



## VIÐAUKI E.2

**Loftgæði: Mótnægisaðgerðir**



## MINNISBLAÐ

### DAGS.

04.11.2024

### SENDANDI

Örn Dúi Kristjánsson

### MÁLEFNI

Áhrif Sundaganga á loftgæði og tiltækar mótvægisáðgerðir

### DREIFING

Vegagerðin (Helga Jóna Jónasdóttir)

## Inngangur

Útreikningar á dreifingu mengunar frá munnum ganga og stokka í gangakosti Sundabrautar, svokölluðum Sundagöngum, hafa leitt í ljós að líkur eru á að mengun í næsta nágrenni munnanna fari yfir reglugerðarmörk skv. reglugerð nr. 920/2016, ef ekki er tekið tillit til mótvægisáðgerða, þ.e. við verstu mögulegu aðstæður (e. *worst case*). Í þessu minnisblaði verður farið yfir áhrif vegganga á staðbundin loftgæði almennt, tiltækar mótvægisáðgerðir til að milda þessi áhrif, tekin verða dæmi af reynslu af hönnun og rekstri nokkurra vegganga erlendis frá og loks verður lýst tillögu að mögulegri útfærslu fyrir Sundagöng.

Við vinnslu þessa minnisblaðs hefur verið litið til ýmissa heimilda erlendis frá og ber þar helst að nefna:

- PIARC (*Alþjóða vegamálasambandið*)
  - Road Tunnel Operations: First Steps Towards a Sustainable Approach (2017)
  - Road Tunnels: A Guide to Optimising the Air Quality Impact Upon the Environment (2008)
- Centre d'Etudes des Tunnels (CETU), Frakklandi
  - The Treatment of Air in Road Tunnels – State-of-the-art studies and works (2016)
  - Environmental Studies in Road Projects: Air and health sections - The specific case of tunnels (2011)
- Vegvesen, Noregi
  - N500 Vegtunneler; kafli 3.4 Utslipp av gasser og partikler (2024)
  - Renhold og støvdemping av veg, gate og tunnel – Erfaring og beste praksis (2023)
  - Moderne vegtunneler – Vegtunneler og lokal luftkvalitet (2011)
- Advisory Committee on Tunnel Air Quality (ACTAQ), New South Wales, Ástralíu
  - TP04: Road Tunnel Ventilation Systems (2019)
  - TP05: Road Tunnel Stack Emissions (2018)
  - TP06: Options for Treating Road Tunnel Emissions (2018)

Þessu til viðbótar voru skoðuð ýmis gögn sem snúa að sértækum jarðgöngum.

## Mengunarlosun frá veggöngum

Segja má að áhrif vegganga á staðbundin loftgæði séu tvískipt: Jákvæð áhrif eru á þeim svæðum þar sem dregur úr umferð á yfirborði en neikvæð við munna ganganna. Öll mengun sem myndast inni í göngunum (að undanskildu því ryki sem sest á yfirborð ganganna) berst út um munnana nema til komi sérstök loftun eða lofthreinsun, og því er styrkur mengunarefna oft mjög hár í næsta nágrenni munnanna. Almennt séð dregur þó hratt úr styrk

mengunarefna með blöndun við andrúmsloftið og rannsóknir hafa sýnt að yfirleitt eru áhrifin óveruleg þegar komið er um 100 til 200 m frá gangamunnum en það er að sjálfsögðu háð aðstæðum hverju sinni [1].

Þau mengunarefni sem mestu máli skipta fyrir vegaumferð er annars vegar svifryk (PM10 og PM2,5) og hins vegar köfnunarefnistvíoxíð (NO<sub>2</sub>). Á Norðurlöndunum er svifrykið sérstakt vandamál vegna almennrar notkunar á nagladekkjum yfir vetrartímann. Rafvæðing bílaflotans samhliða hertum útblástursstöðlum mun draga úr NO<sub>2</sub> losun á næstu árum, en ekki er útlit fyrir að dragi úr svifrykslosun frá umferð á næstu áratugum. Skoðun á nýlegum sérfræðiskýrslum vegna ýmissa jarðganga á Norðurlöndunum leiddi í ljós að sá loftmengunarpáttur sem helst fer yfir reglugerðarmörk við gangamunna eru sólarhringsmörk svifryksmengunar (PM10). Ef munnarnir eru í hæfilegri fjarlægð frá íbúabyggð og útivistarsvæðum kann þetta að vera ásættanlegt en ef svo er ekki þarf að skoða úrræði til að draga úr þessari mengun. Brýnt er að leggja mat á þessa mengun á frumstigum framkvæmdar til að fyrirbyggja vandamál á rekstartíma. [2]

