

Pål Ivar Sigurdsen

# PFAS i skismøring og deres effekter på mennesker

Bacheloroppgave i Lektorutdanning i realfag

Veileder: Alexandros Asimakopoulos

April 2021



Pål Ivar Sigurdson

# **PFAS i skismøring og deres effekter på mennesker**

Bacheloroppgave i Lektorutdanning i realfag  
Veileder: Alexandros Asimakopoulos  
April 2021

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Fakultet for informasjonsteknologi og elektroteknikk  
Institutt for kjemi



Kunnskap for en bedre verden



Vår  
2021

# PFAS i skismøring og deres effekter på mennesker

Pål Ivar Sigurdsen

Kandidatnummer: 10011

Veileder: Alexandros Asimakopoulos



## Oppsummering

Fluorstoffer har lenge vært brukt i skismøring da det gir gunstige effekter på glid, men hvordan kan perfluorkjemikalier (PFAS) i skismøring påvirke personer som håndterer disse stoffene? Studier har vist at det kan være flere ulike helsekonsekvenser knyttet til bruken av disse stoffene, og det går nå mot et forbud mot fluorholdig skismøring. Formålet med denne oppgaven er å se på hvordan PFAS-er kan utgjøre risiko for mennesker og om personell som jobber med påføring av fluorholdig skismøring er ekstra utsatt.

## Innhold

Oppsummering .....	1
1 Introduksjon.....	3
2 Teori .....	4
2.1 PFAS .....	4
2.2 PFAS i den generelle befolkningen.....	5
2.3 Profesjonelle skismørere og PFAS .....	7
2.4 Helseeffekter .....	9
3 Diskusjon.....	10
3.1 Fra mor til barn.....	10
3.2 Den generelle befolkningen.....	11
3.3 Profesjonelle skismørere .....	11
3.4 Helseeffekter .....	12
4 Konklusjon .....	14
5 Referanser.....	15

## 1 Introduksjon

Per- og poly-fluoralkylstoffer (PFAS) brukt i skismøring er giftige og brytes svært langsomt ned. De har også evnen til å hoppe seg opp i kroppen og kan by på alvorlige helsekonsekvenser for mennesker som utsettes for disse stoffene jevnlig (Haug, Knutsen, & Thomsen, 2018).

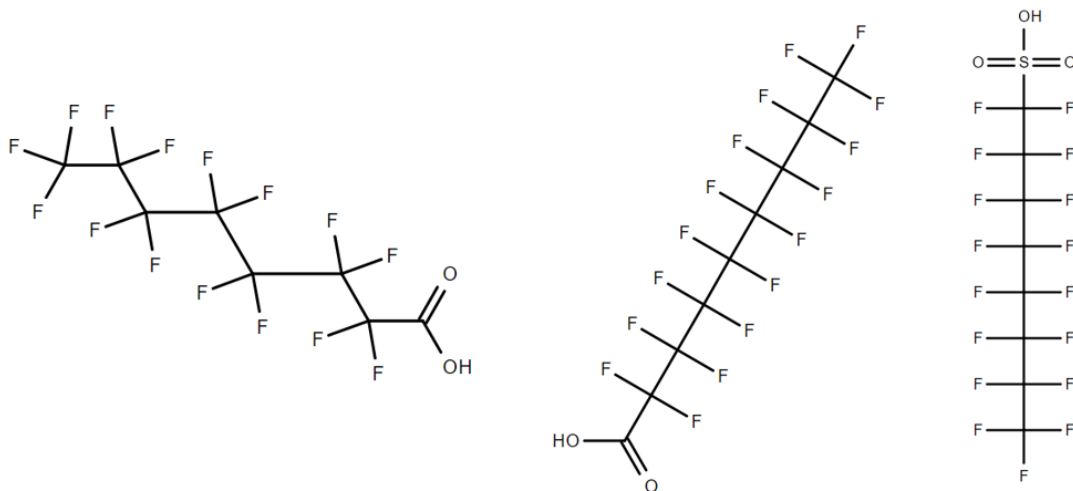
Flere studier har sett på hvordan profesjonelle skismørere som jobber sesongbasert eller gjennom hele året kan være utsatt for forhøyede verdier av PFAS-er i blodet målt opp mot den generelle befolkningen (Freberg et al., 2010; Nilsson et al., 2010). Er profesjonelle skismørere ekstra utsatt for helseskadelige effekter, og i så fall på hvilken måte? Fromme et al. (2010) har blant annet sett på sammenhengen mellom hvordan fluoreerte forbindelser kan overføres fra mor til barn i svangerskapet, og videre gjennom morsmelk under den første levetiden hos barnet. Siden det finnes flere ulike varianter av PFAS-er, har jeg valgt å ta utgangspunkt i de fire PFAS-ene PFOA, PFNA, PFHxS og PFOS og hvordan ulike konsentrasjoner av disse stoffene i kroppen kan påvirke mennesker på en negativ måte.



