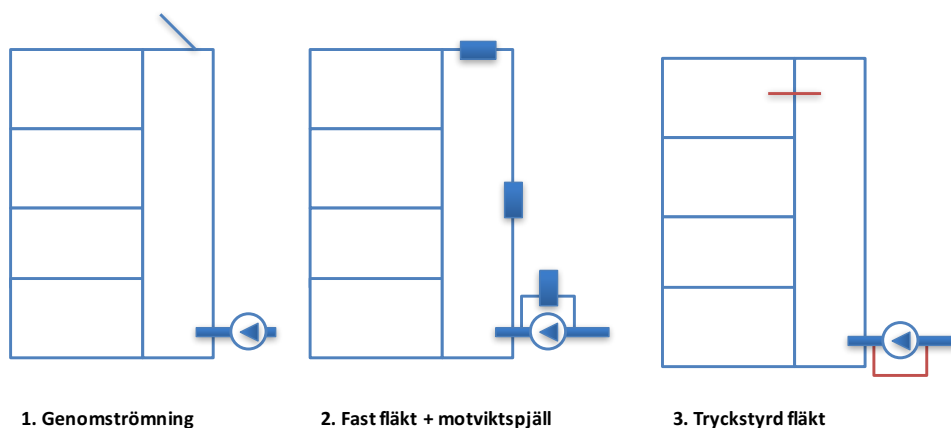


TRYCKSÄTTNING AV TRAPPHUS - RISKER OCH MÖJLIGHETER

Rapport nr 2017/01



Författare: Marcus Runefors, Cedrik Persson

Datum: 2017-10-23

SBUF 

Arbetet är finansierat av SBUF Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond

Sammanfattning

Trycksättning har blivit en vanlig metod för att begränsa spridningen av brandgaser till trapphus som används för utrymning i höga byggnader. De trapphus som är aktuella för metoden är så kallade trapphus Tr1 som används i vissa byggnader över 8 våningar. Trapphuset ska vara utformat med en sluss mellan trapphus och verksamheten och traditionellt har denna sluss varit öppen mot det fria för att undvika att brandgaser sprids in i trapphuset vid en brand på våningsplanet. Av olika skäl finns det ett önskemål om att placera trapphuset mer centralt i byggnaden och då måste en alternativ lösning till den öppna slussen användas. Då är trycksättning av trapphuset och slussen en vanlig lösning. Avsikten är att brandsäkerheten ska vara lika oavsett vilken av lösningarna som används. Utformningen med öppen sluss utgör gällande skälighetsnivå för den brandsäkerhetsnivå som ska uppfyllas då denna redovisas som allmänt råd i BBR för utformning av Tr1-trapphus.

Utformningen av det trycksatta trapphuset kan utföras på olika sätt. I projektet har tre olika utformningar undersökts och värderats i förhållande till utformning med sluss öppen mot det fria. De tre utförandekategorierna baseras på inskickade exempellösningar som svenska brandkonsulter utfört. De tre kategorierna kan beskrivas som

Typfall 1: Trycksättning med fläkt som går på konstant varvtal.

Typfall 2: Trycksättning med en fläkt styrd av tryckgivare som reglerar övertrycket.

Typfall 3: Trycksättning med fläkt som går på konstant varvtal och med motviktsspjäll som ska öppna vid stängda dörrar mot trapphus.

Det kan konstateras att det finns vissa brister i brandsäkerheten för de tre typfallen då dessa jämförs med den traditionella utformningen. De tre typfallen har analyserats med felträdsteknik och inte i något fall nås den felsannolikhet vid behov som utformning med öppen sluss definierar. I felträdsanalysen ingår felfunktioner för komponenter som ingår; dörrar, detektionssystemet, styrsystemet, fläkt(ar), tryckgivare, spjäll och strömförsörjning. Vidare beaktas inverkan av olika väderförhållanden såsom temperatur, vindstyrka och vindriktning samt förekomsten av snö.

En av svårigheterna med den praktiska utformningen av trycksättningssystem är att bli av med den luft som pumpas in för att bibehålla tryckökningen i trapphuset. För en god funktion behöver det finnas alternativa utsläppspunkter vilket kan vara svårt att åstadkomma i praktiken.

Ett annat problem som kan uppstå är att vissa fel i till exempel fläktstyrningen kan medföra stora övertryck i trapphuset vilket leder till att dörrar från våningsplanen till dessa inte kan öppnas vilket omöjliggör en utrymning.

Datum: 2017-10-23

Ytterligare en identifierad svårighet kopplar till de analyserade exempellösningarna och det är att ingen av dem jämför den slutliga säkerhetsnivån gentemot det förenklade fallet.

Ett förslag till praktisk utformning av ett trapphus som utförs med trycksättningsprincipen redovisas. Kännetecknande för detta är främst en ökad grad av redundans för att hantera fel som kan uppstå och som samtidigt kan leda till stora svårigheter för en utrymning. Utformningen har också verifierats med en felträdsanalys och visar på lägre felsannolikhet vid utrymning jämfört med traditionell utformning med öppen sluss. Men samtidigt innebär utformningen högre felsannolikhet i samband med en räddningsinsats. Den sammanlagda bedömningen pekar dock på att ett godtagbart brandskydd erhålls med den föreslagna utformningen.

Datum: 2017-10-23

Förord

Denna rapport har finansierats av SBUF Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond och utförts av Bengt Dahlgren Brand & Risk och Avdelningen för Brandteknik på LTH i samarbete med NCC, projektnummer 13210. Projektet genomfördes under 2016 - 2017 av i huvudsak Cedrik Persson, Bengt Dahlgren Brand & Risk AB samt Marcus Runefors, avdelningen för brandteknik, Lunds tekniska högskola. Lars Jensen har dessutom bidragit med en beskrivande text om reglering av trycksättningssystem.

Syftet har varit att utvärdera olika systemlösningar för ventilationssystem för trycksättning av trapphus som ska ge en god utrymningssituation. Avsikten är att projektet ska leda till robusta lösningar som på sikt kan ge lägre kostnader samtidigt som lösningarna ger ett fungerande system sett ur ett säkerhetsperspektiv.

En referensgrupp har bestått av följande deltagare:

Caroline Bernelius Cronsioe, Boverket

Martin Borgström, Borgström Installation och Byggnadstekniskt Brandskydd AB,

Tomas Fagergren, Brandskyddslaget,

Håkan Frantzieh, Bengt Dahlgren Brand & Risk (projektledare),

Henrik Greiff, Räddningstjänsten Syd,

Bengt Gåfvells, NCC Construction Sverige AB,

Lars Jensen, LTH Installationsteknik,

Anders Johansson, Boverket,

Thomas Järphag, NCC Construction Sverige AB,

Corfitz Nelsson, Sveriges Byggindustrier FoU Syd,

Nils Olsson, Bengt Dahlgren Brand & Risk

David Tonegran, Bricon

Sebastian Thuns, Räddningstjänsten Syd.

Alla medverkande samt finansiären SBUF tackas varmt för sitt engagemang i arbetet. Även de företag som bidragit med projekteringsunderlag tackas särskilt.

Malmö oktober 2017

Innehållsförteckning

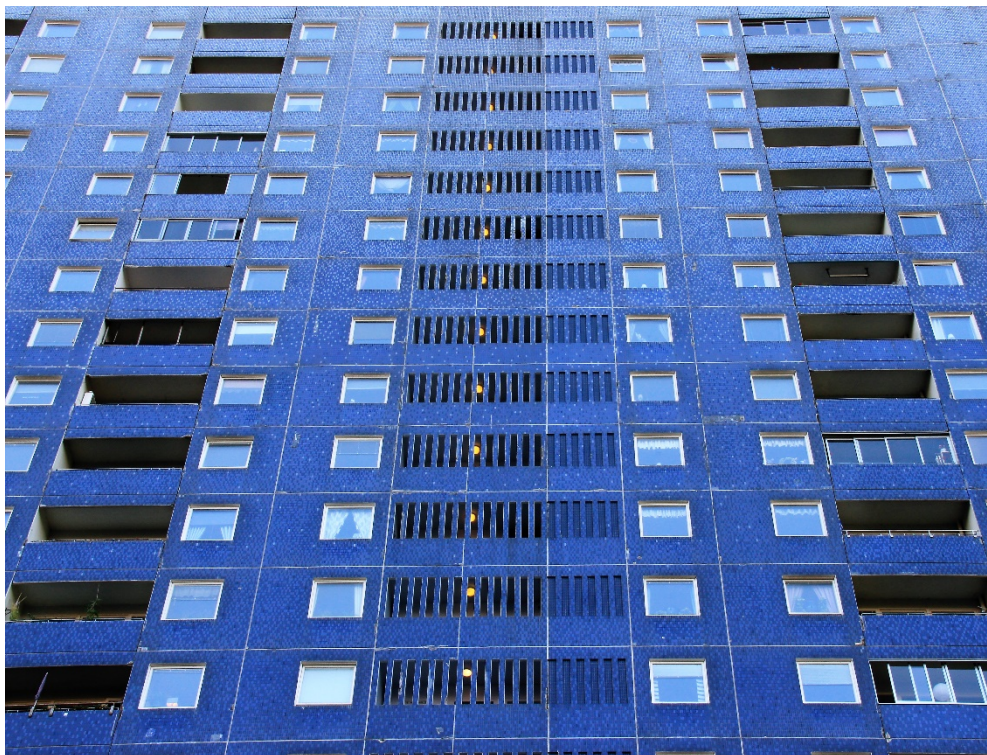
I	INLEDNING.....	9
1.1	Bakgrund.....	9
1.2	Syfte och mål.....	11
1.3	Frågeställningar.....	11
1.4	Metod.....	11
1.5	Standard för trycksättning.....	12
2	NUVARANDE TEKNISKA LÖSNINGAR.....	13
2.1	Förenklad dimensionering.....	13
2.2	Nuvarande analytiska dimensioneringar.....	14
3	UNDERLAG TILL RISKANALYSEN.....	17
3.1	Felfunktioner i komponenter.....	17
3.2	Väderpåverkan.....	18
3.3	Flöden genom dörröppning.....	26
3.4	Sannolikheter.....	28
4	RISKANALYS AV FÖREKOMMANDE TEKNISKA LÖSNINGAR.....	31
4.1	Förenklad dimensionering.....	31
4.2	Typfall 1. Trycksättning utan krav på flöde över öppen dörr.....	34
4.3	Typfall 2. Trycksättning med fläkt styrd av tryckgivare.....	35
4.4	Typfall 3. Trycksättning med motviktsspjäll.....	36
4.5	Slutsatser av riskanalysen av de studerade typfallen.....	37
5	NY TEKNISK LÖSNING AV TRAPPHUS.....	39
5.1	Beskrivning av teknisk lösning.....	39
5.2	Verifiering av föreslagen teknisk lösning.....	41
5.3	Åtgärder för befintliga hus med trycksättning av trapphus.....	43
6	SLUTSATSER.....	45
7	REFERENSER.....	47
	BILAGA 1 – BRANDGASSPRIDNING I TRI-TRAPPHUS ENLIGT FÖRENKLAD DIMENSIONERING.....	49
	BILAGA 2 – SANNOLIKHET ATT TRAPPHUSDÖRRAR STÅR ÖPPNA.....	53
	BILAGA 3 – PÅVERKAN AV HASTIGHET ÖVER DÖRRÖPPNING FÖR SPRIDNING TILL TRAPPHUSET.....	56
	BILAGA 4 – FELTRÄD.....	58
	BILAGA 5 – MODELLBASERAD REGLERING AV TRYCKSÄTTNINGSSYSTEM.....	66

I INLEDNING

I detta kapitel beskrivs bakgrunden till projektet och kortfattat om den standard som finns för dimensionering av system för trycksättning av trapphus. Vidare presenteras frågeställningarna som utreds i rapporten.

I.1 Bakgrund

I byggnader över 16 våningar, samt i kontor och liknande verksamheter (sk. Vk1) över åtta våningsplan med en enda utrymningsväg, kräver Boverkets byggregler (BBR) [1] att ett eller flera trapphus är av typen Tr1. Det innebär bland annat att trapphuset ska utföras så att spridning av brand och brandgas till trapphuset begränsas. I det allmänna rådet anges att detta uppfylls genom att trapphuset utformas med en sluss som är öppen mot det fria mellan trapphuset och våningsplanen. På det viset ska spridningen begränsas. Det finns ett antal hus som är utförda på detta sätt, t.ex. Kronprinsen i Malmö, se figur 1.



Figur 1. Kronprinsen i Malmö. Den öppna slussen syns i mitten av bilden, i detta fall avskilt från det fria med ribbor.

I många fall bedöms det dock att en sådan lösning får för stor påverkan på planlösningen och därför använder en så kallad analytisk dimensionering för att kunna välja och verifiera en annan lösning där slussen inte behöver placeras med öppning i fasaden. Den lösning som normalt väljs är att trycksätta av trapphuset relativt våningsplanet för att på så sätt hindra brandgaser från att sprida sig till trapphuset. Innan BBR19 [2] publicerades i oktober 2011 så nämndes det i BBR

Datum: 2017-10-23

att "...anordning som förhindrar brandgasspridning till trapphuset..." var ett möjligt alternativ till sluss öppen till det fria. Formuleringen i BBR tolkades ofta som att trycksättning av Tr1-trapphus var inom ramen för förenklad dimensionering. Detta var emellertid inte avsikten och därför togs den skrivningen bort i BBR19. Det innebär därför att det åligger projektören att visa att lösningen med trycksättning av trapphus är minst lika säker som en balkong öppen mot det fria, den lösning som anges som allmänt råd i BBR och som därför utgör en grundnivå för skyddet. Under projektets gång har emellertid inte någon sådan verifiering kunnat identifieras utan praxis förefaller fortfarande vara att trycksättning av trapphus ses som förenklad dimensionering.

I samband med BBR19 så infördes även en hänvisning till SS-EN 12101-6 som är den europeiska standarden för dimensionering av system för trycksättning av trapphus. Det är dock viktigt att beakta att trycksättning aldrig är ett krav enligt förenklad dimensionering och därmed finns det goda möjligheter att välja andra lösningar än den som anges i SS-EN 12101-6 om den sammantagna utformningen kan bevisas vara lika säker som en sluss öppen mot det fria.

Det kan dock konstateras att det finns en betydande osäkerhet hos många inblandade parter om hur väl systemen för trycksättning av trapphus fungerar i praktiken och många har uttryckt en tveksamhet inför detta, se t.ex. [3]. En genomgång av faktiskt inträffade bränder har visat att bland tio inträffade bränder har endast ett fall kunnat identifieras där trycksättningssystemet har uppfyllt sitt syfte [4]. I en omfattande felträdsanalys utförd av New Zealand Fire Service Commission [5] anges en övre gräns för tillförlitligheten för väl underhållna och provade trycksättningssystem på ca 80%. Med den grad av underhåll och provning som man förväntar sig i Nya Zeeland räknar man med en verklig tillförlitlighet på ca 50%. Det är också viktigt att beakta att trycksättning av trapphus skiljer sig från många andra aktiva system genom att en felfunktion inte nödvändigtvis ger samma utfall som om systemet inte hade varit installerat utan det är inte ovanligt att situationen blir avsevärt värre eftersom trycken vid vissa fel kan bli så höga att utrymningen hindras.

Av de omkomna vid bränder 2009–2015 i Sverige finns tio fall (1,3% av de omkomna) där personer har omkommit på grund av rökspredning till trapphuset. Av dessa är sju dödsfall kopplade till den sk. Rinkebybranden 2009 [6] där en familj försökte utrymma genom ett rökfyllt trapphus och omkom på grund av detta. Det tyder på att skyddet av trapphuset har en mindre påverkan på risken att omkomma vid brand, men det ska dock beaktas att rökfyllnad av ett trapphus medför en risk för stora konsekvenser i höga hus. Rinkebybranden föranledde Regeringen att ge i uppdrag åt Boverket att utreda hur skyddet av trapphus kunde ökas. Trycksättning var en av lösningar som övervägdes, men kostnaden per räddat liv för denna uppgick till 2 860 Mkr [7] vilket är mer än 100 gånger högre än de 24 Mkr som används för att värdera ett statistiskt liv inom vägtrafiken [8] och andra områden.

BBRAD3 [9] anger trycksättning av brandslussen vara ett alternativ till trycksättning av hela trapphuset om det ger ett tillräckligt skydd. Detta bör dock användas med stor försiktighet

eftersom en öppen dörr mellan sluss och våningsplan kan medföra att hela våningsplanet trycksätts relativt trapphuset och då ökar risken för brandgasspridning till trapphuset betydligt. Just denna utformning har inte analyserats närmare i denna rapport då den redan från början bedöms vara mindre tillförlitlig.

1.2 Syfte och mål

Syftet med studien är att utvärdera olika använda systemlösningar för trycksättning av trapphus för att på det viset belysa om osäkerheter finns rörande deras förmodade tillförlitlighet. Målet är att välja ett antal vanliga systemlösningar och analysera hur robusta dessa är mot olika påfrestningar (t.ex. komponentfel, vindpåverkan) samt ge förslag på en teknisk lösning som ger motsvarande säkerhet som förenklad dimensionering.

1.3 Frågeställningar

Denna rapport avser att besvara följande frågeställningar

1. Vilka typlösningar för trycksättning av trapphus förekommer idag?
2. Motsvarar säkerhetsnivån förenklad dimensionering?
3. Kan trycksättning ge en motsvarande säkerhetsnivå som förenklad dimensionering och i så fall hur?

1.4 Metod

Projektet inleddes genom att samtliga medlemmar i branschorganisationen för brandkonsultföretag, BRA, kontaktades och ombads att skicka in exempel på alternativa utformningar av Tr1-trapphus, dvs. sådana som utförts utan sluss öppen mot det fria. Totalt inkom sjutton olika tekniska lösningar. Dessa grupperades i några olika så kallade typlösningar.

Typlösningarna analyserades med avseende både på fel inom systemen (t.ex. komponentfel) och yttre påverkan (t.ex. vind, temperatur och snö). Motsvarande gjordes även för ett Tr1-trapphus utformat enligt förenklad dimensionering. Detta genomfördes i form av en felträdsanalys.

Om typlösningarna inte ger motsvarande säkerhetsnivå som förenklad dimensionering så utarbetas en mer robust teknisk lösning och även denna analyserades på motsvarande sätt som typlösningarna och den förenklade dimensioneringen.

