

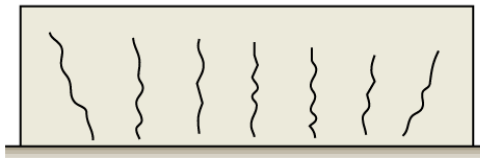
Rapport nr. 9

Praktiske råd og tiltak mot fastholdingsriss i herdende betongkonstruksjoner

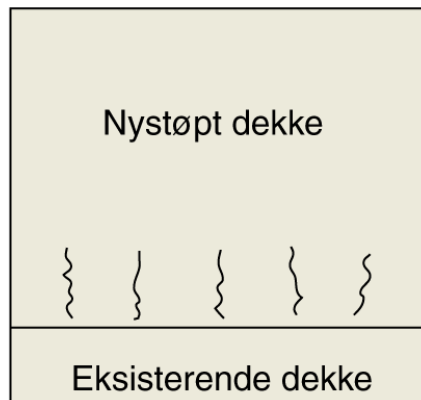
RISS

«Ytre» fastholding

Opprissing på grunn av stor temperaturdifferanse mellom gammel og fersk betong

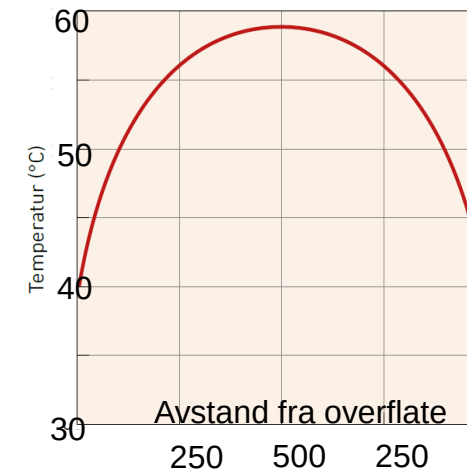


Kaldt fundament



«indre» fastholding

Stor temperaturforskjell mellom Ytterkant og senter



Rapporten diskuterer ulike tiltak for å redusere faren for gjennomgående fastholdingsriss i betongens herdefase på grunn av ytre fastholding fra tilstøtende konstruksjonsdeler.



NS-EN 13670, pkt 8 Støping

8.5 Beskyttelses- og herdingstiltak (forts.)

(13) Med mindre annet er angitt, **skal ikke betongens maksimumstemperatur** i en komponent som utsettes for våt eller syklisk våt eksponering, **overskride 70 °C**, med mindre det fremlegges dokumentasjon som viser at høyere temperaturer ikke vil ha noen vesentlig negativ innflytelse på betongens langtidsegenskaper for den aktuelle betongsammensetningen.

MERKNAD Hvis betongen utsettes for **høy temperatur over en viss periode i en tidlig fase**, kan det oppstå **forsinket ettringitt-dannelse**, avhengig av fuktigheten og betongsammensetningen (alkalieinnhold, kjemisk sammensetning av sementen, bruk av tilsetningsmaterialer osv.).

(14) Krav relatert til akselerert herding ved bruk av utvendig eller innvendig varme er ikke gitt i denne standarden.

(15) Det må tas hensyn til et mulig tap av fasthet der herding skjer ved høy temperatur.

(16) **Produksjonsunderlaget kan angi krav for å redusere muligheten for termisk opprissing i tidlig fase (for eksempel bruk av lavvarmebetong, kjølerør, isolasjon osv.).**

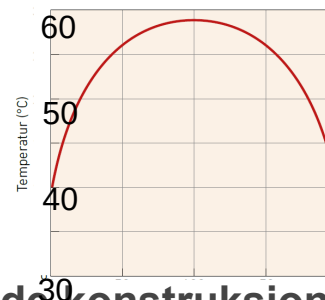
SVV Prosesskode 2

84.5 Spesielle herdetiltak

84.55 Beregning og styring av herdetemperatur

Herdeforløpet skal kontrolleres og styres for å begrense fastholdt temperaturkontraksjon etter følgende kriterier

- **over tverrsnittet:** Temperaturdifferanse maksimum 20 °C
- **mellom konstruksjonsdeler:** Ved fastholdingslengde mot tilstøtende konstruksjon ≥ 5 meter skal differansen mellom gjennomsnittstemperaturen i konstruksjonsdelen og konstruksjonsdelen denne er fastholdt til ikke på noe tidspunkt overstige 15 °C.

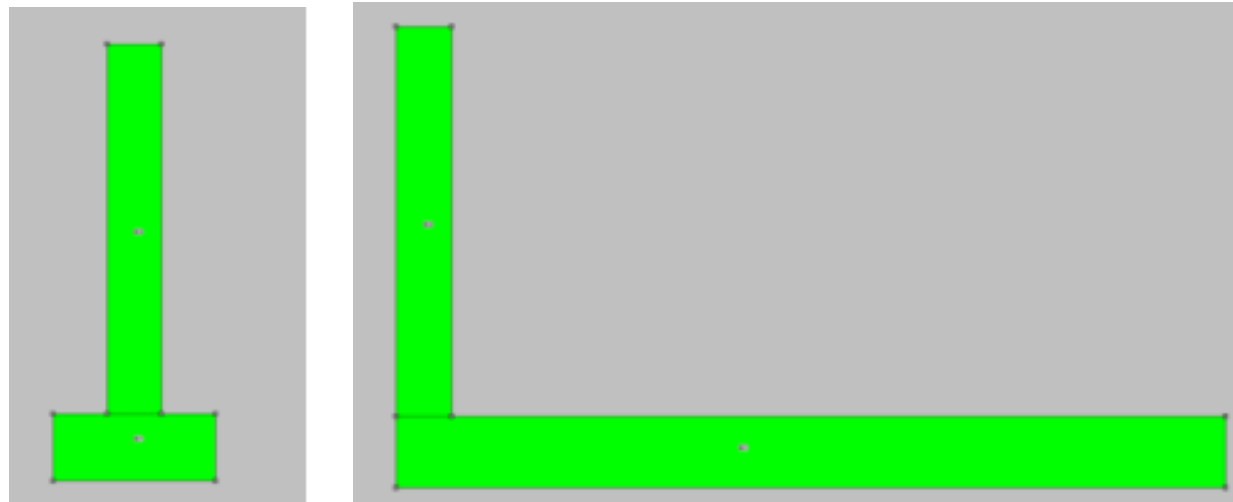


Beregningseksempler

Beregningene er utført ved 2-dimensjonalt program CrackTestCoin.

- Konstruksjonstyper

- a) Stor vegg på stripefundament
- b) Liten vegg på stripefundament
- c) Stor vegg på bunnplate
- d) Liten vegg på bunnplate

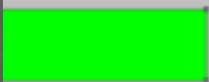
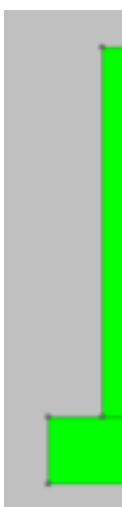


Konstruksjon		Dimensjoner			
		Høyde vegg	Tykkelse vegg	Bredde fundament	Tykkelse fundament
Vegg på stripefundament	a	5500	800	2400	1000
	b	5500	400	2000	800
Vegg på bunnplate	c	5500	800	12000	1000
	d	5500	400	12000	800

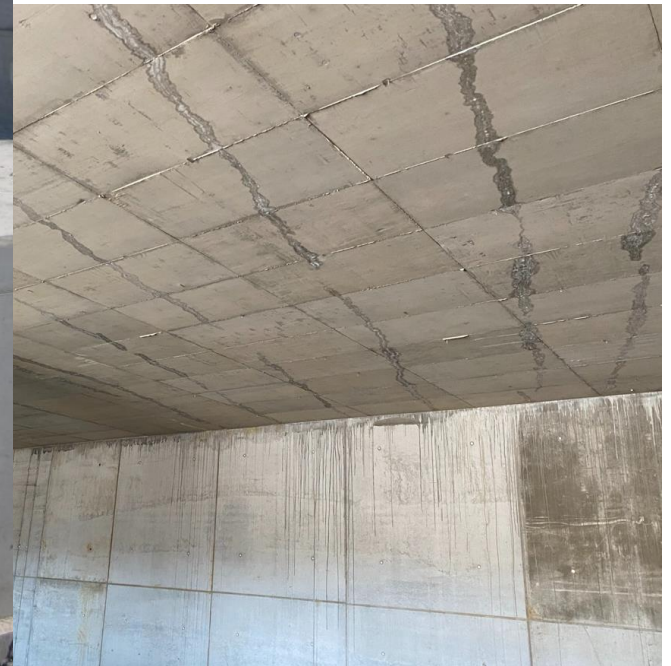
Beregningseksempler

Beregningene er utført ved 2-dimensjonalt program CrackTestCoin.

- K
- a
- b
- c
- d



Kons						
				yd		
				gg		
Vege				00		
				00		
Vege				00		
	d		5500	400	12000	800



Analyse i CrackTestCoin

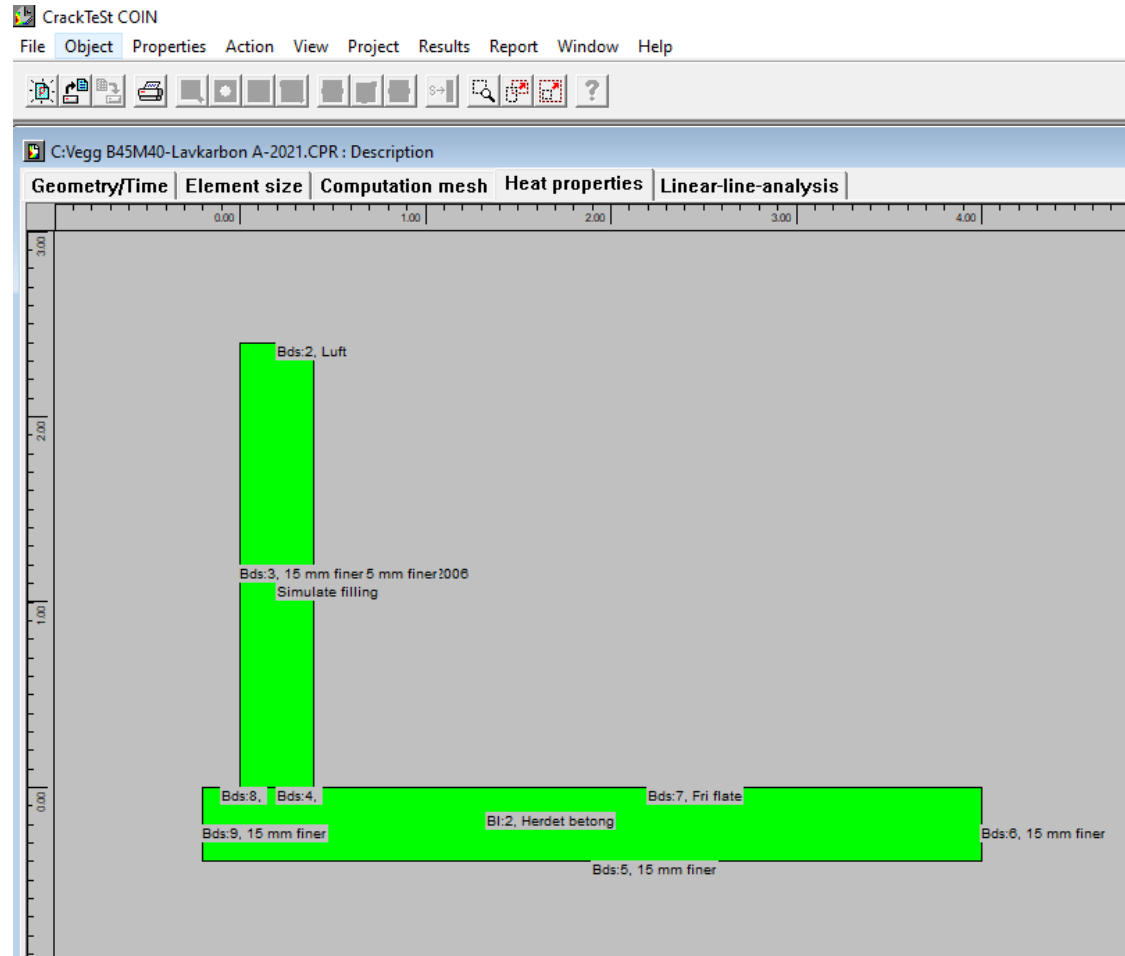
Analysen i CrackTest COIN gir mulighet til å hente ut fullstendige forløp av temperatur, spenning og rissindeks i ethvert punkt i geometrimodellen. Vi har hentet ut:

- maksimaltemperatur i vegg
- maksimal forskjell i gjennomsnittstemperatur for vegg og fundament /bunnplate
- maksimal rissindeks i vegg

Referansebetong B45M40

- Totalt bindemiddel: 380 kg/m³
 - Norcem Anlegg: 18 % flyveaske
 - Silika: 5 %
- Temperatur fersk betong: 20 oC

CrackTestCoin



Choose block type

☒ Simulate filling process

OK

Cancel

B30M60 Miljø
Herdet betong
B35M45
NoName
Sørenga lavvarme 2006

Add new... Add based on selection...

