

Elkem ASA Salten Verk AS

► **Konsekvensutredning for Luftkvalitet**

Oppdragsnr.: **5192529** Dokumentnr.: **RIM01** Versjon: **J04** Dato: **2020-07-03**



Oppdragsgiver: Elkem ASA Salten Verk AS
Oppdragsgivers kontaktperson: Ketil Kristensen
Rådgiver: Norconsult AS, Kjørboveien 22, NO-1337 Sandvika
Oppdragsleder: Gøran Antonsen
Fagansvarlig: Katrine Bakke
Andre nøkkelpersoner: Cecilia Håkegård

J04	2020-07-03	For bruk	CECHAA	KJB	GAN
D03	2020-06-29	For godkjenning hos Elkem. Endringer etter kommentarer fra Elkem	CECHAA	KJB	GAN
D02	2020-04-30	For godkjenning hos Elkem	CECHAA	KJB	GAN
A01	2020-04-24	For intern gjennomgang	CECHAA	KJB	GAN
Versjon	Dato	Beskrivelse	Utarbeidet	Fagkontrollert	Godkjent

Dette dokumentet er utarbeidet av Norconsult AS som del av det oppdraget som dokumentet omhandler. Opphavsretten tilhører Norconsult AS. Dokumentet må bare benyttes til det formål som oppdragsavtalen beskriver, og må ikke kopieres eller gjøres tilgjengelig på annen måte eller i større utstrekning enn formålet tilsier.

► Sammendrag

Elkem ASA Salten verk AS har tatt initiativ til å få utarbeidet en detaljreguleringsplan for dagens industriområde og for framtidig utvidelse iht. kommuneplanens arealdel. Områdene er i dag uregulert, og hensikten med planarbeidet er å klargjøre nye områder for lettere industri. I den forbindelse har Norconsult i samarbeid med Sørfold kommune kommet fram til at luftforurensning er en av de tematiske utredningene som skal gjennomføres som del av prosessen.

Det er utført spredningsmodelleringer for luftforurensning av NO_x (som NO₂) og partikulært utslipp (som PM₁₀) iht. Retningslinje for behandling av luftkvalitet i arealplanlegging, T-1520. Det er disse forurensningsparameterne som skal vurderes ifm. reguleringsplaner. Det er tatt utgangspunkt i målinger fra utslippspunkter, samt tidligere målinger utført på bakkenivå (2 m over bakken) rundt verket. Det planlegges ikke for ny virksomhet som vil ha utslipp til luft ifm. utvidelsen av industriområdet.

Resultatene viser at konsekvensen av luftforurensning fra dagens verk på det nye utvidede industriområdet generelt er liten. Siden det ikke skal komme virksomhet på dette området som har utslipp til luft, vil utvidelsen ikke endre situasjonen mht. luftforurensning.

Resultatene for NO₂ viser at det er ingen bebyggelse som ligger i området som overskrider korttidsgrenseverdien for helse i forurensningsforskriften, samt ingen områder som ligger i gul eller rød sone etter retningslinje T-1520 for denne luftforurensningstypen.

Resultatene for PM₁₀ viser at det er ingen områder som overskrider grenseverdiene i forurensningsforskriften eller ligger i gul eller rød sone etter retningslinje T-1520. Det er partikulært utslipp fra filtrene og knuse- og sikteanlegget for silisiumproduksjon (KSP anlegget) som er tatt med i modelleringene.

Reguleringsplanen vil ikke endre situasjonen knyttet til dagens anlegg, og utslippene er regulert av gjeldende utslippstillatelse. Avbøtende tiltak knyttet til mulige overskridelser må skje via andre prosesser enn bestemmelser/krav i reguleringsplanen for det utvidede industriområdet. Oppsummert vurderes eksisterende anlegg ikke å være til hinder for tilrettelegging av nye industriarealer for lettere industri i planområdet.

I byggefase vil anleggsarbeider og anleggstrafikk lokalt kunne være en belastning for nærmiljøet. Det må forventes lokale støvplager som følge av anleggsarbeidet, spesielt på tørre og vindfulle dager. Det vil være nødvendig med avbøtende tiltak for å minimere støvflukt til omgivelsene. Følgende avbøtende tiltak bør gjennomføres i anleggsperioden:

- Støvdemping med vann og eventuelt støvbindende kjemikalier ved utgraving av støvende masser.
- Vanning ved støvende rivearbeider.
- Regelmessig feiing av anleggsveier med hardt dekke.
- Ved behov vanning av anleggsområde og anleggsveger. Støvbindende kjemikalier bør da også vurderes.
- Rengjøring av dekk på anleggskjøretøy før utkjørsel på offentlig vei.
- Tildekking av last hvis støvspredningen blir stor ved transport av masser.

Innhold

1	Innledning	5
1.1	Bakgrunn	5
1.2	Lokalisering av planområdet	5
1.3	Dagens produksjon og produksjonsprosess	6
1.4	Tiltaket	7
1.5	Hva som vurderes og inngår i modelleringene	7
1.6	Avbøtende tiltak som gjøres i dag	7
1.7	Oppbygging av rapporten	7
2	Utslippskrav og krav til lokal luftkvalitet	8
2.1	Utslippskrav	8
2.2	Luftforurensning, lokal luftkvalitet og helse	9
2.2.1	<i>Grenseverdier</i>	9
3	Beregningsforutsetninger	10
3.1	Utslipp av NO _x	10
3.2	Partikkelutslipp	10
3.3	Utslippsmengder	11
4	Spredningsberegninger	13
4.1	Modellering – AERMOD	13
4.2	Meteorologi og lokalklimatisksituasjon	14
4.3	Omdanning av NO _x til NO ₂	15
4.4	Anleggs- og utslippsdata	16
4.5	Usikkerheter	17
4.6	Tidligere utredninger	18
5	Resultater	19
5.1	Beregnet bakkekonsentrasjon av NO ₂	19
5.1.1	<i>Grenseverdier etter forurensningsforskriften</i>	20
5.1.2	<i>Grenseverdier etter retningslinje T-1520</i>	22
5.2	Beregnet bakkekonsentrasjon av PM ₁₀	23
5.2.1	<i>Grenseverdier etter forurensningsforskriften</i>	23
5.2.2	<i>Grenseverdier etter retningslinje T-1520</i>	25
6	Vurdering av resultatene	26
7	Luftforurensning i anleggsperioden	27
8	Konklusjon	28
9	Referanser	29
10	Vedlegg	30

1 Innledning

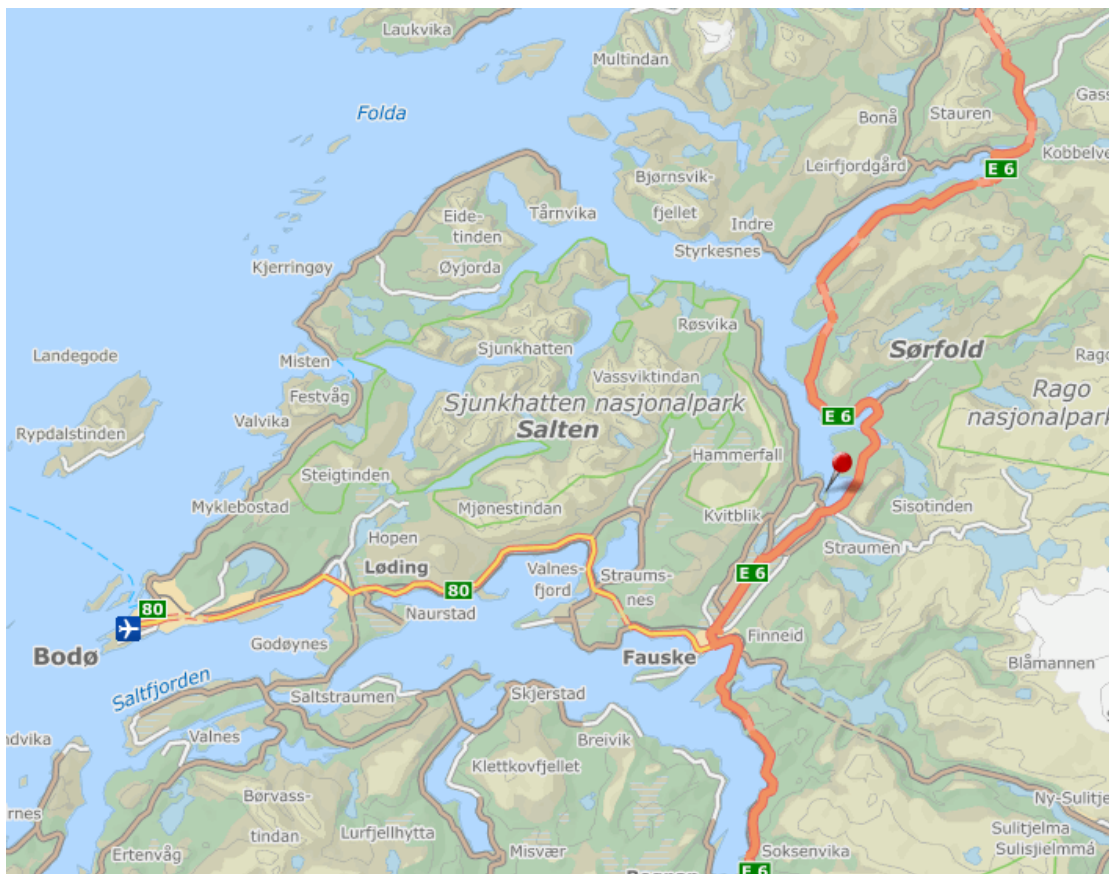
1.1 Bakgrunn

Elkem ASA Salten Verk AS (heretter betegnet som Elkem Salten) har tatt initiativ til å få utarbeidet en detaljreguleringsplan for dagens industriområde og for framtidig utvidelse mot sør iht. kommuneplanens arealdel. Områdene er i dag uregulert. I den forbindelse har Norconsult i samarbeid med Sørfold kommune kommet fram til at luftforurensning er en av de tematiske utredningene som skal gjennomføres som del av prosessen.