För att skapa underlag till felträdsanalysen användes en rad kompletterande metoder. Till exempel undersöktes sannolikheten att dörrar var uppställda i olika verksamheter, se bilaga 2. Vindpåverkan analyserades med hjälp av programmet ContamW version 3.2 som är utvecklat av NIST. Möjligheterna att hålla undan brandgaserna med hjälp av lufthastighet genom en dörröppning såväl som den faktiska hastighetsprofilen vid samma öppning analyserades med hjälp av FDS version 6.1.1.

1.5 Standard för trycksättning

BBR 5:526 anger att om trycksättning av ett utrymme är en förutsättning för brandskyddets utformning ska systemet, med hög tillförlitlighet, utformas så att brandgasspridning till det utrymmet begränsas. Allmänt råd till BBR 5:526 anger att utformning av system för trycksättning kan verifieras med SS-EN 12101-6.

Kraven i SS-EN 12101-6 omfattar krav inom följande områden:

1. Krav på de flöden och tryck som systemet ska kunna upprätthålla i olika systemfall, baserat på hur trapphuset förväntas användas (typ av utrymning samt räddningsinsats)
2. Krav på tillförlitlighet (redundans avseende fläkt, strömförsörjning m.m.)
3. Krav på provning
4. Krav på underhåll

Kraven på flöden i en dörröppning anges som en hastighet till antingen 0,75 m/s eller 2 m/s beroende på om räddningstjänsten förväntas göra en insats via trapphuset eller ej. Kravet på övertryck är antingen 50 Pa eller 10 Pa beroende på om dörrar är öppna eller stängda. Flöden och tryck ska upprätthållas vid olika kombinationer av öppna dörrar baserat på hur trapphuset förväntas användas vid ett brandtillbud. Den erforderliga öppningskraften för dörrar får enligt standarden inte överstiga 100 N.

Om byggnaden är försedd med både trycksatta trapphus och icke trycksatta trapphus eller icke trycksatta hisschakt krävs, enligt standarden, antingen en tryckavlastning av utrymmet mellan dessa trapphus/hisschakt eller en avancerad flödesanalys av byggnaden som helhet.

Kraven på tillförlitlighet inkluderar att systemet ska ha två fläktar, en sekundär kraftkälla, att fläkten ska dimensioneras för 50% större flöde genom dörröppningar än beräknat samt att systemet ska ta hänsyn till ytterligare 15% extra kapacitet för läckage inom ventilationskanaler. Utrymmet mot vilket övertrycksättning sker ska förses med vindoberoende tryckavlastning. Trycksättningen ska ske med s.k. "multiple injection". Multiple injection eller flera inflödesöppningar har utvecklats för att man upplevde för stora tryckskillnader längs byggnadens höjd när man hade fläkten i toppen och öppen dörr till det fria i bottenplan vilket beror på tryckfall i trapphuset [10].

2 NUVARANDE TEKNISKA LÖSNINGAR

Projektet omfattar dels den förenklade dimensioneringen enligt allmänt råd i BBR och dels typlösningar baserade på de alternativa utformningar av Tr1-trapphus som inkommit från medlemmar i branschorganisationen för brandkonsultföretag, BRA, inom projektet. Dessa utgör inte de enda möjliga utformningarna av trycksättning av trapphus men utgör en lägesbild av hur systemutformningarna i stora drag har sett ut i Sverige de senaste åren.

2.1 Förenklad dimensionering

BBR anger för varje föreskrift krav som måste uppfyllas och ett allmänt råd som anger hur man bör eller kan utforma en byggnad så att den aktuella föreskriften uppfylls. Kravet på Tr1-trapphus styrs av BBR 5:245.

5:245 Trapphus Tr1

Trapphus Tr1 ska utformas med avskiljande konstruktion så att brand- och brandgasspridning till trapphuset begränsas.

Allmänt råd till BBR 5:245 anger att ett Tr1-trapphus kan utformas genom att den avskiljande konstruktionen utförs i klass EI 60 och att trapphuset endast har förbindelse med andra utrymmen genom ett utrymme som är öppet till det fria. Dörrar mellan trapphus och sluss kan utformas i klass E 30-S_mC. Dörrar mellan sluss och bostad eller lokal bör utformas i klass EI 60-S_mC om dörren vetter direkt mot bostaden/lokalen och i klass EI 30-S_mC om den vetter mot en korridor eller liknande i egen brandcell.

Vilken typ av öppning mot det fria som krävs för att slussen ska anses vara ”öppen mot det fria” anges inte i det allmänna rådet. I detta arbete har en 50% öppenhetsgrad av den sida som vetter mot det fria antagits. Detta ligger i linje med vad som avses vara öppna utrymmen inom andra områden, t.ex. öppna garage.

Trycksättning av trapphus, som alternativ till sluss som är öppen till det fria, nämns inte i det allmänna rådet till BBR 5:245 och denna systemlösning utgör därmed inte förenklad dimensionering. Trycksättning av trapphus är därmed en analytisk dimensionering som måste verifieras i enlighet med kraven i BBR 5:112 samt i Boverkets allmänna råd om analytisk dimensionering (BBRAD). BBR 5:256 anger dock kraven på trycksättning om detta är en förutsättning för brandskyddets utformning.

5:256 Trycksättning av utrymme

Om trycksättning av ett utrymme är en förutsättning för brandskyddets utformning ska systemet, med hög tillförlitlighet, utformas så att brandgasspridning till det utrymmet begränsas.

Allmänt råd till BBR 5:256 anger att trycksättningen kan verifieras med SS-EN 12101-6 och att systemet bör utformas för att fungera i minst 30 minuter under förutsättning att strömförsörjningen till byggnaden fungerar. Det i det allmänna rådet angivna kravet på strömförsörjning är därmed lägre än det krav som ställs på strömförsörjningen i SS-EN 12101-6.

2.2 Nuvarande analytiska dimensioneringar

2.2.1 Insamlade exempellösningar

Inom projektet har sjutton exempelrapporter inkommit varav fjorton omfattade trycksättning av trapphus (övriga tre omfattade trycksättning av hisschakt). De fjorton rapporterna som gällde trapphus studerades vidare.

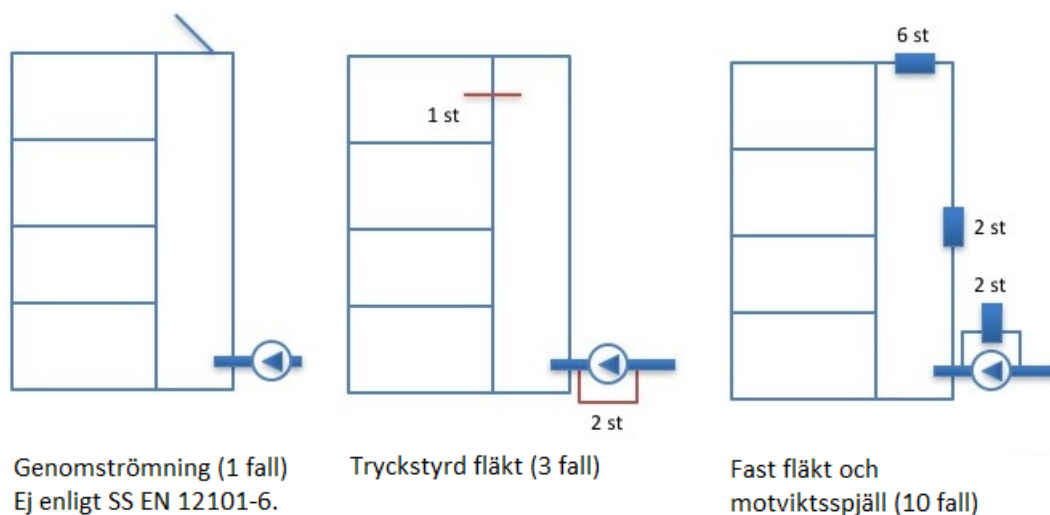
Av de fjorton rapporterna hänvisade tretton stycken till SS EN 12101-6 men endast en följde hela standarden. De övriga använde primärt dimensionerande tryck och flöde enligt standarden. Av de som hänvisade till standarden använde samtliga designkraven för trapphus som används för utrymning. Ingen använde designkraven för trapphus som används för räddningstjänstinsats. Designkraven för trapphus som används för räddningstjänstinsats är generellt högre än för trapphus som används för utrymning då dörrar antas vara öppna i ett senare skede av branden vid räddningstjänstinsats.

Fem rapporter hade någon form av automatisk tryckavlastning av brandplanet för att säkerställa flödet genom dörröppningen. Övriga som angav ett designkriterium med flöde förbi dörröppningen förlitade sig på att fönster mot brandplanet skulle gå sönder och därmed möjliggöra flödet.

Av de fjorton lösningarna var en baserad på genomströmning av luft genom trapphuset, tio stycken var baserade på en fast fläkt samt motviktsspjäll och tre stycken var baserade på en tryckstyrd fläkt. För fallen med motviktsspjäll var sex lösningar med spjället placerat på tak, två stycken med spjället placerat högt upp på yttervägg och två stycken med spjället placerat i en förbigång förbi fläkten. För fallen med tryckstyrning var en lösning att tryckgivare placerats mellan trappa och sluss och två att tryckgivare mätte tryckstegringen över fläkten. Se figur 1.

En lösning inkom som skilde sig avsevärt avseende metod och systemuppbyggnad då den byggde på termiska undertryck i intilliggande hisschakt. I övrigt var metodiken och systemuppbyggnaden i exempelrapporterna snarlika och variationen som fanns mellan dem var avseende hur de olika kapacitetsfallen öppna respektive stängda dörr ska hanteras. För att avgränsa studien har de snarlika lösningarna studerats vidare då de används av majoriteten av brandkonsultbolagen och därmed representerar de lösningar som är vanligast i Sverige idag.

Datum: 2017-10-23



Figur 2. Erhållna lösningar baserad på 13 rapporter innehållande 6 olika lösningar. Den blå rektangeln visar placering av motviktsspjäll och rött streck placering av tryckgivare. Antalen som anges är antalet inkomna rapporter som hade respektive lösning.

Förutom det enda fall där standarden följdes i sin helhet hade inga av de analyserade exemplen dubbla fläktar eller sekundär kraftmatning. Inga av de studerade fallen verifierade den analytiska dimensioneringen av 5:245 att använda trycksättning istället för sluss öppen till det fria vid utformning av Tr1-trapphus.

2.2.2 Identifierade typlösningar

Utifrån de inkomna lösningarna togs tre systemlösningar fram som analyserades vidare: en fläkt som håller ett övertryck i trapphuset vid stängda dörrar (typfall 1), tryckstyrd fläkt (typfall 2) samt fast fläkt med motviktsspjäll (typfall 3). Typfall 1 valdes då det kan utföras med lägre fläktkapacitet än de övriga fallen vilket förändrar risken för höga övertryck i trapphuset vid stängda dörrar. Typfall 2 och 3 valdes för att de användes i majoriteten av fallen samt kan utföras så att SS EN 12101-6 uppfylls.

Typfall 1: Trycksättning med en styck fläkt som går på konstant varvtal. Fläkten är hårdvarustyrd från brandlarmscentral vid aktiverad rökdetektor. Dimensioneringskriterium 20–80 Pa övertryck inom trapphuset, inget krav på flöde över öppen dörr.

Typfall 2: Trycksättning med en styck fläkt styrd av tryckgivare som reglerar övertrycket och fläktens flöde. Fläkten är styrd via apparatskåp med hårdvarukopplad insignal från brandlarmscentral vid aktiverad rökdetektor. Tryckgivare är placerad mellan sluss och trapphus. Dimensioneringskriterier avseende tryck och flöde över öppen dörr enligt SS EN 12101-6.

Datum: 2017-10-23

Typfall 3: Trycksättning med en styck fläkt som går på konstant varvtal och med motviktsspjäll som ska öppna vid stängda dörrar mot trapphus. Fläkten är hårdvarustyrd från brandlarmscentral vid aktiverad rökdetektor. Motviktsspjäll är placerat på tak. Dimensioneringskriterier avseende tryck och flöde över öppen dörr enligt SS EN 12101-6.

I riskanalysen förutsätts respektive typlösning innehålla en fläkt samt brandskyddad strömförsörjning men inte en sekundär kraftmatning. Detta uppfyller inte SS EN 12101-6, som ställer krav på två separata fläktar samt sekundär kraftmatning, men valdes då det var så tretton av de fjorton fallen var utförda. Påverkan på sannolikheten för att trapphuset inte kan användas för utrymning om typfallen hade utförts enligt SS EN 12101-6 diskuteras i kapitel 4.5.

I riskanalysen förutsätts utrymningsdörrarna vara utåtgående i utrymningsriktningen. Detta väljs då det i många fall inte är möjligt att uppfylla kraven på föreskriftsnivå i BBR 5:335 med inåtgående dörrar. Påverkan på sannolikheten för att trapphuset inte kan användas för utrymning om typfallen hade utförts med inåtgående dörrar diskuteras i kapitel 4.5.

3 UNDERLAG TILL RISKANALYSEN

I detta kapitel presenteras hur felfunktioner i komponenter i systemlösningen kan påverka trapphusets möjlighet att bibehålla brandskyddet och hur vind, temperatur och snö kan påverka de olika systemlösningarna. Denna data används sedan som underlag för riskanalyserna i kapitel 5 och 6.

3.1 Felfunktioner i komponenter

De komponenter som ingår i aktuella typlösningar och som kan medföra felfunktioner är:

- Dörrar
- Detektionssystemet
- Styrsystemet
- Fläkt(ar)
- Tryckgivare
- Spjäll
- Strömförsörjning

Flertalet komponenter ovan medför felfunktionen ”ingen trycksättning av trapphuset” om de felfungerar/fallerar. Om mer än en komponent fallerar kan brandgasspridning ske till trapphuset. En utformning enligt SS EN 12101-6 ställer höga krav på redundans så att felfunktionen ”brandgasspridning till trapphuset” inte ska uppstå, till exempel genom krav på två redundanta fläktar samt sekundär kraftkälla.

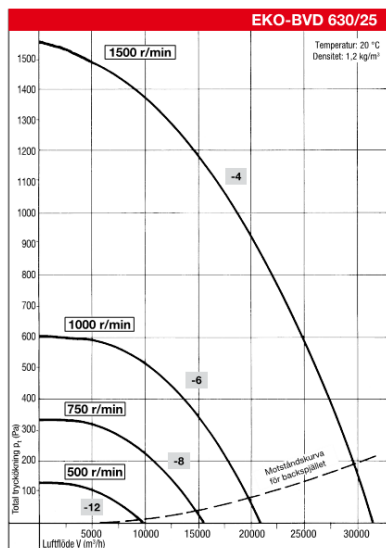
Till skillnad från de flesta brandtekniska system så finns i fallet med trycksättning dock ännu ett allvarligt scenario vid felfunktion: för höga övertryck i trapphuset medför att utåtgående dörrar mot trapphuset ej kan öppnas. Detta scenario uppstår vid exempelvis felfungerande spjäll (felfunktion ”öppnas ej”) i kombination med fungerande fläkt. Då de dimensionerande flödena enligt SS EN 12101-6 är höga skapas för höga övertryck vid denna typ av felfunktion när trapphuset är tillstängt. Samma scenario kan uppstå vid fallerande tryckgivare.

Storleken på övertrycket beror på aktuell fläkts kapacitetkurva. Kapacitetskurvan skiljer sig mycket från fläkt till fläkt. Det är dock svårt att hitta fläktar med hög kapacitet och lågt maximalt övertryck. Ett typiskt exempel på en fläktkurva för en fläkt i den storleksordning ett högt trapphus kräver om kapaciteten dimensioneras enligt SS EN 12101-6 framgår av figur 3. Vid $8 \text{ m}^3/\text{s}$ ($28\,800 \text{ m}^3/\text{h}$), ett flöde vid öppna dörrar, kan den generera ca 250 Pa. Vid en halvering av flödet genom att dörrar stängs kan den generera över 1100 Pa. Vid stängda dörrar och till exempel ett kärvande motviktsspjäll kan därmed övertryck på över 1000 Pa uppstå i trapphuset med denna fläkt.

Datum: 2017-10-23

Vid för höga övertryck kommer utrymning, även av det brandutsatta planet, att förhindras.

Hur respektive komponent i respektive systemlösning påverkar risken för att utrymning ej kan ske, dels genom att brandgaser sprids till trapphuset och dels genom för högt övertryck, analyseras i avsnitt 5.



Figur 3. Exempel på ett kapacitetsdiagram för en brandgasfläkt. Vid $8 \text{ m}^3/\text{s}$ ($28\,800 \text{ m}^3/\text{h}$), ett flöde vid öppna dörrar, kan den generera ca 250 Pa. Vid en halvering av flödet genom att dörrar stängs kan den generera över 1100 Pa.

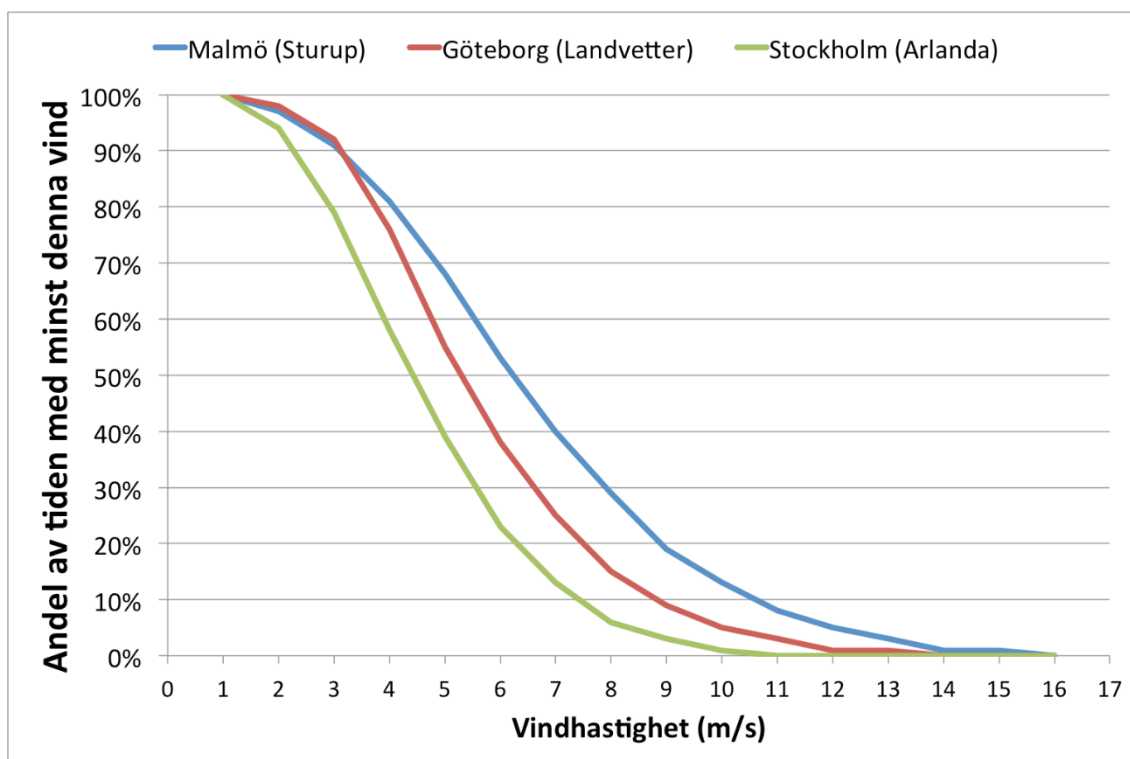
3.2 Väderpåverkan

I detta avsnitt analyseras yttre påverkan på trycksättningssystemet i form av vädereffekter. Först analyseras påverkan av vindinducerade tryck och därefter beskrivs kortfattat om temperaturrens påverkan. Avsnittet avslutas med en diskussion om dimensionerande värden och förslag på lämpliga väderscenarier.

