

Helse Bergen HF

► **CFD spredningsanalyse for spesialavkast**

Nytt protonsender Haukeland universitetssjukehus

Oppdragsnr.: 5204058 Dokumentnr.: CFD01 Versjon: J02 Dato: 2021-05-03



Oppdragsgiver: Helse Bergen HF
Oppdragsgivers kontaktperson: Tina Lerøy
Rådgiver: Norconsult AS, Kjørboveien 22, NO-1337 Sandvika
Oppdragsleder: Ane Suleng
Fagansvarlig: Bård Venås
Andre nøkkelpersoner: Nick Pedersen

J02	2021-05-03	Andre utgave	AneSul	PNBPe	AneSul
J01	2021-04-26	Første utgave	AneSul	PNBPe	AneSul
Versjon	Dato	Beskrivelse	Utarbeidet	Fagkontrollert	Godkjent

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

► Sammendrag

Det er utført en CFD spredningsanalyse for to spesialavkast ved nytt protonsender ved Haukeland universitetssjukehus i Bergen. Luften som slippes ut i det fri fra avkastene inneholder små mengder av radioaktive stoffer.

En CFD-modell av bygget, samt omkringliggende bygninger og terreng, er konstruert. Simuleringer ble kjørt for tolv vindretninger og tre vindhastigheter. Ved å analysere alle simuleringene, koblet med vindstatistikken, beregnes årsmidlet konsentrasjon av avkastluften fra spesialavkastene.

Resultatene fra utslippsanalysen er spredningskart som oppdragsgiver skal benytte som grunnlag til sine vurderinger og videre arbeid.

► Innhold

1	Introduksjon	5
2	Vindforhold i området	6
2.1	Beliggenhet	6
2.2	Vindforhold i området	7
3	Metode	9
3.1	CFD-simuleringer	9
3.2	Beregningsmodell	9
3.3	Ventilasjonssystemer	11
3.3.1	<i>Spesialavkast Proton</i>	12
3.3.2	<i>Andre avkast</i>	13
3.3.3	<i>Inntak</i>	14
4	Resultater	15
5	Referanser	19
6	Vedlegg – Metode, detaljer	20
6.1	Ytre modell	20
6.2	Indre modell	21
6.3	Grensebetingelser	23
6.4	Nøyaktighet av CFD-simuleringer	25

1 Introduksjon

Det skal bygges nytt protosenteret ved Haukeland universitetssjukehus i Bergen, heretter kalt protosenteret. Norconsult AS sin avd. for CFD og strømningsmekanikk ble engasjert for å utføre en spredningsanalyse i 3D av to spesialavkast som er prosjektert for bygget.

Luften som slippes ut i det fri fra spesialavkastene inneholder små mengder av radioaktive stoffer, og det er derfor ønskelig å analysere hvor luften strømmer under forskjellige vindforhold (vindretning og -styrke) slik at en årsmidlet spredning kan fremstilles. Det er ikke ønskelig at byggets egne luftinntak, luftinntak ved bygg i nærheten, barnehager, åpningsbare vinduer osv. skal bli eksponert for radioaktivitet.

Målet med denne rapporten er å gi grunnlag til vurdering av hvorvidt konsentrasjonene ligger innenfor akseptable verdier. Disse vurderingene gjøres ikke i denne rapporten.

Uttrykket CFD (Computational Fluid Dynamics) beskriver en teknikk hvor de fundamentale likningene for bevegelse av luft løses i tre dimensjoner ved bruk av datamaskiner og regnekraft.

Strømningsbildet rundt et bygg kan være komplekst, spesielt når flere bygg står i nærheten av hverandre. Måten vinden beveger seg rundt kanter, over tak og mellom de forskjellige fasadene, er preget av områder med varierende lufttrykk, hastighet og turbulens. Dette kan ha en betydelig effekt på hvor avkastluften føres. CFD er i slike tilfeller et nyttig verktøy siden vinden inn og over byggene kan simuleres og man kan vise hvordan luften beveger seg. Avkastluft kan spores og konsentrasjoner fra forskjellige kilder kan måles på utvalgte steder.

To ulike beregningsmodeller ble brukt i analyse. Den første modellen er en modell som dekker et større geografisk område, men som inneholder et redusert detaljnivå. Denne modellen ble brukt for å beregne storskala vindpåvirkning av omkringliggende terreng. Selve protosenteret ble modellert i den andre modellen. Denne modellen er mer detaljert enn den store terrengmodellen, men dekker et mindre geografisk område. Etter tidlige testkjøringer av kun protosenteret ble det vurdert til at det er nødvendig med den store terrengmodellen for å generere riktig input data (i form av oppstrøms vindprofil) til den detaljerte modellen. Det var i hovedsak protosenterets plassering tett opptil Ulriken som utløste dette behovet.

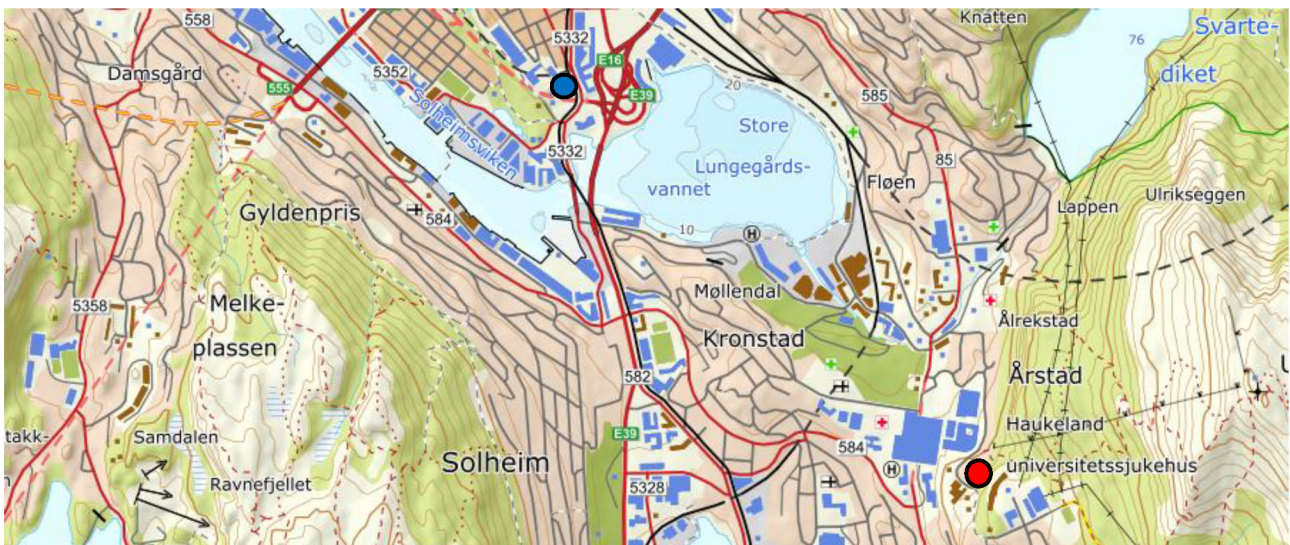
2 Vindforhold i området

2.1 Beliggenhet

Protonsentert, se Figur 1, skal plasseres øst/sørøst for eksisterende sykehusbebyggelse (Haukeland universitetssjukehus) og rett sør for Ulriksbanens nedre stasjon. Haukeland universitetssjukehus ligger i Årstad bydel i Bergen, og protonsentertets plassering er vist med rød prikk i Figur 2. Nærmeste meteorologiske stasjon ligger ved Geofysisk Institutt ved Universitetet i Bergen i grunnkrets Florida, vist med blå prikk i Figur 2.



Figur 1: Nytt protonsentert ved Haukeland universitetssjukehus, sett fra sørvest. Figur; Arkitema Architects, 2020

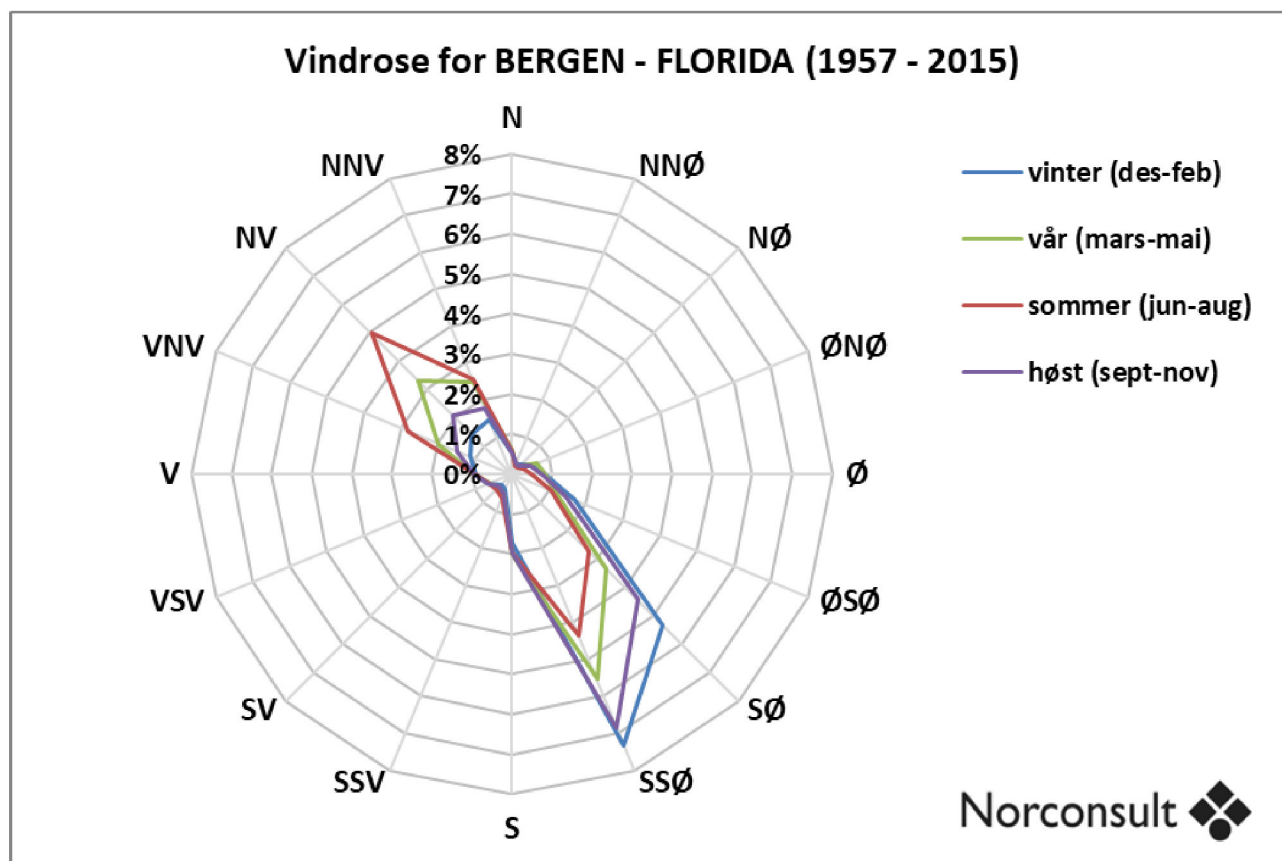


Figur 2: Kart over området (© Kartverket). Protonsentertets posisjon vises med rød prikk. Nærmeste meteorologiske stasjon vises med blå prikk.

