0 m a je zatížen osovou silou $N_d = 33$ kN. Poměr rozhodujícího proměnného zatížení a součtu stálých zatížení $Q_{k,1}/G_k = 2,0$.

Ověření pomocí tabulek

Nejprve se zjistí požární odolnost sloupu z publikace [4.1], viz tabulka 5.2.1c. Z této tabulky vyplývá, že bez znalosti zatížení a jeho skladby je požární odolnost sloupu asi R10, což je pro použití v konstrukci málo.

Ověření jednoduchým výpočtem

Proti účinkům požáru proto sloup budeme chránit OSB deskami, jejichž tloušťka je 20 mm, hustota 550 kg/m³, a sloup posoudíme na požární odolnost R30. K výpočtu se použije metoda redukovaného průřezu i metoda redukovaných vlastností.

Návrhová hodnota osově síly za požární situace

$$\xi = Q_{k,1} / G_k = 2,0$$

$$\eta_{fi} = (1,0 + \psi_{1,1} \xi) / (\gamma_G + \gamma_{Q,1} \xi) = (1,0 + 0,5 \cdot 2,0) / (1,35 + 1,5 \cdot 2,0) = 0,46 < 0,60$$

$$N_{d,fi} = \eta_{fi} N_d = 0,46 \cdot 33 = 15,2 \text{ kN}$$

Doba do porušení pláště požární ochrany (OSB desky, $h_p = 20 \text{ mm}$, $\beta_{0,450,20} = 0,9 \text{ mm/min}$)

$$k_\rho = \sqrt{\frac{450}{\rho_k}} = \sqrt{\frac{450}{550}} = 0,9$$

$$k_h = 1,0$$

$$\beta_{0,\rho,t} = \beta_{0,450,20} k_\rho k_h$$

$$\beta_{0,550,20} = 0,9 \cdot 0,9 \cdot 1,0 = 0,81 \text{ mm/min}$$

$$t_{ch} = \frac{h_p}{\beta_{0,550,20}}$$

$$t_{ch} = \frac{20}{0,81} = 24,5 \text{ min}$$

$$t_f = t_{ch}$$

1) Metoda redukovaného průřezu

$$k_{\text{mod},fi} = 1,0$$

$$k_{fi} = 1,25$$

$$\gamma_{M,fi} = 1,0$$

$$\beta_n = 0,8 \text{ mm/min (rostlé dřevo)}$$

$$d_0 = 7 \text{ mm}$$

$$t_{fi,req} - t_{ch} = 30 - 24,5 = 5,5 \text{ min}$$

$$k_0 = \frac{t_{fi,req} - t_f}{20} = \frac{30 - 24,5}{20} = 0,3$$

Účinná hloubka zuhelnatění

$$d_{ef} = 2 \beta_n t + k_0 d_0 = 2 \cdot 0,8 \cdot 5,5 + 0,3 \cdot 7 = 11 \text{ mm}$$

Štíhlostní poměry

$$b_{fi} = b - 2 d_{ef} = 100 - 2 \cdot 11 = 78 \text{ mm}$$

$$\lambda = \frac{\ell_{ef}}{i} = \frac{3000}{0,289 \cdot 78} = 133$$

$$\sigma_{c,crit} = \pi^2 \frac{E_{0,05}}{\lambda^2} = 3,14^2 \frac{6700}{133^2} = 3,7$$

$$\lambda_{rel} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit}}} = \sqrt{\frac{20}{3,7}} = 2,3$$

Součinitel vzpěrnosti

$$k = 0,5 \left[1 + \beta_c (\lambda_{rel} - 0,3) + \lambda_{rel}^2 \right] = 0,5 \left[1 + 0,2 (2,3 - 0,3) + 2,3^2 \right] = 3,3$$

$$k_c = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}} = \frac{1}{3,3 + \sqrt{3,3^2 - 2,3^2}} = 0,17$$

Návrhová pevnost v tlaku

$$f_{c,0,d,fi} = k_{mod} k_{fi} \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_{M,fi}} = 1,0 \cdot 1,25 \cdot \frac{20}{1,0} = 25 \text{ MPa}$$

Posouzení sloupu na vzpěr

$$A_{fi} = b_{fi}^2 = 78^2 = 6 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$$

$$\frac{N_{d,fi}}{k_c A_{fi} f_{c,0,d,fi}} \leq 1,0$$

$$\frac{15,2 \cdot 10^3}{0,17 \cdot 6 \cdot 10^3 \cdot 25} = 0,6 < 1,0$$

Sloup na vzpěr pro R30 vyhoví.

2) Metoda redukovaných vlastností

$$k_{fi} = 1,25$$

$$\gamma_{M,fi} = 1,0$$

$$\beta_n = 0,8 \text{ mm/min (rostlé dřevo)}$$

Hloubka zuhelnatění

$$d_{char} = 2 \beta_n t = 2 \cdot 0,8 \cdot 5,5 = 9 \text{ mm}$$

Štíhlostní poměry

$$b_r = b - 2 d_{char} = 100 - 2 \cdot 9 = 82 \text{ mm}$$

$$\lambda = \frac{\ell_{ef}}{i} = \frac{3\,000}{0,289 \cdot 82} = 127$$

$$\sigma_{c,crit} = \pi^2 \frac{E_{0,05}}{\lambda^2} = 3,14^2 \frac{6\,700}{127^2} = 4,1 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit}}} = \sqrt{\frac{20}{4,1}} = 2,2$$

Součinitel vzpěrnosti

$$k = 0,5 \left[1 + \beta_c (\lambda_{rel} - 0,3) + \lambda_{rel}^2 \right] = 0,5 \left[1 + 0,2 (2,2 - 0,3) + 2,2^2 \right] = 3,1$$

$$k_c = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}} = \frac{1}{3,1 + \sqrt{3,1^2 - 2,2^2}} = 0,19$$

Návrhová pevnost v tlaku

$$A_r = b_r^2 = 0,082^2 = 67 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$p = 4 b_r = 4 \cdot 0,082 = 32,8 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$k_{mod,fi,20} = 1,0 - \frac{1}{125} \frac{p}{A_r} = 1,0 - \frac{1}{125} \frac{32,8 \cdot 10^{-2}}{67 \cdot 10^{-4}} = 0,6$$

$$k_{mod,fi,5} = 0,9$$

$$f_{c,0,d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_{M,fi}} = 0,9 \cdot 1,25 \cdot \frac{20}{1,0} = 22,5 \text{ MPa}$$

Posouzení sloupu na vzpěr

$$\frac{N_{d,fi}}{k_c A_r f_{c,0,d,fi}} \leq 1,0$$

$$\frac{15,2 \cdot 10^3}{0,19 \cdot 6,7 \cdot 10^3 \cdot 22,5} = 0,53 < 1,0$$

Sloup na vzpěr pro R30 vyhoví.

4.6 Okrajové podmínky pro použití tabulek

Publikace Hodnoty požární odolnosti stavebních konstrukcí podle Eurokódů, viz [4.1], je zpracována odborníky z vědecké, výzkumné a pedagogické oblasti a je určena projektantům a pracovníkům státní správy na úseku požární bezpečnosti staveb. Uvádí tabelární hodnoty konzervativního odhadu požární odolnosti betonových, ocelových, ocelobetonových spřažených, dřevěných a zděných konstrukcí stanovených na základě zjednodušených konzervativních výpočetních postupů. Při dodržení uvedených okrajových podmínek umožňuje příručka přímé bezpečné stanovení požární odolnosti. Nahrazuje zrušenou konfliktní ČSN 73 0821. Tím, že hodnoty jsou založeny na stanovení podle evropských návrhových norem, jsou splněny podmínky zákona a vyhlášek o požární ochraně a ČSN 73 0810:2009 a hodnoty z příručky jsou plně akceptovatelné v projektové dokumentaci pro stavební řízení.

5 Konstrukce a požárně bezpečnostní zařízení

5.1 Požárně bezpečnostní zařízení

Požární bezpečnost staveb zahrnuje technická, provozní a organizační opatření zajišťující ve sledovaném objektu ochranu osob, zvířat a materiálních hodnot před účinky požáru. Tato opatření mohou být:

- a) aktivní - předcházení vzniku požáru, rychlé zjištění, bránění jeho šíření, odvádění tepla a zplodin hoření z prostoru zasaženého požárem, zajištění bezpečného úniku osob, ale i vytváření podmínek pro efektivní požární zásah,
- b) pasivní - zajištění situačním a dispozičním řešením objektu a správným návrhem stavebních konstrukcí (omezení šíření vzniklého požáru na zasažený požární úsek).

Aktivní prvky požární bezpečnosti jsou založeny na používání požárně bezpečnostních zařízení jako elektrické požární signalizace, samočinných stabilních hasicích zařízení a samočinných odvětracích zařízení, pasivní prvky potom na dělení stavby do menších požárních úseků, zajištění stability objektu (zvyšování požární odolnosti konstrukcí), bezpečné únikové cesty atd.

Požárně bezpečnostní zařízení reagují v první fázi požáru, tedy v okamžiku, kdy jsou teploty ještě velmi nízké.

Sprinklerové stabilní hasicí zařízení reaguje na teplotu v okolí hlavice a jeho odezva je velmi rychlá. Tím, že uvolňované teplo se soustředí pod stropem požárního úseku, tedy v místě instalace sprinklerové hlavice, je jeho odezva rychlá. Je však třeba si uvědomit, že první fáze požáru může trvat od několika min do několika hodin podle reálných podmínek (i dosažení teploty 68°C nemusí být otázkou vteřin). Aktivuje-li se však sprinklerové hasicí zařízení, pak dochází k zamezení dalšího rozvoje požáru. Spolehlivost zařízení je dána světovými statistikami pojišťoven, z kterých vyplývá, že víc jak 2/3 požárů lokalizovala jedna hlavice, v případě dvou hlavíc je to již víc jak 90 %.

Samočinné odvětrací zařízení, zařízení pro odvod kouře a tepla, je dalším požárně bezpečnostním zařízením, která může výrazně ovlivnit teploty v prostoru zasaženém požárem. V praxi jsem několikrát společně se specialisty na požární větrání tato zařízení používal a teplota v akumulární vrstvě, tedy tam kde se hromadí teplo a kouř, se pohybovala pod 100°C. Pro tato zařízení jsou navíc k dispozici asi nejpropracovanější programy modelující průběh teplot a zakouření požárních úseků, v nichž je toto zařízení instalováno. Svoji roli má i elektrická požární signalizace, která dokáže identifikovat začínající požár v okamžiku, kdy ještě nemusí docházet ani k plamennému hoření. Rychlá identifikace požáru vytváří podmínky pro jeho likvidaci ještě v první fázi a to buď osobami na místě, nebo

přivolanou jednotkou. Důležitou roli sehrává elektrická požární signalizace i při aktivaci odvětracích zařízení.

ČSN 73 0804 a ČSN 73 0802 v ustanoveních uvádí vysoce účinné (citlivé) sprinklerové stabilní hasicí zařízení (quick response sprinkler). Sprinklerové hlavice mají tavnou pojistku, nejčastěji skleněná baňka s rychle vroucí kapalinou, teploty aktivace jsou uvedeny v tab. 5.1. Rozdíl mezi pojistkou pro standardní a vysoce citlivý systém je v tloušťce skla tavné pojistky, tj. vysoce citlivé hlavice ho mají tenčí, nikoliv však v aktivační teplotě. Ta zůstává na nejčastěji používané hodnotě 68 °C.

Tab. 5.1 Barevné označení a aktivační teploty pojistek sprinklerových hlavice

Skleněná pojistka	°C	Tavná pojistka	°C
oranžová	57	–	–
červená	68	bez barevného označení	68/74
žlutá	79	–	–
zelená	93	bílá	93/100
modrá	141	modrá	141
světle fialová	182	žlutá	182
černá	204/260	červená	227

5.2 Zohlednění vlivu požárně bezpečnostních zařízení

Vliv požárně bezpečnostních zařízení se zahrnuje do stanovení požadavků na požární odolnost konstrukcí a do prokazování požární odolnosti konstrukcí. Pro stanovení požadavků na jednotlivé konstrukce, dobou v min, se stanovuje stupeň požární bezpečnosti posuzovaného požárního úseku. Ten závisí na požárním riziku, konstrukčním systému a výšce objektu. Požární zatížení p je v českých národních normách definováno jako pomyslné množství dřeva [kg.m⁻²], jehož normová výhřevnost je ekvivalentní normové výhřevnosti všech hořlavých látek na posuzovaném požárním úseku.

Pro stanovení základní charakteristiky objektu z hlediska požární ochrany je rozhodující množství tepla Q , které se může při požáru uvolnit. Vztahuje se k hořlavým látkám obsaženým buď přímo v konstrukci, nebo jako součást vybavení vnitřního prostoru. Jeho množství lze určit podle vztahu

$$Q = \sum_{i=1}^n H_i \cdot M_i \quad (5.1)$$

kde Q je celkové množství uvolněného tepla [J.s⁻¹,W]

H_i výhřevnost (i-té) hořlavé nebo nesnadno hořlavé látky
(určuje se podle ČSN 73 0824) [J.kg⁻¹]

M_i hmotnost (i-té) látky [kg]

n počet hořlavých nebo nesnadno hořlavých látek.

