



Statens vegvesen

# Erfaringer med mikrosement vs. industrisement, Ringveg Vest Bergen

## Vårsleppet NBG 2015

Terje Kirkeby, Tunnel- og betongseksjonen, Vegdirektoratet

- Hovedfag geologi, Universitetet i Oslo 1988.
- Veglaboratoriet fra sommeren 1988, i Statens vegvesen siden.
- Forundersøkelser. Prosjektering og oppfølging skjæringer og tunneler.
- Ansvarlig geolog på Blødekjærtunnelen Arendal, E6 Djupdalen Oslo, Strømsås- og Bragernestunnelene Drammen, Frodeåstunnelen Tønsberg og Ringveg Vest Bergen (1. og 2. byggetrinn).
- I dag mest håndbøker og kursing, og noe rådgivning.

2. byggetrinn åpner  
september 2015

The map shows the coastline of Western Norway, focusing on the area around Bergen. It highlights several road networks: a yellow network along the coast, a red network inland, and a blue dashed line indicating the third phase of construction. The text '2. byggetrinn åpner september 2015' is overlaid in red on the map.

1. byggetrinn åpnet  
september 2010

The same map area is shown again, with the red network now fully connected. The text '1. byggetrinn åpnet september 2010' is overlaid in red.

og 3. byggetrinn igangsettes...?

The map shows the completed red network and the blue dashed line for the third phase. The text 'og 3. byggetrinn igangsettes...?' is overlaid in blue.



# Fv.557 RINGVEG VEST BERGEN, 2.BYGGETRINN

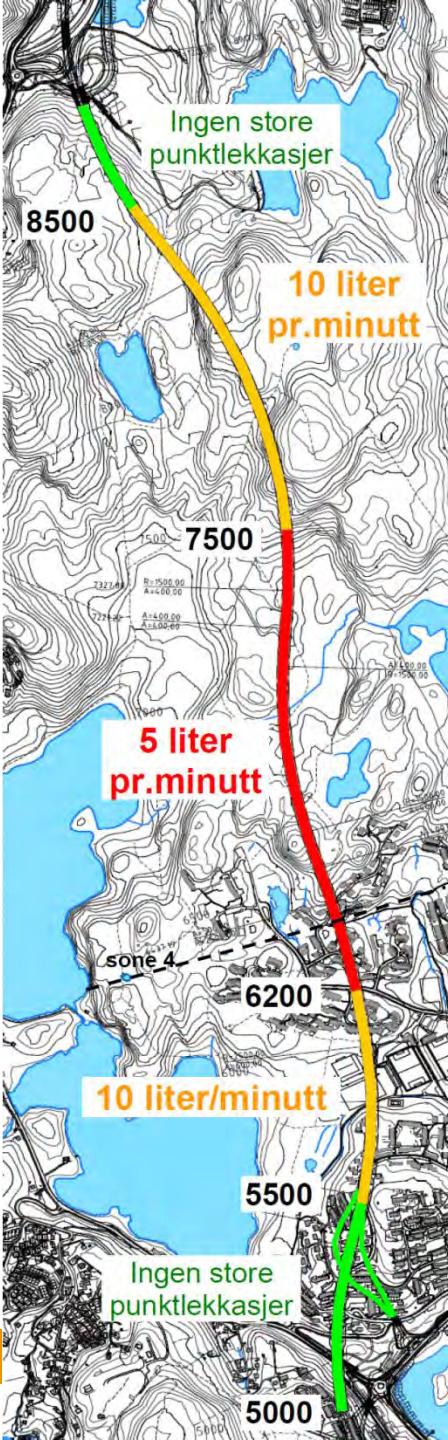
11-7185, høyre vegg etter vask,  
Båndet granittisk gneis

# Berggrunnsgeologi:

09/01/2013 13:48

# Berggrunnsgeologi:

- Grunnfjellsgneiser sentralt i «Bergensbuene».
- Hovedsakelig granittiske gneiser og båndete gneiser under Kanadaskogen.
- Mest middels bergmassekvalitet (Q-verdi=4–10) og den «dårlige» delen av god kvalitet (Q videre opp til 20–25), dvs. sikringsklasse II og I på strekningen (iht. tabellen i N500 – Vegtunneler).
- De mest markerte sprekkene står derimot omtrent N–S, det er samme generelle retning som tunnelen.
- Injeksjonshullene får dermed liten eller ingen vinkel til hovedsprekkene, og hvert hull skjærer rel. få sprekker.
- Gjør det vanskeligere å få det helt tett, må også regne med boravvik.



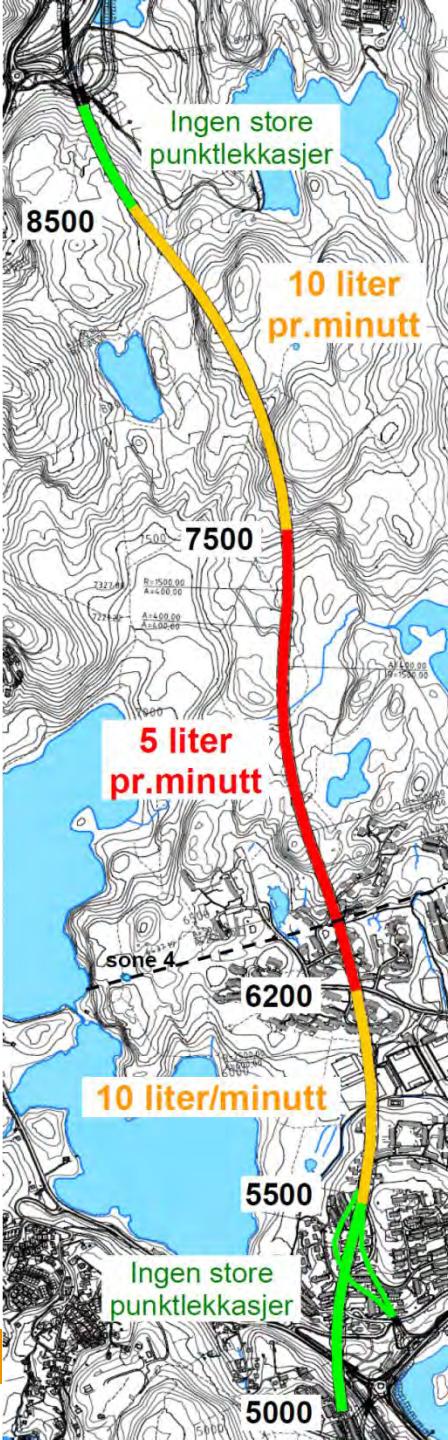
Sårbart naturmiljø og til dels ekstremt strenge krav, ned mot 2,5 liter/minutt/100m pr. løp

Forventet store injeksjonsmengder, fra kontrakten;

- 5 500 000 kg industrisement
- 200 000 kg mikrosement
- 3 000 timer injeksjonstid
- 250 stk. opp/nedrigginger

Mengdene kan tilsvare 12 timers injeksjons-skjermer med 23 tonns forbruk pr. skerm, tilsv. 3750 meter med systematisk injeksjon (det er 8340 meter tunnel totalt).

Industrisement skulle altså være hovedmiddelet, kombinert med høye trykk.



Sårbart naturmiljø og til dels ekstremt strenge krav, ned mot 2,5 liter/minutt/100m pr. løp

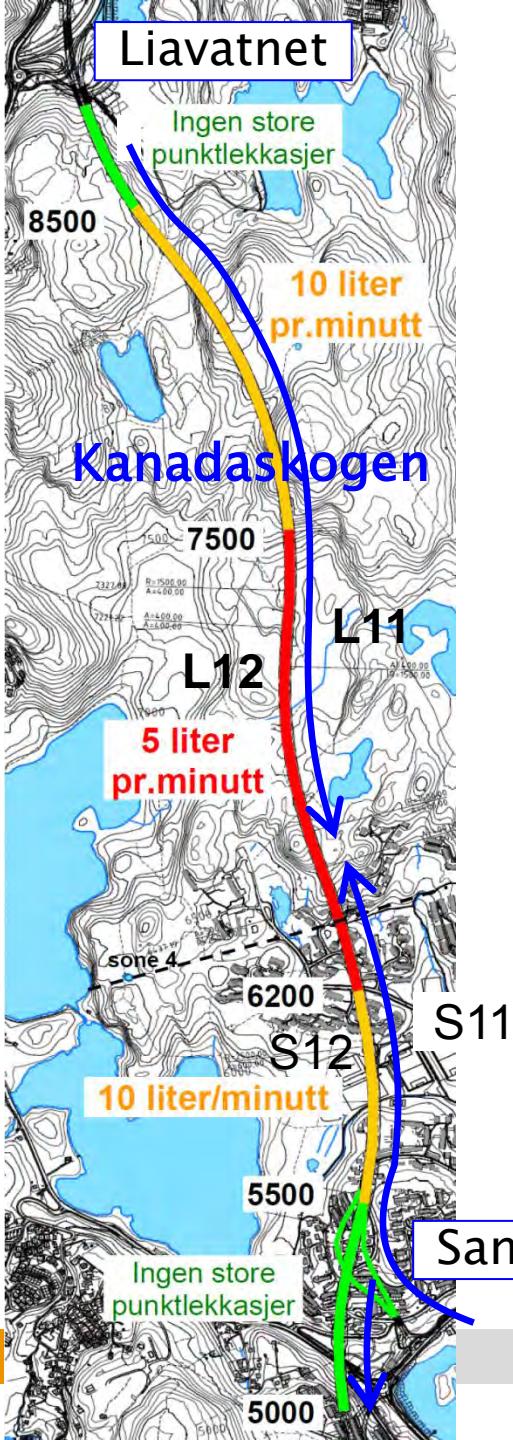
Forventet store injeksjonsmengder, fra kontrakten;

- 5 500 000 kg industrisement
- 200 000 kg mikrosement
- 3 000 timer injeksjonstid
- 250 stk. opp/nedrigginger

Men det ble omtrent;

- 7 600 000 kg industrisement
- 1 600 000 kg mikrosement
- 4 100 timer injeksjonstid
- 275 stk. opp/nedrigginger

(en økning på over 60 % for sement samlet og over 25 % på injeksjonstiden).



Tunneldriving fra Liavatnet i nord, og ned rampene fra Sandeide i sør.

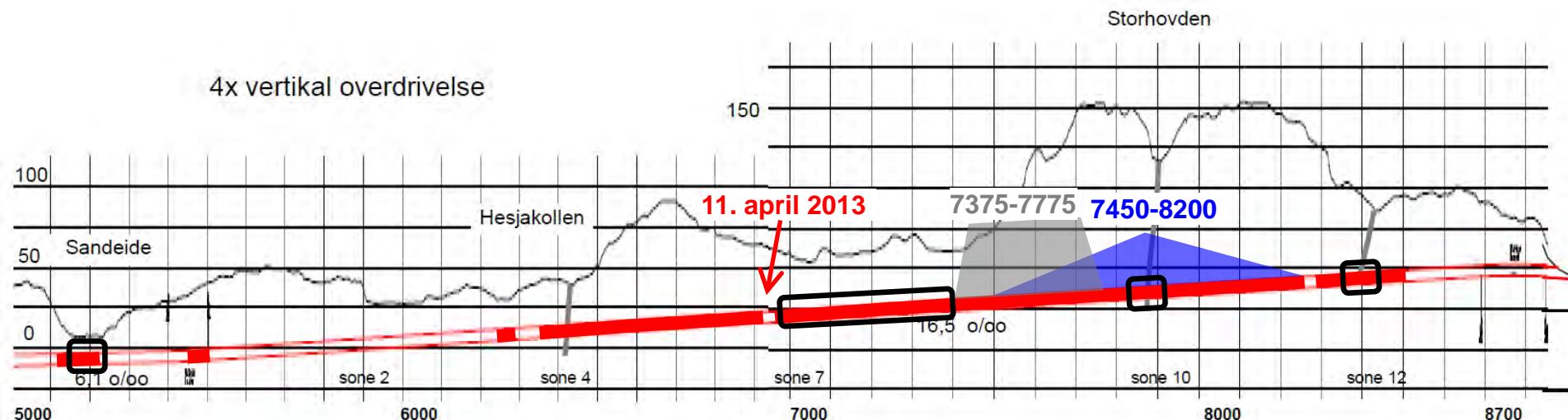
Utfordringene i sør var tett bebyggelse, liten overdekning og nabohensyn. Men berggrunnen viste seg tørr.

Under Kanadaskogen fra nord ble det i stedet store vannmengder og vanskelige tettearbeider.

Etter hvert også stort sementforbruk.

**INJISERTE STREKNINGER** på 2. byggetrinn markert med rødt:

(  $\square$  = mikroselement)



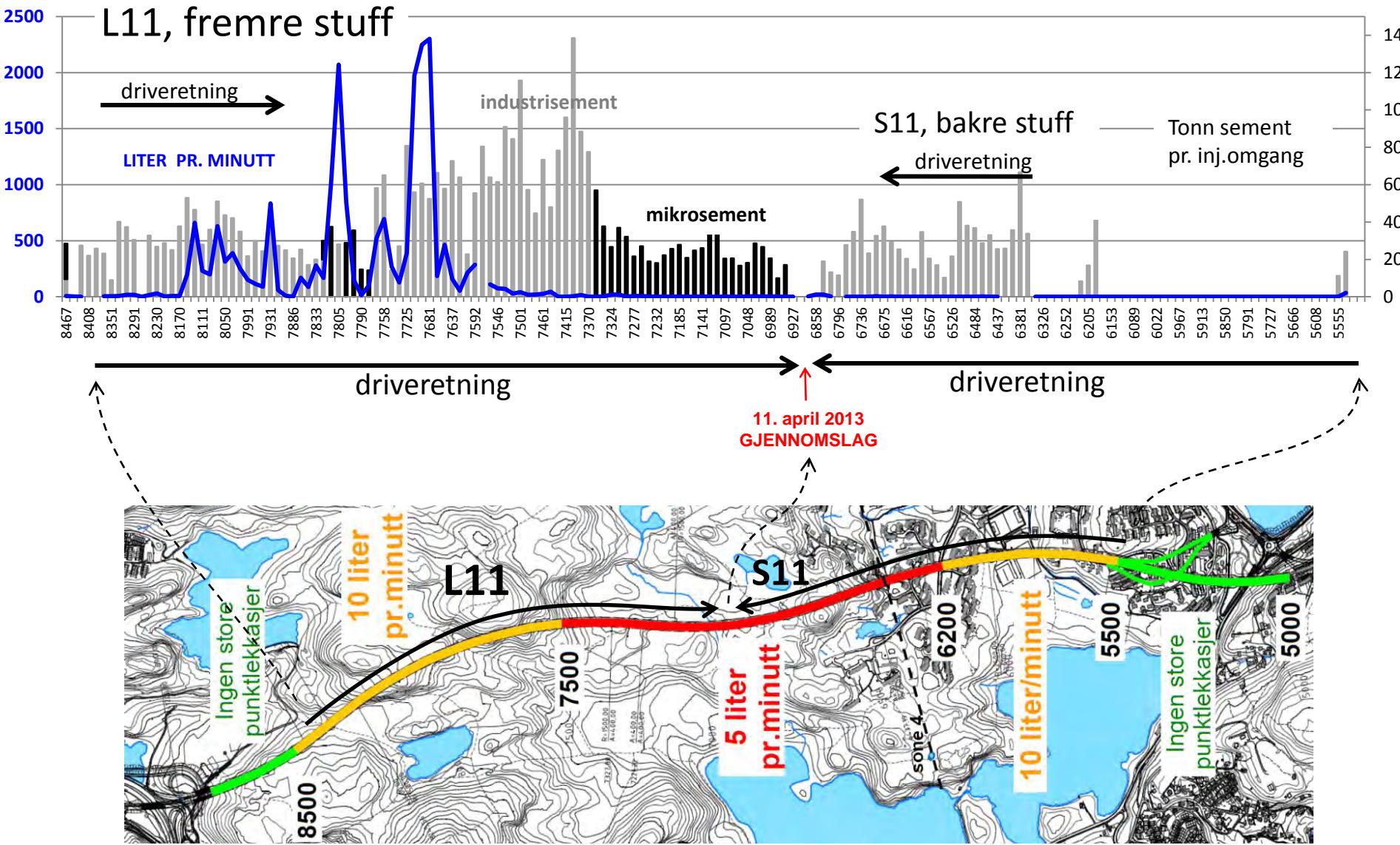




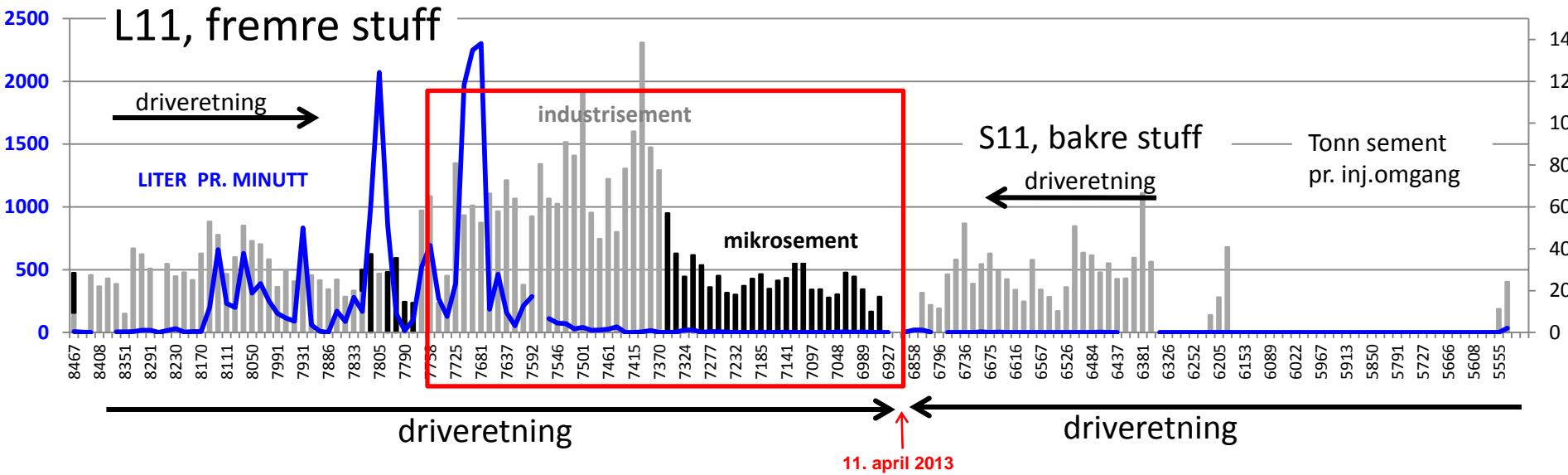
Statens vegvesen

# Kort om hvordan det gikk

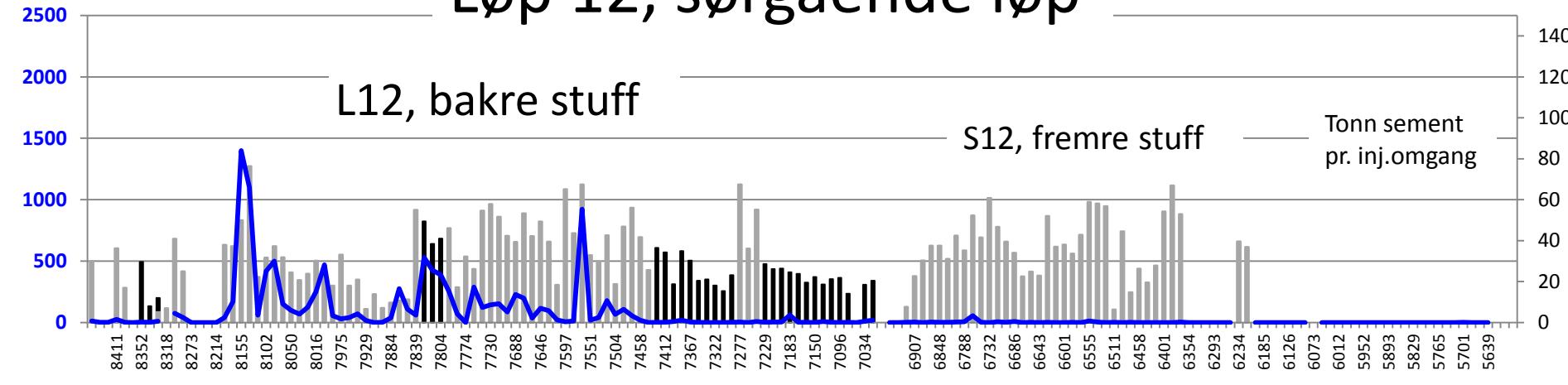
# Løp 11, nordgående løp



# Løp 11, nordgående løp



# Løp 12, sørsgående løp



(mindre vann og lavere sementforbruk på L12)

