



KORLEIS KAN BOREPLANA PÅVERKE FINSTOFFINNHALDET I TUNNELSÅLEN OG DERMED UTNYTTINGA AV TUNNELMASSANE?

Ei masteroppgave skrive av Kristian Hauståker for NTNU, i samarbeid med SINTEF,
Skanska AS og Vassbakk & Stol AS.



01. Introduksjon

- Bakgrunn
- Problemstilling

02. Teori

- Lynkurs
- Boreplan
- Tennplan
- Røysprofil
- Tunnelsålen

03. Del 1 - Innsamling av data og erfaring

04. Del 2 - Pilot E10 Hålogalandsvegen

- Introduksjon
- Samarbeid
- Metode
- Resultat

05. Diskusjon

- Fire delspørsmål

06. Oppsummering

07. Vegene videre

Introduksjon



Oppstart hausten 2024



Samarbeid innleia med SINTEF → "Bærekraftig verdikjede og materialbruk i vegbygging.



Haust 2024 → Innsamling av data, erfaringar



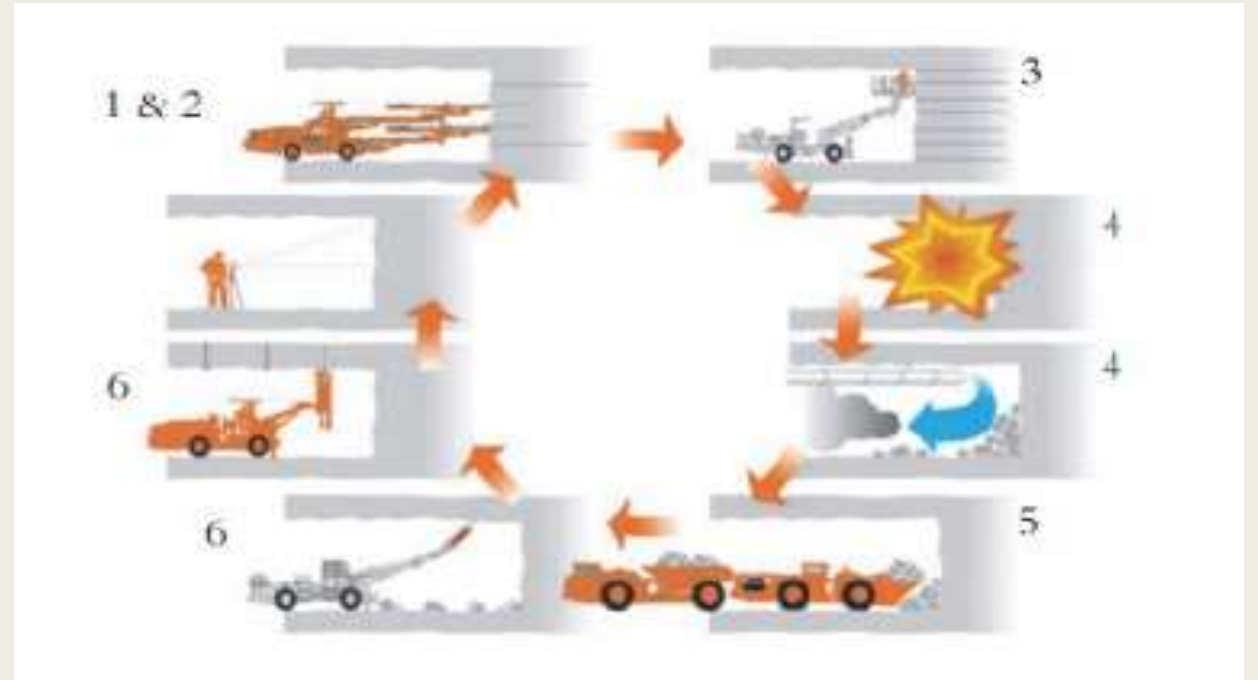
Vinter/Vår 2025 → Samarbeid om pilot E10 – Hålogalandsvegen januar 2025



Innleveringsfrist 15.05.2025.