## 2 Teori

### 2.1 PFAS

Per- og poly-fluoralkylstoffer (PFAS), her kalt fluorerte forbindelser, er syntetiske stoffer som brukes iblant annet skismøring. Flere av disse brytes svært langsomt ned i naturen, har evnen til å hope seg opp i kroppen og kan være helseskadelige. Det finnes mange forskjellige varianter av disse stoffene, men de som er forsket mest på er blant annet perfluoroktan-syre (PFOA), perfluoronan-syre (PFNA), perfluorheksan-sulfonat (PFHxS) og perfluoroktan-sulfonat (PFOS) (Haug et al., 2018).



**Figur 1:** Strukturformel for (f.v.) PFOA, PFNA og PFOS. PFHxS har lik strukturformel som PFOS, men med to færre karbonatomer og fire færre fluoratomer (Haug et al., 2018).

Perfluorerte komponenter (PFCs) tilhører en gruppe kjemikalier med en hydrofob fluorert karbonkjede med ulike hydrofile funksjonelle grupper. Disse kjemikaliene har blitt produsert siden 1950-tallet til ulike formål som blant annet emballasje, slippbelegg og impregneringsmidler (Fromme et al., 2010). Disse stoffene finnes dermed i mange ulike former, og det er flere kilder til hvordan vi får i oss disse stoffene. Store deler kommer fra mat og drikke, foster får det fra mor og det kan pustes inn fra støv og ved berøring av produkter som inneholder PFAS (Haug et al., 2018).

Perfluorerte komponenter er å finne stort sett overalt, både i dyr og mennesker. Av de mest vanlige er det de to 8-karbonkjedeforbindelsene PFOS og PFOA som forekommer hyppigst (Shoeib, Harner, M. Webster, & Lee, 2011). Disse stoffene kan forflytte seg over store distanser. De kan kjennetegnes særlig ved at de er veldig persistente, grunnet de sterke

kovalente karbon - fluor – bindingene, ved deres giftighet og ved deres evne til å bioakkumulere oppover i næringskjeden. I følge Shoeib et al. (2011) er forhøyede konsentrasjoner av PFAS-er i mennesker assosiert med en rekke negative bivirkninger. Eksempler på bivirkninger er redusert spermkvalitet, redusert fødselsvekt og endringer i skjoldbruskhormonnivåer i voksen alder. Siden disse stoffene kan overføres fra mor til foster under svangerskapet og videre gjennom brystmelk under amming er dette til bekymring for utviklingen av foster og spedbarn. På grunn av disse egenskapene ved PFAS ble noen av de (PFOS) oppført i Stockholmkonvensjonen under persistente organiske miljøgifter (POPs) i 2009 (Shoeib et al., 2011).

## 2.2 PFAS i den generelle befolkningen

Grunnet lang nedbrytningstid samt liten grad av utskillelse fra kroppen, gir konsentrasjoner av PFAS i blodet en indikasjon på hvor mye en person har fått i seg av disse stoffene over flere år. PFAS-er i mennesker er hovedsakelig distribuert i blodplasma, der de er bundet til proteinet albumin, i lever og i nyrene. PFOS og PFOA undergår ikke metabolisme og skilles dermed ut fra kroppen gjennom urin og galle. Flere studier har estimert at PFAS-er har halveringstid på mellom 2 og 6 år. Stoffene har blitt påvist i navlestrengsblod, morsmelk og plasma hos barn som har blitt ammet, og indikerer at stoffene overføres fra mor til barn både før og etter fødsel (Chain et al., 2020).

En studie utført av Fromme et al. (2010) så på konsentrasjonen av PFAS i blodet hos 53 mødre under graviditet og hos barnet 6 og 19 måneder etter fødsel, samt månedlig i brystmelk. Alle mødre hadde et normalt kosthold, var sunne og hadde normale graviditeter. Månedlig testing av brystmelk ble tatt ut fra melkepumper som mødre selv sørget for. Alle pumpene i undersøkelsen ble testet for innhold av PFAS-er, men ingen av pumpene viste seg å inneholde spor av disse stoffene. Alderen på mødre i studien var fra 21 år til 43 år, med en gjennomsnittsalder på 33 år. Av fødslene ble 17 % utført ved hjelp av keisersnitt. Alle ungene var friske ved fødsel, med en gjennomsnittsvikt på 3341 g. Av alle deltakerne var informasjon om amming tilgjengelig for 50 av dem; 37 fikk kun brystmelk fra mor, 6 fikk hovedsakelig kun brystmelk og 6 fikk bare delvis brystmelk fra mor. Et barn fikk ikke brystmelk i det hele tatt (Fromme et al., 2010).

Kvantifiseringsgrensen for blodserum var i studien til Fromme et al. (2010) på 0,4 ng/mL for PFOA og PFNA og 0,2 ng/mL for PFHxS. For brystmelk og morsmelkerstatning var kvantifiseringsgrensen på 0,03, 0,15, og 0,02 ng/mL for hhv. PFOS, PFOA og PFHxS.

