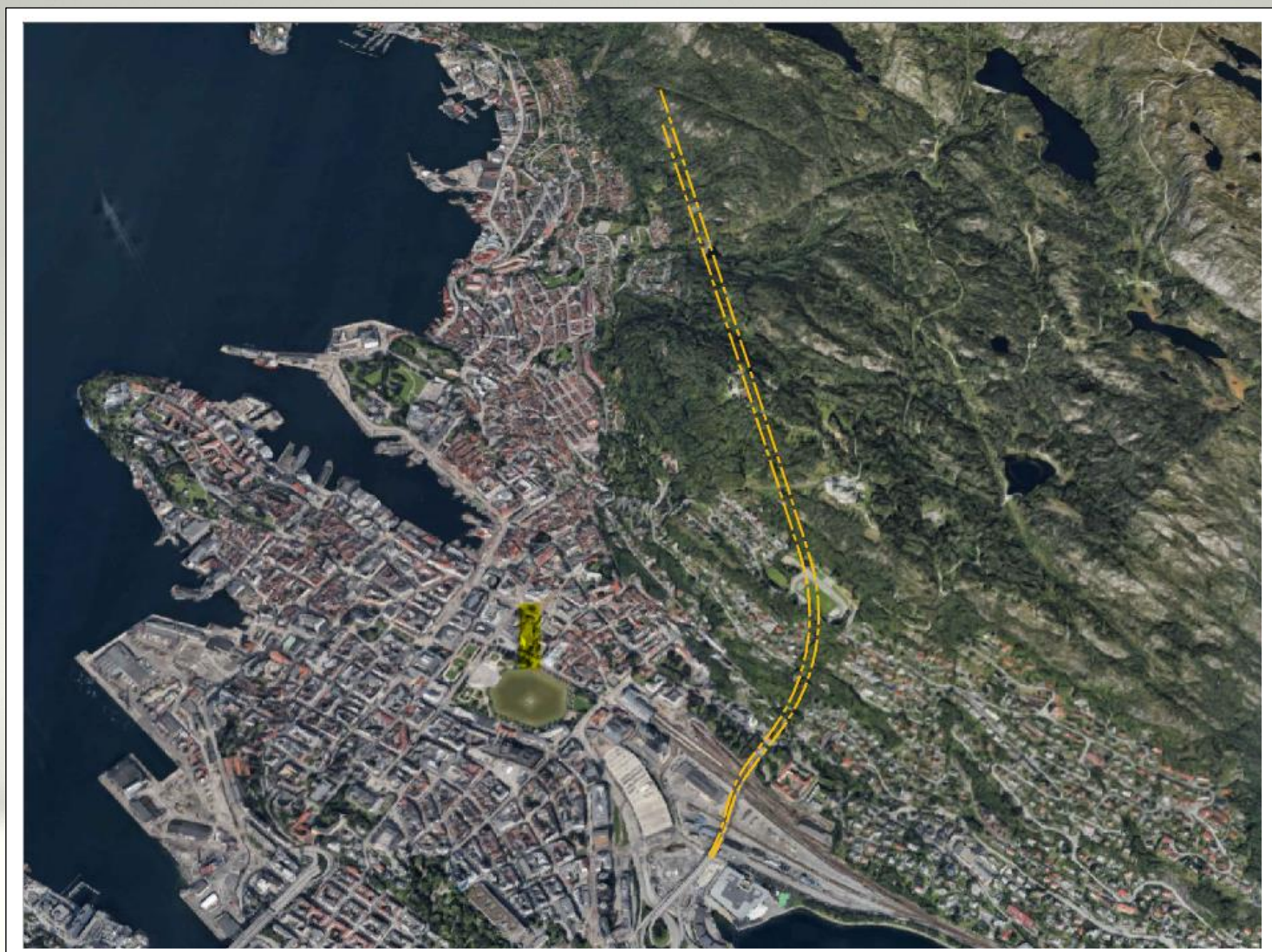


# E39 Fløyfjelltunnelen sør, Luftforurensning

Plan-ID 70820000



## Dokumentinformasjon

Oppdragsgiver: Statens vegvesen  
 Tittel på rapport: E39 Fløyfjelltunnelen sør, Luftforurensning  
 Oppdragsnavn: E39 Fløyfjelltunnelen sør-Reguleringsplan  
 Oppdragsnummer: 631033-09  
 Utarbeidet av: Erik Eika, Katrine Bakke  
 Oppdragsleder: Bente Elin Fauske  
 Tilgjengelighet: Åpen

|     |               |               |           |    |
|-----|---------------|---------------|-----------|----|
|     |               |               |           |    |
|     |               |               |           |    |
|     |               |               |           |    |
|     |               |               |           |    |
|     |               |               |           |    |
| 01  | 25. nov. 2022 | Nytt dokument | errpe     | KB |
| Ver | Dato          | Beskrivelse   | Utarb. av | KS |

## Innholdsfortegnelse

|                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------|----|
| 1. Bakgrunn                                                    | 3  |
| 1.1. Utredede alternativer                                     | 4  |
| 2. Luftforurensing og grenseverdier                            | 5  |
| 3. Metode og kunnskapsgrunnlag                                 | 7  |
| 3.1. Metode for beregning av utslipp fra tunnelmunnings        | 7  |
| 3.2. Metode for spredningsmodellering                          | 7  |
| 4. Resultater og konsekvensutredning                           | 9  |
| 4.1. Dagens situasjon                                          | 9  |
| 4.2. Forlenget Fløyfjelltunnel uten bruk av ventilasjonstårn   | 11 |
| 4.3. Forlenget Fløyfjelltunnel med bruk av ventilasjonstårn    | 13 |
| 4.3.1. Drift i rushtiden                                       | 14 |
| 4.3.2. Drift 12 timer per døgn                                 | 16 |
| 4.3.3. Drift 16 timer per døgn                                 | 18 |
| 4.4. Forlenget Fløyfjelltunnel med bruk av to ventilasjonstårn | 20 |
| 4.4.1. Drift i rushtiden                                       | 21 |
| 4.4.2. Drift i 12 timer per døgn                               | 25 |
| 4.4.3. Drift i 16 timer per døgn                               | 28 |
| 4.5. Styring av ventilasjonstårn                               | 31 |
| 4.5.1. Styring ved ventilasjonstårn på Fløyen                  | 31 |
| 4.5.2. Styring ved ventilasjonstårn på Fløyen og Sandviken     | 32 |
| 4.6. Effekt av økt høyde ventilasjonstårn på Fløyen            | 32 |
| 5. Oppsummering                                                | 37 |

# 1. Bakgrunn

Statens vegvesen planlegger utvidelse og oppgradering av Fløyfjelltunnelen. Dette prosjektet er tenkt gjennomført parallelt med bybaneprosjektet fra Bergen sentrum til Åsane som inkluderer en forlengelse av Fløyfjelltunnelen til Eidsvåg. Figur 1-1 viser prinsippskisse av tunnelsystemet. Dagens eksisterende tunnelsystem er vist med heltrukne linjer, mens stiplede linjer viser fremtidig forlengelse til Eidsvåg som skal gjøres i bybaneprosjektet.



Figur 1-1: Prinsippskisse av tunnelsystemet.

De blå pilene i figur 1-1 viser tunnelportalene som har utslipp av luft fra tunnelen. Denne rapporten omhandler kun utslippet fra tunnelportalen til sørgående løp ved Nygårdstangen. Utslipet fra de andre portalene er behandlet i bybaneprosjektet på forlenget Fløyfjelltunnel til Eidsvåg.

Som en del av Statens vegvesen sitt prosjekt for utvidelse og oppgradering av Fløyfjelltunnelen er det gjort vurdering av utslipp fra tunnelportal og luftsonekart for portalområdet (utslippet vist med blå pil i figur 1-1 mot Bergen sentrum). Denne vurderingen er utført for fremtidig situasjon hvor Fløyfjelltunnelen er forlenget frem til

Eidsvåg. Dette fører til at utslippet fra tunnelen vil bli høyere enn det er i dag. Dette skyldes at tunnelen da blir lengre og forurensingen akkumuleres over en lengre strekning i tunnelen.

## 1.1. Utrekede alternativer

Det er lagt til grunn at eksisterende ventilasjonstårn for sørgående tunnellop skal benyttes videre. For å belyse konsekvensen for luftkvaliteten i området rundt tunnelportalen ved Nygårdtangen er følgende alternativer utredet:

- Utslipp fra tunnelen uten bruk av ventilasjonstårn
- Kombinasjon av ventilasjonstårn og utslipp fra tunnelportalen.
- Effekt av økt høyde av ventilasjonstårnet på Fløyen.
- Bruk av eksisterende ventilasjonstårn i Sandviken, men tilknyttet sørgående løp for å begrense utslippet på Fløyen.

## 2. Luftforurensing og grenseverdier

Luftforurensning, særlig nitrogendioksid ( $\text{NO}_2$ ) og svevestøv er et helse- og miljøproblem i mange norske storbyer og tettsteder. Områder ved tunnelportaler er spesielt utsatt for dårlig luftkvalitet.

Som følge av stadig økende andel elbiler, samt forbedret motorteknologi for dieselmotorer, har det de senere årene vært en markant reduksjon i utslipp av  $\text{NO}_2$ . Denne utviklingen forventes å fortsette. Utslipet av  $\text{PM}_{10}$  er i liten grad påvirket av forbedret motorteknologi, da  $\text{PM}_{10}$ -utslippet i hovedsak domineres av veg- og bremseslitasje. Dersom utslippet av  $\text{NO}_2$  og  $\text{PM}_{10}$  sammenlignes opp mot forurensningsforskriftens grenseverdier, er det slik at det fra tunnelportaler er  $\text{PM}_{10}$  som først vil overskride grenseverdiene.  $\text{PM}_{10}$  konsentrasjon er også sammenlignet med  $\text{PM}_{2,5}$ , se punkt 3.2. Dette viser at det er  $\text{PM}_{10}$  som vil være dimensjonerende for utbredelse av soner med overskridelse utenfor en tunnelportal. Vurdering av størrelse på området utenfor tunnelportal, hvor kravet til luftkvalitet ikke tilfredsstilles, er derfor gjort for utslipp av  $\text{PM}_{10}$ .

EU har vedtatt et direktiv om luftkvalitet [5] som er gjort til en del av norsk lovgivning i form av kapittel syv i forurensningsforskriften [6]. Gjennom denne forskriften fastsettes juridisk bindende krav til luftkvalitet, se tabell 2-1. I figurene i dette notatet er soner som ikke tilfredsstiller kravet i forurensningsforskriften vist med lilla.

*Tabell 2-1: Gjeldende grenseverdier i forurensningsforskriften. Alle verdier gitt som mikrogram per kubikkmeter ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) luft.*

|                                                   | <b><math>\text{NO}_2</math> (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b> |                      | <b><math>\text{PM}_{10}</math> (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b> |                      | <b><math>\text{PM}_{2,5}</math> (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b> |
|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|----------------------|--------------------------------------------------------------------------|----------------------|---------------------------------------------------------------------------|
|                                                   | Midlingstid:<br>1 time                                                | Midlingstid:<br>1 år | Midlingstid:<br>1 døgn                                                   | Midlingstid:<br>1 år | Midlingstid:<br>1 år                                                      |
| Gjeldende grenseverdi<br>forurensningsforskriften | 200                                                                   | 40                   | 50                                                                       | 20                   | 10                                                                        |
| Antall tillatte<br>overskridelser årlig           | 18                                                                    |                      | 25                                                                       |                      |                                                                           |

Myndighetene har i tillegg utarbeidet en retningslinje for behandling av luftkvalitet i arealplanlegging, T-1520, som tredde i kraft i 2012 [4]. Retningslinjen skal sikre at

kommunene tar hensyn til lokal luftkvalitet i planarbeidet ved å unngå å legge barnehager, skoler, boliger og parker i områder med mye luftforurensning.

Retningslinjen anbefaler grenser for luftforurensning og deler inn i rød og gul sone (se tabell 2-2). I rød sone er hovedregelen at ny bebyggelse følsom for luftforurensning ikke skal etableres, mens gul sone er en vurderingssone der ny bebyggelse bør tilfredsstille visse minimumskrav. Det er luftforurensning i form av svevestøv ( $PM_{10}$ ) og nitrogendioksid ( $NO_2$ ) som skal vurderes i plansammenheng.

I Statens vegvesen sin håndbok N500 står det at det i forbindelse med reguleringsarbeid skal utføres konsekvensvurderinger av utslipp av  $NO_2$ ,  $PM_{10}$  og  $PM_{2.5}$  fra tunnelmunningene. Dersom utslipp fra tunnelmunningene påvirker luftkvaliteten i arealer hvor mennesker kan bli eksponert (bolig, skole, barnehage, lekeplass, sykehus etc.) skal tiltak vurderes. Luftkvaliteten skal vurderes i forhold til de anbefalte verdiene i tabell 2-2.

Tabell 2-2: Anbefalte grenser for luftforurensning og kriterier for soneinndeling ved planlegging av virksomhet eller bebyggelse, T-1520. Alle tall er gitt i mikrogram per kubikkmeter ( $\mu g/m^3$ ) luft.

| Komponent                                 | Luftforurensningssone <sup>1</sup>                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                |
|-------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                           | Gul sone                                                                                                                                                | Rød sone                                                                                                                                                                       |
| <b>Svevestøv, <math>PM_{10}</math></b>    | 35 $\mu g/m^3$ 7 døgn per år                                                                                                                            | 50 $\mu g/m^3$ 7 døgn per år                                                                                                                                                   |
| <b>Nitrogendioksid, <math>NO_2</math></b> | 40 $\mu g/m^3$ vintermiddel <sup>2</sup>                                                                                                                | 40 $\mu g/m^3$ årsmiddel                                                                                                                                                       |
| <b>Helserisiko</b>                        | Personer med alvorlig luftveis- og hjertekarsykdom har økt risiko for forverring av sykdommen. Friske personer vil sannsynligvis ikke ha helseeffekter. | Personer med luftveis- og hjertekarsykdom har økt risiko for helseeffekter. Blant disse er barn med luftveislidelser og eldre med luftveis- og hjertekarlidelser mest sårbare. |

<sup>1</sup> Bakgrunnskonsentrasjonen er inkludert i sonegrensene.

