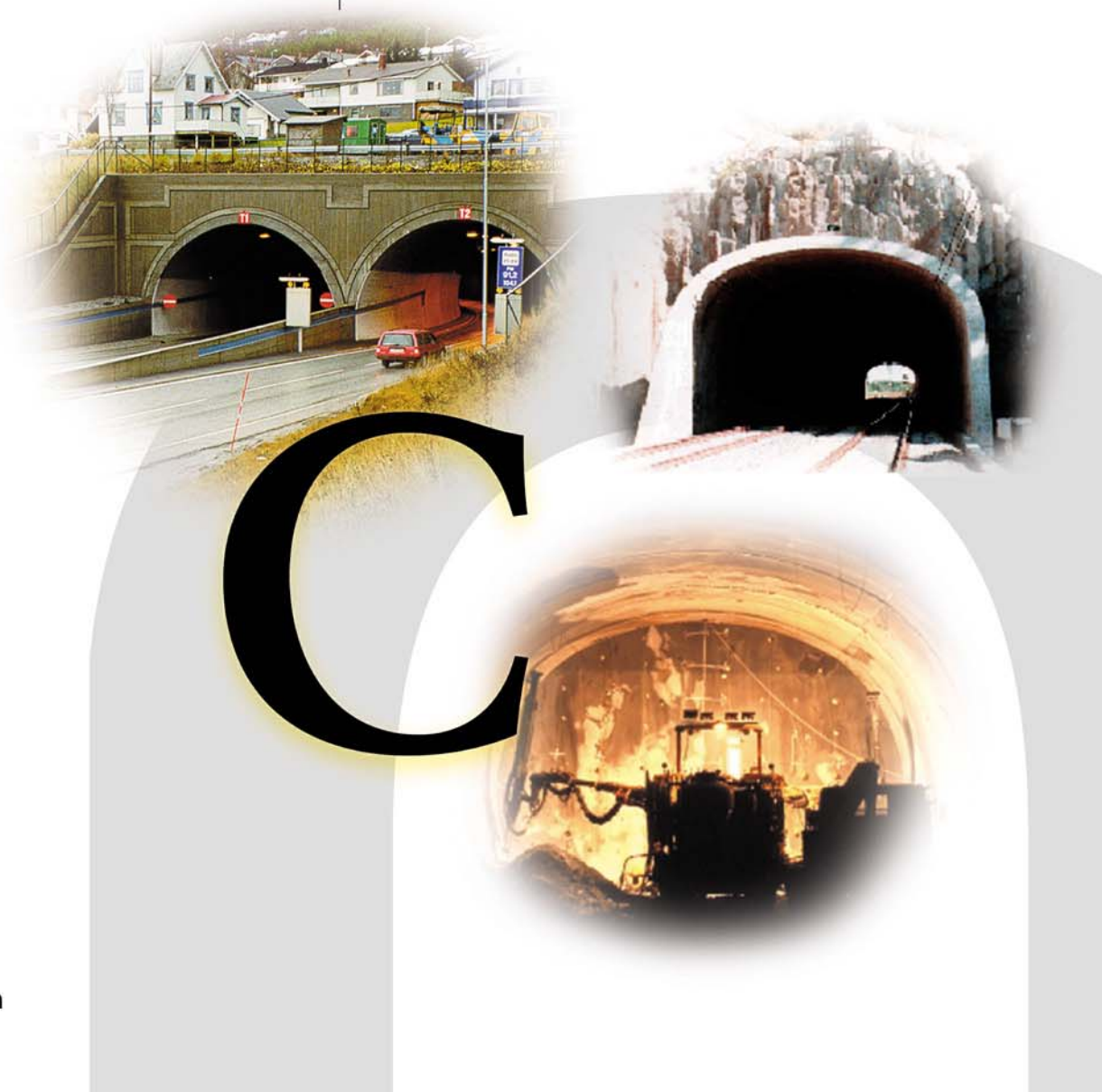


MILJØ- OG SAMFUNNSTJENLIGE TUNNELER

Rapport nr: **18**

Resultatrapport fra injiseringsforsøk



Intern rapport nr. 2294



Statens vegvesen

VURDERING AV FORSØKSOPPLEGG / RESULTATRAPPORT ETTER INJISERINGSFORSØK onsdag 29.05.2002

Formålet med forsøkene: STUDERE EFFEKT AV ULIKE OMDREININGSTALL (VARVTAL)

av Bodil Alteren, Ola Skjølvold, Jan Ove Busklein, Filip Dahl

Deltakere i forsøket:

Jan Ove Busklein, SINTEF, avd. Berg og geoteknikk (Instrumenter / logging mm)

Filip Dahl, SINTEF, avd. Berg og geoteknikk (Reg. gjennomstrømning mm)

Ola Skjølvold, SINTEF, avd. Sement og betong (Pumpeoperatør mm)

Bodil Alteren, SINTEF, avd. Berg og geoteknikk (Koordinering, skop mm)

Rapporten går til:

Anders Beitnes, SINTEF

Per Arne Dahl, SINTEF

Alf Kveen, Statens vegvesen

Bjørn Nilsen, NTNU

Sten-Åke Petterson, Atlas Copco Craelius AB

Osvald Inderberg, Atlas Copco Anlegg- og Gruveteknikk AS

Staffan Hjertstöm, Cementsa AB

Odd Tjugum, CMC

Deltakerne, dvs. J.O.Busklein, F.Dahl, O.Skjølvold, B.Alteren, SINTEF

Sammendrag

Denne rapporten samler resultatene fra injiseringsforsøk som ble utført 29. mai 2002. Men rapporten innebærer i like stor grad en vurdering av forsøksopplegget / -utstyr, inkludert behov for forbedringer. (Senere forsøksrapporter med ren resultatpresentasjon og tolkning / diskusjon, vil se annerledes ut enn denne rapporten.).

Forbehandling av injiseringsmasse er gjort med to ulike turtall (1450 og 2500) på mixeren. Resultatene indikerer at massen som er mixet med høyere turtall fløt lettere inn i sprekkesystemet ved umiddelbar injisering. Etter en tids oppbevaring i omrøreren før injisering, hadde massen som var behandlet med høyest turtall ”tyknet” mer, og fløt ”tregere” inn i og gjennom sprekkesystemet.

Gjennomstrømning l/min endret seg noe gjennom forsøket. På venstre side av sprekke modellen, som har det trangeste sprekke mønsteret, avtok gjennomstrømningen noe mot slutten av forsøket. Dette kan være pga dannelse av filterkake i sprekkesystemet. Samtidig økte gjennomstrømningen på høyre side i modellen.

Det viste seg å være vanskelig å kontrollere forsøksbetingelsene helt. Dette medfører noe usikkerhet omkring resultatene. Dette innebærer behov for videre utvikling av utstyret. Det bør for det første settes inn flowmålere i utløpsrørene på høyre og venstre side av modellen. Det bør også produseres nye glass, dvs et nytt sprekkesystem må etableres, der sprekke dybden er noe mindre.

1 Innledning

Byggherrers og samfunnets krav til tetting av berg ved tunnelarbeider blir stadig strengere. Dette medfører behov for forskning og utvikling innen microsement og tilsetningsstoffer, og hvordan de ulike produkter oppfører seg i en bergsprekk.

Den 29. mai 2002 ble det utført injiseringsforsøk ved laboratoriene til SINTEF Bygg og miljø, avdeling for Berg og geoteknikk. Formålet var å vurdere inntrengningsevnen til microsementen etter ulik forbehandling (ulikt omdreiningstall i mixer). Her følger rapport fra forsøkene.

2 Utstyr og sprekkerigg / Teoretisk bakgrunn

Det er utviklet en modell av en bergsprekk med sprekke dybde varierende mellom 40 og 200 μm . Injiseringssystemet som benyttes består av en mixer (koloidkvern) som kverner sementen med en valgfri trinnløs innstilling for turtall, en omrører som holder sementblandingen suspendert etter mixing inntil injisering, og en injiseringspumpe. Utstyret er utlånt av Atlas Copco Craelius.

Sprekkerigg, injiseringsutstyr og selve gangen i injiseringen presenteres ikke her. Det forutsettes at utstyret og prinsippet ved forsøkene i hovedsak er kjent. Utstyret er imidlertid vist i bilde 1 og bilde 2.

To glassplater (0,7m x 1,0m) er satt sammen, med en innspenning på anslagsvis 15 tonn i hvert av de fire hjørnene. Stramming av boltene gjøres med momentnøkkel, til nøkkelen viser 30 kg. En framstilling av glassplatene, med sprekke mønster og instrumentering er gitt i vedlegg 1.

Vedlegg 2 angir sprekke mønsterets dybde og bredde over glassplatene.



Bilde 1 Mixer, omrører og injiseringspumpe brukt under forsøkene. (Bilde fra 30.04.2002)



Bilde 2 Glassplate løftes ut etter gjennomført forsøk.