Elkem Salten er et selskap som har mange nye kommende prosjekter, samt rehabiliteringsprosjekter på gang på Valljord, Straumen. Da det ikke finnes reguleringsplan for det aktuelle området kreves det omfattende dispensasjonsbehandling når det skal søkes om byggetillatelse for de enkelte tiltak. En godkjent reguleringsplan for området vil hjelpe på dette, samt at det blir mer forutsigbart for omgivelsen hva som er tillatt innenfor planområdet.

1.2 Lokalisering av planområdet

Planområdet er lokalisert rett nord/nordvest for kommunesenteret i Sørfold, Straumen, og området heter Valljord. Geografisk plassering og oversikt over planområdet er vist i henholdsvis Figur 1 og Figur 2.



Figur 1: Geografisk plassering av planområdet. Kartkilde: kart.finn.no



Figur 2: Oversikt over planområde. Kilde: Planbeskrivelse for reguleringsplan (Norconsult)

1.3 Dagens produksjon og produksjonsprosess

Hovedproduktene som produseres ved Elkem Salten er silisium med renhet varierende fra 96-99%, Elkem Microsilica og SIDISTAR, som begge er produkter av SiO_2 .

Elkem Salten har i dag tre smelteovner ifm. produksjonen av silisium og silikaprodukter. Den første elektriske ovnen kom i drift i 1967, etterfulgt av ovn 2 og ovn 3 i henholdsvis 1970 og 1972. Den tredje ovnen er den største.

1.4 Tiltaket

Det vises til planbeskrivelse for reguleringsplan for en helhetlig omtale av tiltaket. Hovedtrekkene går ut på å klargjøre den sørlige delen av planområde for bruk til framtidig industri- og næringsvirksomhet, samt å etablere en tømmerkai i nordøstre del av planområdet. Spesielt relevant for utredning av utslipp til luft er:

- Bidrag til luftforurensning fra dagens virksomhet

1.5 Hva som vurderes og inngår i modelleringene

Fra planprogrammet:

«Områdets lokale luftkvalitet vurderes ved å sammenligne resultatene fra beregningene med grenseverdier i forurensningsforskriften/utslippstillatelser og retningslinjene i T-1520 Retningslinje for behandling av luftkvalitet i arealplanlegging. Gjennom Forurensningsforskriften § 7 er det fastsatt juridisk bindende krav til luftkvalitet.»

Fra retningslinje T-1520 fremkommer det at luftforurensning i form av svevestøv (PM₁₀) og nitrogendioksid (NO₂) skal vurderes i plansammenheng.

Utslipp som inngår i modelleringen er målte og beregnede punktutslipp av henholdsvis NO_x (som NO₂) og partikulært utslipp (i form av PM₁₀), fra forskjellige deler av produksjonslinjen i 2019.

Muligheten for videre utvidelse av industri- og næringsområdet ligger sør for Elkem Salten, da områdene i nord, øst og vest består av sjøarealer. Det planlegges foreløpig å bruke det utvidede området til lagringsplass for tømmer og annet anleggsutstyr. Det planlegges ikke for ny virksomhet som vil ha utslipp til luft.

1.6 Avbøtende tiltak som gjøres i dag

Elkem Salten jobber kontinuerlig med tiltak for å redusere utslipp til luft. Både ovn 2 og 3 er bygd om med ny skorstein og ovnsforing for å redusere NO_x utslipp, i tillegg til diffuse utslipp. Ved å gjennomføre denne ombyggingen ble NO_x utslippet redusert betydelig [1]. Ovn 1 skal gjennomgå en tilsvarende ombygging sommeren 2020. Det har i tillegg blitt installert avtrekkssystem ved tappesonene på ovn 2, som reduserer støvflukt. Dette skal gjøres på ovn 1 sommeren 2020, og planlegges også for ovn 3.

Kull, og spesielt biokull, kan støve mye under transport og håndtering. Elkem Salten har et skummingsanlegg som kan benyttes når det observeres mye støvflukt fra biokullet. En andel av det fossile kullet blir levert i «bigbags» for å redusere støvflukt. Få leverandører tilbyr denne løsningen, og det meste av kullet/biokullet blir derfor levert som bulkvarer.

1.7 Oppbygging av rapporten

I rapporten gjennomgås kravene i bedriftens utslippstillatelse og myndighetskrav til lokal luftkvalitet (Forurensningsforskriften del 7), i tillegg til retningslinje T-1520. Grenseverdiene er presentert i kapittel 2.

Vurderingene baseres på modellering av spredning av luftforurensning. Forutsetningene som ligger til grunn for modelleringene, som data for utslippspunkter og utslippsmengder, er presentert i kapittel 3. Det er sett på partikulært utslipp (i form av PM₁₀) og NO_x utslipp (som NO₂). Beskrivelse av data brukt i modelleringsprogrammet er presentert i kapittel 4.

Resultatene og vurderingene av spredningsberegningene er presentert i henholdsvis kapittel 5 og 6.

2 Utslippskrav og krav til lokal luftkvalitet

2.1 Utslippskrav

Elkem har «Tillatelse til virksomhet etter forurensningsloven» (utslippstillatelse) fra Miljødirektoratet som setter grenseverdier for utslipp fra virksomheten. Produksjonen ved dagens anlegg er begrenset til 180.000 tonn/år silisiumprodukter, hvorav metallproduksjon er på inntil 130.000 tonn/år og produksjon av Microsilica og Sidistar er på inntil 50.000 tonn/år. Gjeldene tillatelse er fra 27.03.1996, og ble sist endret 18.09.2019 [2]. Utdrag fra utslippstillatelsen som gjelder komponenter som er relevante for denne utredningen er vist i Tabell 1 og Tabell 2.

Tabell 1: Utdrag fra kapittel 4.1 (punktutslipp) av utslippstillatelsen til Elkem [2].

Kilde	Komponent	Utslippsgrense		Gjelder fra
		Korttidsgrense mg/Nm ³ ¹⁾ midlingstid døgn ³⁾	Langtidsgrense /år ²⁾	
Samlet utslipp fra hovedfilter, KSP og nødskorstein	Støv	-	230 tonn	d.d.
Hovedfilter	Støv	5	-	1.1.2020
KSP1	Støv	5	-	1.1.2020
KSP2	Støv	5	-	1.1.2020
Samlet utslipp fra verket	SO ₂	-	2000 tonn	d.d.
Samlet utslipp fra verket	NO _x	-	2000 tonn	d.d.

¹⁾ Grenseverdiene gjelder ikke ved opp- og nedkjøring, lekkasjer, funksjonsfeil på anlegget, plutselig driftsstans og nedleggelse av virksomheten. Utslippsbegrensningene gjelder for uforynnnet avgass.

²⁾ Utslippene fra ovnene som skjer ved en belastning under 30 % av ovnenes nominelle transformator kapasitet er omfattet av langtidsgrensene.

³⁾ Midlingstid døgn gjelder ved kontinuerlig måling. Dersom det ikke benyttes kontinuerlig måling, gjelder grenseverdien som snitt over prøvetakingsperioden.

Tabell 2: Utdrag fra kapittel 4.2 (diffuse utslipp) av utslippstillatelsen til Elkem [2].

Kilde	Komponent	Utslippsgrense	Gjelder fra
		Langtidsgrense /år	
Produksjonshall	Støv	70 tonn	d.d.
Håndtering og lagring av råvarer	Støv	10 tonn	d.d.

2.2 Luftforurensning, lokal luftkvalitet og helse

Luftforurensning generelt kan forårsake og forverre luftveislidelser, som videre kan medføre økt risiko for kreft og hjerte- og karsykdom. Eksponering gir generelt økt sykkelighet og dødelighet. I tillegg kommer redusert sikt, skitt og redusert trivsel.

2.2.1 Grenseverdier

EU har vedtatt et direktiv om luftkvalitet (Dir1999/30/EF) som er implementert i norsk lovgivning i form av del tre, kapittel syv i forurensningsforskriften [3]. Gjennom denne forskriften fastsettes juridisk bindende krav til luftkvalitet. Grenseverdier gitt i forurensningsforskriften er presentert i Tabell 3 og Tabell 4.

Tabell 3: Gjeldende grenseverdier for helse i forurensningsforskriften i $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

	NO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
	Midlingstid: 1 time	Midlingstid: 1 år	Midlingstid: 1 døgn	Midlingstid: 1 år
Gjeldende grenseverdi forurensningsforskriften	200	40	50	25
Antall tillatte overskridelser årlig	18		30	

Myndighetene har videre utarbeidet en retningslinje for behandling av luftkvalitet i arealplanlegging, T-1520, som treddet i kraft i 2012 [4]. Retningslinje T-1520 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. Den skal også benyttes ved utvidelse eller oppgradering av eksisterende virksomhet som vil medføre en vesentlig økning i luftforurensning. Retningslinjen anbefaler grenser for luftforurensning og deler inn i rød og gul sone (se Tabell 4). Nedre grense for sonene skal legges til grunn ved planlegging av virksomhet eller bebyggelse med bruksformål som er følsomt for luftforurensning, det vil si grensene for gul sone.

Tabell 4: Anbefalte grenser for luftforurensning og kriterier for soneinndeling ved planlegging av virksomhet eller bebyggelse, T-1520, i $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Komponent	Luftforurensningssone ¹⁾	
	Gul sone	Rød sone
Svevestøv, PM ₁₀	35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 7 døgn per år	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 7 døgn per år
Nitrogendioksid, NO ₂	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ vintermiddel ²⁾	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ årsmiddel
Helserisiko	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.