<sup>2</sup> Vintermiddel defineres som perioden fra 1. nov til 30. april.

## 3. Metode og kunnskapsgrunnlag

### 3.1. Metode for beregning av utslipp fra tunnelmunninger

Utslipp fra tunnelportalene og forventet lufthastighet ut fra portalene er beregnet i IDA-tunnel, versjon 4.7.1, fra EQUA Simulations [1]. Det tas hensyn til friksjonskrefter mot tunnelvegg og kjøretøy, drag fra kjøretøy, impulskrefter fra vifter, innløp, utløpstap, trykktap som følger av tverrsnittsendringer. Utslippstall fra lette og tunge kjøretøy er hentet fra HBEFA. For støv inkluderer dette faktorer som kommer fra andre kilder enn forbrenning i motor, slik som bremseslitasje, vegslitasje (inkludert piggdekk) og oppvirvling fra vegbanene. Denne faktorer gir et vesentlig bidrag til PM<sub>10</sub> utslippet fra tunnelen. Ved bruk av denne modellen er utslippet fra tunnelen beregnet.

### 3.2. Metode for spredningsmodellering

AERMOD er benyttet for beregning av konsentrasjon av støv utenfor tunnelportal. AERMOD (Lakes Software, n.d.) er en gaussisk spredningsmodell som er utviklet av amerikanske miljømyndigheter (United States Environmental Protection Agency, EPA). Modellen er godkjent av norske myndigheter, og anses å være et «state-of-the-art»-modelleringssystem for spredningsberegninger. Modellen simulerer fysiske atmosfæriske prosesser og beregner konsentrasjoner i omgivelsene over et vidt spekter av meteorologiske forhold og modelleringsscenarier. AERMOD View fra Lakes Environmental er benyttet som programvare.

Basert på de meteorologiske dataene for området, terrengdata (innhentet fra Statens kartverk (Kartverket, u.d.)), samt lokale bakgrunnskonsentrasjoner og utslippskilder, beregner programvaren konsentrasjon av luftforurensning i omgivelsene i mikrogram per kubikkmeter luft ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Modelleringen er gjort med svevestøv (PM<sub>10</sub>) som utslippsparametere. For PM<sub>2,5</sub> er det ikke gjort modellering, men det er gjennomført en kvalitativ vurdering av andel PM<sub>2,5</sub> av den totale konsentrasjonen av PM<sub>10</sub>.

Andelen  $PM_{2.5}$  er estimert basert på følgende parametere:

- Andel  $PM_{2.5}$  i utslippsdata fra HBEFA
- Andel  $PM_{2.5}$  fra veislitasje basert på NOTRIP-modellen
- Andel  $PM_{2.5}$  fra slitasje på bremses og dekk

For en konservativ vurdering er det antatt at andelen  $PM_{2.5}$  i svevestøv fra slitasje på bremses og dekk er 100 %. Basert på disse parameterne er det vurdert at andelen  $PM_{2.5}$  er ca. 30 % av total andel svevestøv ( $PM_{10}$ ). Da grenseverdien for  $PM_{2.5}$  er 50 % av grenseverdien for  $PM_{10}$ , vil dermed kravet til  $PM_{2.5}$  konsentrasjon vær tilfredsstilt så lenge grenseverdien til  $PM_{10}$  overholdes. Beregning av konsentrasjon av støv utenfor tunnelportal er derfor kun gjort for  $PM_{10}$ .

I Bybaneprosjektet med forlengelse av Fløyfjelltunnelen ble det gjort kontroll av  $NO_2$  konsentrasjon opp mot gjeldende grenseverdier sammenlignet med  $PM_{10}$ . Sammenlignet med årsmiddel for  $PM_{10}$  viser dette at det er utslipp av  $PM_{10}$  som vil være styrende for nødvendig bruk av ventilasjonstårn. Det er derfor ikke gjort beregninger av  $NO_2$ .

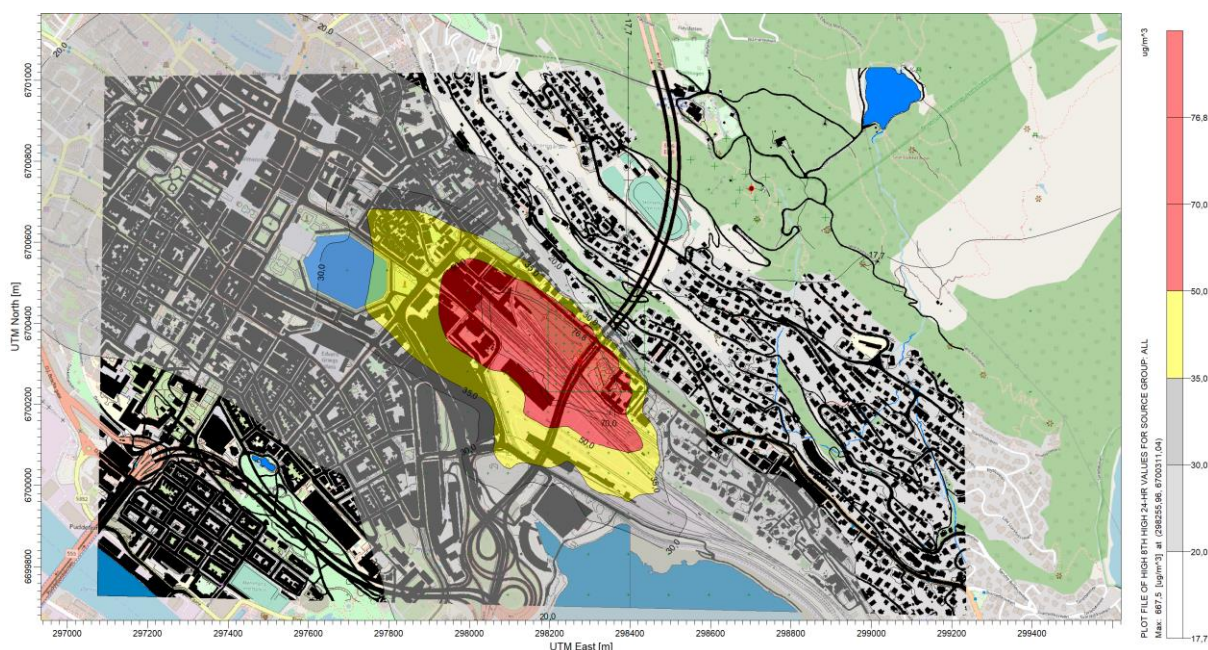
En svakhet med modelleringsprogrammet er at det ikke egner seg til å modellere effekter av f.eks. støyskjerming og bygninger, når utslippskilden er en linjekilde. Dette fungerer kun for punktutslipp for f.eks. industri. Støyskjermer kan ha flere påvirkninger på luftforurensningen. De tvinger luftstrømmene til å gå over og rundt barrieren, slik at luftforurensningsnivået blir lavere nedstrøms av barrieren. De kan også skape en sirkulerende turbulens på baksiden av skjermen og videre nedstrøms. Forurensning som slippes ut nedstrøms for barrieren kan dermed bli fanget i turbulensen. Slike effekter er ikke mulige å modellere i AERMOD.

## 4. Resultater og konsekvensutredning

Det er beregnet luftsonekart for området rundt søndre tunnelportal ved Nygårdstangen, luftsonekartene inkluderer også området rundt ventilasjonstørnet på Fløyfjellet. Når ventilasjonstårnet er i drift, flyttes utslippet av forurensning fra tunnelportalen til ventilasjonstårnet. Det er laget luftsonekart for flere ulike driftssituasjoner for ventilasjonstårnet.

### 4.1. Dagens situasjon

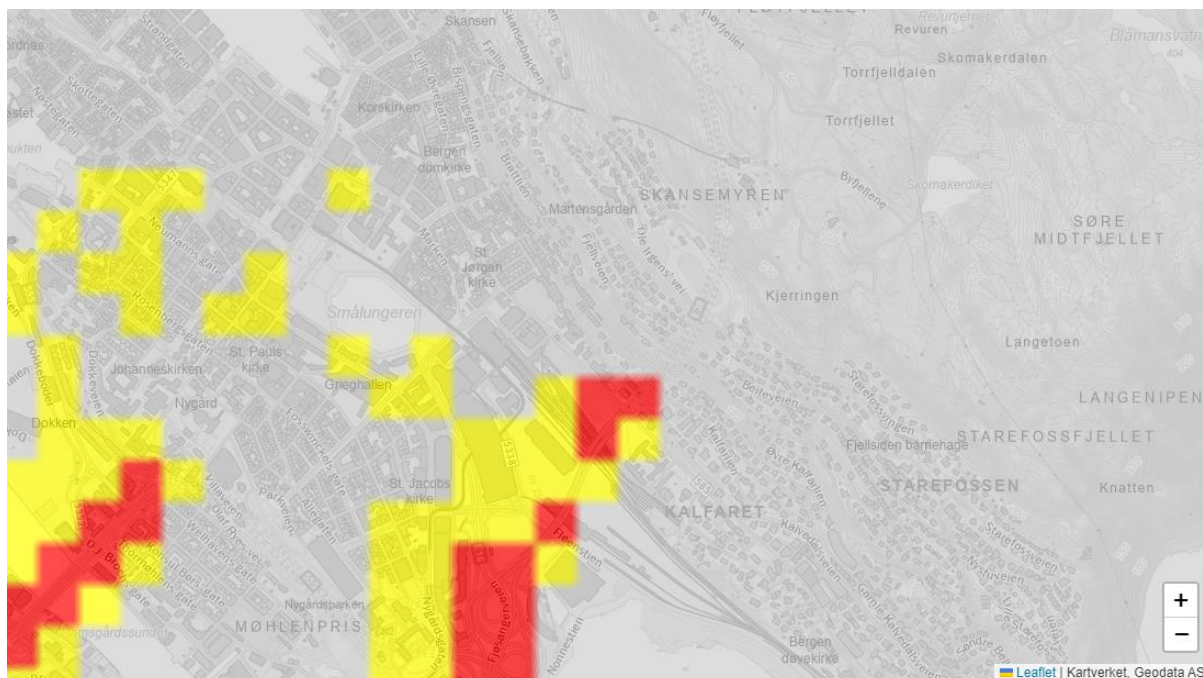
Det er i dag utslipp fra Fløyfjelltunnelen ved Nygårdstangen. Figur 4-1 viser luftsonekart for portalområdet til Fløyfjelltunnelen slik det er i dag før tunnelen blir forlenget. Det er for denne figuren lagt til grunn at ventilasjonstårnet ikke er i bruk og at alt utslippet fra sørgående tunnelløp kommer ut på tunnelportalen.



Figur 4-1: Beregnet luftsonekart for dagens situasjon uten bruk av ventilasjonstårnet.

Figur 4-2 viser utklipp av luftsonekart for Bergen kommune hentet fra fagbrukertjenesten til miljødirektoratet [7]. Denne viser tilsvarende rød sone som vist i figur 4-1. Dette

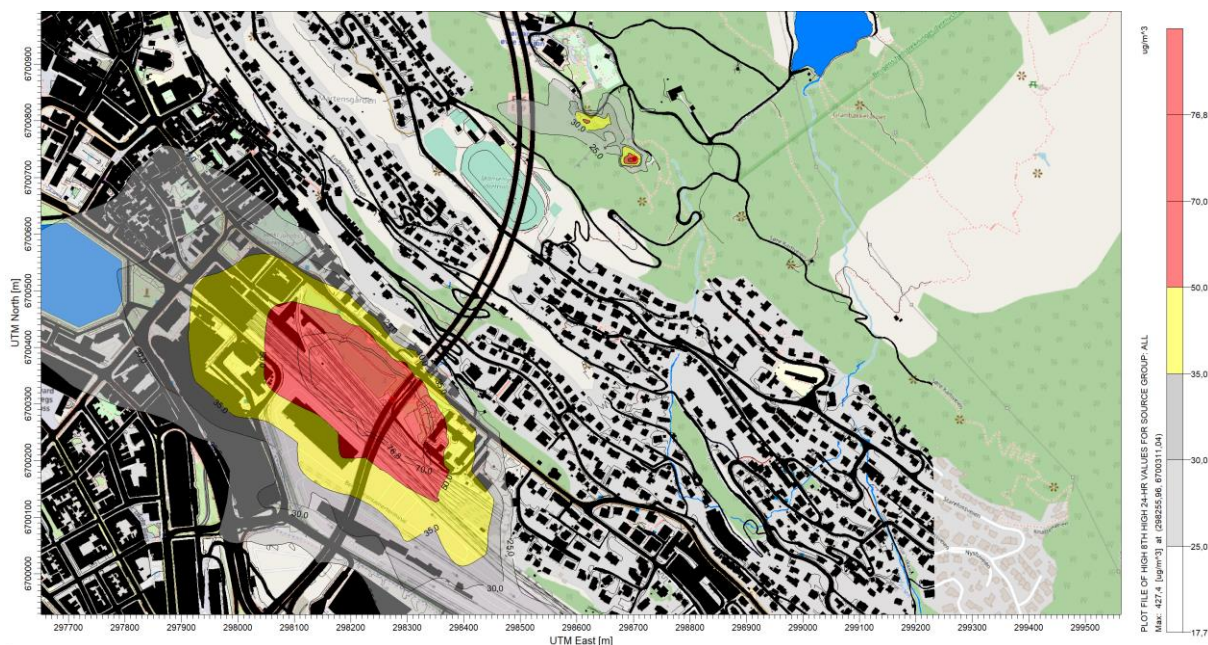
underbygger at det for dagens situasjon er et område utenfor tunnelportalen som er i rød sone i henhold til T-1520.



*Figur 4-2: Utklipp av luftsonekart for Bergen kommune hentet fra fagbrukertjenesten til Miljødirektoratet [7].*

Figur 4-3 viser luftsonekart for området rundt tunnelportalen ved drift av ventilasjonstårnet 5 timer per døgn. Ventilasjonstårnet er i drift 2 timer under morgenrushet og 3 timer under kveldsrushet<sup>3</sup>. Avtrekksmengden i ventilasjonstårnet er da 400 m<sup>3</sup>/s. Avtrekksmengden er da så stor at det ikke er utslipp fra tunnelportalen i den perioden ventilasjonstårnet er i drift. Sammenlignet med figur 4-1, ser man at størrelsen på den røde og gule sonen er redusert.

