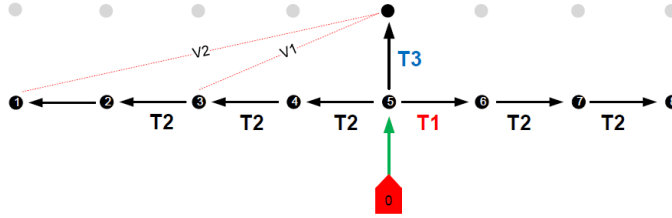




MARS 2024  
IVER HAUKNES



## ETTHULLSTENNING

### Etthullstenning

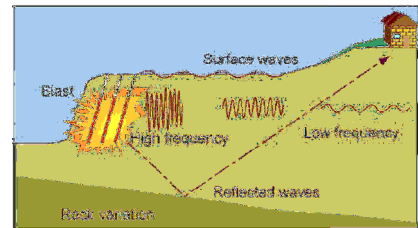
Metode som benyttes for å redusere den maksimale ladmengden som detonerer pr. intervall når vi sprenger med restriksjoner til:

- Vibrasjoner (svingehastighet)
- Luftsjokk (trykk)
- Sjokkbølger i vann (trykk)

$$P = K \left[ \frac{R}{\sqrt{Q}} \right]^{-a}$$

$$P = K \left[ \frac{R}{\sqrt[3]{Q}} \right]^{-a}$$

	Måleenhet	K	a	Referanse
Vibrasjoner	mm/s	100-400	1	NTNU 14A-98 Fjellsprengningsteknikk, Sprengning med restriksjoner
Luftsjokk	Bar	0.7	1	Dynamit, Holmberg-Person-Lee (TNT)
Sjokktrykk i vann	Pa	47.1	1.17	Emulsjonssprengstoff FOA C20422-D4-81



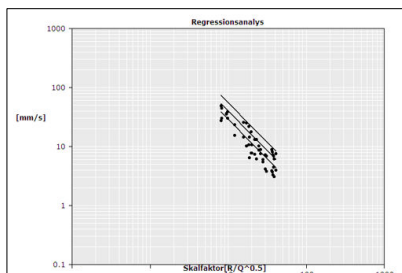
### Skalert avstand

Gir sammenhengen mellom vibrasjoner, luftsjokk og sjokktrykk i vann. K, a og b er konstanter.

R er avstand og Q er ladmengde, a angir hvor raskt vibrasjoner/trykket dempes når avstanden øker.

## Skalert avstand vibrasjoner

$$P = K \left[ \frac{R}{\sqrt{Q}} \right]^{-a}$$



Har man flere målinger av svingehastighet ved ulike avstander og ladningsmengder kan man finne K og a for en mer korrekt beregning

Plotter man måleverdiene i et log-log diagram og måleverdi mot skalert avstand. En rett linje gjennom datapunktene gir konstanten K og a (linjens stigningstall).

I praksis benytter man programvare som finner linjen som representerer måleverdiene best mulig (log-log regresjonsanalyse)

$$P = K \left[ \frac{R}{\sqrt{Q}} \right]^{-1} = K \frac{\sqrt{Q}}{R}$$

For a= -1 så tilsvarende dette formelen som vi oftest benytter for beregne sammenhengen mellom vibrasjoner, ladningsmengde og avstand



Iver Hauknes 2024

## Nøyaktighet og presisjon (pyrotekniske tenmidler)

Nøyaktighet og presisjon minker når tennerens forsinkertid øker. Problemet er størst for LP-serien (tunnel).

Krav til nøyaktig og presisjon på et tennsystem er bestemt av EN (NO) 13763-16 standarden som må tilfredsstilles for at tennernummeret skal få CE godkjenning (kunne selges i EU). Kravet skal kunne tilfredsstilles i hele tennerens levetid ( 2 år), for alle produksjonsserier i uåpnede poser

Nummer:	Forsinkertid ms:	Maksimalt Standardavvik (ms)
#0	25 ms	16,7
#1	100 ms	25,0
#1,5 – #5,5	150 – 550 ms	16,7
#6	600 ms	25,0
#7 – #11	700 – 1100 ms	33,3
#12	1200 ms	50,0
#14 – #18	1400 – 1800 ms	66,7
#20	2000 ms	100,0
#24 – #56	2400 – 5600 ms	133,3
#60	6000 ms	200,0

Nøyaktigheten og presisjon er bedre for tenner fra samme produksjonsserier og av nyere produksjonsdato



Iver Hauknes 2024

## Nøyaktighet og presisjon (elektroniske tenner)

Nøyaktighet / presisjon av forsinkertiden til en elektronisk tennertenn er oftest oppgitt som en prosentandel av forsinkertiden.