2.2 Vindforhold i området

Figur 3 viser vindrosen (hvor hyppig ulike vindretninger forekommer) for Bergen, delt inn i årstider. Vindrosen baserer seg på data fra den meteorologiske stasjonen Bergen Florida i perioden 1957-2014. Vindhastighetene det refereres til i meteorologisk data er vind i vanlig referanse høyde, 10 meter over bakken.

Gjennomsnittlig vindhastighet er 3,4 m/s. Dette er en moderat middelvind, og Bergen sentrum er generelt sett mindre vindutsatt enn andre byer langs vestlandskysten. Middelvinden kan for eksempel sammenlignes med et gjennomsnitt på 2,7 m/s i Oslo, 4,6 m/s i Stavanger eller 6,3 m/s i Bodø.

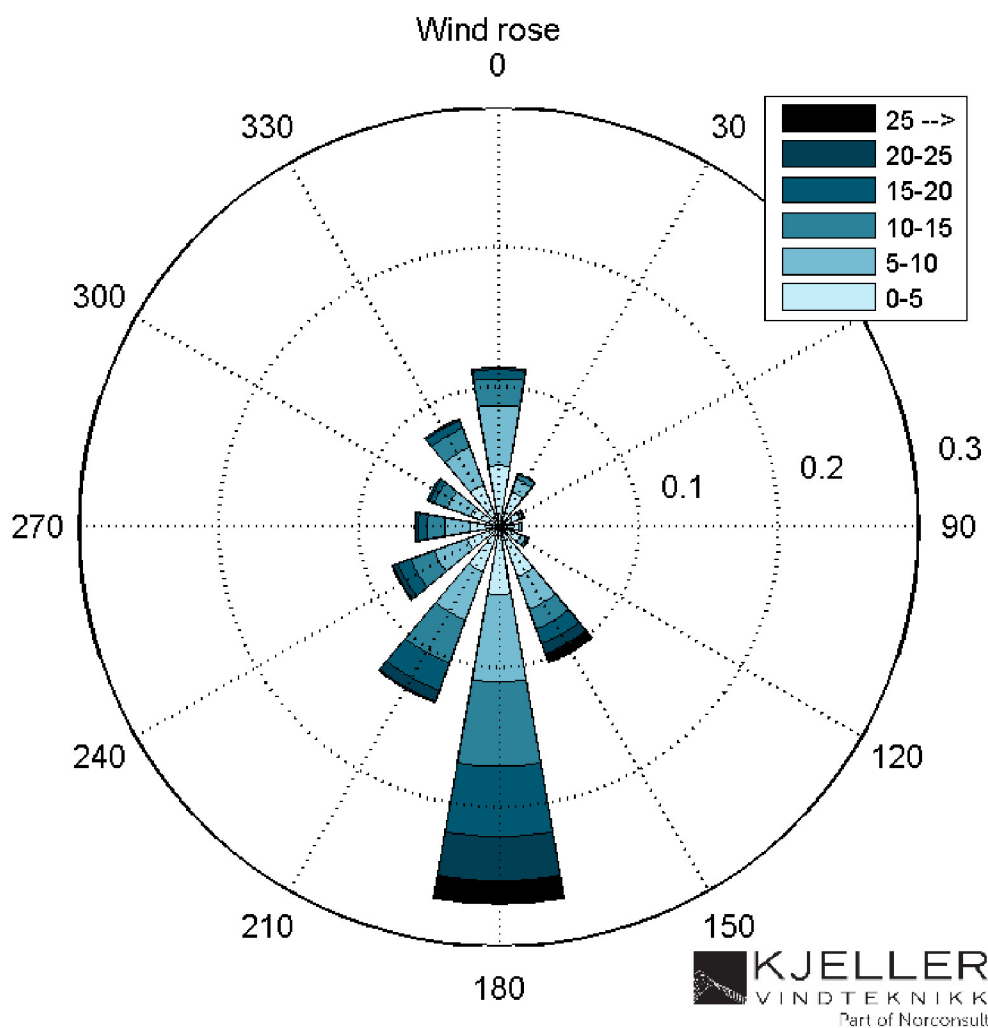


Figur 3: Vindrose fra Bergen (Florida)

Vindretning på et konkret sted påvirkes av det lokale terrenget. Protonseneterets plassering tett opptil Ulriken gjør at forholdene her vil være noe ganske annet enn ved målestasjonen Bergen Florida.

Vindstatistikken benyttet videre i denne analysen er derfor basert på simulerte meteorologiske data, og ikke vindmålingene fra Florida. Den simulerte meteorologiske dataen er tatt fra «KVT Meso» for perioden 1979-2020, for et punkt 750 moh. ca. 4 km unna. KVT Meso er meteorologiske datasett beregnet med den numeriske værmodell WRF [1] (Weather Research and Forecasting modell).

Vindrosen fra denne dataen er vist i Figur 4. For vind i høyden over Bergen sentrum er fremherskende vindretning fra sør, men vind fra sør-sørøst, sør-sørvest og nord er også noe hyppig. Vind fra sør er klart den mest dominante vindretningen, og det blåser fra sørlige retninger ca. 50 % av året.



Figur 4: Middelvind over året ved et punkt 750 moh. i Bergen, basert på WRF beregninger og KVT Meso datasett.

3 Metode

3.1 CFD-simuleringer

Beregningene som presenteres i denne rapporten er utført ved CFD-simuleringer. Forkortelsen for CFD kommer fra det engelske uttrykket «Computational Fluid Dynamics». CFD beskriver en generell form for datasimulering hvor de grunnleggende fysiske likningene for strømninger i gasser og væsker («Navier-Stokes' likninger»), dvs. fluidmekanikk, løses ved numerisk iterasjon. Utslippsanalyser og vindanalyser er noen av mange anvendelsesområder for CFD. Siden første del av 1990-tallet er CFD benyttet som standardverktøy for prosjektering for vind offshore.

Norconsult benytter den ledende programvarepakken ANSYS CFX (<http://www.ansys.com>) for CFD analyser og har lang erfaring med CFD-analyser for ventilasjon, vindforhold og spredning av forurensninger.

CFD-simuleringer utføres for en 3D-modell av området som studeres og kan inkludere både topografi og bygninger. Med 3D-modellen som input bygges det opp en volummodell av luften i området rundt. Dette volumet deles opp i et stort antall beregningsceller, et mesh. Meshet, sammen med turbulensmodelleringen, er svært viktig for løsningens kvalitet. Disse to forholdene er helt avgjørende for hvordan en strømning påvirkes av ytre faktorer som f.eks. geometri, og hvor raskt en konsentrasjon av et utslipp sprer seg og tynnes ut. Det finnes mange typer mesh, og struktur og størrelse på disse må velges ut fra hva slags strømning man skal vurdere. Dette er avgjørende for å simulere luftbevegelsen på en fysisk korrekt måte. Arbeidet med å konstruere meshet er en stor del av arbeidet i en CFD-analyse.

I dette arbeidet er det benyttet RANS¹-modellering med en SST² turbulensmodell. Dette er å anse som å være innenfor kategorien «industristandard»-metodikk for den typen modellering som er aktuell her.

3.2 Beregningsmodell

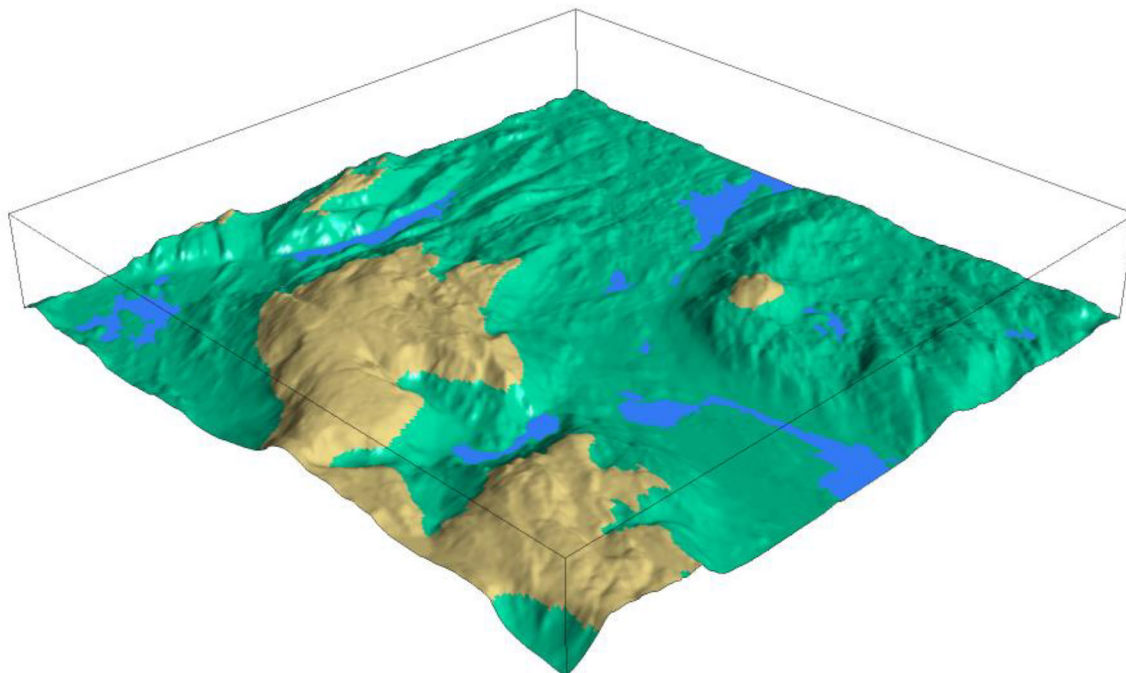
Det ble bygget to ulike beregningsmodeller. Den første modellen (kalt ytre modell) er en modell som dekker et større geografisk område (ca. 10 x 10 x 1.5 km), men som inneholder et redusert detaljnivå, se Figur 5. Denne modellen ble brukt for å beregne storskala vindpåvirkning av omkringliggende terreng. Selve protosenteret ble modellert i den andre modellen (kalt indre modell). Denne modellen er mer detaljert enn den ytre modellen, men dekker et mindre geografisk område, se Figur 6 og Figur 7. Etter tidlige testkjøringer av kun protosenteret ble det vurdert til at det er nødvendig med den store terrengmodellen for å generere riktig inputdata (i form av oppstrøms vindprofil) til den detaljerte modellen. Det var i hovedsak protosenterets plassering tett opptil Ulriken som utløste dette behovet.

