



SINTEF Bygg og miljøteknikk
Geoteknikk

Postadresse: 7465 Trondheim
Besøksadresse: Høgskoleringen 7
Telefon: 73 59 46 00
Telefaks: 73 59 53 40

Foretaksregisteret: NO 948 007 029 MVA

SINTEF RAPPORT

TITTEL

**Miljøriktige isolasjonsprodukter for BA-bransjen.
Sluttrapport DP1: Leca frostsikring - veg, bane og grøft.**

FORFATTER(E)

Tone Furuberg, Inge Hoff, Odd Magne Solheim

OPPDRAAGSGIVER(E)

as Norsk Leca

RAPPORTNR. STF22 F99620	GRADERING Prosjektintern	OPPDRAAGSGIVERS REF. Kjell Ove Amundsgård	
GRADER. DENNE SIDE Åpen	ISBN	PROSJEKTNR. 22K110	ANTALL SIDER OG BILAG 57
ELEKTRONISK ARKIVKODE I:\Pro\22k110\sluttrapport_dp1_endelig_TFU.doc		PROSJEKTLÉDER (NAVN, SIGN.) Arnstein Watn	VERIFISERT AV (NAVN, SIGN.) Even Øiseth
ARKIVKODE 611	DATO 2000-07-07	GODKJENT AV (NAVN, STILLING, SIGN.) Geir Svanø, Forskningsjef	

SAMMENDRAG

Hovedmålet for prosjektet "Miljøriktige isolasjonsprodukter for BA-bransjen" har vært å utvikle miljøriktige og konkurransedyktige isolasjonsprodukter og løsninger for bygge og anleggsbransjen. Prosjektet har omfattet laboratorieforsøk, analyser og feltarbeid.

Det er gjort en rekke undersøkelser for å bestemme mekaniske egenskaper for Leca Lettklinker; innbyggingsforsøk, storødometerforsøk, sykliske treaksforsøk, storskalamodell og feltundersøkelser. Forsøk viser at Leca Lettklinker har tilnærmet samme mekaniske egenskaper som andre vegbyggingsmaterialer - forutsatt at spenningsnivået ikke er så høyt at knusing oppstår. Storskalaforsøket med dynamisk belastning på vegkonstruksjon ble utført for å dokumentere Leca lettklinker sin virkemåte i veg. Resultatene fra undersøkelsene viser at Leca Lettklinker har mekaniske egenskaper som gjør at materialet i mange tilfeller kan benyttes som kombinert frostsikring og forsterkningslag.

Varmedningsevne for Leca Lettklinker er 0.1 til 0.25 W/mK avhengig av fukt, temperatur og densitet. For fuktig Leca gir volumetrisk varmekapasitet og latent varme et viktig bidrag til frostmotstand. Ved frostsikring av veg og bane har vanninnhold i Leca Lettklinker lite å si for lagets frostmotstand siden høyere varmedningsevne oppveies av større varmekapasitet og latent varme.

Leca Lettklinker reduserer frostnedtrengning og nødvendig konstruksjonshøyde for full frostsikring og endrer tineforløp for konstruksjon og undergrunn slik at reduksjon av bæreevne ved eventuell gjennomfrysing blir mindre. Foreløpig vurdering tyder på at ising på veg med Leca er tilnærmet som for tradisjonell veg bygget med asfalt og knust stein.

STIKKORD	NORSK	ENGELSK
GRUPPE 1	Geoteknikk	Geotechnical Engineering
GRUPPE 2	Vegteknikk	Highway Engineering
EGENVALGTE	Ekspandert leire (Leca)	Expanded clay (Leca)
	Forsøk	Testing
	Analyser	Analyses

FORORD

Prosjektet "Miljøriktige isolasjonsprodukter for BA-bransjen", MiljøIso-prosjektet, er et forsknings- og utviklingsprosjekt startet av a.s Norsk Leca med støtte fra Norges forskningsråd. Hovedmålet for prosjektet har vært å utvikle miljøriktige og konkurransedyktige isolasjonsprodukter og løsninger for bygge og anleggsbransjen. Prosjektet er utført i perioden 1997-1999.

Denne rapporten oppsummerer arbeidene som er gjort i delprosjekt 1 "Leca frostsikring - veg, bane og grøft". Målsettingen med rapporten er å gi et sammendrag av utførte arbeider og resultater. For detaljerte resultater vises det til de enkelte fagrapportene i referanselisten.

SINTEF Bygg og miljøteknikk, Geoteknikk har vært faglig ansvarlig for gjennomføring av prosjektet. Hoveddelen av laboratoriearbeidene inkludert storskalaforsøk er utført av SINTEF Bygg og miljøteknikk, Vegteknikk. Institutt for Geoteknikk, NTNU har utført storødometerforsøk. Til dette arbeidet har det vært knyttet flere studentoppgaver.

Statens vegvesen Nord Trøndelag har gitt tillatelse til og deltatt i oppgraving og feltundersøkelse av en Leca-fylling på riksveg 753 ved Tysknebben.

Hovedrapporten er skrevet av Tone Furuberg, SINTEF. Kapittel 7 er utarbeidet av Odd Magne Solheim, GeoPartner as, som også har bidratt med gjennomlesning og kommentarer. Inge Hoff, Leif Jørgen Bakløkk og Arnstein Watn ved SINTEF samt Kjell Ove Amundsgård og Jon Hauge hos a.s Norsk Leca har kommet med innspill og korreksjoner underveis.

Arbeidene i MiljøIso-prosjektet videreføres i et internordisk samarbeidsprosjekt i regi av Optiroc Group Exclay. Både as Norsk Leca og SINTEF Bygg og miljøteknikk deltar i prosjektet som blant annet omfatter et feltforsøk i Trondheim.

SINTEF Bygg og miljøteknikk takker as Norsk Leca ved Oddvar Hyrve, Kjell Ove Amundsgård og Jon Hauge for et meget godt samarbeid og for et interessant og utviklende oppdrag.

INNHALDSFORTEGNELSE

SAMMENDRAG5

1	MiljøIso-prosjektet.....	11
2	ANVENDELSE OG PROBLEMSTILLINGER.....	13
2.1	Anvendelsesområder.....	13
2.2	Problemstillinger ved bruk av Leca Lettklinker i veg, bane og grøft.....	13
2.2.1	Leca Lettklinker som isolasjonsmateriale	13
2.2.2	Leca Lettklinker som byggemateriale i veg og bane.....	14
2.3	Miljø	14
3	UTFØRTE UNDERSØKELSER.....	16
3.1	Laboratorieforsøk	16
3.2	Storskala modellforsøk	16
3.3	Feltundersøkelser.....	16
3.4	Feltforsøk med Leca Lettklinker	17
3.4.1	Frostforsøk ved Gardermobanen på Leirsund	17
3.4.2	Feltforsøk på Sandmoen - en internordisk videreføring av MiljøIso-prosjektet	18
3.5	Beregninger og numeriske analyser.....	19
3.5.1	Spenningsanalyse av typiske vegkonstruksjoner med og uten Leca Lettklinker.....	19
3.5.2	Analyser av spenningsforholdene i storskala laboratorieforsøk.....	19
3.5.3	Termiske analyser av vegkonstruksjoner med og uten Leca Lettklinker	19
3.5.4	Numeriske analyser for å bestemme isingsrisiko på veg med og uten Leca Lettklinker.....	19
4	FYSISKE OG ANLEGGSTEKNISKE EGENSKAPER	21
4.1	Vanninnhold i felt.....	21
4.2	Vekt og volumforhold	21
4.3	Utlekking og komprimeringsegenskaper.....	23
4.4	Bestandighet	24
5	MEKANISKE EGENSKAPER	26
5.1	Stivhet	26
5.1.1	Motstand mot deformasjon under statisk last, ødometermodul.....	26
5.1.2	Elastisk stivhet	27
5.2	Motstand mot permanente deformasjoner - skjærstyrke	29
5.2.1	Grensevinkler for elastisk tilstand og brudd.....	29
5.2.2	Tidligere statiske treksforsøk ved NGI.....	30
5.3	Storskala modellforsøk og feltundersøkelser.....	30
5.3.1	Storskala modellforsøk.....	30
5.3.2	Feltundersøkelse av lettfylling ved Tysknebben	35
6	VARMETEKNISKE EGENSKAPER OG TERMISK VIRKEMÅTE	37
6.1	Varmetekniske egenskaper	37
6.1.1	Målt varmeledningsevne	37
6.1.2	Volumetrisk varmekapasitet.....	38
6.1.3	Fryse- og tinevarme for Leca Lettklinker.....	38
6.2	Erfaring fra frostforsøkene ved Gardermobanen på Leirsund.....	39
6.3	Fuktopptak og frostsikringsegenskaper	39
6.4	Dimensjonering av Leca-lag for full frostsikring	40
6.4.1	Effekt av frostsikring	42
6.4.2	Redusert frostnedtrengning.	42
6.4.3	Redusert telehiv ved delvis frostsikring med Leca Lettklinker	42
6.4.4	Gunstigere tineforløp og større bæreevne i teleløsningen.....	42
6.4.5	Ising	43
6.5	Termisk virkemåte i hovedtrekk.....	44

7	PRAKTISK BRUK AV LECA LETTKLINKER.....	46
7.1	Aktuelle bruksområder	46
7.1.1	Leca som lett fyllmasse.....	46
7.1.2	Leca Lettklinker som frostisolasjon	46
7.2	Bygging med Leca Lettklinker	49
7.2.1	Levering	49
7.2.2	Utlekking.....	50
7.2.3	Komprimering og innbygging.....	52
7.3	Bruk av Leca Lettklinker til frostsikring av jernbaner, veger og grøfter.....	52
7.3.1	Krav til frostsikring.....	52
7.3.2	Aktuelle løsninger med bruk av Leca Lettklinker.....	53
8	REFERANSER.....	57

SAMMENDRAG

MiljøIso-prosjektet

Prosjektet "Miljøriktige isolasjonsprodukter for BA-bransjen", MiljøIso-prosjektet, er et forsknings og utviklingsprosjekt startet av as Norsk Leca med støtte fra Norges forskningsråd. Hensikten med prosjektet er å utvikle miljøriktige og konkurransedyktige isolasjonsprodukter og løsninger for bygge og anleggsbransjen. Delprosjekt 1 er rettet mot bruk av Leca Lettklinker for isolasjonsformål i anleggssektoren - det vil si i veg, jernbane og grøft. Denne rapporten gir et sammendrag av arbeidene som er gjort i delprosjekt 1.

Problemstillinger

Lettklinker brukes både som isolasjonsmateriale og som et byggemateriale - blant annet i lette fyllinger.

