

# Dagbruddsalternativer i en industrimineralforekomst

**Tor Helge Hilmarsen**

Tekniske geofag

Innlevert: juni 2013

Hovedveileder: Steinar Løve Ellefmo, IGB

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Institutt for geologi og bergteknikk



## Sammendrag

I denne oppgaven er det gjort et forsøk på å optimalisere utvidelsen av marmorbruddet til Brønnøy Kalk AS og dele det inn i pushbacker. Dataverktøyet NPV Scheduler er brukt for å generere optimaliserte bruddalternativer til forekomsten. Dette har resultert i fire optimaliserte bruddalternativer som inneholder kvalitetsprediksjoner av de kritiske beslutningsparameterne hvithet og syrerest, periodiserte tonnasjeestimer og et økonomisk resultat for hver av dem.

- Alternativ 1 genererer en NPV på ca. 2 331 millioner NOK og har et totalt masseuttak på 74 millioner tonn der 57 av dem er marmor. Hvitheten er 95,30 % og syreresten 3,0%.
- Alternativ 2 genererer en NPV på ca. 2 377 millioner NOK og har et totalt masseuttak på 88 millioner tonn der 67 av dem er marmor. Hvitheten er 95,27 % og syreresten 3,3%.
- Alternativ 3 genererer en NPV på ca. 2 341 millioner NOK og har et totalt masseuttak på 318 millioner tonn der 90 av dem er marmor. Hvitheten er 95,22 % og syreresten 3,0%.
- Alternativ 4 genererer en NPV på ca. 2 388 millioner NOK og har et totalt masseuttak på 572 millioner tonn der 250 av dem er marmor. Hvitheten er 95,1 % og syreresten 3,8%.

Alternativ 1 og 2 er på grunn av deres utforming de eneste aktuelle alternativene for Brønnøy Kalk AS. Alternativ 3 og 4 er ikke aktuelle, da de ikke lar seg gjennomføre fordi de krever oppdemning av havet.

Det stilles kvalitetskrav til marmoren. Den skal ha en hvithet som ligger mellom 94,5-95,5 % og en syrerest som helst er under 3 %. Alternativ 2 oppfyller ikke kvalitetskravet med tanke på syrerest, men bør fortsatt vurderes som et alternativ ettersom det ikke er mye over kravet og genererer høyere NPV enn Alternativ 1. Det konkluderes med at det er opp til Brønnøy Kalk AS selv å vurdere hva som er den beste løsningen for dem.

For hvert av alternativene 1 og 2 er det generert to pushbackalternativer; et med pushbackbegrensninger i det vertikale planet og et uten. Denne jobben er gjort ved hjelp av NPV Scheduler. Resultatet viser at egendefinerte pushbackbegrensninger i det vertikale planet er den beste løsningen for begge de optimaliserte bruddalternativene. De gir en praktisk utvidelse av bruddet, samt at de gir en høyere NPV enn for alternativene som ikke har begrensninger.

Det er konkludert med at NPV Scheduler kan brukes til å generere det optimaliserte marmorbruddet, men egner seg ikke til generering av optimale pushbacksekvenser.

## Abstract

In this thesis, it is made an attempt to optimize the expansion of the marble pit to Brønnøy Kalk AS and divide it into pushbacks. The data tool NPV Scheduler is used to generate the optimized pit options for the deposit. This has resulted in four optimized pit alternatives. For each of them there have been generated quality predictions of the critical decision parameters whiteness and acid residues, accrued tonnage estimates and financial results.

- Option 1 generates an NPV of approximately 2331 NOK million and has a total extraction of 74 million tons of which 57 of them are marble. The whiteness is 95.30% and the acid residue is 3.0 %.
- Option 2 generates an NPV of approximately 2377 NOK million and has a total extraction of 88 million tons of which 67 of them are marble. The whiteness is 95.27% and the acid residue is 3.3 %.
- Option 3 generates an NPV of approximately 2341 NOK million and has a total extraction of 318 million tons of which 90 of them are marble. The whiteness is 95.22% and the acid residue is 3.0 %.
- Option 4 generates an NPV of approximately 2388 NOK million and has a total extraction of 572 million tons of which 250 of them are marble. The whiteness is 95.13% and the acid residue is 3.8 %.

Alternative 1 and 2 is due to their design the only “good” options for Brønnøy Kalk AS. Option 3 and 4 are not useable because they require containment of the sea.

There are some quality standards the marble needs to meet. The whiteness needs to be inbetween 94.5 to 95.5% and the acid residues are preferred to be below 3%. Option 2 does not meet the quality requirements in terms of acid residue but should still be considered as an option because it doesn't exceed the requirement by much and generates a higher NPV than Option 1. It is concluded that it is up to Brønnøy Kalk AS to assess what is the best solution for them.

For each of the options 1 and 2 it is generated two pushback alternatives; one with pushback limitations in the vertical plane and one without. This job is done by using NPV Scheduler. The result shows that the pushback limitations in the vertical plane are the best solution for both of the optimized pit alternatives. They provide a practical extension of the pit and they provide a higher NPV than the alternatives that doesn't have limits.

It is concluded that the NPV Scheduler can be used in this project to generate an optimized pit, but are not suitable for the generation of optimal pushbacks of the pit.

## Forord

Dagbruddsalternativer i en industrimineralforekomst er en masteroppgave gjennomført ved Institutt for geologi og bergteknikk på Norges Teknisk-naturvitenskaplige universitet (NTNU) i samarbeid med Brønnøy Kalk AS. Arbeidet med oppgaven er gjennomført vårsemesteret 2013 i perioden 15. januar til 11. juni.

Hovedveileder i prosjektet har vært Steinar Løve Ellefmo førsteamanuensis ved institutt for geologi og bergteknikk. Jeg vil rette en ekstra stor takk til han for all hjelp med dataprogrammet NPV Scheduler, tips og veiledning gjennom semesteret.

Jeg vil også takke Trond Watne og Ingjerd Bunkholt mine kontaktpersoner på Brønnøy Kalk AS og Christian Ottergren ved Sandvik Tamrock AS som har gitt nødvendig informasjon for gjennomføring av oppgaven. Til slutt vil jeg takke CAE Mining (NPV Scheduler support) for hjelp med modellering og datasupport.

Opgaven er definert av Steinar Løve Ellefmo og Tor Helge Hilmarsen.



# Innholdsfortegnelse

Sammendrag.....	i
Abstract .....	ii
Forord .....	iii
Innledning.....	1
<b>1 Definisjoner.....</b>	<b>3</b>
1.1 Bruddplanlegging .....	3
1.2 Bruddesign.....	3
1.3 Pallvinkel.....	3
1.4 Veggvinkel .....	3
1.5 Totalvinkel .....	3
1.6 Hylle (sikringshylle) .....	3
1.7 Cut-off.....	4
1.8 NPV- net present value: .....	4
1.9 APR- average profit ratio .....	5
1.10 Optimalt endelig brudd.....	5
1.11 Inndata.....	5
<b>2 Teori.....</b>	<b>9</b>
2.1 Direktoratet for mineralforvaltning med Bergmesteren for Svalbard .....	9
2.1.1 Driftsplan .....	9
2.2 Planlegging av et dagbrudd .....	11
2.2.1 Trinn 1: Steg i prosessen .....	12
2.2.2 Trinn 2: Inndata- og utdataprosessen .....	13
2.2.3 Trinn 3: Beskrivelse .....	13
2.2.4 Prosjektets kriterier .....	13
2.2.5 Prosessen i bruddplanlegging .....	14
2.3 Endelig bruddesign.....	16
2.4 Pushback .....	25
2.5 NPV SCHEDULER.....	29
<b>3 Metode .....</b>	<b>31</b>

3.1 NPV SCHEDULER .....	31
3.1.1 Importering av data .....	31
3.1.2 Økonomisk modell .....	32
3.1.3 Optimalisering av bruddesign .....	33
3.1.4 Pushbacker .....	34
<b>4 Data .....</b>	<b>35</b>
4.1 Importering av data .....	35
4.2 Økonomisk modell .....	40
4.3 Optimalisering av bruddesign .....	42
4.4 Pushback .....	42
<b>5 Resultat .....</b>	<b>43</b>
5.1 Importering av data .....	43
5.2 Optimalisering av bruddesign .....	44
5.2.1 Diskonteringssats .....	52
5.2.2 Blanding .....	52
5.3 Pushback .....	54
5.3.1 Alternativ 1: Optimalt brudd basert på blanding .....	54
5.3.2 Alternativ 2: Optimalt brudd basert på maksimering av ressursuttak .....	62
<b>6 Diskusjon.....</b>	<b>71</b>
6.1 Inndataparametere.....	71
6.1.1 Inndataparametere brukt i oppgaven .....	71
6.1.2 Blokkmodellparameter .....	71
6.2 Optimalisering av bruddesign .....	71
6.2.1 Endring av blandingsparameterne .....	73
6.3 Pushback .....	74
<b>7 Konklusjon og videre arbeid .....</b>	<b>77</b>
7.1 Konklusjon.....	77
7.2 Videre arbeid.....	77
<b>Referanser .....</b>	<b>79</b>



## Innledning

Masteroppgaven er en videreføring av prosjektoppgaven «Økonomisk blokkmodellering av en industrimineralforekomst» (Hilmarsen, 2012), der hensikten er å lage et «optimalt» endelig bruddesign for Brønnøy Kalk AS basert på blokkmodellen. Det endelige bruddet skal deles opp i praktiske produksjonsetapper (pushbacker) og dette skal resultere i periodiserte kvalitetsprediksjoner av de kritiske beslutningsparameterne hvithet og syrerest, periodiserte tonnasjeestimer, samt et økonomisk resultat. Et av formålene med oppgaven er at det skal kunne brukes som en del av driftsplanen til Brønnøy Kalk AS, hvor den kan bidra til å tilfredsstille kravet fra Direktoratet for mineralforvaltning om terrengbeskrivelse etter endt drift og ajourføring av driftsplankart. Poenget med oppgaven er ikke å lage en detaljert tids- og aktivitetsplan eller et endelig brudd- og pushbackdesign som inneholder informasjon om infrastruktur.

Jobben med å generere bruddesign og pushback er utført med dataverktøyet NPV Scheduler fra CAE-mining.

Rapporten er bygd opp slik at den starter med et definisjonskapittel der gruve\brudd-terminologi blir forklart, etterfulgt av et teorikapittel, metodekapittel, datakapittel, resultater, diskusjon og konklusjon. I den første delen av teorikapittelet vil Direktoratet for mineralforvaltning bli presentert og hvilke krav de stiller til en driftsplan i et bruddprosjekt. Videre vil det bli beskrevet en generell framgangsmåte for dannelsen av en driftsplan til et dagbrudd, der hovedfokuset er på hvordan utforme et endelig brudd, samt hvordan dele det inn i pushbacker. I metodekapittelet vil bruken av NPV Scheduler bli forklart. Datakapittelet gir en oversikt over alle inndataparameterne som er brukt i oppgaven og størrelsene på disse.



# 1 Definisjoner

## 1.1 Bruddplanlegging

Å velge riktige operasjoner i alle de enkelt sub- systemene og koordinere dem sammen, som for eksempel produksjonskapasitet, valg av utstyr, budsjettering og aktivitetsplanlegging (Mining Education Australia (MEA), 2012).

## 1.2 Bruddesign

Bruddesign er utformingen på den endelige bruddstrukturen basert på boring og sprenging, lasting, transportering av arbeidere og utstyr, elektrisitet, vann, ventilasjon, pumpesystemer, deponier, bergmekaniske egenskaper, osv. (Mining Education Australia (MEA), 2012).

## 1.3 Pallvinkel

Pallvinkel er vinkelen mellom vertikalplanet og skråningen som dannes mellom sikringshyllene, se Figur 1. Denne vinkelen bestemmes av bergets struktur og bakbrekket etter sprenging (Ellefmo & Nielsen, 2011).

## 1.4 Veggvinkel

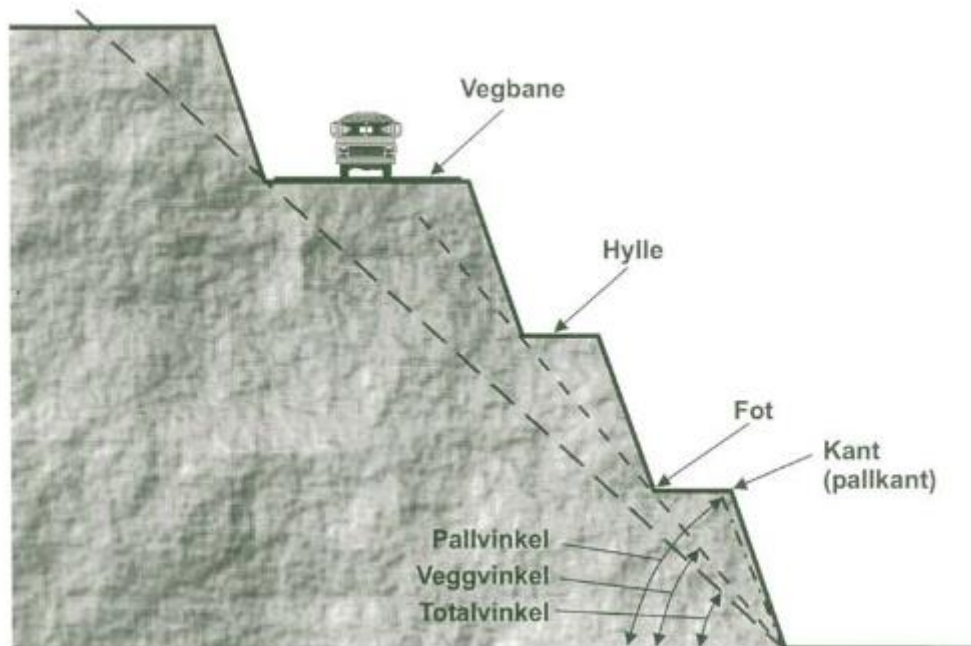
Veggvinkel er vinkelen mellom horisontalplanet og den gjennomsnittlige helningen som dannes av pallene og sikringshyllene, se Figur 1 (Ellefmo & Nielsen, 2011).

## 1.5 Totalvinkel

Totalvinkel er vinkelen mellom horisontalplanet og den helningen som dannes av pallene, hyllene og vegbanene, se Figur 1 (Ellefmo & Nielsen, 2011).

## 1.6 Hylle (sikringshylle)

Dette er hyller som settes igjen etter palldrif, se Figur 1. Hensikten er å forhindre at steiner som løsner fra veggen skal rase ned til bunnen av bruddet og for å gi adgang til veggene slik at man kan gjøre rensk og lokale sikringer. Hyllene bør derfor ha en bredde på minst 4-5 meter og i større dagbrudd 8-10 meter. Bergmekaniske egenskaper slik som struktur og styrken til berget vil avgjøre distansen mellom sikringshyllene og bredden på dem (Ellefmo & Nielsen, 2011).



Figur 1: Forskjellige vinkler i et dagbrudd. (Ellefmo & Nielsen, 2011)

### 1.7 Cut-off

Er en grense for hvor en mineralisk forekomst ikke lenger kan prosesseres og gi fortjeneste (Hustrulid & Kuchta, 2006).

### 1.8 NPV- net present value:

Er et kriterium man kan bruke for å vurdere lønnsomheten til et prosjekt. Den kan ikke alene brukes til å gi et direkte mål på lønnsomheten (fortjenesten) til et prosjekt, men resultatet av en NPV analyse kan si noe om prosjektet er lønnsomt eller ikke. Negativ NPV betyr at prosjektet er ulønnsomt. Positiv NPV betyr at prosjektet er lønnsomt og desto høyere NPVen er jo mer lønnsomt blir prosjektet.

Beregningen av NPV baserer seg på at fremtidige inntekter og investeringer (pengestrømmer) diskonteres (regnes om) til nåverdien av dem. Dette skyldes at pengestrømmer over tid ikke kan summeres og sammenliknes direkte. Prinsippet bak dette er at det er bedre å få 1 krone i dag enn å få 1 krone om et år. Tenker man seg at man får 100 krone i dag og setter den i banken der renten er på 3 prosent per anno, vil man etter et år ha 103 kroner i banken. Dette er mer enn om man får 100 krone ved slutten av året (Nielsen & Ellefmo, 2011).

Nåverdien av driftsmarginen (inntekter minus kostnader) i slutten av en termin kan beskrives slik:

$$V_0 = \sum_{t=0}^T m_t(1+p)^{-t}$$

Der  $t$  er terminen,  $p$  er diskonteringsrenten og  $m_t$  er driftsmarginen. Formelen forutsetter en konstant diskonteringsrenten.

Se for deg et prosjekt der investeringskostnadene er 300 millioner kroner og driftsmarginen er 70 millioner kroner hvert år i 10 år. Diskonteringsrenten er satt til 15 prosent. Nåverdien av dette prosjektet blir da:

$$-300 + 70/(1,15)^1 + 70/(1,15)^2 + 70/(1,15)^3 + 70/(1,15)^4 + \dots + 70/(1,15)^{10} = 53,1 \text{ millioner kroner}$$

Dette betyr at prosjektet er verdt 53,1 millioner kroner i dagens verdi.

### 1.9 APR- average profit ratio

Er det gjennomsnittlige forholdet mellom inntekter og kostnader:

$$\text{Profitt rate} = \frac{\text{Inntekter}}{\text{Kostnader}}$$

Når dette forholdet er lik 1,0 er kostnadene like store som inntektene og prosjektet går i null.

### 1.10 Optimalt endelig brudd

Optimalt endelig brudd er en definisjon på et endelig brudd som gir beste løsning på et bruddprosjekt ved gitte parameter og begrensninger som vil gi høyest mulig NPV. Det optimale bruddesignet er avhengig av parameterne og begrensningene, endres disse vil også det optimale endelige bruddet endres.

### 1.11 Inndata

I startfasen av et brudd- eller gruveprosjekt er det en rekke forskjellige forhold og faktorer som er nødvendig å undersøke. Den informasjonen som kommer fra denne undersøkelsen er inndataen til en bruddplan. Under er det satt opp en sjekklister for hva som bør undersøkes (dette er selvfølgelig avhengig av det enkelte prosjektet) (Hustrulid & Kuchta, 2006):

1. Topografi
  - Tema kart: konturkart, geologisk kart osv.
  - Landundersøkelse.
2. Klimaforhold
  - Meter over havet.
  - Temperaturforhold: Maksimum og minimum, månedlig variasjon og gjennomsnitt.

- Nedbør: Årlig nedbørsmengde, gjennomsnittlig regn- og/elle snømengde per måned.
  - Vind: Maks hastighet, gjennomsnittshastighet, rådende vindretning, ekstremvær som storm og orkaner, luftfuktighet og effekten det har på installasjoner og elektriske motorer, støv, tåke- og sky- forhold.
3. Drikke- og prosessvann
- Kilde: Elv, sjø, hav eller brønn.
  - Tilgjengelighet: Eierforhold, vannrettigheter, kostnader.
  - Mengde: månedlig tilgjengelighet, vannføring, tørke og flomforhold, lokasjonen til vannkilden.
  - Kvalitet: prøvetaking, muligheten for endring i oppstrøms vannkilder, effekten av forurensning i nedstrøms vannkilder.
  - Avløpshåndtering for kloakk.
4. Geologisk struktur
- Innenfor brudd/gruveområdet.
  - Omkringliggende område.
  - Lokasjon: dam, innsjø, elver og andre geologiske forhold.
  - Jordskjelv.
  - Effekt av største predikterte veggvinkel.
  - Fundament forhold.
5. Vanninntrenging
- Mengde.
  - Metode for pumping.
6. Overflaten
- Vegetasjon: type, fjerningsmetode, kostnad for fjerning.
  - Uvanlige forhold.
7. Bergtype- malm og sideberg
- Borebarhet.
  - Fragmenteringsforhold: Hardhet, grad av forvitring, sprekker og sprekkesystem, muligheten for å lage vei på overflaten.
8. Faktorer som må vurderes for optimal beliggenhet av prosessanlegg
- Gruve/bruddlokasjon: høyere eller lavere enn prosessanlegget.
  - Mengde grunnarbeid for tilberedning av området.
  - Prosessvann: gravitasjonsstrømning eller pumping.
  - Deponering av avgangsmasser: gravitasjonsstrømning eller pumping.
  - Lokasjon i forhold til vedlikeholdsfasiliteter.

## 9. Lokasjon for avgangsmasser

- Plassering av rør og rørlengde.
- Type avgangsdeponi: dam, innsjø eller lignende.
- Overløp i avgangsdeponi: effekten av forurensningen, muligheten for å «fange» det tilbake.
- Støv fra avgangsmassene: effekten det har på omkringliggende område.

## 10. Veier

- Skaffe veikart av området.
- Innhente informasjon om veiene i området: bredde, overflatebelegging, maks lastekapasitet, tilgjengelighet vinter og sommer, vedlikehold, andre begrensninger og restriksjoner.
- Veier konstruert av gruveselskapet (faktorer som må vurderes): distanse, profil, bruer og kulverter, terreng og bakkeforhold.

## 11. Elektrisitet

- Tilgjengelighet: kilowatt, distanse, pris og lengde på kontrakt.
- Strømledninger til gruve/bruddet: hvem bygger, hvem vedlikeholder.
- Nettstasjonens beliggenhet.
- Muligheten for å generere strøm nært eller på anlegget.

## 12. Eiendom

- Eier av området.
- Dagens bruk av området.
- Prisen på området.
- Leie og royalty kostnader.

## 13. Stat

- Politiske forhold: positiv eller negativ til gruve\bruddrift.
- Lover og regler for gruve\bruddrift.
- Lokale restriksjoner.

## 14. Økonomiske forhold

- Viktigste næringen\industri i området.
- Tilgang til arbeidskraft.
- Lønnskala.
- Skattenivå og avgifter.
- Tilgjengelighet av varer og tjenester: bolig, butikker, rekreasjonsområder, sykehus, skole.
- Materialkostnader og tilgjengelighet: drivstoff, betong, tilslagsmateriale osv.

## 15. Avfallsdeponi

- Transportlengde
- Profil





## 2 Teori

### 2.1 Direktoratet for mineralforvaltning med Bergmesteren for Svalbard

Direktoratet for mineralforvaltning med Bergmesteren for Svalbard (heretter kalt Direktoratet) forvalter:

- Lov om erverv og utvinning av mineralske ressurser (mineralloven, 2009)
- Bergverksordningen for Svalbard (1925).

Direktoratets oppgaver knyttet til mineralloven:

*«Tildeling av undersøkelses- og utvinningsrett for statens mineraler. Behandle søknader om prøveuttak både for grunneiers og statens mineraler. Behandle søknader om ekspropriasjon av nødvendig grunn og rettigheter for å undersøke forekomster av grunneiers og statens mineraler.*

*Behandle søknader om driftskonsesjon og godkjenne driftsplaner.*

*Føre tilsyn med at undersøkelser og uttak av mineralske ressurser gjennomføres forsvarlig og i tråd med godkjente planer, samt påse at sikrings- og oppryddingsplikten blir oppfylt.» (Næring-og-Handelsdepartementet, 2013).*

#### 2.1.1 Driftsplan

Foretak som driver med uttak av mineralske ressurser må planlegge og styre driften. En god plan er nødvendig for å oppnå en effektiv og rasjonell drift. Denne planen kalles for en driftsplan og skal sendes til Direktoratet for mineralforvaltning. Driftsplanen er foretakets styringsverktøy og skal danne grunnlag for hvordan gjennomføring av uttaket skal foregå, og vil være et utgangspunkt for Direktoratets tilsyn med driften (Direktoratet for Mineralforvaltning, 2013).

Det vil alltid være ønskelig å oppnå et best mulig økonomisk resultat for virksomheten, samtidig som samfunnsmessige forpliktelser overholdes. For å oppnå dette er man helt avhengig av en godt utarbeidet driftsplan, samt en tilfredsstillende gjennomføring av planen, altså et «optimalt» driftsopplegg.

Prosessen ved planlegging av mineraluttak må tilpasses forholdene for hver enkelt lokalitet og de rammene som regelverket setter. Derfor er en driftsplan et fleksibelt verktøy og kan utformes i dialog med Direktoratet. Det er muligheter for endring og tilpasning dersom det under drift skulle oppstå nye situasjoner eller andre forhold i forutsetningene for driften.

Dersom foretaket ikke følger godkjent driftsplan i sin virksomhet, har Direktoratet mulighet til å gi pålegg for å sikre at planen blir fulgt.

Som nevnt må driftsplanen tilpasses den enkelte forekomst og det medfører at kravet til innhold i driftsplanen vil variere. Et generelt krav til innhold er følgende (Direktoratet for Mineralforvaltning, 2013):

- Driftsplanen skal omfatte hele området der det er gitt tillatelse til terrenginngrep (f.eks. reguleringsområdet).
- Driftsplanen skal inneholde en driftsteknisk beskrivelse av hvordan forekomsten/ressursen skal utvinnes.
- Kart og profiler hvor forekomsten og uttaket er tegnet opp.
- Hvordan terrenget (topografien) ser ut etter at driften er avsluttet (endelig bruddesign).
- Hvordan sikrings- og oppryddingsplikten skal ivaretas.
- Hvordan hensynet til natur og omgivelsene på stedet skal ivaretas.

I tillegg må driftsplankart med tilhørende snitt ajourføres når Direktoratet finner det nødvendig. Ajourføring er oppdaterte kart og profiler som viser status i forhold til godkjent driftsplan. Normalt gjøres dette hvert 5. år, eller når Direktoratet krever det.

Ved endring i driftsopplegg (driftsretning, etapperekkefølge etc.) skal dette meldes til Direktoratet og revidert driftsplan må sendes inn til behandling. Revidering er endring i driftsopplegget. Ny plan som viser endringer i driftsopplegget i forhold til tidligere godkjent plan skal godkjennes av Direktoratet for mineralforvaltning (Direktoratet for Mineralforvaltning, 2013).

