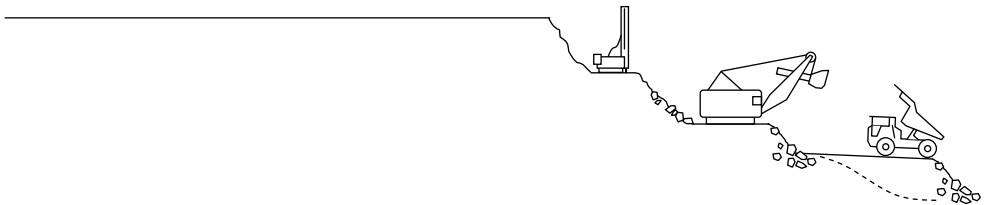


Faglig notat

## DATABASERT SIMULERING AV VENTILASJON UNDER JORD

Hans Tore Mikkelsen<sup>1</sup><sup>1</sup> Institutt for geologi og bergteknikk, NTNU, Sem Sælandsvei 1, 7491 Trondheim (hans.mikkelsen@ntnu.no)

*Tilførsel av tilstrekkelige mengder frisk luft for å skape et akseptabelt arbeidsmiljø ved underjords gruvedrift og tunnelbygging er en vedvarende utfordring. Programpakken Ventsim Visual<sup>TM</sup> gir muligheter for å simulere virkningsgraden av eksisterende ventilasjonsanlegg samt teste ut eventuelle anleggsendringer før ombygging.*



### I. INNLEDNING

Ventilasjon utgjør en svært viktig funksjon i tilknytning til tunneldrift og drift av gruver under jord. Tilførsel av frisk luft til brytningsområdene og transport av forurenset luft fra de samme områdene skal sikre arbeidstakerne mot helseskader som følge av eksponering for partikler, sprenggasser, gasser fra dieseldrevne maskiner og kjøretøy samt naturlig forekommende gasser. Tilførte luftmengder utgjorde i 1984 fra 2.7-23.1 tonn luft pr. tonn bergfangst ved seksten norske gruver (Myran, 1985). I dag dominerer dagbruksdrift, men økende etterspørsel etter metaller og mineraler på verdensmarkedet kan medføre gjenåpning av tidligere gruveanlegg og etablering av nye gruver basert på underjordsdrift eller en kombinasjon av dagbruks- og underjordsdrift.

Generelt krever design av ventilasjonsanlegg nøye planlegging og kunnskaper om ventilasjon og rutiner for måling av luftkvalitet osv. Planlegging og modellering av ventilasjon var tidligere basert på erfaringer, tommelfingerregler, erfaringsbaserte formler og omfattende manuelle beregninger og ved endringer av parametre måtte beregningene gjennomføres på nytt. Med tiden er det utviklet dataverktøy som gjør det mulig å simulere ventilasjon i tunneler og underjordsgruver i et grafisk

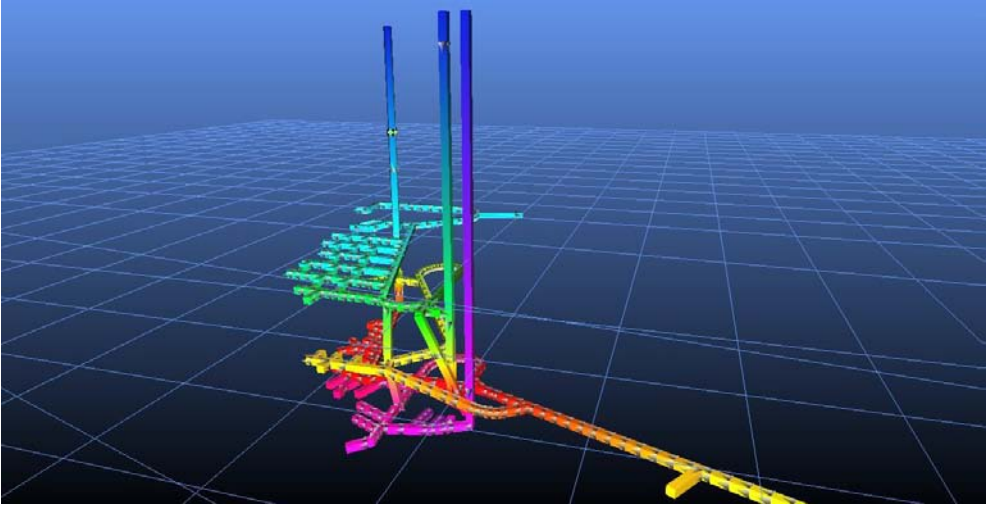
grensesnitt og resultatene av parameterendringer vises raskt. Eksempel på ett slikt verktøy er Ventsim Visual™ (heretter benevnt Ventsim). Institutt for geologi og bergteknikk disponerer en slik programpakke som er planlagt anvendt i undervisning og i mastergradsprosjekter tilknyttet tunneldrift og underjordsdrift. Man forventer også at programpakken kan bli tatt i bruk av eksisterende og fremtidig etablerte norske underjordsgruver samt blant konsulenter og entreprenører innenfor anleggsbransjen. Ifølge Ventsim Software (u.d.) anvendes programpakken av mer enn 400 gruveanlegg, konsulenter, forskningsinstitusjoner og universiteter.