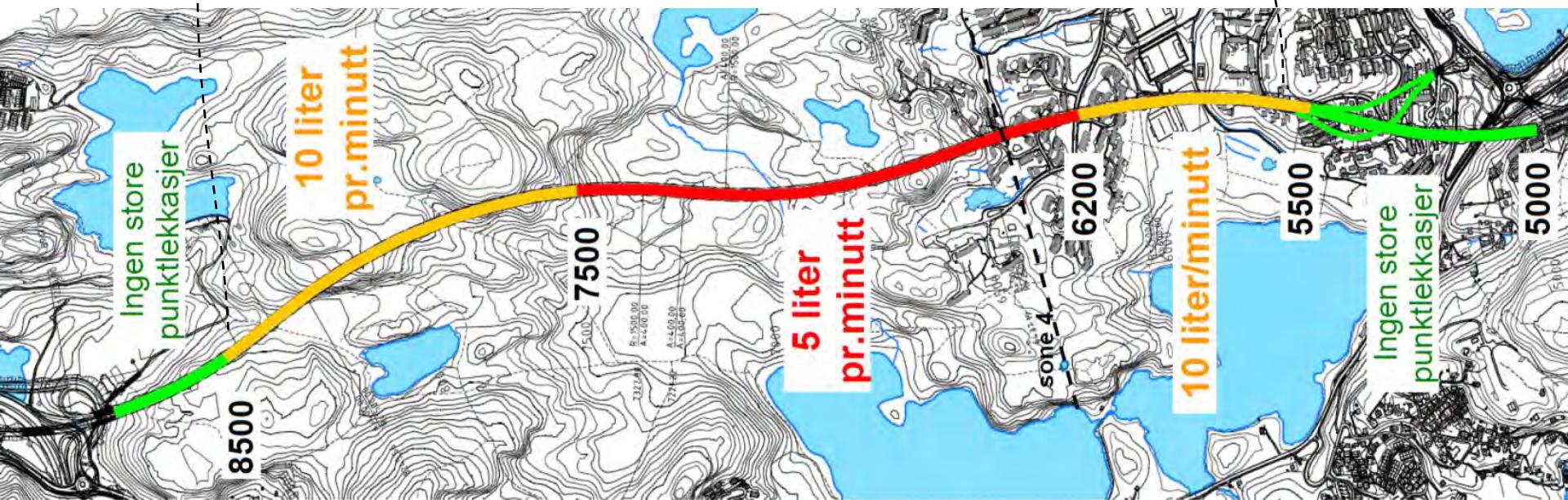
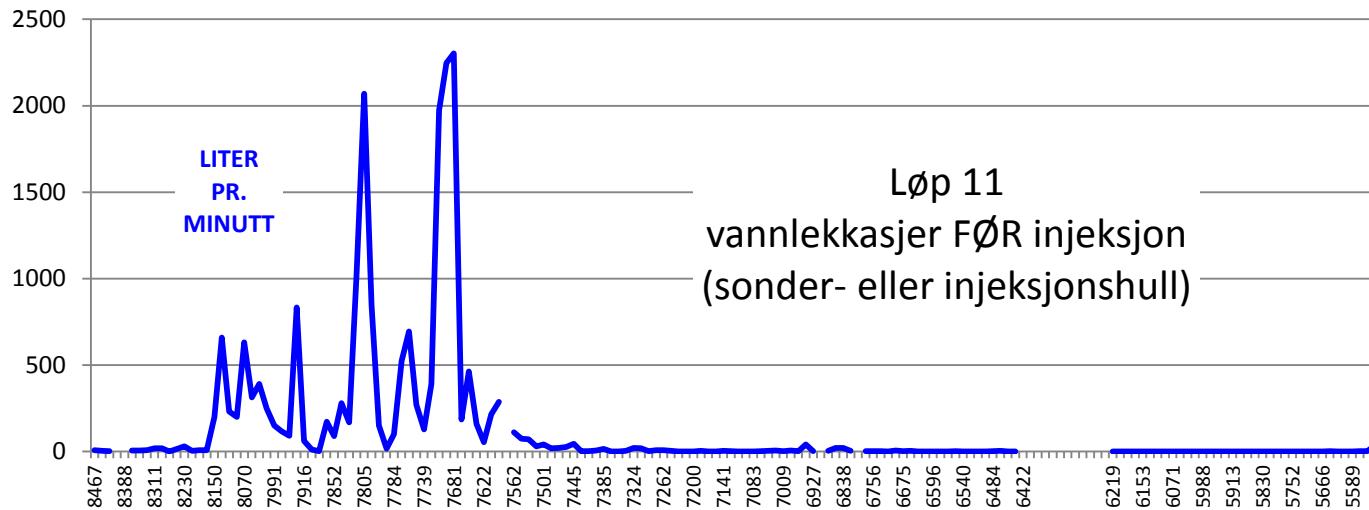
11-7527, høyre heng etter vask,  
Granittisk gneis

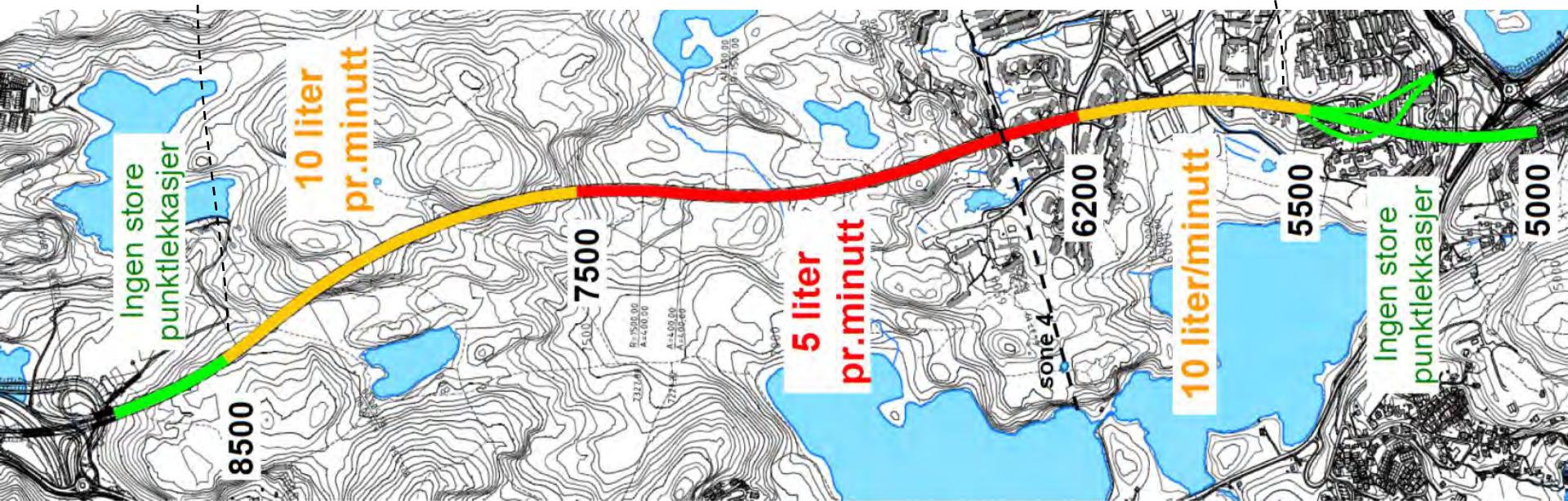
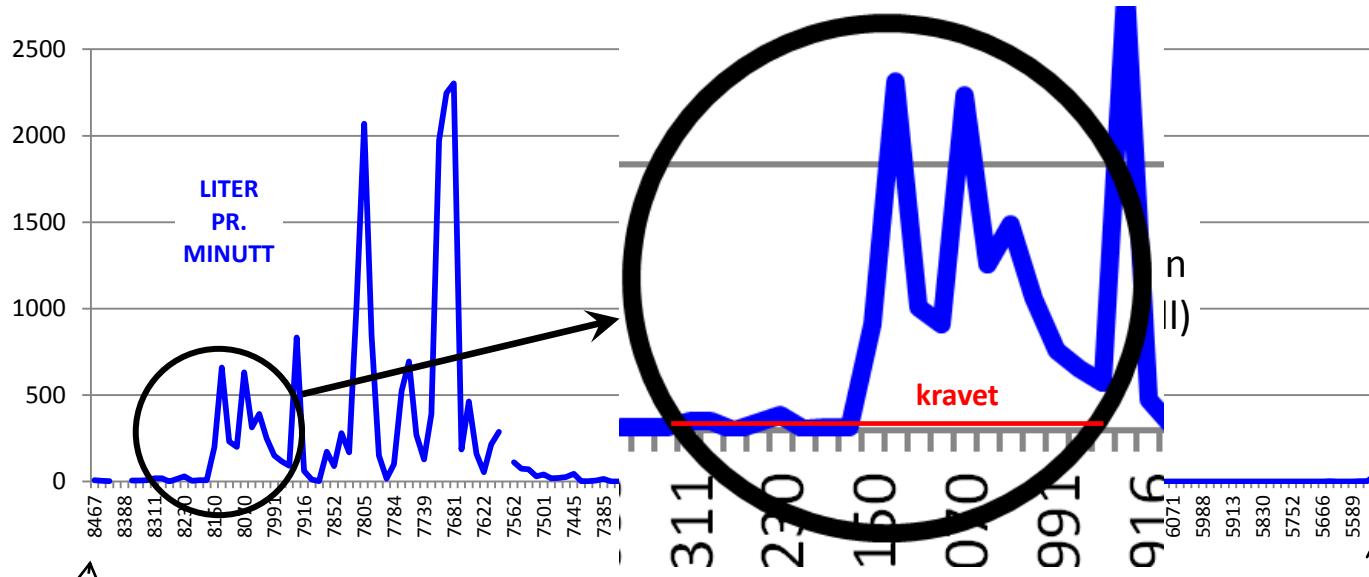
15/09/2012 15:19

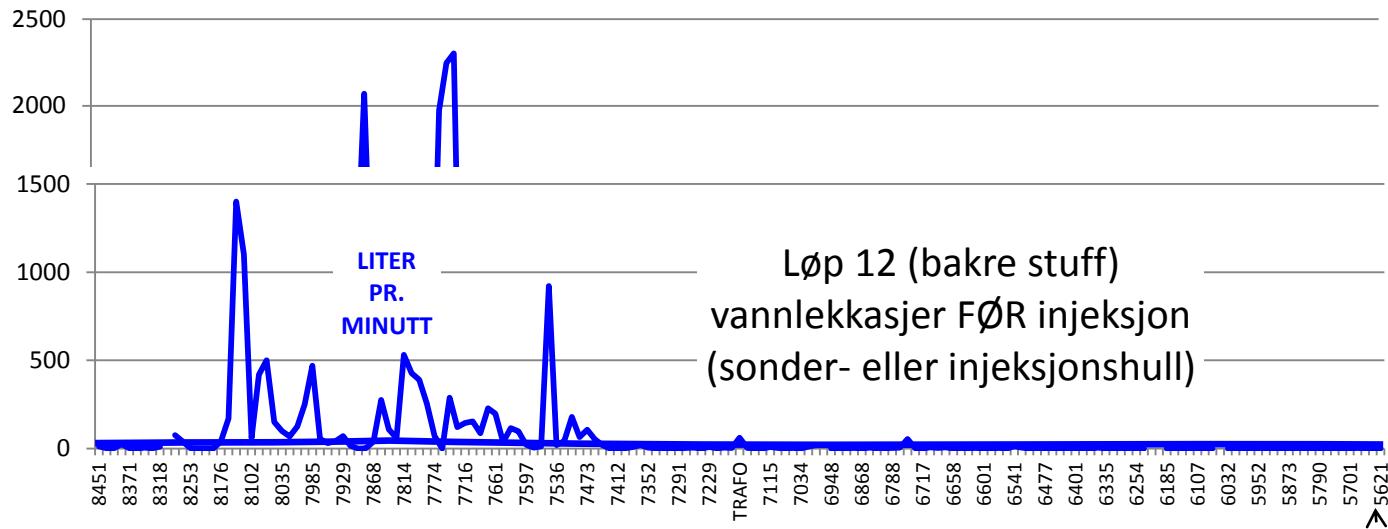


Statens vegvesen

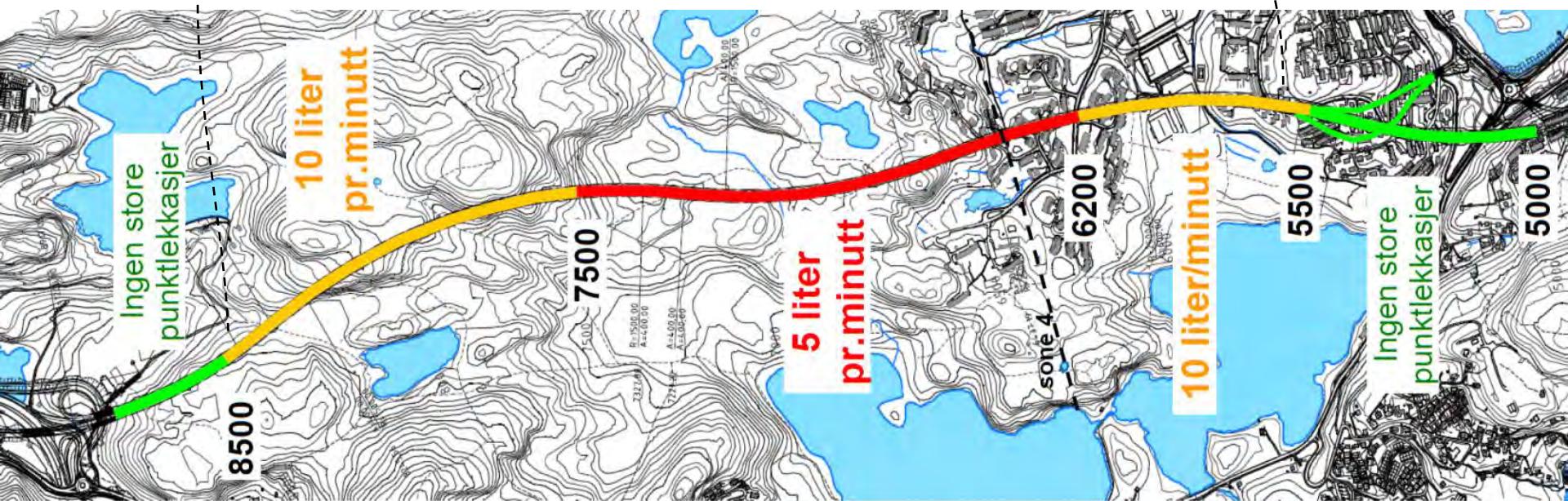
# vann først



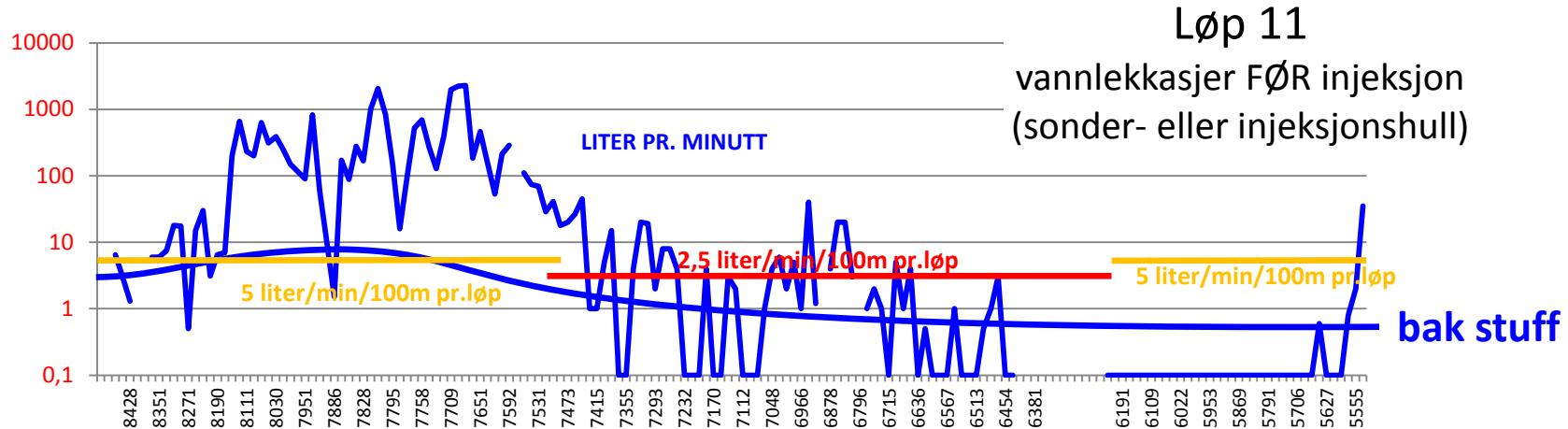




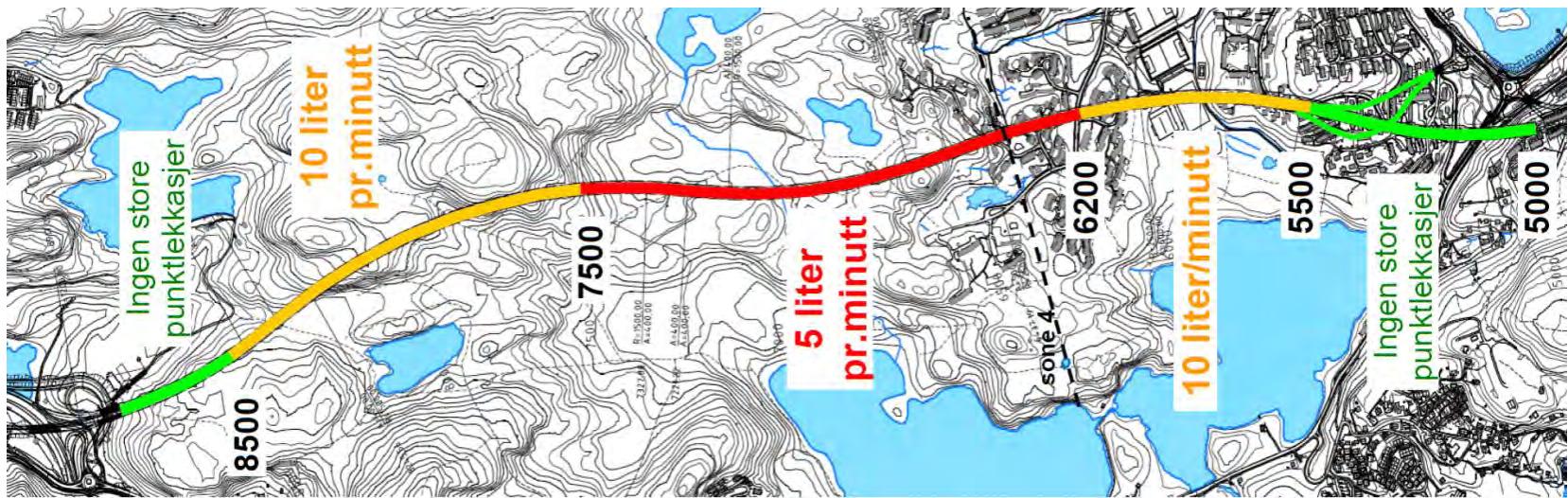
Sluttresultat



Obs: Logaritmisk skala



Kravet ble med andre ord ikke oppfylt i deler av tunnelen, men med en såpass stor reduksjon fra slike vannmengder kan ikke tettearbeidene kalles mislykket (i allfall mht. vann). Eller?  
Uansett; etter gjennomdriving med få unntak (i form av spredte drypp/dryppregn og mørke flekker i betongen under kogen) en rel. tørr tunnel, skogen er like våt og myrlendt som før.  
I ettertid (observert under etterarbeidene) har innlekkasjene gått ytterligere ned.





Statens vegvesen

# injeksjons- sementene

Injeksjon i Statens vegvesen,  
det brukes *sementbaserte*  
injeksjonsmidler, som i praksis er:

## Industrisement eller mikroselement

- Anvendelig og billig, rask levering, men den er egentlig ikke laget for injeksjon.
- «grov malt», går uten hjelp inn på bare «større» sprekker.
- $d_{95} > 20 \mu\text{m}$ , dvs. 95%  $> 20 \mu\text{m}$  (0,02 mm) iht. R761 - prosesskoden **og**  $d_{95} < 40 \mu\text{m}$  (iht. NFF håndbok nr.06).
- med «hjelp» menes høye trykk («Aktiv injeksjon»),  $\geq 80$  bar.
- må også til en viss grad jekke berget for å nå nye sprekkesystemer.
- Treg herding, tar mange timer selv ved  $v/c = 0,5$ , men derfor også greiere å jobbe med på riggen.
- En kommer langt med industrisement på de fleste steder, selv ved strenge krav, men mikroselement kan bli nødvendig.

Industrisement i lavabergarten rombeporfyr,  
Frodeåstunnelen, Tønsberg 2004.



Injeksjon i Statens vegvesen,  
det brukes helst *sementbaserte*  
injeksjonsmidler, som i praksis er:

## industrisement eller **Mikrosement**

- Produsert for injeksjon, men er egentlig en normal portlandsement som er finere malt under et strengere kontrollregime.
- Derfor også dyrere (og lengre bestillingstid), og skal ha en jevnere, bedre kvalitet enn industrisement.
- SVV: må være  $d95 < 20 \mu\text{m}$ , dvs. 95 % mindre enn 0,020 mm for å kalles mikrosement (ultrafin har iht. R761 en  $d95 < 10 \mu\text{m}$ ).
- Trenger følgelig inn på og tetter mindre sprekker ved samme trykk.
- Større overflate og mer kjemisk aktiv, reagerer/herder raskere (noen ganger for fort), derfor mer påpasselighet ved blanding og bruk.
- Herdingen kan også igangsettes med akselerator, som åpner for mer effektiv injeksjon, hindrer overforbruk og utganger til terreng og stuff.



# Mikrosement kan enten brukes på

- «vanlig» vis (om nødvendig med gradvis tykkere masse for å få opp mottrykket), eller
- med akselerator for å igangsette herdeprosessen («styrт herding»).



Statens vegvesen

# STYRT HERDING

- Setter i gang herding ved å tilsette sprøytebetong-akselerator.
- Fungerer klart best på mikrosement av god kvalitet.
- Egen linje med egen pumpe, tilsettes ute ved injeksjonsstaven.
- Akselerator-pumpa må være «slave» av sementpumpa, dvs. rett dosering uansett trykk og strømningshastighet på sementen.
- Kan styre tiden til herding starter fra 20 ned til 3 minutter.
- Utstyret må være i orden, og mannskapene godt forberedt/trent.
- Brukt riktig spares både sement og tid, en kan gå rett på boring uten å vaske ut fersk sement.
- Faremomenter:
  - Starter herdingen for tidlig, på feil sted.
  - Obs på utgang mikro i andre hull, spesielt med akselerator!
- Kontrakt: *ikke som spesialsement!*, kun kg-pris på forbruk aks.



