

Vinterstøping av betong

Temperatur og fasthetsutvikling

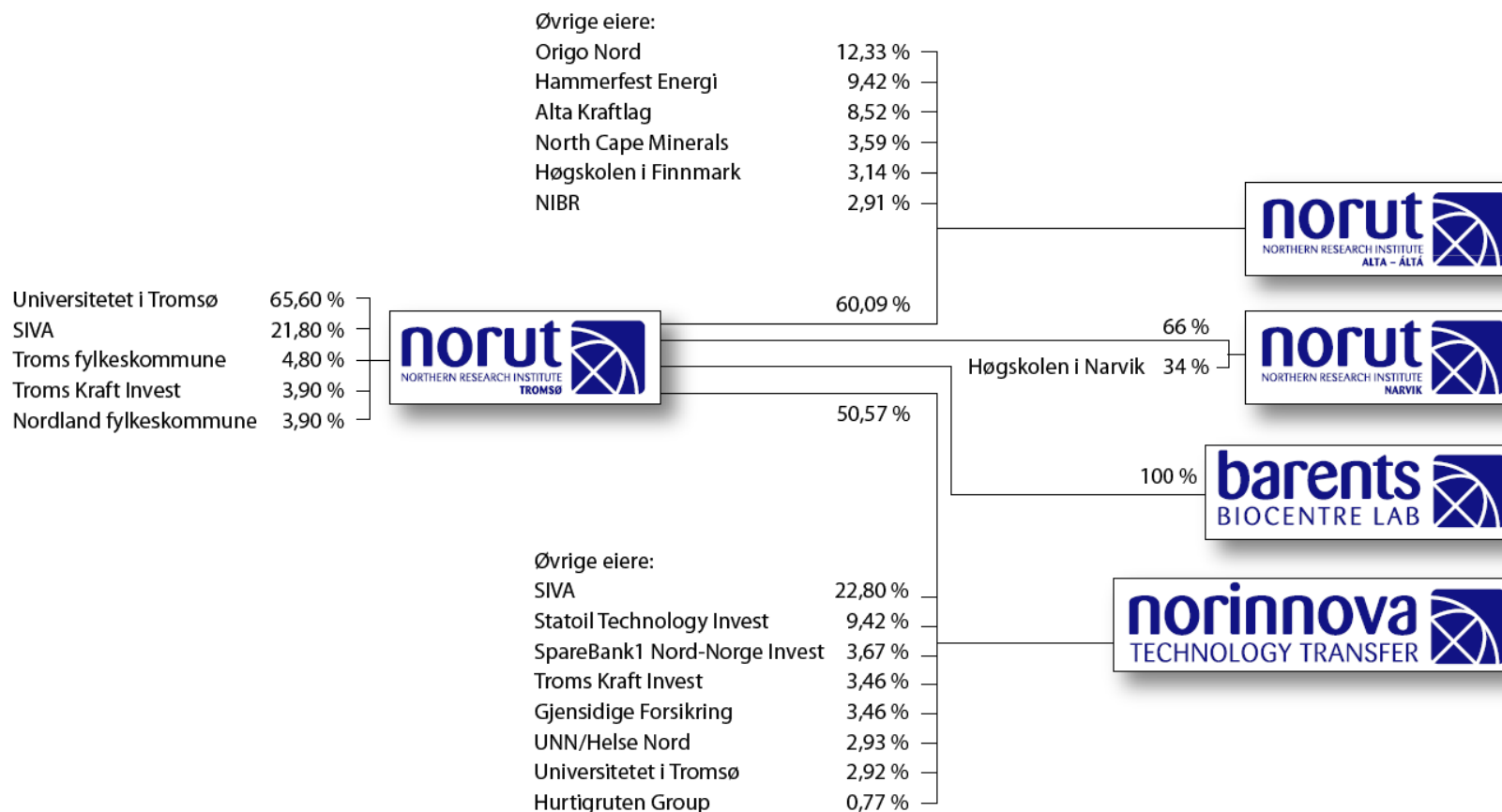


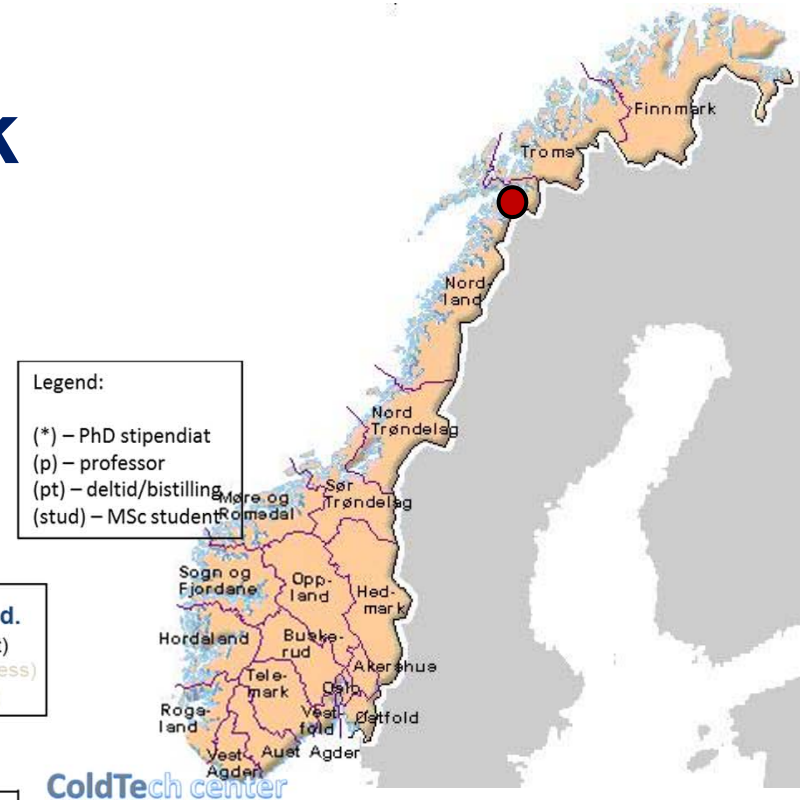
Bård Arntsen, Forskningsleder Norut Narvik

Miniseminar - HeatWork Betongarbeid

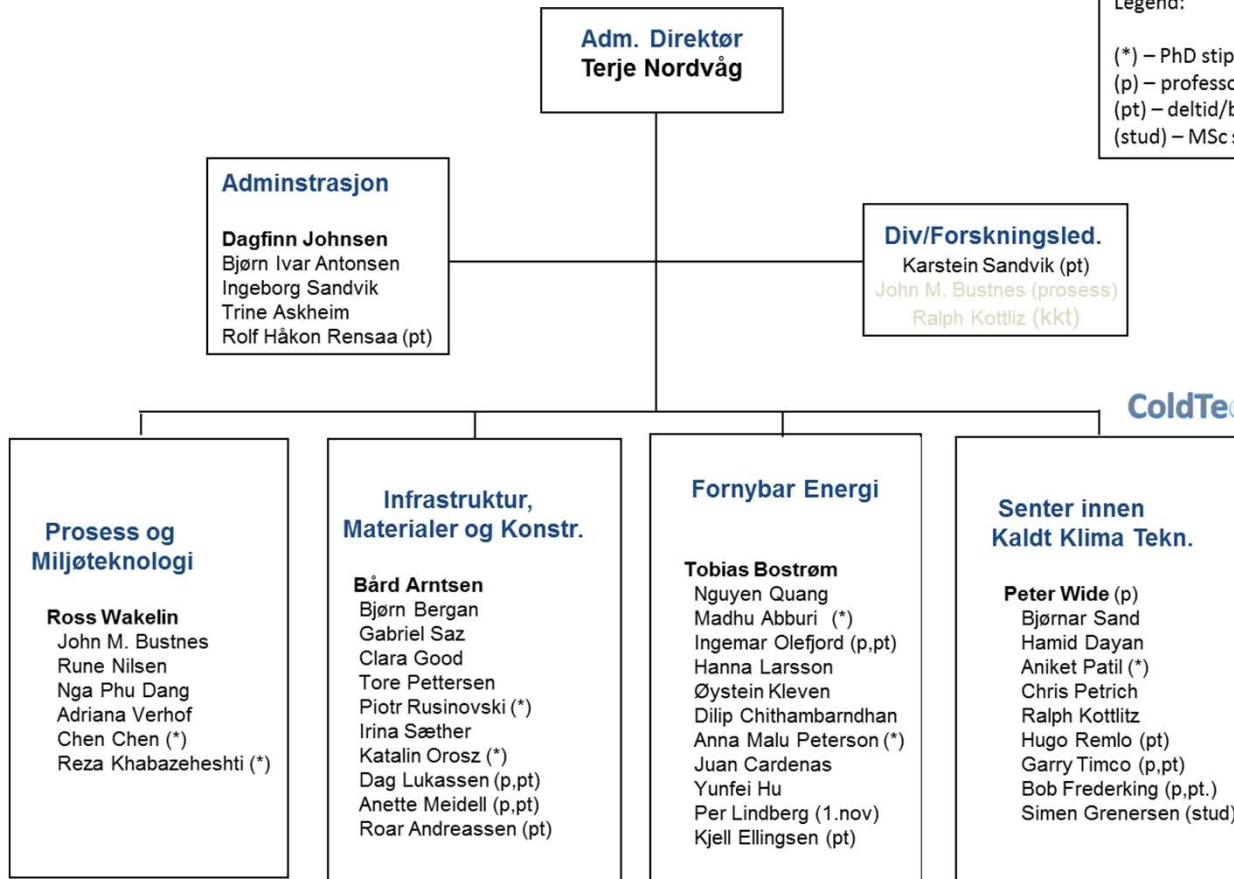
Narvik 15. februar 2012

Northern Research Institute





Legend:
 (*) – PhD stipendiat
 (p) – professor
 (pt) – deltid/bistilling
 (stud) – MSc student



ColdTech center

Agenda

- Grunnleggende betongteknologi
- Krav ved vinterstøping
- Konsekvenser av frysing i tidlig alder og store temperaturgradienter
- Virkemidler vi har ved vinterstøping
- Effekt av temperatur på fasthetsutvikling
- Hvilke muligheter gir heatworks maskiner?
- Hvordan kan vi sammen sørge utvikling gjennom (FoU)-prosjekter hvor Heatwork og Norut kan være aktive partnere

