

Hammarby Allé 150
120 66 Stockholm
Tel: 010-130 77 00

Kv. Hästskon 12 Ventilationsschakt Klaratunneln

Anders Björkén
Ilija Zovko

Sammanfattning

Med anledning av en förestående ombyggnad av Kv. Hästskon 12 så har ventilationsschakten till Klaratunneln varit under utredning. Det finns ett schakt för tilluft och ett schakt för frånluft på 19 m² vardera. Utredningen avser om schaktens area och volym påverkar funktionen för ventilation i Klaratunneln. Ombyggnaden av fastigheten påverkar inte dagens funktion av ventilationsschakten. Däremot så har intagsgallren till tilluften för liten area gentemot arean i schaktet. Vilket kommer att åtgärdas i samband med ombyggnationen.

1 INLEDNING	1
1.1 SYFTE/MÅL	1
2 BAKGRUND	1
2.1 PROBLEMANALYS	1
3 METOD	1
4 DISKUSSION AV RESULTAT	1
5 SLUTSATS	4
6 REKOMMENDATIONER	7
KÄLLFÖRTECKNING	7
BILAGOR	7

1 Inledning

Rapporten utreder frågeställningar om funktionen av ventilationsschakten till Klaratunneln i samband med en eventuell påbyggnad av huset.

1.1 Syfte/mål

Att säkerställa funktionen av ventilationsschakten

2 Bakgrund

Fastighetsägaren Vasakronan har för avsikt att bygga om och bygga till fastigheten Hästskon 12. Utredningen avser att säkerställa funktionen på ventilationsschakten till och från vägtunneln som går under/genom fastigheten. Hänsyn ska också tas till en eventuell brand och rökevakuering. Mätresultat och analyser återfinns i Swecos PM -KMK installation i anslutning till trafikkontorets luftschakt för tunnelventilation av klaratunneln.

2.1 Problemanalys

Det är ett högt tryckfall över uteluftsgaller till tilluftsschaktet i synnerhet vid brandfallet då det är fläktar i drift.

3 Metod

Platsbesök, dokumentet svar till SBK ang. ventilationsschakt från Klaratunneln samt PM: KMK installation i anslutning till Trafikkontorets luftschakt för tunnelventilation av Klaratunneln, Station Hästen från Sweco.

4 Diskussion av resultat

Frånluft:

Med ett normalluftflöde på $25 \text{ m}^3/\text{s}$ så blir det teoretiska tryckfallet i schaktet $1,9 \text{ Pa}$. Det innebär att det är ett tryckfall på $0,054 \text{ Pa/m}$. Det betyder att tryckfallet ökar med $0,324 \text{ Pa}$ på totala längden av schaktet. Vid brand så har vi räknat med att det är ett luftflöde på $125 \text{ m}^3/\text{s}$ i schaktet enligt Swecos mätningar som återfinns i PM sidan 3 och då blir det teoretiska tryckfallet $47,8 \text{ Pa}$. Det innebär att det är ett tryckfall på $1,36 \text{ Pa/m}$. Det betyder att tryckfallet ökar med $8,16 \text{ Pa}$ på hela längden. Det blir inte någon skillnad om man förlänger schaktet i dess nuvarande mått i två våningar till eftersom arean i frånluftsschaktet är så stor att tryckfallet blir försumbart.

Tilluft:

Flöden och hastigheter i schaktet är lika frånluft (se ovan). Enligt mätning och beräkning av uteluftsgaller så finns det en rejäl strypning av lufttillförseln till Klaratunneln. Arean är ca 8 m^2 mindre över gallren än arean i tilluftsschaktet vilket medför ett högre tryckfall som följd. Vid brand så blir det teoretiska tryckfallet $209,3 \text{ Pa}$ över gallren (se tabell 4:1 nedan). Då vi inte har tillgång till ett tryckfallsdiagram över dessa uteluftsgaller då fabrikatet är okänt så är det helt och hållet teoretiska beräkningar. Eftersom Tilluftsschaktet har samma förutsättningar som frånluftsschaktet så gäller samma tryckfall i schaktet. Enligt Swecos mätningar ca 170 Pa över galler i brandfallet (PM sid 8). Om man tar ur gallren och har en fri öppning så sänker vi tryckfallet med ca 85 Pa (se tabell 4:2 nedan)

Gallerarea tilluft klaratunneln

			Öppningsarea	Antal	Summa
Schaktarea	19	m ²			
Schaktlängd	35	m			
Gallerbredd 1	2,5	m	2,7	2	5,4
Gallerbredd 2	2,3	m	2,484	1	2,484
Gallerhöjd 2,7m	2,3	m	3,312	1	3,312
				Tot:	11,196 m ²

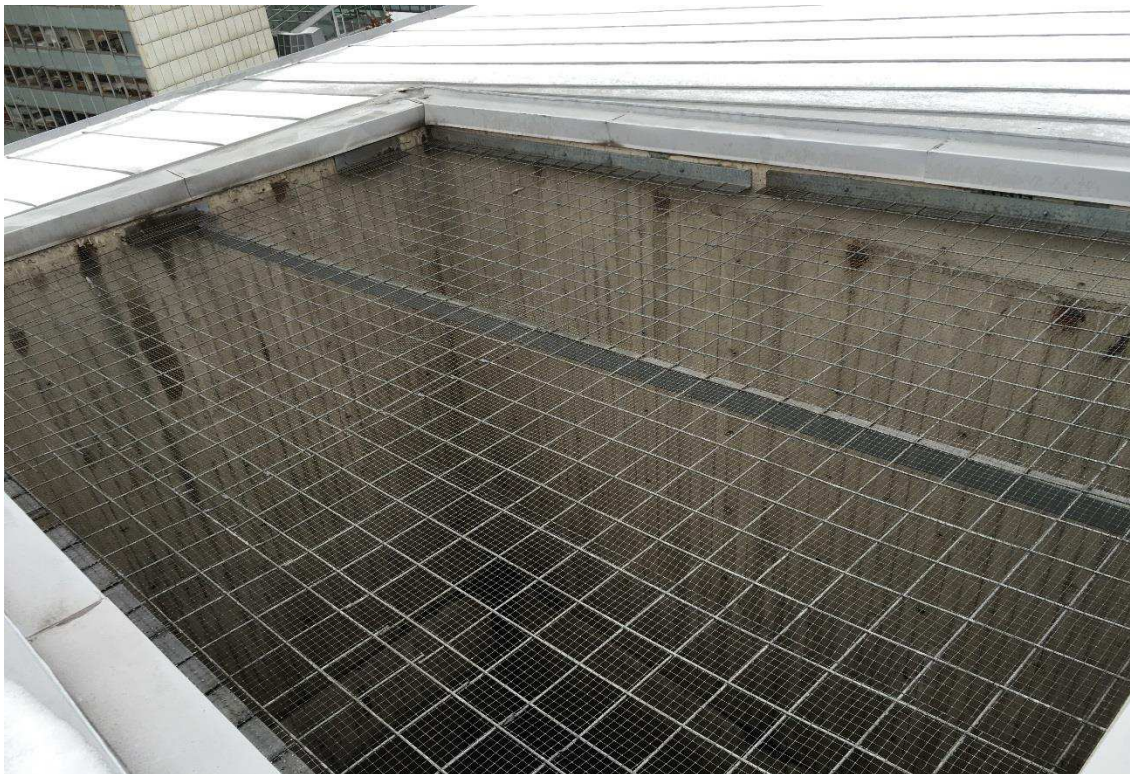
Hastighet schakt

	Flöde		Hastighet		ΔP
Normalfall:	25	m ³ /s	1,3	m/s	0 Pa
Brandfall:	125	m ³ /s	6,6	m/s	3 Pa

Hastighet galler

					ΔP
Normalfall:	25	m ³ /s	2,2	m/s	8,4 Pa
Brandfall:	125	m ³ /s	11,2	m/s	209,3 Pa

(Tabell 4:1 Teoretiska tryckfall)



(Bild 4:1) Frånluftsöppning i taket.