Begge beregningsmodellene ble simulert for tre vindhastigheter (0,5 m/s, 3,4 m/s og 6,0 m/s) og 12 vindretninger.

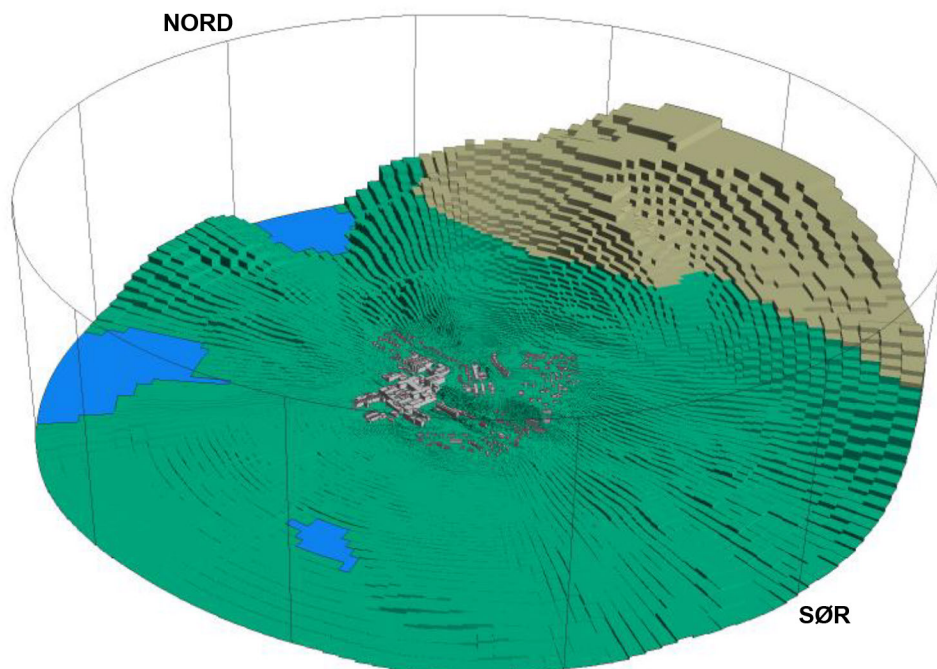
Beregningsmodellen er beskrevet i mer detalj i vedlegg, se kapittel 6.

¹ Reynolds-Averaged Navier-Stokes, dvs. Reynolds-midlet Navier-Stokes

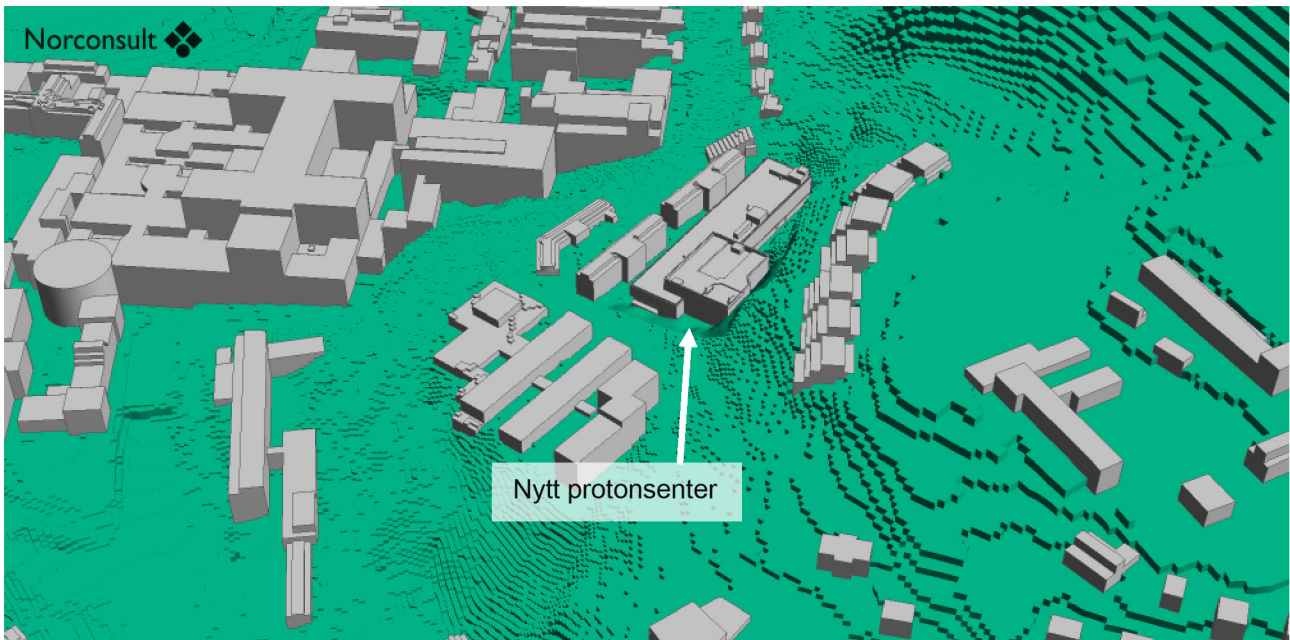
² Shear Stress Transport, en kombinasjon av k-epsilon-modell i fristrøm og k-omega-modell langs vegger



Figur 5: Oversikt over ytre modell, sett fra nord. Dette er en grov modell som dekker et større område, ca. 10 x 10 x 1.5 km.



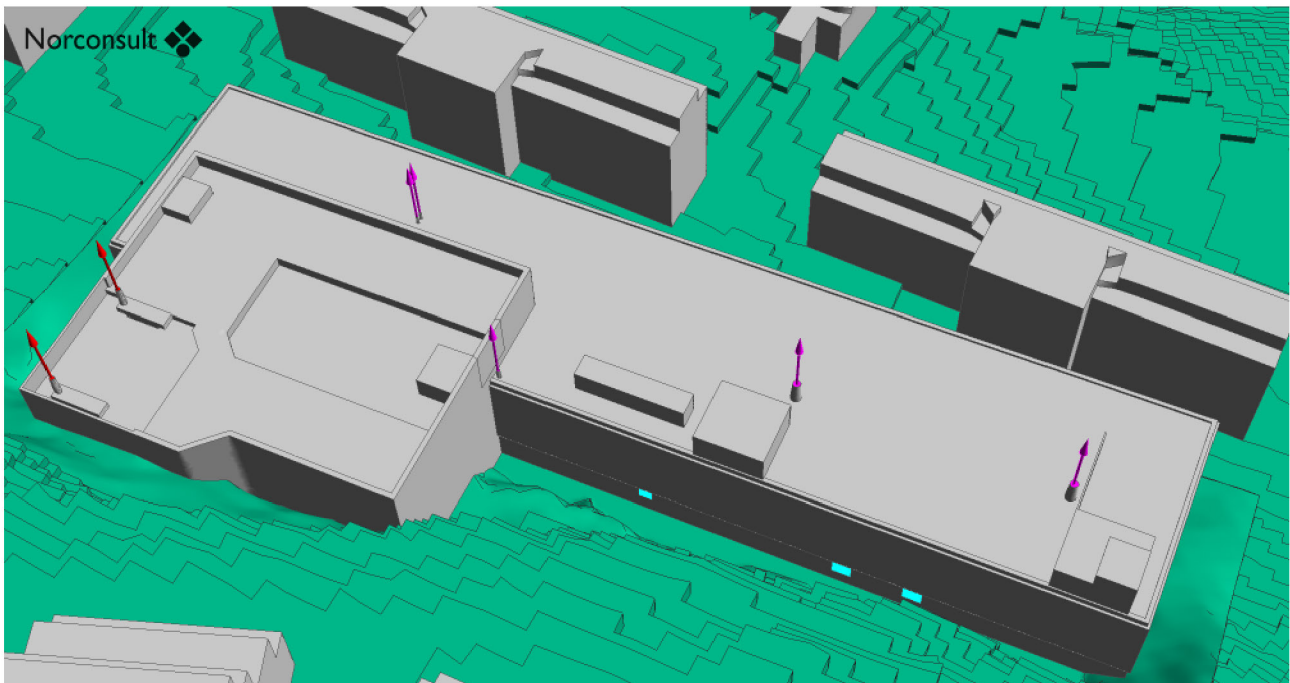
Figur 6: Oversikt over indre beregningsmodell sett fra sørvestlig retning. Diameteren på domenet er ca. 3,2 km.



Figur 7: Zoom på området rundt protonsentert, sett fra sør.

3.3 Ventilasjonssystemer

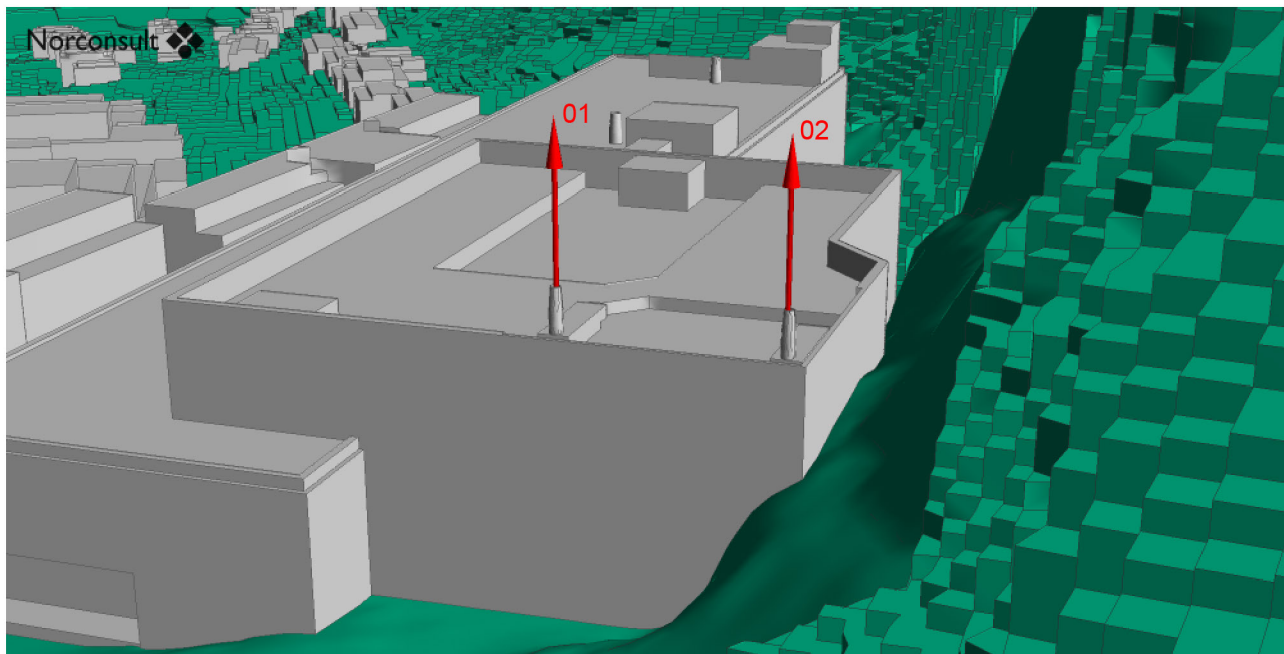
I dette kapitlet er posisjon og luftmengder for inntak og avkast ved protonsentert oppgitt [4]. Alle de presenterte inntak og avkast er vurdert til å være relevante å ha med i simuleringen. Vurderingen er gjort basert på nærhet til spesialavkastene og størrelsen på luftmengdene for de forskjellige inntakene og avkastene. Luftmengdene som presenteres er maksimum luftmengder for ventilasjonssystemene. Modellen inkluderer to spesialavkast, fem jetavkast og tre inntak, se Figur 8. Her er spesialavkast vist med rødt, avkast med lilla og inntak med cyan.