3.2.1 Vindpåverkan

Trycksättning av trapphus används uteslutande i höga hus där huset ofta är betydligt högre än sin omgivning vilket gör att det inte finns något som bromsar vinden. Detta kan generera stora övertryck på den vindutsatta sidan samt undertryck på övriga sidor samt på taket. I figur 4 framgår det hur stor del av tiden som vindhastigheten överstiger ett visst värde för landets tre storstadsregioner. Siffrorna är baserade på timvisa mätningar utförda av SMHI under åren 2006-2015 [11]. Den byggnad som har använts i beräkningarna motsvarar en kontorsbyggnad med ca. 30 våningar med öppen planlösning och realistiska läckageytor.

Datum: 2017-10-23



Figur 4: Andel av tiden som vinden uppgår till minst en viss hastighet i de tre storstadsregionerna

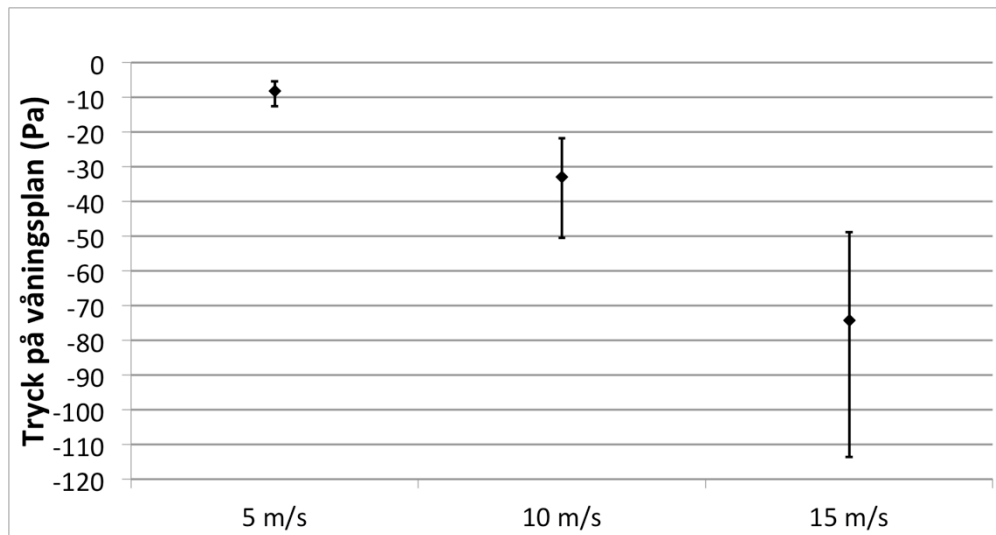
Vinden påverkar trycksättningssystemet på flera olika sätt. Till exempel kan trycksättningssystemet påverkas direkt genom vindpåverkan av tryckstyrningar, vind på själva fläktarna eller på tryckhållningsspjäll. Det är i dessa sammanhang viktigt att tänka på att atmosfärstryck är en teoretisk produkt som inte finns på något ställe runt en byggnad. Istället är det mer relevant att tänka i termer av tryckskillnader. Om byggnaden är försedd med en tryckstyrd fläkt som ska hålla 50 Pa övertryck i trapphuset relativt ”det fria” så kommer den att försöka uppnå denna tryckdifferens. Om det skulle vara vindstilla så skulle denna tryckskillnad likna den mellan trapphuset och våningsplanet. Om tryckstyrningen sitter på den vindutsatta sidan så kan trycket i ”det fria” vid en vind på 10 m/s redan vara 60 Pa vilket gör att fläkten försöker uppnå 110 Pa relativt det ursprungliga värdet. Om det sedan vid injusteringen råkade blåsa åt andra hållet så blir skillnaderna mellan det injusterade och det faktiska värdet ännu större. Problemet är identiskt för så kallade tryckhållningsspjäll.

En fördel med installationer på taket är att det alltid råder undertryck där om man håller sig på tillräckligt avstånd från olika hinder på taket. Om injusteringen sker utan vind så medför vind att övertrycket i trapphuset minskar, men om injusteringen sker vid stark vind så kan trycket i trapphuset bli högre än tillåtet.

Vinden påverkar även indirekt genom att skapa ett undertryck på våningsplanen. I nedanstående figur 5 så återfinns trycket på våningsplanen för olika vindhastigheter utan aktiverad trycksättning av trapphus. Trycket är även beroende av vindriktningen i förhållande till

Datum: 2017-10-23

byggnaden. Felstaplarna indikerar det högsta respektive lägsta trycket på våningsplanet som uppnås vid någon vindriktning. Punkten indikerar medelvärdet.

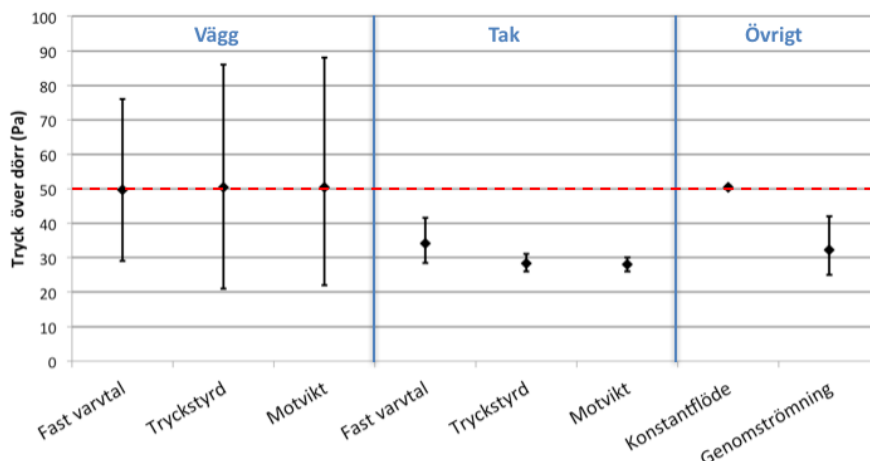


Figur 5: Tryck på våningsplan relativt vindstilla för olika vindhastigheter. Viss variation mellan våningar finns, men dessa är små. Ovanstående anger medelvärde för våningarna. Felstaplarna indikerar maximalt respektive minimalt tryck för olika vindriktningar.

Som framgår ovan har vinden begränsad påverkan på trycket på våningsplanen vid låga hastigheter, men ökar därefter snabbt med ökande vindhastigheter. För 10 m/s, som överstigs 8% av tiden i Malmö, kan undertrycket på våningsplanet vara 50 Pa. Detta gör att tryckskillnaden över en dörr som är dimensionerad för 50 Pa tryckskillnad istället får en tryckskillnad på 100 Pa vilket normalt är den maximalt tillåtna tryckskillnaden. Till detta ska läggas obalanser, termik och direkt vindpåverkan på trycksättningssystemet enligt nedan och då är det lätt att inse att det kan skapa stora tryckskillnader över dörrar som kan medföra att utrymning hindras.

De olika typlösningarna som återfinns i kapitel 3 är olika känsliga för vindpåverkan vilket framgår av nedanstående diagram, figur 6.

Datum: 2017-10-23



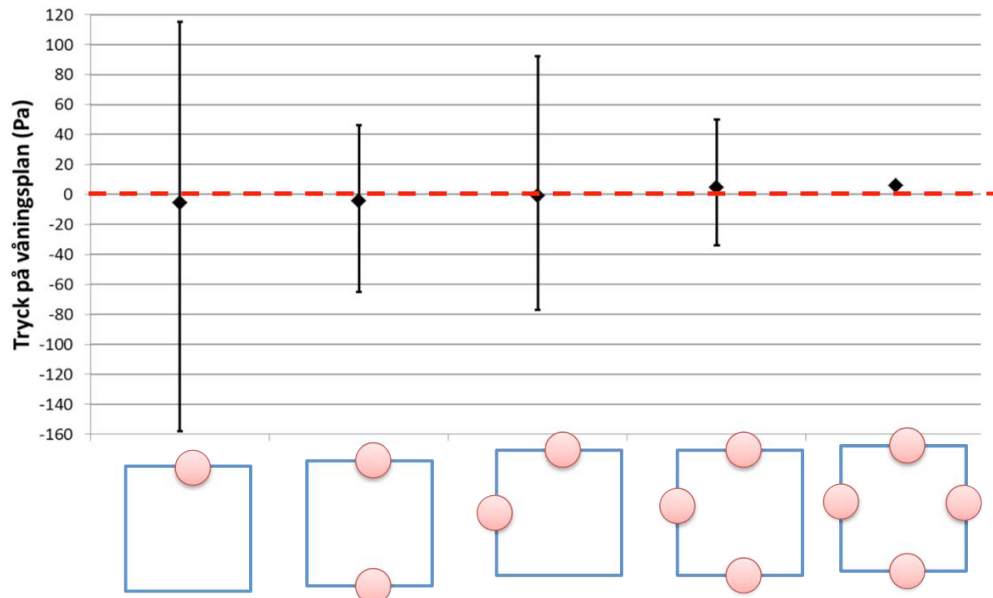
Figur 6: Tryck över dörr vid aktiverat trycksättningssystem för olika systemlösningar vid 5 m/s. Felstaplarna anger variationen beroende på vindriktning relativt byggnaden.

Påverkan på de flesta systemlösningar ligger på storleksordningen $\pm 20-30$ Pa. Det ska dock noteras att beräkningarna endast är utförda för en vind på 5 m/s eftersom högre vindhastigheter inte är möjliga att modellera eftersom det medför positiva tryckskillnader i flödesriktningen genom fläktar vilket normalt inte finns med i diagrammen med fläktkurvorna. Detta innebär att fläktarna sänker lufthastigheten istället för att höja den som normalt. Det kan dock noteras att en dubbling av vindhastigheten till 10 m/s generellt medför en ökning av alla tryck med en faktor 4.

Den enda systemlösning som är helt opåverkad av vindriktningen är ett konstantflödesspjäll som säkerställer att det alltid är ett visst flöde genom fläkten. Detta flöde motsvarar helt enkelt det som samtliga dörrar läcker vid en tryckskillnad på 50 Pa. Denna systemlösning klarar dock inte standardens krav på flöde genom en dörröppning.

När det gäller flöde genom en dörröppning, som normalt ska uppgå till 0,75 m/s, innebär det ca 1,5 m³/s luft på våningsplanet som måste kunna lämna våningsplanet. Det sätt som standarden anger är luckor i fasaden som ska öppnas i samtliga fyra väderstreck. I figur 7 nedan framgår det varför det är viktigt att de öppnar åt alla fyra väderstreck.

Datum: 2017-10-23



Figur 7: Tryck på trapphuset relativt våningsplanet vid vindhastighet på 10 m/s med luckor i vissa riktningar (indikerade med röd cirkel)

Som framgår ovan så skapar luckor åt alla fyra håll en mycket stabil tryckprofil på våningsplanet (längst till höger i figur 7). I många praktiska fall är det emellertid omöjligt att uppnå. Ett trapphus i ett flerbostadshus har sällan tillgång till alla fyra fasadytorna. I öppna kontorslandskap är det teoretiskt möjligt men det mycket svårt att säkerställa att inget kontorsrum byggs där luckan är placerad. Det skulle i så fall kunna hindra tillgången till tryckavlastningen om dörren till kontorsrummet var stängd.

Det är tydligt utifrån ovanstående att vind kan ha en mycket stor påverkan på ett trycksättningssystem. Detta har inte beaktats i någon av de 17 insända trycksättningsrapporterna, vilket i sig är problematiskt. Rimligt är att göra på motsvarande sätt som för utetemperatur nedan och ange en percentil för vindhastigheten. Vid en dimensionering för en vindhastighet som bara överstigs i 10% av fallen så skulle det medföra en vindhastighet på 8 m/s för Malmö och Göteborg och 6 m/s i Stockholm. Skulle man följa rekommendationerna i den amerikanska standarden NFPA 92A [12] så skulle 1%-vinden användas vilket skulle motsvara 11 m/s i Malmö, 10 m/s i Göteborg och 8 m/s i Stockholm.

Det är också så att det finns vissa vindriktningar som både är vanliga och som står för de starkaste vindarna, t.ex. vindar från sydväst i Malmö och detta kan också beaktas. Det är också teoretiskt möjligt att anpassa utformningen av byggnaden och trapphuset för att reducera påverkan [13], men detta får normalt för stor påverkan på byggprojektet för att vara en realistisk möjlighet.

3.2.2 Påverkan av utetemperatur

Om en dörr till det fria i bottenplan och en högst upp öppnas upp (och det är varmare inne än ute) så flödar luft in längst ner och sedan ut högst upp. Detta är den så kallade skorstenseffekten som orsakar ett undertryck längst ner i trapphuset och ett övertryck högst upp.

Vid en innetemperatur på 20°C och en utetemperatur på -10°C så kan tryckskillnaden på ett 30 vånings kontorshus uppgå till ca 140 Pa med 70 Pa undertryck längst ner och 70 Pa övertryck längst upp. Detta gäller öppningar mot det fria, men tryckprofilen inne i byggnaden är betydligt mer komplicerad.

En anledning är att trycket faller över flera byggnadsdelar så dessa 70 Pa återfinns inte över någon dörr eller liknande utan delar faller över respektive dörr och fasaden så att dessa tillsammans summerar till 70 Pa. Täta byggnadsdelar tar en större del av tryckfallet än otäta.

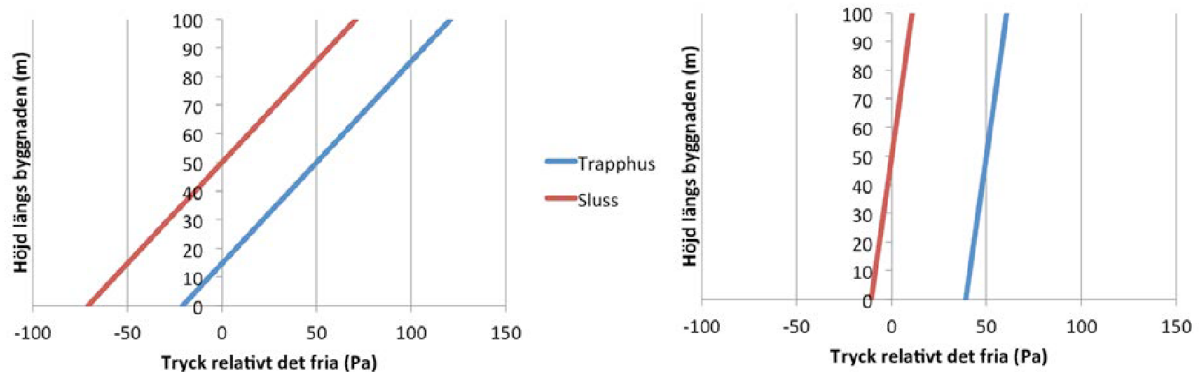
Dagens höga hus byggs dessutom normalt med mycket höga energikrav och har därmed täta fasader. Detta gör att fasaden ofta är betydligt tätare än bjälklagen som har t.ex. hissar, ventilationskanaler och andra genomföringar. Detta reducerar delen av tryckskillnaden som faller mellan två volymer som läcker mycket vertikalt relativt horisontellt (t.ex. trapphus, hisshallar och våningsplan). Det gör att tryckskillnaden över dörrar långt ner i byggnaden är betydligt mer lik de högt upp jämfört med vad man hade kunnat förvänta sig utifrån enkla handberäkningar. Detta förhållande har också observerats vid många driftsättningar av författarna.

Trycksättningssystem är ju aldrig de enda systemen i en byggnad och samverkan med andra tekniska system kan vara mycket komplex. Som exempel kan nämnas rökavluftning av ventilationssystemet som flyttar upp neutralplanet för den termiska stigkraften till yttertakets vilket gör att det skapas ett undertryck i hela byggnaden som ökar desto längre ner i byggnaden man kommer.

Generellt kan dock hissar och (i många fall) ventilationssystem ses som håligheter i bjälklaget som ofta är mycket gynnsamma för att hantera den termiska stigverkan. Detta beror på att tryckgradienten relativt det fria då blir samma i både trapphuset (som naturligtvis har en mycket stor vertikal öppning) och det anslutande utrymmet. Detta innebär att tryckskillnaden mellan de båda utrymmena är samma längs hela byggnadshöjden.

Nedanstående diagram, figur 8, visar tryckprofilerna relativt det fria för två olika temperaturer. I detta fall ansluter trapphuset till en sluss som innehåller en hiss, men det skulle även kunna vara ett våningsplan som innehåller mycket vertikala läckage som hissar, otäta genomföringar och ventilation. Trapphuset är försett med trycksättning som på något sätt är utförd så att det håller ett 50 Pa högre tryck än normalt.

Datum: 2017-10-23



Figur 8 Tryckprofil i trapphus och sluss relativt det fria vid +20°C inne och -10°C respektive +15°C ute. Notera att tryckskillnaden mellan trapphus och sluss hela tiden är 50 Pa.