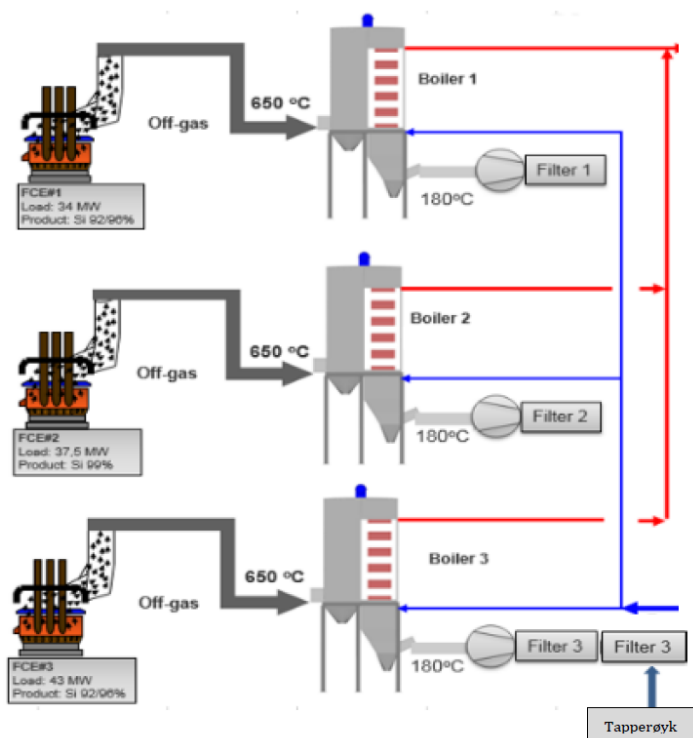
1) Bakgrunnskonsentrasjonen er inkludert i sonegrensene.

2) Vintermiddel defineres som perioden fra 1. nov til 30. april.

3 Beregningsforutsetninger

3.1 Utslipp av NO_x

Elkem har tre smelteovner som genererer utslipp av NO_x. Avgassen fra smelteovnene går til et renseanlegg for partikler, hvor gassen renses og slippes ut. Ovn 2 og 3 ble bygget om i henholdsvis 2013 og 2016, for å redusere NO_x utslippet. Ovn 1 er planlagt å ombygges ila. 2020, med samme formål. I tillegg pågår det et energigjenvinningsprosjekt, som skal ferdigstilles ila. 2020. Prosjektet medfører at utløpstemperaturen og hastigheten til filterne blir redusert.



Figur 3: Flytskjema som viser avgasstrømmen etter at energigjenvinningsprosjektet er ferdigstilt [5].

3.2 Partikkelutslipp

De tre smelteovnene ved Elkem Salten genererer avgass med partikler og avgassen går til renseanlegg før utslipp til luft, se Figur 3. Partikkelutslippet fra hele driften av anlegget deles inn i fire kategorier ut ifra dets opphav; utslipp fra filterne, nødskorstein, knuse- og sikteanlegget for silisiumproduksjon (KSP anlegget) og diffuse utslipp.

Det er utført spredningsberegninger for utslippet fra filterne og KSP anlegget.

3.3 Utslippsmengder

Utslippsmengdene som er benyttet i modelleringene er fra målinger og beregninger gjort i 2019. Beregningsforutsetningene for NO_x - og partikkelutslipp ble levert av Elkem Salten.

Omtrentlig plassering av utslippene fra filtrene, KSP anlegget og nødskorsteinen er vist i Figur 4. Diffuse utslipp er vanskelig å måle og plassere, og er derfor ikke vist i figuren.



Figur 4: Kartutsnitt av dagens verk med omtrentlig plassering av utslippspunkter.

Grunnlagsdata for utslipp av NO_x er gitt i Tabell 5. Ovn 3 var ute av drift i periodene 08.01.19 – 10.03.19 og 04.11.19 – 12.11.19, mens Ovn 2 var ute av drift i perioden 20.05.19 – 26.06.19. For å kompensere for at ovnene var ute av drift i perioder ıla. året, og dermed ikke bidro til utslipp, ble det totale utslippet delt på driftstiden til ovnene. Slik ble det modellert som om alle tre ovnene var i full drift hele året.

Tabell 5: Beregningsgrunnlag for spredningsmodellering av NO_x (som NO₂) for dagens situasjon, før ombygging av Ovn 1 og ferdigstilling av energigjenvinningsanlegg.

	Benevning	Ovn 1	Ovn 2	Ovn 3
Normalisert avgassmengde (før fortytning)	Nm ³ /time	361 899	221 954	313 261
Fortynningsfaktor		2	2	2
Gjennomsnitt avgasstemperatur før/etter* fortytning	°C	276/127	314/127	322/127
Avgassmengde (etter fortytning)	m ³ /time	1 060 508	650 414	917 982
Driftstid	Timer per år	8 470	7 655	6 763
Utslipp av NO _x (som NO ₂) **	Tonn/år	686	507	412

*Verdier hentet fra rapport av Norsk Energi [5].

** Utslipet må sees i sammenheng med driftstid i 2019

Grunnlagsdata for partikkelutslippet er gitt i Tabell 6. SINTEF Molab utfører støvmålinger for KSP anlegget ved Elkem Salten. De målte i januar 2019 et partikkelutslipp på 0,05 kg/h, som representerer et utslipp ved normal drift. Dette ble benyttet som grunnlag for modellering av støvutslipp fra KSP anlegget.

Nødskorstein er installert for å kunne ta unna røykgass fra ovnene, i tilfeller det er fare for at filteret kan få skader. Det ligger derfor inne grenser for parametere for når spjeldene skal åpnes. Det er installert 2 stk. nødskorstein pr. ovn, for å sikre seg i tilfelle et spjeld ikke åpnes. Spjeldene åpnes typisk ved for høy temperatur på avgassen. Røykrørene ned til filteret er per i dag ikke isolerte, og varmeveksler kun med luft. Spjeldene åpnes for å beskytte filterposene, som er laget av GoreTex og ikke tåler for høy temperatur.

Det planlegges ikke for bruk av nødskorstein, og de benyttes/aktiveres kun i nødstilfeller (f.eks. uforutsett vedlikehold på deler av filteret som er akutt). Bruk av nødskorstein er regulert i utslippstillatelsen, og det tillates bruk i inntil 1% av driftstiden. Elkem Salten varsler myndigheter og nærsamfunn ved miljøutslipp eller fare for miljøutslipp for å ivareta tiltaksplikten ved økt forurensningsfare. Varslingsmelding sendes ut til Miljødirektoratet, Sørfold kommune og politi.

Tabell 6: Målte og beregnede partikkelutslipp ved Elkem Salten i 2019.

Utslipp	Benevning	Filter 1	Filter 2	Filter 3	Nødskorstein	Diffuse utslipp
Partikkelutslipp	Tonn	14,7	11,0	15,1	35,9	100,4

4 Spredningsberegninger

4.1 Modellering – AERMOD

Programvaren som er benyttet er AERMOD View, fra Lakes Environmental. AERMOD er en gaussisk spredningsmodell, godkjent og anbefalt av EPA (United States Environmental Protection Agency). Modellen er også godkjent av norske myndigheter. Programmet simulerer fysiske atmosfæriske prosesser og gir estimater på konsentrasjoner i omgivelsene over et vidt spekter av meteorologiske forhold og modelleringsscenarier.

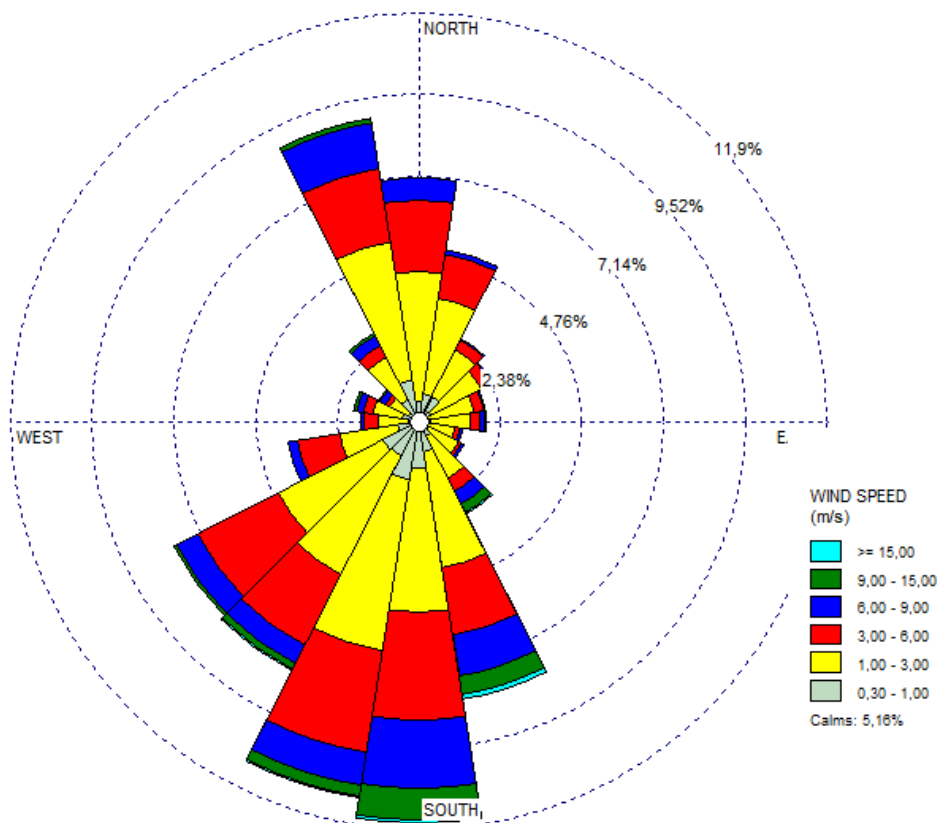
Modellen er basert på blant annet blandingshøyde, temperatur og temperaturprofil, atmosfærens turbulente egenskaper, samt komplekse terrengmodeller. Den inkluderer beregninger av stedsspesifikke parametere for å beskrive dannelse av atmosfæriske grensesjikt, godt utviklede formler for spredning som inkluderer lagdeling, konvektive forhold og stabile inversjonslag, vertikale profiler for vind, temperatur og turbulens. AERMOD gir visuell presentasjon av resultatene.

Beregningene er gjort for NO_x (som NO₂) og støv (som PM₁₀) som utslippsparametere. Det er gjort beregninger for timesmidlet og døgnmidlet verdier, samt årsmiddel og vintermiddel for bakkekonsentrasjoner 2 m over bakken.