Statens vegvesen

# Styrt herding i LAB. (fra Hognestad, BASF)

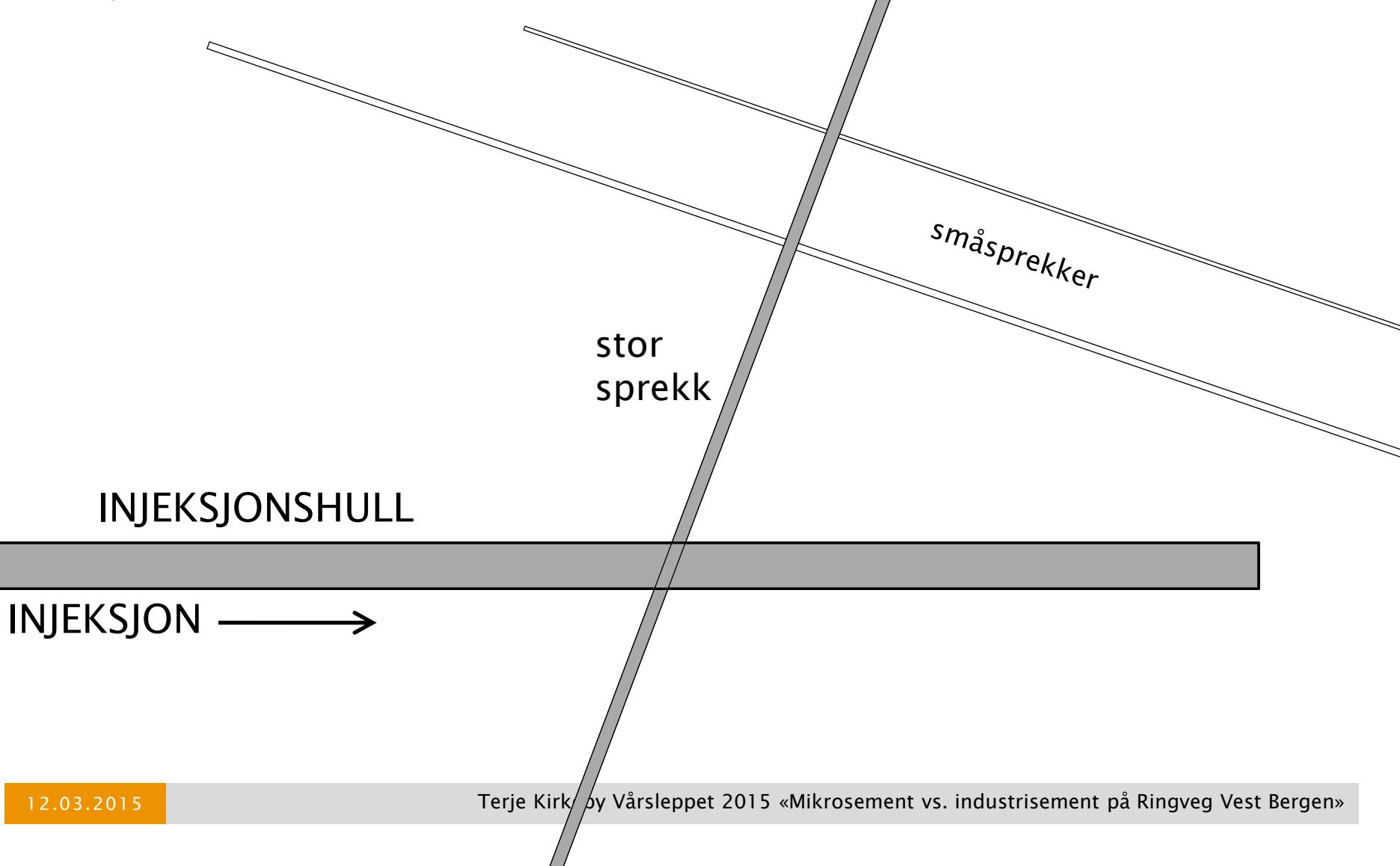
- Rheocem 650
- V/C = 0.8
- 1,5% Rheobuild 2000PF
- MEYCO SA 162 alkaliefri akselerator
- Dosering i prosent av sementvekt

*Laboratorieforsøk*

Prøve	aks.dosering	hard
Prøve 1	0%	1t 55 min
Prøve 2	1%	19 min
Prøve 3	2%	11 min
Prøve 4	3%	9 min
Prøve 5	4%	6 min
Prøve 6	5%	4 min



Massen går  
minste  
motstands veg





INJEKSJONSHULL  
INJEKSJON →

Massen går  
minste  
motstands veg

Styrt herding  
(akselerator riktig  
tilsatt, slik at massen  
herder på rett plass)

*småsprekker*

stor  
sprekk

mindre  
sprekkes, som  
før ikke har sluppet  
inn masse, fylles opp



INJEKSJONSHULL  
INJEKSJON →

stor  
sprekk

*småsprekker*  
om massen herder  
*før* den har kommet langt  
nok inn; ufullstendig injeksjon.

## INJEKSJONSHULL

Nabohull kan også fylles opp, spesielt uheldig om det er brukt. aks.



INJEKSJONSHULL  
INJEKSJON →

stor  
sprekk

*småsprekker*

## Fra R761 – Prosesskoden (under 31.6 Injeksjon):

«Dersom det under injeksjonen kommer injeksjonsmiddel ut av andre hull, skal det settes pakkere i disse hullene. Den videre injeksjonen skal foretas vekselvis eller samtidig for disse hullene.»

- Noe utdatert, i dag settes det pakkere som sikres, i *alle* hull før injeksjonen starter opp.
- Men det finnes pakkere med stift. Benyttes.
- Tror det syndes mye her, muligheten brukes ikke, og det er også fra 1-2 til maks 3 mann på stuff, og flytting rundt på stuff blir nedprioritert. Det kan riktignok også være uhåndterlig mye forbindelser hullene i mellom.
- Særlig viktig med mikroselement, og spesielt ved bruk av akselerator. Hull med tregere industrisement kan fortsatt aktiveres (en stund).



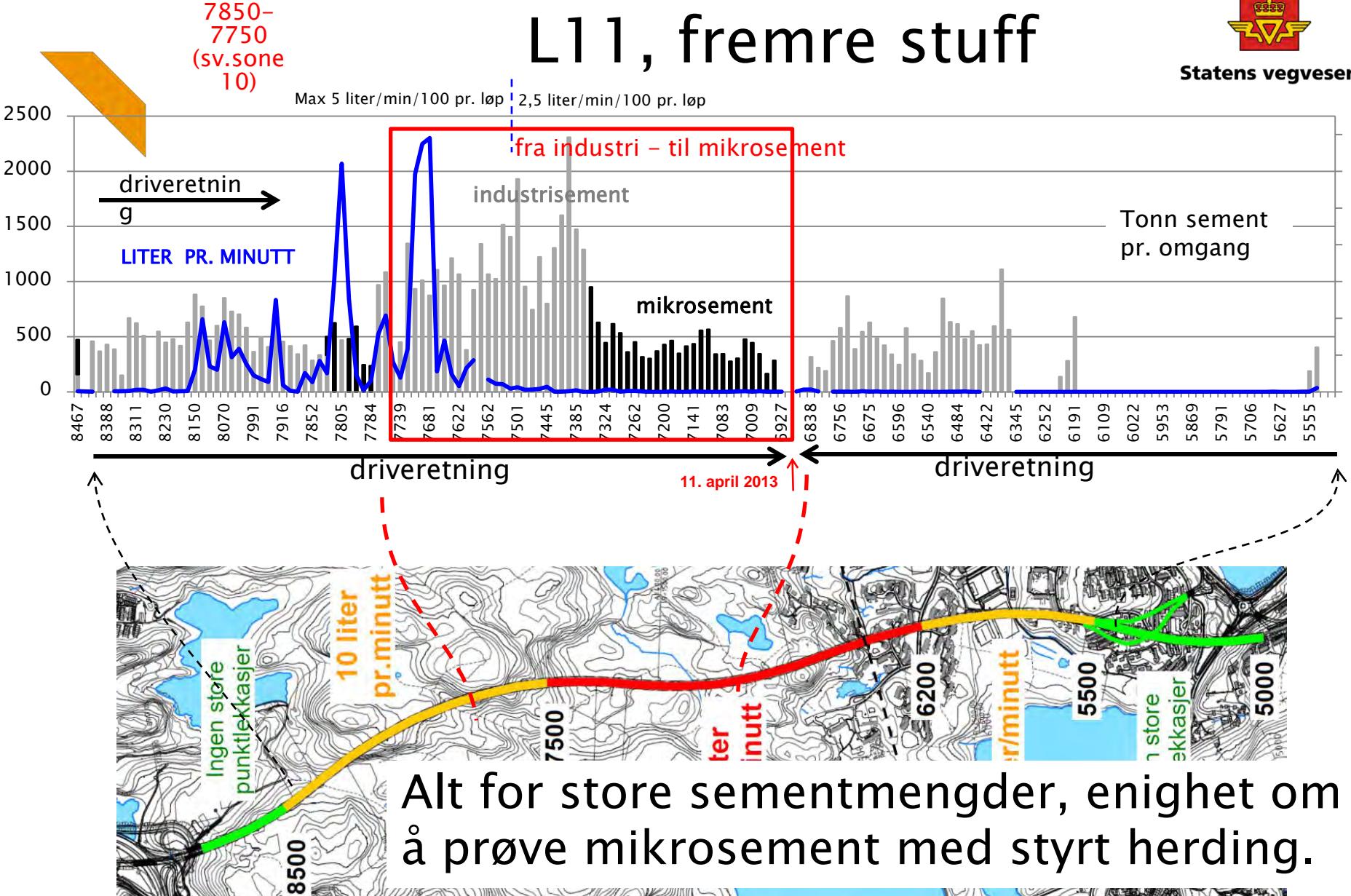
Figur 26 Pakkere som er åpne og slipper igjennom vann før det blir injisert

# Industri og akselerator.

- Akselerator *kan* også brukes på industrisement, men har ikke samme effekt.
- Herding starter ikke på samme vis, den blir mer tyktflytende (opp til tannpastakonsistens), som kan sammenlignes med svært lav v/c.
- Ikke mulig å forutse når dette skjer (*om* det skjer), og kan da heller ikke kalles *styrt* herding.
- En kan for så vidt få mottrykk og avsluttet hullet, men ikke nødvendigvis bedre injeksjon.



Figur 10 Komplett stav med akseleratormunnstykke (demoversjon med forkortet stav)



# Planlegging

- Arbeidsmøte mellom partene for å diskutere erfaringer hittil og hva som kan gjøres for å få ned tid og mengder og samtidig klare innlekkasjekravet.
- Enighet om en prøvestrekning med mikrosement (Rheocem 650) og styrt herding med akselerator på nordstuffene.
- Alt utstyret sjekkes, spesielt akseleratorpumpa må være i orden (den skal være en «slave» av hovedpumpene).
- Egen kursing av alle injeksjonslag, også kontrollingeniørene (og geologen).
- Settes i gang så fort som mulig, sementleverandør/rådgiver er BASF.
- Injeksjonsprosedyre utarbeides.
- Kontroll med hullavvik (bare gjort sporadisk med lykt), sementkvalitet (én Sintefrapport, men ofte Marshcone på stuff), sjekke trykk/mengde over tid på noen hull i ettertid (ikke gjort).



# Sementkvalitet

Tradisjonelt dårlig med kontroll av sement ifm. injeksjon i Norge, men som et minimum bør det i fremtidige prosjekter føres jevnlig kontroll med:

- Densitet (tetthet)
- Marsh-viskositet
- Avbindingstid
- Vannutskillelse («bleeding»)

Eventuelle krav kan være oppgitt i den spesielle beskrivelsen.

Resultatene føres opp i injeksjonsrapporten.

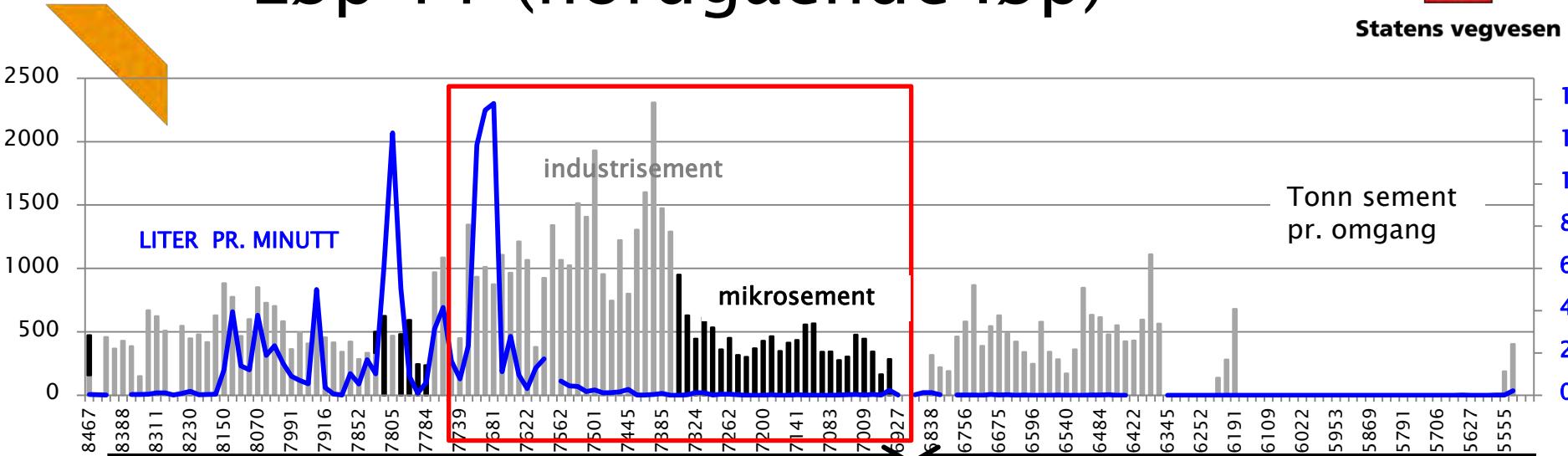
- Kun v/c=0,8 siden dette er mikrosement med bruk av akselerator.
- Bygger trykket seg jevnt og merkbart opp brukes ikke akselerator i dette hullet.
- Går det inn mer enn 1500 kg i sålehull uten trykkoppbygging til 60 bar starter en forsiktig med aks.tilsetting (grense for midt i stuffen kan være 1000 kg, topphull 750 kg).
- Det tilsettes i første omgang 2% akselerator (av sementvekten). Ikke pumpe for raskt, sementen skal normalt reagere etter ca. 20 min. ved denne konsentrasjonen.
- Om det ikke bygger seg opp trykk etter inntil 300 liter (som tilsvarer ca. 270 kg) økes mengden akselerator til 4% til maks.trykket på 60 bar oppnås.
- Skjer det fortsatt ikke noe; nye 300 liter, nå med 6% akselerator.
- En skal være meget oppmerksom på utganger til andre hull. Det må ikke ligge sement, med eller uten akselerator, i fred her og størkne. Ved gjennomgang til andre hull må det også pumpes på disse hull.
- Det er viktig å avslutte hullet uten akselerator, *minst* 5 pumpeslag med akselerator-fri sement. Men normalt; når trykkoppbygging er på gang skrus akseleratoren av, det behøver ikke tilsettes mer aks. når avbindingen har startet.



Statens vegvesen

# Hvordan det gikk (mht. mengder, tid og penger)

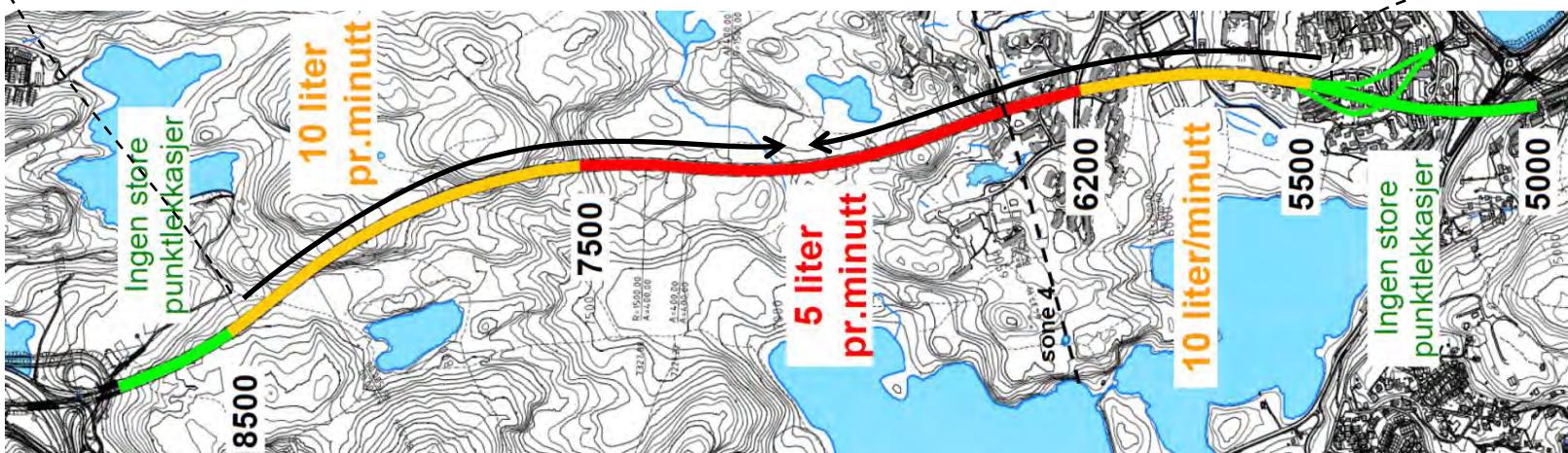
# Løp 11 (nordgående løp)



L11, fremre stuff

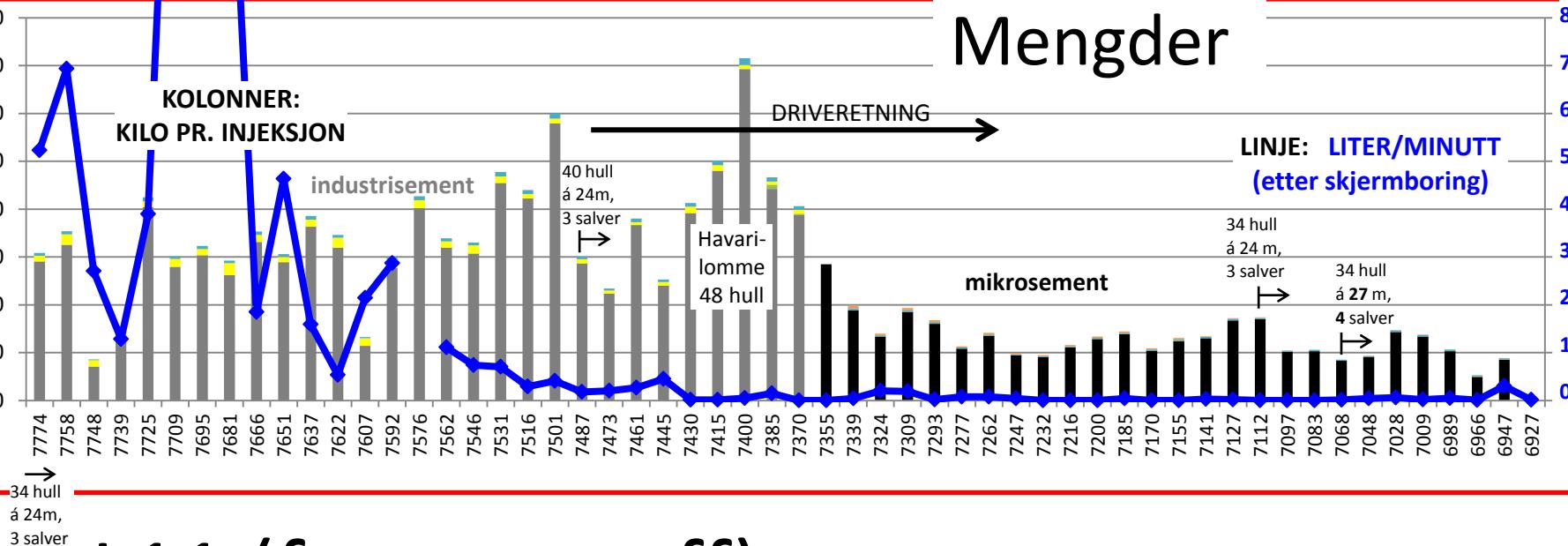
(S11, bakre stuff)

11. april 2013



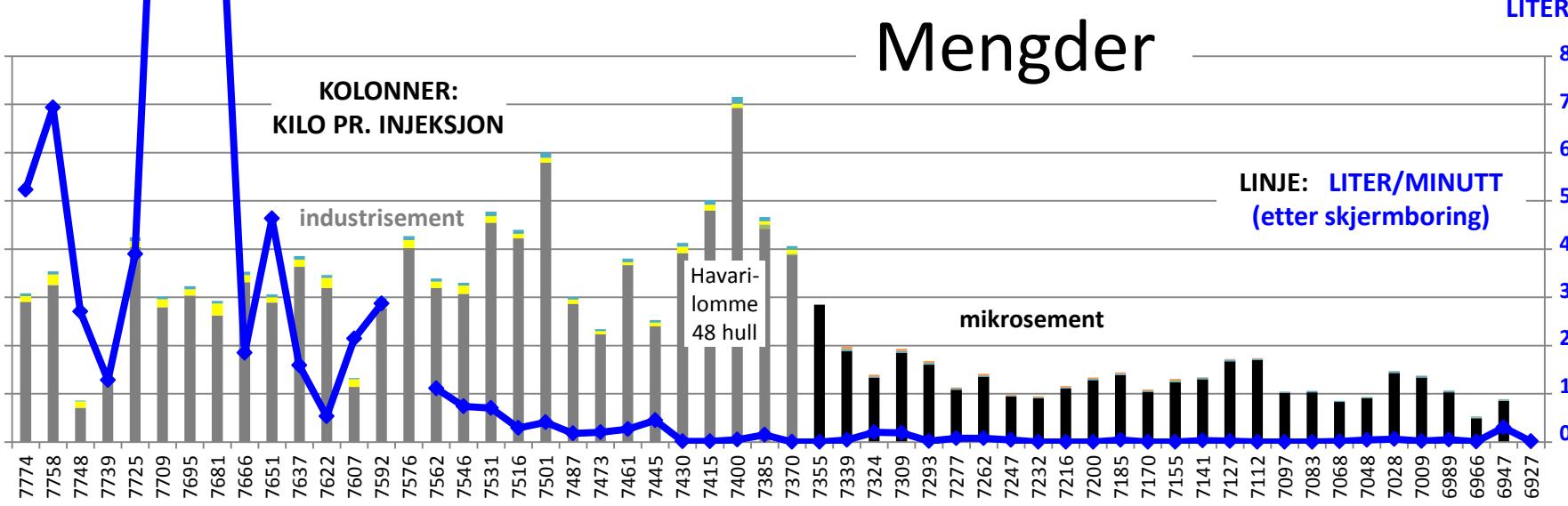
KG

LITER



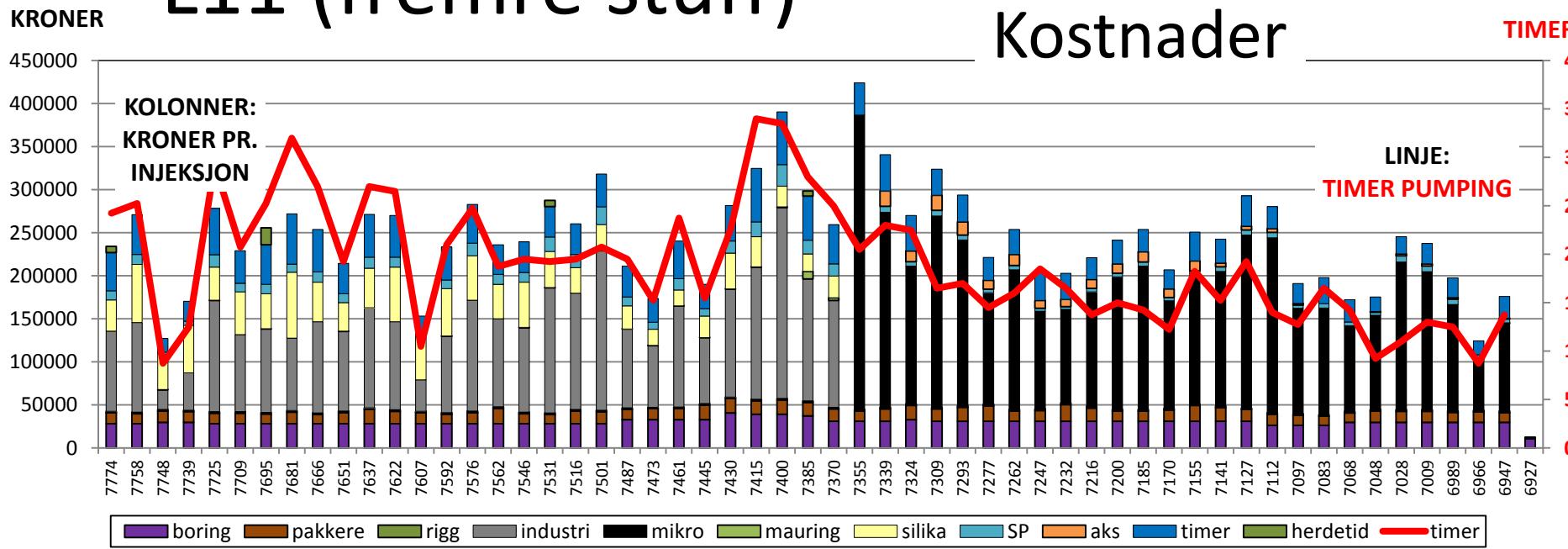
## L11 (fremre stuff)