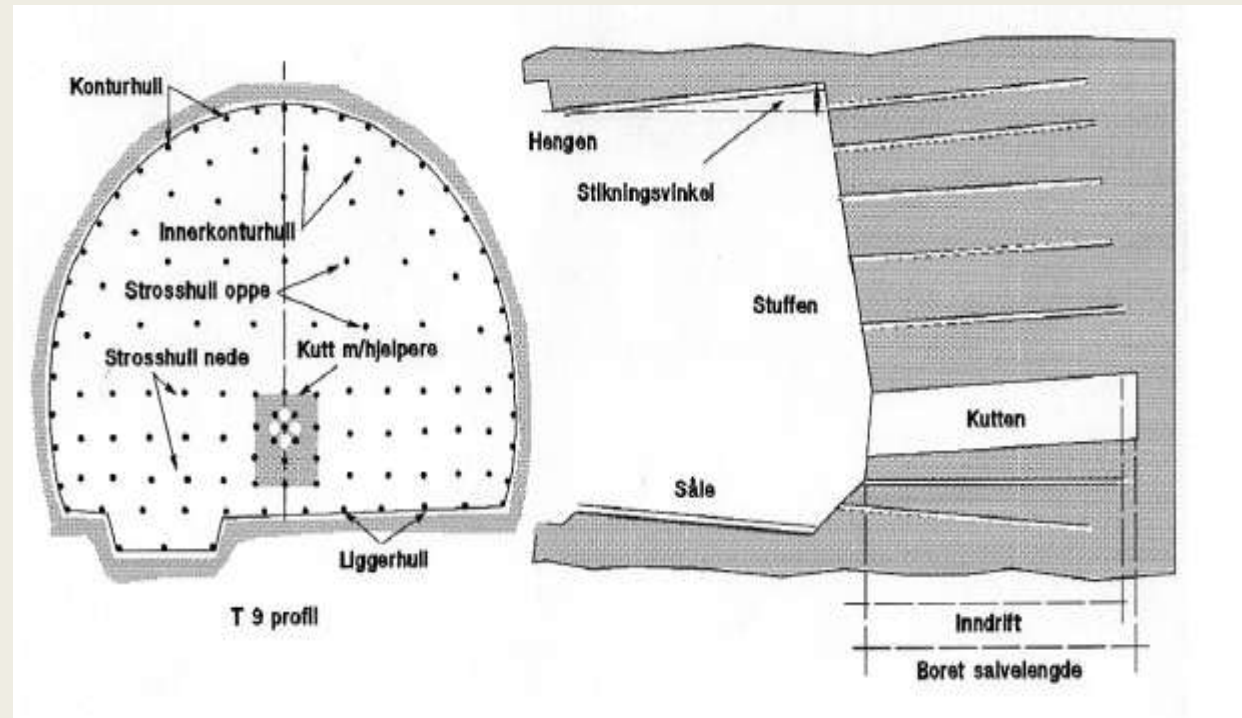
Lynkurs i tunneldriving

- Boring av salvehol
- Lading av salve
- Skyting av salve
- Utlossing av stein
- Rensk av tunnelheng
- Sikring av tunnelstuff
- Eventuell injeksjon av fjell ved mykje vatn