3 Forsøksopplegg

Det ble kjørt to separate forsøk, forsøk 1 og 2. De to forsøkene hadde samme sammensetning på sementblandingen, men ulikt omdreiningstall på mixeren, hhv 1450 og 2500 omdr./min. Hvert av de to forsøkene ble kjørt med to ulike injiseringsstrykk, som A- og B-forsøk.

Mellom forsøk 1 og 2 ble det laget ny sementblanding (med samme sammensetning). Glassplatene ble koplet fra hverandre og alt utstyr (mixer, omrører, slanger, koplinger, glassplater etc.) ble grundig rengjort.

Forsøkene ble utført ved at injiseringsmassen ble forberedt, og deretter ble A-forsøkene kjørt. Etterpå ble så B-forsøkene kjørt med et litt høyere trykk, ved bruk av samme massen som A-forsøkene. En følge av måten forsøkene ble utført på, var dermed at injiseringsmassen ble stående i omrøreren noe lengre tid før B-forsøkene ble utført enn for A-forsøkene. Massen fikk dermed lengre tid til å reagere før B-forsøkene ble gjennomført.

Tabell 1 Forsøksserie

Forsøk nr.	Microsement	v/c-forhold	Flytmiddel Cementa HPM	Omdreiningstall	Injiserings- trykk (bar)
29.05_1A	Ultrafin 12	1,1 (88:80)	1,4% (1,12 kg)	1450 (26 lpm)	8
29.05_1B	(Samme sementblanding benyttes)			1450 (26 lpm)	10
29.05_2A	Ultrafin 12	1,1 (88:80)	1,4% (1,12 kg)	2500 (45 lpm)	9
29.05_2B	(Samme sementblanding benyttes)			2500 (45 lpm)	11

Sprekken mellom glassplatene ble først vannmettet (det skal tilsvare bergets grunnvann). Med kjølerør ble "berg"-temperaturen regulert til ca. 9 °C.

88 liter vann ble fylt opp i mixeren, deretter ble flytmiddel og 80 kg microsement hatt oppi. Etter at alle ingredienser i sementblandingen var fylt i mixeren, ble mixeren kjørt i 4 minutter. (Selve

jobben med å ha oppi sementsekkene tok i tillegg anslagsvis 2-3 minutter.) Deretter ble sementblandingen overført til omrøreren, og så til pumpa for injisering.

Parametere som ble registrert under forsøkene:

- 1 Marshcone-tid på sementblandingen etter injisering
- 2 Densitet i sementblandingen før og etter injiseringen
- 3 Temperaturutvikling på vann/sement-blandingen underveis i mixeren
- 4 Mengde og tid for gjennomstrømning gjennom sprekkesystemet (l/min), samt for noen punkter også endring av gjennomstrømning (l/min over injiseringsperioden)
- 5 Relativt tidspunkt for passering av bestemte punkter (lysdioder) i sprekkesystemet
- 6 Trykkoppbygging i sprekkesystemet under kjøringen av forsøk
- 7 Inspeksjon av sprekkesystemet gjennom skopkamera
- 8 Etter hvert forsøk ble glassplatene koplet fra hverandre for å studere hvordan platene ("berget") så ut, det vil si inntrengningen av sement ved de ulike sprekkedybder (sprekkedybde varierer mellom 40 og 200 μm).

Planen var å holde samme flow og samme injiseringstrykk under de to A-forsøkene og under de to B-forsøkene. Flow ble innstilt likt under forsøkene. Når forsøkene 2A og 2B skulle kjøres, viste det seg at samme flow resulterte i et noe høyere injiseringstrykk.

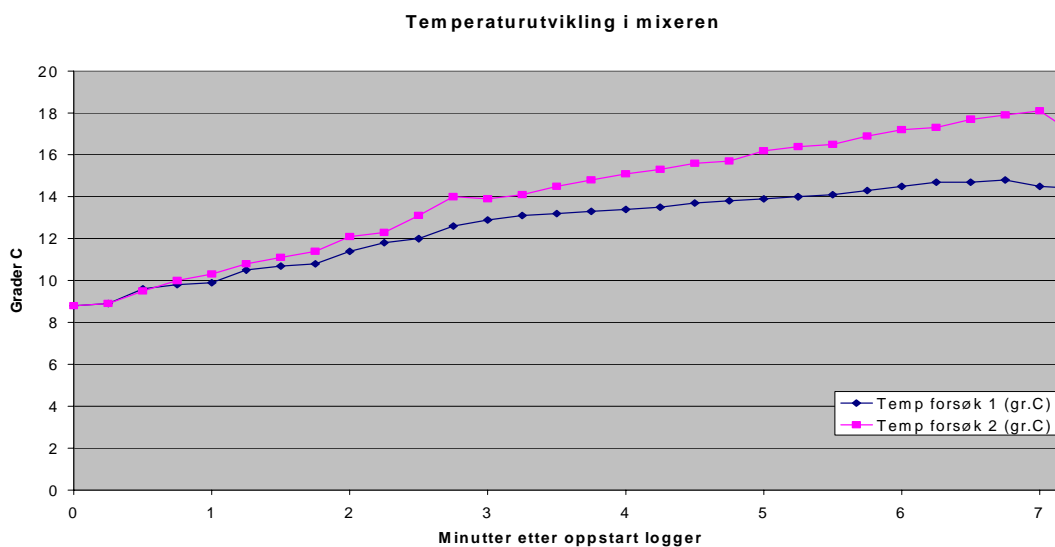
4 Resultater - inkl. diskusjon

4.1 Temperaturutvikling i mixer

Det var ønske om å registrere temperaturutvikling i sementblandingen under mixingen. Et termoelement ble tapet fast på veggen i mixeren, med bimetalltrådene inn i returstrømmen i mixeren.

Temperaturloggeren ble stilt inn på registrering hvert 15. sekund. Loggeren ble påslått ca. et halvt til ett minutt før sementen ble fylt i mixeren. Fylling av sement tok anslagsvis i overkant av 2 minutter, deretter gikk mixeren i 4 minutter før sementblandingen ble overført til omrøreren. Overføringen tok i seg selv også noe tid. Loggeren ble avslått noe etter at mixingen var avsluttet og massen overført til omrøreren. Figur 1 viser temperaturutviklingen i de to forsøkene.

Figur 1 viser at temperaturen var lik ved oppstart under de to forsøkene. Temperaturen steg så mer under mixingen for det andre forsøket, hvor omdreiningshastigheten (og dermed energitilførselen) var høyere. Nedgang i temperaturen etter ca. 7 minutter på tidsaksen, skyldes at sementmassen da ble overført til omrøreren.



Figur 1 Logging av temperatur under mixingen for forsøk 1 og 2. Mixingen med alle ingredienser skjer i 4 minutter. I figuren er dette i perioden fra ca. 3 til ca. 7 min.

4.2 Marshcone-tid

Marshcone-tid er i prinsippet den tiden det tar for en bestemt mengde masse av sementblandingen (i underkant av 1 liter) å renne ut av en spesiell trakt. Dette er registrert for forsøkene 1A, 2A og 2B, se tabell 2. Etter forsøk 1B ble det ikke tatt ut masse for måling av Marshcone-tid.

Tabell 2 Marshcone-tid for sementblanding, prøvetatt fra massen i overløpskannene, etter injisering

Forsøk	Marshcone-tid (sek)
29.05_1A	29
29.05_2A	32
29.05_2B	35

Massen rent fortore gjennom under forsøk 1 enn for forsøk 2. Observasjon av massen ga inntrykk av at det var mer luft i massen for forsøk 1, hvilket kunne ha gjort den mer tyntflytende. Det er således mulig at høyere mixer-turtall har presset lufta mer ut av massen.

4.3 Densitet

Densitet ble registrert før og etter injisering for forsøk 1A, og etter forsøkene 2A og 2B. Etter forsøk 1B ble det ikke tatt ut masse for densitet.

Tabell 3 Densitet

Forsøk	Tidspunkt	Mengde (ml)	Vekt (g)	Densitet (kg/m ³)
29.05_1A	Før injisering	250	351,46	1,406
29.05_1A	Etter injisering	250	344,52	1,378
29.05_2A	Etter injisering	250	361,22	1,445
29.05_2B	Etter injisering	250	366,06	1,464

Under forsøk 2A begynte massen å komme opp i overløpsdunkene *før* beregnet (før utløpet i bakkant var avstengt med hensikt å starte injiseringen kontrollert). Injiseringen i ”berg”-sprekken måtte dermed begynne straks, og det ble ikke tid til å ta ut materiale for testing av densitet *før* injiseringen.

Tabell 3 viser at massen fikk høyere egenvekt etter å ha blitt forbehandlet med høyere turtall på mixeren.

Dette kan stemme også med observasjon av massen. Det ble registrert ”bobling” i massen ved måling av densitet og Marshcone under begge forsøkene, men det var tilsynelatende mer luft i blandingen i forsøk 1 enn i forsøk 2. Lufta har således blitt mer presset ut ved høyere turtall, og egenvekta er dermed høyere.

