

17 MAJ 2019

# BERÄKNINGAR FÖR TUNNELVENTILATION VID ÖVERDÄCKNING AV GÖTALEDEN

UNDERLAGSRAPPORT

FÖRFATTARE: TUYET NGUYEN  
UPPDRAGSANSVARIG: EMIL ENGMAN



# INNEHÅLL

1	Sammanfattning	7
1.1	Principlösning	7
1.2	Metod	7
1.3	Götatunneln 1600 m resultat	7
1.4	Gullbergstunneln 400 m resultat	8
1.5	Gullbergstunneln 800 m resultat	8
1.6	Järntorget – Falutorget resultat	8
1.7	Slutsatser och rekommendationer för fortsatt arbete	8
2	Bakgrund och syfte	10
2.1	Bakgrund	10
2.2	Syfte	11
3	Förutsättningar	12
3.1	Generellt	12
3.2	Trafik	12
3.3	Emissionsfaktorer	16
3.4	Geometri	17
3.5	Befintlig tunnelventilation	18
4	Metod	20
4.1	Ventilationsprincip	20
4.2	Dimensioneringsmetod	21
4.3	Avgränsningar	21
5	Resultat	22
5.1	Yttre miljöventilation: indikation för behov av frånluftstation vid mynning	22
5.2	Inre miljöventilation: indikation för behov av luftutbytestation	27

5.3	Flödesreversering Gullbergstunneln 800 m	31
5.4	Brandgasventilation – Preliminär dimensionering	32
6	Slutsatser	38
7	Vidare utredning	39
8	Referenser	40
	Bilaga 1 - Tunnelgeometri	

# 1 Sammanfattning

Följande PM har sammanställts som underlag till beslut för framtida utbyggnadsalternativ avseende fortsatt överdäckning av Götaleden. Rapporten sammanfattar status för val av principiell ventilationslösning samt diskuterar behov av luftutbytesstationer, brandgasstation och frånluftstationer vid mynningar för Götatunneln, Gullbergstunneln och en förlängd tunnel från Järntorget – Falutorget.

## 1.1 Principlösning

Längsventilation med impulsfläktar föreslås för samtliga tunnelalternativ.

Om nödvändigt kompletteras detta med:

- Luftutbytestation för inre miljö
- Frånluftstation vid mynning för yttre miljö
- Brandgasstation för brandventilation (kan också vara del av en eventuell luftutbytestation)

## 1.2 Metod

För yttre tunnelmiljö som avseende luftkvalitén vid tunnelmynningen, har en beräkning gjorts för de totala NO<sub>x</sub>-emissionerna vid avfartsmynningarna, räknat i ton per år. Dessa resultat utgör underlag för beslut avseende behovet av frånluftstation vid mynning för respektive tunnelkonfiguration.

Dimensionering för miljöventilation har gjorts med målet att koncentrationen av NO<sub>2</sub> ej ska överskrida fastlagt gränsvärde på 500 µg/m<sup>3</sup>, nödvändigt antal impulsfläktar tillsätts för att uppnå detta mål. Då de tillämpade trafikmängderna ligger relativt nära kapacitetsgränsen för vad tunnlar klarar, så har dimensioneringen gjorts utefter respektive tunnels maximala kapacitet. Ett huvudsakligt syfte med beräkningarna har varit att visa om luftutbytesstationer är nödvändiga för att kunna klara luftkvalitetskraven för inre tunnelmiljö.

Vidare har en preliminär dimensionering för brandventilation med brandeffekt 50 MW gjorts. Både dimensionering för miljöventilation och dimensionering för brandventilation genererar ett visst erforderligt antal impulsfläktar för att klara uppställda krav. Vardera tunneln dimensioneras sedan efter det fall som kräver störst antal impulsfläktar.

## 1.3 Götatunneln 1600 m resultat

Vid Götatunnelns norra huvudtunnel- och ramptunnelmynning landar det samlade NO<sub>x</sub>-utsläppet på omkring 4,9 ton NO<sub>x</sub> per år och vid östra mynningen uppskattas det årliga utsläppet till ca 5,0 ton NO<sub>x</sub> per år.

Ventilationen vid stillastående kö (0 km/h) kräver att ett (jämförelsevis) mycket stort antal impulsfläktar installeras. Med antagen lägsta fordonshastighet i tunneln på 10 km/h eller stillastående trafik indikerar de föreliggande resultaten i teorin ett behov av någon form av åtgärd för att klara luftkvalitetsgränsvärdet.

## 1.4 Gullbergstunneln 400 m resultat

Det årliga utsläppet av NO<sub>x</sub> uppskattas till 2,0 ton/år för västra mynning och 1,8 ton/år för den östra mynningen.

Befintliga impulsfläktar kan idag hantera en brand upp till 100 MW. Även stående kö (0 km/h) klaras utan luftutbytesstation då befintliga impulsfläktar kan skapa tillräcklig frisklufttillförsel för att bibehålla NO<sub>2</sub>-koncentration under 500 µg/m<sup>3</sup>.

## 1.5 Gullbergstunneln 800 m resultat

Det årliga utsläppet av NO<sub>x</sub> uppskattas till 3,0 ton/år för samtliga utfartmynning vid norra röret och 3,3 ton/år för samtliga utfartmynningar vid södra röret.

Som för Gullbergstunneln 800 m klaras även stående kö (0 km/h) utan luftutbytesstation då befintliga impulsfläktar kan skapa tillräcklig frisklufttillförsel för att bibehålla NO<sub>2</sub>-koncentration under 500 µg/m<sup>3</sup>. För att kunna hantera en 50 MW brand i huvudtunnlarna och ramperna behöver man komplettera befintligt antal impulsfläktar med 20 st. för norra röret samt 18 st. för det södra.

## 1.6 Järntorget – Falutorget resultat

Det årliga utsläppet av NO<sub>x</sub> uppskattas till 6,8 ton/år för samtliga utfartmynningar vid norra röret och 7,2 ton/år för samtliga utfartmynningar vid södra röret.

Vid stående kö (0 km/h) eller långsamgående trafik på 10 km/h finns behov för en eventuell luftutbytesstation då maximalt antal impulsfläktar, som bedömts få plats i tunneln, inte kan skapa tillräcklig frisklufttillförsel för att hålla NO<sub>2</sub>-koncentration under 500 µg/m<sup>3</sup>. För att kunna hantera en 50 MW brand i huvudtunnlarna och ramperna behöver man komplettera befintligt antal impulsfläktar med 26 st. för norra röret samt 18 st. för det södra (Komplettering utöver befintliga och planerade impulsfläktar i Götatunneln 1600 m och Gullbergstunneln 400 m).

## 1.7 Slutsatser och rekommendationer för fortsatt arbete

I fallet Gullbergstunneln 400 m och Gullbergstunneln 800 m är brandventilation avgörande för dimensioneringen av längsventilation i tunneln, behov för luftutbytesstation för miljöventilation i dessa tunnlar finns ej.

I Götatunneln 1600 m och Järntorget – Falutorget 2700 m är miljöventilation avgörande för dimensioneringen av längsventilation i tunneln. Resultaten visar att ett förstärkt längsventilationssystem i JT-FT och GT klarar att hantera brandgasventilation, även utan brandgasstation på mitten av den förlängda tunneln. Däremot räcker det inte med förstärkt längsventilation för inre luftkvalitet i alla trafiksituationer. Vid långsamgående trafik under 20 km/h är indikationen för båda dessa tunnelkonfigurationer att ett luftutbyte behövs för att klara luftkvalitetsgränsvärdet 500 µg/m<sup>3</sup>.

Ett alternativ till luftutbyte kan vara trafikbegränsande åtgärder.

Det ska noteras att dessa resultat är indikationer från en grov beräkningsuppställning, planerad för att ge ett övergripande, indikativt beslutsunderlag bland flera möjliga utbyggnadsalternativ. De detaljstudier som genomfördes för styrningen av tunnelventilationen i Götatunneln 1600 m (1) har exempelvis (av tidsskäl) inte kunnat tas i beaktande här. Av samma anledning bör längsventilationssystemet i kombination med frånluftstation/luftutbytesstation analyseras vidare för JT-FT före en eventuell utbyggnad. De resultat som presenteras här utgör inte en slutlig dimensionering utan ska betraktas som indikationer för att möjliggöra ett långsiktigt planeringsarbete.

## 2 Bakgrund och syfte

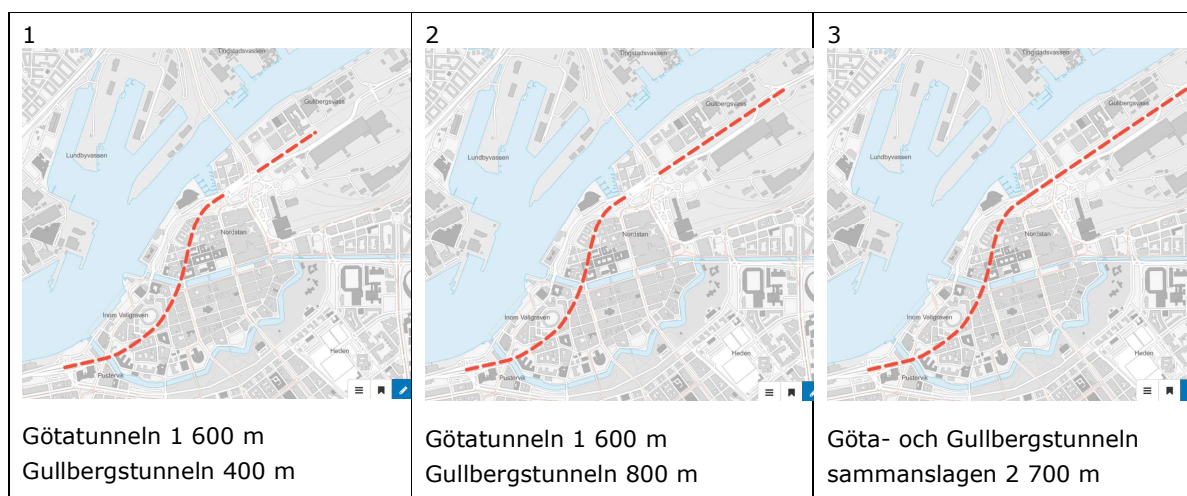
### 2.1 Bakgrund

COWI tillsammans med TREJO och TFIP har fått i uppdrag av Trafikkontoret och Stadsbyggnadskontoret i Göteborgs stad att klarlägga det samlade ventilationsbehovet i Götatunneln, både med nuvarande utformning och med framtida utbyggnader och överdäckningar.

Det finns flera möjliga utbyggnadsalternativ för Götatunneln och Gullbergstunneln. För att kunna ge det underlag som behövs för bedömning av ventilationsbehov m.m. kommer ett flertal möjliga tunnelkonfigurationer att undersökas, vilka här redovisas:

- 1) Götatunneln med nuvarande sträckning 1 600 m (GT), och Gullbergstunneln med nuvarande sträckning, längd ca 400 m (GBT 400).
- 2) Götatunneln med nuvarande sträckning 1 600 m, och Gullbergstunneln förlängd österut, längd ca 800 m (GBT 800).
- 3) Förlängd tunnel från Järntorget - JT fram till Falutorget - FT, längd ca 2 700 m (JT-FT).

Detta resulterar i tre distinkta tunnelalternativ (Götatunneln, Gullbergstunneln 400 meter lång, Gullbergstunneln 800 meter lång och sammanslagen tunnel), var och en med två tunneltör och lika många utfartsmynningar. Varje utfartsmynning utgör en spridningskälla för luftföroreningar som alla bidrar till försämrade luftmiljö i närområdet.



Figur 1. Tunnelalternativ för Götatunneln och Gullbergstunneln. Bilder från Göteborgs stad.