Årlig bakgrunnsverdien for NO₂ og PM₁₀ ble satt til henholdsvis 6 µg/m³ og 5,4 µg/m³. Verdiene er hentet fra ModLUFT, en applikasjon utviklet av Norsk Institutt for Luftforskning (NILU) som gir et anslag over gjennomsnittlige stedsspesifikke bakgrunnskonsentrasjoner.

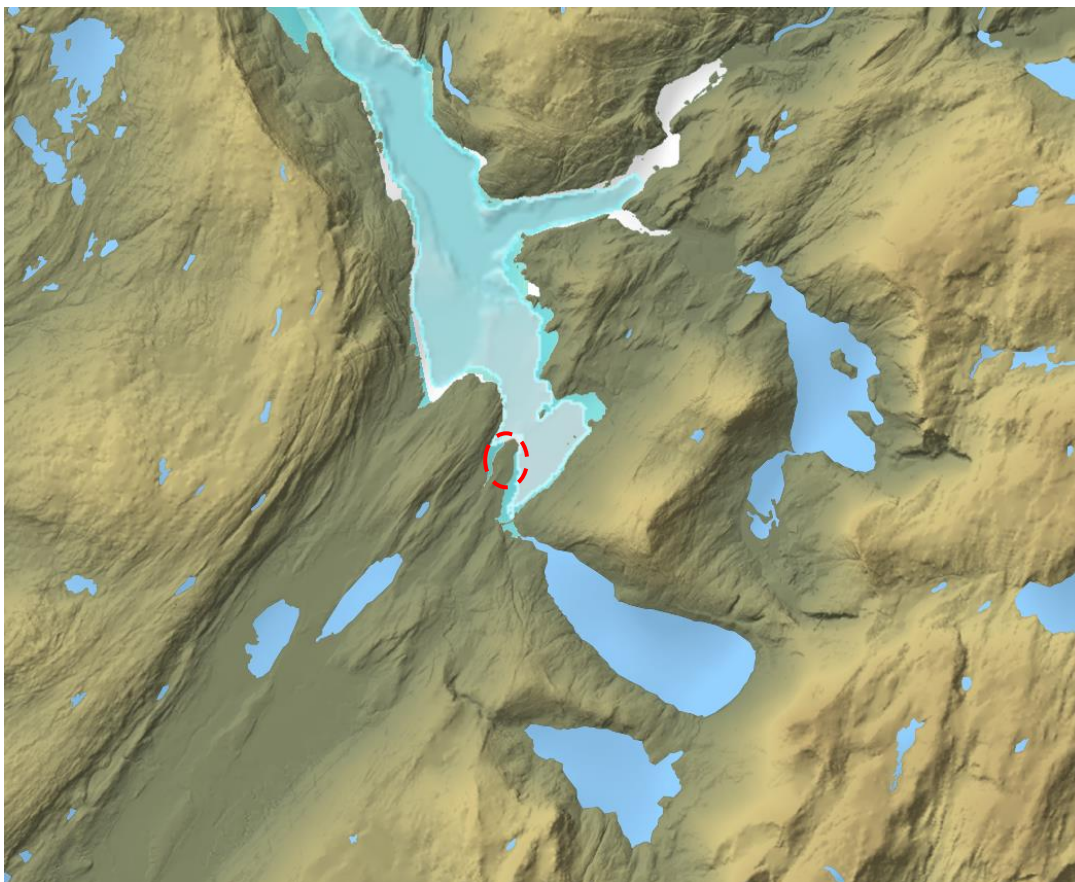
4.2 Meteorologi og lokalklimatisksituasjon

De meteorologiske parameterne som trengs i AERMOD er temperatur, luftfuktighet, lufttrykk, vindretning, skydekke, vindhastighet, skyhøyde, jordstråling og nedbørsmengder. De meteorologiske dataene for området rundt Elkem Salten ble levert av Kjeller Vindteknikk. For å modellere de meteorologiske parameterne ble Weather Research and Forecast (WRF) modellen benyttet. Informasjon om modelleringen er gitt som vedlegg. Det ble benyttet meteorologiske data for årene 2014-2018. Resultatene av spredningsberegningene representerer konsentrasjoner ved det verste meteorologiske scenarioet. Vindrose for årene 2014-2018 for planområdet er vist i Figur 5. De mest framtrepende vindretningene er fra sør, sørvest og nordvest. Det er vindstille ca. 5 % av tiden.



Figur 5: Vindrose for området rundt Elkem Salten. De mest framtrepende vindretningene er fra sør, sørvest og nordvest.

Terrengdataen er basert på data hentet fra kartverkets database høydedata.no [6]. Anlegget ligger omringet av fjell med høyder opp mot 900 moh. Kartutsnitt av terrenget rundt anlegget er vist i Figur 6.



Figur 6: Terrenget rundt Elkem Salten. Kartkilde: norgeskart.no

4.3 Omdanning av NO_x til NO_2

AERMOD har inkludert forenklet NO_x -kjemisk (Plume Volume Molar Ratio Method (PVMRM), Ambient Ratio Method (ARM) og Ozon Limiting Method (OLM)). PVMRM metoden ble brukt i modelleringene. Likevekts- og utslipps NO_2/NO_x forholdet ble satt til henholdsvis 0,9 og 0,1. Bakgrunnsverdien av ozon ble hentet fra ModLUFT.

4.4 Anleggs- og utslippsdata

Anleggs- og utslippsdata som ble brukt til spredningsmodellering av NO_x (som NO₂) og PM₁₀ fra filterne er gitt i Tabell 7. Utslipet ble modellert som stack-utslipp med parameterne som er listet i tabellen. Siden det faktiske utslippet skjer gjennom rektangulære utslippspunkt, ble den hydrauliske diameteren benyttet i modellen.

Tabell 7: Utslippsdata brukt til spredningsmodellering av NO_x (som NO₂) og PM₁₀ fra filterne ved Elkem Salten.

Komponent	Benevning	Filter 1		Filter 2		Filter 3	
		NO ₂	PM ₁₀	NO ₂	PM ₁₀	NO ₂	PM ₁₀
Utslippsmengde	g/s	22,5	0,48	18,4	0,40	16,9	0,62
Utslippsareal *	m ²	80		100		150	
Hydraulisk diameter	m	6,7		6,9		7,4	
Avgasstemperatur *	°C	127		127		127	
Utslippshastighet	m/s	3,7		1,8		1,3	
Utslippshøyde	moh.	36		36		36	

*Verdier hentet fra rapport av Norsk Energi [5]

Anleggs- og utslippsdata som ble brukt til spredningsmodelleringen partikkelutslipp fra KSP anlegget er vist Tabell 8. Partikkelutslippet fra KSP anlegget ble modellert som arealutslipp, og driftstiden ble satt til å være 8 timer, alle hverdager i året, som er et konservativt anslag.

Tabell 8: Utslippsdata brukt til spredningsmodellering av PM₁₀ ved Elkem Salten.

	Benevning	Utslipp fra KSP
Utslippsmengde	g/s	0,014
Utslippshøyde	moh.	11

Utslippene som er inkludert i modelleringene representerer normal drift ved verket. Siden nødskorsteinene kun benyttes i nødstilfeller og ikke ved normal drift, ble ikke disse utslippene inkludert. Bruk av nødskorstein er regulert i utslippstillatelsen, og det tillates bruk i inntil 1% av driftstiden. Elkem Salten varsler myndigheter og nærsamfunn ved miljøutslipp eller fare for miljøutslipp for å ivareta tiltaksplikten ved økt forurensningsfare. Bruk av nødskorstein (på grunn av høy temperatur) vil også reduseres til et minimum når energigjenvinningsanlegget settes i drift i 2020.

Det er ikke gjort målinger av diffuse utslipp på anlegget og det er stor usikkerhet knyttet til de foreliggende beregningene av mengder og konsentrasjoner for diffuse utslipp. Disse er derfor ikke tatt med i beregningene.

4.5 Usikkerheter

Spredningsmodeller gir mulighet til å kvantifisere hvordan ulike meteorologiske, kjemiske og fysiske forhold påvirker luftkvaliteten og utslipp fra ulike kilder. Som planleggingsverktøy vil de kunne kartlegge luftforurensning i tid og rom, kvantifisere effekten av ulike tiltak og beregne scenarier for fremtidige utslippssituasjoner.

Modeller er forenklinger av virkeligheten (de faktiske forhold), og inngangsdata er nesten alltid forenklet. Derfor vil resultatene også inneholde usikkerhet. Unøyaktige inngangsdata og usikkerhet i modellene er ikke uavhengig av hverandre. Feil i inngangsdata eller tilnærmingen til disse, i parameterverdier, modellstruktur og modellens algoritmer er alle kilder til usikkerhet. Noen kilder til usikkerhet, er for eksempel [7]:

1. Usikkerhet i inngangsdata:
 - Unøyaktighet i angivelse av randverdier og starttilstand
 - Unøyaktighet i inngangsdata for utslipp
 - Unøyaktighet i beskrivelse av meteorologiske forhold
2. Usikkerhet i modellen:
 - Usikkerhet i modellstruktur og parameterverdier
 - Variasjoner av observerte inndata og resultater på mindre romlig skala enn modellens oppløsning
 - Variasjoner av observerte inndata og resultater med kortere tidsoppløsning enn modellens oppløsning
 - Feil i metode ved kombinasjon av modeller med ulik rom og tidsoppløsning
3. Numeriske feil:
 - Feil i modellens algoritme

I tillegg til usikkerhetsfaktorene nevnt ovenfor kommer såkalt «inherent uncertainty» (iboende usikkerhet), dvs. usikkerhet som skyldes at spredningen reelt varierer ved samme meteorologiske forhold [8].

Antagelser og forenklinger som er gjort i denne utredningen er:

- Antagelser/forenklinger gjort ifm. utslipp fra filtrene:
 - Antatt temperatur på avgass
 - Utslipp modellert som sirkulære punktutslipp
- Antagelser/forenklinger gjort ifm. KSP anlegget
 - Utslipp modellert som arealutslipp
 - Antagelser gjort ifm. driftstid
 - Utslippsmengde basert på målinger for 1 måned i 2019

Meteorologidata ble levert av Kjeller Vindteknikk. Metoden de benytter er beskrevet i vedlegg. Da meteorologidataene også er modellerte data, forventes det å være usikkerheter knyttet til disse.