Grunnleggende betongteknologi

- Hydratasjonsprosessen
- Fasthetsutvikling
- V/c-forhold
- Porefordeling

Grunnleggende betongteknologi – Kjemi og fasthetsutvikling

- Hydratisering – kjemiske reaksjoner mellom sementmineraler (klinkermineralene) og vann
- Sementens sammensetning og finhet er vesentlig for bindemiddelegenskapene

Grunnleggende betongteknologi

Klinkerminerale

- C_3S , Trikalsiumsilikat, $3CaO \cdot SiO_2$, alitt
- C_2S , Dikalsiumsilikat, $2CaO \cdot SiO_2$, belitt
- C_3A , Trikalsiumaluminat, $3CaO \cdot Al_2O_3$
- C_4AF , Tetrakalsiumaluminatferrit, $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$

Grunnleggende betongteknologi

Hydratiseringsreaksjoner

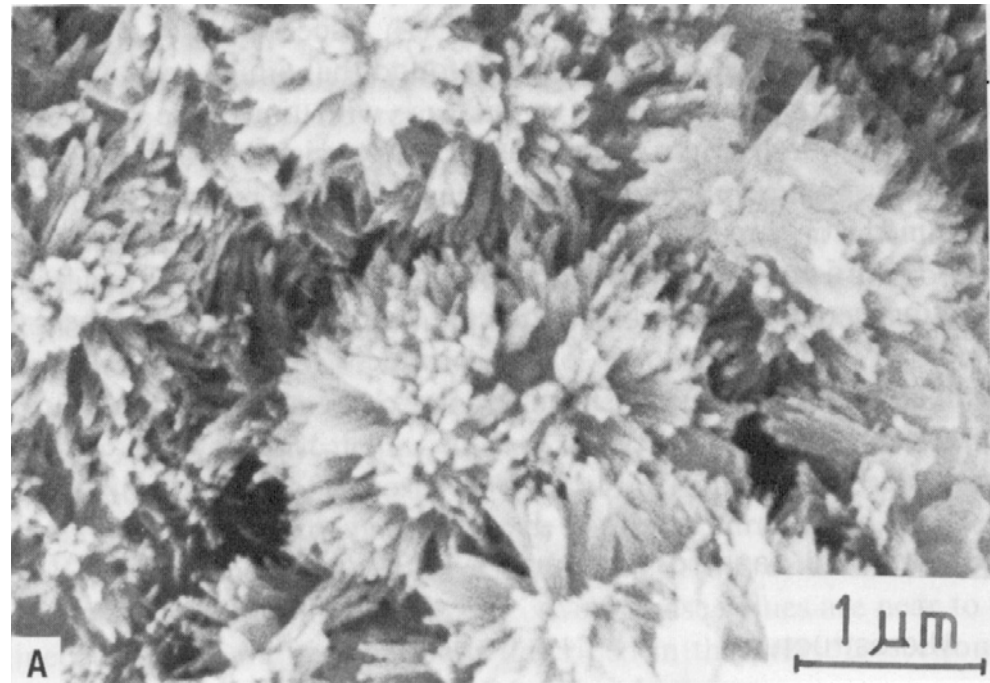
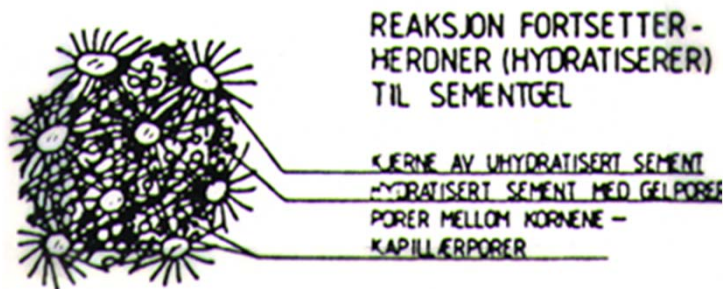
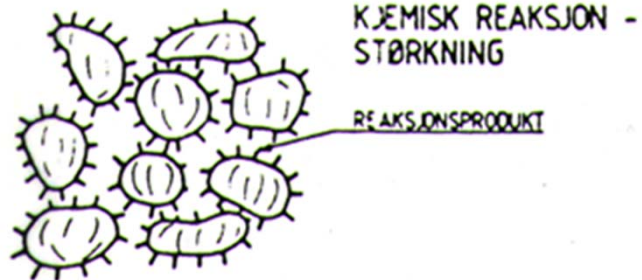
- $2C_3S + 6H = C_3S_2H_3 + 3CH$
- $2C_2S + 4H = C_3S_2H_3 + CH$

En eksoterm reaksjon som avgir varme!

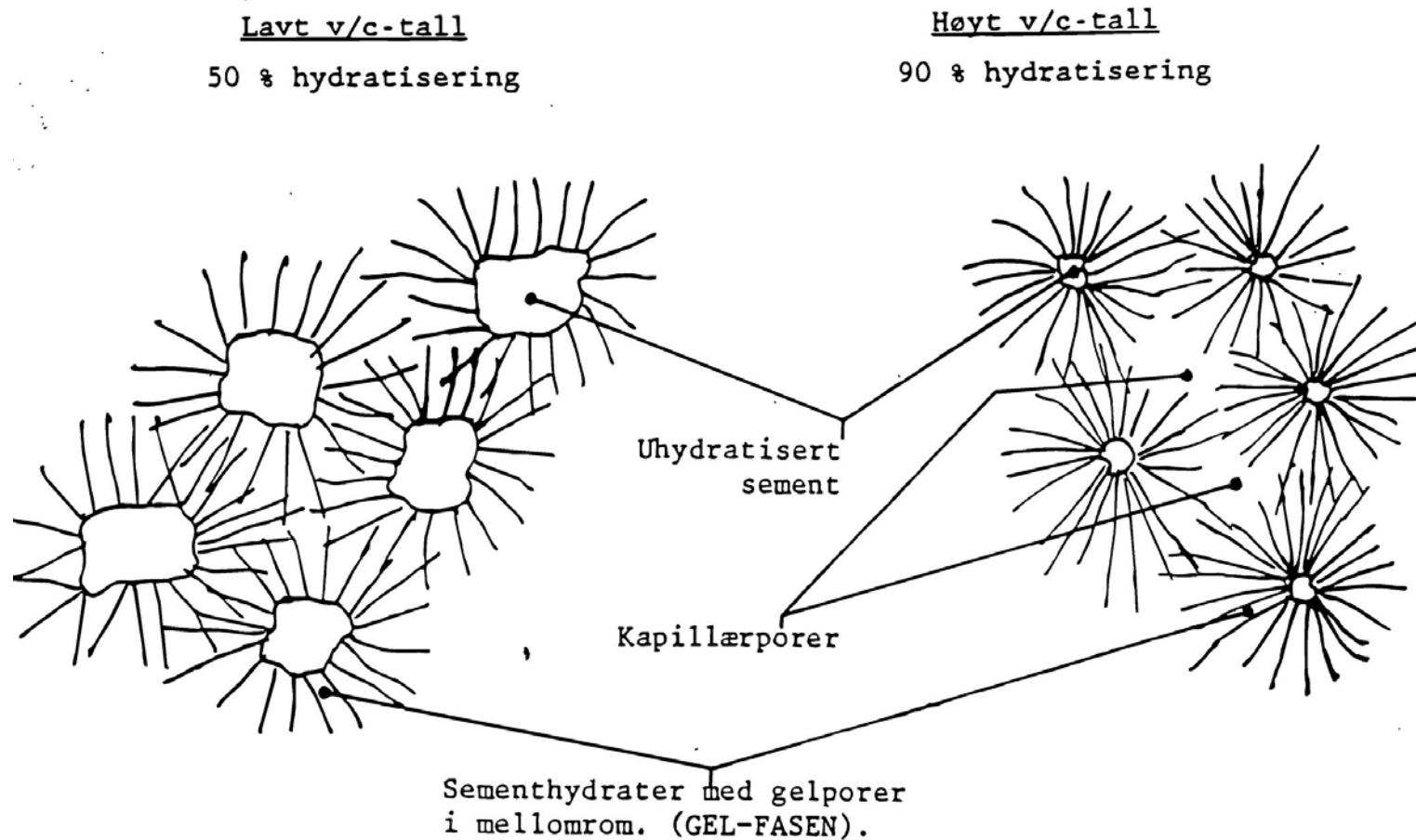
Sementpasta

- C-S-H - gel
- Kalsiumhydroksyd (Ca(OH)_2 , pH 13)
- Vann tilsvarende ca 25 vekt% av reagert sement blir kjemisk bundet
- Vann tilsvarende ca 15 vekt% av reagert sement blir sterkt fysisk bundet til overflatene av reaksjonsproduktene som gelvann