Hensikten med å benytte Leca Lettklinker i veg og bane er å hindre tele og setningsskader og å redusere vedlikeholdskostnader på sikt. Bruk av lettklinker gir i mange tilfeller miljøgevinst, blant annet ved redusert gravedybde og konstruksjonshøyder i forhold til veg eller bane uten Leca. Dette gir besparelser i transport og gravearbeider, redusert anleggstrafikk i områdene nær byggeplassen, redusert overskuddsmasse og mindre arealbehov.

Brukt som isolasjonsmateriale er det viktig å kjenne varmetekniske egenskaper og hvordan disse eventuelt endres over tid. For et materiale i veg og bane er det samtidig viktig å kjenne styrke, stivhet og bestandighet. En stor del av innsatsen i prosjektet er derfor rettet inn mot å dokumentere mekaniske egenskaper for Leca Lettklinker.

Fysiske og anleggstekniske egenskaper

Mekaniske og termiske egenskaper for Leca Lettklinker er avhengig av materialets densitet. Termiske egenskaper er i tillegg påvirket av vanninnhold. Vanninnhold for Leca Lettklinker i felt er målt i noen fyllinger med varierende alder og innbygging. Målte verdier varierer mellom 15 og 45 vekt %, (ca 5 - 15 volum %).

I innledende laboratorieforsøk var hensikten blant annet å finne egnede innbyggingsmetoder for prøver til forsøk. Samtidig ble densitet for løst lagret Leca og effekt av komprimering bestemt. Innbyggingsforsøkene viser at god komprimering oppnås tidlig i forsøkene, spesielt ved vibrering av prøvene.

Densitet for Leca Lettklinker, kg/m³. Ulike fraksjoner fra samme utgangsmateriale.

Sortering	Løst lagret tørr Leca	Leca kompaktet i felt (*)	
	MiljøIso-måling	Tørr Leca kompaktet	Fuktig Leca 25 vekt % vann
Leca 0-32	335	370	460
Leca 4-20	295	330	410
Leca 10-20	280	310	390

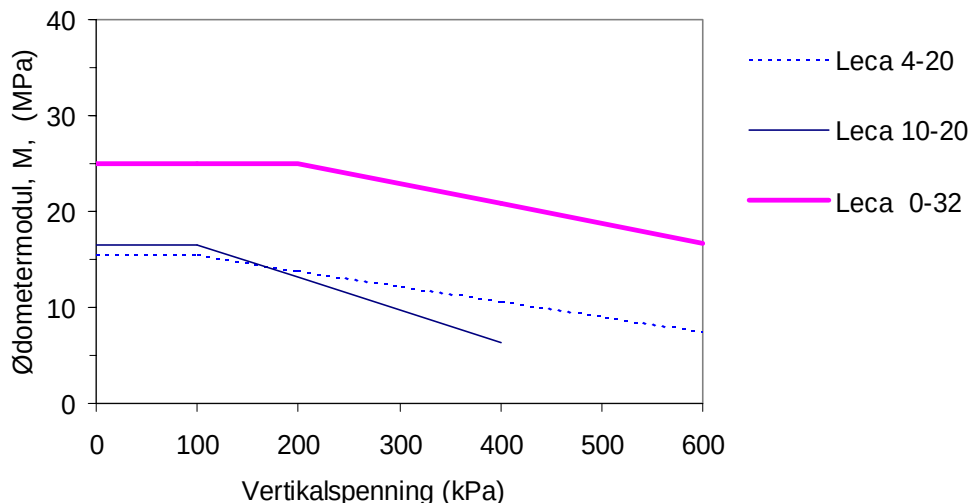
(*) Målt løs lagring MiljøIso-prosjektet og antatt 10 % volumreduksjon ved utlegging.

Undersøkelser av knusningsgrad for Leca Lettklinker i felt og under forsøk tyder på at knusing eller skader er relatert til utlegging og kompaktering. Frostforsøk i laboratorium viser også at

gjentatt frysing og tining av vannmettet Leca Lettklinker ikke gir signifikante knusing eller avskalling av Leca kulene.

Motstand mot deformasjon under statisk last

Høy motstand mot deformasjon under statisk last er blant annet viktig for å unngå skadelige egensetninger i lettklinker fyllinger. Et ekstra stort ødometer (Ø 500 mm, H 580 mm) benyttes for å bestemmes stivhet for Leca Lettklinker under statisk last. Resultatene er oppsummert i form av idealiserte modulkurver.



Idealiserte modulkurver for komprimert Leca Lettklinker.

Resultatene fra ødometerforsøkene viser at modulen er konstant inntil økningen i middelspenning gir avskalling eller tendens til knusing i Leca-kulene. Når spenningsnivået medfører knusing av kornene resulterer dette i redusert stivhet for Leca-materialene, men på lavere spenningsnivåer har Leca-materialet en stivhet på linje med tradisjonelle vegbyggingsmaterialer som sand og grus. Forsøk på løst ifyllt Leca Lettklinker ga meget lave stivheter, ca 1/3 av stivhet for komprimert Leca. Dette resultatet understreker betydningen av god komprimering.

Spenningsnivået for en vegkonstruksjon vil variere vesentlig avhengig av tykkelse og stivhet for de ulike lagene. Tillatt hjultrykk i Norge er 900 kPa. Denne spenningen blir redusert nedover i konstruksjonen. I toppen av forsterkningslaget vil vertikalspenningene variere fra 50 til 400 kPa.

Motstand mot deformasjon under vekslende last

Høy elastisk stivhet av materialene i veg og bane skal sikre god lastspredning og hindrer store elastiske nedbøyninger som kan gi utmatting og oppsprekking av asfaltdekket på veg. Elastisk stivhet for Leca Lettklinker er bestemt på grunnlag av sykliske treksialforsøk med realistisk simulerte trafikklaste.

E-moduler for Leca sammenlignet med moduler for Hovinmoen grus og Åndalen pukk.

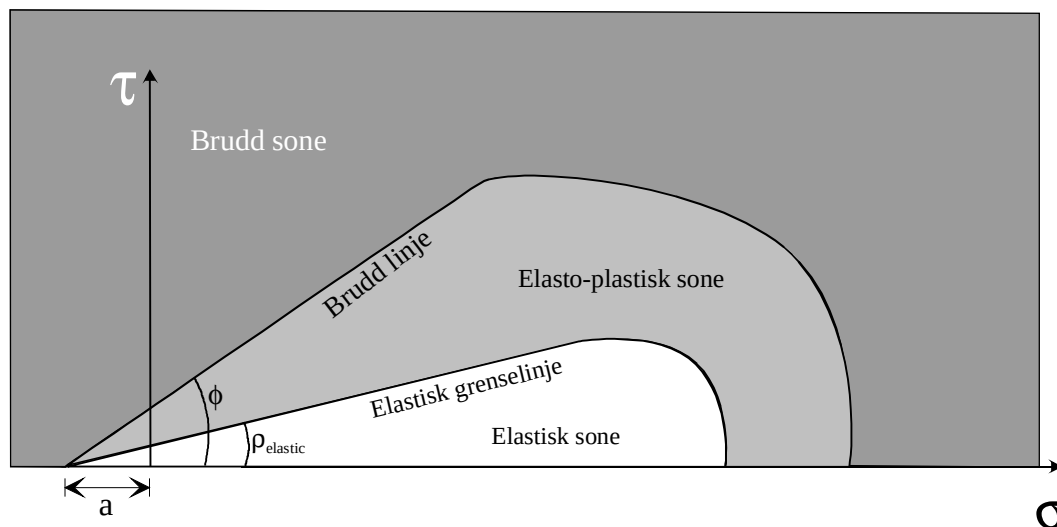
Middel spenning (kPa)	E-modul fra sykliske treksforsøk (MPa)			
	Leca 10-20	Leca 0-32	Grus 0-22	Pukk 0-22
50	110	250	110	290
100	200	350	160	350
150	210	450	210	410

Resultatene viste at Leca Lettklinker har elastisk stivhet på linje med tradisjonelle vegbyggingsmaterialer. *Forutsetningen er at belastningsnivå ikke er så stort at det medfører vesentlig nedknusing av Leca-kulene.* Dette må ivaretas gjennom en skånsom innbygging og ved valg av tilstrekkelig overdekning, både under anleggsperioden og i den ferdige konstruksjonen.

Grensevinkler for elastisk tilstand og brudd

Det er viktig at trafikklaster på veg og bane ikke gir permanent deformasjon av Leca-laget som kan forplante seg til overflaten og resultere i hjulspor eller sporfeil. Dimensjonering må sikre at spenningene i Leca-laget holdes innenfor det elastiske området. De sykliske treaksialforsøkene ga grunnlag for å bestemme grensevinkler for elastisk tilstand og brudd.

Dimensjonering av vegkonstruksjoner i Norge er ikke basert på analyser av spenninger og forventet skadeutvikling. Den viktigste nytten av disse vinklene er derfor å kunne sammenligne Leca Lettklinker og andre materialer. Det arbeides imidlertid med å utvikle et analytisk dimensjoneringssystem (Nivå 3) der disse parameterne inngår som viktige element.



Bruddflater for Leca Lettklinker. Verdier for bruddvinkel, ϕ , og grensevinkel, ρ_{elast} , for elastisk tilstander gitt i tabellen under.

For å kunne sammenligne resultatene på Leca lettklinker med forsøk på grus og pukk ble resultatene tolket med en *tilsynelatende* attraksjon på 100 kPa. Dette er en parameter som sammen med grensevinklene, gir en realistisk plassering av bruddlinje og elastisk grenselinje for middelspenninger i området 25 til 175 kPa.

Grensevinkler for brudd, ϕ , og elastisk tilstand ρ_{elast} , for Leca, grus og pukk. Resultatene er tolket med en tilsynelatende attraksjon, $a = 100$ kPa.