(Bild 4:2) Uteluftsintag från insidan (fasad mot väster).



(Bild 4:3) Öppningsmått mellan lameller 90mm.



(Bild 4:4) Uteluftsintag från utsidan(fasad mot väster).

Hastighet utan galler i öppningarna

			Öppningsarea	Antal	Summa	
Schaktarea	19	m ²				
Schaktlängd	35	m				
Gallerbredd 1	2,5	m	4,5	2	9	
Gallerbredd 2	2,3	m	4,14	1	4,14	
Gallerhöjd 2,7m	2,3	m	5,52	1	5,52	
Tot:					18,66	m²

Hastighet schakt

	Flöde		Hastighet		ΔP	
Normalfall:	25	m ³ /s	1,3	m/s	0	Pa
Brandfall:	125	m ³ /s	6,6	m/s	3	Pa

Hastighet galleröppning

					ΔP	
Normalfall:	25	m ³ /s	1,3	m/s	5,0	Pa
Brandfall:	125	m ³ /s	6,7	m/s	125,6	Pa

(Tabell 4:2) Teoretiska tryckfall utan galler i öppningarna.

5 Slutsats

Frånluft

Ombyggnaden av fastigheten påverkar inte dagens funktion av ventilationsschaktet. I normalfallet så ökar tryckfallet med 0,324 Pa på hela längden av schaktet. Om det skulle uppstå en brand i vägtunneln och fläktarna ökar flödet så blir tryckfallet 8,16 Pa mer på hela längden i brandfallet. Vi ser inga hinder i frånluftsschaktet då det verkar rätt dimensionerat från början.

Tilluft

Tilluftsschaktet har samma förutsättningar som frånluftsschaktet och det betyder att vi har samma värden i båda schakten. Det innebär att det inte finns något hinder att förlänga detta schakt med tanke på tryckfallen. Däremot så är det höga tryckfallet över uteluftsgaller så högt att det måste åtgärdas på ett tillfredställande sätt så att tryckfallet halveras mot dagens utförande.

6 Rekommendationer

Vi rekommenderar att uteluftsintagen konstrueras om så att man minimerar tryckfallet över dessa. Det innebär att den öppna arean måste vara minst lika stor som arean på luftschaktet till att börja med. Vidare så behöver det inte nödvändigtvis vara lamellgaller utan att man utformar vägghuvar i samråd med arkitekten och med konstruktionskonsulten.

Källförteckning

Dokumentet: Svar till SBK ang. ventilationsschakt från Klaratunneln.

PM: KMK installation i anslutning till Trafikkontorets luftschakt för tunnelventilation av Klaratunneln, Station Hästen från Sweco.

Egna beräkningar.

Bilagor

Bilaga 1	PM KMK installation i anslutning till Trafikkontorets luftschakt för tunnelventilation av Klaratunneln, Station Hästen.
Tabell 4:1	Teoretiska tryckfall.
Tabell 4:2	Teoretiska tryckfall utan galler i öppningarna.
Bild 4:1	Frånluftsöppning i tak.
Bild 4:2	Uteluftsintag från insidan (fasad mot väster).
Bild 4:3	Öppningsmått mellan lameller 90mm.
Bild 4:4	Uteluftsintag från utsidan(fasad mot väster).

PM

VASAKRONAN FASTIGHETER AB

Kv Hästskon, STOCKHOLM

**KMK installation i anslutning till Trafikkontorets luftschaft för
tunnelventilation av Klaratunneln, Station Hästen**

Uppdragsnummer 1133156100

2014-12-17

Sweco Systems AB
Stockholm

Mats Helander
Johan Revholm

1 (17)

<p>Sweco Gjörwellsgatan 22 Box 34044 SE-100 26 Stockholm, Sverige Telefon +46 (0)8 6956000 Fax +46 (0)8 6956010 www.sweco.se</p>		
---	--	--

p:\data\dropbox (sec ferax)\100_vasakronan_hästskon_energi\10 arbetsmtrl_dokumentredning_kmk\kv_hästskon_pm_kmk_2014-12-17.docx

1	Inledning & bakgrund	3
2	Ägarförhållanden schakt för Klaratunneln mm	3
3	Klaratunnelns ventilationssystem, översikt	4
4	KMK funktion (kylmedelkylar funktion)	5
5	Driftförhållanden för tunnelns tilluftfläktar	8
6	Maximal påverkan på driftförhållanden för tunnelventilationen	9
7	Varaktighet på cirkulationsflöde i KMK-fläktar	10
8	Bedömning av årlig påverkan på driftförhållanden för tunnelns tilluftfläktar från KMK	12
9	Driftförhållanden i tunnelns frånluftsfläktar	13
10	Bedömning av positiv effekt på driftförhållanden för tunnelns frånluftsfläktar från KMK pga utsläpp av övertempererad luft	16
11	Brandskyddsdokumentation	17
12	Skydd mot inträngning, galler i öppningar till luftschaft	17
13	Byggåtgärder, påverkan på betongkonstruktioner	17

Bilagor: Systembeskrivning Klaratunneln upprättad av Acobiaflux 2014

Detta PM syftar till att förklara påverkan på Trafikkontorets tunnelventilationsanläggning "Hästen" för Klaratunnelns ventilation med Vasakronans planerade KMK-installation, ge förslag till mätning för uppföljning av driftskostnadspåverkan samt vilka driftgränser och begränsningar som måste beaktas för att Trafikkontorets tunnelventilation ska fungera med ostörd funktion i normalventilation och brandfall med så liten påverkan på driftskostnad som möjligt.

1 Inledning & bakgrund

Trafikkontoret ventilerar Klaratunneln med hjälp av flera till- och frånluftsfläktar i olika stationer längs med tunnelns sträcka så att gränsvärden för luftkvalitet i tunneln hålls på rätt nivå. Tunnelventilations-station "Hästen" försörjs av två st 19 m² stora luftschakt för till- och frånluft som passerar genom Vasakronans fastighet kv Hästskon 12, Hus S, till yttertak. Tryckloggning av faktiska driftsförhållanden under en veckas period tycks antyda ett faktiskt ventilationsflöde 0-25 m³/s. Tryckloggning av driftsförhållanden vid maxfart, brandfall antyder att man når ett maxflöde på ca 125 m³/s.

Vasakronan planerar att genomföra en installation för energibesparing ("KMK-installation") där cirkulationsfläktar används för att med luft kyla kylmedel för vätskekylaggregat som betjänar i huvudsak byggnadens komfortkylsystem. KMK-installationen är en del av en större energibesparingsinstallation där grundvatten från rullstensåsen (akvifären) under fastigheten pumpas mellan kalla och varma brunnar för att utvinna energi med säsongslagring av frikyla och värme. För att säsongslagringen ska fungera tillfredsställande behövs en KMK-installation för att på vintern lagra in kyla i grundvattnet, samt för att på sommaren bortföra överskottsvärme från vätskekylaggregat för komfortkyla.

