



UiT Norges arktiske universitet

Det Helsevitenskapelige fakultet

MEDISINSK LYSTGASS OG BÆREKRAFTIG ANESTESI
– HVORDAN REDUSERE MILJØAVTRYKKET I NORSK
HELSEVESEN

Lisa Kajsa Skoglund

Masteroppgave medisin

MED-3950-1

Torben Wisborg, institutt for klinisk medisin, UiT.

FORORD

Jeg ble på første året bitt av akuttmedisin-basillen etter førstehjelpsuken, og har siden vært aktiv i akuttmedisinsk studentforening og interessert i akuttmedisin. Etter akuttkurset på fjerde året, da jeg var på nattevakt med anestesilege, fikk jeg øynene opp for dette faget. Jeg ønsket å skrive noe innen akuttmedisin/anestesifaget, og etter tips tok jeg kontakt med overlege i anesthesi Torben Wisborg ved Hammerfest sykehus og Universitetet i Tromsø. Jeg var usikker på tema, men Torben hadde oppgave klar etter å ha lest en artikkel i Overlegen.

Klima- og global oppvarming er et tema som gjelder oss alle, og det har vært en veldig interessant prosess å jobbe med oppgaven, og jeg retter stor takk til veileder Torben Wisborg for å ha fått sjansen å skrive oppgaven og for all hjelp underveis. Han har vært raus med tips om relevante artikler, gitt gode tilbakemeldinger, samt oppmuntring og pekepinner når jeg har sittet fast.

Jeg ønsker også å takke studievenninner Else-Marie, Nora og Iselin for alle gode forslag, faglig input, diskusjoner, og ikke minst peptalks når jeg har trengt dette. Avsluttende vis, vil jeg også takke foreldrene mine for å ha holdt ut med meg til tider i denne perioden.

Hammerfest, mai 2022



Lisa Skoglund

INNHOILDSFORTEGNELSE

FORORD	1
1. SAMMENDRAG	3
2. BAKGRUNN:	4
2.1 GLOBAL OPPVARMING OG HEL SE	4
2.2 DANNELSE AV LYSTGASS.....	4
2.3 LYSTGASS I HELSEVESENET	6
2.3.1 <i>Klinisk bruk</i>	7
2.4 PROBLEMSTILLING	8
3. MATERIALE OG METODE	8
3.1 KLIMAREGNSKAPET.....	8
3.2 HELSEREGIONENE.....	9
3.3 LITTERATURSØK.....	9
4. RESULTAT	10
4.1 KLIMAREGNSKAP	10
4.2 HELSEREGIONENE.....	11
4.3 LITTERATURSØK.....	12
4.3.1 <i>Minimere bruk av lystgass, total intravenøs anestesi</i>	14
4.3.2 <i>Sevofluran som et alternativ ved fødsel</i>	15
4.3.3 <i>Lekkasje</i>	16
4.3.4 <i>Low-flow og automatisk kontroll</i>	17
4.3.5 <i>Nedbrytning, resirkulering, og gjenbruk</i>	18
5. DISKUSJON	20
6. KONKLUSJON	23
7. REFERANSER	24
8. TABELLER	26
9. FIGURER	40

1. SAMMENDRAG

Bakgrunn:

Klima og global oppvarming har blitt viktig tema i internasjonalt forum, og større fokus er satt for å redusere globalt klimautslipp. Det har lenge vært kjent at lystgass er en sentral klimagass som er en drivhusgass, i tillegg til å nedbryte ozonlaget. Lystgass har i flere tiår vært hyppig brukt i helsevesenet. Samtidig er det også anerkjent at global oppvarming er en av de største truslene mot global helse. Helsevesenet er spesielt forpliktet til å gjøre en innsats for å redusere forbruket av klimagass og effekten av det på globalt klima. I 2020 ble klimaregnskapet til helseregionene presentert, der det kom frem at det fremdeles brukes mye lystgass i Norge. Det er derfor av stor interesse å undersøke hva det brukes til i Norge, samt å se på muligheter for andre metoder som erstatning til lystgass.

Materiale og metode:

Det er gjort en narrativ litteraturstudie av tilgjengelig data om bærekraftig anestesi, i tillegg til presentasjon av klimaregnskapet, i tillegg til egen innsamlet tilleggsinformasjon om fra helseregionene i Norge. Det ble brukt en kombinasjon av databaser, Google Scholar, tips fra veileder, og referanser fra aktuelle artikler. Ingen eksklusjonskriterier ble brukt, da datamengden var lite.

Resultat:

Bruken av lystgass har de siste årene vært stabile. I 2021 ble det brukt over 38 000 kg lystgass, som tilsvarer over 11 000 tonn CO₂. Det er en 3,6% økning fra 2020, og 10,6% nedgang fra 2019. Fra helseregionene svarte alle, bortsett fra Helse Sør-Øst. Mesteparten av lystgasset brukes til fødsel, i tillegg til småkirurgi. Litteratursøket ga 27 artikler. Alternative metoder kunne være blant annet å minimere bruk av lystgass, bruke generell intravenøs anestesi/lokal- og regional anestesi, low-flow og automatisk kontroll, samt nedbrytning, resirkulering og gjenbruk. Sevofluran er en lovende erstatter for lystgass i forbindelse med fødsel.

Konklusjon:

Store deler av lystgasset i Norge brukes på fødestuene, og tiltak må dermed målrettes mot fødende ved å vurdere annen smertelindrende behandling. Lystgass sin rolle som standardvalg

må revurderes og den enkelte pasientens behandling må sees i lys av at helsevesenet også har et ansvar for den globale helsen.

2. BAKGRUNN:

2.1 GLOBAL OPPVARMING OG HELSE

Klima og global oppvarming har de siste tiårene fått større fokus i internasjonalt forum. Gjennom flere avtaler har blant annet FN igangsatt flere tiltak i forsøk på å redusere klimagassutslipp. Tidligere var det i stor grad industrielle land som var forpliktet, men etter at Paris-avtalen trådte i kraft i 2016, er nå alle land forpliktet til å lage nasjonale planer på hvordan de skal kutte klimagassutslipp(1).

Global oppvarming vil ha en stor påvirkning på folkehelsen globalt, både direkte på grunn av tørke, temperaturøkning, flom, og hetebølger, men også indirekte gjennom påvirkning av vanntilgang, jordbruk, infeksjøs sykdommer, migrasjon, økte konflikter, samt mangel på ressurser med økt konkurranse over ressursene (2). I første omgang er det lavinntektsland som i størst grad kommer til å bli rammet, til tross for at disse landene står for mindre del av det globale utslippet (2). Dermed har høyinntektsland et spesielt ansvar for å redusere utslippene.

For å oppnå målene i Paris-avtalen er det nødvendig å igangsette tiltak på flere nivåer, både individuelt, operativt, og system-nivå, samt på alle samfunnsfelt som industri, helse, og miljø. Helseforetakene i Helse Nord, Helse Midt-Norge, Helse Sør-Øst, og Helse Vest har opprettet et nasjonalt samarbeidsutvalg for klima og miljø kalt for Grønt Sykehus som sitt bidrag i å kartlegge og iverksette tiltak for å redusere utslipp. Fellesoppgaver og nasjonale føringer koordineres via utvalget, men det er også opprettet regionale faggrupper.

2.2 DANNEELSE AV LYSTGASS

Dinitrogenoksid (N_2O), bedre kjent som lystgass, er en naturlig forekommende atmosfærisk drivhusgass. Lystgass oppstår ved mikrobielle prosesser i jorda, som et resultat av nitrifisering (trinnvis oksidasjon av ammoniakk til nitritt og nitrat) og denitrifisering (reduksjon av NO_3^- til NO_2 og N_2O) av organiske forbindelser (3).



Reduksjonspotensialet til N₂O/N₂-paret er høyt, og en del bakterier utnytter denne egenskapen ved å bruke N₂O som en elektronakseptor i energisparende respiratorisk metabolisme.

Lystgass produseres av enzymet NO-reduktase (NOS) som er blitt funnet i bakterier med evne til denitrifisering og i noen ammoniakk-oksiderende organismer (4).

Lystgasset som dannes vil enten brukes av andre mikroorganismer eller stige opp i atmosfæren, avhengige av visse faktorer som vær og klima (3). Dette er den største årsaken til N₂O-utslipp i landbruk. Lystgass som stiger opp i stratosfæren, har en dobbelteffekt på klimaet, både som drivhusgass som bidrar til global oppvarming, og ved at den nedbryter ozonlaget. Lystgass gjennomgår blant annet fotolyse, for så å reagere med oksygenmolekyler og danne nitrogenmonoksid (NO) som bryter ned ozonlaget.

Lystgass er i dag den tredje største enkelt drivkraften av skadelige miljøutslipp, etter karbondioksid (CO₂) og metan (CH₄) (3). Samtidig regnes det som det dominerende ozon-ødeleggende stoffet vi har i dag, ifølge Ravishankara (5), og med dagens trend vil det fortsette å dominere i det 21. århundre. Global Warming Potential (GWP) måler effekten på global oppvarming av de ulike drivhusgassene. GWP defineres som graden av påvirkning ett tonn av gassen har sammenlignet med ett tonn utslipp av CO₂ over et spesifisert tidsrom (6). GWP er i hovedsak avhengig av to faktorer, «strålingseffektivitet, altså endringen i solens energiinnstråling på jordens atmosfære [...], og gassens atmosfæriske levetid» (7). Det vanligste er å regne ut GWP over en 20-årsperiode eller 100-årsperiode, avhengig av stoffenes atmosfæriske levetid, som vist på tabell 1. GWP er en relativ skala med «opptil 18-26% usikkerhet, og verdiene har endret seg over tid med endringer i utslipp, naturlige kilder og ny informasjon [...]». (8). Siste rapport fra FNs klimapanel (IPCC) i 2014 rapporterte lystgass' GWP som 265 (se tabell 1), som betyr at lystgass har ca. 265 ganger større effekt på globaloppvarming som samme mengde CO₂ over en periode på 100 år (3). Lystgass effekt vurderes over en periode på 100 år fordi lystgass har en atmosfærisk levetid på mellom 120 (9) til 180 år (3), sammenlignet med metan som har en atmosfærisk livstid på ca. 12-13 år.

Økningen i N₂O konsentrasjonen skyldes «økt N₂O-utslipp fra både naturlige og landbruks-økosystemer, drevet av økt bruk av gjødsel, dinitrogen (N₂) fiksering og atmosfærisk N-avsetning» (10). Jordbruk er den største enkeltkilden til N₂O-utslipp over hele verden, og står for ca. 65% av det globale N₂O-utslippet (3).

Industrielle kilder av lystgass-utslipp kommer først og fremst fra forbrenning av fossilt brensel som kull, olje og gass. Nitrogen og oksygen reagerer og kombineres som et resultat av høy temperatur, og danner lystgass. I tillegg produseres det under brenning av nitrogen-innholdende substanser som finnes i brenselet (3). Denne prosessen står for rundt 19 millioner tonn utslipp i året.

Hvis de globale helsevesenene hadde vært et land, ville det vært den femte største bidragsyteren til global utslipp (7). Global anestetisk lystgass-forbruk er estimert til å stå for mellom 1-3% av det totale lystgass-utslippet i verden (7). I Storbritannia beregnet NHS at «rundt 5% av et sykehus' totale utslipp kunne tilskrives anestetiske gasser, og da spesielt lystgass» (7). I en amerikansk studie fant de at på et sykehus stod anestetiske gasser for rundt 50% av karbonutslippet fra operasjonsstuene (11).

2.3 LYSTGASS I HELSEVESENET

Oppdagelsen av lystgass er tilskrevet den engelske kjemikeren Joseph Priestley i 1772 som beskrev det i «Experiments and Observation on Different Kinds of Air» i 1775. Priestley brukte et eksperimentelt verktøy designet av Stephen Hales tidlig på 1700-tallet som kunne samle gass over vann, og ved hjelp av apparatet oppdaget han flere gasser, deriblant lystgass, NO, og oksygen (12).

Etter oppdagelsen ble lystgass stortsett brukt i fritidssammenheng, fordi den blant annet skapte en euforisk følelse, demonstrert av Humphrey Davis på slutten av 1700-tallet. I samme bok nevnte han avsluttende at det virket som at lystgass hadde evnen til å «ødelegge fysisk smerte, og kan antageligvis bli brukt under operasjon» (12). Det gikk likevel et halvt århundre før noen igjen forsøkte å demonstrere lystgass som anestesi under et møte i 1844.