Grense- vinkler	Leca Iso 10 – 20 mm	Leca Lettklinker 0 – 32 mm	Grus, Hovinmoen 0 – 22 mm	Pukk, Åndalen 0 – 22 mm
ϕ	18	25	24	37
ρ_{elast}	11	21	10	18

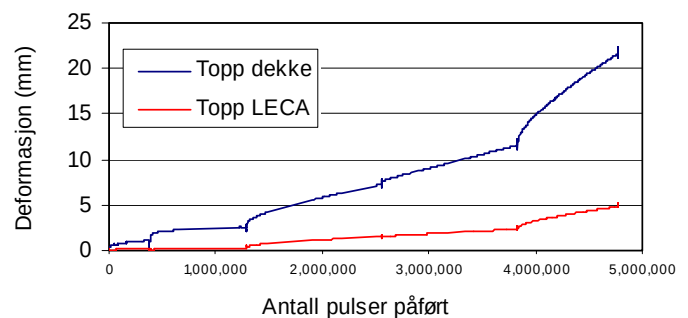
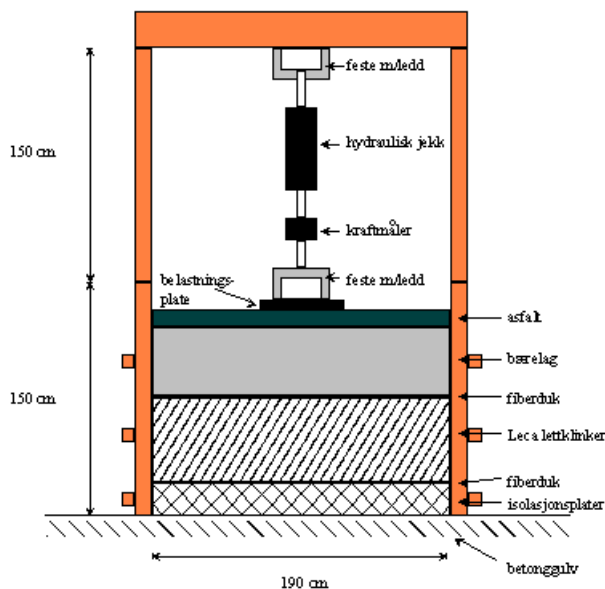
Elastisk grense, ρ_{elast} , for Leca Lettklinker ligger nærmere bruddgrensen, ϕ , enn for tradisjonelle vegbyggingsmaterialer. Dette betyr at en bør være mer forsiktig med å belaste Leca Lettklinker helt opp mot elastisk grense enn ved bruk av tradisjonelle vegbyggingsmaterialer.

Bruddlinjen bestemt fra sykliske forsøk må ikke forveksles med friksjonsvinkler fra statiske treaksialforsøk. Statisk bruddverdi ligger høyere enn den sykliske. Statisk verdi er nyttig for stabilitetsberegninger og lignende, men er i liten grad relevant for å vurdere oppførsel til konstruksjoner utsatt for trafikkbelastning. I MiljøIso-prosjektet er det ikke utført ordinære treaksial forsøk, men NGI har tidligere utført slike forsøk på Leca Lettklinker.

Erfaring fra storskalaforsøk og feltundersøkelser ved Tysknebben

For å dokumentere mekaniske egenskaper for Leca Lettklinker innebygget i veg ble det bygget en fullskalamodell av en vegkonstruksjon i laboratoriet. Modellen har 48 cm overbygning på et lag med komprimert Leca 10–20. Modellen er bygget for ÅDT 5000 og var instrumentert slik at spenninger og deformasjoner kunne måles.

Totalt sett ga de påførte belastningene små deformasjoner i Leca-laget, og samvirket mellom lettklinker og øvrige materialer var godt. Etter forsøket var Leca-materialet i tilnærmet samme tilstand som før start.



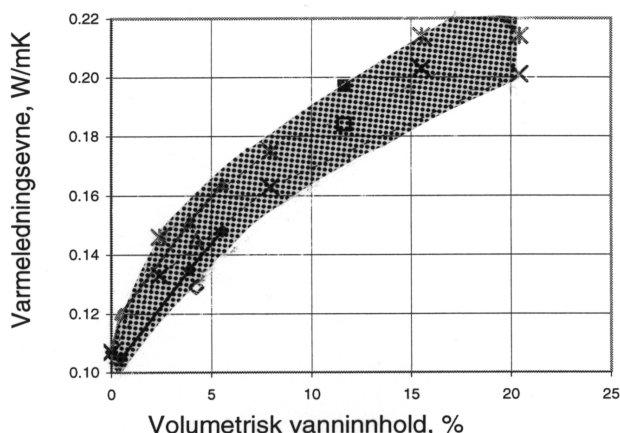
Hydraulisk belastningssystem for storskalaforsøket og permanent deformasjon målt under belastningsplaten i toppen av dekket og i toppen av Leca-laget.

På riksveg 753 i Nord-Trøndelag ble det i 1997 anlagt en Leca Lettklinker fylling på bløt grunn. Overbygningen er kun 42 cm tykk inkludert 10 cm asfaltdekke. Etter 1.5 års trafikk var det ikke tegn til hjulspor eller oppsprekking i asfalten. Leca-kulene var lite skadet og fyllingen var godt komprimert og hadde god bæreevne.

Storskalaforsøket sammen med resultatene fra feltundersøkelsen, tyder på at Leca Lettklinker kan benyttes med betydelig mindre overdekning enn det som er gitt i veg-normalen, hvor Leca defineres som undergrunn (klasse 4). En aktuell overdekning over Leca for en veg med ÅDT 5000 vil da være 73 cm, inkludert et 50 cm tykt forsterkningslag. Samlet viser resultatene fra MiljøIso-prosjektet at Leca Lettklinker kan inngå som en del av forsterkningslaget og benyttes med betydelig mindre overdekning enn det som er gjeldende retningslinjer.

Termisk virkemåte

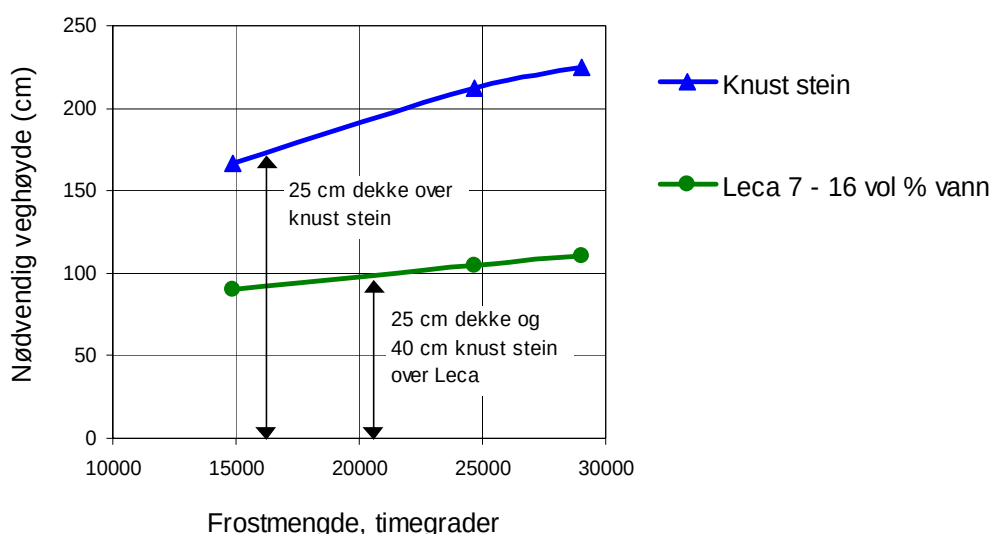
Hensikten med frostsikring av veg er å redusere eller forhindre telehiv og derved forhindre skader på vegdekke og selve vegkonstruksjonen.



Varmeledningsevne, λ_{10} , for Leca Lettklinker ved 10°C.

Bruk av Leca Lettklinker gir redusert frostnedtrengning om vinteren og bedre bæreevne i teleløsningen. Gjennomfrysing av et lag Leca Lettklinker er tilnærmet uavhengig av vanninnhold. Det vil si at fukt i Leca-materialet ikke har særlig betydning for vegkonstruksjonens motstand mot gjennomfrysing. Etter gjennomfrysing av lettklinkeren er frostnedtrengning i grunnen avhengig av vanninnholdet i Leca. Men selv da gir veg med Leca langt mindre frostnedtrengning enn veg uten Leca.

Selv om frosten trenger gjennom Leca-laget i løpet av en ekstra kald vinter, så vil frostsikringen med Leca likevel redusere telehiv. Dette skyldes redusert frostnedtrengning og kortere periode med frost i undergrunnen. Samtidig gir Leca bedre bæreevne i teleløsningsperioden - blant annet fordi Leca-laget endrer forløpet av tining i den frosne undergrunnen.



Nødvendig høyde av frostsikret veg med og uten Leca, Klimadata fra Drammen.

Overdekning over Leca Lettklinker er tilsammen 25 cm dekke og bærelag samt 40 cm knust stein.

Sammenlignet med knust stein har Leca Lettklinker materialet stabil kvalitet og godt dokumentert varmeledningsevne. Dette gir jevn kvalitet og mindre risiko for punktvis gjennomfrysing på en frostsikret strekning. Bruk av lettklinker gir også mulighet for full frostsikring uten at høyden på vegkonstruksjonen må økes drastisk i forhold til hva som kreves for å oppnå tilstrekkelig bæreevne.

Isingsrisiko

Ising på veg kan skje selv om lufttemperaturen er over 0°C, forutsetningen er at dekketemperaturen er under 0°C. Forskjell mellom dekketemperatur og lufttemperatur skyldes hovedsakelig varmeutstråling fra vegdekket til atmosfære i netter med klart vær.

Oppbygging av en veg og plassering av isolasjon påvirker isingsømfintligheten fordi den bestemmer vegens evne til å kompensere for varmetap fra overflaten ved å tilføre varme nedenfra. Høy varmeledningsevne for et tynnt dekke og fuktige lag høyt oppe i vegkonstruksjonen reduserer isingsømfintligheten for vegen.

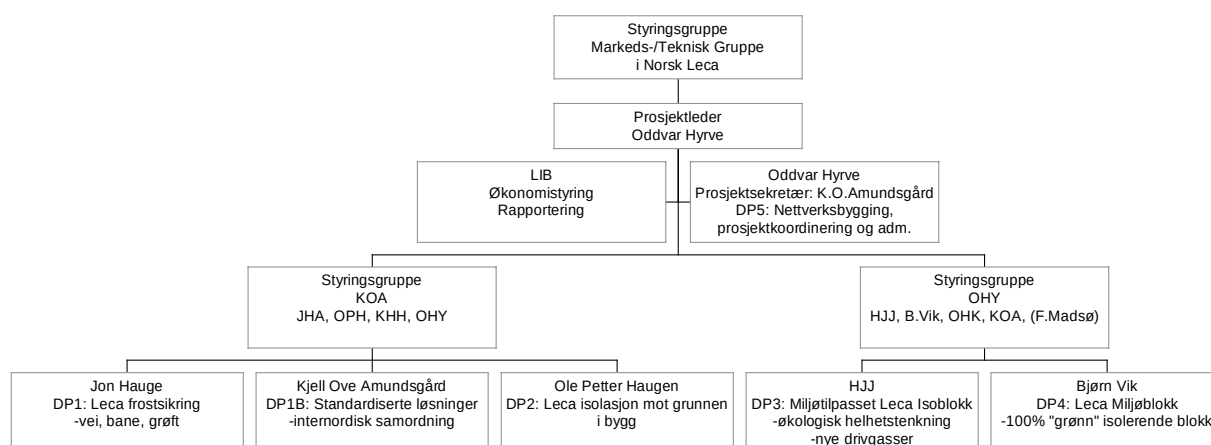
I MiljøIso-prosjektet er det gjort varmemobalanseregninger for vegoverflaten for veg med og uten Leca. Resultatene fra beregningene og fra svenske feltforsøk viser at det trolig er liten forskjell mellom dagens uisolert veg bygget med tykt dekke og knust stein, og veg som er isolert med Leca Lettklinker.

