



Brunahönnun stálburðarvirkja

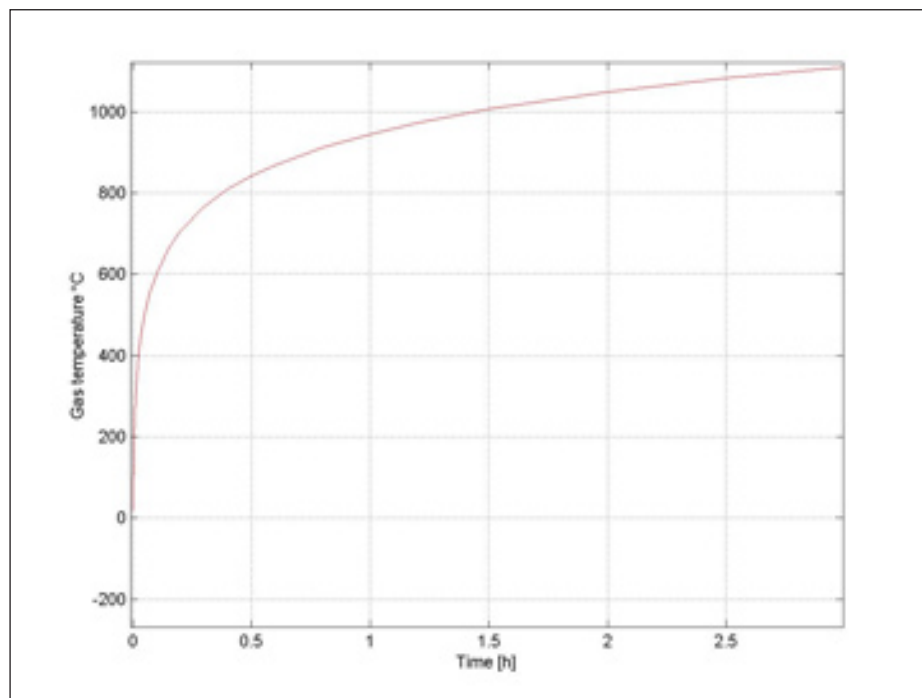


BÖÐVARTÓMASSON er sviðsstjóri Bruna- og öryggisviðs hjá EFLU verkfræðistofu. Hann er byggingar- og brunaverkfræðingur frá Tækniháskólanum í Lundi 1998 og hefur starfað við brunahönnun bygginga

og áhættugreiningar hérlendis og í Svíþjóð. Böðvar hefur stundað rannsóknir í brunahönnun burðarvirkja og áhættugreiningum og hefur skrifað fjölda fræðigreina á þeim sviðum. Böðvar nam verkefnastjórnun og leiðtogaþjálfun við Endurmenntunardeild Háskóla Íslands 2004 og er verkefnastjóri IPMA af stigi C.

Notkun stáls í burðarvirki fer mjög vaxandi, bæði hér á landi og erlendis. Stál sem burðarvirki býður upp á marga kosti, svo sem stuttan byggingartíma, létt burðarvirki og mikla möguleika á "öðruvísi" hönnun. Oftast er nauðsynlegt að einangra stálvirkin til þess að uppfylla kröfur um burðarþol við bruna.

Brunavarnir stálburðarvirkja er hægt að leysa á marga mismunandi vegu og val á aðferð ræðst af mörgum þáttum. Fyrst og fremst er mikilvægt að brunahönnunin sé tekin með frá byrjun þannig að ekki sé verið að leysa vandamálin eftir á. Á þann hátt er hægt að lækka kostnað bæði hvað varðar efniskostnað og byggingartíma. Þannig er líka betur hægt að koma í veg fyrir óhentugar lausnir sem ekki uppfylla þarfir notandans eins vel og annars væri hægt.



Mynd 1: Hitaferlinn skv. stöðluðu brunaferli.