KMK-installationen föreslås utföras så att 2 st cirkulationsfläktar med totalt maxflöde ca 45 m³/s hämtar luft genom en ca 8 m² stor öppning till Trafikkontorets tilluftsintag till ventilations-station Hästen, samt en ca 6 m² stor öppning till Trafikkontorets frånluftschakt för tunnelventilation där varm luft lämnas. Dessa ingrepp utförs i samråd med Trafikkontoret därför att de påverkar funktion, driftskostnader och brandskydd för tunnelventilationen i ventilations-station Hästen. Förutsättningen är att båda anläggningar ska fungera utan att störa varandra mer än marginellt vad gäller ökad driftskostnad för fläktar pga större tryckfall vid gemensam drift. Vid brandfall, reservkraftsdrift och höga belastningar i tunnelventilationen ska KMK-installationen stänga av.

2 Ägarförhållanden schakt för Klaratunneln mm

I Tomträttskontrakt mellan staden och tomträttshavaren finns det reglerat att schaktfunktioner ska innehållas för Klaratunneln.

3 Klaratunnelns ventilationssystem, översikt

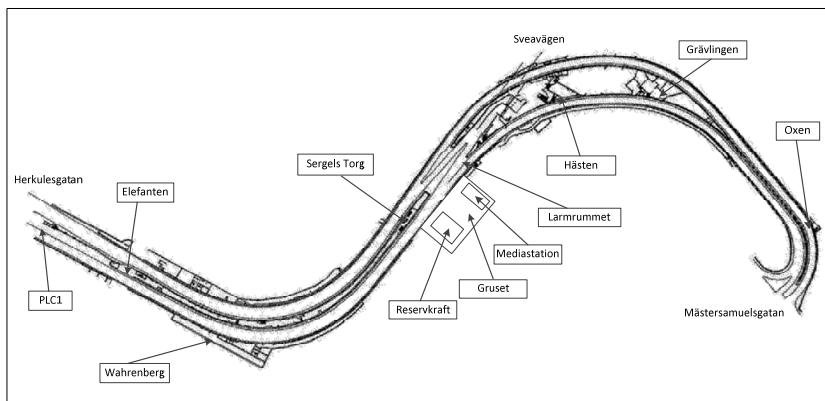


Figure 1 Översikt Klaratunneln, fläkttrum Hästen har luftschakt genom Kv Hästskon (bild hämtad från dokument Systembeskrivning Klaratunneln Acobiaflux 2014)

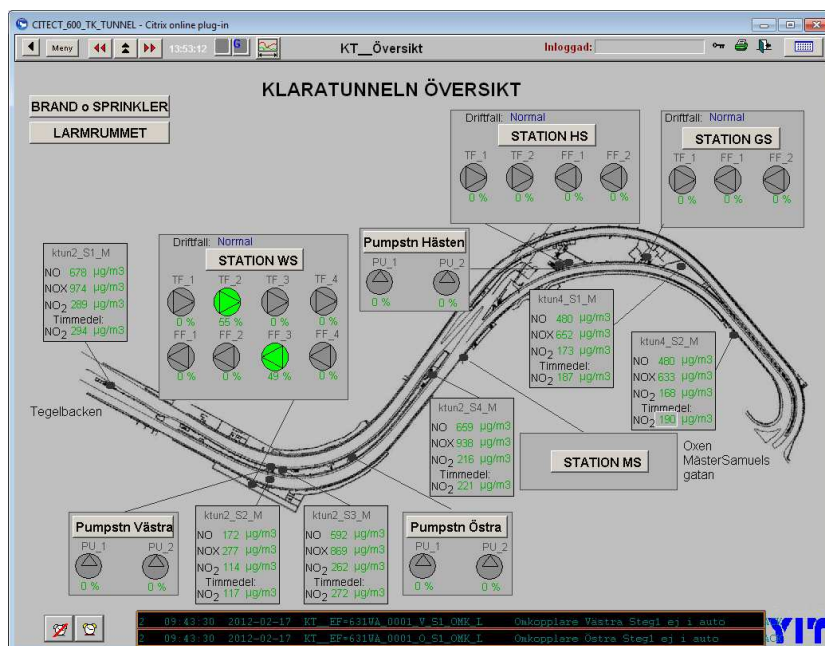


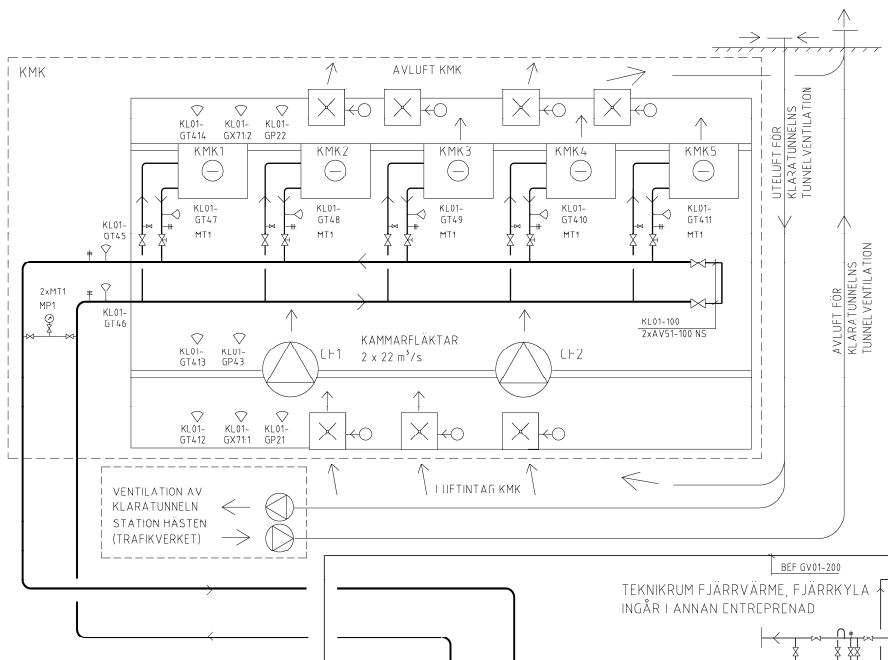
Figure 2 Översikt Klaratunneln (bild hämtad från dokument Systembeskrivning Klaratunneln Acobiaflux 2014)

Normalt är Klaratunneln självventilerande när trafiken flyter på via kolvverkan från fordonen. Normalt regleras tunnelventilationen mot NO₂ givare för respektive tunneldel, vid högtrafik och köbildning startar mekanisk ventilation med ett variabelt flöde efter behov för att klara NO₂ nivåer i respektive tunneldel. Klaratunnelns fläkt drift för station Hästen (HS) – se **Systembeskrivning Klaratunneln Acobiaflux kap 3.5.2 "Fläkt drift i HS"**. Ca 40.000 fordon passerar Klaratunneln per dygn.