For å redusere usikkerhetene kan man kalibrere modellen mot målte verdier. Det har blitt gjort støvmålinger samt NO₂ målinger ved flere plasseringer rundt verket i henholdsvis år 1997-99 og 2011/13 [9]. Både de partikulære utslippene og NO_x utslippene er redusert siden sist det ble gjort målinger. Modellen viste lavere verdier enn de som tidligere har blitt målt, og modellene ble derfor ikke kalibrert mot disse målingene.

Modelleringsfilene har blitt sendt inn til Lakes Environmental, produsent av AERMOD View, for å verifisere at modellen beregner spredningen som den skal. De kan derimot ikke verifisere inndata, meteorologi og andre parametere som brukeren legger inn i modellen.

4.6 Tidligere utredninger

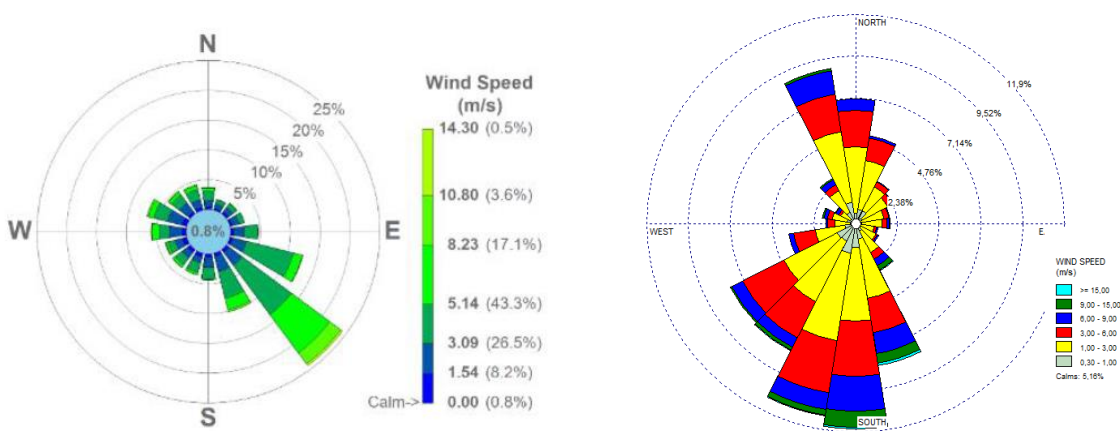
Norsk Energi utførte spredningsmodelleringer for utslipp fra Elkem Salten i januar 2019, som inkluderte spredningsmodelleringer av NO_x utslipp (som NO₂). Beregningene ble gjort i forbindelse med planleggingen av installasjon av energigjenvinningsanlegg for avgass fra ovnene, og det ble presentert resultater før og etter installasjon av energigjenvinningsanlegget.

Resultatene viste at konsentrasjonene av NO₂ var godt under grenseverdiene i forurensningsforskriften. De høyeste konsentrasjonene ble beregnet til å forekomme på høydedrag uten bebyggelse ca. 700 m vest/nordvest for utslippsstedet.

Modellen som ble benyttet i Norsk Energi sin utredning var AERMOD, som er det samme som benyttet i denne utredningen. Det er derimot flere forskjeller på metodene som ble benyttet. Norsk Energi benyttet buoyant line source som utslippsparemetere, mens i denne utredningen ble det benyttet stack-utslipp med hydraulisk diameter. Det er flere forskjeller mellom disse utslippskildene, som f.eks. hvordan man legger inn parametere som gasshastighet, gassstemperatur og utslippsmengde. For buoyant line source er det ikke mulig å ha ulike utslippsforhold fra flere kilder, og utslippet må settes likt for alle tre ovnene. For stack-utslipp kan alle utslippsforhold bestemmes individuelt. Dette vil påvirke spredningsanalysen og gjør at resultatene i denne rapporten ikke kan direkte sammenlignes med resultatene fra Norsk Energi sin rapport. I tillegg er utslippsmengdene forskjellige for de to utredningene.

Meteorologien benyttet av Norsk Energi er også forskjellig fra det som er benyttet i denne utredningen, som kan sees fra vindrosene i Figur 7. Vindrosen fra rapporten til Norsk Energi viser en fremherskende vindretning fra sørøst, mens vindrosen i denne utredningen viser fremherskende vindretning fra sør, sørvest og nordvest. Norsk Energi benyttet værdata fra år 2016, mens i denne utredningen er det benyttet meteorologi fra år 2014-2018. Meteorologiske data i begge utredningene er basert på modellerte meteorologidata (WRF) for området, men er innhentet fra forskjellige kilder. I tillegg til at vindretningene er ulike, er også vindhastighetene noe ulike ved at det er mer rolig vind i meteorologidataene benyttet i denne utredningen.

Meteorologien er en viktig del av spredningsmodelleringene, og kan påvirke resultatene i stor grad. Da det ikke er en målestasjon på verket, slik at målte steds spesifikke meteorologidata kan brukes, benyttes det isteden modellerte meteorologidata for området, med forskjellig grad av usikkerheter. Usikkerheten i meteorologien er derfor en signifikant kilde til usikkerhet i resultatene.



Figur 7: Vindrose fra Norsk Energi sin rapport (tv.) [5] sammenlignet med vindrose fra denne utredningen (th.).

5 Resultater

Det er utført modelleringer og utarbeidet spredningskart som viser konsentrasjonene av NO_x (som NO₂) og PM₁₀ i forhold til kravene til lokal luftkvalitet i forurensningsforskriften og Retningslinje T-1520. Overskridelser av grenseverdier i T-1520 er vist med gule og røde soner. Overskridelser av grenseverdiene i forurensningsforskriften er også markert med røde soner. Grenseverdiene er gitt i Tabell 3 til Tabell 4 i kapittel 2.2.1.

Planområdet er indikert med rødt omriss i spredningskartene. Vær oppmerksom på at konsentrasjonsskalaen er ikke lik for alle spredningskartene.

5.1 Beregnet bakkekonsentrasjon av NO₂

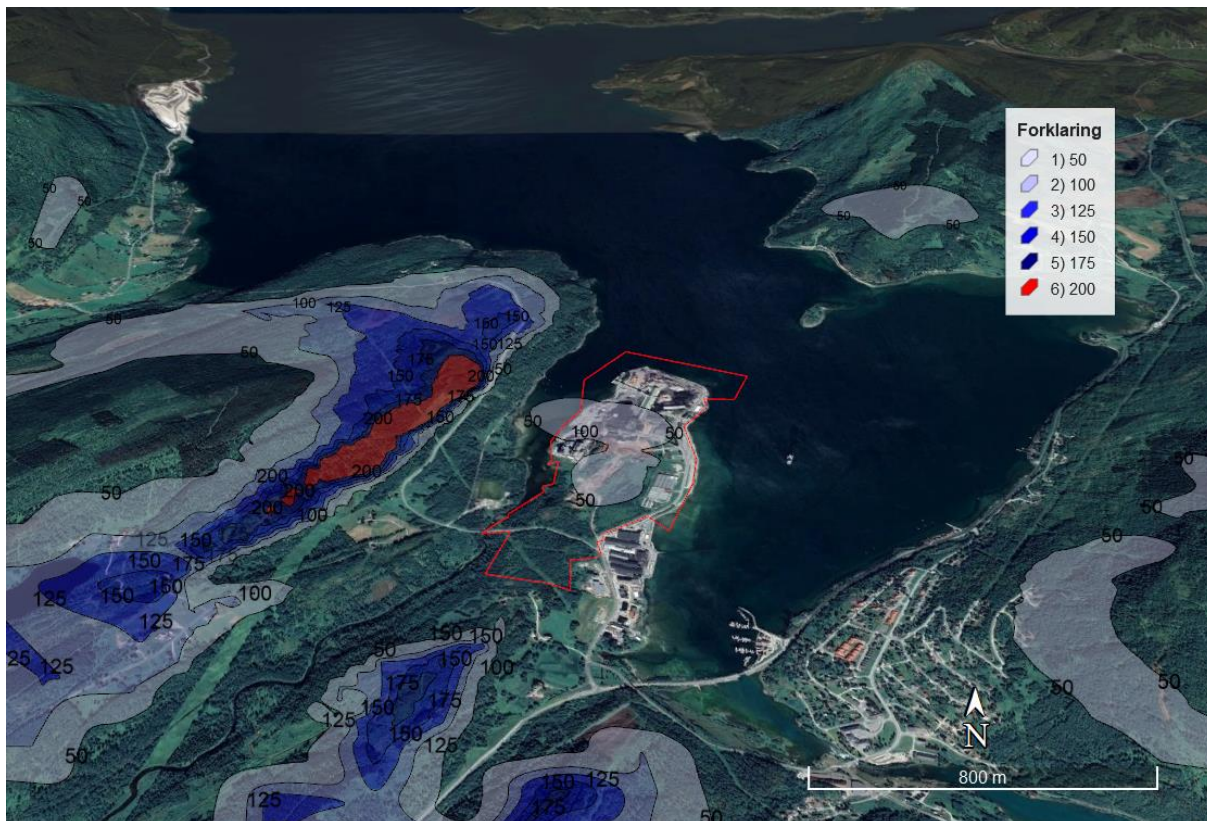
Resultatene for NO₂ viser at utslipp fra dagens virksomhet ikke påvirker det nye utvidede industriområdet, og at ingen områder i eller rundt planområdet ligger i gul eller rød sone etter retningslinje T-1520.

Korttidsgrenseverdien for NO₂ i forurensningsforskriften kan overskrides vest for planområdet. Grenseverdien gjelder for helse, og det er ingen bebyggelse i området med overskridelser.

Årsmiddelkonsentrasjonen av NO₂ i og rundt planområdet overskrider ikke grenseverdien for helse i forurensningsforskriften.