<sup>3</sup> Faktisk bruk av ventilasjonstårnet og kapasitet på dagens installasjon i ventilasjonstårnet er ikke vurdert i forbindelse med denne rapporten. Benyttet driftstid og avtrekksmengde er valgt for å representere hva som kan være effekten ved bruk av dagens tårn.

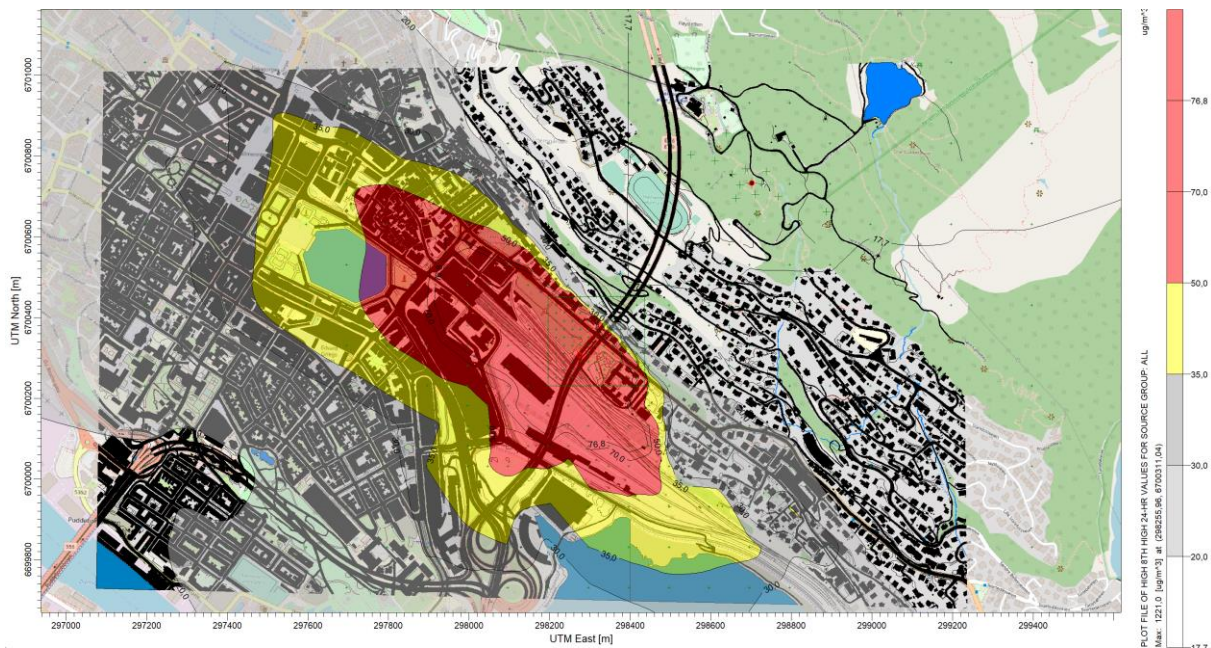


*Figur 4-3: Beregnet luftsonekart for dagens situasjon ved bruk av ventilasjonstårnet i rushtiden (2 timer på morgen og 3 timer på ettermiddagen).*

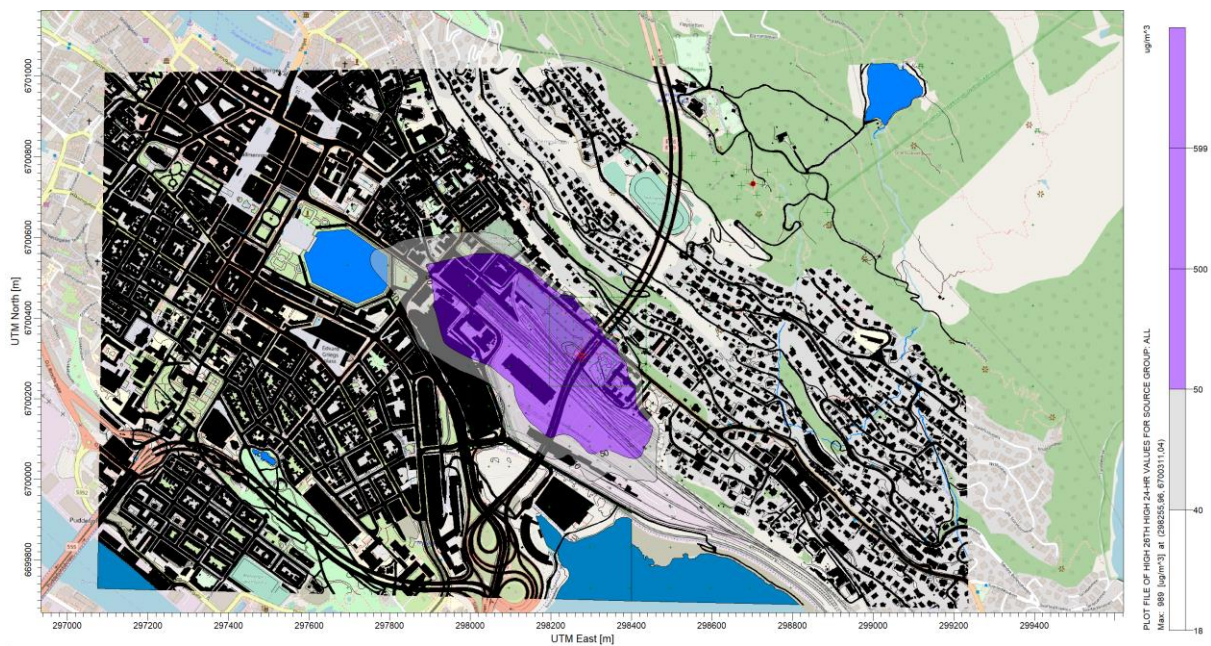
## 4.2. Forlenget Fløyfjelltunnel uten bruk av ventilasjonstårn

Dersom Fløyfjelltunnelen forlenges uten at bruken av ventilasjonstårnet videreføres, vil det gi en vesentlig økning i forurensningen utenfor tunnelportalen ved Nygårdstangen. Beregnet luftsonekart med rød og gul sone er vist i figur 4-4. Sammenlignes figur 4-4 med figur 4-1, ser man at omfanget av rød og gul sone utenfor tunnelportalen vil bli vesentlig større for forlenget Fløyfjelltunnel sammenlignet med situasjonen i dag.

Figur 4-5 og Figur 4-6 viser henholdsvis 26. dårligste døgn og årsmiddelkonsentrasjon av PM10. Lilla område i figurene viser sonen som har overskridelse av kravet til PM10-konsentrasjon i forurensningsforskriften.



Figur 4-4: Luftsonemark for forlenget fløyfjelltunnel uten bruk av ventilasjonstårn.



Figur 4-5: Forlenget Fløyfjelltunnel uten bruk av ventilasjons. 26. dårligste døgnmiddelverdi i henhold til krav i forurensningsforskriften.



*Figur 4-6: Forlenget Fløyfjelltunnel uten bruk av ventilasjons. Årsmiddelkonsentrasjon i henhold til krav i forurensningsforskriften.*

Simuleringene av forlenget Fløyfjelltunnel uten bruk av ventilasjonstårn er å betrakte som referanse og dokumentasjon på hvorfor bruk av ventilasjonstårn er nødvendig. Dette viser at det er behov for at ventilasjonstårnet videreføres for å begrense tunnelens påvirkning på luftkvaliteten i området rundt tunnelportalen.

### 4.3. Forlenget Fløyfjelltunnel med bruk av ventilasjonstårn

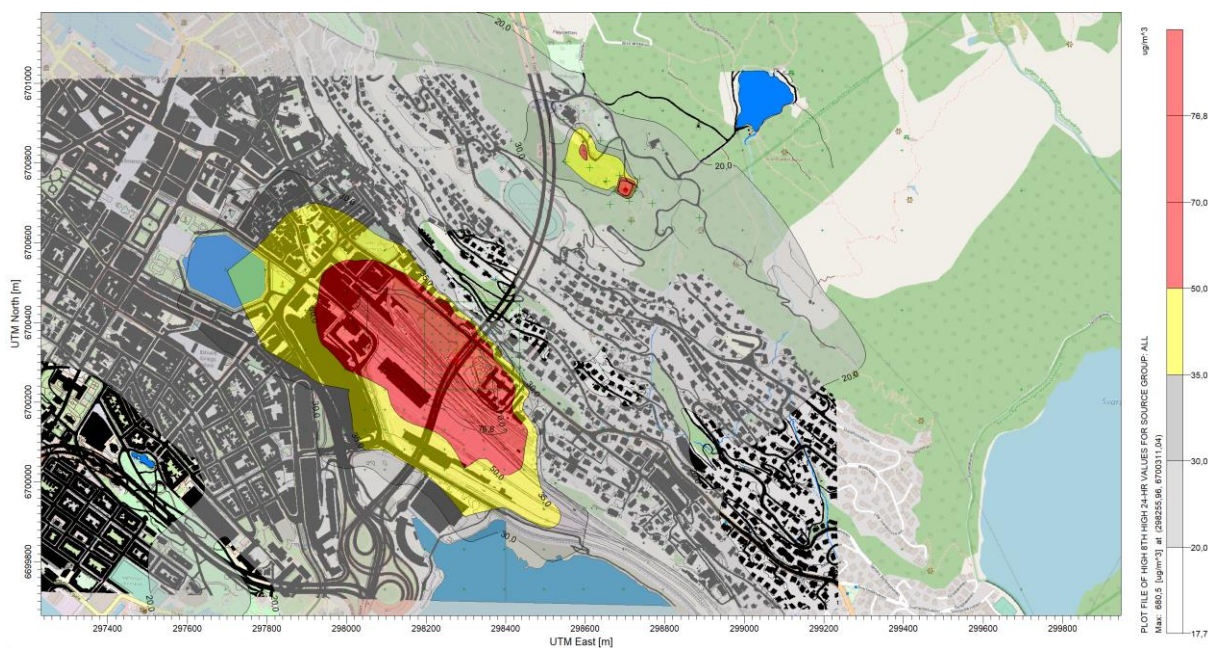
Effekten av ventilasjonstårnet er veldig avhengig av hvor stor andel av døgnet ventilasjonstårnet er i bruk. Det er derfor gjennomført vurdering av luftkvaliteten utenfor tunnelportalen for flere ulike driftsituasjoner for ventilasjonstårnet.

Avtrekksmengden benyttet i alle simuleringene med ventilasjonstårn for forlenget Fløyfjelltunnel er 450 m<sup>3</sup>/s. Dimensjonene på eksisterende ventilasjonssjakt og ventilasjonstårn er slik at dette vurderes å være en luftmengde kan håndteres i eksisterende sjakt og tårn. Det er ikke vurdert om eksisterende vifter i sjakten har kapasitet til å trekke av denne luftmengden.

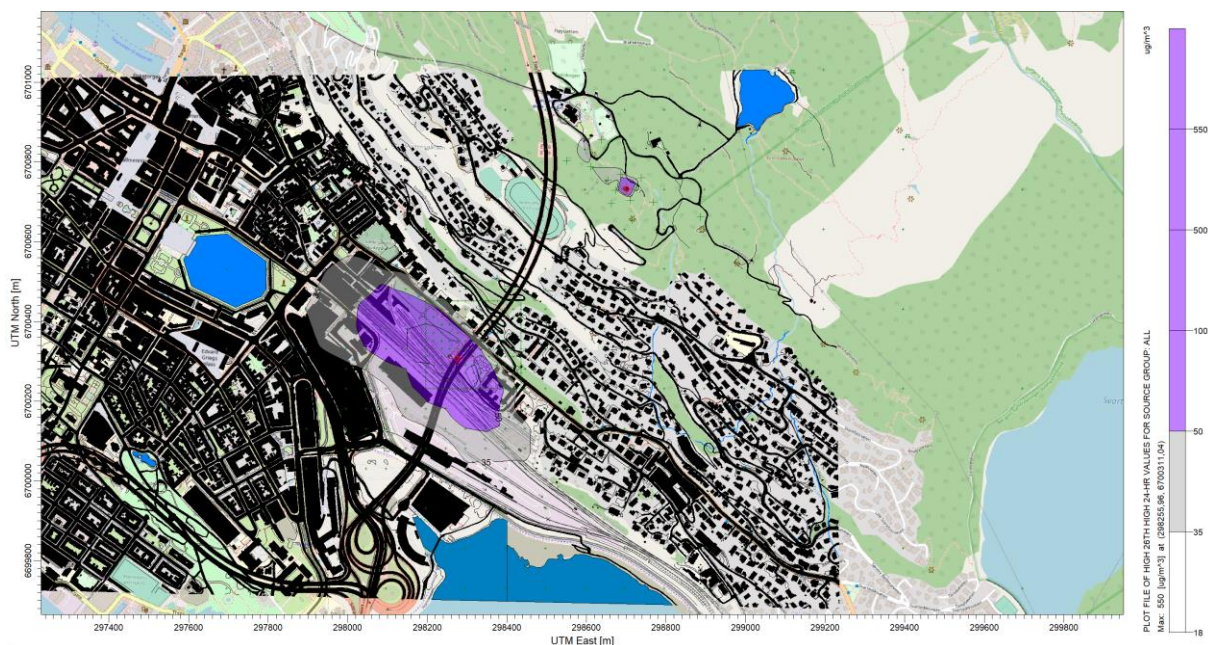
#### 4.3.1. Drift i rushtiden

Figur 4-7 viser luftsonekart ved drift i rushtiden. Det vil si drift av ventilasjonstårnet 2 timer på morgenen og 3 timer på ettermiddagen. Figuren viser forholdsvis omfattende rød sone ved tunnelportalen. Den viser også at rød sone rundt ventilasjonstårnet og påvirkning i en sone nord-vest for ventilasjonstårnet.