1 MiljøIso-prosjektet

MiljøIso-prosjektet er et forsknings- og utviklingsprosjekt startet av as Norsk Leca med støtte fra Norges forskningsråd. Prosjektet ble utført i perioden 1997-1999. Hovedmålet for prosjektet har vært å utvikle miljøriktige og konkurransedyktige isolasjonsprodukter og løsninger for bygge og anleggsbransjen.

Oversikt over MiljøIso-prosjektet med 5 delprosjekter er vist i figur 1. Prosjektet er ledet av a.s Norsk Leca. Delprosjekt DP1, DP1b og DP2 omhandler Leca Lettklinker anvendt i løs form, hvor hovedtyngden av FOU arbeidet er utført av SINTEF Bygg og miljøteknikk, NBI, og NTNU, Institutt for geoteknikk. GeoPartner as og NGI har også vært involvert i deler av prosjektet. I tillegg er det utført flere studentoppgaver ved NTNU i tilknytning til prosjektet. SINTEF Bygg og miljøteknikk, Geoteknikk, har hatt faglig ansvar for gjennomføring av delprosjekt 1.

Statens vegvesen Nord-Trøndelag har gitt tillatelse til og deltatt i feltundersøkelse av en Leca fylling på riksveg 753 ved Tysknebben.



Figur 1.1 Organisering av MiljøIso-prosjektet.

Denne rapporten oppsummerer arbeidene som er gjort i MiljøIso-prosjektet - delprosjekt 1; "Leca frostsikring - veg, bane og grøft", som er rettet mot bruk av Leca Lettklinker for isolasjonsformål i anleggssektoren.

Delprosjekt 1 ble innledet med en forstudie for å identifisere de viktigste problemstillingene i forbindelse med Leca Lettklinker for anleggssektoren. Prosjektet er i stor grad formet underveis i prosjektperioden med hovedmålet "Miljøvennlige isolasjonsprodukter" som rettesnor. Hver ny deloppgave i prosjektet er planlagt på grunnlag av resultater fra de forutgående arbeider.

Det ble tidlig klart at det ikke er nok å vise at Leca Lettklinker er et velegnet isolasjonsmateriale. I tillegg kreves dokumentasjon på at Leca oppfyller de krav som stilles til materialer i veg, jernbane og grøft. Derfor ble en stor del av innsatsen i prosjektet rettet inn mot å dokumentere mekaniske egenskaper for Leca Lettklinker. I delprosjekt 1 er det utført både laboratorieforsøk, storskala-forsøk, analyser og feltundersøkelser.

Utførte termiske analyser bygger delvis på resultater fra delprosjekt 2 hvor varmeledningsevne for Leca Lettklinker ble målt. Det har vært flere felles møter på tvers av delprosjektene for å diskutere og overføre erfaring mellom de ulike prosjektdeltakerne.

Arbeidene i MiljøIso-prosjektet videreføres i et internordisk samarbeidsprosjekt i regi av Optiroc Group Exclay. as Norsk Leca og SINTEF Bygg og miljøteknikk deltar i prosjektet som blant annet omfatter et feltforsøk i Trondheim. Hovedmålet for feltforsøket er å undersøke Leca Lettklinker sin oppførsel i veg utsatt for reell trafikklast.

MiljøIso-prosjektet - Delprosjekt 1

- *for å utvikle miljøriktige og konkurransedyktige isolasjonsprodukter for BA-bransjen*
- *bruk av Leca Lettklinker for isolasjonsformål i anleggsbransjen*
- *utført av SINTEF, NBI og NTNU med bidrag fra Statens vegvesen Nord-Trøndelag, GeoPartner as og NGI*
- *flere student oppgaver ved NTNU i tilknytning til prosjektet*
- *dokumenterer termisk virkemåte for Leca Lettklinker i veg og bane*
- *dokumenterer mekaniske egenskaper for Leca Lettklinker gjennom laboratorieforsøk, storskalaforsøk og feltundersøkelser*
- *videreføres i internordisk samarbeidsprosjekt Exclay Internordisk Geoprosjekt i regi av Optiroc Group Exclay*

2 ANVENDELSE OG PROBLEMSTILLINGER

For anleggsformål (dvs i veg, bane og grøft) benyttes Leca Lettklinker både som isolasjonsmateriale og som lett fyllmasse. Materialet kan også brukes som drenerende lag. Hensikten med å benytte Leca Lettklinker er å hindre tele og setningsskader og å redusere vedlikeholdskostnader på sikt. Bruk av lettklinker gir i mange tilfeller også en miljøgevinst.

2.1 Anvendelsesområder

I perioden 1996 til 1998 ble det brukt til sammen 250 000 m³ Leca Lettklinker til bygging og oppgradering av jernbane, mens tilsvarende tall for veg var 150 000 m³. Hovedtyngden av Leca Lettklinker er benyttet til lette fyllinger. Romvekt for Leca Lettklinker er langt lavere enn romvekt for knust stein eller sprengstein. Lette fyllinger brukes derfor hovedsakelig der det er problemer med stabilitet eller setninger på bløt grunn.

For veg er tilnærmet all lettklinker brukt til lette fyllinger, men for jernbane er det også benyttet betydelige volum til frostsikring. Forskjellen skyldes både at det stilles strengere krav til frostsikring av jernbane enn til veg - og at dagens forskrifter for vegbygging sier at et lag med Leca Lettklinker regnes som en del av undergrunnen og kommer i tillegg til den ordinære vegkonstruksjonen.

For grunne grøfter langs veg og bane og vannledningsgrøfter generelt gir bruk av Leca Lettklinker økt frostsikkerhet og redusert gravedybde.

2.2 Problemstillinger ved bruk av Leca Lettklinker i veg, bane og grøft

Lettklinker brukes både som et isolasjonsmateriale og som et byggemateriale - blant annet i lette fyllinger. Dette gir opphav til en todelt problemstilling.

For isolasjonsmateriale er det viktig å kjenne varmetekniske egenskaper og hvordan disse eventuelt endres over tid. For materialer til veg og bane er det samtidig viktig å kjenne styrke, stivhet og bestandighet.

2.2.1 Leca Lettklinker som isolasjonsmateriale

Leca Lettklinker har termiske egenskaper som gjør materialet godt egnet som isolasjonsmateriale. Fuktopptak er generelt en faktor som øker varmeledningsevnen sterkt og reduserer isolasjonsevnen tilsvarende. I forbindelse med bruk av lettklinker som isolasjon i bygge og anleggsbransjen er det fokusert mye på vannopptak i lettklinker og den medfølgende økning i varmeledningsevne.

Betydning av frysevarme og varmekapasitet er viet lite oppmerksomhet tidligere fordi dette betyr lite for den termiske virkemåten til tynne isolasjonsplater. Leca Lettklinker brukes i et volum som gjør at frysevarme og varmekapasitet må taes med i vurdering av frostmotstand og termisk virkemåte. Isolasjonseffekten av Leca og vanninnholdets betydning i denne sammenhengen har derfor vært en viktig problemstilling for delprosjekt 1.

Frostsikringslag eller isolasjon i veg dimensjoneres for 10-års vinteren. Det betyr at det aksepteres at frosten trenger ned i telefarlig undergrunn i enkelte vintre. Bruk av Leca isolasjon endrer tineforløp og bæreevne i teleløsningen. Det er derfor viktig å kartlegge hvordan bruk av Leca Lettklinker påvirker konstruksjonens tilstand i teleløsningen.

Isingsfare på veg er også en del av problemstillingen. Det er godt dokumentert at bruk av isolasjonsplater høyt oppe i en vegkonstruksjon gir større fare for ising og glatt vegbane enn tilsvarende veg uten isolasjon. Det er derfor viktig å finne ut om isingsfaren øker ved bruk av

Leca Lettklinker i veg og eventuelt hvor stor isingsfaren er sammenlignet med veg isolert med plater og veg uten noen form for isolasjon.

2.2.2 Leca Lettklinker som byggemateriale i veg og bane

Vegnormalen angir at lettklinker ikke kan benyttes i vegkonstruksjonen, men som en del av underbygningen. Av økonomiske og praktiske årsaker reduserer dette muligheten for å bruke materialet til frostsikring. De mekaniske styrke- og stivhetsegenskapene har avgjørende betydning for hvordan materialet kan benyttes i veg og bane. Leca-materialets spesielle struktur, med store porevolum i de enkelte korn, gjør at de mekaniske egenskapene på noen punkt skiller seg fra tradisjonelle byggematerialer.

Et av ankepunktene mot Leca Lettklinker har vært at hver enkelt Leca-kule er mye lettere å knuse enn de enkelte fragmentene i pukkk og knust stein og derav er det sluttet at lettklinker er tilsvarende "svakt" som byggemateriale. En stor del av delprosjekt 1 er har derfor vært konsentrert om laboratoriearbeider for å bestemme mekaniske egenskaper for Leca Lettklinker utsatt for påkjenninger som opptrer i en vegkonstruksjon.

I veg må lettklinkerlaget tåle langvarig vekslende last uten at laget får så store forbigående eller permanente deformasjoner at vegkonstruksjonen eller dekket skades. Mekaniske egenskaper, styrke og stivhet, under vekslende og statisk last er derfor viktig. Likeledes er det viktig å kartlegge om materialet brytes ned under trafikkpåkjenning.

Oppnådd kvalitet er avhengig av både utstyr og prosedyrer ved utlegging. Vurdering av metoder og utstyr for utlegging samt rutiner for kontroll og utførelse har derfor vært et viktig tema i prosjektet.

2.3 Miljø

Leca Lettklinker produseres av marin leire. Kulene er porøse og har et keramisk skall. Leca Lettklinker kan derfor betraktes som et "naturlig" byggemateriale på lik linje med grus og pukkk.

Leca Lettklinker er et bestandig isolasjonsmateriale som ikke forringes ved gjentatt frostpåkjenning eller ved aldring. Lettklinker-kulene brytes heller ikke ned av oljesøl eller andre forurensninger. Ved riktig innbygging og bruk gir mekaniske påkjenninger liten nedknusing og skade på lettklinker-materialet.