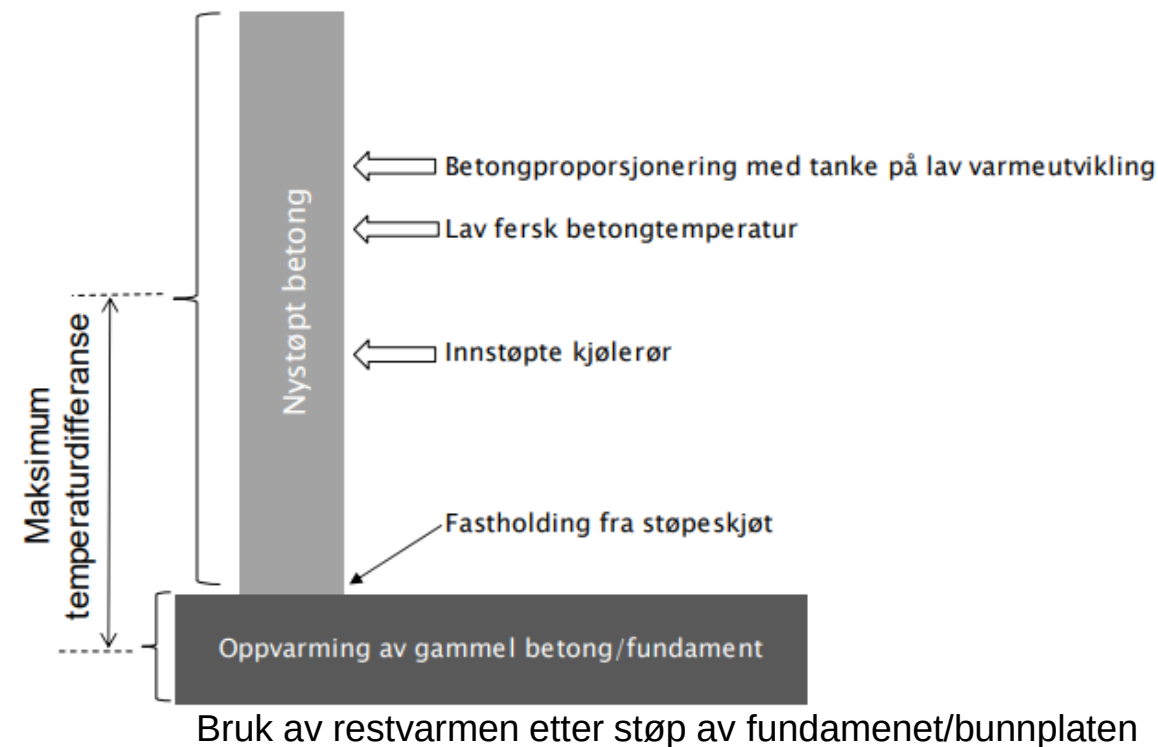
Edit selected... Delete selected

Analyse i CrackTestCoin

Prosjekt: Veileder lavvarme NS 3420					Side 00-1
Kapittel: 00 Funksjonsbeskrivelse					
Postnr	NS-kode/Firmakode/Spesifikasjon	Enh.	Mengde	Pris	Sum
00	Funksjonsbeskrivelse				
00.1.1	LG8.4241A UTFØRELSE AV SPENNINGSANALYSE Rundsum Lokalisering: Vegg Andre krav:	RS			-----
	a) Omfang og prisgrunnlag I god tid før utførelsen, skal entreprenøren framlegge beregninger og dokumentasjon på risikoen for gjennomgående riss i konstruksjonen. Dokumentasjon skal inneholde datagrunnlaget for analysen, som omfatter materialenes termiske egenskaper og betongens utvikling av varme, fasthet og stivhet over tid. Data kan hentes fra arkivdata fra tilsvarende betongkvalitet eller gjennom egen prøving. Se post 1.2.				
	c) Utførelse Maksimal utnyttelse av betongens strekkfasthet er 75% (rissindeks $\leq 0,75$). Dersom rissindeksen er større enn 0,75, skal entreprenøren iverksette nødvendige tiltak for å redusere risikoen for riss.				
	e) Prøving og kontroll Beregningene skal under utførelse verifiseres og eventuelt justeres ved logging av temperatur i betongkonstruksjonen.				
00.1.2	Dokumentasjonsprøving Nødvendig dokumentasjonsprøving utført som utgangspunkt for analysen i post 1.1.	RS			-----

Tiltak for å redusere fastholdsspenninger vegg på fundament

- Naturlig kald betong
 - Ned mot 10 oC på vinter
 - «billig»
 - Ingen mulighet sommer
- Lavvarmebetong
 - CO2-vennlig
 - Tidligfasthet?
 - Kostnad: 50 – 200,- kr/m³
- Knust is som blandevann eller erstatte vann med is
 - Krever mye planlegging men gjennomførbart
 - Kostnader fra store prosjekt > 400,- kr/m³
- Varmekabler i fundament
 - Engangsbruk av kabler
 - Kostnader: 200-400,- kr/m³.
- Kjølerør
 - Ressurskrevende
 - Kostnader, fra 300,- og ofte 1000,- kr/m³



Valgte tiltak for simulering:

- Naturlig kald betong

- Senket temp. på fersk betong fra 20 til 15 oC
- Ikke simulert med is

- Lavvarmebetong

- Referansebetong: B45M40, Anlegg FA (18 % FA), silika 5 %, tot. Bindemiddel 380 kg/m³.
- Lavvarmebetong: B45M40, Anlegg FA+FA, tot. 32 % FA, silika 5 %, tot. Bindemiddel 380 kg/m³

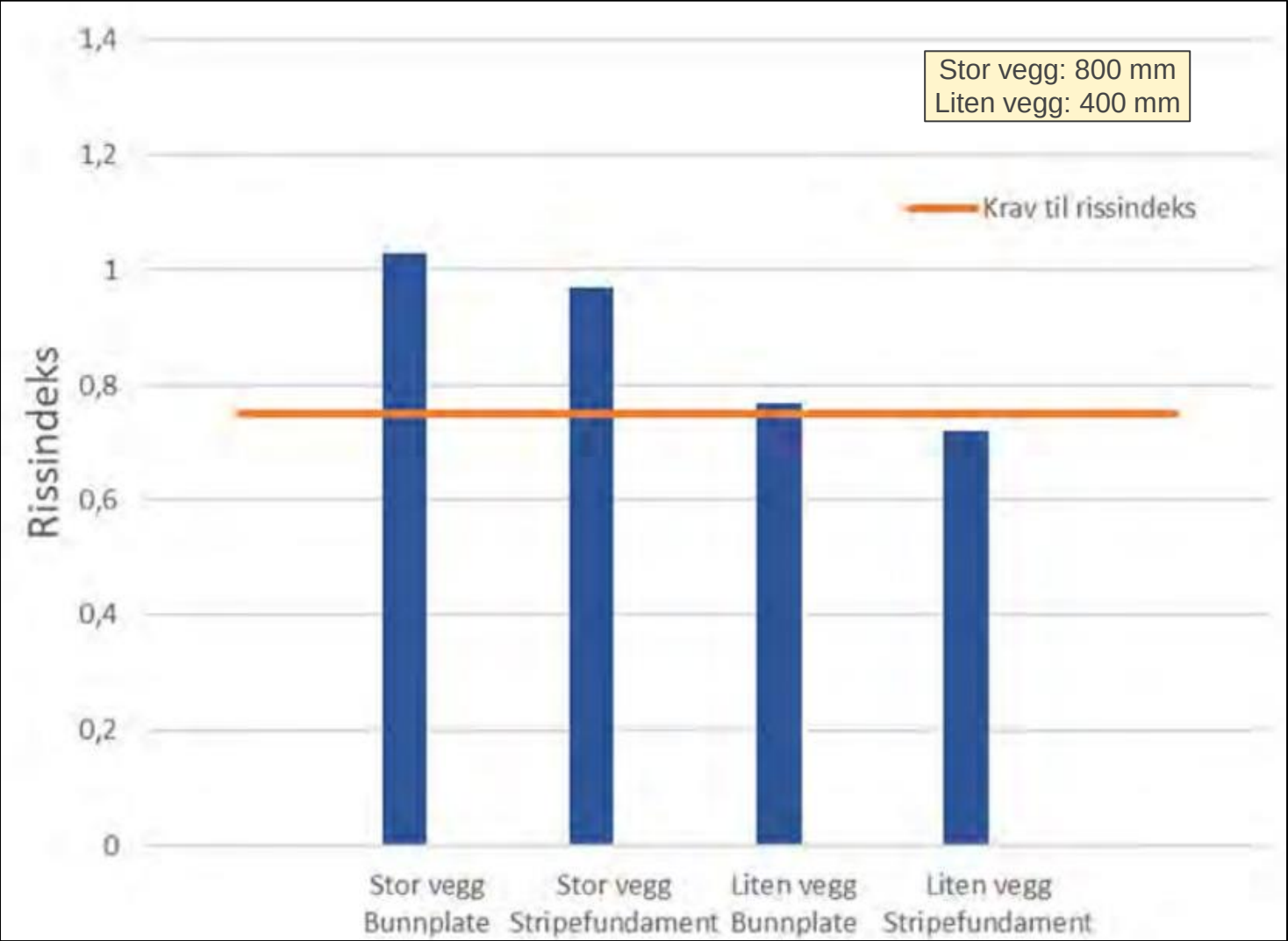
- Varmekabler i fundament

- c/c 400 mm, effekt 40 W/m.
- Effekt 4 dager før støp og ett etter støp.
- Plassering: a) hele platen, b) fra vegg og c) 4 m, fra vegg og 2 m.

- Kjølerør

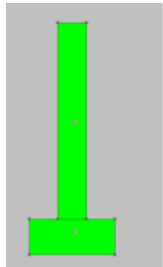
- 30 mm stålrør horisontalt og sentrisk i vegg med c/c 500 mm.
- Vanntemp. 7 oC. Avsluttes etter 3 døgn.
- Brukt ved sommerforhold og med lavvarmebetong.