Teplo vztaženo na jednotku půdorysné plochy A [m²] části objektu představuje hodnotu specifického tepla q . S ohledem na zjednodušení výpočtu jsou výhřevnosti hořlavých látek přepočteny na normovou výhřevnost suchého smrkového dřeva o hodnotě

$H_d = 16,75 \text{ MJ.kg}^{-1} = 16,75 \cdot 10^6 \text{ J kg}^{-1}$, která udává požární zatížení p podle výrazu

$$p = \frac{Q}{A \cdot H_d} = \frac{q}{H_d} = \frac{\sum_{i=1}^n H_i \cdot M_i}{A \cdot 16,75 \cdot 10^6} \quad [\text{kg.m}^{-2}] \quad (5.2)$$

Požární zatížení obdobně jako u statických zatěžovacích stavů sestává ze stálého p_s (týká se všech hořlavých látek ve stavebních konstrukcích kromě hořlavých látek v nosných stavebních konstrukcích, zajišťujících stabilitu objektu a v požárně dělicích konstrukcích) a nahodilého požárního zatížení p_n (týká se všech hořlavých látek, které se za normálních podmínek provozu vyskytují - hořlavý nábytek a ostatní zařizovací předměty, technologická zařízení, zpracovávané a skladované hořlavé suroviny atd.). Pro výpočet požárního zařízení se pak používá požární zatížení výpočtové p_v , zejména pro nevýrobní objekty. Mezi nimi platí následující závislosti:

$$p = p_s + p_n \quad (5.3)$$

$$p_v = p \cdot f \quad f = a \cdot b \cdot c \quad (5.4)$$

kde f je faktor zahrnující především následující bezrozměrné součinitele:

- součinitel a je rychlost odhořívání z hlediska charakteru hořlavých látek (druh, rozměr, možnost povrchového šíření plamene).
- součinitel b rychlost odhořívání z hlediska stavebních podmínek (tvar, přístup vzduchu, otvory zejména v obvodových stěnách a střeše atd.)
- součinitel c vliv požárně technických opatření - zahrnuje tyto dílčí vlivy ($c < 1$):
 - c_1 - vliv elektrické požární signalizace na průběh požáru;
 - c_2 - vliv zásahu profesionální požární jednotky;
 - c_3 - vliv stabilních hasicích zařízení;
 - c_4 - vliv samočinného odvětrávacího zařízení (SOZ), častěji označovaného jako zařízení pro odvod kouře a tepla (ZOKT).

Z hodnot c_1 až c_4 lze pro výpočet p_v použít pouze jednu, např. součinitel c_3 však je stanovován s ohledem na použití kombinace vlivů. Hodnoty součinitelů a , b , c jsou podrobně rozebrány v ČSN 73 0802 (pro nevýrobní stavby) a ČSN 73 0804 (pro výrobní stavby). U výrobních objektů se lze setkat s označením místně soustředěné požární zatížení, což je požární zatížení na vymezené části půdorysné plochy požárního úseku, které podstatně

převyšuje průměrné požární zatížení, tj. zatížení rovnoměrně rozložené na půdorysné ploše požárního úseku, a nezapočítává do jeho hodnoty.

Výpočetní metody pro stanovení požární odolnosti s vlivem požárně bezpečnostních zařízení se u nás používaly i v období před přijetím evropských norem pro navrhování požární odolnosti stavebních konstrukcí. Experimentální ověření požární odolnosti stavebních konstrukcí má mnoho pozitivního a určitě bude využíváno i do budoucna. Má však řadu omezení a jejich praktická realizace pro jednorázové návrhy může být obtížně proveditelná. Modely stanovení požární odolnosti s vlivem požárně bezpečnostních zařízení podle současně platného evropského systému návrhových norem, Eurokódů, jsou shrnuty v kapitole 3.1 této monografie.

Pro doložení požární odolnosti vychází, tak jako ve stanovení požadavků na požární odolnost, řešení z jednoduchých modelů (např. model požáru nominální normovou křivkou), pokročilých modelů (např. model požáru parametrickou křivkou) a diskrétního modelování (např. model požáru dynamickou analýzou plynů). V případě, že nemá stanovení požadavků a jejich doložení oporu v národním kodexu požárních norem a v návrhových normách, využije se, zvláště u mimořádně náročných staveb, na zohlednění vlivu požárně bezpečnostních zařízení inženýrský přístup, který se zpracovává podle ověřené metodiky.

Vliv požárně bezpečnostních zařízení mají šanci zabránit rozvinutému požáru. Jejich účinek se zahrnuje do stanovování požadavků na konstrukce staveb a jejich prokazování. Jejich používání umožňuje větší volnost nejen pro architektonické návrhy staveb, ale i pro používání dosud méně rozšířených konstrukčních prvků. Při návrhu se vychází z umístění konstrukcí a jejich význam pro objekt. Návrh musí být vždy podložen posouzením předpokládaného požárního scénáře v daném prostoru. Jiné bude řešení u jednopodlažních objektů nebo konstrukcí v posledních nadzemních podlažích a jiné naopak u konstrukcí v podzemních podlažích nebo konstrukcí ohraničujících chráněné únikové cesty.

Použití požárně bezpečnostních zařízení vyžaduje za spolupráce všech, kteří se na návrhu stavby podílejí. Následující provádění stavby, součinnost požárně bezpečnostních zařízení a provoz objektů, včetně kontrol a servisu všech instalovaných požárně bezpečnostních zařízení, musí být na takové úrovni, aby jednotlivé stavby plnily všechna kritéria požární bezpečnosti.

6 Příklad integrace statického výpočtu

6.1 Úvodem

V této kapitole je ukázáno využití požárního návrhu vícepodlažního objektu pro požárně bezpečnostní řešení stavby. Výpočet využívá jednoduchého modelu prostorového požáru, tj. nominální normovou křivku, jednoduchého modelu přestupu tepla do konstrukce přírůstkovou metodou a nejjednodušší možnou analýzu konstrukce při požáru, který vychází ze znalosti vnitřních sil za běžné teploty. Na stanovení požadované požární bezpečnosti je aplikován kodex národních norem. Dále je na ověření požární odolnosti dvou vybraných prvků ukázán postup výpočtu požárně nechráněné ocelové konstrukce.

6.2 Požárně bezpečnostní řešení

a) Seznam použitých podkladů pro zpracování

Projekt řeší výstavbu administrativního objektu se zázemím.

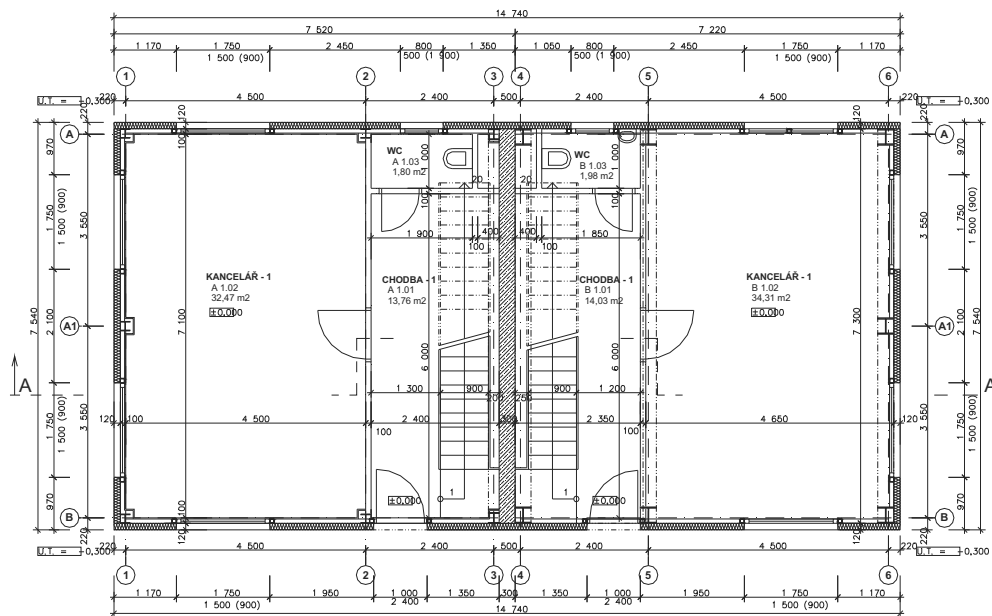
Podklady: Projekt stavby a normy: ČSN 73 0802, ČSN 73 0810, ČSN 73 0818, ČSN 73 0821, ČSN 73 0872. ČSN EN 1991-1-2, ČSN EN 13501-1.

b) Stručný popis stavby z hlediska stavebních konstrukcí, výšky stavby, účelu užití, popřípadě popisu a zhodnocení technologie a provozu, umístění stavby ve vztahu k okolní zástavbě

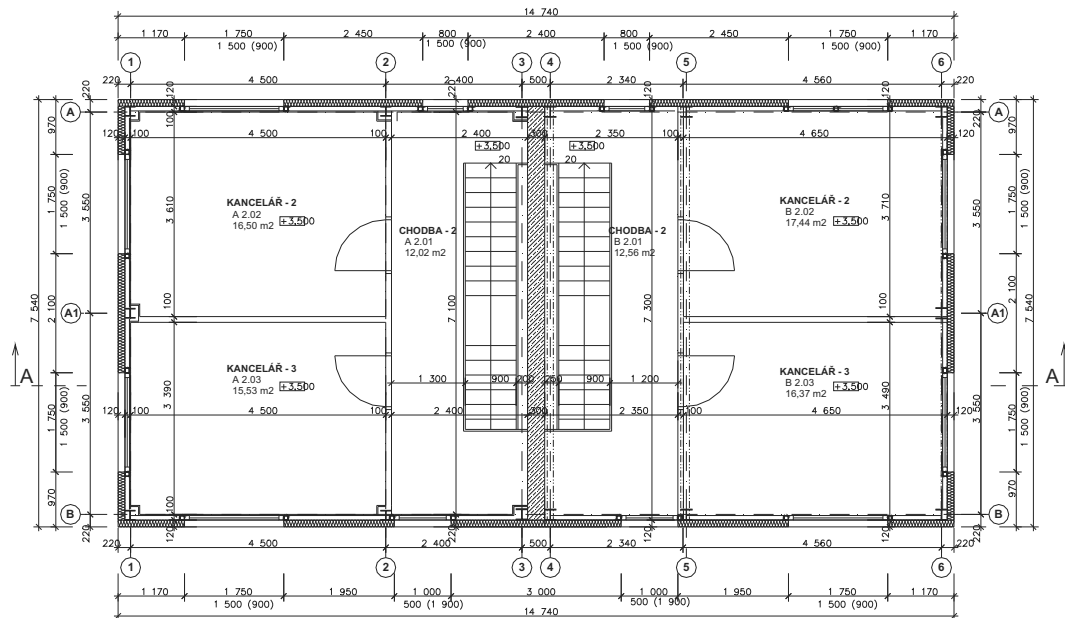
Dispozice

V levé části je chráněná a v pravé nechráněná ocelová konstrukce.

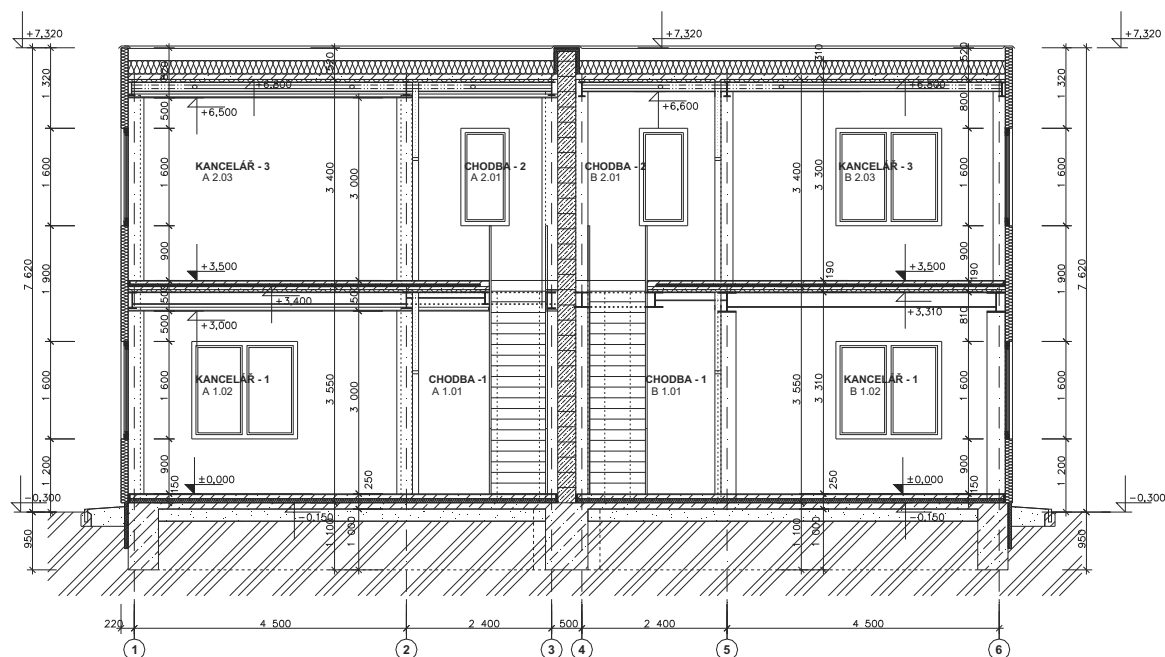
PŮDORYS 1.NP :



PŮDORYS 2.NP:



ŘEZ A-A':



Popis stavby

Objekt je tvořen dvoupodlažní nepodsklepenou budovou s plochou střechou. V 1. NP - 2. NP je hl. vstup se schodištěm a administrativní prostory se zázemím přístupné ze středového schodiště. Hlavní nosnou konstrukcí jsou prostorové ocelové rámy s ocelobetonovým stropem bez spřažení ve dvou variantách: s požární ochranou požárním podhledem a bez ochrany s návrhem nosné konstrukce. Obvodový plášť konstrukce je navržen z horizontálně kladených sendvičových panelů se sekundární ocelovou konstrukcí, která lemují stavební otvory a přenáší zatížení pouze od větru a vlastní tíhy pláště. Střešní plášť je variantně řešen buď jako nechráněný nebo chráněný podhledem s požární odolností. Objekt je novostavbou na pozemku investora. Přístup do objektu je z veřejné komunikace s přístupem požárních vozidel.