4.4 Gjennomstrømning gjennom sprekkesystemet

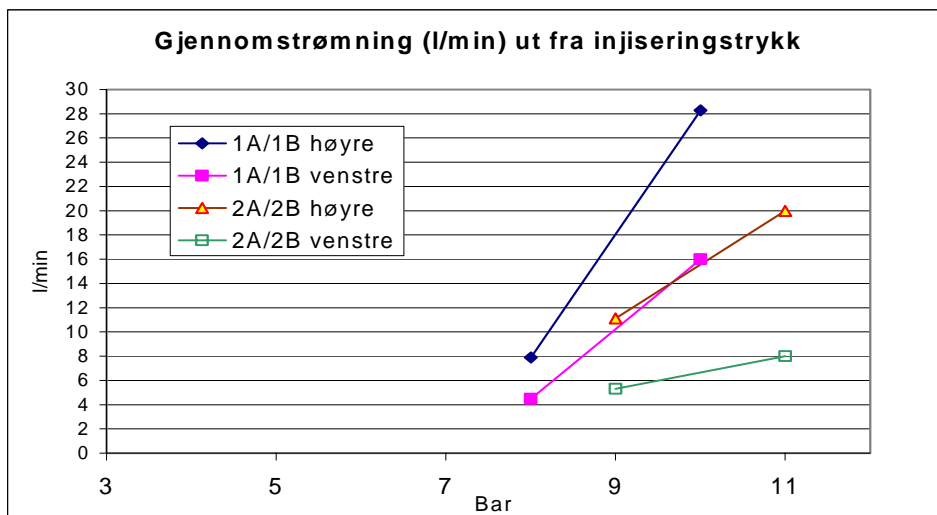
Massen går gjennom sprekkesystemet, til en oppsamlingsrenne ved begge endene av glassplatene, dvs der sprekkesystemet slutter. Et overløpsrør fører massen videre opp i to 10 liters oppsamlingskanner, én for høyre og én for venstre side i sprekkesystemet / glassplatene.

Resultater av tidligere forsøk, både med vann alene og med sement, har vist at massen grovt sett fordeles med ca. 1/3 til venstre side og ca. 2/3 til høyre side. Dette skyldes ulikt sprekkemønster, med et noe mer begrenset tverrsnitt på venstre side i forhold til høyre side. Under forsøkene 1A og 1B gikk det relativt mer til høyre side. I tabell 4 presenteres sluttmålingen av forsøkene, dvs den mengden som har passert sprekkesystemet og er overført til kannene. For 2B ble det overfylling av dunkene med påfølgende blowout, og det er derfor ingen sluttmåling her.

Tabell 4 *Sluttmåling for forsøkene, som viser forholdet mellom høyre og venstre side i modellen.*

Forsøk	Tidspunkt (sek)	Totalt høyre side (l)	Totalt venstre side (l)
29.05_1A	66	8,7	4,9
29.05_1B	18	8,5	4,8
29.05_2A	48	8,9	4,2

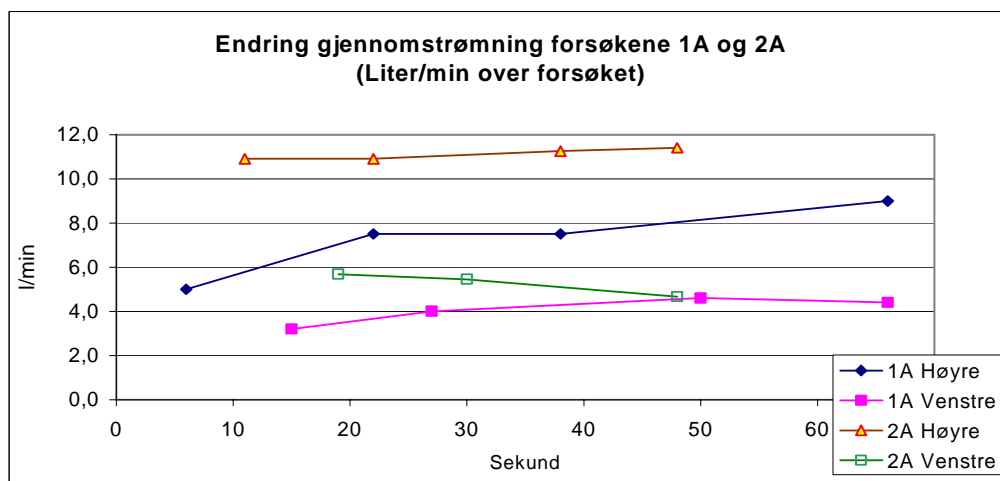
Figur 2 viser gjennomstrømning fra den siste målingen i hvert forsøk, som funksjon av avlest injiseringstrykk. Figuren viser at trykkøkningen på 2 bar fra forsøk 1A til 1B ga ca. 4 til 5 ganger større gjennomstrømning. For forsøk 2A og 2B ga samme trykkøkning (≈ 2 bar) kun ca. 0,3 til 2 ganger større gjennomstrømning. Figur 2 viser også at gjennomstrømningen var større under forsøk 1B enn for 2B.



Figur 2 Liter/minutt som funksjon av avlest injiseringstrykk

For forsøkene 1A og 2A, dvs forsøkene med de minste injiseringstrykkene, ble mengde injiseringsmasse som hadde passert i sprekkesystemet, målt på 3 – 4 tidspunkt underveis i forsøket. Det er dermed mulig å se endring av gjennomstrømningen over forsøkene i form av endring av liter/min over tiden. For 1B og 2B, med høyest injiseringstrykk, fyltes dunkene så fort at det kun ble tid til å måle én til to ganger.

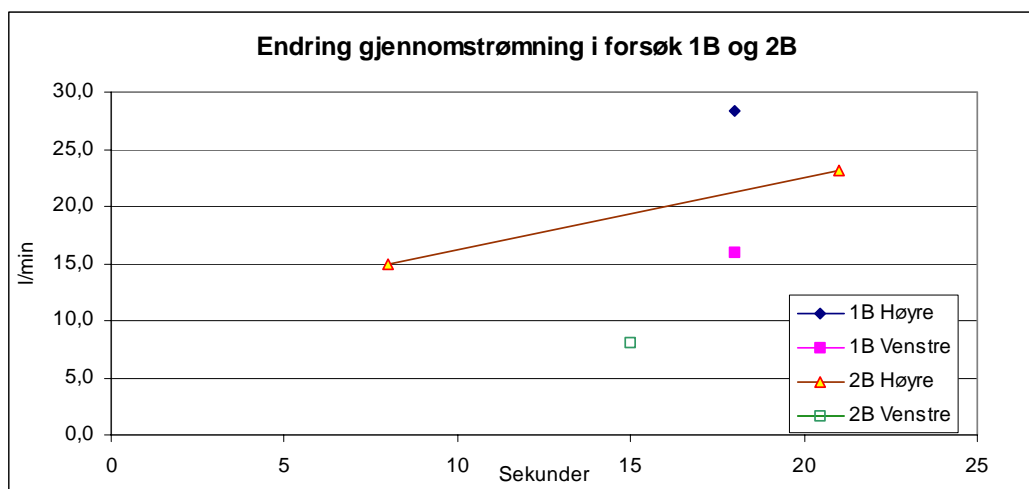
Figur 3 viser endring i gjennomstrømning for forsøkene 1A og 2A. Figuren viser at gjennomstrømningen gikk lettere i forsøk 2A enn i 1A.



Figur 3 Endring av gjennomstrømning (l/min over forsøketiden) for forsøkene 1A og 2A.

Figur 3 viser at gjennomstrømningen i sprekkesystemet på venstre side (med det trangeste sprekkemønsteret) avtar noe over tid. Dette kan skyldes dannelse av filterkake / tetting av sprekker. Samtidig øker gjennomstrømningen på høyre side noe.

Figur 4 viser endring i gjennomstrømning for forsøkene 1B og 2B. Figuren viser at gjennomstrømningen gikk lettere i forsøk 1B enn i 2B, til tross for at injiseringstrykket var høyere for 2B enn 1B, og at det samtidig var større turtall under kverningen i mixer for forsøk 2B.



Figur 4 Endring av gjennomstrømning (l/min over forsøktiden) for forsøkene 1B og 2B.

4.4.1 Gjennomstrømning 1A kontra 2A og 1B kontra 2B

Figurene 2, 3 og 4 viser at gjennomstrømningen går fortere i forsøk 1A enn i forsøk 2A. I forsøk 2A er massen mixet med større turtall, samtidig som injiseringsstrykket er noe høyere enn for 1A.

B-forsøkene viser et annet resultat. Der er gjennomstrømningen bedre for 1B enn for 2B. Massen i 2B er da mixet med størst turtall, samtidig som den er injisert med et noe høyere trykk.