Maksimale beregnede rissindekser

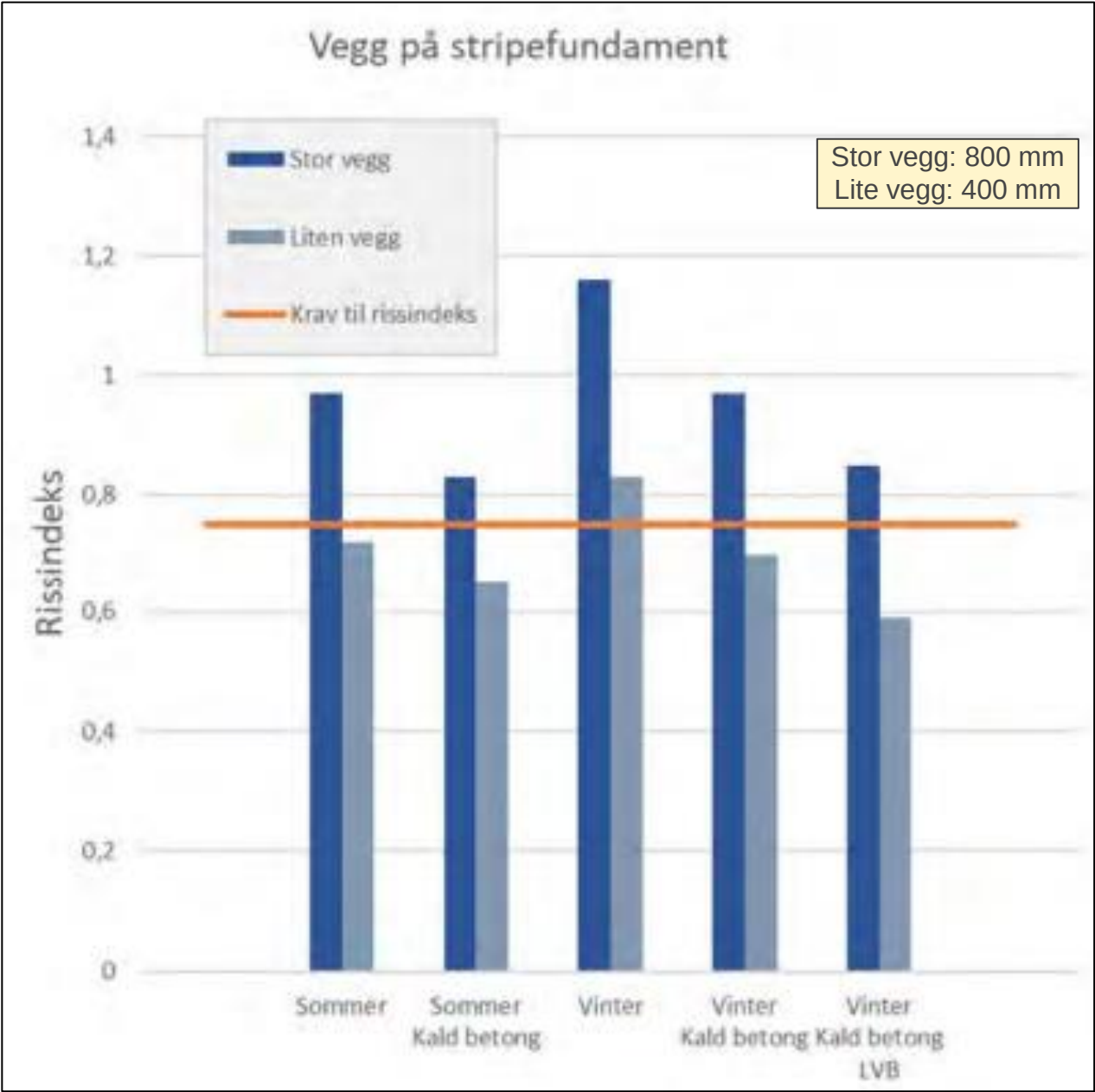


Rissindeks 0,75:
- 25 % sikkerhet mot opprissing

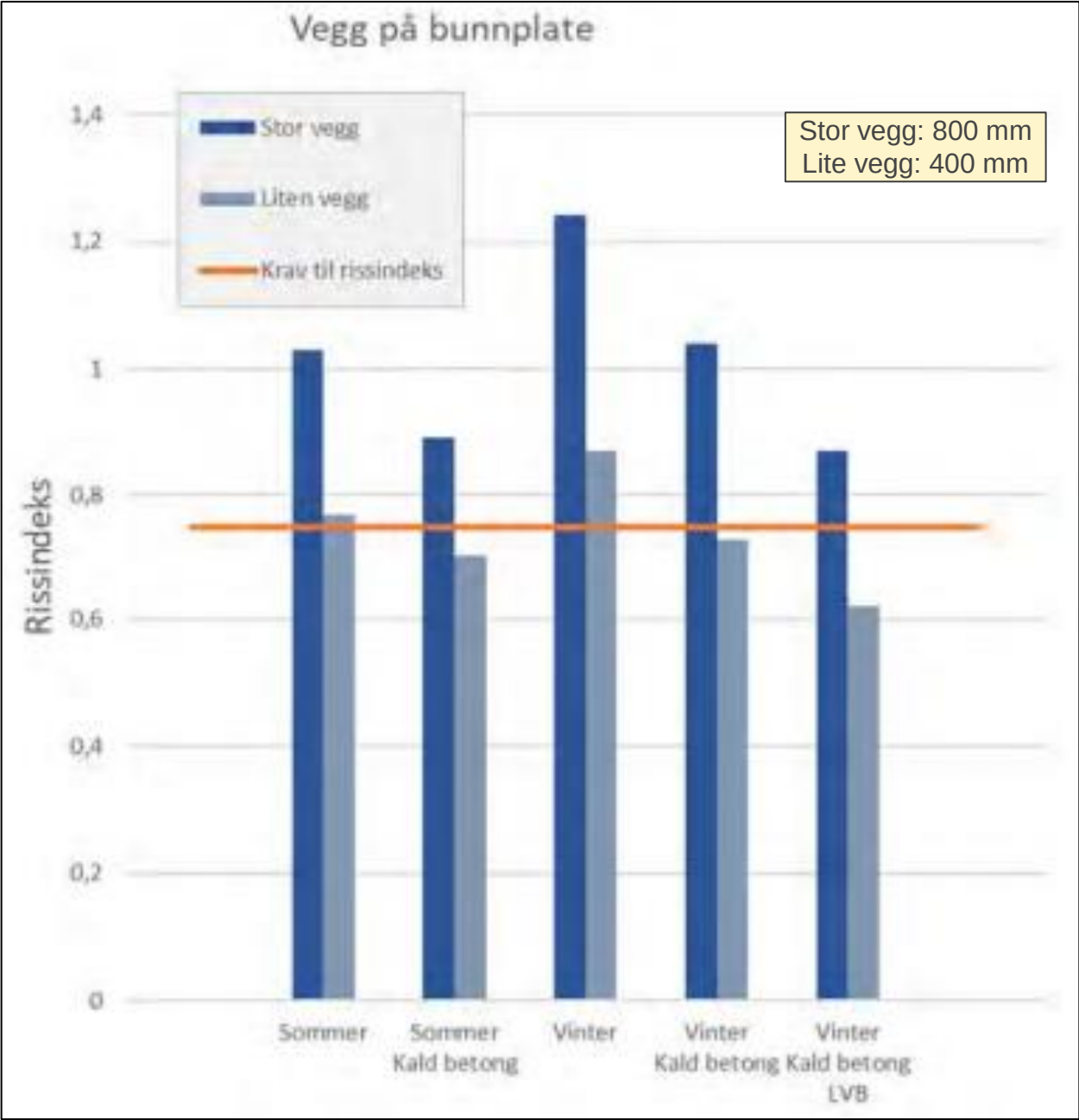
Effekt av senking av temp. fersk betong fra 20 til 15 oC for vegg på stripefundament



Sommer: 15 oC
Vinter: 0 oC

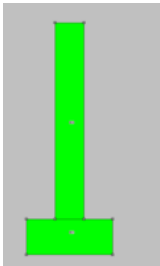


Effekt av senking
av temp. fersk
betong fra 20 til 15
oC på beregnet
rissindeks for vegg
på bunnplate

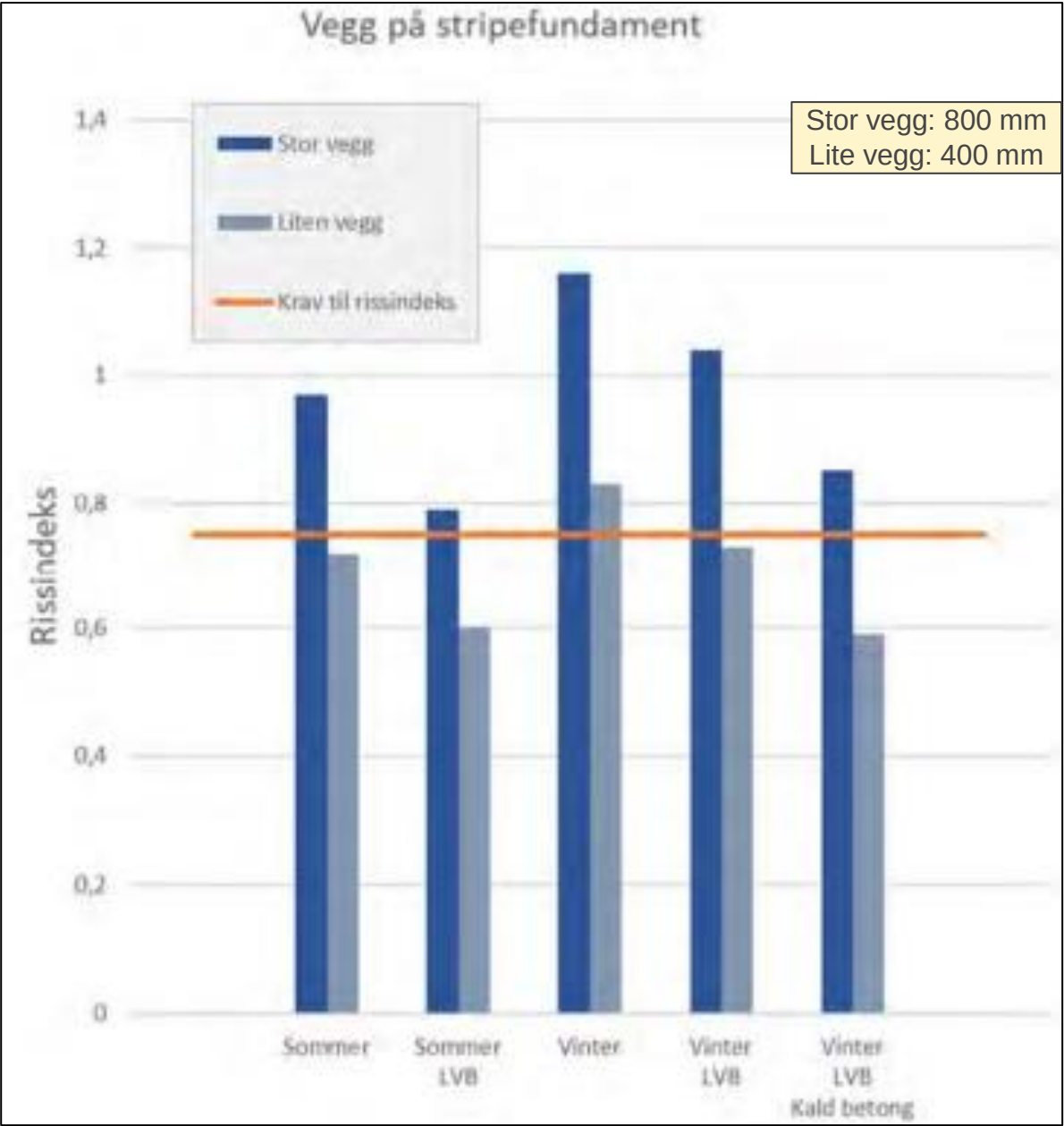


Effekt av lavvarmebetong på beregnet rissindeks ved vegg på stripefundament

Bindemiddelkombinasjon		
Delmaterialer	Kg	Kg
Anlegg FA	361	308
SILIKA	19	19
FLYVEASKE	0	53

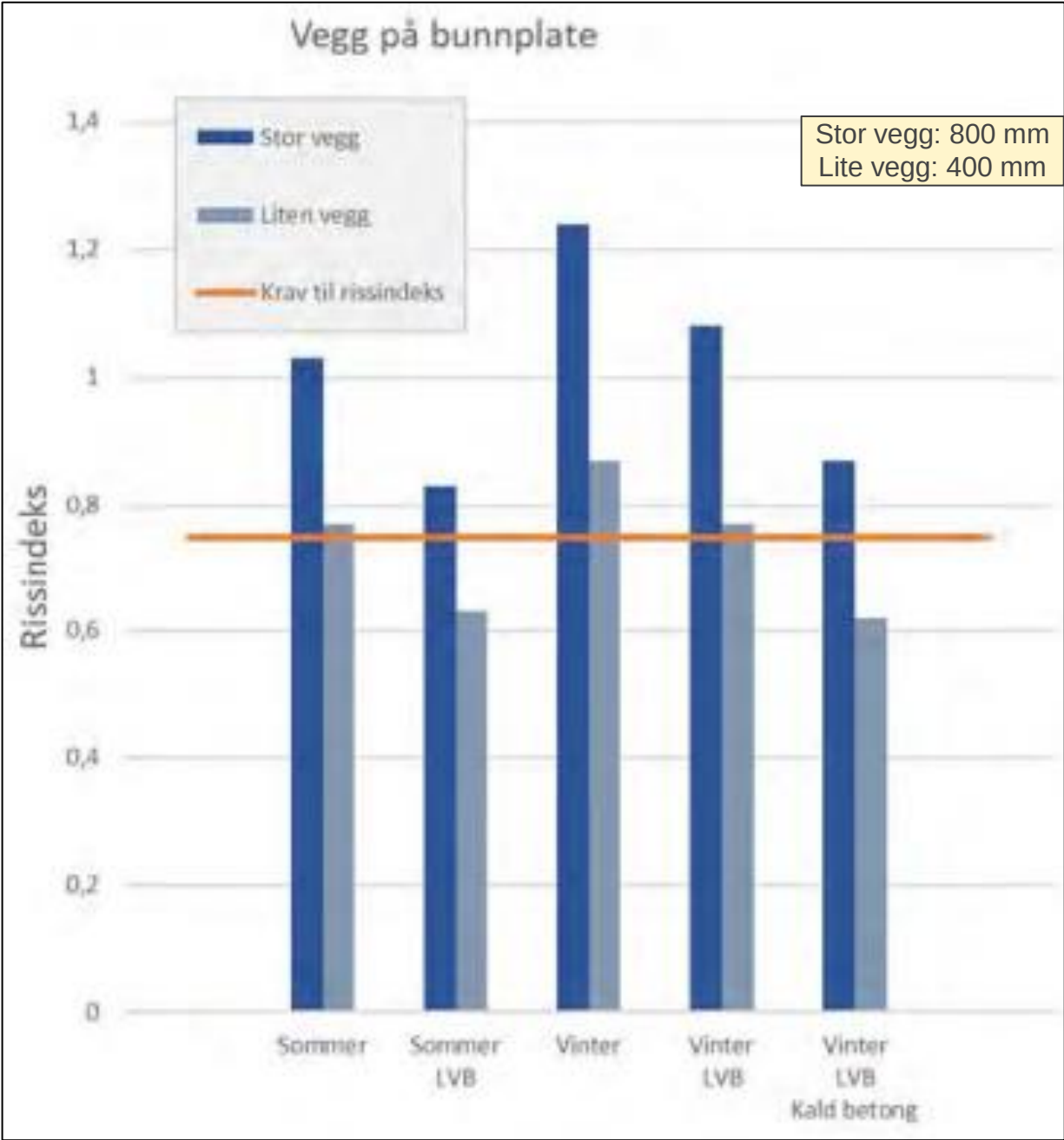
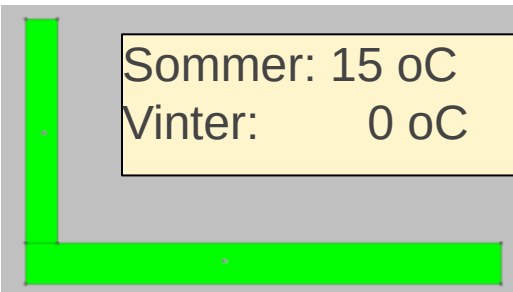


Sommer: 15 oC
 Vinter: 0 oC

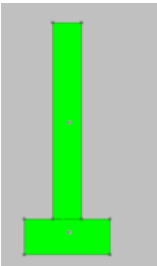


Effekt av lavvarmebetong på beregnet rissindeks for vegg på bunnplate

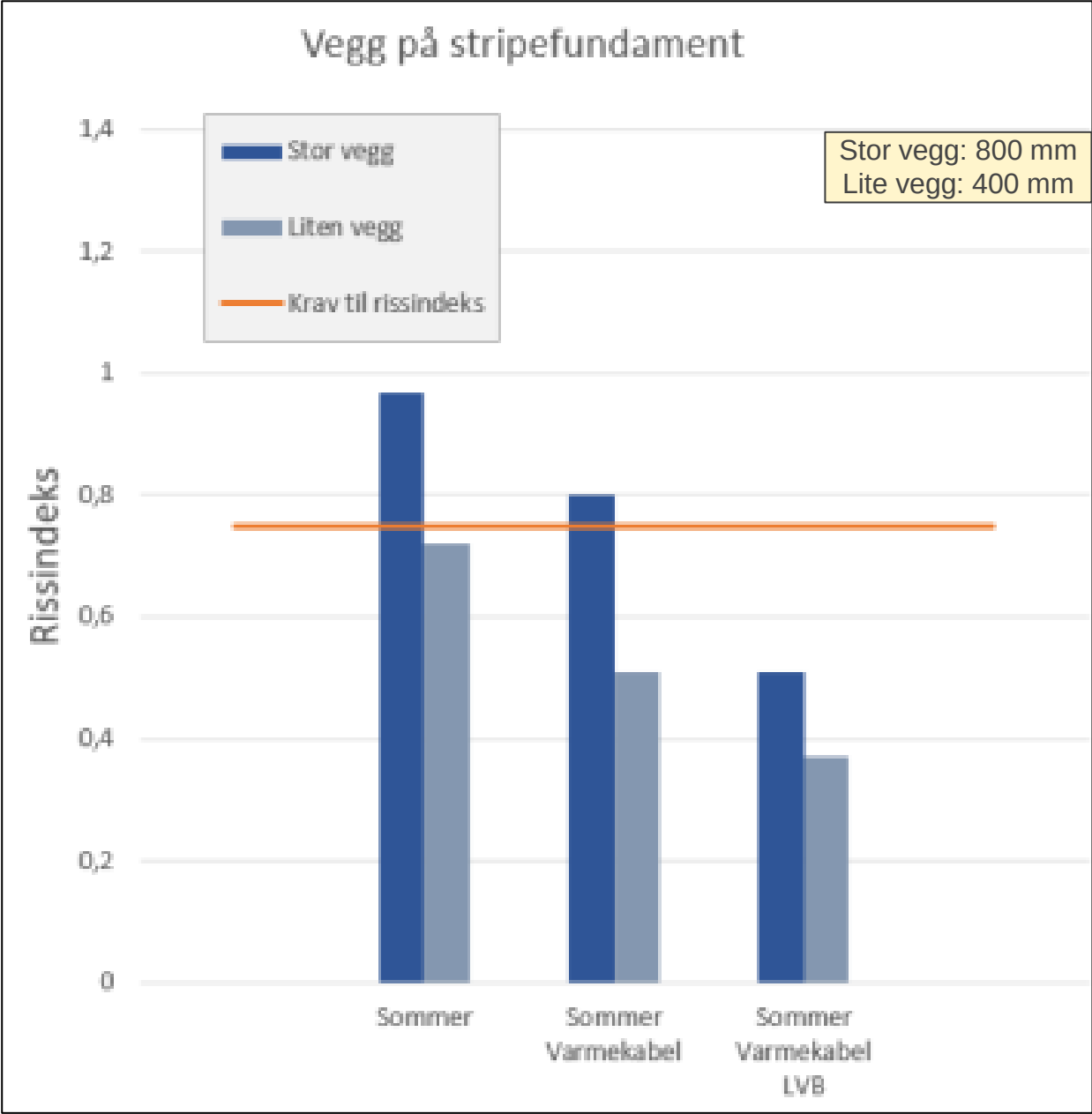
Bindemiddelkombinasjon		
Delmaterialer	Kg	Kg
Anlegg FA	361	308
SILIKA	19	19
FLYVEASKE	0	53