## 2. VENTSIM

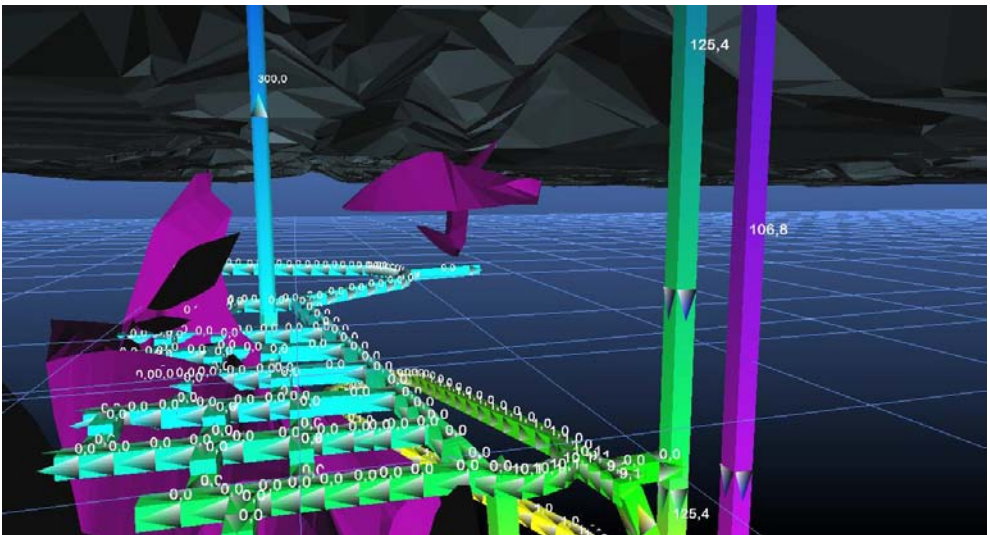
Programpakken er utformet for Windows i et grafisk 3D grensesnitt. Den inneholder verktøy for å simulere og dokumentere transport av luft og varme, lufttrykksfordelinger etc. i eksisterende gruveanlegg og for å kjøre tilsvarende simuleringer i nye driftsområder. Programpakken gjør det også mulig å forhåndsteste effekten av ventilasjonsutstyr som vifter etc. Den er også utstyrt med funksjoner for å simulere konsentrasjonsfordelinger av røyk, partikler og gasser med tanke på beredskapsplanlegging. Programmet kan også utnyttes til å sammenlikne og gjennomføre en økonomisk analyse av ventilasjonsanlegg basert på ulike inngangsparametre.

I Ventsim kan tunneler og orter tegnes inn enten direkte eller ved å importere geometriske data støttet av CAD og gruveplanleggingsprogram som DFX eller DWG data hvor sjakter, orter osv. er representert av senterlinjer. Ved import av senterlinjene omformes disse til en visuell presentasjon av gruen, se figur 1. Gruen i eksempelet består av tre ventilasjonssjakter og en stigort som alle er forbundet med dagen. Sjakten til venstre i figuren er forsynt med en ventilasjonsvifte som suger luft ut av gruen mens tilførsel av luft skjer gjennom de to sjaktene til høyre i bildet og stigorten helt til høyre.