## 2.2 Syfte

Följande PM har sammanställts för att redovisa resultat från utförda beräkningar och för att utgöra underlag till beslut för framtida ventilationsbehov och utbyggnad vid en fortsatt överdäckning av Götaleden. PM:et sammanfattar även val av principiella ventilationslösningar inklusive behov av luftutbytesstationer, brandgasstation samt frånluftstation.

## 3 Förutsättningar

### 3.1 Generellt

- Dubbla tunnelrör, enkelriktad trafik
- Dimensioneringsår: 2035
- Dimensionerande brandeffekt: 50 MW (2)
- NO<sub>2</sub> timmedelvärde gräns: 500 µg/m<sup>3</sup> (3)
- NO<sub>2</sub>-andelen ca 25 % av NO<sub>x</sub> (2)
- Omgivande NO<sub>2</sub> = 50 µg/m<sup>3</sup> (3)
- Meteorologiska indata för Göteborg från ASHRAE (4)

### 3.2 Trafik

- Dimensionerande hastighet: 80 km/h (5)
- Maxtimme huvudtunnel: 14 % av ÅDT (6)

#### 3.2.1 Maxkapacitet trafik

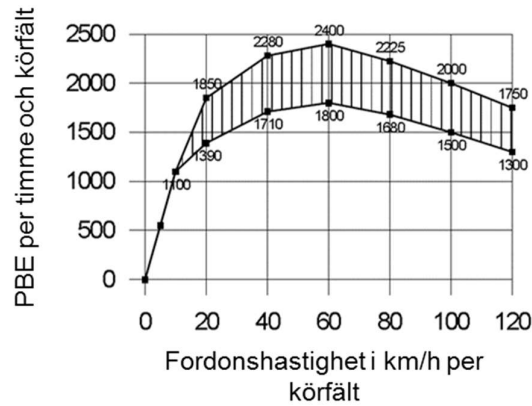
Maxkapacitet trafik: Schweiziska riktlinjer (6)

- 50 km/h: 2340 PBE/h/körfält
- 70 km/h: 2313 PBE/h/körfält
- 90 km/h: 2280 PBE/h/körfält

PBE = *Personbilsenhet*

Lätt lastbil motsvarar 1,65 PBE

Tung lastbil motsvarar 2,5 PBE



Figur 2: Empiriska värden på teoretisk maximal trafikkapacitet i tunnel med enkelriktad trafik. Personbilsenheter (PBE) per timme och körfält över hastighet i km/h per körfält.

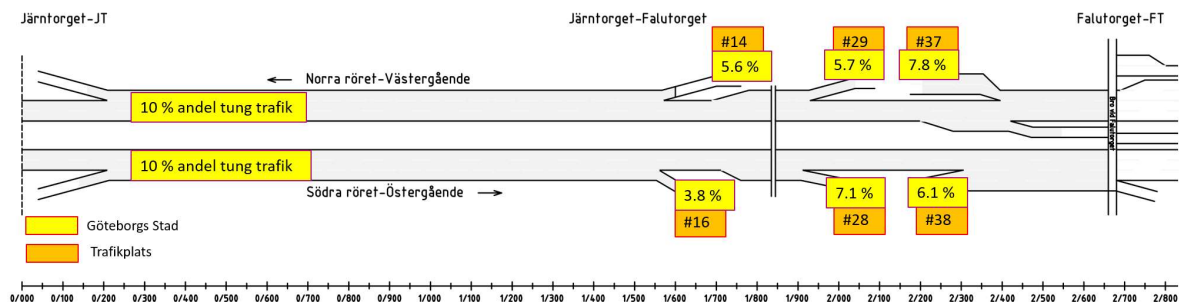
### 3.2.2 Trafikfördelning

Trafikfördelning och andelar tung trafik är enligt Göteborgs Stad.

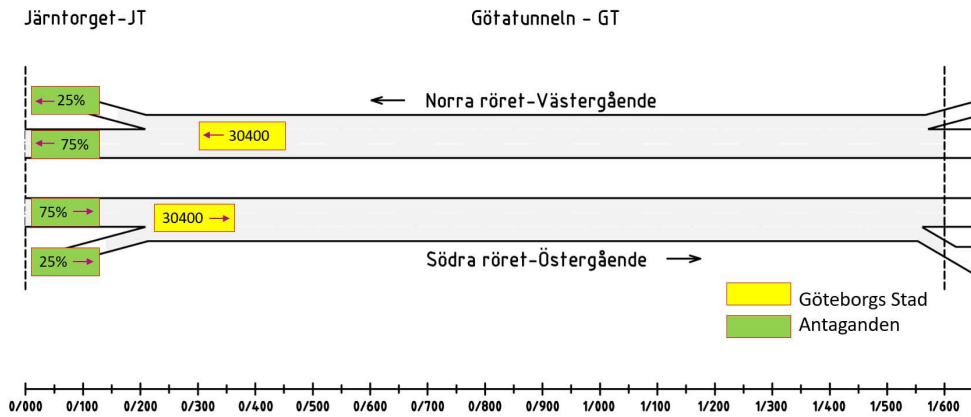
Andelar tung trafik visas i Figur 3 med följande fördelning mellan tung lastbil och lätt lastbil:

- o Tung lastbil: 30 %
- o Lätt lastbil: 70 %

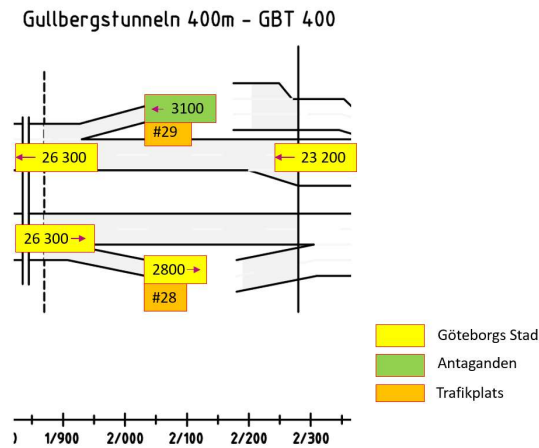
Figur 4, Figur 5, Figur 6 och Figur 7 visar mängden och fördelning av trafikflöden genom tunnelarna 2035. Maxtimme trafik antas 14 % (6) av total trafikmängden i ett tunnelrör.



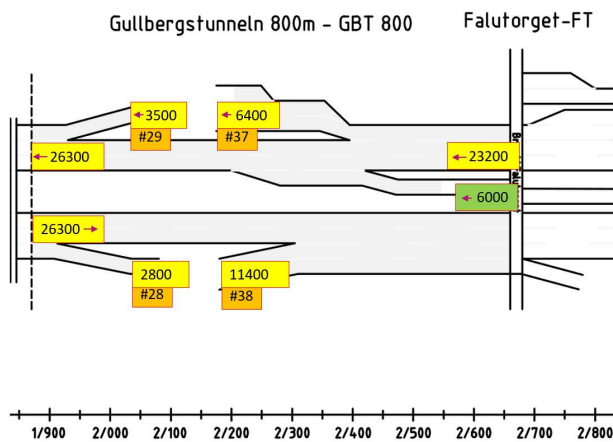
Figur 3: Andel tung trafik



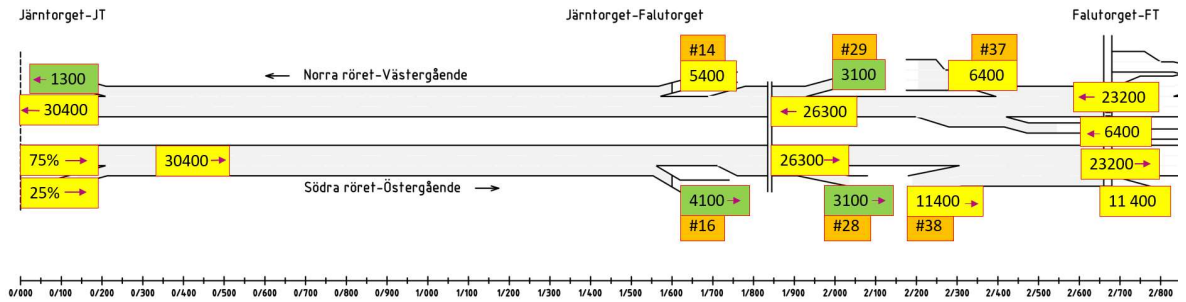
Figur 4: Trafikmängder Götatunneln 1600 m ÅDT 2035



Figur 5: Trafikmängder Gullbergstunneln 400 m ÅDT 2035



Figur 6: Trafikmängder Gullbergstunneln 800 m ÅDT 2035

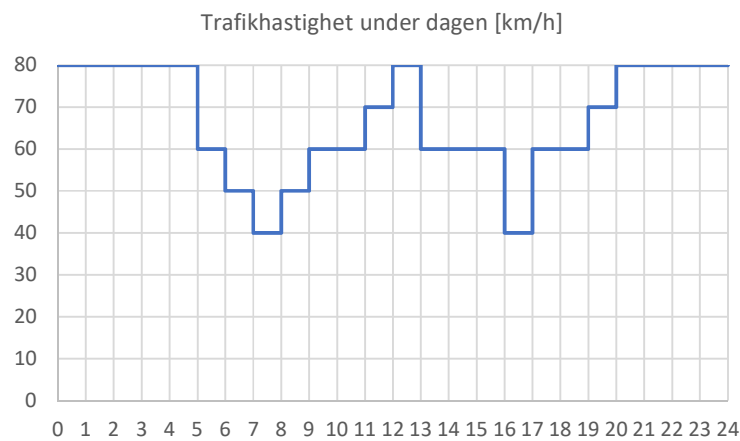


Figur 7: Trafikmängder JT-FT 2700 m ÅDT 2035

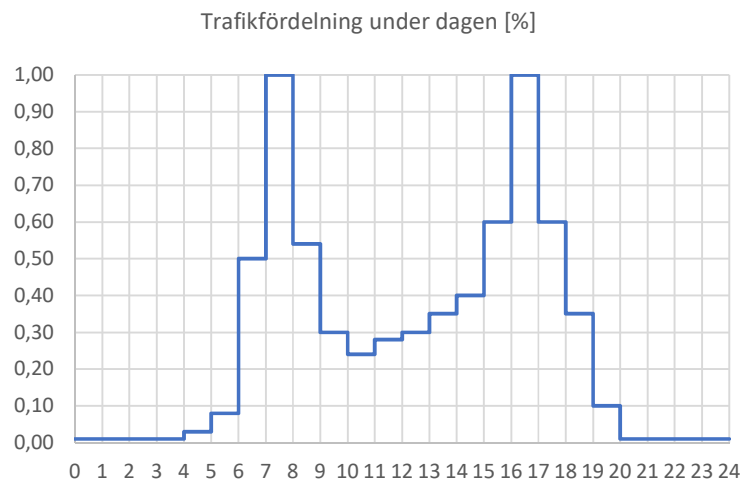
### 3.2.3 Trafiktrend och hastighet

Hänsyn till maxtimme tas under rusningstrafik (kl. 7-8 h och kl. 17-18 h).

Trafikhastighet och trafiktrend över 24 h är enligt Figur 8 och Figur 9 (baserad på trafiktrend ur projekt Förbifart Stockholm).



Figur 8: Fordonshastighet i km/h över 24 h för personbil och lastbil samlad



Figur 9: Trafikfördelning i procent per timme över 24 h

### 3.3 Emissionsfaktorer

Emissionsfaktorer tillämpas enligt HBEFA 3.3 (7).