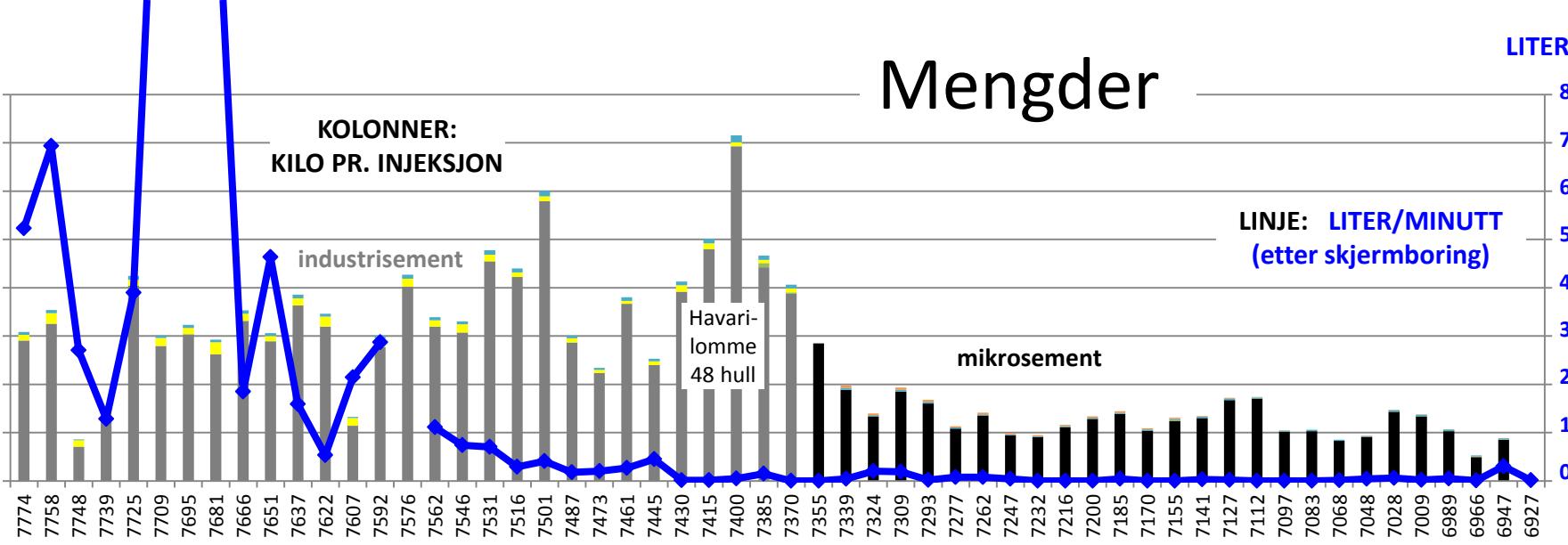
- Alt for høyt forbruk av industrisement, mye 60-85 tonn og mer, store innganger og det tar tid å få et ønsket mottrykk på minst 80 bar, noe det blir på de aller fleste hullene.
- 34 hull á 24m og 3 salver (kontrollhull etter 1.salve), resepter med v/c-tall 0,9 – 0,7 – 0,5.
- Etter hvert 40 hull for å kompensere for lavere trykk (mindre overdekning).
- Vannmengdene går kraftig ned fra rundt 7550, til noen få titalls liter, og etter hvert til 0-5 liter/min.
- Ingen sammenheng med vann- og cementmengder, noe som heller ikke er særlig vanlig...
- Forbruk mikrosement er mest rundt 20-30 tonn, styrt herding på alle skjermer (men ikke alle hull).
- Stadig lite vann videre sørover, forsøker derfor færre hull (tilbake til 34 hull), og etter hvert lengre skjermer og flere salver for å spare tid.
- Sementutganger til terreng flere ganger fra 7500, klart oftere og mer alvorlig med industri- enn med mikrosement.



## L11 (fremre stuff)

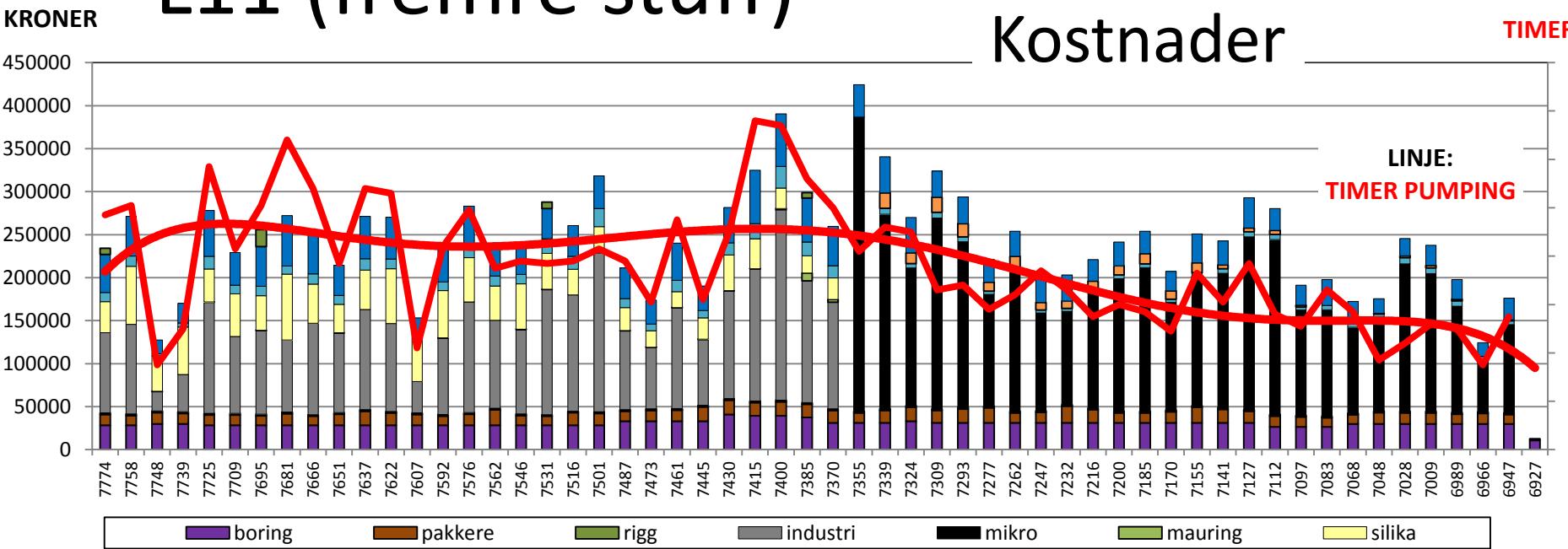
## Kostnader

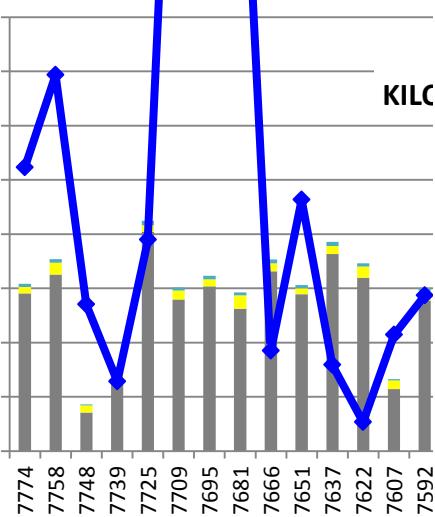




## L11 (fremre stuff)

## Mengder og timer ned Kostnader

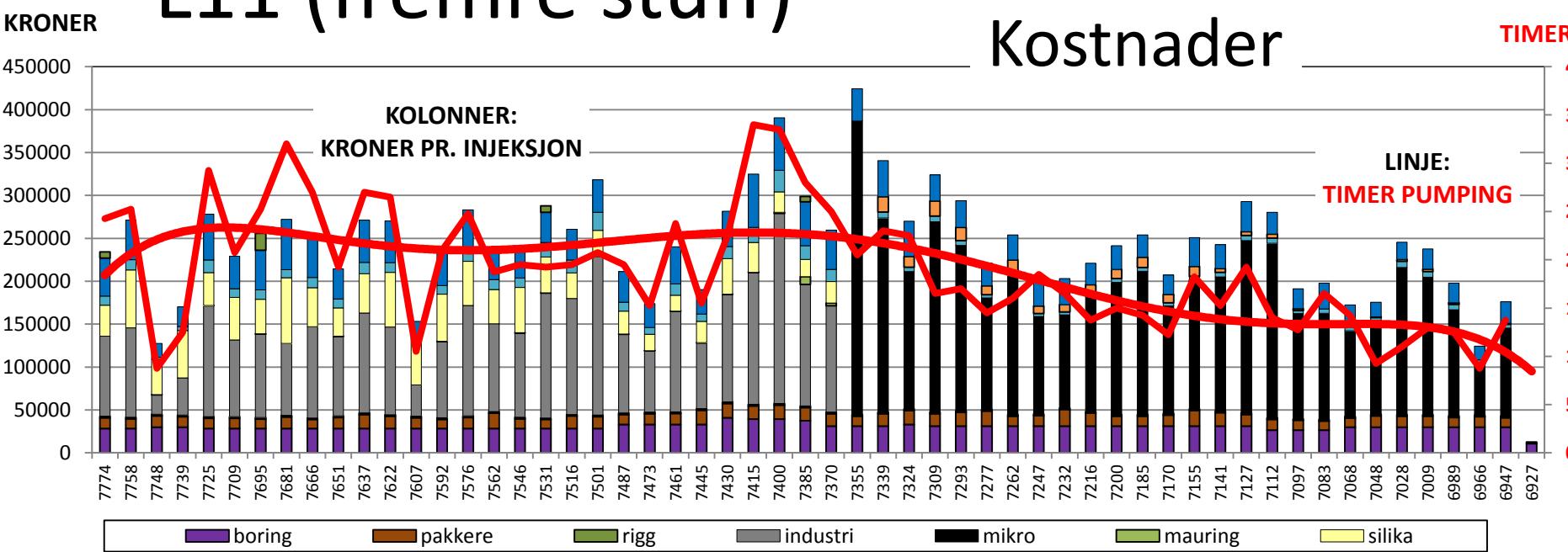




- Kostnadene for byggherren *omtrent* på samme nivå, eller litt ned, etter skifte til mikrosement/styrt herding (enhetsprisene er 1,60 kr/kg og 6,00 kr/kg).
- Men *nedgang i pumpetid*, fra 20-25 timer (eg. 10-35) timer med industrisegment, til rundt 15 timer (10-20) med mikrosement og styrt herding (snitt 7,5 time ned).
- Så det gir allikevel en *bedre totaløkonomi* og mer forutsigbarhet (**og** mindre sement på avveie).

## L11 (fremre stuff)

### Kostnader

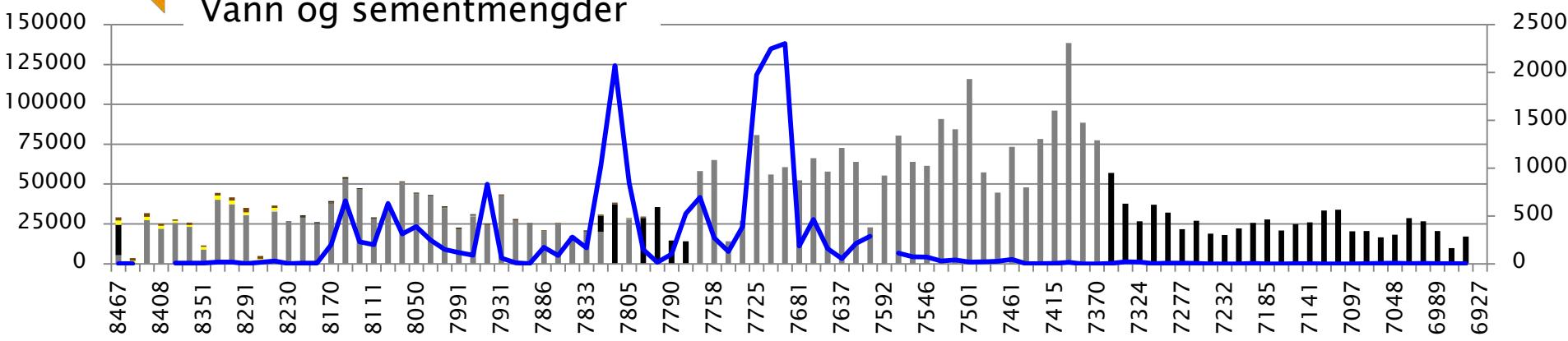




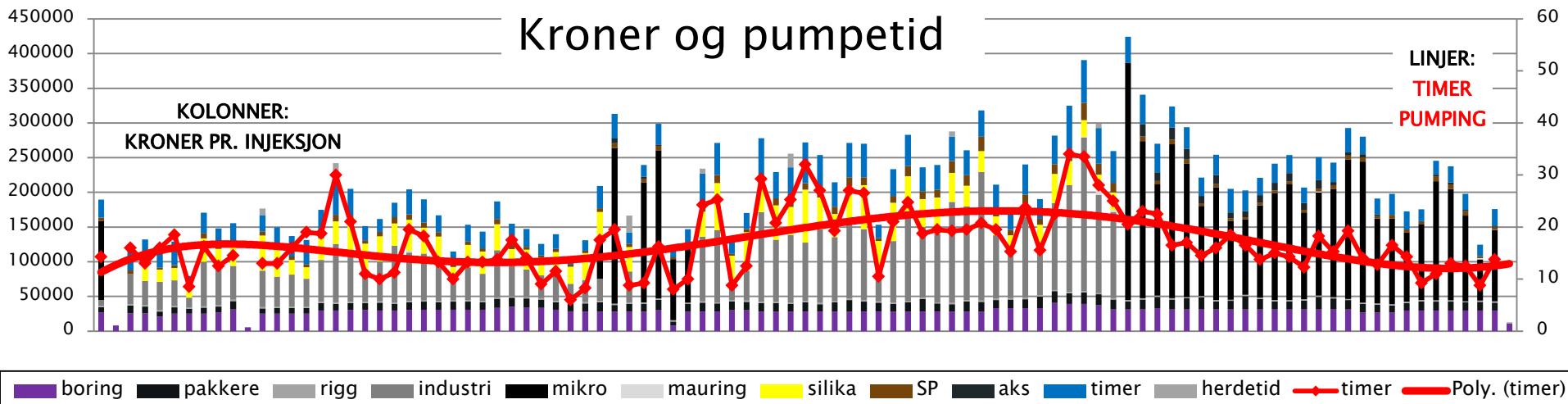
Statens vegvesen

# Hele L11 (*fremre* stuff fra Liavatnet)

Vann og cementmengder



Kroner og pumpetid

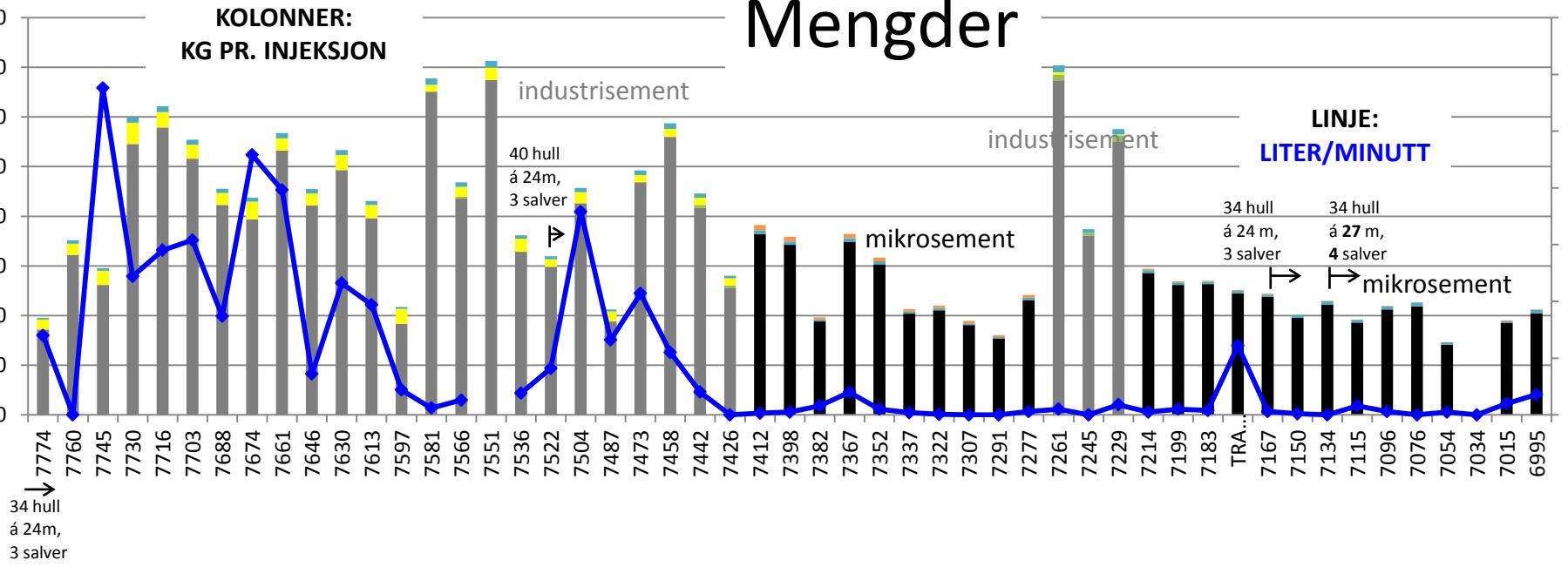




Statens vegvesen

# L12 (bakre stuff)

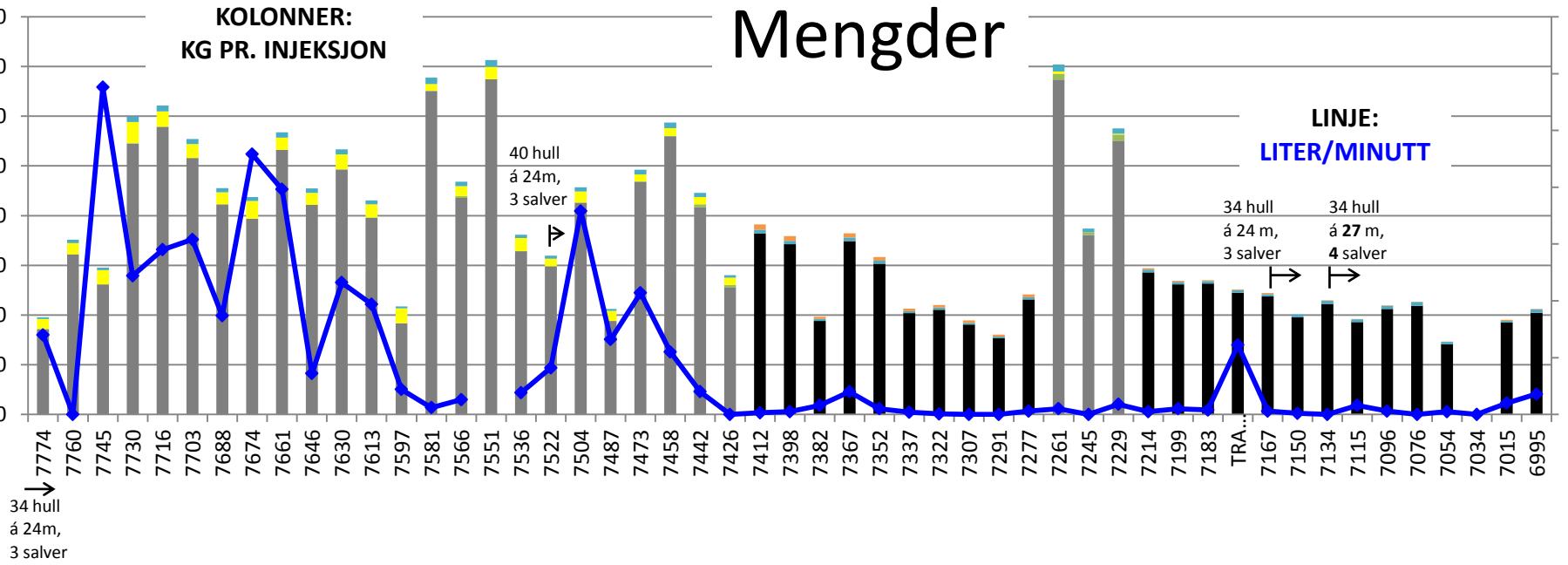
# Mengder



## L12 (bakre stuff)

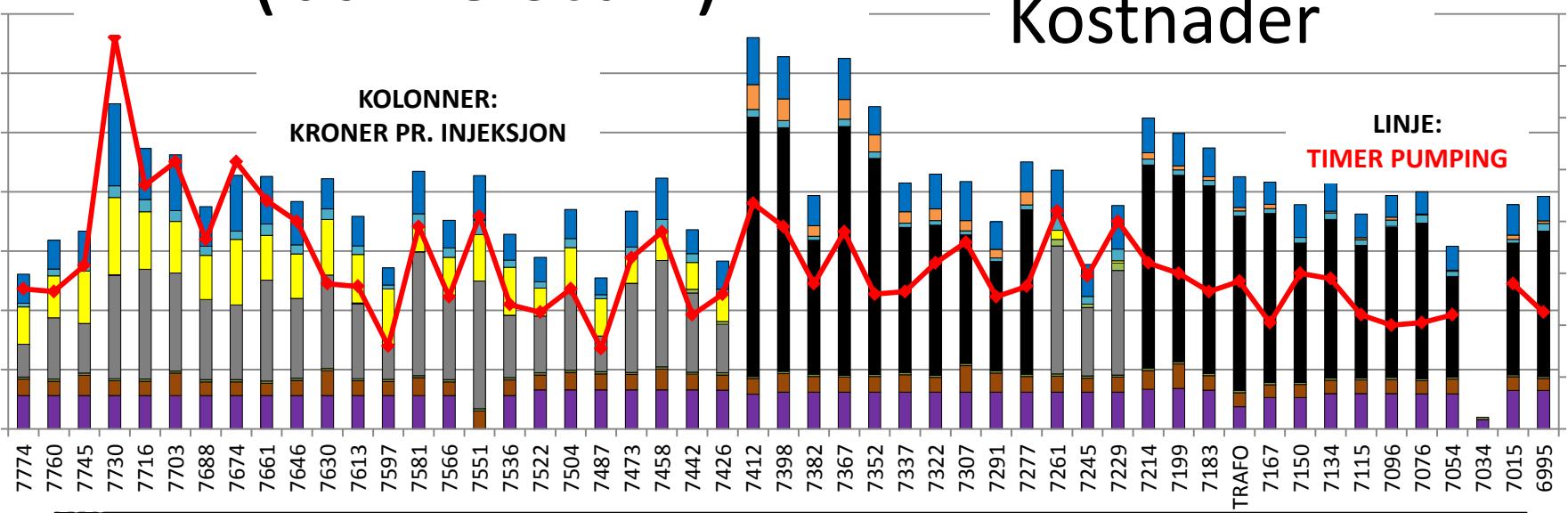
- Mindre vann på bakre stuff, men det er fortsatt et tresifret antall liter pr. minutt fra injeksjonshullene.
- Noe lavere, men allikevel et for høyt forbruk av industrisement; rundt 30-55 tonn (ytterpunkter 20-70 tonn).
- Det går med mindre mikroselement, omtrent 25 tonn (15-35 tonn).