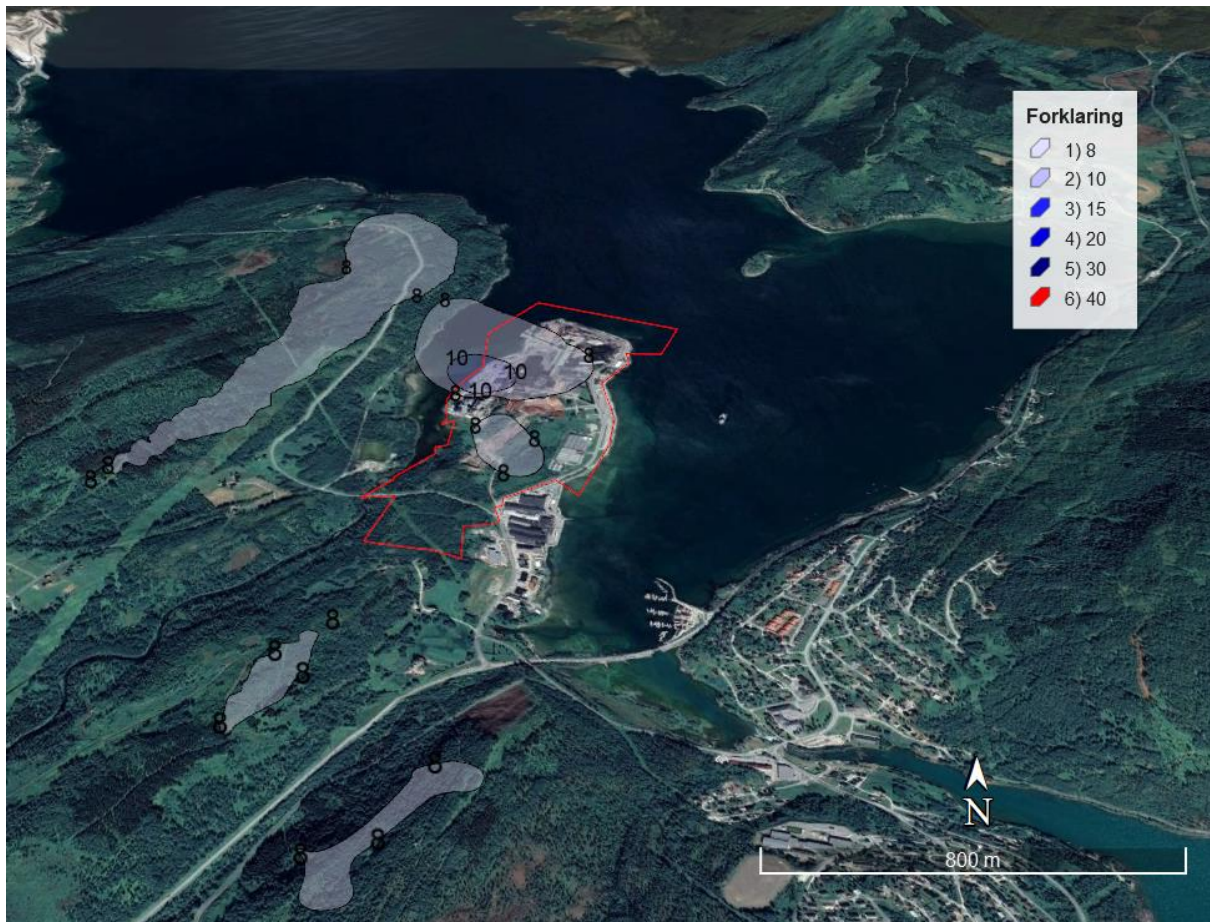
5.1.1 Grenseverdier etter forurensningsforskriften

19. høyeste timesmiddel



Figur 8: Spredningskart som viser 19. høyeste timesmiddelkonsentrasjon av NO₂ i µg/m³. Det røde området vest for planområdet viser der grenseverdi i forurensningsforskriften overskrides. Planområdet er vist med rødt omriss.

Årsmiddel

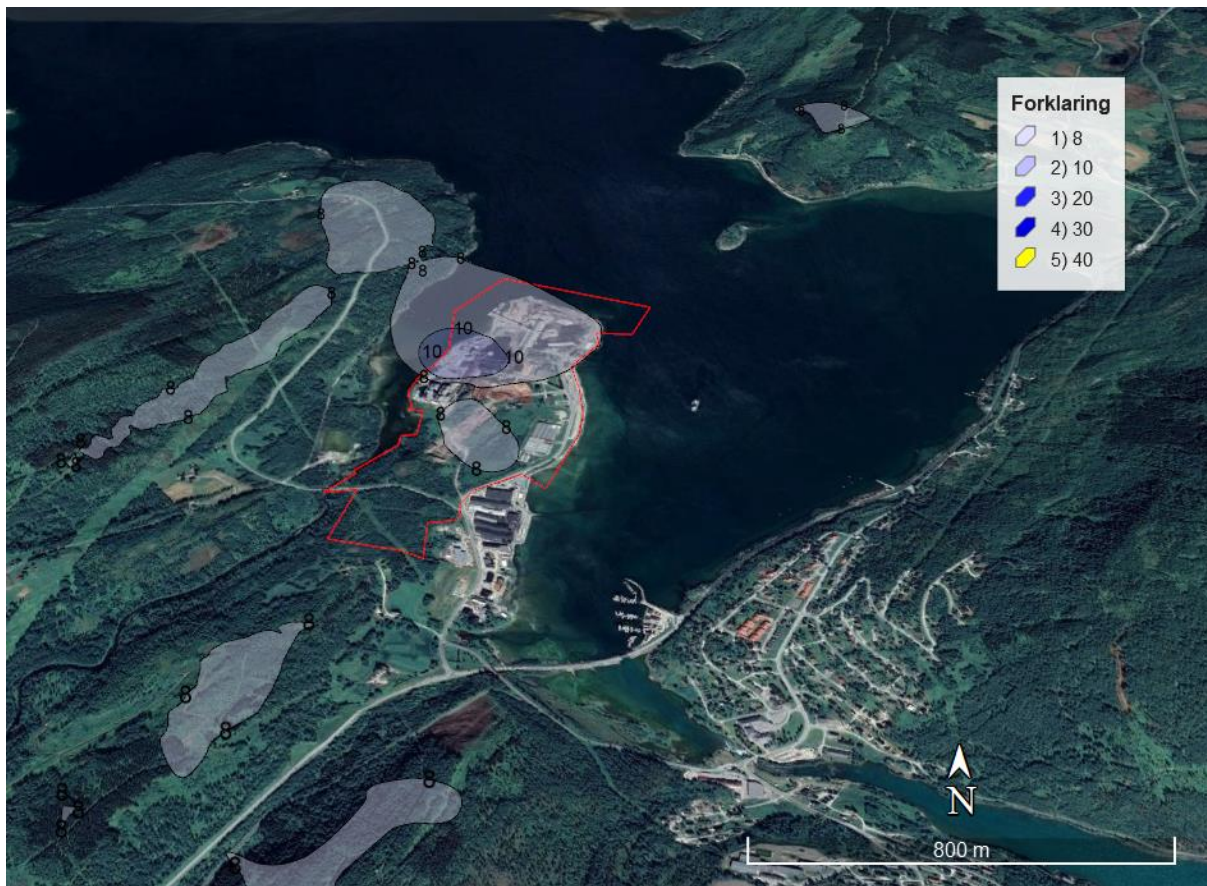


Figur 9: Spredningskart som viser årsmiddelkonsentrasjonen av NO_2 i $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Grenseverdien i forurensningsforskriften overholdes i og rundt planområdet. Ingen områder ligger i rød luftforurensningssone etter retningslinje T-1520. Planområdet er vist med rødt omriss.

5.1.2 Grenseverdier etter retningslinje T-1520

Rød sone i retningslinje T-1520 omhandler årsmiddelkonsentrasjonen av NO₂, og verdien er den samme som i forurensningsforskriften (se Figur 9). Gul sone i retningslinjen omhandler vintermiddelkonsentrasjonen av NO₂ (se Figur 10).

Vintermiddel



Figur 10: Spredningskart som viser vintermiddelkonsentrasjonen av NO₂ i µg/m³. Ingen områder ligger i gul luftforurensningssone etter retningslinje T-1520. Planområdet er vist med rødt omriss.

5.2 Beregnet bakkekonsentrasjon av PM₁₀

Resultatene for PM₁₀ viser at utslipp fra dagens virksomhet ikke påvirker det nye utvidede industriområdet, og at ingen områder i eller rundt planområdet ligger i gul eller rød sone etter retningslinje T-1520.

Utslipp som er tatt med i modelleringene er partikulært utslipp fra filtrene, samt KSP anlegget. Resultatene viser at ingen områder overskrider grenseverdiene i forurensingsforskriften.