Personbil [NO <sub>x</sub> g/h]	Längslutning [%]	-6%	-4%	-2	0	2	4	6
Fordonshastighet [km/h]								
30		2,9711	3,6683	4,6768	6,0415	8,3598	9,6783	12,0741
40		2,2443	2,8543	3,8287	5,0743	7,2343	9,4332	12,0960
50		2,3908	3,2260	4,5105	6,3909	8,9904	12,3717	16,9907
60		3,2787	4,9272	6,8236	8,5785	12,0549	17,2522	23,4011
70		2,7901	3,9272	5,9311	8,9596	13,1500	19,1821	25,6477
80		2,1334	2,9924	4,9914	7,9676	12,4769	19,3566	27,9438

Tabell 1: Personbil, utsläpp NO<sub>x</sub> i gram/timme vid hastighet och längslutning

Lättlastbil [NO <sub>x</sub> g/h]	Längslutning [%]	-6%	-4%	-2	0	2	4	6
Fordonshastighet [km/h]								
30		2,3256	3,0564	4,1504	5,8143	7,6415	9,8655	12,9612
40		1,5551	2,3043	3,4046	4,9100	7,3619	10,2150	13,9972
50		1,7497	2,7497	4,3711	6,8467	10,6124	15,8576	21,9099
60		2,6183	4,0041	6,3019	9,8179	14,3952	20,2965	27,2524
70		2,3126	3,8750	6,5220	11,4938	17,4902	24,6600	33,4795
80		1,4550	2,8250	5,4926	11,4663	20,2921	28,7386	38,6220

Tabell 2: Lätt lastbil, utsläpp NO<sub>x</sub> i gram/timme vid hastighet och längslutning

Tunglastbil [NO <sub>x</sub> g/h]	Längslutning [%]	-6%	-4%	-2	0	2	4	6
Fordonshastighet [km/h]								
30		42,7230	63,7090	49,5233	33,2874	28,5007	30,7559	32,4363
40		46,5396	48,3388	31,1632	25,4388	27,9562	31,9001	38,4597
50		34,6571	47,4489	40,7258	27,3470	32,3258	44,8895	59,9764
60		33,8032	50,1146	33,0291	28,4784	35,9437	54,5865	70,6788
70		33,0649	46,4361	33,3277	29,0482	38,0819	58,0833	74,6332
80		0,4671	3,6403	46,6938	28,8806	44,9429	79,8440	94,3844

Tabell 3: Tung lastbil, utsläpp NO<sub>x</sub> i gram/timme vid hastighet och längslutning

## 3.4 Geometri

Längder, längslutningar samt tvärsnittsarea redovisas i Bilaga 1.

Sammanfattning av geometri

- Götatunneln:
  - Längd: 1600 m
  - Ramptunnlar: 2 st. för den västra mynningen
  - Körfält: 3 st.
  
- Gullbergstunnel 400 m:
  - Längd: 400 m. Stadstjärnarebron ligger vid västra mynningen – en överdäckning fram till bron antas förlänga GBT 43 m längre västerut
  - Ramptunnlar: 2 st. för den västra mynningen
  - Körfält: 2 st.
  
- Gullbergstunnel 800 m:
  - Längd: 400 m
  - Ramptunnlar: 2 st. för den västra mynningen
  - Körfält: 2 st. västra sidan, 3 st. östra sidan norra röret och 4 st. östra sidan södra röret
  
- Järntorget – Falutorget
  - Längd: 2700 m
  - Ramptunnlar: 2 st. för den västra mynningen
  - Körfält: 3 st. vid sträckan 0 - 1600 m, 2 st. vid sträckan 1600 m - 2200 m, 3 st. vid sträckan 2200 m – 2700 m norra röret och 4 st. i södra röret
  - Två påfartstunnlar och två avfartstunnlar vid norra- resp. södra röret

### 3.5 Befintlig tunnelventilation

Götatunnelns tunnelventilationssystem är dimensionerat för att kunna hantera en brand, 100 MW i något av huvudtunnelrören. Tunnelns på- respektive avfartsramper är idag inte utrustade med någon form av mekanisk ventilation. Huvudtunnelrören är utrustade med vardera 20 impulsfläktar om vardera 1650 N dragkraft. Impulsfläktarna är installerade i grupper om två fläktar per längdmätning. Avstånd mellan utrymningsvägar är 100 m, se Figur 10 (5).

Gullbergstunneln 400 m tunnelventilationssystem är dimensionerat för att kunna hantera en brand 100 MW i huvudtunnelrören och avfarten. Huvudtunnelrören är utrustade med vardera 16 st. impulsfläktar vid norra röret och 15 st. impulsfläktar vid södra röret om vardera 950 N dragkraft. Impulsfläktarna är installerade i grupper om två till fyra fläktar per längdmätning, se Tabell 4. Avstånd mellan utrymningsvägar varierar mellan 60 m till 90 m, se Figur 10 (8). Den första fläktgruppen A vid västra sidan sitter ca 50 m från mynningen pga. överdäckning 43 m mot Stadstjänarebron. Fläktgrupp B sitter ca 45 m från fläktgrupp A och är riktade i avfartsrampens riktning.

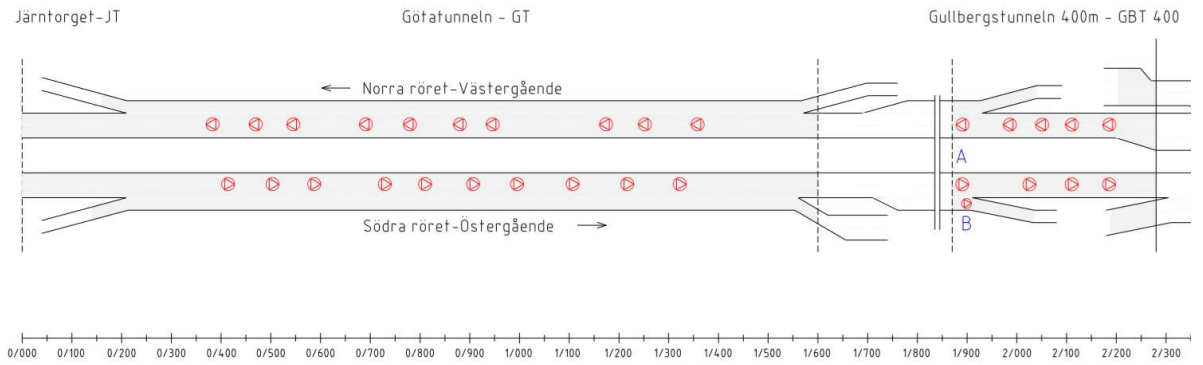
Position av impulsfläkt från västra mynningen	Norra röret	Södra röret
Första grupp (1/860)	2	4
Andra grupp	2	2
Tredje grupp	4	3
Fjärde grupp	4	3
Femte grupp	4	3
Total	16	15

Tabell 4: Antal impulsfläkt i GBT 400 m

	Fläkt typ 1 - Befintlig fläkt i Götatunneln	Fläkt typ 2 - Befintlig fläkt i Gullbergstunneln 400 m
Dragkraft (N)	1650	950

Tabell 5: Befintlig impulsfläkt i GT 1600 m och GBT 400 m





Figur 10: Befintligt tunnelventilationssystem (\*)

(\*) En fläktsymbol representerar en fläktgrupp

## 4 Metod

### 4.1 Ventilationsprincip

Längsventilation med impulsfläktar antas för alla tunnelalternativ och om nödvändigt kompletteras detta med:

- Luftbytestation för inre miljö
- Frånluftstation vid mynning för yttre miljö
- Brandgasstation för brandventilation (kan också vara del av en eventuell luftutbytestation)

#### 4.1.1 Inre miljöventilation

Dimensionering för miljöventilation görs med målet att koncentrationen av NO<sub>2</sub> ej ska överskrida fastlagt gränsvärde på 500 µg/m<sup>3</sup> timmedelvärde (2). Erforderligt antal impulsfläktar tillsätts för att uppnå detta mål. Då de tillämpade trafikmängderna ligger relativt nära kapacitetsgränsen för vad tunnelarna teoretiskt klarar, så görs dimensioneringen utefter respektive tunnels maximala (teoretiska) kapacitet enligt kapitel 3.2.

#### 4.1.2 Yttre miljöventilation

För yttre tunnelmiljö som avser luftkvalitén i omgivningen i närheten av tunnelmynningen, har en uppskattning för behov av frånluftstation vid mynning utförts, utifrån beräkningar av totala NO<sub>x</sub>-emissioner på årsbasis vid avfartsmynningarna.

#### 4.1.3 Brandgasventilation

Brandgasventilation dimensioneras med längsventilation för att kunna motverka att så kallad backlayering sker, dvs. sprindning av brandgaser uppströms (i trafikens riktning "bakom") branden. Den lufthastighet som krävs för att hålla emot rökfronten från en dimensionerande brand kallas kritisk hastighet.

Beräkning av brandgasventilation utförs med följande antaganden:

- ¾ av tunneln antages vara fylld av fordon (6).
- Vindtryck 15 Pa.
- Redundansprincip är att en fläktgrupp kan vara utslagen.
- Lufthastighet i tunnel med längsventilation får ej överstiga 10 m/s

#### 4.1.4 Flödesreversering GBT 800 m

Förutom beräkning av luftkvalitet och brandgasventilation i GBT 800 m ska denna tunnel analyseras för att utvärdera huruvida det är möjligt att motverka utsläpp av förorenad tunnelluft genom avfartsmyningen genom reversering av befintliga impulsfläktar. Luftflödet i avfartsmyningen bromsas härvid med hjälp av impulsfläktar aktiverade mot trafikens riktning. Befintliga fläktar i GBT 400 m idag är reverserbara impulsfläktar. Luftflödet i huvudtunneln bromsas vid behov med restriktionen att luftkvaliteten vid huvudtunneln håller sig under luftkvalitetsgränsvärde  $500 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{NO}_2$ . På detta sätt reduceras luftflödet i huvudtunnels avfartsmyning så långt som möjligt.

## 4.2 Dimensioneringsmetod

För dimensioneringen har använts programvaran IDA Tunnel. Tunneln med det anpassade tunnelventilationssystemet ställdes sedan upp i en 1-dimensionell beräkningsmodell med förenklande approximationer av tunnelgeometrin.

För varje tunnel görs dimensionering för miljöventilation samt för brandventilation. Både dimensionering för miljöventilation och dimensionering för brandventilation genererar ett visst erforderligt antal impulsfläktar för att klara uppställda krav. Modellen beräknas under det kallaste dygnet på vintern respektive det varmaste dygnet på sommaren baserat på klimatfilen ASHRAE IWEC 1.1 databas (4). Tunnelventilationssystem dimensioneras sedan efter det fall som kräver störst antal impulsfläktar

Frånluftstation och luftutbytesstation dimensioneras ej i beräkningsmodellen, däremot utförs en grov uppskattning av erforderligt luftflöde för frånluftstation för JT-FT 2700 m och bedöms därmed som konservativt.

## 4.3 Avgränsningar

Simuleringarna är gjorda med de kända förutsättningar som råder i dagsläget. Resultat kan komma att förändras, beroende på det slutliga utförandet på tunnelkonfiguration, höjdprofil, variation i utomhusklimat (temperatur och vindeffekt), fordonsemissioner och tunnels användning så som t ex trafikmängder, olika fordon, trafikhastighet och körsätt mm.

## 5 Resultat

Här redovisas resultat från fyra olika beräkningsserier:

- Beräkning av NO<sub>x</sub>-utsläpp vid tunnelmynningar utförs enligt förutsättningar med dagens trafik och hastighet (kapitel 3.2.2 och 3.2.3).
- Beräkning av NO<sub>2</sub>-halt inne i tunneln vid stillastående trafik och långsamtgående trafik (under 20 km/h).
- Beräkning av flödesreversering i Gullbergstunneln 800 m.
- Beräkning av brandgasventilation.