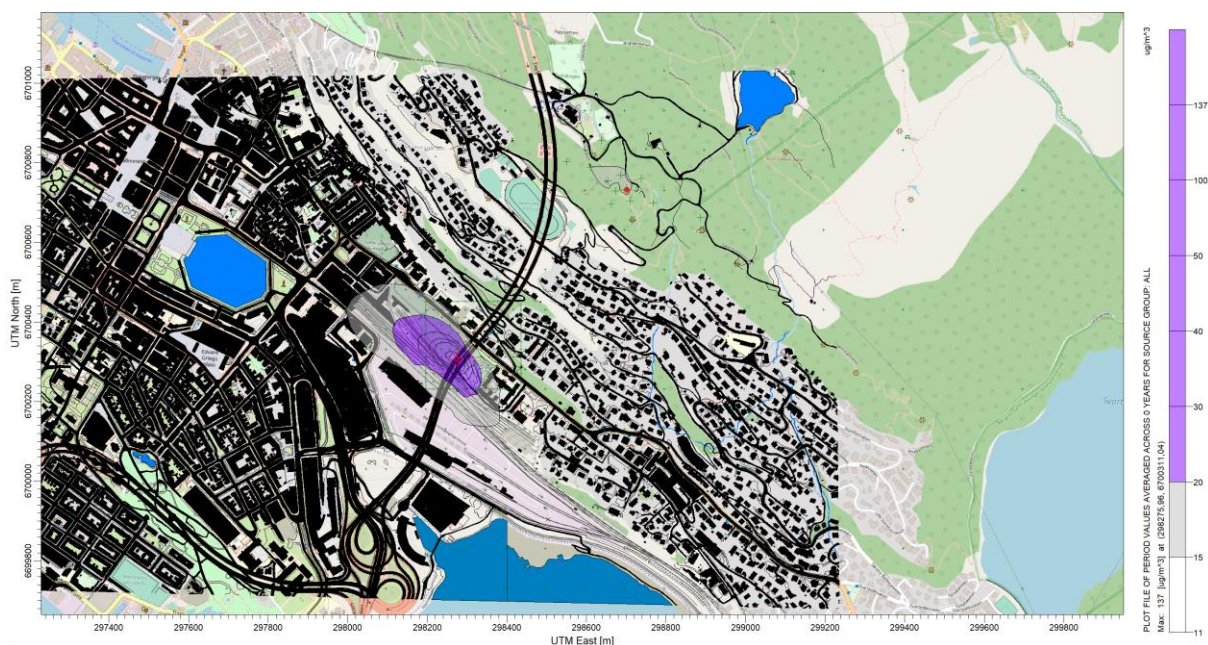
Figur 4-8 og figur 4-9 viser henholdsvis 26. dårligste døgn og årsmiddelkonsentrasjon av  $PM_{10}$ . Lilla område i figurene viser sonen som har overskridelse av kravet til  $PM_{10}$ -konsentrasjon i forurensingsforskriften. Figur 4-8 viser en liten sone rundt ventilasjonstårnet som har overskridelse av kravet til døgnmiddelverdi i forurensningsforskriften. Sonen rundt tunnelportalen som overskrider kravet i forurensningsforskriften strekker seg rundt de nærmeste byggene.



Figur 4-7: Luftsonekart for forlenget Fløyfjelltunnel ved bruk av ventilasjonstårn i rushtiden (2 timer morgen og 3 timer ettermiddag).



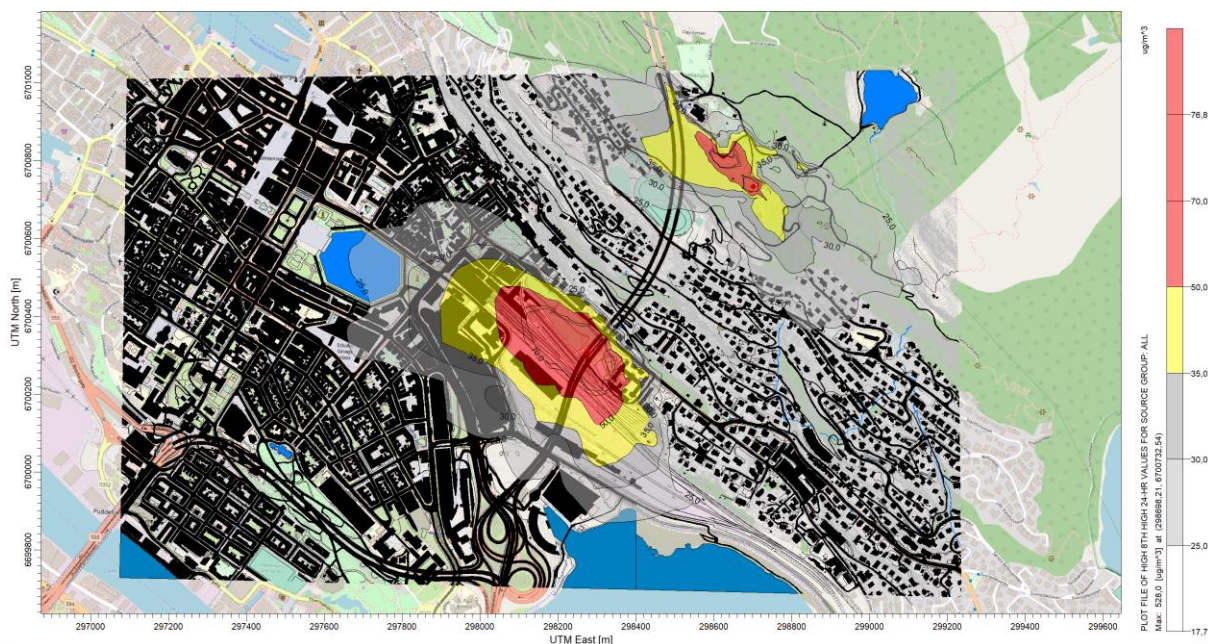
Figur 4-8: Forlenget Fløyfjelltunnel ved bruk av ventilasjonstårn i rushtiden (2 timer morgen og 3 timer ettermiddag). 26. dårligste døgnmiddelverdi i henhold til krav i forurensningsforskriften.



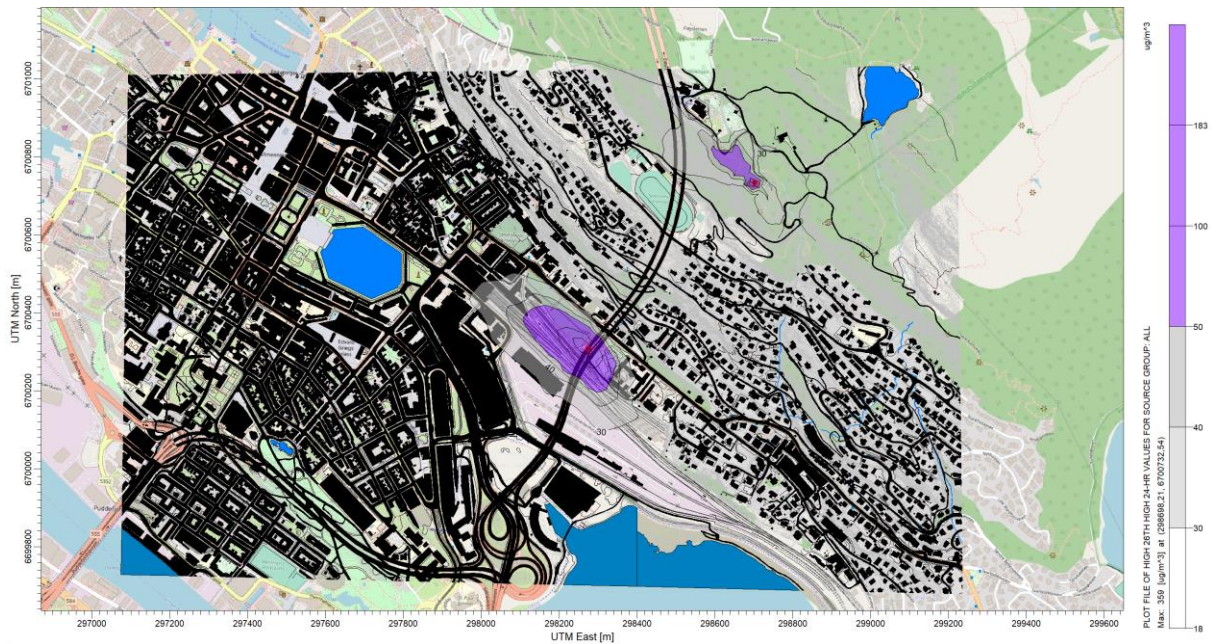
Figur 4-9: Forlenget Fløyfjelltunnel ved bruk av ventilasjonstårn i rushtiden (2 timer morgen og 3 timer ettermiddag). Årsmiddelkonsentrasjon i henhold til krav i forurensningsforskriften.

#### 4.3.2. Drift 12 timer per døgn

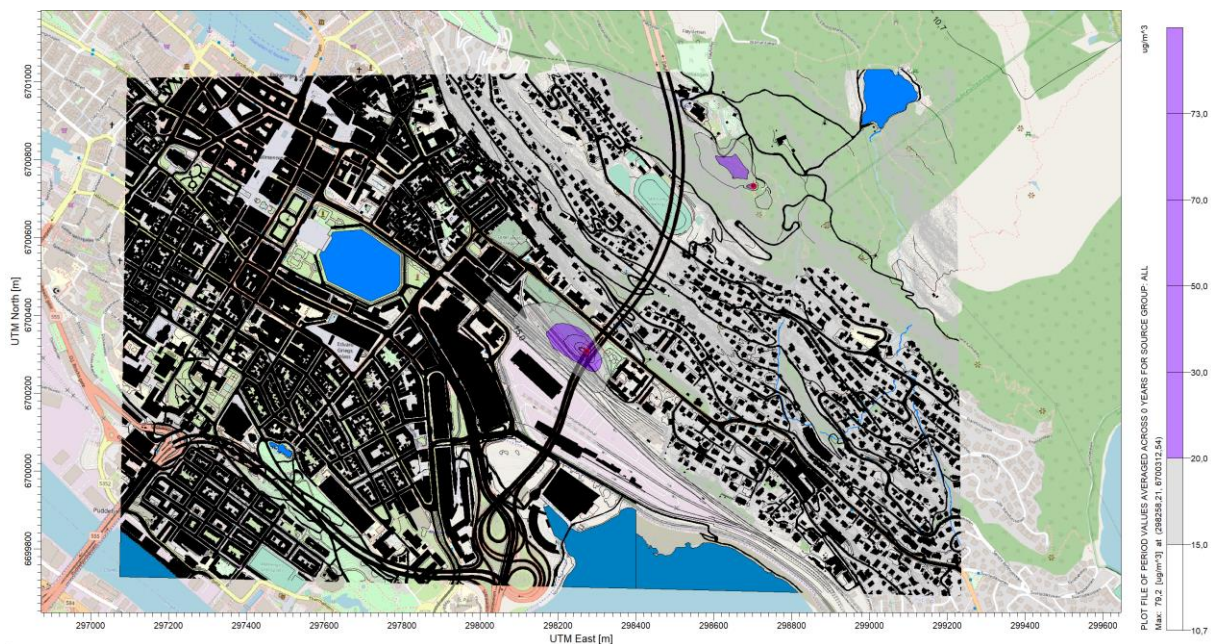
Figur 4-10 viser luftsonekart for situasjon med drift av ventilasjonstårn 12 timer per døgn. Figur 4-11 og figur 4-12 viser henholdsvis 26. dårligste døgn og årsmiddelkonsentrasjon av  $PM_{10}$ . Lilla område i figurene viser sonen som har overskridelse av kravet til  $PM_{10}$ -konsentrasjon i forurensingsforskriften.



Figur 4-10: Luftsonekart for forlenget Fløyfjelltunnel ved bruk av ventilasjonstårn 12 timer per døgn.



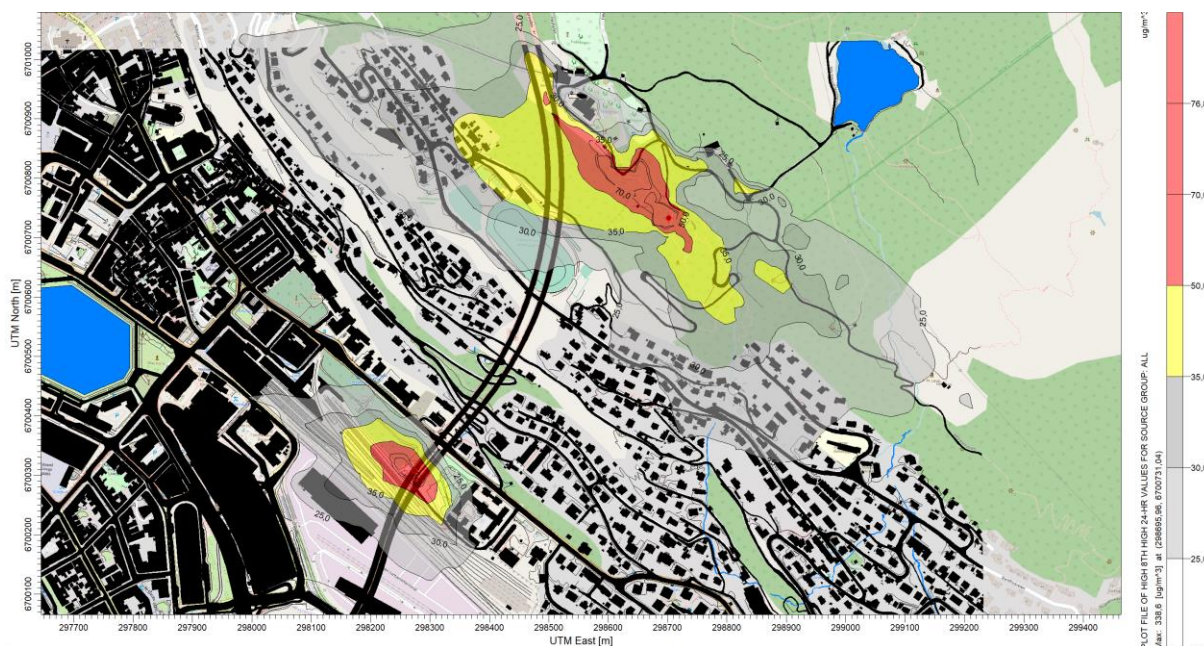
Figur 4-11: Forlenget Fløyfjelltunnel ved bruk av ventilasjonstårn 12 timer per døgn. 26. dårligste døgnmiddelverdi i henhold til krav i forurensningsforskriften.