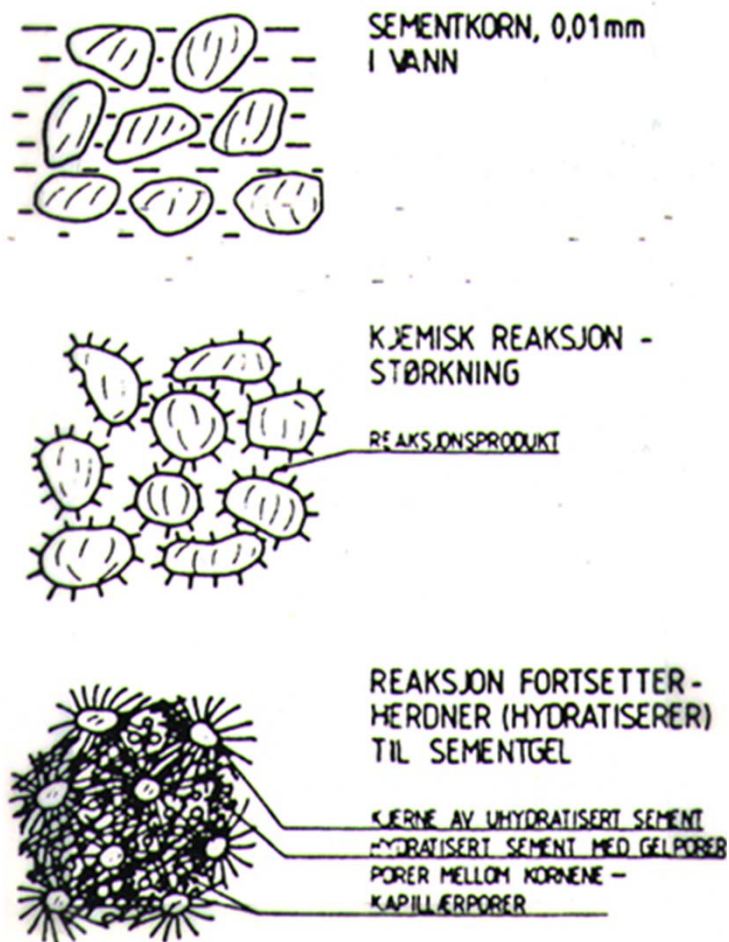
Sement – hydratisering



Effekt av v/c-tallet

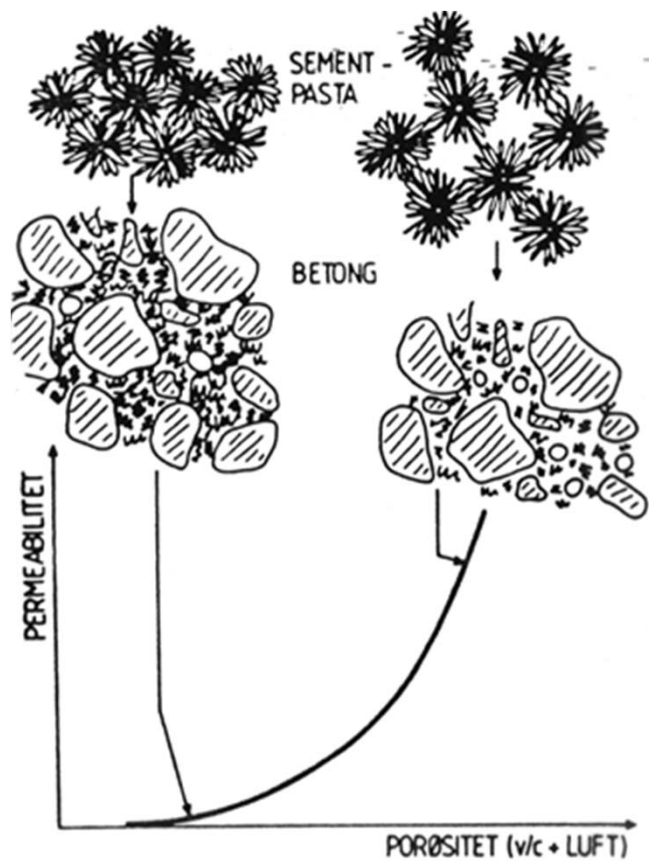


Sement – avbinding/hydratisering



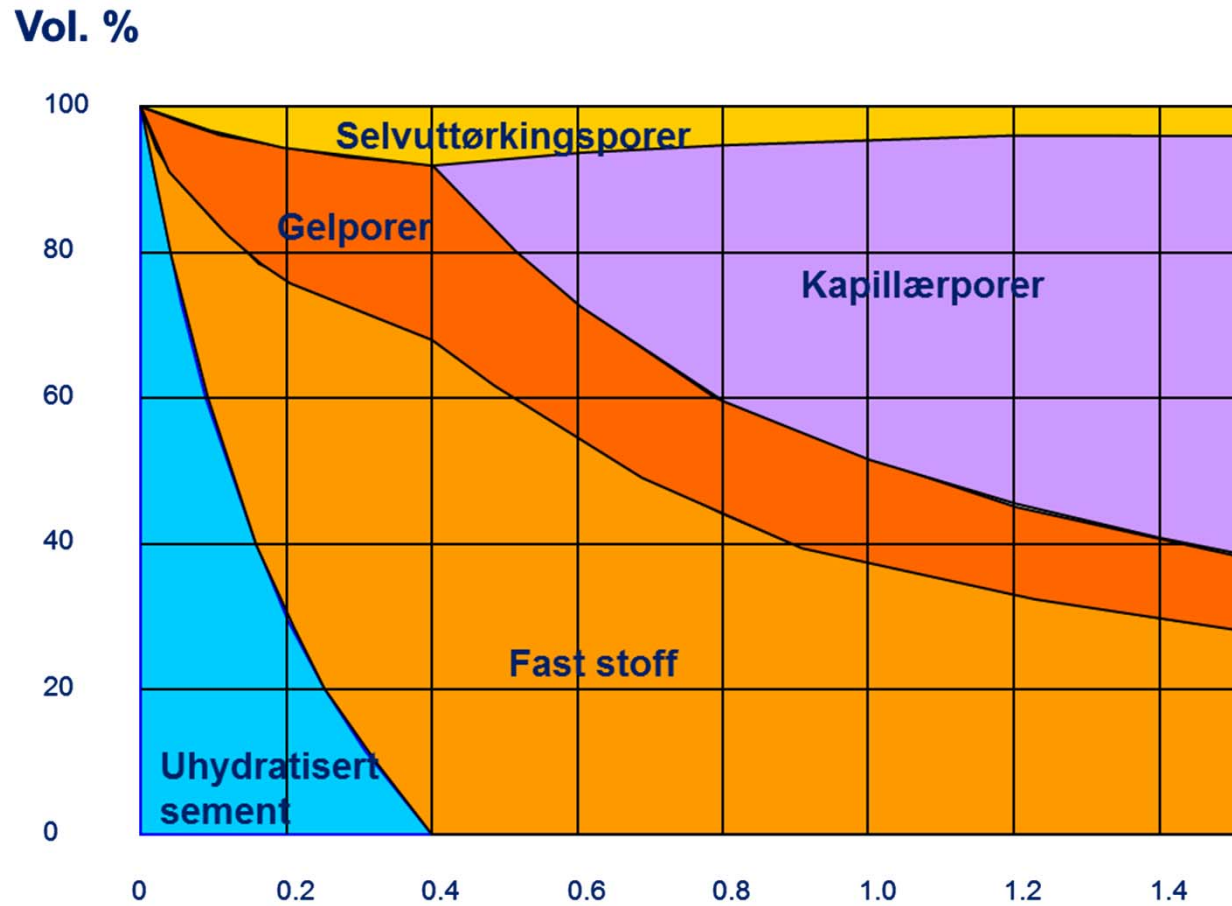
- Totalt trenges det vann tilsvarende $V/C = 0,25 + 0,15 = 0,40$ for å få en fullstendig kjemisk reaksjon
- Gelvann kan fordampe og etterlate seg gelporer med diameter 5-100 Å
(1 Å = 10^{-10} m)
- Reaksjonsproduktene av sement og vann har litt mindre volum enn summen av startvolumene

Permeabilitet



- Permeabilitet er den viktigste parameteren for bestandighet
- Lav permeabilitet gir god bestandighet
- Permeabiliteten bestemmes av betongens kapillærporemengde
- Kapillærporemengden bestemmes av v/c-tallet

Volumsammensetning av sementpasta



v/c-forhold

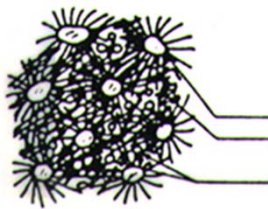
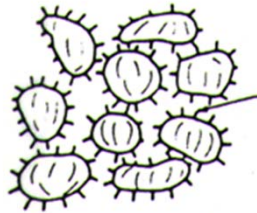
Krav ved vinterstøping

Det stilles en rekke krav til utførelse av betongarbeider

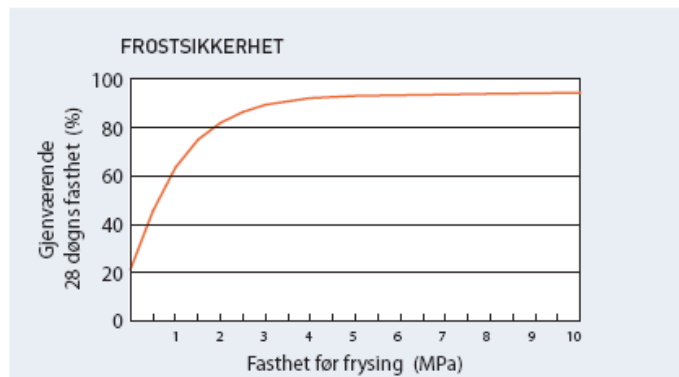
- En del av disse kravene er nedfelt i Norsk Standard (NS 3465)
- En del krav kan være særlige byggherre krav (Vegdirektoratets prosesskode)
- Krav til utførelse kommer også inn som entreprenørkrav for å sikre fremdrift og minimalisere kostnader

Men hvorfor har vi disse kravene?

Krav ved Vinterstøping hvorfor?



Sikkerhet
Bestandighet
Framdrift



Eksempel: Entreprenørkrav til fremdrift

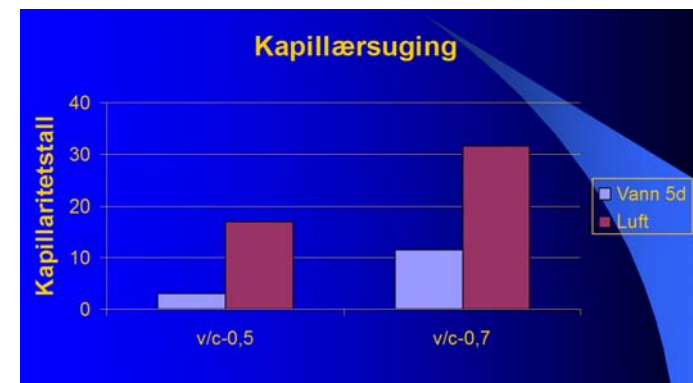
For å oppnå en god produksjon, kan entreprenøren stille følgende krav til fremdrift (riving):

Vegg/søyler: Dagen etter utstøping (16 timer)

Dekker: Helst dagen etter utstøping, men kan tillate 2 – 3 døgn.

For at forskaling kan rives til de ønskede tidene, må betongen har oppnådd følgende egenskaper:

Vegg	MPa
Riping	2-3
Sig	3-5
Uttrekk	3-5
Frøst	5
Dekker	Nebøying / Opprissing
Spennvidde	4 m : 15 MPa
Spennvidde	2 m : 8 MPa
Frøst	5 MPa



Hvilke virkemidler har vi?

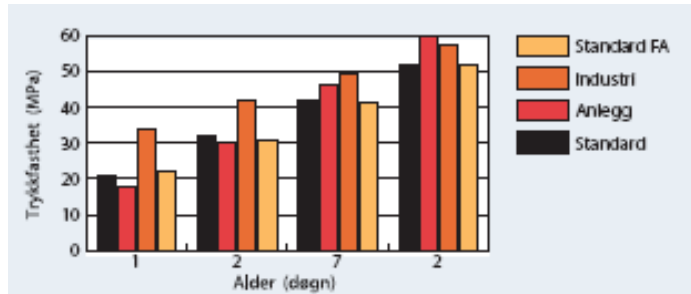


Fig 1. Fasthetsutvikling for Norcems sementer (standard mørtelprøving, NS-EN 196 med $m=0,50$).