Technické vybavení objektu

Objekt je vytápěn z centrálního výměníku topení je ústřední teplovodní bez požadavku PBŘ. Větrání je přirozené, odvětrání vnitřních prostor je nucené s lokálními odtahy. Odtahy VZT jsou vedeny nad střechu objektu. Přívodní i odtahové potrubí prochází požárními stropy s plochou do 400 cm². VZT je řešena podle ČSN 73 0872.

Elektroinstalace bude navržena podle příslušných norem ČSN a vnitřního prostředí určeného protokolem o vnitřním prostředí, viz část EL.

Stavební konstrukce

Jedná se o dvoupodlažní nepodsklepenou stavbu. Nosnou konstrukci tvoří ocelový skelet s pláštěm ze sendvičových panelů. Vodorovné konstrukce jsou ocelobetonové desky na trapézovém plechu bez spřažení se stropnicemi, ale zabraňují ztrátě stability stropnic přivařením plechů přes podložku. Schodiště je ocelové. Příčky jsou sádkartonové. Zasklení otvorů ve stěnách a obvodovém plášti je z dřevěných oken a dveří. Podlahy jsou betonové s povrchem z ker. dlažby resp. PVC. Podhledy v 1. - 2. NP jsou v chráněné části kazetové s požadavkem na požární odolnost. Podle ČSN 73 0802 se jedná o nehořlavý konstrukční systém DP1. Výška objektu je $h = 3,5$ m. Chráněná a nechráněná část jsou staticky nezávislé a tvoří samostatné objekty.

c) Rozdělení stavby do požárních úseků

Podle ČSN 73 0802 je objekt rozdělen do těchto požárních úseků:

1.NP - 2. NP - celkem 2 požární úseky

PÚ č. 1 PÚ N1/N2.1 - kancelářské prostory se zázemím vč. schodiště- bez ochrany OK

Jedná se o dvoupodlažní požární úsek s celistvými stropy podle ČSN 73 0802 čl. 5.2.4a,b

Ověření celistvosti podlaží:

Podlaží ve vícepodlažním požárním úseku:

č.p.	S [m ²]	Spno [m ²]	Spno,max [m ²]	osoby	NÚC 5.2.4	užitné podle
1	48,5	0,0	0,0	14	Ne Ano	a
2	44,5	4,2	4,2	6	Ne Ano	a

d) Stanovení požárního rizika, popřípadě ekonomického rizika, stanovení stupně požární bezpečnosti a posouzení velikosti požárních úseků, PÚ č. 1 PÚ N1/N2.1 - kancelářské prostory se zázemím vč. schodiště- bez ochrany OK

POŽÁRNÍ RIZIKO

S [m ²]	=	88,81
S _o [m ²]	=	25,79
h _o [m]	=	1,56
h _s [m]	=	3,00
S _m [m ²]	=	33,00
p [kg.m ⁻²]	=	39,55
a _n	=	0,991

$$a = 0,971$$

$$b = 0,604$$

$$c = 1,000$$

$$p_v \text{ [kg.m}^{-2}\text{]} = p.a.b.c = 23,18$$

Stupeň požární bezpečnosti (čl. 7.2) = II.

e) Zhodnocení navržených stavebních konstrukcí a požárních uzávěrů z hlediska jejich požární odolnosti

Stavební konstrukce

Jedná se o dvoupodlažní stavbu s mezilehlým stropem s pož. odolností. Objekt je ocelovým skeletem s lehkými obvodovými stěnami. Vodorovné konstrukce jsou ocelobetonové bez spřažení. Schodiště je ocelové. Příčky jsou sádkartonové. Zasklení otvorů ve stěnách a obvodovém plášti je z dřevěných oken a dveří. Podlahy jsou betonové s povrchem z keramické dlažby resp. PVC. Podhledy v 1. - 2.NP jsou kazetové s požadavkem na požární odolnost. Podle ČSN 73 0802 se jedná o nehořlavý konstrukční systém DP1. Výška objektu je $h = 3,5 \text{ m}$.

Požadavek ČSN 73 0802: TAB.12:

Požární odolnost [min] stavebních konstrukcí a stupeň hořlavosti hmot

SPB (podle výpočtů p_v) = II.

1 Požární stěny a stropy, viz 8.2 a 8.3

v nadzemních podlažích	30+
v posledním nadzemním podlaží	+
mezi objekty	45DP1

3 Obvodové stěny, viz 8.4.1 a 8.4.10

zajišťující stabilitu objektu nebo jeho části v NP	30+
zajišťující stabilitu obj. nebo jeho části v posledním NP	15+
nezajišťující stabilitu objektu nebo jeho části	1 5+

4 Nosné konstrukce střech, viz 8.7.2

15

5 Nosné konstr. uvnitř PÚ, zajišť. stabilitu objektu, viz 8.7.1 a 8.7.2

v nadzemních podlažích	30
v posledním nadzemním podlaží	15

8 Nenosné konstrukce uvnitř požárního úseku (viz 8.8.1)

-

9 Konstr. schodišť uvnitř PÚ, které nejsou součástí CHÚC, viz 8.9:

15DP3

11 Střešní pláště, viz 8.15

-

Ověření konstrukcí: pro II.SPB v NP(posl.NP) požadavek: skutečnost: /min./

Požární meziobjektové stěny – betonové	REI	45DP1	180
Požární stěny – sádkartonové	REI	30(15)	180
Požární stropy – železobetonové tl. 60 mm , tr. plech, 50 mm	REI	30	30
Požární stropy – ocelová konstrukce NECHRÁNĚNÁ	R	30(15)	30(15)
Obvodové stěny – sendvičové panely	REW	30	180
Nosná kce střechy – ocelová nechráněná konstrukce	R	15	15
Požární uzávěry	EI,W	30DP3	nejsou

Celistvost požárně dělících konstrukcí je zajištěna utěsněním prostupů.

Prostupy instalací ZT, EL, UT stropem budou utěsněny podle ČSN 73 0810.

Požární pásy se nepožadují - objekt do h = 12,0 m.

Požární odolnosti obvodových nosných a požárně dělících konstrukcí vyhovují ČSN 73 0802.

Detailní posouzení ocelové konstrukce- viz statické posouzení

Výtah mezních posouzení OK:

	prut - označení	profil	materiál	stupeň využití ¹	součinitel průřezu Am/V
R30	S1	HEB 300	S235	0,86	96
R30	P1	HEA 340	S235	0,85	134

Poznámka:

1) Stupeň využití je určen statickým výpočtem z výrazu $E_{fi,d}/R_{fi,d,0} \leq 1,0$ podle ČSN EN 1991-1-2.

Konstrukce vyhovují daným SPB.

f) Zhodnocení navržených stavebních hmot

(stupeň hořlavosti, odkapávání v podmínkách požáru, rychlost šíření plamene po povrchu, toxicita zplodin hoření apod.)

Navržené konstrukce jsou tř. hořlavosti A, A1 alt. B s konstrukcemi druhu DP1. Jiné požadavky nejsou. Materiály, které odkapávají či odpadávají při požáru nejsou navrženy.

g) Zhodnocení možnosti provedení požárního zásahu, evakuace osob, zvířat a majetku a stanovení druhů a počtu únikových cest, jejich kapacity, provedení a vybavení

Z objektu vede NÚC - schodiště se vstupem z ulice – jedná se o otevřený venkovní prostor. Na tuto cestu navazují NÚC - chodby v 1 - 2. NP. Ohrožení osob zplodinami hoření podle čl. 9.1.2. ČSN 73 0802 se neposuzuje. Větrání NÚC je přirozené – okny.

Na únikové cestě bude nouzové osvětlení s lokálními zdroji el. energie.

Počet osob se stanoví podle ČSN 73 0818 jako:

Obsazení požárního úseku osobami podle ČSN 73 0818:

Údaje o projektu				Údaje z tabulky 1			
Místn. číslo	Druh místnosti	Plocha v m ²	Počet osob proj.	Položka	Plocha na os. či- v m ²	Sou- nitel	Počet čl. osob 6.2
102	kancelář	33,0	0	1.1.1	5,0	0,00	7 Ne
103	wc	33,0	0	1.1.1	5,0	0,00	7 Ne
202	kancelář	16,3	0	1.1.1	5,0	0,00	3 Ne
203	kancelář	16,3	0	1.1.1	5,0	0,00	3 Ne

Shrnutí posouzení úniků:

Je posouzena nechráněná úniková cesta 1 směrem po rovině - v místě úniku dveřmi na volné prostranství a dále NÚC po schodech dolů z 2. NP pro příslušné počty osob.

Součinitel a = 0,971

Započitatelný počet osob podle ČSN 73 0818 = 20

Půdorysná plocha připadající na 1 osobu [m²] = 4,4

Ohrožení osob (čl.9.1.2) te [min] = 2,2

e. č.p.	Typ	tu	l,max	l	u,min	u	E.s	K	Ev.	Únik	Vyhovuje
		[min]		[m]	[1=0.55 m]		[osob]				

1	1 NÚC ---	26,4	13,0	1,0	1,5	20	59	S	rov.	Ano
2	1 NÚC ---	26,4	13,0	1,0	1,5	10	43	S	dolů	Ano

1 - NÚC 1 směrem na volné prostr-východ.

2 - NÚC 1 směrem na volné prostr-schodiště

Požadavek je min. 1,5 únikových pruhů – vyhovuje OTP. Kapacita 1,5 únikového pruhu je pro ostatní východy na NÚC vyhovující (dveře 900 mm).

Otevírání je ve směru úniku - vyhovuje

Vybavení únikových cest

-dveře na únikových cestách se otevírají ve směru úniku s výjimkou dveří z funkčně ucelených skupin (tj. s počátkem úniku u vstupu do kanceláří)

- dveře na únikových cestách jsou bez prahu
- na únikových cestách bude označen směr úniku a únikové východy

- únikové cesty jsou elektricky a nouzově osvětleny

h) Stanovení odstupových, popřípadě bezpečnostních vzdáleností a vymezení požárně nebezpečného prostoru, zhodnocení odstupových, popřípadě bezpečnostních vzdáleností ve vztahu k okolní zástavbě, sousedním pozemkům a volným skladům,

Odstupové vzdálenosti byly vypočteny pro požární zatížení p_v a požárně otevřené plochy pro jednotlivé požárně otevřené plochy podle ČSN 73 0802 pro mezní tepelný tok $18,5 \text{ kW/m}^2$:

Odstup od okna vel. $1,75 \text{ m} \times 1,5 \text{ m}$ je $d = 1,61 \text{ m}$

Odstupy jsou stanoveny podle normové teplotní křivky s těmito parametry pož. úseku:

Výsledky: Předpokládaná teplota požáru: **803.34** [°C]

Nejvyšší hustota tepelného toku (na povrchu sálavé plochy): **76.1** [kW/m²]

Polohový faktor: **0.2412** [-]

Kritická hustota tepelného toku: **18.5** [kW/m²]

Požadovaná odstupová vzdálenost (v přímém směru): **1.61** [m]

Max. odstup do stran (od okraje sálavé plochy): **0.89** [m]

Vstupní data: Šířka: **1750** [mm]

Výška: **1500** [mm]

Celková emisivita: **1** [-]

Procento sálání: **100** [%]

Konstrukční systém objektu: **nehořlavý**

Výpočtové požární zatížení (nebo t_e): **23.18** [kg/m²] / [min]

Teplotní režim: **Normová teplotní křivka**

Ostatní požární odstupy od jednotlivých požárně otevřených ploch:

Odstup od okna vel. $0,8 \text{ m} \times 1,5 \text{ m}$ je $d = 1,06 \text{ m}$

Odstup od okna vel. $0,8 \text{ m} \times 0,5 \text{ m}$ je $d = 0,62 \text{ m}$

Odstup od dveří vel. $1,1 \text{ m} \times 2,4 \text{ m}$ je $d = 1,54 \text{ m}$

Odstupy nezasahují jinou budovu. Objekt se nenachází v požárně nebezpečném prostoru jiného objektu. **Odstupy nezasahují mimo stavební pozemek.** Odstupy podle ČSN 73 0802 vyhovují.

i) Určení způsobu zabezpečení stavby požární vodou včetně rozmístění vnitřních a vnějších odběrních míst, popřípadě způsobu zabezpečení jiných hasebních prostředků u staveb, kde nelze použít vodu jako hasební látku

Požární voda

Podle ČSN 73 0873 je požadavek na odběr vody $Q = 4 \text{ l/s}$ při světlosti potrubí DN 80 mm - pro PÚ N1.01. Max. vzdálenost odběrného místa (hydrantu) je 200 m - vyhovují stávající hydranty v komunikaci. Vnitřní požární voda se podle ČSN 73 0873 nepožaduje, Součin $S \cdot p$ je do 9000.

j) Vymezení zásahových cest a jejich technického vybavení, opatření k zajištění bezpečnosti osob provádějících hašení požáru a záchranné práce, zhodnocení příjezdových komunikací, popřípadě nástupních ploch pro požární techniku

Přístupové a příjezdové cesty jsou vyhovující. Nástupní plocha se nepožaduje.

Střešní plášť je pochůzný. Výlez na střechem je ze schodiště. Vnější pož. voda je na stávajícím potrubí DN 125 s hydrantem do vzdálenosti 150 m a dále po 200 m.

k) Stanovení počtu, druhů a způsobu rozmístění hasicích přístrojů vč. hasicí schopnosti podle vyhl. 23/2008Sb., popřípadě dalších věcných prostředků požární ochrany nebo požární techniky

1.NP

PÚ č.1 PÚ N1/N2.1 - kancelářské prostory se zázemím vč. schodiště- bez ochrany OK

Počet přenosných hasicích přístrojů nr = 2,0 v PÚ N1/N2.1

Počet přenosných hasicích přístrojů nr = 4,0ks

Celkem bude osazeno 4 ks PHP - vodní 10kg s hasicí schopností 13A alt. práškový 6 kg s hasicí schopností 21A.

l) Zhodnocení technických, popřípadě technologických zařízení stavby (rozvodná potrubí, vzduchotechnická zařízení, vytápění apod.) z hlediska požadavků požární bezpečnosti

Potrubní rozvody:

Nehořlavé látky- voda, kanalizace, ÚT. Potrubí mohou být volně vedena pož. úseky, neboť max. dimenze je pro vodu 2", kanalizaci DN 110, a ÚT 5/4" a průřezy nepřekračují mezní velikosti. Prostupy instalací EL, ZT, PLYNU požárními stěnami budou utěsněny podle ČSN 73 0802 – čl. 8.6.1 - potrubní rozvody resp. podle čl. 6.2 ČSN 73 0810. V objektu nejsou vedení hořl. kapalin a jiných hořl. médií.