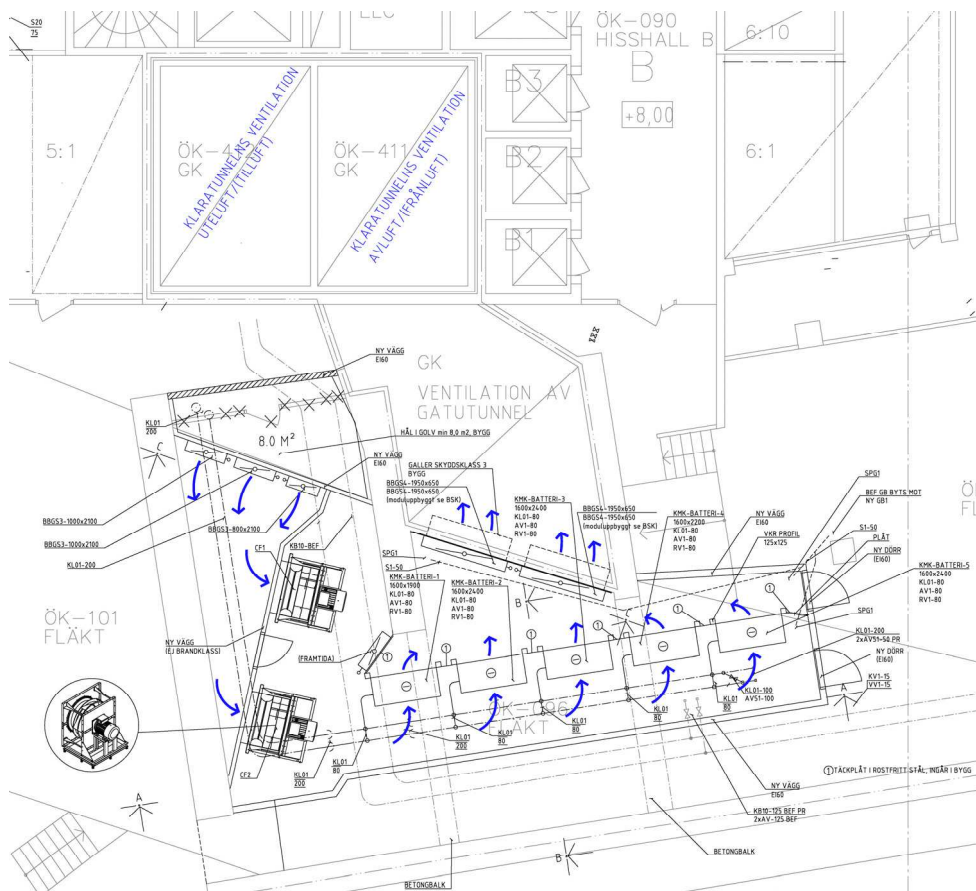
4 KMK funktion (kylmedelkylar funktion)

KMK installationen har följande funktioner:

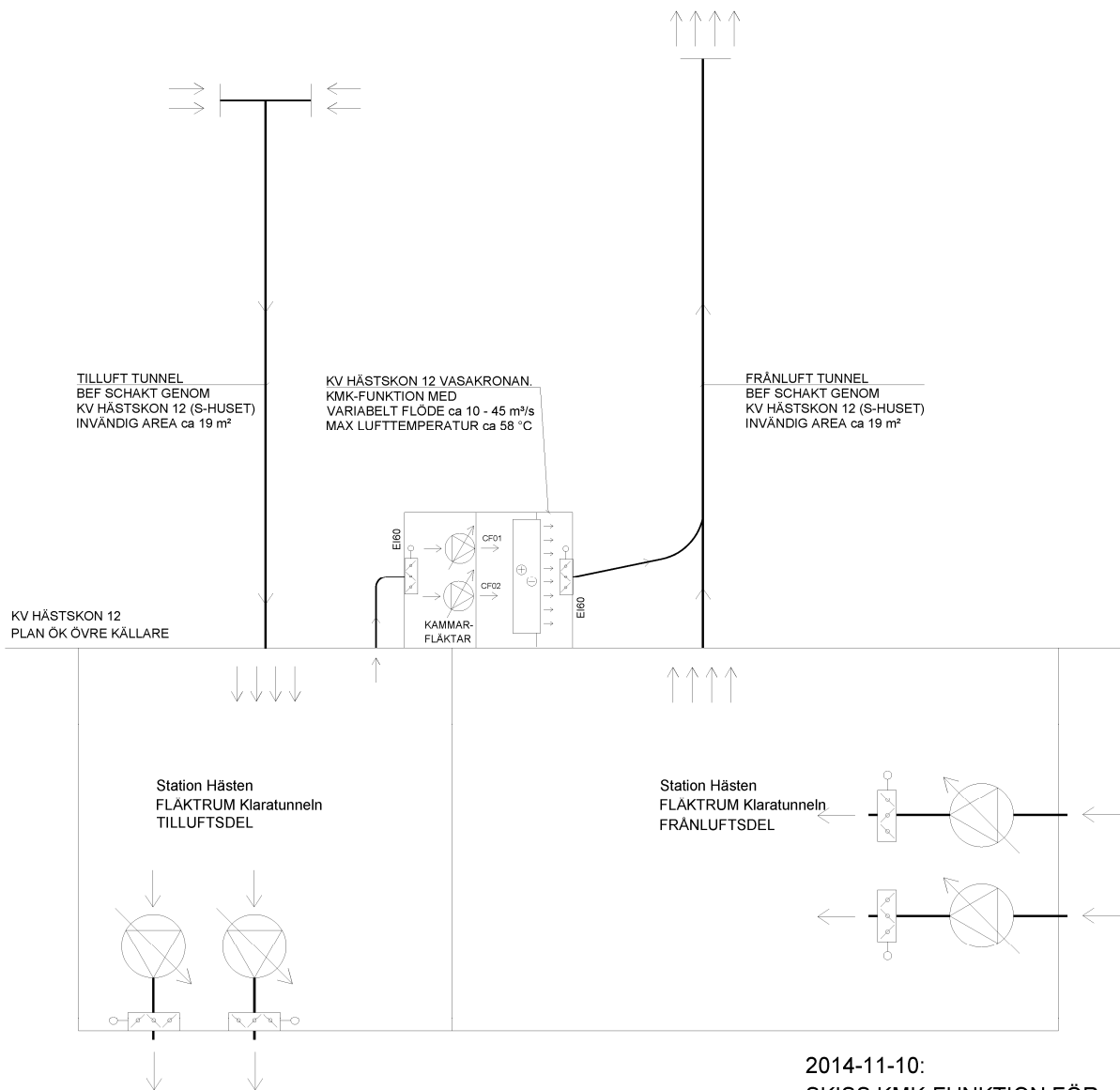
1. Överskottsvärme från Kv Hästskon vår, sommar höst som inte kan utnyttjas i fastigheten avges till uteluften via denna KMK funktion. Uteluft tas via bef tilluftsschakt som betjänar klaratunnelns fläktsystem och uppvärmd luft avges i frånluftsschaktet.
2. Luftflödesmätning i KMK funktion begränsar luftflödet till inställt maxvärde ca 45 m³/s
3. KMK luftflöde begränsas även när Klaratunnelns ventilationsbehov för aktuell station HS överskrider ca 60 m³/s Klaratunnelns ventilationsbehov och ventilationsflöde säkerställs genom denna begränsningsfunktion i KMK
4. Installation av luftflödesmätfunktion anordnas på Trafikkontorets fläktar i station HS (Hästen), tilluftsläktar TF5-TF6 samt frånluftsläktar FF5-FF6
5. Funktion för mätning av statiskt tryck anordnas av Vasakronan vid lägen för håltagning till Klaratunnelns ventilationsschakt, under- resp övertryck i dessa punkter begränsas till max inställt värde, max undertryck "uteluft/tilluft" 275 Pa, max övertryck "avluf/frånluft" 150 Pa
6. När Trafikkontoret har sin reservkraft aktiverad stoppar KMK funktionen och spjäll mot schakt stänger
7. När Trafikkontoret har sin brandfunktion aktiverad stoppar KMK funktionen och spjäll mot schakt stänger
8. När brandlarm aktiveras inom KMK stoppar KMK fläktar och spjäll stänger
9. Signalutbyte anordnas mellan Vasakronans styrsystem och Trafikkontorets styrsystem CitectSCADA
10. Åtgärder utförs på gallerfunktion i fläktrum på takplan i Kv Hästskon S-huset där Klaratunnelns luftschakt för uteluft/tilluft är placerade, denna åtgärd minskar tryckfallet i detta schakt vilket är en fördel vid alla driftfall både för Klaratunnelns fläktdrift samt Vasakronans KMK fläktfunktion, Vasakronan återkommer med teknisk lösning som minskar tryckfall över uteluftsfunktionen/tilluft Klaratunneln
11. Vasakronan förbinder sig att styra/reglera KMK funktionen så att Klaratunnelns ventilation i alla lägen ska fungera utan störningar