Oralkirurgjen Horace Wells gjorde flere vellykkede forsøk privat, men lyktes ikke under demonstrasjon da pasienten følte smerte. Først på 1870-tallet ble lystgass tatt i bruk under operasjon og hos tannlege. Bruken spredte seg raskt deretter, spesielt etter at det viste seg at lystgass i kombinasjon med oksygen gjorde den tryggere i bruk.

Det forble et populært anestesimiddel frem til midten av 1950-tallet. Da økte fokuset på mulige toksiske effekter, både hos pasienter og på miljøet. Det ble blant annet meldt inn alvorlige komplikasjoner som død ved feilbruk og feilberegninger. I løpet av de siste tiårene har populariteten økt og avtatt, og selv om flere sykehus nå bygges uten enkel tilgang til

lystgass, er lystgass fremdeles et populært anestesimiddel, spesielt på fødeavdelinger på norske sykehus (12).

2.3.1 KLINISK BRUK

Lystgass har flere unike egenskaper som gjør den populær. Lystgass fungerer beroligende, har en analgetisk og amnestisk effekt, rask induksjon- og oppvåkning, luktfri, med muligheten til selvadministrering av pasienter og/eller administrering av annet helsepersonell. I tillegg har lystgass ingen irriterende effekt på slimhinnene i luftveiene, i motsetning til mange andre anestetiske gasser (12). Lystgass metaboliseres minimalt i kroppen, og elimineres så og si uendret ved ekshalasjon (13-15).

Muligheten til blant annet selvadministrering gjør den til et svært attraktivt anestesimiddel blant fødende kvinner. I Sverige brukes rundt 90% av medisinsk lystgass i forbindelse med fødsel, og ca. 70% av fødende bruker lystgass (16). Til sammenligning, bruker ca. 50% av fødende i Norge lystgass, og den er ved mange sykehus brukt hovedsakelig i forbindelse med fødsel. Lystgass hos fødende har vært brukt i Storbritannia siden 30-tallet, og gis alltid i kombinasjon med oksygen (12). Det er likevel stor debatt om lystgass har tilstrekkelig smertelindrende effekt hos fødende. Flere studier har forsøkt å belyse temaet. To store oversiktsartikler fant utilstrekkelig bevis på lystgass' smertelindrende effekt (12). Flere studier har vist en mindre smertestillende effekt med lystgass sammenlignet med blant annet epidural, men noen studier viste likevel at kvinnenens fødselsopplevelse var overveldende positiv med kun lystgass som smertestillende middel til tross for tilsynelatende lavere smertelindrende effekt (17). En retrospektiv analyse utført av Richardson *et al.* viste at 93% av kvinnene var svært fornøyde med fødselsopplevelsen, og kun 1% var misfornøyde (17). Dette antyder at det er andre faktorer enn kun smertelindrende effekt som påvirker en kvinnes totalopplevelse.

Lystgass er populært til bruk hos barn blant annet fordi den er luktfri, i tillegg til å være en lite ubehagelig metode for sedering der man slipper invasive prosedyrer. Flere studier har vist at lystgass og oksygen, opp mot 70% lystgass, er trygt å bruke i den pediatriske pasientgruppe under flere mindre kirurgiske inngrep som blodprøver, veneflon-innsetting, sårstell, behandling av brudd etc. (12).

Lystgass har få bivirkninger, der den vanligste er kvalme og oppkast, men bivirkningene forsvinner fort dersom man stanser tilførsel av lystgass. Faren for varige mén er lav ved kortvarig bruk, men det har vært lenge kjent at langvarig eksponering kan føre til toksiske effekter. Allerede på 1970-tallet ble det utført studier som antydte risiko for blant annet beinmargssykdom, leversykdom, nyresykdom, og infertilitets-problematikk og teratogene effekter både hos sykehuspersonell som ble direkte eksponert, men også hos ektefellene deres (13, 18, 19). Det er gjort flere studier på temaet siden, men bevisene og dataene er svake, lite, og ofte svekket av feil i innsamling eller feil i metodikkbruken (13, 19). Flere land har likevel innført grenser på eksponering. I Norge er grensen på 50 ppm (13). Med effektive ventilasjonssystemer, er det ikke vist noen økt risiko for uønskede bivirkninger av lystgass-eksponering (13), men det forutsetter at personell må ha god opplæring på bruk av utstyret og bruk av ventilasjonssystemet, og at det brukes konsekvent.

2.4 PROBLEMSTILLING

Målet med denne studien er å beskrive helsevesenets bruk av lystgass og redegjøre for mulighetene for reduserte utslipp av lystgass fra helsevesenet.

3. MATERIALE OG METODE

Materiale i oppgaven er tredelt og består av klimaregnskapet fra spesialisthelsetjenesten i Norge, litteratursøk, og informasjonsinnhenting fra de fire helseregionene.

3.1 KLIMAREGNSKAPET

Spesialisthelsetjenestens rapport for samfunnsansvar er en årlig rapport som har blitt presentert de siste fire årene av et samarbeidsutvalg «bestående av representanter fra de fire regionale helseforetakene, et helseforetak, Sykehusbygg, Sykehusinnkjøp, vernetjenesten og tillitsvalgte (20)». I rapporten presenteres et klimaregnskap som gir en oversikt over klimagassutslippet fra helsesektoren, og hva utslippet består av og hvordan det brukes. Dette klimaregnskapet brukes i oppgaven for å belyse lystgass-forbruket i Norge og hvor stor andel av skadelige miljøgasser den utgjør. Første rapport ble presentert i 2018, men da det var frivillig å melde inn enkelte verdier dette året, har jeg kun valgt å se på rapportene fra 2019-2021.

3.2 HELSEREGIONENE

I oktober 2020 innhentet jeg data fra kontaktpersonene for helseregionene i Norge via e-post for å danne et innblikk i hva de forskjellige regionene bruker lystgass til. Innhentet informasjon ble brukt til å danne et bilde på hvor det er hensiktsmessig å finne andre bruksmetoder som erstatning til lystgass. Ny e-post ble sendt våren 2022 for å se på tilsvarende informasjon for 2020 og 2021.

3.3 LITTERATURSØK

En kombinasjon av Google Scholar, Medline, Pubmed, tips fra veileder og referanselister fra relevante artikler ble brukt for å finne alternative bruksmetoder. Medline ble brukt som hoved database, mens Pubmed ble hovedsakelig brukt for å finne MeSH-terminologi.

Første søk omhandlet lystgass, og jeg brukte søkeord som i størst grad skulle dekke artikler som omhandlet temaet. MeSH-terminologi Nitrous Oxide dekker *nitrous oxide*, *laughing gas*, og *nitrous protoxide*. I tillegg ble også *dinitrogen oxide* brukt som søkeord.

Andre søk dekket artikler som omhandler anestesi-faget. Her var det to MeSH-terminologi som var relevante: *anesthesia* og *anesthesia, general*. I tillegg gjorde jeg egne søk for *inhalation anaesthesia* og *intravenous anaesthesia*, med fokus på artikler som nevnte ordene i tittelen, abstraktet, eller hadde det som nøkkelord.

Deretter ble første og andre søk kombinert for å begrense søket til artikler som omhandler lystgass i anestesi og medisinsk sammenheng, og dermed utelukke artikler med lystgass i andre fagområder.

Tredje søket omhandlet klima og klimaendringer, og jeg brukte søkeord som *Greenhouse Gases (MeSH)*, *Greenhouse Effect (MeSH)*, *Climate Change (MeSH)* og *carbon footprint*. Sistnevnte ble begrenset til artikler som har ordet i abstraktet, tittelen, eller som nøkkelord.

Siste søket kombinerte forrige søk med lystgass og anestesi, for å isolere artikler som omhandler alle tre temaene. Grunnet få funn, har jeg ingen eksklusjonskriterier for artiklene, annet enn språk.

4. RESULTAT

4.1 KLIMAREGNSKAP

I rapporten som omhandler samfunnsansvar fra 2021 fremkommer det at helseregionene brukte 38 535 kg lystgass, som tilsvarer over 11 000 tonn CO₂, vist i tabell 2 (20). Det er 3,6% økning fra 2020, men 10,6% nedgang fra 2019, vist i figur 1 (21, 22).

Til sammenligning kan man bruke bilkjøring som et eksempel. I 2019 kjørte hver bil i gjennomsnitt 11 883 km (23). Ifølge National Inventory Report fra 2021 var gjennomsnittlig utslippsfaktor for CO₂ per kjøretøy- og drivstofftype i 2019 140 g/km (diesel) og 151 g/km (bensin) (24). Det gjennomsnittlige CO₂-utslippet i 2019 per kjøretøy var 1,7 tonn CO₂ for dieserbiler, og 1,8 tonn CO₂ for bensinbiler.

$$\text{Diesel: } \frac{140 \frac{g}{km} * 11\,883\, km}{10^6} = 1,7\, \text{tonn CO}_2$$

$$\text{Bensin: } \frac{151 \frac{g}{km} * 11\,883\, km}{10^6} = 1,8\, \text{tonn CO}_2$$

For at én bensindrevet personbil skal danne like mye utslipp som lystgass utgjorde i 2019 må man kjøre ca. 82 513 907 km. Det er nesten 2 059 ganger rundt ekvator.

$$\frac{12\,459,6\, \text{tonn CO}_2 * 10^6}{151\,g/km} = 82\,513\,907,3\, km$$

Totalutslippet i 2021 var 444 217,5 tonn CO₂. Ved kjøp av gjenvinningskraft i Helse Nord, Helse Midt-Norge og Helse Vest ble det reelle utslippet redusert til ca. 330 199,10 tonn CO₂. Totalforbruk av miljøgasser de siste tre årene har vært relativt stabile, men totalutslippet i 2021 viser en reduksjon på 25% i forhold til de siste to årene, grunnet kjøp av gjenvinningskraft. Ifølge rapporten betyr gjenvinningskraft at «energien fra røyk fra norske industrianlegg blir skilt ut og gjenvunnet, i stedet for å gå rett ut i luften» (20). Dette er ny teknologi som i fremtiden kan bidra med å redusere utslipp.

Helse Sør-Øst har størst total CO₂-utslipp, uavhengig av kilde, vist i figur 2 og 3. I 2019 bestod gass, deriblant lystgass, for 4% av totalutslippet fra Helse Sør-Øst. I Helse Nord bestod gass for 3% av totalutslippet, mens Midt-Norge og Helse Vest hadde henholdsvis 5% og 2% (21).

I 2021 utgjorde gasser 6% av totalutslippet, som vist på figur 4. Lystgass dominerer, og står for 3,4% (lystgass utslipp*100/totalutslippet).

$$\text{prosent} = \frac{11\,136,6 \times 100}{330\,199,3}$$
$$\text{prosent} = 3,4\%$$

I tillegg til lystgass, brukes også anestesigasser som Desfluran, Isofluran og Sevofluran, som rapporten fra 2021 fokuserer spesielt på. Disse anestesigassene er halogener som også har ødeleggende effekt på klimaet. Graden av ødeleggelse bestemmes av gassens GWP og levetid i atmosfæren (6, 20). Desfluran har i likhet med lystgass stor skadelig effekt på miljøet. De siste årene har man sett en reduserende trend i bruk av Desfluran, med redusert utslipp tilsvarende 2 557,8 tonn CO₂ fra 2019 til 2021, der sykehuset i Vestfold blant annet har redusert bruk av Desfluran med 82 prosent i samme tidsperiode (20). I tillegg til mindre bruk av miljøskadelige anestesigasser, har man også utviklet metode slik at man kan bruke mindre mengder anestesigass for å oppnå tilstrekkelig effekt, noe som diskuteres senere i denne oppgaven.

4.2 HELSEREGIONENE

Fra helseregionene svarte Helse Nord, Helse Midt-Norge, og Helse Vest på mengde lystgass de forbruker, samt hva det brukes til. Helse Nord rapporterte at lystgass benyttes ved alle sykehus, og da primært ved operasjoner og i forbindelse med fødsler. Lystgass er i tillegg blitt brukt i andre sammenhenger som blant annet blodprøvetaking, småkirurgi, eller botox-behandlinger ved enkelte sykehus. Tabell 3 viser en oversikt på hvor mye forbruk hvert sykehus i Helse Nord stod for, samt tilsvarende tall i tonn CO₂ og GWP₁₀₀.