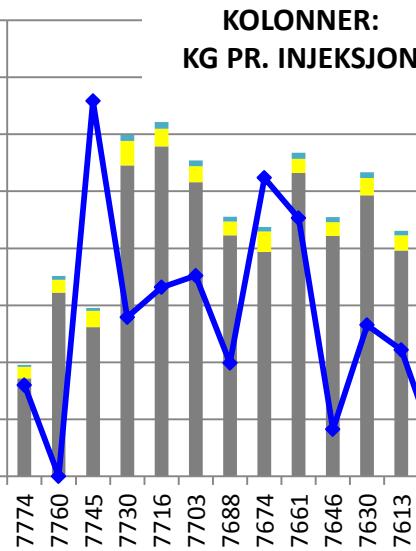
# Mengder



# L12 (bakre stuff)

# Kostnader

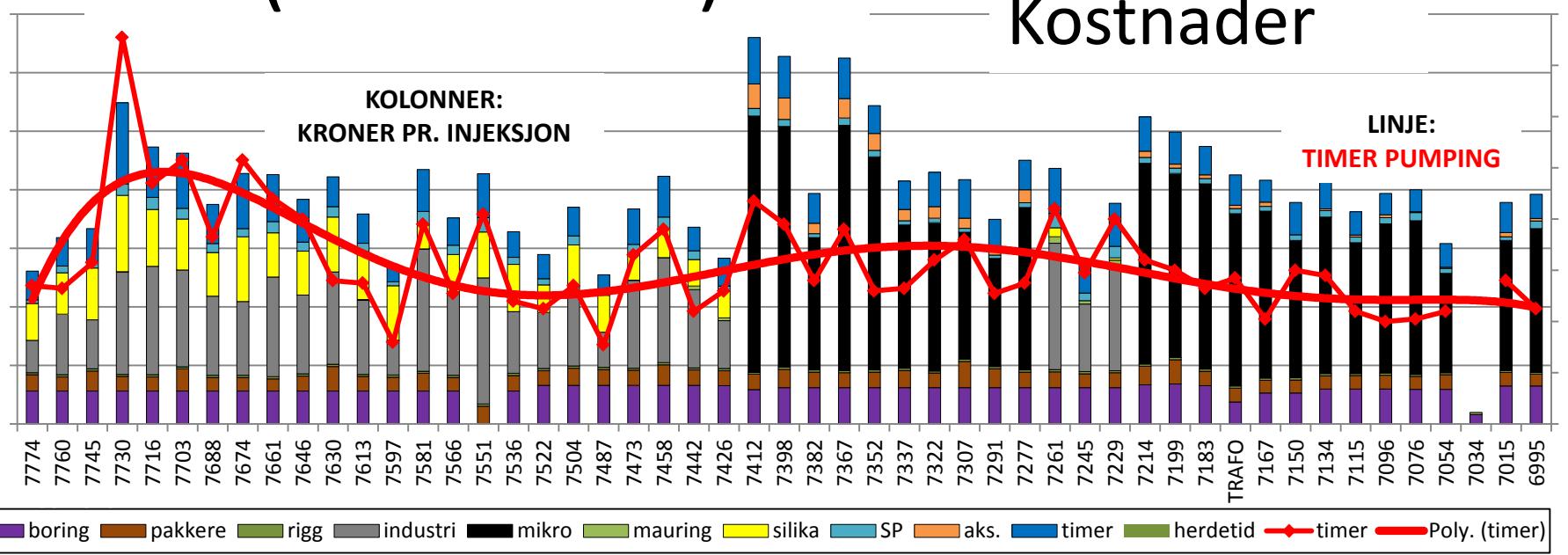




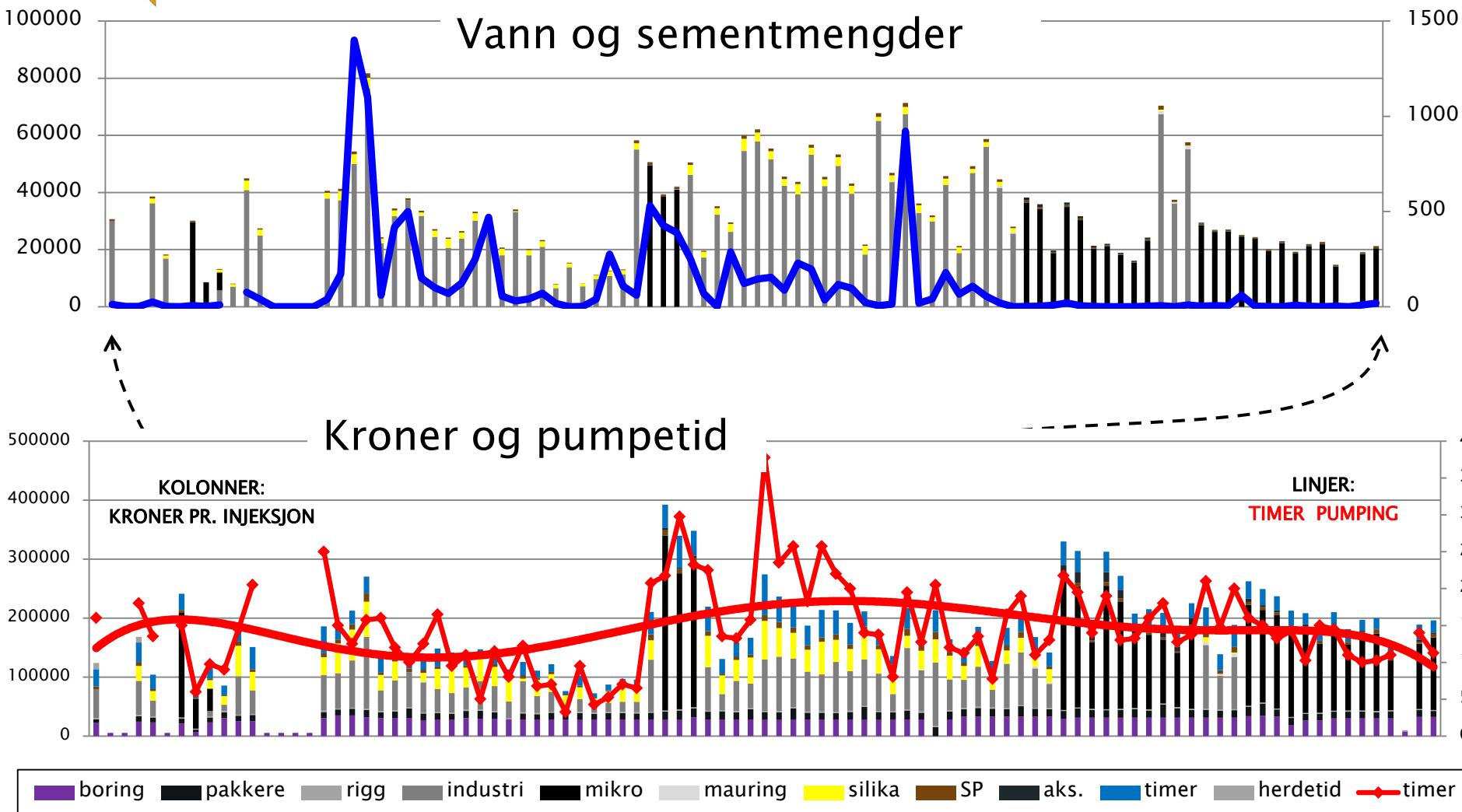
- Noe, men ikke stor nedgang i pumpetid, og det er mindre sprang mellom ytterpunktene.
  - Kostnadene byggherren går noe opp.
  - Ingen gevinst for byggherre, litt for entreprenør.

## L12 (bakre stuff)

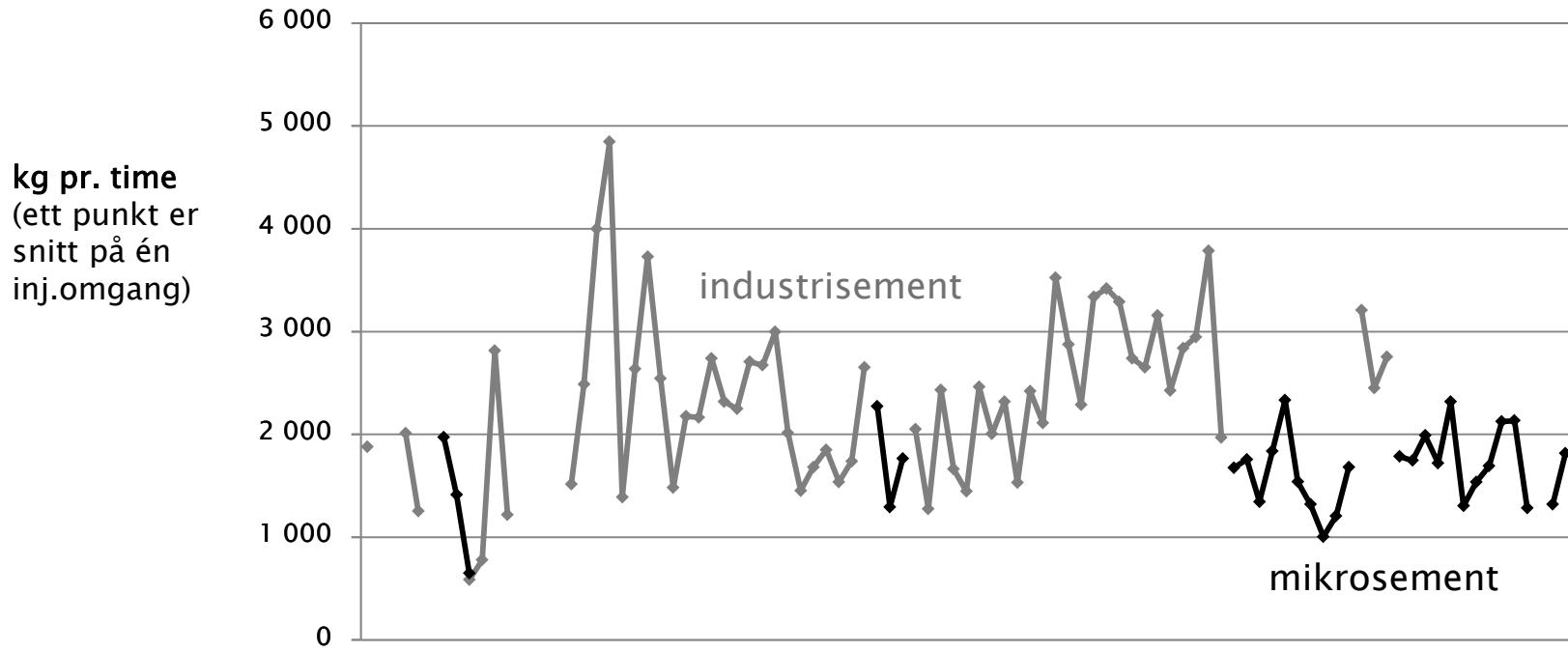
# Kostnader



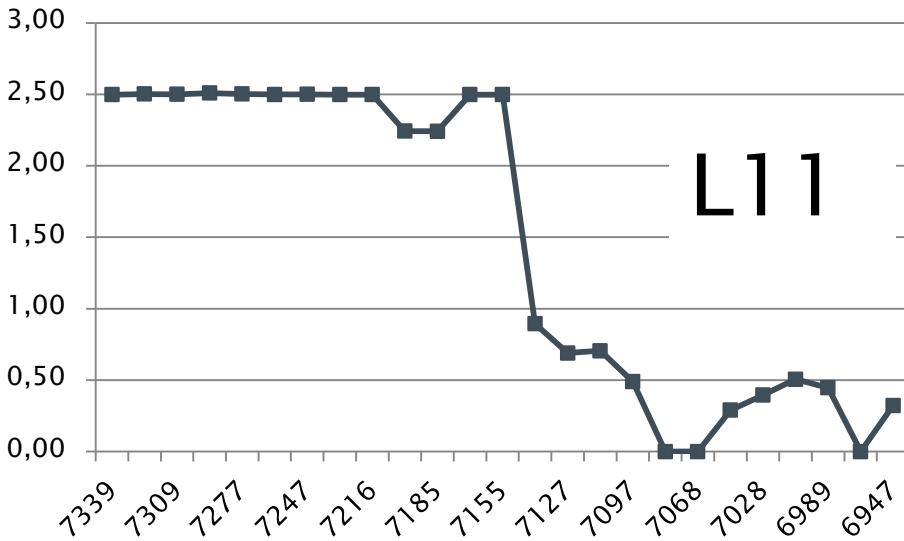
# Hele L12 (*bakre* stuff fra Liavatnet



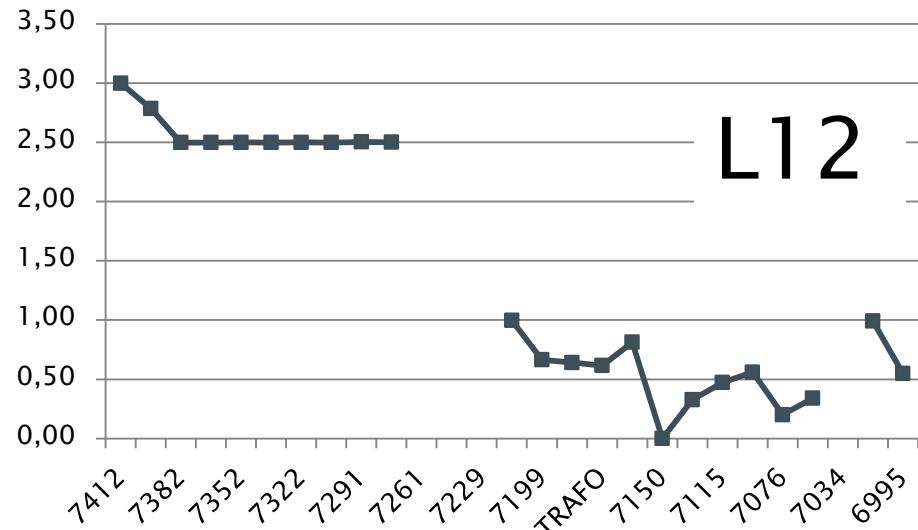
# Atlas-riggen, hva er kapasiteten mhp. kg pr. time?