Detta innebär att även om låga temperaturer medför en stor absolut skillnad i tryck mellan utrymmen inne (trapphus och sluss) och det fria så är den relativa skillnaden mellan dessa alltid 50 Pa. Detta gäller under förutsättning att läckaget vertikalt är mycket större än horisontellt vilket gäller i många fall – t.ex. en sluss som inkluderar hissar.

Sammanfattningsvis kan sägas att temperaturpåverkan är viktigt, dock inte så viktig som enkla handberäkningar ger sken utav. Utifrån insända exempelrapporter kan det dock konstateras att denna effekten är något som beaktas i samtliga beräkningar. Den kvarstående frågan är dock vilken percentil av temperaturen som ska användas eftersom detta skiljer sig mellan beräkningarna. Om man skulle, på motsvarande sätt som för vinden ovan, använda sig av den temperatur som bara understigs i 10 % av fallen så skulle det medföra en dimensionerande temperatur på -4°C i Malmö, -5°C i Göteborg och Stockholm. Om istället en temperatur som bara understigs i 1% av fallen används på är motsvarande värden -10°C för Malmö, -12°C för Göteborg och Stockholm.

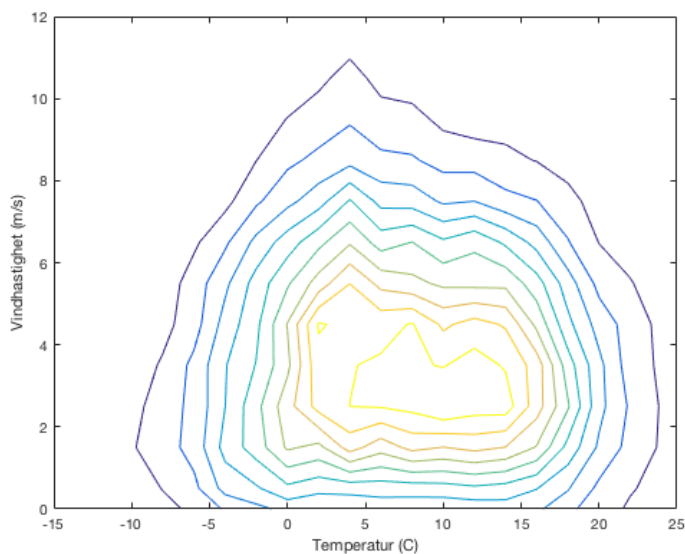
Många av de insända verifieringarna använde lägre temperaturer, men percentilen bör vara samma för vind och temperatur eftersom det är svårt att motivera att den ena påfrestningen ska klaras vid fler tillfällen än den andra.

3.2.3 Dimensionerande temperatur och vind

Som diskuterats ovan så kan både utetemperatur och vind ha en stor påverkan på trycksättningssystemet och därför bör båda beaktas för att den samlade lösningen ska vara robust. För dimensioneringen så måste en viss percentil väljas för att erhålla dimensionerande värden, d.v.s. en viss andel av tiden som designkriterierna kommer att överskridas. Det är inte nödvändigt att samma percentil gäller både i förhållande till för högt och för lågt tryck utan olika percentiler kan väljas baserat på vilket scenario som bedöms vara mest riskabelt för den aktuella tillämpningen. Det är i detta sammanhang viktigt att beakta att det finns en korrelation

Datum: 2017-10-23

mellan vind och temperatur vilket medför att det är ovanligt med både starka vindar och en låg temperatur vilket framgår av figur 9. Elipserna i denna figur är percentiler så i den två-dimensionella fördelningen. Det kan konstateras att det sällan blåser som starkast när temperaturen antingen är väldigt hög eller väldigt låg. Det är därför inte lämpligt att välja percentiler som om de båda variablerna vore oberoende eftersom det skulle ge allt för konservativt resultat.



Figur 9: Fördelning av temperatur i Malmö mellan 2008 och 2015.

Lösningen ska uppfylla kriterierna över hela konturytan, men normalt bedöms nedanstående tre scenarier vara dimensionerande, tabell 1. Dessa är baserade på att välja en percentil på en av variablerna (temperatur eller vind) och kombinera med medelvärdet för den andra. Siffrorna är baserade timmedelvärde för perioden 2008-2015 och hämtade från SMHI [11]. Perioden är baserad på när samtliga mätstationer har kvalitetsgranskade data tillgängliga.

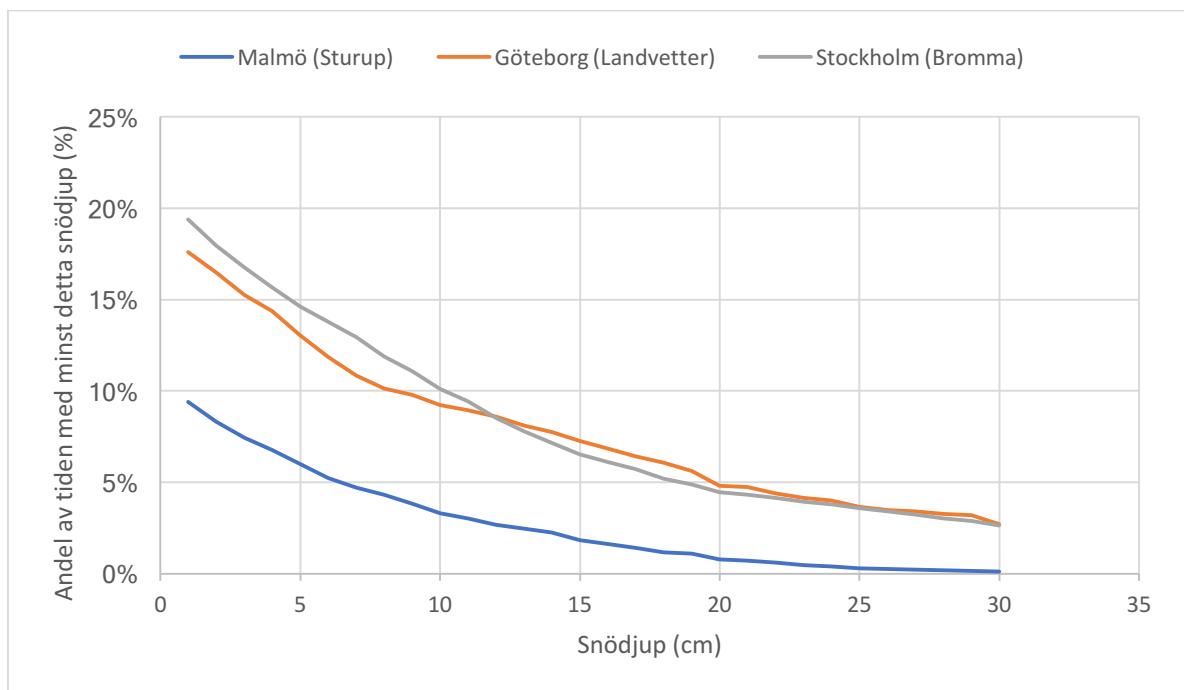
Tabell 1: Dimensionerande väderdata för de tre storstadsregionerna

Stad	Percentil	Scenario 1 – Låg temperatur		Scenario 2 – Stark vind		Scenario 3 – Hög temperatur	
		Temp.	Vind	Temp.	Vind	Temp.	Vind
Malmö	90%	-4°C	4 m/s	8°C	8 m/s	20°C	4 m/s
	99%	-10°C	4 m/s	8°C	11 m/s	27°C	4 m/s
Stockholm	90%	-5°C	3 m/s	7°C	6 m/s	20°C	3 m/s
	99%	-12°C	3 m/s	7°C	8 m/s	27°C	3 m/s
Göteborg	90%	-5°C	4 m/s	7°C	8 m/s	20°C	4 m/s
	99%	-12°C	4 m/s	7°C	10 m/s	27°C	4 m/s

3.2.4 Snö

En sluss öppen mot det fria (förenklad dimensionering) kan även blockeras av snö ifall dörren är utåtgående från planet mot slussen. I figur 10 framgår det hur stor del av tiden som snötäcket överstiger ett visst värde för våra tre storstadsregioner. Siffrorna är baserade på dagliga mätningar utförda av SMHI under åren 1947 - 1995 [11].

Trapphus utförda med trycksättning påverkas inte av snö. Vid tryckstyrning finns ingen öppning mot det fria och då tryckavlastning sker med motviktsspjäll placeras dessa generellt i kombination med huv.

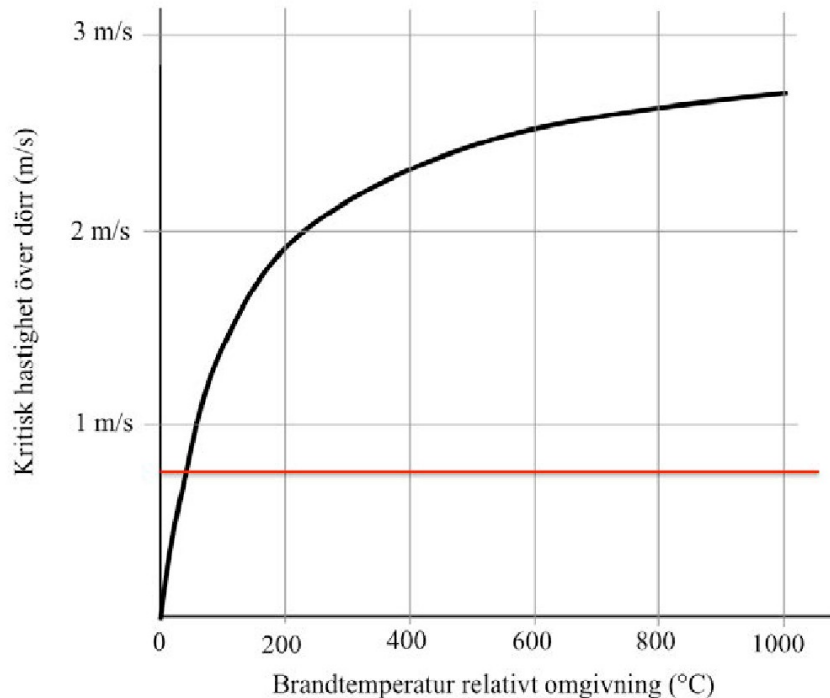


Figur 10: Andel av tiden som snötäcket uppgår till minst ett visst djup i våra tre storstadsregioner

3.3 Flöden genom dörröppning

Principen med en viss lufthastighet över öppningen avser att reducera spridningen av brandgaser till trapphuset genom att skapa ett mottryck. Principen för detta utvecklades i USA på 80-talet och finns beskrivet av t.ex. Tamura 1989 [10]. Forskningen visade att betydligt högre hastigheter krävs än de som har använts i insända utformningar. Normalt behövs en lufthastighet på minst 2 m/s, figur 11. Låga hastigheter ger endast en marginell effekt.

Datum: 2017-10-23

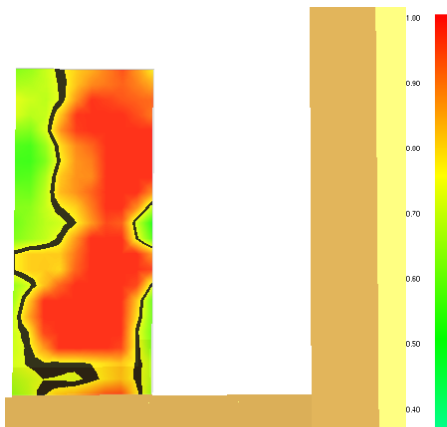


Figur 11: Kritisk hastighet för att hindra spridning av brandgaser genom en dörröppning, baserad på [10]. Hastigheten 0,75 m/s är markerad med röd linje i figuren.

Som framgår av figur 11 så klarar en hastighet på 0,75 m/s (vilket normalt är den hastighet som krävs enligt SS EN 12101-6) endast att hålla borta en mycket begränsad temperaturökning, teoretiskt ca 45°C över omgivningstemperaturen. Detta beror på ett kvadratisk samband mellan flödeshastighet och tryck. I figuren är dessutom tröghetskrafterna i takplymen inte beaktade vilka kan vara betydande om branden inträffar inte allt för långt från dörren och då takhöjden är låg. Figuren är dock mycket förenklad och är baserad på en likformig temperaturfördelning i hela brandrummet, vilket kan stämma för väl omblandade förhållanden.

För att närmare analysera nyttan av flödet har en simulering med den lufthastighet som har använts i inskickade typlösningar, 0,75 m/s, genomförts i FDS och dessa redovisas i bilaga 3. Slutsatsen av dessa är att flödet ger en viss positiv effekt, särskilt i stora rum, men i de analyserade scenarierna är den förlängda tid som utrymning kan utföras i trapphuset maximalt ca 30 sekunder.

I en annan simulering som genomfördes av själva trapphuset så noterades betydande skillnader i hastighet över dörröppningen, se figur 12. Detta beror på flödesmönstret i trapphuset. Den svarta ytan i figuren motsvarar hastigheten 0,75 m/s som också är medelhastigheten. Innanför denna yta kan hastigheten lokalt vara upp till 1 m/s och utanför så kan den vara ner till 0,5 m/s.



Figur 12: Hastighetsfördelning i ett tvärsnitt av dörröppningen med hänsyn till strömning i trapphus.

En medelhastighet över en fullt öppen dörr på 0,75 m/s motsvarar ett flöde på ca 1,4 m³/s. Detta kan tillföra branden betydande mängder syre och det skapar också något som ofta benämns som ”flow paths” vilket innebär luft rörelser som kan medföra snabb brandspridning och även stor rökspridning på våningsplanet.

I dagens täta byggnader så är även ovanstående flöde för stort för att kunna hanteras genom läckage och det innebär normalt krav på tryckavlastningsluckor. Enligt standarden för trycksättning ska dessa placeras i fasaden i alla fyra väderstrecken. Att luckor finns i alla riktningar är, som framgick av avsnitt 3.2.1, helt avgörande för att inte för stora vindinducerade tryckdifferenser ska skapas. I praktiken är det dock väldigt svårt att åstadkomma. I flerbostadshus så finns det lägenheter åt alla håll och även i öppna kontorslandskap är det väldigt svårt att undvika att något rum byggs som blockerar den tänkta tryckavlastningsluckan under byggnadens livslängd.

Sammantaget ger detta att det föreslagna flödet i standarden ger vissa fördelar avseende förhindrandet av brandgasspridning, men det introducerar även vissa problem som behöver beaktas och hanteras vid projektering.

3.4 Sannolikheter

I riskanalysen används följande sannolikheter som underlag för beräkningarna, tabell 2. De används under de förutsättningar och med de avgränsningar som diskuteras i detta kapitel samt under respektive analys.

Där analysen visar att sannolikheten för felfunktion är betydligt högre för en systemlösning än för referensfallet så analyseras inte alla källor till felfunktion i detalj.

I analysen ingår även parametrar som analyseras kvalitativt.

Datum: 2017-10-23

Tabell 2: Sannolikhetsdata som används i analysen.

Komponent/händelse	Sannolikhet	Referens
Vind ≥ 3 m/s	90 %	SMHI [11]
Vind ≥ 10 m/s	4 %	SMHI [11]
Vind ≥ 14 m/s	0,3 %	SMHI [11]
Vindriktning vinkelrätt mot dörr placerad i öppen sluss	12,5 %	1/8 av ett varv, vind i 68–112° vinkel mot fasaden
Vindriktning mot öppen sluss	50 %	-
Snötäcke ≥ 10 cm, södra Sverige	12 %	SMHI [11]
Snötäcke ≥ 20 cm, södra Sverige	6 %	SMHI [11]
Sluss utförd med ribbor/med rektangulär öppning	50/50	Antagande i analysen
Dörr mellan brandplan och sluss är öppen	1%	Bilaga 2
Dörr mellan sluss och trapphus är öppen	1%	Bilaga 2
Tryckgivare fallerar	10 %	New Zealand Fire Service Commision [5]
Motviktsspjäll öppnar ej (kärvar/sönder)	13 %	New Zealand Fire Service Commision [5]
Pressostat fallerar	15 %	New Zealand Fire Service Commision [5]

4 RISKANALYS AV FÖREKOMMANDE TEKNISKA LÖSNINGAR

I detta kapitel presenteras de resultat som framkommit av felträdsanalysen. De systemlösningar som analyseras är dels lösningen enligt förenklad dimensionering och dels de tre typlösningar som framkommit av de inom projektet inkomna verifieringarna, se avsnitt 2.2. Samtliga felträd redovisas i bilaga 4.

Toppändelserna utgörs av:

- Utrymning förhindras från brandutsatt våningsplan genom för hög öppningskraft för utrymningsdörr
- Utrymning förhindras från ej brandutsatt våningsplan genom för hög öppningskraft för utrymningsdörr
- Utrymning förhindras från ej brandutsatt våningsplan genom att brandgaser har spridits till trapphus

De analyserade lösningarna utgörs av:

Förenklad dimensionering: Trapphuset nås via sluss som är öppen mot det fria.

Typlösning 1: Trapphus trycksatt med en fläkt mot stängd sluss. Inget krav på flöde över öppen dörr mellan sluss och trapphus.

Typlösning 2: Trapphus trycksatt med en fläkt mot stängd sluss. Tryckstyrning av fläkten reglerad fläktens flöde vid öppna respektive stängda dörrar mellan sluss och trapphus.

Typlösning 3: Trapphus trycksatt mot stängd sluss med en fläkt. Motviktsspjäll i trapphusets topp reglerad trycket i trapphuset vid öppna respektive stängda dörrar mellan sluss och trapphus.

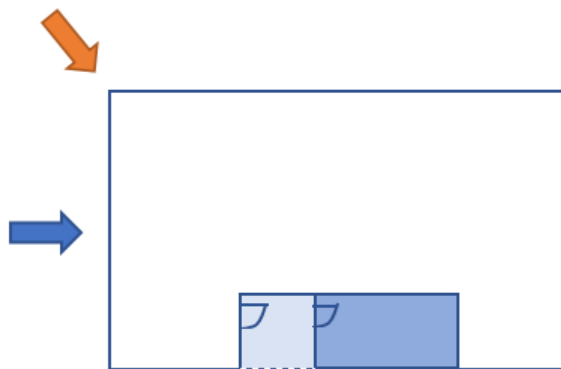
I analysen studeras både ett skede innan räddningstjänsten kommit på plats och ett senare skede då räddningstjänsten är på plats och gör en insats. I det första skedet kan dörrar stå öppna som en felfunktion medan det andra skedet förutsätter att dörrar mot brandrummet ska kunna vara delvis öppna på grund av räddnings- eller släckinsats.