Totalt ble det i 2019 anskaffet ca. 8 400,5 kg lystgass i Helse Nord, som tilsvarer et utslipp på 2427,8 tonn CO₂. Dette tilsvarer ca. 16 078 145,7 km bilkjøring. Hvis man antar at gjennomsnittlig kjørelengde per år er ca. 12 000 km per personbil, må en bensindrevet bil kjøre i 1 339,8 år for samme mengde CO₂-utslipp. Rapporterte verdier er approksimerte, og tar ikke hensyn til innkjøp av gjenvinningskraft, så det reelle forbruket kan være litt mindre.

Helse Midt-Norge rapporterte i 2019 5 711 kg lystgass, som tilsvarer 1 650 tonn CO₂-utslipp, en 4,4% økning fra 2018. Lystgass stod for 56,4% av utslipp fra gass-kilder i 2019. I de to

neste påfølgende årene hadde Helse-Midt en nedgang på 9,3% og 7,3% i henholdsvis 2020 og 2021 til sammenligning med 2019.

Helse Vest rapporterte inn totalt 5 235 kg lystgass, som utgjør 1512,9 tonn CO₂. Andre gasser utgjør ca. 275 tonn CO₂, men det er kun lystgass som er meldt inn til rapporten fra 2019. Helse Bergen rapporterte inn 704 kg lystgass i 2020, som tilsvarer 203,46 tonn CO₂. I Helse Bergen brukes lystgass på føden på Voss, samt enklere inngrep og ofte i kombinasjon med andre narkosegasser, som for eksempel med barn og ved Klinikk for Hode/hals. Helse Vest beregner en økning i forbruk av lystgass når det nye Haukeland universitetssjukehuset tas i bruk i 2023, da lystgass vil være tilgjengelig for fødende.

Helse Sør-Øst sitt estimerte forbruk i 2019, regnet ut fra totalforbruket og de rapporterte mengdene fra de andre helseregionene, er ca. 23 767,8 kg lystgass, noe som tilsvarer ca. 6 868,9 tonn CO₂.

I 2019 hadde helseregionene sammenlagt en estimert lystgass-forbruk på ca. 43 114,3 kg som tilsvarer 12 459 tonn CO₂ utslipp. Over en periode på 100 år, vil lystgass-utslippet tilsvare ca. tre millioner tonn CO₂ utslipp, og dermed «påvirkning» på miljøet (se tabell 4).

4.3 LITTERATURSØK

Ved å kombinere søk på lystgass, anestesi og klima fant jeg kun åtte artikler. Tabell 5 viser en oversikt over søkeord som ble brukt. To ble ekskludert grunnet annet språk enn engelsk, mens én ble ekskludert fordi de bevisst ikke inkluderte lystgass. Da gjenstod det fem artikler som ble gjennomgått. En av artiklene ble ekskludert da dette kun var en kommentar. I tillegg til disse ble det funnet syv andre relevante artikler ved å gjennomgå referanselisten til artiklene.

Ved å kombinere begrepene anestesi og klima for å finne artikler om bærekraftig anestesi var det 35 artikler som omhandlet temaet. Abstraktet til artiklene ble gjennomgått. Artikler som inneholdt anestesigasser, deriblant lystgass, ble valgt, for deretter å ekskludere artikler som omhandlet anestesigasser i andre fagområder som veterinærfaget, samt artikler som satte større fokus på bruk av utstyr eller drift av operasjonsstue. Blant ekskluderte artikler som overlappet fra forrige søk, gjenstod det 16 artikler. Til sammen var det da 27 artikler som var

aktuelle for oppgaven. Tabell 7 gir en oversikt over artiklene, studietyper og hva deres viktigste funn var.

For at en endring i prosedyrer og rutiner skal skje, er det nødvendig med tilstrekkelig kunnskap og opplæring om helhetlig bærekraftighet. I en korrespondanse i *Anesthesia and Intensive Care* i 2018 skrev Burrell at for å endre en praksis må man igangsette tiltak som «restrukturering av relasjoner og legitimering av ny praksis gjennom erfaring» (25). Intervensjonen må fokusere på tiltak på gruppenivå, i tillegg til individuelle endringer. Kunnskap og opplæring om inhalasjonsmidler og deres karbonutslipp er sentrale for at endringer skal skje. Ved et sykehus i Australia klarte de gjennom opplæring og økt interesse til å etablere sevofluran som standard og minimere bruk av desfluran og lystgass (25).

I en kort rapport fra et sykehus i USA i 2019 gjorde Zuegge og kollegaene et lite forsøk på å effektivisere bruk av gasser og redusere miljøutslipp ved å utdanne kirurgisk personale, alt fra anestesileger, anesthesisykepleiere, farmakologer, operasjonssykepleiere, teknisk hjelp etc., om bærekraftig anestesi (26). De hadde interne undervisninger om miljøavfall og bærekraftig drift, jevnlig rapporter og eposter til personale, kursing av ny personale, samt relasjonsbygging mellom interesserte. I tillegg ble bekymringer til nølere tatt opp og oppklart, samt oppmuntring og støtte av lokale ildsjeler. Fordampere var markert med informasjon om frisk gass-flow (FGF), valg av middel, og nasjonale retningslinjer. De hadde i tillegg QR-koder med ytterligere informasjon der det var ønskelig. Bruken av anestesimiddel ble sporet via kvitteringer fra de siste fem årene, deretter sammenlignet de bruken av anestesimiddel før og etter tiltakene ble igangsatt, før de regnet ut CO₂-ekvivalenter. Resultatet viste en 55% reduksjon i desfluran-bruk og 24% økt bruk av sevofluran, noe som tilsvarte en 64% reduksjon i utslipp (26). Det ble også rapportert om større engasjement rundt bærekraftig anestesi og fremdrift når resultatene ble presentert med sammenligning til «hverdagslige» ting, som feks antall km kjørt.

Det er enighet blant klinikere og forskere om at inhalasjonsmidler er potente drivhusgasser, og at det er nødvendig å rette større fokus på bærekraftig anestesipraksis. Anestetiske inhalasjonsmidler har vært fritatt internasjonale reguleringer av klimagasser, trolig grunnet en antakelse om at inhalasjonsgasser er medisinsk nødvendig (27-29). I 2021 utga World Federation of Societies of Anaesthesiologists (27), heretter *WFSA*, en global konsensus bestående av syv prinsipper for bærekraftig anestesipraksis (se tabell 6). Gruppen bestod av

de syv styringskomite-medlemmene, samt 39 representanter fra alle verdensdelene, ekskludert Antarktika, med forhåndsinteresse for bærekraftig anestesi. To av prinsippene innebar blant annet at anestesipersonell bør bruke miljøvennlige medisiner og utstyr der dette er forsvarlig, og minimere overforbruk og sløsing av medisiner og utstyr (27).

WFSA foreslår flere tiltak for hvordan man skal gjennomføre det første prinsippet om bruk av miljøvennlige medikamenter og utstyr. Et foreslått tiltak er å unngå bruk av inhalasjonsmidler, og der dette ikke er forsvarlig bør man velge det middelet med minst miljøavtrykk. Samtidig bør man ikke kombinere inhalasjonsmidler, da spesielt med lystgass, fordi lystgass har en synergistisk effekt på de andre inhalasjonsmidlene, som illustrert på figur 5 (6). Ryan og Nielsen viste at 60% N₂O for 1 MAC-time og 2 L FGF øker GWP av Sevofluran med 590%, og Isofluran med 290%, men reduserer GWP for Desfluran med 40%, som vist på figur 4. Desfluran har likevel mye større GWP enn Sevofluran eller Isofluran brukt alene (6).

Lystgass og Desfluran har høyest GWP, og bruken bør dermed minimeres og kun brukes ved spesifikke, forhåndsbestemte situasjoner. Velger man å bruke lystgass, bør man jevnlig sjekke kilden for lekkasje. Et annet viktig tiltak er at anestesipersonell bør bruke lavest mulig flow som gir adekvat effekt, samt at anestesimaskinen kobles til et system som nedbryter anestesigassen, som beskrevet i avsnittet nedbrytning, resirkulering og gjenbruk. Dette er viktig både med tanke på å minimere overforbruk og sløsing, men også for å eliminere avfall på en miljøvennlig måte.

4.3.1 MINIMERE BRUK AV LYSTGASS, TOTAL INTRAVENØS ANESTESI

Lokal/regional (LRA) eller total intravenøs anestesi (TIVA) er mulige alternativer til lystgass (7, 13, 15, 25, 27, 29-33). Bruk av intravenøs anestesi er blitt mer og mer populært de siste tiårene. TIVA/LRA har mange av de samme fordelaktige egenskapene som lystgass, blant annet rask induksjon og oppvåkning, og få bivirkninger (14). TIVA/LRA har ingen klimagasseffekt eller risiko for yrkeseksponering noe som det tidligere har vært et problem med bruk av lystgass før adekvat ventilering ble normen (13).

White og Shelton (29) argumenterer at for å oppnå klimamålene, bør anestesifaget gå helt bort fra inhalasjonsmidler innen 2030. De argumenterer for at LRA eller TIVA ofte er likestilte,

eller bedre, enn inhalasjonsmidler, og at det ikke finnes indikasjoner der TIVA/LRA ikke kan erstatte inhalasjonsmidler.

Ulempen med TIVA/LRA er at til tross for at den ikke bidrar til global oppvarming, så har de fremdeles potensielle negative effekter på miljøet, og dens totale miljøeffekt er til dels ukjent (13, 14, 31). Livssyklusanalyse (LCA) er en metode for å evaluere en produkts totale miljøeffekt gjennom hele dens livssyklus (31, 34) – både produksjon, energiforbruk, pakking og transport, bruk og eliminasjon, osv. Kostrubiak *et al.* forklarer at det er vanskelig å regne ut nøyaktig LCA for et anestesimiddel, fordi forholdene under produksjon, deriblant energiforbruk og syntese av middel, ikke er offentlig kjent (31). Det er en risiko for at man får uforutsigbare konsekvenser av å bytte til kun TIVA/LRA. Sherman *et al.* (34) utførte en studie for å beregne initiale LCA for blant annet lystgass og propofol, som ofte brukes ved TIVA, og konkluderte med at propofol har en klimagass-effekt som er nesten 4 ganger størrelsesordninger lavere enn lystgass. Dette er til tross for at rundt 1/3-1/2 av propofol kastes halvtom.

4.3.2 SEVOFLURAN SOM ET ALTERNATIV VED FØDSEL

Et sentralprinsipp ved valg av anestesi er at pasientens sikkerhet og velvære ikke skal trues av bærekraftig anestesi (27). Hvis anestesipersonell mener det er indikasjon for bruk av inhalasjonsmiddel, bør vedkommende velge det inhalasjonsmiddelet som gir minst miljøpåvirkning. De som er mest brukt i dag er lystgass, isofluran, sevofluran, og desfluran. Av disse fire har sevofluran minst miljøpåvirkning, med atmosfærisk livstid på 1.2 år og en GWP på 349 (6).

Både i Norge og i utlandet er lystgass populær ved fødsel, der ca. halvparten av fødende brukte lystgass i 2007 (35). Selv om flere kvinner har rapportert lav smertelindrende effekt av lystgass, er de fleste kvinnene fornøyde med opplevelsen alt i alt (17). Dette kan forklares med en følelse av kontroll med selv-administreringsmetode ved lystgass, noe man kan miste ved andre former for farmakologisk smertelindring. En studie fra 2007 har undersøkt bruk av Sevofluran som et alternativ (36, 37). Sevofluran har flere fellestrekk med lystgass som gjør den til et attraktivt alternativ ved fødsel. Begge har rask induksjon og oppvåkning, i tillegg til å være ikke-irriterende for bronkialslimhinna, og muligheten for selv-administrering (37). Yeo *et al.* hadde en todelt studie, der de i første studie ønsket å finne optimaldosering av

Sevofluran til fødende, med best mulig effekt uten uønskede bivirkninger. I andre studie, ble Sevofluran sammenlignet med lystgass under fødsel.

I første studiet konkluderes at optimaldosering av Sevofluran til fødende er 0,8% (36). Den smertelindrende effekten økte ikke ved større konsentrasjoner, i motsetning til uønskede bivirkninger.

