

Brandförlopp i stora byggnader

En fullt utvecklad, övertänd brand, är ofta utgångspunkten i bedömningen av konstruktioners brandmotstånd. Modellerna, framtagna för mindre rum, utgår ifrån att allt brännbart material i rummet brinner samtidigt, samt att det råder en likformig temperaturfördelning. Modellerna är försedda med vissa begränsningar gällande öppningar och rumsstorlek. Många byggnader har rumsvolym som vida överstiger modellernas giltighetsområde och frågan är hur dessa ska hanteras? Ju större volym ett rum har desto mindre troligt är det att den gällande definitionen av övertänd brand kan användas för att karakterisera brandförloppet. I ett pågående forskningsprojekt, finansierat av Brandforsk, undersöks möjligheten till en riskbaserad dimensioneringsmetodik för bärande konstruktioner. Denna artikel beskriver arbetet att karakterisera brandförloppet i stora byggnader och hur byggnadens storlek påverkar detta. Resultat från tidigare delprojekt om hur risk och osäkerhet hanteras i nuvarande dimensioneringsmetodik har redovisats i bland annat Bygg & teknik nr 6/2013.

Dimensionering av bärförmåga vid brand utgår för närvarande från att bedöma vilken temperatur som en konstruktion utsätts för vid en brand och avgöra hur konstruktionen hanterar den försämrade hållfasthet som en temperaturökning innebär. Branden förutsätts ha passerat övertändning, vara fullt utvecklad, och temperaturen bestäms av brandbelastningen, rummets geometri, materialegenskaper och

lufttillförsel. Ett exempel på temperatur/tid-kurvor som används är den parametriska branden i Eurocode och de välkända kurvorna som togs fram av *Magnusson & Thelandersson* på 1970-talet. Dessa kurvor är framtagna med hjälp av en enzonsmodell där det förutsätts att temperaturen är densamma i hela rummet. Brandförloppet bestäms i huvudsak av hur mycket luft som kommer in via en enda vertikal öppning. Lufttillförseln avgör brandens maximala temperatur och brandförloppets varaktighet bestäms genom att ta hänsyn både till lufttillförseln och brandbelastningens storlek. Rummets värmeledningsegenskaper har också en viss betydelse för temperaturen. På senare år har det framförts en hel del kritik mot denna förenkling av brandförloppet, exempelvis gällande antaganden om övertändning och den likformiga temperaturfördelningen. Vidare har det observerats betydande skillnader mellan de parametriska bränderna och vad som uppmätts i samband med fullskaliga försök. De empiriska uttrycken har självklart naturligtvis verifierats genom försök, dock ofta i rum som sällan överstiger 50 m². Även om Eurocode begränsar användningsområdet till rum med en yta på max 500 m² är det lätt att inse att det saknas robusta modeller och tillförlitliga metoder om hur vi ska beskriva brandförloppet i större byggnader. Som ingenjörer står vi för tillfället utan verktyg och vägledning och därför är det nödvändigt att öka kunskapen om brandförlopp i stora byggnader för att få en säker, rättvis och effektiv dimensioneringsprocess.

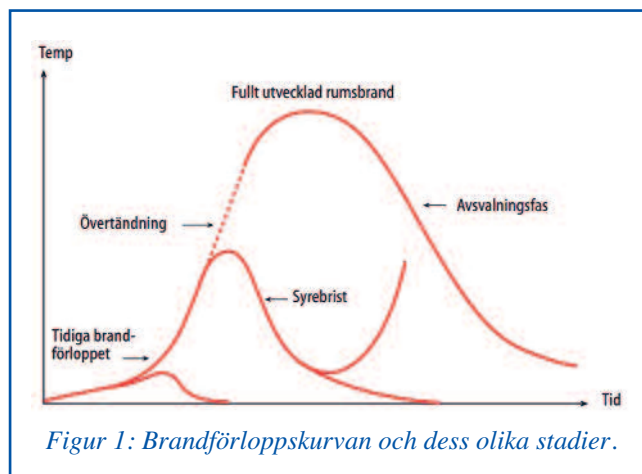
Efter antändning, medan branden fortfarande är liten, kommer den att brinna precis som den skulle göra ute i det fria. Brandutvecklingen bestäms enbart av branden själv och rummets tak och väggar påverkar inte förloppet. Senare når ett stadie där den omslutande konstruktionen, börjar påverka brandutvecklingen. Återstrålningen från varma brandgaserna som ansamlats i taknivå kommer slutligen att leda till en snabb uppvärmning och antändning av annat brännbart material i rummet. Detta förlopp, vanligen kallat övertändning, sker från början gradvist men inten-