Figur 1. KMK funktion hämtad från Principflödesschema akvifersystem



Figur 2. KMK funktion hämtad från planritning, Kv Hästskon plan 3 (plan ÖK)



2014-11-10:
SKISS KMK-FUNKTION FÖR
KV HÄSTSKON 12 I SAKT
FÖR TUNNELVENTILATION
J. Revholm & M. Helander,
Sweco

Figur 3. KMK funktion

5 Driftförhållanden för tunnelns tilluftfläktar

Vid testkörning av maxflöde på tunnelventilationsfläktarna för tilluft (brandfall) uppmättes ett undertryck i botten av tilluftschaktet på **ca 350 Pa**.

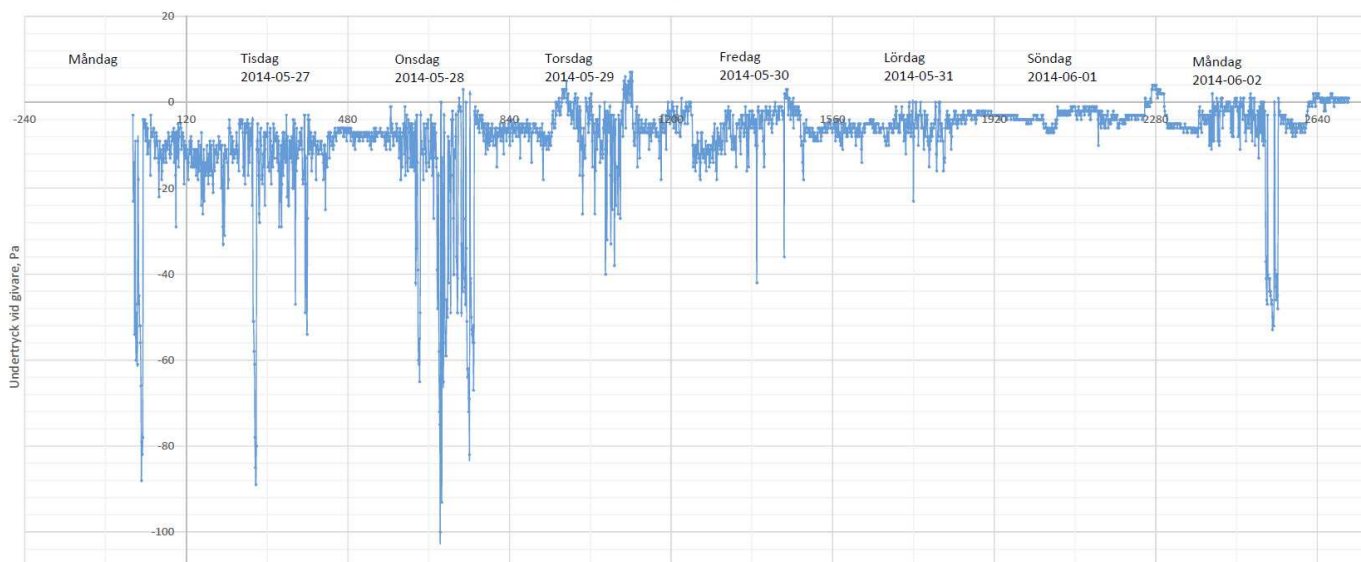
Att döma av dokumentation på tunnelfläktarna ska maxflöde uppgå till ca 125 - 150 m³/s.

Vid brandfallet uppmättes också ett differenstryck över tilluftintagets galler på S-husets tak **ca 150-170 Pa**. Man kan då konstatera att en stor del av tryckfallet ligger över ytterväggsgallren i tilluftsintaget, och att detta bör beaktas och åtgärdas vid framtida ombyggnad.

En beräkning av friktionstryckfallet i tilluftschaktet vid flödet 125 m³/s ger ett tryckfall ca 0,1 Pa vilket på den ca 35 meter långa sträckan skulle motsvara ett tryckfall ca 3,5 Pa. Det blir med denna beräkning uppenbart att den stora källan till tryckfall är uteluftgallren, samt stötförluster vid riktningsförändringar och dimensionsförändringar i tilluftströmmen, och inte friktionstryckfall i rak kanalsträcka.

Tryckloggning av faktiska driftförhållanden under en veckas period tycks antyda ett undertryck för det allra mesta omkring 5 - 100 Pa i loggpunkten, vilket antyder ett faktiskt ventilationsflöde omkring 15 - 67 m³/s vid tillämpning av affinitetslagarna för förhållandet mellan tryck och flöde, med uppmätta förhållanden vid maxbelastning som referenspunkt.

Undertryck tilluftsintag Klaratunneln, kv Hästskon



Figuren ovan visar undertrycket vid normaldrift under en veckas tid i maj 2014 i samma loggpunkt där ca 350 Pa undertryck uppmättes i ett maxfall.

6 Maximal påverkan på driftsförhållanden för tunnelventilationen

När Vasakronans KMK funktion är i drift med tillhörande KMK fläktar så påverkas det statiska trycket i respektive luftschakt. När KMK luftflödet ökar så ökar även det statiska undertrycket i tilluftsschaktet som betjänar Klaratunneln med tilluft, för frånluftschaktet så minskar det statiska trycket p.g.a att varm luft tillförs frånluftsschaktet.

Det är rimligt att anta att KMK-installationen ökar tryckbehovet för tunnelns tilluftsfläktar med lika mycket som tryckfallet ökar i den gemensamma utluftskanalen i den gemensamma kanalen (samma som den del där undertrycket uppmätts).

Om man utgår från att ventilationen skapar ett undertryck på som mest 100 Pa i mätpunkten vid normaldrift så skulle detta enligt affinitetslagarna motsvara ett flöde $\sqrt{100/350} * 125 \text{ m}^3/\text{s} = 67 \text{ m}^3/\text{s}$.

KMK-installationen har ett maxflöde på ca $45 \text{ m}^3/\text{s}$. Vid detta flöde och samtidig maximal normal tunnelventilation ca $67 \text{ m}^3/\text{s}$ blir det gemensamma flödet i tilluftschaktet $112 \text{ m}^3/\text{s}$ och undertrycket i mätpunkten enligt affinitetslagarna
 $(112/125)^2 * 350 \text{ Pa} = 280 \text{ Pa}$