Vzduchotechnika: V admin. objektu se jedná o odvětrání soc. zázemí objektu - 2× stoupačka do DN 200mm. Vedení do 400 cm² nemusí být osazeno pož. klapkami. Chlazení je bez požadavku PBS:

Vytápění: V objektu je centrální výměník, který ohřívá vodu pro administrativní budovu a pro potřebu TUV.

m) Stanovení zvláštních požadavků na zvýšení požární odolnosti stavebních konstrukcí nebo snížení hořlavosti stavebních hmot

V objektu jen posouzena ocelová konstrukce bez nutnosti dodatečné ochrany. Dimenze OK jsou určeny podle požadované požární odolnosti podle výpočtu podle Eurokodů.

n) Posouzení požadavků na zabezpečení stavby požárně bezpečnostními zařízeními, následně stanovení podmínek a návrh způsobu jejich umístění a instalace do stavby

V objektu nejsou vyhrazená požárně bezpečnostní zařízení. Jako požárně bezpečnostní zařízení je instalováno nouzové osvětlení únikových cest, utěšňovací systémy instalací a označení únikových cest.

o) Rozsah a způsob rozmístění výstražných a bezpečnostních značek a tabulek včetně vyhodnocení nutnosti označení míst, na kterých se nachází věcné prostředky požární ochrany a požárně bezpečnostní zařízení

Bezpečnostní tabulky budou osazeny podle ČSN ISO 3864 Bezpečnostní barvy a bezpečnostní značky, ČSN 01 8013 Požární tabulky a podle ostatních závazných a platných předpisů (nařízení vlády a pod) a musí vyznačovat mimo jiné:

- Je navrženo označit každý hlavní vypínač
- Popis tlačítek vypínání elektroinstalace je navrženo realizovat takto:
 - - HLAVNÍ VYPÍNAČ – VYPNI PŘI POŽÁRU
 - Bezpečnostní tabulka - Nehas vodou ani pěnovými přístroji
- Veškeré rozvodné skříně, rozvaděče, ovládací skříně elektroinstalace apod. musí být označeny bleskem. Toto platí pro rozsah celé stavby.
- Je navrženo označit Hlavní uzávěr přívodu tepla
- Je navrženo označit Hlavní uzávěr vody a to u vlastního uzávěru.
- Systém značení únikových cest apod. bude řešen až v návaznosti na skutečné provedení před kolaudací a to tabulkami podle ČSN ISO 3864 podle přesného zařízení stavby včetně interiéru. Z místa odkud není viditelný východ, je nutné vidět alespoň bezpečnostní tabulky s vyznačeným směrem úniku - jedná se o únik do venk. prostředí.
- Vrátnice areálu bude označena nápisem „ZDE HLASTE POŽÁR“
- Barevné značení potrubí musí respektovat při provozu ČSN.
 - Požární voda – červeně
 - Plyn – okr žlutý

- Stlačený vzduch – modrá
- Další tabulky budou určeny na stavbě.

Shrnutí

Ověření prokázalo možnost návrhu stavby, zejména ocelové konstrukce, podle kodexu požárních norem s navazujícím řešením podle Eurokódů. Navržená konstrukce splňuje požadavky požární bezpečnosti pro jednotlivé konstrukce pro dané dimenze nosných částí z nutnosti dodatečné ochrany. Navržené konstrukční řešení vyhovuje vyhl. 268/2009 O technických požadavcích na stavby.

6.3 Ověření požární odolnosti konstrukce

Na konstrukci byly vybrány dva prvky, sloup průřezu HEB300 a průvlak průřezu HEA 340, na kterých je dále ukázáno ověření požadované požární odolnosti podle doporučených doložitelných a kontrolovatelných kroků A) až O).

A) Identifikační údaje

Předmětem statického výpočtu je navrhnout a posoudit hlavní nosné profily ocelové konstrukce administrativní budovy za běžné teploty a na požadovanou požární odolnost. Identifikační údaje o stavebním objektu, investorovi, zhotoviteli stavby a dokumentace nejsou v řešeném příkladu uvedeny.

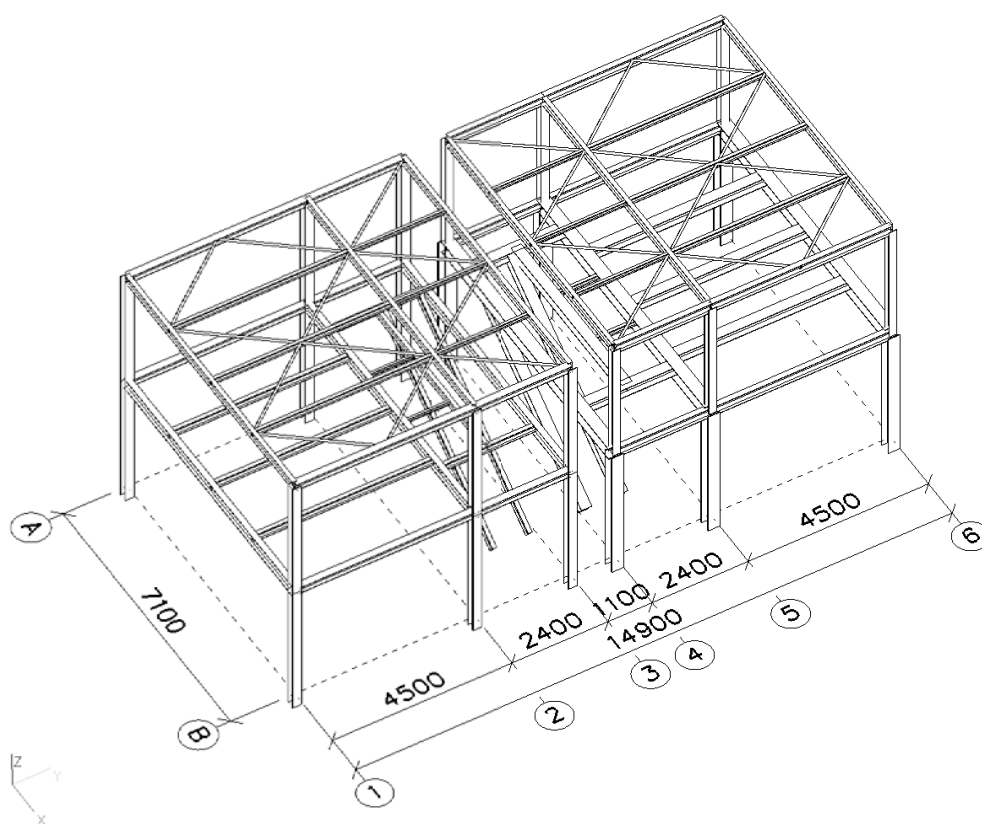
B) Přehled podkladů

Ověření požadované požární odolnosti je provedeno podle Eurokódu tak, aby konstrukce byla schopna odolávat teplotám vznikajících při požáru a nedošlo k porušení její funkce. Obvodový plášť konstrukce je navržen ze sendvičových panelů se sekundární ocelovou konstrukcí, která lemuje stavební otvory a přenáší zatížení pouze od větru a vlastní tíhy pláště. Stropní konstrukci tvoří trapézové plechy, které slouží jako ztracené bednění pro betonovou desku. Střešní plášť je skládaný z trapézového plechu, tepelné izolace a hydroizolace.

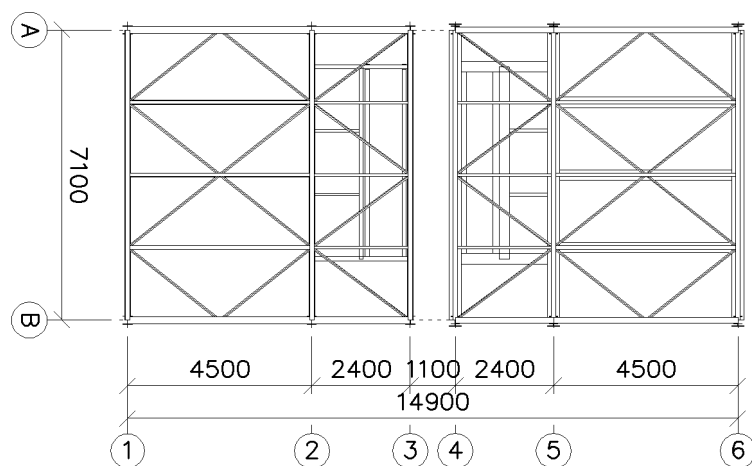
C) Princip návrhu

Hlavní nosnou kostru budovy tvoří sloupy a průvlaky, které vytvářejí prostorové ocelové rámy konstrukce s ocelobetonovým stropem bez spřažení. Sloupy jsou kloubově upevněny do betonové patky pomocí chemických kotev. Na průvlacích jsou kloubově uloženy stropnice. Trapézové plechy jsou přivařeny přes podložku k nosníkům a zajišťují stabilitu při ohybu. Vodorovné ztužení ve střeše je vytvořeno pomocí diagonálních prutů a má spíše konstrukční význam. Stavba je rozdělena do dvou částí: na nechráněnou (v osách 4-6) a chráněnou (v osách 1-3) ocelovou konstrukci. Chráněná a nechráněná část objektu je oddělena protipožární železobetonovou stěnou.

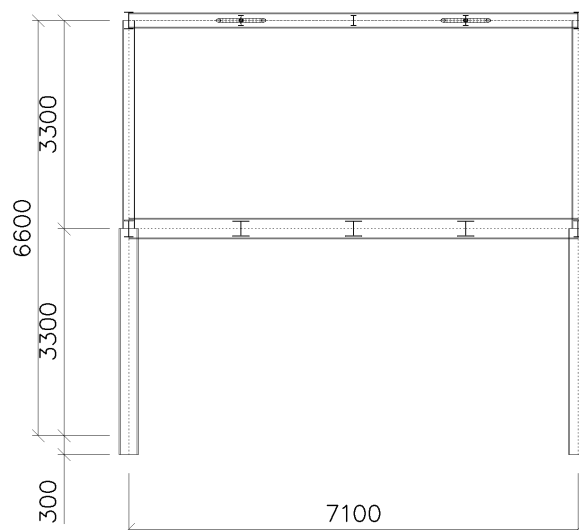
Prvky konstrukce jsou navrženy a posouzeny na dobu požární odolnosti **R30**.



Obr. 6.1 Geometrické schéma konstrukce



Obr. 6.2 Půdorysné rozměry konstrukce



Obr. 6.3 Příčný řez konstrukcí

E) Seznam použitých norem a podkladů

ČSN EN 1990 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí.

ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Objemové tíhy, vlastní tíha a užitné zatížení pozemních staveb.

ČSN EN 1991-1-2 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-2: Obecná zatížení – Zatížení konstrukcí vystavených účinkům požáru.

ČSN EN 1991-1-3 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem.

ČSN EN 1991-1-4 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-4: Obecná zatížení - Zatížení větrem.

ČSN EN 1991-3 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 3: Zatížení od jeřábů a strojního vybavení.

ČSN EN 1993-1-1 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.

ČSN EN 1993-1-2 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-2: Obecná pravidla – Navrhování konstrukcí na účinky požáru.

ČSN EN 1993-1-8 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-8: Navrhování styčníků.

ČSN EN 1090-2 Provádění ocelových konstrukcí a hliníkových konstrukcí – Část 2: Technické požadavky na ocelové konstrukce.

F) Údaje o použitém softwaru

Pro návrh ocelové konstrukce byl použit program Scia Engineer.

Pro návrh kotvení sloupů ocelové konstrukce byl použit program PROFIS Anchor.