Resultatet kan indikere at massen som er mixet med størst turtall, tyknes fortere. Dette kan skyldes en hurtigere reagering fordi kornene totalt sett kan være mer "sundkvernet" og dermed være mindre, hvilket innebærer en samlet større overflate. Samtidig må det også sies at de gjennomførte forsøkene ikke gir godt nok grunnlag for å trekke en slik konklusjon.

En faktor som ikke er kontrollert under disse forsøkene er *tiden* mellom A- og B-forsøkene. Det er et moment som vil spille inn i resultatet. A-forsøkene ble kjørt umiddelbart etter ferdig mixing. B-forsøkene ble kjørt en tid etterpå, men tidsintervallet fra 1A til 1B og fra 2A til 2B er ikke kontrollert. For senere forsøk må det på forhånd bestemmes et ønsket tidsintervall som må følges.

En annen mulighet for senere forsøk er å opprettholde samme injiseringsstrykk under A-, B- og C-forsøk, og la tiden være den eneste endringsparameteren for å kontrollere effekten av denne.

4.5 Dioder

Idet injiseringsmassen passerer diodene, "slukker lyset", dvs senderens lyssignal brytes når injiseringsmassen passerer, og mottakeren får ikke lenger inn noe signal.

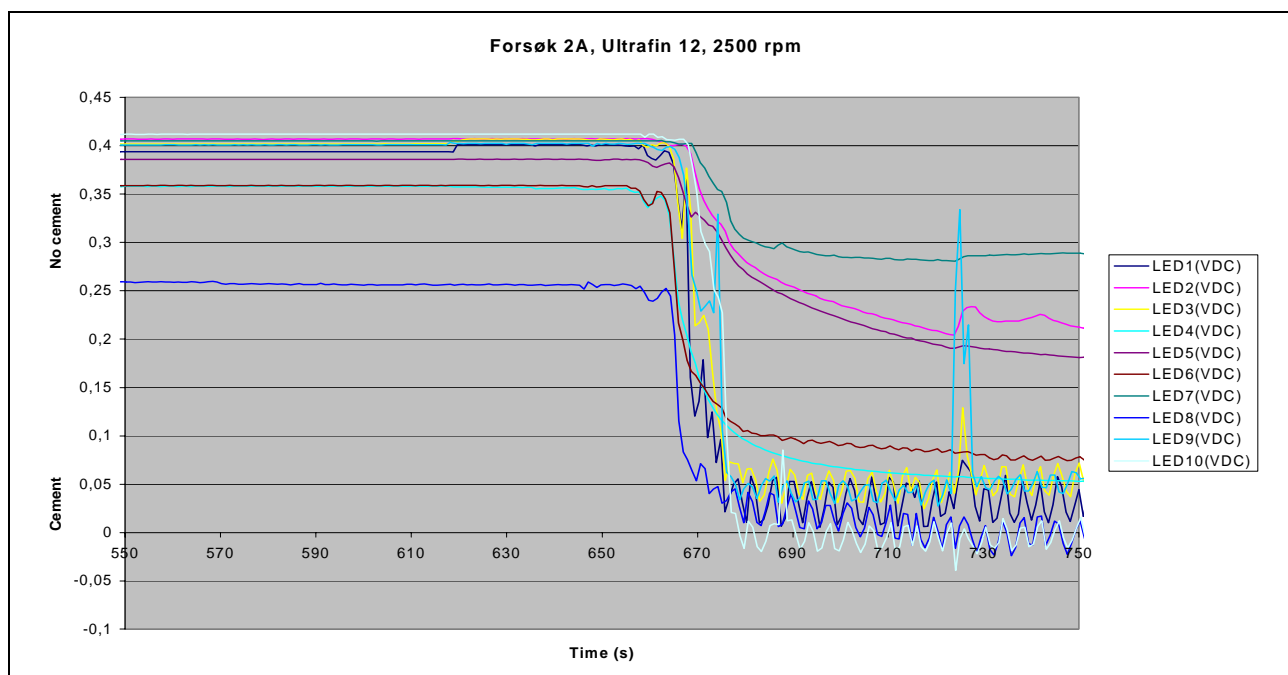
Diodene har registrert hendelsesforløpet for de to A-forsøkene. Glass og sprekkesystem var ikke rengjort mellom A- og B-forsøkene, så diodene var allerede slukket idet B-forsøkene startet.

Vedlegg 1 presenterer instrumenteringen i sprekkesystemet. Figur 5 viser registreringene gjort av alle diodene under ett av forsøkene, forsøk 2A. Figuren viser at massen kommer til de tre diodene D4, D6 og D8 nokså samtidig. 10-dels sekunder skiller mellom dem. Forsøk 1A har et tilsvarende forløp.

Rekkefølgen de slukkes i er videre D3 og D1 for forsøk 1A, mens den er motsatt (D1 og så D3) for forsøk 2A (nokså samtidig de også). Deretter følger i rekkefølge D5, D9 og D7 for begge forsøkene. For forsøk 1A kom så D7 og D10 omtrent samtidig til slutt. For forsøk 2A kom massen til D10 samtidig med D2, og så til slutt til D7. Se vedlegg 1 mht plassering av dioder.

Tiden fra massen passerer første diode til den når den siste er ca. 13 sekunder for forsøk 1A og 8 sekunder for forsøk 2A.

Tidsforskjellen fra første diode slukker til massen kommer fram til den neste dioden, kan kalles Δt . Resultatet i form av Δt for forsøk 1A er fremstilt i vedlegg 3, tegnet inn på glassplata for å gjøre det mest mulig oversiktlig.



Figur 5 Diodenes registrering under forsøk 2A.

Sprekkemønsteret er symmetrisk et stykke ut over glassplatene, speilvendt omkring en midtlinje gjennom injiseringshullet (høyre og venstre side) Vedlegg 2 presenterer sprekkedybden for hele glassoverflaten. For diodene D5 og D7 er det i utgangspunktet symmetriske forhold mht sprekkedybde / -areal. Likevel kommer massen til D5 før den passerer D7 i begge forsøkene. I forsøk 1A var det ca. 9 sekunder mellom de to diodene, i forsøk 2A var det 3 sekunder. Denne forskjellen kan henge sammen med at sprekkesystemet på venstresiden (D7 er på venstre side) samlet sett er noe trangere enn systemet på høyre side. Et annet moment er at en glassplata trolig ikke ligger helt tett sammen over hele arealet, pga en viss krymping av sementen ved innstøping av glassene.

Figur 5 viser også at diodene D5, D7 og D2 ikke slukker helt når massen passerer. Dette var tilfelle under både forsøk 1 A og 2A. Det betyr at massen i disse punktene ikke er tett nok til å stenge helt av for lysstrålen. Dette kan skyldes at de to aktuelle tilførselskanalene hit har trange tverrsnitt (se vedlegg 2), slik at det er kun "skitvatn" med lite sementkorn som slipper gjennom passasjen.

Figur 5 viser også at diode D9 i forsøk 2A har en peak hvor lysstrålen plutselig slipper gjennom sprekken, for så å slukkes igjen. Noe lignende er tilfelle for diode D10 i forsøk 1A.

4.6 Trykksensorer

Trykksensorene er fordelt over glassplatene slik det er vist i vedlegg 1. Tabell 5 presenterer de høyeste trykk som er registrert av de ulike trykksensorene i sprekke modellen under forsøkene.

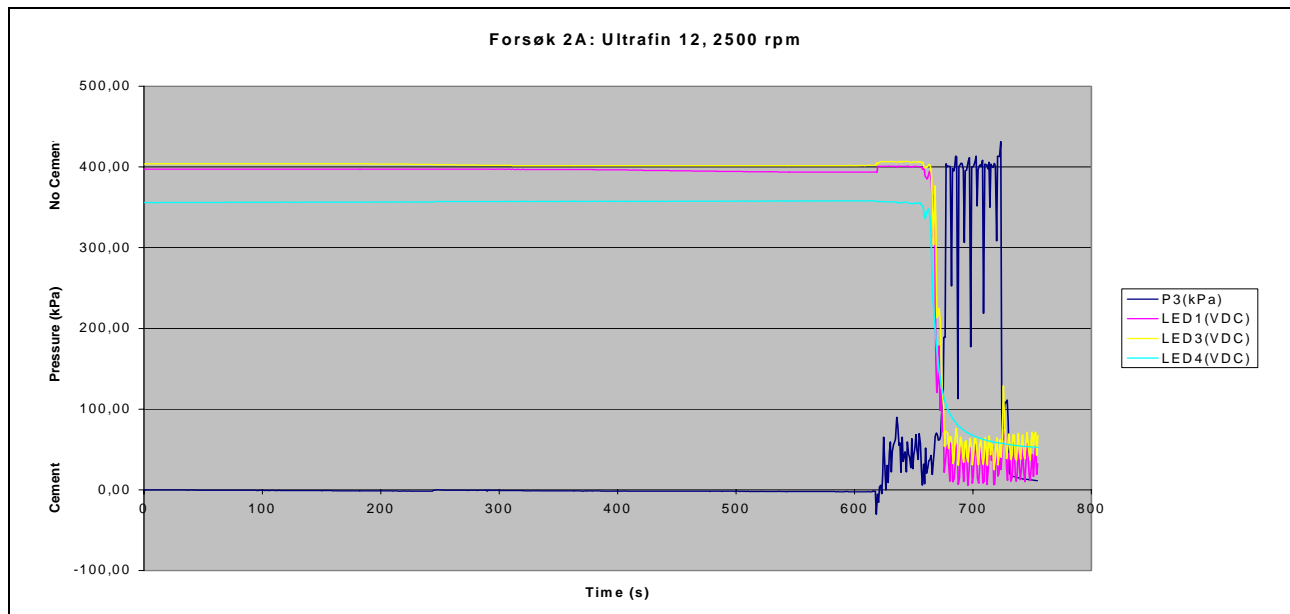
Tabell 5 Høyeste trykk registrert av trykksensorene P1 – P10, gitt i kPa. Uthevet skrift markerer det aller høyeste trykket i hvert forsøk.