Figur 8: Oversikt over protonsentert med inntak og avkast, sett fra øst.

3.3.1 Spesialavkast Proton

Figur 9 viser de to spesialavkastene hvor utslippspunktene er 3 meter over øvre taknivå. I denne utslippsanalysen er det disse jethettene og deres utslipp som skal undersøkes med tanke på spredning av radioaktive stoffer. Luftmengdene som er benyttet er vist i Tabell 1.



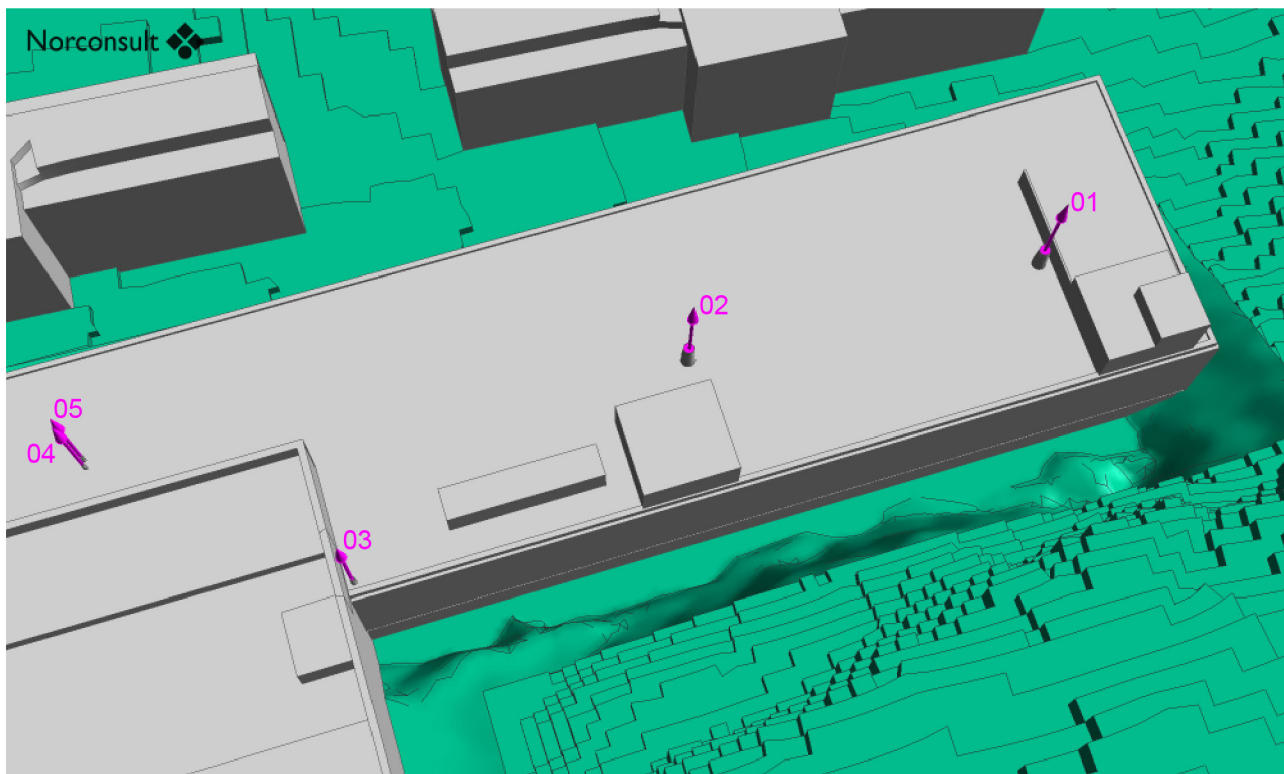
Figur 9: Spesialavkast fra jethetter vist med røde piler, sett fra sør.

Tabell 1: Luftmengde for spesialavkast fra jethetter (ref. Figur 9).

Avkast	Simulert luftmengde [m ³ /h]	Dimensjon [mm]
01	4700	Ø630
02	4700	Ø630

3.3.2 Andre avkast

Figur 10 viser de andre avkastene som er inkludert i modellen. Luftmengdene som er benyttet er vist i Tabell 2.



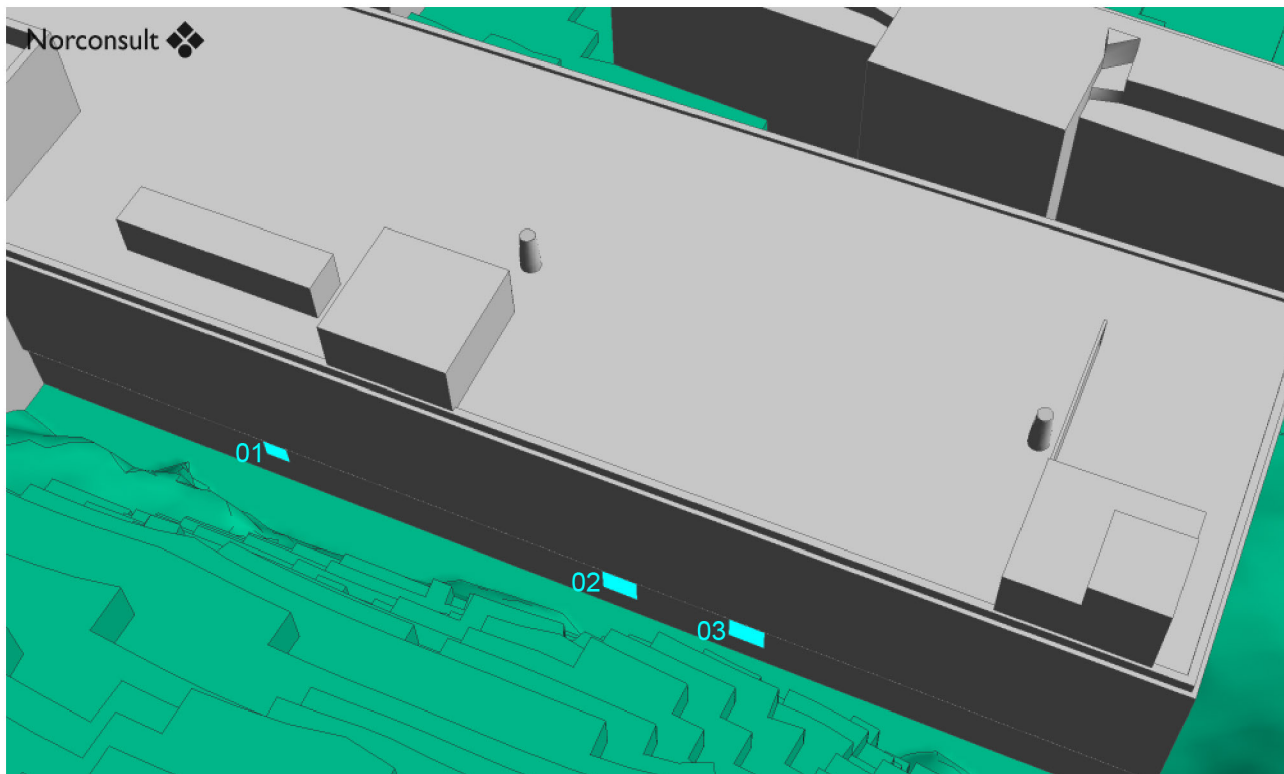
Figur 10: Andre avkast, avkastrister vist med lilla og avkast fra jethetter vist med lilla piler, sett fra sørøst

Tabell 2: Luftmengder for avkastrister og avkast fra jethetter (ref. Figur 10)

Avkast	Simulert luftmengde [m ³ /h]	Dimensjon [mm]
01	23000	Ø1000
02	30400	Ø1000
03	1500	Ø400
04	1200	Ø250
05	1200	Ø250

3.3.3 Inntak

Figur 11 viser inntakene som er inkludert i modellen. Luftmengdene som er benyttet er vist i Tabell 3.