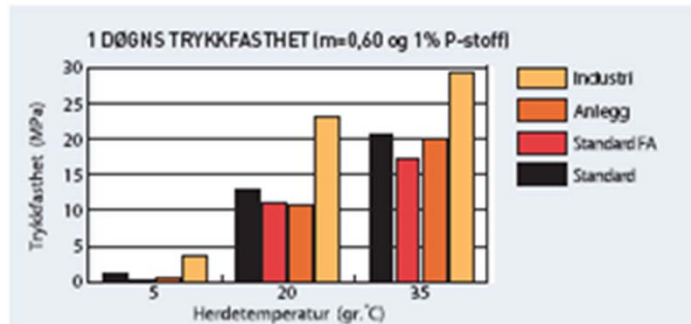
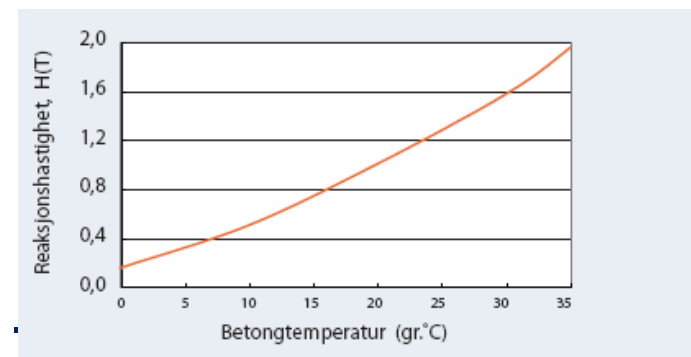


Fig 3. Fasthetsutvikling i tidlig alder er sterkt temperaturavhengig.



Kilde: Norcems temahefte Herdeteknologi

Mer sement

Endre sementtype

Bruke akseleratorer

Endre utgangstemperatur

- Varm betong eller ekstern oppvarmingskilde
- Ivareta varme fra hydratasjonen (isolere)

ved 35°C skjer herdingen dobbelt så fort som ved 20°C. Ved 10°C er hastigheten det halve av hastigheten ved 20°C. Dette betyr at det tar dobbelt så lang tid før en betong har oppnådd en spesifisert rivingsfasthet dersom herdetemperaturen har vært 10°C i stedet for 20°C.

Eksempler på vinterstøping og fasthetsutvikling

Konstruksjon	Vegg 20 cm			
Figur nr	V1	V2	V3	V4
Sementtype	Industri Standard Anlegg	Standard	Standard	Standard
Sementmengde	300 kg / m ³			
Betongtype	M60 v/c = 0,60			
Tilsetningsstoff	1 % Lignosulfonat (P) i prosent av sementvekt			
Betongtemperatur	20°C	30°C 20°C 10°C	20°C	
Lufttemperatur	-5°C		+ 5°C - 5°C 15°C	-5°C
Forskaling/ tildekking	15 mm finér			Isolert Finér Stål
Vindhastighet	2 m/s			

Eksempler:

V1: Effekt av sementtype.

Veggstøp i vinterklima

V2: Effekt av betongens

utgangstemperatur. Veggstøp i vinterklima

V3: Effekt av lufttemperatur.

Veggstøp i vinterklima

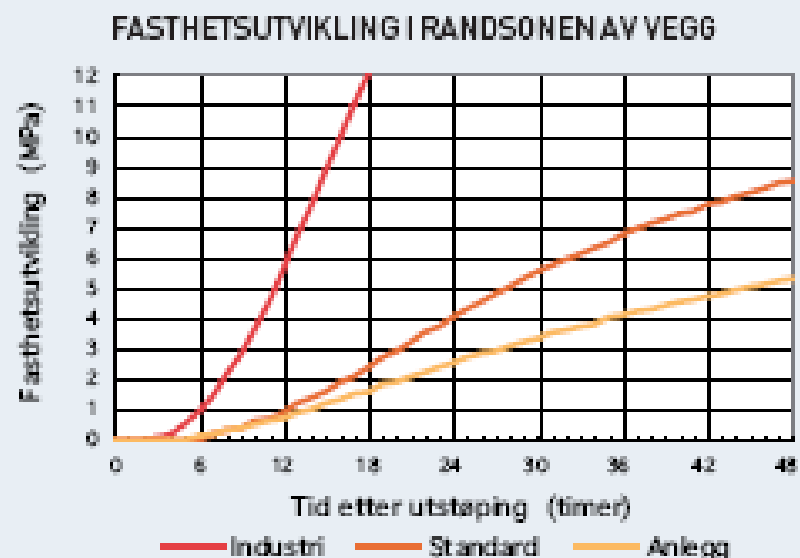
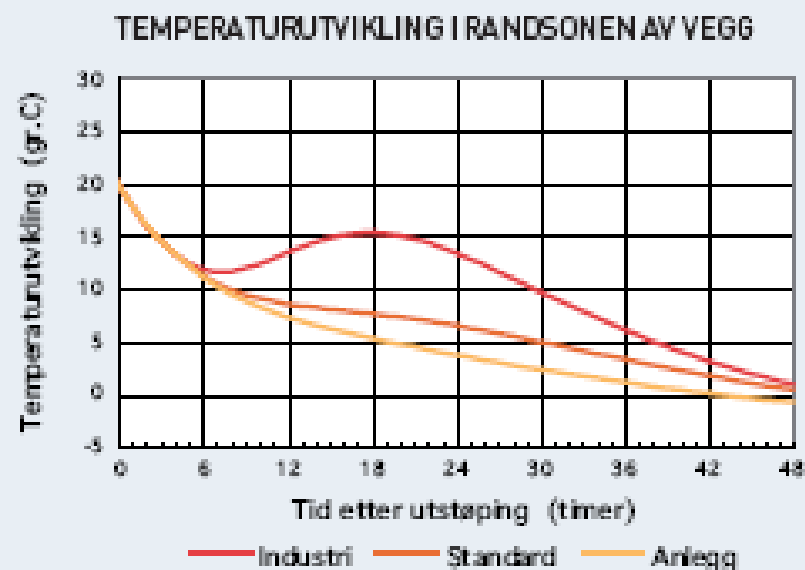
V4: Effekt av forskalingstype.

Veggstøp i vinterklima

Endret sementtype

V1: Effekt av sementtype

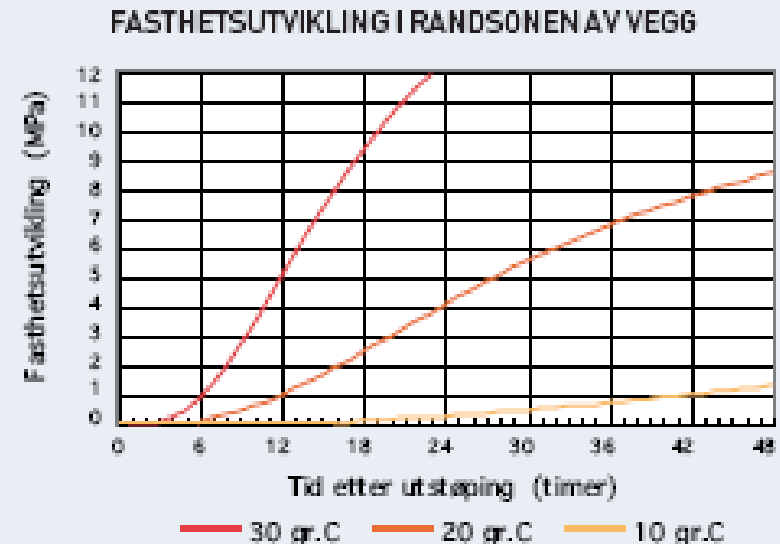
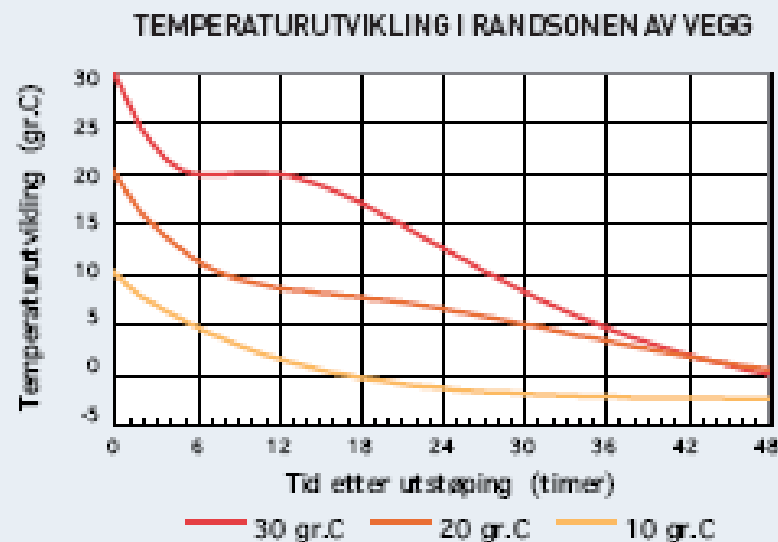
Temperaturfiguren viser hvordan den hurtige Industrisementen klarer å snu temperaturfallet på et tidlig tidspunkt slik at betongtemperaturen i den første herdetiden opprettholdes. Fasthetsfiguren viser at randsonen i vegg oppnår 5 MPa allerede etter 11 timer med Industrisement, mens Standardsement og Anleggsement oppnår den samme fastheten etter hhv 28 og 44 timer.