I andre studiet sammenlignet Yeo *et al.* sevofluran med lystgass i en åpen, randomisert cross-over studie. 32 kvinner ble randomisert til to grupper, der den ene mottok Entonox (50% N₂O og 50% O₂)-Sevofluran-Entonox, mens den andre gruppen mottok Sevofluran-Entonox-Sevofluran. Den generelle smertelindrende effekten knyttet til hver kontraksjon måles ved hjelp av visuell analogisk skala (VAS). Forskningsgruppen finner en signifikant bedre smertelindring med Sevofluran sammenlignet med lystgass, men finner også en signifikant større sederende effekt med Sevofluran. Alle kvinnene klarte dog å samarbeide med hjelpepersonell og følge instruksjoner. Flere av de fødende rapporterte at den sederende effekten hjalp de til å hvile mellom kontraksjoner (37). Samtlige, bortsett fra én, rapporterte i etterkant å foretrekke Sevofluran sammenlignet med Entonox, til tross for den sederende effekten. Det ble ikke meldt alvorlige bivirkninger underveis. En tidligere studie fra 2002 (38) observerte man i rotter at Sevofluran kan forårsake doserelatert glattmuskel-relaksasjon i uterus, en uheldig virkning ved fødsel, men Yeo *et al.* observerte ingen tegn til dette i sin studie. Ingen av kvinnene hadde større enn forventet blødning i etterkant av fødsel, som er en indikasjon på manglende kontraksjon i uterus. Studien konkluderer med at selvadministrert Sevofluran er et godt alternativ til lystgass, tross den økte sederende effekten.

4.3.3 LEKKASJE

En annen kilde for forurensing av lystgass er lekkasje. Dette gjelder både i rørsystemet som distribuerer gassen, og teknisk bruk av utstyr. For å forhindre sløsing av lystgass til atmosfæren og at ansatte blir utsatt for eksponering bør man ha et godt ventilasjonssystem og scavenger-system som tar opp overflødig gass (13, 14). I en studie fant de at på flere sykehus med eldre rørsystemer vil ca. 20% av innkjøpt lystgass lekke fra gamle rør (16). Varughese og Ahmed foreslår daglig kontroll av anestesimaskiner, og regelmessig vedlikehold av hele systemet (13).

Scavenger-systemer suger opp overflødig gass, og er blitt en standardnorm de fleste steder. Studier viser at rundt 97% av anestesipersonell rapporterer at de alltid bruker scavenger-system (13) på operasjonsstuer, men det er sprikende tall på om de brukes like flittig i andre avdelinger der lystgass brukes, som for eksempel fødestuer.

Riktig bruk av utstyr kan også minimere lekkasje (14). Ved feil størrelse på masken blir det lekkasje rundt masken, men også hvis man lar flowen stå på mens man ikke bruker masken, som for eksempel når man skal intubere. Det er også viktig å huske på at pasienten blåser ut overflødig gass ved ekshalasjon, for selv med 70% N₂O så er det kun 30-50% som når alveolene (39), og gassen som pasienten puster ut må tas opp av scavenger-system.

4.3.4 LOW-FLOW OG AUTOMATISK KONTROLL

Det mest optimale systemet for reduisering av skadelige gasser til atmosfæren vil ifølge Feldman(40) og Ishizawa(15) vært et lukket system, der man kun tilføyer den mengden gass/oksygen som pasienten bruker, og på den måten går i null. Bruken av inhalasjonsmiddel kan da reduseres opptil 80-90% (15).

Metoden er dessverre utfordrende å utføre i praksis med graden av kontrollering, kunnskap og erfaring det krever, og det er low flow som i dag er det mest optimale systemet tilgjengelig (40). Dette innebærer å bruke lavest mulig flow som fremdeles gir adekvat effekt (6, 7, 15, 27, 40). Dette kan være en utfordring, fordi det ikke finnes noe fast optimal FGF for de ulike midlene (6, 14), men Ryan og Nielsen (6) konkluderer i deres studie fra 2012 at FGF på 2 L/min med Sevofluran, og 0,5-1 L/min med desfluran og isofluran er optimalt, men Baxter konkluderte i 1997 at FGF på < 1 L/min er tilstrekkelig i vedlikeholdsfasen (41). Feldman skrev en artikkel i 2012 om hvordan man kan optimalisere FGF for å redusere miljøpåvirkning i størst mulig grad (40). Den minste mengden som kreves for å opprettholde anestesi varierer i de ulike fasene, induksjon, vedlikehold og oppvåkning. Det letteste er å redusere FGF i vedlikeholdsfasen, men det er også mulig å gjøre enkelttiltak i induksjon og oppvåkingsfasen.

For å optimalisere low flow kan man bruke automatisk kontrollsystemer som for eksempel Low Flow Wizard programvare som kan assistere anestesipersonell til å optimalisere low flow, der den vil gi beskjed når man har nådd det minste FGF som er adekvat for pasienten,

samt gi beskjed dersom denne må økes (42). Ved Children's Mercy Hospital i Kansas City, utførte Glenski og Levine (42) en kvalitetsforberedende studie med mål å iverksette low flow med automatisk kontroll. Studien ble bygget opp etter Standards for Quality Improvement Reporting Excellence (SQUIRE), med fire hovedstadier; consumption (forbruk), opplæring og implementasjon, intervensjon og datainnsamling, og oppfølging og oppmuntring. De hadde daglige diskusjoner på morgenen om ulike utfordringer, spørsmål og prosjekter, samt opplæring om bruk av automatisk kontroll. I tillegg hadde de 20 tilfeldige «bekreftelse»/kontroller hver måned der de sjekket om anestesipersonell brukte Low Flow Wizard og om de hadde satt FGF til minimum, samtidig som de kunne svare på eventuelle spørsmål anestesipersonellet måtte ha. Framgang, med antall Sevofluran-flasker og innvirkning på miljøet, ble oppdatert på en tavle daglig. Gjennom prosjektet så de en 20% reduksjon i antall sevofluran-flasker brukt per måned og en 25% reduksjon i mengden Sevofluran brukt per prosedyre (42), med lignende effekt på miljøet.

En potensiell bakside er at ved lavere flow brukes CO₂-absorbent filter i maskinen fortere, som dermed må skiftes ut oftere. Enkelte typer av disse krever spesielle metoder for deponering på grunn av alkaliske stoffer, og den totale miljøpåvirkningen av høy flow/høy forbruk av drivhusgasser vs. Lav flow/økt forbruk av plast er ikke kartlagt (6, 41).

4.3.5 NEDBRYTNING, RESIRKULERING, OG GJENBRUK

Et viktig skritt i redusering av klimagassutslipp er muligheten til nedbrytning, resirkulering eller gjenbruk av gasser. Det er utviklet teknologi som allerede er kommersielt tilgjengelig, og brukes blant annet i Sverige, men det kreves ytterligere utvikling før den eventuelt kan være lettere tilgjengelig og globalt brukt. Å fange opp lystgass kan være krevende, men muligheten til å nedbryte eller resirkulere/gjenbruke lystgass vil drastisk redusere utslipp (7).

I 2019 utga Rauchenwald og kollegaene en mulighetsstudie på en ny metode for nedbrytning av anestetiske inhalasjonsgasser som bruker en fotokjemisk prosess utført i USA (13, 43). Studien konkluderte med at dette var en effektiv metode for destruksjon av sevofluran og desfluran, og antok at dette også gjaldt andre halogenerte gasser (43). Resultatet var ikke like lovende for lystgass på grunn av dens grunnleggende kjemiske oppbygning som gjør den mer stabil enn andre typer inhalasjonsmidler (43). Graden av nedbrytning var signifikant ved både 25% og 50% lystgass, men graden er ikke adekvat sammenlignet med energikravet og

kostnader. Systemet krever ytterligere modifisering før den kan brukes til destruksjon av lystgass.

Yasny og White (14) beskriver to eksempler av teknologisk utvikling innen feltet. I ett samarbeid mellom firmaet Anesthetic Gas Reclamation (LCC) og sykehuset Vanderbilt University Medical Center utviklet firmaet et resirkuleringssystem, kalt for Dynamisk Gas-Scavenger System, som Vanderbilt testet. Maskinen skal kunne brukes på alle anestesimaskiner, kunne kobles til 8 operasjonsstuer samtidig, i tillegg til å koste i underkant av 20 000 amerikanske dollar. Systemet aktiveres kun når pasienten puster ut og maskinen detekterer oppbrukt anestesi, i tillegg til at man får ytterligere energibesparing da vakuumpumpen er bare påslått 10% av tiden (14).

En annen metode er bygget opp på et beholder-konsept, der maskinen (Deltasorb) selektivt fanger opp inhalasjonsmiddelet gjennom et filter og lagres i beholderen. Beholderen vil så leveres tilbake til produsent, som kan bruke det som råmateriale til å produsere nye anestetiske midler for billigere penge enn det originalen ble produsert for (14). Det kan så selges til markedet igjen, hvis det får offisiell godkjenning.

I Sverige har de utviklet en teknologi for nedbrytning/destruksjon av lystgass for 10 år siden (16). Disse maskinene bryter ned rundt 89-100% av oppsamlet lystgass (44). Sverige hadde i 2009 brukt rundt 155 tonn lystgass, tross for nedadgående trend de siste årene. I Sverige brukes rundt 90% av medisinsk lystgass i forbindelse med fødsel, og ca. 70% av fødende bruker lystgass (16). Til sammenligning, bruker ca. 50% av fødende i Norge lystgass, og den er også svært mye brukt i forbindelse med fødsel. I Sverige har de i hovedsak to typer masker som brukes – «enkel-masker» og «dobbel-masker». Med enkelmaskene er det kun ett kammer der pasienten både får tilføyet ny gass og utpustet gass blir sugd ut. I det tilfellet vil lystgasset fortynnes. Med dobbeltmasker er det et hardere ytre og mykere indre maske med to kammer – der det ene kammeret inneholder tilførende gass, det andre kammeret som suger ut brukt gass (44). Disse maskene klarer å samle opp oppimot 75% av gassen (16). I en artikkel som beskriver destruksjon av lystgass i Stockholm, Sverige, beskriver Ek og Tjus (16) tre metoder for destruksjon av lystgass – oksidering, katalytisk reduksjon, og katalytisk splitting. Det ble i 2002 vurdert at katalytisk splitting var den beste metoden, ettersom den ikke produserer andre skadelige biprodukt som nitrogenoksid. Den første generasjons destruksjonsenhet ble en suksess, og over to kommende generasjoner ble de billigere å produsere og mindre energikrevende. Det ble også konkludert at de har best effekt på større

fødeavdelinger med ≥ 5 fødestuer, fordi kostnadene for de minste sykehusene vil bli mye høyere. Over en 8-årsperiode fra 2002 til 2010 rapporterte Stockholm Region (Stockholm Landsting/region) en 52% reduksjon av medisinsk lystgass, som tilsvarer ca. 5 200 tonn CO₂-ekvivalenter (16). Ifølge Ek og Tjus kan majoriteten av dette tilskrives de fem installerte destruksjonsmaskinene, men noe skyldes nok også bedre bruk og mindre lekkasje. Sverige er delt inn i 21 regioner, der 14 av regionene hadde i 2020 til sammen 35 aktive lystgass-destruksjonssystemer (44).

5. DISKUSJON

I denne studien ble det samlet informasjon fra helseregionene, klimaregnskap og litteratursøk for å danne et bilde av lystgassforbruket i Norge, samt å foreslå muligheter for reduksjon av utslipp fra helsevesenet. Klimaregnskapet fra 2019-2021 viste at lystgassforbruket har vært relativt stabil de siste årene, og at karbonavtrykket fra lystgass bidrar signifikant til miljøutslipp fra helsevesenet. Rapporten fra helseregionene Helse Nord, Helse Midt, og Helse Vest bekrefter at store deler av lystgasset brukes i forbindelse med fødsel. Helse Sør-Øst har naturligvis størst utslipp på bakgrunn av størst folketallet i regionen. Dette er i kontrast med Helse Nord har relativt sett betydelig større forbruk i forhold til folketall i sammenligning med Helse Vest og Helse Midt. Årsaken til dette kan være mangt, som popularitet blant personell og forbrukere, og at lystgass også kan brukes i forbindelse med oppvarming av bygg etc. I tillegg er det også en forskjell mellom hva som blir kjøpt inn, som er det antallet som blir meldt inn i klimaregnskapet, og det reelle forbruket.