G) Vstupní data

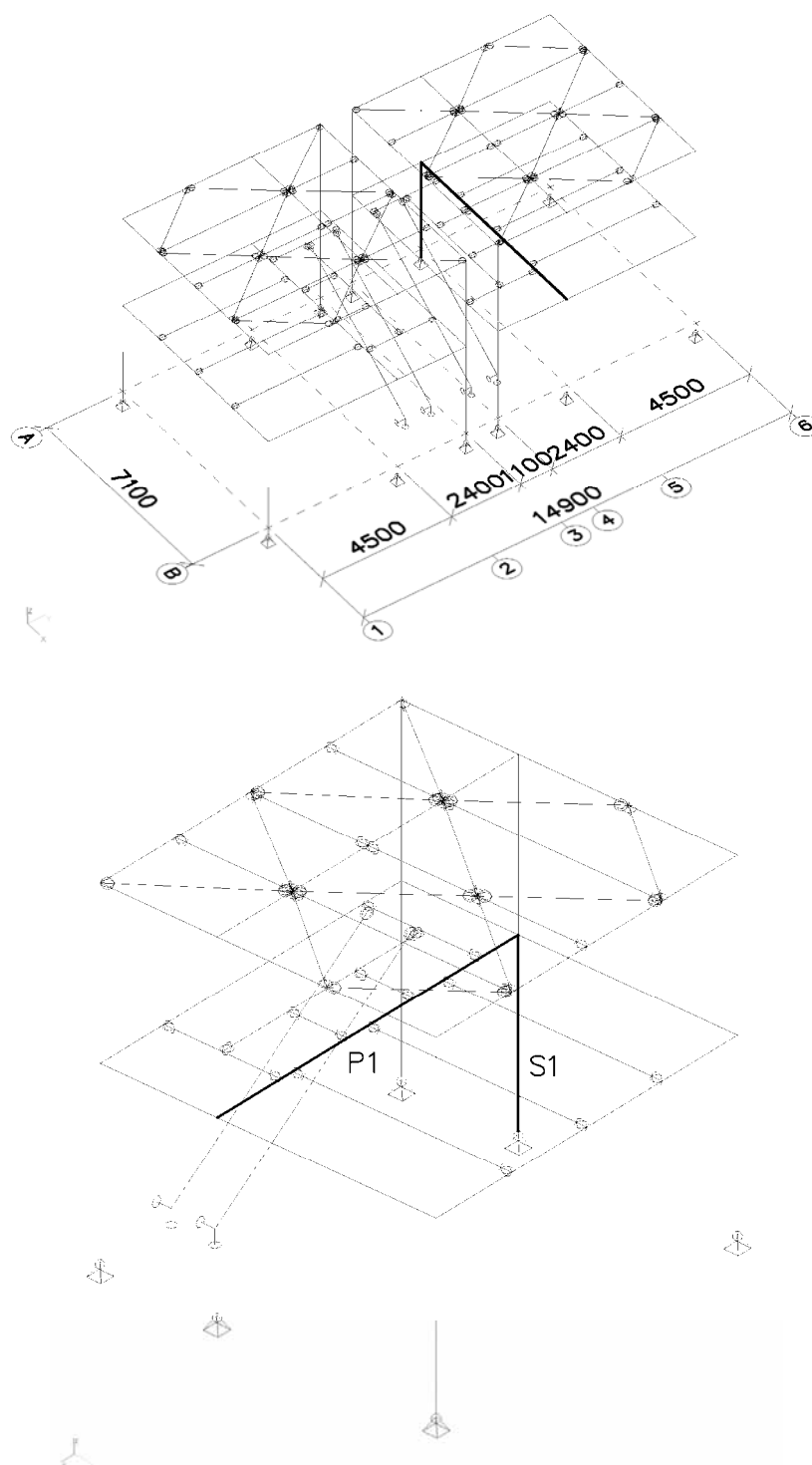
Materiál

Ocel	S 235
f_y [MPa]	235,0
f_u [MPa]	360,0
Tep. roztaž. [m/mK]	1,200e-05
Jednotková hmotnost [kg/m ³]	7850
E [GPa]	210
Poissonův součinitel	0,3
G [GPa]	80,76
Tep. roztl. (za požáru) [m/mK]	1,400e-04
Měrné teplo [J/gK]	6,0000e-01
Tepelná vodivost [W/mK]	4,5000e+01

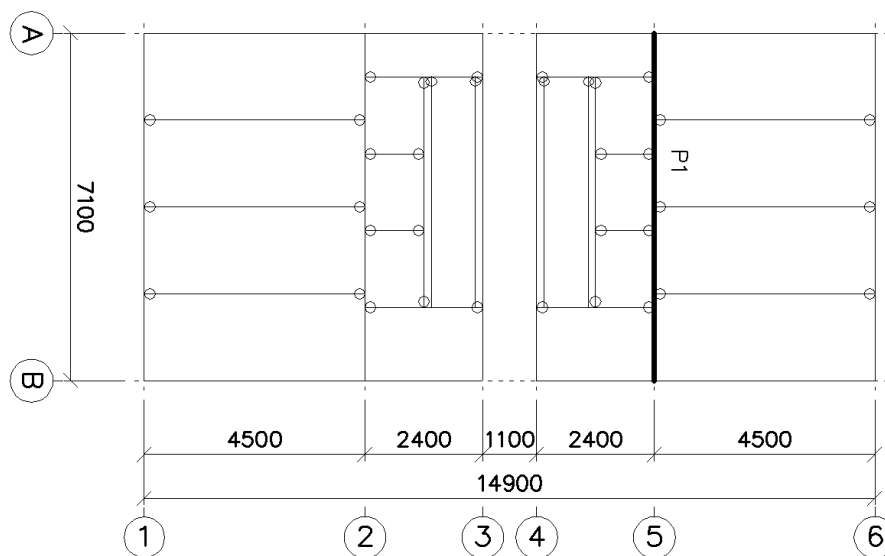
Průřezové charakteristiky vybraných prvků

Jméno	Průřez	Materiál	A [mm ²]	A _y [mm ²]	A _z [mm ²]	I _y [mm ⁴]	I _z [mm ⁴]
S1	HEB300	S 235	1,4910e+04	9,8326e+03	2,9248e+03	2,517e+08	8,563e+07
P1	HEA340	S 235	1,34e+04	8,644e+03	2,8775e+03	2,7700e+08	7,4400e+06

H) Grafické schémata



Obr. 6.4 Statické schémata konstrukce



Obr. 6.5 Statické schéma půdorysu patra konstrukce

I) Tepelná zatížení

Pro tepelné zatížení konstrukce byla použita nominální teplotní křivka.

R30 – 841,8°C (teplota plynu).

Základní údaje (mechanická analýza):

Součinitel přestupu tepla prouděním W/m^2K	25
Emisivita vztažená k požárnímu úseku	1,0
Emisivita povrchu prvku pro uhlíkovou ocel (natíraná konstrukce)	0,7
Polohový faktor toku tepla sáláním ...	1,0

Součinitele podmínek působení:

Nerovnoměrné rozdělení teploty po průřezu - $\kappa_1 = 1,0$

Nerovnoměrné rozdělení teploty podél nosníku - $\kappa_2 = 1,0$ všechny ostatní případy.

Byl použit opravný součinitel pro efekt zastínění, viz ČSN EN 1993-1-2.

J) Mechanické zatížení

Označení	Popis	Působení
VL.V.	Vlastní tíha konstrukce	Stálé
G1	Stálé zatížení – pláště	Stálé
G2	Stálé zatížení - technologie	Stálé
S	Klimatické zatížení – sníh	Nahodilé
Q	Užitné zatížení - kategorie B	Nahodilé
W+X	Klimatické zatížení – vítr	Nahodilé
W-X	Klimatické zatížení – vítr	Nahodilé
W+Y	Klimatické zatížení – vítr	Nahodilé
W-Y	Klimatické zatížení – vítr	Nahodilé

Stálé zatížení – VL.V., G1, G2

Podle ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Objemové tíhy, vlastní tíha a užitné zatížení pozemních staveb.

Stálé zatížení je od vlastní tíhy konstrukce (generováno statickým programem), stěnových panelů ($0,15 \text{ kN/m}^2$), trapézového plechu a betonové desky ($3,8 \text{ kN/m}^2$), střešního pláště ($1,4 \text{ kN/m}^2$).

Dílčí součinitele stálého zatížení - příznivý 1,00, nepříznivý 1,35.

Užitné zatížení - Q

Podle ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Objemové tíhy, vlastní tíha a užitné zatížení pozemních staveb.

Užitné kategorie - kategorie B: kancelářské plochy

Tabulka 6.2 - Užitná zatížení stropních konstrukcí $\rightarrow q_k = 3 \text{ kN/m}^2$ ($Q_k = 4,5 \text{ kN}$), zatěžovací šířka stropnic – z. š. = 1,775 m, v prostoru schodiště z. š. = 1,5 m.

Proměnné (klimatické) zatížení - S

Podle ČSN EN 1991-1-3 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem.

Charakteristická hodnota zatížení sněhem S_k je odvozena z mapy sněhových oblastí na území České republiky. Posuzovaná konstrukce je v oblasti číslo II.

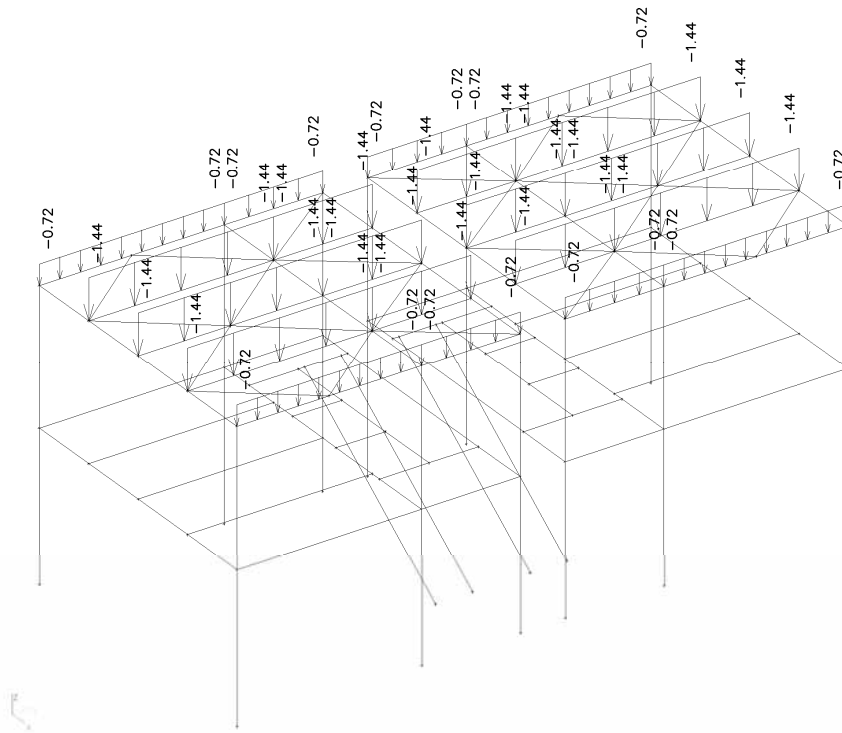
$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k$$

kde μ_i je tvarový součinitel zatížení sněhem $\mu_i = 0,8$; sklon střešní roviny je do 5° .

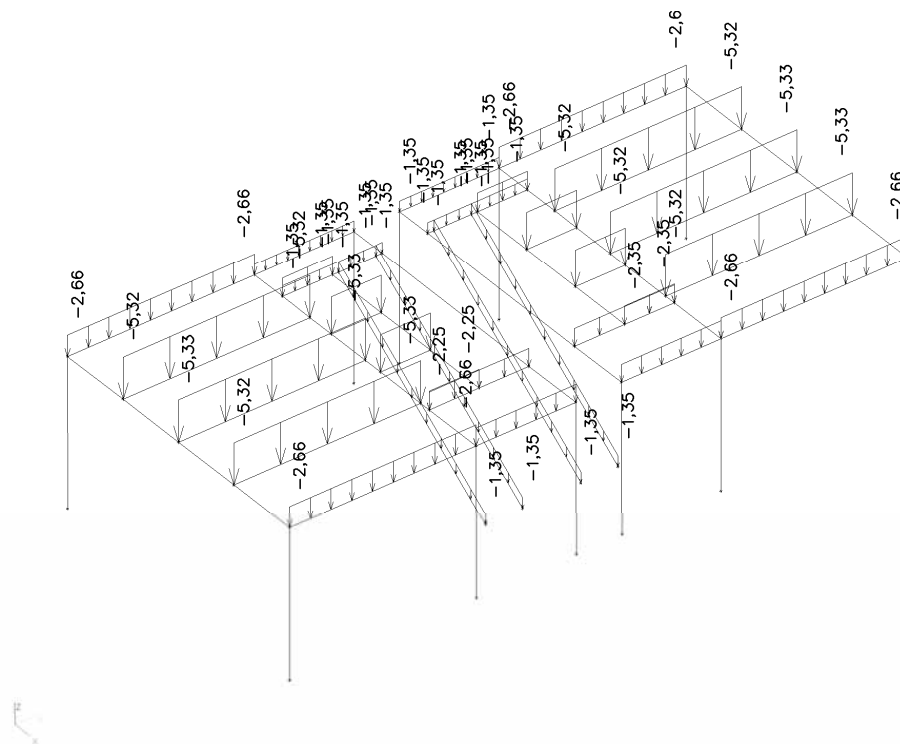
s_k ... charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi $s_k = 1,0 \text{ kN/m}^2$; oblast II.

C_e ...součinitel okolního prostředí 1,0; běžná topografie

C_t ...tepelný součinitel 1,0



Obr. 6.6 Grafické znázornění zatížení sněhem - S



Obr. 6.7 Grafické znázornění užitého zatížení - $Q (q_k)$

Proměnné klimatické zatížení - W

Podle ČSN EN 1991-1-4 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-4: Obecná zatížení - Zatížení větrem.

Výchozí základní rychlost větru v_{b0} je odvozena z mapy větrných oblastí na území České republiky. Posuzovaná konstrukce je v oblasti číslo II.

