

DECEMBER 2017
STADSBYGGNADSKONTORET, GÖTEBORGS STAD

BERÄKNINGAR FÖR AVLUFTVENTILATION VID GÖTATUNNELNS VÄSTRA MYNNING

UNDERLAGSRAPPORT

Emil Engman, HBI
Patrik Ohnesorge, HBI
Marie Haeger-Eugensson, COWI
Anna Bjurbäck, COWI

ADDRESS COWI AB
Skärgårdsgatan 1
Box 12076
402 41 Göteborg

TEL 010 850 10 00

FAX 010 850 10 10

WWW cowi.se

PROJEKTNR.	DOKUMENTNR.
A096695	Beräkningar för avluftventilation vid Götatunnelns västra mynning

VERSION	UTGIVNINGSDATUM	BESKRIVNING	UTARBETAD	GRANSKAD	GODKÄND
2	2017-12-04	Underlagsrapport	Emil Engman, HBI Patrik Ohnesorge, HBI Marie Haeger-Eugensson, COWI Anna Bjurbäck, COWI	Leif W. Rasmussen, COWI	Erik Bäck, COWI

INNEHÅLL

1	Sammanfattning	6
2	Inledning	8
2.1	Bakgrund	8
2.2	Syfte	9
3	Underlag och analys	10
3.1	Uppskattning av realiserbar avluftkapacitet vid DU1	10
3.2	Befintliga system	11
3.3	Bestämning av trafiksituation 2035	12
3.4	Trafikbelastning vid olika fordonshastigheter	13
3.5	Trafikmängd i avfartsramptunneln	14
3.6	Fordonsemissioner	14
3.7	Drifterfarenhet lufthastighet	15
4	Metod	16
4.1	Avluftstation DU1	16
4.2	Principlösning	16
4.3	Beräkningar	17
4.4	Drifterfarenhet	18
5	Resultat	18
5.1	Övergripande	18
5.2	Maximal förväntad luftförorening (0 km/h)	19
5.3	Maximal förväntad lufthastighet (70 km/h)	20
5.4	Jämförelse med drifterfarenhet	21
6	Slutsatser	22
7	Referenser	22

1 Sammanfattning

Inledning och syfte

Stadsbyggnadskontoret i Göteborg (SBK) genomför detaljplanearbete för bebyggelse i området kring Järnvågsgatan. Det är i dagsläget dålig luftkvalitet i området på grund av den stora mängden trafik som finns inom planområdet. Planförslaget innebär en exploatering om ca 1 300 bostäder samt 150 000 kvadratmeter kontor och verksamheter.

I juni 2017 visade luftutredningen att miljökvalitetsnormen (MKN) för NO₂ och PM₁₀ i framtiden riskerar att överskridas i det planerade området. En starkt bidragande faktor till höga halter av luftföroreningar i närområdet är trafikapparaten vid Götatunnelns mynning. Luftkvalitetsberäkningar där 80 respektive 100 procent av emissionerna i Götatunnelns norra (västergående) tunnelrör utventileras genom ett ventilationstorn visade på förbättrad luftkvalitet i tunnelmynningens närområde.

Luftkvalitetsutredningen behandlade endast teoretisk bortventilering av tunnelluften utan att gå djupare in på genomförbarheten. Syftet med denna rapport är att mer utförligt undersöka genomförbarheten och nödvändiga åtgärder för bortventilering av förorenad luft innan den släpps ut ur tunnelmynningen. Studien fokuserar enbart på norra tunnelröret och dess utfartsmynningar västerut.

Metod

Först analyserades de utrymmesmässiga förutsättningarna vid Driftutrymme 1 (DU1) i syfte att fastställa en samlad fläktkapacitet (volymflöde) som med hänsyn till bulleremissioner och energiförbrukning kan anses realiserbart. (DU1 är ett befintligt driftutrymme vid norra tunnelrörets utfartsmynning avsett som förberedelse för en framtida avluftstation.) Slutsats och rekommenderad uppställning är 2 st. avluftfläktar om 200 m³/s vardera. Dessa anordnas i en konventionell fläktstation med bullerreducerande kulissljuddämpare på vardera sidan om fläkthallen.

Med detta som utgångspunkt, och med tunnelns befintliga tunnelventilationssystem i beaktande, utarbetades därefter ett antal konceptförslag med målsättningen att kunna extrahera så nära 100 % av den förorenade tunnelluften som möjligt innan denna emitteras från tunnelns båda utfartsmynningar. Den utvalda principlösningen innefattar följande tillkommande utrustningar och åtgärder:

- 2 st. avluftfläktar i DU1 om 200 m³/s vardera
- 2 st. varvtalsstyrda reverserbara impulsfläktar i den förlängda avfartsramptunneln
- 1 mätställe för lufthastighet i avfartsramptunneln
- Anpassningar av styrsystemet för ny funktionalitet enligt principlösningen (innefattar möjlighet att bromsa luftflödet i tunneln genom reversering av tunnelns impulsfläktar)

Tunneln och det anpassade tunnelventilationssystemet ställdes sedan upp i en 1-dimensionell beräkningsmodell kapabel att simulera luftflödet i tunneln under beaktande av yttre (varierande) faktorer som t.ex. trafikbelastning. Modellen kan även hantera aktiv reglering av tunnelventilationen utifrån kontinuerlig övervakning av

exempelvis lufthastigheten i tunneln. Med denna modell som bas analyserades ett antal framtida scenarier avsedda att täcka in de extremsituationer som kan tänkas uppstå avseende inre- och yttre miljöventilation, dvs. maximal förväntad luftförorening i tunneln respektive maximal förväntad lufthastighet i tunneln. Beräkningsresultaten jämfördes slutligen med uppmätta värden på lufthastigheten i tunneln under perioden januari – november 2017.

Resultat

Beräkningarna visar att hela det samlade luftflödet i tunneln kan extraheras vid DU1, upp till en lufthastighet i tunneln på ca 3,5 m/s. Med gjorda antaganden om fordonsemissioner respekteras dessutom gällande luftkvalitetsgränsvärden för trafikutrymmet (inre tunnelmiljö). Detta innebär att en utsugningsgrad på 100 % kan upprätthållas, även under ogynnsamma trafikförhållanden vid prognosåret 2035.

Utvärderingen av uppmätta lufthastigheter visar att lufthastigheten i tunneln under den studerade perioden endast vid något enstaka tillfälle överskrider 4 m/s, och att den under 95 % av tiden understiger 2,6 m/s.

Slutsatser

Sammantaget kan sägas att ett avluftssystem enligt föreslagen principlösning med stor sannolikhet är kapabelt att upprätthålla en utsugningsgrad på 100 % under 95 % av tiden eller mer.