Figur 11: Luftinntak (vist med fargen cyan), sett fra øst

Tabell 3: Luftmengder for inntak (ref. Figur 11)

Inntak	Simulert luftmengde [m ³ /h]	Dimensjon [mm]
01	12000	1500x1500
02	21000	2000x2000
03	26000	2000x2000

4 Resultater

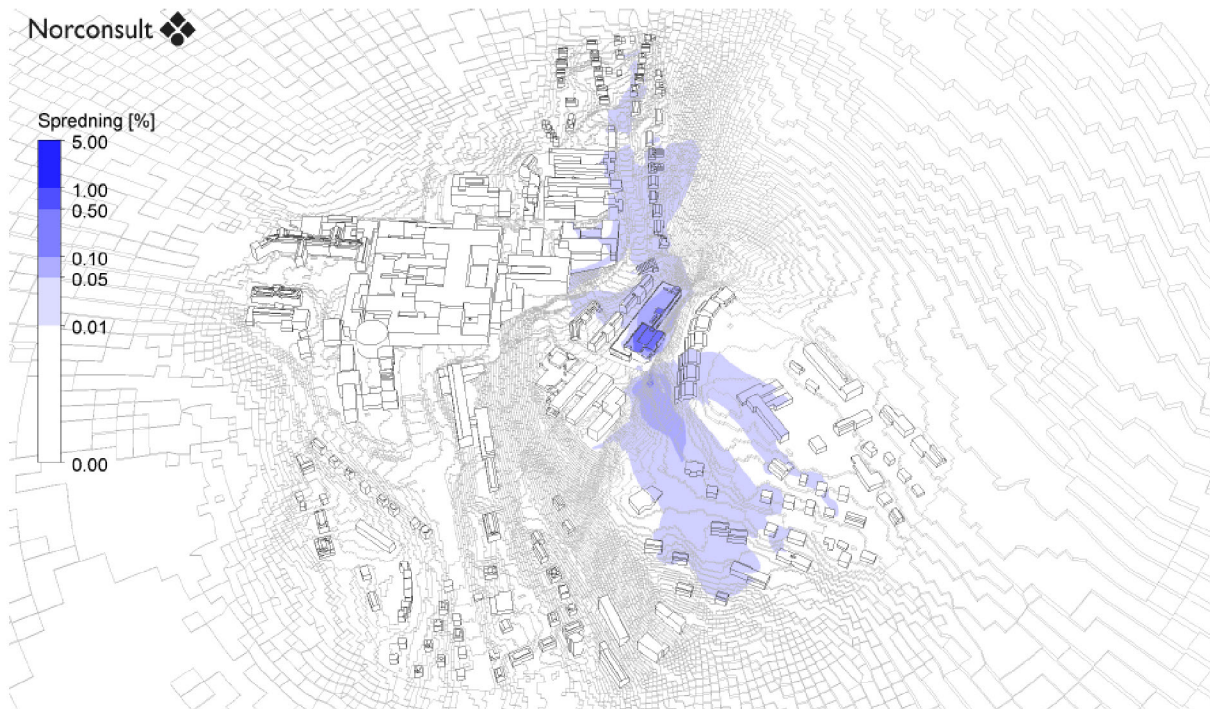
Det er utført simuleringer for vindhastighet på 0,5 m/s, 3,4 m/s og 6,0 m/s, og for 12 vindretninger for hver vindhastighet. Ved å analysere alle simuleringene, koblet med vindstatistikk, er så årsmidlet konsentrasjon av avkastluften fra spesialavkastet beregnet.

I dette kapittelet blir spredning fra avkastene fremstilt i prosent, doserate og spesifikk aktivitet.

Analysene gjøres ved å spore «konsentrasjonen av avkastluft» gjennom beregningsdomenet. Ved utslippspunktene er denne konsentrasjonen 100%.

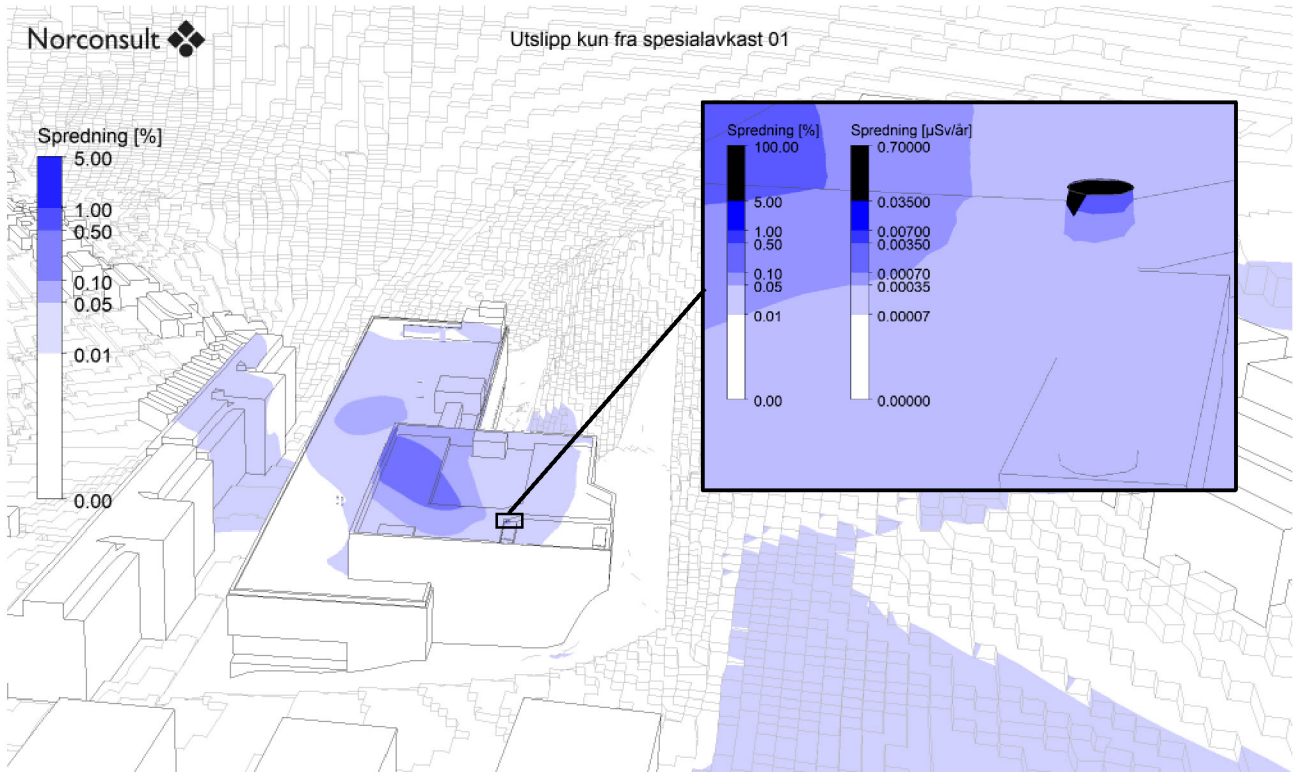
En dose er en størrelse, med enheten sievert (Sv), som beskriver hvor mye skade radioaktiv stråling påfører menneskekroppen [6]. Doserate angir dose over tid og er i denne rapporten angitt som mikrosievert per år ($\mu\text{Sv}/\text{år}$). Total doserate er oppgitt til $1 \mu\text{Sv}/\text{år}$ [6]. Doseraten ved utslippspunkt 01 og 02, der konsentrasjonen av avkastluft er 100%, er henholdsvis $0,714 (5/7) \mu\text{Sv}/\text{år}$ og $0,286 (2/7) \mu\text{Sv}/\text{år}$.

Mengden radioaktivitet måles i Becquerel (Bq). Spesifikk aktivitet, Bq/g, beregnes ut fra en gitt sammensetning av radioaktivt utslipp. Den radioaktive sammensetningen for utslippet fra spesialavkastene er gitt i tabell 5 og 6 i [7]. Spesifikk aktivitet i luften ved utslippspunkt 01 og 02, der konsentrasjonen av avkastluft er 100%, er henholdsvis 1,13 og 0,31 Bq/g (beregnet ut fra tallene i tabell 5 og 6 i [7]).

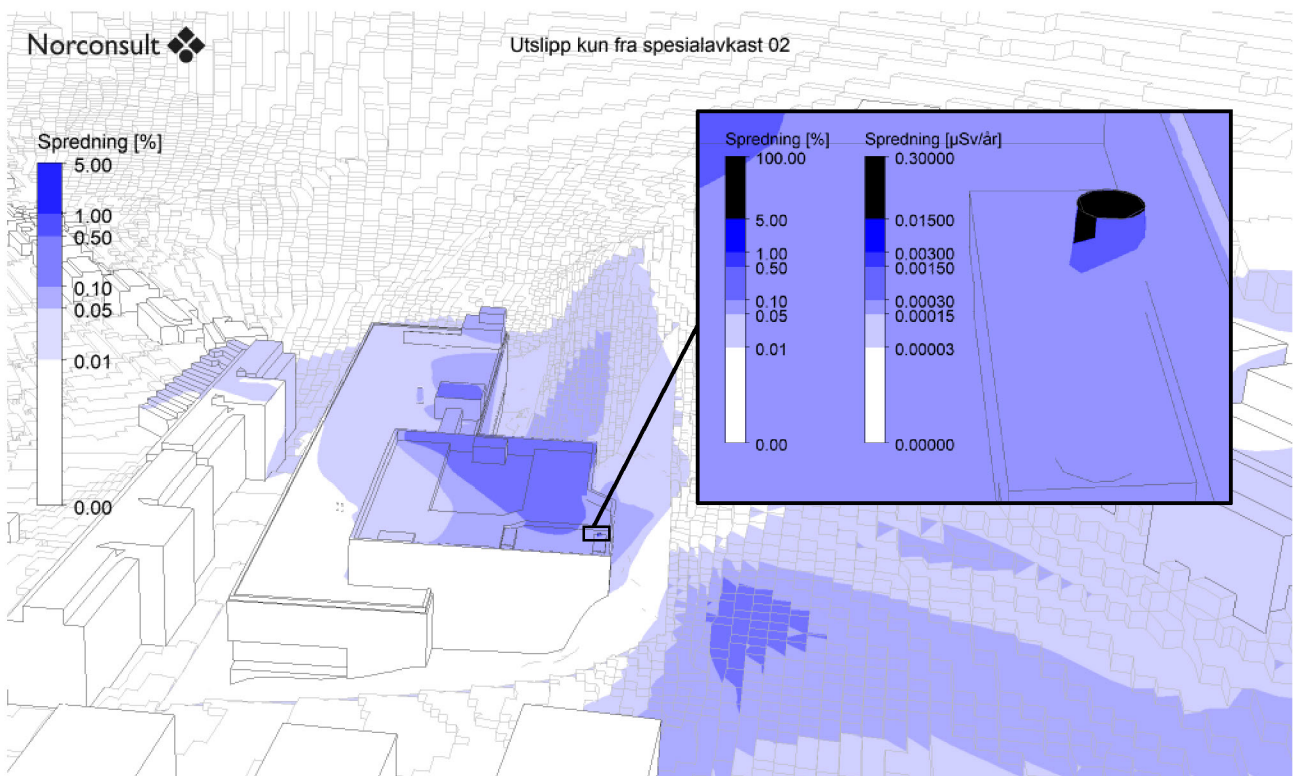


Figur 12: Årsmidlet spredning [%], samlet spredning fra utslippspunkt 01 og 02.

Figur 12 viser årsmidlet spredning av avkastluften i prosent (spredningen fra utslippspunkt 01 og 02 er summert). Figuren viser, med logaritmisk skala, at avkastluften uttynnes og at luften er uttynnet til under 0,1 % og 1,0 % (årsmidlet) på henholdsvis terrenget samt bygninger i området rundt avkastene og selve sykehusbygget. Ved inntakene, vist i Figur 11, er avkastluften uttynnet til under 0,1 % (årsmidlet). Forekomsten av konsentrasjoner fra 1 % til 100 % (årsmidlet) finnes kun på og i umiddelbar nærhet av utslippspunktene. Figur 13 og Figur 14 viser, med logaritmisk skala, forekomsten av konsentrasjonen og tilsvarende verdi for doseraten fra henholdsvis utslippspunkt 01 og 02.