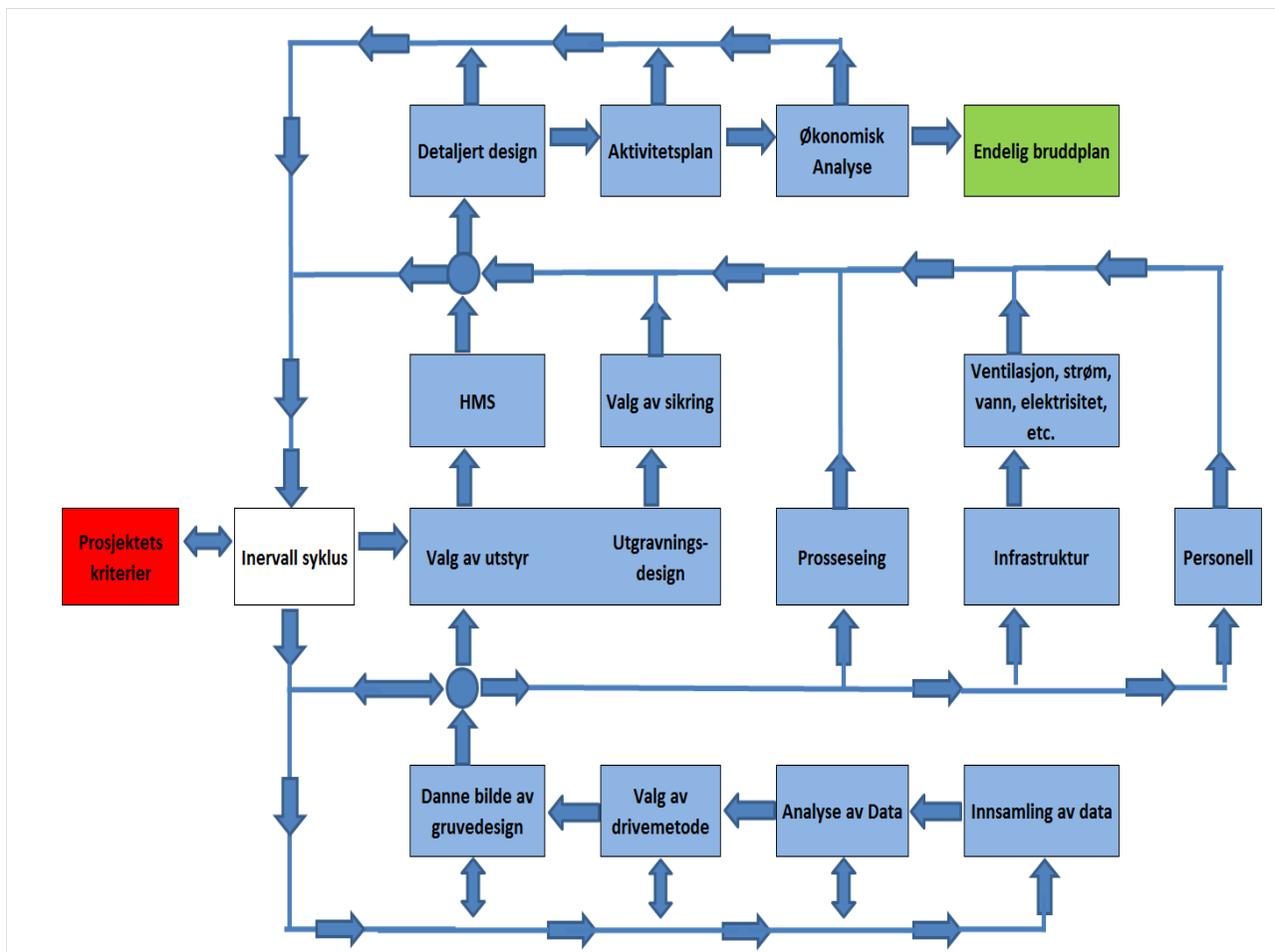
## 2.2 Planlegging av et dagbrudd

Planlegging og design er en viktig del i alle vellykkede bruddprosjekter. Prosessen starter med innhenting og prosessering av data (se avsnitt 1.11), etterfulgt av flere steg med planlegging før man har en komplett bruddplan (driftsplan). Alle stegene i planleggingsprosessen (se Figur 2) må vurderes nøye ettersom de er avgjørende for det endelige utfallet av prosjektet. En bruddplan må kontinuerlig oppdateres ettersom ny informasjon blir innhentet. For eksempel bør videre undersøkelser av forekomsten som gjøres under konstruksjon og produksjon av et brudd bli implementert i bruddplanen fortløpende, slik at valget som blir tatt i forhold til bruddesign er basert på all tilgjengelig informasjon. I alle steg av planleggingen må man søke, finne og vurdere alle risikofaktorene som kan påvirke driften. Planleggingsprosessen for dannelse av en bruddplan er beskrevet i avsnitt 2.2.5 (Mining Education Australia (MEA), 2012).

For å oppnå en vellykket bruddplan kreves det mange forskjellige fagpersoner innenfor en rekke disipliner slik som økonomi og finans, helse og miljø og geologi.

Det er viktig at den utarbeidede bruddplanen følger kravene satt av Direktoratet for mineralforvaltning.

Figur 2 illustrerer et flytskjema over hvordan en mulig bruddplan kan lages. Den viser de forskjellige stegene som må vurderes og arbeidsrekkefølgen på dem. Måten dette flytskjemaet brukes i bruddplanprosessen kan forklares gjennom tre trinn. Det første trinnet er stegene i prosessen. Her beskrives arbeidsrekkefølgen av prosessstegene fra man starter med å bestemme prosjektets kriterier til man har laget en endelig bruddplan. Neste trinn er inndata- og utdataprosessen hvor man henter inn nødvendig informasjon (se avsnitt 1.11) til de enkelte prosessstegene. Denne informasjonen prosesseres og danner utdata som blir til inndata i et annet steg. Det siste trinnet er beskrivelse av hvordan man har jobbet seg gjennom prosessen. Disse trinnene er beskrevet i avsnittene 2.2.1 til 2.2.3.



Figur 2: Flytskjema til en bruddplan. Rødt felt er prosjektets kriterier. Blå er prosesstegene. Grønt felt er beslutningspunktet (endelig bruddplan). Hvitt felt er et informasjonsinnsamling- og fordelingsfelt. Dette er en modifisert figur hentet fra (Mining Education Australia (MEA), 2012).

### 2.2.1 Trinn 1: Steg i prosessen

Bruddplanleggingsprosessen som vist i Figur 2, er konstruert slik at man starter med å sette et eller flere kriterier for prosjektet. Neste del er å gå gjennom en rekke steg hvor første skritt er å samle inn data etterfulgt av analysering av dataen, valg av drivemetode og design. Videre forgrener prosessen seg ut i flere parallelle steg. Disse parallelle stegene er ikke behandlet i en bestemt rekkefølge, de utføres samtidig ettersom den informasjon som kreves blir framskaffet og distribuert mellom stegene. Informasjonen fra de parallelle stegene settes så sammen for å danne et detaljert brudddesignet. Så blir det laget aktivitetsplaner og en økonomisk analyse av prosjektet. Når alt dette er satt sammen har man dannet en endelig bruddplan.

Som man kan se av Figur 2 er stegene fargekodet. Det er viktig å merke seg de blå prosessstegene, i disse punktene kreves det at det blir tatt konkrete beslutninger som er styrende for innholdet i den endelige bruddplanen. Kravene i hvert punkt kan bli endret underveis i prosessen dersom det skulle oppstå problemer eller nye behov i prosjektet. Dette skjer ved å gå tilbake gjennom det hvite «intervall syklus» feltet (Mining Education Australia (MEA), 2012).

### 2.2.2 Trinn 2: Inndata- og utdataprosessen

Alle stegene har et sett med inndata. I hvert steg blir inndataen prosessert og resultatet av dette blir til utdata. Denne utdataen brukes som inndata i et annet steg. Det understrekes at ikke all utdataen fra et steg blir inndata i neste, for eksempel er det naturlig å hente inndata om lokal infrastruktur i steget «samle inn data», denne utdataen vil ikke bli brukt før man kommer til steget «infrastruktur» eller «ventilasjon, strøm, ...», se Figur 2 (Mining Education Australia (MEA), 2012).

### 2.2.3 Trinn 3: Beskrivelse

På dette nivået skal inndata, utdata og prosessen som er brukt i nivå 2 bli beskrevet og begrunnet. Data og prosesser som er brukt i et steg skal linkes tilbake til steget det kommer fra. Dette er viktig for å kontrollere hele prosessen og for at alle valg som er tatt skal være redegjort for. Fordelen med å linke informasjonen sammen på denne måten er at man kan etablere et rapporteringssystem som til enhver tid viser status og framgangen i prosjektet. Da kan man enklere identifisere hvilken informasjon som trengs og er nødvendig for å ferdigstille prosjektet. Dette er spesielt viktig for inndata og prosesser som blir brukt under stegene «økonomisk analyse» og «bruddplan», da de er basert på valg fra alle de tidligere stegene og er til slutt avgjørende for om prosjektet skal gjennomføres (Mining Education Australia (MEA), 2012).

### 2.2.4 Prosjektets kriterier

For å starte opp et brudd blir det stilt en rekke kriterier som prosjektet må oppfylle. Disse kriteriene kan komme fra investorer, lokalsamfunnet, gruveselskapet eller andre interessegrupper og vil ha stor betydning for bruddplanen. De vanligste kriteriene er (Mining Education Australia (MEA), 2012):

- NPV (se avsnitt 1.8)
- Cut-off (se avsnitt 1.7)
- Kroner per tonn (malm, sideberg eller prosessering)
- Finansieringsbehov
- Bruddets levetid
- Helse, miljø og sikkerhet (HMS)

### 2.2.5 Prosessen i bruddplanlegging

Det er mange mulige måter å bygge opp og lage en bruddplan på. I dette avsnittet vil det bli beskrevet en mulig framgangsmåte på hvordan denne prosessen kan gjennomføres, men det finnes flere alternativer.

Før man starter selve bruddplanlegging må man undersøke en rekke forhold og faktorer (datainnsamling), disse kalles for inndata til bruddplanen og er beskrevet i avsnitt 1.11. En av de viktigste undersøkelsene som må være gjort er prospekteringen av forekomsten, altså en geolog må vurdere og etablere et bilde av bergarten og konsentrasjonen av mineralene i den. Dette blir gjort ved en rekke prøvetakninger (kjerneboring) for å finne gehalter og orientering/posisjon til mineralene i bergmassen. Denne dataen brukes videre ettersom mer detaljert informasjon om forekomsten blir innhentet.

Etter første runde med datainnsamling blir det gjort en evaluering om det er lønnsomt å investere mer og fortsette med prosjektet. Det etableres en «database» hvor avviksmålning, lengder, lokasjoner, orientering og analyser av borehullene er beskrevet samt topografien. Denne dataen er med gjennom hele prosessen og brukes ved endelig evaluering av forekomsten. Det er derfor særdeles viktig for bruddprosjektet at det er blitt gjort korrekte målinger av borehullene og påfølgende analyse av dem (Kizil, Aspinall, Laurence, & Logan, 2009).

Hvis de første undersøkelsene av forekomsten viser seg å være lønnsom å fortsette med, danner man en geologisk modell fra de antatte geologiske reservene. Den geologiske modellen gir et estimat over tonnasje malm og gehalt (dette er nødvendigvis ikke en økonomisk gehalt, den blir definert senere). Dette er første fase i bruddplanleggingen.

Et marked må etableres for å få solgt produktet. Det må gjøres undersøkelser og finne markedsinformasjon om hvor stort potensialet er for leveranse og salg. Basert på disse undersøkelsene kan man sette en pris på produktet. Dette er en av de viktigste delene i bruddplanleggingen, siden prisen vil påvirke økonomien til prosjektet. Setter man for optimistisk pris, resulterer det i at den forventet avkastning blir lavere. Er pris satt for pessimistisk vil prosjektet kanskje aldri starte opp. Derfor er dette et av de områdene i bruddplanleggingen som krever risikovurdering og kvantifisering av faktorer som kan påvirke den økonomiske suksessen til prosjektet.

Det er viktig å samle inn relevant geoteknisk data ved et tidlig steg i bruddplanleggingen. Denne dataen skal brukes til og gi retningslinjer for hvordan man skal etablere driften, finne veggvinkelen til det endelige dagbruddet, mengde berg som må brytes (hvor mye som må sprenges), såleforholdene for effektiv transport av laste og transportutstyr og fragmenteringsforhold (mekaniske egenskapene) til sideberget og malmen.

På bakgrunn av den tilgjengelige inndataen er neste fase å kalkulere og lokalisere hvilken del av reservene som skal bli tatt ut, valg av bruddesign og drivemetode, bestemme pallhøyde, pall-, vegg- og totalvinkler, avfallsdeponier, osv.

Videre kommer valg av utstyr, infrastruktur, personell og prosessering. Disse prosessene går parallelt med hverandre. Valg av utstyr er styrt av følgende: kapasiteten og produktiviteten til utstyret, vedlikehold og tilgjengelighet, energiforbruk (strøm\ diesel) og antall enheter. Valg av infrastruktur er avhengig av hva som er tilgjengelig, kapasitetsbehov og økonomi. Er det behov for å bygge ut beltetransport, tog eller lignende eller kan man bruke eksisterende veinett. Infrastruktur dekker alt fra strøm- og vann-nett, veier, tog og båt til anlegg som verksteder, kontorer, skifterom osv. Valg av prosessering er avhengig av kvaliteten kunden krever og økonomi. Videre må det gjøres HMS vurderinger av driften i bruddet og på prosesseringsanlegget. Det må lages kontrolltiltak og rutiner ut fra disse vurderingene som implementeres inn i bruddplanen.

Hele driftsoperasjonen må planlegges i form av aktivitetsplaner. Aktivitetsplanen i tidlig fase av bruddplanleggingen er på flere år, så dannes det årlige, månedlige, ukentlige og daglige aktivitetsplaner når bruddet kommer i drift.

Den økonomiske vurderingen av et prosjekt blir gjort ved bruk av NPV (eller en annen variant av denne teknikken). Den kalkuleres ut fra størrelsen på produksjonen, prisen på produktet/produktene og drift- og investeringskostnader over levetiden til bruddet. Risikovurdering er en viktig del av dette steget. Det er nødvendig å vurdere effekten av variasjoner i de antagelsene som er tatt og se på sannsynligheten for at de inntreffer. Denne informasjonen er styrende for om prosjektet skal fortsette ved dette punktet eller ikke.

Når bruddet er startet opp blir det som nevnt ovenfor dannet daglige, månedlige og årlige aktivitetsplaner. Disse viser områdene som skal drives til enhver tid, hvor mye gråberg og malm som skal produseres, gehalten på denne malmen, utvikling og tilgjengeligheten i\til bruddet og energi- og utstyrsbehovet. Hver aktivitetsplan gir et grunnlag for forventet kostnad og gevinst under en gitt periode (Kizil, Aspinall, Laurence, & Logan, 2009).

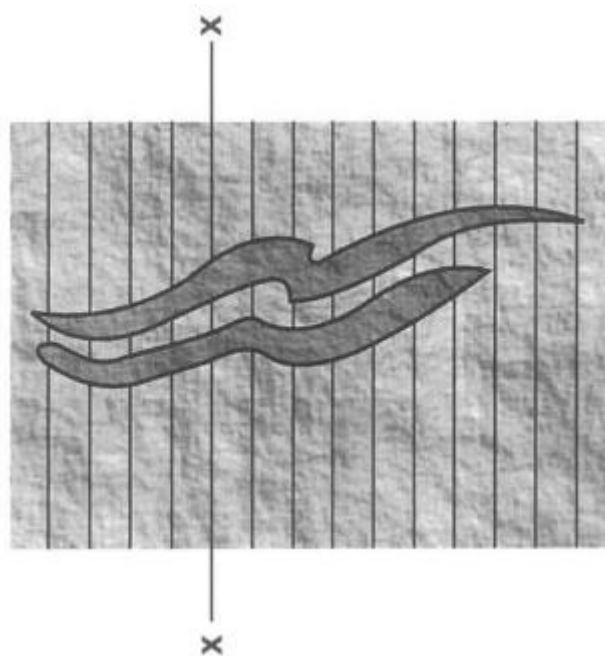
## 2.3 Endelig bruddesign

I dette avsnittet vil det bli forklart hvordan et endelig bruddesign dannes ved hjelp av profilmetoden. Det forutsettes at analyser og estimering av geodata er utført, samt at det er dannet vertikale profiler av forekomsten.

Et endelige bruddesignet er normalt sett basert på å maksimere NPVen til prosjektet.

Planlegging og beregning for å finne det endelige dagbruddet ved hjelp av profilmetoden er en prøve og feile- prosess. Arbeidsgangen i denne prosessen kan beskrives slik:

Først bruker man de geologiske undersøkelsene til å lage et plankart som viser forekomstens utgående i dagen eller på et nivå dypere under dagoverflaten. Det dannes så et system med vertikale profiler på dette kartet, se Figur 3.

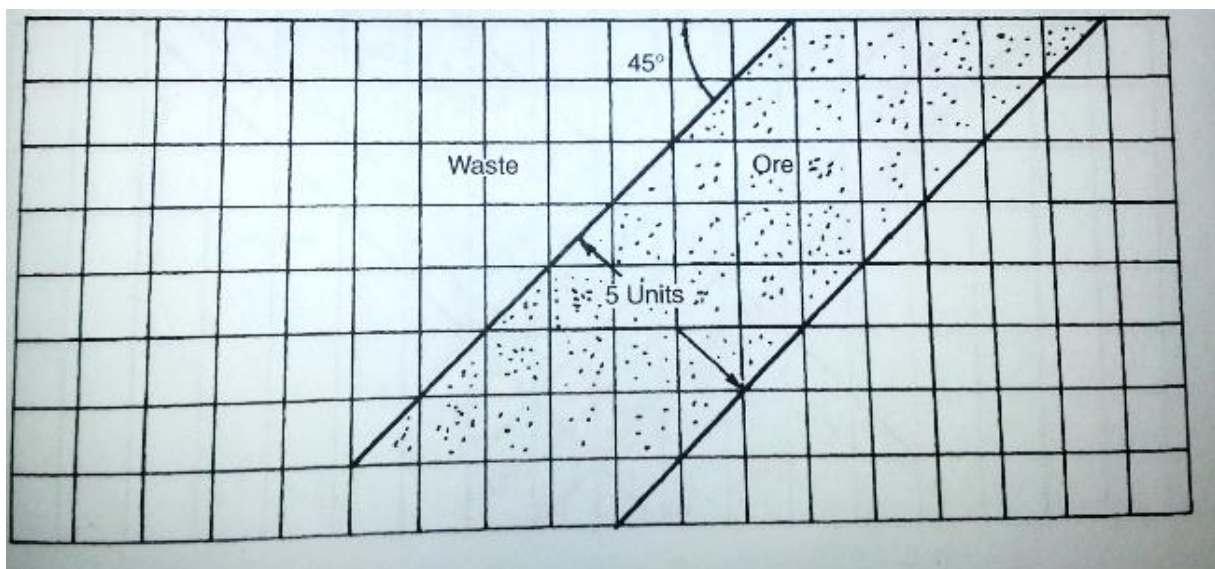


**Figur 3: Plankart med geologiske daggrenser. De vertikale linjene representerer vertikale profiler (Ellefmo & Nielsen, 2011).**

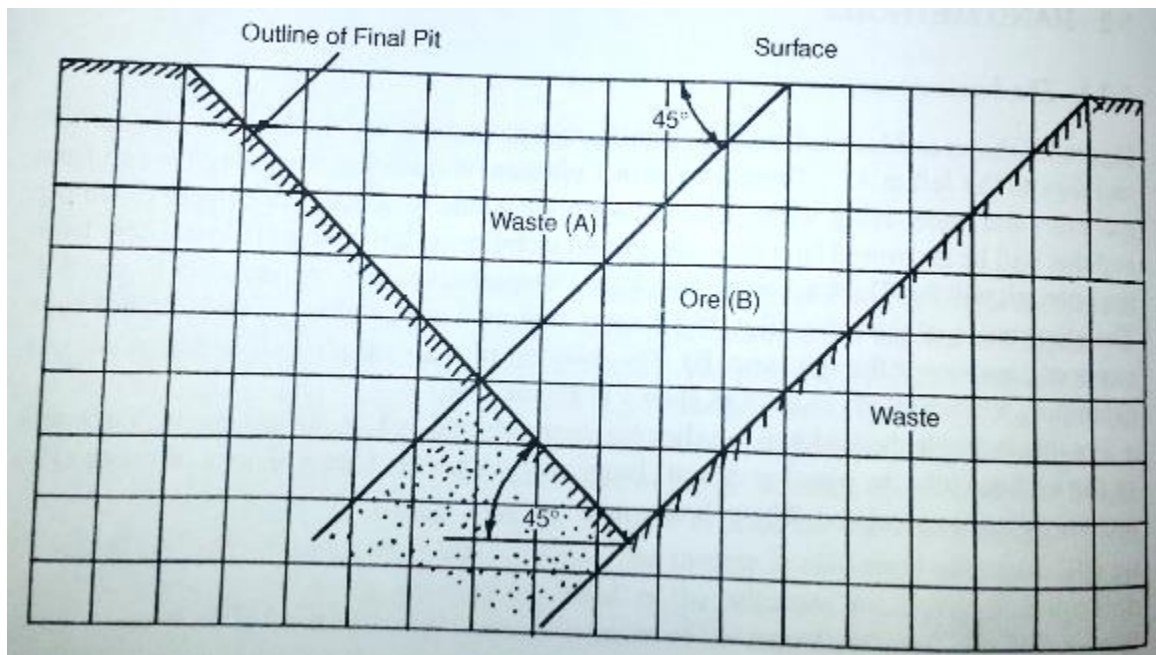


Neste steg er å tegne inn bruddforslag på vertikalprofilene. Prosessen vil bli beskrevet ved hjelp av et enkelt eksempel.

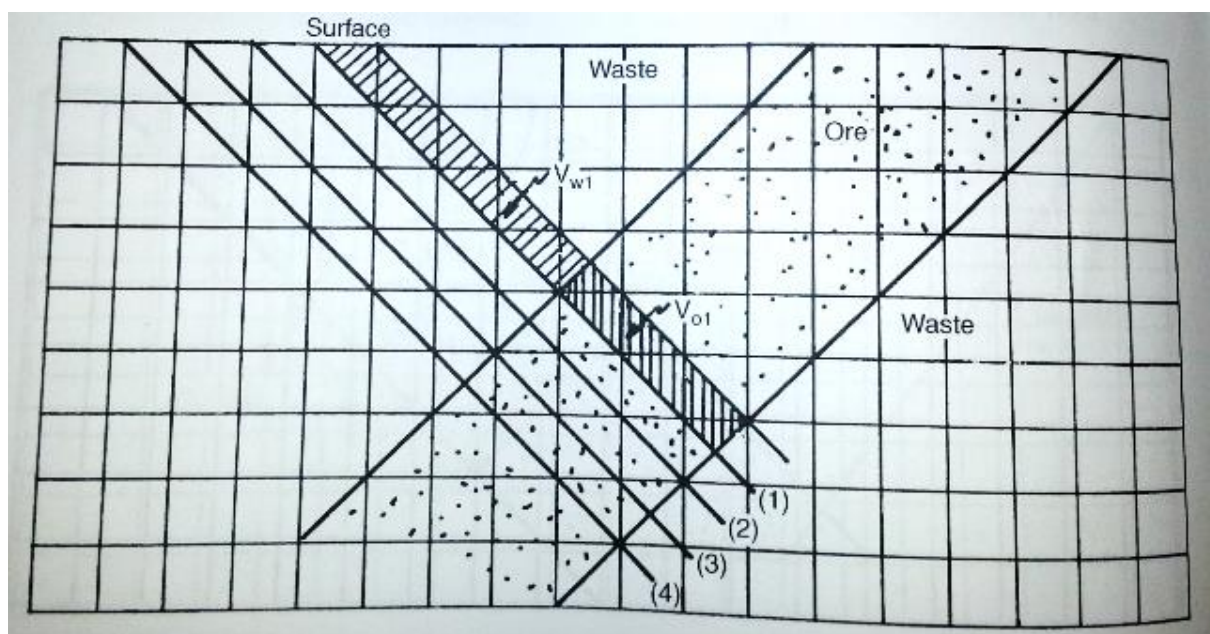
Figur 4 viser en vertikalprofil til en malmkropp som starter i dagoverflaten og har et fall på  $45^\circ$ . Av figuren ser man at det er et konkret skille mellom malm og sideberg og for enkelthets skyld beveger malmen seg ned til et uendelig dyp. Ut fra dette ønsker man å finne ut hvor stort dagbruddet for denne forekomsten kan være i dette profilet, altså å finne det endelige dagbruddet. Det endelige dagbruddet i dette profilet vil bli slik som illustrert i Figur 5. Her er skråningsvinkelen til venstre  $45^\circ$ . Sideberget som ligger i området markert Waste(A) må fjernes for å komme seg ned til malmen markert Ore(B). Lokasjonen til bruddkanten er bestemt ved å undersøke en rekke seksjoner, se Figur 6.



Figur 4: Tverrsnitt av en malmforekomst (Hustrulid & Kuchta, 2006).



Figur 5: Endelig bruddesign (Hustrulid & Kuchta, 2006).



Figur 6: Seksjoner (markert (1), (2), (3) og (4)) brukt for å finne det endelige bruddet (Hustrulid & Kuchta, 2006).

I eksemplet er bredden til hver seksjon satt til å være 1,4u (enheter) og tykkelsen til hver seksjon (inn i papiret) satt til 1u. Ved å beregne volumet av sideberg ( $V_w$ ) og volumet av malmen ( $V_o$ ) til sektor 1 får man:

$$V_{w1} = 7,5u^3$$

$$V_{o1} = 5,0u^3$$

ISR (instantaneous stripping ratio = forholdet mellom sideberg og malm i en seksjon) i dette tilfellet blir da:

$$ISR_1 = \frac{V_{w1}}{V_{o1}} = 1,5$$

Hvis man sier nettoverdien til en enhet malm er 19kr og kostnaden ved å fjerne en enhet sideberg er 10kr vil nettoverdien til seksjon 1 være:

$$NV_1 = 5,0u \cdot 19 \text{ kr} - 7,5u \cdot 10 \text{ kr} = 20 \text{ kr}$$

Dette repeteres for seksjon 2, 3 og 4:

*Seksjon 2:*

$$V_{w2} = 8,4u^3$$

$$V_{o2} = 5,0u^3$$

$$ISR_2 = \frac{V_{w2}}{V_{o2}} = 1,68$$

$$NV_2 = 5,0 \cdot 19 \text{ kr} - 8,4 \cdot 10 \text{ kr} = 11 \text{ kr}$$

*Seksjon 3:*

$$V_{w3} = 9,45u^3$$

$$V_{o3} = 5,0u^3$$

$$ISR_3 = \frac{V_{w3}}{V_{o3}} \approx 1,9$$

$$NV_3 = 5,0 \cdot 19 \text{ kr} - 9,45 \cdot 10 \text{ kr} \approx 0,0 \text{ kr}$$

*Seksjon 4:*

$$V_{w4} = 10,5u^3$$

$$V_{o4} = 5,0u^3$$

$$ISR_4 = \frac{V_{w4}}{V_{o4}} = 1,5$$

$$NV_4 = 5,0u * 19 \text{ kr} - 10,5u * 10 \text{ kr} = -10 \text{ kr}$$

Av de fire seksjonene kan man se at nettoverdien går fra positiv til negativ verdi ettersom man utvider bruddet. Målet er å finne den posisjonen til bruddkanten der kostnadene er like store som inntektene. Denne posisjonen kalles «breakeven». Nettoverdien for seksjon 3 er tilnærmet lik null og vil derfor gi posisjonen til bruddkanten som danner det endelige bruddet. Det ideelle sideberg-malmforholdet til «breakeven» posisjonen er:

$$ISR_3 = ISR_{\text{breakeven}} = 1,9$$

Siden verdien av 1 enhet malm er 19kr og kostnadene til 1 enhet sideberg er 10kr kan det produseres 1,9 enheter sideberg per enhet malm.

Videre beregnes et totalt sideberg- malmforhold (OSR- overall stripping ratio) for det endelige bruddet, se Figur 7.

$$OSR = \frac{\text{Sideberg}(V_w)}{\text{Malm}(V_o)} = \frac{A}{B}$$

$$\text{Sideberg } (V_w) = A = 50u^3$$

$$\text{Malm } (V_o) = B = 6u^3$$

Dette gir

$$OSR \approx 0,8$$

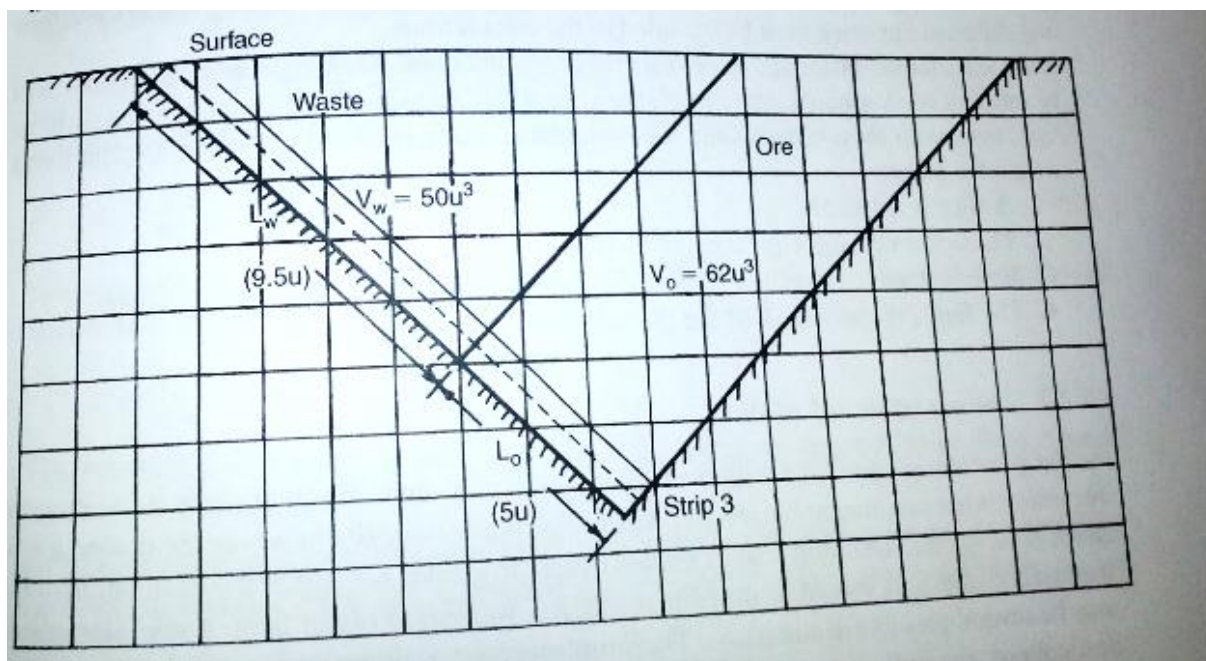
OSR sammenliknes så med sideberg- malmforholdet ved «breakeven» ( $ISR_{\text{breakeven}} = 1,9$ ).