Denne varierer fra de produkt til produkt men er typisk i området 0.01 til 0.03 % av programmert tid.

Minste tid mellom nummer er ofte 1 ms og maksimaltiden kan være fra 10 000 - 30 000 ms.

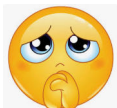


Iver Hauknes 2024

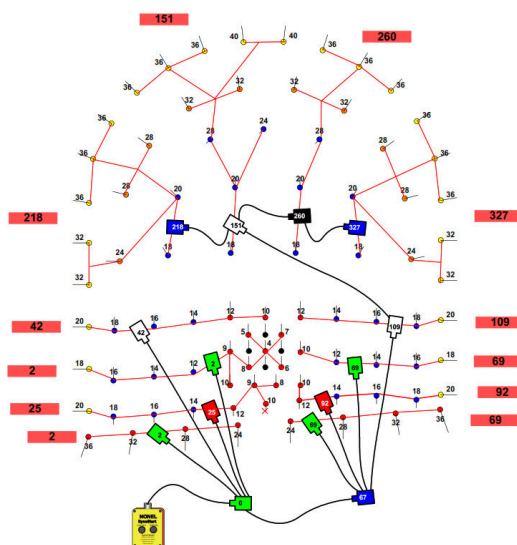
## Hvor komplekst det er å oppnå ethullstenning varierer fra tennsystem til tennsystem

### Exel™ LP

Borehullstener Intervallnummer, forsinkertid	Hylsemateriale: Aluminium		Nøyaktighet (ms)
	Nummer:	Forsinkertid ms:	
	#0	25 ms	16,7
	#1	100 ms	16,7
	#1,5 – #5,5	150 – 550 ms	25,0
	#6	600 ms	16,7
	#7 – #11	700 – 1100 ms	25,0
	#12	1200 ms	33,3
	#14 – #18	1400 – 1800 ms	50,0
	#20	2000 ms	66,7
	#24 – #56	2400 – 5600 ms	100,0
	#60	6000 ms	133,3
			200,0



- Mye arbeid og lage planer og koble
- Stor unøyaktighet på de høye nummer medfører at det ikke er noen garanti for at man har ethullstenning
- Er benyttet over flere tiår med relativt godt resultat

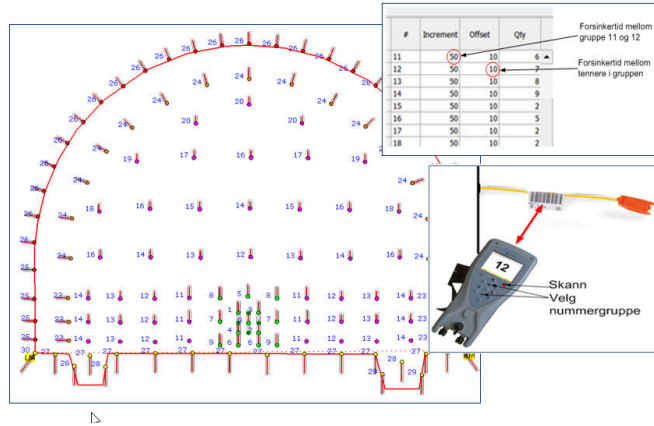


Iver Hauknes 2024

# eDev<sup>II</sup>

Electronic Tunnel Blasting System

- Tennere kan programmeres med forsinkertid fra 0 – 20000 ms i 1 ms intervaller med en nøyaktighet bedre enn 0.01 %
- Man kan enkelt lage sitt eget tennsystem med full kontroll over:
  - forsinkertider tilpasset bergets sprengbarhet
  - etthullstening for kontroll med vibrasjoner og konturkvalitet