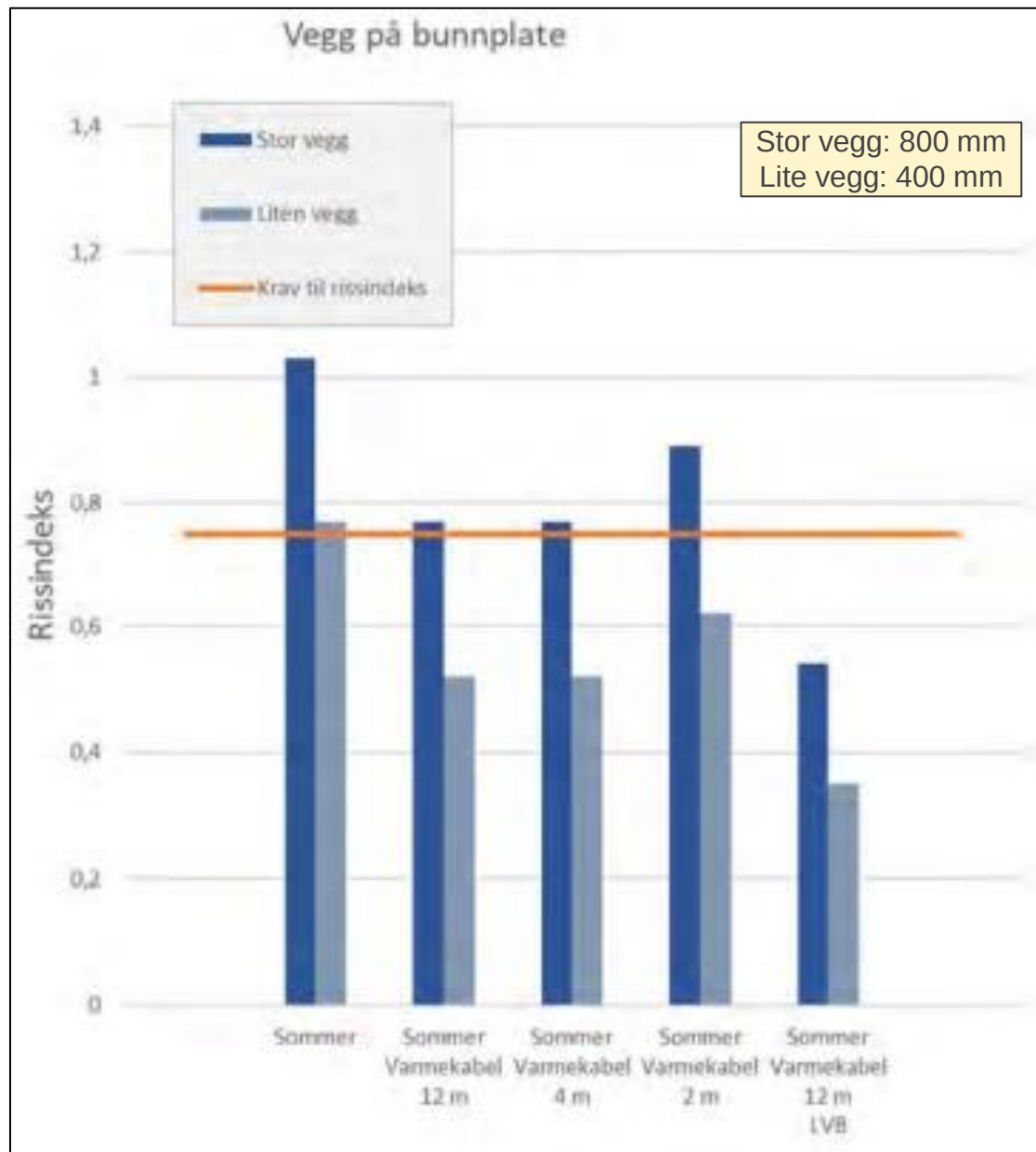
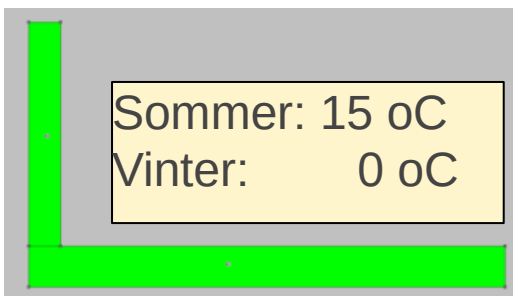
Effekt på beregnet rissindeks ved bruk av varmekabler på stripefundament



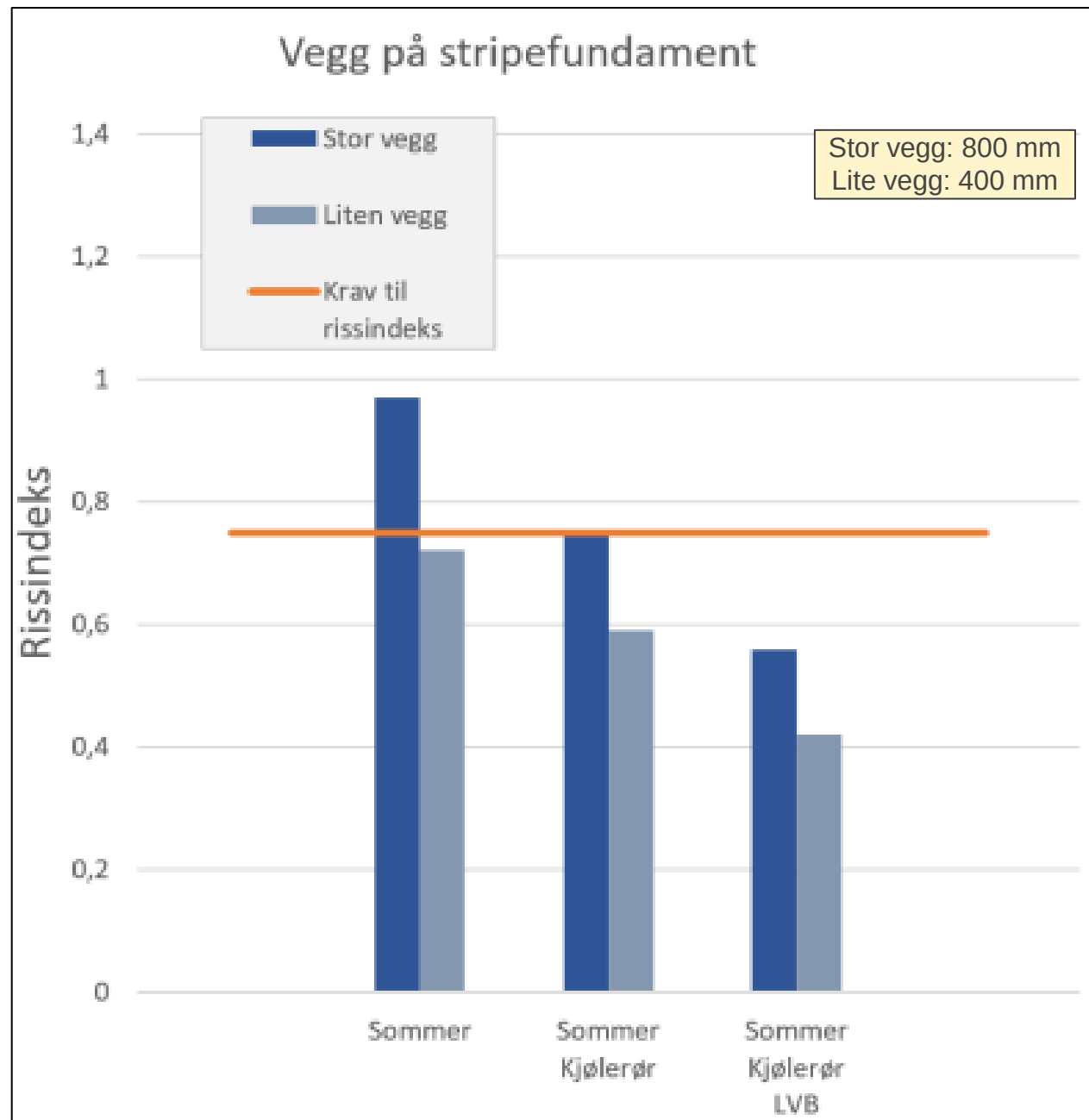
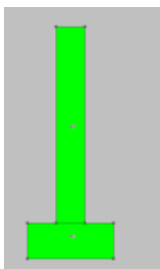
Sommer: 15 oC
 Vinter: 0 oC



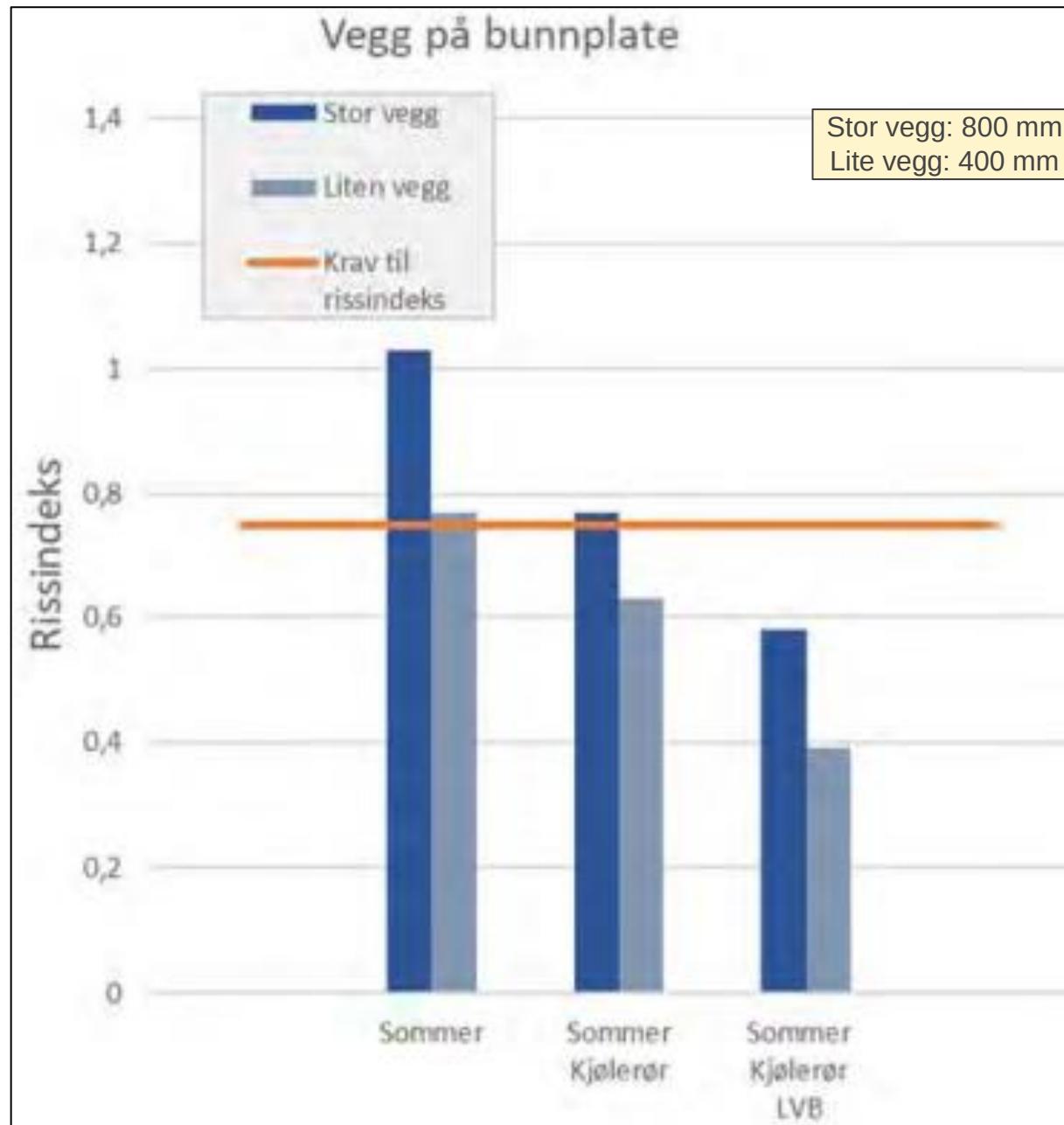
Effekt av varmekabler på beregnet rissindeks for vegg på bunnplate