Vannet som ble benyttet i morsmelkerstatningen viste ingen verdier over kvantifiseringsgrensen. Det ble funnet konsentrasjoner av PFOS og PFOA i mors blod i intervaller på hhv. 0,5 til 9,1 ng/mL og 0,7 til 8,7 ng/mL. For navlestrengsblod og blod hos 6 måneder gamle barn gikk intervallene fra hhv. 0,3 til 2,8 ng/mL for PFOS og fra 0,5 til 4,2 ng/mL for PFOA og fra 0,7 til 9,6 ng/mL for PFOS og fra 0,96 til 26,9 ng/mL for PFOA. Det ble funnet kvantifiserbare konsentrasjoner av PFOS og PFOA i alle prøver, men for PFHxS ble det kun gjort funn over kvantifiseringsgrensen på 0,2 ng/mL i enkelte prøver.

Mediankonsentrasjonen for PFOS i blodet var nesten identisk for mor og spedbarn, men for PFOA var konsentrasjonen 4,6 ganger høyere hos 6 måneder gammelt barn enn hos mor ved fødsel (Fromme et al., 2010). Medianverdier for ulike PFAS-er for navlestrengsblod og blod hos 6 måneder gamle barn er vist i tabell 1.

**Tabell 1:** Mediankonsentrasjon i ng/mL (mikrogram per liter blodserum) av PFOS, PFOA og PFHxS i navlestrengsblod og hos 6 måneder gamle barn (Fromme et al., 2010).

Stoff	Mediankonsentrasjon [ng/mL]		
	PFOS	PFOA	PFHxS
Navlestrengsblod	0,9	1,7	0,2
6 måneder gamle barn	3,6	8,2	0,7

Studien til Fromme et al. (2010) viste her en signifikant økning i konsentrasjonen av PFAS-er for 23 individer mellom disse tidsrommene. Alle deltakerne viste en økning fra fødsel til 6 måneder. Det ble også funnet en tydelig nedgang i konsentrasjon av PFAS-er fra 6 til 19 måneder for de fleste deltakerne. Det ble derimot ikke funnet noen signifikante forskjeller mellom konsentrasjonene av PFAS-er hos barn som hovedsakelig ble ammet mot de som kun ble delvis eller ikke ammet i det hele tatt (Fromme et al., 2010).

I en oversiktsartikkel presentert av Chain et al. (2020) ble mediannivåene av ulike PFAS-er hos barn og voksne funnet, og disse er presentert i tabell 2. Funnene her er viser til relativt like konsentrasjoner av PFAS-er i blodserum sammenlignet med studien utført av Fromme et al. (2010). Voksne hadde litt høyere verdier av PFOS, mens barn hadde litt høyere verdier av PFOA, ellers hadde de relativt like konsentrasjoner av PFHxS og PFNA (Haug et al., 2018).

**Tabell 2:** Mediankonsentrasjon i ng/mL (nanogram per milliliter blodserum) av fire PFAS-er i blodserum (Chain et al., 2020).

Stoff	Mediankonsentrasjon [ng/mL]			
	PFOS	PFOA	PFHxS	PFNA
Voksne	7,7	1,9	0,67	0,61
Barn	3,2	3,3	0,79	0,60

### 2.3 Profesjonelle skismørere og PFAS

Skismøring med perfluorerte forbindelser påføres som regel med et smørejern som holder høy temperatur. Under denne prosessen vil kjemikalier i smøringen kunne fordampe slik at de kan pustes inn dersom korrekt verneutstyr som pustemaske og avtrekk, ikke benyttes (Nilsson et al., 2010). Skismøring med fluorerte forbindelser brukes for å få bedre glid grunnet de gunstige egenskapene de har. PFAS har den egenskapen at de er både vann- og olje-resistente. Dette skyldes at stoffene har både hydrofobe og lipofobe egenskaper som gjør at snø, is og skitt ikke fester seg og dermed øker glideegenskapene til skiene (Nilsson et al., 2010).

En studie utført av Nilsson et al. (2010) i 2007/2008 så på hvordan 8 personer som jobbet som skismørere ble utsatt for PFAS-er fra fluorinert skismøring. Smørerne var mellom 27-51 år og hadde jobbet som smørere i 3-15 år. Av de 8 deltakerne i studien var det 7 som var sesongansatte, mens en av de var fulltidsansatt i «Swedish Ski Federation». I studien analyserte de blodet til deltakerne månedlig. Deltakerne ble testet både før skisesongen, gjennom fire FIS World Cup-renn samt gjennom en uekspontert periode på 5 måneder etter sesongen. Siden stoffene bioakkumulerer i kroppen ved gjentatt eksponering, ble det forventet at smørerne hadde høyere verdier av PFAS-er enn den generelle befolkningen. Gjennom sesongen fra desember til mars smørte deltakerne ski med fluorinert skismøring ca. 30 timer i uken (Nilsson et al., 2010). For å kunne si noe om signifikans til resultatene i studien, ble de sammenlignet med en større kontrollgruppe av ueksponterte menn i alderen 19 til 47 år. Gjennomsnittet av PFOA i blodet hos skismørerne ble funnet til å være på 112 ng/mL. Til sammenligning lå mediannivået hos den ueksponterte gruppen på 2,7 ng/mL for PFOA. For PFNA lå nivået på 14,7 ng/mL hos skismørerne mot 0,2 ng/mL for kontrollgruppa (Nilsson et al., 2010). Tre av skiteknikerene hadde nivåer av PFOA på under 10 ng/mL før sesongen, mens fem av smørerne hadde nivåer på over 99 ng/mL. Den høyest målte verdien og medianen for PFOA i studien hos smørerne viste seg å være på hhv. 535 ng/mL og 112 ng/mL. Av de 8 skismørerne som hadde lave verdier (PFOA < 10,0 ng/mL) før sesongen, viste det seg at de hadde økt konsentrasjonen av PFOA i blodet med 120-254 %. De som derimot