Vidare utförs analysen för byggnader placerade i Malmö, Göteborg och Stockholm. Annan placering kan påverka analysens förutsättningar till exempel vad gäller sannolikheten för vissa snömängder.

4.1 Förenklad dimensionering

Förenklad dimensionering utgörs av ett trapphus till vilket passage sker via en sluss i det fria, figur 13. Dörrarna ansätts vara utåtgående i utrymningsriktningen. Blå och gul vindriktning beaktas i analysen. Trapphuset antas ha samma sannolikhet att vara placerat på alla sidor av

byggnaden, det vill säga har samma sannolikhet att vara placerat mot vindriktningen som mot läsidan.



Figur 13: Typplan för förenklad dimensionering med sluss öppen mot det fria. Pilarna anger analyserade vindriktningar. I figuren är trapphuset placerat på läsidan men placering på samtliga fyra sidor av byggnaden beaktas.

4.1.1 Utrymning från brandutsatt plan

Vid förenklad dimensionering är slussen mellan våningsplanet och trapphuset öppen mot det fria. Den första identifierade felfunktionen är att utrymning förhindras genom för hög öppningskraft för utrymningsdörr. Detta fall kan uppstå genom vindtryck eller på grund av snö i slussen.

Vid vindpåverkan är det dörren mot våningsplanet som är den dörr som riskerar att utsättas för ett för högt tryck. Dörren mot trapphuset får inte samma påverkan då trapphuset också vetter mot vindriktningen och det är rimligt att anta att trapphusets läckage mot det fria är större än in mot våningsplanet.

Vid de två vindriktningar som analyserats i Contam, 90° vinkel mot byggnadens ena sida respektive 45° vinkel mot byggnadens ena sida, uppstår risk för ett för högt tryck vid vindstyrkor, mot en utåtgående dörr (dörr på lovartsidan av byggnaden), på över 10–13 m/s. För högt tryck för en dörr som är inåtgående (dörr på läsidan av byggnaden) uppstår vid vindstyrkor på över 14 m/s.

Medelvinden under 10 minuters intervaller är lika med eller högre än 10 m/s under ca 4 % av tiden om Malmö, Göteborg och Stockholm studeras, se avsnitt 3.2.1 Högre än 14 m/s är den ca 0,3% av tiden. Sannolikheten skiljer sig över landet och är högre i Malmö än i Göteborg och högre i Göteborg än i Stockholm. Vindbyar där dessa vindstyrkor kan uppstå under kortare tid är mer vanligt förekommande.

Då sannolikheten för vindstyrkor på 10 m/s är betydligt högre än för 14 m/s är fallet med en utåtgående dörr placerad i 90° vinkel mot vinden det helt dominerande avseende sannolikheten för att dörren inte ska gå att öppna på grund av vind. Denna kombination av faktorer finns ca

Datum: 2017-10-23

0,5% av tiden (4% sannolikhet för vinden och 1/8 sannolikhet för dörrplaceringen). Dörrens placering kontra vindriktningen antas i denna analys vara oberoende av varandra. Det är en förenkling då det är möjligt att trapphus oftare placeras på till exempel norra sidan av ett hus medan dominerande vindriktning i Sverige är sydvästlig. Givet detaljeringsnivån på analysen som helhet accepteras denna förenkling. Resultaten ger en storleksordning avseende sannolikheten för felfunktion, inte ett exakt värde.

Den andra identifierade felfunktionen utgörs av att snö blockerar dörren. För att fallet ska uppstå krävs att en större mängd snö faller, att snön hamnar i slussen samt att den inte skottas bort.

Snötäcket uppgår till minst 10 cm under ca 12% av tiden i södra Sverige och till minst 20 cm i ca 6% av tiden, se avsnitt 3.2.1. Sannolikheten skiljer sig över landet och är högre i Stockholm än i Göteborg och högre i Göteborg än i Malmö. Den har vidare en negativ korrelation till sannolikheten för hög vindstyrka d.v.s. det är inte troligt att det blåser hårt samtidigt som det snöar.

Hur mycket snö som hamnar i slussen beror dels på slussens utformning, där en öppning utan ribbor är känsligare än en utformning med ribbor, och dels på vindriktning. Vid måttlig vind (>3 m/s) eller högre mot byggnaden antas snömängden i slussen bli motsvarande den på marken vid utformning utan ribbor och ca 50% av den på marken vid en sluss med ribbor. Om utformning med ribbor antas användas i 50% av slussarna skulle snömängden i slussen, givet att den inte skottas bort, då överstiga 10–20 cm under ca 3% av tiden. Det antas något förenklat att utrymningen förhindras då snömängden når dessa nivåer. Den exakta tjockleken på snölagret som leder till förhindrad utrymning kan ej beräknas då det även beror på snöns densitet och om den bildar drivor mot dörren.

Sannolikheten för att snö skottas bort kan uppskattas till jämförbart med sannolikheten att nödutgångsdörrar för utrymning blockeras i bakkanten av exempelvis större butiker. Det krävs en medvetenhet om problematiken med snö vid utrymningsvägarna och ett fungerande organisatoriskt brandskydd för att undvika att felet uppstår vilket således kräver en aktiv åtgärd. Sannolikheten för att snö inte skottas bort uppskattas i denna analys till 30–50%.

Den totala sannolikheten för att utrymning inte kan ske från brandplanet blir därmed i storleksordningen 1,5% (ca 0,5% för vind, ca 1% för snö) när felträdet analyseras, se bilaga 4.

En notering är att vid en systemlösning med en inåtgående dörr mot våningsplanet är sannolikheten mycket mindre att utrymning förhindras än vid en utåtgående dörr. Detta då det krävs en högre vind som uppstår mer sällan samt att snö i sluss inte kommer att förhindra dörröppning och att dessa två fall är de dominerande felfunktionerna ur sannolikhetssynpunkt. Det är dock inget krav i BBR 5:245 *Trapphus Tr1* eller 5:246 *Trapphus Tr2* att dörren ska vara inåtgående. Istället är det ett krav enligt BBR 5:335 *Dörrar* att den ska vara utåtgående om personantalet överstiger 30 personer. På grund av risk för att dörren inte stänger fullständigt vid

Datum: 2017-10-23

vindpåverkan samt risk för vattenläckage vid slagregn är det därtill det vanligaste att en ytterdörr blir utåtgående om inget krav på inåtgående dörr ställs. I analysen har därför en utåtgående dörr använts.

4.1.2 Utrymning från ej brandutsatt plan

Sannolikheten för att utrymning förhindras på grund av snö och vind är lika stor från övriga plan som för brandplanet. Därtill finns risken att utrymning förhindras på grund av att brandgaser spridit sig till trapphuset eller att slussen är rökfylld på grund av brand på underliggande plan och att dörren mellan sluss och brandutsatt plan är öppen.

Det finns en möjlighet att utrymning förhindras från andra plan på grund av att brandgaser spridits till trapphuset föreligger, se bilaga 1. Detta sker främst om både dörren till brandplanet och dörren till trapphuset är öppna innan räddningstjänsten kommer på plats.

Undersökningen av dörrar mot trapphus med sluss som gjorts inom detta projekt visar att tillförlitligheten, d.v.s. att dörren är stängd eller stängs efter öppnande, för dessa är mycket hög (0,99), se bilaga 2. Sannolikheten att två dörrar inte skulle stänga, vilket krävs för att brandgaser ska spridas till trapphuset, och utrymning av samtliga ej brandutsatt plan belägna ovanför brandplanet i en byggnad förhindras, är därför flera storleksordningar mindre än att påverkan av snö och vind leder till att utrymning av dessa inte kan ske.

Om varma brandgaser sprids till slussen ovanför medför det att utrymning från ej brandutsatta plan delvis förhindras i en byggnad. Detta fall uppstår om dörren mellan brandutsatt plan och sluss är öppen. Sannolikheten för att dörren mot brandplanet är öppen är ca 1%.

Den totala sannolikheten för att utrymning inte kan ske från icke brandutsatta plan blir därmed i storleksordningen 2,5% (ca 0,5% för vind, ca 1% för snö, ca 1% för brandgaser).

Efter att räddningstjänsten stänger till dörrarna så att endast en öppning motsvarande räddningstjänstens slangar kvarstår är sannolikheten för fortsatt spridning av brandgaser till trapphuset mycket liten om de arbetar med en medhavd portabel trycksättningsfläkt. Den öppna slussen möjliggör släckinsats utan att trapphuset slås ut.

4.2 Typfall 1. Trycksättning utan krav på flöde över öppen dörr

Typfall 1 utgörs av trycksättning med en styck fläkt som går på konstant varvtal, figur 14.

Aktivering av fläkten är hårdvarustyrd från brandlarmscentral vid aktiverad rökdetektor.

Dimensioneringskriterium 20–80 Pa övertryck inom trapphuset, inget krav på flöde över öppen dörr. Dörrarna ansätts vara utåtgående i utrymningsriktningen.



Figur 14: Typsektion och typplan för trycksättning utan krav på flöde över öppen dörr.

Vid trycksatt trapphus utan krav på flöde över öppen dörr bedöms fallet med att utrymning förhindras från brandplanet inte uppstå. Att brandgaser sprids till trapphuset bedöms inte hindra utrymningen från brandplanet. Systemet dimensioneras och injusteras för att erhålla det önskade övertrycket vid stängda dörrar. När dörrar öppnas ändras inte fläktens kapacitet utan trycket faller. Mycket högre tryck än det dimensionerande uppstår därför inte.

Fallet att utrymning från övriga plan förhindras på grund av att brandgaser sprids till trapphuset genom att två dörrar är öppna är fortsatt mycket lågt (0,01%) innan räddningstjänsten är på plats givet den höga tillförlitligheten för dörrar mot trapphus.

Efter det att räddningstjänsten kommit på plats så ökar dock sannolikheten för att brandgaser sprids till trapphuset. Vid släckinsats kommer spridning att ske om inte den brandutsatta brandcellen är undertrycksatt jämfört med trapphuset. Det undertrycksatta fallet uppstår om tryckavlastning, till exempel genom termisk fönstersprängning, skett på byggnadens läsida medan trapphuset är placerat i lovert. Brandgasspridning sker således i över 50% av de fall där räddningstjänsten väljer att utföra en insats via det aktuella trapphuset.

I jämförelse med förenklad dimensionering ger typfall 1 en lägre sannolikhet för att utrymning via trapphuset förhindras om räddningsinsats *ej* sker via trapphuset.

Jämförelsen med förenklad dimensionering *om* räddningsinsats ska ske via trapphuset är mer komplex. Risken för att personer hindras att utrymma från brandplanet är mindre men risken för att personer hindras att utrymma från icke brandutsatt plan blir större, dock beroende på utrymningstider och utrymningsstrategi.

4.3 Typfall 2. Trycksättning med fläkt styrd av tryckgivare

Typfall_2 utgörs av trycksättning med en styck fläkt styrd av tryckgivare som reglerar övertrycket och fläktens flöde, figur 15. Tryckgivaren är placerad mellan trapphus och sluss. Fläkten är styrd via apparatskåp med hårdvarukopplad insignal från brandlarmscentral vid aktiverad rökdetektor.



Figur 15: Typsektion och typplan för trycksättning med fläkt styrd av tryckgivare. Tryckgivarens placering är markerad med rött streck.

För fallet med tryckstyrd fläkt dimensionerade enligt SS EN 12101-6 uppstår fallet med att utrymning förhindras från brandplanet antingen om tryckgivaren är sönder, om den är vindpåverkad, värmepåverkad eller brandpåverkad samt om fläkten håller på att varva ner för att en dörr som varit öppen precis har stängts eller vid fel på styrsystemet.

Tillförlitligheten för tryckgivaren är ca 90% [5]. Vid fallerande tryckgivare kan två fall uppstå:

- Fläkt ökar till max kapacitet. Detta sker till exempel om tryckgivaren fortsatt sänder en signal men lufröret blir igensatt eller om tryckgivaren är ur funktion när fläkten aktiverar.
- Fläkt fortsätter gå med det varvtal den hade då tryckgivaren fallerade. Detta sker om tryckgivaren går sönder och inte längre sänder någon signal när fläkten redan är aktiverad.

Om fall a) uppstår förhindras utrymning eftersom övertrycket i trapphuset blir mycket högt. Om fall b) uppstår förhindras utrymning om fläkten gick vid högt varvtal då tryckgivaren fallerade. Fall b) kan endast uppstå om tryckgivaren fallerade medan fläkten är i drift. Givet att trycksättningsfläkten endast sporadiskt är i drift är det troligare att tryckgivaren fallerar när den inte är i drift. Sannolikheten för att utrymning förhindras på grund av fallerande tryckgivare är således troligtvis nära 10%.

Fallet med fallerande tryckstyrning ger därmed i sig själv större sannolikhet för att utrymning förhindras än förenklad dimensionering. Därtill tillkommer övriga felfunktion vilket gör att i jämförelse med förenklad dimensionering ger typfall 2 en högre sannolikhet för att utrymning inte ska kunna ske via trapphuset.

4.4 Typfall 3. Trycksättning med motviktsspjäll

Typfall 3 utgörs av trycksättning med en styck fläkt som går på konstant varvtal och med motviktsspjäll som ska öppna vid stängda dörrar mot trapphus, figur 16. Fläkten är hårdvarustyrd från brandlarmscentral vid aktiverad rökdetektor. Motviktsspjäll är placerat på tak. Dimensioneringskriterier avseende tryck och flöde över öppen dörr enligt SS EN 12101-6.



Figur 16. Typsektion och typplan för trycksättning med motviktsspjäll. Placering av motviktsspjäll är markerad med blå fyrkant.

För fallet med tryckavlastningsspjäll och fläkt dimensionerade enligt SS EN 12101-6 uppstår fallet att utrymning förhindras om spjället är sönder, kärvar eller var vindpåverkat vid injusteringen.

Tillförlitligheten för funktion vid behov för aktuell typ av spjäll är ca 13% [5]. Tillförlitligheten kan ökas genom krav på automatisk motionering och att larm avges om läge öppet ej erhålls. Det skulle dock behöva sänkas till ca en tiondel (1,5%) för att typfall 3 ska få motsvarande sannolikhet för att utrymning ska kunna ske via trapphuset som vid förenklad dimensionering. Detta bedöms inte kunna uppnås utan tillkommande övervakning och styrning.

4.5 Slutsatser av riskanalysen av de studerade typfallen

Riskanalysen visar att samtliga tre typlösningar har en lägre sannolikhet för att utrymning via trapphuset ska kunna ske än vid förenklad dimensionering, tabell 3. För typfall 2 och 3 är det ca 10–15 gånger så hög risk för blockerat trapphus än vid förenklad dimensionering.

Tabell 3: Jämförelse av risk för topphändelserna givet de olika typfallen.

Komponent/händelse	Sannolikhet för att utformningen av trapphuset medför att utrymning ej kan ske från brandplanet	Sannolikhet för att utformningen av trapphuset medför att utrymning ej kan ske från övriga plan
Förenklad dimensionering	1,5 %	2,5 %
Typfall 1. Trycksättning utan krav på flöde över dörr	0 %	50 % (givet räddningstjänstinsats)
Typfall 2. Trycksättning med fläkt styrd av tryckgivare	10 %	>10 %
Typfall 3. Trycksättning med motviktsspjäll	13 %	>13 %

Datum: 2017-10-23

Analysen visar att det inte är fläktens felfunktion som ger den största sannolikheten för att utrymning förhindras. Istället är det fallerande spjäll eller tryckgivare som utgör den största risken. Detta beror på den höga tillförlitligheten för dörrarna.

I analysen av typfall 3 ansattes ett motviktsspjäll på taket. Vid placering på väggen ökar sannolikheten för högt övertryck i trapphuset ytterligare genom vindpåverkan. Likaså ökar sannolikheten för högt övertryck i trapphuset vid fungerande motviktsspjäll vid en vindstyrka på minst 10 m/s vid injustering av systemet. Denna vindstyrka uppnås ca 4% av tiden men fallet kan undvikas genom att ställa krav på förhållanden vid injustering och provning.

Ovanstående innebär att det inte är en lösning att använda två fläktar eller sekundär strömkälla till fläktarna i enlighet med SS EN 12101-6 för att uppnå motsvarande säkerhetsnivå som vid förenklad dimensionering. Istället så är det styrningar som stänger fläkten vid för högt övertryck i kombination med att vind- och temperaturpåverkan beaktas som ger störst påverkan.

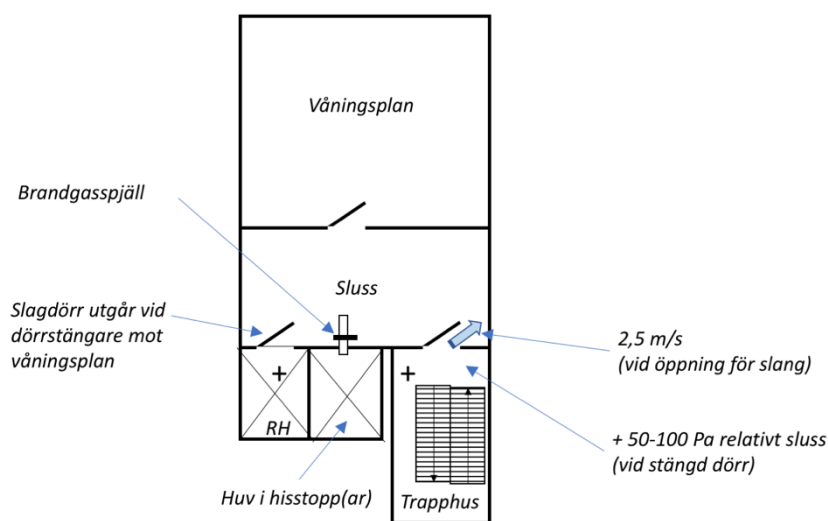
En faktor som däremot ändrar risknivån för de tekniska lösningarna är om dörrslagningen sker från det trycksatta utrymmen mot det ej trycksatta. Detta har inte angetts som ett krav i de studerade fallen men kan ha varit en ej dokumenterad förutsättning. I sådant fall ändras felfunktionen från ”utrymning förhindras” till ”personskador då dörr slås upp av trycket”. Detta är en betydligt lindrigare konsekvens men det är fortsatt rimligt att ha en redundans avseende för högt övertryck i trapphuset då sannolikheten för felfunktion hos tryckgivare och spjäll är 10–15%. Det är därtill inte alltid möjligt att ha dörrslagning mot utrymningsriktningen då det finns krav på föreskriftsnivå i BBR 5:335 att dörren måste vara utåtgående om köbildning kan förväntas uppstå innanför dörren.