Figur 4-12: Forlenget Fløyfjelltunnel ved bruk av 12 timer per døgn. Årsmiddelkonsentrasjon i henhold til krav i forurensningsforskriften.

#### 4.3.3. Drift 16 timer per døgn

Figur 4-13 viser rød og gul sone i henhold til T-1520. Det er ingen bebyggelse innenfor denne sone som defineres som luftsensitiv bebyggelse i henhold til T-1520. Området som ligger inne i rød sone benyttes som friluft og rekreasjonsområde og Tubakuba blir liggende inne i rød sone. Tubakuba er en liten hytte for utlån som ligger ca. 50 m nord-vest for ventilasjonstårnet. Gul sone strekker seg ned til enkelte av boligene nord-vest for Skansemyren.

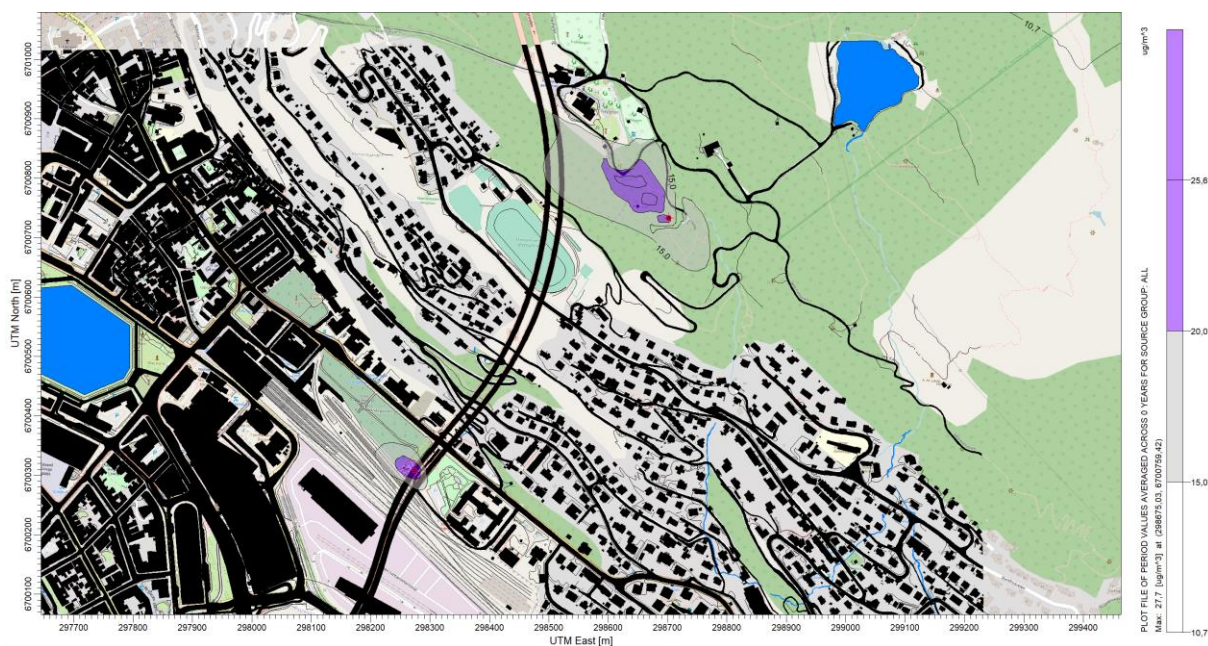


Figur 4-13: Luftsonekart for forlenget Fløyfjelltunnel ved bruk av ventilasjonstårn 16 timer per døgn.

Figur 4-14 og figur 4-15 viser henholdsvis 26. dårligste døgnmiddelkonsentrasjon og årsmiddelkonsentrasjon av PM<sub>10</sub>. Lilla område i figurene har overskridelse i forhold til kravet i forurensningsforskriften. Det vil si at luftkvaliteten rundt ventilasjonstårnet tilfredsstillende ikke kravet i forurensningsforskriften.



Figur 4-14: Forlenget Fløyfjelltunnel ved bruk av ventilasjonstårn 16 timer per døgn. 26. dårligste døgnmiddelverdi i henhold til krav i forurensningsforskriften.



Figur 4-15: Forlenget Fløyfjelltunnel ved bruk av ventilasjonstårn 16 timer per døgn. Årsmiddelskonsentrasjon i henhold til krav i forurensningsforskriften.

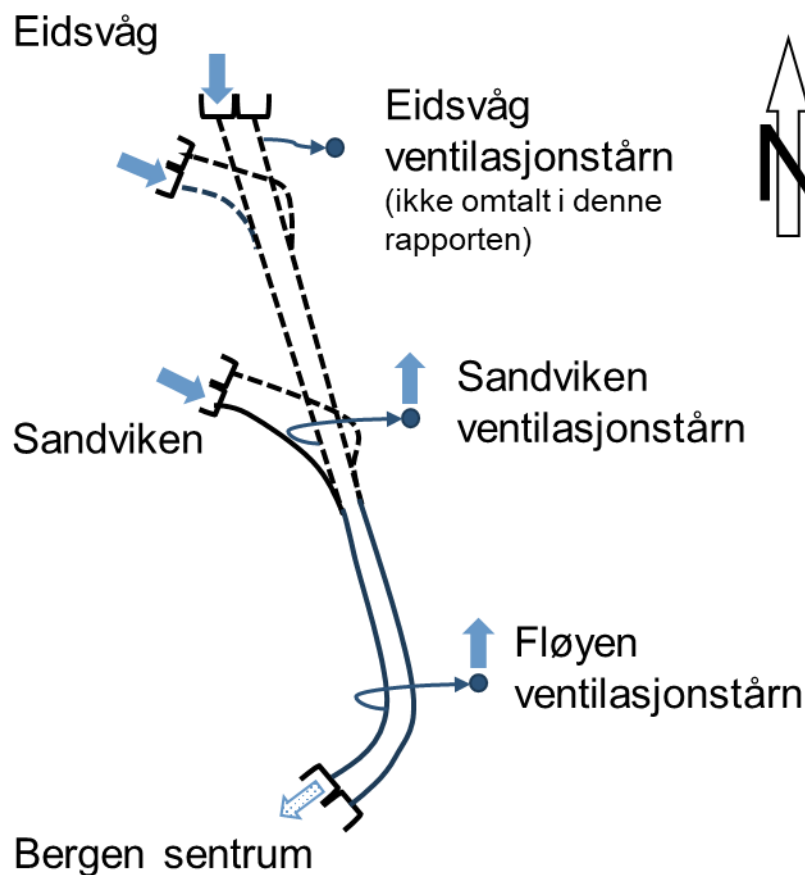
#### 4.4. Forlenget Fløyfjelltunnel med bruk av to ventilasjonstårn

De beregnede luftsonekartene med bruk av ventilasjonstårn på Fløyen, presentert i kapittel 4.3, viser overskridelse av forurensningsforskriften og rød sone rundt ventilasjonstårnet. For å begrense påvirkningen rundt ventilasjonstårnet er det vurdert alternativer for å redusere utslippet fra ventilasjonstårnet, samtidig som luftkvaliteten rundt tunnelportalen til sørgående løp ved Nygårdstangen er akseptabel.

Figur 4-16 viser tunnelsystemet og plassering av ventilasjonstårn. For sørgående tunnellop er prinsippet med bruk av to ventilasjonstårn som følger (Sandviken og Fløyen ventilasjonstårn):

- Luft trekkes inn i tunnelen sammen med trafikken gjennom tunnelportalen i Eidsvåg. Ventilasjonen er med kjøreretningen i tunnelen.
- Det trekkes også frisk luft inn rampen i Eidsvåg.
- Konsentrasjonen av støv i tunnelluften øker med kjøreretningen, når luften når ventilasjonstårnet i Sandviken trekkes den ut gjennom ventilasjonstårnet.
- Det trekkes ny frisk luft inn på rampen i Sandviken.
- Luften blir gradvis mer forurensset frem mot ventilasjonstårnet på Fløyen
- Luften trekkes ut ventilasjonstårnet på Fløyen.
- Utslipet fra tunnelportalen blir begrenset som følge av ventilasjonstørnene.

Det er beregnet luftsonekart for de samme driftstidene på to ventilasjonstårnet som for løsning kun med ett ventilasjonstårn som er presentert i kapittel 4.3. Det er også presentert figurer over overskridelse av døgnmiddelverdi i forurensningsforskriften 26. dårligste døgn. Det er ikke presentert figurer som viser område med overskridelse av kravet til årsmiddel da figurene i kapittel 4.3 viser at dette område er mindre enn område som vil få overskridelse av kravet til døgnmiddelverdi.

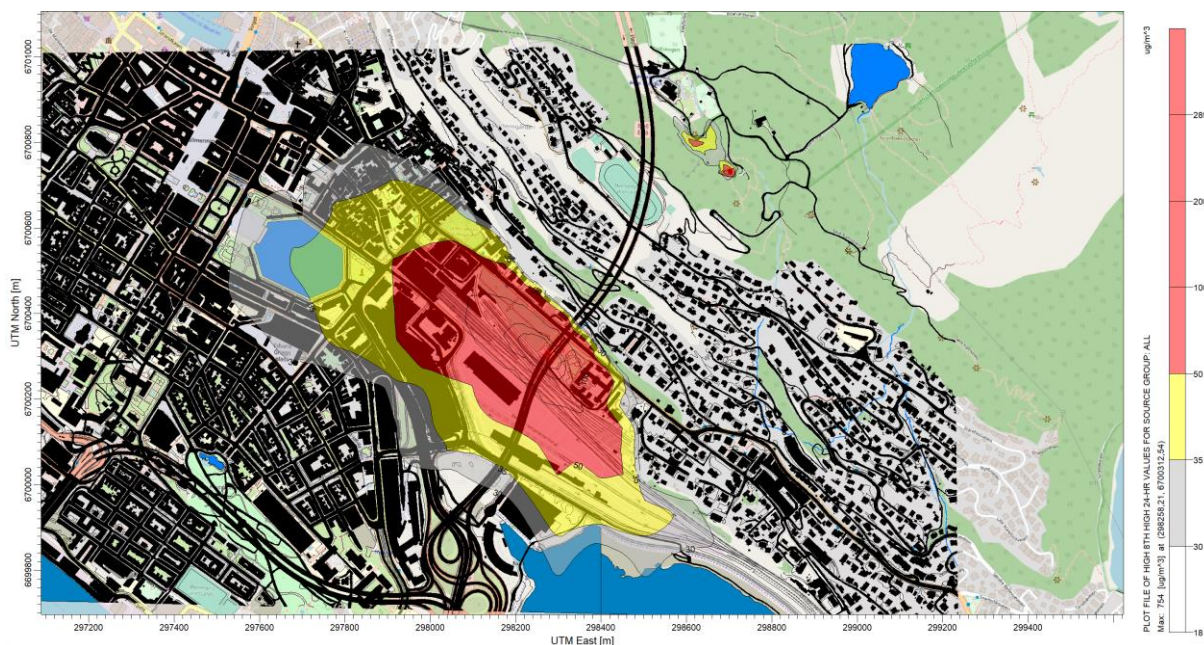


Figur 4-16: Tunnelsystem med plassering av ventilasjonstårn.

Prinsippet med bruk av to ventilasjonstårn er at forurensningen som genereres fra Eidsvåg til Sandviken trekkes av i Sandviken. Forurensningen som genereres fra Sandviken til Bergen sentrum trekkes gjennom ventilasjonstårnet på Fløyen. På denne måten blir utslippet på Fløyen tilsvarende det som er utslippet for dagens situasjon uten forlenget tunnel, mens utslippet fra forlenget del kommer i ventilasjonstårnet i Sandviken.

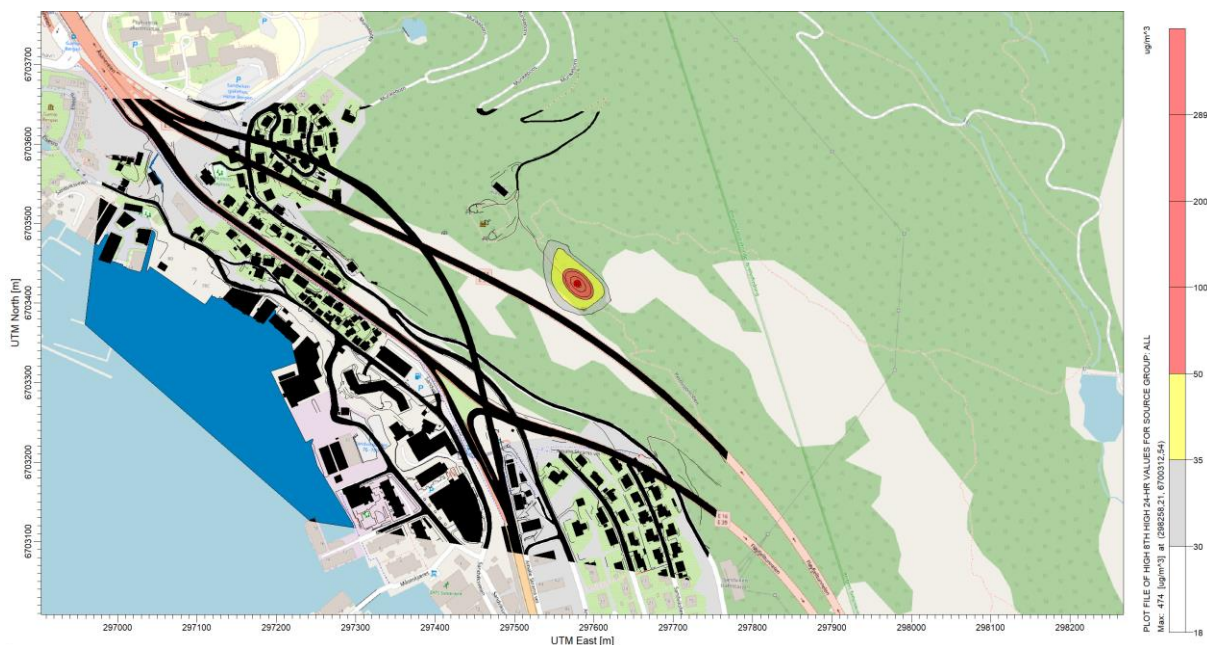
#### 4.4.1. Drift i rushtiden

Figur 4-17 viser luftsonekart for tunnelportalen ved Nygårdstangen og rundt ventilasjonstårnet på Fløyen ved drift av ventilasjonstårnet i rushtiden (2 timer morgen og 3 timer ettermiddag). Luftsonekart for ventilasjonstårnet i Sandviken, for om samme driftssituasjon, er vist i figur 4-18.