Betongens utgangstemperatur

V2: Effekt av betongens utgangs-temperatur

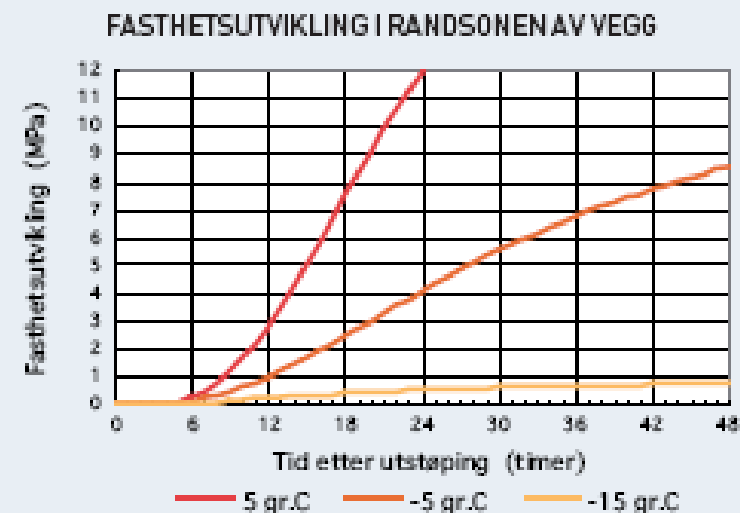
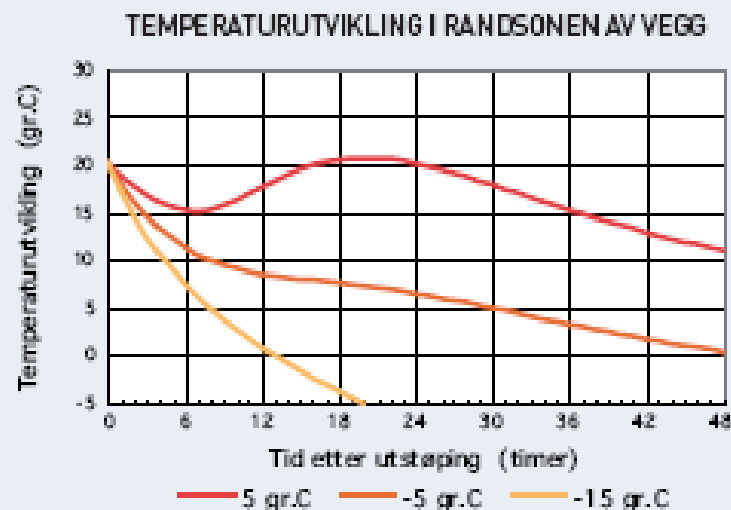
Temperaturfiguren viser hvordan en økning i betongens utgangstemperatur fra 20 til 30°C fører til at temperaturfallet bremses opp på et tidlig tidspunkt. En senkning i betongtemperaturen til 10°C fører til at betongen fryser etter 16 timer, dvs før fasthetsutviklingen har startet. Randsonen i vegg oppnår 5 MPa etter hhv 12 og 28 timer for 20 og 30°C-betongene.



Lufttemperatur

V3: Effekt av lufttemperatur

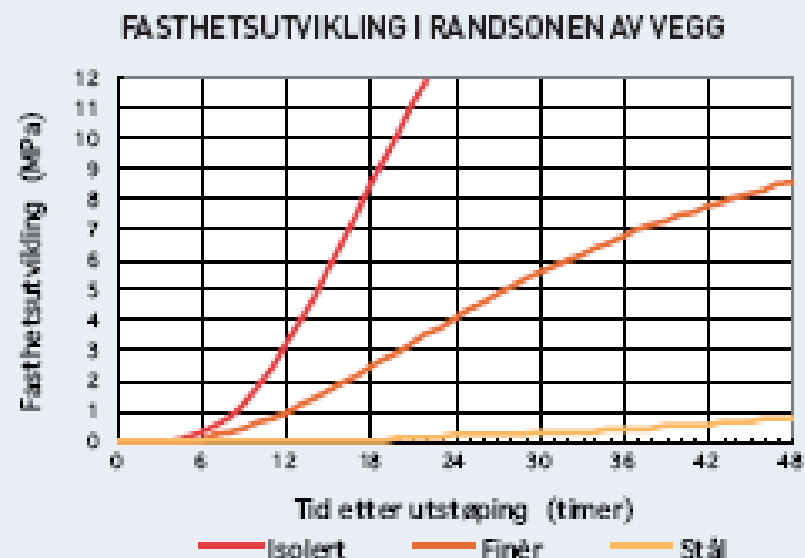
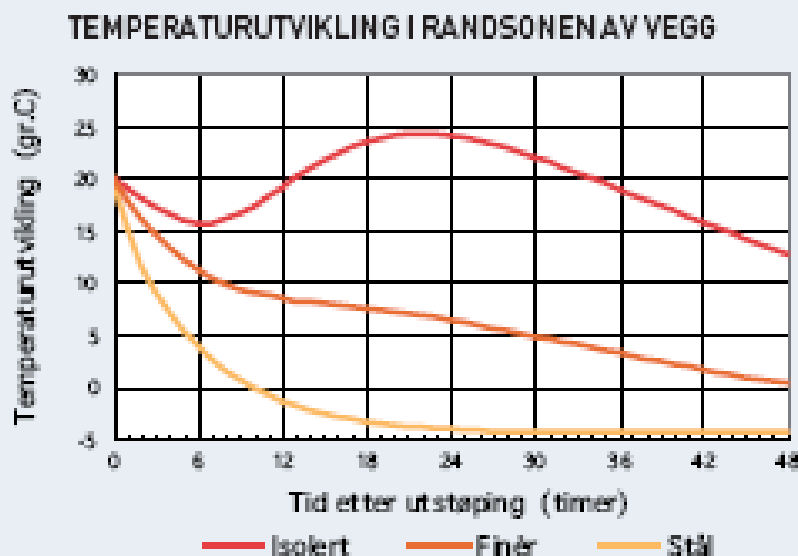
Temperaturfiguren viser at betongen klarer å snu temperaturfallet på et tidlig tidspunkt når lufttemperaturen økes fra -5 til +5°C. En senkning i lufttemp ned til -15°C fører til at betongen fryser etter 13 timer, dvs før fastheten i randsonen har nådd 0,5 MPa. Veggens randsoner oppnår 5 MPa etter hhv 15 og 28 timer ved lufttemp på +5 og -5°C.



Effekt av forskaling

V4: Effekt av forskalingstype

Temperaturfiguren viser at betongen klarer å snu tempfallet på et tidlig tidspunkt når forskalingstypen endres fra finér til isolert forskaling. Bruk av stålforskaling fører til at betongens temp faller raskt ned mot lufttemperaturen, og betongen fryser før den har startet fasthetsutviklingen. Veggens randsone oppnår 5 MPa etter 14 og 28 timer med hhv isolert- og finér forskaling.

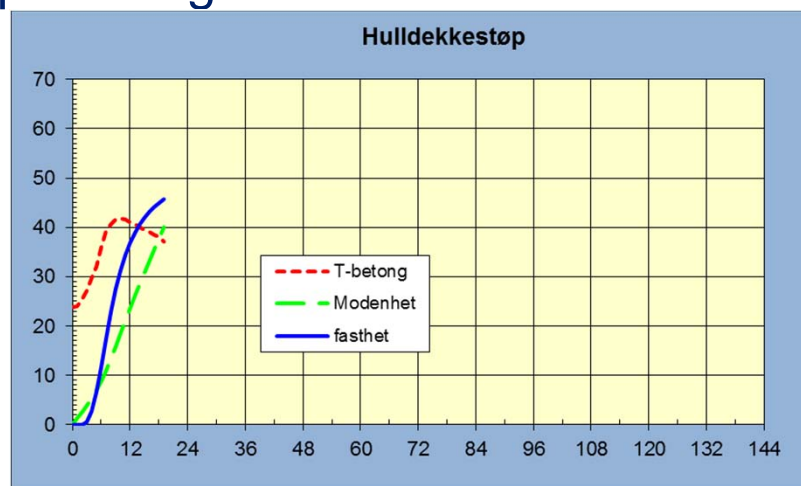


Hvilke muligheter har vi med Heatworks systemer?

- Oppvarming av betongen i forma
- Oppvarming av undergrunn
- Oppvarming av armering
- Styling av herdeforløpet
- Utvidet sesong

Eksempel fra Støping av hulldekker hvor det benyttes oppvarming

Alder:	H.temp:	20° C
	Modenhets	Fasthet
0,25	6,0 h	
0,50	12,0 h	20,3 Mpa
0,75	18,0 h	32,5 Mpa
1,00	24,0 h	34,5 Mpa
2,00	48,0 h	
3,00	72,0 h	43,0 Mpa
7,00	168,0 h	45,3 Mpa
28,00	672,0 h	56,5 Mpa



Slanger utenpå forsekaling:

- Slanger legges utenpå forsekaling for støping
- Trilles regulering av vassletemperatur
- HeatWork gir dag full kontroll på herdeprosessen

Rør i betong:

Gule på grunn eller i vegg
Rør i betongfundament.

- HV rørene festes på armeringen og støpes inn i betongfundament, gule slip
- Slangeantennene er avhengig av støpetemperatur
- Trilles regulering av vassletemperatur

HeatWork gir dag full kontroll på herdeprosessen

Slanger på gulv eller dekke etter støping:

- Diffusjonspermeabelt gule legges på gulv eller dekke etter støping
- Slanger legges på
- Dekkes med HV W røtter isolasjon
- Trilles regulering av vassletemperatur

HeatWork gir dag full kontroll på herdeprosessen

HeatWork sikrer fremdrift, kvalitet og økonomi.
Vi leverer komplette løsninger og materielle til herdeprosessen, små eller store prosjekt.
Kontakt oss.

HeatWork® Særlig utviklet for bruk av HeatWork i herdeprosessen.
www.heatwork.com

Can Heatwork give us the opportunity to get this also on the construction site – independent of the season?

Veien videre

Vi må synliggjøre verdiene ved bruk av Heatworks systemer for:

Byggherrer

- Økt kvalitet, på kort og lang sikt
- Økt framdrift, bedre kontroll
- Konsulenter må lage beskrivelser som setter riktige krav (ut over standard)

Entreprenører må se fordelene ved å anvende Heatworks maskiner og systemer

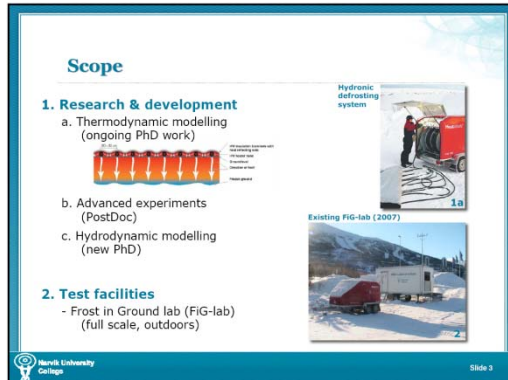
- Mer forutsigbar byggeprosess
 - Mindre feil
 - Økt framdrift, bedre kontroll
-
- Heatwork og Norut ønsker å være aktive partnere i (FoU)-prosjekter

Hvordan starter vi normalt samarbeid med bedrifter?