5 NY TEKNISK LÖSNING AV TRAPPHUS

Eftersom resultatet av felträdsanalysen i kapitel 0 visade att erhållna typlösningar gav en lägre nivå av säkerhet än förenklad dimensionering finns det ett behov av att utveckla en ny teknisk lösning som ger motsvarande säkerhetsnivå som en sluss öppen mot det fria (d.v.s. Tr1 enligt förenklad dimensionering). Först presenteras den tekniska lösningen och därefter en verifiering som visar att den i många fall kan ge tillfredsställande säkerhetsnivå. En verifiering krävs dock i varje enskilt fall.

5.1 Beskrivning av teknisk lösning

Den föreslagna tekniska lösningen är baserad på resultaten från riskanalysen i kapitel 4, insända typlösningar samt kontakter med brandkonsultföretag och räddningstjänster. Avsikten är att ta fram en konceptlösning som både ger motsvarande skydd mot brandgasspridning till trapphus och mot risken för instängning som ett Tr1-trapphus dimensionerat enligt förenklad dimensionering. Notera att lösningen som presenteras är principiell och att verifiering i en praktisk tillämpning måste ske utifrån varje byggnads specifika förutsättningar. I många fall bör dock nedanstående förslag ge en tillfredsställande säkerhetsnivå, figur 17.



Figur 17: Förslag på teknisk lösning. RH anger räddningshiss och utrymmen markerade med + avser platser där det finns ett övertryck. Luft strömmar från trapphus via sluss, hisschakt och ut till det fria via huv.

Datum: 2017-10-23

Förutom det som framgår av ovanstående figur så ska följande beaktas:

- På minst ett våningsplan ska det installeras en pressostat mellan sluss och trapphus¹ som vid varaktigt (ca. 30–60 sekunder) tryck överstigande 100 Pa bryter strömmen till trycksättningsfläkten.
- I bottenplan ska det finnas ett vred som aktiverar brandgasventilation i trapphuset samt ett vred som stänger av trycksättningsfläkten. Dessa avses att användas taktiskt av räddningstjänsten.
- Spjäll mellan hiss och sluss utför som brandgasspjäll med säker strömmatning som bara öppnar på brandplanet.
- Eventuellt motviktspjäll ska placeras på taket.
- Inblåsningpunkt bör placeras lågt i trapphuset om det är möjligt med hänsyn till vindtryck [15].
- Eventuell slagdörr mellan räddningshiss och sluss förses med dörrstängare och uppställning på magnet som bara stänger på brandplanet.
- Utetemperatur och vind ska beaktas med hjälp av de tre scenarier som anges i tabell 1. Den percentil som ska användas är 99%. Även fallet utan vind kan behöva beaktas.
- Vid injustering får vindhastigheten vara max 5 m/s.
- Vid fullt öppna dörrar i enligt med SS-EN 12101-6 så ska ett övertryck på minst 10 Pa upprätthållas på övriga plan. Det ska antas att både dörrar mellan trapphus och sluss samt mellan sluss och våningsplan är fullt öppna.
- Uttag för stigarledning utförs i trapphuset.

Vid behov av tryckreglering i trapphuset så ska detta utföras med motviktspjäll monterat på taket (pga. vindpåverkan) eller med tryckstyrd fläkt. Vid stora flödesintervall bör tryckstyrd fläkt utföras med modellbaserad styrning enligt bilaga 5. Det innebär i korthet att de integrerande system som normalt används i byggautomation inte kan användas eftersom de är avsedda för långsamma förändringar. Detta ger för långa gångtider mellan olika flödes hastigheter. Istället används information om fläktkurvan, fläktens varvtal och mätt tryck för att mer direkt beräkna vilket nytt varvtal som fläkten ska anta. Informationen i bilaga 5 utvecklas ytterligare i [16].

Räddningshissen ska utföras med en brandsluss och därmed krävs två dörrar med dörrstängare enligt förenklad dimensionering. I denna lösning är den ena av dessa ersatta med en övertrycksättning av räddningshissen. Detta är en vanligt förekommande teknisk lösning men det ligger utanför verifikationen i avsnitt 5.2 att visa att denna är lika säker som en lösning utförd enligt förenklad dimensionering. Vald lösning för skydd av räddningshissen påverkar risken för brandgasspridning mellan våningsplan på samma sätt för den tekniska lösningen i detta kapitel och för förenklad dimensionering och det påverkar därför inte verifikationen av den övergripande

¹ Pressostaten, med tillhörande styrning, ska vara oberoende från eventuell tryckstyrning.

tekniska lösningen. Det som inte är verifierat är att den är tillräckligt bra för att tillgodo se räddningstjänstens insatsmöjligheter.

En huv i toppen av hisschaktet ger ett tillräckligt skydd mot brandgasspridning mellan slussar trots nedkylningen av brandgaserna i hisschaktet. Detta beror på att slussar på de ej brandutsatta planen kommer att ha ett visst övertryck på grund av övertrycksättningen av räddningshissen. Det är av denna anledning som eventuell slagdörr mot räddningshiss endast bör stängas på brandutsatt plan. Fallet där räddningshissen öppnar mot trapphuset är inte beaktat i denna tekniska lösning utan i ett sådant fall behöver en bedömning göras om huv ändå kan accepteras eller om fläkt krävs. Det bör dock i ett sådant fall beaktas att ett sådant byte även påverkar tillförlitligheten och därmed verifieringen i avsnitt 5.2.

Lufthastigheten över dörröppningen ska enligt de vanligt förekommande typerna i standarden vara 0,75 m/s enligt SS-EN 12101-6. Denna är som diskuterats i avsnitt 3.3 för låg för att kunna hålla emot inträngning av rök i de flesta fall och dessutom förhållandevis ojämnt fördelad från ca 0,5 till 1 m/s för ett representativt simulerat fall. Den ojämn fördelningen påverkar både möjligheten att hålla emot brandgaser och skapar svårigheter vid besiktning. Med tanke på att uppställda dörrar förefaller vara ovanligt enligt undersökningen som redovisas i bilaga 2 så bedöms det vara mest relevant att beakta ett fall där räddningstjänsten gör en insats och därmed har en öppning för sin smalslang som normalt är 42 mm. Över den öppning som skapas bör en högre hastighet tillskapas för att kunna motverka brandgasspridning i relevanta scenarier. Som framgår av figur 11 klarar en hastighet på 2,5 m/s att hindra spridning för alla relevanta brandtemperaturer. Om öppningen antas vara 50 mm stor så motsvarar detta en öppen area på 0,135 m² (för en 1,2 meter dörr och marginellt mindre för en 0,9 m dörr). Flödet genom öppningen blir då idealt knappt 340 l/s.

5.2 Verifiering av föreslagen teknisk lösning

I följande avsnitt verifieras de generella principerna för den nya tekniska lösningen. Sannolikheterna som används avser generiska byggnader och systemutformningar utgår från medeltal för respektive parameter. Ett specifikt system kan därför ha högre eller lägre felsannolikhet än det analyserade systemet, speciellt har mer komplexa system med fler styrningar en lägre tillförlitlighet än enkla system. Varje system måste därför analyseras och nedanstående analys kan inte användas som en verifiering i ett specifikt projekt.

5.2.1 Utrymning från brandutsatt plan

Genom att placera en tryckgivare alternativt ett motviktsspjäll på taket och inte på väggen samt genom att ställa krav på en maximal yttre vindhastighet vid injusteringen på 5 m/s reduceras risken för att för höga övertryck genereras på grund av vindpåverkan till mindre än 0,1%.

För höga övertryck kan ändå genereras genom att tryckgivaren styr till fel tryck eller genom fel i styrsystemet för system med tryckstyrning eller genom att motviktsspjäll inte öppnar för system med tryckavlastning. Systemet med tryckstyrning utförs så att en fallerande tryckgivare (men

Datum: 2017-10-23

fungerande styrsystem) medför att fläkten styrs att stanna via en sk. watchdog-funktion för tryckgivaren. Motviktsspjället är placerat under en huv så att fallerande funktion på grund av snölast inte uppstår och fallerande funktion på grund av vind hanteras genom att spjället är placerat på tak med krav på maximal yttre vindhastighet vid injusteringen. Sannolikhet för höga tryck blir därmed ca 15% för system med motviktsspjäll och brandgasspjäll i serie samt mindre än 10% för system med tryckgivare.

Installation av en pressostat i trapphuset som mäter tryckskillnaden mellan trapphuset och slussen medför en redundans i systemet. Pressostaten bryter strömmen hårdvarustyr och är därmed inte en del av den styrning som sker via apparatskåpet. Fallerande apparatskåp eller styrning via apparatskåpet påverkar därmed inte pressostatens funktion och vice versa, Sannolikheten för att både tryckgivare alternativt motviksspjäll och pressostat ska falla blir därmed något lägre men i samma storleksordning som den som systemlösningen enligt förenklad dimensionering med öppna slussar har ($0,1 \times 0,15 = 1,5\%$ respektive $0,15 \times 0,15 = 2,2\%$).

5.2.2 Utrymning från ej brandutsatt plan

Sannolikheten för att utrymning ej kan ske på grund av för höga övertryck är lika stor från icke brandutsatt plan som för brandutsatt plan (1,5%) då det är samma felfunktioner som orsakar för högt övertryck i trapphuset. Därtill kan utrymning hindras av brandgaser i trapphuset.

Före räddningstjänstens ankomst är sannolikheten för att utrymning hindras av brandgaser lägre än i fallet med öppen sluss enligt förenklad dimensionering. I det aktuella fall kommer flödet av brandgaser ut i trapphuset även att hindras av fläktens flöde medan det i förenklad dimensionering sker brandgasspridning om två dörrar är öppna. Likaså är det vid en felfunktion där brandgasspjäll öppnar på fler än ett plan samtidigt som dörren mot brandplanet är öppen som slussar på övre plan slås ut i det aktuella fallet medan det enligt förenklad dimensionering sker om dörren mot brandplanet är öppen.

Efter räddningstjänstens ankomst är sannolikheten för att utrymningen hindras av brandgaser i trapphuset beroende av om evakueringspjällen mot hisschaktet samt från hisschaktet mot det fria har öppnat eller inte. Sannolikheten att utrymningen hindras kan beräknas till ca 8%. Vid släckinsats kommer då brandgasspridning att ske om inte den brandutsatta brandcellen är undertrycksatt jämfört med trapphuset. Det undertrycksatta fallet uppstår om tryckavlastning, till exempel genom termisk fönstersprängning, skett på byggnadens läsida medan trapphuset är placerat mot vindriktningen. Brandgasspridning sker således i över 4% ($0,5 \times 0,08$) av de fall där räddningstjänsten väljer att utföra en insats via det aktuella trapphuset. Räddningstjänsten har dock möjlighet att via ett separat system brandgasventilera trapphuset i ett sådant fall. Då trycksättningsfläkten fortfarande är aktiverad så kommer genomvädringen av trapphuset gå snabbt i ett sådant fall.

Sannolikheten att brandgasspridning sker till trapphuset innan räddningstjänstens ankomst är således lägre vid aktuell utformning än vid förenklad dimensionering, tabell 4. Sannolikheten att

Datum: 2017-10-23

brandgasspridning sker till trapphuset vid räddningstjänstens insats är däremot högre vid aktuell utformning. Givet att räddningstjänsten finns på plats och kan agera genom att avvakta med insats till avslutad utrymning eller brandgasventilera trapphuset bedöms den föreslagna systemutformningen sammantaget ge ett godtagbart brandskydd där en lägre risk i ett tidigt skede kan uppväga en något högre risk vid insats. Denna bedömning måste dock göras med hänsyn till varje projekts specifika förutsättningar.

5.2.3 Slutsats av riskanalysen av den nya tekniska lösningen

Tabell 4: Jämförelse av risk för topphändelserna givet de olika typfallen.

Komponent/händelse	Sannolikhet för att utformningen av trapphuset medför att utrymning ej kan ske från brandplanet	Sannolikhet för att utformningen av trapphuset medför att utrymning ej kan ske från övriga plan
Förenklad dimensionering	1,5 %	2,5 %
Ny teknisk lösning	1,5–2,2 %	1,5–2,2 %

5.3 Åtgärder för befintliga hus med trycksättning av trapphus

Som diskuterats i kapitel 0 medför nuvarande tekniska lösningar en lägre säkerhetsnivå än förenklad dimensionering och uppfyller därmed inte kravet på analytisk dimensionering av Tr1-trapphus. Det är normalt inte rimligt att bygga om en befintlig byggnad så att den överensstämmer med den tekniska lösningen i kapitel 5.1, men åtgärder bör ändå genomföras för att höja säkerhetsnivån.

Riskanalysen i kapitel 0 visade att den största risken kommer från för högt tryck vid fallerade tryckstyrning eller motviktspjäll. För att reducera denna risken avsevärt rekommenderas att en pressostat installeras med tryckmätning över den trycksatta dörren på ett våningsplan. Om denna ger ett tryck överstigande 100 Pa under en tidperiod på 30–60 sekunder så bör kraften till fläkten brytas. Styrningen bör vara oberoende av annan styrning av fläkten.

Detta bedöms vara motiverat även under drift och inte bara i samband med ombyggnation. Det är en relativt begränsad investering som ger en väsentligt förbättrad säkerhetsnivå.

6 SLUTSATSER

Fyra olika typlösningar för alternativ utformning av Tr1-trapphus erhöles från ett antal stora svenska brandkonsultföretag. Inte i något fall förekom någon verifiering av att säkerhetsnivån var motsvarande som ett Tr1-trapphus enligt förenklad dimensionering.

En riskanalys genomfördes inom projektet för tre av de erhållna typlösningarna som lösningen enligt förenklad dimensionering. Riskanalysen beaktade både fel i trycksättningssystemet (t.ex. komponentfel) och inverkan från omgivningen i form av olika väderpåverkan. Slutsatsen av detta var att den sammantagna säkerhetsnivån var lägre än för ett Tr1-trapphus enligt förenklad dimensionering.

Studien visar att det inte är fläktens felfunktion som ger den största sannolikheten för att utrymning förhindras. Istället är det fallerande spjäll eller tryckgivare, eller motviktsspjäll placerat på vägg där vindtrycket kan bli betydande, som utgör den största risken. Detta beror på den höga tillförlitligheten för dörrarna. En tillkommande problematik med felet för högt övertryck i trapphus är att även utrymning från brandplanet förhindras vilket inte uppstår vid brandgaser i fallet med trapphuset.

Ovanstående innebär att skillnaden mellan 2 m/s över delvis öppnad dörr (ny teknisk lösning) eller 2 m/s över helt öppen dörr (i enlighet med SS EN 12101-6 vid dimensionering för räddningsinsats) ger en mycket liten skillnad i total risknivå. På samma sätt är det inte en lösning för den totala riskbilden att använda två fläktar eller sekundär strömkälla till fläktarna i enlighet med SS EN 12101-6.

En ny teknisk lösning för en alternativ utformning av Tr1-trapphus utarbetades i samråd med räddningstjänst, brandkonsulter och forskare och en motsvarande riskanalys genomfördes för denna. Slutsatsen av riskanalysen var att nivån i normalfallet var minst lika hög som för ett Tr1-trapphus enligt förenklad dimensionering.

Det är dock viktigt att beakta att speciella förutsättningar för en enskild byggnad kan innebära att någon av de antaganden som den tekniska lösningen är baserad på inte gäller. Det är därför mycket viktigt att projektören har en ingående förståelse för såväl den tekniska lösningen som riskanalysen i kapitel 5 innan den appliceras. Det ska även beaktas att hus över 16 våningar är sk. Br0-byggnader och att därmed högre krav än förenklad dimensionering kan krävas.

7 REFERENSER

1. BFS 2017:5 Boverkets byggregler (föreskrifter och allmänna råd), BBR25.
2. 2011:6 B Boverkets byggregler (föreskrifter och allmänna råd), BBR19.
3. Lay S (2014) Pressurization systems do not work & present a risk to life safety. Case Stud Fire Saf 1:13–17. doi: 10.1016/j.csfs.2013.12.001
4. Cowlard A, Bittern A, Abecassis-Empis C, Torero J (2013) Fire safety design for tall buildings. Procedia Eng 62:169–181. doi: 10.1016/j.proeng.2013.08.053
5. New Zealand Fire Service Commission (2008) Effectiveness of Fire Safety Systems for Use in Quantitative Risk Assessments. Marsh, Fire Research Report.
6. SHK (2010) Rapport RO 2010 : 01 - Lägenhetsbrand, Kuddbygräns 12, Rinkeby, Stockholms län, den 25 juli 2009.
7. Boverket (2011) Utredning av alternativ för förbättrat brandskydd i trapphus i flerbostadshus. Karlskrona
8. Trafikverket (2016) Kapitel 9 Trafiksäkerhet och olyckskostnader. Anal. och samhällsekonomiska kalkylvärden för Transp. ASEK 6.0
9. BFS 2013:12 Boverkets ändring av verkets allmänna råd (2011:27) om analytisk dimensionering av byggnaders brandskydd (BBRAD3).
10. Tamura (1989) Stair Pressurization Systems for Smoke Control : Design Considerations.
11. SMHI Meteorologiska observationer. <http://opendata-download-metobs.smhi.se/explore/>. Accessed 8 Nov 2016
12. NFPA (2009) NFPA 92A: Standard for Smoke-Control Systems Utilizing Barriers and Pressure Differences.
13. Poreh M, Trebukov S (2000) Wind effects on smoke motion in buildings. Fire Saf J 35:257–273.
14. Buchanan A (2001) Structural Design for Fire Safety. John Wiley & Sons Ltd, Chichester
15. Jensen L (2017). Trycksättning av trapphus - utformning. Rapport TVIT-17/7107. Avd. för installationsteknik, Lunds universitet, Lund.
16. Jensen L (2017). Reglering av trycksättningssystem. Rapport TVIT-17/7108. Avd. för installationsteknik, Lunds universitet, Lund.