Bruk av Leca Lettklinker som frostsikring gir miljøgevinst ved å redusere utgravingsdybde og konstruksjonshøyder i forhold til veg eller bane uten Leca. Redusert utgravingsdybde gir mindre arealbehov og reduserer evt stabilitetsproblemer. Lavere konstruksjonshøyder er en estetisk gevinst samtidig som det er gunstig for fyllingsstabilitet.

Redusert gravedybde gir også indirekte miljøgevinster ved besparelser i transport og gravearbeider. Anleggstrafikk i nærområdene til byggeplassen reduseres og volum av leire eller silt som må transporteres bort blir redusert.

Leca Lettklinker i anlegg***Anvendelse:***

- *i perioden 1996 - 1998 ble det brukt 250 000 m³ Leca Lettklinker til bygging og oppgradering av jernbane, tilsvarende tall for veg var 150 000 m³*
- *for jernbane er Leca Lettklinker benyttet både som lett fylling og isolasjonsmateriale, i veg hovedsakelig som lett fylling*

Aktuelle problemstillinger:

- *isolasjonsevne for fuktig Leca Lettklinker og betydning av frysevarme og varmekapasitet*
- *påvirkning av bæreevne i teleløsningen*
- *mulig isingsfare for Leca isolert veg*
- *styrke og stivhet for Leca Lettklinker i veg og bane under statisk og vekslende last*
- *bestandighet*
- *miljøgevinst*

3 UTFØRTE UNDERSØKELSER

Prosjektet ble innledet med en forstudie for å kartlegge hovedproblemstillinger og gi et bedre grunnlag for å planlegge innhold i - og utførelse av hoveddelen av prosjektet. Resultatet er blitt et prosjekt med et vidt faglig spenn.

Det er gjort laboratorieforsøk, beregninger og numeriske analyser, feltundersøkelser og feltforsøk. Nedenfor er det gitt en kort oversikt over undersøkelser som er utførte i MiljøIso-prosjektet, delprosjekt 1. Resultater fra de respektive undersøkelsene er oppsummert i senere kapittel. For utfyllende beskrivelser av undersøkelsene vises det til de enkelte fagrapportene.

3.1 Laboratorieforsøk

Laboratorieforsøkene i delprosjekt 1 ble gjort for å finne ut hvilke egenskaper Leca Lettklinker har sammenlignet med tradisjonelle byggematerialer som grus og pukk. Varmeledningsevne ble målt i delprosjekt 2.

Innledende laboratorieforsøk - innbygging og kompaktering

På grunn av høy porøsitet er Leca Lettklinker sårbar for direkte mekanisk påkjenning. Å finne egnede innbyggingsmetoder for laboratorieforsøk på Leca Lettklinker var derfor en viktig del av de innledende laboratoriearbeidene. Romvekt for løst- og fast lagret lettklinker ble også bestemt.

Sykliske treaksforsøk

For å måle Leca Lettklinker sin motstand mot deformasjon under dynamisk last er det utført sykliske treaksialforsøk med en belastningsprosedyre tilpasset aktuelle spenningsområder for veg- og bane.

Ødometerforsøk

I ødometerforsøk bestemmes stivhet for jordarter utsatt for statisk last. I forsøkene på Leca Lettklinker er det benyttet et ekstra stort ødometer (Ø 500 mm, H 580 mm) slik at forholdet mellom kornstørrelse og apparat ikke skal påvirke resultatene. Studentarbeider har vært et viktig grunnlag for denne delen av prosjektet.

3.2 Storskala modellforsøk

For å dokumentere mekaniske egenskaper for Leca Lettklinker innebygget i veg ble det bygget en fullskalamodell av en vegkonstruksjon i laboratoriet. Modellen har en bredde på 190 cm og en lengde på 300 cm. Vegkonstruksjonen har 48 cm tykk overbygning på et lag med komprimert Leca 10–20. Modellen ble instrumentert slik at spenninger og deformasjoner kunne måles. Storskala modellen ble påført simulert trafikkbelastning ved hjelp av et hydraulisk belastningssystem som påførte 5 millioner lastveksler.

3.3 Feltundersøkelser

Det er viktig å få kjennskap til hvilke egenskap Leca Lettklinker har i brukstilstand i felt og hvordan disse egenskapene endres over tid. Feltundersøkelser gir verdifull informasjon om materialenes oppførsel og tilstand i reelle konstruksjoner.

Vanninnholdsundersøkelser

Fuktopptak i Leca Lettklinker påvirker både varmeledningsevne og vekt. Innenfor delprosjekt 1 har NGI har gjort boringer for å ta opp prøver av Leca Lettklinker for å bestemme vanninnhold. Prøvene er tatt fra materiale som har vært innebygget i konstruksjoner av forskjellig type og alder.

Tilstandsundersøkelse av lettfylling på riksveg 753 ved Tysknebben

På riksveg 753 i Nord-Trøndelag ble det i 1997 bygget en vegstrekning med 40 cm overbygning over Leca lett-fylling på bløt grunn. Sommeren etter ble det gjort en tilstandsundersøkelse av overbygningen og Leca-fyllingen.



Figur 3.1 Tysknebben i Nord-Trøndelag med vegstrekningen på Leca-fylling.

Feltundersøkelsene ved Tysknebben omfattet blant annet undersøkelse av dekketilstand samt deformasjoner og eventuelle skader på Leca-materialet.

3.4 Feltforsøk med Leca Lettklinker

Feltforsøk utføres for å etterprøve laboratorieresultater og for se hvordan Leca Lettklinker innebygget i en konstruksjon oppfører seg under realistiske feltforhold med virkelige trafikkklaster eller frostpåkjenning.

3.4.1 Frostforsøk ved Gardermobanen på Leirsund

a.s Norsk Leca representert ved MiljøIso-prosjektet deltok i frostforsøket ved Leirsund. Ved siden av jernbanesporene ble det bygget en ca 25 m lang prøvefylling. Halvparten av fyllingen var bygget som Gardermobanens normalprofil med Leca - den andre halvparten som normalprofil uten Leca. Over prøvefeltet ble det bygget et isolert bygg utstyrt med kjøleaggregater. Over 30 000 timegrader frostmengde ble påført prøvefeltet i løpet av forsøksperioden. Frostnedtrengning og telehiv ble registrert.

Hensikten med frostforsøket var både å få kunnskap om - og sammenligne - termisk virkemåte for jernbane frostsikret med stein og jernbane frostsikret med Leca Lettklinker.



Figur 3.2 Frostforsøksfeltet med nedkjølt bygning ved Gardermobanen på Leirsund

3.4.2 Feltforsøk på Sandmoen - en internordisk videreføring av MiljøIso-prosjektet

Feltforsøket som utføres på Sandmoen i Trondheim omfatter bygging av instrumentert veg med og uten Leca. Det er også bygget en strekning med gradvis tynnere overbygning over Leca-laget. Den strekningen er ikke instrumentert, men dekketilstand skal observeres over tid.



Figur 3.3 Fra bygging av forsøksfelt på Sandmoen

Feltundersøkelsene er både en del av et doktorgradsarbeide ved NTNU og en del av et nordisk samarbeidsprosjekt som har deltagelse fra forskningsinstitutter og vegetater i Sverige, Finland og

Norge. SINTEF har ansvar for prosjektkoordinering og Norges forskningsråd delfinansierer prosjektaktiviteter i Norge.

3.5 Beregninger og numeriske analyser

Beregninger og numeriske analyser er gjennomført for å se på virkningen av å variere material-egenskaper og konstruksjonsoppbygging. Analyser er også benyttet både for å få kunnskap om mekanisk og termisk virkemåte for Leca Lettklinker, for å identifisere aktuelle problemstillinger for laboratorie- og feltarbeider og for å evaluere resultater fra modell- eller feltforsøk.

3.5.1 Spenningsanalyse av typiske vegkonstruksjoner med og uten Leca Lettklinker

I forstudien ble det gjort endelig elementanalyser for å undersøke hvilken effekt et Leca-lag nederst i overbygning har på spennings- og tøyningfordelingen i en vegkonstruksjon under hjullast.

3.5.2 Analyser av spenningsforholdene i storskala laboratorieforsøk

For å kunne bruke resultatene fra storskalaforsøket til vurderinger av andre konstruksjonsløsninger er det viktig å ha et best mulig bilde av spenningsforholdene i Leca-materialet under storskalaforsøket. Et elementmetodeprogram er benyttet for å beregne spenninger og tøyninger i konstruksjonen på basis av resultater fra laboratorieundersøkelser av materialene og resultater fra målinger av spenninger og deformasjoner i storskalaforsøket.

3.5.3 Termiske analyser av vegkonstruksjoner med og uten Leca Lettklinker

Både i forstudien og i hovedprosjektet er det utført termiske analyser av veg med Leca Lettklinker som kombinert frostsikring og nedre forsterkningslag. Tykkelsen og de termiske egenskapene til forsterkningslaget er variert. Laget besto enten av knust stein alene eller knust stein over et lag Leca Lettklinker. Dekke og bærelag ble ikke variert. Undergrunnen besto av silt og analysene ble basert på klimadata for Drammen og vintre med varierende frostmengde.

Hensikten med analysene var å studere termisk virkemåte for veg med og uten Leca Lettklinker. Av særlig interesse var det å studere hvordan vanninnhold i Leca påvirker frostmotstand og termisk virkemåte.

3.5.4 Numeriske analyser for å bestemme isingsrisiko på veg med og uten Leca Lettklinker

Det ble utført varmemobalanseberegninger for overflaten av veg med og uten Leca Lettklinker. Slike beregninger gir som resultat overflatetemperatur i vegdekket og gir grunnlag for å bestemme antall timer med mulighet for ising på veg med og uten Leca. Beregningene ble gjort for å vurdere om det er større isingsrisiko på veg med Leca enn på tradisjonell veg.

Utførte undersøkelser:

- *Laboratorieforsøk*
 - *innbygging og kompakteringsforsøk*
 - *sykliske treaksforsøk*
 - *storødometerforsøk*
- *Storskala modellforsøk av veg med trafikkbelastning*
- *Feltundersøkelser*
 - *undersøkelse av vanninnhold og romvekt for Leca i felt*
 - *tilstandsundersøkelse for lettfylling på riksveg 753 ved Tysknebben*
- *Feltforsøk*
 - *frostforsøk ved Gardermobanen på Leirsund*
 - *videreføring av laboratorie- og modellforsøk i internordisk prosjekt med feltforsøk på Sandmoen, Trondheim*
- *Beregninger og numeriske analyser*
 - *spenningsanalyser av veg med og uten Leca Lettklinker*
 - *termiske analyser av veg med og uten Leca Lettklinker*
 - *varmebalanseberegninger for vegoverflate for å bestemme isingsrisiko for veg med og uten Leca Lettklinker*

4 FYSISKE OG ANLEGGSTEKNISKE EGENSKAPER

Både mekaniske- og termiske egenskaper for Leca Lettklinker varierer med fysiske egenskaper som densitet og korngradering. Termiske egenskaper er også sterkt avhengig av vanninnhold og temperatur. Det er derfor viktig å ha kunnskap om de fysiske egenskaper for Leca både i felt og i laboratorieforsøk.