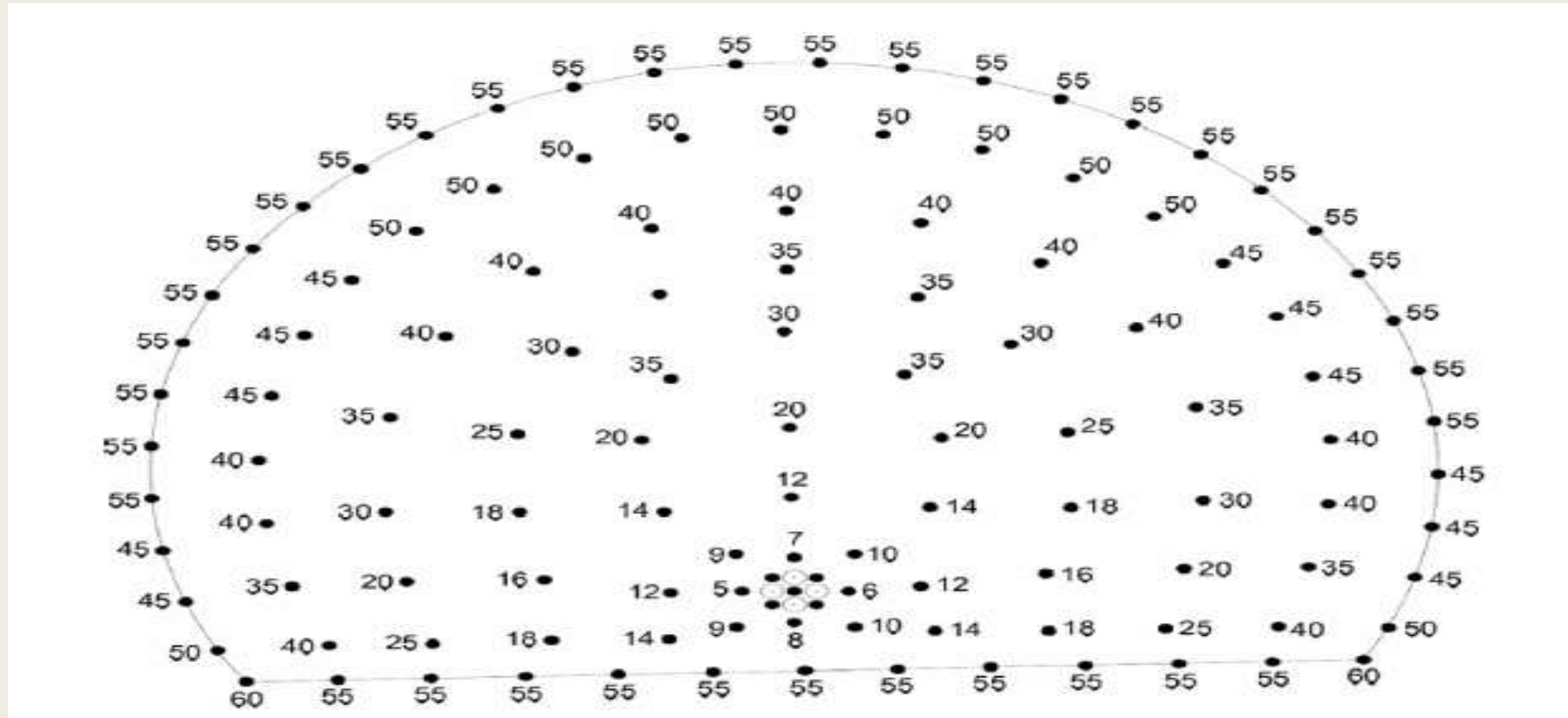


Boreplan

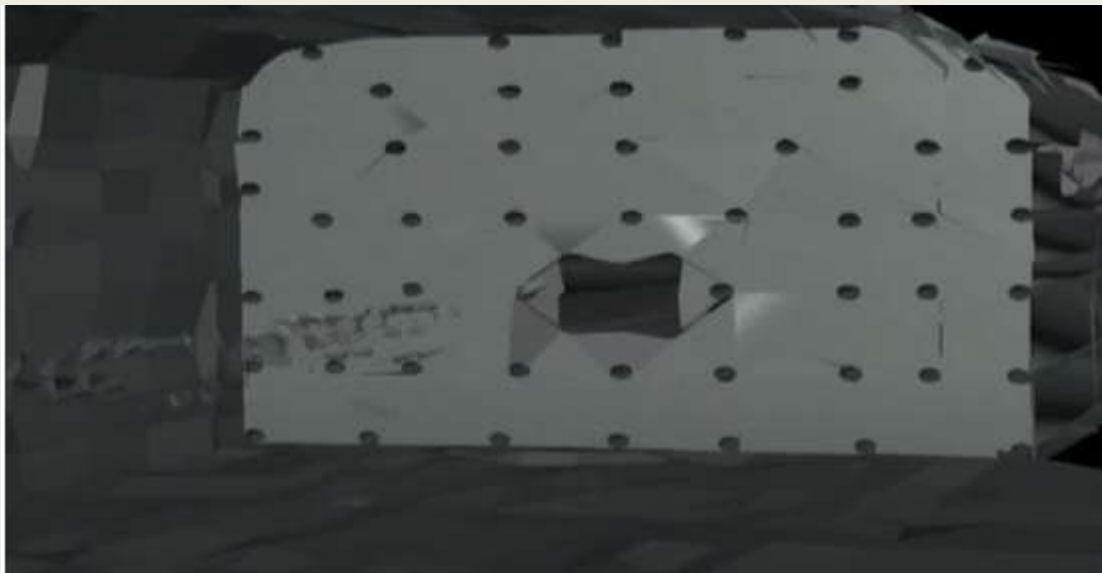
- Kutt
- Strossehol
- Konturhol
- Ligghol
- 48- eller 64 millimeterskroner