Iver Hauknes 2024

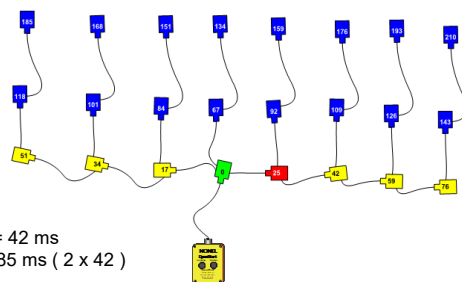
## Exel™ MS Exel™ Connectadet™ SL

Forsinker #	Nominell tid* (ms)	Max. Std. Avvik (ms)
16	400	6.7**
17	425	
18	450	
19	475	
20	500	

Koblingsblokk	Forsinkertid	3 – 176 ms
grønn	SL0	3 ms
rosa	SL9	9 ms
gul	SL17	17 ms
rød	SL25	25 ms
hvit	SL42	42 ms
blå	SL67	67 ms
svart	SL109	109 ms
orange	SL176	176 ms

±2,0 ms ±2,0 ms ±2,0 ms ±2,0 ms ±3,3 ms ±4,0 ms ±4,7 ms ±6,0 ms

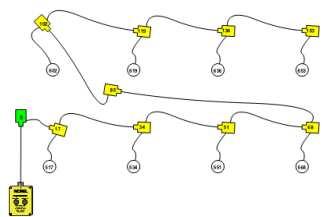
\* Forsinkertid inklusiv 6 m signalstange.



$25 + 17 = 42 \text{ ms}$   
 $5 \times 17 = 85 \text{ ms} ( 2 \times 42 )$   
 $4 \times 17 = 68 \text{ ms} ( 1 \times 67 )$   
 $25 + 4 \times 17 = 93 \text{ ms} ( 25 + 67 = 92 \text{ ms} )$



- Tradisjonell metode gir ikke etthullstening når antall tennere i rasten blir mange
- Problematisk å oppnå etthullstening når man ikke åpner på et hjørne
- 25 ms forsinkelse mellom MS serien gir lang forsinkelse mellom hull ved flere dekk og den rastvise tiden blir stor



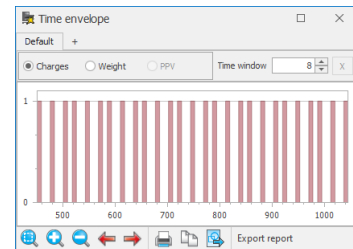
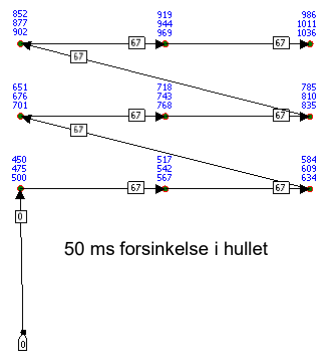
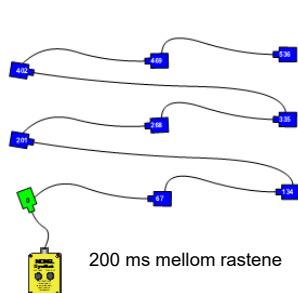
En metode som gir etthullstening også med flere dekk er å sette forsinkertiden mellom hull større enn forsinkertiden i hullet og koble alle hull i salven med denne forsinkelsen i rekkefølge.



Iver Hauknes 2024

## ...men pass på at tiden mellom rastene ikke blir for lang

Regel: Forsinkelsen mellom hull er større enn forsinkelsen i hullet



Ethullstening (Shotplus 6)

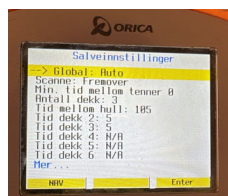


Iver Hauknes 2024

## uni**tronic**600

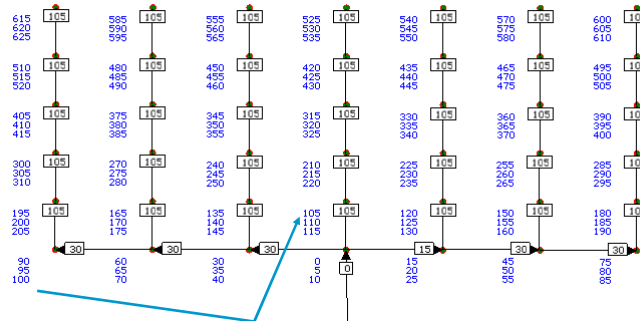
Electronic Blasting System

- Tennere kan programmeres med forsinkertid fra 0 – 10 000 ms i 1 ms intervaller med en nøyaktighet bedre enn 0.1 ms opp til 350 ms og mindre enn 0.03 % for forsinkertider opp til 10 000 ms.
- Ingen automatikk i hvilke forsinkertider man velger for å oppnå ethullstening
- Tidene vi velger bør også være slik at antall tider som manuelt må legges inn er færrest mulig slik at loggingen går raskt og uten feil.