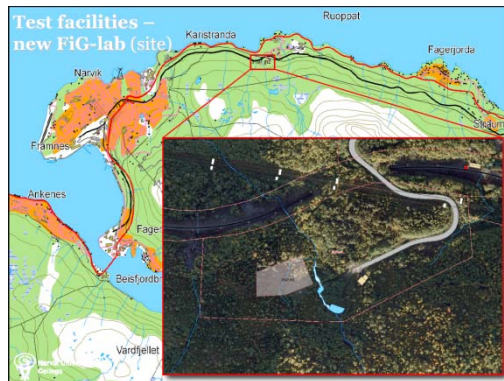
Starter ofte med små prosjekter med lavt forskningsinnhold

- Initieres som regel forskere hos Norut, (vi ønsker at bedrifter kommer til oss)
- Kompetansemeglingsprosjekter (VRI, NFK)
- Lav kostnad for bedrift (egeninnsats)
- Handler ofte om konkrete problemstillinger som bedriften ikke kan eller vil prioritere i den daglige driften
- Gir oss kunnskap om behov hos bedriften
- Gir bedriften kunnskap om hva vi kan tilby
 - Kompetanse
 - Fasiliteter
 - Nettverk
 - Finansieringsmuligheter (nasjonalt og internasjonalt)
- Leder ofte til lengre samarbeid i større prosjekter med høyere forskningsinnhold og/eller strategisk viktighet hos bedriften
- FoU-prosjekter kan utnyttes i markedet direkte eller indirekte gjennom intern kompetansebygging

Fundamentstøping og betongarbeider i kaldt klima med Heatwork

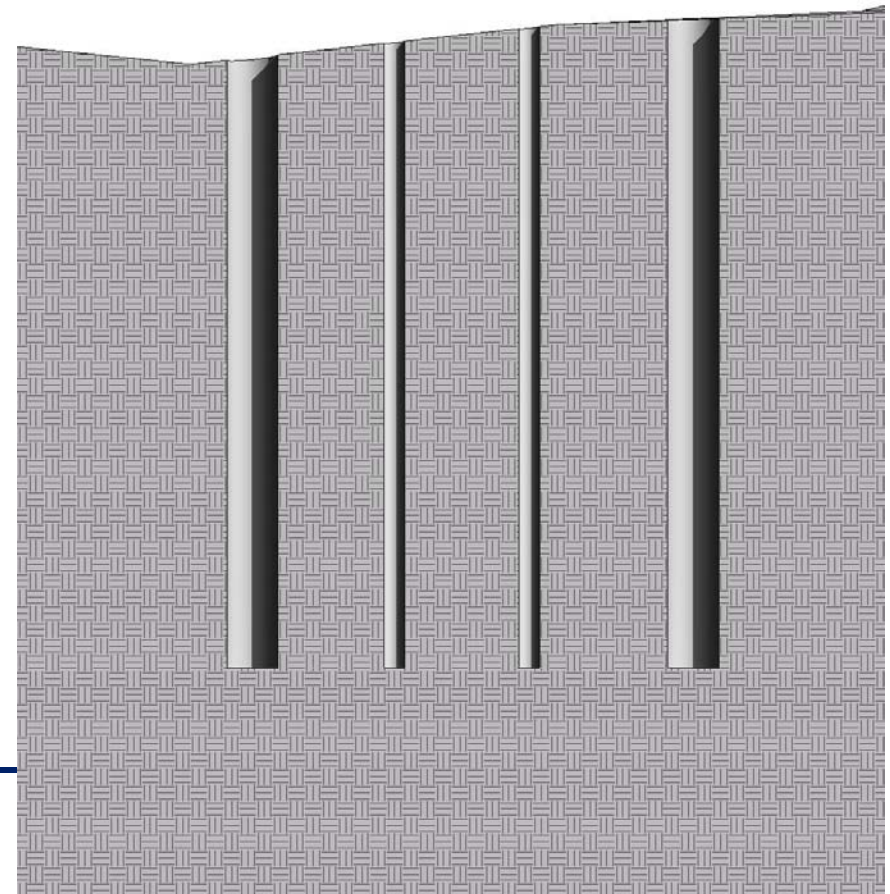


- Heatwork har siden etableringen samarbeidet med Høgskolen i Narvik for å øke kompetansen innenfor sitt kjerneområde og utvikle sine produkter
- Sammen med HIN og Norut og gjennom støtte fra VRI, Nordland Fylkeskommune og NFR (Coldtech) etablert en utendørslab for studier av tineprosesser i løsmasser
- Målsettingen er å utvikle og forbedre eksisterende termo- og hydrodynamiske modeller for energi- og massetransport i frosne løsmasser i tineprosessen



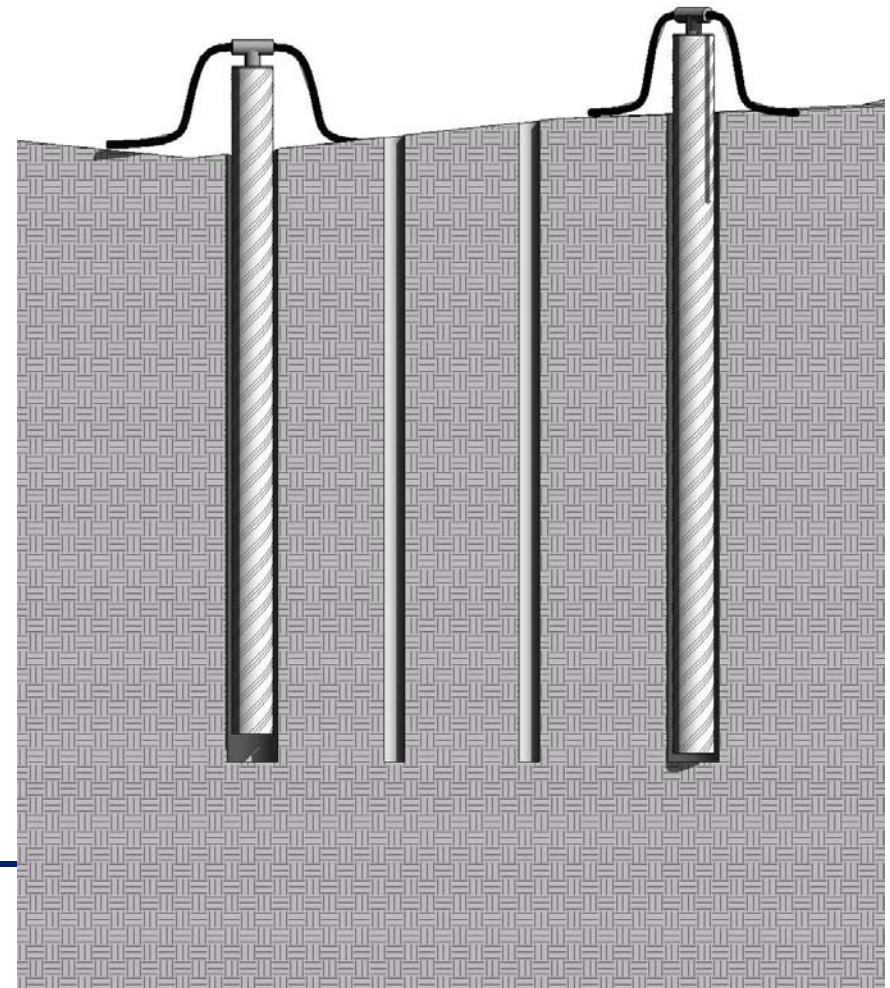
Vinterstøping av prefabrikkerte mastefundamenter

BOREHULL



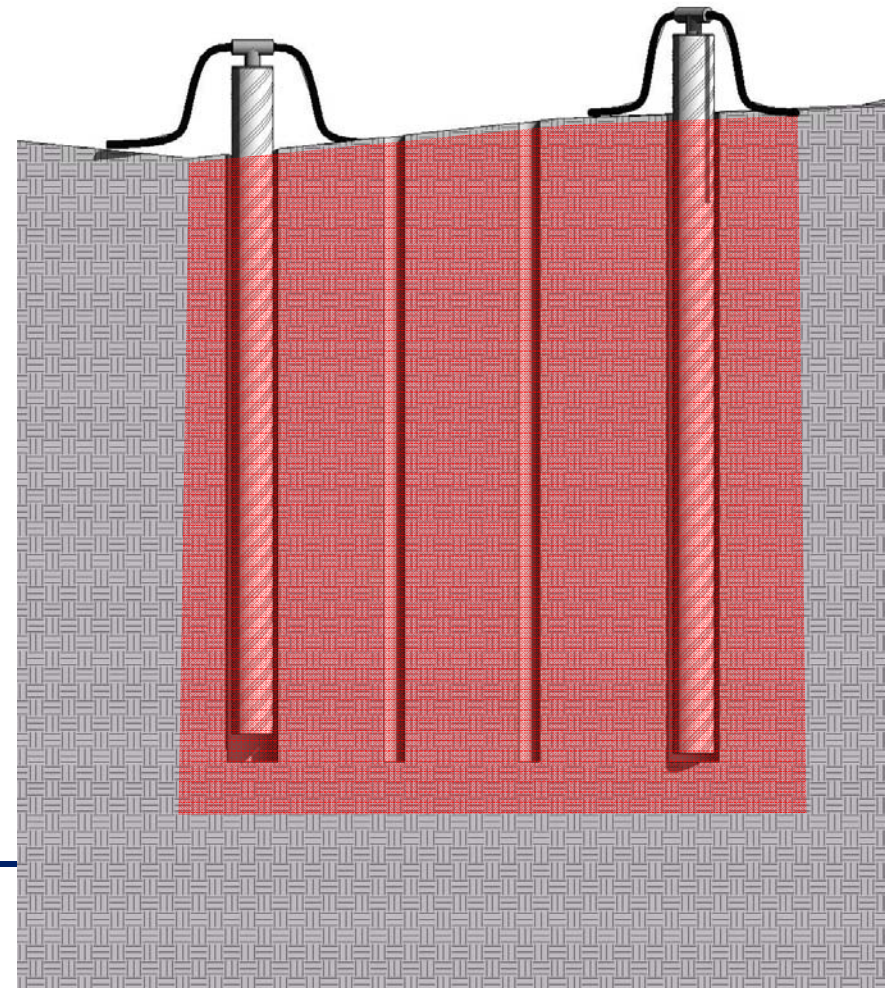
Vinterstøping av prefabrikkerte mastefundamenter