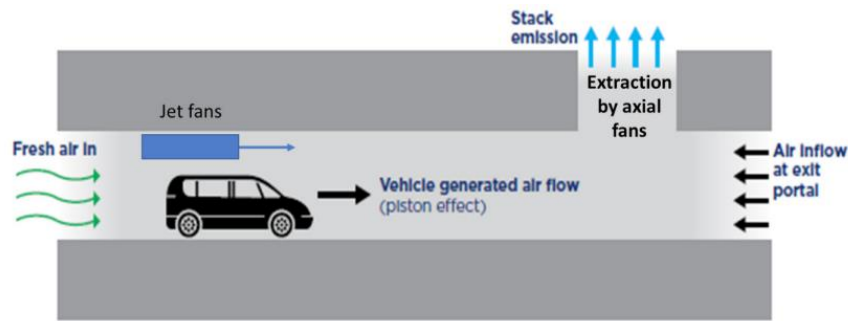
## Loftun vegganga

Hafa ber í huga að loftræsing jarðganga getur þjónað tvennum tilgangi; að tryggja viðunandi loftgæði í göngunum og við munna þeirra, og að tryggja viðunandi reyklosun við bruna. Hér er sjónum fyrst og fremst beint að áhrifum loftunar á loftgæði í nágrenni við munna jarðganga.

Langalgengasta leið til loftunar jarðganga er loftun um sjálfa gangamunnana. Í göngum með aðskilda akstursstefnu veldur umferðin því að trekkur myndast gegnum göngin sem fylgir stefnu umferðar. Reynslan af rekstri vegganga í Noregi sýnir að yfirleitt dugar þessi trekkur til að tryggja viðunandi loftgæði og skyggni í göngunum, en að auki eru blásarar sem geta tryggt loftun ef þörf er á, t.a.m. til reyklosunar. Þessi gerð loftunar er sú langalgengasta í norskum veggöngum (og víðar) enda er hún hagkvæm í byggingu og rekstri og er áhrifarík [3]. Þó ber að nefna að í vissum löndum eru skilyrði sett fyrir lengd vegganga sem heimila svona loftun af öryggisástæðum. Í Þýskalandi er hámarks lengdin 2 km fyrir tvístefnugöng en 4 km fyrir einstefnugöng (aðskildar akstursstefnur), í Frakklandi 4 km í einstefnugöngum utan þéttbýlis en 800 m í þéttbýli (skv. gögnum frá 2011) [3]. Mjög gróflega má reikna með að útblásturshraði af völdum umferðartrekks í einstefnugöngum sé u.þ.b. fjórðungur af aksturshraða en þetta er þó mjög háð þáttum á borð við umferðarmagn, þversniði ganganna, vindi o.fl. Í tvístefnugöngum er ríkari þörf fyrir vélræna loftræsinguna og má reikna með hærri orkunotkun til að fá viðunandi loftskipti [3].

