

Nytänkande dimensionering av brandskydd i höga byggnader

Dagens byggregler saknar en tydlig beskrivning av vad som förväntas av brandskyddet i en hög byggnad. Det finns inga särskilda krav på höga byggnader, undantaget några detaljer om utrymningsssäkerhet och bärförmåga vid brand. Byggreglerna pekar dock ut byggnader med fler än sexton våningsplan som sådana där det kan vara stor risk för personskada och krävas analytisk dimensionering. Dock ges inga anvisningar hur en sådan dimensionering ska ske och vilka faktorer som är särskilt viktiga när husen blir högre. Höghusproblematiken slår till redan efter sju våningsplan då utvändig insats inte längre kan genomföras. Det finns ett behov av att styra upp dimensioneringen av kommande höga byggnader så att de mest betydelsefulla aspekterna av brandskyddet tillgodoses. Denna artikel identifierar de utmaningar som projektören måste hantera gällande utrymning, skydd mot brand och brandgasspridning samt räddningstjänstens insats. Artikel redovisar några tankar till en ny dimensioneringsmetodik för höga byggnader som sätter risk i fokus.

USA började föra in särskilda bestämmelser om brandskydd i höga byggnader på tidigt 1970-tal. Tanken var att kräva mer byggnadstekniskt brandskydd när utvändig insats inte längre var möjlig. Byggreglerna ställde krav på sprinklersystem, internkommunikation, trycksatta trapphus och nödström. Skorstenseffekten (luft rörelser i schakt) och den långa utrymningstiden ansågs vara två stora utmaningar. Utifrån ett internationellt perspektiv har nyligen inträffade bränder i Madrid, Chicago, Venezuela återigen lett

till ett ökat intresse för höga byggnaders brandskydd.

I Sverige har det inte hänt särskilt mycket kring höga byggnader och avsaknaden av allmänna råd och rekommenderade lösningar är påtaglig. Fram till den senaste ändringen av Boverkets byggregler (BBR 15, juli 2008) så var kraven på bärförmåga vid brand desamma för en femvåningsbyggnad och en byggnad med 55 våningsplan. När det gäller utrymning görs ingen skillnad på en sextonvåningsbyggnad och en byggnad med 166 våningar. Visserligen har Boverket erkänt bristerna genom att i princip kräva analytisk dimensionering för byggnader med fler än sexton våningsplan. Återigen är avsaknaden av vägledning för dimensionering ett bekymmer. Vid analytisk dimensionering väljer ofta projektörer att göra jämförande analyser av en del av brandskyddet, företrädesvis utrymnings säkerheten. Ett mer övergripande angreppssätt med riskanalys är sällsynt.

Utmaningar i höga byggnader

Brandskyddet i höga byggnader måste kunna hantera ett antal utmaningar som

normalt inte finns i byggnader, där räddningstjänsten kan göra både invändig och utvändig insats. Förutsättningarna ändras när byggnaderna blir högre och några av dessa utmaningar är:

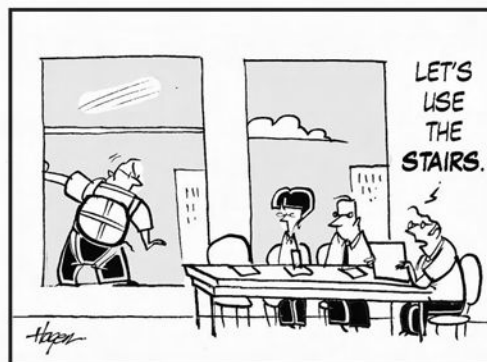
- Utrymning är endast möjlig via interna trappor eller från taket med hjälp av helikopter. Det är nödvändigt att använda sektionerad utrymning för att inte trapporna ska bli överfulla.

- Utvändig brandbekämpning är inte genomförbar och invändig insats är den enda möjligheten för räddningstjänsten att bekämpa en brand. Insatser försenas och tar längre tid, samtidigt som ledningsfunktionen står inför flera svårigheter.

- Skorstenseffekter i vertikala schakt utgör ett allvarligt problem för spridning av brandgaser.

- Det finns en potential för en stor katastrof om bärverket kollapsar vid brand.