Forsøk	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
1A	200	400	430	550	630	627	623	590	415	460
1B	300	470	500	690	720	650	730	700	400	490
2A	240	430	400	590	740	730	700	600	460	460
2B	370	480	500	620	900	845	750	750	520	550

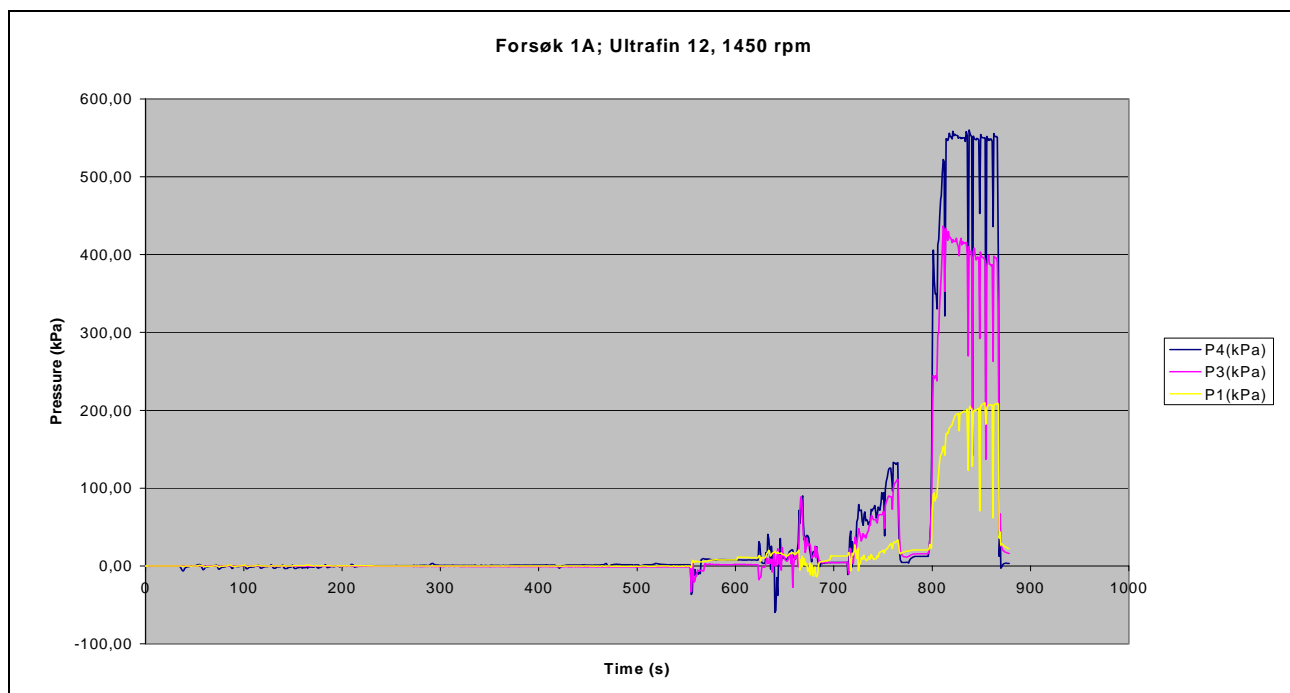
Ved å sammenholde trykkresultatene i tabell 5 med plasseringen av sensorene som er gitt i vedlegg 1, kan en se at trykket (som forventet) avtar med økende avstand fra injiseringshullet. En slik sammenstilling er vist for forsøk 1A i vedlegg 3.

Ut fra vedlegg 2 kan en se at P4 og P7 i utgangspunktet har like forhold (mht areal og avstand ut til sensorene), og det samme er tilfelle for P3 og P8. Likevel er trykket høyere for P7 og P8 (på venstre side). Dette kan skyldes at sprekkesystemet lenger ut på plata er noe trangere på venstre side enn på den høyre.

Figur 6 illustrerer trykkforløpet for én sensor (P3) sammenstilt med registreringene i tre dioder (D1, D3 og D4). Resultatene er fra forsøk 2A. Den første reaksjonen i trykksensoren i figur 6 henger sammen med oppstart av pumpa. Deretter ble gjennomløpskran i bakkant av sprekke modellen stengt av, og trykkoppbyggingen startet. Registreringene viser at alle dioder er passert, dvs sprekkesystemet er fylt med injiseringsmasse, før det blir så stor motstand i systemet at en skikkelig trykkoppbygging skjer. Figur 7 viser at trykkoppbyggingen skjer likens og samtidig over hele sprekkesystemet, illustrert ved tre av trykksensorene fra forsøk 1A.

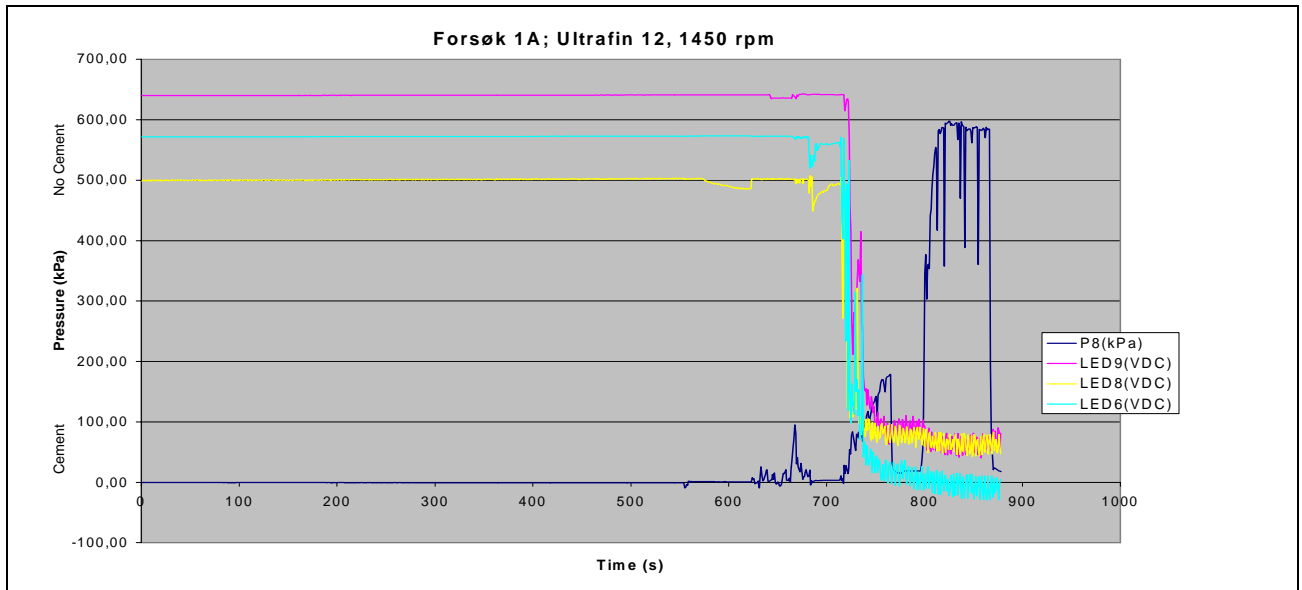


Figur 6 *Injiseringmassen har passert alle diodene og har fylt hele sprekkesystemet før trykkoppbygging skjer. Dette er her illustrert ved trykksensor P3 sammen med diodene D1, D3 og D4.*



Figur 7 *Trykkoppbyggingen skjer parallelt og likt i alle sensorer, her vist ved sensorene P4, P3 og P1 i forsøk 1A.*

Figur 7 viser også hvordan trykkutviklingen skjedde i tre omganger under forsøk 1A. Den andre trykkoppbyggingen startet idet alle diodene var passert for forsøk 1A, slik det går fram av figur 8.