OSR må alltid være mindre enn  $ISR_{\text{breakeven}}$ . Hvis dette kriteriet er oppfylt kan man videre beregne nettoverdien av vertikalprofilen. Er OSR høyere enn  $ISR_{\text{breakeven}}$  betyr det at kostnadene er høyere enn inntektene.

$$\begin{aligned} NV &= \text{malm } (V_m) * \text{nettoverdi malm} - \text{sideberg } (V_{sb}) * \text{kostnad sideberg} \\ &= B * 19 \text{ kr} - A * 10 \text{ kr} = 62 * 19 \text{ kr} - 50 * 10 \text{ kr} = 680 \text{ kr} \end{aligned}$$

Dette betyr at den totale nettoverdien er positiv for hele vertikalprofilen.

I dette eksempelet er mengde malm og sideberg, kostnader og inntekter uttrykt i form av volum (kr\volum). Siden tykkelsen og bredden i seksjonene er like for sideberg og malm, blir bruddveggen posisjon plassert slik at sidebergets lengde ( $L_w$ ) er 1,9 ganger så lang som malmens lengde ( $L_o$ ) målt langs midtlinjen av bruddkanten, se Figur 7.



Figur 7: Viser det endelige bruddet med malm-sideberg fordeling (volum).  $V_o$  er malmvolumet, mens  $V_w$  er sidebergvolumet (Hustrulid & Kuchta, 2006).

Ofte er inntekter og kostnader uttrykt som en funksjon av masse (kr/tonn). Hvis tetthetene til sideberg og malm er den samme kan man fortsatt bruke lengdeforholdet til å finne bruddkanten, men er det forskjellig tettheter må også dette bli tatt med i kalkuleringen.

Hele denne prosessen kan bli oppsummert i fire steg (Hustrulid & Kuchta, 2006):

1. Lage seksjoner som representerer forskjellige bruddkanter.
2. Sammenligne inntekter mot kostnader for de individuelle seksjonene.
3. Hvis nettoverdien er positiv for en sektor kan bruddet utvides, er den negativ må den reduseres.
4. Det endelige bruddets begrensning er hvor nettoverdien til en seksjon er lik null.

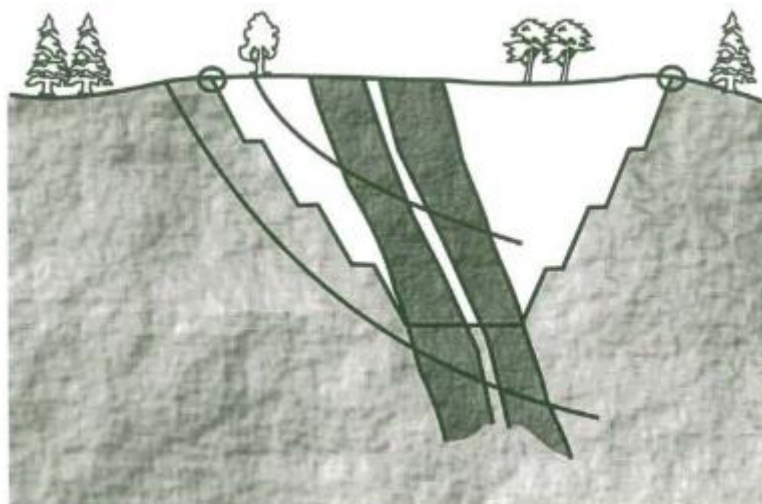
Som man kan se av dette eksempelet er det ikke tegnet inn sikringshyller (se avsnitt 1.6), paller og transportveier og bruddet er formet som en «V». Dette representerer derfor ikke en reel situasjon, men prinsippene for å finne det endelige bruddesignet gjelder.

Ved inntegning av bruddet på hvert vertikalprofil, er det nødvendig å ta høyde for at det kreves en minstebredde på bunnen av bruddet. Den bestemmes av plassbehovet utstyret trenger for å operere effektivt. Et eksempel på dette kan være at man bruker  $10 \text{ m}^3$  gravemaskiner som laster 130-tonns trucker, de trenger en minimums arbeidsbredde på 30 meter for at operasjonen skal gå mest mulig effektivt. Dette er helt nødvendig og er uavhengig av mektigheten til malmen i bunnen av bruddet (Ellefmo & Nielsen, 2011).

Det kreves i tillegg til en minstebredde i bunnen av bruddet en minstebredde for palldriften over hele bruddet. Dette må det tas hensyn til under driften, mens det er sikringshyllenes bredde som er viktig for det endelige bruddesignet.

Det er viktig at bruddet er stabilt. Veggene må konstrueres på bakgrunn av stabilitetsanalyser i stor og liten skala. Stabiliteten i stor skala blir vurdert ut fra veggvinkelen i de forskjellige deler av bruddet, mens den lokale stabiliteten (liten skala) vurderes ut fra bergets struktur og sprengningsarbeidet (Ellefmo & Nielsen, 2011).

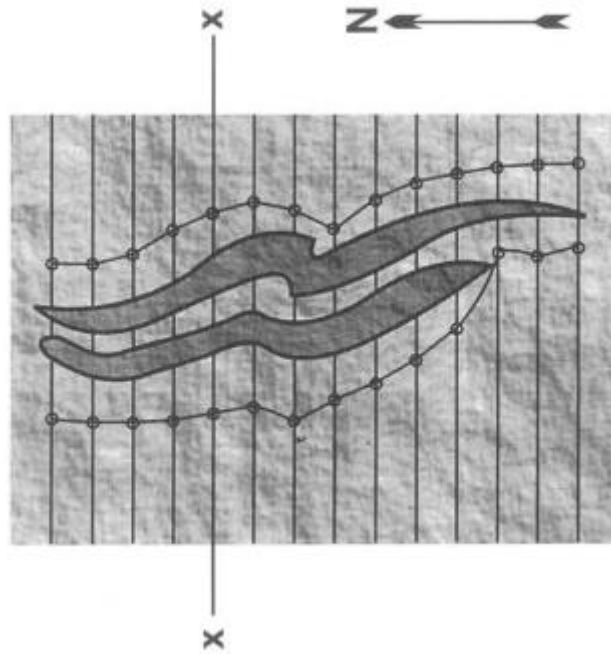
I Figur 8 er det illustrert hvordan bruddesign i et vertikaltprofil ser ut, der paller og hyller er inntegnet.



**Figur 8: Vertikalprofil av et brudd (Ellefmo & Nielsen, 2011).**

Når bruddet for hver enkelt vertikaltprofil er beregnet og inntegnet, brukes dette til å bestemme bruddets skjæring med terrengoverflaten, dette kalles for bruddkanten, se Figur 9. Det er uønsket å få en bruddkant som er taggete slik som vist på Figur 9. Grunnen til dette er at en sikk-sakk formet bruddvegg vil kunne skape lokale stabilitetsproblemer der det er kanter som stikker inn eller ut. Derfor må profilene korrigeres slik at veggene blir jevne. Den siste delen er å utforme endene på bruddet, se Figur 10.





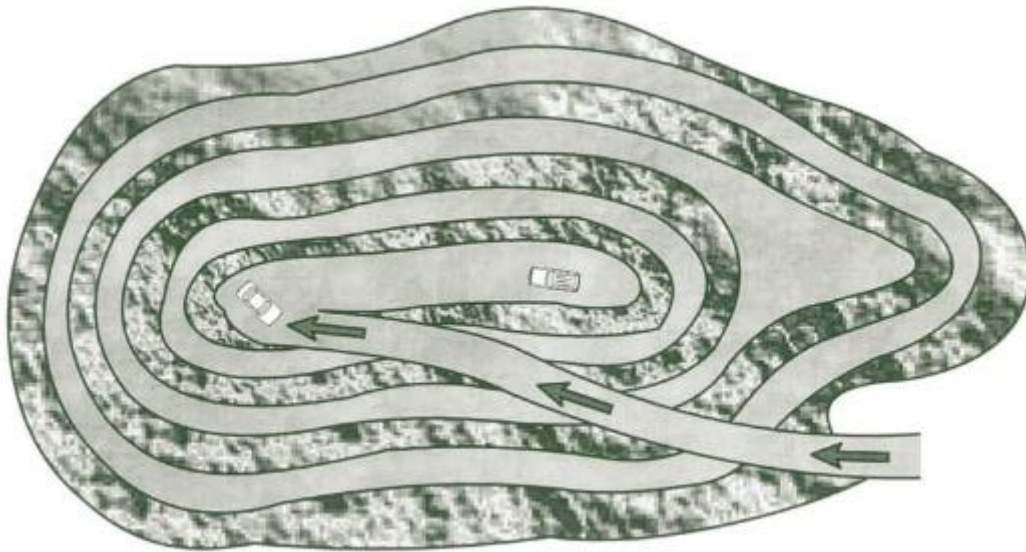
Figur 9: Plankart med bruddkant. Den stiplede linjen er bruddkanten (Ellefmo & Nielsen, 2011).



Figur 10: Enkel bruddplan med utjevning av veggene. (Ellefmo & Nielsen, 2011)

Neste steg er å lage en eller flere adkomster (transportvei) for å kunne drive forekomsten. Dette gjøres ved å lage ramper ned til bunnen av bruddet. En transportvei er bredere enn en sikringshulle og det medfører enten at sideveggene over veien må utvides, slik at det tas ut mer sideberg, eller at man reduserer uttaket under veien. Reduseres uttaket under veien, vil det kunne medføre at det blir tatt ut mindre malm mot dypet (Ellefmo & Nielsen, 2011).

Når dette er gjort kan man tegne opp en endelig bruddplan til det endelige bruddet der paller, hyller, ramper og transportveg er inkludert, se Figur 11.



**Figur 11: Endelig bruddesign med inntegnet hyller, paller, ramper og transportvei (Ellefmo & Nielsen, 2011).**

Det er flere faktorer som har innvirkning på utseende til det endelige bruddet, disse må også tas hensyn til. Noen av disse faktorene er listet opp under.

- Utvinningsrett.
- Tilgang til elektrisitet, ferskvann og drivstoff.
- Tilgang på arbeidskraft.
- Klima.
- Støv og støy.
- Lokalsamfunnet.
- Infrastruktur.
- Båt, tog, bil eller beltetransport.

I dagens gruveindustri brukes det dataverktøy som gjør «jobben» med å designe et endelig brudd, slik som NPV Scheduler, Vulcan og lignende. Dette gjør denne jobben enklere og det er tidsbesparende.



## 2.4 Pushback

Etter dannelsen av det endelige bruddet, er første skritt å planlegge en praktisk måte å dele opp bruddet inn i flere mindre enheter for uttak. Disse enhetene kalles for pushbacker. Pushback er et internasjonalt anerkjent ord for produksjonsetapper. I denne oppgaven blir pushback brukt som et norsk ord og bøyes derfor etter norske regler (engelsk: pushbacks = norsk: pushbacker).

Utforming, lokasjon og inndeling av pushbacker kan være basert på et eller flere av disse målene (Hustrulid & Kuchta, 2006):

- Maksimere NPV. Det vanligste målet.
- Skape en stabil kontantstrøm.
- Få en jevn malmgehalt (blanding).
- Få et jevnt sideberg- malmforhold
- Få et jevnt uttak av den totale tonnasjen (malm + sideberg).
- Få et jevnt uttak av tonnasjen malm.

I dette avsnittet vil maksimering av NPV bli brukt som mål for å forklare prosessen for dannelsen av pushbacker.

Designet på pushbackene vil påvirke hvordan mineralforekomsten blir utvunnet. De vil definere hvor bruddriften starter, hvordan den endelige utformingen av bruddet blir og hvordan man når/kommer til denne utformingen. Pushbackdesignet er også avgjørende for NPV-en til prosjektet. Det er derfor viktig å finne den pushbackløsningen som maksimerer NPV (Albor Consuegra & Dimitrakopoulos, 2010). Inndelingen av pushbackene er relativt grove og det blir normalt dannet mellom 5-10 stykk (tall fra Kayvan Samadani, CAE Mining).

Før man starter å designe pushbackene må man gjøre noen valg angående (Hustrulid & Kuchta, 2006):

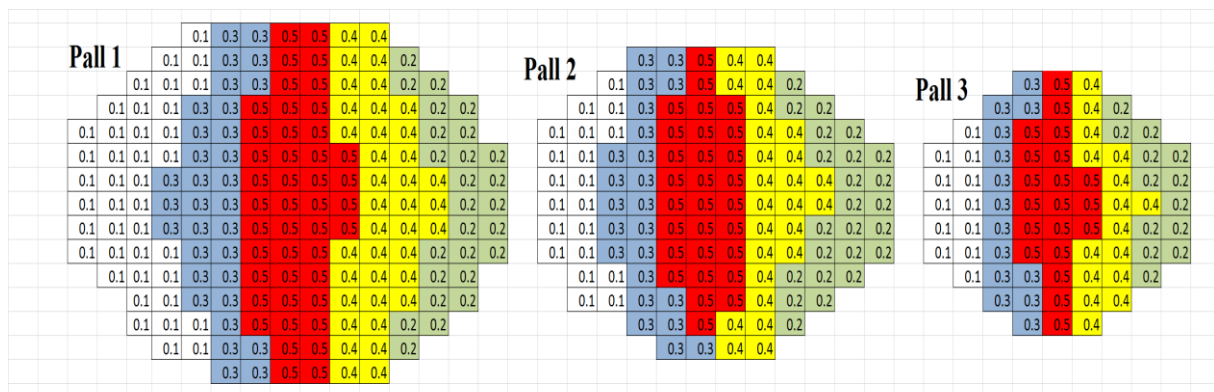
- Størrelse på pushbackene (tonnasje).
- Minimumsbredde på pall og i bunnen av bruddet for effektiv drift.
- Pall-, vegg- og totalvinkel.
- Bredde og gradient på adkomstvei (transportveier).
- Pallhøyde.

På bakgrunn av disse valgene kan man designe pushbackene der størrelse, form og informasjon om transportveier er beskrevet i detalj. Det er viktig at designet er utformet slik at det til en hver tid er ramper til alle paller som er i drift. En av de vanskeligste delene i denne prosessen er overgangen mellom to pushbacker. Det er sjelden eller aldri slik at man starter med uttak av en pushback først når den forrige er helt ferdig drevet, overgangen er som regel glidende. Dette skyldes at løsmasseoverdekket til en pushback bør fjernes under

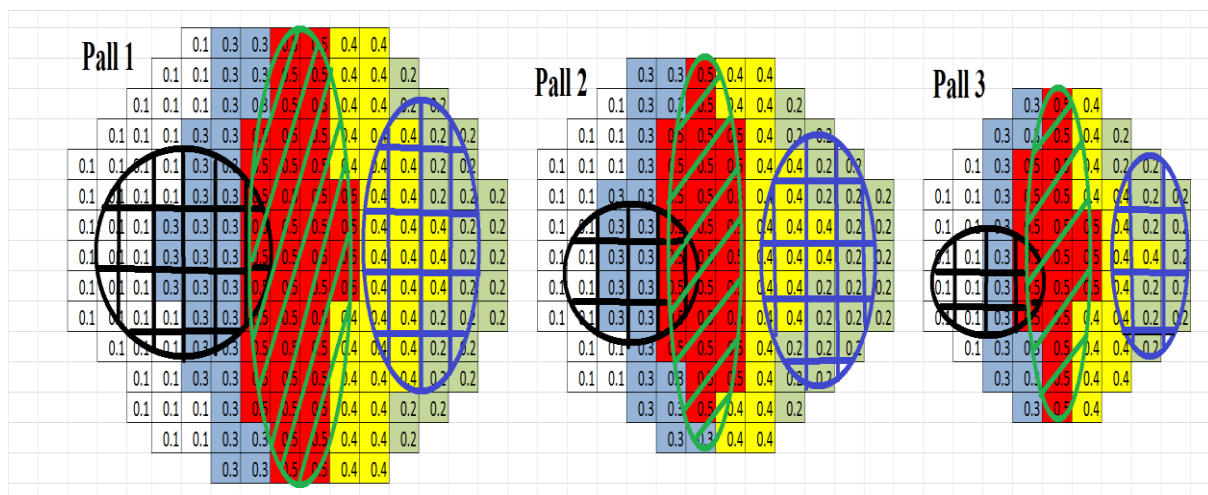
driften av den som drives før, slik at det alltid opereres effektivt. Derfor må denne fasen planlegges nøye. Designet av en pushback trenger ikke være begrenset av størrelse eller tiden det vil ta å drive den (Hustrulid & Kuchta, 2006).

Lokasjon og inndelingen av pushbackene er basert på å relatere bruddets geometri opp mot malmdistribusjonen. Dette gjøres ved å dele opp det endelige bruddet i horisontale profiler for hver pallhøyde. Hver pall blir så delt opp i blokker hvor tonnasje og gehalt for hver blokk blir beskrevet, se Figur 12. Videre blir forskjellige kombinasjoner av flere blokker (på flere pallhøyder) evaluert, for så å sammenligne de forskjellige kombinasjonene og deretter velges den løsningen (kombinasjonen/pushbacken) som maksimerer NPV (CAE-Mining, 2013). Figur 13 illustrerer en prinsippskisse av denne prosessen. De markerte områdene sort, grønn og blå representerer tre forskjellige kombinasjoner av flere blokker. Den gjennomsnittlige gehalten til den sorte kombinasjonen er 0,23, grønne 0,49 og blåe 0,29. Alle blokkene har samme masse. Når man sammenligner disse tre kombinasjonene ser man at det er den grønne som vil maksimere NPV'en. Den grønne kombinasjonen vil dermed bli pushback nummer 1. I et ekte tilfelle ville det blitt laget mange flere kombinasjoner for sammenligning. Denne prosessen gjentas helt til at alle pushbackene er dannet.

Av praktisk grunner er det vanlig å designe en pushback som et sammenhengende brudd og ikke som mange små enheter. Derfor er det naturlig at blokkene som evalueres i hver enkelt kombinasjon er sammenhengende (CAE-Mining, 2013).

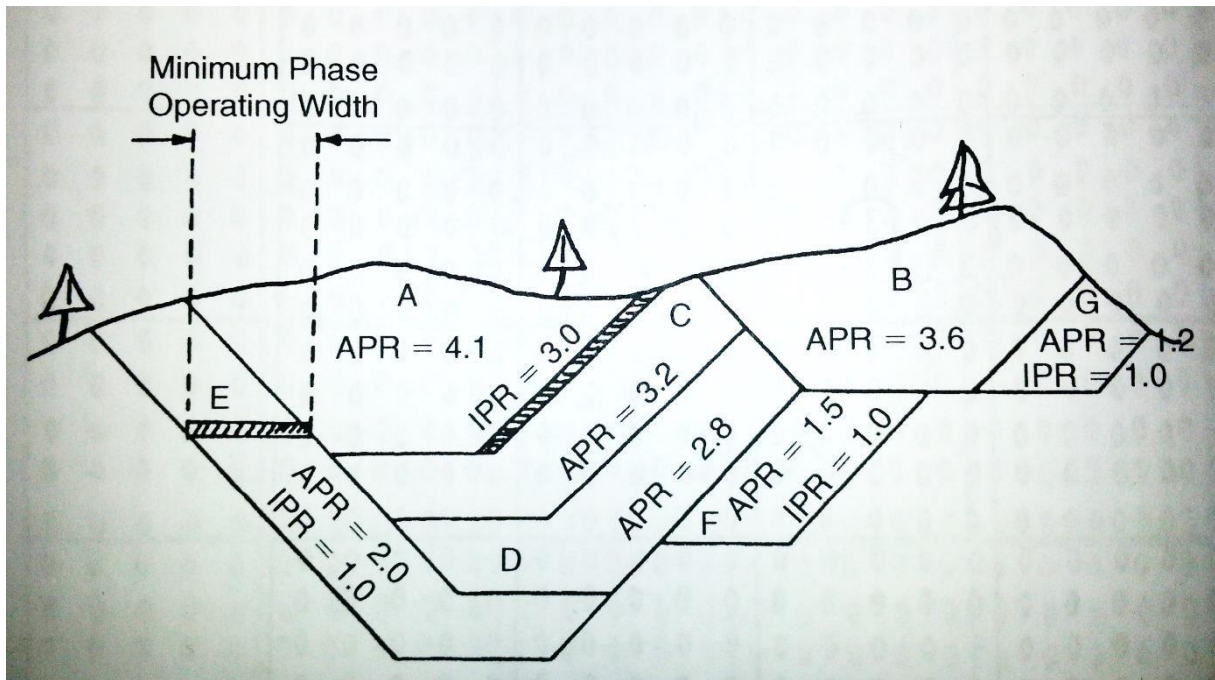


**Figur 12: Viser et brudd delt opp i tre horisontale seksjoner (paller) som igjen er delt opp i blokker, hvor gehalten til hver blokk er beskrevet. Fra venstre figur (pall 1) mot figurene til høyre (pall 2 og 3) illustreres det hvordan bruddet utvikler seg mot dypet.**



**Figur 13:** Viser et brudd delt opp i tre horisontale seksjoner (paller) som igjen er delt opp i blokker, hvor gehalten til hver blokk er beskrevet. De markerte områdene sort, grønn og blå representerer tre forskjellige kombinasjoner av flere blokker. Fra venstre mot høyre på figuren illustreres det hvordan bruddkantene utvikler seg mot dyppet til kombinasjonene.

Ut fra dette kan man fastsette uttaksekvensen til pushbackene. Sekvensen er logisk basert, noe som betyr at en pushback som ligger over en annen alltid må bli tatt ut først. Uttaket startes alltid med den, av de tilgjengelige, som gir høyest NPV. Etter at siste pushback er tatt ut, har man nådd grensen til det endelige bruddet. I Figur 14 vises et tverrsnitt av en forekomst der bruddet er delt opp i pushbacker. Uttaksekvensen starter med å ta ut den pushbacken som har den høyeste gjennomsnittlige profitt raten (APR = average profit ratio), så etterfulgt av den med nest høyest osv. I dette tilfellet starter uttaket med pushback A og går alfabetisk nedover til pushback G.



Figur 14: Uttaksekvensen for pushbackene A til G basert på APR (Hustrulid & Kuchta, 2006).

I likhet med utforming av et endelig bruddesign brukes det dataverktøyer for å generere pushbacker i dagens gruveindustri.

## 2.5 NPV SCHEDULER

NPV Scheduler er et datamodelleringsverktøy for gruveindustrien laget av CAE-mining. Programmet brukes for å finne et optimalisert endelig brudd og en blokk-for-blokk uttakssekvens for gitte geologiske- og økonomiske parametere. Dette gjøres ved hjelp av en av følgende metoder:

- Lerchs-Grossmann metoden: Danner et optimalisert endelig brudd og en uttakssekvens som maksimerer NPV. (For mer informasjon om Lerchs-Grossmann metoden se (Hustrulid & Kuchta, 2006: side 429-456)).
- Ressursbaserte metoden: Danner et optimalisert endelig brudd og en uttakssekvens basert på blanding.

Utvinningssekvensen som følger av bruddoptimaliseringen blir konvertert til praktiske pushbacker ved å bruke brukerdefinerte kriterier som minimum pushbackstørrelse og minimum pallbredde for drift (CAE-Mining, NPV Scheduler, 2013).

Dette betyr at NPV Scheduler kan gjør den jobben som står beskrevet i avsnittene 2.3 og 2.4.



## 3 Metode

### 3.1 NPV SCHEDULER

Oppgaven er gjennomført ved hjelp NPV Scheduler. Prosessen fra en blokkmodell til dannelse av pushbacker gjøres gjennom fire steg. Disse stegene gjøres i en bestemt rekkefølge som er listet opp under. Alle mulighetene som NPV Scheduler tilbyr vil ikke bli forklart her. Metoden vil kun ta for seg den generelle gjennomgangen av hvordan man fra en blokkmodell lager et «optimalt» endelig brudd og deler dette inn i pushbacker.

1. Importering av data
2. Økonomisk modell
3. Optimalisering av bruddesign
4. Pushbacker

#### 3.1.1 Importering av data

Første skritt er å importere en blokkmodell inn i NPV Scheduler. All data om blokkenes posisjon, volum og orientering blir lagret ved dette punktet og kan ikke endres. Prosessen starter med å hente ut parametere fra blokkmodellen som skal brukes videre for verdisetting av blokkene. Med dette menes parametere som har innvirkning på kroneverdien til hver enkelt blokk og utformingen av bruddet. Parameterne vil variere avhengig av prosjektet, men er typisk malm- gehalt, tetthet, bergtype, mengde forurensning i malmen og mekaniske egenskaper til malm og sideberg. De valgte parameterne vil bli klassifisert etter hvilken funksjon de har. Det vil si at parameterne slik som gehalter vil bli klassifisert som produkt da de har direkte korrelasjon til salgsprisen, forurensning i malmen vil bli klassifisert som egenskaper til produktet fordi dette påvirker kvaliteten til produktet, litologi blir klassifisert som bergtype og massetetthet som tetthet for å nevne noen. Det eneste kravet i denne prosessen er at det minst blir klassifisert et produkt.

Dersom det er en bergtypeparameter blir den kategorisert i to forskjellige klasser, malm og sideberg. Det som klassifiseres som sideberg vil alltid bli vurdert som «avfall» og har kun en kostnad tilknyttet seg, mens det som klassifiseres som malm kan både gi økonomisk gevinst eller være en kostnad avhengig av den enkeltes blokks kvalitet (dette blir bedre forklart under steget økonomisk modell). Dersom det ikke er en parameter som definerer bergtyper blir alle blokkene satt til å være malm. Beregning av massen til hver blokk blir gjort ved hjelp av tetthetsparameteren. Er ikke denne parameteren definert, velger man selv en tetthet som vil være lik for alle blokkene i modellen. Blokkmodellen importeres i form av et Excel ark. Det betyr at talldataens enheter må defineres i form av meter, tonn, prosent og lignende for å gi NPV Scheduler beskjed om hva de forskjellige parameterne er. Det må også oppgis hvordan enhetene skal rapporteres. For eksempel om de skal rapporteres i form av tonn eller pund, fot eller meter, osv.

Neste del er å importere en eller flere begrensninger til bruddet. Med begrensning menes et fysisk avgrenset område på modellen. Hensikten med dette er å gi programmet beskjed om hvor det er mulig eller ikke mulig å drive et brudd. For eksempel kan man definere bruddgrensen eller selektere ut en dam som ligger i området. Denne delen er valgfri og er avhengig av prosjektet.

Siste del av steget importering av data er å importere en fil som definerer veggvinkler for de forskjellige delene av bruddet. Det kan være forskjell på stabiliteten for heng- og liggveggene, og dette kan tas i betraktning dersom det er dannet en fil med skråningsdata. Det er ikke nødvendig å importere dette, men da settes det en veggvinkel for hele bruddet som man selv definerer.