Kröfur til brunavarna

Í byggingarreglugerðinni koma fram þær kröfur sem burðarvirki þurfa að uppfylla. Kröfurnar byggja á notkun hússins, hæð þess og tegund burðarvirkisins (hæðaskil, lóðrétt burðarvirki, o.s.frv.). Kröfurnar eru settar fram sem sá tími (mínútur) sem burðarvirkið þarf að standast bruna eftir staðlaða brunaferlinu (standard temperature-time curve) samkvæmt Eurocode 1 [1], sjá mynd 1. Brunamótstaða burðarvirkja sem og einangrun á burðarvirki eru flokkuð þannig að þau uppfylli þessar kröfur t.d. R30, R60, R90 o.s.frv.

Til að taka tillit til heildaráhrifa brunavarna á burðarvirki í brunahönnun bygginga er best að gera brunatæknilega áhættugreiningu, sem tekur á fleiri þáttum en brunavörnum burðarvirkja eingöngu. Slíkar greiningar hafa verið gerðar fyrir háhýsi á Íslandi, en aðferðarfræðinni hefur verið lýst í greinum á alþjóðlegum brunatækniráðstefnum [2, 3].

Í stað þess að nota staðlaða brunaferlið og kröfur byggingarreglugerðar um t.d. R60 burðarvirki, er hægt að reikna út hið eiginlega brunaferli í brunahólfinu (sjá neðar).

Þegar brunaferlið hefur verið skilgreint eru síðan ýmsir möguleikar í stöðunni varðandi hönnun og einangrun burðarvirkisins. Athuga ber að hönnunarbrunaálagið við hönnun

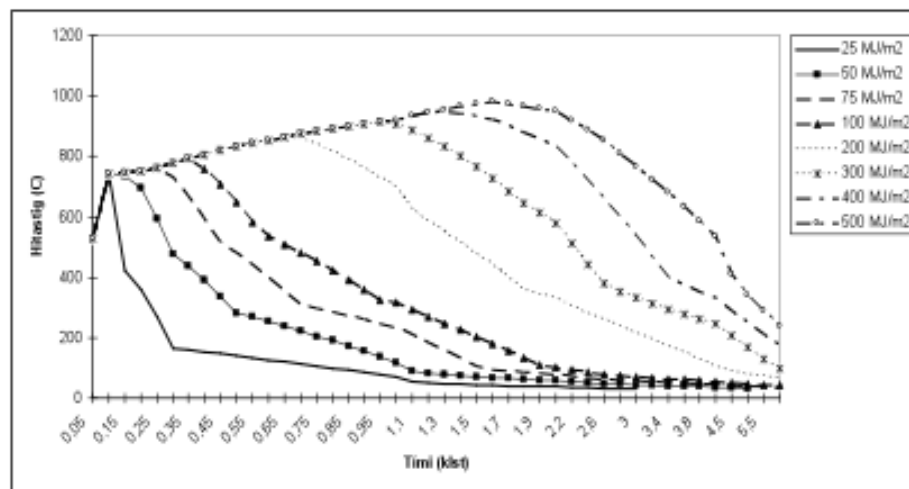
burðarvirkja þarf ekki að vera hið sama og hönnunarbruninn sem ákvarðar öryggi fólks. Fyrir burðarvirki er samband tíma og álagshitastigsins það sem að mestu ákvarðar burðarþolið, en reykfrí hæð, eitrun og skyggni fólks skiptir einnig og ekki síður máli fyrir öryggi fólks.

Brunaferlið

Það eru margir þættir sem hafa áhrif á hvernig brunaferlið verður; brunaálag, flatarmál og hæð á brunahólfinu, stærð opa o.s.frv. Með því að velja staðlaða brunaferlið er gert ráð fyrir því að yfirtendrun eigi sér stað (þegar allt brennanlegt í brunahólfinu brennur) og að hitastigið aukist í þann tíma sem burðarvirkið