Figur 8 Tidspunkt for trykkoppygging i forhold til injiseringsmassens passering av dioder under forsøk 1A.

4.7 Visuell inspeksjon med skopkamera

Skopkamera ble benyttet for å inspisere situasjonen i sprekkesystemet under injiseringen. Det er kun kanalene på venstre side (4 stk) og i midten (1 stk) som ble benyttet. (På høyre side er kun én kanal tilgjengelig, og denne ble det ikke tid til å sjekke pga knapp tid før forsøket var over.)

Besiktigelsen viste at for de to øverste inspeksjonskanalene fulgte injiseringsmassen det utfreste mønsteret som utgjør sprekkesystemet. For de andre tre, dvs nedre halvpart av glassplatene på venstre side, strømmet massen også utenom kanalene. Dette var likt under alle forsøkene.

Det at massen strømmer også utenom det utfreste sprekkesystemet, kan ha sammenheng med krymping av betongen under fremstillingsprosessen, der glassplatene ”slo seg” noe, slik at de nå muligens kverer noe fra hverandre. (Det er gjort tiltak for å rette på dette, men det er mulig at glassplatene fremdeles har noe avstand i enkelte partier. På den annen side er det dog heller ikke sikkert at glassplatene ville tettet helt mot hverandre, selv om betongen ikke hadde krympet.)

4.8 Inspeksjon av glassplater etter frakopling

Etter gjennomført injisering ble slanger koplet fra, og alt utstyr ble rengjort. Til sist ble også glassplatene koplet fra hverandre og løftet ut. Frakopling av glassplatene skjedde ca. 1,5 time etter at injiseringen var avsluttet.

Meningen var å se om det var tydelige spor på glasset etter hvor massen hadde gått, og om en kunne se at massen ikke greide å trenge inn i de grunneste og smaleste partiene av sprekkesystemet.

Resultatet viser at massen har passert over hele sprekkesystemet. Ut over dette var det vanskelig å tolke noe særskilt ut fra det vi da så. I samme øyeblikk som frakopling skjedde, rant massen nedover platene. Glassplatene etter frakopling er vist i bildene 3 og 4. Det er likevel mulig at bilde 3 indikerer det resultat som inspeksjon med skopkamera viste: at massen holdt seg til de utfreste sporene i øvre del av glassplatene.



Bilde 3 *Glassplate med utfrest mønster, etter forsøk 1B.*



Bilde 4 *Nærbilde av glassplate med mønster, etter forsøk 2B.*

4.8.1 Inspeksjon av glassplatene kontra arbeidsinnsats

Det var under forsøkene vanskelig å finne noen brukbare resultater ved å studere glassplatene etter frakopling. Injiseringssmassen i systemet rant nedover platene i samme øyeblikk som platene ble løsnet fra hverandre, selv etter 1,5 timer ”størknings”-tid.

En lengre størkningstid i systemet kan være problematisk. Hvor lenge skal massen stå? Dersom det står for lenge er det mulig at en ikke greier å få platene fra hverandre etterpå. Det er også mulig at en ikke greier å få platene rengjort etterpå, uten å skade sprekkesystemet / glasset. En slik lang tørketid vil også være vanskeligere rent praktisk med hensyn til ressursbruk og disponering av det utøvende personell.

Besiktigelsen av glassplatene etter frakopling under forsøkene den 29.05 gir grunnlag for å vurdere å utelate besiktigelse av glassplatene. Dersom en kan kutte ut dette momentet fra forsøkene, spares det atskillig tid, fordi rengjøringen av utstyret da kan gjøres atskillig mer rasjonelt. (En kan da ganske enkelt å kjøre vann gjennom det oppmonterte systemet etter at injiseringsprosessen er ferdig).

Dersom en rengjør sprekkesystemet uten å kople glassplatene fra hverandre, bør en imidlertid vite at det blir tilstrekkelig rengjort ved å kjøre vann gjennom systemet.

4.9 Annet

4.9.1 Vedrørende injiseringstrykk

Det virket som om det ikke var mulig å få høyere trykk enn det som er notert i tabell 1. I hvert fall fikk vi det ikke til under de rådende forhold, og med den begrensede tid som var til rådighet før de to 10 liters oppsamlingskannene var fulle.

Det var også vanskelig å oppnå likt trykk på de to A-forsøkene og de to B-forsøkene. Det ble kjørt med samme innstilling for flow for henholdsvis A-forsøkene og B-forsøkene. Dette ga da et ulikt injiseringstrykk.

Injiseringstrykket er trolig ikke helt stabilt under hele forsøket, uten det varierer nok noe underveis innen hvert enkelt forsøk.

4.9.2 Måling av temperatur i mixer

Måling av temperaturutvikling i sementblandingen under mixingen skjedde ved at et termoelement ble tapet fast på veggen i mixeren. Dette var imidlertid en risikable løsning. Når forsøkene var over, var tapen i ferd med å løsne. Dersom en hadde vært uheldig kunne tapebiter dermed kommet inn i kverna og pumpe. Dersom en ønsker å registrere temperaturutviklingen også under framtidige forsøk, bør en finne annen løsning (f.eks. sveise en festeanordning for termoelement fast inni mixeren?). Hvis ikke, må en greie seg uten denne parameteren.

4.9.3 Temperatur / trykk i pumpe

Under det høyeste turtallet, 2500 omdreininger, var det behov for større mengde kjølevann på pumpe. Ved 2500 omdreininger ble det registrert et oljetrykk på 120 bar.

4.9.4 Innspenningstrykk / omslutningstrykk

To glassplater (0,7m x 1,0m) er satt sammen, med en innspenning anslått til ca. 15 tonn i hvert av de fire hjørnene. Stramming av boltene gjøres med momentnøkkel, til nøkkelen viser 30 kg. Det er så langt ingenting som tyder på at injiseringstrykket presser platene fra hverandre. Dette må imidlertid vurderes i hvert enkelt forsøk, spesielt når injiseringstrykket i senere forsøk økes.

5 Behov for forbedringer / videre utvikling

5.1 Flowmeter

10 liters oppsamlingskanner representerer en lett håndterlig vekt / størrelse, hvor det også er mulig å lese av mengden etter hvert som massen stiger i kannene. De blir imidlertid for fort fulle, og forsøkene må dermed avsluttes. Det er dessuten vanskelig å gjøre nøyaktige registreringer underveis.

Svaret på problemet blir å montere flowmeter, dvs en enhet som registrerer l/min underveis i forsøkene, og som også gir total gjennomløpt mengde. Dermed kan massen kjøres rett ut i avgangsfatet. Dette gir også registrering av l/min pr min., slik at endringen underveis blir klarlagt. I forsøkene som er kjørt, kan en se en tendens til at gjennomstrømningen i sprekkesystemet på venstre side avtar like før forsøkene må avsluttes (figur 3). Ved å bruke flowmeter kan en kjøre all injiseringsmassen gjennom systemet, slik at en får se utviklingen over noe lengre tid, dvs om sprekkesystemet tettes stadig mer igjen.

5.1.1 Begrenset loggerkapasitet

Det må være minst to flowmeters, ett på venstre og ett på høyre side. I tillegg kan det være aktuelt å ha ett i innløpet, i den grad dette kan være en hjelp i reguleringen av pumpa. Det er imidlertid må være klar over er begrensningen som dagens PC-logger har mht inngående kanaler. Her er totalt 20 kanaler for registrering av resultater fra dioder og sensorer. Flowmeterne vil måtte ”spise” av denne kapasiteten. På sikt kan dette løses med å kjøpe en ny logger / utvide loggerens kapasitet.

5.2 Stabilisering / innstilling av injiseringstrykk

Flowmeter gir anledning til å utføre forsøkene over litt lengre tid. Dette gir samtidig mulighet for å arbeide mer med opparbeidningen av / kontrollen med injiseringstrykket. Under forsøkene den 29. mai, skulle de to A-forsøkene og de to B-forsøkene etter planen ha likt injiseringstrykk, noe en imidlertid ikke greide å oppnå.

5.3 Nye glassplater, inkludert endringer

Et moment som skaper en viss usikkerhet i forsøkene i dag, er at reell sprekke dybde ikke er nøyaktig kjent, fordi glassplatene trolig ikke ligger helt tett sammen over hele arealet. Dette har bakgrunn i at det skjedde en viss krymping av sementen ved innstøping av glassene. Dette innebærer et behov for å produsere nye glassplater inkludert ny innstøping.

Ny innstøping vil gjøres med noen forbedringer. Dette for å unngå at glassplatene skal ”slå seg”, men også for lettere å kunne utføre endringer i oppsettet. Slike endringer vil dreie seg f.eks. om forandringer av diode- og trykksensorplassering. Men det kan også være aktuelt å skulle bytte glass, og kunne sette inn glass med annet sprekke mønster / -dybde.