Det finns ett antal faktorer som påverkar möjligheten till trygg utrymning från höga byggnader. Efterhand som byggnaderna blir högre ökar gångavståndet (i trappor) inom byggnaden till säker plats. Flertalet studier av människors förmåga



COPYRIGHT: CARTOONSTOCK.COM

Bild 1.

Artikelförfattare är
Fredrik Nystedt,
Wuz risk
consultancy AB,
Kävlinge.



till att utrymma på egen hand från höga byggnader visar att äldre och rörelsehindrade personer har stora svårigheter att gå ner för höga trappor.

I USA har ökad ohälsa bland befolkningen lett till halverad gånghastighet i trappor över de senaste årtiondena. Konservativt räknat är utrymningshastigheten c:a ett våningsplan per minut och ny forskning visar att trappor bör vara minst 1,4 m breda i stället för 1,2 m, för att tillåta två personer att gå bredvid varandra. Förändringarna i befolkningskaraktäristiska visar att det inte går att lita på människors förmåga att förflytta sig i trappor i lika stor grad som tidigare. Cirka fem till tio procent av befolkningen kan överhuvudtaget inte använda trappor, vilket aktualiserar behovet av utrymning med hissar. Att använda hissar för utrymning vid brand är dock en kontroversiell fråga som går mot människors normala uppfattning. En hel del forskning krävs för att kunna projektera hissar som verkligen fungerar och känns trygga i en nödsituation. I höga byggnader kan det också vara nödvändigt att sektionera själva utrymningen så att de som verkligen måste utrymma också får möjlighet att göra det utan risk för omfattande köbildning. Forsök visar att människor ogärna tränger sig in i en trappa så länge som andra människor passerar förbi. I flera länder tillämpas säkra flyktplatser i höga byggnader. På dessa platser, vilka ska finnas kring vart tjugonde våningsplan, kan de utrymmande vila och söka skydd innan de fortsätter till markplan.

Skorstenseffekten, orsakad av temperaturskillnader mellan ute- och inneluft är ett delikat problem som måste lösas för att kunna kontrollera spridningen av brandgaser i en hög byggnad. När utomhustemperaturen är lägre än innetemperaturen finns en uppåtgående luftström i schakten. Detta flöde orsakar ett inflöde av luft från de lägre våningsplanen och ett utflöde från schakten till de övre våningsplanen. Om brandgaser kommer in i schaktet under neutralplanet kommer spridning av ske till byggnadens övre delar på grund av skorstenseffekten. På sommaren, speciellt i en luftkonditionerad byggnad, finns en omvänd skorstenseffekt med identiska fast motsatta förutsättningar.

I höga byggnader finns en större risk för brandspridning mellan våningsplan eftersom räddningstjänstens insats fördröjs. Det allmänna rådet på 1,2 m vertikalt avstånd mellan fönster i yttervägg kräver en snabb räddningsinsats för att brandspridning ska undvikas. Japan har exempelvis ökat det vertikala skyddsavståndet mellan fönster i sina höga byggnader till 1,9 m, allt för att ge räddningstjänsten mer tid att kunna åtgärda branden innan den sprider sig. Bärförmågan i höga byggnader är självfallet utomordentligt värdefull för att kunna utrymma tryggt och möjliggöra en säker räddningsinsats.