### 5.1 Yttre miljöventilation: indikation för behov av frånluftstation vid mynning

#### 5.1.1 NO<sub>x</sub> – utsläpp vid tunnelmynning

För resultat av beräkningar för total NO<sub>x</sub>-utsläpp av varje tunnelrör se Tabell 6. Figur 11 visar grafiskt utsläppen vid respektive tunnelmynning. Impulsfläktar är inte aktiva i denna beräkning och NO<sub>2</sub>-halt inne i tunneln är under 500 µg/m<sup>3</sup> i samtliga beräkningsfall.

Långa tunneln JT-FT har det högsta utsläppet vid Falutorget, ca 7,2 ton/år. Detta har sin bakgrund i de stora trafikflödena. Vid Järntorget västra huvudtunnelmynning landar NO<sub>x</sub>-utsläppet på omkring 5,0 ton/år och 1,3 ton/år vid avfartsrampen.

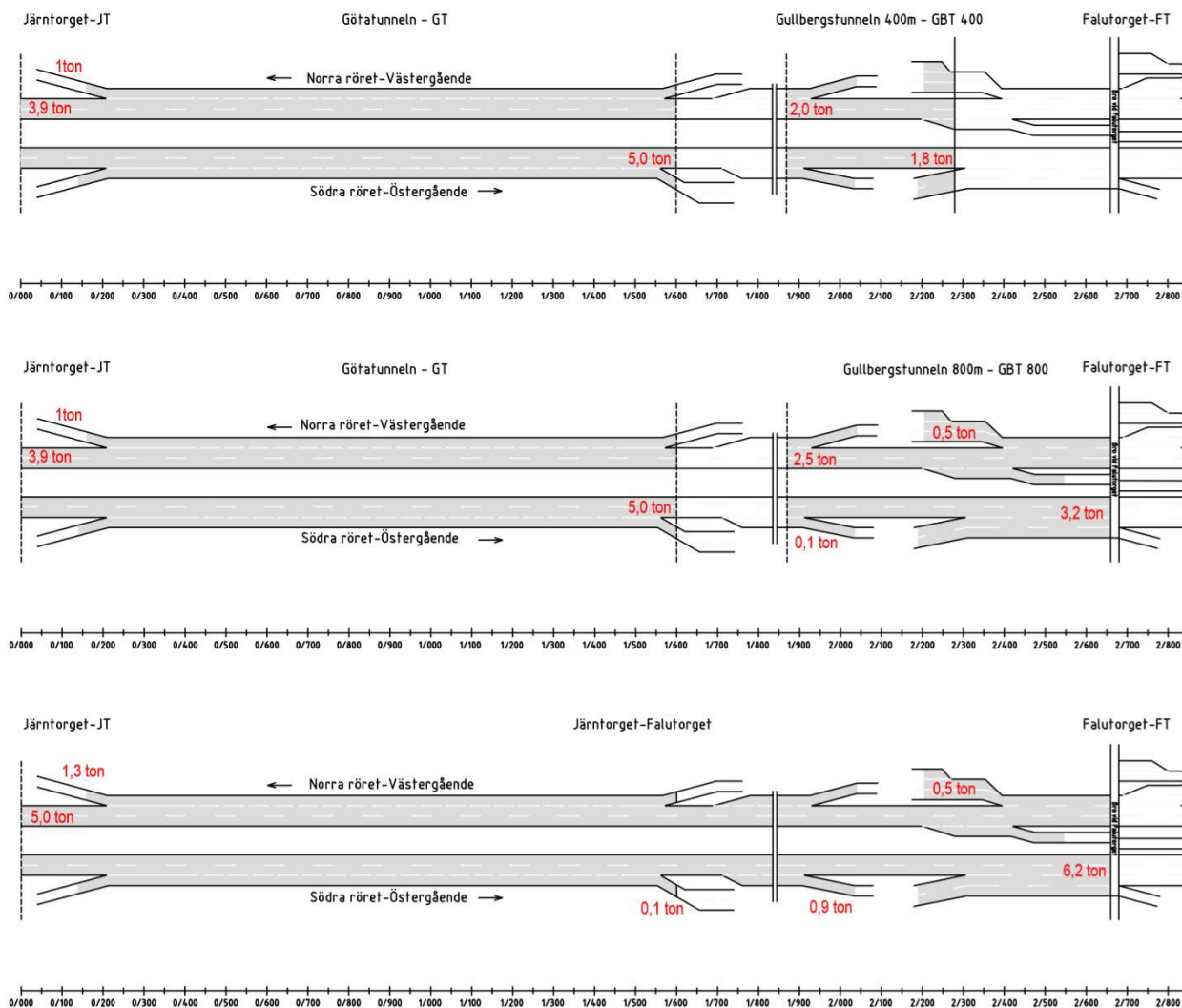
Götatunnelns norra- och södra röret har liknande årliga utsläpp som ligger på ca 5,0 ton/år.

GBT 400 m och GTB 800 m har uppskattats med ett utsläpp på omkring 2,0 ton/år respektive 3,0 ton/år.

Spridningsanalys utifrån dessa resultat får avgöra var (vid vilka mynningar) det eventuellt finns behov av frånluftstation. Som jämförelse kan sägas att det beslutats att Götatunnelns västra mynning (ca 5,0 ton/år enligt föreliggande analys) ska förses med en frånluftstation.

Tunnelrör	Antal impulsfläktar aktiveras	Utsläpp NO <sub>x</sub> (ton/år)	Max NO <sub>2</sub> timmedelvärde (µg/m <sup>3</sup> )	Max luftflöde per tunneldel (m <sup>3</sup> /s)
GT Norra 1.6 km	Ingen	<b>4,9</b>	300	- Huvudtunnel: 440 - Ramptunnel: 114
GT Södra 1.6 km	Ingen	<b>5,0</b>	200	- Huvudtunnel: 573
GBT Norra 400 m	Ingen	<b>2,0</b>	86	- Huvudtunnel: 495
GBT Södra 400 m	Ingen	<b>1,8</b>	84	- Huvudtunnel: 408 - Ramptunnel: 59
GBT Norra 800 m	Ingen	<b>3,0</b>	110	- Huvudtunnel: 564 - Ramptunnel: 156
GBT Södra 800 m	Ingen	<b>3,3</b>	97	- Huvudtunnel: 722 - Ramptunnel: 53
JT-FT Norra 2,7 km	Ingen	<b>6,8</b>	487	- Huvudtunnel: 448 - Ramp E45V: 197 - Ramp JT: 126
JT-FT Södra 2,7 km	Ingen	<b>7,2</b>	200	- Huvudtunnel: 783 - Första rampen: 61 - Andra rampen: 114

*Tabell 6: NO<sub>x</sub> utsläpp för tre (3) tunnelkonfigurationer i ton/år*



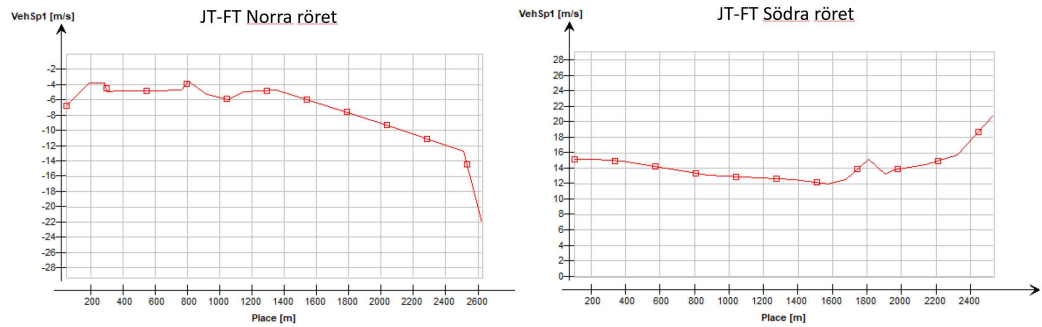
Figur 11: NO<sub>x</sub> utsläpp vid utfartsmyningar och avfartramber i ton/år

### 5.1.2 NO<sub>2</sub> – halt i tunnel vid flytande trafik

Vid flytande trafik ligger NO<sub>2</sub>-koncentrationen i alla tunnelkonfigurationer under 500 µg/m<sup>3</sup>, även utan impulsfläktar aktiverade. Se Tabell 6. Flytande trafik under dagen ger tillräckligt stor kolteffekt (och påföljande friskluftstillförsel) för att späda ut NO<sub>2</sub>-halterna inne i tunneln. Av den orsaken behövs ingen ventilation för inre luftmiljö vid flytande trafik.

JT-FT norra röret har dubbelt så hög NO<sub>2</sub>-halt som för JT-FT södra röret pga långsamtgående trafik eller kö i norra röret vid högtrafik, se Figur 12.

Trafikfördelning och tunnelkonfiguration i JT-FT södra röret bedöms tillåta något högre fordonshastigheter, vilket ger en starkare kolteffekt i tunneln med påföljande lägre NO<sub>2</sub>-halter.



Figur 12: Trafikhastighet under högtrafik JT-FT Norra- och Södra röret. Positiva värden i väst-östlig riktning.

### 5.1.3 Indikation för kapacitetbehov av frånluftstation

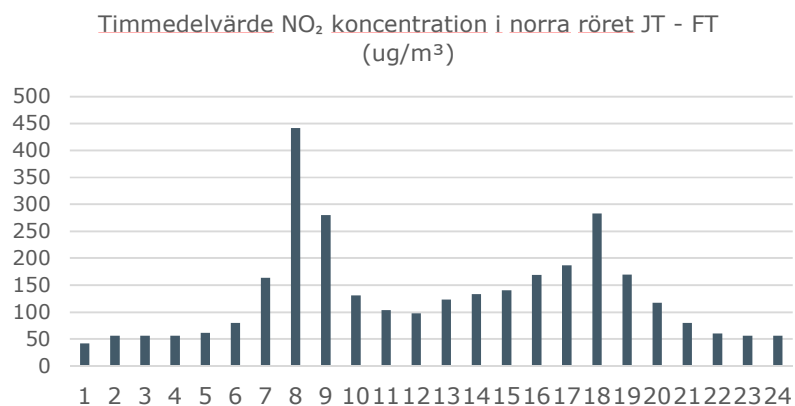
För att fastställa om frånluftstation verkligen behövs eller ej vid de olika tunnelmyningarna bör spridningsberäkningar utföras. Om det är behov av frånluftstation vid båda myningarna eller om en kombinerad frånluftstation för både ramp och huvudtunnel kan användas, bör utredas.

Utsugningsgraden med DU1 aktivt (planerat luftflöde 400 m<sup>3</sup>/s) kan utifrån föreliggande resultat för NO<sub>x</sub>-utsläpp och luftflöden från JT-FT N 2,7 km uppskattas till ca 80 %. Detta värde tar inte hänsyn till de anpassningar av styrsystemet som föreslagits tidigare (för Götatunneln N 1,6 km) och bedöms därmed som konservativt.