Figur 2 viser en enkel simulering av luftgjennomstrømning i gruen gitt som eksempel. I figuren er også geometriske data for terreng og mineralforekomst blitt tatt inn. Viften i sjakta til venstre i bildet suger ut en konstant luftmengde på 300 m<sup>3</sup>/s. Tilført luft fordeler seg henholdsvis med 125,4 m<sup>3</sup>/s, 106,8 m<sup>3</sup>/s og 67,7 m<sup>3</sup>/s gjennom de øvrige to sjaktene og stigorten.



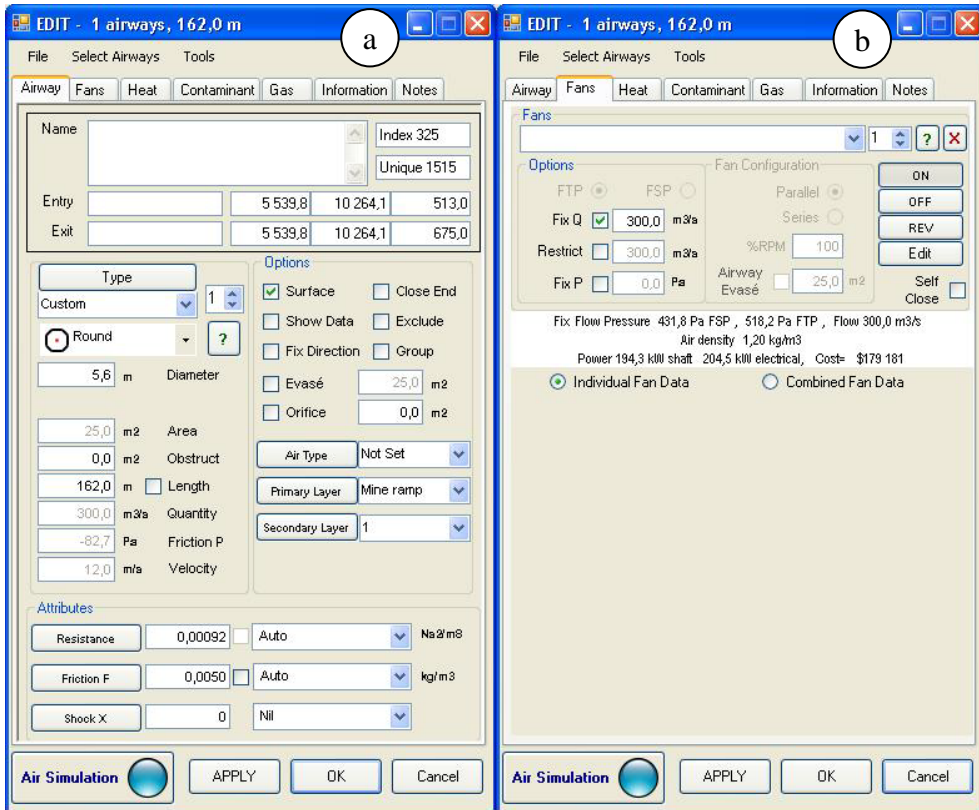
**Figur 1.** Modellering av luftveier i underjordsgruve fra DFX formaterte data.



**Figur 2.** Simulering av lufttransport i underjordsgruve med terrengdata og data for mineralforekomst innarbeidet (terreng er her sett fra undersiden).

Av figuren ser man at det er flere områder som er uten tilførsel av luft fra hovedventilasjonen. Her vil man videre kunne legge inn og teste ut tiltak for omdirigering av primær luft ved å montere vegger, porter osv. eller eksempelvis ved tilførsel av sekundær luft gjennom ventilasjonskanaler.

Figur 3a og 3b viser meny for innsetting av inngangsparametere for ventilasjonssjakt med vifte.



Figur 3. Ventilasjonssjakt – inngangsparametre for a) sjakt og b) for vifte.

Ventilasjonssjakten i figur 3a samsvarer med eksempelet gitt i figur 1 og 2 og er her lagt inn med rundt profil og her forsynt med en ikke nærmere spesifisert vifte med konstant luftmengde 300 m<sup>3</sup>/s. Ved simulering av ventilasjon i eget gruveanlegg kan aktuelle parametre for vifter, ventilasjonssjakter, orter, tilførselskanaler for sekundær ventilasjon osv. legges inn basert på faktisk tilgjengelig utstyr og utforming.