sifieras när temperaturen i brandgaslagret når 500 till 600 °C. Efter övertändning brinner allt brännbart i rummet. Syret räcker inte till för att förbränna allt det bränsle som pyrolyserats och en stor del av förbränningen sker ute i det fria eller i andra utrymmen inom byggnaden. Brandförloppet, från antändning via övertändning till en fullt utvecklad brand kan brytas eller ändras vid varje given tidpunkt på grund av interna och externa faktorer. Exempel på sådana faktorer är typ av antändningskälla, brandens placering, fördelning av annat brännbart material, takhöjd, golvarea, konstruktionsmaterial samt olika brandskyddsinstallationer som släcksystem och brandgasventilation. Föreliggande studie fokuserar på att undersöka hur lokalens geometri (takhöjd och golvarea) påverkar återstrålningen till bränslet och brandspridningshastigheten. Om återstrålningen är liten minskas sannolikheten för ett accelererande brandförlopp och ingenjören kan behöva använda alternativa metoder (till exempel lokal brand) för att uppskatta bärförmågan. Och andra sidan, om återstrålningen är hög, är ett fullt utvecklat brandförlopp mer troligt och ingenjören bör utgå från denna förutsättning.

Brandförloppets utveckling

Brandförloppet (se figur 1) kan, oavsett lokalens storlek, beskrivas med den så kallade brandförloppskurvan där tre huvudsakliga stadier kan observeras. Efter antändning pågår det *tidiga brandförloppet*, därefter kan de ske en övertändning och branden blir *fullt utvecklad*. Slutningen börjar bränslet ta slut och *avsvalningsfasen* inleds. Det tidiga brandförloppet karakteriseras av en lokal brand och relativt låga temperaturer. När den lokala branden väl etablerat sig går det att karakterisera den fortsatta utvecklingen med fyra olika scenarier:

1. Branden kan slockna utan att ha spridit sig till annat brännbart material. Detta kan ske om den initiala branden uppkommer på en plats som är relativt isolerad från annat brännbart material.
2. Branden kan självslockna på grund av otillräcklig syretillförsel.



Figur 1: Brandförloppskurvan och dess olika stadier.

Artikelförfattare är **Fredrik Nystedt**, konsult vid Wuz risk consultancy AB och doktorand på avdelningen för brandteknik vid Lunds tekniska högskola.



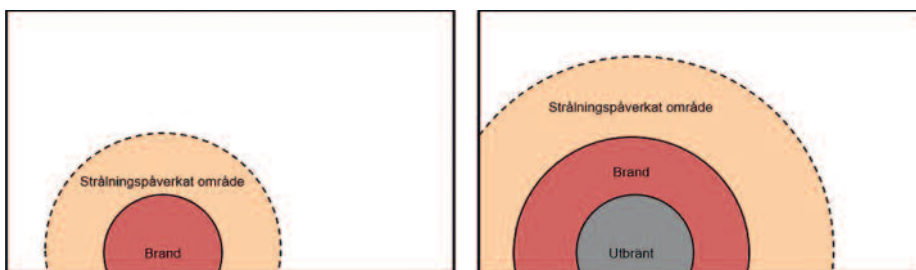
3. Branden kan sprida sig till annat brännbart material som finns i direkt anslutning till den initiala branden.