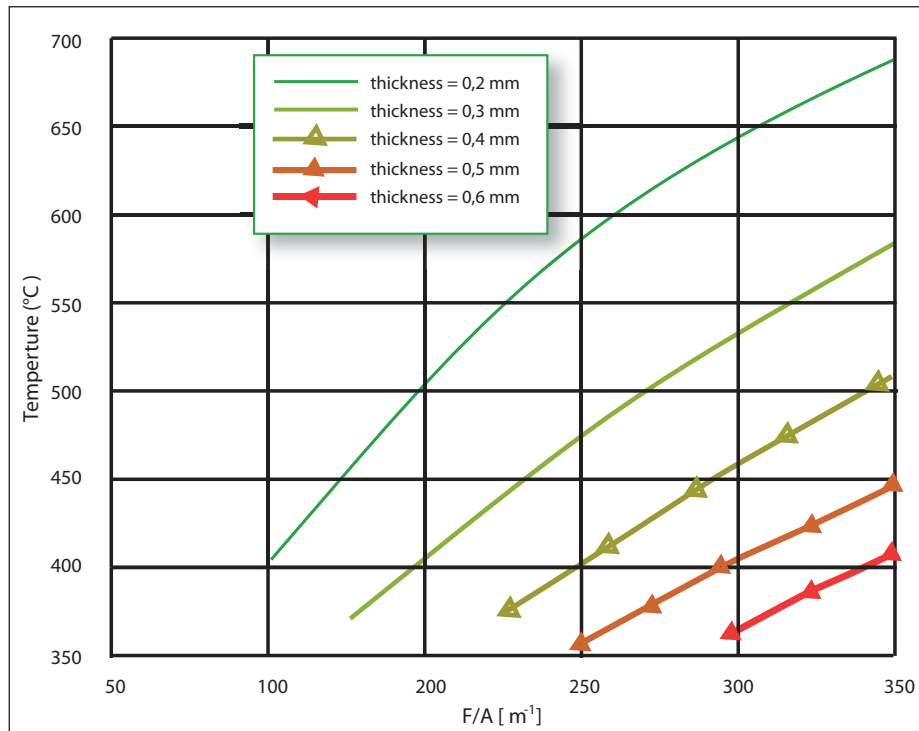
verður að þola brunann. Önnur aðferð er að nota hina svokölluðu orkujafnvægisáðferð. Þar er hitastigið fundið út frá orkumagni brunahólfsins, opnun þess (skilgreint með svokölluðum opstuðli) og varmaeiginleikum byggingarhluta. Orkumagn brunahólfsins er fundið með því að reikna brunaálagið. Samkvæmt þeirri aðferð er brunaálaginu, sem er fundið út frá viðurkenndri tölfræði fyrir þá starfsemi sem um ræðir, eða með útreikningum, dreift um brunahólfið og er þá gert ráð fyrir því að allt brennanlegt efni í brunahólfinu brenni (þetta gerist við það sem við köllum yfirtendrun). Mikilvægt er að taka brennanleg efni á veggjum og brennanlega einangrun með í brunaálgasreikningana. Dæmi um hitaferla í brunahólfi samkvæmt orkujafnvægisáðferðinni gefur að líta á mynd 2. Myndin sýnir hitaferla fyrir mismunandi brunaálag og opstuðul $0,04 \text{ m}^{1/2}$ [4]. Athuga ber að minnsta burðargeta burðarvirkis getur átt sér stað nokkru eftir að hámarkshiti verður í brunahólfinu vegna varmatregðu í burðarvirkinu og einangruninni.

Orkujafnvægisáðferðina er ekki hægt að nota í stórum rýmum, þar sem gera verður ráð fyrir að önnur lögmál gildi við brunann, m.a. vegna þess að eldurinn er lengur að breiðast um brunahólfið. Þegar brunaálagið er hlutfallslega lítið miðað við stærð brunahólfsins og opnun þess, er mögulegt að brunaáraunin á burðarvirkið verði það lítil að stálburðarvirkið þurfi ekki verja. Þess vegna er mikilvægt að athuga hvort yfirtendrun muni eiga sér stað og hvort yfirtendrunin sé ef til vill afmörkuð að einhverju leyti. Ef ljóst er að yfirtendrun verður ekki, er hugsanlegt að meðalhitinn verði nógu lágur til að stálvirkið standist hann. Þá verður samt að athuga hvort bein áhrif elds á burðarvirkið geti valdið háu staðbundnu hitaálagi sem orsakað geti hrún. Þá verður að



Mynd 2: Dæmi um hitastig í brunahólfi m.v. mismunandi brunaálag (á umflöt) fyrir opstuðulinn $0,04 \text{ m}^{1/2}$.