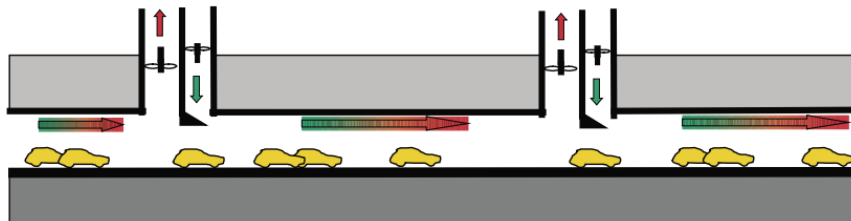
Önnur algeng leið til loftunar vegganga er með því að draga loft út um s.k. loftunarturna (*n. ventilasjonstårn*) sem staðsettir eru nálægt endum ganganna. Þá er hluti loftsins í göngunum dreginn út um þessa turna og blásið upp í örugga hæð. Loftun vegganga um turna er aðallega beitt þar sem aðstæður krefjast þess vegna lengdar, umferðarmagns, og/eða nálægðar við íbúabyggð [4]. Jafnvel eru dæmi um að skilyrði séu sett um að ekkert loft berist út frá gangamunnum og er þá dregið út svo mikið loft um turna nálægt gangamunnum að loftstreymi fer inn um gangamunnana með tilheyrandi orkukostnaði [4], sjá mynd 1. Venjulega eru þessir turnar staðsettir innan við 100 m frá enda ganganna, en ef aðstæður krefjast er tæknilega mögulegt að leiða loft um lengri vegalengdir með tilheyrandi aukningu í orkunotkun blásaranna. Dæmi eru um að loft sé leitt allt að 1 km frá enda ganga eins og í M5 East göngunum í Sydney [4]. Algeng hæð turna er um 20 m og dugar það í flestum tilfellum til að dreifa mengun nægilega til að tryggja viðunandi loftgæði á jörðu niðri. Ef háreistar byggingar eru í næsta nágrenni kallar það þó á hærri turna og sama gildir ef landslag rís hátt nærri turni.





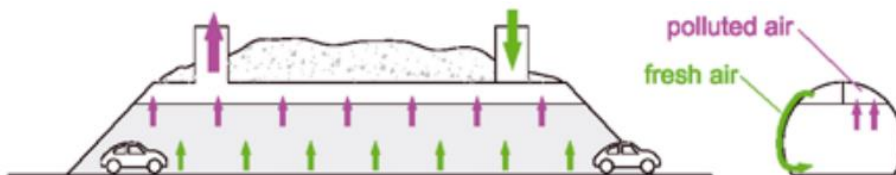
Mynd 1 Einföld teikning af loftun vegganga um turn sem staðsettur er við munna, í þessu tilfelli með loftun þar sem engin losun er leyfð um munnanna, en afar sjaldgæft er að svo strangar kröfur séu gerðar. [1]

Eðli samkvæmt hækkar styrkur mengunarefna eftir því sem lengra er farið inn í göng sem loftuð eru með þessum hætti. Á göngum sem krefjast meiri loftunar vegna lengdar og/eða umferðarmagns er hægt að lofta á fleiri punktum. Er þá iðulega dælt inn fersku lofti samhliða útsogi eins og sýnt er á Mynd 2.



Mynd 2 Dæmi um loftun ganga um fleiri en einn turn [5]. Rauði liturinn táknar hækkandi styrk mengunar.

Einnig eru til loftunarkerfi sem draga út loft eftir allri lengd ganganna um stokka sem eru hengdir neðan í þak ganganna og dæla inn fersku lofti neðarlega, sjá mynd 3. Hægt er að útbúa slík kerfi með lokum sem gera kleift að losa reyk með hnitmiðuðum hætti [6].



Mynd 3 Loftun með stokkum sem gera kleift að hafa loftskipti eftir allri lengd ganganna. [6]

Loks má nefna að hægt er að ná fram ákveðinni loftun með því að opna göng að ofanverðu, og er þá líklega réttara að tala um vegstokka. Með því móti verða einhver loftskipti en reikna má með mikilli mengun við yfirborðið í nágrenni slíkrar opunar. Dæmi má sjá á Mynd 4 sem sýnir opinn kafla á Operatunnelen í Ósló. Við hvorn enda hans eru turnar sem draga loft frá göngum úr hvorri akstursstefnu fyrir sig.



Mynd 4 Loftunarturnar og opin kafli (*dagsonen*) á Operatunnelen í Ósló.