hadde høye nivåer (PFOA > 100 ng/mL) hadde en økning på bare 6-29 % gjennom sesongen (Nilsson et al., 2010).

I studien utført av Nilsson et al. (2010) så de også på om det kunne være en korrelasjon mellom nivå av PFOA i blodet hos skismørerne og hvor lenge de hadde vært i bransjen. Her så de at de tre smørerne som hadde jobbet kortest i bransjen også hadde de laveste nivåene av PFOA i blodet. Det eneste unntaket var smøreren som jobbet fast som skismører gjennom hele året de to siste årene. I motsetning til denne smøreren hadde de andre smørerne kun jobbet med ski og skismøring gjennom sesongen, som kan være med på å forklare unntaket av trenden ellers i studien. Det ble funnet korrelasjon mellom nivåer av PFAS-er i blodet og antall år i bransjen der den største korrelasjonen var for PFNA ( $r=0,92$ ) og PFOA ( $r=0,78$ ), og litt lavere for PFHxS ( $r=0,29$ ) (Nilsson et al., 2010).

En annen studie på amerikanske borgere har funnet lignende resultater som de fra den ueksponerte gruppen presentert i den svenske studien av Nilsson et al. (2010). Her ble det også funnet innhold av PFOA i blodserum i nærliggende konsentrasjoner. I studien fant de at amerikanske borgere på over 12 år hadde konsentrasjoner av PFOA i serum på 2,4 til 2,9 ng/mL (Calafat, Wong, Kuklennyik, Reidy, & Needham, 2007). Dette funnet stemmer godt overens med kontrollgruppen nevnt over som hadde 2,7 ng/mL PFOA i blodet.

I en studie utført av Freberg et al. (2010) så de på konsentrasjonen av enkelte PFAS-er i blodserum hos 13 profesjonelle skismører. De samme komponentene ble også bestemt i aerosoler i det kjemiske arbeidsmiljøet til smørerne samt i fluorholdig skismøring og pulver. PFOA, De høyeste mediankonsentrasjonene av PFOA, PFNA, PFOS og PFHxS funnet i studien ble målt til å være på hhv. 57, 13, 27 og 1,6 ng/mL (Freberg et al., 2010). Deltakerne i studien var alle menn i alderen 28-52 (40,6 år i gjennomsnitt) og hadde jobbet som skismører i 2 til 13 år (7 år i gjennomsnitt). Deltakerne i denne studien ble testet ved slutten av en sesong, igjen etter 8 måneder uten eksponering, og til slutt igjen etter en ny sesong. Det ble funnet en positiv statistisk signifikans mellom antall år eksponert for fluorstoffene som skismører og 7 ulike PFAS-er. Serumkonsentrasjonen av blant annet PFOA, PFNA, PFOS og PFHxS viste en reduksjon på i gjennomsnitt 5 til 20 % under den åtte måneder lange pausen mellom sesongene (Freberg et al., 2010). Resultatene fra Nilsson et al. (2010) ble bestemt til å ha konsentrasjoner av PFAS-er som er lignende eller høyere enn de presentert i Freberg et al. (2010). Det ble også gjort funn av PFAS-er i luftprøver som ble samlet under smøring av ski under sesongene. Dette tyder sterkt på at eksponering for aerosoler fra fluorinert skismøring kan føre til forhøyede konsentrasjoner av PFAS-er i blodet under påføring. Dette

er første gang en studie har kunnet koble økte konsentrasjoner av PFAS-er i serum opp mot eksponering fra aerosoler fra smøreboden. Dermed er ikke bare profesjonelle skismørere utsatt for disse stoffene, men også den store gruppen med de som smører ski på fritid og hobbybasis og andre som benytter fluorert skismøring (Freberg et al., 2010).