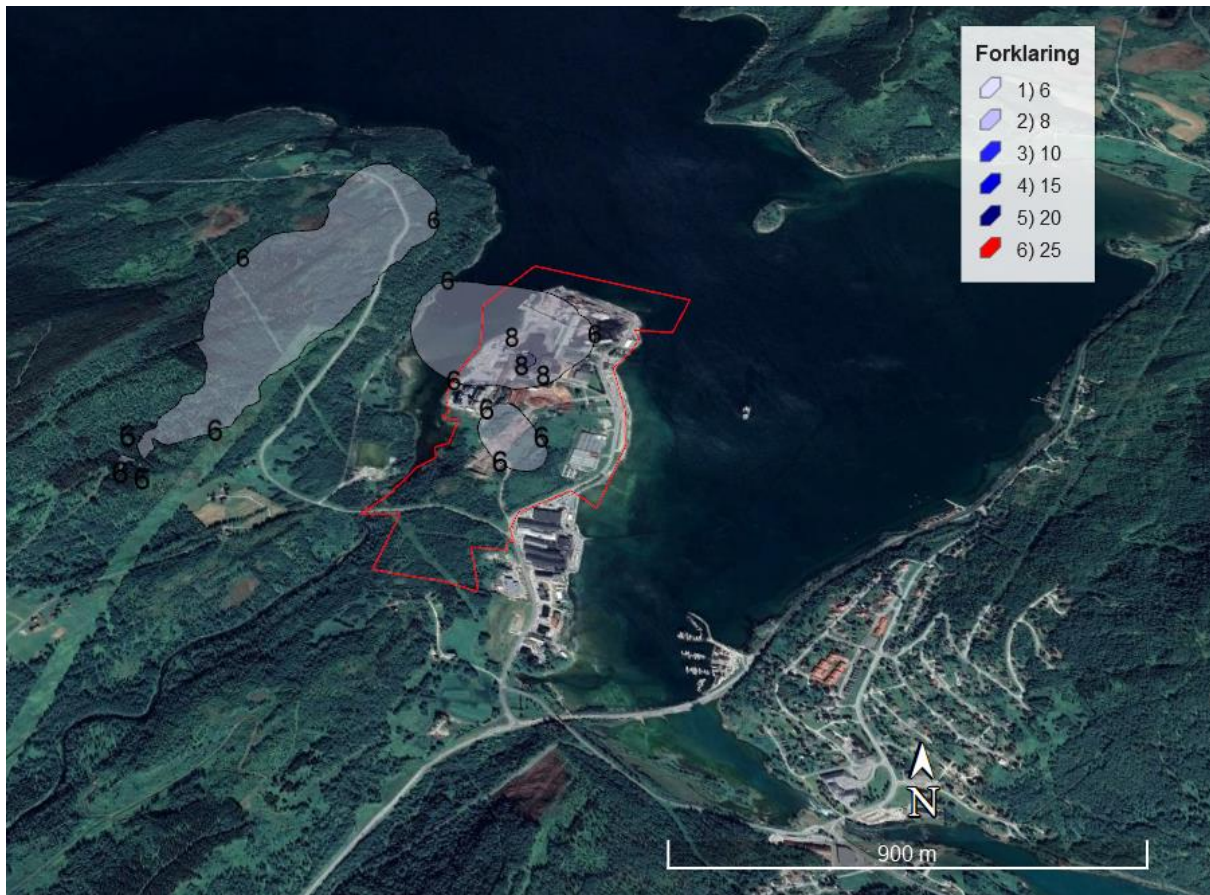
5.2.1 Grenseverdier etter forurensingsforskriften

31. høyeste døgnmiddel



Figur 11: Spredningskart som viser 31. høyeste døgnmiddelkonsentrasjon av PM₁₀ i µg/m³. Ingen områder overskrider grenseverdi i forurensingsforskriften. Planområdet er vist med rødt omriss.

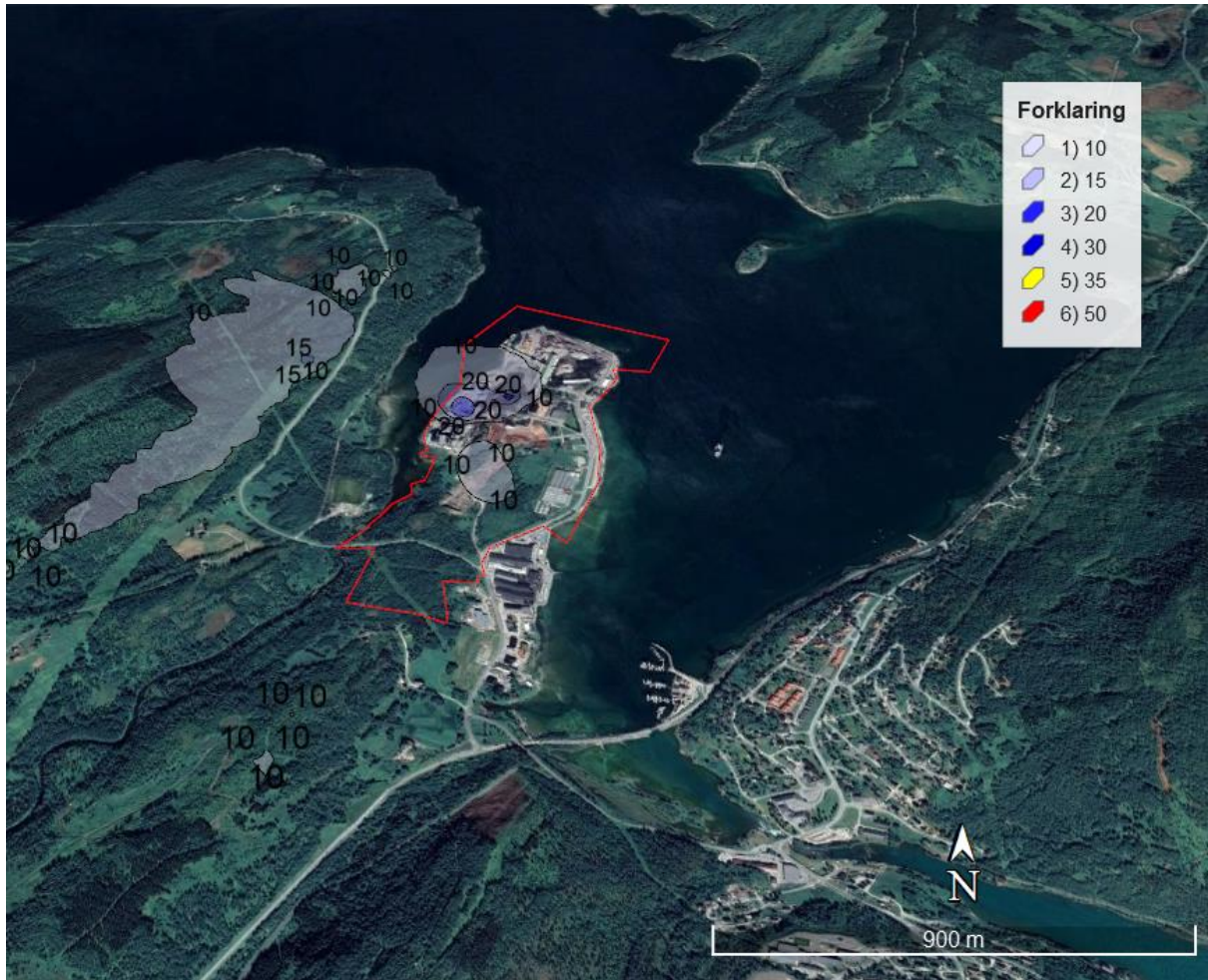
Årsmiddel



Figur 12: Spredningskart som viser årsmiddelkonsentrasjonen av PM_{10} i $\mu g/m^3$. Ingen områder overskrider grenseverdien i forurensningsforskriften. Planområdet er vist med rødt omriss.

5.2.2 Grenseverdier etter retningslinje T-1520

8. høyeste døgnmiddel



Figur 13: Spredningskart som viser 8. høyeste døgnmiddelkonsentrasjon av PM_{10} i $\mu g/m^3$. Ingen områder ligger i gul eller rød luftforurensningszone etter retningslinje T-1520. Planområdet er vist med rødt omriss.

6 Vurdering av resultatene

Resultatene viser at luftforurensning fra dagens verk ikke påvirker det nye utvidede industriområdet, og siden det ikke skal komme virksomhet på dette området som har utslipp til luft vil ikke utvidelsen endre situasjonen mht. luftforurensning.

Resultatene viser at de høyeste konsentrasjonene forekommer vest for planområdet. Det er derimot ingen områder som ligger i gul eller rød luftforurensningssone etter retningslinje T-1520, for verken NO₂ eller PM₁₀.

Korttidsgrenseverdien for NO₂ i forurensningsforskriften kan overskrides vest for planområdet. Grenseverdien gjelder for helse, og det er ingen bebyggelse i området med overskridelser. Elkem Salten har allerede bygd om to av smelteovnene for å redusere utslipp av NO_x, og skal bygge om den siste ovnen ila. 2020. Dette vil redusere NO_x utslippene ytterligere. Ingen av grenseverdiene i forurensningsforskriften overskrides for PM₁₀.

Modeller er forenklinger av virkeligheten, og resultatene inneholder alltid usikkerheter. Måter å redusere usikkerhetene på er for eksempel å gjøre målinger rundt verket, slik at modellen kan kalibreres mot disse målingene. Meteorologien er også en viktig faktor i spredningsmodelleringene. Ved å sette opp en målestasjon og bruke stedsspesifikke målte data vil usikkerheten i meteorologidataene reduseres betraktelig. Det er et kostbart tiltak å etablere en slik stasjon, og kost-nytte verdien må vurderes.

Reguleringsplanen vil ikke endre situasjonen knyttet til dagens anlegg, og utslippene er regulert av gjeldende utslippstillatelse. Avbøtende tiltak knyttet til mulige overskridelser må skje via andre prosesser enn bestemmelser/krav i reguleringsplanen for det utvidede industriområdet. Oppsummert vurderes eksisterende anlegg ikke å være til hinder for tilrettelegging av nye industriarealer for lettere industri i planområdet.

7 Luftforurensning i anleggsperioden

Anleggsarbeider og anleggstrafikk vil lokalt være en belastning for nærmiljøet. Sprengning, pigging, graving, massehåndtering og massetransport er kilder til spredning av luftforurensning som eksos og partikulært utslipp i anleggsperioden. Det må forventes lokale støvplager som følge av anleggsarbeidet og spesielt ved arbeid i åpen byggegrøp. Spredning av støv fra anleggsområdet vil avhenge av vind og massenes fuktighet, støvpartiklenes størrelse samt omfanget av den støvende aktiviteten.

Det vil være nødvendig med avbøtende tiltak for å minimalisere støvflukt til omgivelsene. Det vil være mulig å redusere omfanget og konsekvensen av anleggsarbeidet ved gjennomføring av avbøtende tiltak for støvspredning. Dette utføres ved behov og spesielt på tørre og vindfulle dager.

Følgende avbøtende tiltak bør gjennomføres i anleggsperioden:

- Støvdemping med vann og eventuelt støvbindende kjemikalier ved utgraving av støvende masser.
- Vanning ved støvende rivearbeider.
- Regelmessig feiing av anleggsveier med hardt dekke.
- Ved behov vanning av anleggsområde og anleggsveger. Støvbindende kjemikalier bør da også vurderes.
- Rengjøring av dekk på anleggskjøretøy før utkjørsel på offentlig vei.
- Tildekking av last hvis støvspredningen blir stor ved transport av masser.