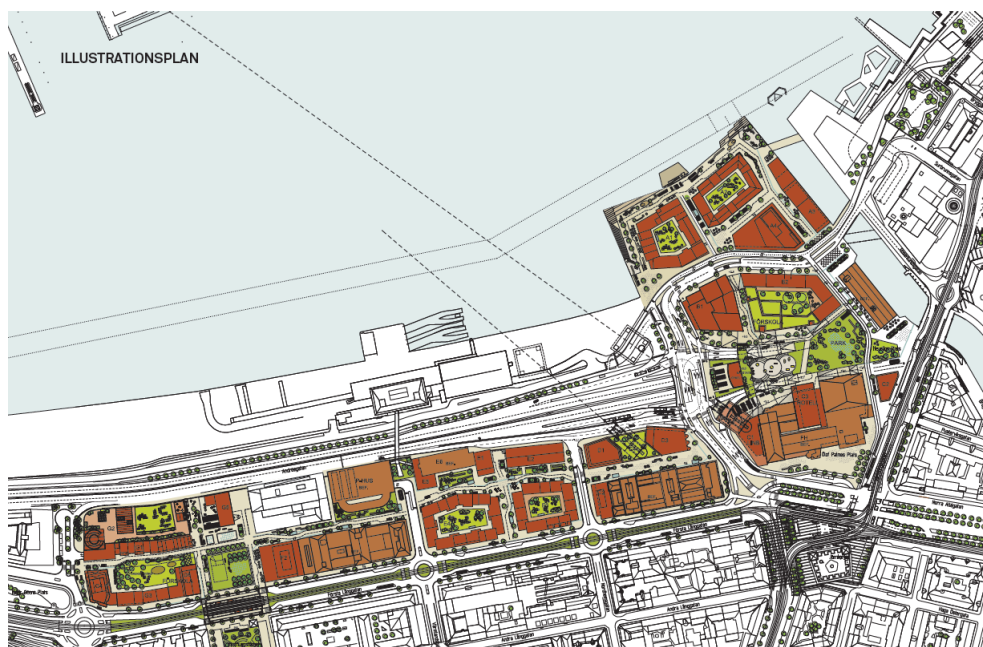
2 Inledning

2.1 Bakgrund

För närvarande pågår arbete med att ta fram en ny detaljplan för blandad stadsbebyggelse vid Järnvågsgatan m.fl. Detaljplanen syftar till att omvandla området mellan Skeppsbron och Masthuggstorget på Södra Älvstranden till en ny stadsdel med delvis hög bebyggelse och hög täthet där ett stort antal bostäder blandas med handel, kontor, skola och andra verksamheter. Idag domineras området av biltrafiken med parkeringar och vägar.

Detaljplanen var ute på samråd under sommaren 2015, då inkom Länsstyrelsen med ett yttrande som berörde luftkvalitet. Stadsbyggnadskontoret i Göteborg gav därefter COWI i uppdrag att utföra en luftmiljöutredning där, förutom SBKs krav, även Länsstyrelsens yttranden skulle behandlas. Yttrandet tar bl.a. upp att genomförandet av detaljplanen kan medföra risk för överskridande av MKN för både kvävedioxid (NO_2) och partiklar (PM_{10}).

Planområdet som visas i Figur 1 är en del av Älvstaden och är beläget vid Masthuggskajen. Området ligger på Södra Älvstranden inom stadsdelarna Masthuggget och Pustervik. I norr löper E45/Oscarsleden i öst-västlig riktning. I söder avgränsas området av Första Långgatan och i öster av Rosenlundskanalen. I väster går gränsen norr om cirkulationsplatsen vid Första Långgatans västra ände. Planområdet innefattar även den landtunga som ligger mellan Götatunnelns västra mynning och Rosenlundskanalen. Området domineras idag av parkeringsplatser.



Figur 1: Området för Detaljplan Järnvågen. Bild från Stadsbyggnadskontoret i Göteborg, 2017-10-31.

I luftkvalitetsutredningen beräknades framtida haltnivåer med en CFD-modell. Olika framtidsscenarioer testades där 80 respektive 100 procent av luften inne i tunneln utventileras genom en 20 meter hög skorsten istället för via tunnelmynningen.

Slutsatser från luftkvalitetsutredningen (Haeger-Eugensson m.fl. 2017) var bl.a. att ett ventilationstorn effektivt kan minska halterna av både NO₂ och PM₁₀ nära tunnelmynningen, vilket är nödvändigt för att kunna klara MKN.

2.2 Syfte

Rimligheten med avseende på fysikaliska förutsättningar för en avluftstation och ett ventilationstorn har ej tidigare utretts. Detta motiverade utförliga beräkningar för att påvisa möjligheten att ventiler bort tunnelluft (så kallad yttre miljöventilation), och till vilken grad detta kan göras.

Detta dokument behandlar endast miljöventilation (dvs. ingen brandventilation). För mer information om tunnelventilationssystemet som helhet, inklusive planerade åtgärder för brandventilation, hänvisas till den övergripande installationsutredningen för överdäckningen av Götatunnelns av- och påfartsramper (Sting/HBI, 2017).

3 Underlag och analys

Följande kapitel beskriver de beräkningar som gjorts och vilka underlag dessa beräkningar är baserade på. När specifika underlag för en viss parameter inte funnits tillgängligt har det varit nödvändigt att göra kvalificerade antaganden. En del antaganden är specifika för Götatunneln, medan andra är mer generella och baseras på vedertagna riktlinjer för projektering av tunnelventilation.

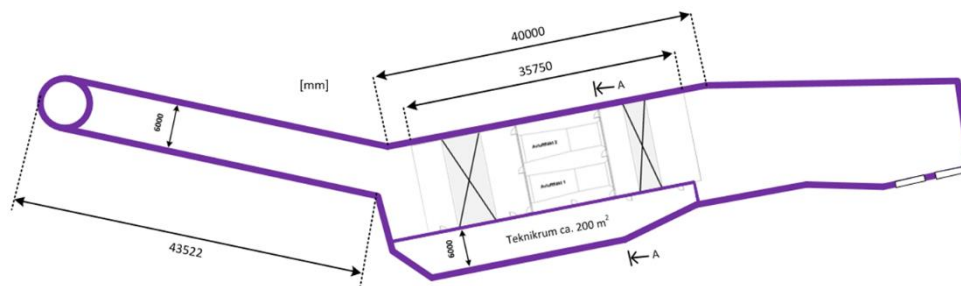
3.1 Uppskattning av realiserbar avluftkapacitet vid DU1

Underlag: Ritning [Vägverket, 1 42 K 20 01, 2006]