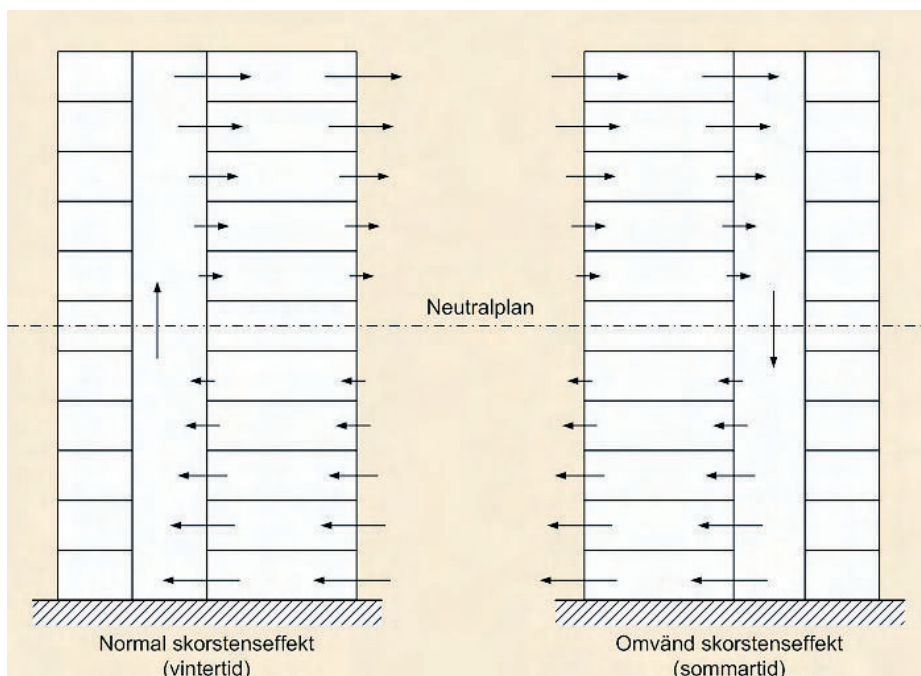


Bild 2: Skorstenseffekten innebär ett påtagligt problem för att kontrollera spridning av brandgaser i höga byggnader.

Observera att pilarna visar luftströmmarnas riktning.

BBR 15 (juli 2008) begränsar numera tillämpningen av tabell 5:821a till att gälla för byggnader med högst sexton våningsplan. För högre byggnader än så ska nödvändig bärförmåga bestämmas analytiskt, förslagsvis baserat på tiden som krävs för fullständig utrymning och brandvaraktigheten i den mest ogynnsamma brandcellen.

Räddningsinsatser i höga byggnader är komplicerade. Särskild hänsyn måste tas för att säkerställa att räddningstjänsten har tillräckliga möjligheter att genomföra en insats, samt att insatsmiljön är säker. De största utmaningarna för räddningsinsats i höga byggnader är relaterade till ledning och kommunikation, förflyttningen av personal och materiel i höjddled samt den fördröjda och förlängda insatsen. I höga byggnader bör ett utrymme utformas som ett ledningsrum, där befäl kan övervaka insatsen, samt styra och kontrollera de brandskyddsinstallationer som finns in i byggnaden. Det måste också finnas minst en brandhiss samt god tillgång till släckvatten. Om byggnaden endast har ett trapphus bör uttag för släckvatten placeras så att insats kan genomföras utan att trapphusets trycksättning sätts ur spel. I byggnader med ett trapphus är brandhissen särskilt viktig eftersom räddningsmannskapet annars måste förflytta sig upp i ett trapphus med en neråtgående ström av utrymmande människor. Ungefär hälften av trappans utrymningskapacitet förloras i så fall under den tid som räddningspersonalen förflyttar sig uppåt.

Vägledning vid analytisk dimensionering

Även om BBR inte kräver analytisk dimensionering för höga byggnader förrän de har fler än sexton våningsplan, bör ett

analytiskt angreppssätt tillämpas för alla byggnader där räddningsinsats inte längre är möjlig från utsidan. En lämplig gräns när en byggnad ska anses vara hög blir då om den har åtta eller fler våningsplan. Analytisk dimensionering innebär inte per automatik att projektören måste ge sig i kast med avancerade beräkningsmodeller. Det är betydligt viktigare att inledningsvis göra en övergripande riskanalys av byggnaden med hjälp av ett analytisk tänkande, där projektören arbetar igenom de utmaningar som är speciella för höga byggnader. I detta avsnitt ges en vägledning till ett sådant angreppssätt som kan användas företrädesvis vid projektering av höga flerbostadshus. I Malmös nya stadsdel Hyllie kommer Sveriges näst högsta bostadshus (27 våningar, 95 m) att uppföras 2008 till 2011. Brandskyddet i Point Hyllie projekteras av Fire Safety Design AB och jag bistår dem med en verifiering av utrymnings säkerheten. Det förslag till vägledning som beskrivs här har tillämpats i projektet.