Iver Hauknes 2024

## Den enkleste metoden er å initiere hull for hull



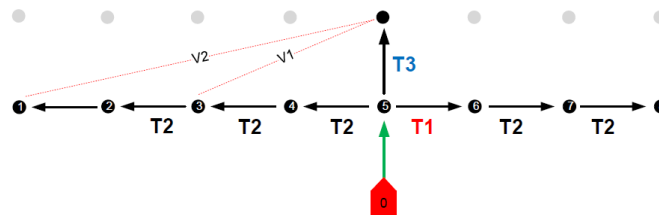
Forsinkelsestid mellom dekk er 5 ms

Forsinkelsestid mellom raster er 105 ms

Alle dekk i hullet må være initiert før toppdekket i neste hull initieres.  
Første hull i neste rast er høyeste forsinkertid i frontrast + 5 ms



Iver Hauknes 2024

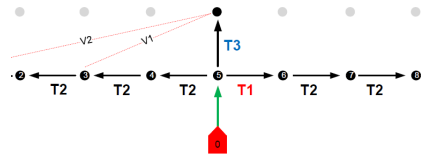


- T2** : Forsinkertiden mellom hull
- T1** : Forsinkertiden som forskyver den ene siden av starten
- T3** : Forsinkertiden mellom raster



Iver Hauknes 2024

## Hvordan velge forsinkertider mellom dekk, hull og raster for å få etthullstenning



- T2** : Forsinkertiden mellom hull
- T1** : Forsinkertiden som forskyver den ene siden av starten.
- T3** : Forsinkertiden mellom raster.

Forsinkertid mellom dekk i hullet: A1  
 Forsinkertid mellom hull: A2  
 Antall dekk: D.

$$T1 = A1 \times (D-1) + A2$$

$$T2 = 2 \times T1$$

$$T3 = \text{høyeste forsinkertid i frontrast} + T1$$

### Eksempel

Forsinkelsen mellom hull A2 = 5 ms og mellom dekk i hullet A1 = 5 ms. Antall dekk i hullet D=3. Antall hull i rast = 7 antall raster = 6. Startpunkt hull 4 fra venstre.

T1 = A1 x (D-1) + A2 = 15 ms, T2 = 2 x T1 = 30 ms, Høyeste forsinkelse venstre side = (30+30+30)=90 ms, Høyeste forsinkelse høyre side (15+30+30)=75 ms. T3 = 90 ms + 15 ms = 105 ms

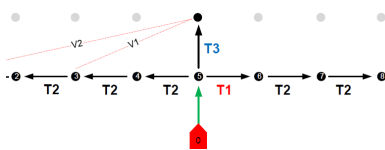


Iver Hauknes 2024

## uniTRONIC<sup>600</sup>

Electronic Blasting System

7 hull x 6 raster 3 dekk etthullstenning  
 Forsinkertid mellom dekk 5 ms



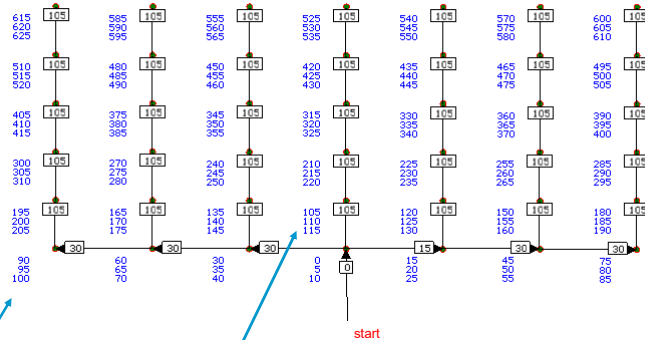
Forsinkelsen mellom dekk: A1 = 5 ms  
 Forsinkelse mellom hull: A2 = 5 ms  
 Antall dekk: D = 3