### 3.1.2 Økonomisk modell

Her står valget mellom en kostnadsmodell eller profittmodell. Kostnadsmodellen baserer seg på at blokkene i modellen vil bli vurdert ut fra salgspris og driftskostnader, mens profittmodellen importerer ferdigsatte verdier per blokk fra en økonomisk blokkmodell, som betyr at salgs og kostnads beregninger allerede er gjort.

Første steg i kostnadsmodellen er å sette en salgsverdi på produktet (den prisen du får for et tonn produkt). Som nevnt tidligere kan blokker som er definert som malm gi økonomisk gevinst eller være en kostnad. Dette er avhengig av hva cut-offen settes til og hva den enkelte blokks verdi er. Det er derfor viktig at man i NPV Scheduler velger en prosess som sier at blokker som er under cut-off også er «avfall» sammen med sideberg og at det som befinner seg over cut-off er malm som gir økonomisk gevinst til prosjektet (selve cut-off verdien settes inn i steget optimalisering av bruddesign). Gjør man ikke dette, og det har man muligheten til, vil alt som er kategorisert som malm fra steget importering av data bli tolket som bergmasse av økonomisk verdi. Problemet med dette kan beskrives med følgende eksempel. Et kobberbrudd der oppredningsanlegget kun kan ta i mot malm med kobbergehalt høyere enn 0,7 %. Siden det ikke er valgt en prosess i NPV Scheduler som beskriver at malm som er under cut-off er «avfall» og skal på deponi, vil blokker som inneholder kobber med en gehalt under 0,7 % bli sent til oppredningsverket. Dette forutsetter at det er lønnsomt teoretisk å sende blokken gjennom. Siden anlegget ikke er designet for å ta imot denne typen kvalitet vil det skape problemer. Dette problemet tar ikke NPV Scheduler høyde for i sine beregninger.

Videre legges det inn en uttakskostnad for et tonn bergmasse. Dette er en bore-, sprenging-, lasting- og transport- kostnad, som gjelder generelt for uttak over alt i bruddet. Man setter også inn hvor stor prosentandel av den sprengte malmen som når oppredningsverket. Et eksempel på dette kan være at det sprenges 10 000 tonn malm, av denne malmen kommer 99,99 % (9 999 tonn) til oppredningsverket, mens resten faller av lastep Janet under transporten. Det kan også legges inn en prosentandel forurensning i malmen. Som betyr for eksempel at det for hvert tonn malm som blir tatt ut er det 2 % sideberg innblandet.



Deretter deles alle de forskjellige bergtypene definert som malm inn i egne kolonner hvor det er mulig å regulere uttakskostnaden individuelt, sette en rehabiliteringskostnad per tonn og en oppredning- kostnad per tonn. Opprednings-kostnaden kan være oppsatt som en fast pris per tonn eller som en formel avhengig av gehalt og\eller egenskaper til malmen. Det må også beskrives hvor stor malmutvinningen er fra oppredningsverket, altså hvor stor andel av produktet som er igjen etter oppredningen. Dette kan beskrives som en fast prosentandel eller som en formel avhengig av gehalt og\eller egenskaper til malmen. Sideberg har kun uttak- og rehabiliteringskostnader knyttet til seg, siden det ikke skal gjennom en opprednings-prosess. Til slutt kan man sette en referanseball. En referanseball er en pall man kan regulere kostnadene etter. Dette betyr at hvis pall nummer fire blir satt til å være referanseball kan man tilegne paller på lavere og\eller høyere nivå en ekstra uttakskostnad.

### 3.1.3 Optimalisering av bruddesign

I dette steget er formålet å danne et optimalt endelig brudd. Dette bruddet blir basert på den økonomiske modellen og inndataparametere som defineres i dette avsnittet.

Første del er å settes inn en diskonteringsatts for prosjektet og størrelsen på produksjonen per tidsenhet. Typisk vil en diskonteringsatts være mellom 10-15 % og produksjonen være på tonn/år.

Etter dette må det velges hvilken metode optimaliseringen av bruddesignet skal baseres på. Det er to muligheter her; maksimering av NPV eller maksimering ressursuttak. Velges maksimering av NPV vil det endelige bruddet bli designet slik at det oppnår høyest mulig profitt på prosjektet, men dersom maksimering av ressursuttak velges vil det gi en løsning der mest mulig malm blir tatt ut.

Neste steg er å velge uttakssekvens. Uttakssekvens er et system for hvordan man velger i hvilken rekkefølge blokkene skal tas ut. Her står valget mellom maksimering av NPV eller blanding. Maksimering av NPV betyr at blokker med høyest verdi blir tatt ut først for å gi raskest og best mulig økonomi til prosjektet. Dette må forstås på den måten at en blokks verdi er avhengig av posisjon og må derfor ikke ses på isolert. Ser man for seg to blokker i hver sin ende av det tenkte dagbruddet, de har samme verdi, men den ene blokken befinner seg på pall nummer 2 og den andre på pall nummer 3. For enkelthets skyld er resten av blokkene i bruddet like med lavere verdi enn de to nevnte blokkene. I dette tilfellet vil man starte med å ta ut den blokken som ligger på pall nummer 2. Grunnen er at man raskere når denne blokken og det vil maksimere NPV. Dermed kan en si at verdien til en blokk er avhengig av dens posisjon.

Velges sekvensen blanding er målet at det salgbare produktet skal holde en spesifikk kvalitet. La oss si at man har en marmorforekomst. Kravet for salg av marmoren er at den må inneholde mindre enn 1 % grafitt. Det kreves at det defineres en formel som henter ut parameteren for grafittinnholdet til hver enkelt marmorblokk. Så må kravet spesifiseres,

altså at grafittinnholdet skal ligge mellom 0 og 1 %. Programmet vil da finne en bruddløsning der blokkene blandes sammen for å gi en snittverdi som oppfyller kravet. Dette kan forklares slik: Har man to marmorblokker der den ene inneholder 0,5 % grafitt og den andre inneholder 1,4 %. Hver for seg kan man kun selge den marmorblokken som inneholder 0,5 % grafitt, men ved å blande disse to blokkene sammen vil de ha et snitt på 0,95 % grafitt og dermed kan begge blokkene selges. Programmet vil vurdere mange mulige alternativer og velge det som oppfyller kravet og gir høyest NPV eller maksimerer ressursuttaket (avhengig av hvilken metode man velger). Er det flere enn et krav som må oppfylles for at produktet skal kunne selges må det defineres en formel for hvert av disse kravene.

I den neste delen defineres veggvinkler til bruddet. Som nevnt under avsnitt 3.1.1 kan man bruke en importert fil som inneholder informasjon om veggvinklene til bruddet eller man kan selv definere en veggvinkel og den vil gjelde for hele bruddet.

Til slutt setter man inn begrensninger til bruddet, hvis det skulle være noen. Se avsnitt 3.1.1 for mer informasjon om begrensninger.

Basert på inndataparameterne og den økonomiske modellen danner NPV Scheduler et optimal endelig bruddesign.

### 3.1.4 Pushbacker

I dette steget skal bruddet deles opp i pushbacker. De vil bli dannet på grunnlag av informasjon fra det optimale endelige bruddet og inndata som defineres i dette avsnittet.

Første del er å velge maksimalt antall pushbacker man ønsker. Det vil si at hvis man setter maksimalt antall til 10, blir det dannet 10 eller færre pushbacker. Så velges det om uttaket av siste pushback skal ha en utforming slik at man ender opp med det optimale bruddets utforming. Det er mulig å begrense det endelige bruddet til soner som ligger innenfor det optimale bruddet. Neste skritt er å velge minste bredde på pallene for å kunne drive effektivt på dem.

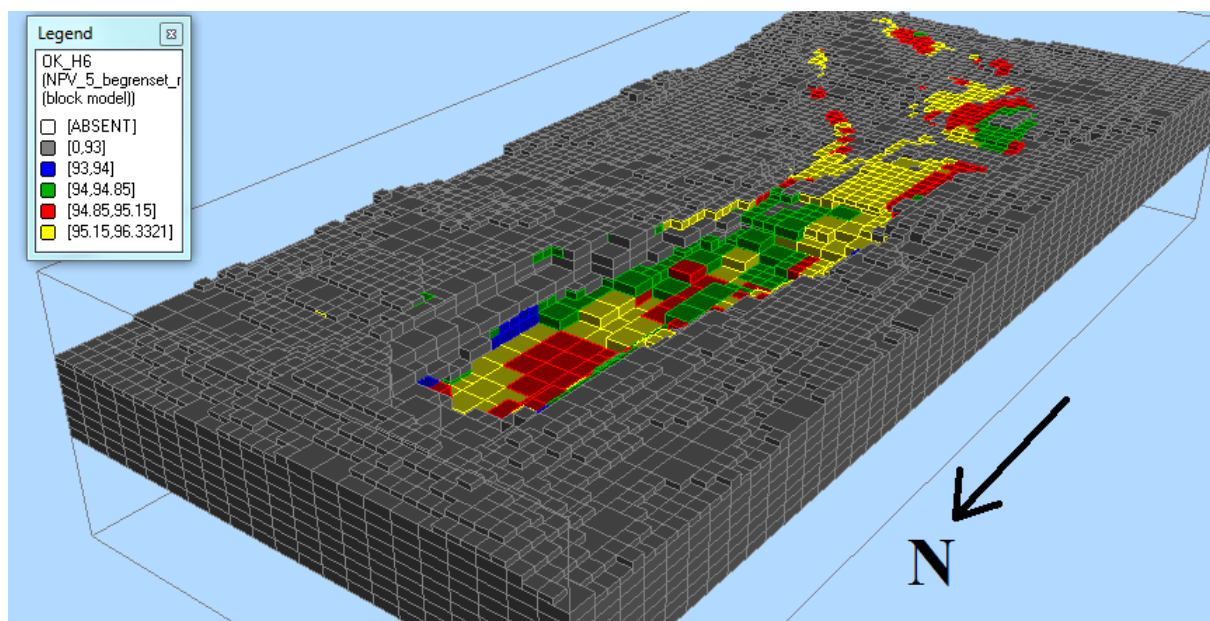
Til slutt kan man regulere størrelsen og velge begrensninger til hver enkelt pushback. Regulere størrelsen betyr at man kan velge minimum tonnasje av malm og/eller sideberg som skal være med i hver enkelt pushback. Begrensningene er delt opp i to deler. Den første delen begrenser hvor langt i vertikal retning en pushback kan gå, mens den neste delen avgrensner et område som det enkelte pushback må være innenfor eller utenfor i det horisontale planet. Det er valgfritt om man vil legge inn begrensninger og størrelse på pushbackene. Basert på inndataparameteren og det optimale endelige bruddet vil NPV Scheduler beregne pushbackene.

## 4 Data

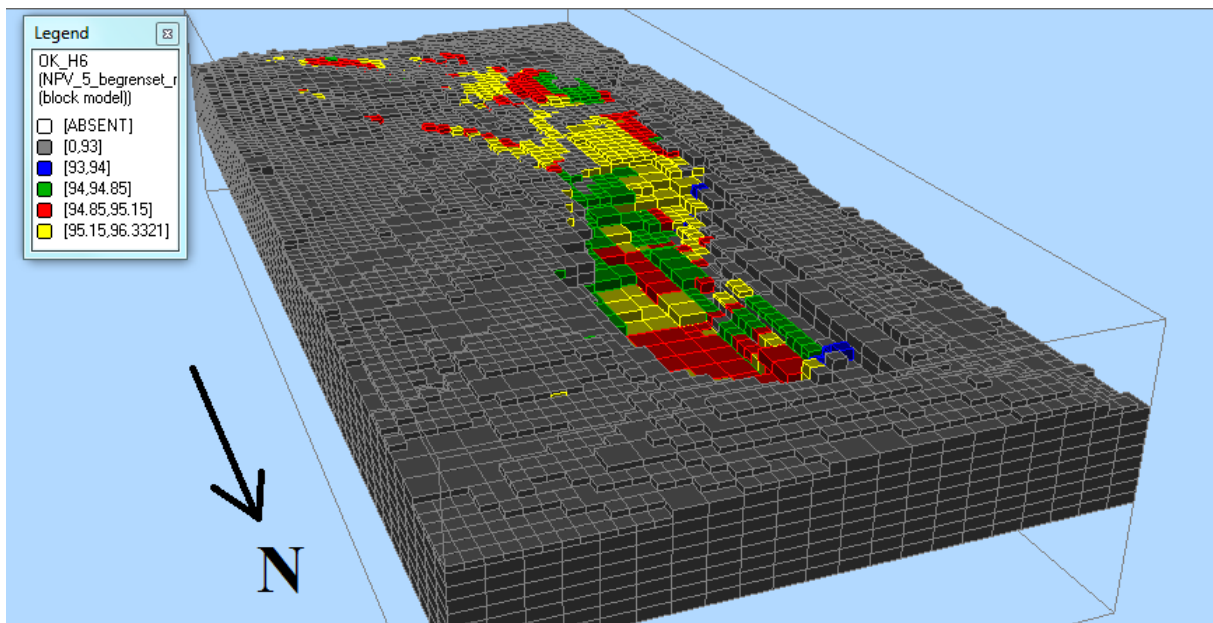
I dette kapittelet presenteres alle inndataparametere som er brukt i NPV Scheduler.

### 4.1 Importering av data

Blokkmodellen som brukes er hentet fra prosjektoppgaven Økonomisk blokkmodellering av en industrimineralforekomst (Hilmarsen, 2012). Før den ble importert ble det gjort noen endringer på den. Endringene i den importerte blokkmodellen er at blokker som ligger innenfor det allerede drevne dagbruddet, per 01.11.2012, er fjernet. Grunnen til dette er at den blokkmodellen som ble laget i prosjektoppgaven inkluderte blokker som allerede var tatt ut. Det var derfor viktig at disse ble fjernet slik at det kunne bli laget et endelig bruddesign med pushbacker som representerer virkeligheten best mulig. Bruddet til Brønnøy Kalk AS er i kontinuerlig drift. Det betyr at de blokkene som er tatt ut etter at prosjektoppgaven startet (høsten 2012) ikke er fjernet fra blokkmodellen, slik at det vil være noen større tonnasje marmor i modellen per dags dato enn hva det reelt er. Blokkmodellen som er brukt i denne oppgaven er illustrert ved Figur 15 og Figur 16.



**Figur 15:** Viser blokkmodellen som er importert inn i NPV Scheduler. Grå blokker illustrerer sideberg, mens fargede blokker er marmor. Oppe i høyre hjørne er en fargekodet liste som beskriver hvitheten til marmoren i prosent. Bildet er hentet fra Datamine.



**Figur 16:** Viser blokkmodellen som er importert inn i NPV Scheduler. Grå blokker illustrerer sideberg, mens fargede blokker er marmor. Oppe i høyre hjørne er en fargekodet liste som beskriver hvitheten til marmoren i prosent. Bildet er hentet fra Datamine.

Parameterne som brukes fra denne blokkmodellen er Marmor, hvitheten (OK\_H6) og syreresten (OK\_AIRfw), RockCode og Brok. Disse er klassifisert, er av datatypen og har enhetene som vist i Tabell 1.

**Tabell 1: Klassifisering, datatype og enhet til parameterne.**

Parameter	Klassifisering	Datatype	Enhet
Marmor	Produkt	%	tonn
OK_H6 (hvithet)	Egenskap	%	tonn
OK_AIRfw (syreest)	Egenskap	%	tonn
RockCode	Bergtype	marmor/sideberg	
Brok	Egenskap	%	tonn

Marmor er produktet som skal selges. Denne parameteren er alltid lik 100 % for alle blokkene som er kategorisert som marmor og 0 % for sideberg. Dette betyr at enten kan hele blokken bli solgt eller ingenting. Om en marmorblokk er et salgbart produkt avgjøres av egenskapene hvithet og syrerest og uttaksekvensen. Hvithet og syrerest er de to egenskapene som har betydning for kvaliteten til marmoren (Hilmarsen, 2012: side 20-21).

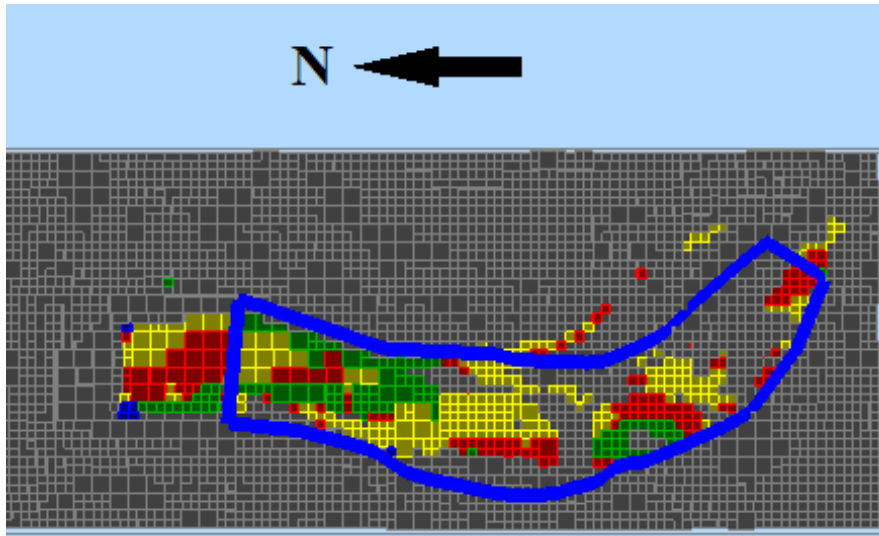
Brok er egentlig ikke en egenskap til forekomsten, slik som klassifisert i modellen. Det er en konstant som alltid er lik 1 %. For dette prosjektet velges det å bruke blanding som uttaksekvens (se avsnitt 4.3). Som nevnt i avsnitt 3.1.3 kreves det at man må lage en formel

til hvert av kravene man setter. I en formel må det være en teller og en nevner. Teller og nevner kan kun være basert på de importerte parametere og ikke egendefinerte tall. Derfor er brok- parameteren importert. Den blir brukt som nevner i formlene som defineres under avsnitt 4.3, mens hvithet og syrerest blir brukt som tellere. Det vil si at for å se om hvitheten til en blokk er innenfor kravet, må man hente hvithetsparameteren til denne blokken og dele den på brok- parameteren til blokken. Siden brok alltid er lik 1 % blir resultatet av hvithet del på brok alltid lik hvitheten.

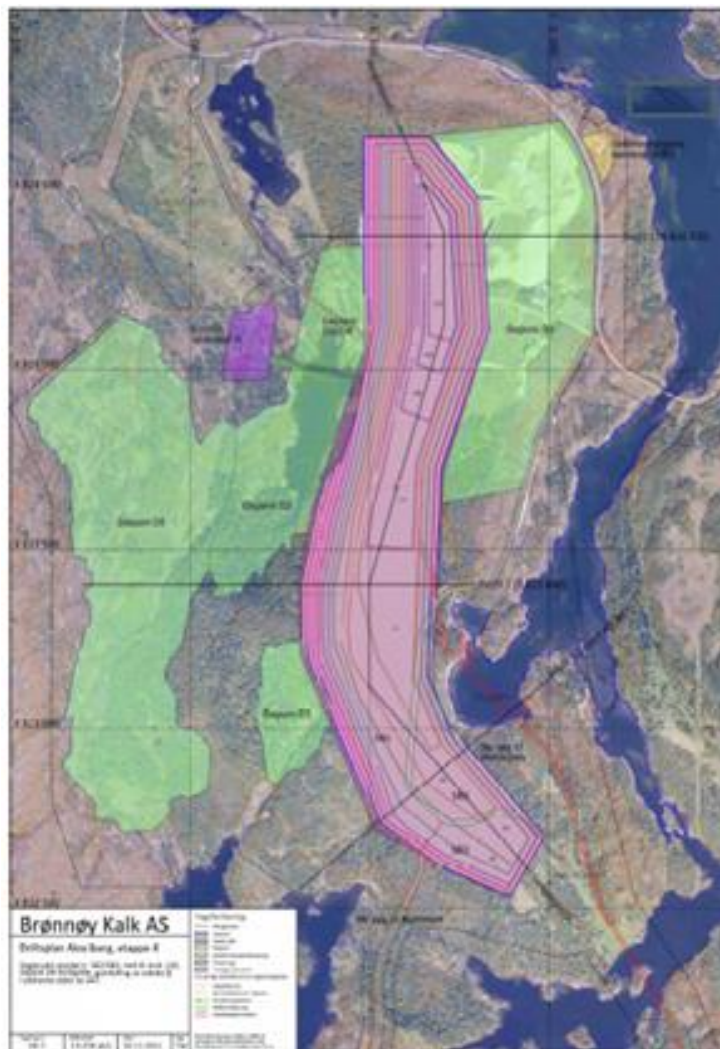
RockCode deler forekomsten opp i marmor eller sideberg. Marmoren i blokkmodellen består i utgangspunktet av to forskjellige typer, spettet- og båndet marmor (Hilmarsen, 2012). For enkelthets skyld er det valgt å slå sammen disse to typene og klassifisere dem som en type marmor. Dette vil ikke ha betydning for prosjektet fordi det er valgt å bruke blanding og maksimering av ressursuttak for å finne det endelige bruddet (se avsnitt 4.3).

Tettheten er satt til  $2700 \text{ kg/m}^3$  (Myrvang, 2011). Denne gjelder for både marmor og sideberg.

Bruddets utvidelse er avgrenset av en bruddgrense. Den blå linjen i Figur 17 illustrerer denne avgrensningen. Bruddet blir derfor avgrenset til å være innenfor dette området i det horisontale planet, mens det er ingen begrensning i det vertikale planet. Begrensningen til det endelige bruddet er basert på et bruddkart laget av Brønnøy Kalk AS, se Figur 18. Grunnen til at begrensningen til endelig bruddet er valgt kan forklares slik: Av Figur 18 kan man se at en eventuell utvidelse av Brønnøy Kalk AS bruddforslag i østlig retning er vanskelig på grunn av fjorden som ligger der. Dette gjelder først og fremst for nedre del av bruddet. I øvre del i østlig retning er det etablert et deponi. For å kunne utvide bruddet i dette området må deponiet flyttes. Dette vil være tids- og kostnadskrevende og dermed ikke lønnsomt. Det er usikkert om det er mulighet for utvidelse i vestlig retning på grunn av manglende geologisk data av området og at det også her er etablerte deponier. For utvidelse i nordlig og sørlig retning er det lite tilgjengelig geologisk data og dermed usikkert i disse retningene også.



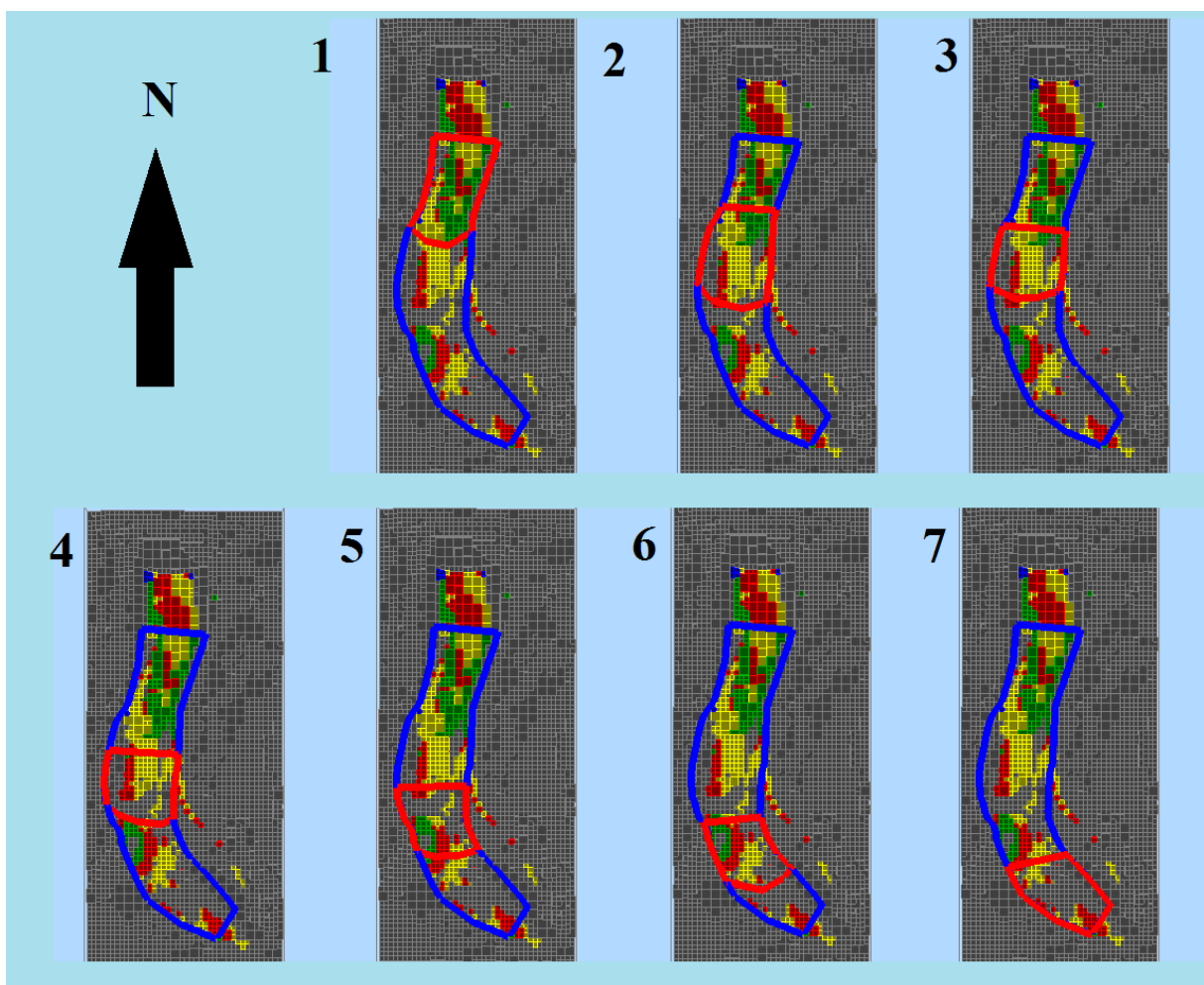
Figur 17: Den blå linjen illustrerer avgrensningen til dagbruddet. Bilde er hentet fra Datamine.



Figur 18: Forslag til endelig bruddesign fra Brønnøy Kalk AS. Det lilla området viser det endelige bruddet, mens de grønne områdene viser deponier (bilde er fra Brønnøy Kalk AS).



Det er i tillegg dannet avgrensninger til de syv første pushbackene. Disse begrensningene omslutter et område hvor de respektive pushbackene skal konstrueres innenfor. Dette er illustrert i Figur 19 hvor den blå linjen er bruddavgrensningen, mens de røde er pushbackavgrensninger. Begrensningene til pushbackene ble laget for å kontrollere bruddutviklingen. Det er naturlig at bruddet skal utvides fra nord mot sør, altså en kontinuerlig utvidelse av dagens brudd. Dette er mest hensiktsmessig fordi adkomst og annen infrastruktur allerede er etablert her. Uten begrensningene vil bruddet utvikle seg kun basert på inndataparameterne og ikke ta hensyn til praktisk drift. Det som risikeres da er at de første pushbackene ikke danner et sammenhengende brudd, men to eller tre separate brudd.



Figur 19: Den blå linjen på figurene illustrerer avgrensningen til dagbruddet. De røde linjene på figurene illustrerer avgrensningene til pushbackene, der avgrensningen til pushback 1 er illustrert på bilde merket 1, osv. Bilde er hentet fra Datamine.

## 4.2 Økonomisk modell

I den importerte blokkmodellen er det ikke lagt inn en kroneverdi for hver enkelt blokk som kan brukes i denne oppgaven. Den økonomiske modellen som er valgt er derfor kostnadsmodellen.