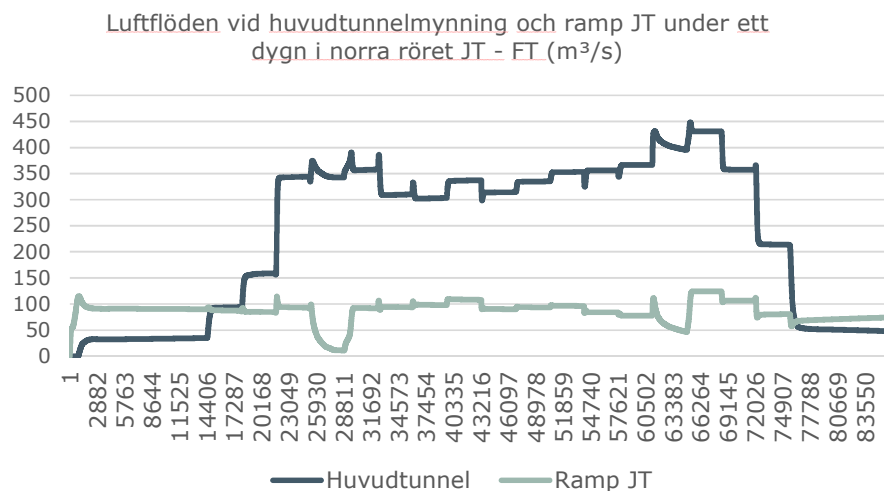
För att helt undvika utsläpp genom tunnelmyningarna vid Järntorget behöver också impulsfläktar aktiveras för att bromsa luftflödet i tunneln enligt tidigare förslag (för Götatunneln N 1,6 km) (1).

Vid tider med högt luftflöde (kl. 17-19) är max timmedelvärde NO<sub>2</sub> ca 280 µg/m<sup>3</sup>, se Figur 13 och Figur 14. Här finns således marginal för en viss luftbromsning (begränsas av gränsvärdet för NO<sub>2</sub> 500 µg/m<sup>3</sup>).

Indikation av kapacitetbehov för framtida frånluftstation vid Falutorget ca 780 m<sup>3</sup>/s. Siffrorna är en grov uppskattning utan hjälp av impulsfläkt för styrning och bromsning av luftflöde.



Figur 13: Timmedelvärde NO<sub>2</sub> koncentration i norra röret JT-FT



Figur 14: Luftflöden vid huvudtunnelmynning och ramp JT under ett dygn



## 5.2 Inre miljöventilation: indikation för behov av luftutbytestation

### 5.2.1 Inre miljöventilation vid stillastående trafik

Vid stillastående trafik (0 km/h) finns behov av impulsfläktar för inre luftkvalitet då frisklufttillförsel från trafikens kolteffekt är otillräcklig. Befintliga impulsfläktar i GT 1600 m och GBT 400 m ska aktiveras vid behov för att hålla NO<sub>2</sub>-halten inne i tunneln under gränsvärdet 500 µg/m<sup>3</sup>. Ingen fläktredundans antas i beräkningen.

För GBT 400 m och GBT 800 m är NO<sub>2</sub>-koncentration under 500 µg/m<sup>3</sup> med befintligt impulsfläktsystem, se Tabell 7.

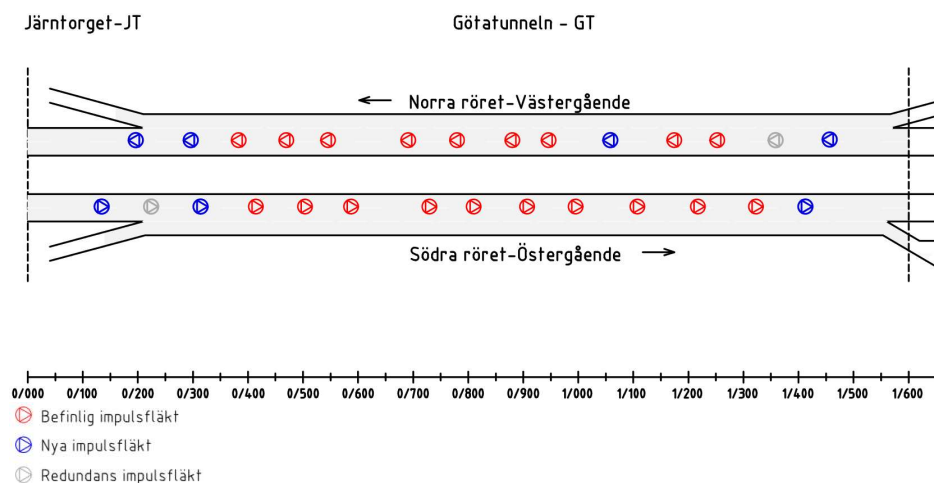
För GT 1600 m och JT-FT 2700 m är NO<sub>2</sub>-koncentration över 500 µg/m<sup>3</sup> även med maximalt antal befintliga impulsfläktar, se Tabell 7. Då finns behov av nya ytterligare impulsfläktar för inre miljöventilation.

Tunnelrör	Antal impulsfläktar		NO <sub>2</sub> -halt timmedelvärde (µg/m <sup>3</sup> )	Max luftflöde (m <sup>3</sup> /s)
	Fläkt typ 1 (befintliga fläktar i GT 1600 m)	Fläkt typ 2 (befintliga fläktar i GBT 400 m)		
GT 1.6 km N	20 (max antal befintliga fläktar i GT N)	0	<b>573</b>	341
GT 1.6 km S	20 (max antal befintliga fläktar i GT S)	0	<b>774</b>	512
GBT 400 m N	0	8	447	408
GBT 400 m S	0	4	303	270
GBT 800 m N	0	15	448	426
GBT 800 m S	0	13	476	400
JT-FT N	20 (max antal befintliga fläktar i GT N)	16 (max antal befintliga fläktar i GBT 400 m)	<b>860</b>	333 (HT) 205 (Ramp JT)
JT-FT S	20 (max antal befintliga fläktar i GT S)	15 (max antal befintliga fläktar i GBT 400 m)	<b>1080</b>	391

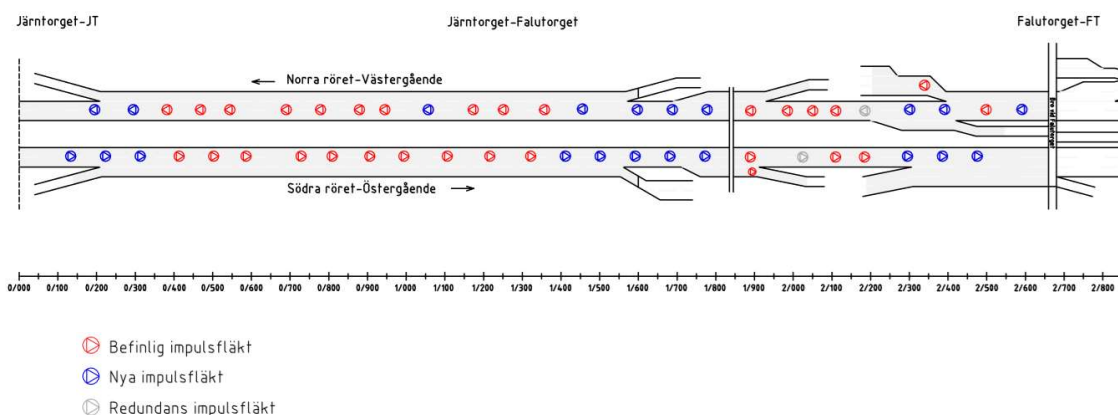
Tabell 7: NO<sub>2</sub>-halt inne i tunneln med befintliga impulsfläktar (ej redundans fläkt) vid stillastående trafik

Nya impulsfläktar antas liknande som fläkt typ 2 (befintlig fläkt i GBT 400 m) placeras i GT 1600 m och JT-FT 2700 m, se Figur 15 och Figur 16. Maximalt antal impulsfläktar som bedömts få plats i tunneln har analyserats med 4 st. fläktar per fläktgrupp. En fläktgrupp är redundant. Lufthastighet i tunnlar med längsventilation får ej överstiga 10 m/s, se Figur 15.

Resultaten i Tabell 8 indikerar att en stärkt längsventilation inte är tillräckligt då NO<sub>2</sub>-halten är fortfarande högre än 500 µg/m<sup>3</sup>.



Figur 15: Nya ytterligare impulsfläkt i GT 1600 m



Figur 16: Nya ytterligare impulsfläktar i JT – FT 2700 m

Tunnelrör	Antal impulsfläktar			NO <sub>2</sub> -halt timmedelvärde (µg/m <sup>3</sup> )	Max luftflöde (m <sup>3</sup> /s)
	Fläkt typ 1 (befintliga fläktar i GT)	Fläkt typ 2 (befintliga fläktar i GBT)	Nya ytterligare impulsfläktar (antas liknande fläkt typ 2) (*)		
GT 1.6 km N	20 (högst antal befintliga fläktar i GT N)	0	16	<b>501</b>	400
GT 1.6 km S	20 (högst antal befintliga fläktar i GT S)	0	16	<b>671</b>	584
JT-FT N	20	20	40	<b>724</b>	408 (HT)
JT-FT S	20	16	44	<b>751</b>	657

Tabell 8: NO<sub>2</sub>-halt inne i tunnel med nya ytterligare impulsfläktar vid stillastående trafik

(\*) Maximalt antal impulsfläktar som bedömts få plats i tunneln

### 5.2.2 Inre miljöventilation vid långsamgående trafik

Vid stillastående trafik klaras NO<sub>2</sub>-gränsvärdet både i GBT 400 m och GBT 800 m. Beräkningar för NO<sub>2</sub>-halt inne i tunneln vid långsamgående trafik utförs därför endast för GT 1600 m och JT-FT.

NO<sub>2</sub>-gränsvärdet 500 µg/m<sup>3</sup> klaras vid trafikhastigheter vid 20 km/h med befintliga impulsfläktar i både GT 1600 m som JT-FT, se Tabell 9.

NO<sub>2</sub>-gränsvärdet 500 µg/m<sup>3</sup> klaras inte vid långsamgående trafik under 20 km/h, ej heller med ytterligare impulsfläktar, se Tabell 9 och Tabell 10.

Tunnelrör	10 km/h		20 km/h	
	NO <sub>2</sub> -halt timmedelvärde (µg/m <sup>3</sup> )	Max luftflöde (m <sup>3</sup> /s)	NO <sub>2</sub> -halt timmedelvärde (µg/m <sup>3</sup> )	Max luftflöde (m <sup>3</sup> /s)
GT 1.6 km N	<b>734</b>	404	315	509
GT 1.6 km S	<b>724</b>	619	315	730
JT-FT N	<b>917</b>	442	449	509
JT-FT S	<b>818</b>	700	444	859

Tabell 9: NO<sub>2</sub>-halt i tunnel med befintliga impulsfläktar vid långsamgående trafik

Tunnelrör	10 km/h	
	NO <sub>2</sub> -halt timmedelvärde (µg/m <sup>3</sup> )	Max luftflöde (m <sup>3</sup> /s)
GT 1.6 km N	<b>661</b>	452
GT 1.6 km S	<b>644</b>	688
JT-FT N	<b>897</b>	458
JT-FT S	<b>747</b>	800

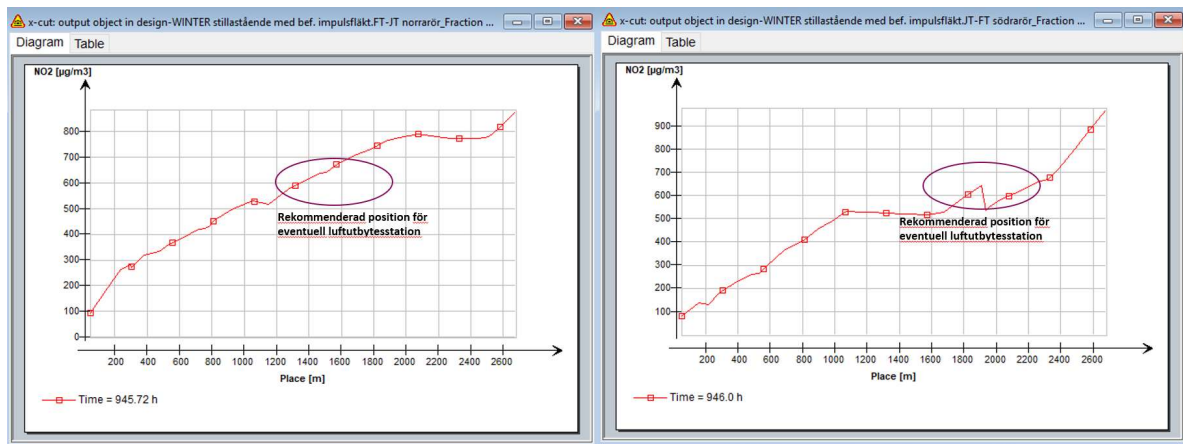
Tabell 10: NO<sub>2</sub>-halt i tunnel med nya ytterligare impulsfläktar vid långsamgående trafik