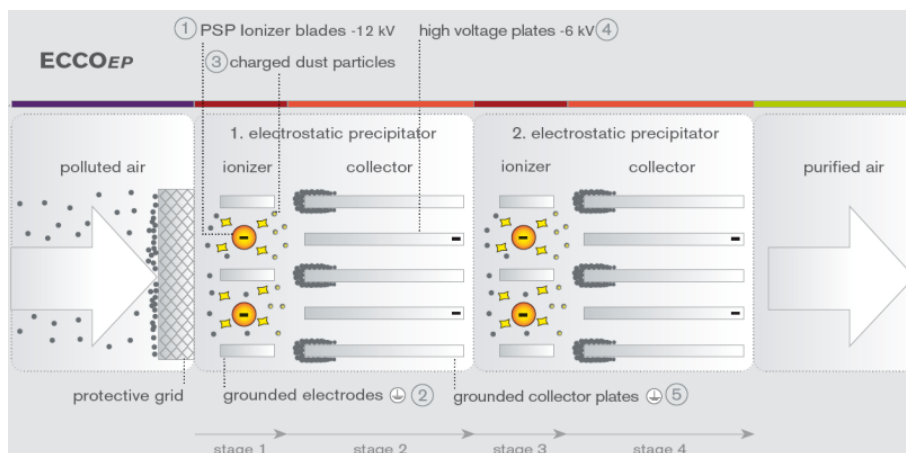
Þessum mismunandi leiðum til loftunar er svo hægt að blanda saman með margvíslegum hætti ef aðstæður krefja.

## Mótvægisáðgerðir

### Lofthreinsunarbúnaður

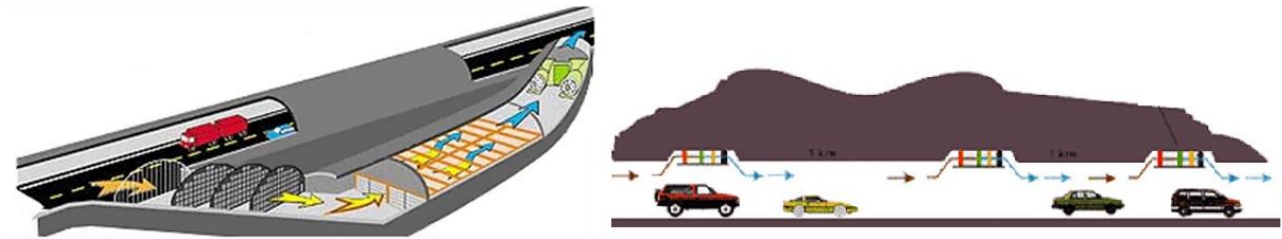
Til eru dæmi um að komið hafi verið sérstökum búnaði til að hreinsa mengunarefni úr lofti jarðganga. Aðallega er hér um að ræða rykhreinsun með rafspennu – *electrostatic precipitator*, en einnig eru örfá dæmi um hreinsun á  $\text{NO}_2$ . Þar sem svifryk er sá mengunarbáttur sem mestu skiptir í samhengi Sundaganga verður fjallað um möguleika á rykhreinsun hér en að öðru leyti vísað til heimilda [3], [7] og [8].

Heilt yfir eru mjög fá göng útbúin með rykhreinsunarbúnaði. Skv. heimild frá 2016 voru um 60 slík göng skráð, meirihlutinn í Japan og 8 í Noregi. Í öllum tilfellum var beitt hreinsun með rafspennu, sjá Mynd 5.



Mynd 5 Einfölduð mynd af virkni rafhreinsunarbúnaðar frá framleiðandanum Aigner. Fyrst er forsíun, svo rafsíun í tveimur þrepum.

Mismunandi er hvernig búnaðinum er komið fyrir í göngunum. Oft er honum komið fyrir í hliðargöngum en einnig eru dæmi um að honum sé komið fyrir efst í göngunum, sjá mynd 6. Að auki er hægt að beita honum til að hreinsa loft sem dregið er út um loftunarturn.



Mynd 6 Vinstri: Rykhreinsun í hliðstæðum göngum. Hægri: Rykhreinsun komið fyrir efst í göngum.

Búnaður sem þessi getur hreinsað allt að 99% af PM10 og allt að 91% af við bestu aðstæður samkvæmt framleiðendum. Raungögn úr rekstri slíkra kerfa hafa hins vegar valdið vonbrigðum víða [7].

Nokkuð yfirgripsmiklar samantektir á kostum og göllum lofthreinsikerfa í veggöngum hafa verið framkvæmdar af stjórnvöldum í Frakklandi [7] og Ástralíu [8]. Einnig er nokkuð til af heimildum frá Noregi, t.d. umfjöllun í [3]. Almenn má draga niðurstöður þessara samantekta saman þannig:

- Búnaðurinn er flókin og dýr í bæði uppsetningu og rekstri.
- Orkunotkunin er umtalsverð.
- Virkni búnaðarins, samkvæmt dæmum sem vitnað er til, stenst ekki væntingar.