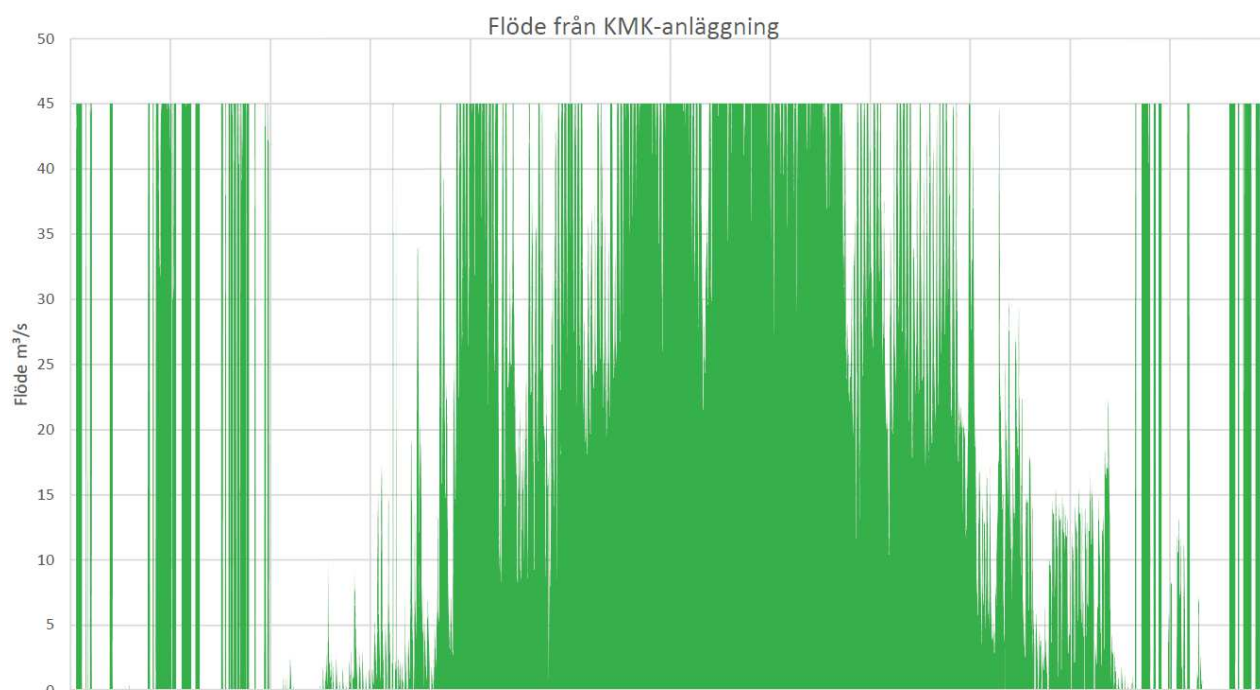
Då har KMK-installationen åsamkat en ökning av tryckbehovet för tilluftsfläktarna på 180 Pa. Om man antar en systemverkningsgrad för tilluftsfläktarna på ca 60 % så innebär detta att vid ett flöde av $67 \text{ m}^3/\text{s}$ blir eleffektbehovet för Trafikkontorets tilluftsfläktar ökat med:

$$\frac{67 [\text{m}^3/\text{s}] \cdot 180 [\text{Pa}]}{0,60} = 20,1 \text{ kW}$$

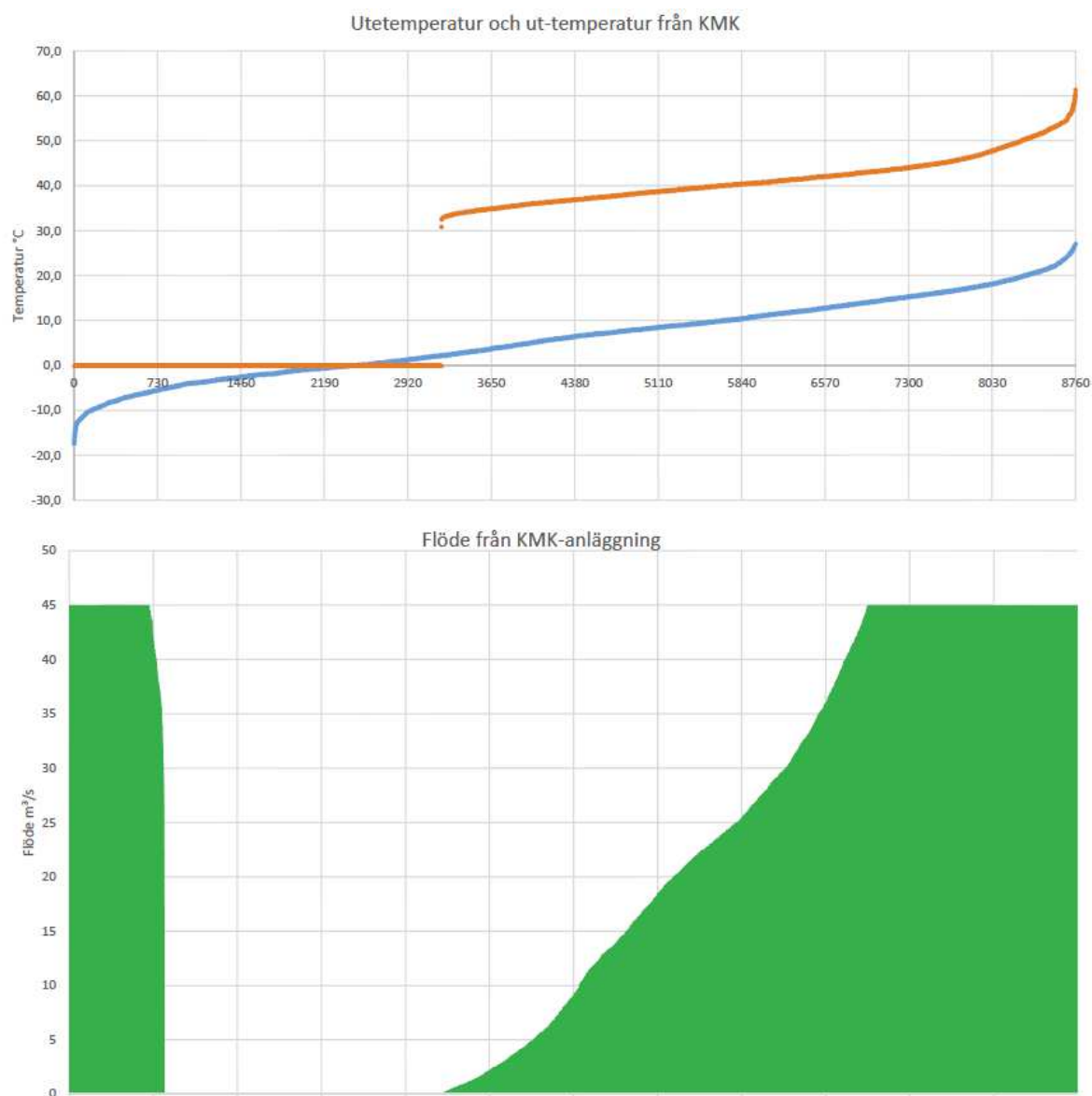
7 Varaktighet på cirkulationsflöde i KMK-fläktar

För att kunna bedöma hur KMK-installationen påverkar driftskostnader för Trafikkontorets fläktar behöver vi en beräkning av varaktigheten på KMK-fläktarnas flöde. Nedan bild visar en simulering av KMK-fläktarnas flöden under året. Ventilationen går för fullt när det är som varmast och som kallast under året.

KMK funktionens luftflöde begränsas till max ca 45 m³/s eller lägre beroende på Trafikkontorets flödesbehov



Om ovanstående timmar sorteras på storleksordning fås ett varaktighetsdiagram. Detta kan även ställas i relation till utetemperaturvaraktigheten. Då fås diagrammet i nästföljande figur.



Att döma av denna information är varaktigheten på luftflödet 45 m³/s ca 5 månader per år, vilket blir ca $8760 * 5 / 12 = 3\,650$ timmar per år.

8 Bedömning av årlig påverkan på driftförhållanden för tunnelns tilluftfläktar från KMK

Det är endast ett fåtal timmar per dygn som det normala maxflödesbehovet i tunneln inträffar. Ett rimligt antagande att döma av loggningar skulle vara att tryckbehovet på 80 Pa undertryck inträffar under 10 timmar per vecka (en timme på morgonen och en timme på kvällen varje vardag). Det skulle motsvara 520 timmar per år.