## 2.4 Helseeffekter

Studier på dyr om effekten av giftige nivåer av PFAS-er har vist at de mest konsistente symptomene er økt levervekt for de fleste PFAS-er. Forstyrrelser i lipidmetabolisme ble funnet ved høyere nivåer av PFAS-er. Mange av stoffene førte til også reduserte nivåer av thyroïdhormoner og redusert utvikling av brystkjertler hos mus. Konsentrasjon av PFOA i blodserum ble funnet å ha en nedre konsentrasjonsgrense for bivirkninger på rundt 66 ng/mL. Noen effekter sett på gnagere viste seg ofte i form av økt fosterdødelighet og økt nyfødt dødelighet. Det ble også ofte gjort funn av redusert fostervekt og redusert vekst etter fødsel ved disse giftighetsstudiene på gnagere (Chain et al., 2020). Andre dyrestudier presentert i Chain et al. (2020) har vist at PFOS og PFOA har ført til redusert effekt av vaksiner. Det ble også vist at PFOS hadde en reduserende effekt på dyrs evne til å motstå infeksjon.

Effekter på mennesker har blitt studert og er presentert gjennom en rekke studier gjengitt av Chain et al. (2018). En av disse studiene (Grandjean et al., 2012) så på sammenhengen mellom eksponering av PFOS, PFHxS og PFOA opp mot rundt 500 barns antistoffkonsentrasjoner mot stivkrampe og difteri i alderen 5 til 7 år, før og etter påfyll av vaksine ved 5 års alder. Gjennomsnittskonsentrasjonen hos mødrene i studien i svangerskapsuke 32 hadde i gjennomsnitt serumkonsentrasjoner på 27,3 ng/mL for PFOS, 4,4 ng/mL for PFHxS og 3,2 ng/mL for PFOA. Gjennomsnittskonsentrasjonen for barna ved 5 år var på 16,7 ng/mL, 0,6 ng/mL og 4,1 ng/mL for hhv. PFOS, PFHxS og PFOA. Det ble funnet at konsentrasjonen av PFOS hos mor i svangerskapet hadde en invers sammenheng med antistoffkonsentrasjoner hos barn. For økte nivåer av PFOA ble det også observert en nedgang i antistoffkonsentrasjoner mot difteri hos barn ved 7 års alder. Ved å se på kombinert eksponering av de tre PFAS-ene hos mor ble det ved en dobling av PFAS-er observert en nedgang på 48 % i antistoffkonsentrasjon hos barna ved 5 års alder og en nedgang på 42 % hos barna ved 7 års alder. Det ble derimot ikke funnet noen sammenheng mellom PFAS-konsentrasjoner hos mor og barnas antistoffkonsentrasjoner mot stivkrampe ved verken 5 eller 7 års alder (Grandjean et al., 2012).

Det ble ikke funnet noen sammenheng mellom PFAS-konsentrasjoner og antistoffkonsentrasjoner hos 5-åringene før påfyll av vaksine. Etter påfyll av vaksiner ble det derimot funnet en relativt sterk sammenheng mellom serumnivåer av PFAS-er og konsentrasjon av antistoffer mot stivkrampe ved både 5 og 7 år. Nedgangen i konsentrasjon av antistoffer mot stivkrampe var konsistent og varierte fra en nedgang på mellom 10 % til 36 % for hver dobling av konsentrasjon av PFAS-er. Dette ble også funnet for difteri, men i noe mindre grad enn for stivkrampe. Totalt sett ble en dobling i summen av PFAS-er ved 5 års alder assosiert med en nedgang på 59 % i antistoffkonsentrasjon mot både stivkrampe og difteri ved 7 års alder. Til tross for dette ble det funnet at en dobling av konsentrasjoner av PFOS og PFOA i serum ved 5 års alder, kun hadde 2,4 % og 3,3 % sjanse for å gjøre at effekten av vaksine mot difteri var under et godkjent nivå for beskyttelse (Grandjean et al., 2012). Andre funn presentert i Chain et al. (2018) viste at det ble gjort funn av sterk årsakssammenheng mellom konsentrasjoner av PFOS og PFOA og forhøyede nivåer av kolesterol i blodet. Det ble også vist i enkelte studier at eksponering av PFOS og PFOA før fødsel kunne lede til økt tilbøyelighet for infeksjoner. Noen studier kunne også vise til noe bevis for en mulig årsakssammenheng mellom eksponering til PFOS og PFOA før fødsel og fødselsvekt, men her er resultatene varierende (Chain et al., 2018).

## 3 Diskusjon

### 3.1 Fra mor til barn

Fra Chain et al. (2020) har vi at PFAS-er er vist å ha bioakkumulerende egenskaper og at konsentrasjonen et menneske har av disse stoffene i blodet representerer eksponering for de gitte stoffene over de siste årene. Halveringstiden for PFAS-er har vist seg å ligge på rundt 2-6 år. Dette vil si at dersom man er utsatt for høy eksponering over en lengre periode, kan stoffene være i kroppen i lang tid før de skilles ut gjennom urin og galle. Fluoreerte forbindelser har blitt påvist i både navlestrengsblod, morsmelk og hos barn som har blitt ammet, som indikerer at barn får i seg disse stoffene både før og etter fødsel (Chain et al., 2020). I studien utført av Fromme et al. (2010) så de på hvordan konsentrasjonen av PFAS-er utviklet seg under graviditet og hos barn hhv. 6 og 19 måneder etter fødsel. Her ble det funnet at mediankonsentrasjonen gikk fra 0,9 til 3,6 ng/mL, 1,7 til 8,2 ng/mL og 0,2 til 0,7 ng/mL for hhv. PFOS, PFOA og PFHxS. Brystmelk hadde relativt lave konsentrasjoner av PFAS med medianverdier på 0,04 ng/mL for PFOS, mens konsentrasjoner av PFOA og PFHxS varierte fra hhv. <0,15 til 0,25 ng/mL og <0,02 til 0,03 ng/mL (Fromme et al., 2010). Studien fant