Tennplan

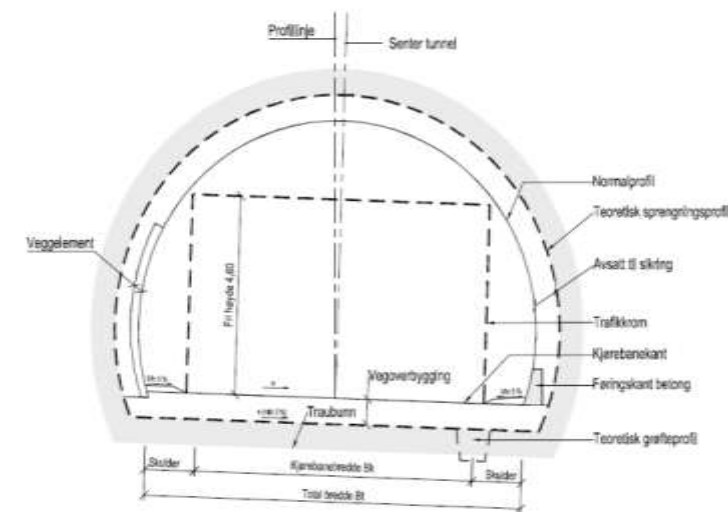


Røysprofil

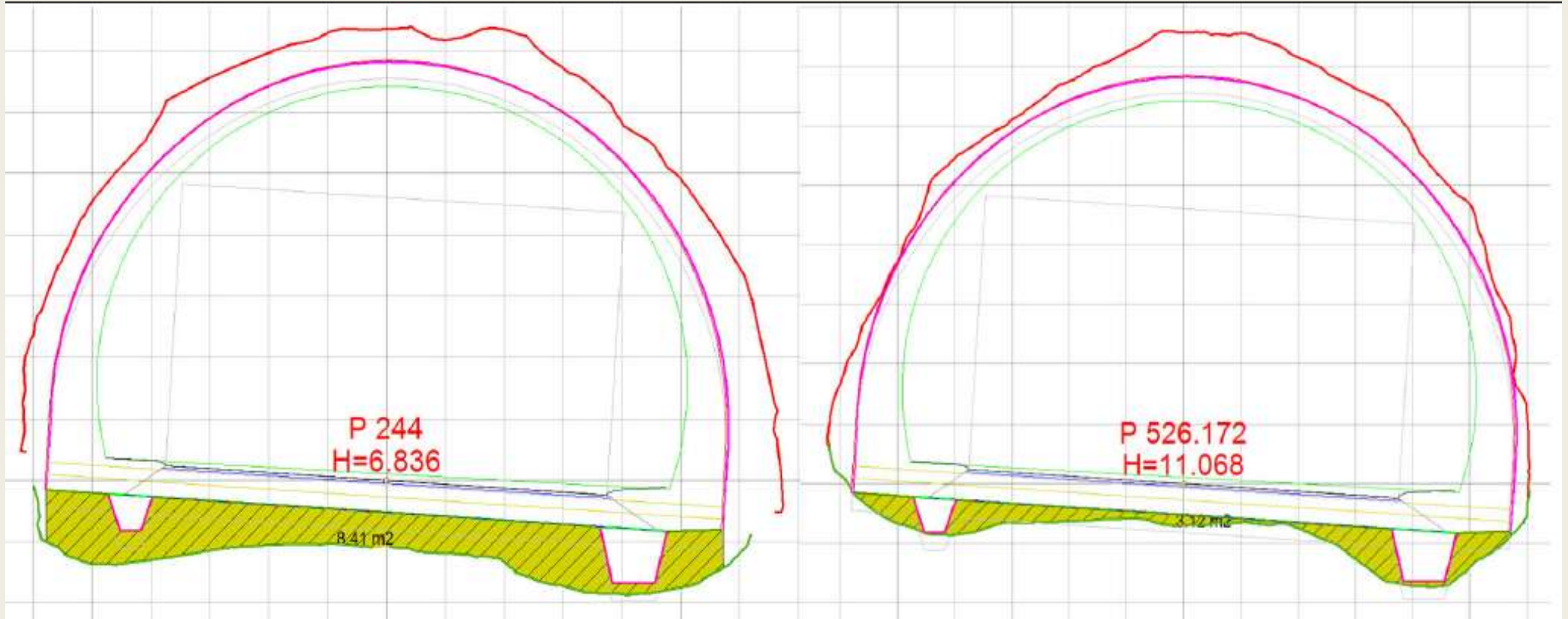


Tunnelsålen

- Den massen som blir liggande igjen etter ferdig utlossa salve
- Brukest primært som køyreveg for rigg og utlossing
- Snitt 5,9 m³ per meter tunnel
- E10 – Hålogaland → 8800 lastebil lass



Figur 3.1 Skjematisk tunnelprofil, vist med eksempel på veggelement og føringskant av betong.



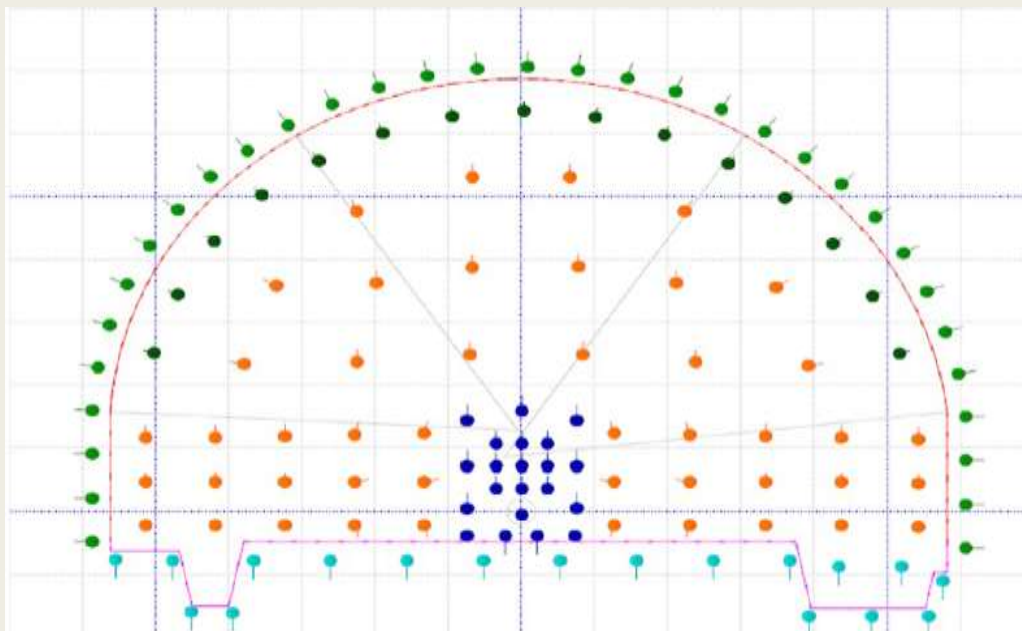
Del 1 - Innsamling av data

- Spørreskjema sendt til store samferdselsprosjekt i Norge
 - *Meir aktuelt tidleg i oppgåva*
- Erfaringar frå byggherre og entreprenørar
 - *Spørsmål sendt ut til både byggherre samt entreprenørar*