Litteratursøket antyder at det har vært lite fokus på bærekraftig anestesi, og da spesielt bruken av lystgass, men at dette kanskje er en trend som holder på å snu. Av de 27 artiklene som ble tatt med i oppgaven, var 13 skrevet de siste tre årene (2019-2021). Kun en av artiklene var skrevet før 2010. Dette kan kanskje forklares med at interessen for bærekraftig drift har økt i takt med at man er blitt mer oppmerksom på menneskelig miljøforurensing og da spesielt helsevesenets vesentlige bidrag.

Det er flere tilgjengelige metoder for reduksjon av utslipp forårsaket av lystgass. Selv om de fleste metodene ikke var fokusert på lystgass, kan de fortsatt brukes for å redusere bruk av lystgass. WFSAs sine prinsipper oppsummerer de fint: minimere forbruk av lystgass med low-flow anestesi og alternative anestesimidler, kun bruke det ved forhåndsbestemte situasjoner,

forhindre lekkasje, og eventuelt nedbryte, gjenbruke eller resirkulere lystgass. Ingen tiltak blir igangsatt uten tilstrekkelig kunnskap vedrørende temaet, og studien i Australia (26) viser at det er fullt mulig med endring i prosedyrer og rutiner hvis personale er oppmerksomme på hva de gjør og hvilke konsekvenser dette kan ha.

Det er absolutt gjennomførbart med bærekraftig anestesi i Norge. Ettersom lystgassbruken er størst på fødestuene, krever det tiltak som rettes hit. Opplæring og informasjon om lystgass og riktig bruk av utstyret til både jordmødre, sykepleiere, og fødende er viktig. Fødende bør bli oppmerksomme på miljøavtrykket til lystgass, og få være med på å bestemme hvorvidt dette er noe de ønsker å delta i, eller om de ønsker mer miljøvennlige metoder. Hvis de likevel ønsker å bruke lystgass, bør de på forhånd få tilstrekkelig informasjon på riktig bruk av maska, hvordan ventilasjonssystemet fungerer, og når de skal bruke lystgassen. Det optimale hadde vært å slutte med lystgass helt, men dette er ikke i tråd med prinsippet om pasientens beste. Det er nødvendig med ny forskning på alternativ smertelindring for fødende, blant annet videre forskning på sevofluran som et alternativ. Studien til Yeo *et al.* (36, 37) hadde en liten studiegruppe, foregikk på ett sykehus, og sier ingenting om bakgrunnen til de involverte fødende som alder, boplass, etnisk bakgrunn, antall barn, utdanning eller yrke. Hvorvidt sevofluran som smertelindring ved fødsel kan brukes til den generelle befolkningen, krever mer forskning før man kan trekke konkret konklusjon. I mellomtiden bør man igangsette tiltak som minimerer forbruk og sløsing av lystgass. Ved større sykehus bør det blir standardpraksis med lignende nedbrytnings-maskiner som brukes i Sverige (16). De har vist seg å være relativt effektive i å fange opp og nedbryte lystgass. Ved de mindre sykehusene med fødeavdeling (≤ 5 fødestuer) der maskinen ikke er kostnadseffektiv, er man nødt til å se på andre alternativer. Det kan være annen teknologi som feks. Dynamisk Gas-Scavenger eller Deltasorb, samtidig som man i samarbeid med fødende forsøker å minimere bruken og sløsing av lystgass.

Stoffers potensielle drivhuseffekt estimeres ofte fra dets GWP, vanligvis over en 20- eller 100-årsperiode. Dette er flere kritiske til. I en korrespondanse til McGain *et al.* (7) sin artikkel om bærekraftig anestesi retter Slingo og Slingo (45) kritikk mot å basere klimaavtrykket til et stoff kun på bakgrunn av dets GWP. GWP var i hovedsak «utviklet til bruk av politiske beslutninger, og har flere svakheter når det brukes til å sammenligne individuelle gasser» (8). Den tar blant annet ikke til betraktning at inhalasjonsmidler tas i ulik konsentrasjon (8). Et stoff med høyt GWP, men lav atmosfærisk levetid, vil ha mye mindre innvirkning på klima

sammenlignet med drivhusgass med lavere GWP men lang atmosfærisk levetid. Isofluran, desfluran og sevofluran har alle relativt korte atmosfærisk levetider, fra ca. 1-10 år, og konsentrasjonen av gassene er relativt lave i forhold til de største drivhusgassene. Effekten på strålingsdrivet til jorda, og dermed drivhuseffekten, er minimal. Ifølge Slingo og Slingo er det umulig å angi direkte CO₂ ekvivalenter for en drivhusgass basert kun på dens GWP. De argumenterer at strålingsdriv basert på nåværende konsentrasjoner av gassene er en bedre sammenligning av de potensielle effektene på klimasystemet. Lystgass derimot, har relativt høy GWP sammenlignet med CO₂ og har lang atmosfærisk levetid, så tiltak her er fordelaktig, men er sannsynlig ikke der helsesystemet vil ha størst innvirkning på miljøet, ifølge Slingo og Slingo (45). De argumenterer i tillegg med at en overgang til TIVA vil øke CO₂ i atmosfæren på grunn av plastikken som kreves ved bruk av TIVA (45). Dette kan by på større problemer enn anestetiske inhalasjonsmidler, da CO₂ har lang atmosfærisk levetid.

Özsel *et al.* (8) på sin side er kritiske til tidsperioden på 20 eller 100 år som GWP ofte angis på, og at det trengs nye metoder for å vurdere klimaavtrykket til stoffer med kort atmosfærisk levetid. GWP vurderes vanligvis kun fra et enkelt tidspunkt, og Özsel og kollegaene foreslår heller å vurdere klimaavtrykket på forskjellige tidspunkter 1-100 år for bedre forståelse av GWP over tid og dermed gjøre det lettere å ta praktiske valg (8). Özsel og kollegaene beregnet CO₂ ekvivalenter (CDE) til inhalasjonsmidlene på ulike tidspunkt med 1 MAC, eller klinisk konsentrasjon i lystgass sitt tilfelle, samt brukte 0,5 L/min FGF som standard. Ved hjelp av denne metoden vurderer de stoffenes virkning over tid, som figur 6 viser. Sevofluran og Isoflurans innvirkning over tid er relativt stabile og like, til tross for at sevofluran har GWP på 349 og isofluran har GWP på 1401, mens desfluran og lystgass har en økende innvirkning over tid.

Ifølge Özsel og kollegaene er det i tillegg viktig å vurdere «flow og stock forurensere» (8). En flow forurensere har kort atmosfærisk levetid, så mengden som slippes ut i atmosfæren vil være konstant, samt at forurensingen som skapes forbli konstant. En akkumuleringsforurensere (stock) har lang atmosfærisk levetid, og stoffet vil dermed akkumuleres ved pågående utslipp. Hvis man bruker 100-årsperspektivet på flow forurenser, deriblant de halogene inhalasjonsmidlene, så kan man være i fare for å undervurdere deres effekt på klima i nærmeste fremtid. Lystgass er en akkumuleringsforurensere og dens GWP₁₀₀ kan være mer representativt for dens effekt over tid, enn tilsvarende for sevofluran, desfluran og isofluran. For disse gassene foreslår GWP₁.

Uavhengig av hvilke tiltak som igangsettes, så må LCA for nåværende praksis sammenlignes med LCA av mulige tiltak for å kunne evaluere best mulig fremgangsmåte for å redusere helsevesenets klimaavtrykk. Dette krever større åpenhet og samarbeid mellom industri, farmakologiske firma, helsevesen, og avfall- og gjenvinningselskap.

Det var ikke lystgass' sin rolle som klimagass som gjorde at Yeo og kollegaene undersøkte Sevofluran som alternativ ved fødsel, men fordi det i lengere perioder har vært diskusjon hvor effektiv lystgass er som smertelindring under fødsel. Likevel kan dette være en mulig metode for å redusere bruken av lystgass, som bør undersøkes nærmere. Denne studien peker på fødestuen som en god angrepsarena for reduksjon av lystgass. Nyere metoder, samt inkludering av fødende i samtalen om bærekraftig helsevesen kan være en vei for å redusere bruken av lystgass.

Det er flere svakheter og begrensinger ved denne studien. Grunnet lite litteratur var det vanskelig å utføre litteratursøk og det ble et veldig bredt søk uten begrensinger og eksklusjonskriterier. I tillegg var det utfordrende å få tak i tydelige tall og prosentandel på de ulike områdene lystgass brukes til å de ulike helseregionene. Helse Sør-Øst besvarte ikke på forespørsel om mengde og eksakt bruk, og det mangler også nyere tall fra Helse Nord og til dels Helse Vest. Ideelt sett skulle man hatt tall fra de siste 10 årene for bedre sammenligning av forbruket av lystgass over tid, men har per nå kun tall fra de siste 2-3 årene. Selv om tilgjengelig litteratur sjeldent har fokus på lystgass alene, kan mange av tiltakene foreslått benyttes til å utvikle metoder for reduksjon av lystgass. Likevel belyser studien et viktig tema, samtidig som den forsøker å samle tilgjengelig informasjon og foreslå konkrete tiltak for å redusere helsevesenets miljøutslipp.

6. KONKLUSJON

Det brukes fremdeles relativt mye lystgass i dag, til tross for at dens negative konsekvens for miljøet er godt dokumentert. Trenden er nedadgående, men hvis man skal oppnå FN's klimamål er det nødvendig med drastiske tiltak på alle samfunnsplan, deriblant helsevesenet. Det australske studiet av Zuegge og kollegaene (26) viser at det lar seg gjøre å redusere bruk og utslipp hvis folk gjøres oppmerksomme på konsekvensene av de daglige valgene man ofte gjør uten å tenke seg om. Etersom store deler av lystgasset i Norge brukes på fødestuene, må tiltak målrettes mot fødende og vurdere annen smertelindrende behandling. Lystgass sin rolle

som standardvalg må revurderes og den enkelte pasientens behandling må sees i lys av at helsevesenet også har et ansvar for den globale helsen.

7. REFERANSER

1. Forente Nasjoner. Parisavtalen 2020 [updated 22.12.20. Available from: <https://www.fn.no/om-fn/avtaler/miljoe-og-klima/parisavtalen>.
2. St Louis ME, Hess JJ. Climate change: impacts on and implications for global health. *Am J Prev Med*. 2008;35(5):527-38.
3. Denisova KO, Ilyin AA, Rummyantsev RN, Ilyin AP, Volkova AV. Nitrous Oxide: Production, Application, and Protection of the Environment. *Russian Journal of General Chemistry*. 2019;89(6):1338-46.
4. Spiro S. Nitrous oxide production and consumption: regulation of gene expression by gas-sensitive transcription factors. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*. 2012;367(1593):1213-25.
5. Ravishankara AR, Daniel JS, Portmann RW. Nitrous oxide (N₂O): the dominant ozone-depleting substance emitted in the 21st century. *Science*. 2000;286(5445):1223-5.
6. Ryan SM, Nielsen CJ. Global warming potential of inhaled anesthetics: application to clinical use. *Anesth Analg*. 2010;111(1):92-8.
7. McGain F, Muret J, Lawson C, Sherman JD. Environmental sustainability in anaesthesia and critical care. *Br J Anaesth*. 2020;125(5):680-92.
8. Ozelsel TJ, Sondekoppam RV, Buro K. The future is now-it's time to rethink the application of the Global Warming Potential to anesthesia. *Canadian Journal of Anaesthesia*. 2019;66(11):1291-5.
9. Myhre G, Shindell D, Bréon F-M, Collins W, Fuglestad J, Huang J, et al. Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press; 2013.
10. Flechard CR, Ambus P, Skiba U, Rees RM, Hensen A, van Amstel A, et al. Effects of climate and management intensity on nitrous oxide emissions in grassland systems across Europe. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2007;121(1):135-52.
11. MacNeill AJ, Lillywhite R, Brown CJ. The impact of surgery on global climate: a carbon footprinting study of operating theatres in three health systems. *Lancet Planet Health*. 2017;1(9):e381-e8.
12. Lew V, McKay E, Maze M. Past, present, and future of nitrous oxide. *Br Med Bull*. 2018;125(1):103-19.
13. Varughese S, Ahmed R. Environmental and Occupational Considerations of Anesthesia: A Narrative Review and Update. *Anesthesia & Analgesia*. 2021;133(4):826-35.
14. Yasny JS, White J. Environmental implications of anesthetic gases. *Anesth Prog*. 2012;59(4):154-8.
15. Ishizawa Y. Special article: general anesthetic gases and the global environment. *Anesth Analg*. 2011;112(1):213-7.
16. Ek M, Tjus K. Destruction of Medical N₂O in Sweden. 2012 [cited 03.05.22]. In: *Greenhouse Gases - Capturing, Utilization and Reduction* [Internet]. London: IntechOpen, [cited 03.05.22]. Available from: <https://www.intechopen.com/chapters/30634>.
17. Richardson MG, Lopez BM, Baysinger CL, Shotwell MS, Chestnut DH. Nitrous Oxide During Labor: Maternal Satisfaction Does Not Depend Exclusively on Analgesic Effectiveness. *Anesth Analg*. 2017;124(2):548-53.
18. Irwin MG, Trinh T, Yao CL. Occupational exposure to anaesthetic gases: a role for TIVA. *Expert Opin Drug Saf*. 2009;8(4):473-83.
19. Buhre W, Disma N, Hendrickx J, DeHert S, Hollmann MW, Huhn R, et al. European Society of Anaesthesiology Task Force on Nitrous Oxide: a narrative review of its role in clinical practice. *Br J Anaesth*. 2019;122(5):587-604.
20. Bryne I, Slørdahl S, Rootwelt T, Daae C. Spesialisthelsetjenestens rapport for samfunnsansvar 2021. 2022.
21. Daae C, Slørdahl SA, Lofthus CM, Eriksen I. Spesialisthelsetjenestens rapport for samfunnsansvar 2019 Helse Midt: Grønt Sykehus; 2020 [30/10-2020]. Available from:

<https://sykehusbygg.no/Documents/Rapporter/Spesialisthelsetjenestens%20rapport%20for%20samfunnsansvar%202019.pdf>.

22. Shafi RI, Goswami M, Rahman B, Nangia T, Nisa TU, Chawla S. Comparative Evaluation of Changes in Physiological and Psychomotor Effects in Pediatric Patients during Extraction under Different Concentrations of Nitrous Oxide-Oxygen Inhalation Sedation. *Contemp Clin Dent*. 2021;12(4):414-8.
23. Statistisk Sentralbyrå. 12575: Kjørelegder, etter kjøretøytype, statistikkvariabel og år: Statistisk Sentralbyrå 2019 [Available from: <https://www.ssb.no/statbank/table/12575/tableViewLayout1/>].
24. Miljødirektoratet. Tabeller for omregning fra energivare til utslipp 2020 [updated 13.10.2022]. Available from: <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/klima/for-myndigheter/kutte-utslipp-av-klimagasser/klima-og-energiplanlegging/tabeller-for-omregning-fra-energivarer-til-kwh/>.
25. Burrell RH. Primum non nocere: greening anaesthesia. *Anaesthesia & Intensive Care*. 2018;46(6):630-1.
26. Zuegge KL, Bunsen SK, Volz LM, Stromich AK, Ward RC, King AR, et al. Provider Education and Vaporizer Labeling Lead to Reduced Anesthetic Agent Purchasing With Cost Savings and Reduced Greenhouse Gas Emissions. *Anesthesia & Analgesia*. 2019;128(6):e97-e9.
27. White SM, Shelton CL, Gelb AW, Lawson C, McGain F, Muret J, et al. Principles of environmentally-sustainable anaesthesia: a global consensus statement from the World Federation of Societies of Anaesthesiologists. *Anaesthesia*. 2021;77(2):201-12.
28. Charlesworth M, Swinton F. Anaesthetic gases, climate change, and sustainable practice. *The Lancet Planetary Health*. 2017;1(6):e216-e7.
29. White SM, Shelton CL. Abandoning inhalational anaesthesia. *Anaesthesia*. 2020;75(4):451-4.
30. Roa L, Velin L, Tudravu J, McClain CD, Bernstein A, Meara JG. Climate change: challenges and opportunities to scale up surgical, obstetric, and anaesthesia care globally. *The Lancet Planetary Health*. 2020;4(11):e538-e43.
31. Kostrubiak MR, Johns ZR, Vatovec CM, Malgeri MP, Tsai MH. Environmental Externalities of Switching From Inhalational to Total Intravenous Anesthesia. *Anesthesia & Analgesia*. 2021;132(5):1489-93.
32. Kuvadiah M, Cummis CE, Liguori G, Wu CL. 'Green-gional' anesthesia: the non-polluting benefits of regional anesthesia to decrease greenhouse gases and attenuate climate change. *Regional Anesthesia & Pain Medicine*. 2020;45(9):744-5.
33. Skowno J, Weatherall A. Lighting a candle, or cursing the darkness? Delivering a climate friendly anaesthetic. *J Paediatr Child Health*. 2021;57(11):1781-4.
34. Sherman J, Le C, Lamers V, Eckelman M. Life cycle greenhouse gas emissions of anesthetic drugs. *Anesth Analg*. 2012;114(5):1086-90.
35. Richardson MG, Lopez BM, Baysinger CL. Should Nitrous Oxide Be Used for Laboring Patients? *Anesthesiol Clin*. 2017;35(1):125-43.
36. Yeo ST, Holdcroft A, Yentis SM, Stewart A. Analgesia with sevoflurane during labour: i. Determination of the optimum concentration. *Br J Anaesth*. 2007;98(1):105-9.
37. Yeo ST, Holdcroft A, Yentis SM, Stewart A, Bassett P. Analgesia with sevoflurane during labour: ii. Sevoflurane compared with Entonox for labour analgesia. *Br J Anaesth*. 2007;98(1):110-5.
38. Yamakage M, Tsujiguchi N, Chen X, Kamada Y, Namiki A. Sevoflurane inhibits contraction of uterine smooth muscle from pregnant rats similarly to halothane and isoflurane. *Can J Anaesth*. 2002;49(1):62-6.
39. Becker DE, Rosenberg M. Nitrous oxide and the inhalation anesthetics. *Anesth Prog*. 2008;55(4):124-30; quiz 31-2.
40. Feldman JM. Managing fresh gas flow to reduce environmental contamination. *Anesthesia & Analgesia*. 2012;114(5):1093-101.
41. Baxter AD. Low and minimal flow inhalational anaesthesia. *Can J Anaesth*. 1997;44(6):643-52; quiz 52-3.
42. Glenski TA, Levine L. The implementation of low-flow anesthesia at a tertiary pediatric center: A quality improvement initiative. *Paediatric Anaesthesia*. 2020;30(10):1139-45.

43. Rauchenwald V, Rollins MD, Ryan SM, Voronov A, Feiner JR, Sarka K, et al. New Method of Destroying Waste Anesthetic Gases Using Gas-Phase Photochemistry. *Anesthesia & Analgesia*. 2019;131(1):288-97.
44. Dahling S, Wennerhed F-M. Nitrous Oxide Destruction. Malmö, Sweden: Nordic Center for Sustainable Healthcare; 2020.
45. Slingo ME, Slingo JM. Climate impacts of anaesthesia. *British Journal of Anaesthesia*. 2021;126(6):e195-e7.

8. TABELLER

Global Warming Potential (GWP)				
Stoff	Kjemisk formel	Atmosfærisk levetid	20 år	100 år
Karbondioksid	CO ₂	varierer		1
Metan	CH ₄	12±3		28
Lystgass	N ₂ O	120		265
Sevofluran	C ₄ H ₃ F ₇ O	1.2	349	
Isofluran	C ₃ H ₂ ClF ₅ O	3.6	1401	
Desfluran	C ₃ H ₂ F ₆ O	10	3714	

Tabell 1: Viser GWP til ulike drivhusgass, fra ulike kilder. CO₂, metan og lystgass er hentet fra IPCC femte vurderingsrapport fra 2014 (9), mens GWP₂₀ til inhalasjonsgassene er hentet fra Ryan og Nielsen(6).

KLIMAREGNSKAP 2021

KLIMAREGNSKAP 2021	2021		CO2		
	Forbruk	Faktor	2019	2020	2021
Gasser					
Kuldemedier (Kg)	1 964		4 352,3	3 265,8	4 137,2
Lystgass (Kg)	38 535	289	12 459,6	10 747,8	11 136,6
Desfluran (kg)	1 660	2 540	6 657,9	5 560,1	4 216,2
Sevofluran (kg)	2 498	130	320,4	327,4	324,7
Isofluran (kg)	177	510	90,7	137,1	90,2
Energibehov bygg					
Aggregat					
Diesel (liter)	143 413	268	393,3	298,6	381,5
Elbehov					
Elkjetil (kwh)	80 350 575	0,28	29 307,6	21 055,4	22 498,2
El-kjetil med oppr.gar. (kWh)	670 379	0,0164	-	26,3	11,0
Fast kraft (kWh)	768 497 059	0,28	207 101,3	208 399,4	215 179,2
Fast kraft med oppr.gar. (kWh)	36 060 198	0,0164	596,2	593,1	591,4
Termisk energibehov (oppvarming)					
Bioolje (liter)	680 339	0,004	-	-	2,7
Biobrensel (kwt)	12 387 183	0,0053	55,5	55,4	65,7
Diesel/fyringsolje (liter)	1 356 589	2,67	4 904,4	3 391,6	3 608,5
Fjernkjøling (kwt)	28 966 925	0,13	3 603,5	3 779,1	3 765,7
Fjernvarme (kwt)	417 369 258	0,13	52 176,6	48 592,5	54 258,0
Naturgass (m3)	4 221 552	2,34	9 172,6	9 151,1	9 878,4
Varmepumpe (Fjord/Jordvarme) kWh	1 364 085	0,28	-	-	381,9
Transport - ansatte					
Eide, leide eller leasede biler					
Bensin (liter)	348 694	2,32	803,13	712,7	809,0
Diesel (liter)	943 462	2,66	3 213,87	2 867,3	2 509,6
Km el-bil (km)	72 164	0	-	-	-
Uspesifisert drivstoff (liter)	4 716	2,51	83,76	31,7	11,8
Flyreiser					
Flyreise innenlands (km)	20 761 155	0,175	9 990,36	3 477,0	3 633,2
Flyreise utenlands (km)	5 660 054	0,13	6 227,12	1 441,8	735,8
Tjenestekjøring egen bil					
Bil (km)	14 026 243	0,17	3 724,21	2 489,6	2 384,5
Km el-bil (km)	350 878	0	-	-	-
KLIMAREGNSKAP 2021					
Transport - pasienter					
Ambulansetransport					
Bil Bensin (liter)	209 086,0	2,32	-	-	485,1
Bil Diesel (liter)	4 412 739,1	2,66	10 995,24	10 791,4	11 737,9
Båt Diesel (liter)	1 527 980,0	2,68	4 324,35	3 949,0	4 095,0
Helikopter (liter)	2 928 813,0	2,54	8 214,51	5 444,9	7 439,2
Fly (liter)	5 260 876,0	2,68	10 891,31	12 609,8	13 362,6
Andre transportmidler					
Andre fremkomstmidler (km)	1 149 914,0	0,169	143,42	80,5	194,3
Drosje (km)	73 853 943,0	0,17	11 801,69	11 235,0	12 555,2
Egen bil (km)	217 709 637,0	0,17	39 441,26	32 836,0	37 010,6
Helsebuss/ekspres/hvite biler (km)	4 340 686,0	1,22	7 116,18	6 056,3	5 295,6
Flyreiser					
Flyreise innenlands (km)	65 051 336,0	0,75	15 317,63	9 686,5	11 384,0
Flyreise utenlands (km)	361 603,0	0,13	65,73	24,4	47,0
SUM TONN CO2-UTSLIPP			463 545,6	419 114,6	444 217,5
Fratrekk kjøp av gjenvinningskraft Helse Nord, Helse Midt-Norge og Helse Vest					114 018,40
SUM TONN CO2-UTSLIPP					330 199,10

Tabell 2: Spesialisthelsetjenestens rapport for samfunnsansvar: klimaregnskapet 2021 (20).