### 5.2.3 Analys för behov av luftutbytesstationer

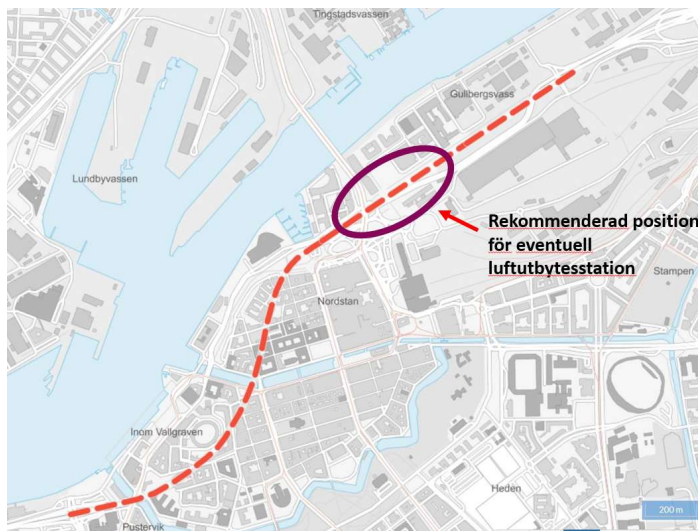
NO<sub>2</sub>-gränsvärdet på 500 µg/m<sup>3</sup> timmedelvärde uppfylls för GBT 400 m och GBT 800 m med befintliga impulsfläktar vid alla trafikförhållanden. Därför finns i dessa tunnlar inget behov av luftutbyte.

För att NO<sub>2</sub>-gränsvärdet i GT 1600 m och JT-FT ska klaras även vid trafikhastigheter under 20 km/h behövs någon form av åtgärd i tunnelkonfigurationerna GT N/S och JT-FT N/S. Två typiska åtgärder är luftutbyte alternativt trafikreglering för undvikande av mycket långsamgående trafik.

Figur 17, Figur 18 visar NO<sub>2</sub>-koncentrationen i tunnelrören JT-FT N/S. Inringade områden indikerar möjlig positionering för en eventuell luftutbytesstation.



Figur 17: Rekommenderad position för eventuell luftutbytesstation



Figur 18: Möjlig positionering för luftutbytesstation

### 5.3 Flödesreversering Gullbergstunneln 800 m

Projektet har efterfrågat möjligheten att köra tunnelventilationssystemet mot trafikriktningen i GBT 800 m för att reducera utsläppen vid västra mynningen. En preliminär beräkning har utförts med GBT 800 m att undersöka huruvida erforderlig flätkapacitet finns tillgänglig för flödesreversering med impulsfläktar.

Reverserbara impulsfläktar i GBT 800 m aktiveras vid behov för att bromsa luftflödet vid tunnels utfartsmynning. Ventilationsriktning i huvudtunneln är då mot trafikens riktning.

Trafikflöden vid olika tidpunkt skapar olika behov av dragkraft från impulsfläktar:

- Vid högtrafik (kl. 06 - 09 och kl. 15 - 19) behövs 3 fläktgrupper i norra röret och 4 fläktgrupper i södra röret.
- Kl. 09 - 15 behövs 3 fläktgrupper i norra röret och 2 fläktgrupper i södra röret.
- Inget behov finns mellan kl. 20 - 06 då NO<sub>2</sub>-halten i tunneln är låg, ca 50 µg/m<sup>3</sup> (NO<sub>2</sub> gränsvärde för utomhus luftkvalitet).

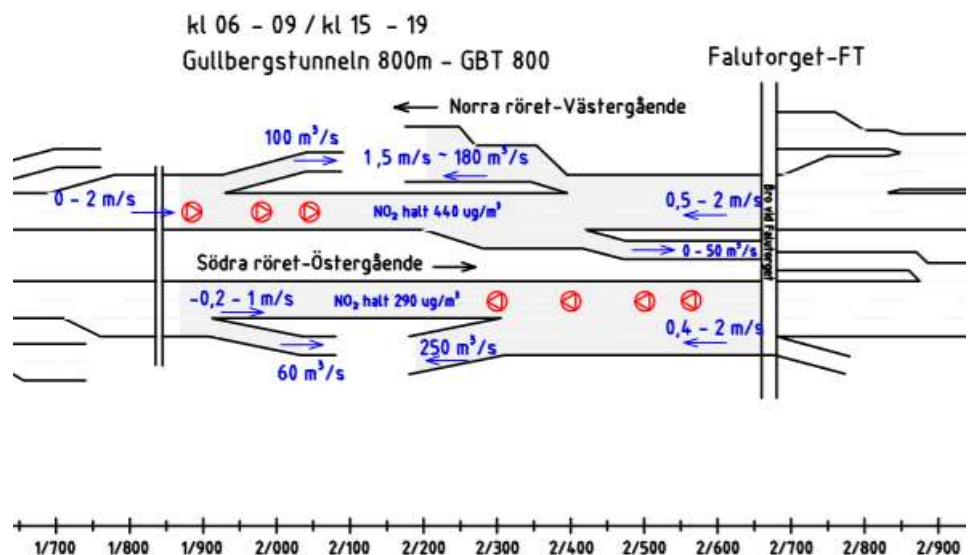
Vid norra röret räcker befintlig flätkapacitet i GBT 400 m för reversering av flödet.

Vid södra röret ligger fläktarna i den förlängda delen GBT 800 m. En fläktsymbol i södra röret motsvarar 4 fläktar i nedanstående figurer.

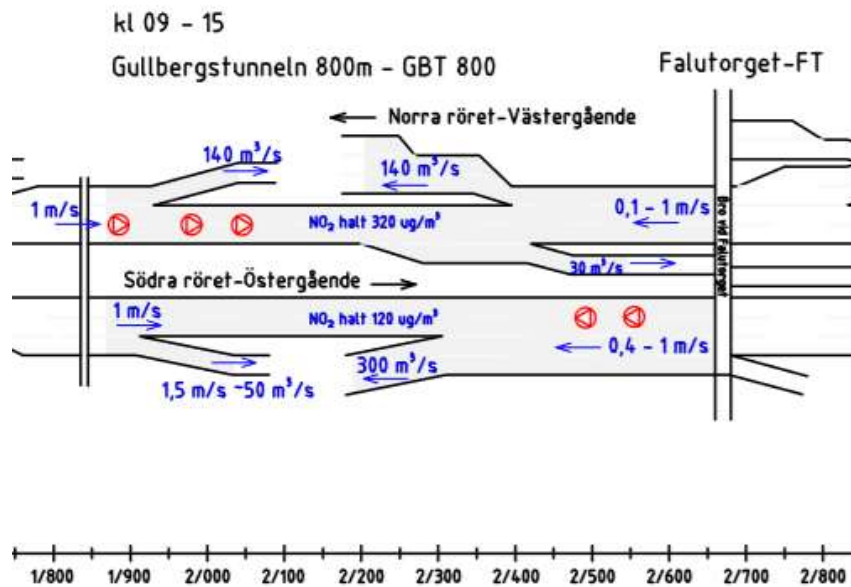
Figur 19 och Figur 20 visar lufthastigheten med storlek och riktning vid tunnelns utfartsmynningar med flödesreversering mot trafiken. En konsekvens av flödesreversering i huvudtunneln är att utsläpp via ramperna ökar.

#### Viktig anmärkning

I allmänhet avråds från ventilation mot trafikens riktning, med hänvisning till skadlig rökspridning i händelse av brand i tunneln. Inverkan på säkerhetskonceptet behöver hanteras med Trafikverket och övriga berörda intressenter.



Figur 19: Flödesreversering i GBT 800 m vid högtrafik kl 06 – 09 / kl 15 - 19



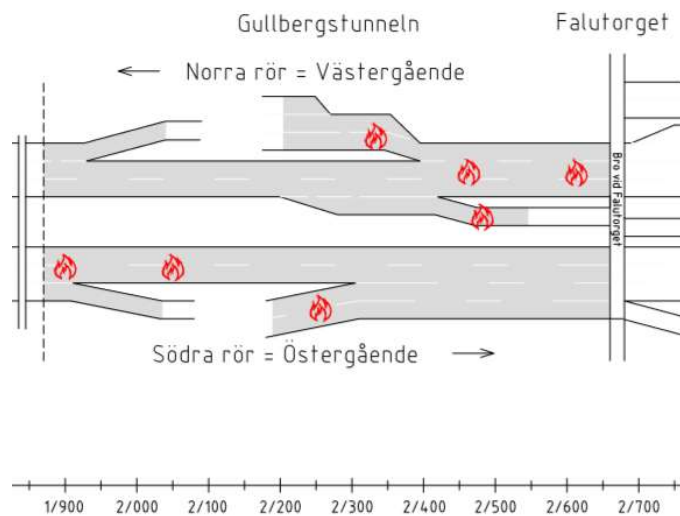
Figur 20: Flödesreversering i GBT 400 m vid normal tid kl 09 – 15

## 5.4 Brandgasventilation – Preliminär dimensionering

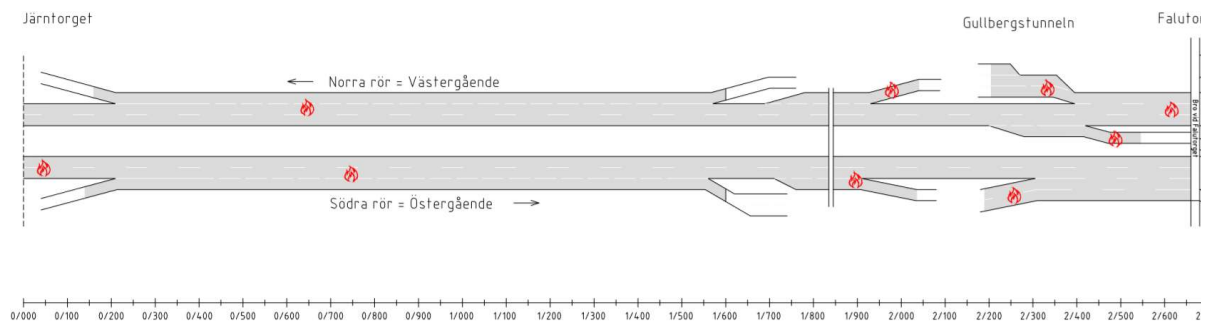
I detta PM har ventilationssystemets förmåga att hantera en tunnelbrand i huvudtunnel samt på- och avfartsramptunnlarna analyserats, se Figur 21 och Figur 22 för brandpositioner. Den resulterande lufthastigheten direkt uppströms branden har utvärderats för samtliga utvalda brandpositioner och jämförts med kritisk hastighet. Det fall som ger det högsta antal impulsfläktar är dimensionerande. Alla impulsfläktar är reverserbara för att tillgodose behovet av reverserat luftflöde i det icke branddrabbade tunnelröret i händelse av brand.

Dimensionerande brandeffekt enligt underlag (1) är 50 MW. Vid behov av nya impulsfläktar antas den samma fläkttyp som befintliga fläktar i GBT 400 m motsvarande 950 N, en fläktgrupp består av 4 st. impulsfläktar.