5.3.1 Vannforsøk

Nye glass / nytt sprekkesystem må kalibreres med vannforsøk. Det vil være en fordel om dette vannet kan gjøres noe mer tyktflytende, mht oppbygging av trykk i systemet. Samtidig er det gunstig om fortykningen kan gjøres med et stoff som kan sendes rett i avløpssystemet etterpå, slik at utløpet ikke må samles opp og behandles spesielt.

5.3.2 Redusere sprekkedybde / -bredde

Ved produksjon av nye glassplater, bør samtidig sprekkesystemets dybde (og bredde) reduseres noe. Selv om reell sprekkedybde ikke er sikker (fordi glassene trolig ikke er helt plane), tyder resultatene så langt på at massen går for lett gjennom systemet.

5.3.3 Sprekkenes ruhet

Sprekkenes ruhet har for øvrig betydning for hvordan massen trenger inn. Det kan være aktuelt å vurdere å lage en noe mer ru/ujevn sprekk ved produksjon av nye glass. Samtidig må en være oppmerksom på at diodenes lysstråler (infrarøde) skal greie å sende signaler gjennom, og at det skal være en registrerbar forskjell i signalet når injiseringsmassen passerer dioden. For å sikre dette, vil det være aktuelt å lage små testutgaver på forhånd.

5.3.4 Plassering av dioder

Alle dioder er i dag plassert i skjæringspunktene mellom kanalene (i ”vegkryss”). Ved en ny produksjon av glassplater, må man ha et bevisst forhold til utplassering av dioder mht sprekkedybde. Diodene bør kanskje ikke bare plasseres i sprekkrekryss, men også midt i mellom to kryss, f.eks. i de tynneste kanalstrekkenes.

5.3.5 Injiseringsstart – når kran i bakkant stenges

Injiseringmassen gikk til dels gjennom sprekkesystemet *før* kranen på baksida ble stengt for å starte injiseringen. Dette skjedde med oppsettet slik det er i dag. I dag er bl.a. utløpslange i bakkanten høyt hevet, for å unngå at grunnvannspeilet skal synke. Med det sprekkesystemet som er nå, startet altså injiseringen før det egentlig var tilsiktet. Med et trangere sprekkesystem er det mulig at så ikke skjer. Da vil forhåpentligvis ”minste motstands vei” være gjennomløpet bak.

5.4 Logge ”berg”-temperatur

To termoelementer er montert på glassene (ett på hvert glass), og to er støpt inn i betongen mot glassene. I dag kontrolleres denne ”berg”-temperaturen manuelt før forsøkene starter. Temperaturen kan også registreres av en temperaturlogger, dersom dette er ønskelig. (Det er for øvrig lite sannsynlig at det registreres noen *temperaturendring* i ”berget” under injisering.)

5.5 Prøvetaking av masse

Dersom en ønsker å prøveta massen for å finne Marshcon-tid og densitet *før* injisering, kan dette gjøres i innløpsstrømmen inn til omrøreren, dvs før massen går gjennom pumpa.

5.6 Kontroll med tid

A-forsøkene er utført umiddelbart etter at mixingen var avsluttet og massen overført til omrøreren. Også tidsintervallet fra avsluttet mixing (eventuelt fra avsluttet A-forsøk) til B-forsøkene blir utført, bør bestemmes på forhånd og gjennomføres likt.

Ressurskrevende forsøk

Forsøkene krever planlegging, forberedelser, etterarbeid og bearbeiding av resultatene, i tillegg til selve utføringen av forsøkene. Totalt sett er det forsøkene meget ressurskrevende. Hvert forsøk tar atskillig tid, og det kreves at mange personer er i aktivitet. Hittil har det vært behov for fire

personer i intensivt arbeid hele tiden. Foreløpig er det behov for det. På sikt kan en i beste fall kanskje redusere til tre personer.

En kan vurdere om det senere er aktuelt å redusere antallet parametere som skal registreres og bearbeides. Alle forhold som kan redusere kostnadene uten at det går på bekostning av resultatene er gunstig.

6 Konklusjon

Forsøkene viser at massen går for lett gjennom sprekkesystemet. Samtidig er varigheten av hvert enkelt forsøk for kort. Det gir blant annet for liten tid til å stille inn pumpetrykket. Behovet for videre utvikling mht utstyr innebærer således fremfor alt to primære punkter:

- Etablering av flowmetere i avløpsrør etter sprekkesystemet
- Nye glass med trangere sprekke mønster (og større ruhet?)

Resultatene fra de kjørte forsøkene kan tyde på at metoden, som ønsket, skiller på massene. I dette tilfellet består ulikheten i en forbehandling av massene med ulikt turtall under mixingen. I forsøk 2A fløt massen lettere gjennom systemet enn i 1A. Det betyr at massen med hurtigst mixing fløt lettest. Det var samtidig et noe høyere injiseringstrykk for denne massen. I forsøk 2B var imidlertid resultatet motsatt: høyest mixerturtall ga lavere gjennomstrømning til tross for at injiseringstrykket også her var noe høyere enn for 1B.

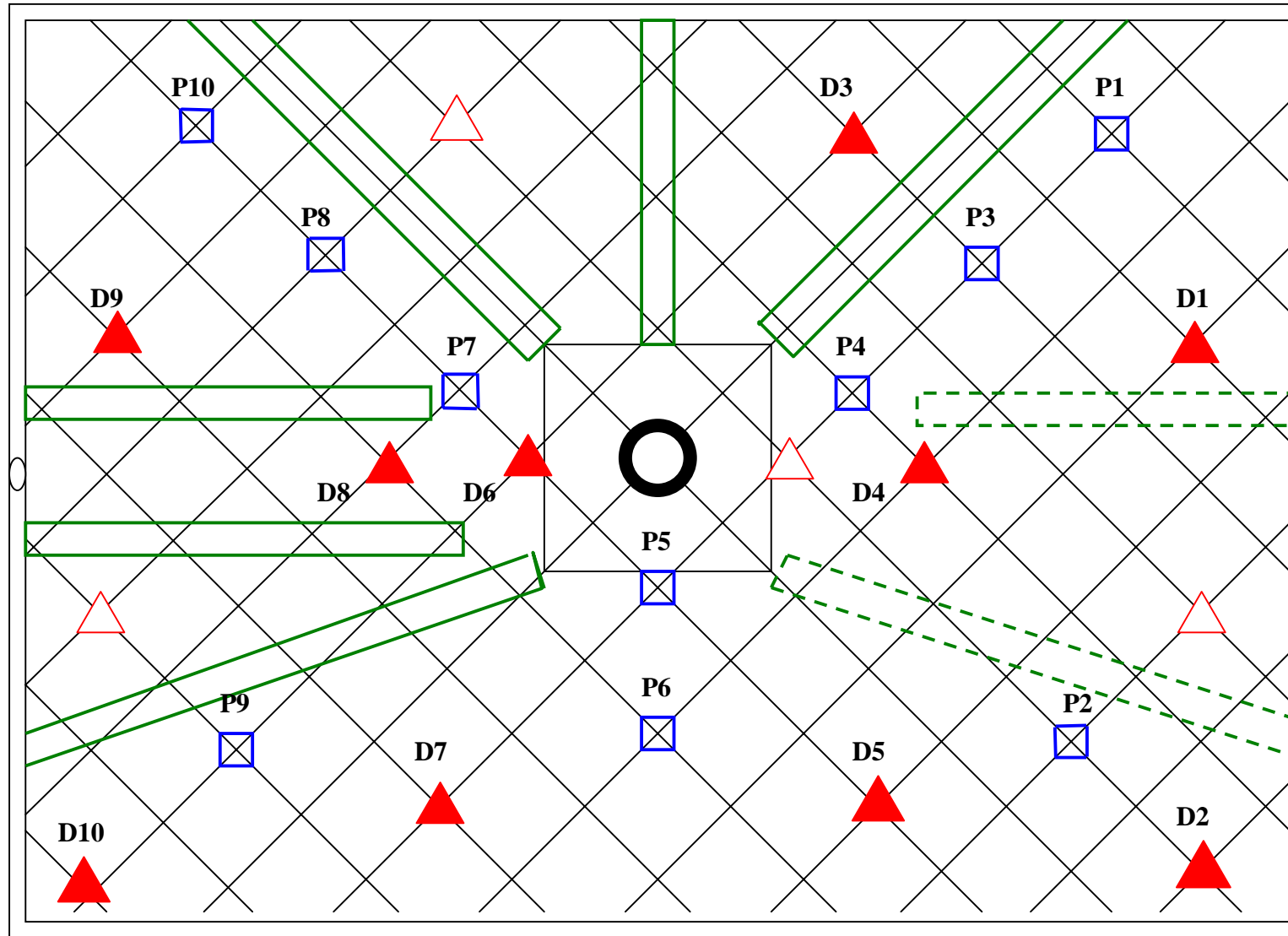
Dette kan bety at høyere mixerturtall ga en blanding som i første omgang fløt lettere, men at den tyknet atskillig fortere. En betingelse som ikke ble kontrollert under disse forsøkene var imidlertid tiden før B-forsøkene ble gjennomført, dvs det ble ikke fullt med at tiden i omrøreren var den samme før 1B- og 2B-injiseringen.