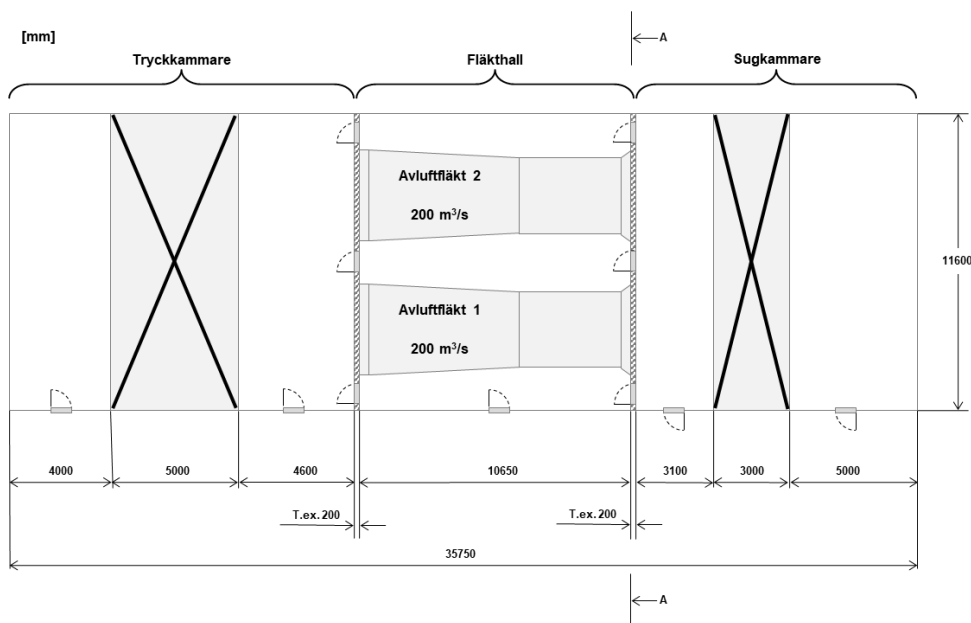
Underlagets huvudsakliga information för denna beräkning: Dimensioner för DU1 och avluftschakt.

Analys: Uppställningsplats för avluftfläktar samt tvärsnittsareor i avluftkanaler och avluftstorn medger installation i DU1 av 2 st. avluftfläktar med kapaciteten 200 m³/s vardera.

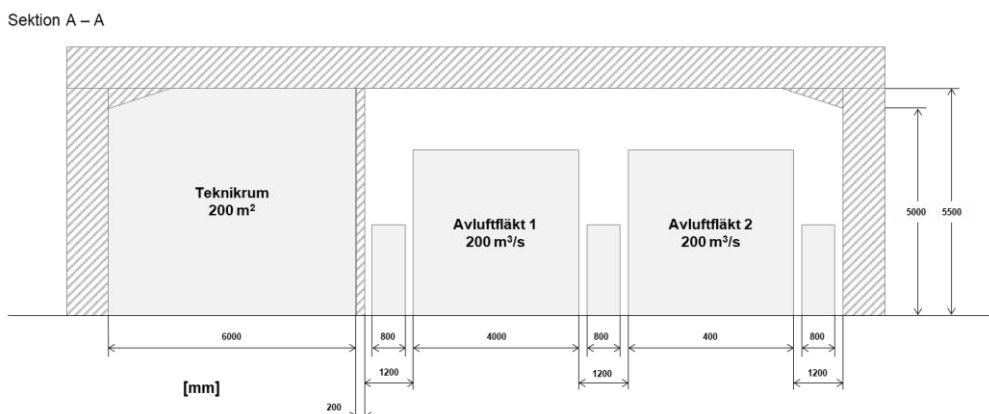
Avluftstornets diameter är 5,6 m, vilket motsvarar en area på 24,6 m². Ett totalt luftvolymflöde på 400 m³/s ger upphov till en utloppshastighet på 16 m/s, vilket är att betrakta som en övre gräns med avseende på buller och tryckförluster och därmed energiförbrukning.



Figur 2: Schematisk bild av DU1 – inklusive föreslagna installationer



Figur 3: Toppvvy av fläkthall och kringliggande utrymmen i DU1. Kryssade fält i sug- respektive tryckkammare representerar bullerreducerande kulissljuddämpare.



Figur 4: Tvärsektion av fläkthall och kringliggande utrymmen i DU1

3.2 Befintliga system

Underlag: System- och funktionsbeskrivning Tunnelventilation [YIT Sverige AB för Vägverket, 0 V 51 58 01, 2006]

Underlagets huvudsakliga information för denna beräkning: Tunnelgeometri och fläktdata som indata för tunnelmodellen.

3.3 Bestämning av trafiksituation 2035

Underlag: [Haeger-Eugensson m.fl, 2017], [ASTRA, 2008]

Underlagets huvudsakliga information för denna beräkning: Trafikprognos för 2035 samt riktlinjer för hur årsdygnstrafiken (ÅDT) kan omvandlas till maxtrafik per timme för dimensionering

Bilaga D Trafikuppgifter

Källa	Gata	ÅDT			Andel tung trafik			Skyldad hastighet	
		2016	2025	2035	2016	2025	2035	2016	2025/35
A	Linnégatan	10 170	6 500	6 500	10 %	5 %	10 %	50	40
A	Värmlandsgatan, södra segmentet	5 400	6 000	7 000	5 %	5 %	5 %	50	40
A	Första Långgatan	5 580	6 000	3 000	10 %	5 %	10 %	50	40
A	Nya Allén/Norra Allégatan	15 390	15 000	10 000	10 %	5 %	10 %	50	40
A	Järnvägsgatan	21 960	18 000	14 000	5 %	5 %	5 %	50	40
A	Påfart Götaleden (E45) österut	7 500	7 500	7 500	10 %	10 %	10 %	50	50
A	Avfart Götaleden (E45) västerut	6 500	6 500	6 500	10 %	10 %	10 %	50	50
A	Avfart Oscarsleden (E45) österut	9 000	9 000	9 000	10 %	10 %	10 %	50	50
A	Påfart Oscarsleden (E45) västerut	6 000	6 000	6 000	10 %	10 %	10 %	50	50
A	Emigrantvägen, östra segmentet	8 100	9 000	9 000	10 %	7 %	10 %	50	40
A	Värmlandsgatan, norra segmentet	0	3 000	3 000	0 %	5 %	0 %	50	40
A	Olof Palmes plats	15 390	15 000	12 000	10 %	5 %	10 %	50	40
A	Skeppsbron	5 400	6 000	5 000	10 %	7 %	10 %	50	40
A	Stora Badhusgatan	5 940	7 000	6 000	10 %	7 %	10 %	50	40
A	Järntorgsgatan	4 500	4 500	3 500	5 %	5 %	5 %	50	40
A	Stigbergsliden	3 150	3 000	2 500	5 %	5 %	5 %	50	40
A	Oskarsgatan	2 340	4 000	3 500	10 %	5 %	10 %	50	40
A	Emigrantvägen, västra segmentet	1 170	1 500	1 500	10 %	5 %	10 %	50	40
A, B	Oscarsleden (E45)	52 010	57 420	64 140	10 %	11 %	10 %	70	70
A	Surbrunnsgatan	5 940	6 000	5 000	10 %	7 %	10 %	50	40
A	"Andra Långgatan" ut på Andrégatan	0	4 500	4 000	0 %	7 %	0 %	0	40
C	Masthamngatan	1 900	1 900	1 900	4 %	4 %	4 %	50	40
A	Nordhemsgatan Norr om 1a lång	5 130	6 000	6 000	5 %	5 %	5 %	50	40
A	Nordhemsgatan Söder om 1a lång	1 350	2 500	2 000	5 %	5 %	5 %	40	40
D	Götatunneln	53 070	60 700	67 010	12 %	11 %	11 %	70	80