Zatížení větrem je generováno programem S.E., pro správné generování je nutno uvést do programu údaje:

$$v_{b0} = 25 \text{ m/s}$$

$$C_{dir} = 1,00 \text{ ...součinitel směru}$$

$$C_{season} = 1,00 \text{ ...součinitel ročního období}$$

$$C_o = 1,00 \text{ ...součinitel orografie}$$

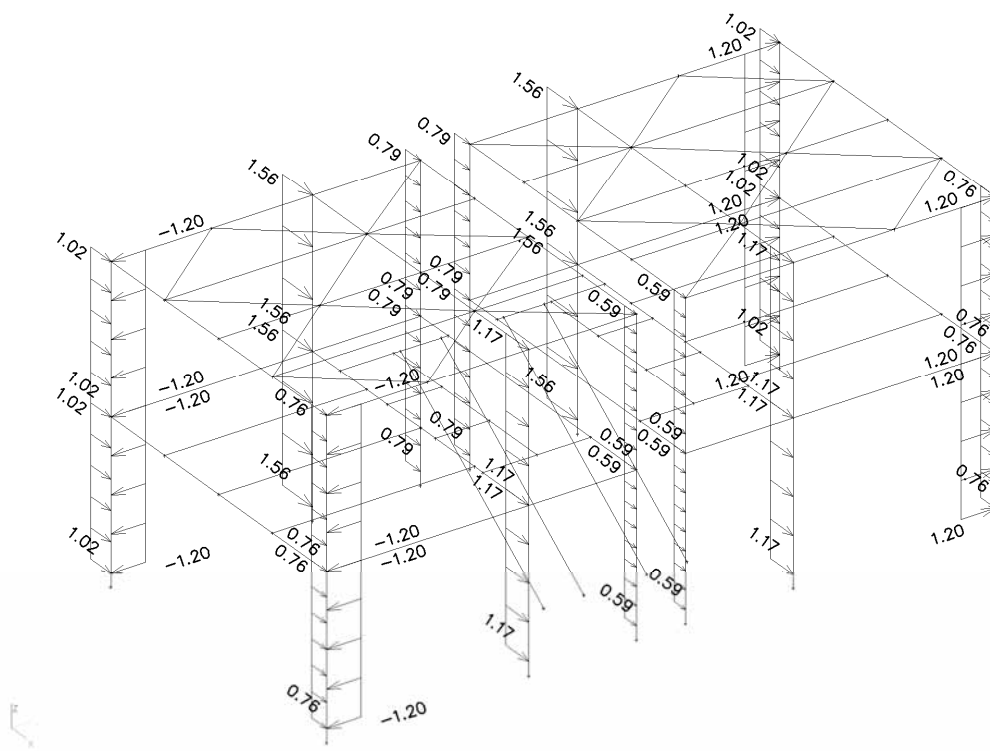
$$C_{prob} = 1,00 \text{ ...součinitel pravděpodobnosti}$$

$$\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3 \text{ ... hustota vzduchu}$$

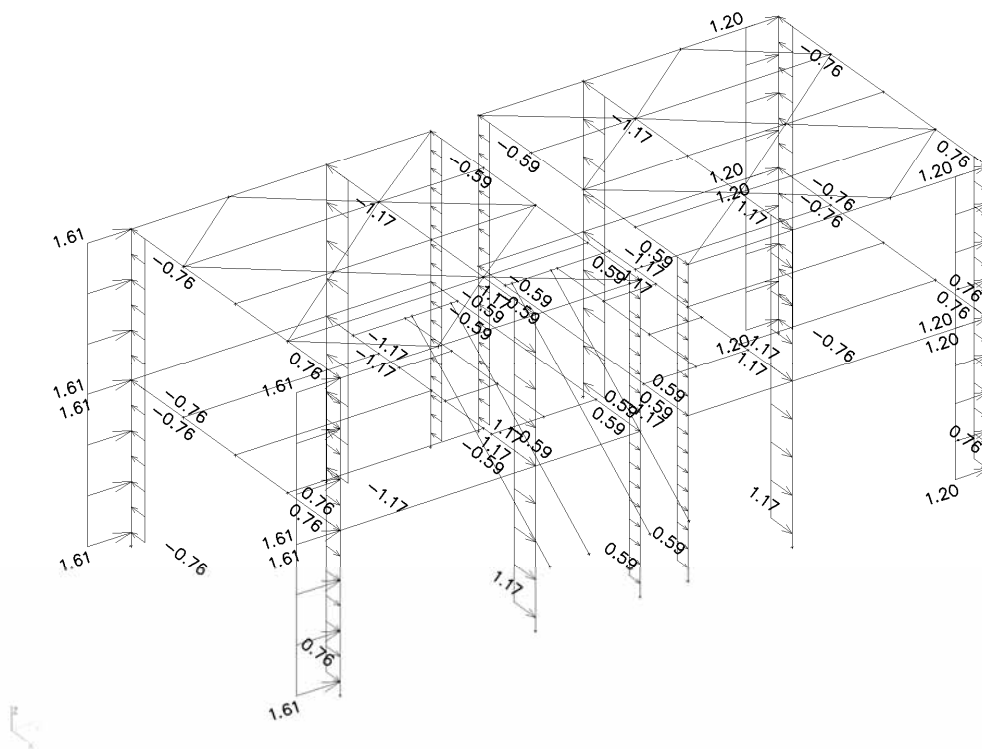
Kategorie terénu a jejich parametry

Drsnost - kategorie III (vesnice, předměstský terén, vesnice)

$$K_r = 0,215; z_0 = 0,300 \text{ m}; z_{min} = 5,00 \text{ m}$$



Obr. 6.8a Grafické znázornění zatížení větrem w+x



Obr. 6.8a Grafické znázornění zatížení větrem w+y

Poznámka: Graficky je znázorněno pouze zatížení větrem w+x; w+y. Další zatěžovací stavy vycházejí ze stejné konvence.

Kombinace

Podle ČSN EN 1990 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí

Mezní stavy únosnosti

Kombinace zatížení pro trvalé a dočasné návrhové situace (základní kombinace)

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

$\gamma_{G,j}$...dílčí součinitel j-tého stálého zatížení

$G_{k,j}$...charakteristická hodnota j-tého stálého zatížení

γ_p ...dílčí součinitel zatížení od předpětí

P ...příslušná reprezentativní hodnota zatížení od předpětí

$\gamma_{Q,1}$...dílčí součinitel hlavního proměnného zatížení

$Q_{k,1}$...charakteristická hodnota hlavního proměnného zatížení

$\gamma_{Q,i}$...dílčí součinitel i-tého proměnného zatížení

$\psi_{0,i}$...součinitel pro kombinační hodnotu proměnného zatížení

$Q_{k,i}$...charakteristická hodnota vepodlejšího i-tého proměnného zatížení

Kombinace zatížení pro mimořádné návrhové situace

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + A_d + (\psi_{1,1} \text{ nebo } \psi_{2,1}) \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

A_d ...návrhová hodnota mimořádného zatížení

ψ_1 ...součinitel pro častou hodnotu proměnného zatížení

ψ_2 ...součinitel pro kvazistálou hodnotu proměnného zatížení

Poznámka:

Kombinace zatížení jsou generovány programem S.E. Označení je uvedeno v přehledu dále.

Kombinace zatížení

Jméno	Popis kombinací
1	VL.V.*1,35 +G1*1,35 +G2*1,35 +S*0,75 +Q*1,05 +W+X*1,50
2	VL.V.*1,00 +G1*1,00 +G2*1,00 +Q*0,50
3	VL.V.*1,35 +G1*1,35 +G2*1,35 +Q*1,05 +W+X*1,50
4	VL.V.*1,35 +G1*1,35 +G2*1,35 +S*1,50 +Q*1,05 +W-Y*0,90
5	VL.V.*1,00 +G1*1,00 +G2*1,00 +S*0,20 +Q*0,30
6	VL.V.*1,35 +G1*1,35 +G2*1,35 +S*0,75 +Q*1,50 +W+X*0,90
7	VL.V.*1,00 +G1*1,00 +G2*1,00 +Q*0,30 +W+X*0,20

Poznámka: Vnitřní síly na prutech - v tabulkách jsou uvedeny vnitřní síly od nejnepríznivější kombinace zatížení v místě rámového rohu. Vnitřní síly, které jsou zanedbatelné nejsou uvedeny ani následně posouzeny.

Průřez **S1** : HEB300/běžná teplota

Pro průřez v místě 3,60 m

Vnitřní síly		
N_{Ed}	-155,41	kN
$V_{z,Ed}$	24,53	kN
$M_{y,Ed}$	88,60	kNm
$M_{z,Ed}$	-8,74	kNm

Průřez **P1** : HEA340/běžná teplota

Pro průřez v místě 7,10 m

Vnitřní síly		
$V_{z,Ed}$	-90,71	kN
$M_{y,Ed}$	-123,07	kNm

K) Ověření při běžné teplotě

Podle ČSN EN 1993-1-1 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.

Poznámka: Výpočet únosnosti a stability není podrobně rozveden, úroveň využití je dále připravena pro nejnepříznivější kombinaci zatížení, viz poslední sloupec následujících tabulek.

S1	HEB300	S 235	MSU/3	0,30
P1	HEA340	S 235	MSU/1	0,28

L) Ověření při vystavení účinkům požáru

Podle ČSN EN 1993-1-2 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-2:

Navrhování konstrukcí na účinky požáru.

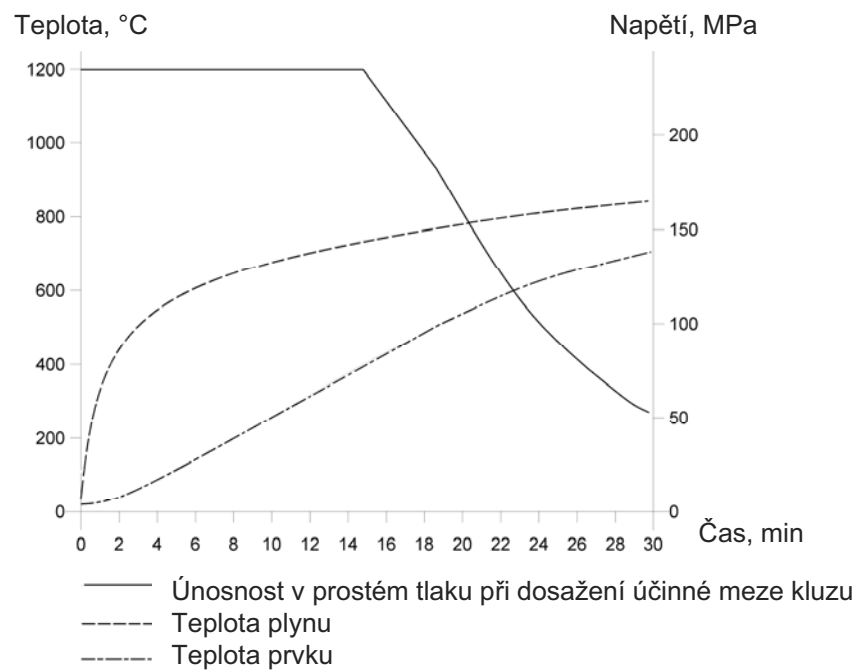
Mechanická analýza

Průřez: HEB300

S1	HEB300	S235	MSUp/2	0,86
-----------	--------	------	--------	------

Výsledky jsou uvedeny pro posouzení v čase $t = 30.0$ min

Data pro požární odolnost		
Křivka teplota	Nominální normová	
Součinitel přestupu tepla prouděním Alfa,c	25,00	W/m ² K
Emisivita vztažená k úseku požáru Epsilon,f	1,00	
Emisivita vztažená k ploše materiálu Epsilon,m	0,70	
Polohový faktor toku tepla sáláním Fi	1,00	
Požadovaná požární odolnost	30,00	min
Teplota materiálu Teta _{a,t}	706,53	°C
Teplota plynu Teta _g	841,80	°C
Expozice nosníku	Ze tří stran	
Krytá pásnice	Horní pásnice	
A_m/V	0,096	1/mm
k_{sh}	0,566	
$k_{y,Teta}$	0,22	
$k_{E,Teta}$	0,13	



Ověření únosnosti

Pro průřez v místě 3,60 m

Vnitřní síly		
$N_{fi,Ed}$	-94,57	kN
$V_{z,fi,Ed}$	-11,89	kN
$M_{y,fi,Ed}$	-42,79	kNm
$M_{z,fi,Ed}$	3,69	kNm

Ověření kombinace ohybu, osově a smykové síly

Průřez je 1. třídy.

Tabulka hodnot		
$MNV_{y,fi,t,Rd}$	139,32	kNm
$MNV_{z,fi,t,Rd}$	65,04	kNm

Alfa 2,00 beta 1,00

Využití 0,15

Kritické břemeno

Parametry vzpěru	yy	zz	
Typ	posuvné	neposuvné	
Štíhlost	76,77	37,08	
Redukovaná štíhlost	1,08	0,52	

Redukční součinitel	0,42	0,70	
Délka	3,60	3,60	m
Součinitel vzpěru	2,77	0,78	
Vzpěrná délka	9,97	2,81	m
Kritické Eulerovo zatížení	5243,90	22470,52	kN

Ověření vzpěrné únosnosti

Podle EN 1993-1-2 čl. 4.2.3.2 a vzorec (4.5)

$N_{b,fi,t,Rd}$	327,53	kN
Využití	0,29	

Součinitel vzpěrnosti 0,76

Ověření při klopení

Podle EN 1993-1-2 čl. 2.3.3 a vzorec (4.11)

$M_{b,fi,t,Rd}$	74,57	kNm
W_y	1868000,00	mm ³
Redukce	0,76	
Imperfekce	0,34	
Redukovaná štíhlost	0,41	
Metoda pro křivku klopení	čl. 6.3.2.2.	
M_{cr}	4509,29	kNm
Využití	0,57	

Klopení		
Délka klopení	3,60	m
k	1,00	
k_w	1,00	
C_1	1,88	
C_2	0,00	
C_3	0,94	

Zatížení se předpokládá v těžišti.

Ověření tlaku s ohybem

Podle článku EN 1993-1-2 : 4.2.3.5 a vzorce 4.21a.