4. Branden kan bli fullt utvecklad och involvera allt brännbart material i rummet.

Det tredje och fjärde scenariot är speciellt intressant i föreliggande studie. Om brandspridningen i huvudsak sker genom antändning av brännbart material i direkt anslutning till den initiala branden är förloppet relativt kontrollerat och förutsägbart. Någon accelererande brandutveckling är inte att förvänta. Om övertändning inträffar blir den termiska belastningen på konstruktionen helt annorlunda. Det är i detta scenario som effektutvecklingen blir som störst och temperaturen som högst. För att kunna bedöma vilket av scenarierna som inträffar är det nödvändigt att förstå de bakomliggande faktorerna till varför det sker en övergång från en lokal brand till en fullt utvecklad brand, det vill säga varför en övertändning inträffar. Det är allmänt känt att övertändning anses inträffa när strålningen mot golvnivå överskrider 20 kW/m^2 , vilket sker när det övre brandgaslagret har en temperatur på cirka $600 \text{ }^\circ\text{C}$. Värdet på strålningsintensiteten är valt efter när "vanliga" material antänds, men kan variera mellan 10 till 40 kW/m^2 beroende av bränslets lättantändlighet.

Tidigare försök att karakterisera brandförloppet i stora byggnader

Flertalet forskningsinsatser har gjorts för att försöka beskriva hur brandförloppet i stora byggnader. Utgångspunkten har ofta varit hur modellerna för rumsbränder (naturligt brandförlopp) ska justeras och anpassas för att ta hänsyn till det faktum att övertändning troligen inte sker om en lokal är tillräckligt stor. Fire Research Station i Storbritannien kunde dra ett antal intressanta slutsatser i en försöksserie med bränder i en större lokal. Lokalen hade endast öppningar på en kortsida och en av slutsatserna som drogs var att förbränningen relativt snabbt koncentreras till området närmst öppningen. Syrehalten i utrymmets mitt och i de bakre delarna blir snabbt så pass låg att det inte går att underhålla en brand. Det är först när bränslet närmst öppningen börjar ta slut som branden sprider sig till lokalens inre delar. Temperaturmätningar visar en skillnad på cirka $400 \text{ }^\circ\text{C}$ mellan de främre och de bakre delarna av lokalen, vilket självfallet ändras efterhand som branden förflyttar sig. Clifton i Nya Zeeland skapade en modell där han utgår från brandförloppet i ett litet utrymme och flyttar sedan runt denna brand i lokalen med en given hastighet. Brandspridningen sker med $0,5$ till $1,0 \text{ m/minut}$ beroende av öppningsfaktorn och brandens varaktighet på en given plats bestäms av brandbelastningen (se figur 2). Flera andra forskare har gjort liknade försök och det senaste är konceptet med så kallade vandrande bränder (*travelling fires*) där Stern-Gottfried m fl utgår från en lokal brand,



Figur 2: Brandförloppets utveckling vid två olika tidpunkter.

vilken förflyttar sig runt i byggnaden med en hastighet som bestäms av i huvudsak brandbelastningen. Även om flertalet försök har gjorts för att beskriva brandförloppet i stora byggnader och redovisa modeller för hur detta kan uttryckas kvantitativt saknas det modeller som explicit tar hänsyn till lokalens storlek. En korrelation mellan sannolikheten för en fullt utvecklad brand och en lokals storlek vore ytterst värdefull vid dimensionering. Ett steg i att ta fram en sådan modell är att förstå hur brandförloppet påverkas av faktorer som takhöjd och golvarea.