Af þeim tugþúsundum vegganga sem til eru hefur búnaði af þessu tagi einungis verið komið fyrir í innan við 100 göngum. Í öllum 8 jarðgöngum Noregs sem búin eru slíkum búnaði hefur hann verið tekinn úr notkun vegna kostnaðar, rekstrarörðugleika og dræmra afkasta. Nýleg dæmi um uppsetningu slíks búnaðar eru bundin við tilfelli þar sem erfitt er að koma við loftun um turna vegna byggðar eða landslags, eða ef umferðarmagn og vegalengd er svo mikil að það kallar á þennan búnað.

### Sópun, skolun og rykbinding

Reglubundin hreinsun vegyfirborðs og veggja jarðganga getur dregið úr svifryksmengun. Alvarlegustu svifryksdagarnir á höfuðborgarsvæðinu eiga sér stað þegar veður er þurr og stillt, þ.e. kjöraðstæður eru til uppþyrlunar vegryks sem safnast hefur upp á vegyfirborðinu yfir nokkurra daga og vikna skeið. Í göngum er að mestu þurr en þó verða þau fyrir áhrifum af raka í lofti og vætu sem berst með umferð. Uppþyrlun ryks í göngum er því að einhverju leyti háð veðri hverju sinni þó það sé í minna mæli en á almennum vegum.

Vegvesen í Noregi hafa tekið saman yfirgripsmiklar leiðbeiningar um hreinsun og rykbindingu vega og jarðganga [9]. Ítarlega er fjallað um kröfur til sópunar og skolunar, mismunandi umfang (*helvask*, *halvvask*, *teknisk vask*), tíðni og tímasetningar og fleira. Mikilvægt er að fullnægjandi þrifum á göngum sé sinnt til að lágmarka myndun og uppþyrlun svifryks eins og hægt er. Í leiðbeiningunum er einnig fjallað um rykbindingu, en ekki er mælt með rykbindingu í jarðgöngum vegna hættu á tæringu á ýmsum búnaði.

### Takmarkanir á umferð, hraða og nagladekkjanotkun

Ýmsar leiðir eru færar til að draga úr loftmengun frá bílaumferð almennt séð, og jafnframt frá veggöngum. Gera má ráð fyrir að losun mengunar sé línulega háð umferðarmagni. Ein möguleg mótvægisáðgerð til að draga úr svifryksmengun á verstu dögum væri að takmarka umferð sem hleypt er í göngin. Þó verður að hafa í huga að ef

umferðin flyst á aðra vegi þá má reikna með að mengunin flytjist sömuleiðis. Slíkar aðgerðir þyrfti því alltaf að skoða heildrænt.

Rannsóknir hafa sýnt að svifryksmyndun er því sem næst línulega háð aksturshraða [10]. Takmörkun umferðarhraða um Sundagöng á slæmum svifryksdögum er því mótvægisáðgerð sem gæti komið til skoðunar en þyrfti væntanlega að skoðast í samhengi við aðra þætti framkvæmdarinnar.

Loks má nefna að svifryksmyndun nagladekkja er um 20-40 sinnum meiri en ónegldra dekkja [10]. Víða í Noregi er sérstök gjaldheimta af notkun nagladekkja til að hvetja til notkunar ónegldra vetrardekkja. Þá er bílum á nagladekkjum ekki heimilt að keyra á vissum svæðum í Stokkhólmi. Slíkar aðgerðir þyrfti að skoða í heildarsamhengi framkvæmdarinnar og með hliðsjón af tilgangi og markmiðum hennar. Þá kynnu þær að kalla á breytingar á lögum og/eða reglugerðum.