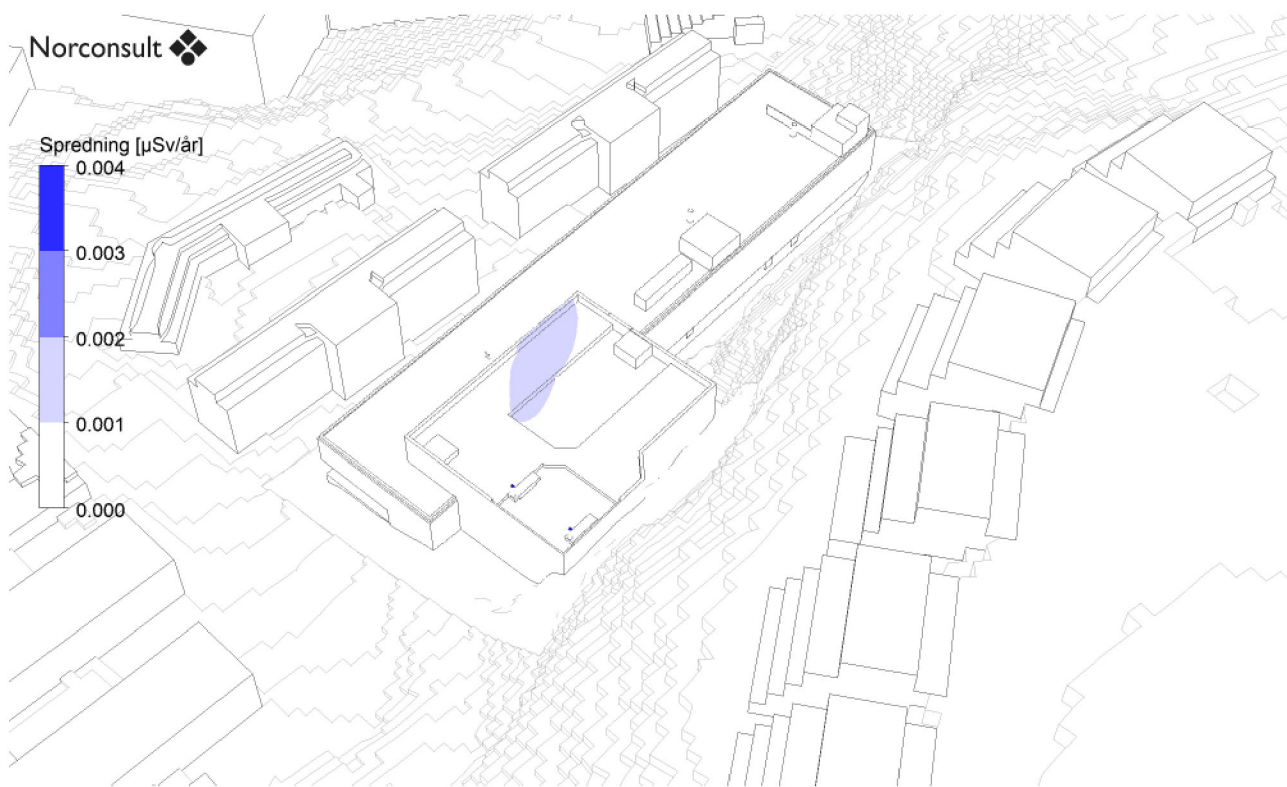


Figur 13: Forklaring av forekomsten av årsmidlet konsentrasjon i prosent og tilsvarende verdi for doseraten, kun spredning fra spesialavkast 01.



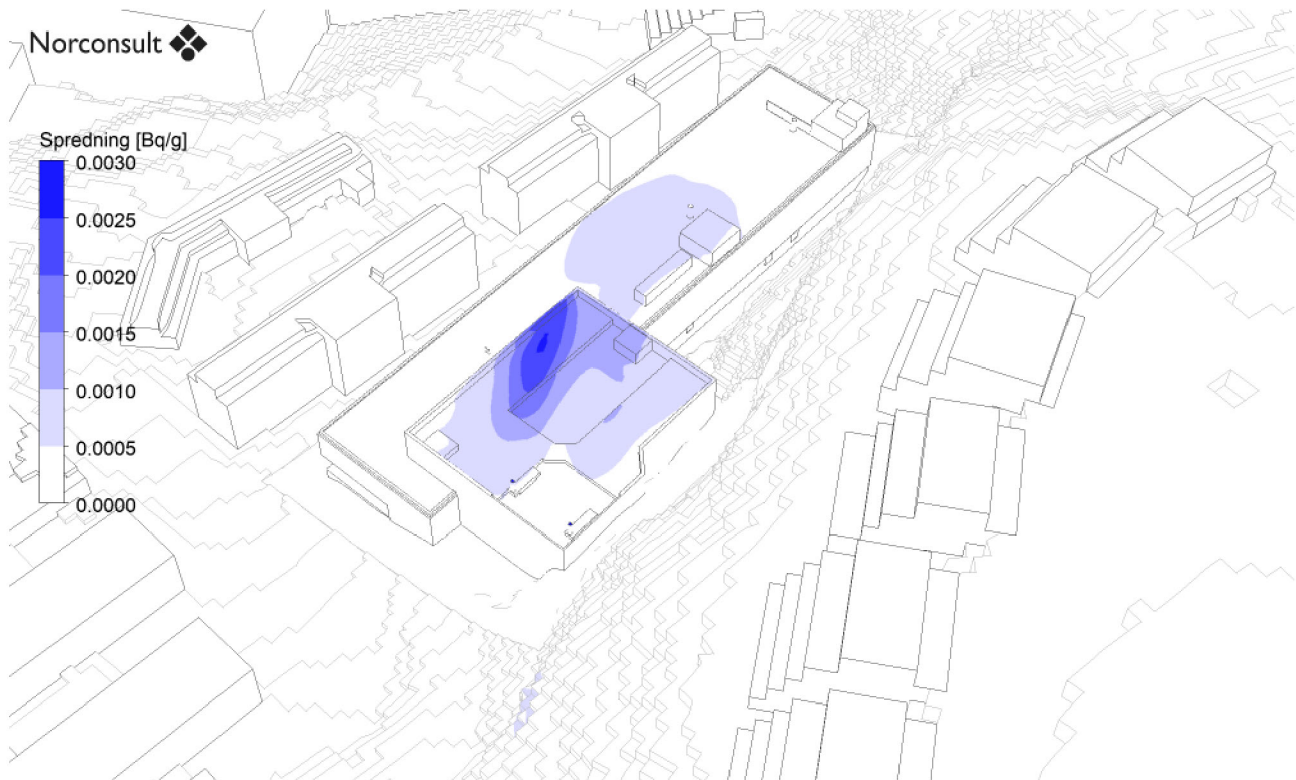
Figur 14: Forklaring av forekomsten av årsmidlet konsentrasjon i prosent og tilsvarende verdi for doseraten, kun spredning fra spesialavkast 02.

Figur 15 viser, med lineær skala, årsmidlet spredning av doserate i $\mu\text{Sv}/\text{år}$ (spredning fra utslippspunkt 01 og 02 samlet). Ved øvre taknivå viser figuren doserate mellom 0,001 og 0,002 $\mu\text{Sv}/\text{år}$. Doserater over 0,002 $\mu\text{Sv}/\text{år}$ forekommer kun på og i umiddelbar nærhet av utslippspunktet.



Figur 15: Årsmidlet doserate [$\mu\text{Sv}/\text{år}$], samlet spredning fra utslippspunkt 01 og 02.

Figur 16 viser, med lineær skala, årsmidlet spredning av spesifikk aktivitet i Bq/g (spredning fra utslippspunkt 01 og 02 samlet). Ved øvre taknivå viser figuren spesifikk aktivitet på opptil 0.003 Bq/g . Spesifikk aktivitet over 0,003 Bq/g forekommer kun på og i umiddelbar nærhet av utslippspunktet.



Figur 16: Årsmidlet spesifikk aktivitet [Bq/g], samlet spredning fra utslippspunkt 01 og 02.

5 Referanser

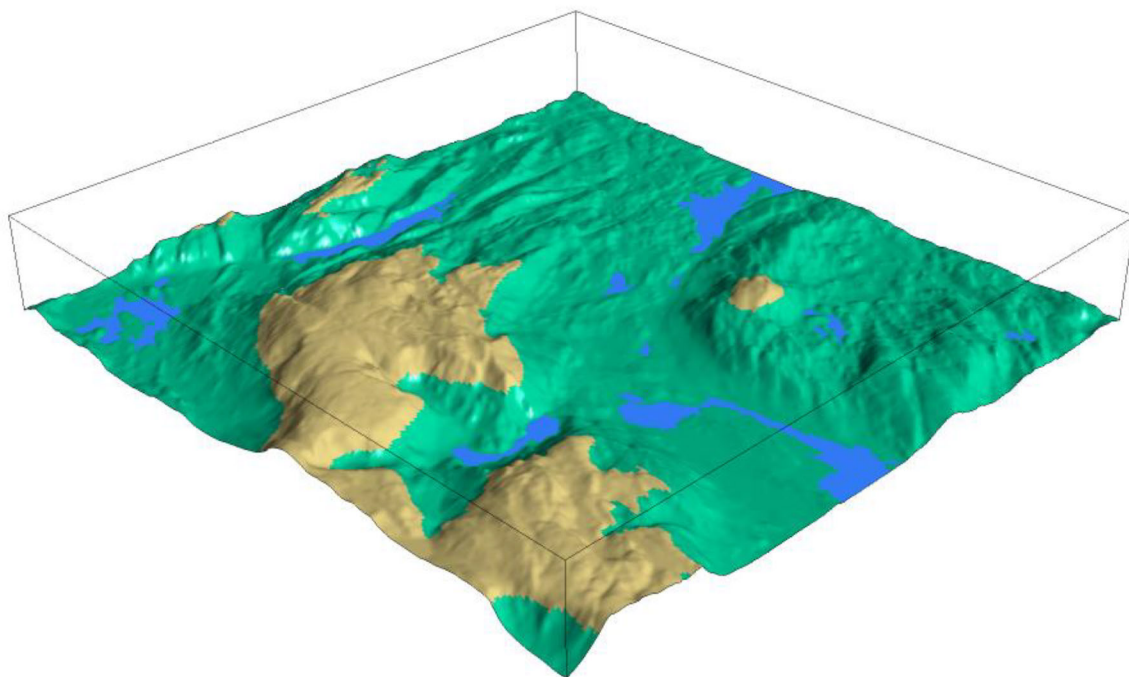
- [1] Værmodell, <http://www.wrfmodel.org/>
- [2] BIM-modell ARK, hentet fra prosjektets ITbase, 18.02.21
- [3] BIM-modell RIV, hentet fra prosjektets ITbase, 18.03.21
- [4] Epost-korrespondanse mellom Multiconsult AS og Norconsult AS, senest 23.03.21
- [5] Definisjon doserate, <https://radnett.dsa.no/?doc=faq>
- [6] Epost-korrespondanse mellom Helse-Bergen HF og Norconsult AS, senest 17.03.21
- [7] Air activation report, R-14.12.002-01_Bergen_air_activation.pdf