$$T1 = A1 \times (D-1) + A2 = 5 \times 3 = 15 \text{ ms}$$

$$T2 = 2 \times T1 = 30 \text{ ms}$$

Høyeste forsinkertid toppdekk 3 x 30 ms = 90 ms

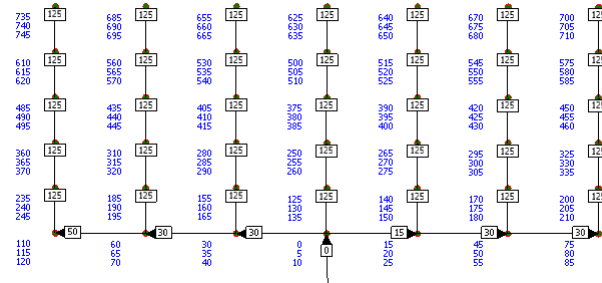
$$T3 = 90 + T1 = 90 + 15 = 105 \text{ ms}$$



Iver Hauknes 2024

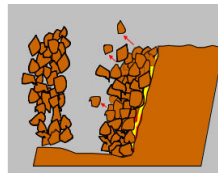
## Regler

- Alle dekk må være initiert i hullet før neste hull initieres
- Forsinkertiden mellom raster kan økes etter ønske så lenge forsinkelse er høyere enn T3
- Forsinkertiden til kantrasten kan økes etter eget ønske, så lenge at den blir høyeste forsinkelse for hull i rasteren. Husk å øke den rastvise forsinkelsen.



## Sjekk

- At tiden mellom raster ikke blir for høy.  
20 m/s bevegelseshastighet frontrast  
300 ms rastvis forsinkelse  
Frontrasten har beveget seg  $20 \times 0.3 = 6$  m før andre raster initieres



Iver Hauknes 2024

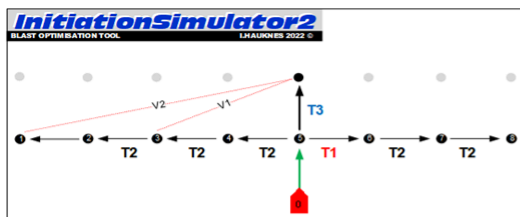
Andre kombinasjoner av T1, T2 og T3 kan finnes ved å sjekke alle mulige kombinasjoner av T1, T2 og T3 og velge de som gir etthullstening innenfor ønsket overlapp tid og som tilfredsstillte valgte sprengningstekniske forutsetninger

Av totalt 50 505 kombinasjoner av T1, T2 og T3 fins det 6 805 som tilfredsstillte ønskede kriterier



Iver Hauknes 2024





Maksimum overlapping holes/decks = 0 Total = 0 times

Rows = 5

Holes a row = 10

Start hole = 5

Delay holes T2 = 18

Delay disp. T1 = 9

Delay rows T3 = 90

# holes initiated in front before first hole in the second row

Delay between decks = 3 [ms]

First hole starts at 100 [ms]. Red color indicate overlapping

532	514	496	478	460	469	487	505	523	541
535	517	499	481	463	472	490	508	526	544
538	520	502	484	466	475	493	511	529	547
442	424	406	388	370	379	397	415	433	451
445	427	409	391	373	382	400	418	436	454
448	430	412	394	376	385	403	421	439	457
352	334	316	298	280	289	307	325	343	361
355	337	319	301	283	292	310	328	346	364
358	340	322	304	286	295	313	331	349	367
262	244	226	208	190	199	217	235	253	271
265	247	229	211	193	202	220	238	256	274
268	250	232	214	196	205	223	241	259	277
172	154	136	118	100	109	127	145	163	181
175	157	139	121	103	112	130	148	166	184
178	160	142	124	106	115	133	151	169	187



Iver Hauknes 2024



Selv om man har etthullstenning har man ingen garanti for at man ikke får samvirke mellom ladninger i målepunktet

- Sjekk at det ikke er noe feil med målingen. Sjekk kurveforløp for svingehastighet og utsving samt frekvensdiagram
- Sjekk om forsinkertiden mellom hull eller dekk er for liten (overlapp)
- Sjekk at sandproppen mellom dekk fungerer som den skal



Iver Hauknes 2024