### Skermun

Í vissum tilfellum er hægt að draga úr dreifingu loftmengunar til viðkvæmra svæða með skermun, t.a.m. með háum hljóðveggjum og hljóðmönnum, eða þéttum og háreistum gróðri. Þetta getur dregið úr styrk mengunarefna aftan við fyrirstöðuna, en eykur styrkinn þeim megin sem umferðin er. Mikilvægt er að slíkar aðgerðir séu skoðaðar gaumgæfilega áður en farið er í framkvæmdir. Almennt séð geta hindranir og gróður hægt á vindi á nokkuð stóru svæði. Þetta dregur úr þynningu mengunarefna og gæti því aukið styrk mengunarefna á svæðinu, öfugt við tilætluð áhrif.

Þá er vert að nefna að gróður hefur einnig lofthreinsandi áhrif og getur fellt út svifryk úr loftinu. Mikil óvissa er háð því að áætla hversu stór þessi áhrif gætu verið og eru þau mjög háð tegund gróðurs, þéttleika og umfangi. Almennt má áætla að óraunhæft sé að ná meira en 2-10% útfellingu (*deposition*) með gróðurbeltum í þéttbýli [11].

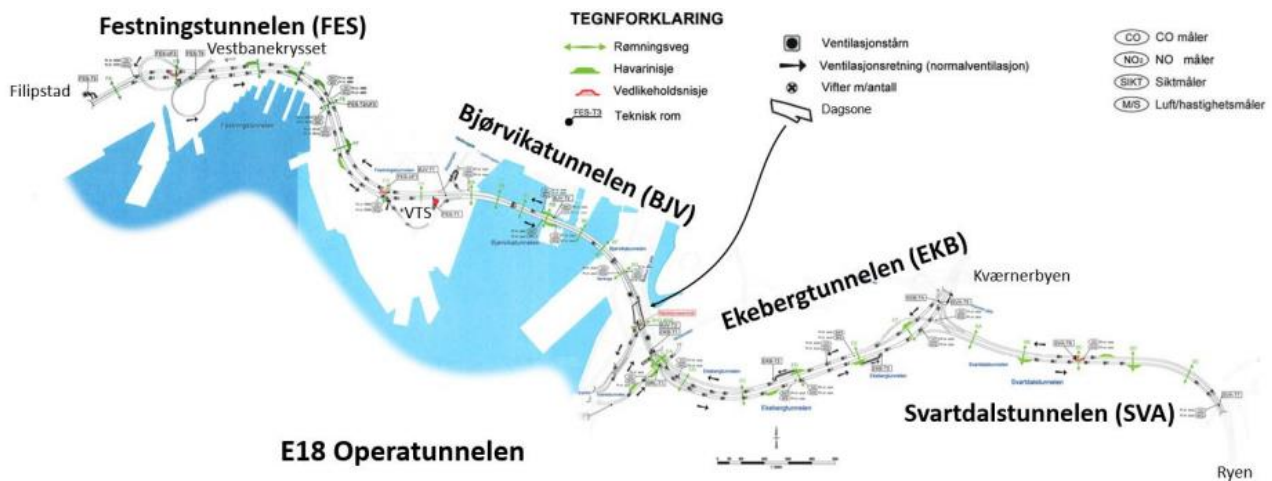
### Bestun slitlags

Rannsóknir hafa sýnt að svifryksmyndun af völdum vegslits er háð eiginleikum slitlagsins. Rannsóknarstofnunin VTI (*Statens väg- och transportforskningsinstitut*) í Svíþjóð er framarlega í slíkum rannsóknum og byggja mætti á reynslu þeirra við val á slitlagi fyrir Sundagöng til að lágmarka svifryksmyndun [12]. Heildaráhrif af slíkri bestun yrðu þó alltaf tiltölulega lítil og ekki ætti að líta á það sem lausn á svifryksvandamálinu.

### **Reynsludæmi**

#### Operatunnelen

Operatunnelen er í heildina um 5,7 km löng göng með aðskilda akstursstefnu undir miðborg Óslóar og samanstanda af nokkrum styttri veggöngum. Um það bil um miðja vegin er 106 m langur og 28 m breiður opinn kafli („*dagsonen*“) en helsta hlutverk hans er að auðvelda reyklosun. ÁDU er um 65 þús.



Mynd 7 Yfirlitsmynd af Operatunnelen (tekið úr [13]).