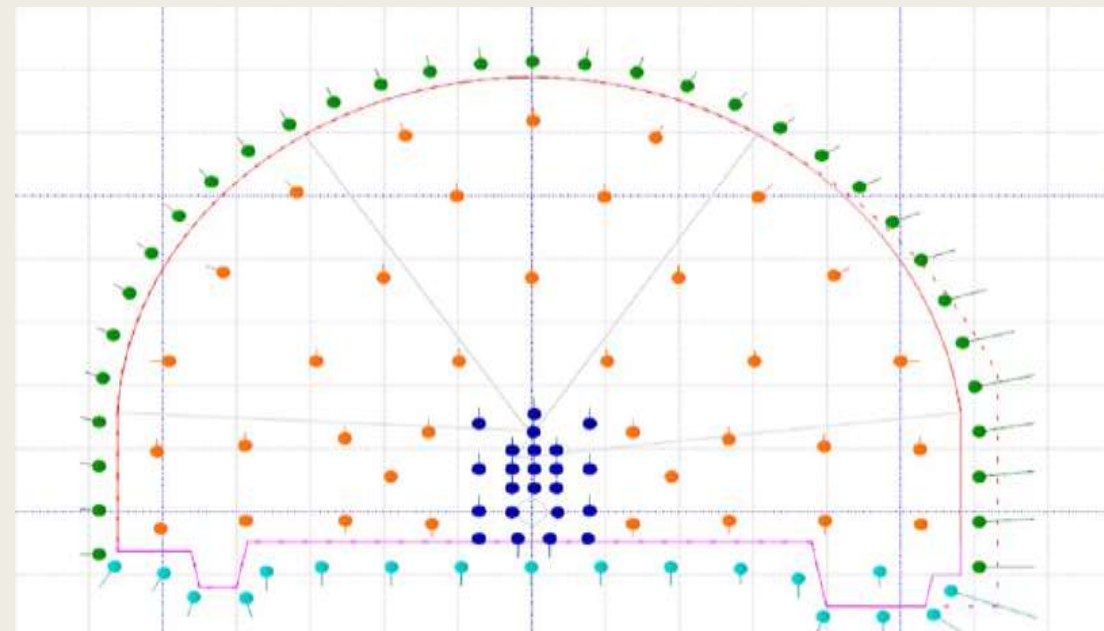
Del 2 - E10 Hålogalandsvegen

- Problemstilling
- Differanse mellom 48 millimeter og 64 millimetersplan
- Korleis skal ein måle dette?
 - *Totalprøver?*
 - *Knuseverk?*
 - *Tunnelsålen*
- Datainnsamling fra Skanska AS

Boreplanar nytta på E10



Figur 26: T9,5 48-mm boreplan (Skanska)



Figur 27: T9,5 64-mm boreplan (Skanska)

Plassering	Borehol 48 mm	Borehol 64 mm	Differanse 64 mm til 48 mm
Kutt med hjelparar	21	22	-1
Nedre stoss	30	18	12
Øvre stoss	16	9	7
Indre kontur	15	9	6
Ytre kontur	33	33	0
Ligg	18	18	0
Total:	133	109	24

Tabell 9 Differanse mellom figur 26 (48 mm) og utført boreplan. Differanse i raudt og grønt.

Pelnummer Tverrsnittsområde ↓	Figur 25	22566	22302	21139	20984
Kutt med hjelpehol	21	29 +8	30 +9	24 +3	28 +7
Nedre stross	30	31 +1	37 +7	34 +4	35 +5
Øvre stross	16	19 +3	12 -4	16	20 +4
Indre kontur	15	15	15	17 +2	18 +3
Ytre kontur	33	31 -2	32 -1	34 +1	35 +2
Ligg	18	22 +4	21 +3	19 +1	19 +1
Totalt:	133	147	147	144	155
Tverrsnitt m ²		106	106	117	110

Tabell 10 Differanse mellom figur 27 (64 mm) og utført boreplan. Differanse markert med raudt og grønt.