4.1 Vanninnhold i felt

Vanninnhold for løs Leca i felt er målt i noen fyllinger med varierende alder og innbygging. Resultatene fra MiljøIso-prosjektet er vist i Tabell 4.1 sammen med data fra andre målinger. Målte verdier varierer mellom 15 og 45 vekt %. Dette tilsvarer ca 5 - 15 volum %.

Tabell 4.1 Målt vanninnhold for Leca Lettklinker i felt

Anvendelse	Alder (år)	Vanninnhold (vekt%)
Agnes bro, Fylling, max. 3.5 m. Leca 0-32.	3	15-25 %
Tysknebben Frosta, Fylling, max. 2.5 m, Leca 0-32.	1.5	20-25 %
Saugbrugsforeningen, Halden, Fylling, Leca 0-32*	8	40-45 %
Jernbanefyllinger, Østfoldbanen Ås, Leca 0-32.	6	30-40%
Frostforsøks stasjon, Leirsund. Jernbanefylling, Leca 10-20.	2	24 %

* Nedre del av fyllingen lå under grunnvannsstand

4.2 Vekt og volumforhold

Densitet for Leca Lettklinker i felt er en viktig parameter, men den er vanskelig å måle. Erfaring tyder på at densitet i felt gjennomgående er ca 10 % høyere enn bulkdensiteten for løst lagret Leca. Dette samsvarer bra med laboratorieforsøkene som viser gjennomsnittlig 10% komprimering fra løs til fast lagring. Fuktopptak øker vekten til Leca i felt. Målinger viser at drenert Leca Lettklinker tar opp ca 25 vekt % vann. Resultatene som er funnet i MiljøIso-prosjektet tyder på at drenert Leca 0-32 vil ha en total densitet på ca 460 kg/m³. Målt og beregnet densitet for Leca Lettklinker er vist i Tabell 4.2.

Statens Vegvesen Håndbok 018 oppgir 6 kN/m³ som beregningsmessig densitet for drenert Leca i fylling. Det forutsetter i så fall 15 % volumreduksjon ved komprimering og nærmere 60 vekt % vanninnhold. Resultatene fra prosjektet tilsier at de reelle verdiene for densitet er lavere enn det som er angitt i Håndbok 018.

Tabell 4.2 Densitet for Leca Lettklinker, kg/m³. Densitet for Leca Lettklinker fra eldre produksjon er tatt med for å illustrere utvikling av Leca materialet.

Sortering	Løst lagret tørr Leca		Leca kompaktet i felt, beregnede verdier.		
	Tidligere verdier	MiljøIso-måling	Tidligere verdier	Tørr Leca (*) kompaktet	Fuktig Leca(*) 25 vekt % vann
Leca 0-32	370	335	410	370	460
Leca 4-20	330	295	367	330	410
Leca 10-20	310	280	344	310	390

(*) Målt løs lagring MiljøIso-prosjektet og antatt 10 % volumreduksjon ved utlegging.

Produksjonsprosessen er endret over tid slik at dagens lettklinker produkter er lettere enn eldre materialer med samme korngradering. Siden fraksjonene eller korngraderingen er som tidligere, er det grunn til å tro at det er de enkelte kulene som har noe høyere porevolum.

I Tabell 4.3 er sammenhengene mellom vekt- og volumforhold for Leca Lettklinker illustrert med talleksempler for Leca Iso 10-20 og for Leca Lettklinker 0-32. Uthevete verdier er antatt blant annet med støtte i målinger i MiljøIso-prosjektet. Øvrige størrelser er avledet med formlene angitt i kommentarfeltet.

Tabell 4.3 Illustrasjon av typiske vekt og volumforhold for Iso 10-20 og Lettklinker 0-32
Uthevete verdier er gitte typiske verdier, øvrige er beregnet fra de typiske verdier.

Egenskap	Symbol	Iso 10-20	Lettklinker 0-32	Kommentar
Kompaktdensitet	ρ_k	2600 kg/m³	2600 kg/m³	varierer med råstoff
Partikkeldensitet	ρ_s	750 kg/m³	800 kg/m³	gjennomsnitt for fraksjonen
Internt porevolum i kulene	n_i	71%	69%	$100 (1 - \rho_s / \rho_k)$
Tørr densitet i bulk ved innfylling	ρ_d	280 kg/m³	335 kg/m³	variasjon med lasting
Tørr romvekt i bulk	γ_d	2.75 kN/m³	3.29 kN/m³	variasjon med lasting
Volumreduksjon ved komprimering	P	10 %	10 %	avhenger av innbygging
Tørr densitet etter komprimering	$\rho_{d, f}$	310 kg/m ³	370 kg/m ³	$(1+P/100)\rho_d$, inngår i formlene nedenfor
Tørr romvekt i kompaktert fylling	$\gamma_{d, f}$	3.0 kN/m ³	3.6 kN/m ³	$(1+P/100) \gamma_d$
Porøsitet i fylling (eksternt porevolum)	n	54%	49 %	$100 (1 - \rho_{d, f} / \rho_s)$
Samlet porevolum (internt + eksternt)	n_{tot}	88%	86%	$100 (1 - \rho_{d, f} / \rho_k)$
Vanninnhold	w	25%	25%	drenert Leca
Volum % vann	w_{vol}	7.8	9.3	$w (\rho_{d, f} / \rho_w)$
Luftinnhold	n_{luft}	80%	77%	$n_{tot} - w_{vol}$
Romvekt (w = 25 %)	γ	3.75 kN/m ³	4.5 kN/m ³	$\gamma_{d, f} (1 + w/100)$

Ved utregning av romvekt er tyngdeakselerasjonen, g, satt til 9.82 m/s²

4.3 Utlegging og komprimeringsegenskaper

Ved større leveranser legges Leca Lettklinker som regel ut samtidig med framtransporten til byggeplassen. Løs Leca har lav vekt og lav indre friksjon og er dermed lett å håndtere. Flere utleggingsmetoder kan benyttes:

- utlegging med doser eller beltegående gravemaskin
- tipping direkte fra bil
- blåsing fra bil, Leca 10-20
- manuell utlegging (trillebår, tobb)

Avretting av Leca-fyllinger kan gjøres manuelt. De viktigste hensynene ved utlegging er:

- å unngå nedknusing
- å unngå for stor egenseparasjon
- å skille Leca laget fra underliggende masser

For å hindre nedknusing har det i Norge vært vanlig å bruke beltegående maskiner med maksimalt beltetrykk på 50 kN/m^2 . Erfaringene fra prosjektet tilsier at dette kan økes til 80 kN/m^2 for Leca 0-32 uten at faren for knusing blir vesentlig økt.

Ved tipping direkte fra bil er det fare for separasjon, spesielt av usortert Leca (0-32 mm). Blåsing anbefales for sortert, ensgradert Leca som Iso 10-20. Blåsekapasiteten er ca 50 m^3 per time.



Figur 4.1 Innblåsing av Leca Iso 10-20

Utlegging bør helst skje ved temperatur over 0°C . Under nedbør ved temperatur rundt frysepunktet kan det dannes ishinne på kornene. Ved tining kan det oppstå betydelig ettersetning på grunn av omlagring av kornene.

I prosjektet er det gjort en studie av hvor godt egnet forskjellige målemetoder er til å tallfeste resultatet ved komprimering av Leca Lettklinker.

Det ble funnet at *Isotopmåler* og *Clegg hammer* ikke er egnet i lettklinker. *Lette fallvekt* gir mulighet for å kontrollere økningen i densitet gjennom økt komprimering, men metodene må kalibreres mot forventet resultat. *Statisk platebelastning* er vesentlig mer arbeidskrevende og gir større spredning i resultatene enn de lette fallvektene, mens *DCP-metoden (Dynamic Cone Penetrometer)* gir mulighet for å undersøke om hele laget er jevnt komprimert.

Valg av komprimeringsgrad er en avveining siden sterk komprimering av lettklinker både gir positive og negative effekter.

Positive effekter:

- økt elastisk stivhet
- redusert etterkomprimering og plastiske deformasjoner
- mer stabil overflate

Negative effekter:

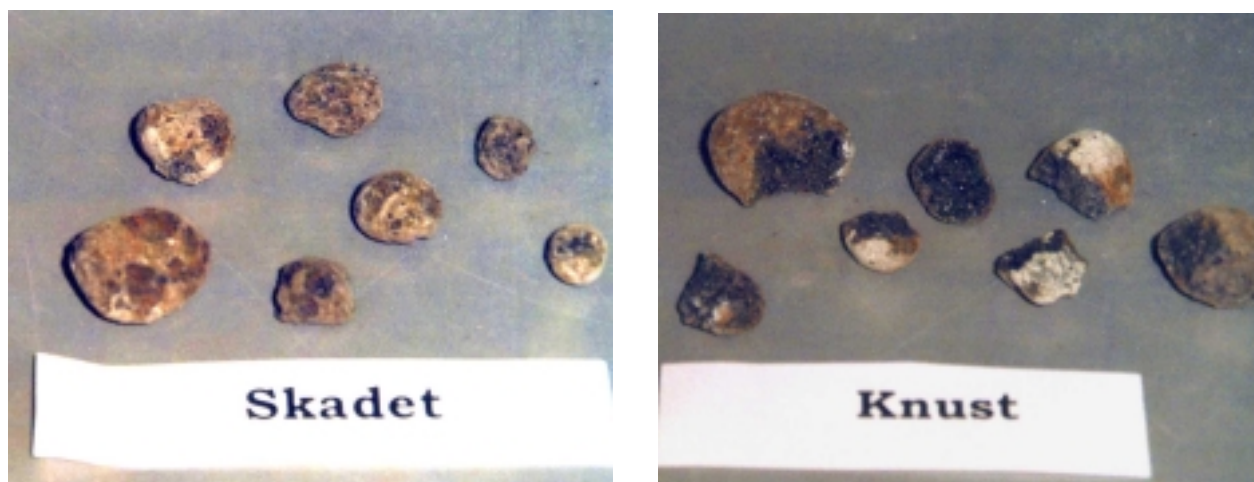
- økt nedknusing/finstoffandel
- redusert porøsitet/økt tørrdensitet
- økt mulighet for oppfukting/ redusert mulighet for uttørking
- økt varmeledningsevne

4.4 Bestandighet

Undersøkelser av knusningsgrad for Leca Lettklinker i felt og i laboratorieforsøk tyder på at knusing eller skader er relatert til utlegging og kompaktering. Frostforsøk i laboratorium viser også at gjentatt frysing og tining av vannmettet Leca Lettklinker ikke gir knusing eller avskalling av Leca-kulene. Knusing eller skade ble kvantifisert ved å separere korn over 8 mm i definerte skadeklasser, knust, skadet (avskalling) og uskadet. Undersøkelsene viste at skadeandel eller knusningsgrad må være relativt høy før det gir utslag på siktekurver. Skadeklasse er illustrert i Figur 4.2 og 4.3



Figur 4.2 Eksempel på uskadet Leca etter innbyggingsforsøk.