Brunahönnun stálburðarvirkja



Mynd 3: Dæmi um útreiknaða þykkt ákveðinnar eldvarnarmálningar við mismunandi kritískt hitastig og F/A gildi, fyrir R30 brunamótsstöðu.

taka tillit til geymsluhæðar og staðsetningar fastra brennanlegra hluta byggingarinnar og húsbúnaðar.

Notkun CFD (computational fluid dynamics) líkana til útreikninga á hitadreifingu eftir yfirtendrun er mjög takmörkunum háð í dag, vegna takmarkana í líkönunum sjálfum. Á næstu árum munum við eflaust sjá betri aðferðir við að greina slíkar aðstæður, en útreikningar á t.d. yfirtendruðum bruna í t.d. íbúð í 60 mínútur krefst mjög mikils tölvuafis. Dæmi um notkun slíkra líkana er að finna í [5].

Aðferðir til brunavarna

Til að ná þeim markmiðum sem sett eru í byggingarreglugerð hvað varðar brunapol byggingarhluta er hægt að nota tvær megináðferðir. Annað hvort er aðgerðum beitt til að lækka hitann í brunahólfinu eða þá að einangrun er notuð til að verja viðkomandi byggingarhluta.

Aðferðir til að lækka hitann í brunahólfinu eru nokkrar. Hægt er að takmarka brunaálagið, en það er sjaldnast talið æskilegt út frá t.d. kostnaðar- og notkunarsjónarmiðum, auk þess sem taka verður tillit til breytilegrar notkunar í rýminu innan ákveðinna marka. Annar möguleiki er að setja upp reyklosunarkerfi til að koma í veg fyrir yfirtendrun. Reyklosunarkerfi,

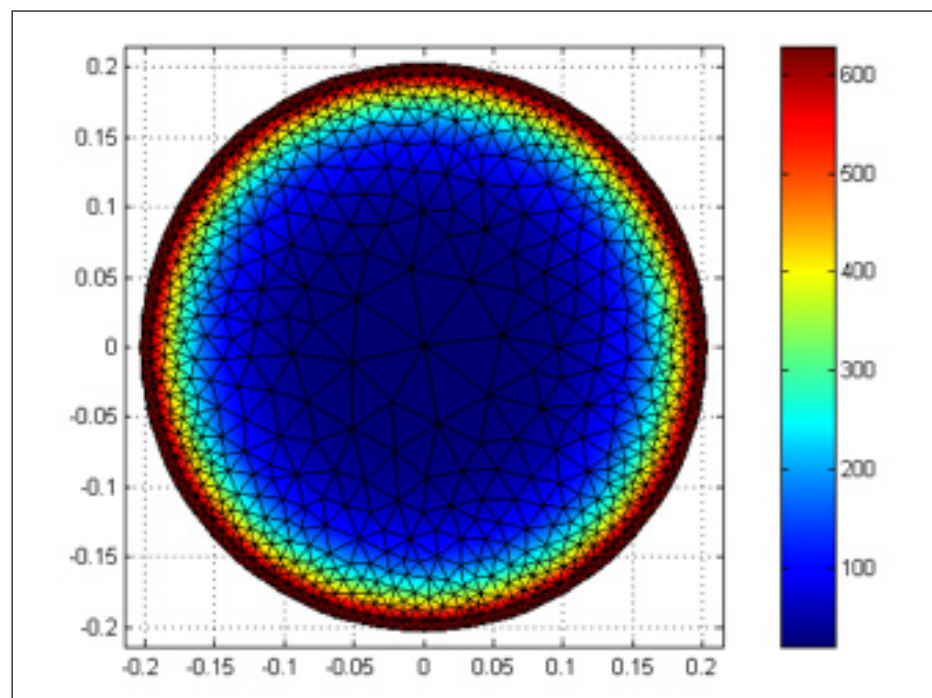
reyklúgur eða reykblásarar, eru hönnuð þannig að hiti reykklagsins haldist undir því hitastigi sem veldur yfirtendrun. Við hönnunina verður að taka tillit til opnunar fyrir aðloft, vindskilyrða og annarra þátta sem tryggja virkni kerfisins.