Tabell 1: Utdrag ur [COWI, 2017]; trafikprognoser för 2025 och 2035

Verkehrscharakter	Typ	Klasse	MSV in % des DTV
Fernverkehr	1	Klasse 1	11
Fernverkehr mit Pendlerverkehr	2		
Pendlerverkehr	3		
Ortsverkehr	4		
Regionalverkehr	5	Klasse 2	14
Freizeitverkehr	6	Klasse 3	16
Touristikverkehr* (zusätzlich zu [10])	7	Klasse 4	18

Tabell 2: Utdrag ur [ASTRA, 2008]; klassificering och referenser för maxtrafik per timme

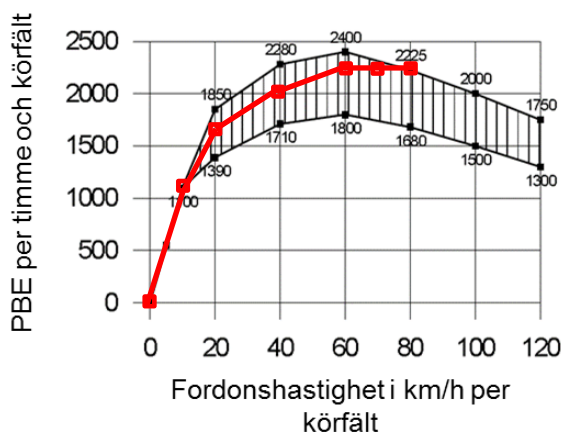
ÅDT-prognosen för år 2035 är 67 010 fordon/dygn dvs. 33 505 fordon/dygn/tunnelrör. Beroende på typen av trafik, kan ÅDT omvandlas till maxtrafik per timme. För säkerhetsmarginal i fortsatt arbete valdes klass 4, vilket innebär att maxtrafiken är 18 % av ÅDT, dvs. 6 030 fordon/h/tunnelrör. Vidare säger prognosen 12 % tung trafik för 2016 och 11 % för 2035. Konservativt väljs 12 % för beräkningarna. För beräkningarna antas även ett 70:30-förhållande mellan lätt och tung lastbil inom kategorin tung trafik.

3.4 Trafikbelastning vid olika fordonshastigheter

Underlag: [ASTRA, 2008]

Underlagets huvudsakliga information för denna beräkning: Riktlinje för trafikbelastning vid olika hastigheter när projektspecifika angivelser inte finns tillhanda.

Analys: Trafikbelastning nära teoretisk maxkapacitet, vilket utgör ett konservativt antagande med avseende på kolveffekt och av trafiken inducerade luftflöden.



Figur 5: Empiriska värden på teoretisk maximal trafikkapacitet i tunnel med enkelriktad trafik. Personbilsenheter (PBE) per timme och körfält över hastighet i km/h per körfält.

Notera: trafikflödet i Figur 5 anges i personbilsenheter (PBE), där lätt lastbil motsvarar 1,65 PBE och tung lastbil motsvarar 2,5 PBE. Röd kurva visar de värden som använts i beräkningarna.

Den övre kurvan i diagrammet anger maxtrafik för en tunnel med enkelriktad trafik, förhållandevis rak tunnelsträckning, vana förare etc. Den nedre kurvan är framtagen av World Road Association (PIARC) och representerar maxtrafik för en tunnel med enkelriktad trafik men med mer svårbemästrade körförhållanden och förare mindre vana med tunneln och dess omgivning. Götatunneln med dess relativt branta lutningar och av- respektive påfartsramper bedöms ligga i den nedre delen av spannet.

De värden på trafikbelastning som bestämts i föregående kapitel ($6'030/3 = 2'010$ fordon/h/körfält, motsvarande 2230 PBE/h/körfält) befinner sig vid spannets övre gräns. Se röd kurva i Figur 5. Den trafikbelastning som använts i beräkningarna kan därmed anses vara konservativt valda med avseende på kolveffekt och av trafiken inducerade luftflöden.

3.5 Trafikmängd i avfartsramptunneln

Underlag: Direktkommunikation Trafikverket

Underlagets huvudsakliga information för denna beräkning: Andel trafik som går i rampen, relativt totala trafikmängden i huvudtunneln.

Analys: Av den totala trafik som går genom norra tunnelröret, antas med stöd i Tabell 1 25 % gå genom avfartsrampen. För prognosåret 2035 är andelen något mindre (ca 20 %). Dock används 25 % då detta i det här fallet är ett mer konservativt antagande. Förhållandet mellan antalet personbilar, lätta lastbilar och tunga lastbilar antas förbli oförändrat.

3.6 Fordonsemissioner

Underlag: HBEFA, *Handbok för vägtrafikens luftföroreningar*

Underlagets huvudsakliga information för denna beräkning: Uppskattning av emissioner som indata för tunnelmodellen. Data från (HBEFA).

Notera: Prognosår för fordonsemissioner är 2030.

Analys: Enligt Tabell 3 nedan.