BOREHULL
ICEGUARD FRA HEATWORK



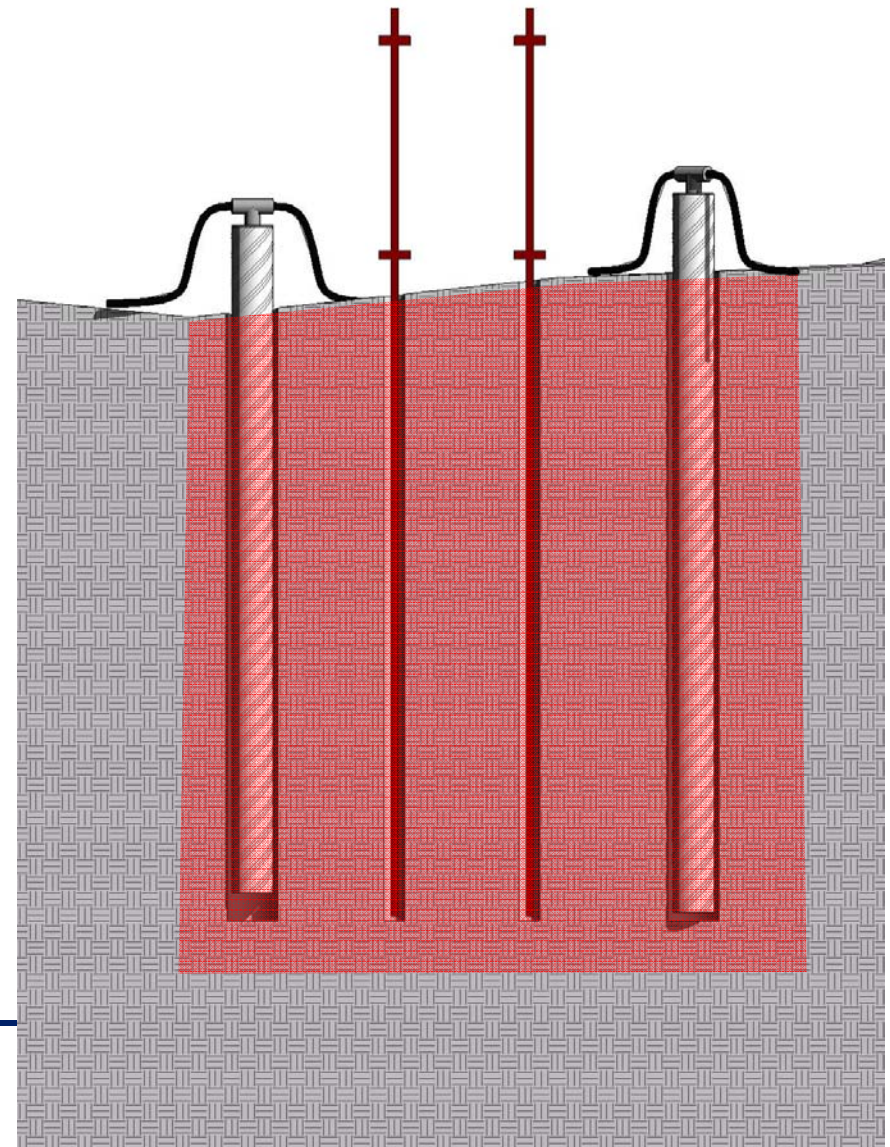
Vinterstøping av prefabrikkerte mastefundamenter

BOREHULL
ICEGUARD FRA HEATWORK



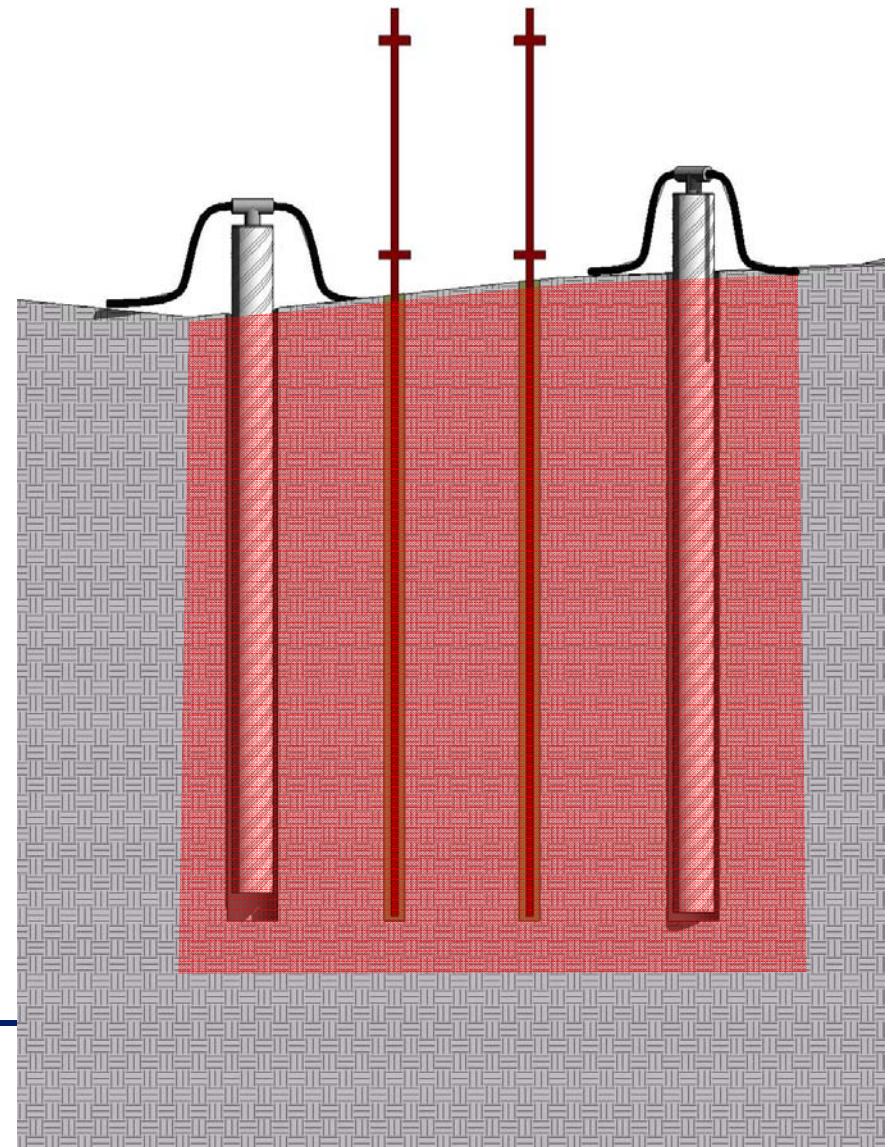
Vinterstøping av prefabrikkerte mastefundamenter

BOREHULL
ICEGUARD FRA HEATWORK
FJELLBOLTER



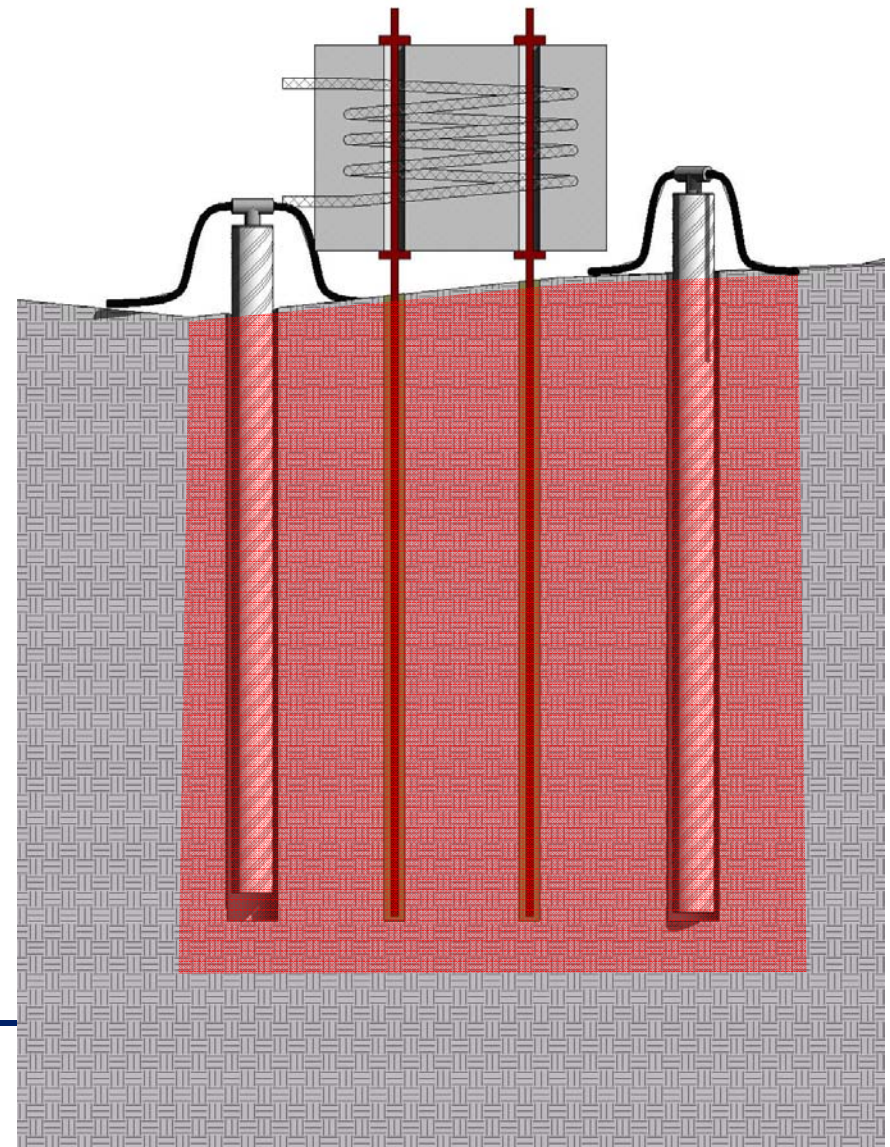
Vinterstøping av prefabrikkerte mastefundamenter