Vatnsúðakerfi er mjög áhrifarík leið að til að

minnka líkur á yfirtendrun. Vatnsúðunarkerfi verður að hanna með brunaálagið í huga og það brunuferli sem líklegt er að geti komið upp í brunahólfinu. Þetta er yfirleitt hægt með réttri notkun staðla um hönnun slíkra kerfa. Kerfin og staðlarnir geta þó ekki tekið til allra mögulegra aðstæðna og því verður að hugsa um möguleg brunuferli í vissum tilvikum s.s. við háar geymslusamstæður.

Kerfi sem eiga að virka þegar þörfin kallar "on demand" eins og sjálfvirk vatnsúðakerfi, reyklúgur og víftur og annar tæknilegur búnaður hefur minna en 100 % virkni. Það eru sem sagt ekki 100 % líkur á að búnaðurinn virki eins og ætlast er til þegar til hans þarf að taka. Um þetta hefur verið fjallað sérstaklega í greinum um áhættugreiningar við brunahönnun [6]. Þegar hönnunin er viðkvæm, eins og þegar mannslíf eru í húfi, eða þegar brunavarnir ráðast að miklu leyti af tæknilegum kerfum þarf að taka tillit til þessa.

Þetta er að hluta til tekið inn í þær reglur sem gilda með því að mismunandi kröfur eru settar á burðarvirki í mismunandi tegundum húsa. Við markmiðsbrunahönnun er þó hægt gera frávik frá þessum reglum í vissum tilvikum ef þess er gætt að öryggi byggingarinnar sé ekki minna samkvæmt hinni nýju hönnun, eins og sýnt hefur verið fram á í ítarlegum áhættugreiningum fyrir háhýsi [2, 3]. Mikilvægt er þá að tekið sé tillit til þeirra afleiðinga sem tæknilegu skiptin geta haft á öryggi fólks og eigna og ekki má



Mynd 4: FEM útreikningar á hita í stálsúlu með steypufyllingu, eftir 30 mínútna staðlaðan bruna.

gleyma öryggi slökkviliðsmanna. Það er til dæmis ekki sama hvort um er að ræða 5 hæða sjúkrahús eða einnar hæðar geymsluhúsnæði. Brunahönnuðurinn verður að taka þessa þætti inn í myndina ef einhver frávik eiga að vera frá stöðluðu lausninni.