Personbil NOx [g/h]	Längslutning [%]	-6	-4	-2	0	2	4	6
Fordonshastighet [km/h]								
13		2,0110	2,2070	2,4800	2,9360	3,2440	3,7500	4,2610
60		1,2190	1,9520	3,0470	4,3900	6,5880	9,5140	14,7400
100		2,2060	3,7120	5,9870	10,2050	16,6650	23,7090	32,4920

Lätt lastbil NOx [g/h]	Längslutning [%]	-6	-4	-2	0	2	4	6
Fordonshastighet [km/h]								
13		2,2850	2,7700	3,5150	4,4600	5,3490	6,2810	7,5400
60		1,5190	2,8960	5,8920	10,4930	19,5080	32,3030	43,3990
100		5,4770	10,5890	19,5360	35,5600	55,9150	72,7670	91,2050

Tung lastbil NOx [g/h]	Längslutning [%]	-6	-4	-2	0	2	4	6
Fordonshastighet [km/h]								
13		36,1470	50,0530	65,9570	64,0660	56,9590	56,5070	61,4640
60		2,4010	7,7360	45,0650	50,2780	89,9000	151,9390	216,9740
100		3,8570	13,6860	77,2190	73,7200	153,7280	256,7700	366,7560

Tabell 3: Emissionsfaktorer (NOx) för personbil, lätt lastbil och tung lastbil

Andelen NO₂ av NO_x antas utifrån (Trafikverket, 2016 – Tunnelluft) vara 25 %. Detta antagande har även empiriskt stöd i luftkvalitetsmätningar genomförda i bl.a. Götatunneln (SLB 1:2010, Tunnelluftmätningar).

3.7 Drifterfarenhet lufthastighet

Underlag: Export Götatunneln NT 2017.xlsx [Martin Hedberg, 2017]

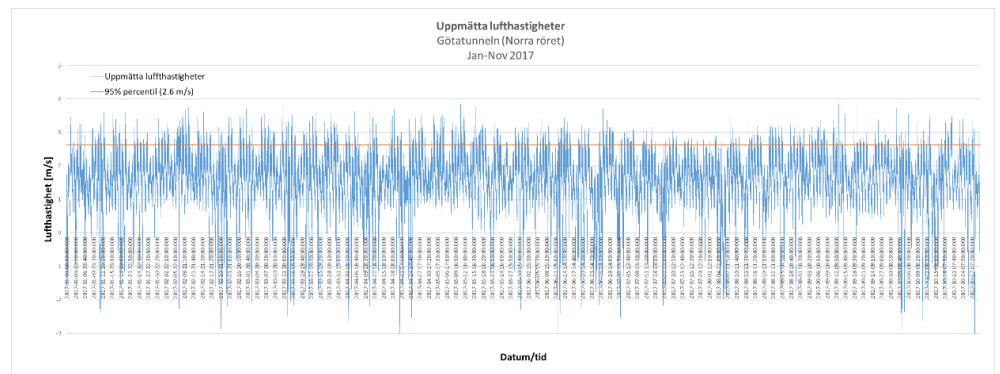
Notera: Nedanstående mätdata har extraherats ur Trafikverkets historikfiler. Uppenbara mätfel har avlägsnats, men därutöver har ingen vidare datavalidering gjorts.

Underlagets huvudsakliga information för denna beräkning: Mätdata för perioden januari – november 2017 för lufthastighet i norra röret. Jämförelse av typiska lufthastigheter med det föreslagna avluftsystemets kapacitet att upprätthålla 100 % utsugningsgrad.

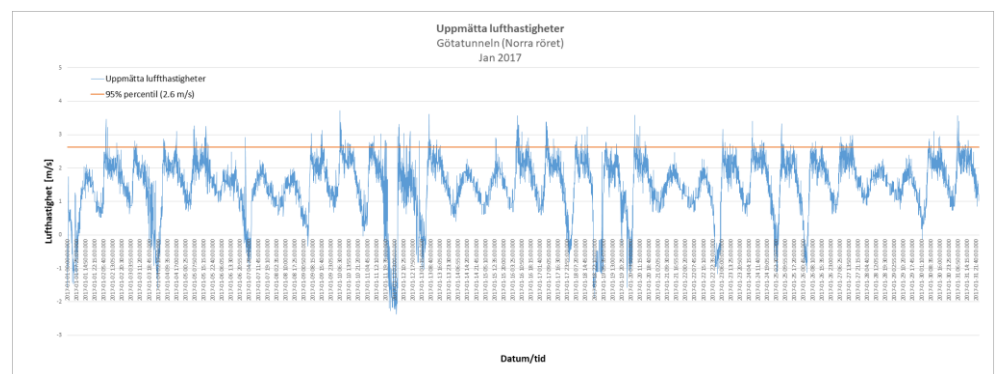
Analys:

Medelvärde för lufthastighet (hela utvärderingsperioden): 1,5 m/s

95:e percentilen för lufthastighet (hela utvärderingsperioden): 2,6 m/s



Figur 6: Uppmätta lufthastigheter i Götatunnelns norra rör jan-nov 2017



Figur 7: Uppmätta lufthastigheter i Götatunnelns norra rör – samma värden men endast för jan 2017

4 Metod

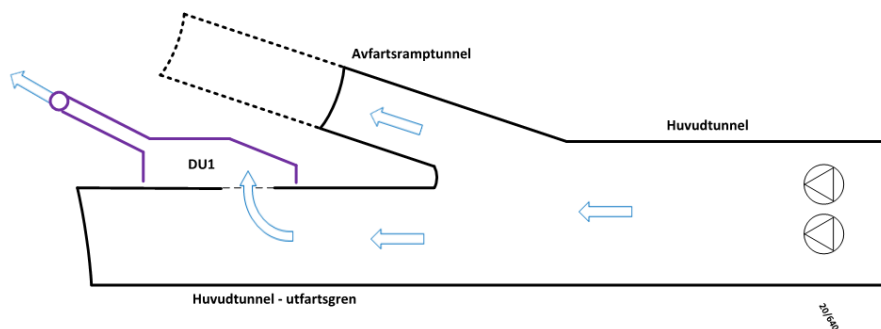
4.1 Avluftstation DU1

Inledningsvis analyserades de utrymmesmässiga förutsättningarna vid Driftutrymme 1 (DU1) i syfte att fastställa en samlad fläktkapacitet (volymflöde) som med hänsyn till bulleremissioner och energiförbrukning kan anses realiserbart. Slutsats och rekommenderad uppställning är 2 st. avluftfläktar om $200 \text{ m}^3/\text{s}$ vardera. Dessa anordnas i en konventionell fläktstation med bullerreducerande kulissljuddämpare på vardera sidan om fläkthallen. En schematisk översikt ges i kapitel 3.1.

Med detta som utgångspunkt, och med tunnelns befintliga tunnelventilationssystem i beaktande, utarbetades därefter ett antal konceptförslag med målsättningen att kunna extrahera så nära 100 % av den förorenade tunnel luften som möjligt innan denna emitteras från tunnelns båda utfartsmyningar. Den andel av huvudtunnel-flödet som ventileras ut vid avluftstationen benämns utsugningsgrad.

4.2 Principlösning

En svårighet i sammanhanget är att de planerade avluftöppningarna (luftintag från trafikutrymmet till DU1) är placerade i huvudtunnelns utfartsgren efter förgreningen mot avfartsramptunneln (sett i trafikens riktning). Detta innebär att enbart en avluftstation, placerad i DU1, inte kan garantera att all tunnel luften extraheras, detta då en del av tunnel luften kommer följa avfartsramptunneln och släppas ut genom dennas mynning. En grafisk representation av situationen ges i Figur 8.