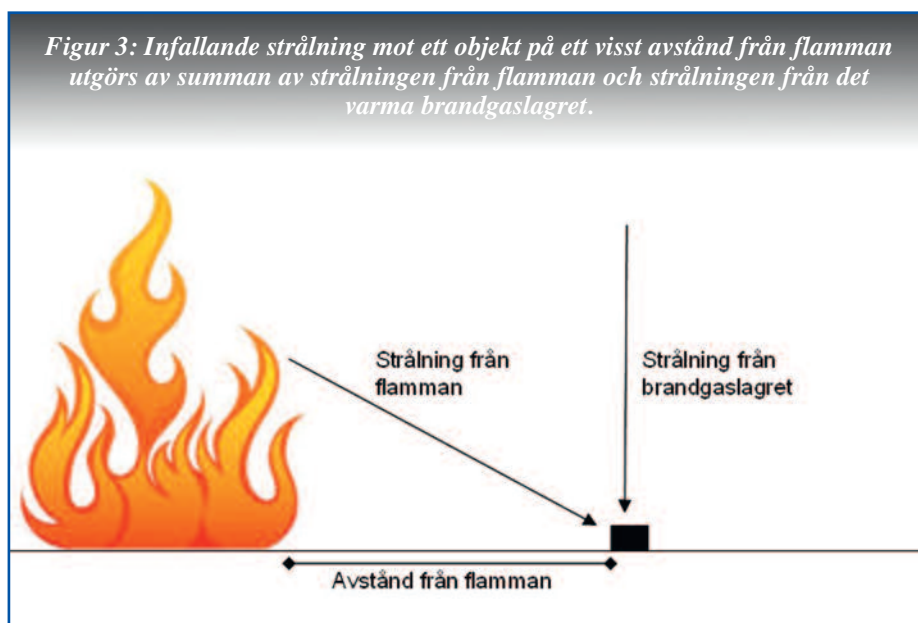
Ny modell för att beskriva betydelsen av lokalens storlek

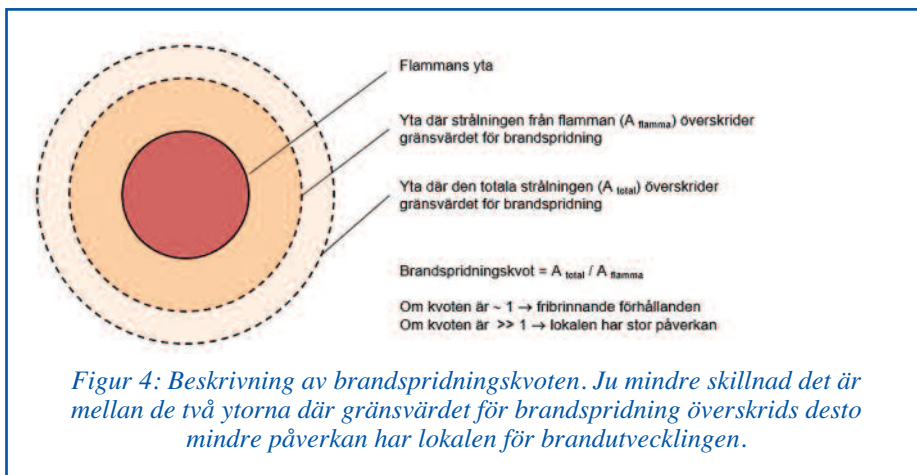
I ett pågående Brandforsk-projekt görs försök att beskriva betydelsen av lokalens storlek för brandförloppets utveckling. Med hjälp av en ny modell går det att jämföra brandförloppet hos en fribrinnande brand med det som sker inne i en lokal med varierande storlek. För en fribrinnande brand kan värmestrålningen på ett visst avstånd från flammen beskrivas enbart med kännedom om flammans temperatur och dess storlek. Själva flamspridningshastigheten är endast bränsleberoende. Om branden placeras i en byggnad kommer det övre brandgaslagret efter en tid att ge ett signifikant bidrag till värmestrålningen mot golv. Den infallande strålningen blir då summan av strålningen från flammen och strålningen från det övre brandgaslagret (se figur 3). Det är precis den skillnad som råder mellan en fribrin-

nande brand och en brand i en lokal som forskningsprojektet vill kunna beskriva. För att kunna göra en rationell bedömning för olika lokalgeometrier har en ny beräkningsmodell skapats. I modellen går det att jämföra strålningen från flammen med den totala strålningen och på så vis uttrycka lokalens betydelse för brandutvecklingen. Modellen är giltig i det tidiga brandförloppet och kan användas för riskbedömningar gällande om den initiala branden når ett accelererande förlopp med risk för att passera övertändning och bli fullt utvecklad. I modellen antas att brandspridning sker när ett visst förutbestämt gränsvärde överskrids (till exempel 15 kW/m^2) överskrids. Genom att jämföra strålningen på ett givet avstånd mellan den fribrinnande branden och branden i en lokal är det möjligt att kvantitativt kunna uttrycka lokalens betydelse för brandutvecklingen. I figur 4 på sidan 28 visas hur detta beskrivs i modellen där en brandspridningskvot beräknas med hänsyn till den yta där strålningen överstiger gränsvärdet. För den fribrinnande branden är kvoten alltid lika med 1,0 och för en brand i en lokal kommer strålningsbidraget från det övre brandgaslagret ge kvoten ett värde större än 1,0. Ju högre värde desto större påverkan har lokalens storlek för brandens utveckling.