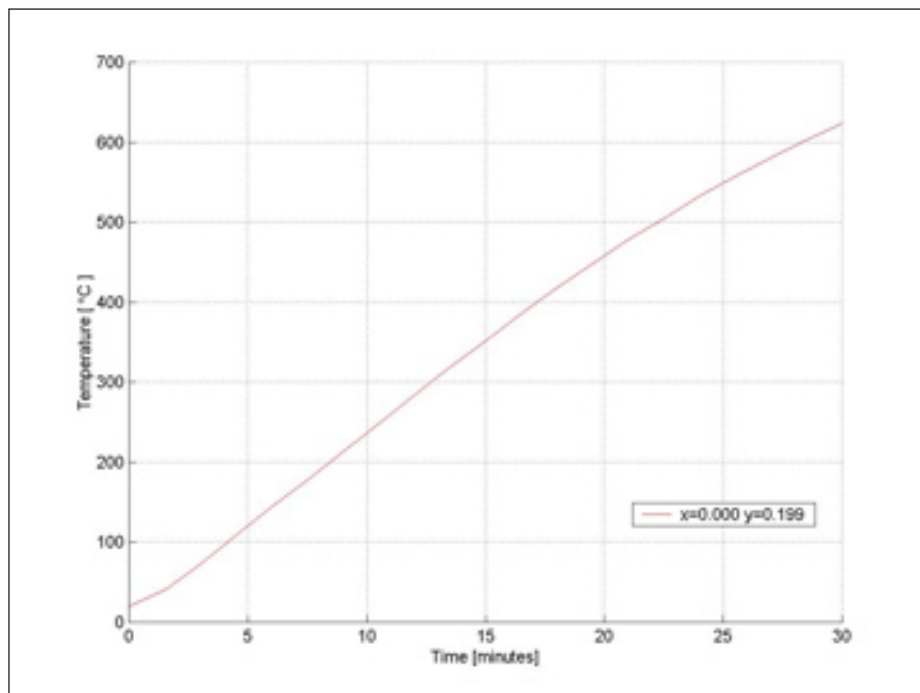
Hvernig er þá tekið tillit til sjálfvirks vatnsúðunarkerfis við brunahönnun? Sú aðferð sem beitt er í Eurocode [1] er sú að minnka brunaaðlagið í 60 % af upprunalega gildinu þegar byggingin er með vatnsúðunarkerfi. Með tilkomu sjálfvirks vatnsúðakerfis hafa kröfur á burðarvirki stundum verið lækkaðar um 30 mínútur m.v. staðlaða hitaferlið, t.d. úr R90 í R60, án þess að taka tillit til brunaaðlags. Þessi aðferð hefur ekki stöð í stöðlum eða reglugerðum, en gæti þó verið í lagi í einhverjum tilvikum. Sýna þarf fram á með útreikningum að þessi lækking krafna sé réttlætjanleg.

Val á einangrun

Á markaðnum eru margar tegundir einangrunar sem henta til að brunaverja stál. En hvaða einangrun á síðan að velja? Oft ræður kostnaður og útlit þegar einangrun er valin. Það er þó mikilvægt að taka tillit til fleiri þátta en efniskostnaðar því aðrir þættir eins og vinnukostnaður við uppsetningu, veðurþol og umhverfiskröfur geta verið ráðandi, eða jafnvel kröfur um umhverfissvottun efnisins.

Umhverfisþættir eru farnir að ráða sífelld meiru um val á einangrun í þeim löndum þar sem umhverfshugsunin er lengst komin. Víða erlendis er umhverfisstjórnun mikilvægur þáttur í byggingarverkefnum og við val á brunaeinangrun eins og öðrum byggingarefnum þarf að gæta að því að efnin uppfylli þær reglur sem um slíkt gilda. Framleiðendur einangrunarefna þurfa að sýna fram á að vörur þeirra séu umhverfisvænar bæði í framleiðslu (endurnotkun á efni og umhverfisvænar framleiðsluáðferðir), í notkun (gefi ekki frá sér hættulegar eiturgufur) og að hægt sé að endurvinna efnið þegar hætt er að nota það. Þessi hugsun er einnig að ryðja sér til rúms hér á landi, og verður þessum sjónarmiðum markvisst beitt við hönnun nýrrar byggingar Stofnunar Árna Magnússonar.