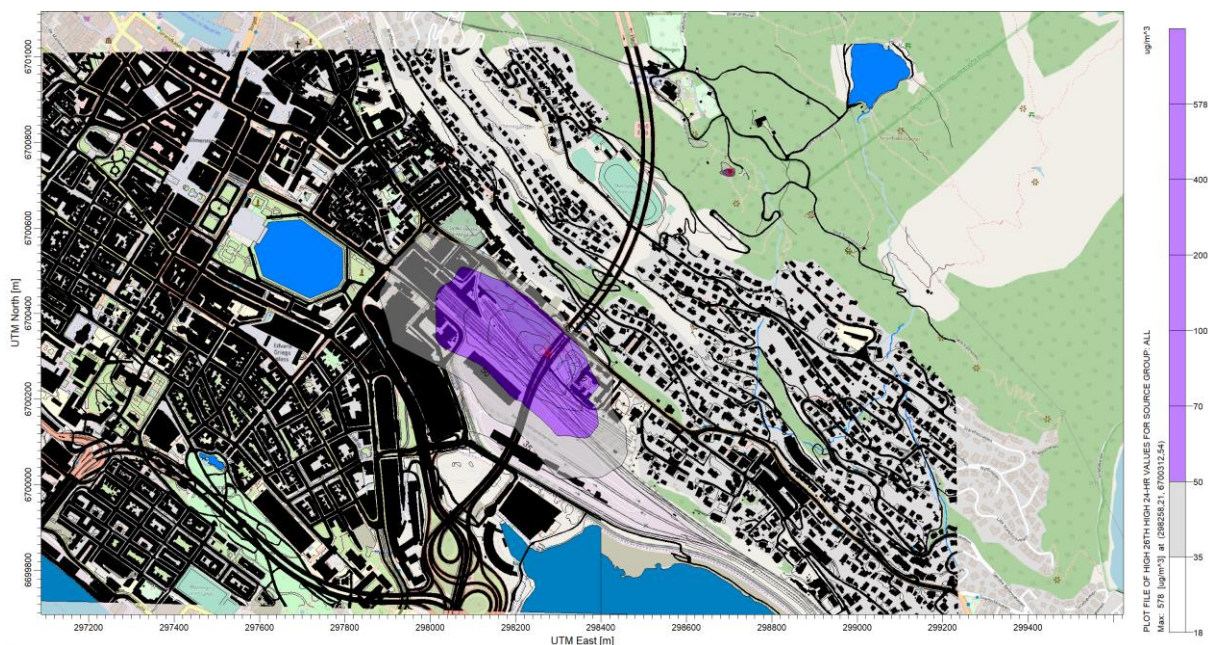
*Figur 4-17: Luftsonekart for forlenget Fløyfjelltunnel, for tunnelportal og ventilasjonstårn på Fløyen. To ventilasjonstårn. Bruk av ventilasjonstårn i rushtiden (2 timer morgen og 3 timer ettermiddag).*

Figur 4-17 viser tilsvarende område for rød og gul sone utenfor tunnelportalen som ved kun ett ventilasjonstårn (figur 4-7). Endringen ved bruk av ventilasjonstårnet i Sandviken i tillegg til ventilasjonstårnet på Fløyen er at rød og gul sone rundt ventilasjonstårnet på Fløyen blir mindre. Konsekvensen av dette er vist figur 4-18, den viser beregnet rød og gul sone rundt ventilasjonstårnet i Sandviken. Ved bruk av begge ventilasjonstårnene parallelt vil luftkvaliteten i bakkenivå rundt ventilasjonstårnet på Fløyen blir bedre. Det er i praksis ingen endring rundt tunnelportalen.



*Figur 4-18: Luftsonekart for forlenget Fløyfjelltunnel, for ventilasjonstårn i Sandviken. To ventilasjonstårn. Bruk av ventilasjonstårn i rushtiden (2 timer morgen og 3 timer ettermiddag).*

Figur 4-19 viser 26. dårligste døgn av  $PM_{10}$  for tunnelportalen ved Nygårdstangen og ventilasjonstårnet på Fløyen. Figur 4-20 viser det samme for ventilasjonstårnet i Sandviken. Lilla område i figurene viser den sonen som ikke tilfredsstiller kravet til  $PM_{10}$ -konsentrasjon i forurensningsforskriften.



Figur 4-19: Forlenget Fløyfjelltunnel ved bruk av ventilasjonstårn på Fløyen og i Sandviken i rushtiden (2 timer morgen og 3 timer ettermiddag). 26. dårligste døgnmiddelverdi i henhold til krav i forurensningsforskriften. Tunnelportal og ventilasjonstårn på Fløyen.



Figur 4-20: Forlenget Fløyfjelltunnel ved bruk av ventilasjonstårn på Fløyen og i Sandviken i rushtiden (2 timer morgen og 3 timer ettermiddag). 26. dårligste døgnmiddelverdi i henhold til krav i forurensningsforskriften. Ventilasjonstårn i Sandviken.

#### 4.4.2. Drift i 12 timer per døgn

Figur 4-21 viser luftsonekart for tunnelportalen ved Nygårdstangen og rundt ventilasjonstårnet på Fløyen ved drift av ventilasjonstårnet 12 timer per døgn. Luftsonekart for ventilasjonstårnet i Sandviken, for samme driftssituasjon, er vist i figur 4-22.

Luftsonekartet for området rundt tunnelportalen er tilsvarende situasjonen med kun ett ventilasjonstårn vist i Figur 4-10, men rød og gul sone rundt ventilasjonstårnet på Fløyen er vesentlig mindre.

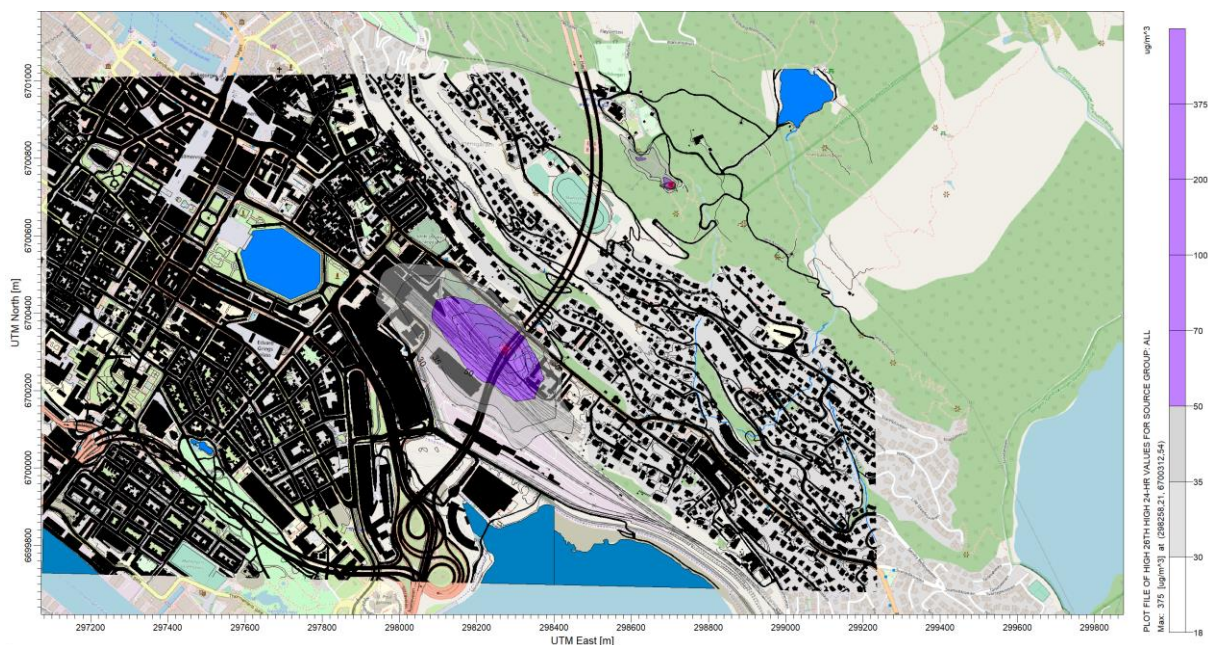


*Figur 4-21: Luftsonekart for forlenget Fløyfjelltunnel, for tunnelportal og ventilasjonstårn på Fløyen. To ventilasjonstårn. Bruk av ventilasjonstårn 12 timer per døgn.*



Figur 4-22: Luftsonekart for forlenget Fløyfjelltunnel, for ventilasjonstårn i Sandviken. To ventilasjonstårn. Bruk av ventilasjonstårn 12 timer per døgn.

Figur 4-23 Figur 4-19 viser 26. dårligste døgn av  $PM_{10}$  for tunnelportalen ved Nygårdstangen og ventilasjonstårnet på Fløyen. Figur 4-24 viser det samme for ventilasjonstårnet i Sandviken. Lilla område i figurene viser den sonen som ikke tilfredsstiller kravet til  $PM_{10}$ -konsentrasjon i forurensingsforskriften.



Figur 4-23: Forlenget Fløyfjelltunnel ved bruk av ventilasjonstårn på Fløyen og i Sandviken 12 timer per døgn. 26. dårligste døgnmiddelverdi i henhold til krav i forurensningsforskriften. Tunnelportal og ventilasjonstårn på Fløyen.



Figur 4-24: Forlenget Fløyfjelltunnel ved bruk av ventilasjonstårn på Fløyen og i Sandviken 12 timer per døgn. 26. dårligste døgnmiddelverdi i henhold til krav i forurensningsforskriften. Ventilasjonstårn i Sandviken.

#### 4.4.3. Drift i 16 timer per døgn

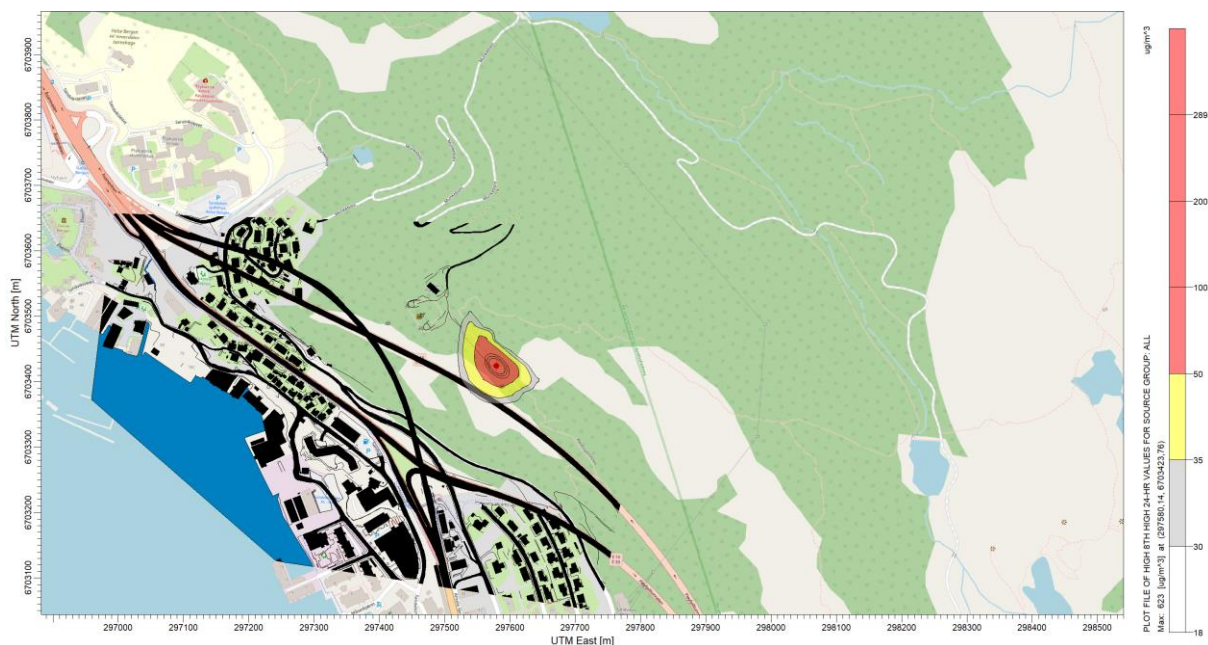
Figur 4-25 viser luftsonekart i henhold til T-1520 for området rundt tunnelportalen og ventilasjonstårnet på Fløyen. Rød og gul sone utenfor tunnelportalen er tilsvarende som for bruk av ett ventilasjonstårn vist i figur 4-13. Rundt ventilasjonstårnet er det vesentlig reduksjon størrelsen på rød og gul sone.



*Figur 4-25: Luftsonekart for forlenget Fløyfjelltunnel, for tunnelportal og ventilasjonstårn på Fløyen. To ventilasjonstårn. Bruk av ventilasjonstårn 16 timer per døgn.*

Ved bruk av to ventilasjonstårn er den gule sonen i hovedsak begrenset til nord-vest for tårnet på Fløyen. Sammenlignet med situasjonen med kun ett ventilasjonstårn er dette en vesentlig forbedring. Med ett ventilasjonstårn strekker den gule sonen seg ned til enkelte av boligene nord-vest for Skansemyren. Bruk av to ventilasjonstårn gjør også at Tubakuba blir liggende i gul sone, og ikke i rød som situasjonen er med ett ventilasjonstårn. To ventilasjonstårn gir fortsatt noe rød sone i området rundt ventilasjonstårnet, men omfanget er vesentlig begrenset sammenlignet med situasjonen med ett ventilasjonstårn.