Preliminära resultat

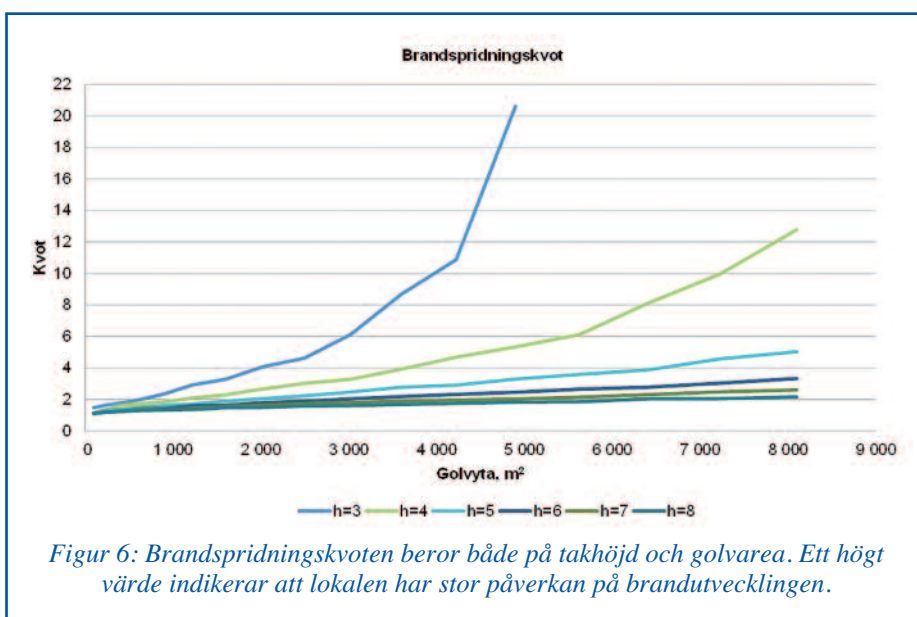
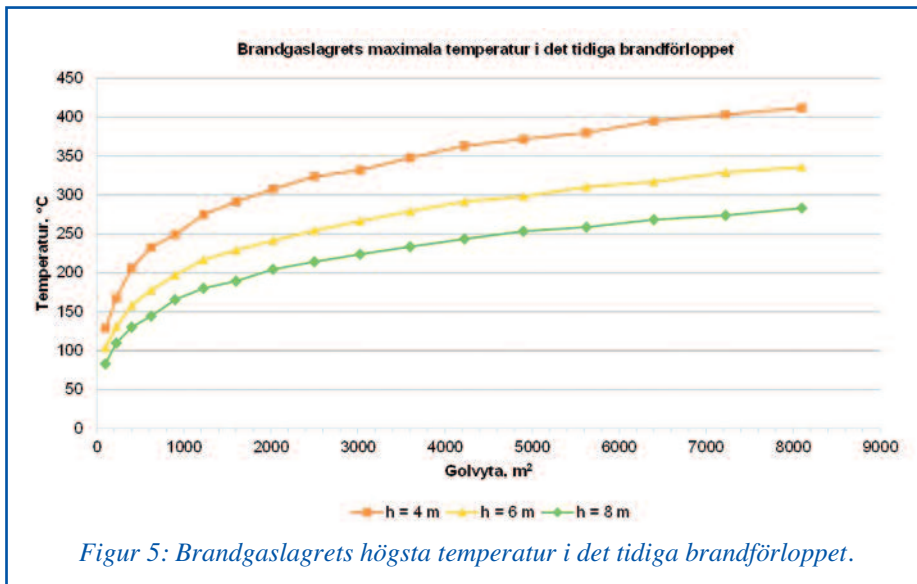
Beräkningar har hitintills genomförts för takhöjd på 3 till 10 m och golvyta på 100 till $8\,100 \text{ m}^2$. Beräkningarna är giltiga till dess att brandgaslagret når golvnivå alter-