Við báða enda opna kaflans eru um 40 m háir tvöfaldir turnar, sjá Mynd 4. Turnarnir við norðurendann tengjast austlægu göngunum þ.e. draga út loft frá umferð sem kemur úr vestri úr Bjørvikatunnelen, og við suðurendann draga turnarnir loft frá umferð sem kemur úr austri, úr Ekebergatunnelen. Við gerð deiliskipulags fyrir svæðið þar sem opni kaflinn er var gengið út frá því og sett krafa um það að virkni turnanna yrði slík að teljandi mengun myndi ekki sleppa út frá opna kaflanum. Mælingar og rannsóknir eftir að framkvæmdum lauk sýndu hins vegar að þessar væntingar stóðust ekki og loftmengun mældist of há í nágrenni opna kaflans [13] [14].

Loftmengun á svæðinu hefur verið talsvert mikið rannsökuð og m.a. unnu NILU og Ingenia verkefni árið 2021 þar sem framkvæmdar voru umfangsmiklar mælingar á loftstraumum og dreifingu loftmengunar í nágrenni opna kaflans og hvernig mætti sem best stýra loftunarbúnaðinum í turnunum til að lágmarka dreifingu mengunar um nálæg svæði. Lagt er til að loftun sé aukin á álagstímum, þ.e. á háannatímum umferðar yfir vetur og vor þegar svifryksmengun er mest. Í skýrslunni er bent á að þessu fylgi töluverð orkunotkun og því sé mikilvægt að besta stýringu kerfisins til að lágmarka óþarfa orkukostnað.

### Teietunnelen

Fyrirhugað er að koma á nýrri vegtengingu frá bæjarfélaginu Færder í Óslóarfirði til meginlandsins, en eina vegtenging eyjanna í Færder er nú um brú til Tønsberg. Vegurinn kemur til með að liggja um 1,9 km löng tvístefnugöng með ÁDU um 14 þús. og verða munar við báða enda staðsettir nærri íbúabyggð [15]. Í sérfræðiskýrslu um loftgæði vegna umhverfismats framkvæmdarinnar er reiknað með 26% nagladekkjanotkun yfir vetrartímann. Útreikningar með dreifilíkani sýna að ef mengun sleppur út um gangamunnana muni svifryksmengun fara yfir viðmiðunarmörk hjá þeim íbúum sem búa næst munnunum, eða innan ca 70 m. Í skýrslunni eru því reiknaðar þrjár mismunandi útfærslur fyrir loftun ganganna, 1) loftun um turn við norðvestlæga munnann, 2) loftun um turn við suðaustlæga munnann, og 3) loftun um turn um miðja vega. Gert er ráð fyrir 20 m háum og 2,5 m sverum turnum sem draga 40-50% mengunarinnar út. Niðurstaða skýrslunnar er að mæla með turni um miðja vega.

### Marselistunnel

Marselis göngin eru hluti af vegframkvæmdum sem eiga að tryggja skilvirka og örugga framtíðar tengingu við höfnina í Árósum í Danmörku. Í framkvæmdinni eru fyrirhuguð 1,82 km löng göng sem liggja undir Marselis Boulevard og eru með annan munnann staðsettan nærri íbúabyggð. Í göngunum eru aðskildar akstursstefnur. Í



umhverfismati framkvæmdarinnar [16] er lagt mat á áhrif á loftgæði. Göngin eru loftuð eftir lengdinni með blásurum til að tryggja að loftgæði í göngunum séu undir reglugerðarmörkum. Umferðarmagn er reiknað fyrir árin 2013 og 2023 og er áætlað ÁDU um göngin fyrir 2023 tilfellið um 13.000. Styrkur mengunar vegna umferðar er reiknaður með dreifilíkani (OSPM) fyrir gangamunnana þar sem áætlað er að öll mengun úr göngunum berist út um munnana. Við vestur enda ganganna sem er staðsettur nálægt íbúabyggð eru íbúðir innan svæðis þar sem farið er yfir viðmiðunarmörk fyrir NO<sub>2</sub>. Útreikningar á dreifingu á svifryki sýna betri niðurstöður en fyrir NO<sub>2</sub>. Gerðar eru tillögur að betrubótum með loftun af hluta mengunarinnar um 3 m háa turna sem eru staðsettir í 100 metra fjarlægð frá gangamunnunum. Útreikningar eru gerðir á dreifingu á loftmengun við gangamunnana þar sem 50% og 75% af menguninni er dregin út í gegnum turnana. Í skýrslunni er nefnt að þar sem útreikningar á mengunardreifingu byggja á varfærum forsendum sé ekki víst að það verði nauðsynlegt að lofta um turnana. Lagt er til að styrkur mengunar verði vaktaður í grennd við gangamunnana og ef í ljós kemur að ekki sé hægt að uppfylla viðmiðunarmörk þá eigi að vera hægt að framkvæma loftun um turna.