All dimensionsering av brandskydd utgår från någon form av grovanalys av möjliga brandscenarier. Räddningsverkets insatsstatistik över cirka 33 000 lägenhetsbränder under de senaste tio åren visar att två tredjedelar av flerbostadsbränderna startar i själva bostaden, medan vanliga startutrymnen för den resterande tredjedelen är trapphus, källare, vindsförråd och soprum. Bränderna kan delas in i tre olika typer – lägenhetsbränder, bränder i utrymningsvägar och bränder i serviceutrymnen. Lägenhetsbränder är vanligast och också de som är svårast att förhindra. Den höga brandbelastningen i en lägenhet kräver en aktiv insats för att kontrollera eller släcka branden. Lägenhetsbränder har en stor potential att bli

fullt utvecklade och därmed utgöra ett påtagligt hot för hela byggnaden. Bränder i utrymningsvägar är vanligen anlagda eller orsakade av elfel. Brändernas utveckling kan med lätthet begränsas genom att kontrollera mängden brännbart material samt genom att säkerställa att de upptäcks tidigt. Om utrymningsvägen har brandgasventilation kan dess funktion förhållandevis snabbt återställas. Bränder i serviceutrymmen som källare, vind, förråd, soprum etc. har också en potential att bli fullt utvecklade och utgöra ett hot mot brandsäkerheten. Här krävs både aktiva och passiva system för att kontrollera risken. Källare ska inte ansluta till utrymningstrapphus och soprum placeras med fördel utomhus på säkert avstånd från byggnaden. Sammanfattningsvis är det rimligt att anta att en fullt utvecklad lägenhetsbrand utgör dimensionerande brand i ett högt flerbostadshus. Denna vägledningen för analytisk dimensionering av höga flerbostadshus fokuserar på detta scenario. Andra brandrisker ska minimeras genom förebyggande åtgärder som begränsar brandbelastningen och möjligheterna till anlagd brand.

De tekniska egenskapskraven i Förordning om tekniska egenskapskrav på byggnadsverk (BVF) gäller för alla byggnader, oavsett om de är höga eller låga. Det samma gäller de funktionskrav som finns i byggreglerna. Den stora skillnaden för höga byggnader är hur funktionskraven och egenskapskraven ska uppfyllas när

räddningstjänstens möjlighet att vara en aktiv part i brandskyddet minskar. En lämplig ändring av kraven kan vara ett tillägg som specificerar att samtliga relevanta krav ska uppfyllas utan att ta hänsyn till en omfattande räddningsinsats. Det är viktigt att poängtera att brandskyddet i höga byggnader inte kan göras helt oberoende av räddningstjänstens insats. Vanligtvis är det endast nödvändigt att de kontrollerar att brandskyddssystemen fungerar som tänkt, samt för att göra en begränsad insats för att säkerställa att branden är helt släckt. Fullständig utrymning av en hög byggnad är mycket komplicerad och bör undvikas så länge som möjligt. En av räddningstjänsten viktigare roller blir då att övervaka och kontrollera byggnadens brandskyddsinstallationer. Därför måste räddningstjänsten ges möjlighet att snabbt nå det brandutsatta våningsplanet på ett säkert sätt. Omfattande räddningsinsats ska endast krävas vid särskilt osannolika händelser som när det sker samtida och omfattande fel på flera delar av brandskyddet.

Inom kärnkraftssäkerheten finns begrepp som djupförsvarsprincipen och enkelfelskriterium. Djupförsvarsprincipen anger att säkerheten ska byggas på flera försvarslinjer, där den första linjen omfattar kvaliteten i anläggningen, dess drift och underhåll, för att förebygga driftstörningar som kan hota säkerheten. I den andra linjen finns säkerhetssystem och förberedda åtgärder för att motverka att

driftstörningar, som trots allt kan inträffa, leder till olyckor. I den tredje och yttersta linjen finns konsekvenslindrande system och förberedda åtgärder som kan sättas in om säkerhetssystemen dessutom inte skulle fungera. Enkelfelskriteriet är ett sätt att definiera kraven på säkerhetssystemens tillförlitlighet. I praktiken innebär det att önskvärd funktion alltid ska uppnås även om vilken komponent som helst i de berörda systemen inte skulle fungera. Om teorierna kring djupförsvarsprincipen används på brandskydd i höga byggnader kan de tre försvarslinjer i *bild 4 på nästa sida* identifieras.