I detta skede har endast preliminära beräkningar utförts för GBT 800 m och JT-FT 2700 m, GT 1600 m och GBT 400 m med befintligt system. Detta på grund av fortsatta osäkerheter i tunnelutformningen (geometri och lutning), vilken påverkar fläktplacering, brandposition och kritisk hastighet. En fördjupad analys av impulsfläktkapacitet, -utplacering och driftläge bör utföras i syfte att säkerställa att brandgasventilationssystemet uppfyller samtliga redundans- och lufthastighetskrav.



Figur 21: Gullbergstunneln 800 m – brandpositioner



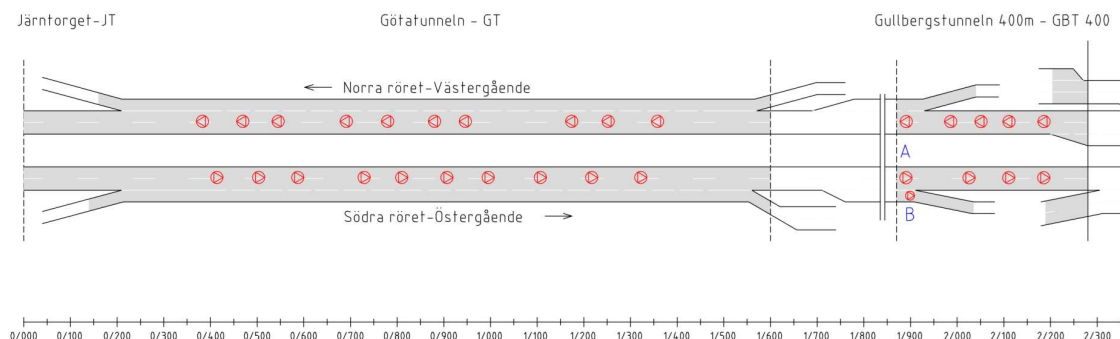
Figur 22: JT – FT 2700 m – brandpositioner

### 5.4.1 Befintligt brandgasventilationssystem

Figur 23 visar befintliga fläktar i GT 1600 m och GBT 400 m. Fläktarna är dimensionerade för att kunna hantera en brand på 100 MW i något av huvudtunnelrören.

För GT 1600 m gäller att av huvudtunnelarnas 20 impulsfläktar antas 2 fläktar vara utslagna av branden och 2 fläktar otillgängliga pga. underhållsarbete. Vid brand i ramptunnelarna i antas 18 impulsfläktar i huvudtunnel vara aktiva och 2 fläktar antas vara otillgängliga pga. underhållsarbete, inga fläktar är utslagna av brand.

GBT 400 m huvudtunnel har 5 impulsfläktgrupper i vardera röret, där 1 fläktgrupp antas vara utslagen av branden. Se kapitel 3.5 för detaljer.



Figur 23: Befintligt brandgasventilationssystem i GT 1600 m och GBT 400 m (\*)

(\*) En fläktsymbol representerar 1 fläktgrupp

### 5.4.2 Brandgasventilation – GT 1600 m

Förutom befintliga impulsfläktar har GT 1600 m ett ytterligare behov för brandgasventilation vid förlängning av ramperna.

Längden på ramptunnlarna är idag ca 60-70 m, en sträcka som kan anses acceptabel för en tunnelanvändare att förflytta sig i en rökfylld miljö i händelse av brand i ramptunneln. Vid förlängning av ramperna uppstår ett behov av att förstärka tunnelventilationen i syfte att förhindra att hela ramptunneln rökfylls i händelse av brand.

I PM Järnvågen utredning installation i Götatunnelns ramper (9) har preliminära beräkningar utförts för dimensioneringen av kompletterande tunnelventilationsutrusning för på- respektive avfartsramptunnlarna.

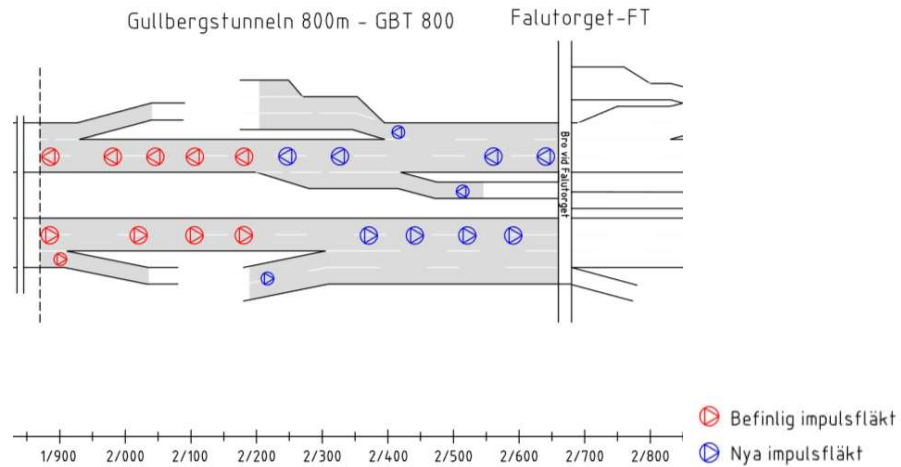
### 5.4.3 Brandgasventilation - GBT 800 m

Befintlig flätkapacitet i GBT 400 m är otillräcklig för att hantera en tunnelbrand i GBT 800 m, även där finns ett behov för ytterligare fläktar.

Erforderligt antal impulsfläktar att installera i respektive tunnelavsnitt inklusive 1 st. fläktgrupp för redundans visas i Figur 24. 4 impulsfläktar per grupp antas för nya fläktgrupper i huvudtunnelrör och 2 impulsfläktar per grupp för nya fläktgrupper i ramperna, se Tabell 11.

Det ska noteras att vissa brandpositioner i ramperna kräver att den huvudsakliga ventilationskapaciteten i den närliggande huvudtunnelmynningen ej är aktiverad, tex vid brand i avfartsrampen norra röret ska impulsfläktar från position 1/900 till 2/300 i huvudtunneln ej vara aktiverade. Detta görs för att motverka utflödet av friskluft genom huvudtunnelmynningen och på så vis öka luftflödet där det behövs, vid brandpositionen. Detta ställer i sin tur krav på styrsystemet.





Figur 24: Brandgasventilation system i GBT 800 m

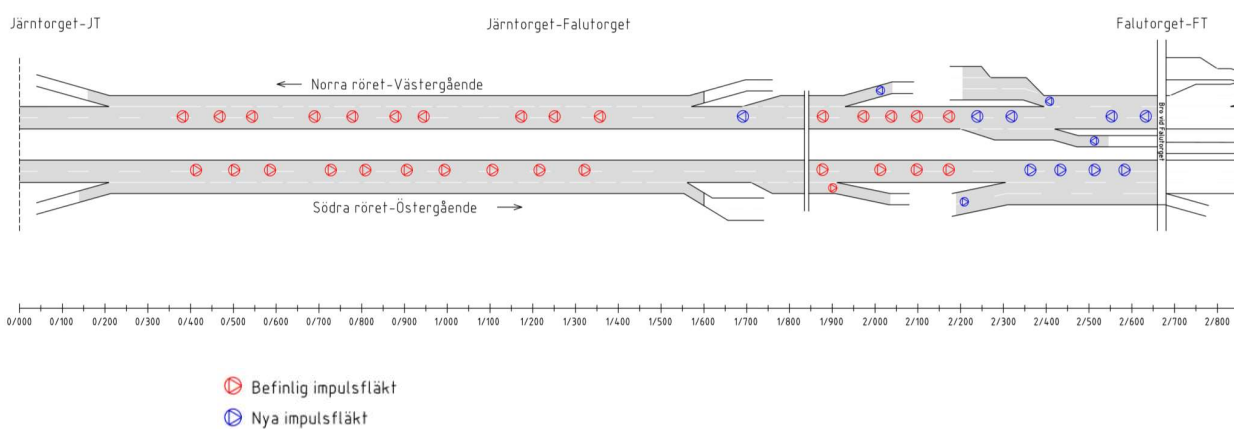
Fläktposition	Norra rör	Södra rör
2/210 – sitter vid rampen		2
2/240	4	
2/330	4	
2/360		4
2/420 – riktad mot rampen	2	
2/430		4
2/500 – sitter vid rampen	2	
2/520		4
2/550	4	
2/580		4
2/650	4	
Total nya fläktar	20	18

Tabell 11: Erforderligt antal **nya impulsfläktar** att installera i GBT 800 m

### 5.4.4 Brandgasventilation – JT - FT

Erforderligt antal impulsfläktar att installera i respektive tunnelavsnitt inklusive 1 st. fläktgrupp för redundans visas i Figur 25. Det antas 4 impulsfläktar per grupp för nya fläktgrupper i huvudtunnelrör och 2 impulsfläktar per grupp för nya fläktgrupper i ramperna, se Tabell 12.

Det ska noteras att brandventilationssystemet i denna tunnel ska styras med samma princip som GBT 800 m med avaktiverade impulsfläktar i närliggande huvudtunnelavsnitt vid brand i ramperna.



Figur 25: Brandgasventilationssystem i JT – FT 2700 m

Fläktposition	Norra rör	Södra rör
1700	4	
2010 – sitter vid rampen	2	
2210 – sitter vid rampen		2
2240	4	
2330	4	
2360		4
2420-riktad mot rampen	2	
2430		4
2500 – sitter vid rampen	2	
2520		4
2550	4	
2580		4
2650	4	
Total nya fläktar	26	18

Tabell 12: Erforderligt antal **nya impulsfläktar** att installera i JT-FT 2700 m

## 6 Slutsatser

I fallet GBT 400 m och GBT 800 m är brandventilation dimensionerande för längsventilationen i tunneln, behov för luftutbytesstation för miljöventilation i dessa tunnlar finns ej.

I GT 1600 m och JT-FT 2700 m är miljöventilation dimensionerande för längsventilation i tunneln. Resultaten visar att ett förstärkt längsventilationssystem i JT-FT och GT klarar att hantera brandgasevakeringen, även utan brandgasstation på mitten av den förlängda tunneln. Däremot räcker det inte med förstärkt längsventilation för inre luftkvalitet i alla trafiksituationer. Vid långsamtgående trafik under 20 km/h är indikationen för båda dessa tunnelkonfigurationer att ett luftutbyte behövs för att klara luftkvalitetsgränsvärdet 500 µg/m<sup>3</sup>.

Ett alternativ till luftutbyte kan vara trafikbegränsande åtgärder.

Det ska noteras att dessa resultat är indikationer från en grov beräkningsuppställning, planerad för att ge ett övergripande, indikativt beslutsunderlag bland flera möjliga utbyggnadsalternativ. De detaljstudier som genomfördes för styrningen av tunnelventilationen i Götatunneln 1600 m (1) har exempelvis (av tidsskäl) inte kunnat tas i beaktande här. Av samma anledning bör längsventilationssystemet i kombination med frånluftstation/luftutbytesstation analyseras vidare för JT-FT före en eventuell utbyggnad. De resultat som presenteras här utgör inte en slutlig dimensionering utan ska betraktas som indikationer för att möjliggöra ett långsiktigt planeringsarbete.