Þær tegundir einangrunar sem algengastar eru á Norðurlöndum eru plötur úr gífsi, fibersilikati og steinull, ásamt ásprautun með steinull og brunamálning. Steinullarplötur eru einfaldar í notkun og hægt að nota til að einangra allar gerðir af bitum og súlum. Helsti ókosturinn er að plöturarnar verður að hylja í flestum



Mynd 5: Hitastigið í stálinu fyrir stálsúluna í mynd 4 sem fall af tíma.

tilvikum vegna yfirborðs þeirra. Ásprautun með einangrun er hægt að nota þegar erfitt er komast að til að einangra með plötum eða til að spara tíma og fyrirhöfn. Gífsplötur eru hentugar í mörgum tilvikum þar sem saman fer einangrun og yfirborðsefni. Nauðsynlegt getur verið að nota sérstakar bruna einangrandi plötur til að ná nægjanlegu brunapoli og yfirleitt þarf færri plötur (í þykktina) af þeirri gerð til að uppfylla kröfurnar. Það getur því verið ódýrara að nota þessar sérhæfðari vörur þó að plöturarnar sjálfar séu dýrari. Þegar virkið þarf að vera veðurþolið er yfirleitt nauðsynlegt að nota plötur sem í er sement eða fibersilikat.

Þar sem hægt er að koma því við, er oft einfaldast og ódýrast að hafa stálvirki innbyggð í vegg og þök. Þetta sparar einangrun þar sem hægt er að nýta vegginn að hluta til einangrunar og bæta við einangrun þar sem þess gerist þörf. Við einangrun í veggjum þar sem ekki er farið eftir "samþykktum" lausnum frá framleiðanda einangrunarefnanna verður að sjá til þess að einangrunin sitji á sínum stað allan þann tíma sem byggingarhlutinn á að vera varinn.

Fljótleg og nokkuð hagkvæm lausn í dag er að nota brunamálningu. Til að fá jafna áferð er hægt að sprauta brunamálningunni á burðarvirkið í stað þess að mála með pensli. Brunamálning þenst út og myndar einangrunarfraud þegar hún hitnar og byrjar ferlið strax við 150-200 °C, en hún brennur svo smám saman upp þegar á tímann líður.

Til þess að brunamálningin virki þarf efnið að hafa pláss til að þenjast út og er mikilvægt að taka tillit til þess.

Til að tryggja hagkvæmni í notkun brunamálningar er mikilvægt að taka tillit til nýtni stálsins, þar sem lægra nýtingarhlutfall í brunatilfellinu þýðir að stálið þolir meiri hita. Við 70 % nýtni þolir stálið 526 °C hita, en 664 °C við 30 % nýtni [7]. Á mynd 3 sjást niðurstöður útreikninga á þykkt eldvarnarmálningar við mismunandi krítískt hitastig í stáli og F/A gildi, fyrir brunamótstöðu R30. Athuga ber að hér er um raunverulegt dæmi að ræða fyrir ákveðna tegund brunamálningar, en þykkt efnisins getur verið mjög breytileg á milli framleiðenda.

Hönnunarferlið

Einangrunarefnin og aðferðirnar þurfa að vera vottaðar og samþykktar til notkunar við þær aðstæður sem um ræðir og til þess þarf að framkvæma brunaprófani. Vottunin er síðan byggð á þessum prófunum, eða prófunum og útreikningum. Fyrir flestar vörur eru til hönnunartölur til þess að auðvelda notkunina, sem yfirleitt eru settar fram miðað við staðlaða brunafærlíð [1]. Í þessum töflum er yfirleitt tekið tillit til hitaðs þversniðs (F/A) og nýtingarhlutfalls stálsins við brunaaðlagsfléttuna. Með sérhæfðum líkönum er hægt að framkvæma útreikninga á hversu mikil einangrun er nægjanleg til að uppfylla kröfurnar og beita brunatæknilegum

Brunahönnun stálburðarvirkja

útreikningum til að reikna raun-hitaferli í viðkomandi byggingu.