likevel ingen signifikant forskjell mellom barna som hovedsakelig ble ammet og de som bare eller delvis fikk morsmelkerstatning. Dette kan skyldes det lave antallet deltakere i studien som ikke hovedsakelig ble ammet der bare en deltaker ikke ble ammet i det hele tatt. Med flere deltakere ville det muligens vært større forskjeller mellom de som fikk morsmelkerstatning og de som hovedsakelig ble ammet. Det at flertallet av barna i studien hadde en nedgang i konsentrasjonen av PFAS-er fra 6 til 19 måneder kunne også vært med å støtte hypotesen om at PFAS-er overføres fra mor til barn via amming dersom deltakerne i studien også hadde rapportert inn hvordan ammingen utviklet seg etter hvert som barnet ble eldre. Disse dataene er riktignok ikke presentert i denne studien, så det å anta at nedgangen skyldes at flere av deltakerne trappet ned eller stoppet ammingen innen barna var 19 måneder, blir kun spekulasjoner.

### 3.2 Den generelle befolkningen

I studien utført av Fromme et al. (2010) der 53 gravide kvinner deltok, ble det påvist serumkonsentrasjoner i intervallene 0,5 til 9,1 ng/mL for PFOS og 0,7 til 8,7 ng/mL for PFOA. I en annen studie utført av Nilsson et al. (2010) fikk en kontrollgruppe påvist mediankonsentrasjoner i serum på 2,7 ng/mL for PFOA og 0,2 ng/mL for PFNA. I studien på over 2000 amerikanere utført av Calafat et al. (2007) ble det funnet serumkonsentrasjoner av PFOA på 2,4 til 2,9 ng/mL. Fra Haug et al. (2018) har vi gjennom en rekke europeiske undersøkelser følgende mediankonsentrasjoner for voksne: 7,7 ng/mL for PFOS, 1,9 ng/mL for PFOA, 0,67 ng/mL for PFHxS og 0,61 ng/mL for PFNA. Oppsummert kan vi se at den generelle befolkningen stort sett eksponeres for ulike PFAS-er i relativt like konsentrasjoner. Tallene varierer noe, men forskjellene er ikke så store.

### 3.3 Profesjonelle skismørere

Fra så vi at 8 profesjonelle skismørere som brukte fluorinert skismøring viste seg å ha gjennomsnittlige konsentrasjoner i blodet på 112 ng/mL for PFOA og 14,7 ng/mL for PFNA. For smørerne med lave inngangsverdier ble det observert økninger av konsentrasjonen av PFOA på hele 120-254 % i løpet av en sesong. Her tilsvarer lave verdier konsentrasjoner på under 10 ng/mL som er, sammenlignet med den generelle befolkningen som ligger på rundt 2 til 3 ng/mL, fortsatt relativt høyt (Calafat et al., 2007; Nilsson et al., 2010). For PFNA lå gjennomsnittet for smørerne på 14,7 ng/mL. I studien utført av (Freberg et al., 2010) der de så på konsentrasjonen av PFAS-er hos 13 profesjonelle skismørere fant de også her svært høye konsentrasjoner målt opp mot den generelle befolkningen. De høyeste mediankonsentrasjonene av PFOA, PFNA, PFOS og PFHxS funnet i studien ble målt til å



være på hhv. 57, 13, 27 og 1,6 ng/mL. Sammen med funnene gjort av Nilsson et al. (2010) tyder disse målingene på at mennesker som eksponeres for PFAS-er gjennom skismøring har svært forhøyede nivåer av disse stoffene i blodet. Studien ser riktignok på ganske så få deltakere, men ettersom resultatene viser ganske tydelige tendenser, kan det være rimelig å anta at det er en trend som også vil gjelde for en større deltakergruppe.