Effekt av kjølerør på beregnet rissindeks for vegg på stripefundament



Effekt av kjølerør på beregnet rissindeks for vegg på bunnplate



Montering av varmekabler



Nederste lag



Øverste lag

Kjølerør



Fundament

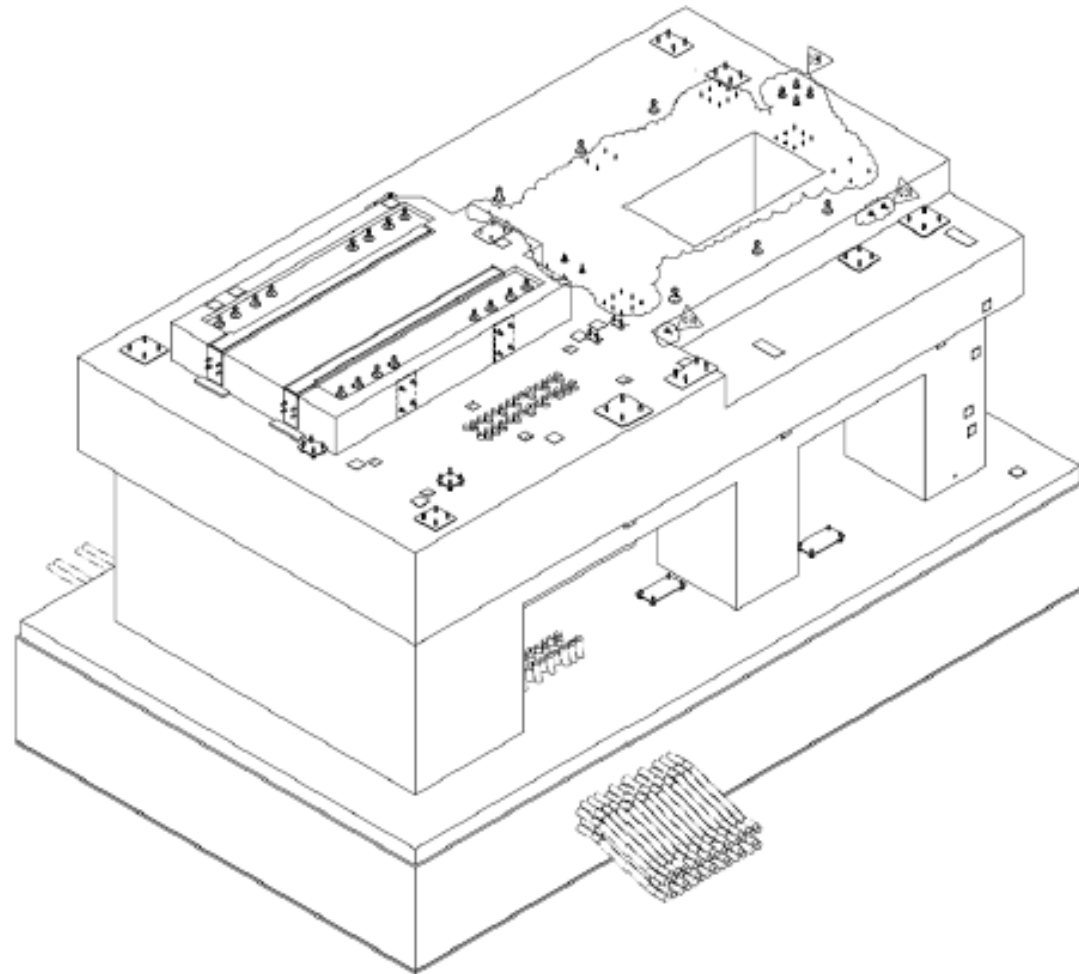
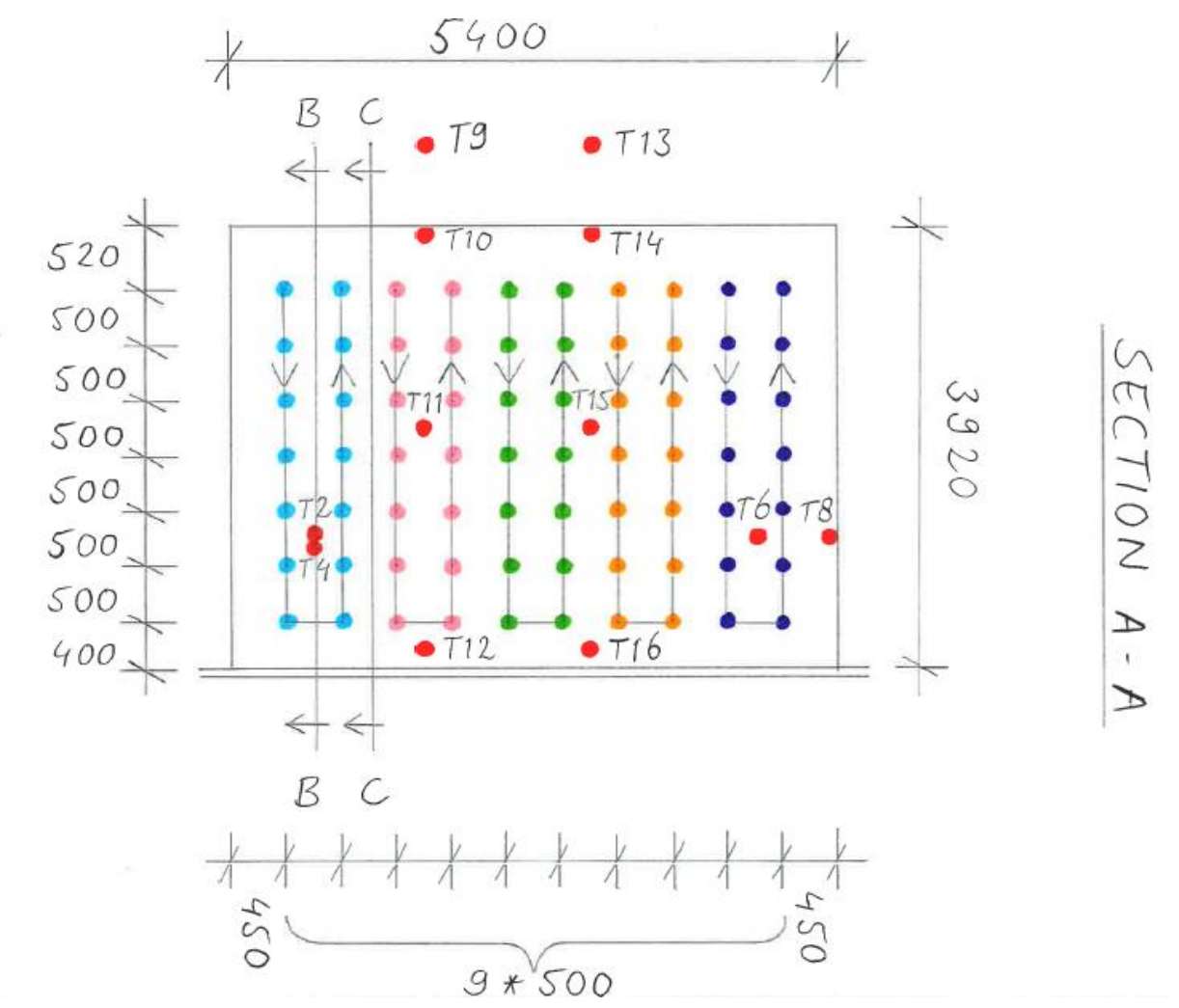
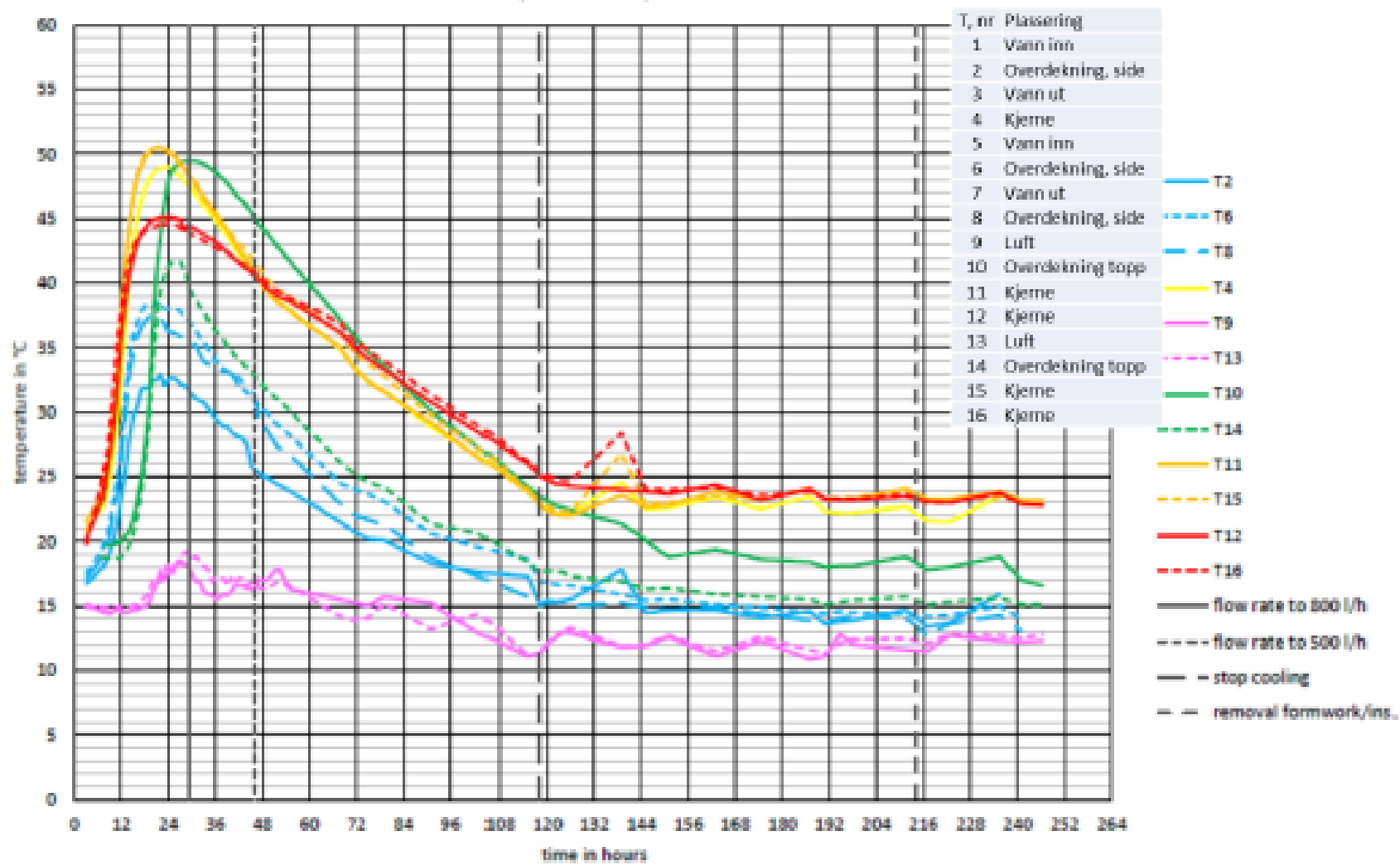