Då är tunnelventilationsflödet:

$$\sqrt{80/350} * 125 \text{ m}^3/\text{s} = 60 \text{ m}^3/\text{s}.$$

KMK-installationen har ett maxflöde på ca 45 m³/s. Vid detta flöde och samtidig maximal normal tunnelventilation ca 60 m³/s blir det gemensamma flödet i tilluftschaktet 105 m³/s och undertrycket i mätpunkten enligt affinitetslagarna $(105/125)^2 * 350 \text{ Pa} = 247 \text{ Pa}$

Då har KMK-installationen åsamkat en ökning av tryckbehovet för tilluftfläktarna på 147 Pa. Om man antar en systemverkningsgrad för tilluftfläktarna på ca 60 % så innebär detta att vid ett flöde av 60 m³/s blir eleffektbehovet för Trafikkontorets tilluftfläktar ökat med:

$$\frac{60 [\text{m}^3/\text{s}] \cdot 147 [\text{Pa}]}{0,60} = 14,7 \text{ kW}$$

Den tid då detta inträffar samtidigt som KMK-flödet är 45 m³/s (vilket det är under ca 4 månader per år) är $5/12 * 520 = 217 \text{ timmar}$ per år.

Det är således rimligt att göra en prognos på ett ökat energibehov för Trafikkontorets tilluftfläktar på

$$14,7 \text{ kW} * 217 \text{ timmar} = 3\,190 \text{ kWh}.$$

Med en elkostnad på 1 kr / kWh blir det ca 3 190 kr/år i ökad driftskostnad för tilluftfläktarna.

9 Driftförhållanden i tunnelns frånluftsfläktar

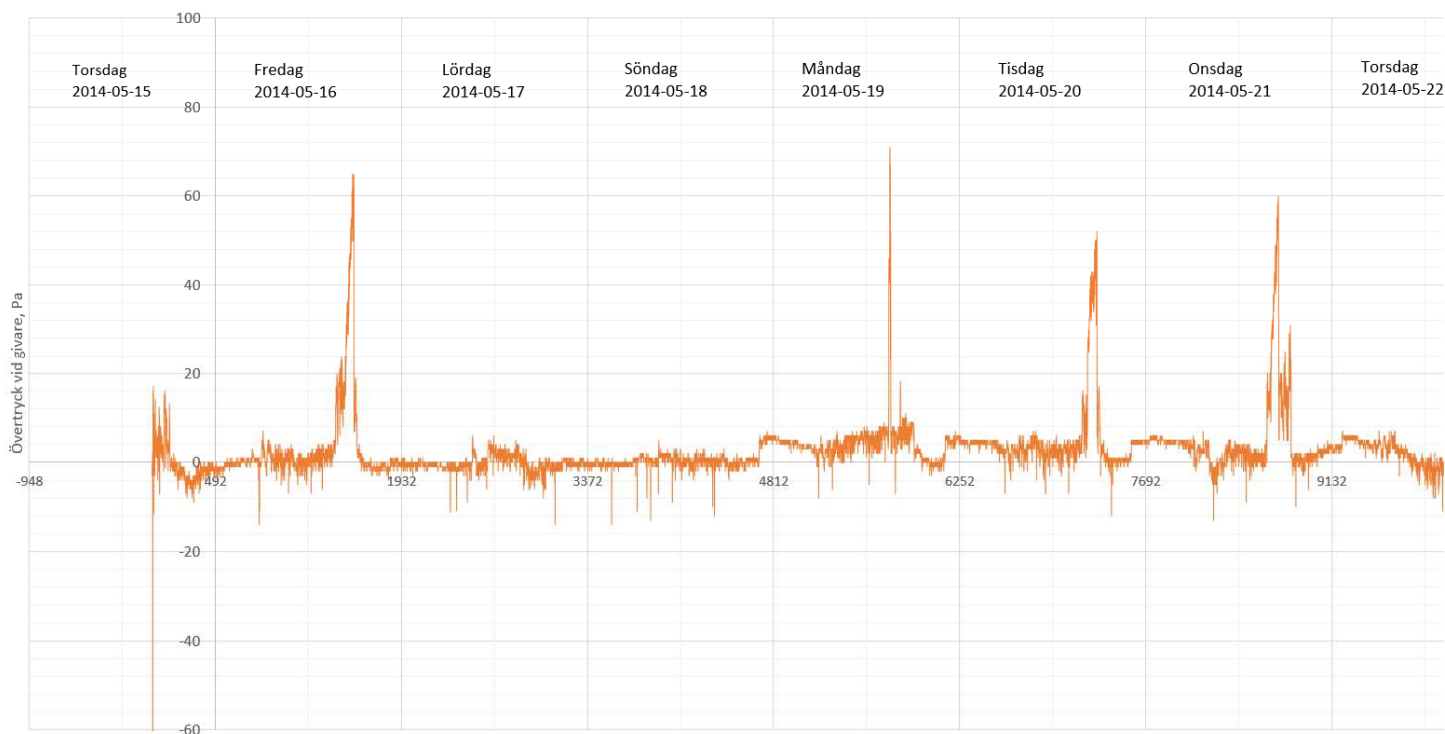
Vid testkörning av maxflöde på tunnelventilationsfläktarna för frånluft (brandfall) uppmättes ett övertryck i botten av frånluftschaktet på ca 125 Pa.

Att döma av dokumentation på tunnelfläktarna ska maxflöde uppgå till ca 125 m³/s.

Dokumentationen för tunnelventilationen föreskriver att tilluftsflödet är 90% av frånluftsflödet, varför det är rimligt att anta ett maxflöde i frånluftsfläktar på totalt ca 125/0,90 = 139 m³/s.

Från loggerdata kan följande diagram erhållas för en period på en vecka:

Övertryck frånluftsschakt Klaratunneln, kv Hästskon



Figuren ovan visar övertryck i frånluftschaktet vid normaldrift under en veckas tid i maj 2014 i samma loggpunkt där ca 125 Pa undertryck uppmättes i ett maxfall.

Tryckloggning av faktiska driftsförhållanden under en veckas period tycks antyda ett övertryck för det allra mesta omkring 0 - 60 Pa i loggpunkten, vilket antyder ett faktiskt ventilationsflöde omkring 0 - 96 m³/enligt nedan tillämpning av affinitetslagarna för förhållandet mellan tryck och flöde, med uppmätta förhållanden vid maxbelastning som referenspunkt.

Från ovan diagram ser man att det maximala övertryck som normalt inträffar tycks vara ca 60 Pa. Det motsvarar ett flöde

$$\sqrt{60/125} * 139 \text{ m}^3/\text{s} = 96 \text{ m}^3/\text{s}.$$

(Ett övertryck på 5 Pa motsvarar ett flöde på

$$\sqrt{5/125} * 139 \text{ m}^3/\text{s} = 28 \text{ m}^3/\text{s})$$

Maximal påverkan på driftförhållanden för tunnelns frånluftsfläktar från KMK

Det är rimligt att anta att KMK-installationen ökar tryckbehovet för tunnelns frånluftsfläktar med lika mycket som tryckfallet ökar i det gemensamma frånluftschaktet (samma som den del där övertrycket uppmätts).

Om man utgår från att ventilationen skapar ett övertryck på som mest 69 Pa i mätpunkten vid normaldrift så skulle detta enligt affinitetslagarna motsvara ett flöde $\sqrt{60/125} \cdot 139 \text{ m}^3/\text{s} = 96 \text{ m}^3/\text{s}$.