% tilsatt  
akselerator  
ift. sement-  
mengden



# FORBRUK AKSELERATOR (ikke reelle mengder i begynnelsen?)





Statens vegvesen

Klipp ut

Calibri 11 A Bryt tekst

Standard

Normal

Dårlig

Aut

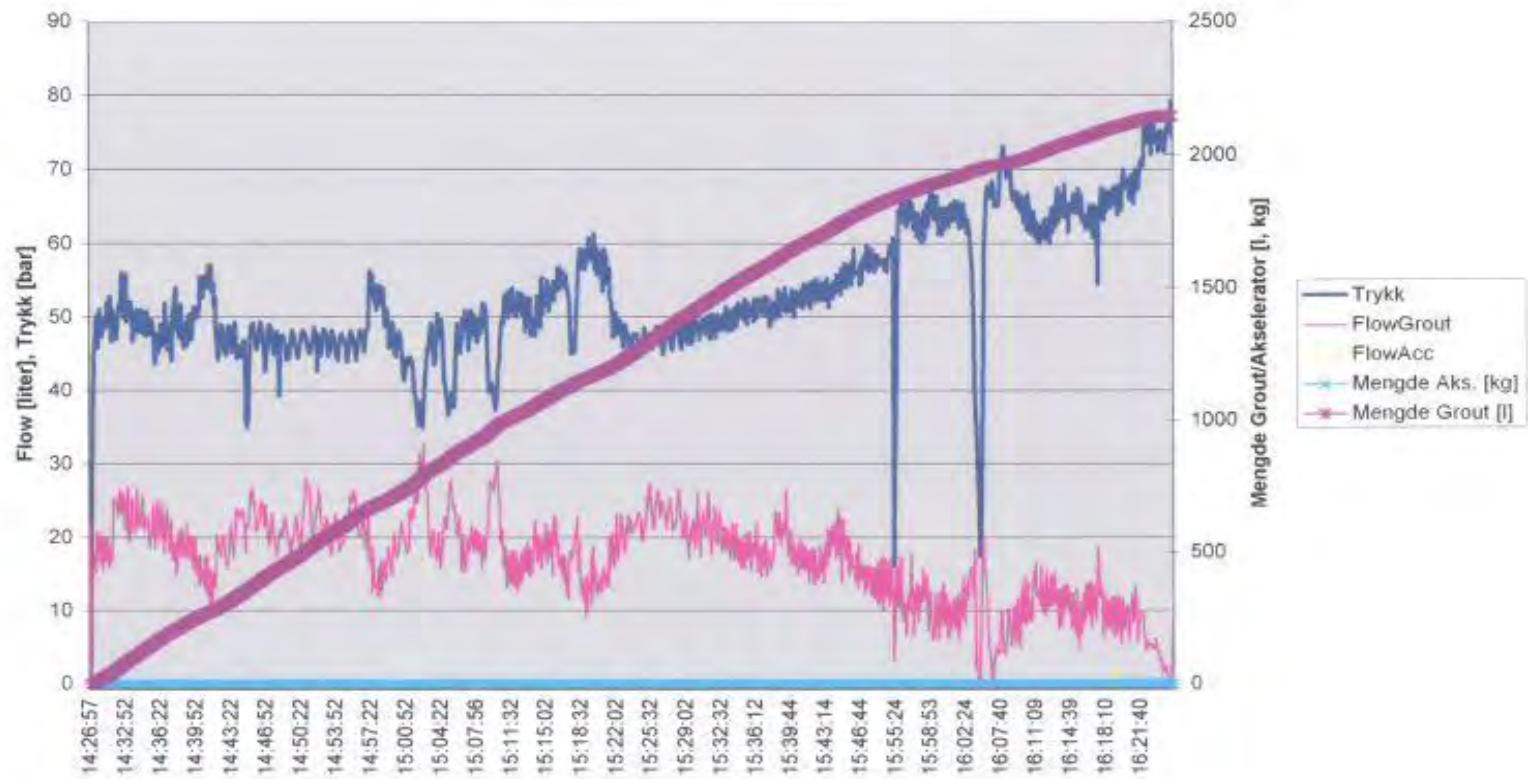
Fyll

2 Fjer

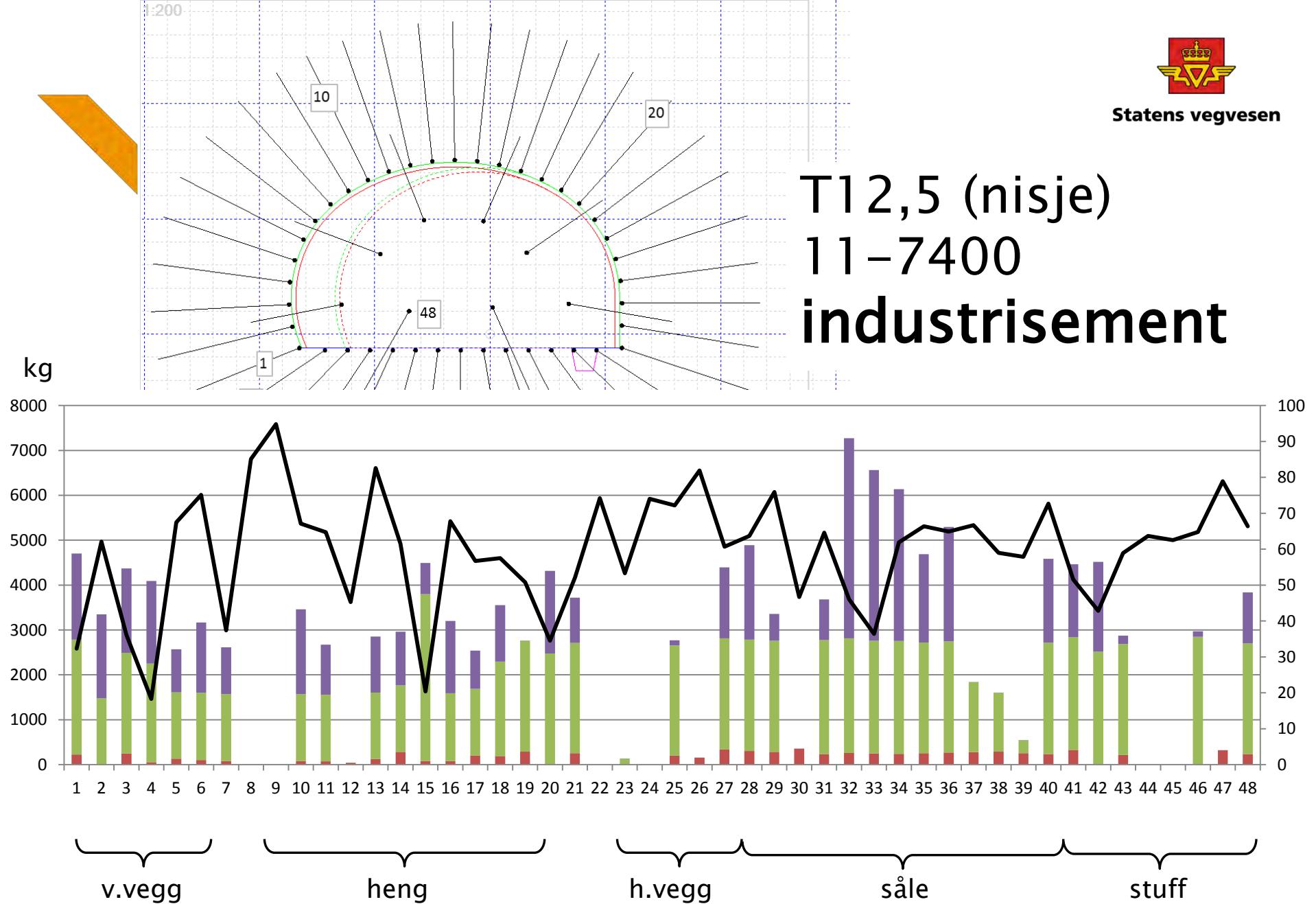
Mellom\_DRIFTSLOGG

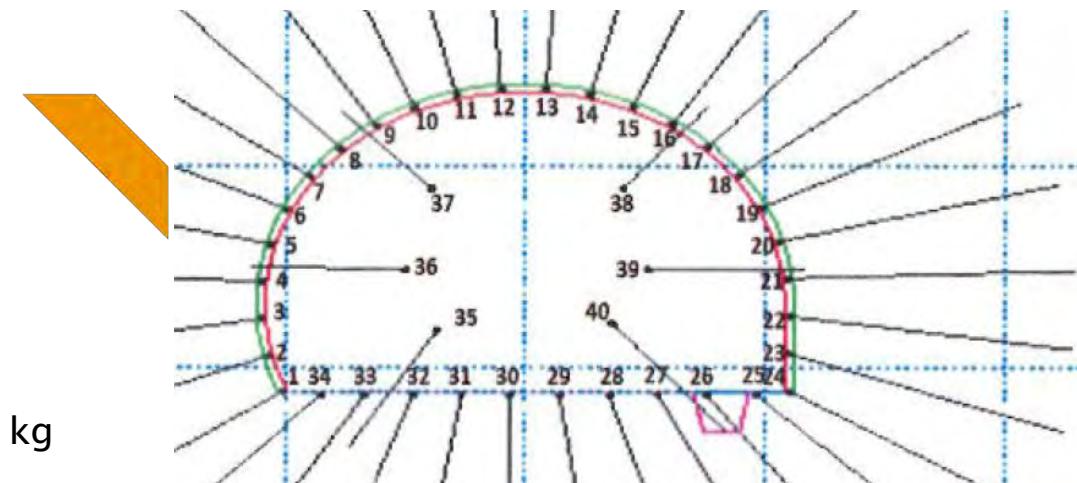
B.Chart 09.02.2005

Hull: 8, PumpNr.: 2, Mengde: 2150, Herder: 1,5

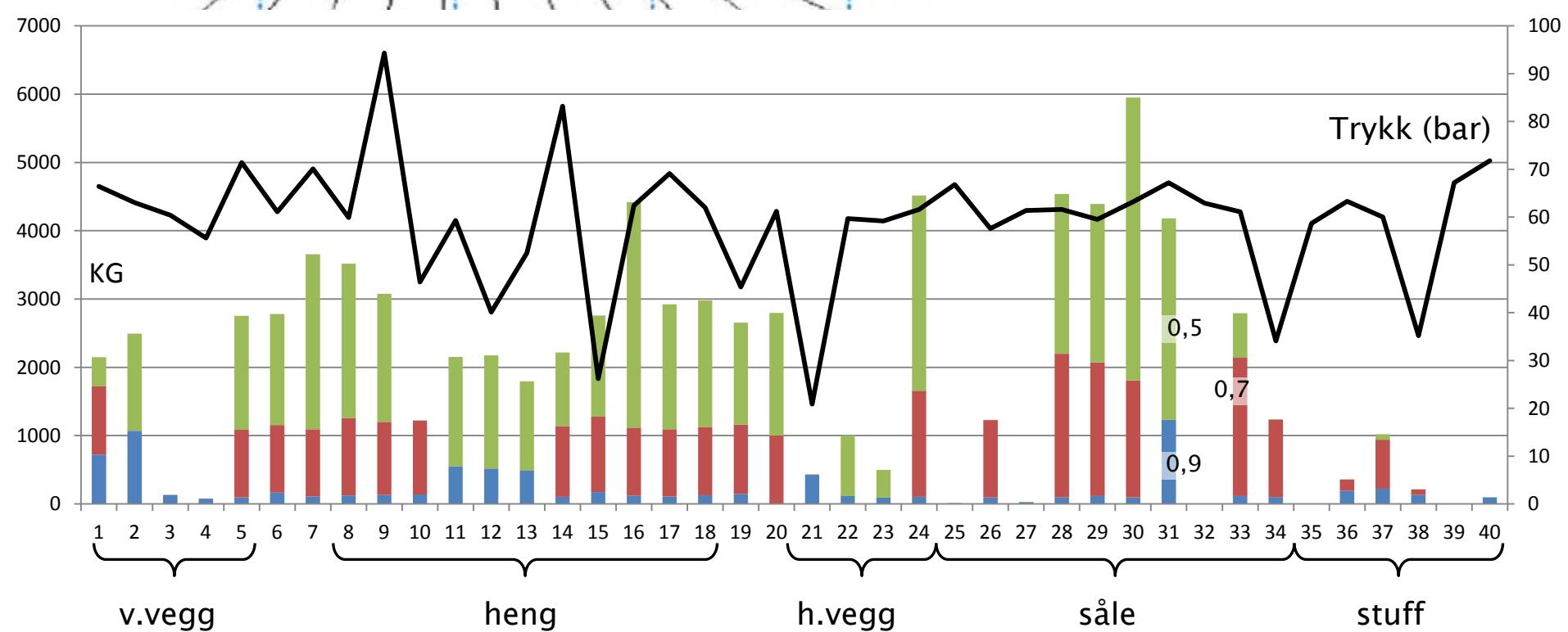


# T12,5 (nisje) 11-7400 industrisement

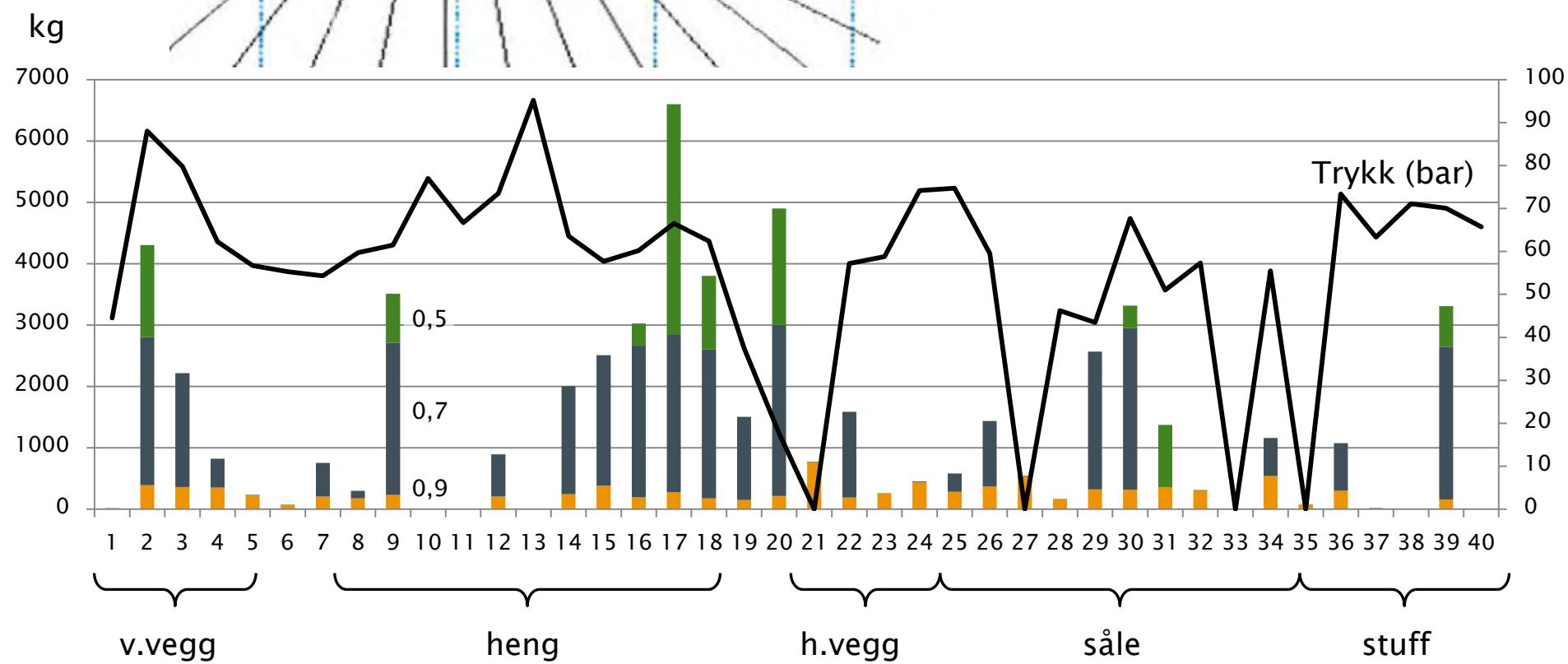




# T9,5 11-7370 industrisement

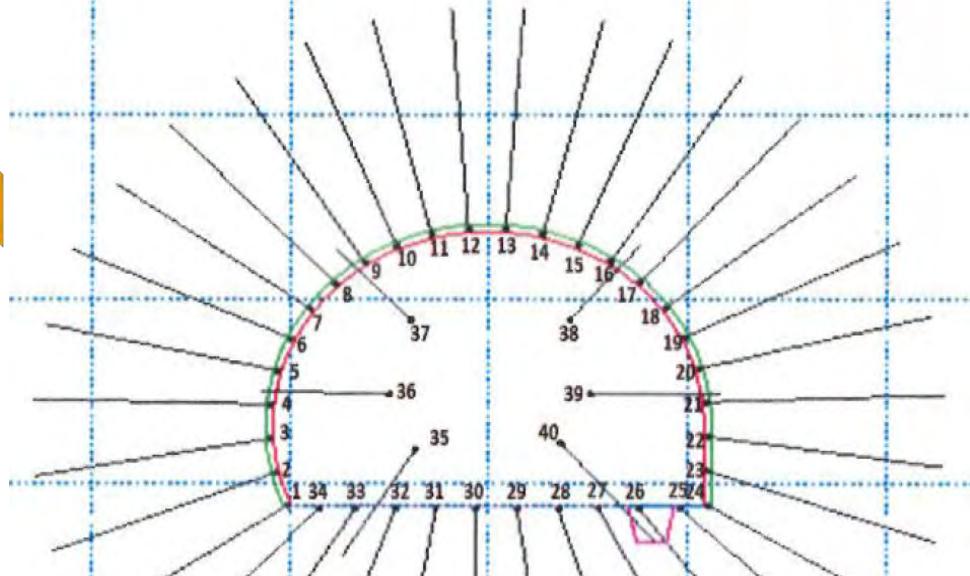


T9,5  
11-7487  
industrisement

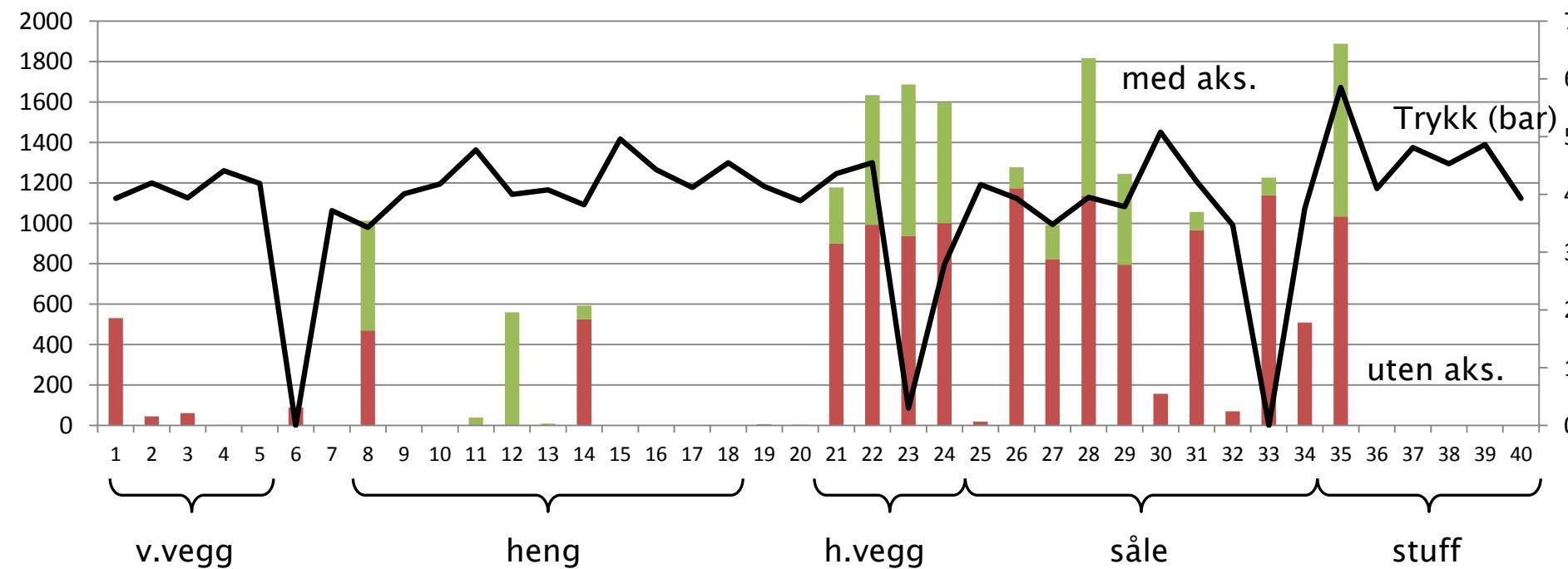




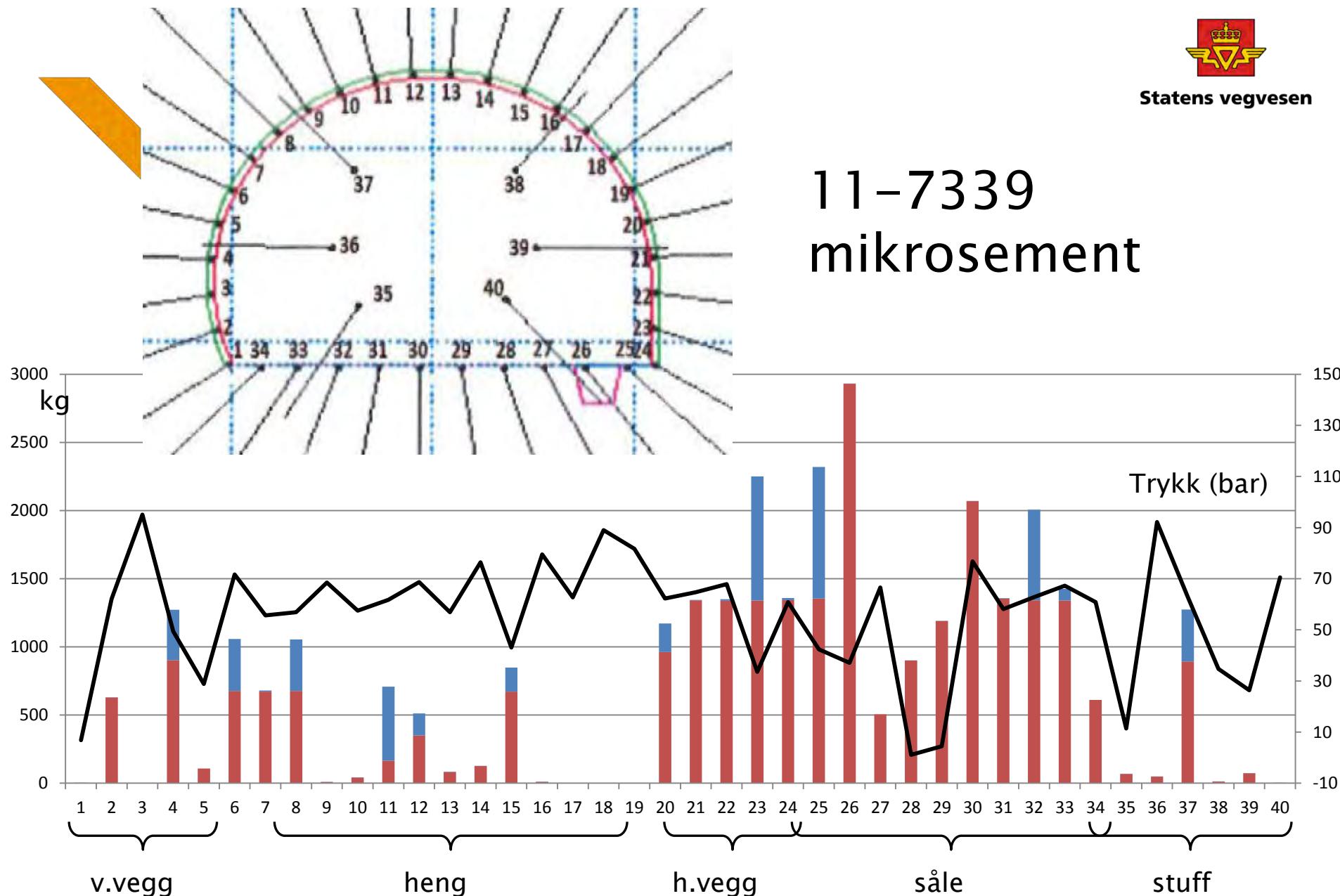
kg



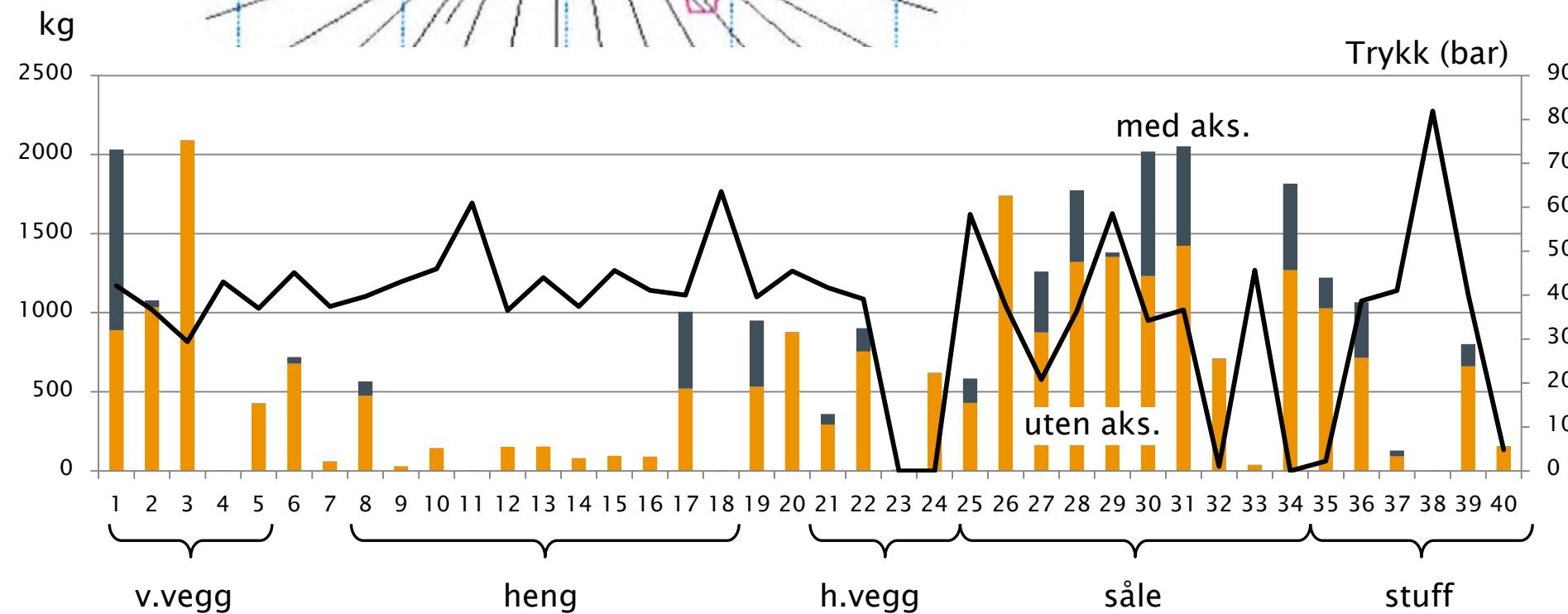
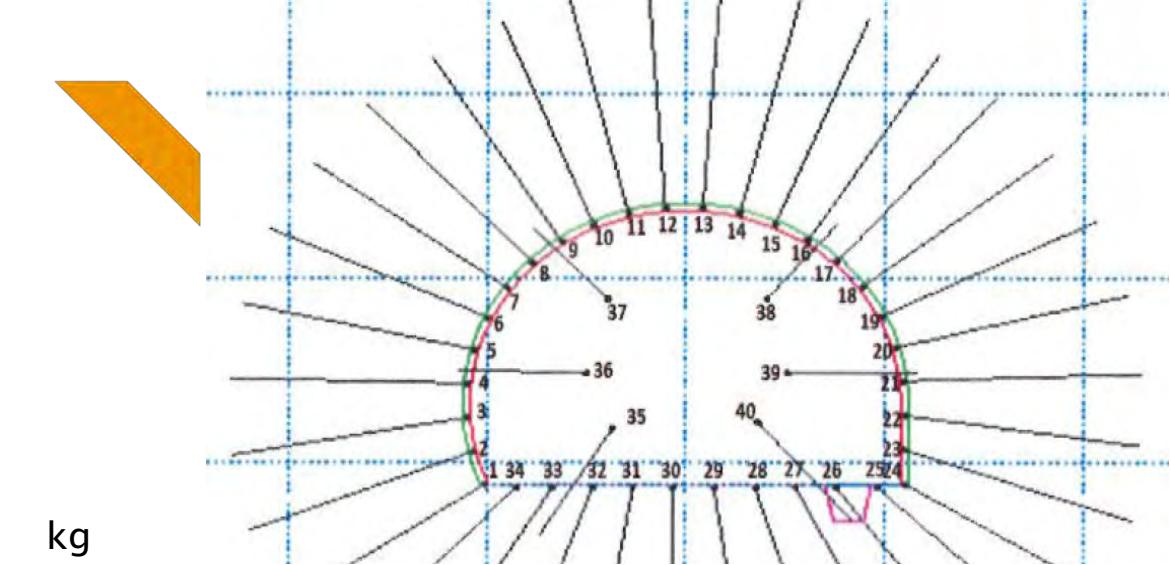
12-7337  
mikrosement