Kolonne 1 for lystgass er forbruk i kilo, mens kolonne 3, 4 5 og er CO₂-ekvivalenter i tonn

2019	Lystgass (kg)	Utslipp tonn CO₂	GWP₁₀₀
Finnmarkssykehuset	487,5	140,9	37 338,5
UNN	4 730	1 367	362 255
Nordlandssykehuset	1 743	503,7	133 480,5
Helgelandssykehuset	1 440	416,2	110 293
Totalsum	8 400,5	2 427,8	643 367

Tabell 3: Lystgass-forbruk fordelt på ulike sykehus i Helse Nord. GWP₁₀₀ er regnet ut fra at GWP₁₀₀ for lystgass er 265.

2019	Lystgass (kg)	Utslipp tonn CO₂	GWP₁₀₀
Helse Nord	8 400,5	2 427,8	643 367
Helse Midt-Norge	5 711	1 650	437 250
Helse Vest	5 235	1512,9	400 918,5
Helse Sør-Øst	23 767,8	6 868,9	1 820 258,5
Totalt	43 114,3	12 459	3 301 794

Tabell 4: Totalforbruket og -utslipp av lystgass i 2019 fordelt på de ulike helseregionene, fått fra helseregionene, der de brukte GWP₁₀₀ på 289. Helse Sør-Øst sitt estimerte forbruk regnet ut ved å subtrahere de andre regionenes tall fra totalforbruket. GWP₁₀₀ er regnet fra IPCC A5, der GWP₁₀₀ for lystgass er 265.

# ▲ Searches	Results	Type	Actions	Annotations
1 exp Nitrous Oxide/	15078	Advanced	Display Results More ▼	
2 laughing gas.ti,ab,kw.	178	Advanced	Display Results More ▼	
3 nitrous protoxide.ti,ab,kw.	1	Advanced	Display Results More ▼	
4 dinitrogen oxide.ti,ab,kw.	22	Advanced	Display Results More ▼	
5 exp Anesthesia, General/ or exp Anesthesia/	201199	Advanced	Display Results More ▼	
6 inhalation anaesthesia.ti,ab,kw.	364	Advanced	Display Results More ▼	
7 intravenous anaesthesia.ti,ab,kw.	1074	Advanced	Display Results More ▼	
8 intravenous anesthesia.ti,ab,kw.	2685	Advanced	Display Results More ▼	
9 inhalation anesthesia.ti,ab,kw.	1027	Advanced	Display Results More ▼	
10 1 or 2 or 3 or 4	15143	Advanced	Display Results More ▼	
11 5 or 6 or 7 or 8 or 9	202721	Advanced	Display Results More ▼	
12 exp Greenhouse Gases/	1536	Advanced	Display Results More ▼	
13 exp Greenhouse effect/	5965	Advanced	Display Results More ▼	
14 exp Climate Change/	25841	Advanced	Display Results More ▼	
15 carbon footprint.ti,ab,kw.	1434	Advanced	Display Results More ▼	
16 12 or 13 or 14 or 15	33279	Advanced	Display Results More ▼	
17 10 and 16	872	Advanced	Display Results More ▼	
18 11 and 16	35	Advanced	Display Results More ▼	
19 17 and 18	8	Advanced	Display Results More ▼	

Tabell 5: Litteratursøk på Medline

Syv prinsipper for bærekraftig anestesi

Anestesipersonell bør

1. Minimere miljøpåvirkning i sin kliniske praksis
2. Bruke miljøvennlig medikamenter og utstyr når det er klinisk forsvarlig
3. Minimere overforbruk og sløsing av medisiner, utstyr, energi og vann
4. Introdusere bærekraftig anestesi i formell anestesiutdanning
5. Innlemme miljømessige bærekrafts-prinsipper i anestesiforskning og kvalitetsforbedrende arbeid
6. Lede miljøaktivitet innen deres helseorganisasjoner
7. Samarbeide med industri for å forberede miljømessig bærekraft

Tabell 6: Prinsipper om bærekraftig anestesi som World Federation of Societies of Anesthesiologist utarbeidet konsensus om i 2021 (27)

Studier		
Forfatter, år, ref.nr.	Studietype	Viktigste funn
Kuvadiah, 2020 (32)	Diskursanalyse	<ul style="list-style-type: none"> • Teoretisk utredning på hvor mye utslipp kan reduseres ved å iverksette regional anestesi fremfor inhalasjonsmidler. • I 2019 utførte de på et sykehus 10 485 total kne- og hofteartroplastikk med kun 4% utført i generell anestesi. De sparte tilsvarende bil kjørt > 90 tusen km.
Zuegge, 2019 (26)	Rapport	<ul style="list-style-type: none"> • Redusere negativ utslipp via tverrfaglig samarbeid, engasjement og opplæring om low flow og valg av inhalasjonsmiddel. • Vha. merking av inhalasjonsmidler, e-post, og opplæring klarte de å redusere 64% CDE-utslipp per case.
Yasny, 2012 (14)	Systematisk oversiktsartikkel	<ul style="list-style-type: none"> • IV-anestesi har mange av de samme gunstige effektene som N₂O, og kan brukes til erstatning, men krever mer fokus på mulige metabolitter og deres påvirkning på miljøet. • Redusere lekkasje, hindre sløsing, riktig bruk av utstyr, low flow, unngå N₂O som carrier gass er alle metoder for å redusere utslipp. • To ulike resirkuleringsmetoder under prøving
Ryan, 2010 (6)	Forskning	<ul style="list-style-type: none"> • Lystgass har atmosfærisk levetid på 114 år og GWP₂₀ på 289. • Lystgass har synergistisk effekt på de andre inhalasjonsmidlene, ved å øke GWP for sevofluran og isofluran

		henholdsvis 590% og 290%, og reduserer GWP for desfluran med 40%.
WFSA, 2021 (27)	Guideline	Konsensus om syv prinsipper for bærekraftig anestesi.
Varughese, 2021 (13)	Narrativ litteraturstudie	<ul style="list-style-type: none"> • Anestetiske inhalasjonsmidler er drivhusgasser, men representerer også en fare for yrkeseksponering. • Anestetiske gasser undergår lite metabolisme i kroppen, og elimineres ved utpust. • Effekter av langvarig eksponering er usikre, men tidligere er det dokumentert mulig risiko for lever/nyresykdom, nevrologisk sykdom, spontanabort/teratogene effekt på foster, mulig DNA-skade. • Risiko for yrkeseksponering minimeres med tilstrekkelig ventilering, nesten ingen dokumenterte effekter assosiert med WAG, etter ventilering ble vanlig • Tiltak som minimal FGF, unngå bruk av N₂O og Desfluran, automatisk kontroll av FGF, effektiv ventilering, monitorering av gasskonsentrasjon i lufta, vedlikehold av utstyr, samt TIVA kan redusere utslipp og risiko for yrkeseksponering • TIVA er en mulig metode, men dens klimaeffekt er ikke fullstendig kartlagt
Slingo, 2021 (45)	Korrespondanse	<ul style="list-style-type: none"> • GWP alene er ikke tilstrekkelig for å vurdere individuelle gassers potensielle effekter på miljøet

		<ul style="list-style-type: none"> • GWP skiller ikke mellom langlivede klimaforurensere og kortlivede klimaforurensere • Kortlivede klimaforurensere har ikke nok molekyler til å utøve stor effekt, i tillegg til å ha kort atmosfærisk levetid, og deres effekt på klimasystemet er forskjellig fra CO2. • Inhalasjonsgasser har liten totaleffekt på drivhuseffekten, og tiltak bør rettes mer mot de store bidragsyterne
Beloeil, 2020	Manuskript	<ul style="list-style-type: none"> • Desfluran burde kun brukes når den reduserer sykkelighet og dødelighet mer enn andre alternativer • Anestetiske legemidler kastes ubrukt opp mot 50% av tiden, med propofol som den verste
Kostrubiak, 2021 (31)	Litteraturstudie	<ul style="list-style-type: none"> • Klimaeffektene til inhalasjonsmidlene er godt kjent, men dette gjelder ikke de alternative metodene som foreslås som erstatninger • Ved å bytte praksis risikerer man å bytte ut ett sett med eksternaliteter med en annen, og det krever en grundig gjennomgang av dette før man evt. gjør en endring • LCA sammenligning av inhalasjonsmidler og TIVA tyder på at inhalasjonsmidler har opp mot 4 ganger større klimaeffekt enn propofol. • Vanntilgang er viktig komponent når man vurderer alternativer. Gjenbruk i områder med vannmangel vil forverre

		<p>vanntilgangen, og det må tas stilling til når man vurderer klimaeffekten som engangsutstyr utgjør.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Områder med god vanntilgang bør i hovedsak bruke gjenbruk, mens områder med lite tilgang må ha andre alternativer
Roa, 2020 (30)	Personlig synspunkt	<ul style="list-style-type: none"> • Klimaendringer har stor effekt på kirurgi, obstetikk og anestesi, som økt risiko for uønskede neonatale- og mødre-utfall, økt infeksjonsfare, etc. • Løsninger foreslått av IPCC bygger på skadebegrensning og tilpasninger. • Ved skadebegrensning er målet å oppnå et klimanøytralt helsevesen. Anestetiske midler og energiforbruk er de to største kildene til utslipp i operasjonsrom. • Klimaavtrykket til ulike kirurgiske prosedyrer bør tas hensyn til når man vurderer hvilken prosedyre som er gunstig, uten at det går utover pasientens sikkerhet
McGain, 2020 (7)	Litteraturstudie	<ul style="list-style-type: none"> • Helsevesenet er store bidragsytere til klimautslipp, der anestesi, kirurgi og intensivet er blant annet en av de viktigste årsakene til dette • Vurdert miljøpåvirkning og evidens av anestetiske gasser, TIVA, lokalanestesi, intensivet, plastikk-utstyr, operasjonsrom-utstyr, energiforbruk etc.

<p>Rauchenwald, 2019 (43)</p>	<p>Laboratorieforsøk</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Prototype maskin som ved hjelp av fotokjemiske prosesser nedbryter inhalasjonsmidler • Vurdere dens effektivitet ved ødeleggelse av sevofluran, desfluran og lystgass • Maskinen var effektiv til å ødelegge desfluran og sevofluran, mest sannsynlig også isofluran, men var ikke tilstrekkelig for lystgass. Krever ytterligere forbedring for dette.
<p>White, 2020 (29)</p>	<p>Lederartikkel/redaksjonell artikkel</p>	<ul style="list-style-type: none"> • NHS (Nasjonal Helsevesen i Storbritannia) har estimert at anestetiske gasser bidra ca. 5% av det totale utslippet fra britiske sykehus • For å unngå «point of no return» så foreslås det at man må ha fullstendig avsluttet bruken av anestetiske inhalasjonsmidler innen 2030 • Mener at det totale utslippet fra andre metoder vil være mindre en totalutslippet fra inhalasjonsmidler • Argumenter for at det er ingen absolutte indikasjoner for inhalasjonsmidler som ikke kan substitueres med LRA/TIVA
<p>Ozelsel, 2019 (8)</p>	<p>Refleksjon</p>	<ul style="list-style-type: none"> • En drivhusgass er en gass som absorberer og reflekterer infrarødt lys fra jorden, og dermed fanger den opp i atmosfæren • Potensen av gassen bestemmes av atmosfærisk levetid, mengden IR den absorberer og om det er naturlige

		<p>stoffer i atmosfæren som absorberer på samme bølgelengde</p> <ul style="list-style-type: none"> • GWP₁₀₀ var utviklet for politiske beslutninger, og ikke for individuelle gasser • GWP ser på effekten på et enkelt tidspunkt, og de argumenterer for at man heller skal se på effekten stoffet har på ulike tidspunkt over tid. • Lystgass vil akkumulere over tid ved utslipp, og dermed ha større effekt på klima • Foreslår en obligatorisk rapportering av bruk og mengde • Foreslår å bruke midler med kortvarig klimaeffekt som sevofluran og isofluran, frem til man får utviklet klimanøytrale alternativer
<p>Burrell, 2018 (25)</p>	<p>Eksperimentell forskning?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Forsøkte å redusere utslipp på anestesi på et akuttsykehus i Melbourne og et mindre landlig sykehus • Gradvis bytting til nye maskiner med automatisk kontroll og dermed mulighet for lavest mulig FGF • For å oppnå mindre utslipp brukte de undervisning om relative klimaavtrykk av de ulike midlene og alternative midler, lavest mulig FGF, oppmuntring til å bruke TIVA, månedlig utregninger på karbonutslipp, og ha Sevofluran som «standard»

		<ul style="list-style-type: none"> • Resulterte i en årlig reduksjon på ca. 600 tonn CO₂ årlig.
Charlesworth, 2017 (28)	Kommentar	<ul style="list-style-type: none"> • Anestetiske midler har ofte vært ekskludert i ulike protokoller for kontroll fordi det har vært ansett som medisinsk nødvendig • Anestetisk praksis bestemmes blant annet av personlige preferanser, i tillegg til pasient-, kirurgiske-, og anestetiske faktorer • Det er ingen konsensus som tar hensyn til balansen mellom fordel og skader for den individuelle pasienten og populasjonen ellers som påvirkes av klimaendringer • I tillegg til tiltak i anestesien, må man ikke glemme andre arenaer der klinikere kan redusere utslipp, som feks rett antibiotika-bruk.
Tay, 2013	Prospektiv case-kontroll studie	<ul style="list-style-type: none"> • Prospektiv før og etter studie som sammenlignet kostnad og drivhusgass-utslipp av isofluran, sevofluran og desfluran ved bruk av manuell vs. Automatisk kontroll av ende-tidal gasser • Automatisk kontroll reduserte kostnader med 27% og drivhusgass-utslipp reduserte med 44%, som både skyldes automatisk kontroll, men også til dels redusert bruk av Desfluran • Automatisk kontroll gjorde at bruken av low-flow økte.