Figur 4.3 Eksempel på skadet og knust Leca etter innbyggingsforsøk.

Fysiske og anleggstekniske egenskaper for Leca Lettklinker i felt:

- målt vanninnhold for drenert Leca Lettklinker i felt er 25 vekt % etter flere års liggetid
- densitet i felt er ca 10 % høyere enn for løst lagret Leca Lettklinker
- densitet for Leca Lettklinker (kg/m^3):

	Løst lagret	Tørr kompaktet	Fuktig kompaktet
Leca 0-32	335	370	460
Leca 4-20	295	330	410
Leca 10-32	280	310	390

- undersøkelser av skadegrad for Leca Lettklinker i felt, under forsøk og i fryseforsøk viser at skader er knyttet til utlegging og kompaktering
- viktig med utleggingsmetoder som hindrer nedknusing og egenseparasjon i materialet.
- innblåsing anbefales for Leca 10-20
- maksimum beltetrykk ved kompaktering er 50 kN/m^2 , for Leca 0-32 kan dette økes til 80 kN/m^2
- utlegging bør skje i temperaturer over 0°C

5 MEKANISKE EGENSKAPER

Materialene i veg og bane må ha mekaniske egenskaper som gjør at de tåler vekslende last over lang tid uten at konstruksjonen skades. De forbigående (elastiske) og permanente (plastiske) deformasjonene må ikke overskride tålegrensen for dekke og bærelag.

Innenfor MiljøIso-prosjektet er det derfor gjort omfattende arbeider for å kartlegge de mekaniske egenskapene for Leca Lettklinker. Dette har omfattet både avanserte laboratorieforsøk, storskala-forsøk, feltforsøk og erfaringsinnsamling fra felt. Resultatene viser at Leca Lettklinker kan benyttes som kombinert frostsikring og forsterkningslag i veg og at materialet kan benyttes med relativt liten overdekning.

5.1 Stivhet

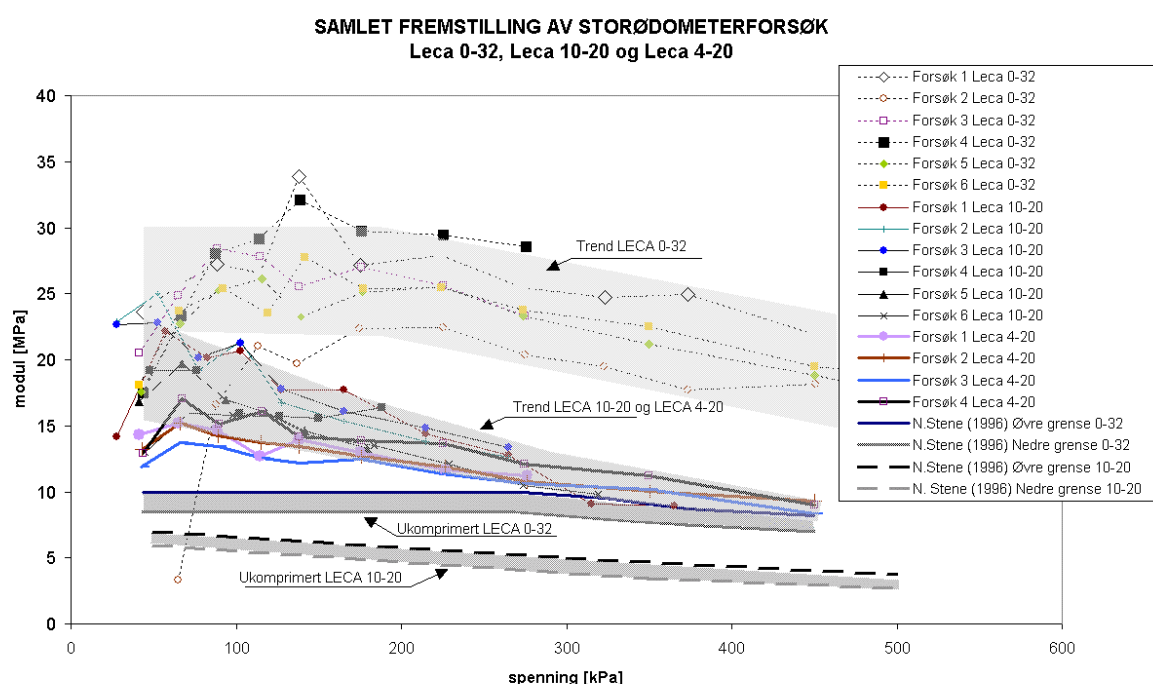
Tilstrekkelig motstand mot deformasjon under statisk last er viktig for å unngå egensetninger i Leca lag og fyllinger. Ødometermodul benyttes som tallverdi for statisk stivhet.

Byggematerialer for veg og bane må ha tilstrekkelig elastisk stivhet til å sikre god lastspredning i konstruksjonen. For veg er det også viktig å hindre store elastiske nedbøyninger som gir rask utmatting og oppsprekking av asfaltdekket. Elastisk stivhet er bestemt på grunnlag av sykliske treaksialforsøk med realistisk simulerte trafikkklaster.

I forbindelse med innbyggingsforsøkene, Referanse 3, ble det utført "CBR" belastningsforsøk på innbygde prøver for å se på hvordan forskjellige innbyggingsmetoder påvirket prøvenes stivhet. Resultatene gir en relativ rangering av prøvestivhet. Forsøkene viste også at CBR-metoden ikke er egnet for lettklinkermaterialer.

5.1.1 Motstand mot deformasjon under statisk last, ødometermodul

Motstand mot deformasjon under statisk last er målt i storødometer. Figur 5.1 gir en samlet oversikt over de forsøkene som er utført på Leca Lettklinker i storødometer.



Figur 5.1 Samlet oversikt over modul fra ødometerforsøk på Leca 0-32, Leca 10-20 og Leca 4-20.

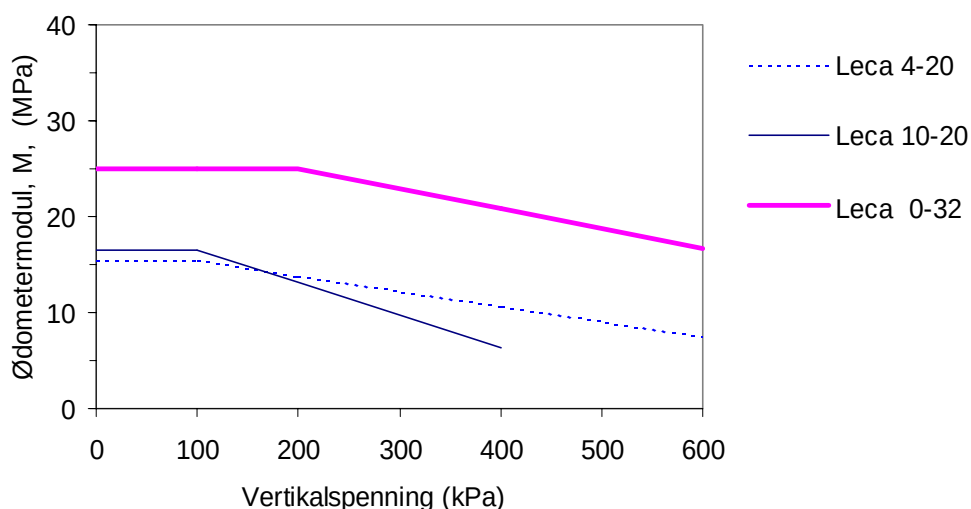
Leca 0-32 har en konstant ødometerstivhet for spenninger under 250 kPa på ca. 25 MPa, opp mot 30 MPa for de forsøkene som hadde størst densitet. For spenninger over 250 kPa var stivheten svakt fallende ved økt belastning.

Leca 4-20 og Leca 10-20 har stort sett sammenfallende stivhet i spenningsområdet under 100 kPa. Ødometerstivheten for Leca 10-20 og Leca 4-20 er på ca 15-20 MPa med tendens opp mot 25 MPa for lavere spenninger.

Stivheten avtar gradvis med økende spenningsnivå. For Leca 10-20 er stivheten halvert når spenningen når 300 kPa. For Leca 4-20 avtar stivheten på samme måte, men ikke så raskt.

Reduksjonen i stivhet ved høye spenninger er knyttet til en avskallingsprosess og begynnende nedknusing av Leca-kulene. Selv om noe nedknusing opptrer gir det i liten grad utslag på siktekurvene. Dette indikerer at siktekurver ikke er anvendelig som kriterium for å fastslå om knusing eller skade har påvirket materialets egenskaper. Måling av endring i densitet og visuell observasjon av korn gir et bedre grunnlag for å vurdere grad av skade og nedknusing.

En sammenligning av forsøk med og uten komprimering viser at stivheten øker sterkt ved økende densitet, både for Leca 10-20 og Leca 0-32. Stivheten for godt komprimerte prøver er ca 3 ganger høyere enn for løst ifylte prøver. På bakgrunn av resultater fra ødometerforsøkene i MiljøIso-prosjektet er det laget idealiserte modulkurver for Leca Lettklinker, Figur 5.2. Kurvene gjelder for materiale med 10 - 14 % komprimering.