6 Vedlegg – Metode, detaljer

6.1 Ytre modell

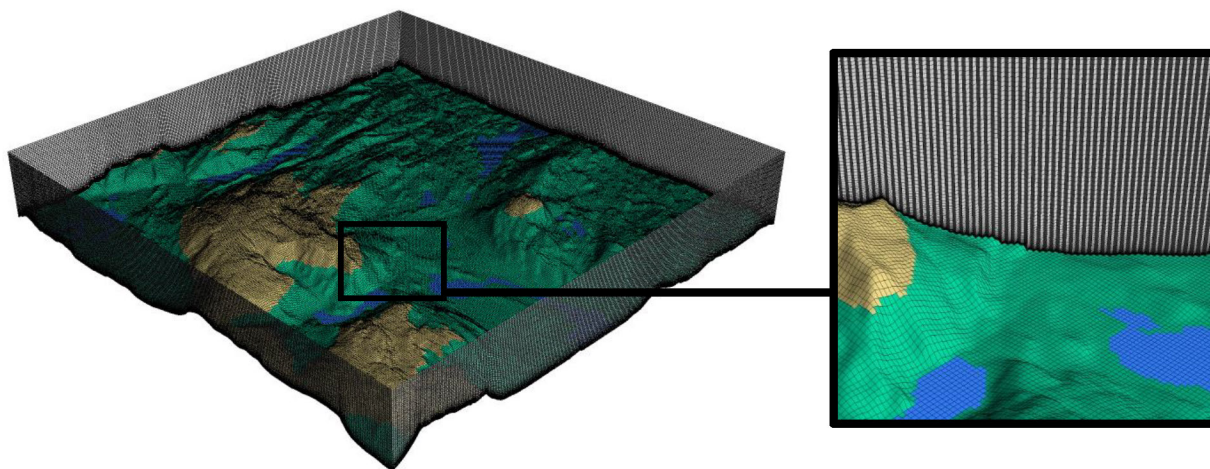
Den ytre modellen dekker et område på ca. 10 x 10 x 1.5 km. Modellen inneholder et redusert detaljnivå, hvor bebyggelse er utelatt, se Figur 17.

Norconsult 



Figur 17: Oversikt over ytre modell, sett fra nord. Dette er en grov modell som dekker et større område, ca. 10 x 10 x 1.5 km. Fargene på terrenget viser ruhetlengder jamfør Tabell 4.

Den ytre modellen er bygget med regulære heksaedriske beregningsceller, der de nedre lagene er terrengfølgende, se Figur 18. Oppløsningen i horisontal retning er på 30 x 30 m i hele modellområdet. Vertikal oppløsning varierer fra 1 m ved bakken til 25 m øverst i modellområdet.



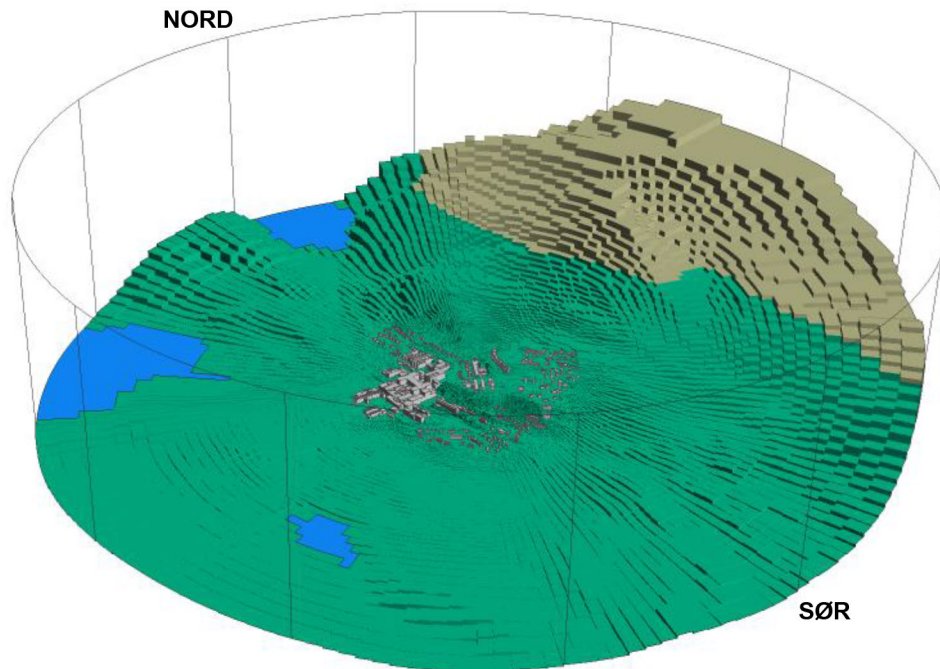
Figur 18: Illustrasjonsbilde av meshet for den ytre modellen som viser heksaedriske beregningsceller.

Den ytre modellen ble kjørt for de relevante hastighetene og vindretningene for å beregne vindpåvirkningen av det komplekse terrenget inn mot protonseneteret.

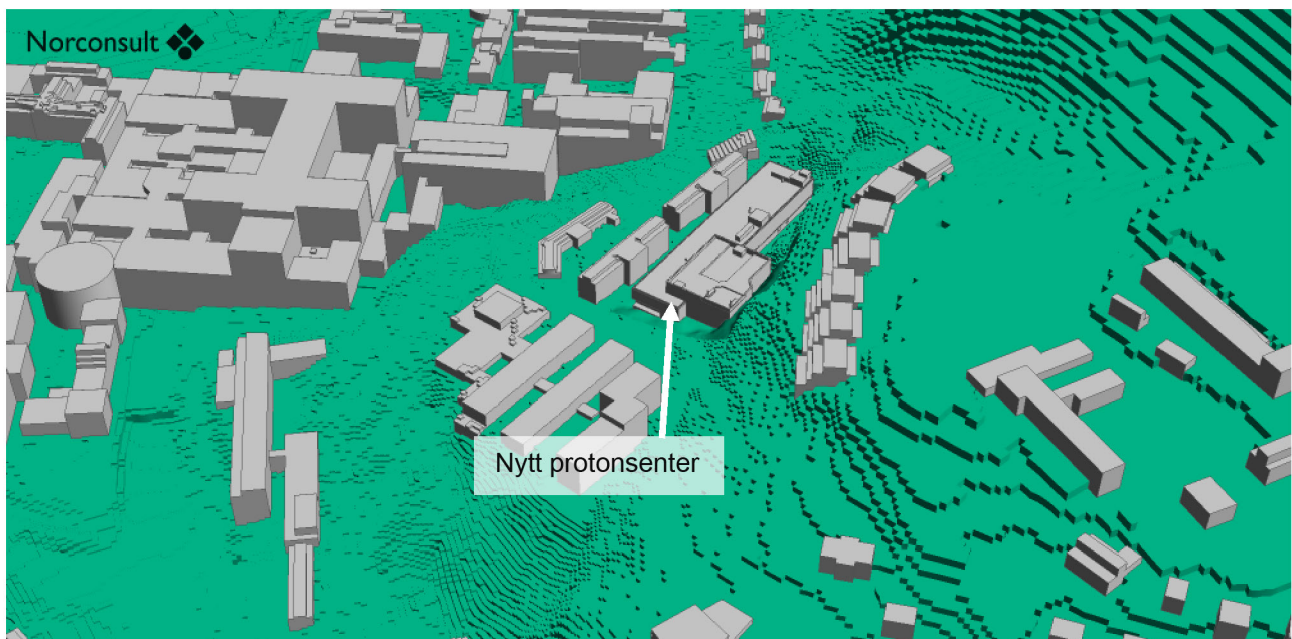
6.2 Indre modell

Den indre modellen ble konstruert ut fra 3D BIM/CAD-modeller [2][3] med underlag fra terreng og laserskanning. Den endelige modellen er vist i Figur 19 og Figur 20. I dette tilfellet er diameteren på domenet ca. 3,2 km.

Norconsult 



Figur 19: Oversikt over indre beregningsmodell sett fra sørvestlig retning. Fargene på terrenget viser ulike ruhetslengder jamfør Tabell 4. Diameteren på domenet er ca. 3,2 km.

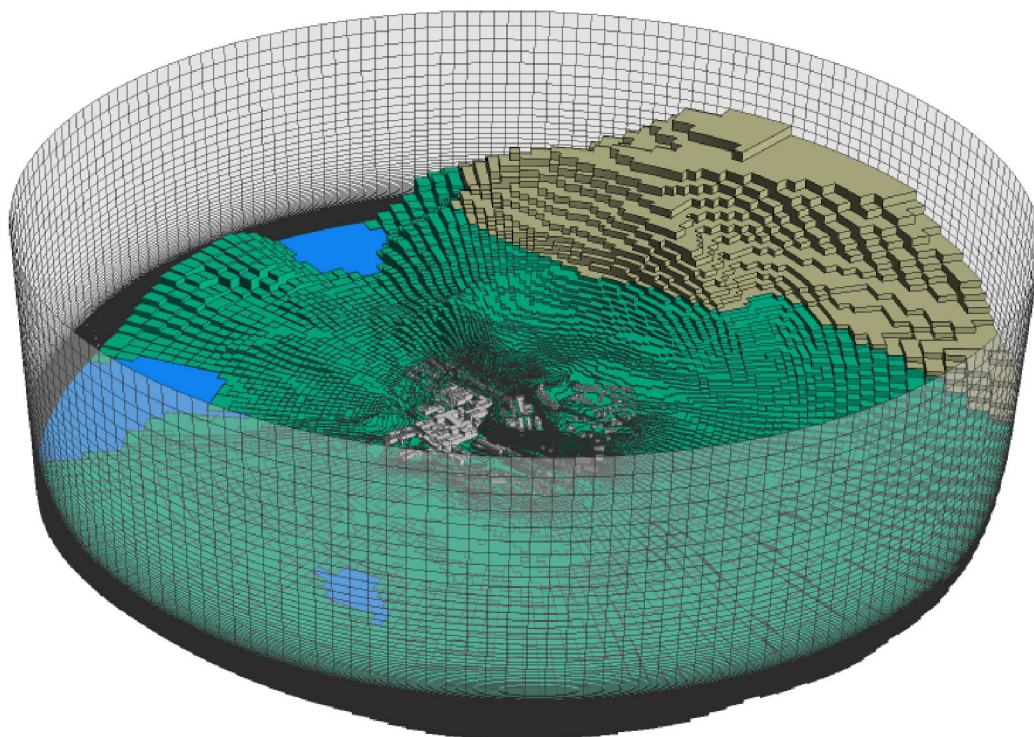


Figur 20: Zoom på området rundt protonseneteret, sett fra sør.