K_y	1,117
K_z	1,039
K_{lt}	1,000
Beta M_y	1,800

Beta M_z	1,800
Beta M_{lt}	1,800
μ_y	-0,405
μ_z	-0,228
μ_{lt}	-0,009

Využití lze shrnout $0,29 + 0,49 + 0,08 = 0,86$

Využití lze shrnout $0,17 + 0,57 + 0,08 = 0,83$

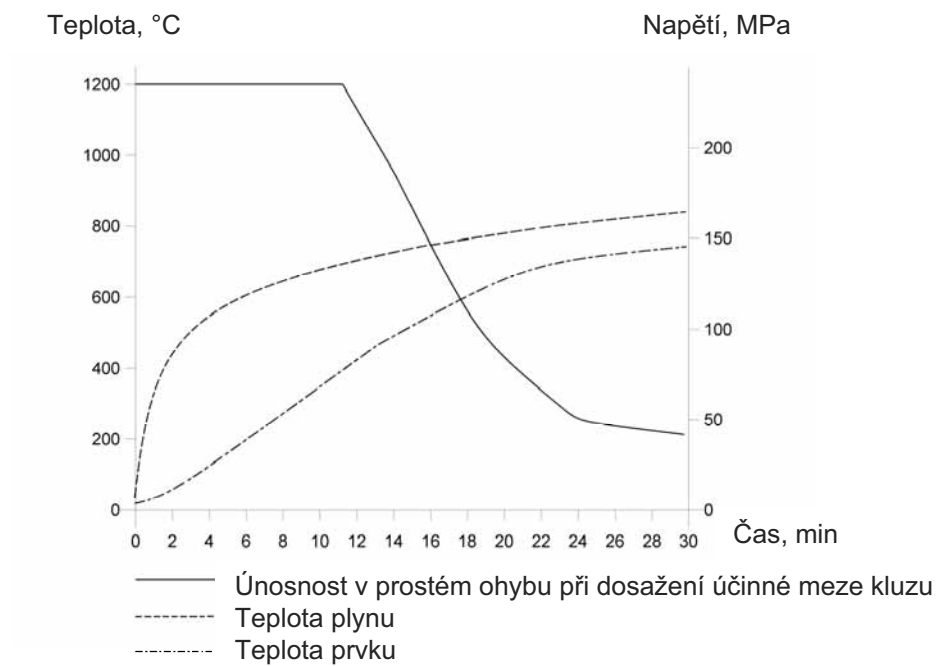
Prvek na vzpěrnou únosnost vyhoví.

Průřez: HEA340

P1	HEA340	S 235	MSU p/2	0,85
-----------	--------	-------	---------	------

Výsledky jsou uvedeny pro odolnost v čase $t = 30,0$ min

Křivka teplota - čas	Nominální normová křivka	
Součinitel přestupu tepla prouděním Alfa,c	25,00	W/m ² K
Emisivita vztažená k úseku požáru Epsilon,f	1,00	
Emisivita vztažená k ploše materiálu Epsilon,m	0,70	
Polohový faktor toku tepla sáláním Fi	1,00	
Požadovaná požární odolnost	30,00	min
Teplota materiálu Teta a,t	746,26	°C
Teplota plynu Teta,g	841,80	°C
Opravný součinitel Kappa 1	1,00	
Opravný součinitel Kappa 2	1,00	
Expozice nosníku	Ze všech stran	
A_m/V	0,134	1/mm
k_{sh}	0,632	
$k_{y,Teta}$	0,17	
$k_{E,Teta}$	0,11	



Působící vnitřní síly

Průřez v 7,10 m

Vnitřní síly		
$N_{fi,Ed}$	-2,40	kN
$V_{z,fi,Ed}$	-52,88	kN
$M_{y,fi,Ed}$	-57,90	kNm

Ověření namáhání ve smyku (V_z)

Podle EN 1993-1-2 čl. 4.2.3.3 a vzorec (4.16)

Tabulka hodnot		
$V_{z,fi,t,Rd}$	107,66	kN
Využití	0,49	

Ověření ohybové únosnosti (M_y)

Podle EN 1993-1-2 čl. 4.2.3.3. a vzorec (4.10).

Průřez je 1. třídy.

$M_{fi,t,Rd}$	75,86	kNm
Využití	0,76	

Ověření kombinace ohybu, osově a smykové síly

Podle EN 1993-1-2 čl.4.2.3.3 a vzorec (4.9).

Průřez je 1. třídy.

$M_{N Vy,fi,t,Rd}$	75,86	kNm
$M_{N Vz,fi,t,Rd}$	31,00	kNm

Alfa 2,00; beta 1,00

Využití 0,58.

Parametry vzpěru	yy	zz	
Typ	posuvné	neposuvné	
Štíhlost	49,38	20,13	
Redukovaná štíhlost	0,66	0,27	
Redukční součinitel	0,63	0,84	
Délka	7,10	1,50	m
Součinitel vzpěru	1,00	1,00	
Vzpěrná délka	7,10	1,50	m
Kritické Eulerovo zatížení	11388,91	68534,53	kN

Ověření klopení

Podle EN 1993-1-2 čl. 4.2.3.3 a vzorec (4.11).

$M_{b,fi,t,Rd}$	68,60	kNm
W_y	1850000	mm ³
Redukce	0,90	
Imperfekce	0,34	
Redukovaná štíhlost	0,16	
Křivka klopení	čl. 6.3.2.2.	
Kritický moment M_{cr}	26868,11	kNm
Využití	0,84	

Klopná délka	1,50	m
K	1,00	
K_w	1,00	
C_1	2,43	
C_2	0,00	
C_3	0,85	

M) Shrnutí

Požární odolnost	Prut	Průřez	Ocel	Součinitel průřezu A_m/V	Stupeň využití
R30	S1	HEB 300	S235	96	0,86
R30	P1	HEA 340	S235	134	0,85

Poznámka:

Stupeň využití je stanoven podle ČSN EN 1991-1-2 statickým výpočtem jako $E_{fi,d}/R_{fi,d,0} \leq 1,0$.

Požadavky na provádění stavby

N) Požadavky na postup výstavby konstrukce a kontrolu jakosti použitého materiálu

Nejsou požadovány speciální postupy výroby, výstavby, montáže.

O) Předpoklady použití

Nejsou požadovány zvláštní nároky pro požadovanou požární odolnost.

Poznámka:

Text dokládá postup výpočtu požární odolnosti požárně nechráněných prvků. Pro pruty požárně chráněné obkladem ze sádkartonových desek tloušťky 15 mm by se výpočet změnil v části určení přestupu tepla do konstrukce. Stupeň využití průřezů je shrnut dále.

Požární odolnost	Prut	Průřez	Ocel	A_m/V	Stupeň využití
R30	S2	HEA220	S235	96	0,30
R30	P2	IPE 300	S235	134	0,13

Poznámka:

Stupeň využití je stanoven podle ČSN EN 1991-1-2 statickým výpočtem jako $E_{fi,d}/R_{fi,d,0} \leq 1,0$.

7 Závěrem

7.1 Network COST TU0904

Evropský network sdružuje evropské experty, kteří se zabývají vědeckými disciplínami v oblasti požární ochrany, analýzou požáru, přestupem tepla do konstrukce, aktivní a pasivní požární ochranou a národními předpisy v oblasti prevence. Network, který navrhli odborníci z Českého vysokého učení technického v Praze a Generálního ředitelství Hasičského záchranného sboru Ministerstva vnitra České republiky, sdružuje 22 zemí, viz <http://fire.fsv.cvut.cz/ifer/index.htm>. Network umožňuje lépe porozumět pokrokům v jednotlivých oblastech sloučením odlišných pohledů na požární inženýrství specialistům napříč všech vědních disciplín a různých zemí. Výzkumní pracovníci mohou pozorovat své poznatky v širších souvislostech a aplikacích. Odborníci z praxe se přímo seznámí z posledními příspěvky. Do Evropských dokumentů, norem a do národních předpisů, které jsou v oblasti bezpečnosti v gesci jednotlivých států, jsou zahrnovány nové poznatky z oblasti požárního inženýrství, tj. numerické simulování dynamiky plynů, návrh konstrukcí vystavených požáru, možnosti evakuace osob, ochrana životního prostředí a motivace k lidské odpovědnosti.

Posláním networku COST TU0904 je shrnutí, ověření a výměna současných poznatků požární bezpečnosti staveb a vyhledání kritických míst. Network využívá mezinárodní výměnu zkušeností, myšlenek a popisu současného stavu problematiky požárního návrhu a metody posuzování. I když obavy o řádné prověření všech požárních rizik stále přetrvávají, požárně bezpečnostní návrh založený na rizikové analýze je jedinou možností jak úspěšně zvládnout současné úkoly. V networku je zahrnuto jak navrhování podle zjednodušených pravidel tak i pokročilé modelování požáru, přestup tepla do konstrukce, vývoj teplotních polí i celkové chování konstrukce za požáru. Shrnutí poznatků výzkumu je zaměřeno na hasičské záchranné sbory a kontrolní orgány zemí Evropské Unie. Mezi hlavní cíle networku patří integrace vědeckých poznatků všech zúčastněných zemí, jejich předání nastupující generaci mladých vědců, výměna názorů a stanovisek různých skupin v oblasti, jako jsou hasiči, odborníci, projektanti či konstruktéři a vědci, informace o posledních přístupech a metodách výzkumu pro kontrolní orgány a podněty pro národní normy v oblasti požární bezpečnosti.

Pracovní plán networku je rozdělen do pěti částí. Shrnutí současného stavu problematiky bylo uskutečněno v prvním roce networku 2010 pomocí databáze současných poznatků. Případové studie během druhého roku práce 2011 ukázaly současné postupy v celé oblasti návrhu a schválení projektu, tj. rozhodování, integraci poznatků, omezení

v praxi i metodiku sjednocení rozdílných hledisek na požární bezpečnost objektu. Protokoly z vyšetřování požárů jsou jedním ze základních zdrojů poznání požárních rizik na národní úrovni. Jejich využití pro vědecké poznatky je obtížné. Cílem spolupráce v networku v roce 2012 je stanovit, jak využít informace ze zásahu požárních jednotek a vyšetřování příčin požárů na evropské úrovni. Na rok 2013 se plánuje příprava Ověřovacích příkladů, které umožní prověřit přesnost a úplnost výpočetních nástrojů. Výstupy práce v networku přispějí k přípravě inovovaných textů požárních návrhových norem EN 199x-1-2 v roce 2015. Důležitou složkou networku je spolupráce předních evropských pracovišť v oblasti požárního vzdělávání a příprava osnov a konsorcií universit.

Specialisté pracují v networku ve třech skupinách. Pracovní skupina Modelování požáru a bezpečnost osob bude zaměřena na chování a účinky požáru v budovách. Je zaměřena na vědecké poznatky pro účinné způsoby ochrany lidského života při hašení požáru v budovách. Pro požární zásah budou sledovány základní body ovlivňující jeho spolehlivost. Záchranné operace jsou ovlivněny rozvojem ohně a kouře, který je největší hrozbou pro ztrátu životů. Pomocí výpočtu dynamiky plynů požáru CFD jsou specialisté schopni poměrně přesně předpovědět možný pohyb ohně uvnitř budovy. Nejasnosti o lokálním porušení vnitřních stěn, oken, atriové jevy či postup požáru z jednoho požárního úseku do druhého však stále představují neprobádané části této problematiky. Podstatnou úlohou této skupiny proto bude zjednodušit modelování požáru a kouře a propojit tři poněkud komplexní skupiny vědců, hasičů a kontrolních institucí. Pracovní skupina Bezpečnost konstrukcí zahrnuje oblast pasivní ochrany, současný stav navrhování konstrukcí za požáru i nové materiály a technologie. Řeší se například otázky změny využití staveb, úspory energie a ochrany životního prostředí v případě požáru. Pracovní skupina Integrovaný návrh umožňuje spolupráci napříč všech požárních disciplín. Sjednocovacím poznatkem je i fakt, že požár je jeden z nejvíce devastujících následků zemětřesení a teroristických útoků. Při vypuknutí požáru může dojít k nepřiměřenému kolapsu, jako tomu bylo při událostech 11. září, či k značné ztrátě lidských životů. Proto je důležité omezit výskyt lokálních poruch a uvažovat odolnost vůči účinkům požáru již do prvotního návrhu konstrukce.

Aktivita evropského networku jsou předběžně naplánovány do března roku 2014. Na 10 a 11 února 2013 bude v rámci networku na Českém vysokém učení technickém v Praze ve spolupráci s Generálním ředitelstvím Hasičského záchranného sboru Ministerstva vnitra České republiky a Profesní komorou požární ochrany organizována konference na téma Využití požárního návrhu budov, která bude zaměřena na aplikaci software v pasivní i aktivní požární ochraně, viz fire.fsv.cvut.cz/ASFE/index.htm.

7.2 Shrnutí

Jedním z důvodů dosažení vysoké úrovně požární ochrany v České republice bylo její oddělení jako samostatné disciplíny při návrhu budov v Československu v roce 1965 obdobně jako v dalších evropských zemích. Normy, které byly zprvu zaměřeny pouze na požární zkoušky, v roce 1967 zohlednily výhody vyhodnocování požárních rizik, dělení objektu na požární úseky, plány úniku osob, odstupové vzdálenosti a možnosti zásahu požárních jednotek. Kodex požárních norem ČSN 73 08xx, který vznikl v roce 1971, tak integroval zkušební i návrhové požadavky na konstrukce.

V devadesátých letech minulého století přináší rozvoj experimentálního poznání výpočtových programů a analytických a diskrétních modelů dostatečně přesné ověření požární odolnosti nosných stavebních konstrukcí výpočtem v reálném čase. Statické výpočty vycházejí z exaktních kontrolovatelných vstupů a řešení je opakovatelné. Samostatně se modeluje/dokládá teplota v požárním úseku, přestup a rozvoj tepla v konstrukci a chování nosné konstrukce vystavené vysokým teplotám. V současnosti se ve výpočtech přechází od ověřování odolnosti prvků, které vychází ze znalostí z chování při experimentech a z namáhání za běžné teploty, na ověřování celé konstrukce, které umožňuje zahrnout chování konstrukce vystavené požáru. Toto pokročilé řešení vyžaduje analýzu konstrukce za zvýšené teploty a nabízí řádově přesnější ověření.

Již na samém začátku procesu návrhu stavby by mělo dojít k úzké spolupráci mezi autorem návrhu stavebního řešení, architektem nebo stavebním inženýrem a autorizovanými specialisty na požární bezpečnost staveb, statiku a případně technologické zařízení staveb, aby byly stanoveny limity pro danou stavbu. Prokazování požární odolnosti nosných stavebních konstrukcí výpočtem vyžaduje spolupráci autorizovaných inženýrů pro požární bezpečnost staveb, kteří připravují požárně bezpečnostní řešení budovy, a autorizovaných staticků, kteří po ověření chování konstrukce za běžné teploty mají k dispozici údaje k jejímu ověření při požáru. Spolupráce vyžaduje jasnou formulaci úkolů/kompetencí a formálního zpracování dokumentace. Na projektech již nepracují jednotlivé profese, tj. požární a stavební specialisté a statici, nezávisle na sobě, ale jako jeden tým od samého začátku projektu společně. Monografie je zaměřena na legislativní a formální problematiku této spolupráce. Navržená forma dokumentace uvádí náležitosti pro ověření požární odolnosti statickým výpočtem, které jsou nezbytné pro schválení dotčenými úřady státní správy.