Marmoren som skal selges har en ca. størrelse på 80mm (informasjon fra Brønnøy Kalk AS). På bakgrunn av dette er det samlet inn informasjon om pris på pukk i denne størrelsen fra pukkindustrien, se Tabell 2. Salgspris på marmoren er basert på den gjennomsnittlige pukkprisen for pukkstørrelse 20-120mm, men det er gjort en antagelse om at marmor er ca. 50 % mer verdifullt materiale enn pukk. Med dette som grunnlag er salgspris på marmoren satt til 150 kr per tonn. Transportkostnader fra Brønnøy Kalk AS til kjøper kommer i tillegg.

**Tabell 2: Priser på pukk i størrelse 20-120mm fra forskjellige leverandører. Prisene er hentet fra de respektive selskaperes hjemmesider.**

Selskap	Størrelse	Pris per ton eks. mva [kr]	Dato pris satt
Prisliste Franzefoss Pukk, avd. Vassfjell	20-90 mm	84.00	01.01.2013
Prisliste Franzefoss Pukk, avd. Lia	20-120 mm	84.00	01.01.2013
Prisliste Franzefoss Pukk, avd. Bondkall	22-120 mm	107.00	01.01.2013
Hamar pukk og grus	20-120 mm	96.00	01.02.2010
Risa	20-120 mm	121.00	2013
Velda	20-120 mm	109.00	01.02.2012
Snitt		100.17	

All marmoren med hvithet over cut-off (93 %) er satt til å være salgbart produkt, resten blir betraktet som sideberg. Marmor av kvalitet under 93 % er hos Brønnøy Kalk AS sterkt uønsket og muligens umulig å bruke (Bunkholt, 2013).

Driftskostnaden ved uttak av bergmasse er satt til 16 kroner per tonn (tall fra Brønnøy Kalk AS).

Mengden sprengt marmor som når oppredningsverket er satt til 99 % (Bunkholt, 2013). Det ble antydnet at det er noe tap under transport, samt at det blir lagt igjen noe salgbart produkt langs grensen mellom marmoren og sideberget. Grunnen til at det blir lagt igjen marmor langs grensen er fordi det ønskes å minimere forurensning av produktet. For Brønnøy Kalk AS er det bedre å tape marmor langs grensen enn det er å få med sideberg i produktet. Prosentandelen forurensning i marmoren er satt til 0 %.

Driftskostnadene ved uttak av marmor er satt til 18 kroner per tonn. Dette inkluderer en royalty- kostnad på 2 kroner per tonn. Rehabiliteringskostnaden er satt til 1 krone per tonn marmor (tall fra Brønnøy Kalk AS).



Oppredningskostnaden på marmoren er basert på følgende prosess:

- To Knusestrinn.
- Åpen krets.
- Innmatingen til prosessen er tørr.
- Første steg er en kjefteknuser.
- Kapasitet på 3,5 millioner tonn i året.
- Fraksjon ca. 80mm

Denne informasjonen ble sendt til Christian Ottergren (ansatt ved Sandvik Tamrock AS). Han laget på bakgrunn av denne informasjonen flere kostnadsforslag og de er lagt til grunn for prissettingen av oppredningskostnaden som er estimert til 20 kroner per tonn.

Oppredningskostnadene er satt opp som en formel:

$$= if(OK_{H6} < 93,0,0,20)$$

Dette betyr at dersom hvitheten til marmormassen som sendes til oppredningsverket er lavere enn 93 % er det 0,00 kr i oppredningskostnader, dersom ikke er kostnadene 20 kroner per tonn (om hvitheten er lik eller over 93 %).

Utvinningsraten er også satt opp som en formel:

$$= if(OK_{H6} < 93,0,0,1)$$

Som betyr at dersom hvitheten til marmormassen som sendes til oppredningsverket er lavere enn 93 % kommer det ikke noe gjennom oppredningsverket (utvinningsraten er 0 %), men dersom hvitheten er over 93 % er utvinningsraten på 100 %. Resultatet av dette blir at marmor med hvithet lavere enn 93 % ikke blir et salgbart produkt og ender opp som avfall, mens 100 % av marmoren med hvithet høyere enn 93 % blir på dette stadiet ansett som et salgbart produkt.

Det er antatt at det ikke er tap av marmor i oppredningsprosessen (utvinningsrate 100 %). Det vil selvfølgelig være noe tap i form av svevestøv, men dette er så små mengder (promiller) slik at det er valgt å se bort fra dette. Det er også noe tap i oppstartsfasen ved et oppredningsverk (for eksempel siloer hvor masser langs veggene ikke raser inn), men siden Brønnøy Kalk AS er i drift er disse «tapene» allerede gjort.

Driftskostnadene for uttak av sideberg er satt til 16 kroner per tonn.

Rehabiliteringskostnaden for sideberg er 0,00 kroner per tonn (tall fra Brønnøy Kalk AS).

### 4.3 Optimalisering av bruddesign

I gruveindustrien er det vanlig å ha en diskonteringsrate mellom 10-15 %. Ved å øke diskonteringsraten øker man samtidig den økonomiske sikkerheten til prosjektet, så lenge verdien til NPV er positiv. Derfor er det valgt å sette diskonteringsraten til den høyeste verdien innenfor det som er vanlig, altså 15 %.

Årsproduksjonen (periode på 365 dager) er satt til 3 500 000 tonn marmor og sideberg (tall fra Brønnøy Kalk AS). Dette er den produksjonen de har i dag og det foreligger ingen informasjon som sier at dette skal økes i fremtiden.

Det optimale bruddet er basert på å maksimere ressursuttaket og at uttaket skal være basert på blanding. Det er laget to mål for blandingen. Det første målet er at marmoren skal ligge mellom 94,5 % og 95,5 % i hvithet, mens det andre er at den skal ligge mellom 0 og 3 % i syrerest. Kravene til blandingen er basert på informasjon fra Brønnøy Kalk AS med modifikasjoner. Grunnen til at kravet er modifisert er fordi de ikke ønsker at konkurrenter skal få informasjon om kravene til produktet deres. Forekomsten i denne oppgaven er marmor, altså et industrimineral. For å selge dette produktet må det oppfylle et bestemt krav. Er marmorens kvalitet under eller over dette kan det ikke selges. Det er en fastsatt pris på marmoren, så selv om kvaliteten er «god» eller «dårlig» innen for det gitte kravet får man lik pris på det. Å blande (se avsnitt 3.1.3) marmorblokker sammen slik at de i snitt oppfyller kravet vil gi den beste økonomiske løsningen. Derfor er sekvensen for uttaket valgt til blanding. Når man vet at det er lik pris på alt salgbar produkt, vil maksimering av uttaket være den løsningen som gir best omsetning og NPV.

Veggvinkelen i bruddet er satt til å være  $45^{\circ}$  (tall fra Brønnøy Kalk AS). Bruddbegrensningen som brukes er den som står beskrevet i avsnitt 4.1.

### 4.4 Pushback

Det er valgt at pushbackene skal formes slik at de utformer det optimale bruddet. Maksimalt antall pushbacker er satt til 8. Størrelsen på pushback 1 til 6 er satt til 10 000 000 tonn totalt (marmor + sideberg). Pushback 7 er satt til 15 tonn totalt. Pushback 8 har ikke definert en minste størrelse. Begrensningene til pushbackene i vertikal retning er pall nummer 15, som betyr at det ikke drives lengre ned enn til -150 m.o.h. (basert på informasjon fra Brønnøy Kalk AS). Avgrensningen i horisontal retning er beskrevet i avsnitt 4.1. Pushback 8 har ingen begrensning i vertikal retning og som nevnt ovenfor har den heller ingen minste størrelse. Grunnen til dette er at den har som oppgave å ta ut resterende blokker slik at den endelige utformingen blir lik det optimale endelige bruddet. Minste bredde for palldrift er satt til 50 meter. Det er denne bredden som kreves for å drive effektivt (tall fra Brønnøy Kalk).

## 5 Resultat

I alle tabellene som vises i dette kapittelet er komma (,) brukt som skille mellom tusener, mens punktum (.) er skillet for desimaler. Det betyr med andre ord at 3,000,000 er 3 millioner og 95.50 er nittifem og en halv.

### 5.1 Importering av data

Modellen består av totalt 19 224 blokker. Tabell 3 viser teknisk data om den importerte blokkmodellen.

**Tabell 3: Viser gjennomsnittlig, maks- og minimumsverdi av hvithet- og syrerest til marmoren i blokkmodellen og den totale bergmassen av marmor og sideberg. Tabellen er hentet fra NPV Scheduler.**

	<b>Marmor</b>	<b>Sideberg</b>	<b>Enheter</b>
<b>Tonnasje</b>	199,327,500	954,998,438	Ton
<b>Hvithet Snitt</b>	95.18	0	Prosent [%]
<b>Hvithet Minimum</b>	92.66	0	Prosent [%]
<b>Hvithet Maksimum</b>	96.23	0	Prosent [%]
<b>Syrerest snitt</b>	3.69	0	Prosent [%]
<b>Syrerest Minimum</b>	0.68	0	Prosent [%]
<b>Syrerest Maksimum</b>	13	0	Prosent [%]

## 5.2 Optimalisering av bruddesign

NPV Scheduler har på bakgrunn av inndataparameterne og begrensningen dannet fire endelig bruddalternativer.

1. Alternativ 1: Optimalisert brudd basert på blanding.
2. Alternativ 2: Optimalisert brudd basert på maksimering av ressursuttak.
3. Alternativ 3: Optimalisert brudd basert på blanding uten begrensning.
4. Alternativ 4: Optimalisert brudd basert på maksimering av ressursuttak uten begrensning.

**Alternativ 1** er en optimalisering basert på alle inndataparameterne og begrensningene som beskrevet i kapittel 4. Størrelsen på bruddet vil gi en drift på ca. 21 år.

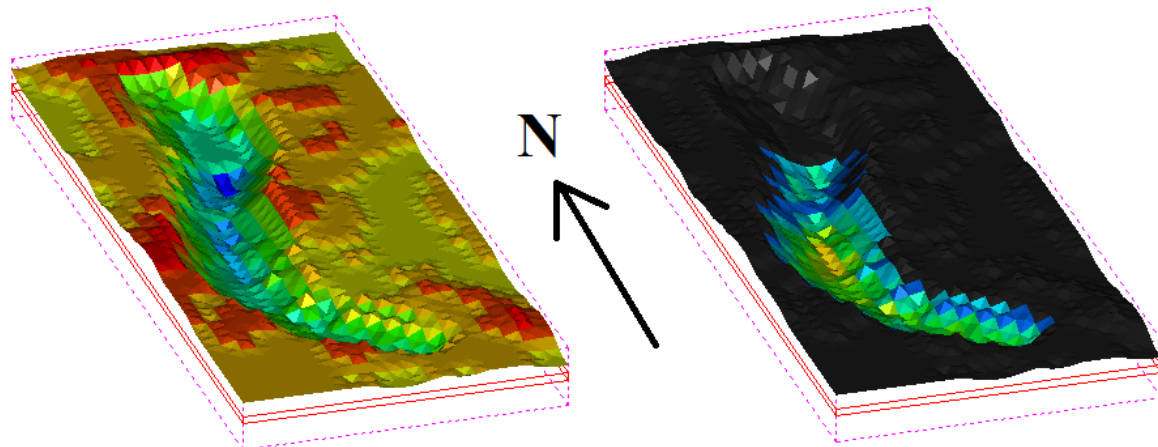
Tabell 4 og Tabell 5 viser en oversikt over talldataen til Alternativ 1, mens Figur 20 illustrerer bruddesignet.

**Tabell 4: Viser en oversikt over den totale bergmassen, hvordan bergmassen er fordelt mellom marmor og sideberg, omsetning, oppredningskostnader, uttakskostnader, investeringskostnader, NPV og gjennomsnittlig hvithet og syrerest (av marmoren) til Alternativ 1 (optimalisert brudd basert på blanding). Tabellen er hentet fra NPV Scheduler.**

<b>Alternativ 1: Optimalisert brudd basert på blanding</b>		
<b>Total mengde berg</b>	73,946,250	tonn
<b>Omsetning</b>	8,602,453,137	kroner
<b>Oppredningskostnader</b>	1,146,993,750	kroner
<b>Uttakskostnad</b>	1,297,839,375	kroner
<b>Investeringskostnader</b>	0	kroner
<b>NPV</b>	2,331,366,165	kroner
<b>Marmor</b>	57,349,688	tonn
<b>Sideberg</b>	16,596,563	tonn
<b>Hvithet</b>	95.3021	Snitt %
<b>Syrerest</b>	3.001	Snitt %

Tabell 5: Viser en oversikt over omsetning, oppredningskostnader, uttakskostnader for uttak av Alternativ 1 (optimalisert brudd basert på blanding) delt opp i 20 meters intervaller. Det første intervallet er fra 80 m.o.h. (meter over havet) til 60 m.o.h., det neste er fra 60 til 40 osv. Tabellen viser også den totale bergmassen per intervall og hvordan den er fordelt mellom marmor og sideberg. Tabellen er hentet fra NPV Scheduler.

<b>Alternativ 1: Optimalisert brudd basert på blanding</b>						
	Total mengde berg	Omsetning	Opprednings- kostnader	Uttaks- kostnad	Marmor	Sideberg
	tonn	kroner	kroner	kroner	tonn	tonn
m.o.h. 60.00	219,375	0	0	3,510,000	0	219,375
m.o.h. 40.00	3,611,250	288,562,500	38,475,000	61,627,500	1,923,750	1,687,500
m.o.h. 20.00	16,360,313	1,712,390,628	228,318,750	284,596,875	11,415,938	4,944,375
m.o.h. 0.00	17,988,750	2,076,890,633	276,918,750	315,511,875	13,845,938	4,142,813
m.o.h. -20.00	13,871,250	1,741,500,000	232,200,000	245,160,000	11,610,000	2,261,250
m.o.h. -40.00	10,285,313	1,414,968,751	188,662,500	183,431,250	9,433,125	852,188
m.o.h. -60.00	6,750,000	816,328,125	108,843,750	118,884,375	5,442,188	1,307,813
m.o.h. -80.00	3,510,000	402,468,750	53,662,500	61,526,250	2,683,125	826,875
m.o.h. -100.00	945,000	107,578,125	14,343,750	16,554,375	717,188	227,813
m.o.h. -120.00	405,000	41,765,625	5,568,750	7,036,875	278,438	126,563
<b>Total</b>	<b>73,946,250</b>	<b>8,602,453,137</b>	<b>1,146,993,750</b>	<b>1,297,839,375</b>	<b>57,349,688</b>	<b>16,596,563</b>



Figur 20: Illustrerer Alternativ 1 (optimalisert brudd basert på blanding). Bildet til venstre viser topografien etter uttak av endelig brudd. Bildet til høyre illustrerer området hvor det har pågått drift for å nå det endelige bruddet. Bildene er hentet fra NPV Scheduler.

**Alternativ 2** er en optimalisering basert på maksimering av ressursuttaket og ser bort fra kravet om blanding. Ellers er det tatt hensyn til resten av inndataparameterne og begrensningen beskrevet i kapittel 4. Størrelsen på bruddet vil gi en drift på ca. 25 år.

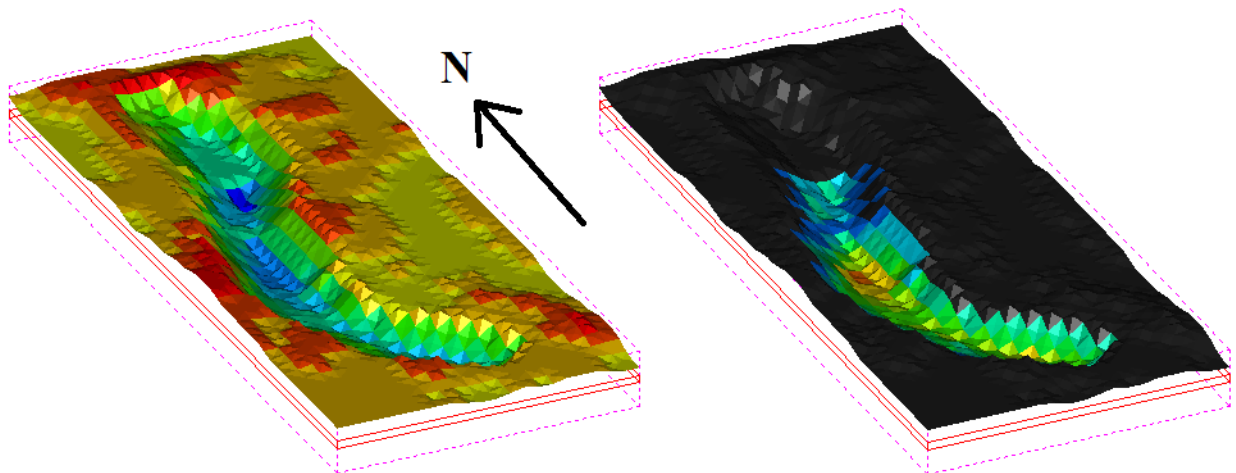
Tabell 6 og Tabell 7 viser en oversikt over talldataen til alternativ 2, mens Figur 21 illustrerer bruddesignet.

**Tabell 6: Viser en oversikt over den totale bergmassen, hvordan bergmassen er fordelt mellom marmor og sideberg, omsetning, oppredningskostnader, uttakskostnader, investeringskostnader, NPV og gjennomsnittlig hvithet og syrerest (av marmoren) til Alternativ 2 (optimalisert brudd basert på maksimering av ressursuttak). Tabellen er hentet fra NPV Scheduler.**

<b>Alternativ 2: Optimalisert brudd basert på maksimering av ressursuttak</b>		
<b>Total mengde berg</b>	87,716,250	ton
<b>Omsetning</b>	10,012,473,295	kroner
<b>Oppredningskostnader</b>	1,334,996,438	kroner
<b>Uttakskostnad</b>	1,538,308,125	kroner
<b>Investeringskostnader</b>	0	kroner
<b>NPV</b>	2,376,859,947	kroner
<b>Marmor</b>	67,424,063	ton
<b>Sideberg</b>	20,292,188	ton
<b>Hvithet</b>	95.2799	Snitt %
<b>Syrerest</b>	3.2729	Snitt %

Tabell 7: Viser en oversikt over omsetning, oppredningskostnader, uttakskostnader for uttak av Alternativ 2 (optimalisert brudd basert på maksimering av ressursuttak) delt opp i 20 meters vertikale intervaller. Det første intervallet er fra 80 m.o.h. (meter over havet) til 60 m.o.h., det neste er fra 60 til 40 osv. Tabellen viser også den totale bergmassen per intervall og hvordan den er fordelt mellom marmor og sideberg. Tabellen er hentet fra NPV Scheduler.

<b>Alternativ 2: Optimalisert brudd basert på maksimering av ressursuttak</b>						
	Total mengde berg	Omsetning	Opprednings- kostnader	Uttaks- kostnad	Marmor	Sideberg
	tonn	kroner	kroner	kroner	tonn	tonn
m.o.h. 60.00	219,375	0	0	3,510,000	0	219,375
m.o.h. 40.00	3,611,250	269,009,834	38,090,250	61,627,500	1,923,750	1,687,500
m.o.h. 20.00	16,360,313	1,599,534,033	226,035,563	284,596,875	11,415,938	4,944,375
m.o.h. 0.00	19,068,750	2,164,218,758	288,562,500	333,956,250	14,428,126	4,640,626
m.o.h. -20.00	16,436,250	2,019,937,500	269,325,000	289,912,500	13,466,250	2,970,000
m.o.h. -40.00	13,255,313	1,803,515,627	240,468,750	236,131,875	12,023,438	1,231,876
m.o.h. -60.00	10,530,000	1,282,078,130	170,943,750	185,574,375	8,547,188	1,982,813
m.o.h. -80.00	5,940,000	589,781,250	78,637,500	102,903,750	3,931,875	2,008,125
m.o.h. -100.00	1,890,000	211,359,375	28,181,250	33,058,125	1,409,063	480,938
m.o.h. -120.00	405,000	38,991,193	5,513,063	7,036,875	278,438	126,563
<b>Total</b>	<b>87,716,251</b>	<b>9,978,425,700</b>	<b>1,345,757,626</b>	<b>1,538,308,125</b>	<b>67,424,066</b>	<b>20,292,191</b>



Figur 21: Illustrerer Alternativ 2 (optimalisert brudd basert på maksimering av ressursuttak). Bildet til venstre viser topografien etter uttak av endelig brudd. Bildet til høyre illustrerer området hvor det har pågått drift for å nå det endelige bruddet. Bildene er hentet fra NPV Scheduler.

**Alternativ 3** er en optimalisering av bruddet basert på alle inndataparameterne, men har ingen begrensning i vertikal retning. Størrelsen på bruddet vil gi en drift på ca. 91 år.

Tabell 8 og Tabell 9 viser en oversikt over talldataen til alternativ 2, mens Figur 22 illustrerer bruddesignet.

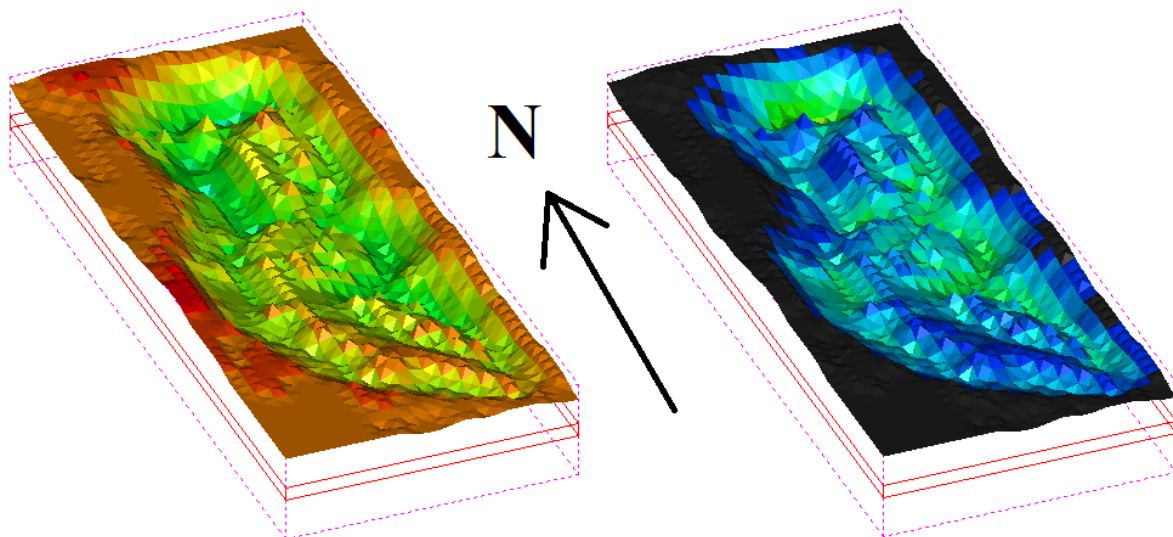
Tabell 8: Viser en oversikt over den totale bergmassen, hvordan bergmassen er fordelt mellom marmor og sideberg, omsetning, oppredningskostnader, uttakskostnader, investeringskostnader, NPV og gjennomsnittlig hvithet og syrerest (av marmoren) til Alternativ 3 (optimale brudd basert på blanding uten begrensning). Tabellen er hentet fra NPV Scheduler.

<b>Alternativ 3: Optimalisert brudd basert på blanding uten begrensning</b>		
<b>Total mengde berg</b>	318,178,125	tonn
<b>Omsetning</b>	13,302,499,237	kroner
<b>Oppredningskostnader</b>	1,773,702,563	kroner
<b>Uttakskostnad</b>	5,270,551,875	kroner
<b>Investeringskostnader</b>	0	kroner
<b>NPV</b>	2,340,721,352	kroner
<b>Marmor</b>	89,580,938	tonn
<b>Sideberg</b>	228,597,188	tonn
<b>Hvithet</b>	95.2204	Snitt %
<b>Syrerest</b>	3.0008	Snitt %



Tabell 9: Viser en oversikt over omsetning, oppredningskostnader, uttakskostnader for uttak av Alternativ 3 (optimalisert brudd basert på blanding uten begrensning) delt opp i 20 meters intervaller. Det første intervallet er fra 80 m.o.h. (meter over havet) til 60 m.o.h., det neste er fra 60 til 40 osv. Tabellen viser også den totale bergmassen per intervall og hvordan den er fordelt mellom marmor og sideberg. Tabellen er hentet fra NPV Scheduler.

<b>Alternativ 3: Optimalisert brudd basert på blanding uten begrensning</b>						
	Total mengde berg	Omsetning	Oppredningskostnader	Uttaks-kostnad	Marmor	Sideberg
	tonn	kroner	kroner	kroner	tonn	tonn
m.o.h. 60.00	928,125	0	0	14,850,000	0	928,125
m.o.h. 40.00	10,040,625	290,688,750	38,758,500	164,565,000	1,957,500	8,083,125
m.o.h. 20.00	44,592,188	2,059,880,630	274,650,750	741,217,500	13,871,250	30,720,938
m.o.h. 0.00	61,087,500	2,673,835,320	356,511,375	1,013,411,250	18,005,625	43,081,875
m.o.h. -20.00	59,923,125	2,182,671,565	291,022,875	988,166,250	14,698,125	45,225,000
m.o.h. -40.00	47,207,813	1,720,326,101	229,376,813	778,494,375	11,584,688	35,623,125
m.o.h. -60.00	35,538,750	1,400,819,062	186,775,875	587,486,250	9,433,125	26,105,625
m.o.h. -80.00	26,730,000	1,365,735,936	182,098,125	446,073,750	9,196,875	17,533,125
m.o.h. -100.00	16,065,000	791,876,251	105,583,500	267,705,000	5,332,500	10,732,500
m.o.h. -120.00	10,260,000	483,578,435	64,486,125	170,808,750	3,256,875	7,003,125
m.o.h. -140.00	4,725,000	270,556,876	36,085,500	79,413,750	1,822,500	2,902,500
m.o.h. -160.00	810,000	62,648,438	8,353,125	13,803,750	421,875	388,125
m.o.h. -180.00	270,000	-118,125	0	4,556,250	0	270,000
Total	318,178,125	13,302,499,237	1,773,702,563	5,270,551,875	89,580,938	228,597,188



Figur 22: Illustrerer Alternativ 3 (optimalisert brudd basert på blanding uten begrensning). Bildet til venstre viser topografien etter uttak av endelig brudd. Bildet til høyre illustrerer området hvor det har pågått drift for å nå det endelige bruddet. Bildene er hentet fra NPV Scheduler.

**Alternativ 4** er en optimalisering av bruddesignet basert på maksimering av ressursuttak der det er sett bort fra blanding og den har ingen begrensning i vertikal retning. Størrelsen på bruddet vil gi en drift på ca. 160 år.

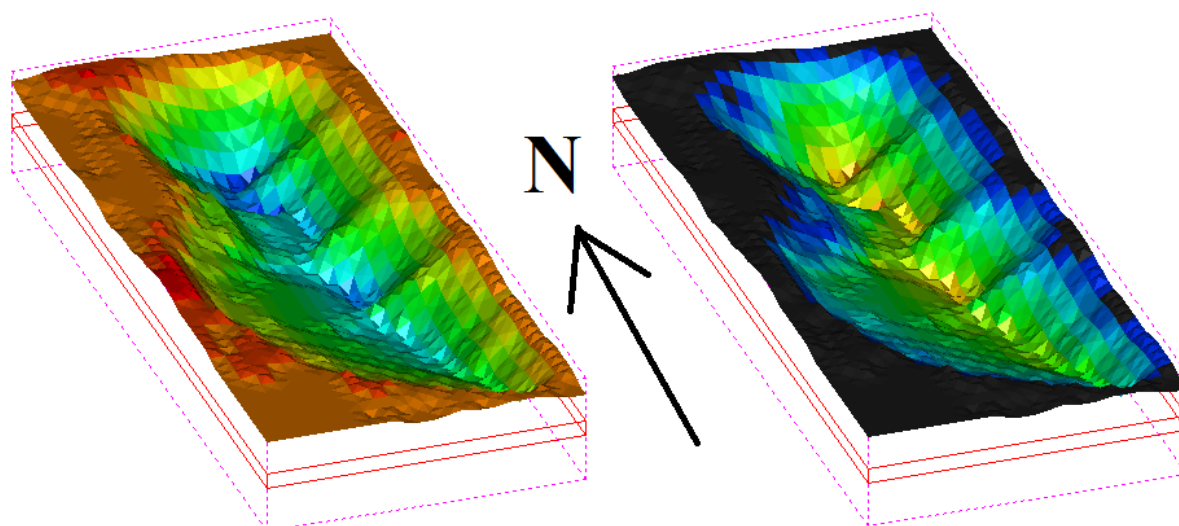
Tabell 10 og Tabell 11 viser en oversikt over talldataen til alternativ 2, mens Figur 23 illustrerer bruddesignet.