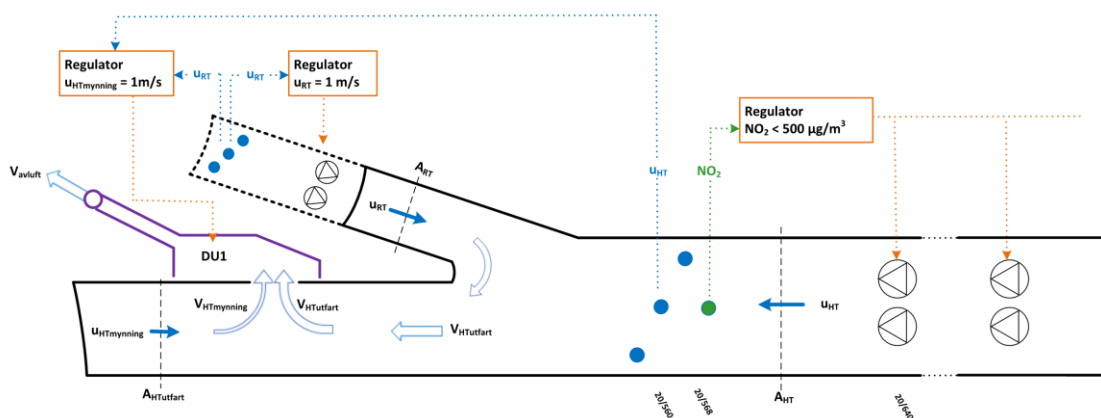
Figur 8: Placering av planerad avluftstation (DU1)

Ett möjligt sätt att motverka utsläpp av förorenad tunnel luften ut genom avfartsramptunneln är att bromsa luftflödet i avfartsramptunneln med hjälp av impulsfläktar aktiverade mot trafikens riktning. Med bakgrund i detta föreslås avfartsramptunneln utrustas med två nya reverserbara impulsfläktar samt ett nytt mätställe för mätning av lufthastighet. Vidare utförs även avluftfläktarna i DU1 varvtalsstyrda i syfte att möjliggöra steglös reglering av volymflödet vid avluftstationen (V_{Avluft}).

I den föreslagna principlösningen övervakas lufthastigheterna i huvudtunneln (u_{HT}) och i avfartsramptunneln (u_{RT}), varpå ett börvärde för volymflödet vid avluftstationen (V_{Avluft}) beräknas. Detta börvärde sätts så att ett inåtriktat luftflöde om 1 m/s mot trafikens riktning resulterar vid huvudtunnelns utfartsmyning.

I tillägg till detta kan luftflödet i huvudtunneln vid behov bromsas, med restriktionen att luftkvaliteten vid huvudtunnelns befintliga luftkvalitetsgivare håller sig under gällande gränsvärde. För närvarande är det mest restriktiva luftkvalitetsgränsvärdet $400 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{NO}_2$ som medelvärde under en tunnelpassage. Det är formulerat som 99,5-percentilen av timmedelvärdena. Halten motsvarar ett timmedelvärde vid luftkvalitetsgivaren på ca $500 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{NO}_2$ (Trafikverket, 2016).

På detta sätt reduceras luftflödet i huvudtunnelns utfartsgren (V_{HTutfart}) så långt som möjligt, så att avluftstationens kapacitet att upprätthålla 100 % utsugningsgrad maximeras. En schematisk beskrivning ges i Figur 9.



Figur 9: Föreslaget avluftssystem – principskiss

I situationer med kraftigt ojämn trafikbelastning (snabba ändringar i lufthastighet) kan kortare perioder förekomma då mindre mängder av tunnelluft släpps ut genom myningarna. Detta då systemet (som alla reglerade system) behöver en viss tid på sig för att reagera på en förändring i lufthastighet i tunneln.

4.3 Beräkningar

Tunneln och det anpassade tunnelventilationssystemet ställdes sedan upp i en 1-dimensionell beräkningsmodell kapabel att med förenklande approximationer av tunnelgeometrin simulera luftflödet i tunneln under beaktande av yttre (varierande) faktorer som t.ex. trafikbelastning. Modellen kan även hantera aktiv reglering av tunnelventilationen utifrån kontinuerlig övervakning av exempelvis lufthastigheten i tunneln. Med denna modell som bas analyserades ett antal framtida scenarier avsedda att täcka in de extremsituationer som kan tänkas uppstå avseende inre- och yttre miljöventilation. Dessa scenarier innefattar en variation av fordonshastighet, från 0 – 80 km/h, hela tiden med utgångspunkt i det för respektive fordonshastighet uppskattade maxtrafikflödet.

De låga fordonshastigheterna (0 respektive 10 km/h) innebär maximal förväntad luftförorening i tunneln. Här aktiveras impulsfläktarna i huvudtunneln i syfte att öka friskluftintaget och därmed späda ut föroreningarna (så kallad inre miljöventilation). I fall som dessa måste dels friskluftbehovet tillgodoses (inre tunnelmiljö), samtidigt som avluftstationen ska kunna extrahera all förorenad tunnelluft innan den släpps ut genom myningarna (yttre tunnelmiljö).

De högre fordonshastigheterna (40 – 80 km/h) innebär maximal förväntad trafikinducerad lufthastighet i tunneln. Här aktiveras huvudtunnelns impulsfläktar i driftläge Back i syfte att bromsa luftflödet så att avluftstationens kapacitet att upprätthålla 100 % utsugningsgrad maximeras. De fordonshastigheter som analyserats och motsvarande trafikflöden visas i kapitel 3.4, Figur 5.

4.4 Drifterfarenhet

Beräkningsresultaten jämfördes slutligen med uppmätta värden på lufthastigheten i tunneln under perioden januari – november 2017. Syftet med detta var att tillhandahålla en jämförelse av typiska lufthastigheter med det föreslagna avluftsystemets kapacitet att upprätthålla 100 % utsugningsgrad.

5 Resultat

Här redovisas resultaten från den beräkningsserie som genomförts för olika fordonshastigheter och trafikbelastningar. Det har av tidsskäl varit nödvändigt att genomföra beräkningarna med antaganden om centrala parametrar som trafikbelastning (maxtimme) och utsläppsmängder (emissionsfaktorer). Resultaten torde dock ge en rimligt balanserad bild av de flöden, utsugningsgrader etc. som kan förväntas uppkomma i respektive fall.

5.1 Övergripande

Resultaten redovisas först i sin helhet i Tabell 4, varpå en grafisk representation ges som ytterligare komplement för 0 respektive 70 km/h.