Úroveň přesnosti výsledků a náročnosti na vstupy lze rozdělit do tří skupin, na zjednodušené ověření pomocí tabulek, jednoduché pomocí analytických modelů a diskrétní řešení, nejčastěji metodou konečných prvků. Všechny tři úrovně lze rozeznat u předpovědi teploty v požárním úseku, modelu přestupu tepla do konstrukce a rozvoje teploty v ní i při popisu mechanického chování konstrukce. Pro současné výpočty se využívá výpočtových softwarů. U nich je uživatel pro daný případ prověřuje a dokládá jejich vhodnost. Je třeba

dbát na správné použití a doložení vstupů a výstupů všech tří částí výpočtu konstrukce vystavené požáru, z modelování požáru, přestupu tepla a mechanického chování. Vhodnost použití nástrojů určuje spolehlivost výpočtů. Při návrhu v České republice jsme limitováni absencí národně ověřených programů pro modelaci požárů. Lze ale využít evropské databáze programů, která je shrnuta např. v projektu DIFISEK, viz www.difisek.eu.

Tato monografie shrnuje legislativní a formální problematiku spolupráce požárních a stavebních specialistů a staticků při prokazování požární odolnosti stavebních konstrukcí. Podle informací, které mají autoři monografie k dispozici, obdobné práce vznikly/vznikají ve většině evropských zemí a vhodně podporují bohatství jejich národních požárně bezpečnostních zvyklostí. Struktura statického výpočtu k prokázání požární odolnosti stavebních konstrukcí, která vychází z tradiční formy statického výpočtu za běžné teploty a požadované formy požárně bezpečnostního řešení stavby, je popsána v kap. 2 monografie a přehledně shrnuta v tab. 7.1.

Tab. 7.1 Struktura statického výpočtu k prokázání požární odolnosti stavebních konstrukcí

Vstupní informace	
A)	Identifikační údaje o stavebním objektu, investorovi, zhotoviteli stavby a zhotoviteli dokumentace
B)	Přehled podkladů, vstupních údajů a požadavků
C)	Koncepční řešení statického působení konstrukce
D)	Dispoziční řešení objektu
E)	Přehled užitě literatury a norem
F)	Údaje o použitém softwaru
Vlastní výpočet	
G)	Vstupní data pro výpočet
H)	Grafická schémata
I)	Tepelná zatížení
J)	Mechanická zatížení
K)	Ověření při běžné teplotě (v případě, že z něj požární návrh vychází)
L)	Ověření při vystavení účinkům požáru
	L1) Teplotní analýza
	L2) Mechanická analýza
M)	Shrnutí rozhodujících výsledků
Požadavky na provádění stavby	
N)	Požadavky na postup výstavby konstrukce a kontrolu jakosti použitého materiálu
O)	Předpoklady použití a jiné speciální nároky spojené s výstavbou konstrukce

Literatura

Ke kapitole 1

- [1.1] Wald, F., Kaiser, R. Twenty Two Years of Structural Fire Engineering in Czech Republic In: Applications of Structural Fire Engineering. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2009, p. 13-17. ISBN 978-80-01-04266-3.
- [1.2] Karpaš J., Zoufal R.: Ochrana ocelových konstrukcí před požárem, publikace ČSP Zabraňujeme škodám, svazek 6, Praha 1978.
- [1.3] Reichel V.: Navrhování požární bezpečnosti staveb, edice Zabraňujeme škodám, Česká státní pojišťovna, díl I, svazek 11, Praha 1978, 72 s., díl I., svazek 12, Praha 1979, 67 s.
- [1.4] Reichel V.: Czech Navrhování požární bezpečnosti staveb, edice Zabraňujeme škodám, Česká státní pojišťovna, díl II, svazek 12, Praha 1978, 67 s.
- [1.5] Reichel V.: Czech Navrhování požární bezpečnosti výrobních objektů, edice Zabraňujeme škodám, Česká státní pojišťovna, Svazek 17, Praha 1987, 125 s.
- [1.6] Karpaš J., Zoufal R.: Požární odolnost ocelových a železobetonových konstrukcí, publikace ČSP Zabraňujeme škodám, svazek 28, Praha 1989, 43 s.

Ke kapitole 2

- [2.1] Zoufal R. a kol.: Hodnoty požární odolnosti stavebních konstrukcí podle Eurokódů, PAVUS, Praha 2009, ISBN 978-80-904481-0-0.
- [2.2] Statický výpočet, doporučený technický standard, skupina statika a dynamika, soubor 5, č. 17, ČKAIT 2002, 7 s.
- [2.3] Zoufal R.: Požadavky na stavební výrobky a konstrukce 1 – Přímá a rozšířená aplikace výsledků zkoušek, Konstrukce 1/2008, s. 35-39.
- [2.4] Wald F. a kol.: Výpočet požární odolnosti stavebních konstrukcí, České vysoké učení technické v Praze, Praha 2005, 336 s., ISBN 80-0103157-8.
- [2.5] Lie T.T.: Fire temperature-time relations. Chapter 4-8, SFPE Handbook of fire protection engineering, second edition, Society of fire protection engineers;USA;1995.
- [2.6] Feasey R., Buchanan A.H.: Post-flashover fires for structural design. Fire Safety Journal 2002;37(1);83-105.
- [2.7] Procházka J. a kol.: Statické výpočty, Technická pravidla CBS 01, Česká betonářská společnost ČSSI, Praha 2006, 12 s.
- [2.8] Performance-based structural fire safety design, Rautaruukki Oyj. Kaikki oikeudet pidätetään, pub. 020 59 11, 2008, 7 s.

Ke kapitole 3

- [3.1] Wald F. a kol.: Výpočet požární odolnosti stavebních konstrukcí, České vysoké učení technické v Praze, Praha 2005, 336 s., ISBN 80-0103157-8.
- [3.2] Vassart O., Cajot L.G., Brasseur M., Strejček M.: Tepelná a mechanická zatížení, Difisek+, RFS-P2-06065, 2008, ČVUT v Praze.
- [3.3] Initial Fires: Lund University, Sweden. Institute of Fire Safety Engineering. ISSN 1102-8246. ISRN LUTVDG/TVBB--3070—SE, 1993.
- [3.4] Peacock, Jones, Bukowski and Forney. NIST Handbook 146, Volume II - Technical Reference Guide for the Hazard I Fire Hazard Assessment Method, 1991.
- [3.5] "Development of design rules for steel structures subjected to natural fires in Large Compartments"; Final report CEC Agreement 7210/ SA210, 317,517,618,832-February 1997.
- [3.6] Hasemi Y. and Tokunaga Tazo: "Flame Geometry Effects on the Buoyant Plumes from Turbulent Diffusion Flames". Fire Science and Technology, Vol.4, N°1, 1984.
Ptchelintsev A., Hasemi Y., Nikolaenko M., "Numerical Analysis of Structures exposed to localized Fire", ASIAFLAM's 95, Hong Kong, 1995.
Wakamatsu T., Hasemi Y., Yokobayashi Y., Ptchelintsev A.: "Experimental Study on the Heating Mechanism of a Steel Beam under Ceiling exposed to a localized Fire".
Hasemi Y., Yokobayashi Y. , Wakamatsu T., Ptchelintsev A.: "Fire Safety of Building Components Exposed to a Localized Fire"- Scope and Experiments on Ceiling/Beam System Exposed to a Localized Fire, ASIAFLAM's 95, Hong Kong, 1995.

Ke kapitole 4

- [4.1] Zoufal R., Bauma M., Karpas J., Kuklík P.: Hodnoty požární odolnosti stavebních konstrukcí podle Eurokódů, PAVUS, a.s., Praha 2009, ISBN 978-80-904481-0-0.
- [4.2] Wald F. a kol.: Výpočet požární odolnosti stavebních konstrukcí, České vysoké učení technické v Praze, Praha 2005, ISBN 80-0103157-8.

Směrnice, zákony, nařízení vlády a vyhlášky

Nařízení vlády č. 163/2002 Sb., kterým se stanoví technické požadavky na vybrané stavební výrobky ze dne 6. 3. 2002.

Nařízení vlády č. 190/2002 Sb., kterým se stanoví technické požadavky na stavební výrobky označované CE.

Směrnice Evropské rady ze dne 21. prosince 1988 o sbližování právních a správních předpisů členských států týkajících se stavebních výrobků, Úřední věstník Evropské unie, 89/106/EHS, 13/sv. 9, s. 296-310.

Vyhláška Ministerstva pro místní rozvoj č. 268/2009 Sb. o technických požadavcích na stavby ze dne 12.8.2009.

Vyhláška Ministerstva pro místní rozvoj č. 499/2006 Sb. o dokumentaci staveb ze dne 10. 11.2006.

Vyhláška Ministerstva vnitra č. 23/2008 Sb. o technických podmínkách požární ochrany ze dne 29.1.2008.

Vyhláška Ministerstva vnitra č. 246/2001 Sb. o stanovení podmínek požární bezpečnosti a výkonu státního požárního dozoru (vyhláška o požární prevenci) ze dne 29.6.2001.

Zákon č. 183/2006 Sb. o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon) ze dne 14.3.2006 se změnami: 68/2007 Sb., 191/2008 Sb., 223/345/2009 Sb. a 379/2009 Sb.

Normy

ČSN 65 0201: Hořlavé kapaliny - Prostory pro výrobu, skladování a manipulaci, ČNI, Praha 2003.

ČSN 73 0802: Požární bezpečnost staveb - Nevýrobní objekty, UNMZ, Praha 2009.

ČSN 73 0804: Požární bezpečnost staveb - Výrobní objekty, ČNI, Praha 2002.

ČSN 73 0810: Požární bezpečnost staveb, Požadavky na požární odolnost stavebních konstrukcí, ÚNMZ Praha, 2009.

ČSN 73 0816: Požární bezpečnost staveb – Společná ustanovení, ÚNMZ Praha, 2009

ČSN 73 0818: Požární bezpečnost staveb - Obsazení objektu osobami, ČNI, Praha 1997.

ČSN 73 0821: ed. 2/2007 Požární bezpečnost staveb, Požární odolnost stavebních konstrukcí, ČNI Praha, 2007.

ČSN 73 0821:ed. 1973 Požární bezpečnost staveb, Požární odolnost stavebních konstrukcí, ČNI Praha, 1973.

ČSN 73 0831: Požární bezpečnost staveb - Shromažďovací prostory, ČNI, Praha 2001.

ČSN 73 0833: Požární bezpečnost staveb - Budovy pro bydlení a ubytování, ČNI, Praha 1996.

ČSN 73 0834 Z1: Požární bezpečnost staveb – Změny staveb, UNMZ, Praha 2011

ČSN 73 0835: Požární bezpečnost staveb - Budovy zdravotnických zařízení a sociální péče, ČNI, Praha 2006.

ČSN 73 0842: Požární bezpečnost staveb - Objekty pro zemědělskou výrobu, ČNI, Praha 1996.

ČSN 73 0843: Požární bezpečnost staveb - Objekty spojů a poštovních provozů, ČNI, Praha 2001.

ČSN 73 0845: Požární bezpečnost staveb - Sklady, ČNI, Praha 1997.

ČSN 73 0873. Požární bezpečnost staveb - Zásobování požární vodou, ČNI, Praha 2003.

ČSN EN 13 501-1: Požární klasifikace stavebních výrobků a konstrukcí staveb-Část 1:
Klasifikace podle výsledků zkoušek reakce na oheň, ČNI, Praha 2007.

ČSN EN 1990: Eurokód, Zásady navrhování konstrukcí, ČSNI, Praha 2004.

ČSN EN 1992-1-2: Navrhování betonových konstrukcí, Obecná pravidla, Navrhování na účinky
požáru, ČNI, Praha 2006.

ČSN EN 1993-1-2: Navrhování ocelových konstrukcí, Obecná pravidla, Navrhování
konstrukcí na účinky požáru, ČNI, Praha 2006.

ČSN EN 1994-1-2: Navrhování ocelobetonových konstrukcí, Obecná pravidla, Navrhování
konstrukcí na účinky požáru, ČNI, Praha 2006.

ČSN EN 1995-1-2: Navrhování dřevěných konstrukcí, Obecná pravidla, Navrhování
konstrukcí na účinky požáru, ČSNI, Praha 2006.

ČSN EN 1996-1-2: Navrhování zděných konstrukcí, Obecná pravidla, Navrhování konstrukcí
na účinky požáru, ČSNI, Praha 2006.

ČSN EN 1999-1-2: Navrhování hliníkových konstrukcí, Obecná pravidla, Navrhování
konstrukcí na účinky požáru, ČNI, Praha 2006.

EN 13381-x: Zvyšování požární odolnosti stavebních konstrukcí, 1 Vodorovné ochranné
membrány, 2 Svislé ochranné membrány, 3 Betonové konstrukce, 4 Ocelové
konstrukce, 5 Plošné ocelobetonové konstrukce, 6 Ocelové sloupy s výplní
betonem, 7 Dřevěné konstrukce, ČNI, Praha.

EN 1363-x: Zkušební podmínky, 1 Základní požadavky, 2 Alternativní a doplňkové postupy,
3 Ověřování charakteristik zkušebních pecí, ČNI, Praha.

EN 1365-x: Požární odolnost nosných konstrukcí, 1 Stěny, 2 Stropy a střechy, 3 Nosníky, 4
Sloupy, 5 Balkóny a rampy, 6 Schodiště, ČNI, Praha.