BILAGA I – BRANDGASSPRIDNING I TRI-TRAPPHUS ENLIGT FÖRENKLAD DIMENSIONERING

Inledning

Erfarenheter från tidigare analytiska dimensioneringar har visat att en omfattande brandgasspridning kan ske trots att Tr1-trapphuset är utfört enligt förenklad dimensionering med sluss öppen till det fria. Eftersom detta är ett viktigt referensfall för utformning med trycksättning av trapphus så har detta analyserats inom ramen för detta projekt. Detta har gjorts dels genom simuleringar i FDS samt ett småskaligt experiment för att kvalitativt verifiera resultaten från FDS.

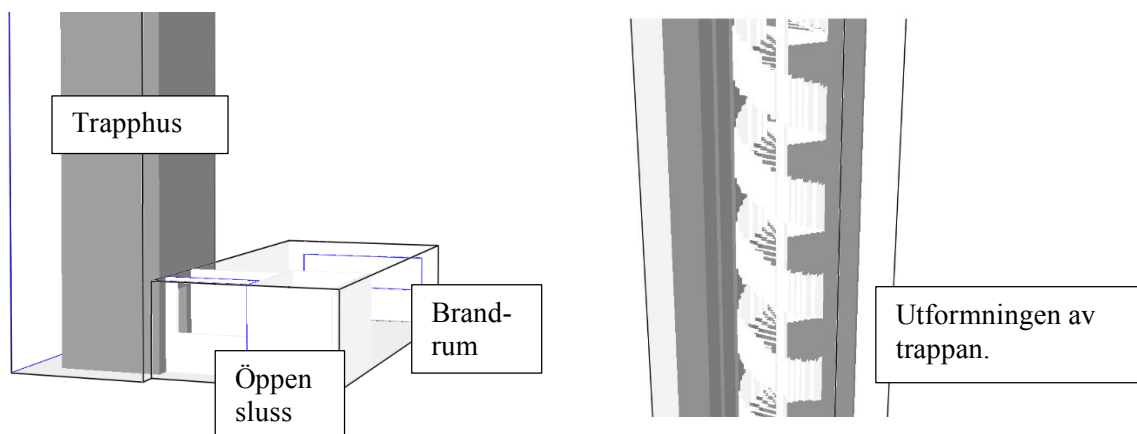
FDS

FDS-modellen byggdes upp av 2 mesher, en för trappan och en för lägenhet och sluss. Gridstorleken i båda mesherna var 10x10x10 cm. Vägg- och takytan simulerades som gips med konduktivitet 0,48 W/mK, specifik värmekapacitet 840 J/kgK och densitet 1440 kg/m³ [14].

Olika öppningsgrad på dörr mellan trapphus och sluss samt mellan sluss och trapphus simulerades.

Den simulerade branden utgjordes av en ventilationskontrollerad brand med effektutveckling per ytenhet om 600 kW/m². Brandens storlek ändrades baserat på öppningsgraden på dörren mot brandrummet och var som högst 6 MW. Energiinnehållet i bränslet är 20 MW och sotpotentialen 0,06 g/g.

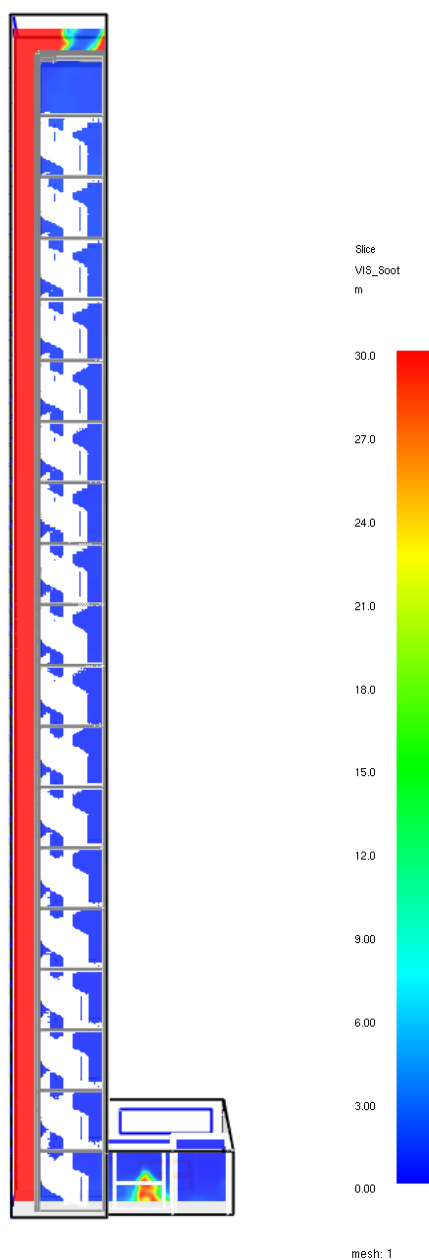
Trappan simulerades som en spiraltrappa. Trapphuset simulerades med brandgasventilation i form av öppning till det fria i toppen av trapphuset.



Figur 1: Den simulerade utformningen.

Datum: 2017-10-23

Resultatet av simuleringarna blir att vid öppna dörrar blir brandgasspridningen till trapphuset betydande även vid mindre öppningar. Dock skall det noteras att termen för sotproduktion (soot yield) i det analyserade bränslet är hög samt att FDS ofta ger konservativa resultat avseende sikt.

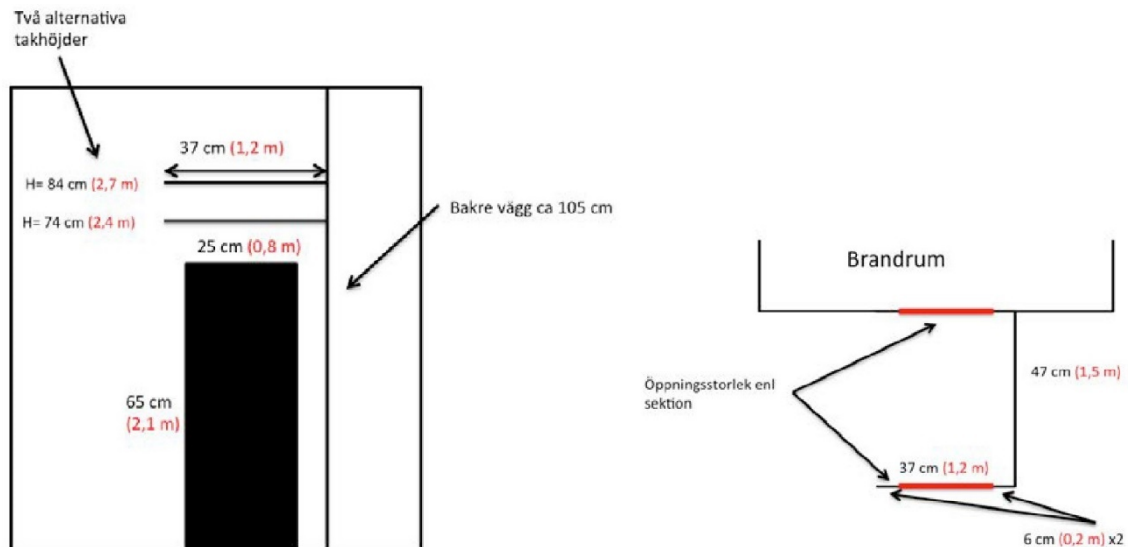


Figur 2. Resultat för fallet med mindre öppning (15 cm) dörrar. Sikten blir ca 3 meter i trapphuset.

Datum: 2017-10-23

Experiment

Experiment utfördes med ett sk. ISO-rum i 1/3 skala som försågs med en öppen balkong med mått som bedömdes vara rimliga för aktuell tillämpning. Måtten framgår i nedanstående figur.



Figur 3: Ritningar på öppen balkong för experiment på 1/3-dels ISO-rum.

Öppningen försågs dels med ett tätt räcke och dels med en ribbad del med 50% öppenhet. Brandrummet försågs med ett heptanbål med en diameter på 20 cm vilket innebär en effektutveckling på ca 30 kW.

Nedan presenteras en typisk bild från experimenten

Datum: 2017-10-23



Figur 4: Försöksuppställning

Inga mätningar utfördes utan syftet var att få en kvalitativ validering av resultaten från FDS. Det bedömdes dock att ca 30-50% av brandgaserna gick genom dörren till trapphuset. Det lägre värdet var för hög takhöjd och helt öppen balkong och det högre värdet var för låg takhöjd och ribbad öppning.

Slutsats

- Försök och FDS modellering gav god överensstämmelse.
- Två öppna dörrar kan innebära stor brandgasspridning till trapphus även vid utförande enligt förenklad dimensionering.

Datum: 2017-10-23

BILAGA 2 – SANNOLIKHET ATT TRAPPHUSDÖRRAR STÅR ÖPPNA

En inventering av befintliga hus med Tr1- eller Tr2-trapphus utfördes sommaren 2016 samt 2017. Inget av de undersökta trapphusen hade öppen sluss. Undersökningen utfördes av brandingenjörsstudenter. Fastighetsägarna/verksamheten i byggnaden blev tillfrågad ca 1 vecka innan besöken. Nedanstående frågor besvarades för objekten:

Som en del av ett forskningsprojekt så ska sannolikheten för att dörrar mot trapphus med sluss (Tr1 och Tr2) stänger undersökas. Eftersom det är ett forskningsprojekt måste undersökningen ske systematiskt och protokollföras. Frågorna som ska besvaras och protokollföras framgår nedan. I undersökningen krävs att dörrarna kan öppnas vid provningstillfället. Det kommer inte att framgå i forskningsprojektet vilka byggnader det är som ingår i undersökningen.

Byggnad

Stad:

Byggnad uppförd angivet i årtionde (t ex 90-talet)

Totalt antal våningar:

Antal våningar som trapphuset betjänar:

På respektive våningsplan

Dörr(ar) mellan trapphus och sluss

Antal:

Dörr(ar) mellan trapphus och sluss

Antal:

För respektive dörr

Placering: trapphus – sluss / sluss – verksamhet

Vid placering mot verksamhet ange typ av verksamhet, t ex förråd, kontor, utbildningslokal etc.

Dörrstängare: ja/nej

Uppställd på magnet som släpper på brandlarm: ja/nej

Uppställd (felaktigt) med kil eller liknande: ja/nej

Larmad dörr som ska hållas stängd: ja/nej

Skylt som anger att dörren ska hållas stängs: ja/nej

Test av dörrstängare (om tillämpligt):

1. Om dörren är uppställd på magnet så tryck på knapp så att magneten släpper
2. Öppna dörr normalt och släpp

För 1) respektive 2) ovan ange om

- a) dörr stänger helt och fallkolv går igen eller
- b) dörren stänger men är delvis öppen/springa (mät bredden på öppningen från karm till dörrblad i cm) eller
- c) dörren stänger inte alls

Datum: 2017-10-23

Resultaten av undersökningen visar att tillförlitligheten för aktuella dörrar förefaller vara betydligt högre än för dörrar i brandcellsgränser i allmänhet. Dörrar mot sluss stängde helt i 98,6% av fallen och dörrar mot trapphus stängde helt i 99% av fallen.

Nr	Verksamhetsklass	Dörrstängare	Uppställning på magnet	Larm
1	Vk 1 (kontor)	Ja	Nej	Delvis
2	Vk 1 (kontor)	Ja	Delvis	Delvis
3	Vk 1/Vk 2 (kontor/undervisning)	Ja	Nej	Nej
4	Vk 1/Vk 2 (kontor/undervisning)	Ja	Nej	Nej
5	Vk 1/Vk 2 (kontor/undervisning)	Ja	Nej	Nej
6	Vk 1/Vk 2 (kontor/undervisning)	Ja	Delvis	Delvis
7	Vk 1/Vk 2 (kontor/undervisning)	Ja	Delvis	Delvis
8	Vk 1 (kontor)	Ja	Nej	Ja
9	Vk 1 (kontor)	Ja	Nej	Ja
10	Vk 1 (kontor)	Ja	Delvis	Ja
11	Vk1 (kontor)	Ja	Undersöktes ej	Undersöktes ej
12	Vk1 (kontor)	Ja	Undersöktes ej	Undersöktes ej
13	Vk1 (kontor)	Ja	Undersöktes ej	Undersöktes ej
14	Vk1 (kontor)	Ja	Undersöktes ej	Undersöktes ej
15	Vk1 (kontor)	Ja	Undersöktes ej	Undersöktes ej
16	Vk1 (kontor)	Ja	Undersöktes ej	Undersöktes ej
17	Vk1 (kontor)	Ja	Undersöktes ej	Undersöktes ej
18	Vk1 (kontor)	Ja	Delvis	Ja
19	Vk4 (hotel)	Mot trapphus	Nej	Nej
20	Vk3 (flerbostadshus)	Mot trapphus	Nej	Nej
21	Vk3 (flerbostadshus)	Mot trapphus	Nej	Nej
22	Vk3 (flerbostadshus)	Mot trapphus	Nej	Nej
23	Vk3 (flerbostadshus)	Mot trapphus	Nej	Nej
24	Vk3 (flerbostadshus)	Mot trapphus	Nej	Nej
25	Vk3 (flerbostadshus)	Mot trapphus	Nej	Nej
26	Vk3 (flerbostadshus)	Mot trapphus	Nej	Nej
27	Vk3 (flerbostadshus)	Mot trapphus	Nej	Nej
28	Vk3 (flerbostadshus)	Mot trapphus	Nej	Nej
29	Vk3 (flerbostadshus)	Mot trapphus	Nej	Nej

Tabell 1. Sammanställning av de 29 byggnader som ingick i undersökningen avseende verksamhet och dörrar.

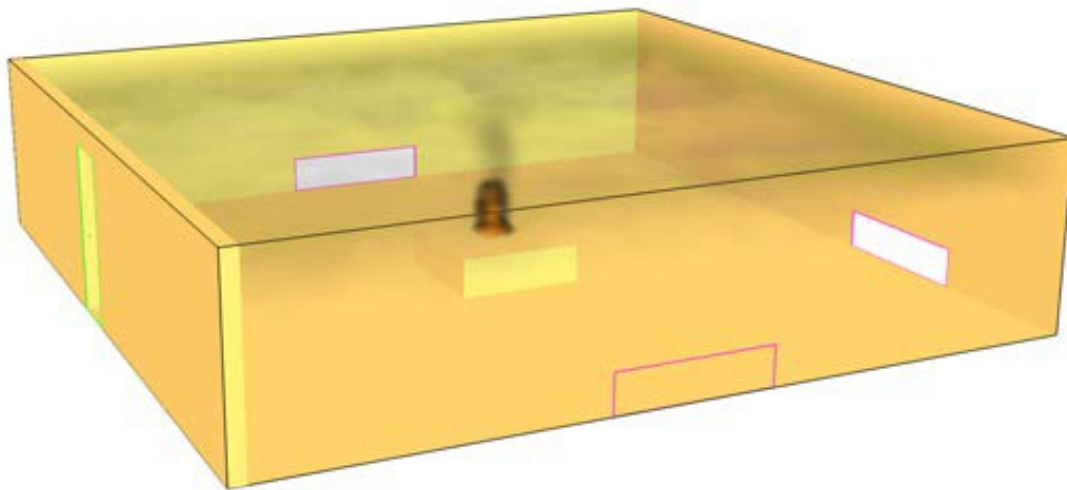
Datum: 2017-10-23

Nr	Sluss			Trapphus		
	Stänger	Stänger ej helt	Öppen	Stänger	Stänger ej helt	Öppen
1	12	0	0	6	0	0
2	12	0	0	6	0	0
3	18	0	0	9	0	0
4	22	0	0	11	0	0
5	25	1	0	13	0	0
6	15	2	0	17	0	0
7	19	0	0	19	0	0
8	14	0	0	7	0	0
9	14	0	0	7	0	0
10	14	0	0	7	0	0
11	20	0	0	8	0	0
12	22	0	0	9	0	0
13	22	0	0	8	0	0
14	26	0	0	10	0	0
15	27	0	2	11	0	0
16	27	0	0	11	0	0
17	24	0	0	8	0	0
18	26	0	0	14	0	0
19	NA	NA	NA	28	0	0
20	NA	NA	NA	8	0	0
21	NA	NA	NA	8	0	0
22	NA	NA	NA	8	0	0
23	NA	NA	NA	8	0	1
24	NA	NA	NA	7	0	0
25	NA	NA	NA	7	0	0
26	NA	NA	NA	8	0	0
27	2	0	0	6	0	2
28	1	0	0	8	0	0
29	1	0	0	8	0	0
TOTALT	363	3	2	285	0	3
	98,6%	0,8%	0,6%	99%	0%	1%

Tabell 1. Sammanställning av öppna respektive stängda dörrar i de 29 byggnader som ingick i undersökningen. NA = dörrar mot lägenheter är ej försedda med dörrstängare.

BILAGA 3 – PÅVERKAN AV HASTIGHET ÖVER DÖRRÖPPNING FÖR SPRIDNING TILL TRAPPHUSET

Hastigheten över dörröppningen förväntas vara särskilt fördelaktigt i stora rum med hög takhöjd eftersom då både temperaturen och tröghetsmomentet i brandgaserna då förväntas vara litet. Därför simulerades två scenarier där ett scenario bedömdes utgöra en ungefärlig övre gräns för nyttan av denna hastighet och den andra en nedre gräns. Nedan framgår en bild från ett av scenarierna med ett litet rum.