**Tabell 10: Viser en oversikt over den totale bergmassen, hvordan bergmassen er fordelt mellom marmor og sideberg, omsetning, oppredningskostnader, uttakskostnader, investeringskostnader, NPV og gjennomsnittlig hvithet og syrerest (av marmoren) til Alternativ 4 (optimalisert brudd basert på maksimering av ressursuttak uten begrensning). Tabellen er hentet fra NPV Scheduler.**

<b>Alternativ 4: Optimalisert brudd basert på maksimering av ressursuttak uten begrensning</b>		
<b>Total mengde berg</b>	571,843,125	tonn
<b>Omsetning</b>	37,072,451,323	kroner
<b>Oppredningskostnader</b>	4,943,045,250	kroner
<b>Uttakskostnad</b>	9,649,563,750	kroner
<b>Investeringskostnader</b>	0	kroner
<b>NPV</b>	2,387,741,532	kroner
<b>Marmor</b>	249,648,750	tonn
<b>Sideberg</b>	322,194,375	tonn
<b>Hvithet</b>	95.1332	Snitt %
<b>Syrerest</b>	3.8079	Snitt %

Tabell 11: Viser en oversikt over omsetning, oppredningskostnader, uttakskostnader for uttak av Alternativ 4 (optimalisert brudd basert på maksimering av ressursuttak uten begrensning) delt opp i 20 meters vertikale intervaller. Det første intervallet er fra 80 m.o.h. (meter over havet) til 60 m.o.h., det neste er fra 60 til 40 osv. Tabellen viser også den totale bergmassen per intervall og hvordan den er fordelt mellom marmor og sideberg. Tabellen er hentet fra NPV Scheduler.

<b>Alternativ 4: Optimalisert brudd basert på maksimering av ressursuttak uten begrensning</b>						
	Total mengde berg	Omsetning	Opprednings-kostnader	Uttaks-kostnad	Marmor	Sideberg
	tonn	kroner	kroner	kroner	tonn	tonn
m.o.h. 60.00	928,125	0	0	14,850,000	0	928,125
m.o.h. 40.00	10,040,625	290,688,750	38,758,500	164,565,000	1,957,500	8,083,125
m.o.h. 20.00	45,132,188	2,108,746,412	281,166,188	750,515,625	14,200,313	30,931,876
m.o.h. 0.00	64,867,500	2,951,994,384	393,599,250	1,077,637,500	19,878,750	44,988,750
m.o.h. -20.00	68,833,125	2,936,958,754	391,594,500	1,140,885,000	19,777,500	49,055,625
m.o.h. -40.00	64,487,813	3,310,343,455	441,379,126	1,076,388,750	22,291,876	42,195,938
m.o.h. -60.00	61,053,750	3,555,925,326	474,123,375	1,024,751,250	23,945,625	37,108,125
m.o.h. -80.00	56,295,000	3,733,846,872	497,846,250	951,007,500	25,143,750	31,151,250
m.o.h. -100.00	47,385,000	3,649,897,982	486,653,063	807,316,875	24,578,438	22,806,563
m.o.h. -120.00	41,310,000	3,555,857,815	474,123,375	708,986,250	23,945,625	17,364,375
m.o.h. -140.00	33,750,000	3,257,634,377	434,362,500	584,043,750	21,937,500	11,812,500
m.o.h. -160.00	26,865,000	2,842,986,103	379,064,813	468,129,375	19,144,688	7,720,313
m.o.h. -180.00	21,600,000	2,197,504,688	293,027,625	375,603,750	14,799,375	6,800,625
m.o.h. -200.00	14,175,000	1,338,136,873	178,422,750	244,890,000	9,011,250	5,163,750
m.o.h. -220.00	7,830,000	768,069,850	102,409,313	135,624,375	5,172,188	2,657,813
m.o.h. -240.00	4,320,000	379,649,531	50,619,938	74,233,125	2,556,563	1,763,438
m.o.h. -260.00	2,160,000	142,838,437	19,045,125	36,483,750	961,875	1,198,125
m.o.h. -280.00	810,000	51,371,719	6,849,563	13,651,875	345,938	464,063
Total	571,843,125	37,072,451,323	4,943,045,250	9,649,563,750	249,648,750	322,194,375



Figur 23: Illustrerer Alternativ 4 (optimalisert brudd basert på maksimering av ressursuttak uten begrensning). Bildet til venstre viser topografien etter uttak av endelig brudd. Bildet til høyre illustrerer området hvor det har pågått drift for å nå det endelige bruddet. Bildene er hentet fra NPV Scheduler.

### 5.2.1 Diskonteringssats

I Tabell 12 er det laget en oversikt over hvordan NPV endrer seg for Alternativ 1 til 4 ved endring av diskonteringssatsen til prosjektet.

**Tabell 12:** Viser hvordan NPVen endrer seg ved forskjellige diskonteringssatser til Alternativ 1, 2, 3 og 4. Tabellen er laget på bakgrunn av informasjon fra NPV Scheduler.

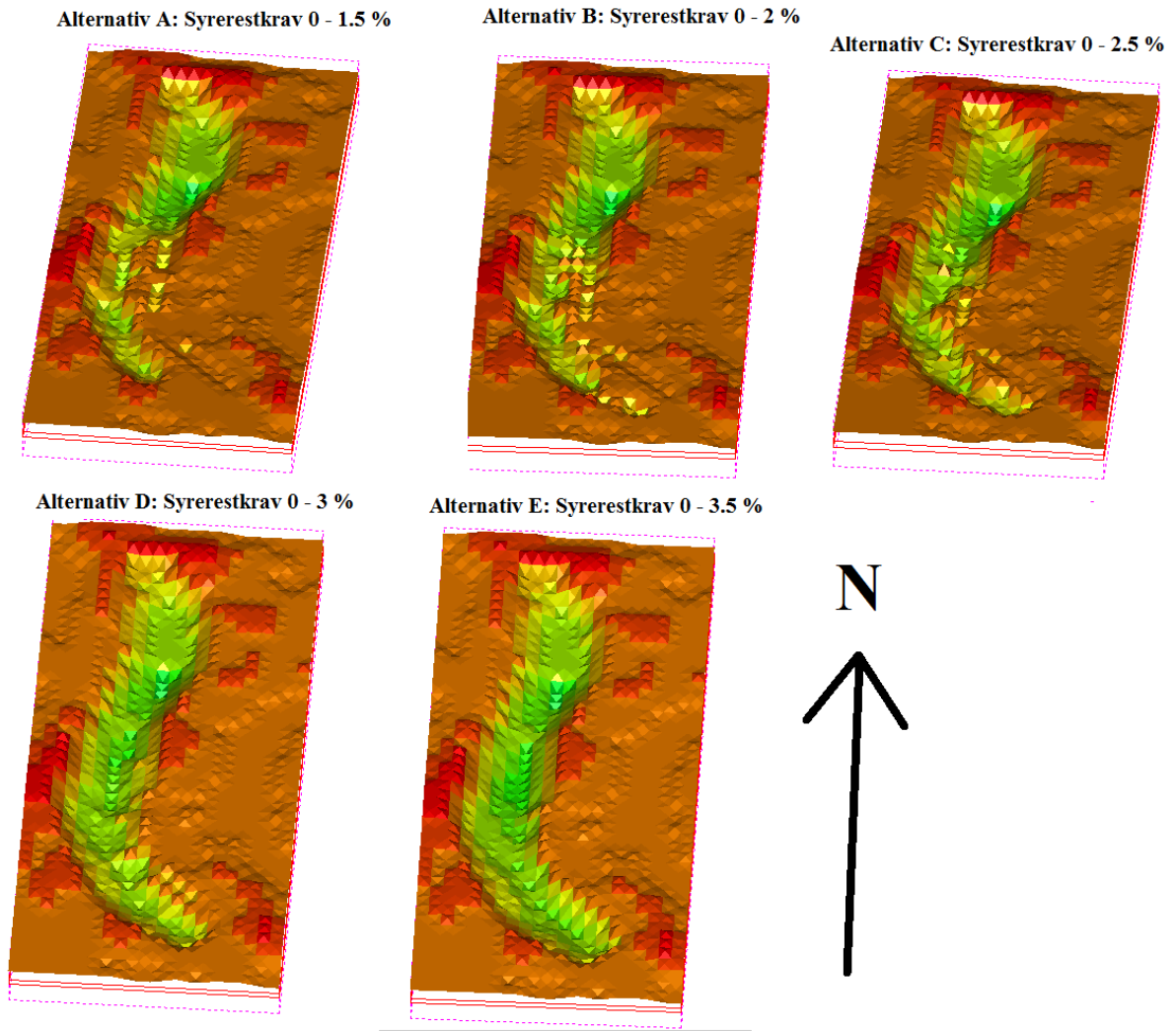
	<b>Alternativ 1</b>	<b>Alternativ 2</b>	<b>Alternativ 3</b>	<b>Alternativ 4</b>
<b>Diskonteringssats</b>	NPV [kroner]	NPV [kroner]	NPV [kroner]	NPV [kroner]
<b>5 %</b>	4,182,905,841	4,615,866,304	4,310,788,450	6,013,407,939
<b>10 %</b>	3,031,201,156	3,209,005,434	3,102,121,396	3,355,821,047
<b>11 %</b>	2,858,953,977	3,007,797,916	2,921,314,417	3,099,972,642
<b>12 %</b>	2,701,515,967	2,826,125,168	2,756,273,711	2,883,046,191
<b>13 %</b>	2,557,369,423	2,661,696,986	2,605,417,741	2,695,980,778
<b>14 %</b>	2,425,167,659	2,512,520,690	2,467,325,208	2,532,408,324
<b>15 %</b>	2,303,714,578	2,376,859,947	2,340,721,352	2,387,741,532

### 5.2.2 Blanding

I Tabell 13 og Figur 24 er det vist hvordan størrelsen og NPVen til det endelige bruddet endrer seg ved forskjellige krav til syrerest. De fem alternativene som er laget her er basert på alle inndataparameterne og begrensningene som er beskrevet i kapittel 4, med unntak av syrerestkravet.

**Tabell 13:** Viser hvordan størrelsen, NPVen og hvithet endrer seg ved forskjellige krav til syrerest.

<b>Alternativ</b>	<b>Syrerest Krav [%]</b>	<b>Syrerest Snitt [%]</b>	<b>Total mengde berg [tonn]</b>	<b>Marmor [tonn]</b>	<b>NPV [kroner]</b>	<b>Hvithet [%]</b>
<b>A</b>	0 - 1.5	1.5005	38,863,125	28,029,375	1,736,260,545	95.3162
<b>B</b>	0 - 2	2.0007	46,693,125	34,256,250	1,921,238,910	95.2994
<b>C</b>	0 - 2.5	2.5004	55,923,750	42,744,375	2,111,259,413	95.2938
<b>D</b>	0 - 3	3.001	73,946,250	57,349,688	2,331,366,165	95.3021
<b>E</b>	0 - 3.5	3.2729	87,716,250	67,424,063	2,378,489,239	95.2799



Figur 24: Illustrerer optimal bruddutforming ved forskjellige krav til syrerest. Bildene er hentet fra NPV Scheduler.



## 5.3 Pushback

Det er dannet pushbacker til Alternativ 1 og 2.

### 5.3.1 Alternativ 1: Optimalt brudd basert på blanding

Til alternativ 1 er det dannet to forskjellige pushbackalternativer. Disse har navnene:

1. Alternativ 1: Optimalisert brudd basert på blanding.
2. Alternativ 1B: Optimalisert brudd basert på blanding uten pushbackbegrensning.

Det første alternativet er pushbacker dannet på bakgrunn av pushbackbegrensningene, se kapittel 4. Det andre alternativet er dannet uten pushbackbegrensning i det vertikale planet.

I **Alternativ 1** (optimalisert brudd basert på blanding) er det dannet åtte pushbacker. I Tabell 14 til Tabell 22 vises en oversikt over talldataen til pushbackene og Figur 25 illustrerer pushbackutviklingen.

**Tabell 14: Viser en oversikt over den totale bergmassen, hvordan bergmassen er fordelt mellom marmor og sideberg, omsetning, oppredningskostnader, uttakskostnader, investeringskostnader, NPV og gjennomsnittlig hvithet og syrerest (til marmoren) for hvert enkelt pushback i Alternativ 1 (optimalisert brudd basert på blanding). Tabellen er hentet fra NPV Scheduler.**

Alternativ 1: Optimalisert brudd basert på blanding										
	Total mengde berg	Omsetning	Opprednings- kostnader	Uttaks- kostnad	Investerings- kostnader	NPV	Marmor	Sideberg	Hvithet	Syrerest
Pushback	tonn	kroner	kroner	kroner	kroner	kroner	tonn	tonn	Snitt %	Snitt %
1	12,124,688	1,414,601,717	188,613,563	213,046,875	0	829,620,059	9,525,938	2,598,750	95.0162	3.2769
2	7,230,938	834,477,187	111,263,625	126,933,750	0	350,837,639	5,619,375	1,611,563	95.2633	3.5063
3	12,133,125	1,522,357,027	202,980,938	214,633,125	0	465,197,294	10,251,563	1,881,563	95.6144	3.4967
4	10,901,250	1,166,513,909	155,535,188	190,130,625	0	233,157,944	7,855,313	3,045,938	95.5253	3.0157
5	11,019,375	1,344,435,472	179,258,063	194,416,875	0	193,144,295	9,053,438	1,965,938	95.2408	1.9048
6	8,850,938	1,004,880,942	133,984,125	155,148,750	0	101,104,033	6,766,875	2,084,063	95.241	2.1363
7	11,500,313	1,209,114,850	161,215,313	200,289,375	0	86,991,087	8,142,188	3,358,125	95.1727	3.6537
8	185,625	20,047,500	2,673,000	3,240,000	0	1,209,785	135,000	50,625	95.3696	1.4965
<b>Total</b>	<b>73,946,250</b>	<b>8,516,428,603</b>	<b>1,135,523,813</b>	<b>1,297,839,375</b>	<b>0</b>	<b>2,261,262,136</b>	<b>57,349,688</b>	<b>16,596,563</b>	<b>95.3021</b>	<b>3.001</b>

Tabell 15: Viser en oversikt over omsetning, oppredningskostnader og uttakskostnader for uttak av pushback 1 delt opp i 20 meters intervaller i vertikal retning. Det første intervallet er fra 40 m.o.h. (meter over havet) til 20 m.o.h., det neste er fra 20 til 0 osv. Tabellen viser også den totale bergmassen per intervall og hvordan den er fordelt mellom marmor og sideberg. Tabellen er hentet fra NPV Scheduler.

<b>Alternativ 1: Optimalisert brudd basert på blanding</b>						
Pushback 1	Total mengde berg	Omsetning	Opprednings- kostnader	Uttaks- kostnad	Marmor	Sideberg
	tonn	kroner	kroner	kroner	tonn	tonn
m.o.h. 20.00	67,500	7,517,813	1,002,375	1,181,250	50,625	16,875
m.o.h. 0.00	1,400,625	137,826,563	18,376,875	24,266,250	928,125	472,500
m.o.h. -20.00	1,181,250	125,296,875	16,706,250	20,587,500	843,750	337,500
m.o.h. -40.00	2,590,313	343,313,438	45,775,125	46,068,750	2,311,875	278,438
m.o.h. -60.00	3,375,000	417,238,592	55,631,813	59,619,375	2,809,688	565,313
m.o.h. -80.00	2,430,000	258,111,562	34,414,875	42,356,250	1,738,125	691,875
m.o.h. -100.00	675,000	83,948,906	11,193,188	11,930,625	565,313	109,688
m.o.h. -120.00	405,000	41,347,968	5,513,063	7,036,875	278,438	126,563
<b>Total</b>	<b>12,124,688</b>	<b>1,414,601,717</b>	<b>188,613,563</b>	<b>213,046,875</b>	<b>9,525,938</b>	<b>2,598,750</b>

Tabell 16: Viser en oversikt over omsetning, oppredningskostnader og uttakskostnader for uttak av pushback 2 delt opp i 20 meters intervaller i vertikal retning. Det første intervallet er fra 80 m.o.h. (meter over havet) til 60 m.o.h., det neste er fra 60 til 40 osv. Tabellen viser også den totale bergmassen per intervall og hvordan den er fordelt mellom marmor og sideberg. Tabellen er hentet fra NPV Scheduler.

<b>Alternativ 1: Optimalisert brudd basert på blanding</b>						
Pushback 2	Total mengde berg	Omsetning	Opprednings- kostnader	Uttaks- kostnad	Marmor	Sideberg
	tonn	kroner	kroner	kroner	tonn	tonn
m.o.h. 60.00	67,500	0	0	1,080,000	0	67,500
m.o.h. 40.00	590,625	42,600,938	5,680,125	10,023,750	286,875	303,750
m.o.h. 20.00	1,577,813	165,391,875	22,052,250	27,472,500	1,113,750	464,063
m.o.h. 0.00	1,755,000	200,474,999	26,730,000	30,780,000	1,350,000	405,000
m.o.h. -20.00	1,080,000	130,308,750	17,374,500	19,035,000	877,500	202,500
m.o.h. -40.00	945,000	137,826,562	18,376,875	16,976,250	928,125	16,875
m.o.h. -60.00	540,000	80,190,000	10,692,000	9,720,000	540,000	0
m.o.h. -80.00	405,000	55,130,625	7,350,750	7,222,500	371,250	33,750
m.o.h. -100.00	270,000	22,553,438	3,007,125	4,623,750	151,875	118,125
<b>Total</b>	<b>7,230,938</b>	<b>834,477,187</b>	<b>111,263,625</b>	<b>126,933,750</b>	<b>5,619,375</b>	<b>1,611,563</b>

Tabell 17: Viser en oversikt over omsetning, oppredningskostnader og uttakskostnader for uttak av pushback 3 delt opp i 20 meters intervaller i vertikal retning. Det første intervallet er fra 80 m.o.h. (meter over havet) til 60 m.o.h., det neste er fra 60 til 40 osv. Tabellen viser også den totale bergmassen per intervall og hvordan den er fordelt mellom marmor og sideberg. Tabellen er hentet fra NPV Scheduler.

<b>Alternativ 1: Optimalisert brudd basert på blanding</b>						
Pushback 3	Total mengde berg	Omsetning	Oppredningskostnader	Uttaks-kostnad	Marmor	Sideberg
	tonn	kroner	kroner	kroner	tonn	tonn
m.o.h. 60.00	33,750	0	0	540,000	0	33,750
m.o.h. 40.00	1,029,375	90,213,750	12,028,500	17,685,000	607,500	421,875
m.o.h. 20.00	2,835,000	352,084,218	46,944,563	50,101,875	2,370,938	464,063
m.o.h. 0.00	2,835,000	348,325,311	46,443,375	50,051,250	2,345,625	489,375
m.o.h. -20.00	2,430,000	300,712,500	40,095,000	42,930,000	2,025,000	405,000
m.o.h. -40.00	1,485,000	220,522,500	29,403,000	26,730,000	1,485,000	0
m.o.h. -60.00	945,000	137,826,562	18,376,875	16,976,250	928,125	16,875
m.o.h. -80.00	540,000	72,672,187	9,689,625	9,618,750	489,375	50,625
<b>Total</b>	<b>12,133,125</b>	<b>1,522,357,027</b>	<b>202,980,938</b>	<b>214,633,125</b>	<b>10,251,563</b>	<b>1,881,563</b>

Tabell 18: Viser en oversikt over omsetning, oppredningskostnader og uttakskostnader for uttak av pushback 4 delt opp i 20 meters intervaller i vertikal retning. Det første intervallet er fra 80 m.o.h. (meter over havet) til 60 m.o.h., det neste er fra 60 til 40 osv. Tabellen viser også den totale bergmassen per intervall og hvordan den er fordelt mellom marmor og sideberg. Tabellen er hentet fra NPV Scheduler.

<b>Alternativ 1: Optimalisert brudd basert på blanding</b>						
Pushback 4	Total mengde berg	Omsetning	Oppredningskostnader	Uttaks-kostnad	Marmor	Sideberg
	tonn	kroner	kroner	kroner	tonn	tonn
m.o.h. 60.00	118,125	0	0	1,890,000	0	118,125
m.o.h. 40.00	742,500	12,529,688	1,670,625	12,048,750	84,375	658,125
m.o.h. 20.00	2,345,625	234,305,157	31,240,688	40,685,625	1,577,813	767,813
m.o.h. 0.00	2,970,000	295,700,626	39,426,750	51,502,500	1,991,250	978,750
m.o.h. -20.00	2,025,000	258,111,563	34,414,875	35,876,250	1,738,125	286,875
m.o.h. -40.00	1,890,000	265,629,376	35,417,250	33,817,500	1,788,750	101,250
m.o.h. -60.00	675,000	87,707,812	11,694,375	11,981,250	590,625	84,375
m.o.h. -80.00	135,000	12,529,688	1,670,625	2,328,750	84,375	50,625
<b>Total</b>	<b>10,901,250</b>	<b>1,166,513,909</b>	<b>155,535,188</b>	<b>190,130,625</b>	<b>7,855,313</b>	<b>3,045,938</b>



Tabell 19: Viser en oversikt over omsetning, oppredningskostnader og uttakskostnader for uttak av pushback 5 delt opp i 20 meters intervaller i vertikal retning. Det første intervallet er fra 60 m.o.h. (meter over havet) til 40 m.o.h., det neste er fra 40 til 20 osv. Tabellen viser også den totale bergmassen per intervall og hvordan den er fordelt mellom marmor og sideberg. Tabellen er hentet fra NPV Scheduler.

<b>Alternativ 1: Optimalisert brudd basert på blanding</b>						
<b>Pushback 5</b>	<b>Total mengde berg</b>	<b>Omsetning</b>	<b>Opprednings- kostnader</b>	<b>Uttaks- kostnad</b>	<b>Marmor</b>	<b>Sideberg</b>
	tonn	kroner	kroner	kroner	tonn	tonn
<b>m.o.h. 40.00</b>	759,375	102,743,438	13,699,125	13,533,750	691,875	67,500
<b>m.o.h. 20.00</b>	2,565,000	308,230,314	41,097,375	45,191,250	2,075,625	489,375
<b>m.o.h. 0.00</b>	2,970,000	340,807,503	45,441,000	52,110,000	2,295,000	675,000
<b>m.o.h. -20.00</b>	2,565,000	338,301,561	45,106,875	45,596,250	2,278,125	286,875
<b>m.o.h. -40.00</b>	1,350,000	189,198,282	25,226,438	24,148,125	1,274,063	75,938
<b>m.o.h. -60.00</b>	810,000	65,154,376	8,687,250	13,837,500	438,750	371,250
<b>Total</b>	<b>11,019,375</b>	<b>1,344,435,472</b>	<b>179,258,063</b>	<b>194,416,875</b>	<b>9,053,438</b>	<b>1,965,938</b>

Tabell 20: Viser en oversikt over omsetning, oppredningskostnader og uttakskostnader for uttak av pushback 6 delt opp i 20 meters intervaller i vertikal retning. Det første intervallet er fra 60 m.o.h. (meter over havet) til 40 m.o.h., det neste er fra 40 til 20 osv. Tabellen viser også den totale bergmassen per intervall og hvordan den er fordelt mellom marmor og sideberg. Tabellen er hentet fra NPV Scheduler.

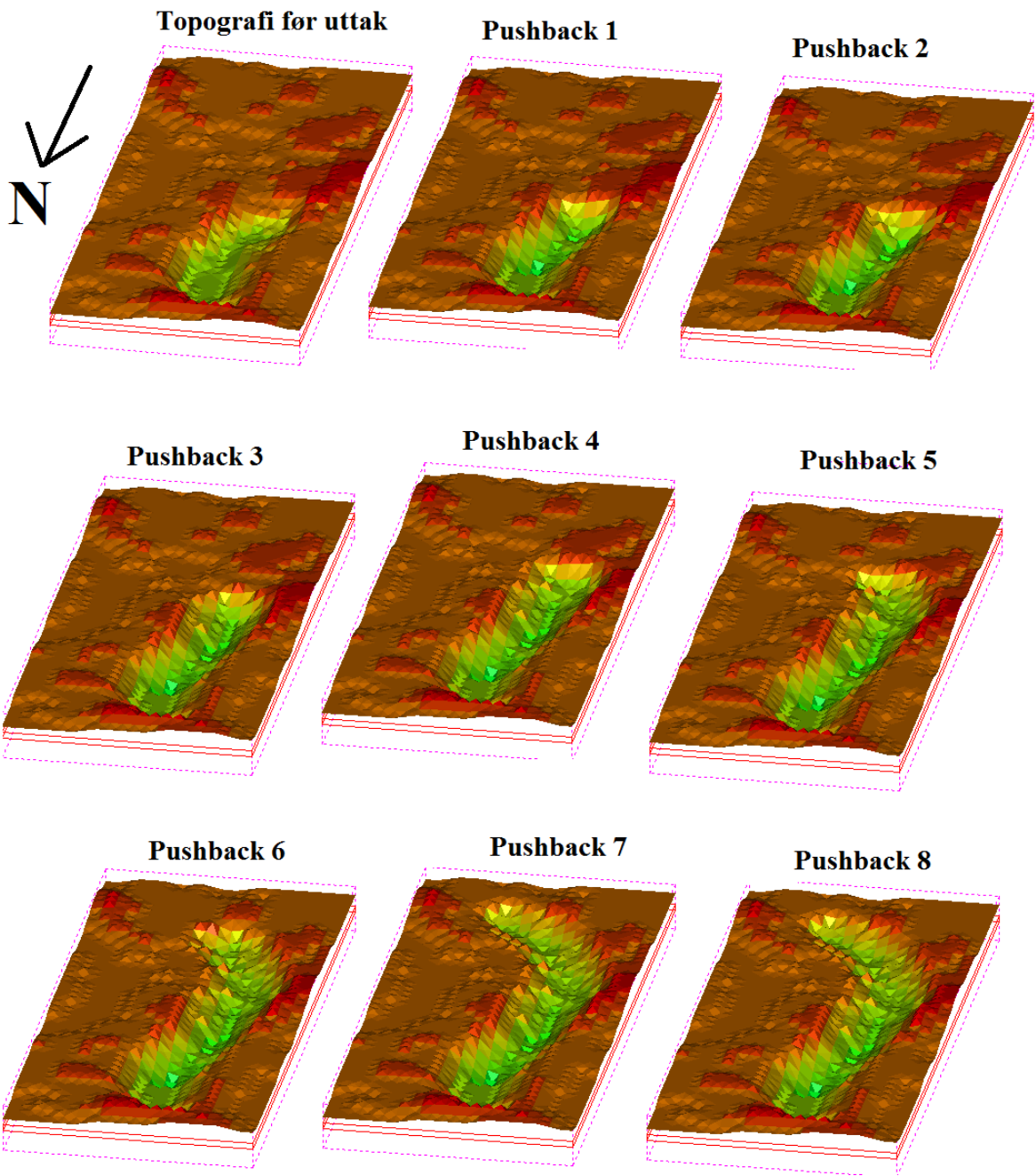
<b>Alternativ 1: Optimalisert brudd basert på blanding</b>						
<b>Pushback 6</b>	<b>Total mengde berg</b>	<b>Omsetning</b>	<b>Opprednings- kostnader</b>	<b>Uttaks- kostnad</b>	<b>Marmor</b>	<b>Sideberg</b>
	tonn	kroner	kroner	kroner	tonn	tonn
<b>m.o.h. 40.00</b>	337,500	32,577,188	4,343,625	5,838,750	219,375	118,125
<b>m.o.h. 20.00</b>	2,725,313	276,906,096	36,920,813	47,334,375	1,864,688	860,625
<b>m.o.h. 0.00</b>	2,683,125	329,530,782	43,937,438	47,368,125	2,219,063	464,063
<b>m.o.h. -20.00</b>	1,890,000	228,040,313	30,405,375	33,311,250	1,535,625	354,375
<b>m.o.h. -40.00</b>	945,000	121,537,970	16,205,063	16,756,875	818,438	126,563
<b>m.o.h. -60.00</b>	270,000	16,288,594	2,171,813	4,539,375	109,688	160,313
<b>Total</b>	<b>8,850,938</b>	<b>1,004,880,942</b>	<b>133,984,125</b>	<b>155,148,750</b>	<b>6,766,875</b>	<b>2,084,063</b>

Tabell 21: Viser en oversikt over omsetning, oppredningskostnader og uttakskostnader for uttak av pushback 7 delt opp i 20 meters intervaller i vertikal retning. Det første intervallet er fra 60 m.o.h. (meter over havet) til 40 m.o.h., det neste er fra 40 til 20 osv. Tabellen viser også den totale bergmassen per intervall og hvordan den er fordelt mellom marmor og sideberg. Tabellen er hentet fra NPV Scheduler.