Fordonshastighet	[km/h]	0	10	20	40	60	70	80
DU1 volymflöde utsugning	m ³ /s	396	393	374	394	400	400	400
Fläktblåsriktning i huvudtunneln (+ i trafikens riktning, 0 avstängda, - mot trafikens riktning)	[-]	+	+	0	-	-	-	-
Fläktblåsriktning i ramptunneln (+ i trafikens riktning, 0 avstängda, - mot trafikens riktning)	[-]	-	-	-	-	+	+	+
Lufthastighet i huvudtunneln	[m/s]	3,1	3,0	2,8	3,1	3,1	3,4	4,3
NO ₂ -halt, timmedelvärde	[µg/m ³]	494	486	443	330	294	304	265
Lufthastighet i ramptunneln (negativt = in i tunneln)	[m/s]	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0
Lufthastighet huvudmyningen (negativt = in i tunneln)	[m/s]	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,7	0,6
Utsugningsgrad	[%]	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	89 %

Tabell 4: Beräkningsresultat

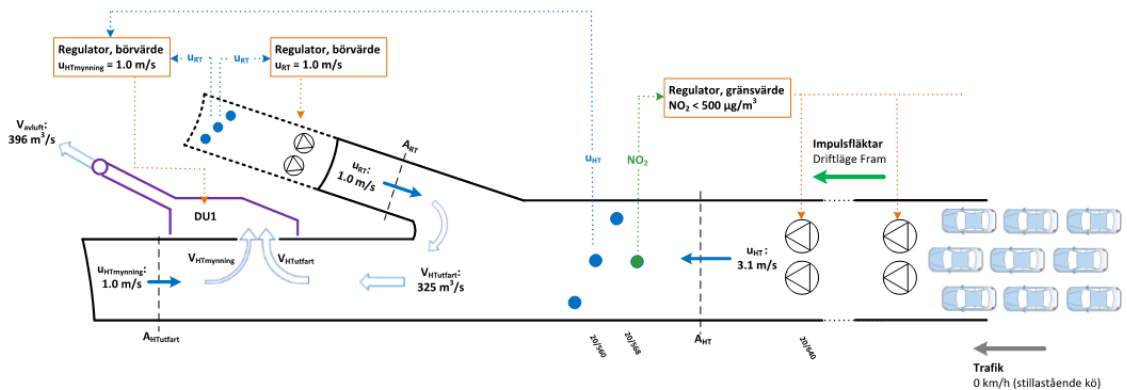
Som framgår ur tabellen klaras 100 % utsugningsgrad från stillastående kö upp till 70 km/h, som är skyltad hastighet idag. Dock närmar sig det trafikinducerade luftflödet gränsen för vad impulsfläktarna klarar att hålla emot, varpå det inåtriktade flödet vid mynningen enbart uppgår till 0,7 m/s (gult i tabellen). Vid högre fordonshastigheter är impulsfläktkapaciteten otillräcklig för bromsning av flödet, varpå flödesriktningen i huvudtunnelmynningen vänder utåt och utsugningsgraden sjunker under 100 % (rött i tabellen).

Det ska dock påpekas att trafikbelastningen vid 80 km/h överstiger tunnelns bedömda teoretiska maxkapacitet (se kapitel 3.4). Scenariot är därmed att betrakta som osannolikt.

5.2 Maximal förväntad luftförorening (0 km/h)

Det första fallet är en situation med stående kö i tunneln, vilket utgör ett fall där höga halter av luftföroreningar är att vänta. I en sådan situation uppstår ett behov att med hjälp av inre miljöventilation ventilera ut föroreningarna ur tunneln (inre luftkvalitet) samtidigt som hela luftflödet måste tas omhand vid avluftstationen för att motverka utsläpp genom mynningarna (yttre luftkvalitet).

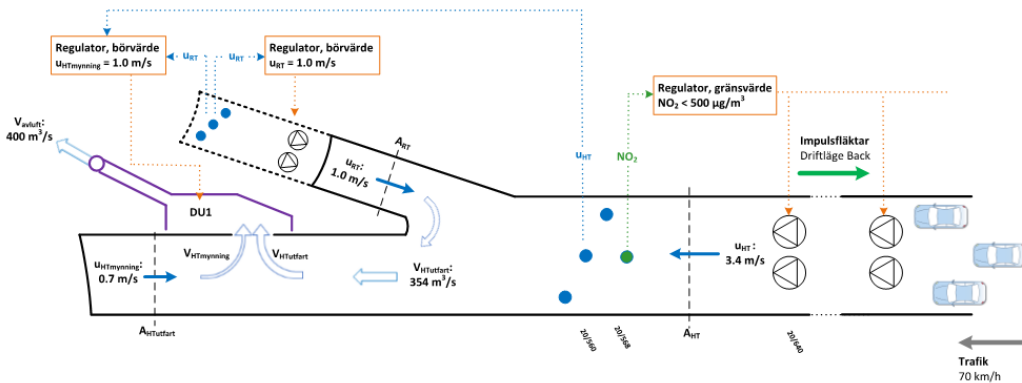
I det här fallet aktiveras ett antal av huvudtunnelns impulsfläktar i driftläge Fram för att driva ut föroreningarna ur tunneln och dra in friskluft från infartsmynningen. Samtidigt regleras lufthastigheten i avfartsramptunneln mot 1,0 m/s in genom ramptunnelmynningen. Med gjorda antagande om fordonsemissioner etc. räcker en lufthastighet i huvudtunnelns på 3,1 m/s för att hålla luftföroreningarna i tunneln på acceptabla nivåer. Detta resulterar i ett volymflöde från huvudtunneln på 325 m³/s. Avluftstationen regleras till 396 m³/s för att säkerställa ett inåtriktat flöde vid huvudtunnelmynningen om 1,0 m/s. Utsugningsgraden är i det här fallet 100 %.



Figur 10: Resultat för stillastående kö – utsugningsgrad 100 %

5.3 Maximal förväntad lufthastighet (70 km/h)

Det andra fallet är en situation med maximal prognosticerad trafikbelastning, vilket utgör ett fall där höga lufthastigheter är att vänta. När avluftstationens kapacitet (400 m³/s) inte längre räcker till att extrahera hela tunnelflödet kommer några av huvudtunnelns impulsfläktar att aktiveras i driftläge Back. Detta i syfte att bromsa huvudtunnelflödet och därmed möjliggöra för avluftstationen att upprätthålla ett inåtriktat flöde vid huvudtunnelmynningen. Med prognosticerad maxtrafik (och gjorda antaganden kring fordonens beskaffenhet etc.), samtliga 20 impulsfläktar i huvudtunneln i driftläge Back samt avluftstationen på maxkapacitet (400 m³/s) resulterar ett inåtriktat flöde vid huvudtunnelmynningen om 0,7 m/s, samtidigt som luftföreningarna i tunneln hålls under gränsvärdet på 500 µg/m³ NO₂. Dvs. avluftstationens kapacitet räcker inte riktigt till att upprätthålla börvärdet 1,0 m/s in genom huvudtunnelmynningen, men utsugningsgraden är fortfarande 100 %.