BOREHULL
ICEGUARD FRA HEATWORK
FJELLBOLTER
GYSING AV FJELLBOLTER



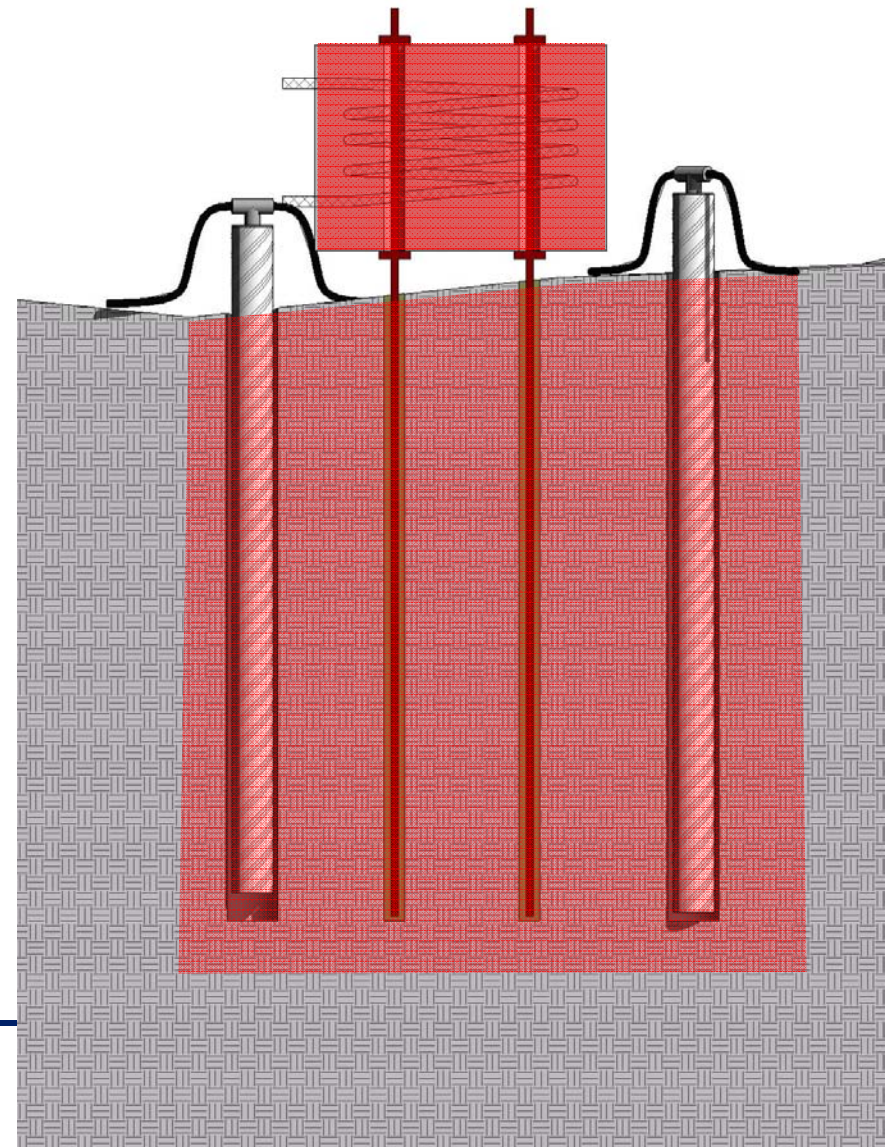
Vinterstøping av prefabrikkerte mastefundamenter

BOREHULL
ICEGUARD FRA HEATWORK
FJELLBOLTER
GYSING AV FJELLBOLTER
MONTERING OG JUSTERING AV
ELEMENT MED HEATCOIL



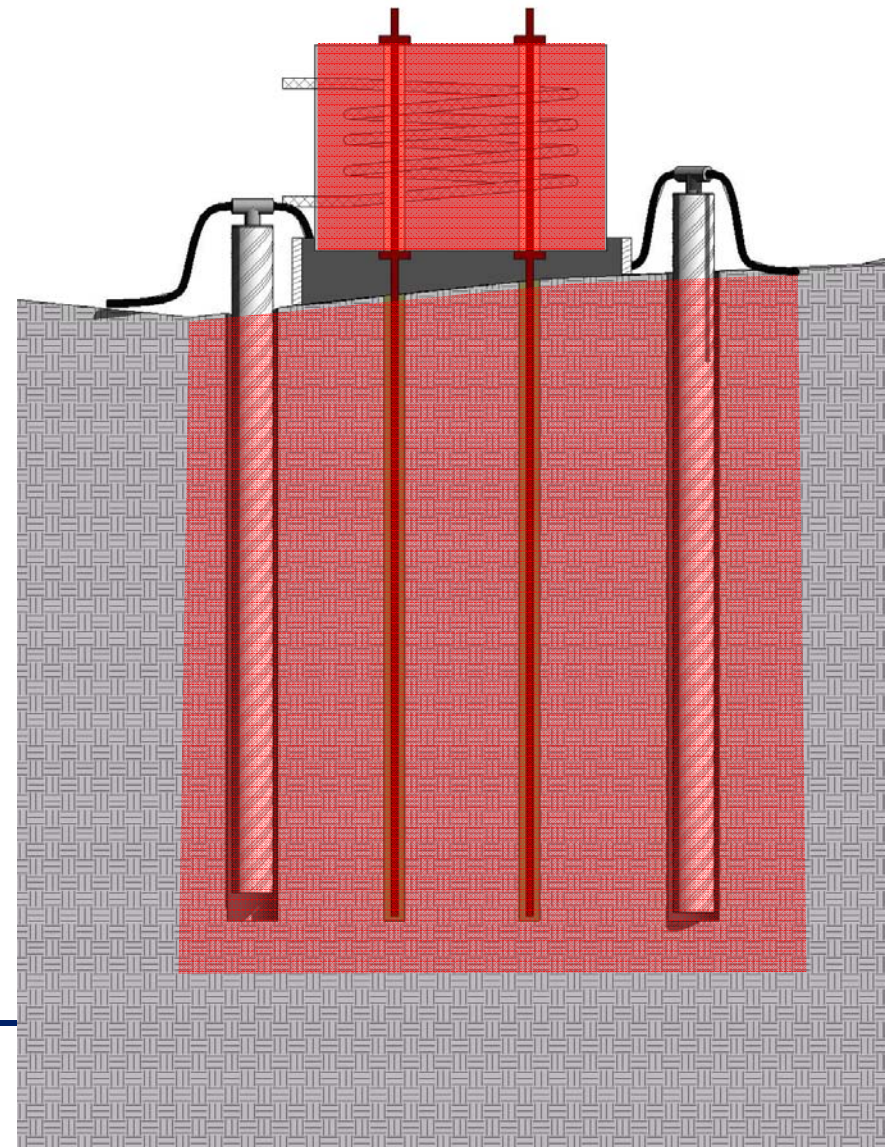
Vinterstøping av prefabrikkerte mastefundamenter

BOREHULL
ICEGUARD FRA HEATWORK
FJELLBOLTER
GYSING AV FJELLBOLTER
MONTERING OG JUSTERING AV
ELEMENT MED HEATCOIL



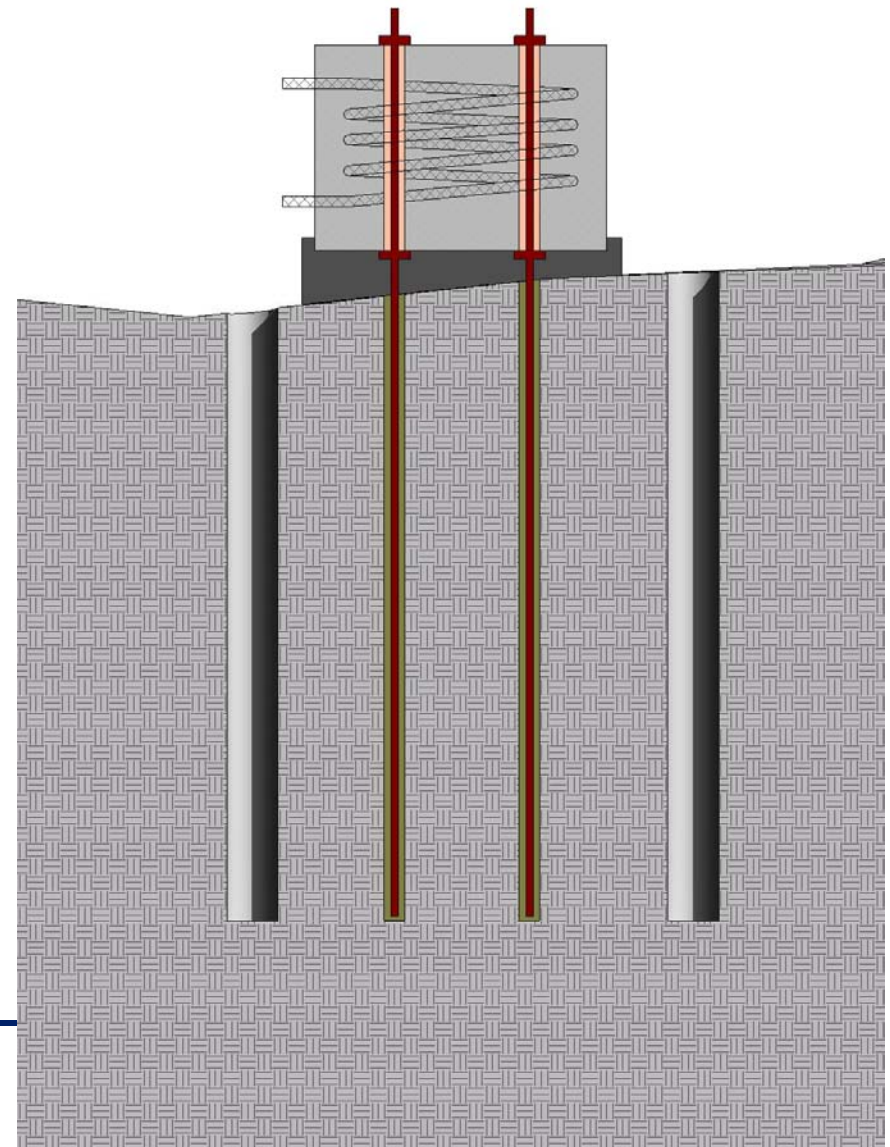
Vinterstøping av prefabrikkerte mastefundamenter

BOREHULL
ICEGUARD FRA HEATWORK
FJELLBOLTER
GYSING AV FJELLBOLTER
MONTERING OG JUSTERING AV
ELEMENT MED HEATCOIL
GYSING OG UNDERSTØP



Vinterstøping av prefabrikkerte mastefundamenter

BOREHULL
ICEGUARD FRA HEATWORK
FJELLBOLTER
GYSING AV FJELLBOLTER
MONTERING OG JUSTERING AV
ELEMENT MED HEATCOIL
GYSING OG UNDERSTØP
FERDIG STØPT FUNDAMENT



Takk for oppmerksomheten!

Kontakt:

Bård Arntsen

baard@norut.no



«Vi anvender FoU-prosjektene våre ikke bare aktivt mot markedet, men også internt for å øke motivasjon og kompetansen hos våre medarbeidere»

Ove H. Lorentzen

Daglig leder Betong og Entreprenørsenteret