Försvarslinjerna utgör barriärer som ska förhindra oönskade händelser och här redovisas hur ett analytiskt tänkande kan användas vid dimensionering av brandskyddet i höga byggnader. Endast skadebegränsande barriärer beskrivs, vilka alla utgår från att en tillväxande lägenhetsbrand inträffar. De förebyggande barriärerna som ska förhindra brands uppkomst bör vara desamma, oavsett byggnadens höjd.

Normalt är räddningstjänsten en effektiv barriär för att förhindra spridning av brand till annan brandcell. De senaste årens insatsstatistik visar att hela 97 procent av lägenhetsbränderna inte sprider sig utanför startbrandcellen. I höga byggnader kan räddningstjänsten inte uppnå samma höga effektivitet och brandskyddet måste kompletteras med ytterligare barriärer. Räddningstjänstens roll är fortfarande betyd-

Bild 3: Point Hyllie, Sveriges näst högsta bostadshus.



BILD: ANNEHEM FASTIGHETER AB

Första försvarslinjen

Branden ska kvarstanna inom brandcellen och inte tillåtas spridas. Lämpliga barriärer är sprinkler, brandavskiljande konstruktioner och räddningstjänstens insats.



Andra försvarslinjen

Fullständig utrymning och räddningsinsats ska vara möjlig att utföra även om första linjen fallerar. Föreslagna barriärer är brandavskiljande konstruktioner, trycksättning av trapphus samt särskilda brandhissar.



Tredje försvarslinjen

Om både första och andra linjen faller ska konsekvensen begränsas och byggnaden ska motstå ett fullständigt brandförlopp. Lämpliga barriärer är brandsektioner, tillräcklig bärförmåga och säkra platser för utrymning.

Bild 4: Tre försvarslinjer för brandskydd i höga byggnader.

sefull eftersom det alltid finns scenarier som faller utanför de dimensionerande förutsättningarna. En snabb räddningsinsats med små taktiska enheter som garanteras en säker angreppsväg är ytterst lämpligt i höga byggnader.

Aktiva brandskyddsinstallationer har felsannolikheter på fem till trettio procent och en vanlig tillförlitlighet på sprinkleranläggningar är cirka 95 procent. Enbart sprinkler klarar därför inte av att ensamt förhindra brandspridning med samma eller högre sannolikhet än vad räddningstjänsten förmår. Ytterligare brandskyddsåtgärder krävs som ett komplement till sprinklersystemet, alternativt så måste sprinklersystemet dimensioneras så att dess tillförlitlighet blir högre än den förmåga som räddningstjänsten kan uppvisa. Tyvärr finns det scenarier och mänskligt agerande som ett oflexibelt system inte kan hantera. Därför måste den 1:a försvarslinjen ha åtminstone två av varandra oberoende barriärer utöver räddningstjänsten. En av dessa är naturligtvis sprinkleranläggningen och den andra är företrädesvis brandcellsindelning. Särskild hänsyn krävs till skydd mot brandspridning via ytterväggen, framförallt mellan fönster. Föreskrivet vertikalt avstånd i byggreglerna på 1,2 m kräver normalt räddningstjänstens insats för att brandspridning ska förhindras.

Det finns alltid en risk att brandvaraktigheten är längre än brandmotståndstiden eller att det sker något annat fel i den första försvarslinjen. Om så sker ska den andra försvarslinjen säkerställa att utrymningsvägarna är tillgängliga under hela utrymningsförloppet. Återigen krävs två redundanta system för att uppfylla enkel-felskriteriet. Trycksatta trapphus i Tr1 uppfyller detta kriterium eftersom de dels har en sluss och dels en trycksättning som ska fungera oberoende av slussens funk-

tion. Barriärtänkanden används också på den tredje försvarslinjen, vars främsta mål är att minska konsekvensen om de två första försvarslinjerna faller. Användningen av vertikala brandsektioner, säkra flyktplatser etcetera ingår i den tredje försvarslinjen. Om varje barriär antas ha en felsannolikhet på tio procent så ger enkel-felskriteriet att den första försvarslinjen kommer förhindra brandspridning i 99 av 100 bränder, byggnadens utrymningsvägar kommer att vara tillgängliga i 9999 av 10000 bränder och branden kommer inte att sprida sig förbi en vertikal sektion i 999999 av 1000000 bränder.