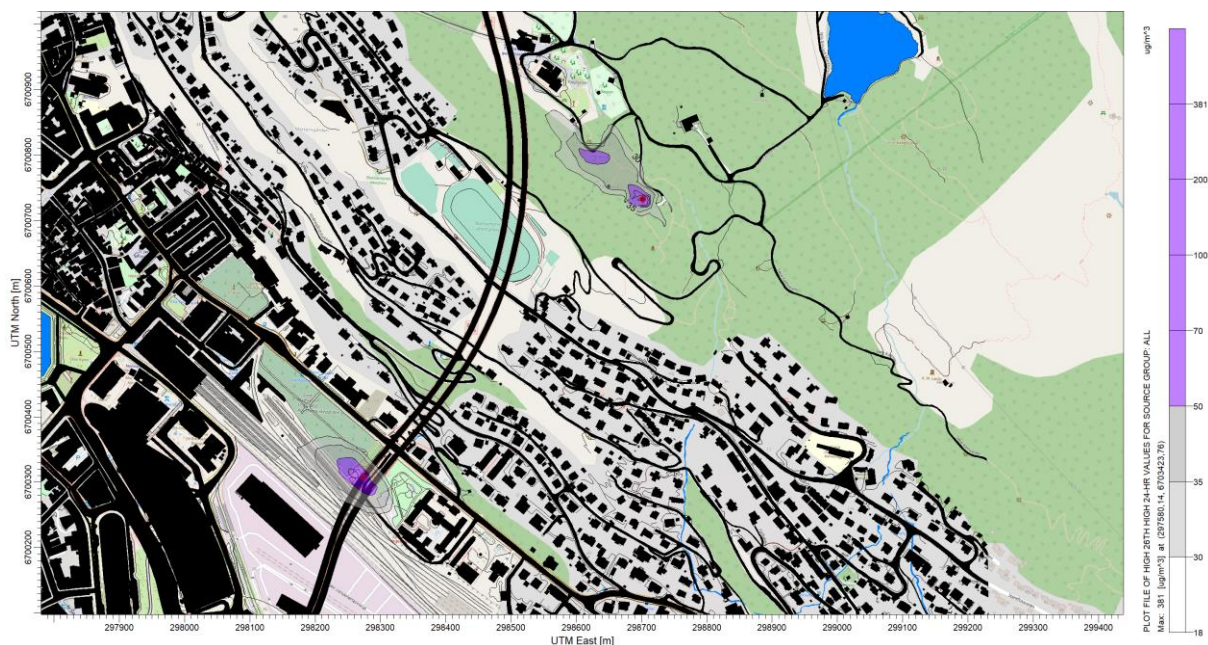
Figur 4-26 viser luftsonekart for området rundt ventilasjonstårnet i Sandviken ved 16 timer driftstid på ventilasjonstårnet i døgnet.



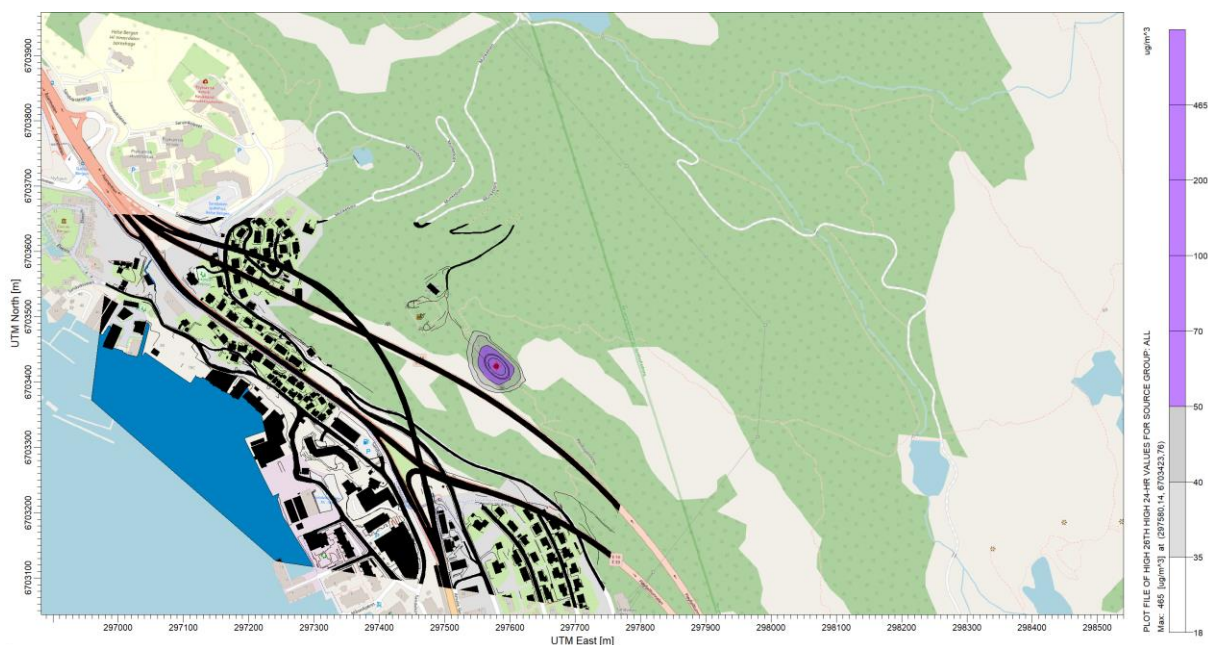
Figur 4-26: Luftsonekart for forlenget Fløyfjelltunnel, for ventilasjonstårn i Sandviken. To ventilasjonstårn. Bruk av ventilasjonstårn 16 timer per døgn.

Figur 4-27 Figur 4-19 viser 26. dårligste døgn av  $PM_{10}$  for tunnelportalen ved Nygårdstangen og ventilasjonstårnet på Fløyen. Figur 4-28 viser det samme for ventilasjonstårnet i Sandviken. Lilla område i figurene viser den sonen som ikke tilfredsstiller kravet til  $PM_{10}$ -konsentrasjon i forurensingsforskriften.

Ved å sammenligne Figur 4-27 og Figur 4-14 ser man at bruk av to ventilasjonstårn gir en vesentlig reduksjon av området rundt ventilasjonstårnet på Fløyen som ikke tilfredsstiller kravet til  $PM_{10}$ -konsentrasjon i forurensingsforskriften.



Figur 4-27: Forlenget Fløyfjelltunnel ved bruk av ventilasjonstårn på Fløyen og i Sandviken 16 timer per døgn. 26. dårligste døgnmiddelverdi i henhold til krav i forurensningsforskriften. Tunnelportal og ventilasjonstårn på Fløyen.



Figur 4-28: Forlenget Fløyfjelltunnel ved bruk av ventilasjonstårn på Fløyen og i Sandviken 16 timer per døgn. 26. dårligste døgnmiddelverdi i henhold til krav i forurensningsforskriften. Ventilasjonstårn i Sandviken.

## 4.5. Styring av ventilasjonstårn

Behovet for drift av ventilasjonstårn er avhengig av utslipp fra tunnelportal og metrologiske forhold for spredning utenfor tunnelportalen. For å få tilstrekkelig god luftkvalitet utenfor tunnelportalen er det vurdert at 16 timer driftstid er nødvendig på de verste dagene i en vintersesong. Volumstrømmen i ventilasjonstårnet ved drift er i simuleringene 450 m<sup>3</sup>/s. På dager med noe bedre spredningsforhold, forventes nødvendig driftstid å kunne være noe lavere.

På dager med dårlig spredningsforhold utenfor tunnelportalen har drift av ventilasjonstårnet stor betydning. Ventilasjonstårnet kan da gi vesentlig reduksjon i området utenfor portal som vil være i rød sone etter krav i T1520. Samtidig vil det for store deler av året være slik at det ikke er behov for at ventilasjonstårnet er i drift. For å begrense energiforbruket til drift av ventilasjonstårn, er det derfor viktig å etablere et styringssystem som starter ventilasjonstårnet når det er behov for det, med hensyn på luftkvaliteten utenfor tunnelen, samtidig som det ikke starter i perioder hvor det ikke er behov for det.

For at det skal være behov for å starte ventilasjonstårnet må følgende være til stede:

- Konsentrasjonen av PM<sub>10</sub> i tunnelluften må være høy
- Forholdene for spredning utenfor tunnelportalen må være dårlige.

Tunnelen bør derfor instrumenteres med sensor for PM<sub>10</sub> i tillegg til NO<sub>2</sub> som det er krav om i håndbok N500. Dette gjør det mulig å detektere når utslippet av PM<sub>10</sub> fra tunnelen vil være høyt. Dette kombinert med sensorer for måling av luftkvalitet utenfor tunnelportal kan benyttes for å starte viftene i ventilasjonstårnet ved behov. Dersom det ikke etableres sensorer for å overvåke dette, vil man få vesentlig høyere driftstid for å være sikker på at rød sone utenfor tunnelportal ikke blir for stor. Dersom driftstiden begrenses uten bruk av sensorer for å overvåke behov for drift av ventilasjonstårn, må det forventes at sonen med overskridelse blir større enn det som er vist i figurene i denne rapporten

### 4.5.1. Styring ved ventilasjonstårn på Fløyen

Trafikken i trekker med seg luft gjennom tunnelen med kjøreretningen. I periodene når ventilasjonstårnet på Fløyen ikke er i drift vil da all luften fra sørgående løp komme ut gjennom portalen ved Nygårdstangen.

Når ventilasjonstårnet på Fløyen er i drift vil alt utslippet fra tunnelen komme ut gjennom ventilasjonstårnet. Dette vil da være alt utslippet generert i hele tunnelen. Ventilasjonstårnet kan da styres basert på prinsippene angitt i kapittel 4.5.

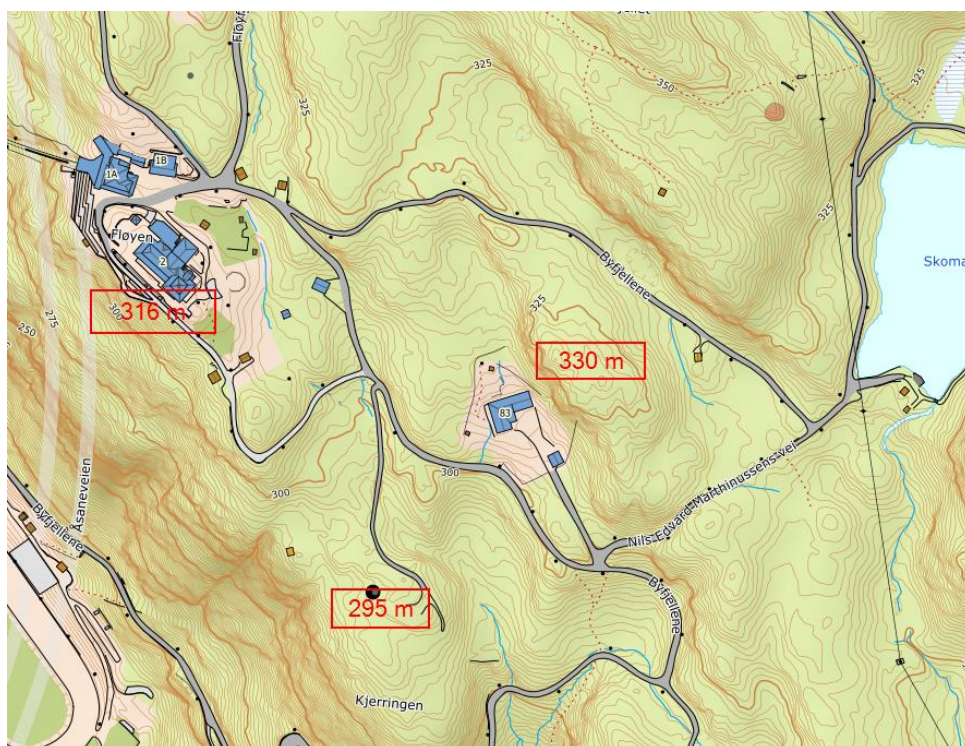
#### 4.5.2. Styring ved ventilasjonstårn på Fløyen og Sandviken

Prinsippet for bruk av to ventilasjonstårn er at ventilasjonstårnet på Fløyen skal begrense utslippet fra tunnelportalen. Ventilasjonstårnet i Sandviken benyttes for å begrense utslippet av  $PM_{10}$  fra ventilasjonstårnet på Fløyen. Dette er i simuleringen gjort ved at begge ventilasjonstårnene benyttes samtidig. Det vil si at ventilasjonstårnet i Sandviken er i drift samtidig som ventilasjonstårnet i Fløyen er drift.

#### 4.6. Effekt av økt høyde ventilasjonstårn på Fløyen

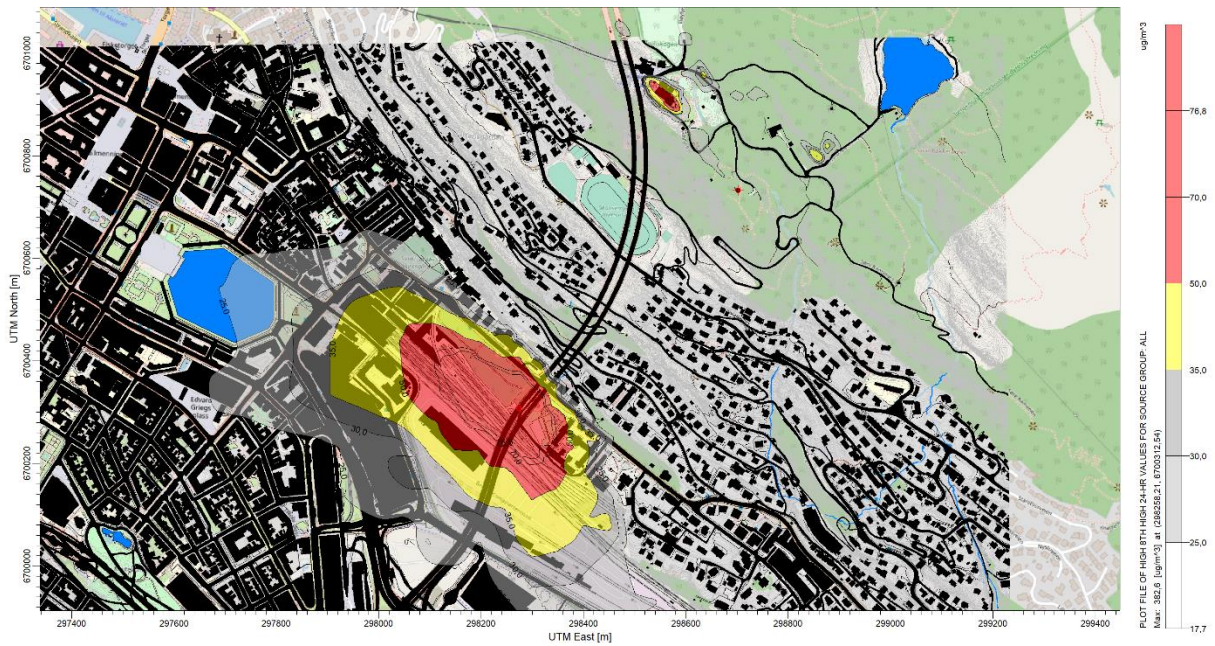
Gjennomførte beregninger av luftsonekart viser at luftkvaliteten på bakkenivå blir påvirket av utslipp fra ventilasjonstårnet. Det naturlige tiltaket for å redusere påvirkningen fra ventilasjonstårnet er å øke høyden på tårnet, slik at utslippet kommer høyere over bakkenivå. På grunn av terrenget i området er det ikke så stor effekt av å øke ventilasjonstårnet, er det en konsekvens at høyere ventilasjonstårn til en viss grad kun flytter forurensningen til en høyre posisjon i terrenget.