Serumkonsentrasjonene av PFOA, PFNA, PFOS og PFHxS hos deltakerne i studien fra viste en nedgang på mellom 5 til 20 % under den åtte måneder lange eksponeringsfrie pausen (Freberg et al., 2010). Dette resultatet viser hvor lenge PFAS-er holder seg i kroppen og støtter teorien om halveringstider på mellom 2-6 år. Hvis en person jobber som skismører over noen sesonger, kan man ut ifra dette se at økte serumkonsentrasjoner kan vare lenge og gi helsekonsekvenser mange år frem i tid. Studien av Freberg et al. (2010) så også på aerosoler i det kjemiske arbeidsmiljøet til smørerne. Funnene av PFAS-er i luften gjorde at de kunne se sammenheng mellom økte konsentrasjoner av PFAS-er i serum og eksponering fra aerosoler fra smøreboden. Dette viser at også de som smører ski på hobbybasis eller til egen bruk er utsatt dersom fluorinert skismøring benyttes. Siden stoffene ved påføring kan fordampe og spres i luften bør vernemaske og eventuelt avsug benyttes for å redusere eksponeringen av PFAS-er ved bruk av fluorinert skismøring.

### 3.4 Helseeffekter

Som studier presentert av Chain et al. (2020) har vist er giftige doser av PFAS-er i dyr knyttet opp mot flere ulike helsekonsekvenser. Det som har blitt funnet er blant annet økt levervekt, forstyrrelser i lipidmetabolisme, reduserte tyroidhormonnivåer. Hos mus har det blitt gjort funn av redusert utvikling av brystkjertler, og noen effekter på gnagere har vist seg å innebære økt fosterdødelighet og nyføddødelighet, samt redusert vekst før og etter fødsel (Chain et al., 2020). Effekter på mennesker har også blitt studert, men de studiene jeg har sett på har kun sett på effekter observert i den generelle befolkningen. Fra Chain et al. (2018) så vi at dyr fra undersøkelser hadde en nedre konsentrasjonsgrense for bivirkninger på 66 ng/mL for PFOA. I studien på barn og mødre utført av Grandjean et al. (2012) hadde deltakerne gjennomsnittskonsentrasjoner av PFOA på 3,2 ng/mL, som er ca. 20 ganger lavere enn grensa funnet på bivirkninger for dyr for denne spesifikke PFAS-en. Gjennomsnittskonsentrasjonene hos deltakerne som ble studert hadde relativt like konsentrasjoner som den generelle befolkningen presentert i Calafat et al. (2007); Fromme et al. (2010); Nilsson et al. (2010), med unntak av PFOS hos mødrene som var på nivå med profesjonelle skismørere. Av helsekonsekvenser koblet direkte til mennesker ble det i Chain et al. (2018) funnet sterk

årsakssammenheng mellom konsentrasjoner av PFOS og PFOA og forhøyede nivåer av kolesterol. Det ble også funnet indikasjoner på at høyere nivåer av PFAS-er hos mor under svangerskap kan lede til økt tilbøyelighet for infeksjoner hos barnet.

Ved å se på gjennomsnittskonsentrasjoner av PFAS i serum som hovedsakelig er representativt for den generelle befolkningen ble det funnet noen sammenhenger mellom økte nivåer av PFAS i kroppen og effekter på helsen. Grandjean et al. (2012) så i en studie med 500 barn at det var lavere antistoffkonsentrasjoner hos barn der mor hadde hatt høyere verdier av PFAS i blodet under svangerskapet. For PFOA ble lignende resultater påvist for antistoffkonsentrasjoner mot difteri hos 7 år gamle barn. Ved å se på serumkonsentrasjoner av PFOS, PFOA og PFHxS i kombinasjon ble det vist at en dobling av konsentrasjonen hos mor under svangerskapet førte til en reduksjon av antistoffkonsentrasjoner mot difteri på 48 % for barn ved 5 år og 42 % for barn ved 7 års alder. Denne sammenhengen ble derimot ikke observert for stivkrampe. Disse resultatene kan tyde på at eksponering av PFAS-er hos mødre kan føre til at vaksiner har mindre effekt på barna deres, uten at man kan si noe sikkert om hvilke vaksiner som kan ha en redusert effekt ved eksponering av PFAS-er. Deltakerne i studien hadde en samlet gjennomsnittskonsentrasjon av PFOS, PFOA og PFHxS på rundt 35 ng/mL totalt. I studien av Freberg et al. (2010) var det samlede tallet på rundt 86 ng/mL, mot verdien for den generelle befolkningen som kan anslås å være på omtrent 10 ng/mL for disse tre PFAS-ene (Haug et al., 2018). Mødrene hadde relativt høye verdier av PFOS ved svangerskapet, mens verdiene for PFOA var nær nivået for den generelle befolkningen. Dermed kan man ikke si noe spesifikt om hvilken PFAS som bidrar mest, men dersom man kan anta at totalkonsentrasjonen er avgjørende, uavhengig av sammensetning, vil personer som utsettes for PFAS-er gjennom blant annet skismøring ha enda høyere risiko for redusert vaksineeffekt for deres barn. Disse resultatene vil dog kun gjelde dersom det er mor som eksponeres for PFAS-er og før en eventuell graviditet.