Ýmsir möguleikar í hönnun

Ýmsar aðrar aðferðir eru mögulegar til að sporna við hækkun hita í stálinu, aðrar en að nota sérstaka einangrun, t.d. með því að nota steinsteypu sem hluta af brunavörnum fyrir stál. Með því er hægt að nýta sér hagstæða eiginleika steypunnar við bruna á sama tíma og hagstæðir eiginleikar stálsins eru nýttir við hina almennu burðarþolshönnun [8]. Þegar steypufyllt stálsúla hitnar vegna bruna tekur steypan upp hluta af þeim hita sem stálið hefði annars fengið vegna mikillar varmarýmdar steinsteyppunnar og lækkar á þann hátt hitann í stálinu. Stærsti kosturinn við steypuna er þó aukin stífni sem burðarvirkið fær og sá þrýstingsstyrkur sem steypan gefur. Þetta kemur best í ljós hjá steypufylltri súlu þar sem stálið hitnar fljótt upp á meðan tiltölulega kaldur steypukjarninn tekur upp sífellt meira af burðinum. Mynd 4 sýnir hitastigið í steypufylltri stálsúlu við staðlað brunuferli í 30 mínútur og á mynd 5 er hitastigið í stálinu sýnt, sem fall af tíma.

Þegar auka þarf burð steypufylltrar súlu við bruna er oft nauðsynlegt að nota steypustyrktarjárn í súlunni, en krafa um slíkt fer auðvitað eftir kröfu um brunamótstöðu (t.d. R30, R60, R90 o.s.frv.), þykkt súlu, nýtni burðarvirkisins við brunaaálagsfléttuna o.fl. Til þess að tryggja virkni þessara burðarvirkja er nauðsynlegt að ýmis deili séu rétt útfærð. Það er t.d. mikilvægt að steypan nái alla leið upp í topp á súlunni, sérstaklega þegar steinsteypan þarf að taka við þrýstikröftum við aukinn hita stálsins. Auk þess verður að bora göt á stálið til að hleypa út yfirþrýstingi frá vatni í steypunni, sem myndast þegar hún hitnar.

Lokaorð

Í dag er til þekking á greiningu á brunamótstöðu burðarvirkja og bestun á brunavörnum þeirra. Slíkar greiningar krefjast þó margvíslegra brunatæknilegra líkana og nákvæmra upplýsinga um efniseiginleika t.d. einangrunarefna. Fyrir byggingar með burðarvirki úr stáli hefur oft reynst mjög hagkvæmt að gera sérstakar greiningar á stálburðarvirkjum með tilliti til brunavarna, sérstaklega þegar hægt er að koma þeim að í byrjun hönnunar.

HEIMILDIR

- [1] Eurocode 1: Basis of design and action on structures – Part 1-2: Action on structures exposed to fire., ÍST EN 1991-1-2:2002.
- [2] Böðvar Tómasson, Björn Karlsson, Jens Bengtsson and Daði Þorsteinsson. A Probabilistic Risk Analysis Methodology for High-rise Buildings taking into Account Fire Department Intervention Time. Proceedings of the IAFSS 9th International Symposium on Fire Safety Science, Karlsruhe Institute of Technology, Karlsruhe, Germany, September 2008.
- [3] Böðvar Tómasson, Björn Karlsson, Jens Bengtsson and Daði Þorsteinsson. The Influence of Fire Department Intervention for the Fire Safety of High-Rise Buildings, Proceedings of the 7th International Conference on Performance Based Codes and Fire Safety Design Methods, Auckland, New Zealand, April 2008.
- [4] Anderberg, Y., Pettersson, O., Brandteknisk dimensionering av betongkonstruktioner – del 1, Byggeforskningsrådet, Stockholm 1992.
- [5] George Guigay, Böðvar Tómasson, Jens Bengtsson, Björn Karlsson, Jónas Elíasson, Using Computational fluid Dynamics in Fire Safety Engineering of Buildings. The 19th International Symposium on Transport Phenomena, August, 2008, Reykjavik, Iceland.
- [6] Böðvar Tómasson, Björn Karlsson, Áhættugreining brunavarna, hvað er ásættanlegt öryggi? Árbók verkfræðingafélags Íslands, 2005.
- [7] Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-2: General rules - Structural fire design. ÍST EN 1993-1-2:2005.
- [8] Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures - Part 1-2: General rules - Structural fire design. ÍST EN 1994-1-2:2005.