Figur 4-29 viser terrenget rundt ventilasjonstårnet. Tårnet er plassert ca. 295 moh. Restaurantbygget på Fløyen ligger ca. 316 moh., mens høyden øst for Fløyfjellet Naturbarnehage ligger ca. 330 moh. Disse to punktene ligger så nærme ventilasjonstårnet at de blir påvirket om ventilasjonstårnet gjøres noe høyere. Dersom disse punktene ikke skal bli påvirket av utslippet fra ventilasjonstårnet, må tårnet gjøres så høyt at det ikke blir nedslag av luft dit.

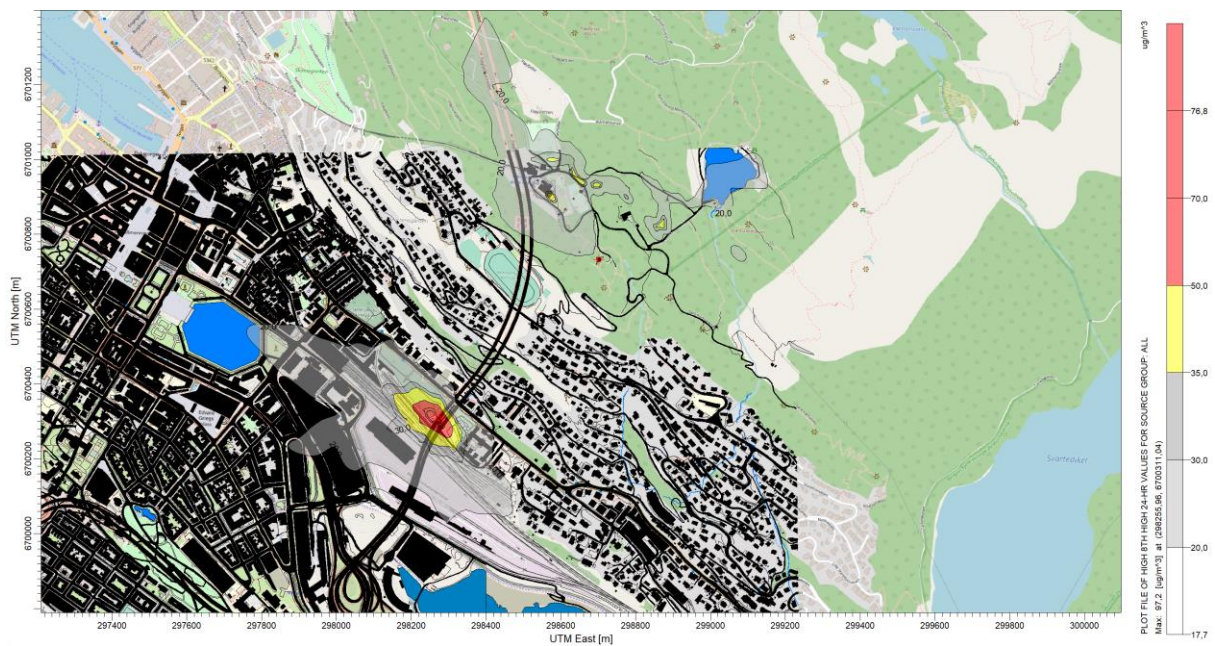


Figur 4-29: Terrenget rundt ventilasjonstårnet.

Figur 4-30 og Figur 4-31 viser luftsonekart for området på Fløyen med henholdsvis 23 m og 25 m høyt ventilasjonstårn. For situasjon med 23 m høyt ventilasjonstårn viser beregningene at det blir nedslag fra ventilasjonstårnet både ved restaurantbygget og på høydedraget øst for barnehagen. Det er først ved 25 m høyt ventilasjonstårn at nedslaget av luft fra ventilasjonstårnet blir så begrenset at det ikke gir rød sone ved restaurantbygget. Det er usikkerhet knyttet til simuleringene av utslippet fra ventilasjonstårnet. Dersom høyden på ventilasjonstårnet på Fløyen økes, for å begrense påvirkningen, anbefales det at det gjøres mer detaljerte beregninger av hva som er nødvendig tårnhøyde. Høyden angitt her er å betrakte som en foreløpig vurdering på hva som vil være nødvendig for at tårnet skal ha begrenset påvirkning på luftkvaliteten i bakkenivå.



Figur 4-30: Luftsonekart for forlenget Fløyfjelltunnel. 23 m høyt ventilasjonstårn (13 m høyere enn i dag).

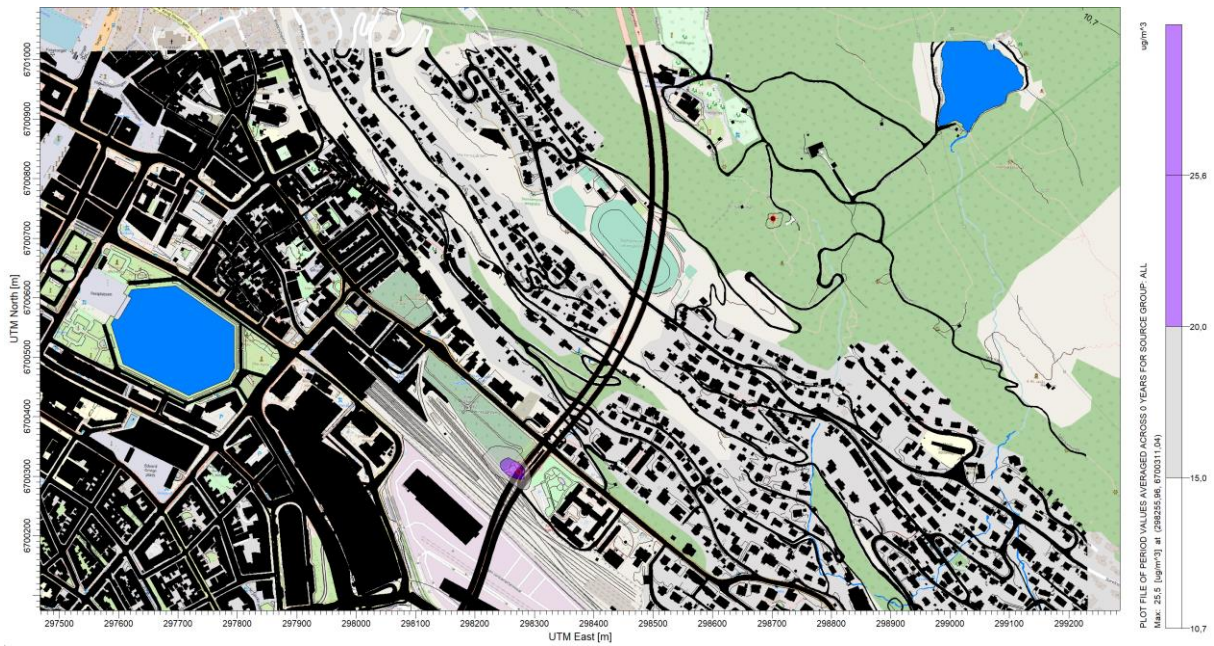


Figur 4-31: Luftsonekart for forlenget Fløyfjelltunnel. 25 m høyt ventilasjonstårn (15 m høyere enn i dag).

Figur 4-32 og figur 4-33 viser henholdsvis 26. dårligste døgnmiddelverdi og årsmiddel for PM10. Figurene viser at det er ikke overskridelse av kravet til støvkonsentrasjon i bakkenivå i henhold til forurensingsforskriften om høyden på ventilasjonstårnet økes til 25 m.



*Figur 4-32: Forlenget Fløyfjelltunnel ved bruk av ventilasjonstårn 16 timer per døgn med 25 m høyt ventilasjonstårn. 26. dårligste døgnmiddelverdi i henhold til krav i forurensingsforskriften.*



Figur 4-33: Forlenget Fløyfjelltunnel ved bruk av ventilasjonstårn 16 timer per døgn med 25 m høyt ventilasjonstårn. Årsmiddelkonsentrasjon i henhold til krav i forurensningsforskriften.

## 5. Oppsummering

Bruk av ventilasjonstårnet er et effektivt tiltak for å redusere utslippet av forurenset luft fra tunnelportalen til Fløyfjelltunnelen ved Nygårdstangen. Simuleringene viser at drift av ventilasjonstårnet 16 timer i døgnet gjør det mulig å begrense størrelsen på rød og gul sone i henhold til T-1520 utenfor tunnelportalen. Kravet til PM<sub>10</sub> konsentrasjon i forurensningsforskriften blir da kun overskredet i et lite område utenfor tunnelportalen. Eksisterende ventilasjonstårn for sørgående løp i Fløyfjelltunnelen kan effektivt benyttes for å redusere luftforurensingen utenfor tunnelportalen i Bergen sentrum.

Som følge av at Fløyfjelltunnelen forlenges til Eidsvåg øker forurensningen som blir generert i tunnelsystemet. Simuleringene viser at ventilasjonstårnet effektivt kan gi tilfredsstillende luftkvalitet rundt tunnelportalen ved Nygårdstangen, men luftkvaliteten i bakkenivå rundt ventilasjonstårnet på Fløyen blir for dårlig. Det er vurdert to alternativer for å gi bedre luftkvalitet på bakkenivå rundt ventilasjonstårnet på Fløyen: (1) Høyere ventilasjonstårn på Fløyen og (2) gjenbruk av ventilasjonstårnet i Sandviken som ventilasjonstårn tilknyttet sørgående tunnellop.

Det eksisterende ventilasjonstårnet på Fløyfjelltunnelen er ca. 10 m høyt. Med forlenget Fløyfjelltunnel og drift av ventilasjonstårn 16 timer i de verste døgnene, vil utslippet av støv fra ventilasjonstårnet være større enn dagens situasjon. 10 m høyt ventilasjonstårn vil gi rød sone rundt ventilasjonstårnet i henhold til T-1520. Kravet til støvkonsentrasjon i forurensningsforskriften vil også bli overskredet. Dersom kun ventilasjonstårnet på Fløyen skal benyttes, anbefales det at ventilasjonstårnet gjøres høyere. Foreløpig vurdering av nødvendig høyde tilsier at total høyde på ventilasjonstårnet bør være 25 m.

Ved bruk av ventilasjonstårn i Sandviken i tillegg til ventilasjonstårnet på Fløyen, kan inntil 40-45 % av forurensningen trekkes av i ventilasjonstårnet i Sandviken. Hvor mye av forurensningen som trekkes av i Sandviken vil være avhengig av hvor stor andel av tiden ventilasjonstårnet er i drift. Dersom ventilasjonstårnet i Sandviken driftes i parallell med ventilasjonstårnet i Fløyen, vil utslippet fra ventilasjonstårnet i Fløyen bli tilsvarende det utslippet er i dag før tunnelen blir forlenget til Eidsvåg.

Veieier har ansvar for å tilfredsstille kravene i forurensningsforskriften. Beregning av luftkvalitet ved tunnelportalene viser at det er behov for tiltak. Bruk av ventilasjonstårn er tiltak for å gi vesentlig reduksjon av arealene som ikke tilfredsstiller kravet til luftkvalitet i forurensningsforskriften. Selv med dette tiltaket viser simuleringene at det kan bli mindre

soner direkte tilknyttet tunnelportalen og ventilasjonstårnene med overskridelser. Det er teknisk svært krevende å forhindre dette.

Nødvendig driftstid vil være avhengig av prinsipp for styring av ventilasjonstårnet. Antall nødvendige driftstimer på ventilasjonstårnet vil være avhengig av konsentrasjon av PM<sub>10</sub> i tunnelen og spredningsforholdene utenfor tunnelportalene. For å begrense antall nødvendige driftstimer i ventilasjonstårnet bør det vurderes å etablere sensorer utenfor tunnelportalen som detekterer de periodene det er behov for drift av ventilasjonstårnet.

## Kilder

- [1] EQUA Simulations AB. IDA Tunnel version 4.5 build 1 Theoretical Reference; 2012.
- [2] PIARC. Road tunnels: Vehicle Emissions and air demand for ventilation; 2019.
- [3] Statens vegvesen. Håndbok N500 vegtunneler; 2020.
- [4] Miljøverndepartementet. Retningslinje for behandling av luftkvalitet i arealplanlegging (T-1520); 2012.
- [5] EU, *Direktiv om luftkvalitet*, Dir1999/30/EF
- [6] Klima- og miljødepartementet, *Forskrift om begrensnig av forurensning (Forurensningsforskriften)*, FOR-2022-02-07, 2022.
- [7] Miljødirektoratet, *Fagbrukertjeneste for luftkvalitet*, tilgjengelig fra <https://www.miljodirektoratet.no/tjenester/fagbrukertjeneste-for-luftkvalitet/?underside=luftsonekart>, lastet ned. 2022-10-05.