### 3. AVSLUTTENDE KOMMENTARER

Luftkvalitet oppfattes ofte som et miljøproblem ved underjordsdrift. Luften under jord kan inneholde partikler og avgasser fra sprengning og dieseldrevne maskiner.

Overeksponering kan medføre helseskader for personellet som jobber under jord. Forskrift om HMS ved bergarbeid § 25 (AID, 2005) setter krav til kontinuerlig ventilasjon som sikrer tilstrekkelig tilførsel av frisk luft og oppfølging av ventilasjonsanleggene for å oppfylle gjeldende krav til luftkvalitet<sup>1</sup> under jord.

Helserisiko forbundet med eksponering for luftforurensninger vurderes med basis i mengde (konsentrasjon), varighet av eksponering (tid), forurensningens sammensetning og spesifikke egenskaper samt den enkeltes følsomhet for eksponeringen (Myran, 2008). For partikler utgjør i tillegg mengden av partiklene som holdes tilbake i lungene en viktig parameter. Mengden avhenger av partikkelstørrelse. Respirable partikler er partikler mindre enn 3-5  $\mu\text{m}$ . Disse trenger lengst ned i lungesystemet (bronkiene og alveolene) og utgjør den største helsefaren. Generelt er risikovurderinger av denne type vanskelig å gjøre fordi mennesker reagerer forskjellig på en gitt forurensning. I noen tilfeller må i tillegg kombinasjonseffekter vurderes. Et eksempel på forurensninger med additiv effekt er nitrogendioksid ( $\text{NO}_2$ ) og svoveldioksid ( $\text{SO}_2$ ). Et illustrerende eksempel på synergistisk virkning er røyking og eksponering for respirable asbestfibre. Synergistisk virkning tilsier at samlet virkning er større enn summen av effekten av stoffene enkeltvis, og i tilfellet røyking og eksponering for asbestfibre øker den samlede risikoen for lungekreft med 15 ganger (Proctor et al., 2004).

I underjordsgruver basert på dieseldrevne maskiner og utstyr er det normalt dieselavgassene som er avgjørende for ventilasjonsbehovet. Etter flere ulykker hvor personell som befant seg under jord ble eksponert for sprenggasser med alvorlige helseskader som følge, er det ikke lov å gjennomføre sprengning mens personell befinner seg under jord. Normalt sprenges det ved avslutning av siste ordinære skift. For en underjordsgruve med toskiftsordning vil sprengning skje ved avslutning av ettermiddagsskiftet og sprenggassene vil bli ventilert ut i løpet av natta til dagskiftet møter påfølgende dag forutsatt at ventilasjonsanlegget er tilstrekkelig dimensjonert. For tunneldrift stiller forholdet seg noe annerledes og her vil det foreligge et større press for å komme på stuff så tidlig som mulig etter sprengning. Her vil derfor mengden av sprenggasser kunne utgjøre en dimensjonerende faktor. I tillegg vil partikler (støv) kunne være av betydning for alle ventilasjonsanlegg under jord. Dette gjelder spesielt for bergarter hvor kvartsinnholdet er større enn 20-25 % (Franzén et al, 1984).

---

<sup>1</sup> Kravene til luftkvalitet er regulert av administrative normer. Oversikt over administrative normer ajourføres av Direktoratet for arbeidstilsynet (DAT, 2009). Administrative normer var tidligere benevnt yrkeshygieneiske grenseverdier og representerer den maksimale konsentrasjon av en forurensning som et menneske kan utsettes for uten helseskade i løpet av en arbeidsdag på 8 timer.

Andre relevante faktorer for dimensjonering av ventilasjonsanlegg er lufthastighet, trykkfall og luftlekkasjer. Sideeffekter ved store luftgjennomstrømninger (i form av ubehag og i enkelte tilfeller helseeffekter), kan komme fra trekk, temperatur- og fuktighetsendringer. I orter hvor det pågår arbeider anbefales det at lufthastigheten ikke overstiger 2-3 m/s. I den kalde årstiden kan tilførsel av kald luft forårsake tåke- og isdannelse. Problemet kan være spesielt stort ved stor ventilasjonsinnsats (Franzén, et al., 1984). Dieseldrift, sprengning, sugende eller blåsende ventilasjon, naturlig ventilasjon, temperaturer, ulike forurensninger (gasser, partikler, røyk osv.) er funksjoner og effekter som kan legges inn og simuleres ved hjelp av Ventsim.