Pelnummer Tverrsnittsområde ↓	Figur 26	17326	17796	22743	22317	21006
Kutt med hjelparar	22	28 +6	24 +2	26 +4	25 +3	34 +12
Nedre stross	18	18	23 +5	21 +3	25 +7	22 +4
Øvre stross	9	13 +4	13 +4	12 +3	15 +6	13 +4
Indre kontur	9	18 +9	8 -1	11 +2	16 +7	9
Ytre kontur	33	33	33	33	33	32 -1
Ligg	18	18	24 +4	14 -4	24 +6	22 +4
Totalt:	109	128	125	117	138	132
Tverrsnitt m ²		108	117	107	106	117

Tabell 8: Oversikt Q-verdi parameter og geologi kalkyle opp mot kartlagt geologi

Pelnummer	RQD	Jr	Jw	Jn	Ja	SRF	Q-verdi	Geologi kalkyle	Geologi kartlagt	Bergart
22743	90	1,5	1	6	1,5	1	15	C	A/B	Gneis
22566	95	2	1	4	1,5	1	31,7	C	A/B	Gneis
22302	75	1,5	1	6	2	1	9,4	C	A/B	Gneis
22317	85	1,5	1	4	1	1	31,9	A/B	A/B	Gneis
21139	85	1,5	1	6	1	1	21,3	C	A/B	Gneis
21006	85	1,5	1	6	1,5	1	14,2	C	A/B	Gneis
20984	80	1,5	1	6	1	1	20	C	A/B	Gneis
17326	85	1,5	0,66	6	2	1	7	C	C	Syenitt
17796	80	1,5	1	6	1,5	1,5	8,9	C	C	Syenitt

Prøveplan

Tabell 6 Prøveplan Norddal Aust.

PELNUMMER	Neste stoff	Prøveområde:	INNDRIFT	GEOLOGI KALKYLE	GEOLOGI KARTLAGT	BORPLAN
22743	22738	22740	349 m	C	A/B	64 mm
22566	22561	22562	526 m	C	A/B	48 mm
22317	22312	22313	715 m	A/B	A/B	64 mm
22302	22097	22300	790 m	C	A/B	48 mm
21139	21133	21134	1948 m	C	A/B	48 mm
21006	21001	21002	2086 m	A/B	A/B	64 mm
20984	20980	20981	2108 m	A/B	A/B	48 mm
17796	17802	17800	790 m frå vest	C	C	64 mm
17326	17331	17330	320 m frå vest	C	C	64 mm

Prøvemetode



Vil finstoffinnhaldet vere forskjellig ved dei to boreplanane?

Tabell 13 Finstoffinnhald 48 mm planar

Pelnummer	Neste stuff	Prøveområde:	Inndrift	Kartlagt geologi	Borplan	Finstoffinnhald:
22566	22561	22562	526 m	A/B	48 mm	11,10 %
22302	22097	22300	790 m	A/B	48 mm	6,90 %
21139	21133	21134	1948 m	A/B	48 mm	8,30 %
20984	20980	20981	2108 m	A/B	48 mm	9,20 %

Tabell 14 Finstoffinnhald 64 mm planar

Pelnummer	Neste stuff	Prøveområde:	Inndrift	Kartlagt geologi	Borplan	Finstoffinnhald:
22743	22737	22740	349 m	A/B	64 mm	10,10 %
22317	22312	22313	715 m	A/B	64 mm	16,40 %
21006	21001	22102	2086 m	A/B	64 mm	9,4 %
17796	17802	17800	790 m frå vest	C	64 mm	4,10 %
17326	17331	17330	320 m frå vest	C	64 mm	2,30 %

Vil finstoffinnhaldet vere forskjellig ved dei to boreplanane?

Tabell 9 Differanse mellom figur 26 (48 mm) og utført boreplan. Differanse i raudt og grønt.

Pelnummer Tverrsnittsområde ↓	Figur 25	22566	22302	21139	20984
Kutt med hjelpehol	21	29 +8	30 +9	24 +3	28 +7
Nedre stross	30	31 +1	37 +7	34 +4	35 +5
Øvre stross	16	19 +3	12 -4	16	20 +4
Indre kontur	15	15	15	17 +2	18 +3
Ytre kontur	33	31 -2	32 -1	34 +1	35 +2
Ligg	18	22 +4	21 +3	19 +1	19 +1
Totalt:	133	147	147	144	155
Tverrsnitt m ²		106	106	117	110

Tabell 10 Differanse mellom figur 27 (64 mm) og utført boreplan. Differanse markert med raudt og grønt.

Pelnummer Tverrsnittsområde ↓	Figur 26	17326	17796	22743	22317	21006
Kutt med hjelparar	22	28 +6	24 +2	26 +4	25 +3	34 +12
Nedre stross	18	18	23 +5	21 +3	25 +7	22 +4
Øvre stross	9	13 +4	13 +4	12 +3	15 +6	13 +4
Indre kontur	9	18 +9	8 -1	11 +2	16 +7	9
Ytre kontur	33	33	33	33	33	32 -1
Ligg	18	18	24 +4	14 -4	24 +6	22 +4
Totalt:	109	128	125	117	138	132
Tverrsnitt m ²		108	117	107	106	117