I slike simuleringer gjøres det alltid forenklinger av geometridetaljer for å spare beregningstid, men alt som er vurdert å ha en signifikant innflytelse på de lokale strømningsforholdene er tatt med. Det er i første rekke proporsjonene til byggene, dvs. høyde i forhold til bredde, og deres innbyrdes plassering, som er avgjørende for vinden.

I området oppstrøms fra sykehusområdet er det viktig å benytte et mesh som opprettholder det atmosfæriske grensesjiktprofilen (se kapittel 6.3). Det må ha god oppløsning i høyderetningen, spesielt nær bakken, og generelt en horisontal cellestruktur. Figur 21 viser et oversiktsbilde av meshet langs terrenget og de ytre grensene i domenet. I all hovedsak består cellestrukturen av heksaeder-celler. Unntaket er i et utvalgt område rundt spesialavkastet hvor det er et mer detaljert hybridmesh, bestående av både tetraeder-celler og strukturerte heksaeder-celler, se Figur 22. Over de tak-baserte jethettene som er tatt med i beregningen er det benyttet strukturerte heksaeder-celler. Den strukturerte delen her er viktig for å løse opp strømmingen i jetene slik at man beregner riktig kastelengde på avkastluften. Modellen består av ca. 12 millioner mesh-elementer.

Norconsult 



Figur 21: Oversiktsbilde av meshet for hele simuleringsdomenet.



Figur 22: Mesh-detaller i området rundt protonsentert.

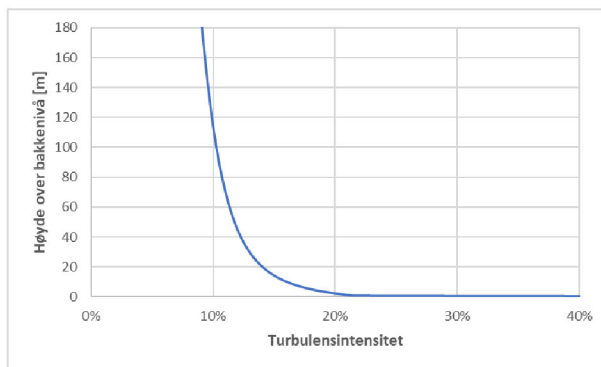
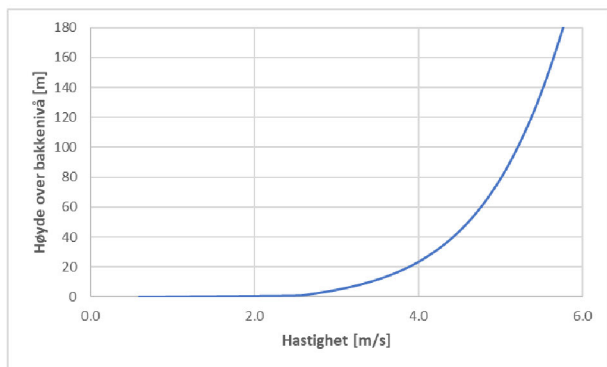
6.3 Grensebetingelser

For alle innløp og utløp i CFD-modellen – altså der luft beveger seg inn eller ut av grensene til modellvolumet – må et antall fysiske forhold spesifiseres. Disse spesifikasjonene kalles «grensebetingelser». I dette tilfellet ble vindhastighet, vindretning og turbulensvariable (k og epsilon) spesifisert for den siden vinden kommer fra. For utløpene på nedstrøms side, samt toppen av volumet, ble det definert trykkbetingelser slik at vinden var fri til å komme inn og ut av disse flatene, avhengig av hvordan strømmingen finner veien gjennom volumet. På overflater ble det satt ulike ruheter basert på terrengkategori, terrengruheten er gitt i Tabell 4.

Tabell 4: Oversikt over de ulike terrengruhetene brukt i beregningsmodellen.

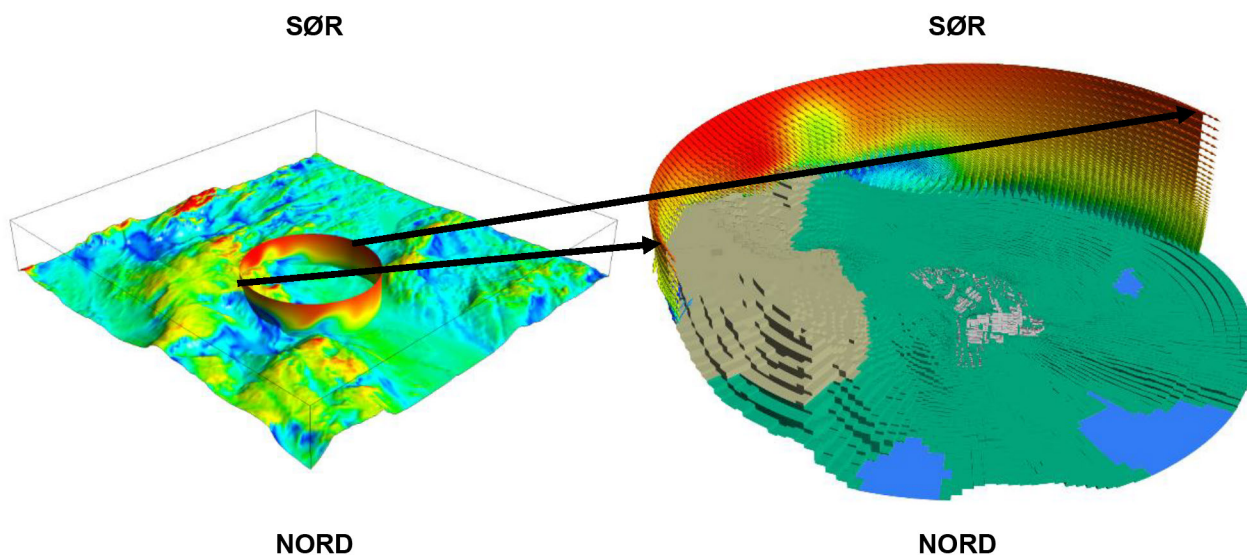
Område	Farge	Terrengruhet (z_0)
Skog/Småhusbebyggelse	Grønn	0.300 m
Vann	Blå	0.003 m
Flat mark/fjell	Beige	0.050 m

Parameterne som spesifiseres på oppstrøms rand for den ytre modellen er de som gir et korrekt atmosfærisk grensesjikt inn i volumet. Både vindhastighet og turbulens på innløpet til den ytre modellen er låst til vertikale profiler (variasjon med høyde) som er basert på terrengets ruhet og en gitt vindhastighet. Profilet er satt opp for å svare til karakteristiske forhold i den aktuelle typen terreng og bakken er representert med en aerodynamisk ruhet som stemmer godt overens med dette profilet og fullskaladata (se f.eks. Counihan, 1975 eller Fundamentals of Atmospheric Modeling, 2005). Innløpsprofilene for vindhastighet 3,4 m/s er vist i Figur 23.



Figur 23: Grensebetingelse for hastighet (til venstre) og turbulensintensitet (til høyre).

Innløpsbetingelsene til den indre modellen ble hentet ut fra den ytre modellen, slik at korrekt «storskala» terrengpåvirkning ble satt på ved oppstrøms side av modellene. Figur 24 viser modellen med vind fra sørøstlig retning.



Figur 24: Simuleringsresultater fra den store terrengmodellen er brukt som innløpsbetingelser for den mer detaljerte indre modellen. Denne koblingen er gjort for alle simulerte vindretninger og hastigheter. Her vises modellene med vind fra sørøst (150°) med vindhastighet 3,4 m/s.

6.4 Nøyaktighet av CFD-simuleringer

En CFD-simulering er en datamodell som prøver å tilnærme fysikken i et komplisert strømningsbilde, som ellers ikke er mulig å løse analytisk. Som med andre numeriske modeller finnes det kilder av potensiell usikkerhet som kan påvirke svaret. Disse usikkerhetene kan deles i to grupper: feil i sammensetningen av simuleringmodellen og feil i den numeriske beregningen.

Mulige kilder til usikkerhet i sammensetningen av simuleringmodellen kan inkludere:

- Geometriforenklinger og valg av representative geometridetaljer
- Valg av modell for f.eks. viskositet, turbulens, kjemi, termodynamikk osv.
- Forutsetninger for grense- og startbetingelser (dvs. inngangsdata)

Mulig kilder til usikkerhet i numerisk beregning kan inkludere:

- Diskretiseringsfeil, som oppstår når en deler fluiddomenet i et nett / rutenett av celleelementer, og tilnærmer løsningen av differensiallikningene for disse elementene
- Feil ved avrunding av datamaskinen
- Programmeringsfeil

For å maksimere nøyaktigheten til en CFD-analyse er det viktig å minimere disse usikkerhetene. De to enkleste måtene å gjøre dette på er: (i) å sikre at ingeniøren som utfører analysen har en passende ekspertbakgrunn innen både numerisk modellering og fluiddynamikk (som minimerer potensialet for usikkerhet i sammensetningen av simuleringmodellen), og (ii) ved bruk av validert og kvalitetssikret CFD-programvare (som minimerer potensialet for feil i den numeriske beregningen).

Basert på vår erfaring er ofte den største usikkerhetskilden inngangsdataene. Spørsmål som f.eks. vil utstyret faktisk produsere den spesifiserte varmemengden eller vil viften klare å opprettholde den spesifiserte volumstrømmen når den er i drift.

På grunn av den generelle kompleksiteten i simuleringen er det ikke praktisk mulig å presentere resultatene med passende usikkerhetsgrenser ($\pm x.xx\%$), uten en form for fysiske forsøk som simuleringen kan kalibreres opp mot. Den nåværende analysen er utført av CFD-eksperter, og generelle «best practice» metoder er brukt. De presenterte resultatene er så nøyaktig som de praktisk talt kan bli med hensyn til omfang og tidsbruk i arbeidet, samt tilgjengelig inputdata. Generelt sett er CFD-simulering den mest nøyaktige og tilgjengelige metoden for å analysere strømningsstekniske systemer i en konseptuell designfase.