Ved å se på serumkonsentrasjonene hos barna i studien ble det funnet relativt sterke sammenhenger mellom høye serumnivåer og lave antistoffkonsentrasjoner etter påfyll av vaksinene mot difteri og stivkrampe (Grandjean et al., 2012). Her førte en dobling av serumkonsentrasjoner av PFAS-er ved 5 års alder til en nedgang av antistoffkonsentrasjon på 59 % ved 7 års alder. En nedgang på 59 % i antistoffproduksjonen høres ganske høyt ut, men denne nedgangen ble vist å utgjøre bare 2-3 % risiko for at vaksinen ikke ville ha en godkjent effekt (Grandjean et al., 2012). Det som riktignok er verdt å nevne er at enkelte av deltakerne i studien av Freberg et al. (2010) hadde verdier av PFOA over 160 ganger høyere (535

ng/mL) enn gjennomsnittet i studien fra Grandjean et al. (2012). Siden det ikke er blitt utført studier som har sett på så høye verdier av PFAS, er det vanskelig å si noe om hvordan dette kan påvirke antistoffkonsentrasjonen etter forskjellige vaksiner. Det kan muligens antas at risikoen for dårlig vaksineeffekt er en god del høyere enn 2-3 % ved så høye verdier, og det kan ha alvorlige konsekvenser ved for eksempel en pandemi.

## 4 Konklusjon

I denne oppgaven ble det funnet at profesjonelle skismørere har høyere nivåer av PFAS-er i blodet enn den generelle befolkningen og at det tar lang tid før disse forlater kroppen.

Forhøyede verdier av PFAS-er viste seg å ha en sammenheng med økt kolesterolnivå hos mennesker. PFAS-er har lang halveringstid og kan videreføres fra mor til barn gjennom graviditeten og gi forhøyede konsentrasjoner hos barnets første levetid gjennom amming.

Forhøyede konsentrasjoner av PFAS-er i svangerskap hos mor og senere for barn har vist seg å ha en sammenheng med redusert effekt av vaksiner gjennom lavere antistoffproduksjon, og økt tilbøyelighet for infeksjoner hos barnet.

## 5 Referanser

- Calafat, A. M., Wong, L. Y., Kuklenyik, Z., Reidy, J. A., & Needham, L. L. (2007). Polyfluoroalkyl chemicals in the US population: Data from the National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES) 2003–2004 and comparisons with NHANES 1999–2000. *Environ. Health Perspect.*, *115*(11), 1596.
- Chain, E. Panel o. C. i. t. F., Knutsen, H. K., Alexander, J., Barregård, L., Bignami, M., Brüschweiler, B., . . . Schwerdtle, T. (2018). Risk to human health related to the presence of perfluorooctane sulfonic acid and perfluorooctanoic acid in food. *EFSA Journal*, *16*(12), e05194. doi:<https://doi.org/10.2903/j.efsa.2018.5194>
- Chain, E. Panel o. C. i. t. F., Schrenk, D., Bignami, M., Bodin, L., Chipman, J. K., del Mazo, J., . . . Schwerdtle, T. (2020). Risk to human health related to the presence of perfluoroalkyl substances in food. *EFSA Journal*, *18*(9), e06223. doi:<https://doi.org/10.2903/j.efsa.2020.6223>
- Freberg, B. I., Haug, L. S., Olsen, R., Daae, H. L., Hersson, M., Thomsen, C., . . . Ellingsen, D. G. (2010). Occupational Exposure to Airborne Perfluorinated Compounds during Professional Ski Waxing. *Environmental Science & Technology*, *44*(19), 7723-7728. doi:10.1021/es102033k
- Fromme, H., Mosch, C., Morovitz, M., Alba-Alejandre, I., Boehmer, S., Kiranoglu, M., . . . Völkel, W. (2010). Pre- and Postnatal Exposure to Perfluorinated Compounds (PFCs). *Environmental Science & Technology*, *44*(18), 7123-7129. doi:10.1021/es101184f
- Grandjean, P., Andersen, E. W., Budtz-Jørgensen, E., Nielsen, F., Mølbak, K., Weihe, P., & Heilmann, C. (2012). Serum Vaccine Antibody Concentrations in Children Exposed to Perfluorinated Compounds. *JAMA*, *307*(4), 391-397. doi:10.1001/jama.2011.2034
- Haug, L. S., Knutsen, H. K., & Thomsen, C. (2018). Fakta om PFAS. Retrieved from <https://www.fhi.no/ml/miljo/miljogifter/fakta/fakta-om-pfos-og-pfoa/>
- Nilsson, H., Kärman, A., Westberg, H., Rotander, A., van Bavel, B., & Lindström, G. (2010). A Time Trend Study of Significantly Elevated Perfluorocarboxylate Levels in Humans after Using Fluorinated Ski Wax. *Environmental Science & Technology*, *44*(6), 2150-2155. doi:10.1021/es9034733
- Shoeib, M., Harner, T., M. Webster, G., & Lee, S. C. (2011). Indoor Sources of Poly- and Perfluorinated Compounds (PFCS) in Vancouver, Canada: Implications for Human Exposure. *Environmental Science & Technology*, *45*(19), 7999-8005. doi:10.1021/es103562v