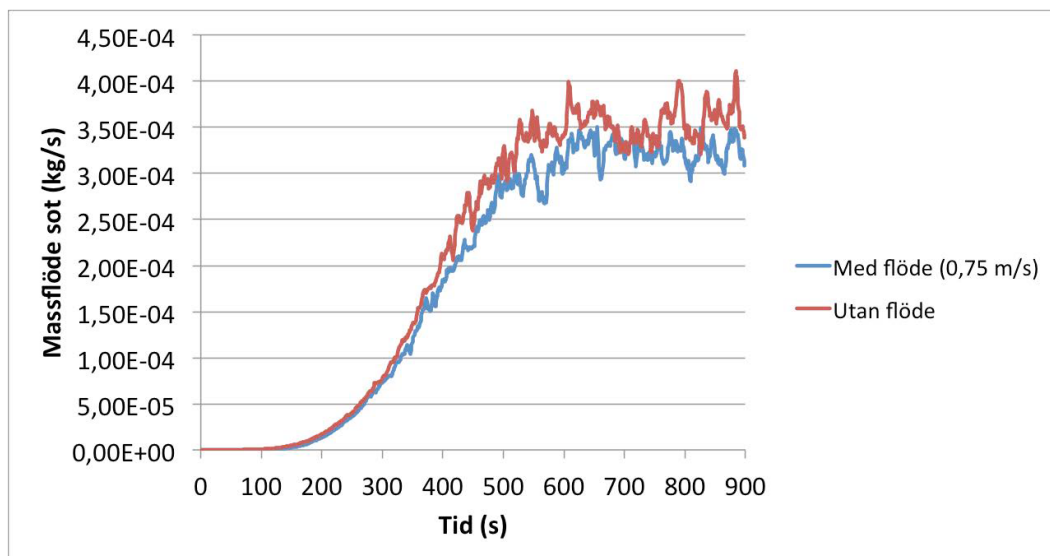


Figur 1: Geometri för litet rum

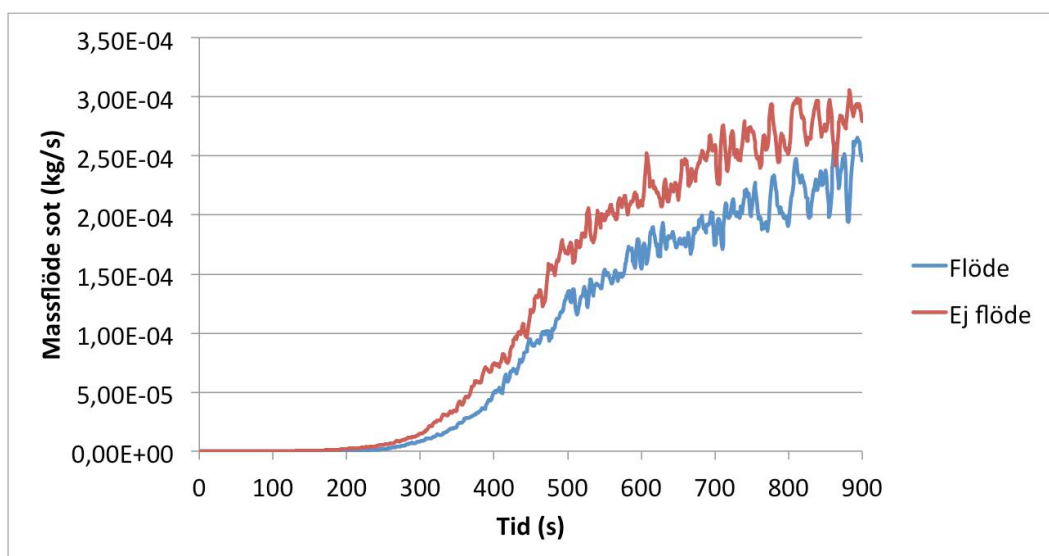
I båda scenarierna så användes en brand som tillväxte enligt ett t^2 -samband med tillväxtfaktorn $0,012 \text{ kW/s}^2$ (mediumsamband). Dörren var 0,8 m bred och 2,1 meter hög. Tryckavlastning fanns genom tre luckor på vardera 2 m^2 (förutom dörren). Det lilla rummet var 10x10 meter och hade en takhöjd på 2,4 meter. Det stora rummet var 10x30 meter och hade en takhöjd på 2,7 meter. I det stora rummet var branden placerad 5 meter från den borte vägg. Sotfraktionen var 0,1 g/g.

Resultaten bestod primärt i massflödet sot genom dörren vilket redovisas nedan.

Datum: 2017-10-23



Figur 2: Massflöde sot genom dörren för scenariot med det lilla rummet.



Figur 3: Massflöde sot genom dörren för scenariot med det stora rummet.

Resultaten visar att för det lilla rummet ger hastigheten (0,75 m/s) över dörr marginell påverkan på spridningen av sot genom dörren. För det stora rummet är skillnaden, som väntat, större, men är ändå begränsad till ca 30 sekunders förskjutning.

BILAGA 4 – FELTRÄD

I bilagan presenteras de felträd som ligger till grund för felträdsanalyserna i kapitel 4 och 5.

TOPPHÄNDELSE UTRYMNING KAN EJ SKE FRÅN BRANDUTSATT PLAN

Förenklad dimensionering – öppen sluss

Tryck mot dörren mellan våningsplan och sluss överstiger människans öppningskraft

<Vindstyrka som skapar för högt övertryck²

OCH

Vindriktning mot ytterväggen där slussen är placerad

OCH

Dörrslagning utåt>

ELLER

<Vindstyrka som skapar för högt undertryck

OCH

Vindriktning från eller parallell med ytterväggen där slussen är placerad

OCH

Dörrslagning utåt>

ELLER

<Snö i sluss

OCH

Dörrslagning utåt>

² Vindstyrkan som krävs för att skapa skadliga tryck skiljer sig mellan lä- och lovartsidan på byggnaden varför vindstyrka som skapar för högt övertryck och vindstyrka som skapar för högt undertryck ansätts som två olika fall.

Datum: 2017-10-23

Typfall 1, övertrycksättning utan krav på flöde över öppen dörr

Fallet bedöms inte uppstå.

Typfall 2, tryckstyrd fläkt med flödes- och tryckkrav i SS EN 12101-6

Tryck mot dörren överstiger människans öppningskraft

<Dörrslagning mot övertrycket

OCH

Fläkt för högt varvtal

Fläkt under nervarvning

ELLER

Tryckgivare styr till fel tryck

Sönder

ELLER

Vindpåverkad

ELLER

Vindpåverkad vid injustering

ELLER

Påverkad av varma brandgaser

ELLER

Brandpåverkad

ELLER

Fel på styrsystemet

Felprogrammerat

ELLER

<Strömbortfall efter aktiverad fläkt

OCH

Ej strömbortfall till fläkt>

Datum: 2017-10-23

Typfall 3, Fläkt med konstant varvtal med flödes- och tryckkrav i SS EN 12101-6 samt tryckavlastningsspjäll i trapphustopp

Tryck mot dörren överstiger människans öppningskraft

Dörrslagning mot övertrycket

OCH

Tryckavlastningsspjäll öppnar ej

Sönder

ELLER

Kärvar

ELLER

Vindpåverkat vid injustering

Datum: 2017-10-23

Ny teknisk lösning

Tryck mot dörren överstiger människans öppningskraft

Dörrslagning mot övertrycket

OCH

Fläkt för högt varvtal

Fläkt under nervarvning

ELLER

[Tryckavlastningsspjäll öppnar ej

Sönder

ELLER

Kärvar

ELLER

Vindpåverkat under injustering

ELLER

Brandspjäll mot hisschakt öppnar ej

Sönder

ELLER

Rökdetektor fallerar

ELLER

Felprogrammerat styrsystem

ELLER

<Strömbortfall styrsystem

ELLER

Strömbortfall spjäll

OCH

Ej strömbortfall fläkt>]

OCH

Pressostat fallerar

Datum: 2017-10-23

TOPPHÄNDELSE UTRYMNING KAN EJ SKE FRÅN ICKE-BRANDUTSATT PLAN**Förenklad dimensionering - öppen sluss**

Tryck mot dörren överstiger människans öppningskraft (lika brandplanet)

ELLER

Brandgaser i trapphus

Slussdörr mot brandplan är öppen

OCH

Dörr mellan sluss och trapphus på brandplanet är öppen

ELLER

Mycket varma brandgaser i slussen

Slussdörr mot brandplan är öppen

OCH

Brandplanet placerat under aktuellt plan

OCH

Brandplanet är nära aktuellt plan i höjd

Typfall 1, övertrycksättning utan krav på flöde över öppen dörr

Brandgaser i trapphus

Slussdörr mot brandplan är öppen

OCH

Dörr mellan sluss och trapphus på brandplanet är öppen

Datum: 2017-10-23

Typfall 2, Tryckstyrd fläkt med flödes- och tryckkrav i SS EN 12101-6

Tryck mot dörren överstiger människans öppningskraft (lika brandplanet)

ELLER

Brandgaser i trapphus

Slussdörr mot brandplan är öppen

OCH

Dörr mellan sluss och trapphus på brandplanet är öppen

OCH

Flödet av brandgaser ut i trapphuset hindras ej av fläktens flöde

För stor brandpåverkan

ELLER

Fläkten ej startat

Rökdetektering har ej skett

ELLER

Styrsignalen fungerar ej

ELLER

Fläkt sönder³

ELLER

<Normal strömförsörjning fungerar ej

OCH

Sekundär strömkälla fungerar ej>

ELLER

Fläkten ger lägre flöde än 0,75 m/s

För många dörrar öppna

ELLER

Tryckgivare styr till fel tryck

³ Enligt SS EN 12101-6 så ska systemet utformas med två oberoende fläktar vilket innebär att denna punkt kan utgöras av "Fläkt 1 sönder OCH Fläkt 2 sönder" enligt standarden.

Datum: 2017-10-23

Typfall 3, Fläkt medkonstant varvtal med flödes- och tryckkrav i SS EN 12101-6 samt tryckavlastningsspjäll i trapphustopp

Tryck mot dörren överstiger människans öppningskraft (lika brandplanet)

ELLER

Brandgaser i trapphus

Slussdörr mot brandplan är öppen

OCH

Dörr mellan sluss och trapphus på brandplanet är öppen

OCH

Flödet av brandgaser ut i trapphuset hindras ej av fläktens flöde

För stor brandpåverkan

ELLER

Fläkten ej startat

Rökdetektering har ej skett

ELLER

Styrsignal fungerar ej

ELLER

Fläkt sönder⁴

ELLER

<Normal strömförsörjning fungerar ej

OCH

Sekundär strömkälla fungerar ej>

ELLER

För många dörrar och brandgasspjäll mot tryckavlastning öppna

⁴ Enligt SS EN 12101-6 så ska systemet utformas med två oberoende fläktar vilket innebär att denna punkt kan utgöras av ”Fläkt 1 sönder OCH Fläkt 2 sönder” enligt standarden.

Datum: 2017-10-23

Ny teknisk lösning

Tryck mot dörren överstiger människans öppningskraft (lika brandplanet)

ELLER

Brandgaser i trapphus

Slussdörr mot brandplan är öppen

OCH

<<Dörr mellan sluss och trapphus på brandplanet är öppen

OCH

Flödet av brandgaser ut i trapphuset hindras ej av fläktens flöde

För stor brandpåverkan

ELLER

Fläkten ej startat

Rökdetektering har ej skett

ELLER

Styrsignal fungerar ej

ELLER

Fläkt stoppad av pressostat

ELLER

Fläkt sönder

ELLER

<Normal strömförsörjning fungerar ej

OCH

Sekundär strömkälla fungerar ej>

ELLER

För många dörrar öppna>>

ELLER

Brandspridning via hisschakt

Brandgasspjäll på fler än ett plan öppnar>

BILAGA 5 – MODELLBASERAD REGLERING AV TRYCKSÄTTNINGSSYSTEM

av Lars Jensen, Professor vid Avdelningen för Installationsteknik, LTH. Se även referens [16].

Reglering av trycksättning av en större byggnadsvolym med en varvtalsstyrd fläkt är ett ganska enkelt problem, men förstärkningen mellan tryck och varvtal varierar betydligt över det möjliga arbetsområdet med olika varvtal och flöden. Ett trycksättningssystem utsätts för olika störningar genom att olika öppningar och stängningar av dörrar och fönster sker.

Trycksättning eller egentligen övertrycksättning används för att förhindra spridning av brandgaser via både stängda och öppna dörrar. Ett siffervärde är 20 Pa. Krav på att kunna öppna dörrar ger en övre gräns på omkring 80 Pa. Notera att vindpåverkan för 10 till 20 m/s ger lovartryck och lätryck på 60 till 240 Pa respektive -240 till -60 Pa.

En standard PID-regulator är inte lämplig att använda, när processförstärkningen varierar mycket. Praktiska erfarenheter visar på exempel med ytterst långsam reglering, vilket är ett tecken på att reglerparametrar har valts för att undvika instabilitet i hela arbetsområdet för fläkten. En modellbaserad reglerprincip kan vara en bättre lösning som är oberoende av den varierande förstärkningen.

Fläktkurva och systemkurva

Detta avsnitt behandlar endast fallet med varvtalsstyrd fläkt med godtycklig fläktkurva enligt (1) som funktion av varvtal n och flöde q samt en godtycklig systemkurva enligt (2) som är en funktion av flödet q . Varvtalet n kommer att vara dimensionslöst eller normerat till ett för den aktuella fläktkurvan. Varvtalet är obegränsat till positiva värden.

$$p_f = f_1 n^2 + f_2 n q + f_3 q^2 \quad (\text{Pa}) \quad (1)$$

$$p_s = s_1 + s_2 q + s_3 q^2 \quad (\text{Pa}) \quad (2)$$

Fläktens tryckstegring p_f är lika med systemets tryckfall p_s i en driftspunkt.

Fläktens förstärkning eller känslighet för varvtalsändringar kan beräknas genom att derivera (1) med avseende på varvtalet n , vilket ger:

$$dp_f/dn = 2 f_1 n + f_2 q \quad (\text{Pa/-}) \quad (3)$$

Varvtalet n eller flödet q kan ändras betydligt, vilket ger en motsvarande ändring av förstärkningen eller känsligheten.

Orimligt trycksättningsfall kan inträffa, när trycksättningsvärdet är mindre än systemkurvans konstanta värde. Detta innebär att trycksättningssystemet skall istället vara ett trycksänkningssystem genom att reversera fläkten, vilket skulle vara möjligt med en axialfläkt, men inte en radialfläkt.

Reglerprincip med kvadratisk systemkurva

Om systemkurvan är rent kvadratisk med $s_1 = s_2 = 0$ är fläktens tryckstegring p_f proportionell mot varvtalet n^2 i kvadrat. Detta innebär att en driftspunkt och en önskad driftspunkt med trycksättningsvärdet p_r och varvtalet n_r kan skrivas som följer:

$$p_f \sim n^2 \quad p_r \sim n_r^2$$

Reglerprincipen trycksättningsvärdet $p(t)$ för tidpunkten t blir ytterst enkel enligt (4) och ger konvergens på ett steg eller samplingsintervall.

$$n(t+1) = n(t) \left(p_r / p(t) \right)^{0.5} \quad (-) \quad (4)$$

Samplingsintervallet väljs något större än summan av fläktmotordriftens tidskonstant, tidsfördröjningen mellan fläkt och tryckgivare (ljudets gångtid) och tryckgivarens tidskonstant. Siffermässigt bedöms de två tidskonstanterna vara omkring 1-2 s respektive 1-2 s. Tidsfördröjningen blir mindre än 1 s för avstånd mellan tryckgivare och fläkt under 300 m. Sammantaget borde ett samplingsintervall på 5 s vara lämpligt. Detta innebär en ytterst snabb reglering om systemkurvan är rent kvadratisk med $s_3 > 0$ och $s_1 = s_2 = 0$.

Fallet med en godtycklig systemkurva med kravet $p_s(q) = p_r > 0$ ger inte konvergens på ett samplingsintervall. Reglerprincipen kan dämpas med en konstant r på formen:

$$n(t+1) = (r + (1 - r) \left(p_r / p(t) \right)^{0.5}) n(t) \quad (-) \quad (5)$$

Värdet $r = 0$ ger det ursprungliga reglerprincipen enligt (4). Värdet $r = 0.5$ ger en konvergens efter några samplingsintervall beroende på trycktoleransen.

Systemkurvor med $s_1 < 0$ kan dock skapa instabilitet, eftersom reglerprincipen (3) förutsätter en rent kvadratisk systemkurva. Ett sådant fall kan uppstå när ett eller flera trycksättnings-system påverkar det aktuella trycksättningssystemet, vilket innebär att $s_1 < 0$. Trycksättning sker som en tryckskillnad mellan den trycksatta byggnadsvolymen och någon referenspunkt. Yttre påverkan genom vind ger liknande effekt.

Reglerprincip som ekvationslösning

En alternativ metod är att med de två senaste värden för tidpunkterna t och $t-1$ linjärt interpolera eller extrapolera fram nästa tidpunkts varvtal $n(t+1)$ som:

$$n(t+1) = n(t) + (n(t-1) - n(t)) (p_r - p(t)) / (p(t-1) - p(t)) \quad (-) \quad (6)$$

Uttrycket (6) kan resultera i division med noll, vilket bör beaktas. De näst senaste värdena kan ersättas med äldre och mer avvikande från de önskade värdena. Ett extremfall är att använda före uppstartvärden som $n(t-1) = 0$ och $p(t-1) = 0$, vilket ger det enklare uttrycket (7).

$$n(t+1) = n(t) p_r / (p(t)) \quad (-) \quad (7)$$

Denna metod med interpolation eller extrapolation kan även tillämpas med relaxation.

Slutsatser

Reglering av trycksättningssystem med varvtalsstyrda fläktar kan ske ytterst effektivt med en modellbaserad reglerprincip under förutsättning att varvtalet är lika med reglerpådraget.

Konvergens sker efter ett samplingsintervall om systemkurvan är rent kvadratisk.

Samplingsintervallet kan vara omkring 5 s, vilket är summan av fläktdriftens tidskonstant, tryckgivares tidskonstant och tidsfördröjningen mellan tryckgivare och fläktdrift. Tidsfördröjningen är avståndet mellan tryckgivaren och fläkten dividerat med ljudhastigheten i luft.

Fall med godtyckliga systemkurvor kan klaras av med att införa relaxation av regleringreppen. Det går också att med de senast värdena inter/extrapolera fram ett regleringrepp.

Reglering av trycksättning till önskade värden för ett godtyckligt fall kan göras inom några samplingsintervall, vilket blir inom högst 20 s.

Trycksättningsvärdet bör inte sättas för lågt för att undvika konflikt med andra trycksättnings-system och yttre vindpåverkan. En lämplig åtgärd är att om möjligt ha samma tryckvärde och samma okänsliga referenspunkt.

Varvtalet är begränsat neråt av motordriften och uppåt av både motordrift och fläktkonstruktion. Detta skall beaktas genom att begränsa beräknade regleringrepp till verkliga regleringrepp och därmed dito varvtal för att de föreslagna reglerprinciperna skall fungera med rätt data.

Reglering av trycksättningssystem kan göras enkelt, effektivt och robust med kännedom om trycksättningssystemets egenskaper och störningar.