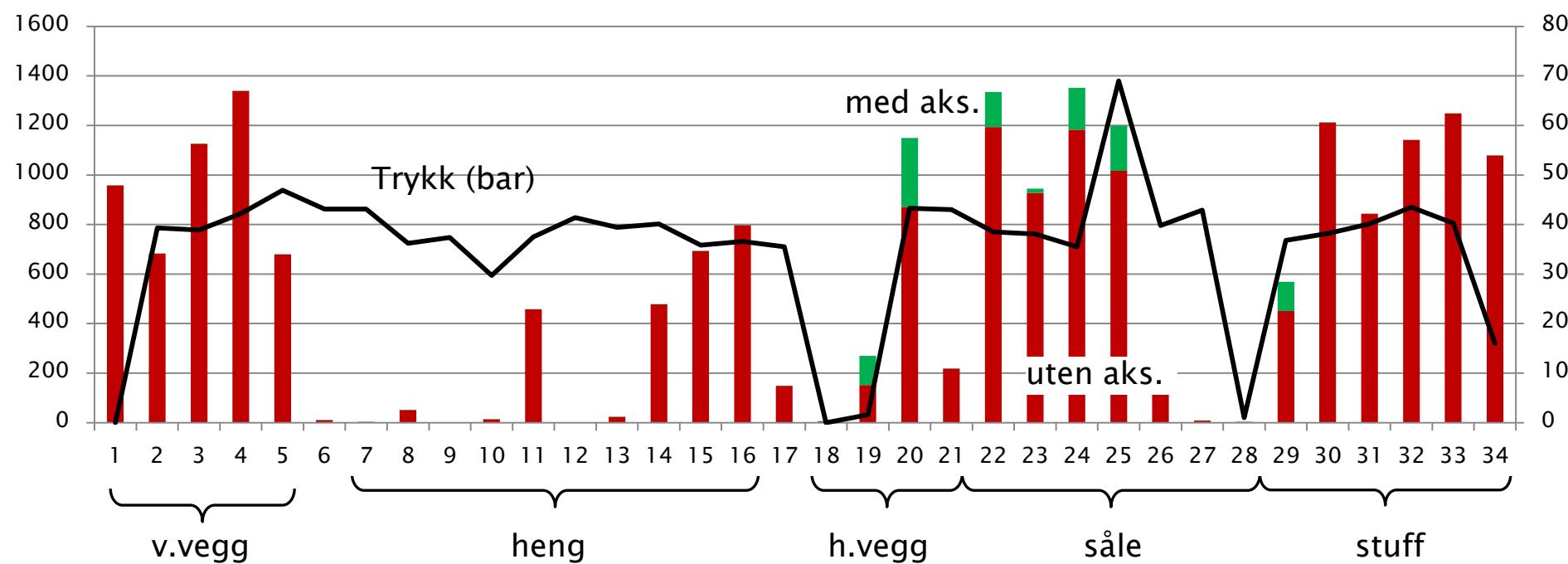
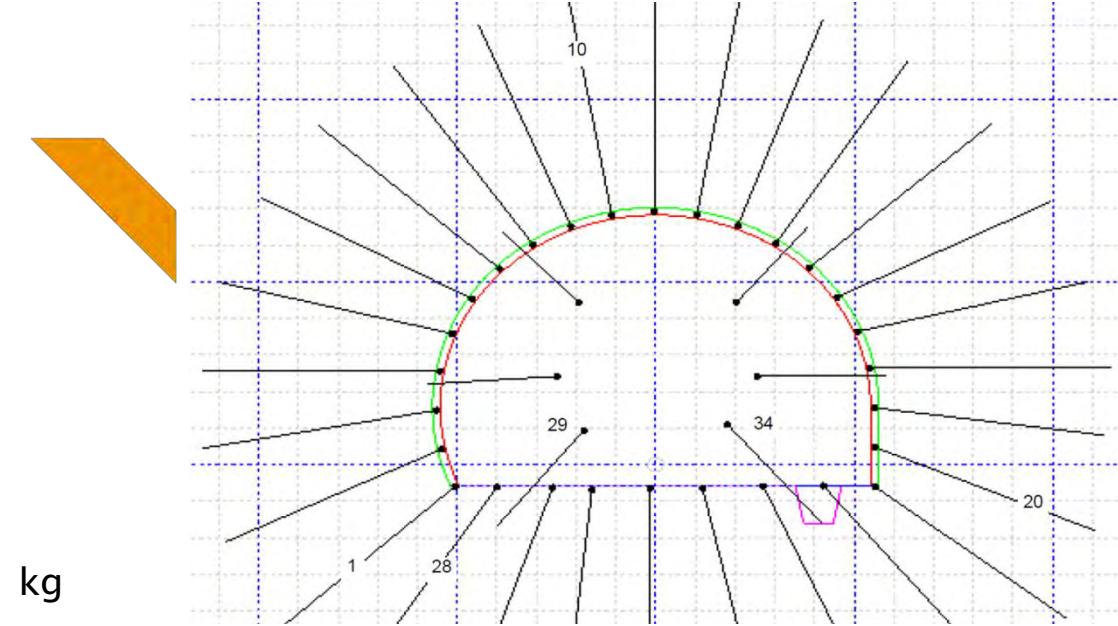
# 11-7339 mikrosement



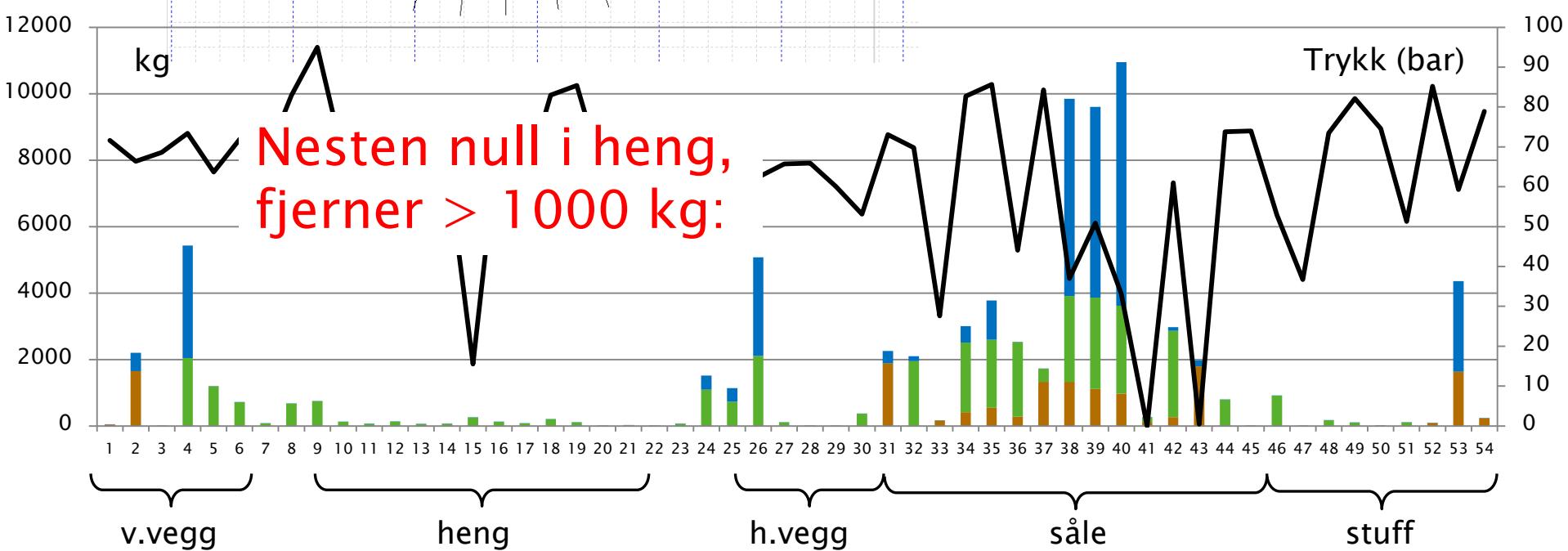
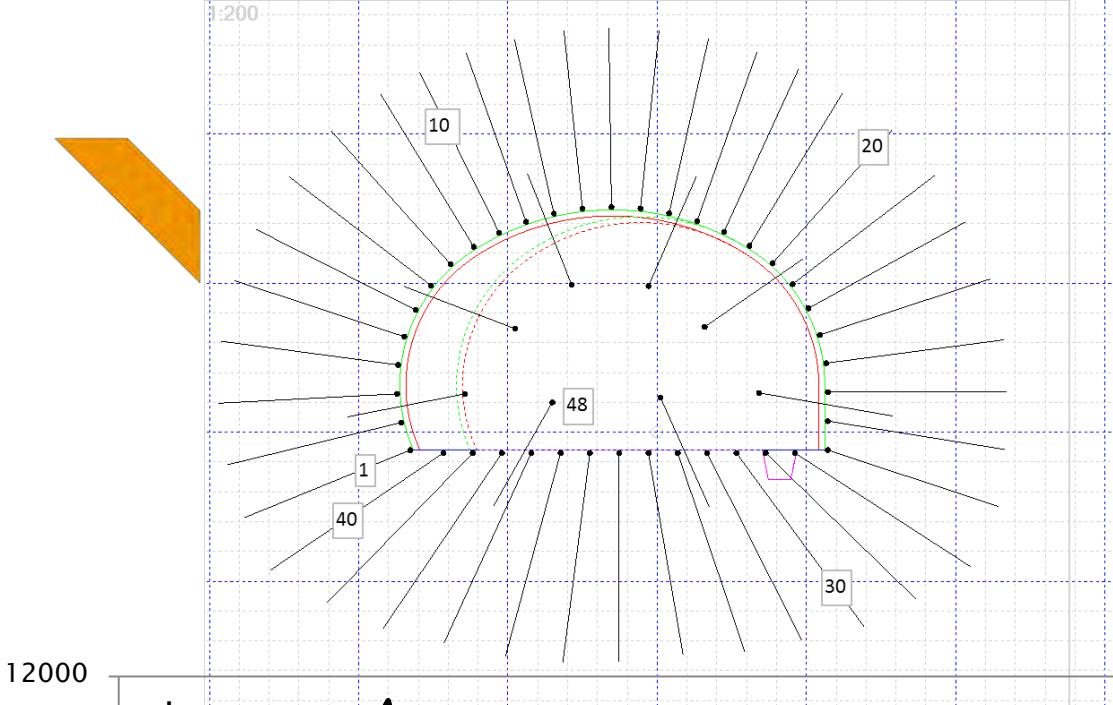
# 11-7127 mikrosement

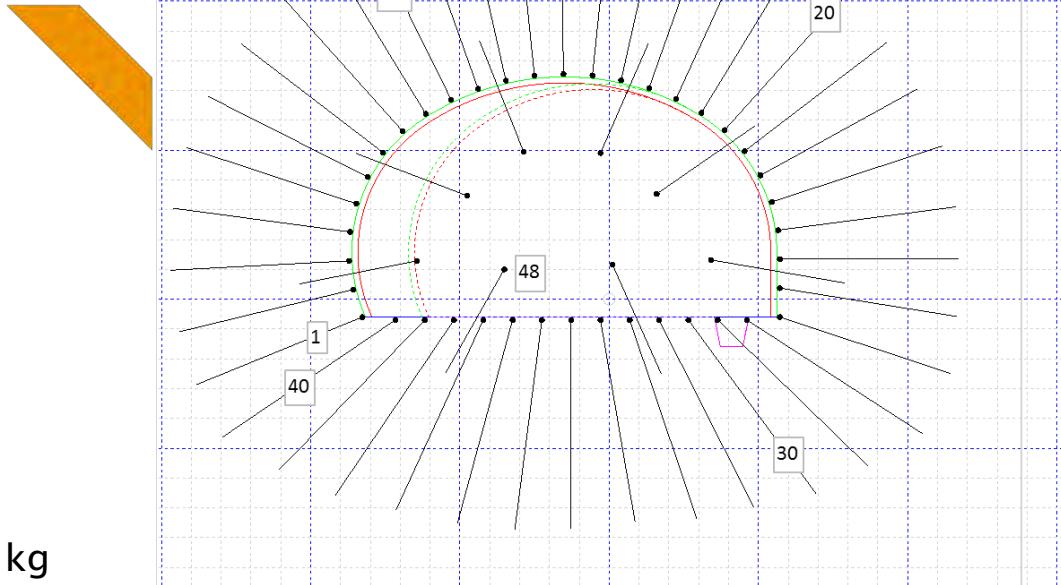


# 11-7091 mikroselement



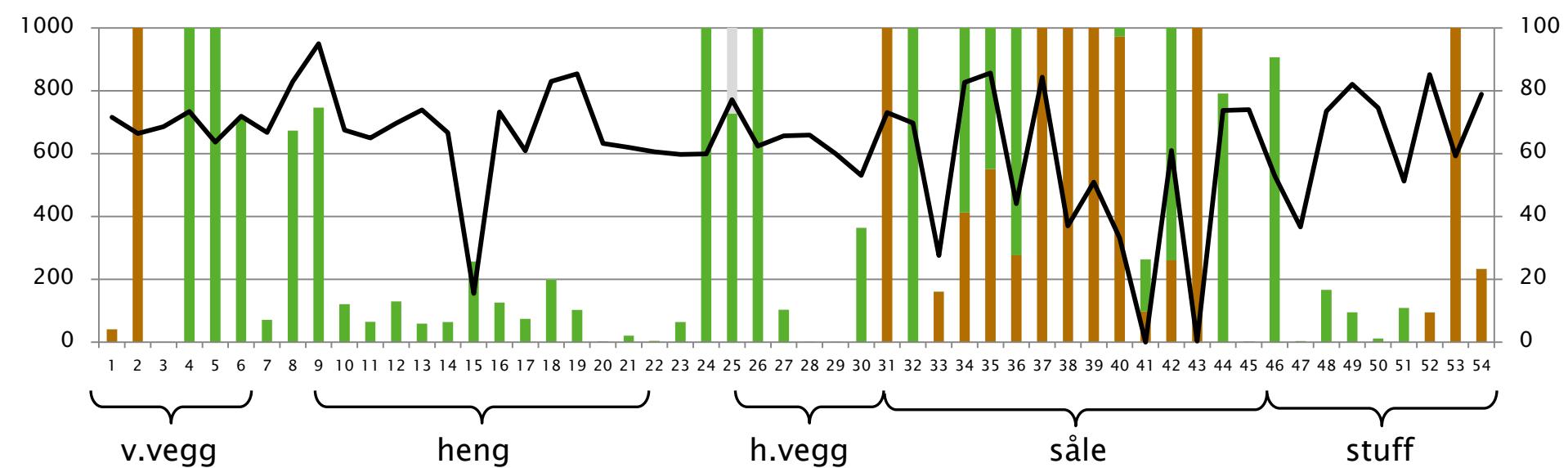
# T12,5 (nisje) 11-7430 industrisement



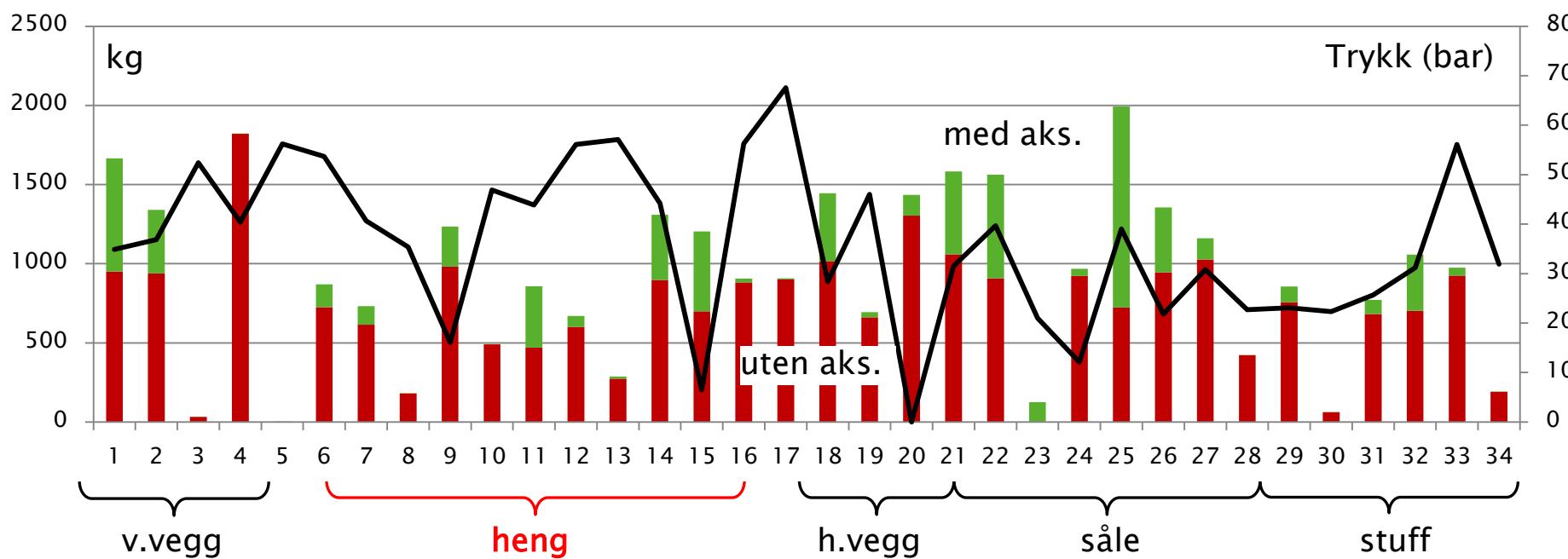
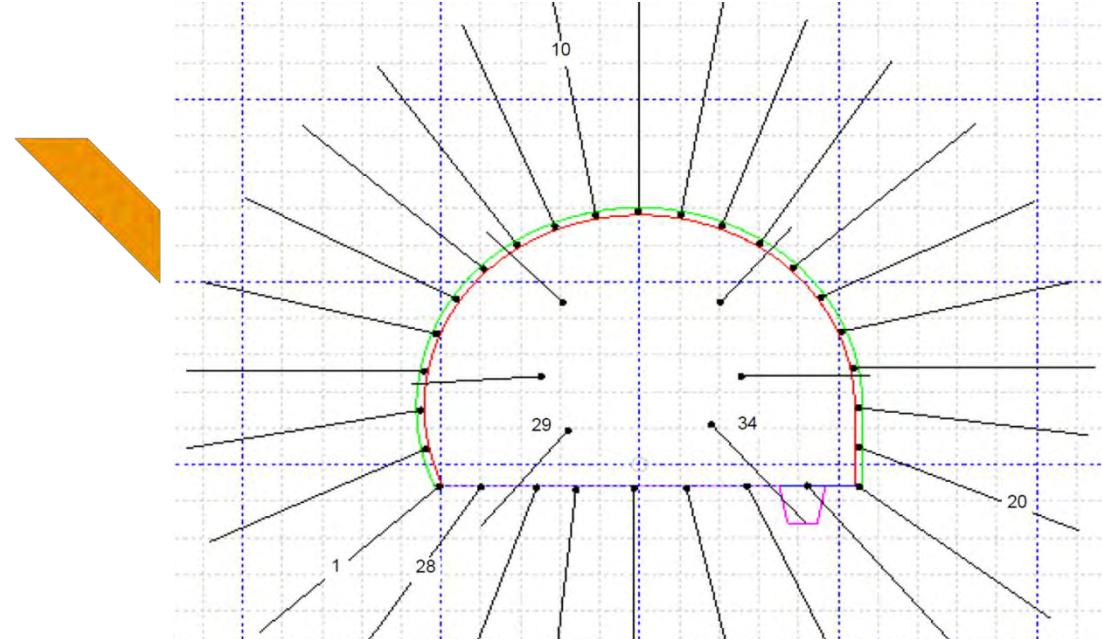


# T12,5 (nisje) 11-7430 industrisement

Trykk (bar)



# 11-7112 mikroselement





Statens vegvesen

# Hvordan det gikk (ble det noe bedre, dvs. tettere?)



Statens vegvesen

# Ble det tettere?

- Det vet vi ikke.
- Vannlekkasjene gikk kraftig ned omtrent samtidig som mikrosement ble tatt i bruk systematisk (fra hundrevis av liter vann, og over 1000 liter, ned til bare 0–5 liter/minutt fra injeksjonshullene samlet).

mikroselement

ca. 20 liter/minutt

14/06/2013 19:05

7300 ↑

industrisement

20-50 liter/minutt

14/06/2013 19:17

7450 ↑



# Ble det tettere?

- Det vet vi ikke.
- Vannlekkasjene gikk kraftig ned omtrent samtidig som mikrosement ble tatt i bruk systematisk (fra hundrevis av liter, og over 1000, ned til bare 0–5 liter/minutt fra injeksjonshullene samlet).
- Umulig her å vurdere det ene stoffet mot det andre mht. vanntetting, og kunne det blitt nært samme (eller godt nok) resultat *uten* injeksjon?

ingen injeksjon (gjennomslaget)