8 Konklusjon

Det er modellert for utslipp til luft ved Elkem Salten ved maksimal produksjon for dagens anlegg. Det planlegges ikke for virksomhet som fører til økt utslipp til luft ved utvidelse av industrianlegget. Beregningene omfatter spredning av NO_x (som NO₂) og partikulært utslipp (som PM₁₀).

Resultatene viser at luftforurensning fra dagens verk ikke påvirker det nye utvidede industriområdet, og siden det ikke skal komme virksomhet på dette området som har utslipp til luft vil ikke utvidelsen endre situasjonen mht. luftforurensning.

Resultatene viser at de høyeste konsentrasjonene forekommer vest for planområdet. Det er ingen områder som ligger i gul eller rød luftforurensningssone etter retningslinje T-1520, for verken NO₂ eller PM₁₀.

Korttidsgrenseverdien for NO₂ i forurensningsforskriften kan overskrides vest for planområdet. Grenseverdien gjelder for helse, og det er ingen bebyggelse i området med overskridelser. Ingen av grenseverdiene i forurensningsforskriften overskrides for PM₁₀.

Reguleringsplanen vil ikke endre situasjonen knyttet til dagens anlegg. Utslippene er regulert av gjeldende utslippstillatelse. Avbøtende tiltak knyttet til de mulige overskridelser må skje via andre prosesser enn bestemmelser/krav i reguleringsplanen for det utvidede industriområdet. Oppsummert vurderes eksisterende anlegg ikke å være til hinder for tilrettelegging av nye industriarealer for lettere industri på de tenkte område.

Anleggsarbeid kan medføre stor belastning på luftkvaliteten, og det må derfor gjøres avbøtende tiltak under anleggsperioden.

9 Referanser

- [1] Elkem ASA Salten verk AS, «Møte i forbindelse med befaring 23.01.2020».
- [2] Miljødirektoratet, «Tillatelse til virksomhet etter forurensningsloven - Tillatelsesnr. 1996.0122.T,» 2019.
- [3] Lovdata, «Forskrift om begrensning av forurensning (forurensningsforskriften)».
- [4] Miljødirektoratet, «T-1520 - Retningslinje for behandling av luftkvalitet i arealplanlegging,» 2012.
- [5] Norsk Energi v/ Dag Borgnes, «Spredningsberegninger SO2 og NO2. Oppdatering med beregninger vedrørende vegetasjon - Elkem Salten,» 2019.
- [6] Kartverket, «Høydedata,» [Internett]. Tilgjengelig: <https://hoydedata.no/LaserInnsyn/>. [Funnet 2020].
- [7] NILU, «Luftkvalitet.info - ModLUFT,» [Internett]. Tilgjengelig: <http://www.luftkvalitet.info/ModLUFT/Modeller/USIKKERHET.aspx>. [Funnet 2020].
- [8] Miljødirektoratet, «Veileder - Spredningsberegning og bestemmelse av skorsteinshøyde,» 2018.
- [9] Det Norske Veritas (DNV), «Teknisk rapport, rapport nr. 98-3473, rev. 02,» 1999.

10 Vedlegg

Notat fra Kjeller Vindteknikk ang. modellering av meteorologi rundt planområdet

To: Cecilia Johanna Håkegård
 From: Maria Enger Hoem
 Location, date: Lillestrøm, 2020-02-25
 Copy to:

► WRF appendix for Elkem, Salten AERMOD data

This memorandum presents information regarding the delivered timeseries at Elkem, Salten, Nordland. Coordinates of point for data extraction is E 782 520, N 7 486 893, EU89 UTM32. The numerical weather forecasting model Weather Research and Forecast (WRF) is used for the data series for two different resolutions; 4 km and 500 m. The first series is the longer timeseries dating back to 1979 and up to the end of 2018, giving 40 years of data. The 500 m resolution time series covers only one year, thus the long timeseries is corrected by the shorter timeseries with higher resolution.

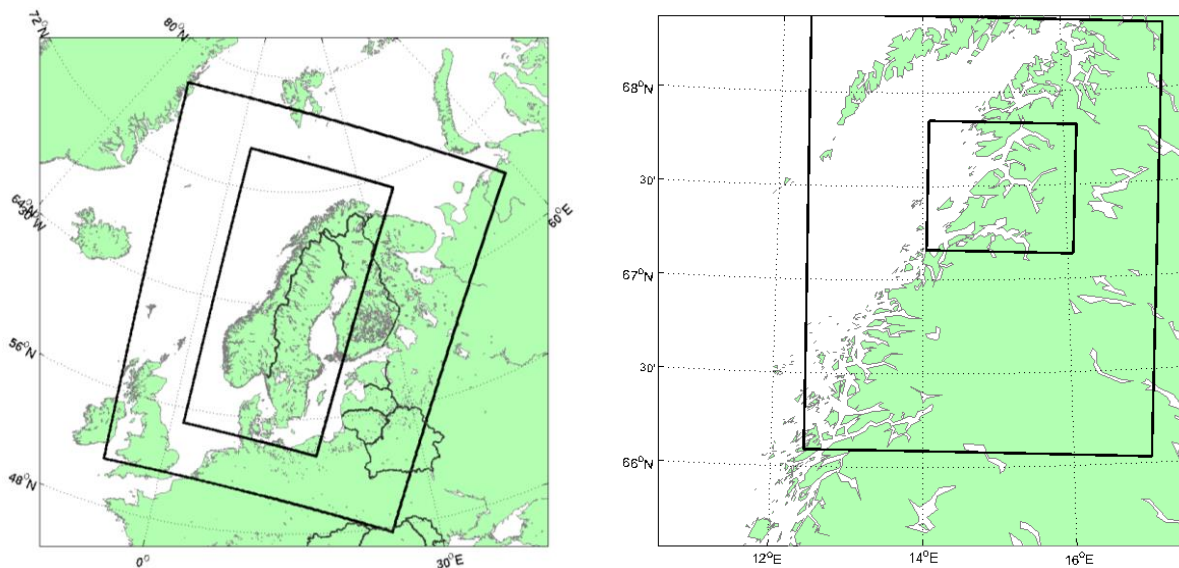


Figure 1: WRF-domains for 4 km x 4 km to the left and for 500 m x 500 m to the right. The inner squares are the domains.

The delivery of the long-term corrected timeseries with 1-hour time resolution consists of excel-files and txt-files on a format requested by the client for use in AERMOD. The variables delivered are mean wind speed times 10 (FF), mean wind direction (DD), temperature (TA), dew point temperature, relative humidity (UU), surface pressure (PO), precipitation 1 h (RR_1), cloud cover (NN), height of cloud cover (HL), and downward short-wave flux at ground surface (QSI).

The data is extracted for the following heights above ground [m]: 18, 59, 115, 193, 291, 413, 564, 737, 920, 1116, 1337, 1584, 1861, 2168 and 2510.

WRF description

The Weather Research and Forecast (WRF) model is a state-of-the-art meso-scale numerical weather prediction system, aimed at both operational forecasting and atmospheric research needs. A description of the modelling system can be found at the home page <http://www.wrfmodel.org/>. The model version used in this work is v3.2.1 described in Skamarock et al. 2008¹. Details about the modelling structure, numerical routines and physical packages available can be found in for example Klemp et al. (2000)² and Michalakes et al. (2001)³. The development of the WRF-model is supported by a strong scientific and administrative community in U.S.A. The number of users is large and it is growing rapidly. In addition the code is accessible for the public.

The most important input data are geographical data and meteorological data. The geographical data is from National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). The data includes topography, surface data, albedo and vegetation. These parameters have large influence for the wind speed in the layers close to the ground. The ERA-Interim reanalysis data with approximately 0.7 degree resolution, available from the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) with 6 hours interval, is used as boundary data for the model. ERA-Interim is a reanalysis dataset resultant from the assimilation of all available observation data globally into a numerical weather prediction model in order to create a description of the state of the atmosphere on a uniform horizontal grid and at uniformly spaced time instants (00, 06, 12 and 18 UTC). The assimilation model incorporates data from several thousand ground based observation stations, vertical profiles from radiosondes, aircrafts, and satellites. See Berrisford et al. (2009)⁴ and Dee et al. (2011)⁵ for further description of the data. Surface roughness and landuse have been updated from Landmåteriets GSD database in Sweden and from the N50 series from Kartverket in Norway.

The model setup used for this analysis is shown in Figure 1.

4 km x 4 km (SWE06_myj)

The model has been set up with 4 km x 4 km horizontal resolution. The model is run with 32 layers in the vertical direction with four layers in the lower 200 m. We have used the Thompson microphysics scheme and the MYJ scheme for boundary layer mixing. The simulation outputs hourly data starting from 01.01.1979 and is updated continuously.

500 m x 500 m (KVT_Sorfolda)

This setup was run for the period January 2014 through January 2015 with a horizontal resolution of 500 m x 500 m and 51 layers in the vertical direction. The ECMWF-ERA Interim dataset is used as input, and the MYJ scheme is used for boundary layer mixing.

¹ Skamarock WC, Klemp JB, Dudhia J, Gill DO, Barker DM, Duda MG, Huang X-Y, Wang W. and Powers JG, 2008: A Description of the Advanced Research WRF Version 3, NCAR Technical Note NCAR/TN-475+STR, Boulder, June 2008

² Klemp JB., Skamarock WC. and Dudhia J., 2000: Conservative split-explicit time integration methods for the compressible non-hydrostatic equations (<http://www.wrf-model.org/>)

³ Michalakes J., Chen S., Dudhia J., Hart L., Klemp J., Middlecoff J., and Skamarock W., 2001: Development of a Next Generation Regional Weather Research and Forecast Model. Developments in Teracomputing: Proceedings of the Ninth ECMWF Workshop on the Use of High Performance Computing in Meteorology. Eds. Walter Zwiefelhofer and Norbert Kreitz. World Scientific, Singapore.

⁴Berrisford P., Dee D., Fielding K., Fuentes M., Kållberg P., Kobayashi S. and Uppala S., 2009: The ERA-Interim archive. Version 1.0., ERA report series.

⁵Dee, D. P. and other authors, 2011: The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system", Quart. J. R. Meteorol. Soc., 2011.