<b>Alternativ 1: Optimalisert brudd basert på blanding</b>						
Pushback 7	Total mengde berg	Omsetning	Oppredningskostnader	Uttaks-kostnad	Marmor	Sideberg
	tonn	kroner	kroner	kroner	tonn	tonn
m.o.h. 40.00	101,250	5,011,875	668,250	1,687,500	33,750	67,500
m.o.h. 20.00	4,244,063	350,831,251	46,777,500	72,630,000	2,362,500	1,881,563
m.o.h. 0.00	3,375,000	403,455,941	53,794,125	59,433,750	2,716,875	658,125
m.o.h. -20.00	2,565,000	323,265,937	43,102,125	45,393,750	2,176,875	388,125
m.o.h. -40.00	1,080,000	122,790,939	16,372,125	18,933,750	826,875	253,125
m.o.h. -60.00	135,000	3,758,906	501,188	2,210,625	25,313	109,688
<b>Total</b>	<b>11,500,313</b>	<b>1,209,114,850</b>	<b>161,215,313</b>	<b>200,289,375</b>	<b>8,142,188</b>	<b>3,358,125</b>

Tabell 22: Viser en oversikt over omsetning, oppredningskostnader og uttakskostnader for uttak av pushback 8 delt opp i 20 meters intervaller i vertikal retning. Det første intervallet er fra 60 m.o.h. (meter over havet) til 40 m.o.h., det neste er fra 40 til 20 osv. Tabellen viser også den totale bergmassen per intervall og hvordan den er fordelt mellom marmor og sideberg. Tabellen er hentet fra NPV Scheduler.

<b>Alternativ 1: Optimalisert brudd basert på blanding</b>						
Pushback 8	Total mengde berg	Omsetning	Oppredningskostnader	Uttaks-kostnad	Marmor	Sideberg
	tonn	kroner	kroner	kroner	tonn	tonn
m.o.h. 40.00	50,625	0	0	810,000	0	50,625
m.o.h. 20.00	0	0	0	0	0	0
m.o.h. 0.00	0	0	0	0	0	0
m.o.h. -20.00	135,000	20,047,500	2,673,000	2,430,000	135,000	0
<b>Total</b>	<b>185,625</b>	<b>20,047,500</b>	<b>2,673,000</b>	<b>3,240,000</b>	<b>135,000</b>	<b>50,625</b>

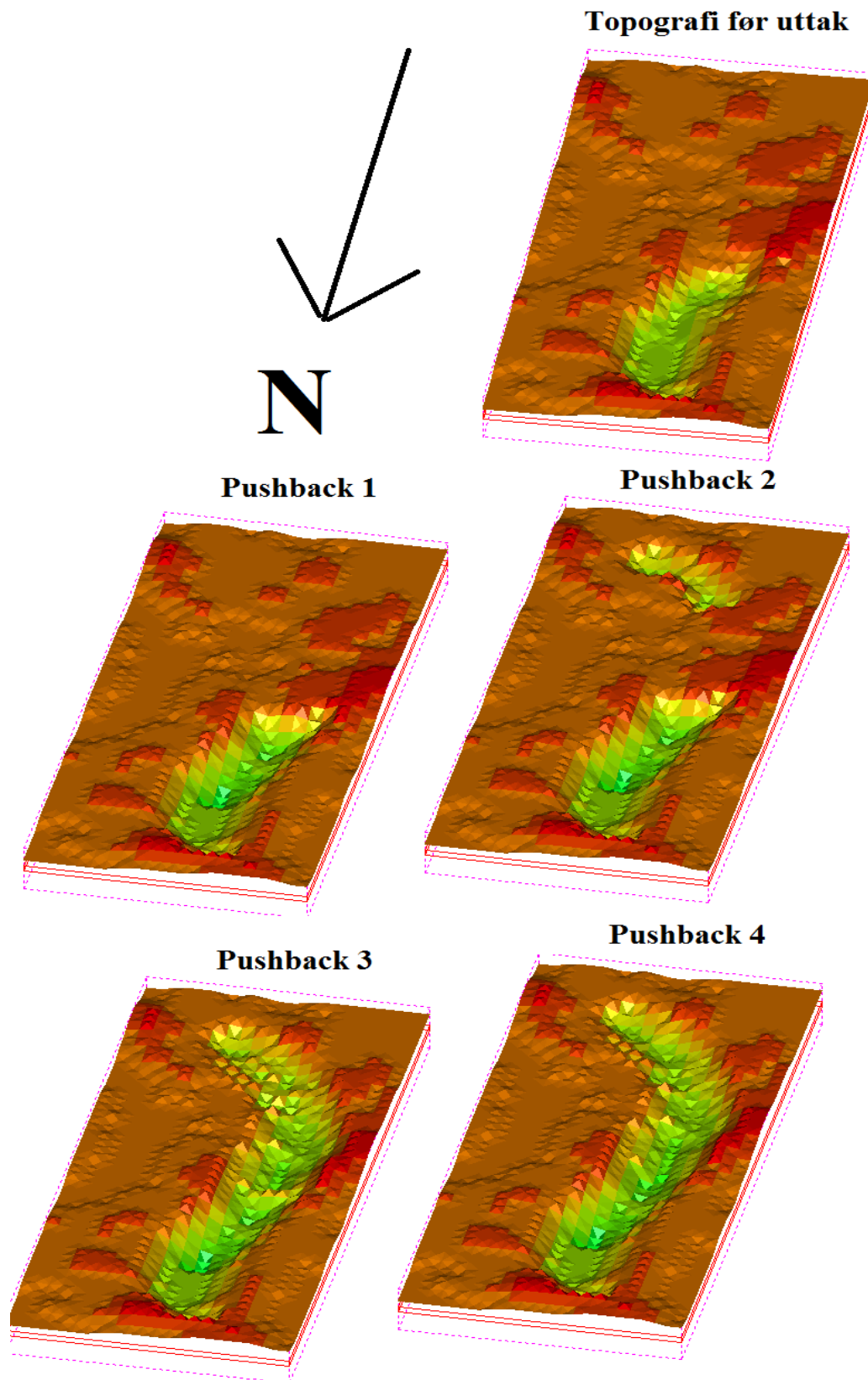


Figur 25: Illustrerer hvordan pushbackene utvikler seg for alternativ 1 (optimalisert brudd basert på blanding). Figuren er hentet fra NPV Scheduler.

I **Alternativ 1B** (optimalisert brudd basert på blanding uten pushbackbegrensning) er det dannet fire pushbacker. Tabell 23 viser en oversikt over talldataen til pushbackene og Figur 26 illustrerer pushbackutviklingen.

**Tabell 23: Viser en oversikt over den totale bergmassen, hvordan bergmassen er fordelt mellom marmor og sideberg, omsetning, oppredningskostnader, uttakskostnader, investeringskostnader, NPV og gjennomsnittlig hvithet- og syrerest (til marmoren) for hvert enkelt pushback i Alternativ 1B (optimalisert brudd basert på blanding uten pushbackbegrensning). Tabellen er hentet fra NPV Scheduler.**

<b>Alternativ 1B: Optimalisert brudd basert på blanding uten pushbackbegrensning</b>										
	Total mengde berg	Omsetning	Opprednings- kostnader	Uttaks- kostnad	Investerings- kostnader	NPV	Marmor	Sideberg	Hvithet	Syrerest
Pushback	tonn	kroner	kroner	kroner	kroner	kroner	tonn	tonn	Snitt %	Snitt %
1	13,592,813	1,531,127,810	204,150,375	238,106,250	0	876,394,349	10,310,625	3,282,188	95.0471	3.1283
2	13,365,000	1,587,511,413	211,668,188	235,220,625	0	586,923,530	10,690,313	2,674,688	95.1933	2.6049
3	42,668,438	4,855,253,909	647,367,188	748,085,625	0	748,519,528	32,695,313	9,973,125	95.4356	2.9415
4	4,320,000	542,535,471	72,338,063	76,426,875	0	36,429,301	3,653,438	666,563	95.1453	4.3327
<b>Total</b>	<b>73,946,250</b>	<b>8,516,428,603</b>	<b>1,135,523,813</b>	<b>1,297,839,375</b>	<b>0</b>	<b>2,248,266,709</b>	<b>57,349,688</b>	<b>16,596,563</b>	<b>95.3021</b>	<b>3.001</b>



Figur 26: Illustrerer hvordan pushbackene utvikler seg for alternativ 1B (optimalisert brudd basert på blanding uten pushbackbegrensning). Figuren er hentet fra NPV Scheduler.

### 5.3.2 Alternativ 2: Optimalt brudd basert på maksimering av ressursuttak

Til alternativ 2 er det dannet to forskjellige pushbackalternativer. Disse har navnene:

1. Alternativ 2: Optimalisert brudd basert på maksimering av ressursuttak.
2. Alternativ 2B: Optimalisert brudd basert på maksimering av ressursuttak uten pushbackbegrensning.

Det første alternativet er pushbacker dannet på bakgrunn av pushbackbegrensningene, se kapittel 4. Det andre alternativet er dannet uten pushbackbegrensning i det vertikale planet.

I **Alternativ 2** (optimalisert brudd basert på maksimering av ressursuttak) er det dannet åtte pushbacker. I Tabell 24 til Tabell 32 vises en oversikt over talldataen til pushbackene og Figur 27 illustrerer pushbackutviklingen.

**Tabell 24: Viser en oversikt over den totale bergmassen, hvordan bergmassen er fordelt mellom marmor og sideberg, omsetning, oppredningskostnader, uttakskostnader, investeringskostnader, NPV og gjennomsnittlig hvithet- og syrerest (til marmoren) for hvert enkelt pushback i alternativ 2 (optimalisert brudd basert på maksimering av ressursuttak). Tabellen er hentet fra NPV Scheduler.**

Alternativ 2: Optimalisert brudd basert på maksimering av ressursuttak										
	Total mengde berg	Omsetning	Opprednings- kostnader	Uttaks- kostnad	Investerings- kostnader	NPV	Marmor	Sideberg	Hvithet	Syrerest
Pushback	tonn	kroner	kroner	kroner	kroner	kroner	tonn	tonn	Snitt %	Snitt %
1	12,259,688	1,424,625,467	189,950,063	215,341,875	0	833,852,753	9,593,438	2,666,250	95.011	3.2888
2	7,905,938	907,149,374	120,953,250	138,712,500	0	376,066,665	6,108,750	1,797,188	95.2172	3.6623
3	14,833,125	1,808,033,900	241,071,188	261,680,625	0	517,269,116	12,175,313	2,657,813	95.5192	3.7639
4	13,196,250	1,388,289,378	185,105,250	229,837,500	0	241,384,969	9,348,750	3,847,500	95.513	3.213
5	12,774,375	1,559,946,100	207,992,813	225,399,375	0	183,652,912	10,504,688	2,269,688	95.2533	2.3421
6	10,740,938	1,212,873,756	161,716,500	188,190,000	0	93,908,342	8,167,500	2,573,438	95.2521	2.5557
7	15,685,313	1,680,231,102	224,030,813	273,594,375	0	85,036,259	11,314,688	4,370,625	95.1389	3.949
8	320,625	31,324,219	4,176,563	5,551,875	0	1,202,988	210,938	109,688	95.1471	3.453
<b>Total</b>	<b>87,716,250</b>	<b>10,012,473,295</b>	<b>1,334,996,438</b>	<b>1,538,308,125</b>	<b>0</b>	<b>2,332,374,006</b>	<b>67,424,063</b>	<b>20,292,188</b>	<b>95.2799</b>	<b>3.2729</b>



Tabell 25: Viser en oversikt over omsetning, oppredningskostnader og uttakskostnader for uttak av pushback 1 delt opp i 20 meters intervaller i vertikal retning. Det første intervallet er fra 40 m.o.h. (meter over havet) til 20 m.o.h., det neste er fra 20 til 0 osv. Tabellen viser også den totale bergmassen per intervall og hvordan den er fordelt mellom marmor og sideberg. Tabellen er hentet fra NPV Scheduler.

<b>Alternativ 2: Optimalisert brudd basert på maksimering av ressursuttak</b>						
Pushback 1	Total mengde berg	Omsetning	Oppredningskostnader	Uttaks-kostnader	Marmor	Sideberg
	tonn	kroner	kroner	kroner	tonn	tonn
m.o.h. 20.00	67,500	7,517,813	1,002,375	1,181,250	50,625	16,875
m.o.h. 0.00	1,400,625	137,826,563	18,376,875	24,266,250	928,125	472,500
m.o.h. -20.00	1,181,250	125,296,875	16,706,250	20,587,500	843,750	337,500
m.o.h. -40.00	2,590,313	343,313,438	45,775,125	46,068,750	2,311,875	278,438
m.o.h. -60.00	3,375,000	417,238,592	55,631,813	59,619,375	2,809,688	565,313
m.o.h. -80.00	2,430,000	258,111,562	34,414,875	42,356,250	1,738,125	691,875
m.o.h. -100.00	810,000	93,972,656	12,529,688	14,225,625	632,813	177,188
m.o.h. -120.00	405,000	41,347,968	5,513,063	7,036,875	278,438	126,563
<b>Total</b>	<b>12,259,688</b>	<b>1,424,625,467</b>	<b>189,950,063</b>	<b>215,341,875</b>	<b>9,593,438</b>	<b>2,666,250</b>

Tabell 26 Viser en oversikt over omsetning, oppredningskostnader og uttakskostnader for uttak av pushback 2 delt opp i 20 meters intervaller i vertikal retning. Det første intervallet er fra 80 m.o.h. (meter over havet) til 60 m.o.h., det neste er fra 60 til 40 osv. Tabellen viser også den totale bergmassen per intervall og hvordan den er fordelt mellom marmor og sideberg. Tabellen er hentet fra NPV Scheduler.

<b>Alternativ 2: Optimalisert brudd basert på maksimering av ressursuttak</b>						
Pushback 2	Total mengde berg	Omsetning	Oppredningskostnader	Uttaks-kostnader	Marmor	Sideberg
	tonn	kroner	kroner	kroner	tonn	tonn
m.o.h. 60.00	67,500	0	0	1,080,000	0	67,500
m.o.h. 40.00	590,625	42,600,938	5,680,125	10,023,750	286,875	303,750
m.o.h. 20.00	1,577,813	165,391,875	22,052,250	27,472,500	1,113,750	464,063
m.o.h. 0.00	1,755,000	200,474,999	26,730,000	30,780,000	1,350,000	405,000
m.o.h. -20.00	1,215,000	135,320,625	18,042,750	21,262,500	911,250	303,750
m.o.h. -40.00	1,080,000	147,850,312	19,713,375	19,271,250	995,625	84,375
m.o.h. -60.00	675,000	97,731,562	13,030,875	12,116,250	658,125	16,875
m.o.h. -80.00	540,000	75,178,125	10,023,750	9,652,500	506,250	33,750
m.o.h. -100.00	405,000	42,600,938	5,680,125	7,053,750	286,875	118,125
<b>Total</b>	<b>7,905,938</b>	<b>907,149,374</b>	<b>120,953,250</b>	<b>138,712,500</b>	<b>6,108,750</b>	<b>1,797,188</b>

Tabell 27: Viser en oversikt over omsetning, oppredningskostnader og uttakskostnader for uttak av pushback 3 delt opp i 20 meters intervaller i vertikal retning. Det første intervallet er fra 80 m.o.h. (meter over havet) til 60 m.o.h., det neste er fra 60 til 40 osv. Tabellen viser også den totale bergmassen per intervall og hvordan den er fordelt mellom marmor og sideberg. Tabellen er hentet fra NPV Scheduler.

<b>Alternativ 2: Optimalisert brudd basert på maksimering av ressursuttak</b>						
Pushback 3	Total mengde berg	Omsetning	Oppredningskostnader	Uttaks-kostnader	Marmor	Sideberg
	tonn	kroner	kroner	kroner	tonn	tonn
m.o.h. 60.00	33,750	0	0	540,000	0	33,750
m.o.h. 40.00	1,029,375	90,213,750	12,028,500	17,685,000	607,500	421,875
m.o.h. 20.00	2,835,000	352,084,218	46,944,563	50,101,875	2,370,938	464,063
m.o.h. 0.00	2,835,000	348,325,311	46,443,375	50,051,250	2,345,625	489,375
m.o.h. -20.00	2,430,000	300,712,500	40,095,000	42,930,000	2,025,000	405,000
m.o.h. -40.00	1,890,000	245,581,875	32,744,250	33,547,500	1,653,750	236,250
m.o.h. -60.00	1,620,000	230,546,248	30,739,500	29,025,000	1,552,500	67,500
m.o.h. -80.00	1,485,000	167,897,812	22,386,375	26,021,250	1,130,625	354,375
m.o.h. -100.00	675,000	72,672,187	9,689,625	11,778,750	489,375	185,625
<b>Total</b>	<b>14,833,125</b>	<b>1,808,033,900</b>	<b>241,071,188</b>	<b>261,680,625</b>	<b>12,175,313</b>	<b>2,657,813</b>

Tabell 28: Viser en oversikt over omsetning, oppredningskostnader og uttakskostnader for uttak av pushback 4 delt opp i 20 meters intervaller i vertikal retning. Det første intervallet er fra 80 m.o.h. (meter over havet) til 60 m.o.h., det neste er fra 60 til 40 osv. Tabellen viser også den totale bergmassen per intervall og hvordan den er fordelt mellom marmor og sideberg. Tabellen er hentet fra NPV Scheduler.

<b>Alternativ 2: Optimalisert brudd basert på maksimering av ressursuttak</b>						
Pushback 4	Total mengde berg	Omsetning	Oppredningskostnader	Uttaks-kostnader	Marmor	Sideberg
	tonn	kroner	kroner	kroner	tonn	tonn
m.o.h. 60.00	118,125	0	0	1,890,000	0	118,125
m.o.h. 40.00	742,500	12,529,688	1,670,625	12,048,750	84,375	658,125
m.o.h. 20.00	2,345,625	234,305,157	31,240,688	40,685,625	1,577,813	767,813
m.o.h. 0.00	2,970,000	295,700,626	39,426,750	51,502,500	1,991,250	978,750
m.o.h. -20.00	2,700,000	300,712,501	40,095,000	47,250,000	2,025,000	675,000
m.o.h. -40.00	2,295,000	319,507,032	42,600,938	41,023,125	2,151,563	143,438
m.o.h. -60.00	1,350,000	180,427,499	24,057,000	24,030,000	1,215,000	135,000
m.o.h. -80.00	675,000	45,106,876	6,014,250	11,407,500	303,750	371,250
<b>Total</b>	<b>13,196,250</b>	<b>1,388,289,378</b>	<b>185,105,250</b>	<b>229,837,500</b>	<b>9,348,750</b>	<b>3,847,500</b>



Tabell 29: Viser en oversikt over omsetning, oppredningskostnader og uttakskostnader for uttak av pushback 5 delt opp i 20 meters intervaller i vertikal retning. Det første intervallet er fra 60 m.o.h. (meter over havet) til 40 m.o.h., det neste er fra 40 til 20 osv. Tabellen viser også den totale bergmassen per intervall og hvordan den er fordelt mellom marmor og sideberg. Tabellen er hentet fra NPV Scheduler.

<b>Alternativ 2: Optimalisert brudd basert på maksimering av ressursuttak</b>						
Pushback 5	Total mengde berg	Omsetning	Oppredningskostnader	Uttakskostnader	Marmor	Sideberg
	tonn	kroner	kroner	kroner	tonn	tonn
m.o.h. 40.00	759,375	102,743,438	13,699,125	13,533,750	691,875	67,500
m.o.h. 20.00	2,565,000	308,230,314	41,097,375	45,191,250	2,075,625	489,375
m.o.h. 0.00	3,105,000	353,337,191	47,111,625	54,438,750	2,379,375	725,625
m.o.h. -20.00	2,835,000	370,878,749	49,450,500	50,355,000	2,497,500	337,500
m.o.h. -40.00	1,890,000	268,135,314	35,751,375	33,851,250	1,805,625	84,375
m.o.h. -60.00	1,485,000	151,609,221	20,214,563	25,801,875	1,020,938	464,063
m.o.h. -80.00	135,000	5,011,875	668,250	2,227,500	33,750	101,250
<b>Total</b>	<b>12,774,375</b>	<b>1,559,946,100</b>	<b>207,992,813</b>	<b>225,399,375</b>	<b>10,504,688</b>	<b>2,269,688</b>

Tabell 30: Viser en oversikt over omsetning, oppredningskostnader og uttakskostnader for uttak av pushback 6 delt opp i 20 meters intervaller i vertikal retning. Det første intervallet er fra 60 m.o.h. (meter over havet) til 40 m.o.h., det neste er fra 40 til 20 osv. Tabellen viser også den totale bergmassen per intervall og hvordan den er fordelt mellom marmor og sideberg. Tabellen er hentet fra NPV Scheduler.

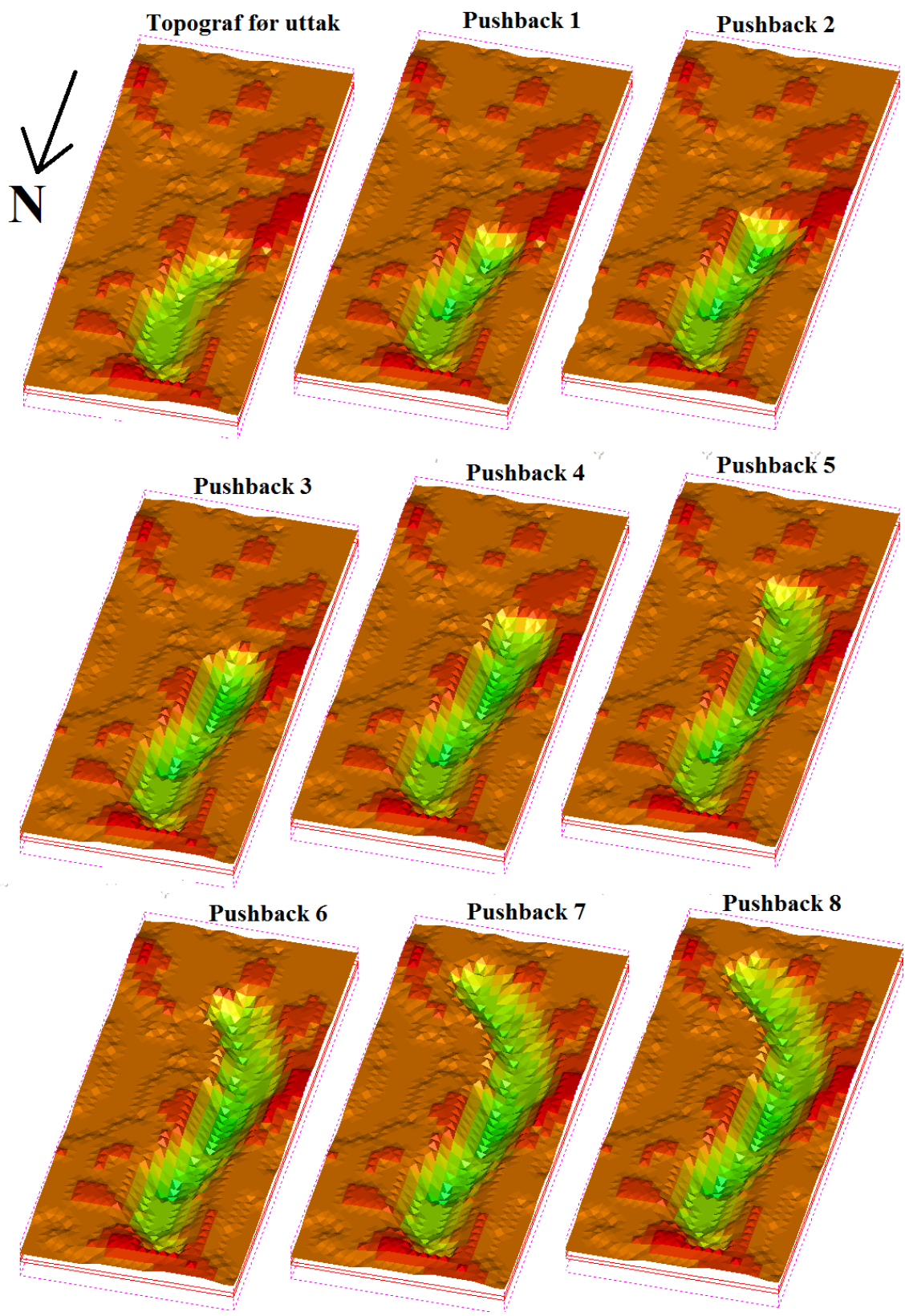
<b>Alternativ 2: Optimalisert brudd basert på maksimering av ressursuttak</b>						
Pushback 6	Total mengde berg	Omsetning	Oppredningskostnader	Uttakskostnader	Marmor	Sideberg
	tonn	kroner	kroner	kroner	tonn	tonn
m.o.h. 40.00	337,500	32,577,188	4,343,625	5,838,750	219,375	118,125
m.o.h. 20.00	2,725,313	276,906,096	36,920,813	47,334,375	1,864,688	860,625
m.o.h. 0.00	2,953,125	344,566,407	45,942,188	51,890,625	2,320,313	632,813
m.o.h. -20.00	2,430,000	295,700,626	39,426,750	42,862,500	1,991,250	438,750
m.o.h. -40.00	1,350,000	181,680,470	24,224,063	24,046,875	1,223,438	126,563
m.o.h. -60.00	675,000	71,419,220	9,522,563	11,761,875	480,938	194,063
m.o.h. -80.00	270,000	10,023,750	1,336,500	4,455,000	67,500	202,500
<b>Total</b>	<b>10,740,938</b>	<b>1,212,873,756</b>	<b>161,716,500</b>	<b>188,190,000</b>	<b>8,167,500</b>	<b>2,573,438</b>

Tabell 31: Viser en oversikt over omsetning, oppredningskostnader og uttakskostnader for uttak av pushback 7 delt opp i 20 meters intervaller i vertikal retning. Det første intervallet er fra 60 m.o.h. (meter over havet) til 40 m.o.h., det neste er fra 40 til 20 osv. Tabellen viser også den totale bergmassen per intervall og hvordan den er fordelt mellom marmor og sideberg. Tabellen er hentet fra NPV Scheduler.