Råd vid projektering

Projektörernas viktigaste uppgift är att välja lämpliga brandskyddssystem som tar hänsyn till byggnadens arkitektur, samtidigt som de hanterar de relevanta brandrisker som finns. I samband med projekteringen ska utrymningsstrategin och lämpliga brandmotståndstider bestämmas och förväntningar på räddningstjänstens insats specificeras. I projekteringen måste det också säkerställas att vertikal brandspridning hanteras, samt att det finns en utarbetad taktik för att minimera spridningen av brandgaser till trapphus och hissachakt. Särskild vikt ska ges till att bestämma nödvändig bärförmåga vid brand. Bärförmågan måste åtminstone tillåta fullständig utrymning av byggnaden och ge räddningstjänsten tillräcklig tid för att göra en insats för att undsätta de som kan vara instängda ovanför branden.

Det är lämpligt att endast använda brandskyddssystem som är projekterade utifrån en välkänd standard. Systemets prestanda och behov av underhåll måste vara välkänt eftersom det är projektörens uppgift att se till att brandskyddsinstallationerna får den önskvärda tillförlitligheten. I tillförlitlighetsanalyser är det kri-

tiskt att identifiera alla fel som kan inträffa med gemensam orsak. Ett exempel på gemensam felorsak är om det endast finns en styrdator för att kontrollera samtliga säkerhetsfunktioner. Om denna dator får ett hårdvarufel kan alla säkerhetsfunktioner slås ut av samma fel. Därför måste projektören göra omfattande felträdsanalyser för de tre försvarslinjerna för att ta fram det minsta antalet händelser som krävs för att orsaka en allvarlig felfunktion. Informationen från felträden måste inte innehålla kvantitativ information utan ska i första hand användas för att hitta kanske okända beroenden mellan de olika barriärerna. Det kan vara nödvändigt att en erfaren riskanalytiker tas med i projektet.

Slutsatser

Det går inte att dimensionera och projektera brandskyddet i höga byggnader utifrån förenklad dimensionering. Dagens byggregler är inte specifika för höga byggnader och BBR 5:13 anger dessutom att analytisk dimensionering bör användas för att verifiera brand- och utrymnings-säkerheten i byggnader med fler än sexton våningsplan. BBR ger dock inga anvisningar hur denna verifiering ska utföras och hur säkerheten ska värderas. Nedan följer några sammanfattande tips hur en sådan verifiering kan utföras:

- En jämförande analys är inte lämplig eftersom det inte finns någon normsättande nivå för höga byggnader i dagens byggregler. I stället föreslås en övergripande riskanalys som fokuseras på de tre försvarslinjerna, se bild 4.

- Verifieringen ska baseras på djupförsvarsprincipen och redovisa de barriärer som krävs för att uppfylla skyddsmålen. Verifieringen ska innehålla en omfattande beskrivning av förväntade händelser vid brand beroende av hur byggnadens brandskydd fungerar.

- Det är nödvändigt att beakta mänskligt beteende både när utrymningsstrategin ska fastställas, samt när underhållsinstruktioner tas fram.

- Verifieringen ska redovisas hur brandskyddssystemen är utformade för att uppnå den önskvärda tillförlitligheten. Med hjälp av felträd för respektive försvarslinje kan gemensamma felorsaker hittas och elimineras. Projektören ska ange de drift- och underhållsinstruktioner som är nödvändiga för att upprätthålla tillförlitligheten.

- Utrymningsstrategin samt insatstaktiken ska dokumenteras och verifieras. Särskild vikt bör läggas vid utrymning av personer med rörelsehinder. Räddningstjänstens åtgärder kopplat till djupförsvarsprincipen måste tydliggöras.

- Projektören ska visa att vald brandmotståndstid på avskiljande och bärande konstruktionsdelar uppfyller skyddsmålen och möjliggör fullständig utrymning samt ett fullständigt brandförlopp i en sektion. ■