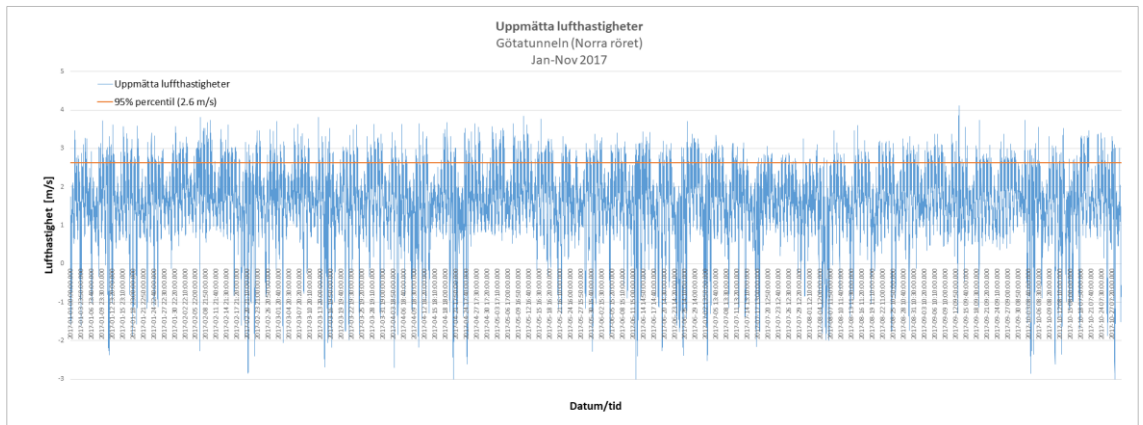


Figur 11: Resultat för maxtrafik vid 70 km/h – utsugningsgrad 100 %

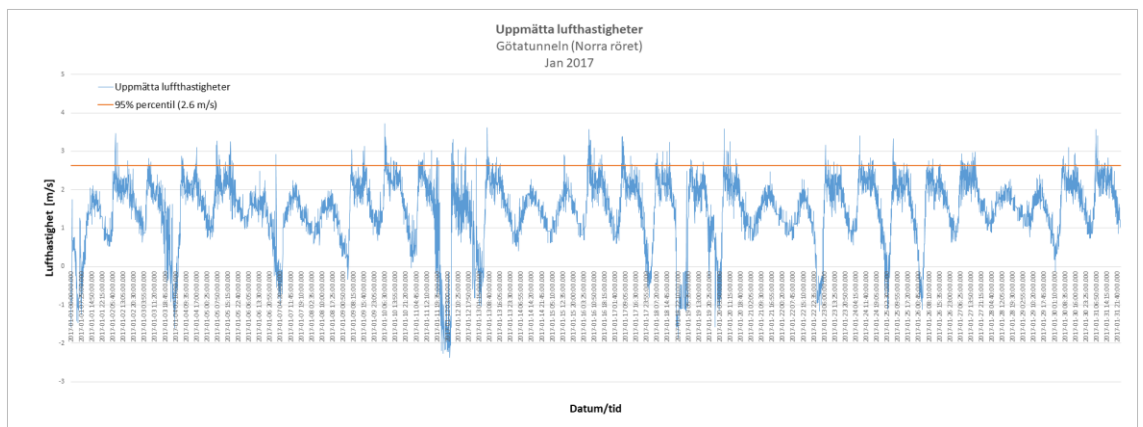
5.4 Jämförelse med drifterfarenhet

I syfte att sätta den föreslagna principlösningen i perspektiv har ovanstående beräkningsresultat jämförts med uppmätta värden på lufthastigheten i tunneln under januari – november 2017. Se Figur 12 och Figur 13 nedan. Utvärderingen visar att lufthastigheten i tunneln under den studerade perioden endast vid något enstaka tillfälle överskrider 4 m/s, och att den under 95 % av tiden understiger 2,6 m/s.

Detta kan jämföras med 3,4 m/s i Figur 11, vilket ligger nära gränsen för vad systemet klarar att hantera med upprätthållen utsugningsgrad på 100 %.



Figur 12: Uppmätta lufthastigheter i Götatunnelns norra rör jan-nov 2017



Figur 13: Uppmätta lufthastigheter i Götatunnelns norra rör – samma värden men endast för jan 2017

6 Slutsatser

De utrymmesmässiga förutsättningarna vid DU1 har analyserats och bedömts vara tillräckliga för en avluftstation om totalt 400 m³/s.

Med detta som utgångspunkt har en principlösning utarbetats som med hjälp av aktiv reglering av impulsfläktar och avluftstation klarar att upprätthålla ett inåtriktat flöde vid tunnelns båda utfartsmynningar.

Med hjälp av beräkningar har sedan kunnat visas att systemet klarar 100 % utsugningsgrad, från stillastående kö och med fordonshastigheter upp till 70 km/h, som är skyltad hastighet idag.

En utvärdering av uppmätta lufthastigheter visar vidare att lufthastigheten i tunneln under den studerade perioden understiger 2,6 m/s under 95 % av tiden.

Sammantaget kan därmed sägas att ett avluftssystem enligt föreslagen principlösning med stor sannolikhet är kapabelt att upprätthålla en utsugningsgrad på 100 % under 95 % av tiden eller mer.

7 Referenser

Haeger-Eugensson m.fl. (2017). *Luftkvalitetsutredning till detaljplan för Järnvågsgatan m.fl. inom stadsdelen Masthugget*, COWI-rapport A096695, för Stadsbyggnadskontoret, Göteborgs Stad

Jeanneret Alain m.fl. (2008). *Lüftung der Strassentunnel - Systemwahl, Dimensionierung und Ausstattung*, ASTRA 13001 V2.03

Sparthan, Engman m.fl. (2017). *PM – Järnvågen utredning installation i Götatunnelns ramper*, Sting/HBI, för Stadsbyggnadskontoret, Göteborgs Stad

HBEFA, *Handbok för vägtrafikens luftföroreningar*

Trafikverket, 2016: *E45 Götaleden Årsrapport för 2015 enligt kontrollprogram för uppföljning av miljöfrågor under driftskedet*

Trafikverket, 2016: *Forskningsprojekt Tunnelluft (pågående)*

SLB 2010, *SLB 1:2010, Tunnelluftmätningar*