<b>Alternativ 2: Optimalisert brudd basert på maksimering av ressursuttak</b>						
Pushback 7	Total mengde berg	Omsetning	Oppredningskostnader	Uttakskostnader	Marmor	Sideberg
	tonn	kroner	kroner	kroner	tonn	tonn
m.o.h. 40.00	101,250	5,011,875	668,250	1,687,500	33,750	67,500
m.o.h. 20.00	4,244,063	350,831,251	46,777,500	72,630,000	2,362,500	1,881,563
m.o.h. 0.00	4,050,000	462,345,473	61,646,063	71,026,875	3,113,438	936,563
m.o.h. -20.00	3,510,000	451,068,749	60,142,500	62,235,000	3,037,500	472,500
m.o.h. -40.00	2,160,000	279,412,033	37,254,938	38,323,125	1,881,563	278,438
m.o.h. -60.00	1,215,000	109,008,283	14,534,438	20,908,125	734,063	480,938
m.o.h. -80.00	405,000	22,553,438	3,007,125	6,783,750	151,875	253,125
<b>Total</b>	<b>15,685,313</b>	<b>1,680,231,102</b>	<b>224,030,813</b>	<b>273,594,375</b>	<b>11,314,688</b>	<b>4,370,625</b>

Tabell 32: Viser en oversikt over omsetning, oppredningskostnader og uttakskostnader for uttak av pushback 8 delt opp i 20 meters intervaller i vertikal retning. Det første intervallet er fra 60 m.o.h. (meter over havet) til 40 m.o.h., det neste er fra 40 til 20 osv. Tabellen viser også den totale bergmassen per intervall og hvordan den er fordelt mellom marmor og sideberg. Tabellen er hentet fra NPV Scheduler.

<b>Alternativ 2: Optimalisert brudd basert på maksimering av ressursuttak</b>						
Pushback 8	Total mengde berg	Omsetning	Oppredningskostnader	Uttakskostnader	Marmor	Sideberg
	tonn	kroner	kroner	kroner	tonn	tonn
m.o.h. 40.00	50,625	0	0	810,000	0	50,625
m.o.h. 20.00	0	0	0	0	0	0
m.o.h. 0.00	0	0	0	0	0	0
m.o.h. -20.00	135,000	20,047,500	2,673,000	2,430,000	135,000	0
m.o.h. -40.00	0	0	0	0	0	0
m.o.h. -60.00	135,000	11,276,719	1,503,563	2,311,875	75,938	59,063
<b>Total</b>	<b>320,625</b>	<b>31,324,219</b>	<b>4,176,563</b>	<b>5,551,875</b>	<b>210,938</b>	<b>109,688</b>

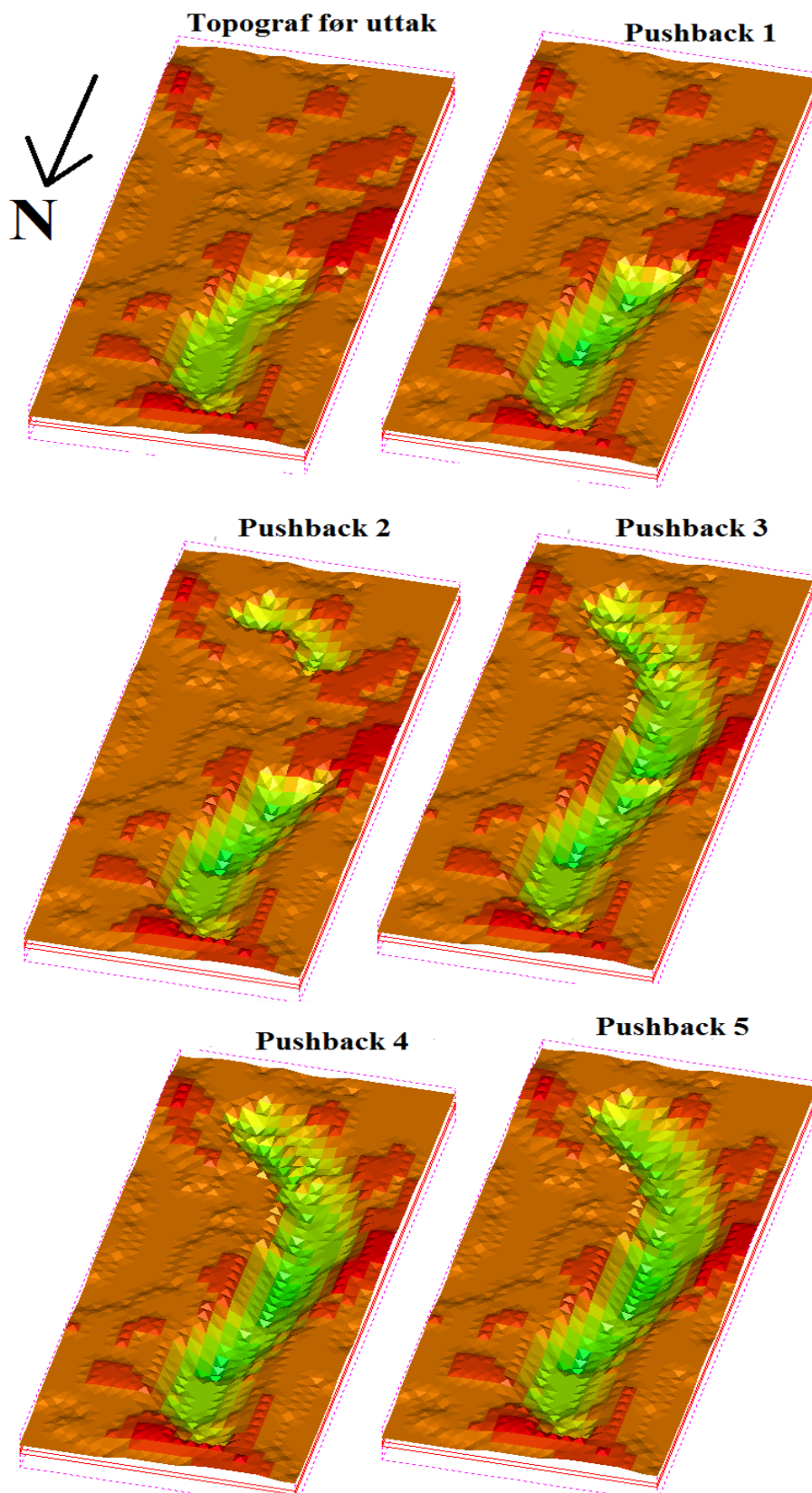


Figur 27: Illustrerer hvordan pushbackene utvikler seg for alternativ 2 (optimalisert brudd basert på maksimering av ressursuttak). Figuren er hentet fra NPV Scheduler.

I **Alternativ 2B** (optimalisert brudd basert på maksimering av ressursuttak uten pushbackbegrensning) er det dannet fem pushbacker. Tabell 33 vises en oversikt over talldataen til pushbackene og Figur 28 illustrerer pushbackutviklingen.

**Tabell 33: Viser en oversikt over den totale bergmassen, hvordan bergmassen er fordelt mellom marmor og sideberg, omsetning, oppredningskostnader, uttakskostnader, investeringskostnader, NPV og gjennomsnittlig hvithet- og syrerest (til marmoren) for hvert enkelt pushback i alternativ 2B (optimalisert brudd basert på maksimering av ressursuttak uten pushbackbegrensning). Tabellen er hentet fra NPV Scheduler.**

<b>Alternativ 2B: Optimalisert brudd basert på maksimering av ressursuttak uten pushbackbegrensning</b>										
	Total mengde berg	Omsetning	Opprednings- kostnader	Uttaks- kostnad	Investerings- kostnader	NPV	Marmor	Sideberg	Hvithet	Syrerest
Pushback	tonn	kroner	kroner	kroner	kroner	kroner	tonn	tonn	Snitt %	Snitt %
1	13,727,813	1,541,151,560	205,486,875	240,401,250	0	880,487,067	10,378,125	3,349,688	95.0421	3.1403
2	14,175,000	1,676,472,194	223,529,625	249,378,750	0	610,351,851	11,289,375	2,885,625	95.1825	2.7159
3	53,873,438	6,086,922,195	811,589,625	943,953,750	0	797,595,380	40,989,375	12,884,063	95.3941	3.3002
4	2,970,000	380,902,500	50,787,000	52,650,000	0	17,886,570	2,565,000	405,000	94.9027	4.9982
5	2,970,000	327,024,845	43,603,313	51,924,375	0	13,480,870	2,202,188	767,813	95.2144	4.2365
<b>Total</b>	<b>87,716,250</b>	<b>10,012,473,295</b>	<b>1,334,996,438</b>	<b>1,538,308,125</b>	<b>0</b>	<b>2,319,801,738</b>	<b>67,424,063</b>	<b>20,292,188</b>	<b>95.2799</b>	<b>3.2729</b>



Figur 28: Illustrerer hvordan pushbackene utvikler seg for alternativ 2B (optimalisert brudd basert på maksimering av ressursuttak uten pushbackbegrensning). Figuren er hentet fra NPV Scheduler





## 6 Diskusjon

### 6.1 Inndataparametere

#### 6.1.1 Inndataparametere brukt i oppgaven

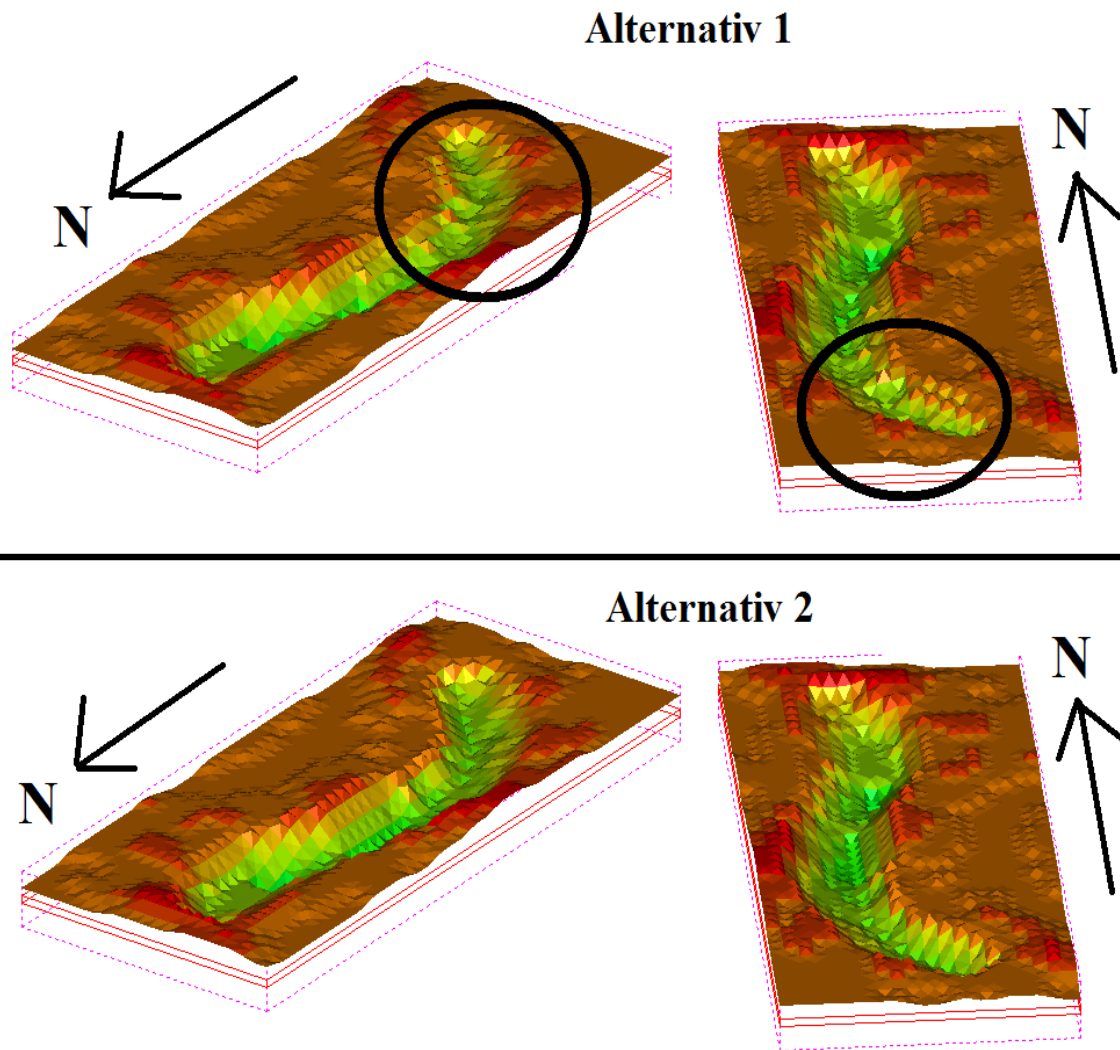
De valgte inndataparametere som beskrevet i kapittel 4 er avgjørende for prosjektet. Noen av disse parameterne slik som salgspris på produktet og oppredningskostnader er ikke reelle priser fra Brønnøy Kalk AS, men estimerte priser på bakgrunn av undersøkelser i industrien. Dette vil føre til at resultatet for omsetning, NPV og oppredningskostnader vil være noe avvikende fra realiteten, men siden alle alternativene er basert på de samme inndataparametere vil de kunne vurderes opp mot hverandre. Endring av de nevnte parameterne vil påvirke de forskjellige alternativene likt.

#### 6.1.2 Blokkmodellparameter

I avsnitt 4.1 er det oppgitt hvilke parametere som er importerte fra blokkmodellen. De er som nevnt styrende for kvaliteten av marmoren. Hvis blokkmodellen hadde inneholdt parametere som for eksempel beskrev soner av forurensning i marmoren ville dette påvirket utvinningen. Poenget er at flere importerte parametere som beskriver forekomsten og kvaliteten av de enkelte blokkene, vil påvirke utvinningen og sluttresultatet.

### 6.2 Optimalisering av bruddesign

Fra resultatene gir Alternativ 1 et endelig bruddesign der uttaket er på totalt 73 946 250 tonn, en NPV på 2 331 366 165 kroner, hvithet i snitt på 95,3021 % og syrerest i snitt på 3,001 % (se Tabell 4) i forskjell til Alternativ 2 som gir et totalt uttak på 87 716 250 tonn, en NPV på 2 376 859 947 kroner, hvithet i snitt på 95,2799 % og syrerest i snitt på 3,2729 % (se Tabell 6). Ved å sammenlikne de to alternativene vil Alternativ 2 generere 4 år lengre drift og gi en NPV som er 45 493 782 kroner større enn Alternativ 1. Når forskjell i NPV er i denne størrelsen og tatt i betraktning at diskonteringsats er 15 %, er det snakk om store økonomiske forskjeller på de to alternativene. I Tabell 12 er det laget en oversikt som viser hvordan NPV øker ved synkende diskonteringsats. Ut fra dette kan man se at forskjellen i NPV mellom de to alternativene øker ved synkende diskonteringsats. Alternativ 2 gir også en mer praktisk utforming av bruddet i den sørlige delen med tanke på stabilitet (se Figur 29), men dette er bare en antagelse basert på teorien fra avsnitt 2.3. Det virker dermed innlysende at det er Alternativ 2 som bør velges, men den oppfyller ikke kravet til blanding. Syrerest er i snitt over grensen for ønsket kvalitet, noe som kan bety at marmoren ikke er et salgbart produkt. For Brønnøy Kalk AS er det ønskelig med en syrerest under 3 %, men det er ikke nødvendigvis et stort problem om den er litt over (Bunkholt, 2013).



**Figur 29: Illustrerer endelig brudd av Alternativ 1 og 2. De sorte sirkler markerer på Alternativ 1 hvor det er mulig at det kan oppstå stabilitetsproblemer. Figuren er hentet fra NPV Scheduler.**

Alternativ 3 og 4 er to teoretiske alternativer. I praksis for å kunne bruke et av disse som endelig brudd vil det være nødvendig med oppdemning av havet. I beregningene er kostnadene med oppdemning ikke inkludert. Resultatene viser at Alternativ 3 kan forkastes på grunn av design, se Figur 22. Det er en særdeles upraktisk utforming med tanke på drift. Alternativ 4 er tilfredsstillende utformet, men her er det samme problem som ved Alternativ 2, det oppfyller ikke kravet til syrerest. Dette alternativet gir den høyeste NPV av alle de valgte mulighetene og det har en drift som varer opp mot seks til syv ganger lengre enn Alternativ 1 og 2. Dermed vil dette være den løsningen som er mest økonomisk for prosjektet, dersom man ser bort fra oppdemningen av havet. Kostnadene ved oppdemning av havet er antageligvis i milliardklassen og ville nok redusert NPVen kraftig, sannsynligvis gjøre den negativ. Derfor kan Alternativ 4 også forkastes. Det eneste som kan gjøre dette



alternativet til en mulighet er om prisen på marmor stiger dramatisk. Dette betyr i realiteten at valg av endelig bruddesign står mellom Alternativ 1 og 2.

I de økonomiske resultatene er det ikke tatt med investeringskostnader (se Tabell 4, 6, 8 og 10). Brønnøy Kalk AS må i løpet av bruddets levetid reinvestere i nytt utstyr ettersom det de har i dag blir utslitt. Grunnen til at reinvesteringer ikke er tatt med i den økonomiske analysen er på grunn av manglende informasjon. Konsekvens av dette er at NPVen blir større når investeringskostnader ikke er tatt med.

### **6.2.1 Endring av blandingsparameterne**

Ved å endre kravet til blanding, vil NPV Scheduler også endre det optimaliserte endelige bruddet. For eksempel settes syrerestkravet lavere enn 3 % vil det resultere i et mindre uttak av bergmassen og prosjektet får en lavere NPV, se Tabell 13 og Figur 24. Settes kravet slik at man godtar en høyere syrerest enn 3 % vil det gi motsatt effekt. Dette kan være en indikasjon på at NPV Scheduler er et dataverktøy som kan brukes for å optimalisere et endelig bruddesign av en industrimineralforekomst. Eksempelet over viser at NPV Scheduler er et dynamisk dataverktøy som kan tilpasse seg forekomsttypen i denne oppgaven.

## 6.3 Pushback

Alternativ 1 (optimalisert endelig brudd basert på blanding) viser en praktisk måte å dele det endelige bruddet opp i pushback, som er en kontinuerlig utvikling av dagens brudd, se Figur 25. Problemet med denne utviklingen er at enkelte pushbacker isolert ikke oppfyller kravet til blanding, se Tabell 14. Det ble på bakgrunn av dette laget en ny pushbackløsning til Alternativ 1 (Alternativ 1B: optimalisert endelig brudd basert på blanding uten begrensning) der det ikke er begrensninger i vertikal retning. Resultatet av dette (Tabell 23) viser at samme problem også oppstår når det ikke er begrensninger i vertikal retning. I tillegg danner denne sekvensen en upraktisk måte å ta ut forekomsten på. Først er det en videre utvidelse av dagens brudd for så å starte pushback 2 i andre enden av det endelige bruddet, se Figur 26. Pushback 3 utgjør mer enn halve massen til det totale bruddet, noe som er uønsket av praktiske grunner (for da må pushback 3 deles inn i flere pushbacker). Dette fører til at det er mest praktisk å bruke den pushbacksekvensen med begrensninger som beskrevet i avsnitt 4.1. En konsekvens av dette er at det vil påvirke NPVen i prosjektet. Sammenlikner man NPVen for det optimaliserte bruddet basert på blanding med pushbacksekvensen (med begrensning i det vertikale planet), får man en forskjell på 70 10 40 29 kroner (se Tabell 4 og Tabell 14). Dette er en stor økonomisk forskjell. Denne forskjellen øker ytterligere ved sammenlikning av pushbacksekvensen uten begrensning i det vertikale planet (se Tabell 23).

For Alternativ 2 er det gjort samme forsøk og kommet frem til samme konklusjon som for Alternativ 1; at det er mest gunstig å bruke pushbacksekvens med begrensning i det vertikale planet.

I følge CAE-mining skal NPV Scheduler generere praktiske pushbackløsninger, der man bare trenger å definere minste pallbredde og minste størrelse på uttaket (CAE-Mining, NPV Scheduler, 2013). Dette betyr at Alternativ 1B og 2B skal være mer praktiske pushbacksekvenser enn Alternativ 1 og 2, men ut fra det som står ovenfor, stemmer ikke dette. Alternativ 1B og 2B genererer lavere NPV, og har en upraktisk utforming i forhold til Alternativ 1 og 2, samt at enkelte pushbacker ikke oppfyller kravet til blanding. Dette indikerer at NPV Scheduler på egenhånd ikke greier å generere den optimale pushbacksekvensen til en industrimineralforekomst. Det blir altså en prøve- og feile-prosess for å finne den beste pushbackløsningen.

NPV Scheduler er i utgangspunktet designet for å optimalisere brudd og pushbacksekvenser for malmforekomster og ikke en marmorforekomst. «Problemet» med marmoren er at det kan være vanskelig å sette en kroneverdi på enkeltblokker. For en malm er det som oftest gehalten som avgjør verdien av en blokk, mens for marmoren er det egenskapene ved den som bestemmer. Verdien av en malmblokk settes ved gange tonnassen metall i den med prisen per tonn for det metallet. Verdien av en marmorblokk er en fast pris dersom egenskapene til den møter kjøperens krav, hvis ikke er den verd 0 kroner. Som nevnt i avsnitt 3.1.3 kan marmoren som oppfyller kravet likevel bli solgt, dersom den blandes med

andre blokker og snittet av dem ligger innenfor kravet. For NPV Scheduler har enkeltblokkenes lokasjon ingen betydning når den danner det optimaliserte bruddet, så lenge kravene til utforming og blanding blir oppfylt, se kapittel 4. Dette betyr at det ikke er tatt hensyn til fordelingen av «gode» og «dårlige» marmorblokker innenfor det optimale bruddet. Det er dette som skaper problemer når NPV Scheduler skal generere pushbacker av det optimaliserte bruddet, fordi blokker som må blandes for å oppnå riktig kvalitet nødvendigvis ikke befinner seg i sammen område. Dette resulterer i at NPV Scheduler genererer upraktiske pushbacker.

Ved å sammenligne pushbackresultatene til Alternativ 1 og 2 med begrensning i det vertikale planet (Tabell 14 og Tabell 24), viser det seg at enkelte pushbacker isolert sett i begge tilfellene ikke tilfredsstiller syrerestkravet. Selv om Alternativ 1 oppfyller kravet i snitt møter de fire første pushbackene ikke syrerestkravet på 3 %. Ved å sammenligne Alternativ 1 og 2 etter uttak av de fire første pushbackene (Tabell 34) er begge over ønsket syrerest. Alternativ 2 er 0,164 mer over enn Alternativ 1. Alternativ 2 har en NPV som er 89 760 567 kroner større, men det henger antageligvis sammen med at den er 1,7 år lengre i drift. Dette fører til at det er vanskelig å velge mellom disse to alternativene. Hvor mye over kravet som kan tillates vil bli den styrende faktoren for valg av brudd- og pushbackløsning.

**Tabell 34: Viser NPV, snitt syrerest og hvor mange år man har vært i drift etter uttak av pushback 4 for Alternativ 1 og 2.**

<b>Etter uttak av pushback 4</b>		
	<b>Alternativ 1</b>	<b>Alternativ 2</b>
<b>NPV [kroner]</b>	1,878,812,936	1,968,573,503
<b>Snitt Syrerest [%]</b>	3.322	3.486
<b>Antall år i drift</b>	12.1	13.8



## 7 Konklusjon og videre arbeid

### 7.1 Konklusjon

- Dataverktøyet NPV Scheduler kan brukes for å generere et optimalt bruddesign til en industrimineralforekomst som resulterer i periodiserte kvalitetsprediksjoner av de kritiske beslutningsparameterne, periodiserte tonnasjeestimer og et økonomisk resultat.
- NPV Scheduler egnet seg ikke til å finne den beste og mest praktiske pushbackløsningen til en industrimineralforekomst. Den vil generere alternativer, men det er ingen garanti for at disse er de optimale løsningene.
- Hva som er beste endelig bruddløsning ut fra de alternativene som er dannet i denne oppgaven må Brønnøy Kalk AS selv ta stilling til. Valget står mellom Alternativ 1 og 2. Alternativ 1 gir prosjektet en nåverdi (NPV) på 2 331 millioner NOK, syrerest på 3,00 %, hvithet på 95,30 % og et uttak på 57,3 millioner tonn marmor. Alternativ 2 gir prosjektet en nåverdi på 2 377 millioner NOK, syrerest på 3,27 %, hvithet på 95,28 % og et uttak på 67,4 millioner tonn marmor.
- Alternativ 3 og 4 er ikke aktuelle bruddløsninger for Brønnøy Kalk AS. Grunnen til dette er at de krever oppdemning av havet og det vil medføre store kostnader.
- Pushbackløsningene som gir det beste resultatet er de som har begrensninger i det vertikale planet.
- Det økonomiske resultatet for alle alternativene er ikke pålitelig på grunn av at det er basert på estimerte salgspriser og oppredningskostnader, i tillegg til at det mangler investeringskostnader.

### 7.2 Videre arbeid

- Blokkmodellen som brukes i oppgaven bør videreutvikles slik at den inneholder flere parameter som er styrende for kvaliteten av forekomsten.
- Den økonomiske modellen i NPV Scheduler bør endres slik at det blir brukt reelle tall og ikke estimerte. Det er også viktig å få implementert investeringskostnader inn i prosjektet.
- Lage en skråningsanalyse for de forskjellige delene av bruddet å implementere dette inn i modellen, i stede for å sette en lik veggvinkel for hele bruddet.
- Se på flere mulige pushbacksekvenser for å få økt nåverdien.
- Lage en detaljert tids- og aktivitetsplan for et av pushbackalternativene.



## Referanser

- Albor Consuegra, F., & Dimitrakopoulos, R. (2010). *Algorithmic approach to pushback design based on stochastic programming: method, application and comparisons*. Institute of Materials, Minerals and Mining and The AusIMM.
- Bunkholt, I. (2013). *Personlig samtale med Ingjerd Bunkholt (ansatt ved Brønnøy Kalk AS)*.
- CAE-Mining. (2013). NPV Scheduler. *NPVS- Data Presentation Tutorial*.
- CAE-Mining. (2013). What is a pushback? *NPVS- Data Presentation Tutorial*.
- Direktoratet for Mineralforvaltning. (2013). Retrieved 05 22, 2013, from <http://www.dirmin.no/forbedrifter/Sider/Krav%20til%20bedrifter.aspx>
- Ellefmo, S. L., & Nielsen, K. (2011). *GRUVEDRIFT2011\_DAGBRUDD. Forelesningsnotater i fag TGB 4245 Gruvedrift. Antall sider 17. NTNU*.
- Hilmarsen, T. H. (2012). *Økonomisk blokkmodellering av en industrimineralforekomst*. Trondheim: NTNU.
- Hustrulid, W., & Kuchta, M. (2006). *OPEN PIT MINE PLANNING & DESIGN*. London: Taylor & Francis\Balkema.
- Kizil, M., Aspinall, T., Laurence, D., & Logan, S. (2009). *Learning Guide Mining Systems Surface Mining*. Mining Education Australia (MEA).
- Mining Education Australia (MEA). (2012). *Resource Estimation- Course Reader 2012. Forelesningsnotater i faget MINE3220 Resource Estimation ved UNSW*. The University of New South Wales (UNSW).
- Myrvang, A. (2011). *Kompendium i faget TGB4210 Bergekanikk*.
- Næring-og-Handelsdepartementet. (2013). *Direktoratet for mineralforvaltning med Bergmesteren for Svalbard*. Retrieved 05 27, 2013, from <http://www.regjeringen.no/nb/dep/nhd/dep/underliggende-etater/bergvesenet-med-bergmesteren-for-svalbar.html?id=435109>
- Nielsen, K., & Ellefmo, S. L. (2011). *GRUVEDRIFT2011\_LØNNSOMHET. Forelesningsnotater i faget TGB4245 Gruvedrift. Antall sider 14. NTNU*.