KMK-installationen har ett maxflöde på ca $45 \text{ m}^3/\text{s}$. Vid detta flöde och samtidig maximal normal tunnelventilation ca $96 \text{ m}^3/\text{s}$ blir det gemensamma flödet i tilluftschaktet $141 \text{ m}^3/\text{s}$ och undertrycket i mätpunkten enligt affinitetslagarna $(141/139)^2 \cdot 125 \text{ Pa} = 129 \text{ Pa}$

Det uppstår dock en positiv skorstensverkan från att KMK-installationen i de allra flesta fallen släpper övertempererad luft i tunneln. Den luft som släpps ut är ca 25°C varmare än uteluften. Varm luft har lägre densitet och densitetsskillnaden skapar då en skorstenseffekt vilket ger ett undertryck, vilket minskar tryckmotståndet i frånluftschaktet (på samma sätt som lyftkraften i en varmluftsballong uppstår pga densitetsskillnad enl Arkimedes princip):

Tryckskillnaden över ett i botten övertempererat schakt f blir, förutsatt att det har öppningar i botten och i toppen fördelade så att ett lika stort övertryck inträffar i toppen som undertrycket i botten. Schaktet får en neutral differenstrycksnivå på mitten.

Övertrycket i toppen blir

$$dp_o = g \cdot (\rho_{uteluft} - \rho_{schakt}) \cdot \frac{h_{schakt}}{2}$$

Undertrycket i botten blir

$$dp_u = g \cdot (\rho_{uteluft} - \rho_{schakt}) \cdot \frac{h_{schakt}}{2}$$

Densitet för torr luft kan beräknas med den absoluta temperaturskillnaden mot en referensdensitet. Antar man att uteluften är 0°C kan man uttrycka densiteterna som:

$$\rho_{uteluft} = 1,293 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \text{ vid } 0^\circ\text{C} \right] \cdot \frac{T_{0^\circ\text{C}}[\text{K}]}{T_{uteluft}[\text{K}]} = 1,293 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] 0^\circ\text{C}$$

Densiteten i schaktet är resultatet av blandningstemperaturen mellan tunnelventilationsflödet och KMK-flödet. Den temperaturen är vid maxflöde i tunneln:

$$t_{schakt} = \frac{96 \cdot 0 [^{\circ}C] + 45 \cdot 25 [^{\circ}C]}{141} = 8 ^{\circ}C$$

$$\rho_{schakt} = 1,293 \left[\frac{kg}{m^3} vid 0^{\circ}C \right] \cdot \frac{T_{0^{\circ}C}[K]}{T_{schakt}[K]} = 1,293 \cdot \frac{273}{281} = 1,256 \left[\frac{kg}{m^3} \right] vid 8^{\circ}C$$

Övertrycket i toppen blir i detta maxfall

$$dp_o = 9,82 \cdot (1,293 - 1,256) \cdot \frac{35}{2} = 6 [Pa]$$

Undertrycket i botten blir i detta maxfall

$$dp_u = 9,82 \cdot (1,293 - 1,256) \cdot \frac{35}{2} = 6 [Pa]$$

Eftersom schaktet inte har andra öppningar på mitten kommer både över- och undertrycket att ha en minskande effekt på schaktets tryckmotstånd enligt:

$$\text{Mottryck (övertryck)} = 129 - 6 - 6 \text{ Pa} = 117 \text{ Pa}$$

Då har KMK-installationen åsamkat en ökning av tryckbehovet för frånluftsfläktarna på 57 Pa. Om man antar en systemverkningsgrad för frånluftsfläktarna på ca 60 % så innebär detta att vid ett flöde av 96 m³/s blir eleffektbehovet för Trafikkontorets frånluftsfläktar ökat med:

$$\frac{96 [m^3/s] \cdot 57 [Pa]}{0,60} = 9,1 \text{ kW}$$

10 Bedömning av positiv effekt på driftförhållanden för tunnelns frånluftsfläktar från KMK pga utsläpp av övertempererad luft

Från loggning av tryckskillnaden i frånluftschaktet tycks anläggningen vara stoppad eller gå på mycket lågt flöde med tryckmotstånd omkring 0-5 Pa stor del av tiden.

Vid 5 Pa övertryck i schaktet är flödet enligt affinitetslagarna ca:

$$\sqrt{5/125} \cdot 139 \text{ m}^3/\text{s} = 28 \text{ m}^3/\text{s}$$

Ett KMK-flöde på 45 m³/s, ger ett sammanlagt flöde i schaktet på 73 m³/s, vilket ger ett mottryck i frånluftschaktet enligt affinitetslagarna:

$$(73/139)^2 \cdot 125 \text{ Pa} = 34 \text{ Pa}$$

Om man antar att det flödet sker vid 0°C utetemperatur, och man släpper 45 m³/s övertempererad luft vid 25°C i schaktet, uppstår enligt tidigare resonemang ett undertryck pga densitetsdriven skorstenseffekt (enl Arkimedes princip):

$$t_{schakt} = \frac{28 \cdot 0 [^\circ\text{C}] + 45 \cdot 25 [^\circ\text{C}]}{73} = 15,4 ^\circ\text{C}$$

$$\rho_{schakt} = 1,293 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \text{ vid } 0^\circ\text{C} \right] \cdot \frac{T_{0^\circ\text{C}}[\text{K}]}{T_{schakt}[\text{K}]} = 1,293 \cdot \frac{273}{288,4} = 1,224 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \text{ vid } 15,4^\circ\text{C}$$

Övertrycket i toppen blir i detta maxfall

$$dp_o = 9,82 \cdot (1,293 - 1,224) \cdot \frac{35}{2} = 12 [\text{Pa}]$$

Undertrycket i botten blir i detta maxfall

$$dp_u = 9,82 \cdot (1,293 - 1,224) \cdot \frac{35}{2} = 12 [\text{Pa}]$$

Ovan ger alltså att mottrycket för frånluftsfläktarna blir:

$$34 - 12 - 12 \text{ Pa} = 10 \text{ Pa}$$

Det innebär i praktiken att det endast uppstår en mottrycksökning för frånluftsfläktarna på 5 Pa tack vare det övertempererade KMK-flödet, vilket endast ger en effekttökning för frånluftsfläktar i detta exempel på:

$$\frac{28 [\text{m}^3/\text{s}] \cdot 5 [\text{Pa}]}{0,60} = 0,2 \text{ kW}$$

Man kan således dra slutsatsen att vid maximalt KMK-flöde om 45 m³/s samtidigt som tunnelventilationsflöde frånluft omkring 28 m³/s uppstår i praktiken inte någon kostnadsökning för Trafikkontoret. Av loggning kan man göra bedömningen att detta motsvarar driftförhållanden vid alla helger och ca 90 % av tiden på vardagar.

11 Brandskyddsdocumentation

Brandskyddsdocumentationen för klaratunneln uppdateras. Se separat dokument.

I uppdateringen av brandskyddsdocumentationen ingår att redovisa hur KMK installationen påverkar brandskyddet i klaratunneln inkl krav på brandskyddande åtgärder vad avser KMK installationen.

12 Skydd mot inträngning, galler i öppningar till luftschakt

Skydd mot inträngning anordnas vid håltagningar mot betongschakten, mot dessa betongschakt anordnas stålgaller enligt skyddsklass 3 med fritt öppningsmått max 150x300 mm i gallerkonstruktionen.

13 Byggåtgärder, påverkan på betongkonstruktioner

Se dokument framtaget av Tyrens