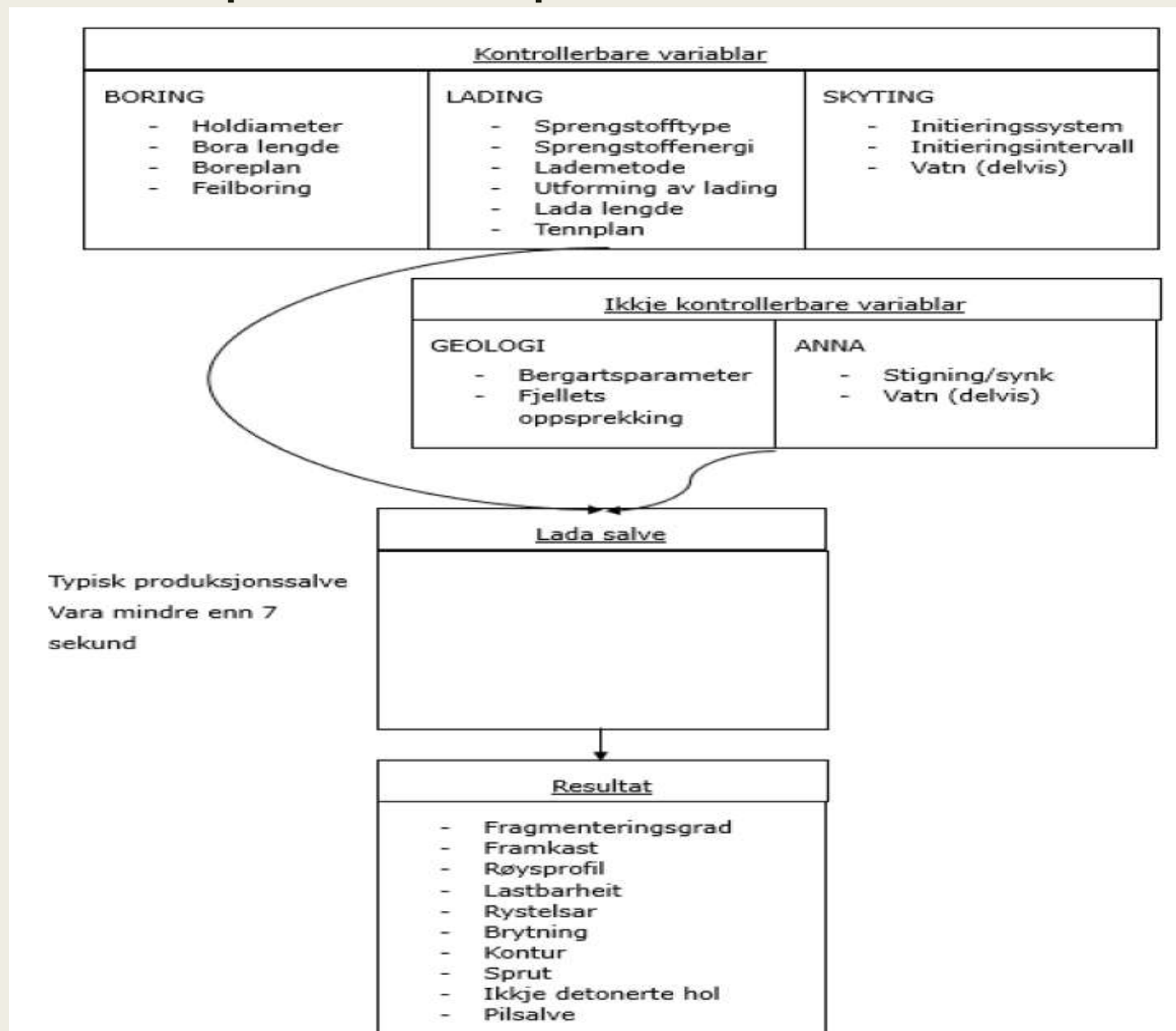
Tabell 11: Sprengstoff forbruk 48 mm plan

Pelnummer 48 mm plan	Spesifikk lading kg/m ³	Total brukt sprengstoff kg
22566	3,13	1163,11
22302	2,89	1054,11
21139	2,79	1070,38
20984	2,73	1083,72

Tabell 12: Sprengstoff forbruk 64 mm plan

Pelnummer 64 mm plan	Spesifikk lading kg/m ³	Total brukt sprengstoff kg
22743	3,26	1200,60
22317	2,57	1027,25
21006	2,74	1094,55
17796	2,56	1035,42
17326	2,56	991,54

Kva faktorar spelar inn på finstoffinnhaldet?



Kva krav stillast til tunnelsålen, og korleis skal ein dokumentere at ein er innanfor?

KRAV 3.72—5 **SKAL**

GJELDENE FRA 05.07.2024

I frostsonen ($F_{\text{DimT}} > 10\,000\text{ h}^\circ\text{C}$) skal tunnelsålen finrenses slik at det ingen steder blir liggende igjen mer enn 5 cm tunnelmasse.

KRAV 3.72—5_1 **SKAL**

GJELDENE FRA 05.07.2024

For deler av tunnelen med lavere frostmengde ($\leq 10\,000\text{ h}^\circ\text{C}$), skal finstoffinnholdet (materiale mindre enn 0,063 mm) i gjenliggende materiale i tunnelsålen være mindre enn 7 %, regnet av materialandel < 22,4 mm, før utlegging av forsterkningslaget.