< 5 liter/minutt

6900 ↑

14/06/2013 20:07

mikrosement

< 5 liter/minutt

7050 ↑

14/06/2013 20:10

industrisement

lite vann

7550 ↑

14/06/2013 20:21

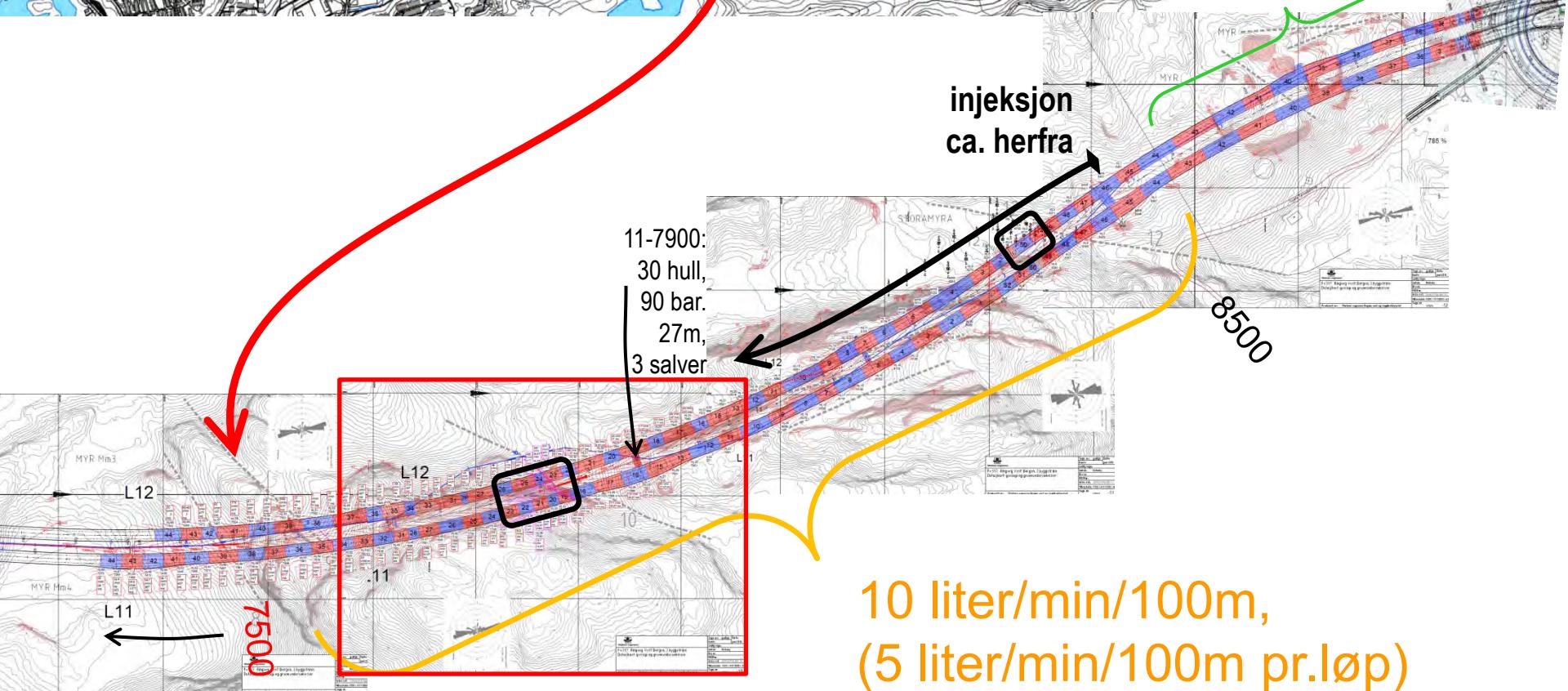


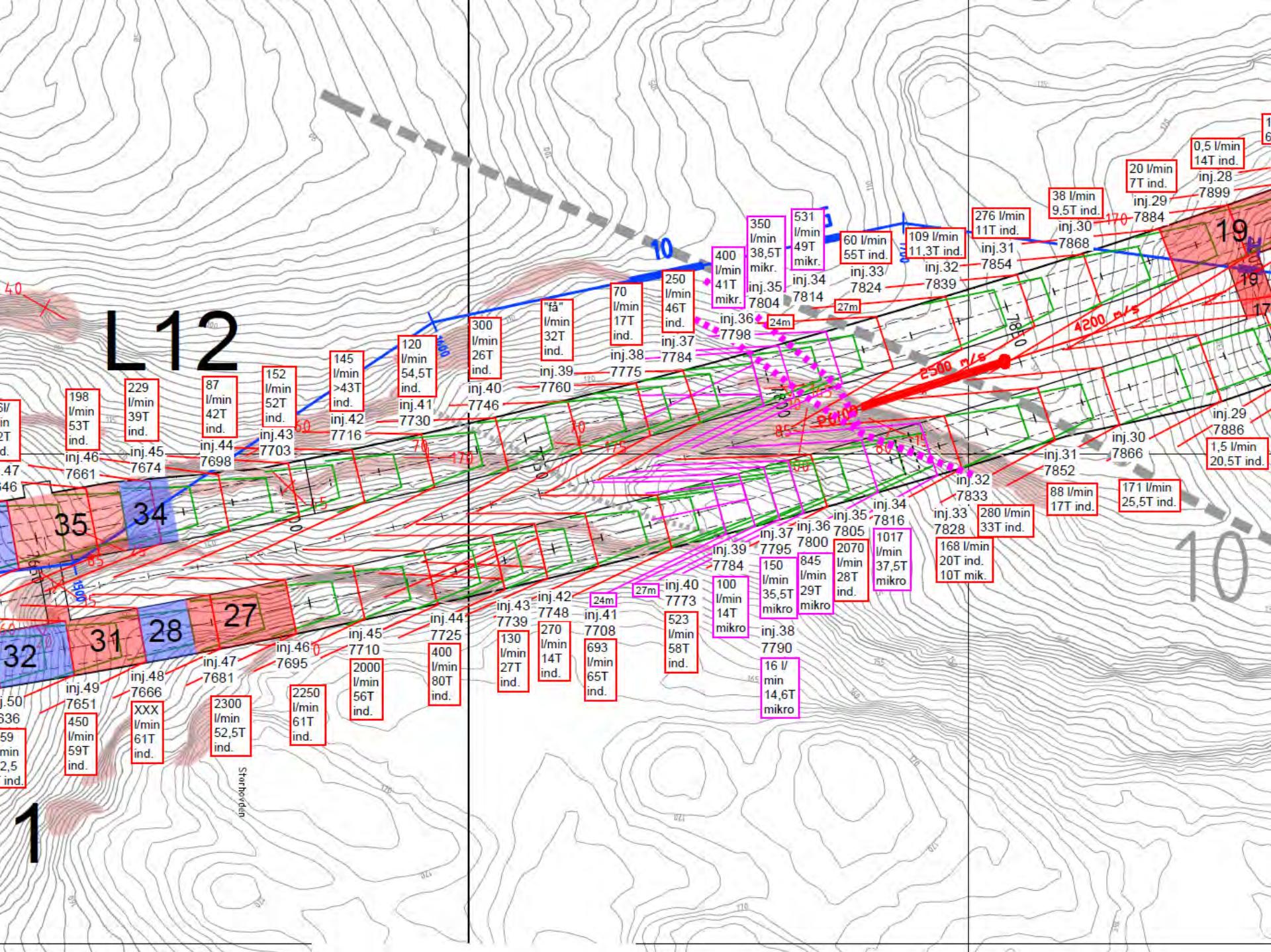
Statens vegvesen

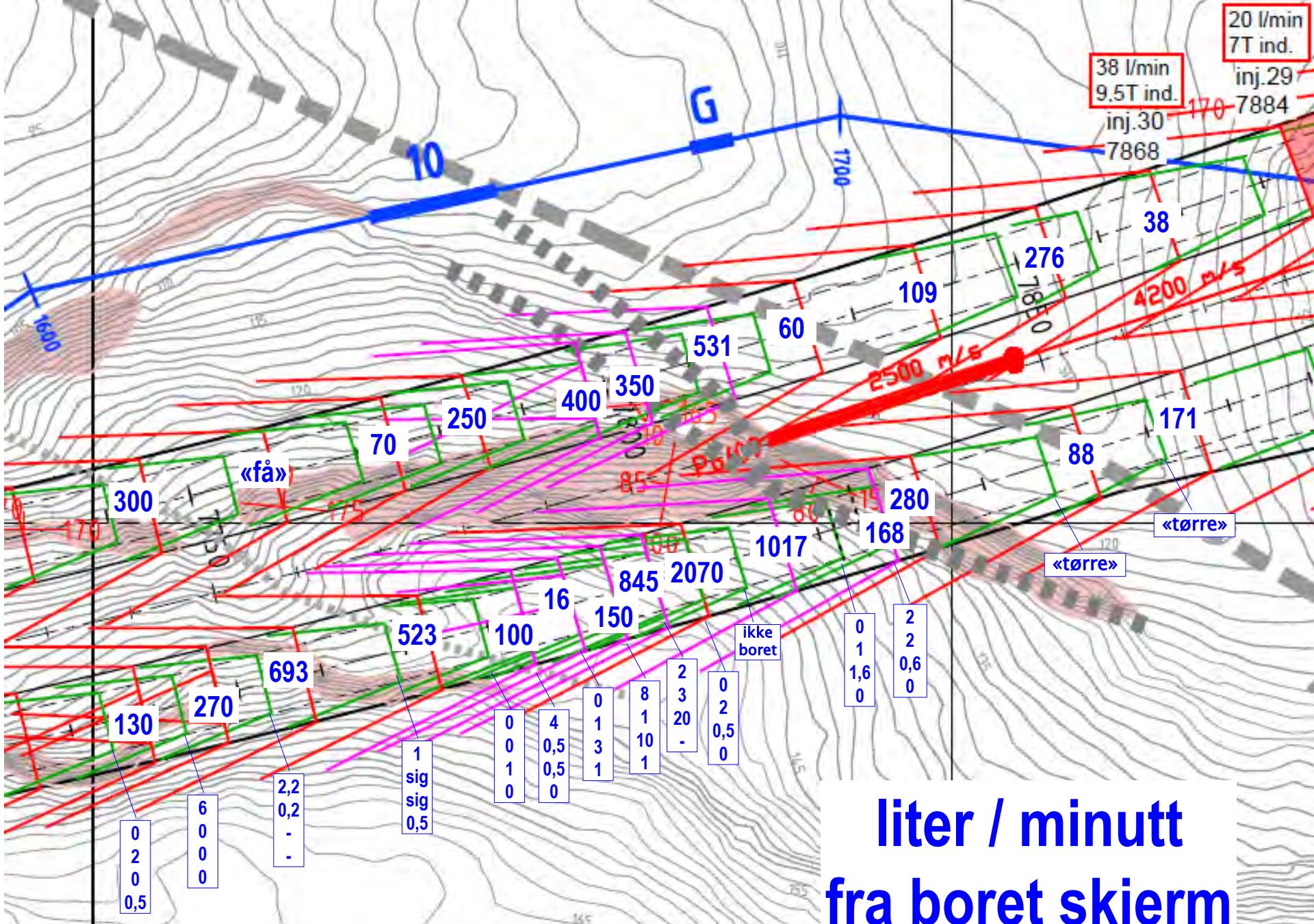
# Mikro *uten/lite aks.*



Statens vegvesen



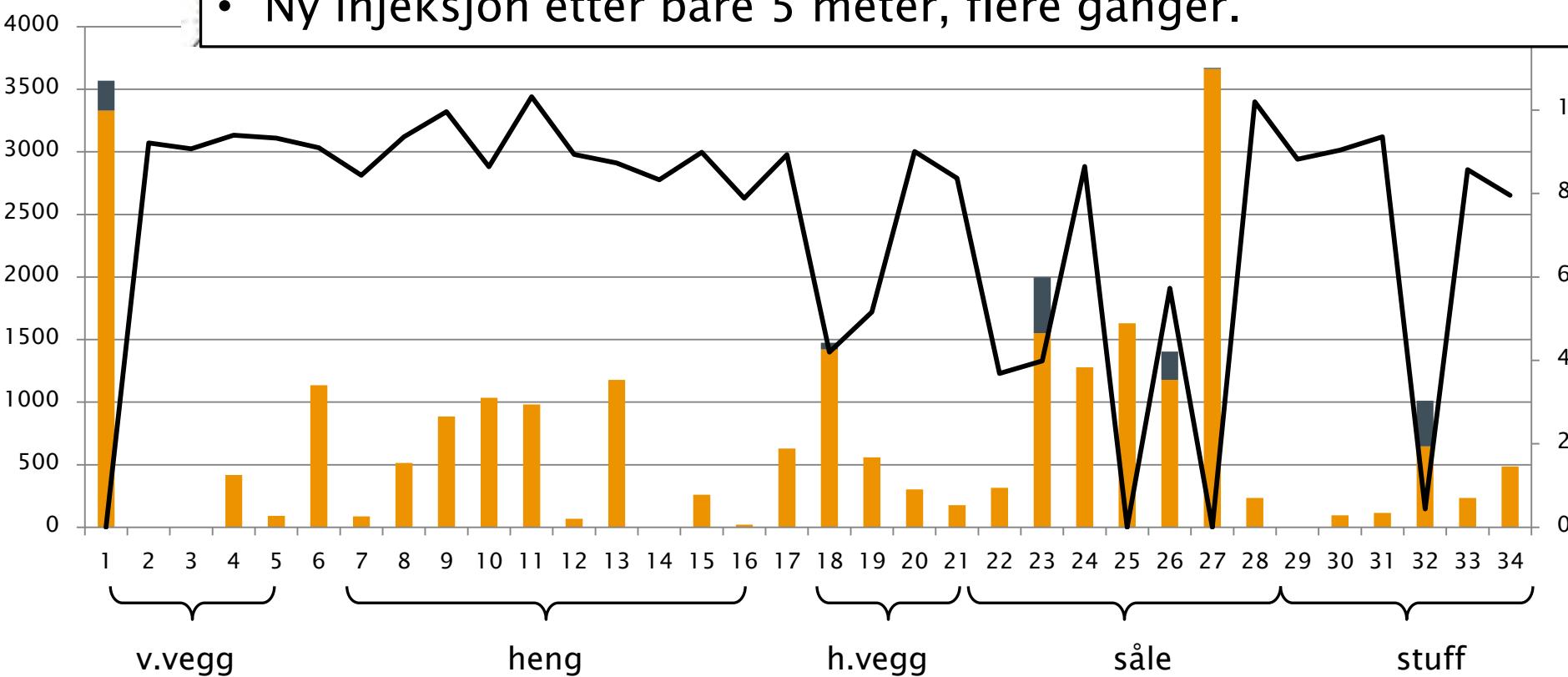




**liter / minutt**  
**fra boret skjerm**

## eksempel:

- ca. 850 liter/minutt fra injeksjonshullene før injeksjon.
- Mikrosement, v/c=0,8 og høye slutttrykk. Litt aks.
- målt 8+1+10+1 liter/minutt fra 4 kontrollhull etter 1.salve
- Ny injeksjon etter bare 5 meter, flere ganger.



Siste med mikro ved svakhetssone 10.

11-7784



Statens vegvesen

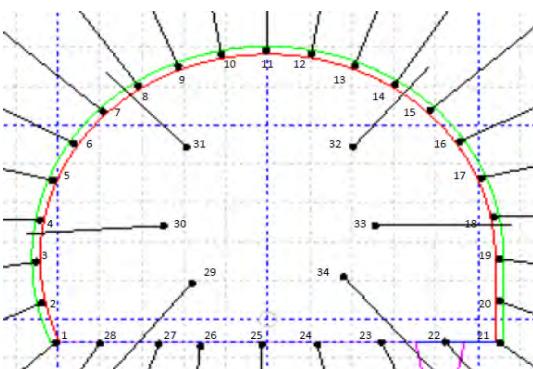
100 liter/min fra injeksjonshullene.

Ingen akselerator,  
kun v/c=0,8.

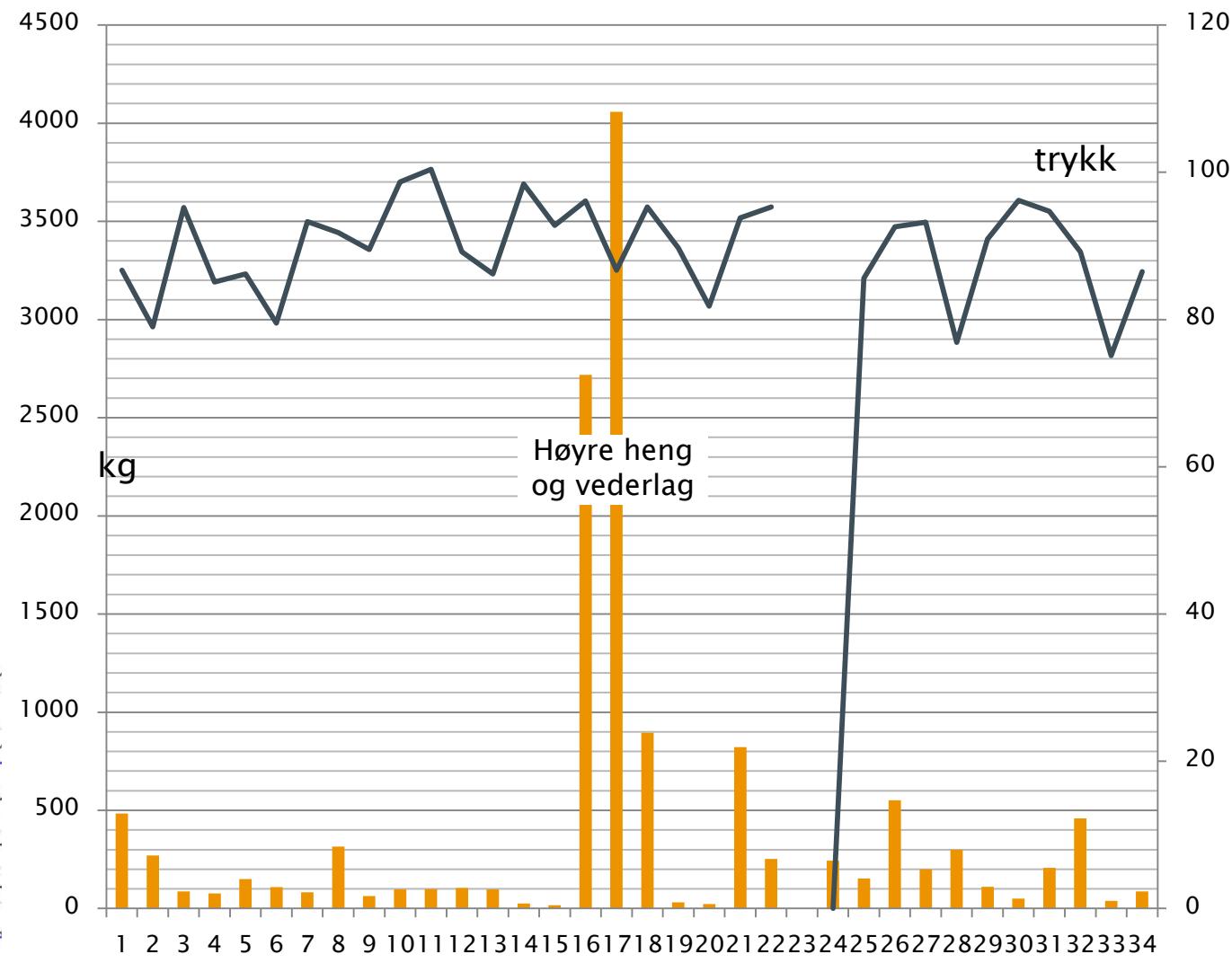
Høye trykk, men liten  
inngang i mange hull.

0+0+1+0 liter/minutt  
på kontrollhull.

Blir én salve til før  
nesten injeksjon.

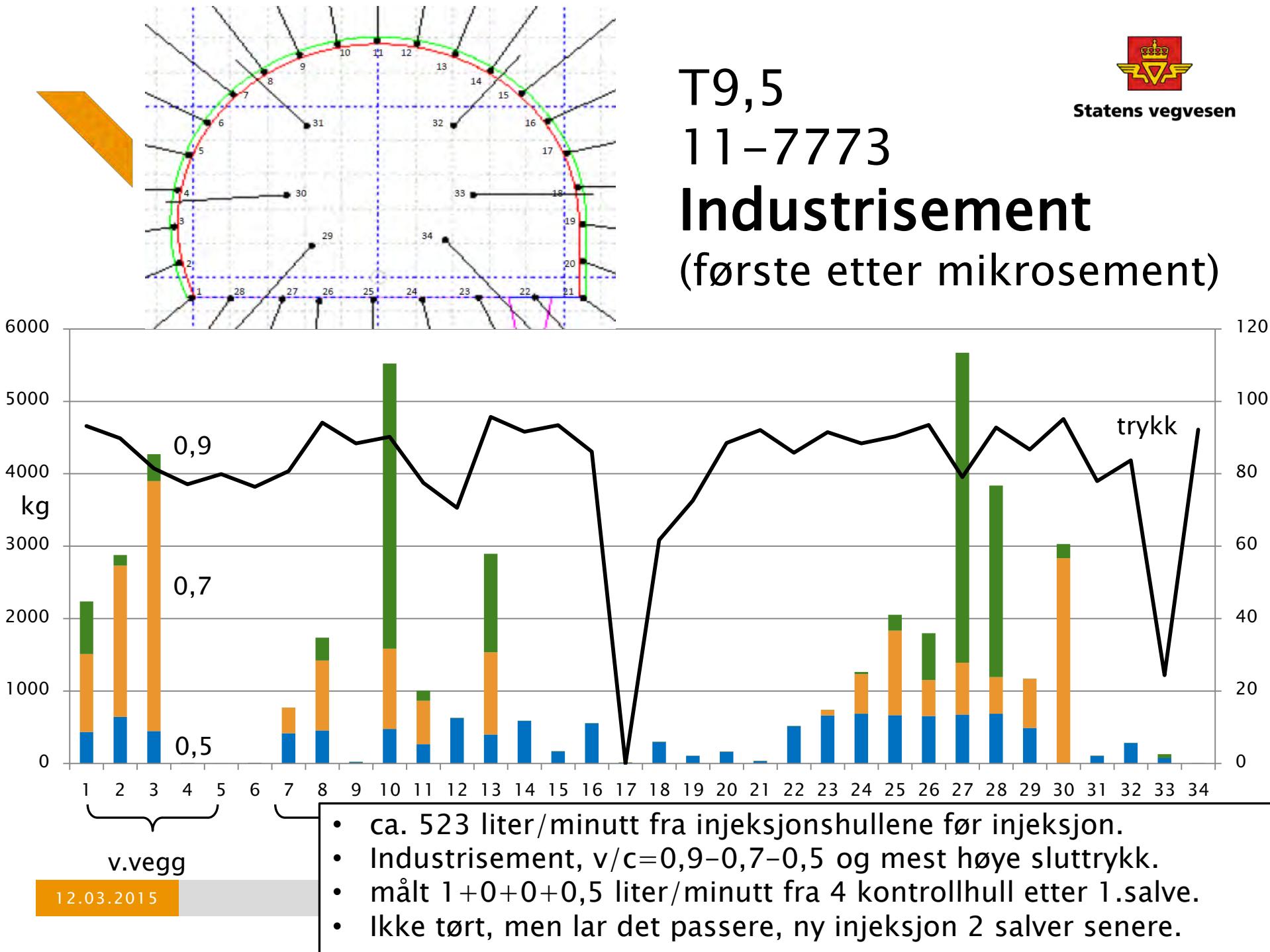


12.03.2015



Terje Kirkeby Vårsleppet 2015 «Mikrosement vs. industriiment på Ringveg Vest Bergen»

# T9,5 11-7773 Industrisement (første etter mikrosement)





Statens vegvesen

# RINGVEG VEST, MEGET KORT:

- Med en betydelig mengdereduksjon fra industri- til mikrosement med styrt herding gikk pumpetiden noe ned på fremre stuff, og ubetydelig på bakre (antar det skyldes mer vasking, mer påpasselighet og kanskje færre linjer(?) med mikrosement).
- Overgang fra industri- til mikrosement samtidig som vannet forsvant, fikk derfor egentlig aldri testet mot industrisement mht. vannlekkasjer.
- Forsøk med mikro etter sone 10 var allikevel ikke oppmuntrende, og det er også lett å ødelegge andre hull om en ikke følger grundig opp.
- Litt etterpåklokskap?:
  - Skulle allikevel startet med mikro/styrt tidligere (men det ennå var vann).
  - Mht industrisement generelt; raskere på tykkere masse, aldri mer enn 24m hull?
  - Flere måleterskler for bedre kontroll/innlekkasjemålinger.
  - Dropped injeksjonen helt utenom der det virkelig lakk inn vann...



Statens vegvesen

# INDUSTRISEMENT ELLER MIKROSEMENT?

- **Industrisement** bør fortsatt være førstevalget ved injeksjon under normale forhold (dvs. alminnelige norske bergarter og rimelig bergrdekning), den er billig, lett tilgjengelig og takknemlig å arbeide med). Men det kreves høye trykk. Lav v/c kan hindre for mye spredning.
- Ved strenge krav og systematisk injeksjon har en alltid en «propp» med injisert berg foran stuff som gjør at det fungerer på tross av meget langsom herding. Treg herding ødelegger ikke så lett nabohull.
- En bør derimot gå over på **mikrosement** dersom en på tross av ulike skjermoppsett, blandingsforhold, prosedyrer ikke lykkes.
- Prosjekter med liten overdekning, nærliggende bebyggelse, antatt tynne sprekker, etc. må ta høyde for nok mikrosement i kontraktene.
- Store innganger (og utganger..) kan stoppes med mikrosementer og styrt herding , men metoden er krevende å få riktig.