Figure 2

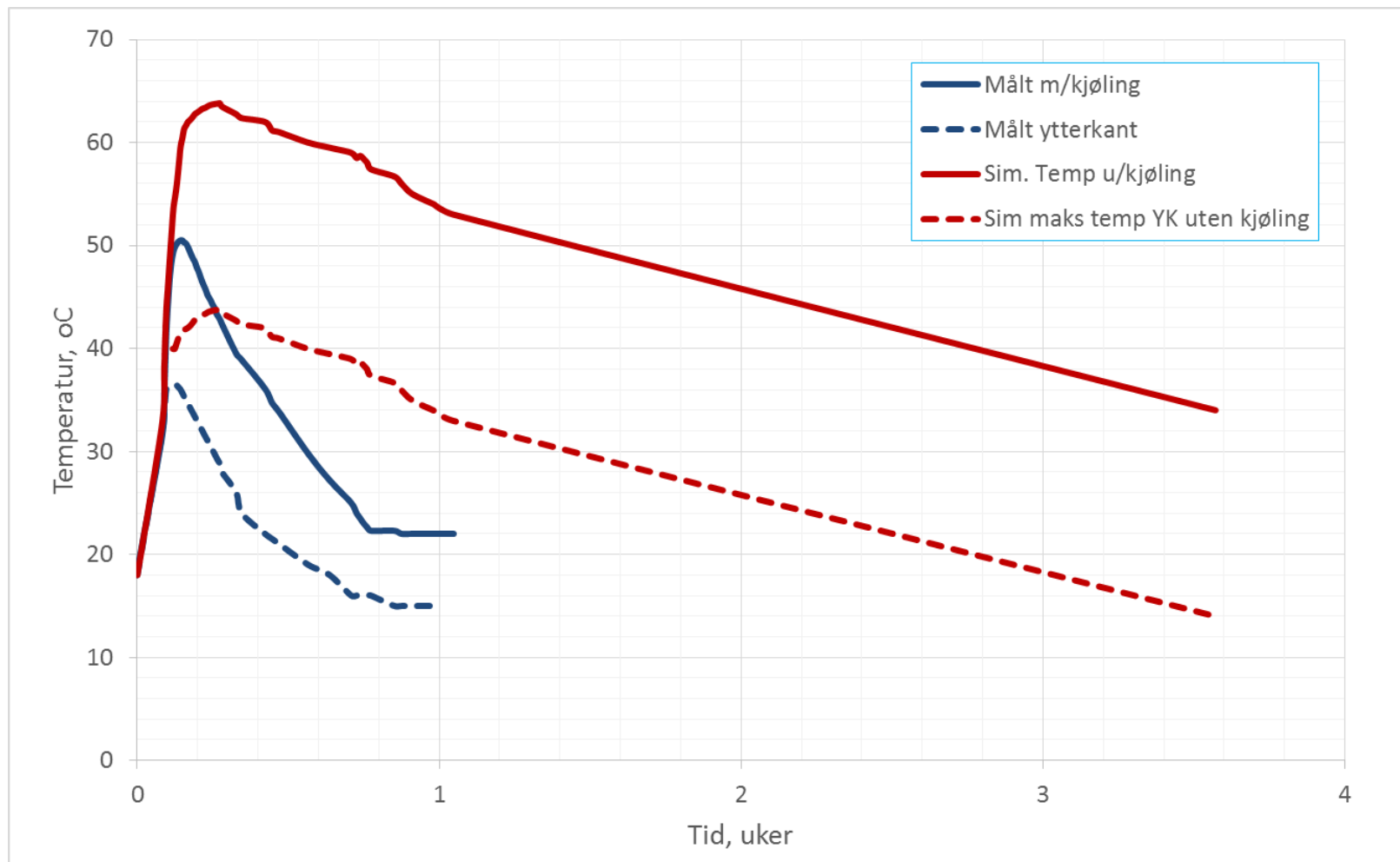
Kjølerør



Fundament



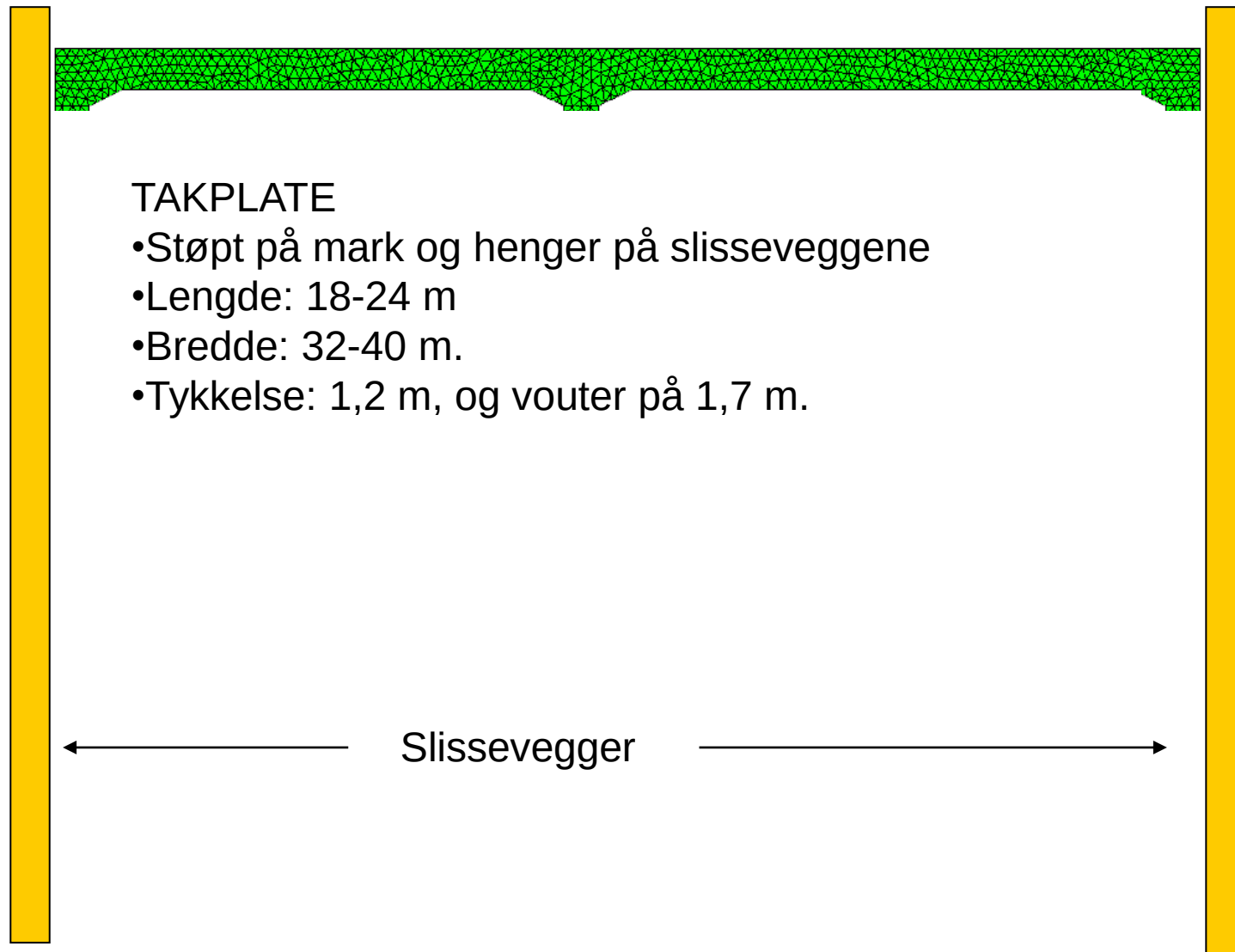
Kjøling av betong i herdefasen, med kjølerør