### **Tillaga að útfærslu fyrir Sundagöng**

EFLA leggur til að í tengslum við MÁU verði skoðuð útfærsla með loftunarturni við hvern enda Sundaganga, þrír talsins. Lagt er upp með að turnarnir verði 10-20 m háir. Stýring þeirra verði hönnuð á síðari stigum en til einföldunar sé gert ráð fyrir að þeir dragi fast hlutfall mengunar út allan ársins hring, t.d. 50-80%. Gert verði ráð fyrir að þeir séu staðsettir við gangamunnana.

EFLA mun reikna út hver áhrif þessa verða á losun og dreifingu mengunar frá Sundagöngum og kortleggja styrk mengunarefna í nágrenni munnanna með hliðsjón af reglugerðarmörkum fyrir PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> og NO<sub>2</sub>.

## Heimildir

- [1] Advisory Committee on Tunnel Air Quality (ACTAQ), "TP04: Road Tunnel Ventilation Systems," 2019.
- [2] Vegvesen, "N500 Vegtunneler," 2024.
- [3] Vegvesen, "Moderne vegtunneler – Vegtunneler og lokal luftkvalitet," 2011.
- [4] Advisory Committee on Tunnel Air Quality (ACTAQ), "TP05: Road Tunnel Stack Emissions," 2018.
- [5] PIARC, "Road Tunnels: A Guide to Optimising the Air Quality Impact Upon the Environment," 2008.
- [6] PIARC, "Road Tunnels: Operational Strategies for Emergency Ventilation," 2011.
- [7] Centre d'Etudes des Tunnels (CETU), "The Treatment of Air in Road Tunnels – State-of-the-art studies and works," 2016.
- [8] Advisory Committee on Tunnel Air Quality (ACTAQ), "TP06: Options for Treating Road Tunnel Emissions," 2018.
- [9] Vegvesen, "Renhold og støvdemping av veg, gate og tunnel – Erfaring og beste praksis," 2023.
- [10] Þ. Þorsteinsson, "Áhrif hraða á mengun vegna umferðar," 2021.
- [11] DEFRA Air Quality Expert Group, "Impacts of Vegetation on Urban Air Pollution," 2018.
- [12] C. J. [.] Mats Gustafsson [VTI], "Road Pavements and PM10," 2012.
- [13] NILU og Ingenia, "Kartlegging av ventilasjonstårnenes evne til å redusere forurensning fra dagsonen - Måling av luftforurensning i E18 Operatunnelen og forslag til nytt styringsregime for ventilasjonstårnene," 2021.
- [14] M. T. Pettrém, "Slår alarm om luften i Bjørvika: Langt mer forurensning i området enn tidligere forutsatt," Aftenposten, 21.12.2019. [Online]. Available: <https://www.aftenposten.no/oslo/i/kJLE8a/slaar-alarm-om-luften-i-bjoervika-langt-mer-forurensning-i-omraadet-enn-tidligere-forutsatt>. [Accessed 27.10.2024].
- [15] COWI AS, "Fagrapport Luft - Detaljreguleringsplan for ny fastlandsforbindelse fra Færder kommune," 2023.

- [16] Rambøll Danmark A/S, "HOVEDRAPPORT VVM-redegørelse, Forbedret vejforbindelse ad Marselis Boulevard og Åhavevej, Ref 0472837," Århus Kommune, 2007.
- [17] PIARC, "Road Tunnel Operations: First Steps Towards a Sustainable Approach," 2017.
- [18] Centre d'Etudes des Tunnels (CETU), "Environmental Studies in Road Projects: Air and health sections - The specific case of tunnels," 2011.