Dette er svært ressurskrevende forsøk, og det er derfor vanskelig å gjenta dem flere ganger for å kontrollere om resultatene er reproducerbare. Med kun ett forsøk har man egentlig ikke et godt nok grunnlag for å trekke konklusjoner.

Det kan vurderes å kutte ut frakoplingen av glassplatene mellom forsøkene for inspeksjon. Frakoplingen innebærer atskillig ekstra arbeid, samtidig som det synes å tilføre lite opplysninger. Med nye glassplater må imidlertid dette vurderes på nytt.

Instrumentplassering M≈1:500 Sementside, instrumentert seksjon

Vedlegg 1



□ trykksensor

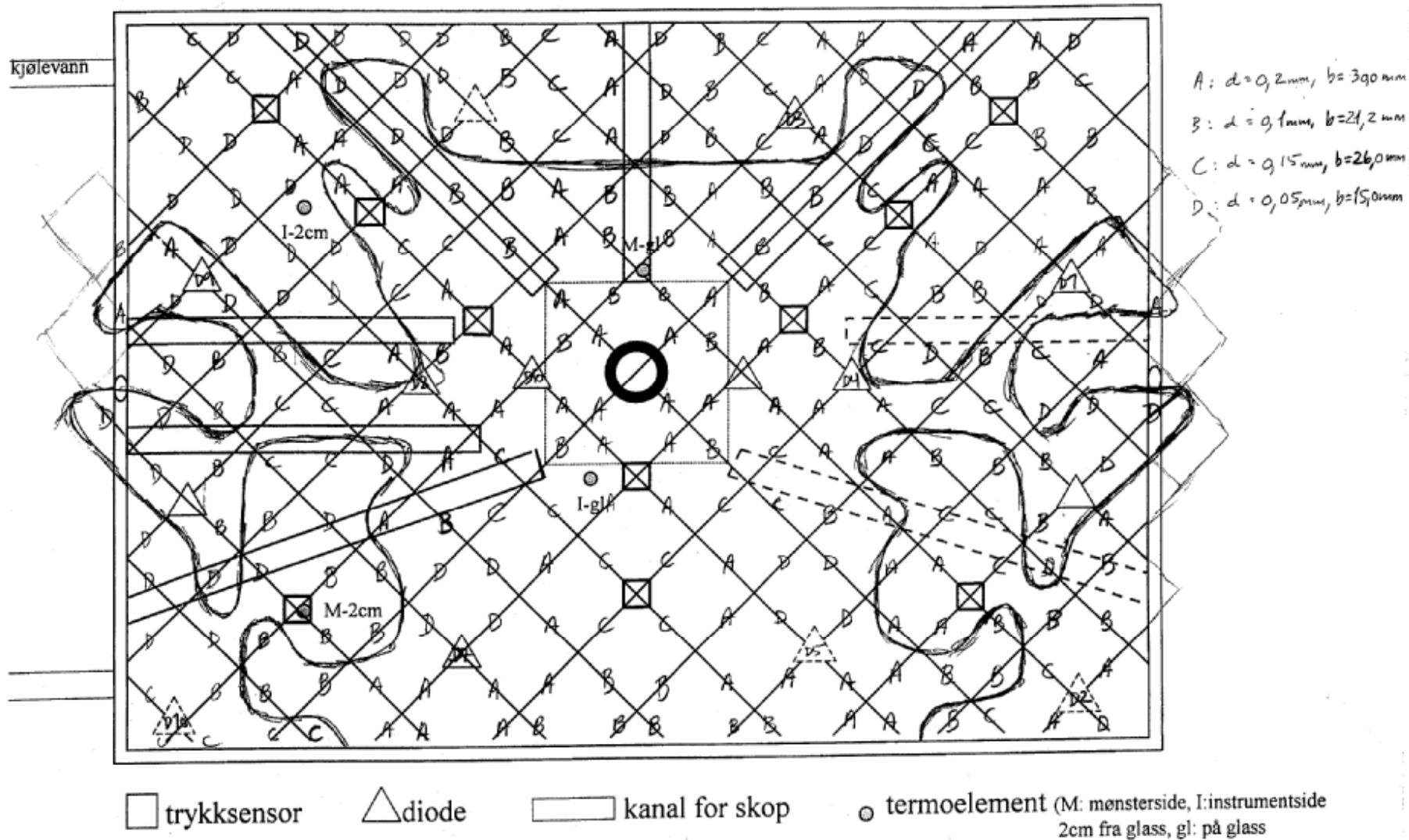
△ diode

▲ aktiv diode

▭ kanal for skop

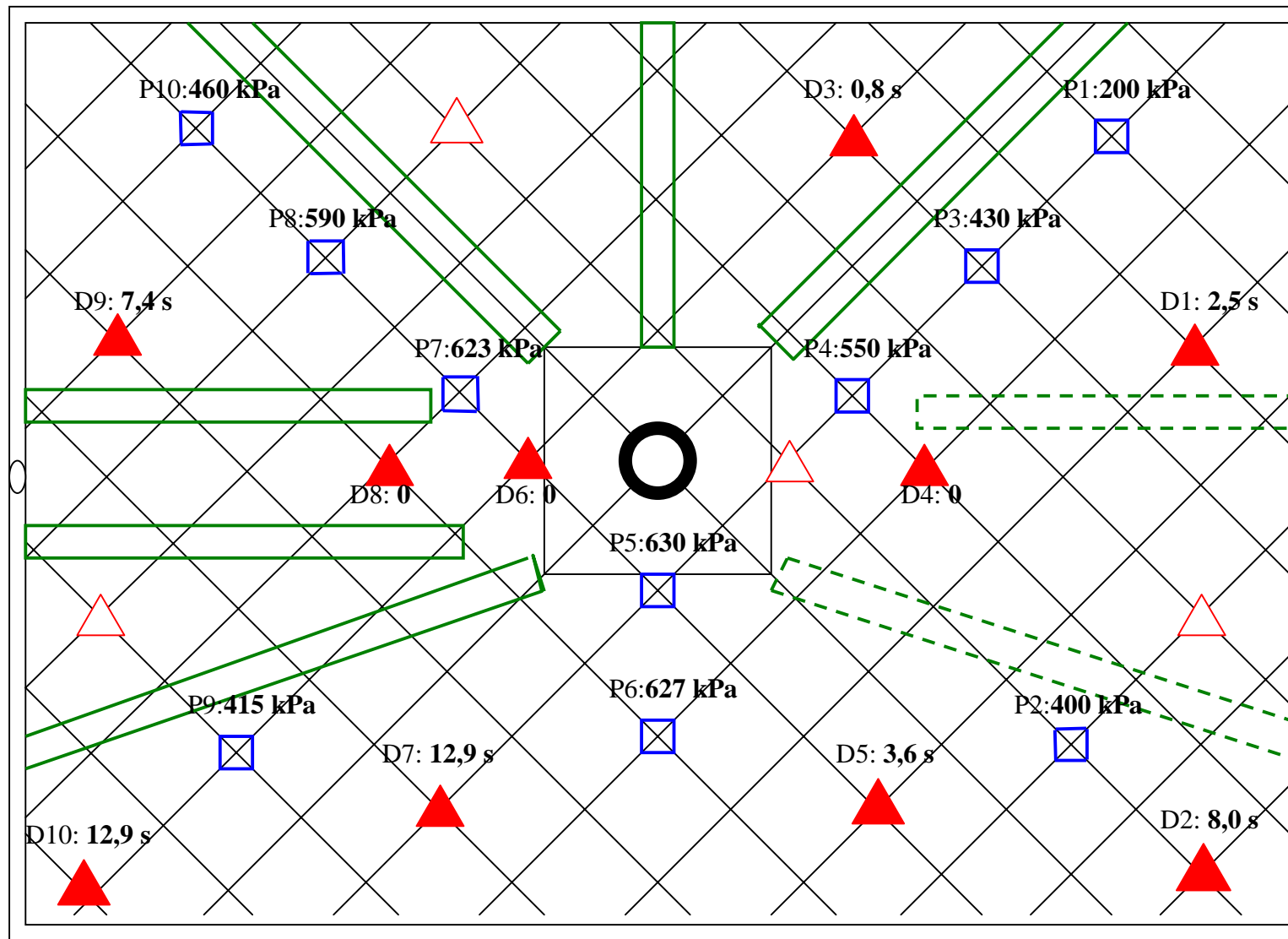
DYBDE OG BREDE SPREKKEMØNSTER

Vedlegg 2



Forsøk 1A; Resultater lysdioder (Δt i sekunder fra første diode slukker) og trykksensorer (kPa)

Vedlegg 3



- trykksensor
- diode
- aktiv diode
- kanal for skip