Sørenga: Kjøling av fersk betong med is

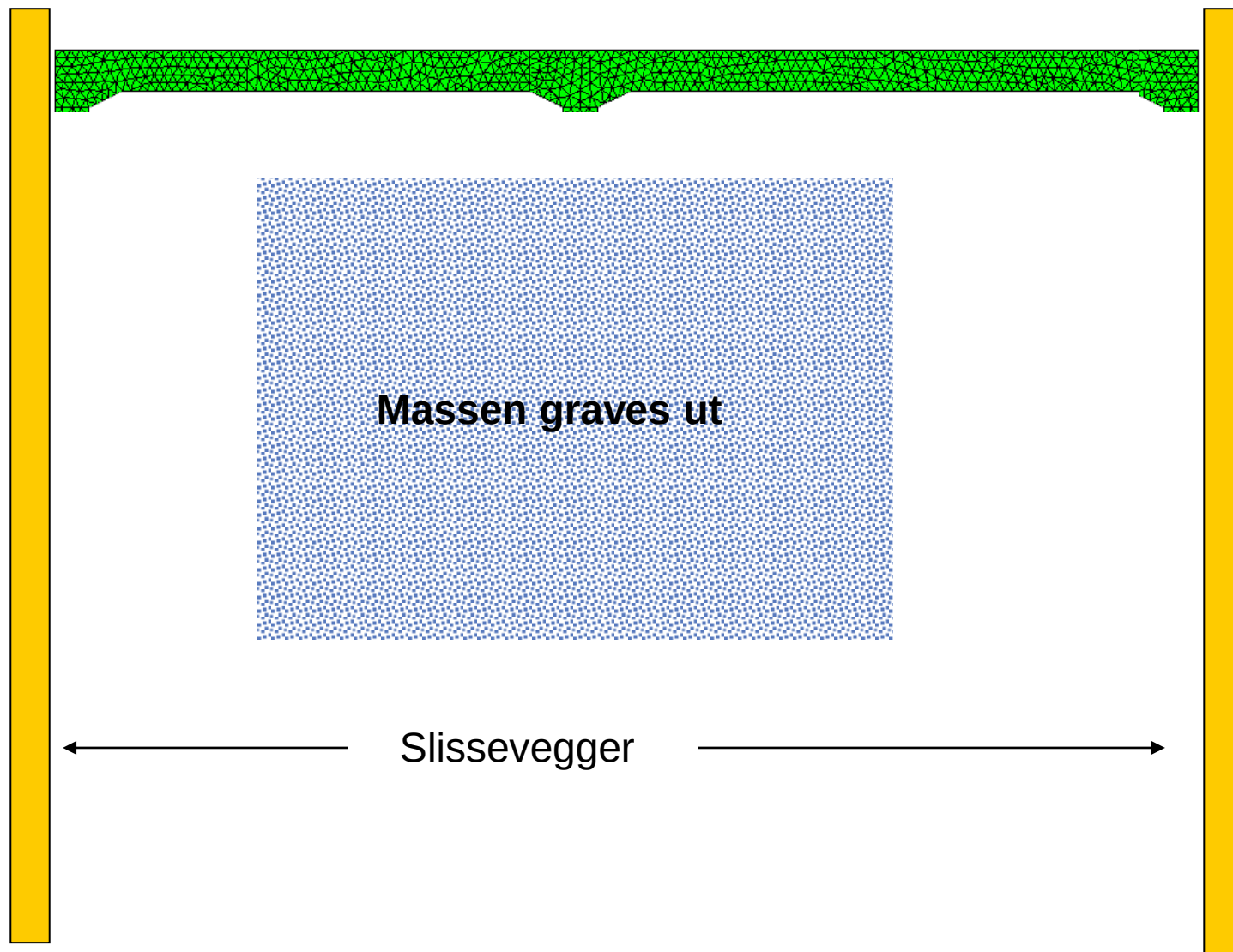


Byggemetode

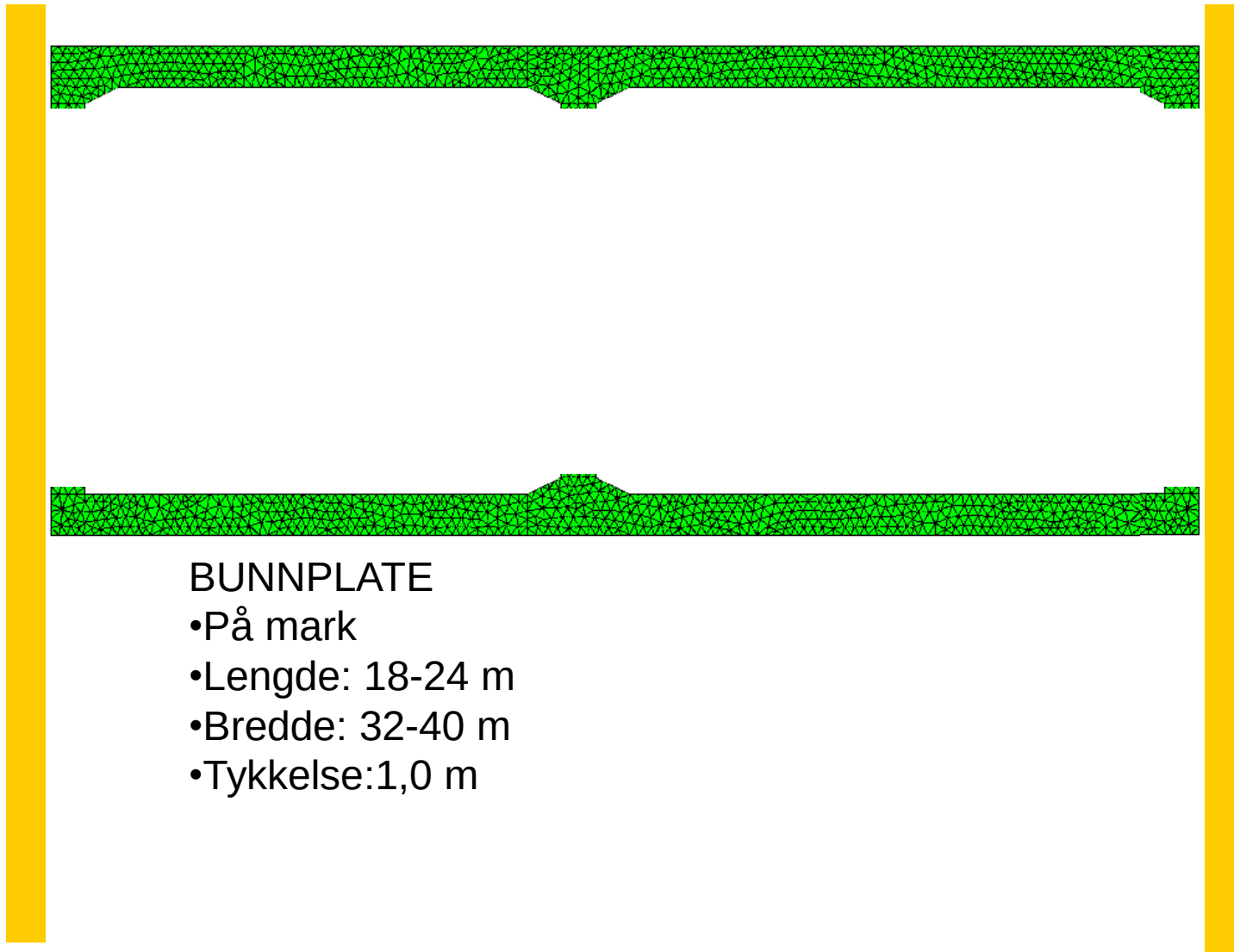




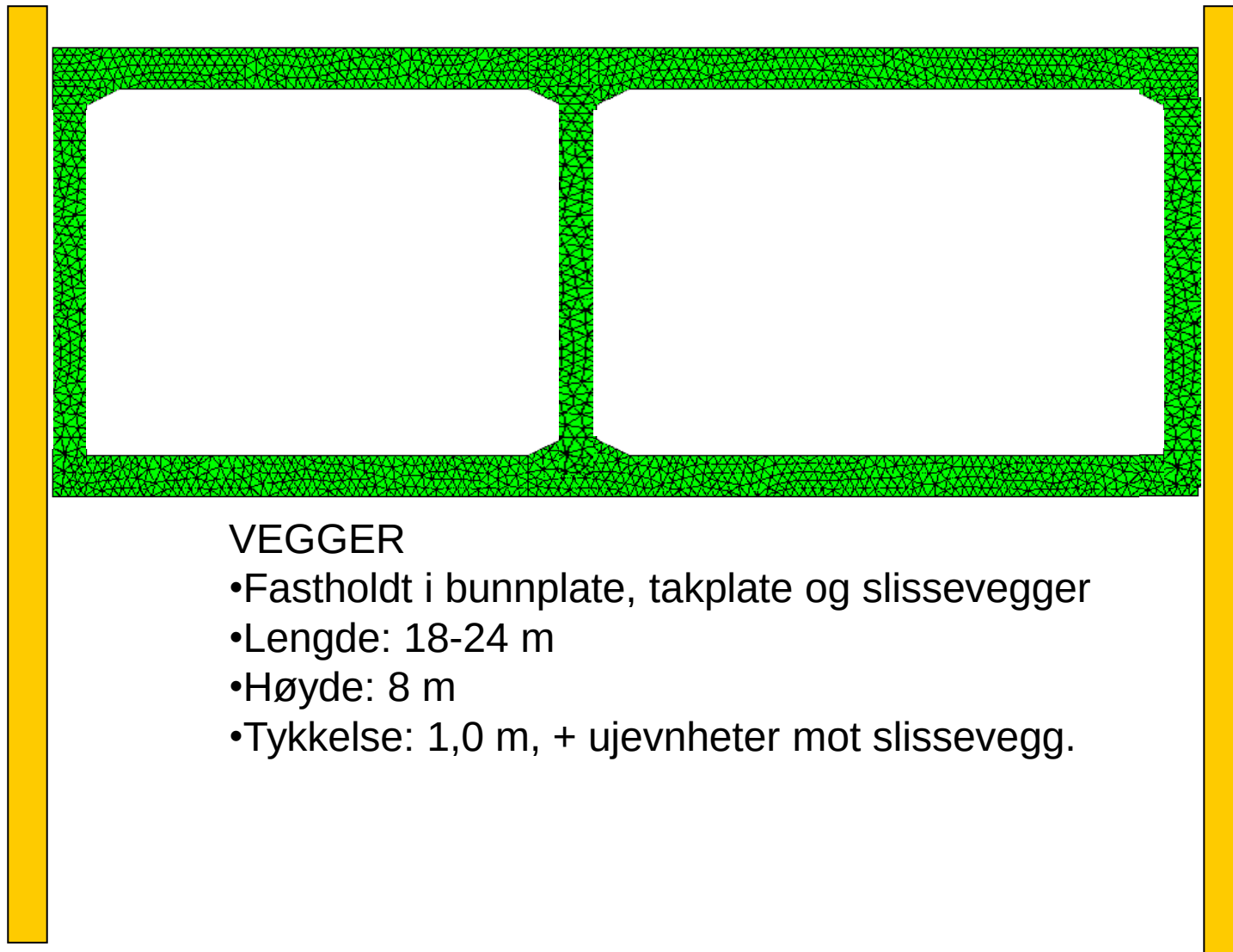
Byggemetode



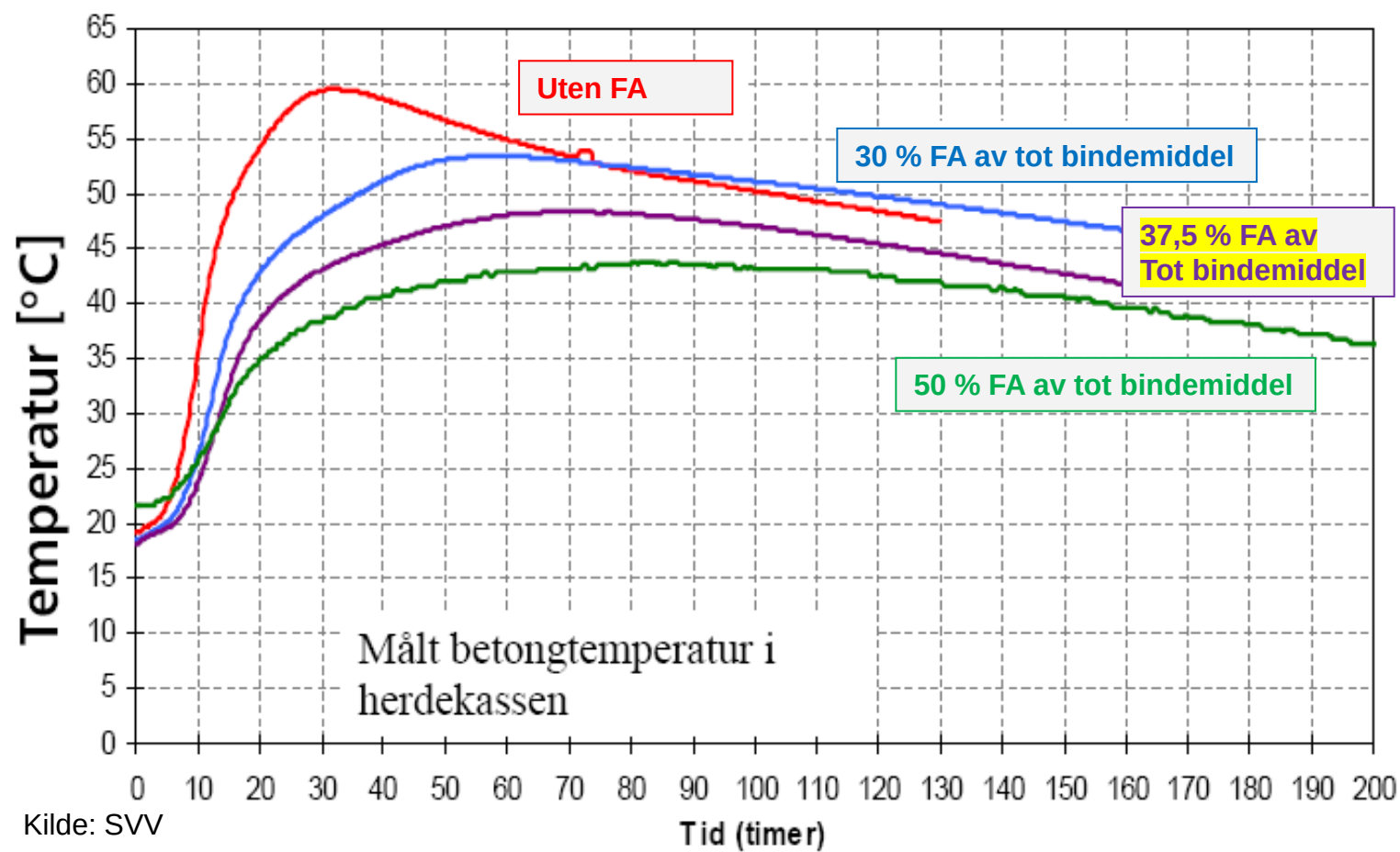
Byggemetode



Byggemetode



Tilsetning av flygeaske reduserer temperatur under herding



Vegg



Utstøping vegg

- SKB, utbredelse 62cm, -3 + 5 cm
- Alle lass kontrolleres
- Rør gjennom takplate
 - Neddykket rør
 - Støping med overhøyde for å sikre god oppfylling mot takplata
- Støpeluker
 - Ikke neddykket i starten
 - "giljotin" og overtrykk ved slutten



Utstøping vegg

Oppstartsprosedyrer for å tilfredsstille krav til rissindeks $< 0,75$

- Temperaturkontroll, grunnlag for temperatur i fersk betong: ConTest Pro og Norconsult
 - Temperatur i takplate
 - Temperatur i bunnplate
 - Temperatur i luft

Veggene støpes i seksjoner på 18-24 m, 8 m høyde og 1 m tykkelse.

Kjøling av fersk betong

Krav til maksimal temperatur i fersk betong

Temperatur i bunnplate	8	9	10	11	12	13	14	16
Krav til fersk betong temp.	17	17,5	18	18,5	19	19,5	20	21

Temperatur på fersk betong opp mot 27 oC

Betong med is

Erfaringer:

- Kårstø
- Smøla



10 kg is senker temperatur på fersk 1,0 - 1,5 °C.

Nedkjøling av fersk betong med is

- 10 kg is senker temperatur på fersk 1,0 - 1,5 °C.

	Bil 1	Bil 2	Bil 3	Bil 4
Temperatur før is, °C	26,1	23,3	25	24,6
Temperatur etter is, °C	17,8	16,6	16,1	17,1
Temperatur i luft, °C	14-16	14-16	14-16	14-16
Effekt av is, redusert °C	8,3	6,7	8,9	7,5
Effekt av is pr 10 kg.	1,38	1,12	1,48	1,25

Betong med is



Betong med is



Betong med is



Produksjon av betong med is:

- 3 m³ betong fylles på bil
- Is tilsettes
- 3 m³ betong fylles på bil
- Tromles i 25 min.
- Alle biler kontrolleres ved ankomst anlegg
 - innveide mengder
 - betong
 - is
 - temperatur
 - utbredelse
 - luft

Mottakskontroll



u 204 Røsept 9000 Volum 181
 ettervegg 11hs skB 29,11,02
 OVERSIKT BETONGPRØVER

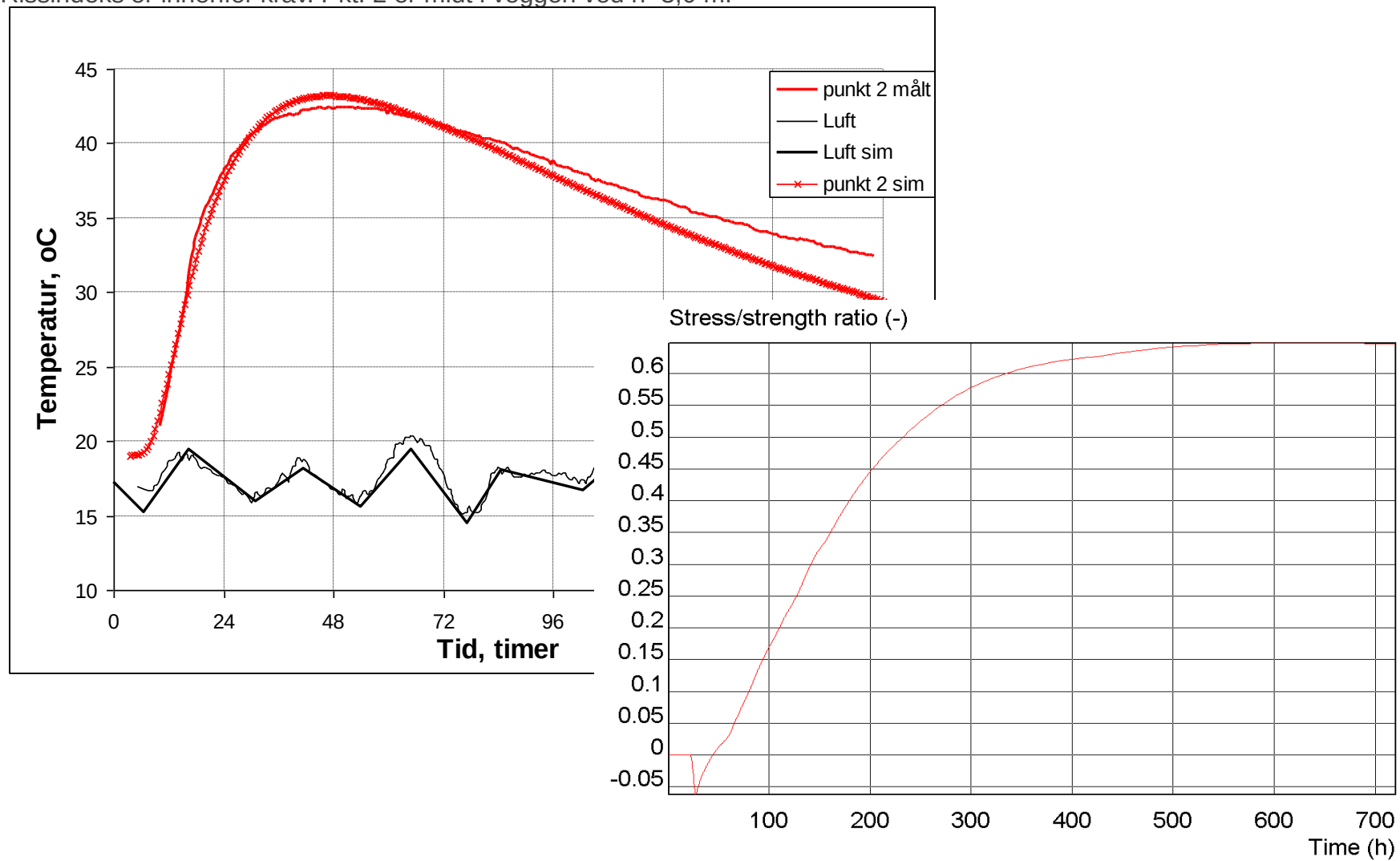
Prøve nr	Luft	Bil nr	Kjøreseddel	M3	KI	Slump	Temp	Kommentar
1	6,5	635		6	21:52	64-65	11,5	DRG
2	6,7	635		12	22:20	64-64		
3		635		18	22:44	63-63		
4		644		24	22:52	65-66		
5		611		30	23:15	62-62		B2W
6		635		36	23:18	68-68		
7		644		42	23:32	66-66		
8	6,1	620		48	23:43	62-62		
9		611		54	23:49	63-63		
10		635		60	23:54	62-62		
11		622		66	00:01	62-62		
12		635		72	00:28	66-66		
13		622		78	00:38	62-62		
14		635	84	84	01:51	68-68		
15		644	90	90	01:56	67-67		
16	4,5	614	96	96	01:58	64-64	10	
17		635	102	102	02:05	64-64		
18		644	108	108	02:16	65-66		
19		614	114	114	02:49	66-66		
20		635	120	120	03:03	68-68		
21		614	126	126	03:26	62-62		
22		624	132	132	03:30	61-66		
23		635	138	138	04:08	62-62		
24	5,2	614	144	144	04:18	66-66		
25		635	150	150	04:46	62-62	10,2	
26		614	156	156	04:56	66-65		
27		702	162	162	05:00	65-65		
28		614	168	168	05:20	66-66		
29		702	174	174	05:45	63-63		
30		702	180	180	06:22	65-65		
31								
32								

All støp på natt
 Planlagt oppstart 2000
 Planlagt avslutning 0600

Temperatur i vegg

Målt temperaturutvikling stemmer med simulert.

Rissindeks er innenfor krav. Pkt. 2 er midt i vegg ved h=3,0 m.



Riss i veggene



Riss i veggene



"Byggbetong i 2008"

Betongkvalitet: B35/45MF40

Betongsammensetning:

- **Sement:** Norcem Std FA/
Aalborg Rapid
- **Flyveaske:** 50 % av portlandklinker



LVB: Bunnplater og vegger praktisk talt uten riss



CO₂-regnskap i 2011

AF kjøpte 59.000 m³ betong av UNICON i Oslo i 2011,
herav 33.000 m³ B35MF40-LVB

Besparelse sement pr m³ er $410 - 260 = 150$ kg

Redusert CO₂-forbruk i 2011:

$150 \text{ kg} \times 0,911 \text{ CO}_2/\text{kg sement} \times 33.000 \text{ m}^3 \text{ betong} =$
4.509 tonn CO₂ (> fire og et halvt tusen tonn)



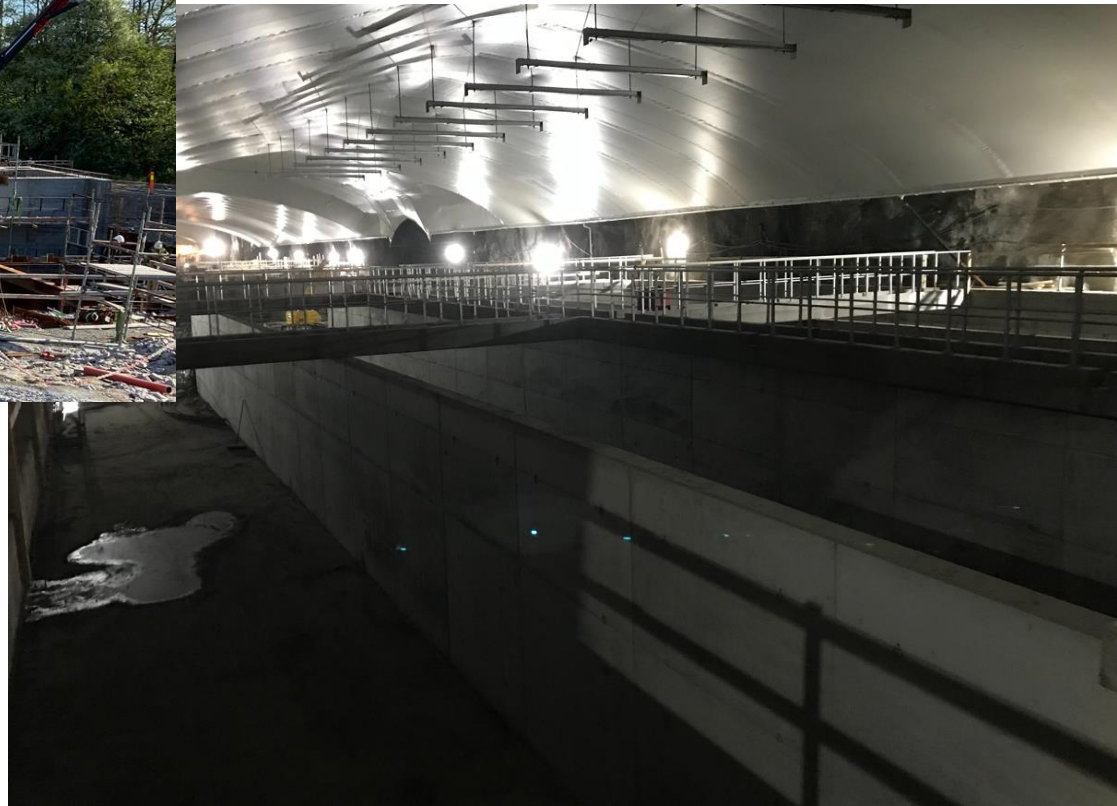
Anbefalinger i 2008:

ALT UNDER BAKKEN MED LAVVARME/LAVKARBON A

- Kaldest mulig betong
- Lite sement
 - Lav varmeutvikling
- Låste resepter



Effekt av fastholding



Drammen sykehus

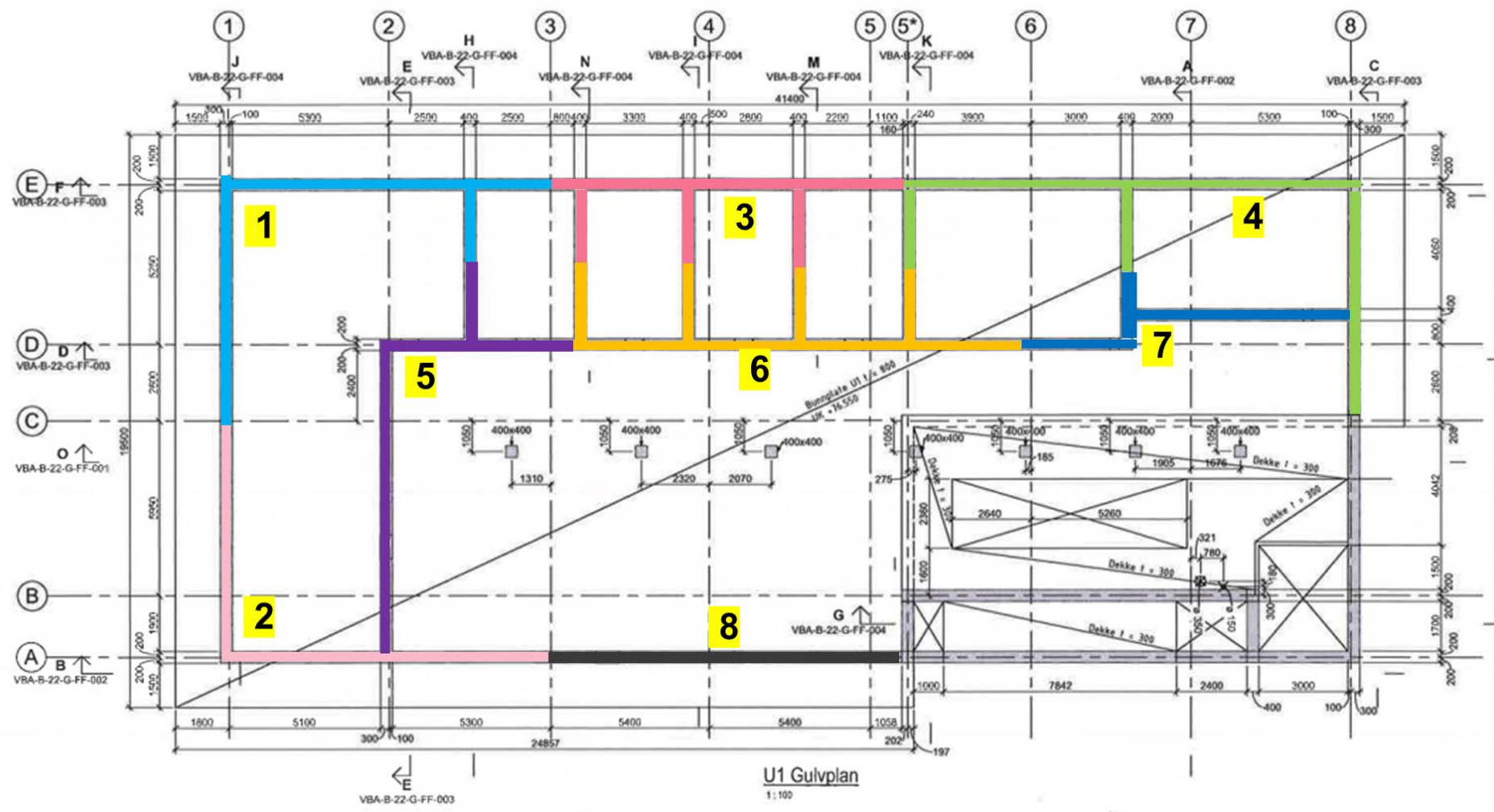
- Ca. 300 lm kulvert
- Planlagt 2 «ventesoner» på ca. 1 m som skulle støpes igjen etter ca. 12 mnd.
- Benyttet betong med lavt svinn, $< 0,45$ o/oo og unngikk ventesonene.





**«Ingen» riss i bunnplate og vegger
Prosjekterte riss i dekke over kjeller.**

Støpetapper Veggene er 400 mm tykke og 6150 mm høye

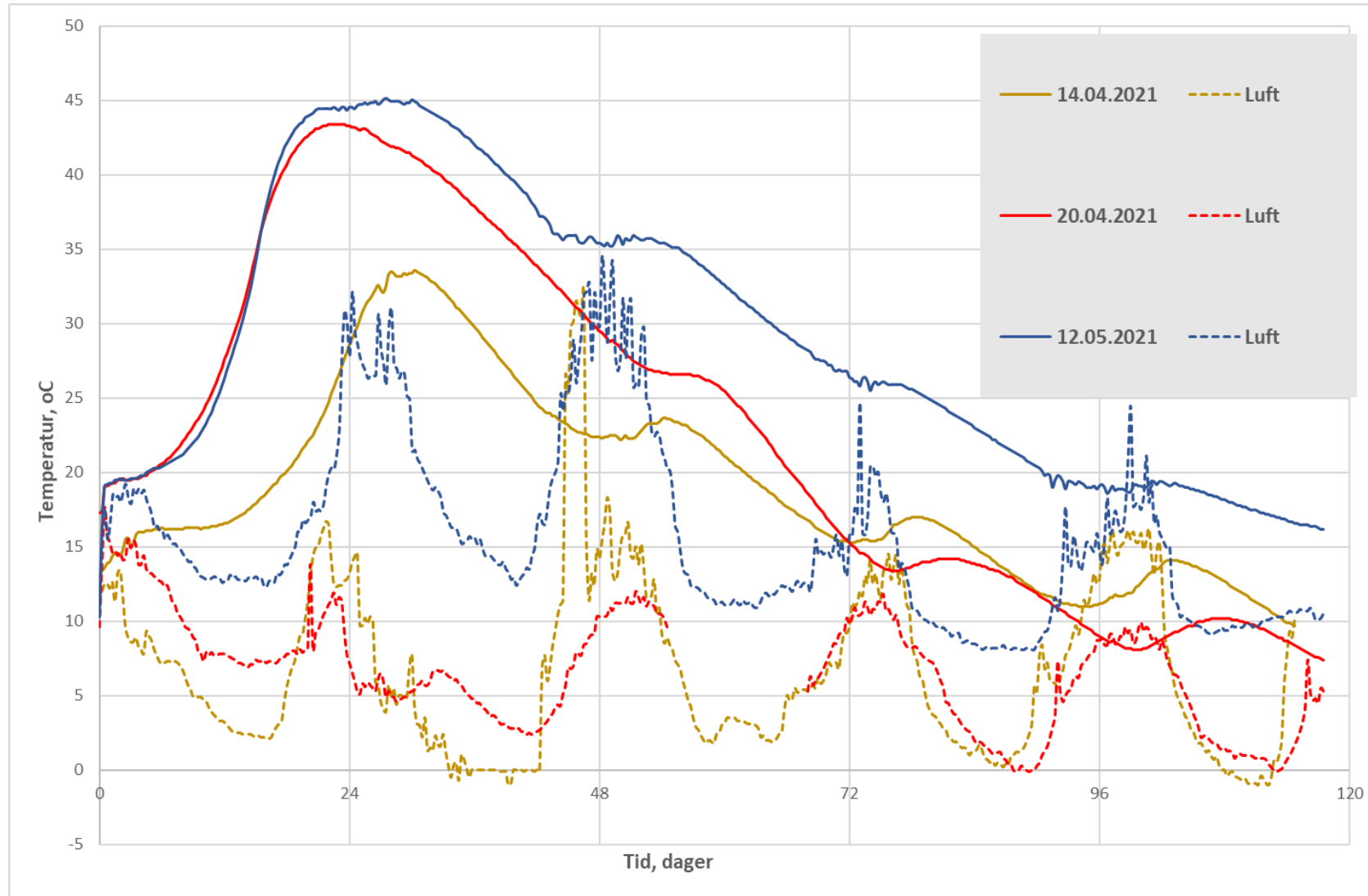


God utstøping



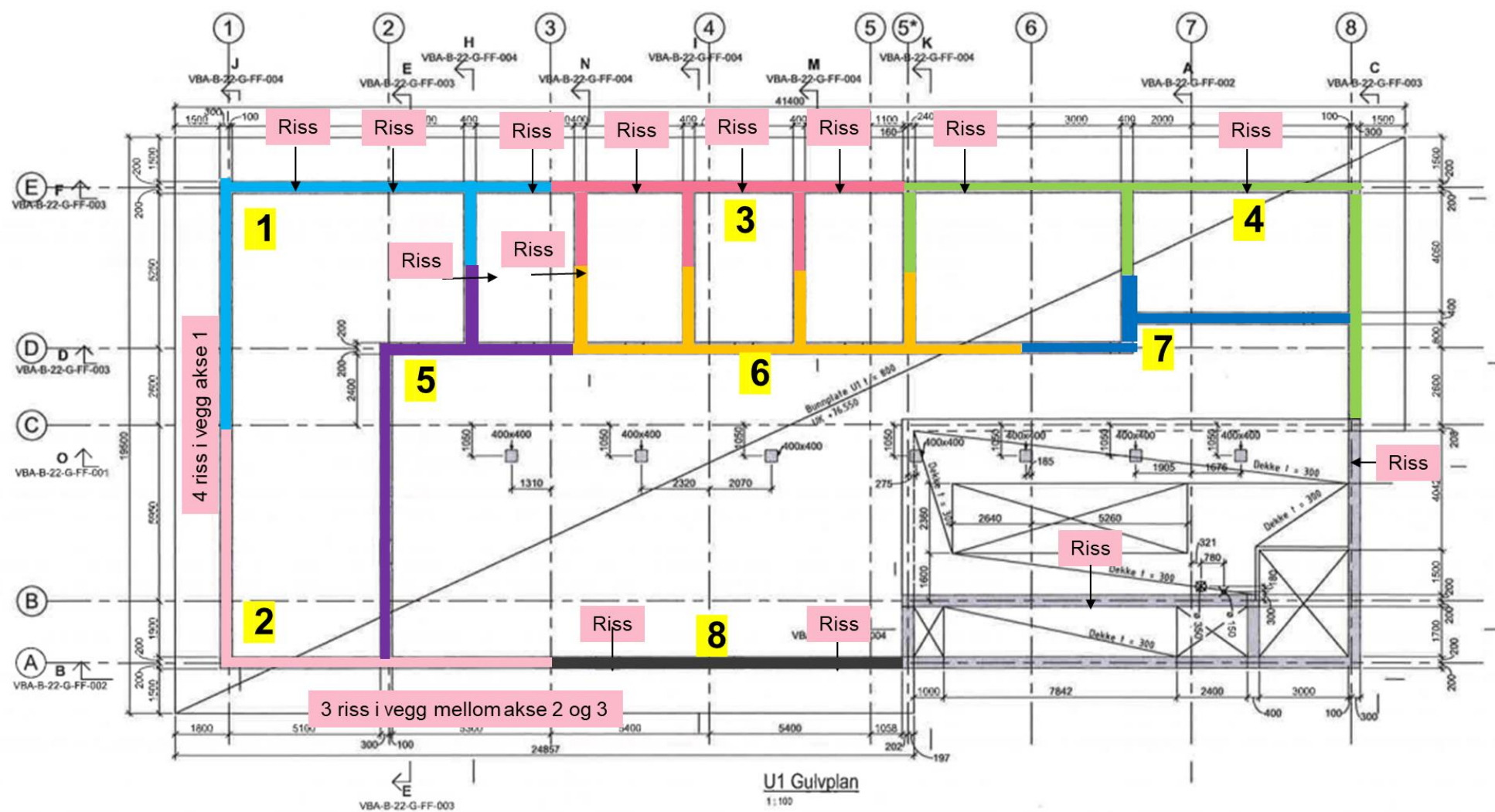
Temperaturutvikling

Temperaturøkningen i veggene som er målt var 20-25 oC, avhengig av utetemperaturen.



Riss

- Vegger som ble støpt henholdsvis 14.04.21 hadde ingen riss etter avkjøling.
- Vegg støpt 20.4.21, støpetappe 1 og 2 ble observert med riss første gang 5.5.21.



Riss

- Riss i hjørner ved utsparing
- Riss i vegger

- Armeringsmengde og armeringsføring bestemmer rissvidde
- Svinn bestemmer antall riss



Sammendrag

- Temperatureffekten dominerer
 - Økt veggtykkelse øker temp.
 - Rissfare høyest på vinter
 - Større temp. diff vegg mot underlag
 - Viktig med kald betong
 - Redusert temp. fersk betong god effekt
- Lavvarmebetong god effekt
 - Omtrent samme effekt som senke temp. 5 oC

Takk for oppmerksomheten

- Kombinasjon av flere tiltak kan gi rissfrie vegger 😊