Tabell 4.5.1—1 — Minimumskrav til dokumentasjon av materialkvalitet

Egenskap	Omfang	
	Ved oppstart	Stabile driftsforhold
Største steinlengde og andel < 90 mm	Minimum 3 prøver fordelt over 250 m ³	1 prøve per 5000 m ³
Finstoffandel	Minimum 3 prøver fordelt over 250 m veg	1 prøve per 1000 m veg

Kva fokus har byggherre/entreprenørar på best mogleg tunnelstein?

- Dyrt tunnelapparat
- Fokuset ligg på framdrift, effektivitet og økonomi
- Kunnskapen ligger der i dag

Erfaringa frå byggherre og entreprenørar

Ved å strekkje boreplanen og endre borkronestørrelsen, kan ein oppnå grovare fraksjon. Knusinga i salva vil bli forskjellig grunna færre borehol. Salvelengda vil også spele inn, der det er enklare å få fjellet ut med mindre sprengstoff ved kortare lengde. Boreplanen, borelengda og tennmønsteret vil kunne endre fraksjonen, men då må ladinga per hol vere balansert. Det som er optimalt for god inndrift, økonomi og kvalitet er følgande faktorar:

- Maksimal salvelengde: 5,5 til 6 meter.
- Fin fraksjon og lastbare salver.
- For gravemaskin er det ynskje kort og høg røys.
- For hjullastar er lang røys med godt framkast ynskja.
- Minst mogleg boremeter: 48 mm i kutt, ligg og kontur med 64 mm i alle strossehol.
- Optimalisert sprengstoff- og tennarforbruk.
- Reine salver: Lite maskin- og spettreinsk.

Faktorane over er det som blir lagt til grunn når bore- og tennplanar blir utarbeida. Om ein ser vekk frå alle desse faktorane, kan ein endre fraksjon og kvalitet ved og:

- Auke/minske mengde hol i boreplanen
- Auke/minske spesifikk lading etter kva fraksjon ein ynskjer. Høg spesifikk ladning vil gi ein finare fraksjon.
- Bruke eitt-hols tenning kontra skyting av strosseraster. Dette vil forhindre at stein knusast mot stein på same måte

Fraksjonen og finstoffinnhaldet kan altså endrast om ein kun har dette i fokus. Entreprenørar i dag har naturlegvis økonomi, framdrift og kvalitet i fokus. Men i eit miljø stripa for desse faktorane, kan ein ut ifrå desse erfaringane oppnå mindre finstoff samt betre kvalitet på steinen.

Vanlig praksis i dag er forskjellige malar for boreplanane. Ein har ein utgangsplan for både 48 mm og 64 mm boreplan. Vurderingar på stuff, med bakgrunn i fjellkvalitet, sonderboring og svakheits soner, dannar grunnlaget for val av plan. Det er sjeldan ein nyttar malen med 100 % presisjon, då ein ofte legger til hol på grunn av dei ukontrollerbare faktorane.

Om målet er å skyte grove salve med lite finstoff, blir salvelengda forkorta. Syklustida vil auke på grunn av lang lastetid og meir reinsk i etterkant. Går ein vekk frå den optimaliserte boreplanen basert på faktorane i førre spørsmål, og berre ynskjer å få grovast mogleg masse. Vil syklustida auke med rundt tre til fire timar per salve.

Dette blir eit definisjonsspørsmål. Fjell er ikkje ein homogen masse, og ein er nøydt til å ligge på sikker side. Den største risikoen er pilsalve. Dette vil føre til masse ekstraarbeid med pigging, og i verste fall ny ladning av eit lite område. Andre faktorar som spelar inn på ladinga, er om ein driv tunnelen på synk, stigning eller «flatt». I stigning vil ein få ekstra drahjelp av tyngdekrafta. I ein synkande tunnel nyttar ein ofte litt ekstra sprengstoff for å forhindre pilsalve. Samla sett vil ein nytte meir sprengstoff enn nødvendig i starten av drivinga. Erfaringa undervegs vil tilpasse ladninga til eit optimalt nivå.

Oppsummering

- Det er ingen samsvar mellom finstoffinnhald ved piloten sin 48 mm plan og 64 mm plan.
- Det er behov for rettleiing av krav 3.7.2-5_1. Dagens krav fører til stort tolkingsrom.
- Entreprenørar og byggherre sitt på kunnskap som kan betre kvaliteten på tunnelsteinen.
- Boreplanen sin ligg og nedre stross spelar inn på finstoffinnhaldet i tunnelsålen.
- Eit større fokus på forbetring av tunnelsteinen er fordyrande. Det er behov for initiativ frå byggherre, for at entreprenør skal gjere dette.
- På grunn av dei ukontrollerbare faktorane har ein ingen garanti for at tunnelsteinen blir betra ved endring.

Vegen vidare

- Vassbakk & Stol AS
 - *Renska slam på topp tunnelsåle med doser*
 - *Køyre inn singel fra utsida, restmasse 20-120*
 - *Fresa ny singel ned i tunnelsålen*
 - *4-6 % nedgang av finstoff*





Spørsmål?