nativt då syrehalten i rummet understiger ett värde när förbränning inte längre är möjlig. Brandgaserna når golvnivå vid olika tidpunkter beroende på lokalstorlek, vilket i sin tur innebär de studerade bränderna har en effektutveckling på 5 till 40 MW. *Figur 5* visar att den genomsnittliga temperaturen i det övre brandgaslagret i brandens tidiga skede påverkas både av takhöjden och golvytan. En större golvyta

ger en högre maximal effektutveckling och därmed en högre temperatur. Samtidigt har takhöjden en stor betydelse där en låg takhöjd ger en högre temperatur på grund av minskad värmeledning till omslutande konstruktioner och mindre rumsvolym. Brandgaslagrets temperatur är den med betydelsefulla parametern när effekten av lokalens storlek ska bedömas. Eftersom denna påverkas stort av takhöj-



den går det att dra slutsatsen att det framförallt är takhöjden som avgör hur stor påverkan lokalens geometri har på brandförloppet. Detta visas även i *figur 6* som uttrycker hur brandspridningskvoten varierar med både takhöjd och golvyta. En tydlig trend framgår där en takhöjd på 6 m eller högre har relativt konstant kvot, vilket indikerar att lokalens storlek har mindre betydelse för brandförloppets utveckling i dessa lokaler. Här är också areaberoendet ganska svagt. För lokaler med en takhöjd på 4 till 5 m eller mindre har både takhöjden och golvytan stor betydelse för brandspridningskvoten. Detta indikerar att lokalens storlek påverkar brandförloppet i större utsträckning i dessa lokaler.

Sammanfattning

Lokalens storlek har en klar betydelse för brandförloppet i en byggnad. Detta är uppenbart i mindre rum, som exempelvis i en bostad, där strålningen från de varma brandgaserna relativt snabbt ger ett accelererande brandförlopp som resulterar i en övertänd, fullt utvecklad brand. Dagens dimensionering av bärförmåga vid brand utgår från modeller som beskriver den fullt utvecklade rumsbranden. Dessa modeller har ett begränsat giltighetsområde och kan inte tillämpas lokaler större än 500 m². Flera forskningsinsatser har gjorts för att brygga det kunskapsglapp som finns mellan rumsbränder och bränder i stora lokaler. I ett pågående Brandforsk-projekt har betydelsen av lokalens storlek för brandförloppets utveckling undersökts med en analytisk modell. Preliminära resultat indikerar att takhöjden har en större betydelse för brandutvecklingen än golvytan. I lokaler med en takyta på 4 till 5 m eller mindre är risken för ett accelererande brandförlopp påtaglig och en fullt utvecklad brand trolig. Om lokalen har en takhöjd som är 6 m eller högre har lokalen en relativt liten betydelse för brandförloppet. I dessa lokaler förblir branden troligtvis lokal och modeller relaterade till en vandrande brand kan vara lämpliga att använda. ■

Referenser

- Clifton, G.C., *Fire models for large fire cells*, HERA report R4-83, March 1996.
- European Standard, *Eurocode 1: Actions on structures – Part 1 – 2: General actions – Actions on structures exposed to fire*, EN 1991-1-2, November 2002.
- Kirby, B.R., Wainman, D.E. & Tomlinson, L.N., *Natural fires in large scale compartments*, British Steel Technical, 1994.
- Magnusson, S.E. & Thelandersson, S., *Temperature-Time Curves of Complete Process of Fire Development*, Civil Engineering and Building Construction Series No. 65, Acto Polytechnica Scandinavica, 1970.
- Stern-Gottfried, J. & Rein, G., *Travelling fires for structural design – Part II: Design methodology*, Fire Safety Journal (54), 2012.