## 7 Vidare utredning

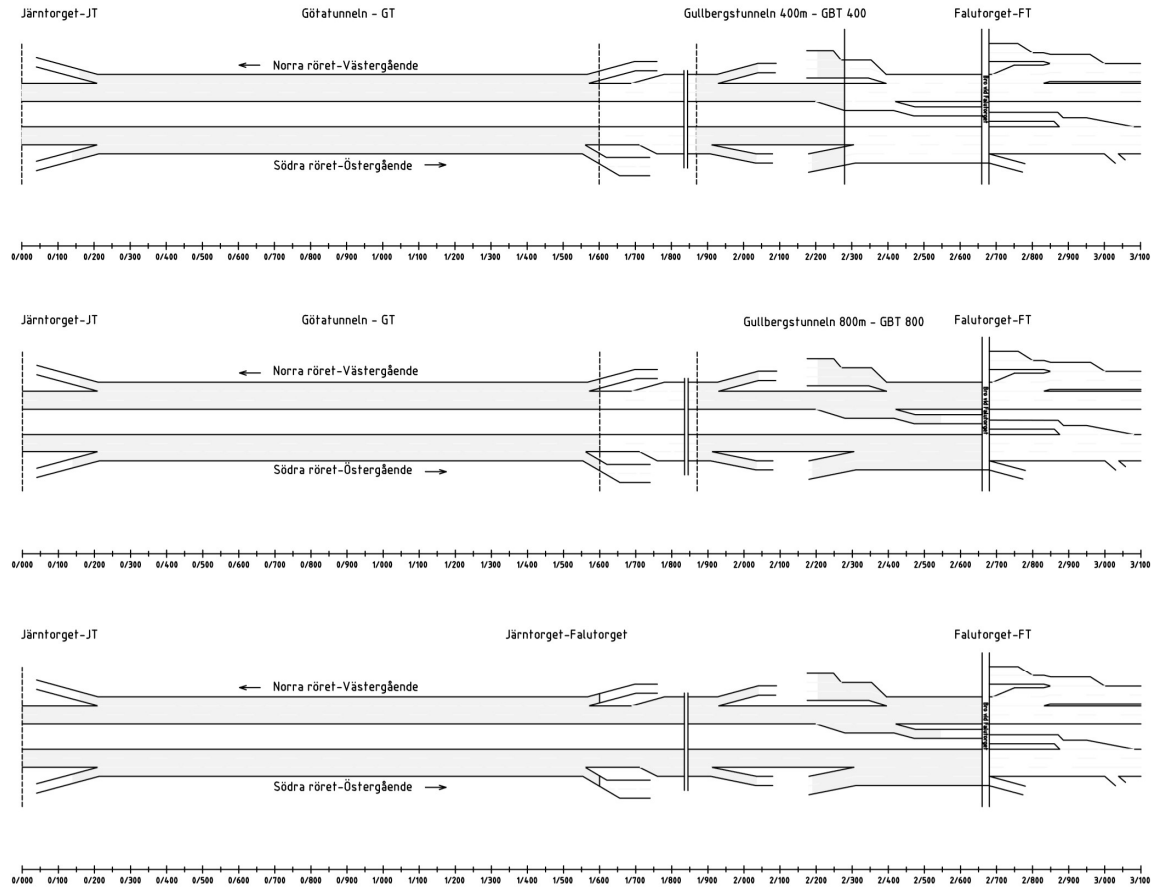
Rekommendationer för fortsatt arbete i nästföljande projekteringsfas:

- Analys av föreliggande resultat med avseende på behov av frånluftstationer. Vid behov med hjälp av spridningsberäkningar.
- Vid behov dimensionering av frånluftstationer med hjälp av impulsfläktar för styrning av luftflöde.
- Analys av trafiksituation mm. samt ev. söka alternativa lösningar för frånluftstation och luftutbytesstation.
- Vid behov dimensionering av luftutbytesstation.
- Fördjupad analys av impulsfläktstorlek och -utplacering för brandgasventilationssystemet med uppdaterad tunnelutformning i syfte att säkerställa att tunnelventilationssystemet som helhet uppfyller samtliga redundanskrav relaterade till fläktkapacitet

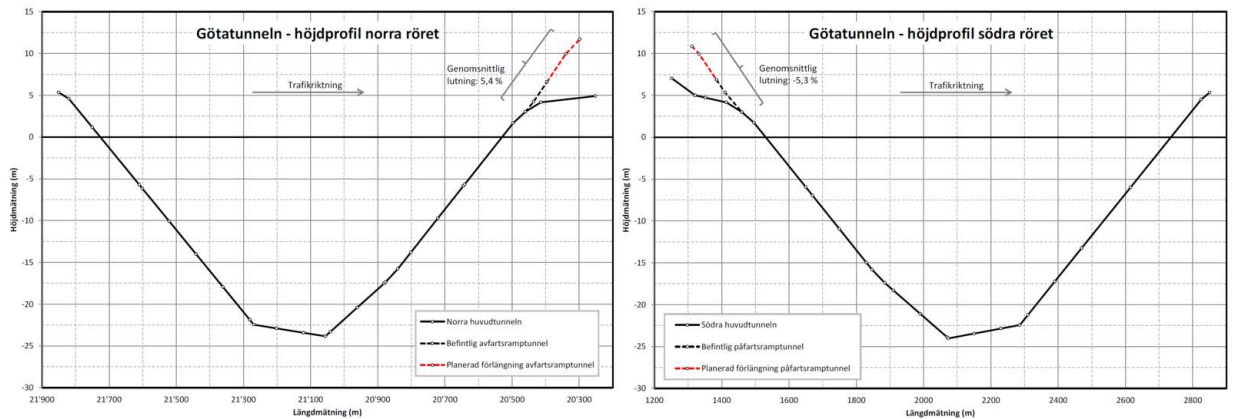
## 8 Referenser

1. **Engman, Emil.** *Beräkningar för avluftventilation vid Götatunnelns västra mynning.* 2017.
2. **Miljö/Väst, COWI.** *Anbud på projekt - ÅTA till Hisingsbron.* 2019.
3. **Trafikverket.** *Forskningsprojekt Tunnelluft (pågående).* 2016.
4. **Miljöförvalningen, Göteborg Stad.** *Luftkvaliteten i Göteborgsområdet med och utan trängselskatt.* September 2014.
5. **American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. ASHRAE IWEC 1.1 weather files.** 2005-20-15.
6. **Alain, Jeanneret.** *Lüftung der Strassentunnel, Systemwahl, Dimensionierung und Ausstattung, Schweiz (Swiss Guideline on Tunnel Ventilation), ASTRA 13001 V2.03.* 2008.
7. **INFRAS.** *The Handbook of Emission Factors for Road Transport (HBEFA)* . April 2017.
8. **Flygare, Kristoffer.** *E45 Lilla Bommen - Marieholm tunnelventilation. Dokument nr 6K076B03.* 2017.
9. **Jonas Sparthan, Jonathan Andersson, Emil Engman, Patrik Ohnesorge, Martin Wiklund.** *PM - Järnvågen utredning installation i Götatunnelns ramper.* u.o. : Svenska Teknikingenjörer Gbg AB, 2017.
10. **Trejo.** *Översiktsschema överdäckning av Götaleden.* Januari 2019.

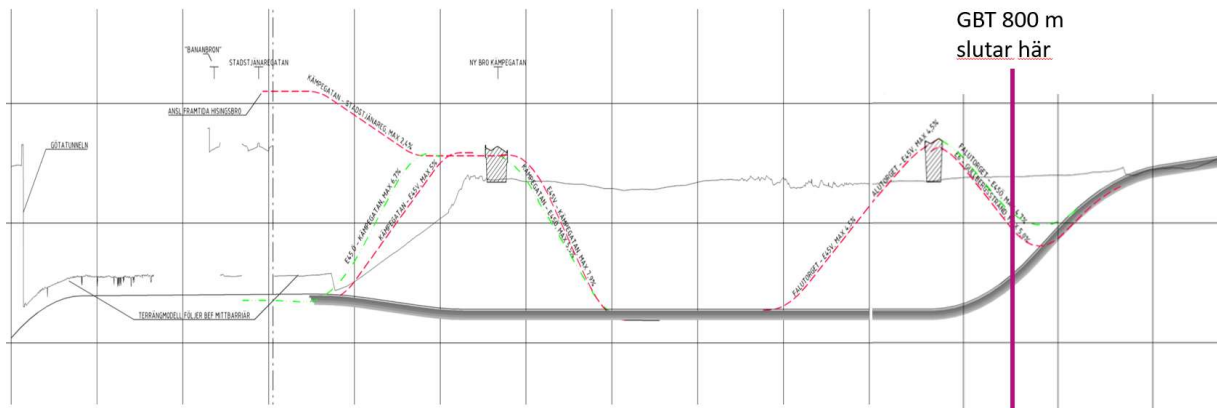
# BILAGA 1 - Tunnelgeometri



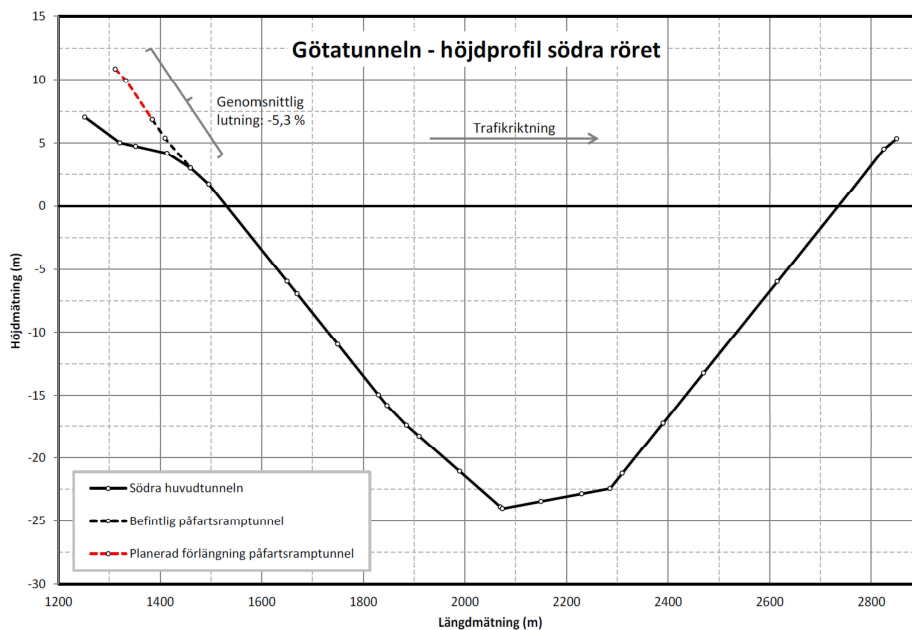
Figur 26: Översiktsschema - Längdprofil (10)



Figur 27: Höjdprofil Götatunneln 1600 m



Figur 28: Höjdprofil Götatunneln Östra - Falutorget



Figur 29: Höjdprofil Götatunneln 1600 m



Götatunneln - GT		Bredd	Höjd	Tvårsnittsytta	Referens
	Ramper	7,2	6,7	48,2	PM Beräkningar för avluftventilation vid Götatunnelns västra mynning (5)
	Huvudtunnel infartsmykning västra	10,5	6,7	70,4	
	Huvudtunnel	14	6,7	94	
Gullbergstunneln - GBT					
	Södra tunnelrörets infartsmykning	14,45	6,35	91,8	PM E45 Lilla Bommen - Marieholm (8)
	Södra tunnelröret avfartsrampens förgreningspunkt	18,64	6,33	118	
	Södra tunnelrörets avfartsramp	7	4,8	33,6	
	Södra tunnelröret efter avfartsramp 2 körfält	11,2	6,5	72,8	
	Norra tunnelrörets infartsmykning med 3 körfält	13,77	6,5	89,5	
	Norra tunnelrörets huvudtunnel 2 körfält	11,2	6,5	72,8	
	Norra tunnelrörets påfartsramp	7	4,8	33,6	
	Norra tunnelröret påfartsrampens förgreningspunkt	18,64	6,33	118	
	Norra tunnelröret efter påfartsrampens anslutning med 3 körfält	14,18	6,33	89,8	
Koppling mellan GT och GBT	Antas liknande GBT				

Tabell 13: Tvårsnittsarea