Norsk bergindustri bestod i 2010 av 790 bedrifter som produserte 85 millioner tonn mineralske råstoffer (Neeb et al., 2011). På 80-tallet eksisterte det en lang rekke underjordsgruver i Norge (Myran, 1985), men strukturforandringer har medført at de fleste uttakene av mineralske råstoffer i antall anlegg i dag skjer gjennom uttak fra dagbrudd. Eksempler på eksisterende underjordsdrift er uttak av kull på Svalbard, jernmalm fra Ørtfjell i Rana og anortositt fra Gudvangen (LNS, "u.å."; NETFONDS, 2010). Økende etterspørsel etter mineralske råstoffer og metaller med påfølgende prisøkninger på verdensmarkedet gjør imidlertid at det kan være aktuelt å gjenåpne flere tidligere sulfidforekomster samt starte utvinning av metaller fra nye forekomster (Didriksen, 2010; Nordic Mining, 2009). Det er sannsynlig at flere av disse forekomstene i så fall vil bli drevet ut ved underjordsdrift eller ved en kombinasjon av dagbrudds- og underjordsdrift.

Eksisterende og fremtidige underjordsgruver vil kunne ha nytte av programpakken Ventsim ved dimensjonering av ventilasjonsanlegg eller ved ombygginger og utbygginger. Programpakken vil også være et nyttig verktøy i forbindelse med formidling av kunnskaper om ventilasjon av underjordsanlegg ved utdanning av fremtidige ingeniører innenfor bergfagene gjennom prosjekt- og mastergradsoppgaver. Institutt for geologi og bergteknikk håper å få etablert samarbeid med underjordsgruver og entreprenører innenfor anleggsbransjen om prosjekt- og mastergradsoppgaver og prosjekter generelt innenfor dette fagområdet.

## LITTERATUR

AID, 2005: Forskrift om sikkerhet, helse og arbeidsmiljø ved bergarbeid 30 juni 2005 nr. 794

DAT, 2009: Veiledning om Administrative normer for forurensning i arbeidsatmosfære

Didriksen, T.-A. , 2010: Forslag til planprogram tilknyttet reguleringsplan med konsekvensutredning for planlagt gruve drift i Nussir og Ulveryggen i Kvalsund kommune (No. 01): Sweco.

Franzén, T., Myran, T., Larsson, O., & Rustan, A., 1984: Ventilation vid underjordsarbeten. Stockholm: STIFTELSEN BERGTEKNISK FORSKNING.

LNS ("u.å."). Nytt hovednivå i Rana Gruber Retrieved 7. juli, 2011: from <http://www.ins.no/Prosjekter/Rana-Gruber>

Myran, T., 1985: TEKNISK RAPPORT NR. 65 "GRUVEVENTILASJON". Trondheim, Norge: Bergverkenes Landssammenslutnings industrigruppe Bergforskningen.

Myran, T., 2008: Emne TGB4220 HMS i tungindustrien. Våren 2008. Generell og bergteknisk del. Kompendium. Institutt for geologi og bergteknikk, NTNU.

Neeb, P.-R., Sandvik, G., Tangstad, R., Todal, M., Strand, G., Brugmans, P. J., et al., 2011: Mineralressurser i Norge 2010. Mineralstatistikk og bergindustriberetning. Publikasjon nr. 1 2011. Trondheim, Norge: Norges geologiske undersøkelse (NGU) Direktoratet for mineralforvaltning.

NETFONDS, 2010: 16/04-2010 13:32:00: (NOM.OAX) Ny daglig leder og ny driftsplan i Gudvangen Stein AS Retrieved 7. juli, 2011, from <http://hopey.netfonds.no/release.php?id=20100416.Hugin.1404613>

NordicMining, 2009: Mars 2009. Engebø prosjektet Retrieved 7. juli, 2011, from <http://www.engeboprojektet.no/getfile.php/Filer/Operations/Engebo%20norsk/prosjektet%20slik%20det%20n%C3%A5%20foreligger.pdf>

Proctor, N. H., Hughes, J. P., & Hathaway, G. J., 2004. Chemical hazards of the workplace. Hoboken, N.J.: Wiley-Interscience.

VentsimSoftware (u.d.). Ventsim Software Retrieved July 26th, 2011, from <http://www.ventsim.com/index.html>.