Feldman, 2012 (40)	Spesialartikkel	<ul style="list-style-type: none"> • Det er lettest å opprettholde lav FGF i vedlikeholdsfasen, så er det mulig å redusere sløsing og overforbruk i alle faser • Bruk av lukket system ville vært det ideelle systemet for å eliminere utslipp av anestesigasser til atmosfæren
Ishizawa Y, 2011 (15)	Litteraturstudie	<ul style="list-style-type: none"> • Lystgass er den største ozonreducerende gassen, og vil mest sannsynlig forbli det i det 21ste århundre • Et sykehus i USA hadde ca. 350 000 tonn CO₂ utslipp fra lystgass-forbruk i 2006 • TIVA er mulig alternativ • Teknologiske fremskritt som reduserer utslipp, er blant annet en anesthesi-bevarende enhet (ACD) som har vist å redusere utslippet med 40-75% • Xenon hadde i teorien vært perfekt erstatning, men er veldig dyr å produsere, i tillegg til å være svært energikrevende
Sherman, 2012 (34)	Oversiktsartikkel	<ul style="list-style-type: none"> • Livssyklus-analyse evaluerer flere miljøpåvirkninger av et produkt gjennom hele dens livssyklus, fra produksjon til destruksjon • Desfluran har størst LCA, og alle øker i kombinasjon med lystgass. • Til sammenligning har propofol 4 størrelsesenheter mindre effekt enn lystgass og desfluran.

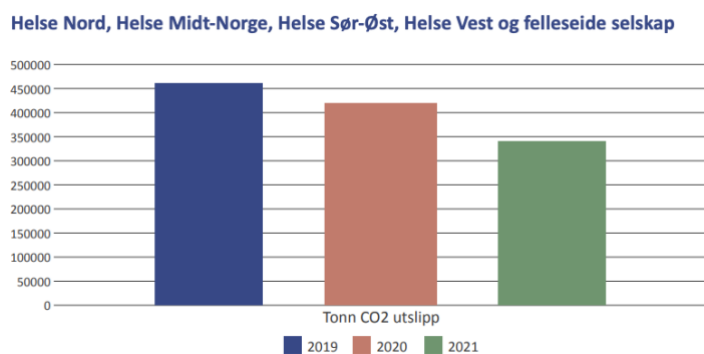
		<ul style="list-style-type: none"> • Drivhuseffekten av propofol kommer i størst grad av energien som kreves til pumpen, og ikke direkte utslipp • Desfluran og lystgass bør ha klare, restriktive retningslinjer for bruk
Yeo, 2007 (36)	Open-labelled escalating-dose study	<ul style="list-style-type: none"> • 22 kvinner mottok selvadministrerende sevofluran under fødsel for 10 kontraksjoner • Optimal dosering var 0,8% som ga best smertelindrende effekt samt unngå de største bivirkningene
Yeo, 2007 (37)	Åpent kontrollert forsøk	<ul style="list-style-type: none"> • Data fra 29 fødende • Smertelindrende effekt var signifikant høyere i for Sevofluran sammenlignet med lystgass • Kvalme og oppkast var vanligere med lystgass enn Sevofluran • Signifikant høyere sedasjon med Sevofluran enn lystgass, men alle var kontaktbare og samarbeidsvillig under hele fødselen • Samtlige foretrakk sevofluran framfor lystgass
Ek, 2012 (16)	Oppsummeringsartikkel	<ul style="list-style-type: none"> • Tre generasjoner med maskin som nedbryter lystgass, mer kostnadseffektive for hver generasjon • 70% av fødende i Sverige bruker lystgass, og 90% av medisinsk lystgass brukt i Sverige brukes i forbindelse med fødsel • Totalutslippet i Stockholm fylke reduserte med 52% fra 2002 til 2010

		<ul style="list-style-type: none"> • Maskinen er kostnadseffektive på større sykehus med > 5 fødestuer
MacNeill, 2017 (11)	Longitudinal studie, cross-sectional studie	<ul style="list-style-type: none"> • Drivhusgass-evaluering på operasjonsstuer var gjort på tre sykehus i USA, Canada, og Storbritannia over 1 år • Anestesigasser og energiforbruk var de største kildene til utslipp • Operasjonsstue var tre-seks ganger mer energikrevende enn sykehuset generelt grunnet oppvarming, ventilasjon, og aircondition • Totalt er det beregnet at det kirurgiske klimaavtrykket i de tre landene er 9-7 mill. Tonn CO₂ årlig • Unngå bruk av Desfluran og endre ventilasjonsinnstillinger til når rommet er i bruk.
NCSH, 2020 (44)	Rapport	<ul style="list-style-type: none"> • Teknikker for ødeleggelse av lystgass • Low-flow anestesi reduserer mengden ny gass som kreves, i tillegg til mengden som da slippes ut til atmosfæren • Dobbeltmaske er en teknikk som reduserer lekkasje av gass ut i atmosfæren, men en hard ytre maske og mykere innermaske, med et sugesystem som samler opp gassen opp mot 75-85% • Oppsamlet gass kan brytes ned til oksygen og nitrogen, og har vist å bryte ned rundt 89-100%

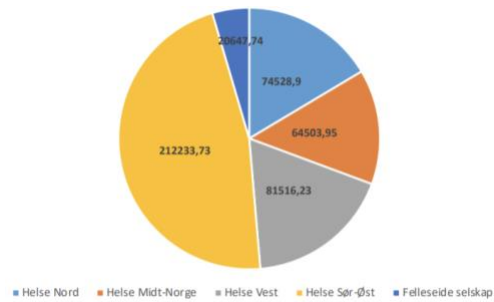
Meyer, 2020	Personlig synspunkt	<ul style="list-style-type: none"> • Desfluran har kortere ekstubasjon ifht. Isofluran og sevofluran • Viktigste tiltak er å avslutte bruken
Glenski T.A, 2020 (42)	Kvalitetsforberedende studie/eksperimentell	<ul style="list-style-type: none"> • Etter implementering av low-flow reduserte de antall sevofluran-flasker med 20% per måned. • I tillegg reduserte de gjennomsnittlig mengde anestesi brukt under hver operasjon med 25%, som gir lignende reduksjon i utslipp • Over de tre siste månedene reduserte de gjennomsnittlig sevofluran brukt med 38%

Tabell 7: Oversikt over artikler funnet ved litteratursøket, samt tips fra veileder og referanser. 3 studier ble ikke referert til i studien, da de ikke ga ny informasjon.

9. FIGURER

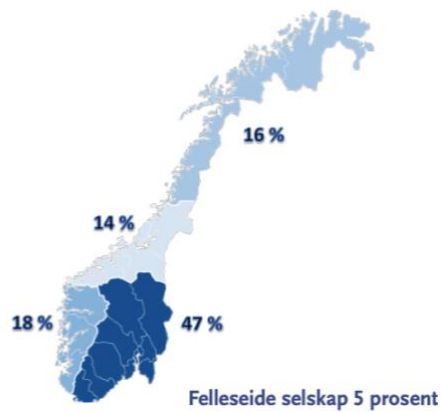


Figur 1: Totalutslippet i tonn CO₂ de siste tre årene, medberegnert gjenvinningskraft (20). Det har vært relativt stabil, der reduksjonen i 2021 skyldes i hovedsak gjenvinningskraft.



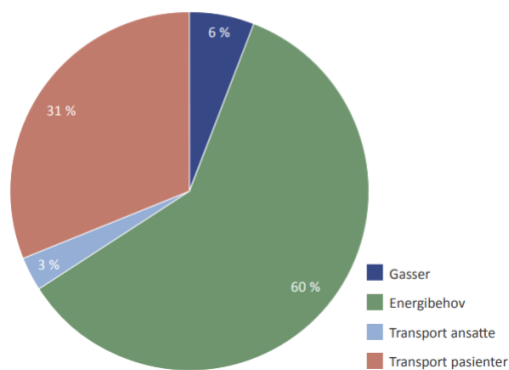
Figur 2: CO₂-utslipp i tonn for Helse Nord, Helse Midt-Norge, Helse Sør-Øst, Helse Vest og felleseide selskap i 2019.

Prosentvis CO₂-utslipp per region



Figur 3: Totale CO₂-utslippet i prosent fordelt på de ulike helseregionene i 2019, der Helse Sør-Øst med størst prosentandel (21).

CO₂-utslipp 2021 Helse Nord, Helse Midt-Norge, Helse Sør-Øst, Helse Vest og felleseide selskap



Figur 4: Viser 4 hovedkategorier i spesialisthelsetjenestens klimaregnskap, der gasser med lystgass står for ca. 6% (20)

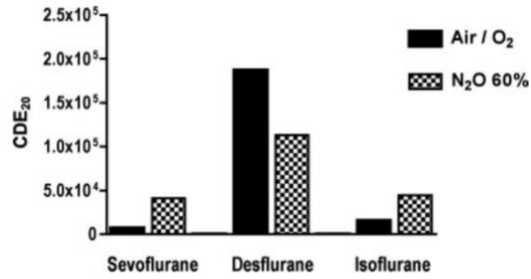
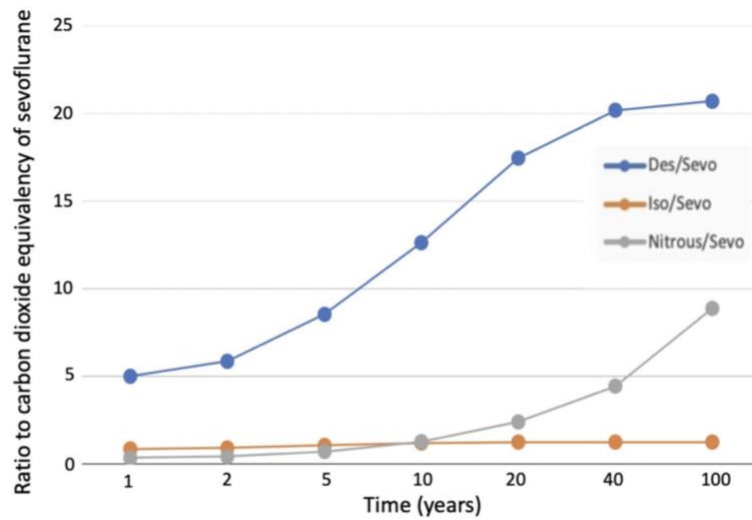


Figure 3. One hour of inhaled anesthetic, delivered with air/oxygen (O₂) or 60% nitrous oxide (N₂O) adjusted to deliver 1 MAC-hour anesthetic at 2 L fresh gas flow. CDE₂₀ = 20-year carbon dioxide equivalent (in grams).

Figur 5: Viser synergistisk effekt av lystgass på GWP til inhalasjonsmidlene. Sevofluran og Isofluran får økt GWP i kombinasjon med lystgass, mens den reduserer Desflurans GWP. (6)

Fig. 2 Carbon dioxide equivalency ratio of sevoflurane



Figur 6: CDE av isofluran, desfluran og lystgass sammenlignet med sevofluran over en tidsperiode på 100 år. (8)