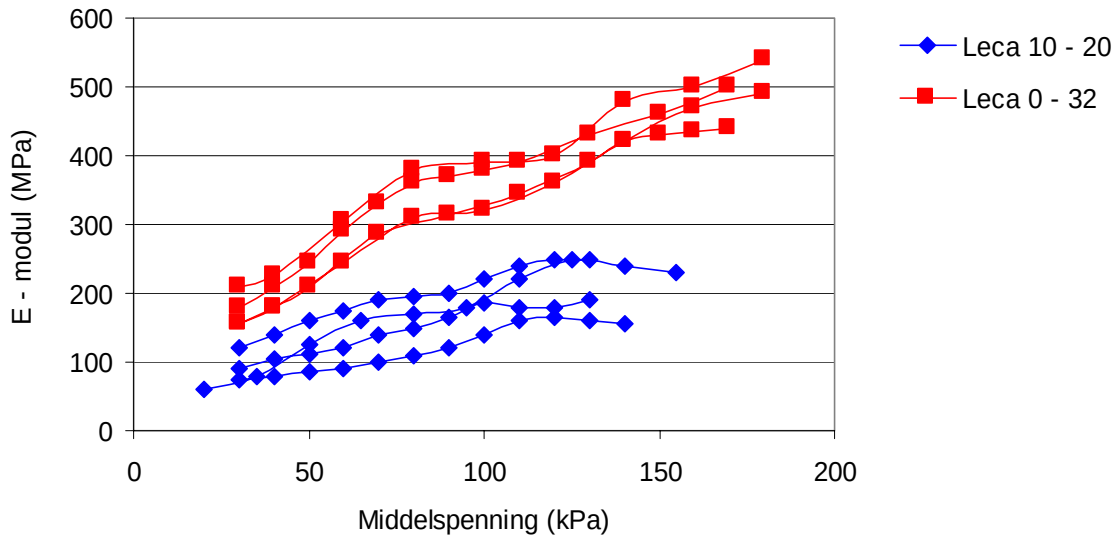
Figur 5.2 Idealiserte modulkurver for komprimert Leca Lettklinker.

Spenningsnivået for en vegkonstruksjon vil variere vesentlig avhengig av tykkelse og stivhet for de ulike lagene. Tillatt hjultrykk i Norge er 900 kPa. Denne spenningen blir redusert nedover i vegkonstruksjonen. For toppen av forsterkningslaget vil vertikalspenningene være redusert til 50-400 kPa avhengig av lagtykkelser og materialer i overbygningen.

5.1.2 Elastisk stivhet

Elastisk stivhet er bestemt i sykliske treaksialforsøk. E-modulen er definert som syklisk vertikal spenning dividert på syklisk vertikal tøyning, og viser stivheten ved hurtig av- og pålastning. Elastisk stivhet bestemt ved sykliske treaksialforsøk er vesentlig høyere enn stivhet ved statisk belastning, ødometermodul.

Den elastiske stivheten til granulære materialer er sterkt avhengig både av sidespenning og vertikalt spenningsnivå. Spenningsnivået i forsøkene er derfor tilpasset det spenningsbildet som forventes å opptre i en reell konstruksjon. Figur 5.3 viser E-moduler for to forskjellige Leca graderinger som funksjon av middelspenning.



Figur 5.3 Elastisitetsmoduler fra dynamiske treaksialforsøk.

Hvis vi sammenligner stivhet for Leca Lettklinker med stivhet for vanlige vegbyggingsmaterialer, Tabell 5.1, ser vi at materialene har tilnærmet samme stivhet. *Forutsetningen er at belastningsnivå ikke er så stort at det medfører vesentlig nedknusing av Leca-kulene.* Dette må ivaretas gjennom en skånsom innbygging og ved valg av tilstrekkelig overdekning, både under anleggsperioden og i den ferdige konstruksjonen.

Tabell 5.1 Elastisitetsmoduler for Leca, Hovinmoen grus og Åndalen pukk.

Middel- spenning (kPa)	E-modul (MPa)			
	Leca 10-20	Leca 0-32	Grus 0-22	Pukk 0-22
50	110	250	110	290
100	200	350	160	350
150	210	450	210	410

Leca 0-32 har større elastisk stivhet enn Leca 10-20. Målte dynamiske E-moduler for materialene tilsvarer lastfordelingskoeffisienter på 1.2 og 1.0. E-modulen forbedres ved gjentatt belastning tilsvarende som for grus og pukk.

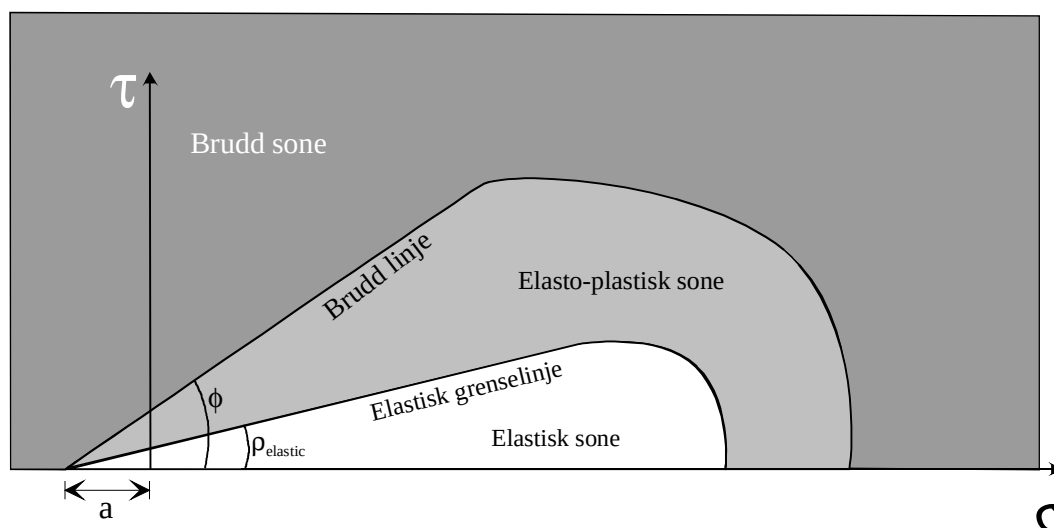
5.2 Motstand mot permanente deformasjoner - skjærstyrke

5.2.1 Grensevinkler for elastisk tilstand og brudd.

Det er viktig at vedvarende trafikklast ikke resulterer i vesentlige permanente deformasjoner av Leca-lag i veg eller bane. Slike deformasjoner vil forplante seg til overflaten av konstruksjonen og kan for en veg resultere i hjulspordannelse og dekkeskader. Det er i hovedsak to mekanismer som bidrar til permanente deformasjoner i Leca Lettklinker:

- Omlagring av korn på grunn av skjærspenninger når den elastiske grense overskrides.
- Nedknusing av korn som følge av høye middelspenninger.

Figur 5.4 illustrerer hva som menes med elastisk sone og grensevinkel for elastisk tilstand. Elastisk grensevinkel, ρ_{elast} , og bruddvinkel, ϕ , er bestemt fra sykliske treaksialforsøk.



Figur 5.4 Bruddflater for Leca Lettklinker. Verdier for bruddvinkel, ϕ , og grensevinkel, ρ_{elast} , for elastisk tilstander gitt i Tabell 5.2.

Dimensjonering av vegkonstruksjoner i Norge er ikke basert på analyser av spenninger og forventet skadeutvikling. Den viktigste nytten av disse vinklene er derfor å kunne sammenligne Leca Lettklinker og andre materialer. Det arbeides imidlertid med å utvikle et analytisk dimensjoneringsystem (Nivå 3) der disse vinklene inngår som viktige element.

Grensevinkler for lettklinker og to tradisjonelle vegbyggingsmaterialer er vist i Tabell 5.2.

Tabell 5.2 Grensevinkler for brudd, ϕ , og elastisk tilstand ρ_{elast} for Leca, grus og pukk. Forsøkene er tolket med en fiktiv attraksjon på 100 kPa.

Grensevinkler	Leca Iso 10 – 20 mm	Leca Lettklinker 0 – 32 mm	Grus, Hovinmoen 0 – 22 mm	Pukk, Åndalen 0 – 22 mm
ϕ	18	25	24	37
ρ_{elast}	11	21	10	18

For å gi mulighet for sammenligning er resultatene for Leca tolket med samme tilsynelatende attraksjon, $a = 100$ kPa, som er anvendt ved tolkning av forsøkene på sand og pukk. I disse forsøkene har spenningsnivået blitt øket til langt høyere nivå enn i forsøkene på Leca og høy

tilsynelatende attraksjon og lave grensevinkler gir et godt bilde av grenselinjer i det aktuelle spenningsområdet. For Leca gir attraksjon på 100 kPa og de funne grensevinklene et riktig bilde av elastisk og plastisk sone i middelspenningsområdet 25 - 175 kPa.

Forsøkene på Leca viser at omlagring av korn er dominerende årsak til permanente deformasjoner i vanlig spenningsområde for veg. Spenningsgrense for begynnende nedknusing som følge av økt middelspenning er ikke bestemt for disse forsøkene. Forsøkene viser også at elastisk grense, ρ_{elast} , for Leca Lettklinker ligger nærmere bruddgrensen, ϕ , enn for tradisjonelle vegbyggingsmaterialer. Dette betyr at en bør være mer forsiktig med å belaste Leca Lettklinker helt opp mot elastisk grense enn ved bruk av tradisjonelle vegbyggingsmaterialer.

5.2.2 Tidligere statiske treaksforsøk ved NGI

Statiske treaksialforsøk på Leca Lettklinker 0-32 ble utført av NGI i 1990. Statistiske skjærstyrkeparametre som er anbefalt med basis i disse forsøkene er:

- friksjon ved brudd $\tan\phi_b = 1.02$ $\phi_b = 45$
- karakteristisk friksjon $\tan\phi_k = 0.85$ $\phi_k = 41$
- attraksjon $a = 0$ kPa

De tolkede brudd- og friksjonsvinklene fra NGI sine statiske forsøk må ikke forveksles med friksjonsvinkler fra sykliske treaksialforsøk. Statisk bruddverdi ligger høyere enn den sykliske. Statisk verdi er nyttig for stabilitetsberegninger og lignende, men er i liten grad relevant for å vurdere oppførsel til konstruksjoner utsatt for trafikkbelastning.

5.3 Storskala modellforsøk og feltundersøkelser

Spenningsanalysene av veg som ble utført i forstudien viste at med 65 cm overdekning var det kun små trafikkinduserte spenninger i overkant av lettklinkerlaget. Analysene viste også at bæreevnen for konstruksjonen ble lite påvirket av å bytte ut nedre del av forsterkningslaget med et lag av lettklinker.

De sykliske treaksforsøkene viste at Leca Lettklinker oppfører seg tilnærmet likt grus og pukk i spenningsområdet 0-200 kPa. Det gjelder både elastisk stivhet og motstand mot plastiske deformasjoner. Storskala modellforsøk og feltundersøkelser er utført for å bekrefte antagelser og vurderinger gjort på grunnlag av laboratorieforsøk og spenningsanalyser.

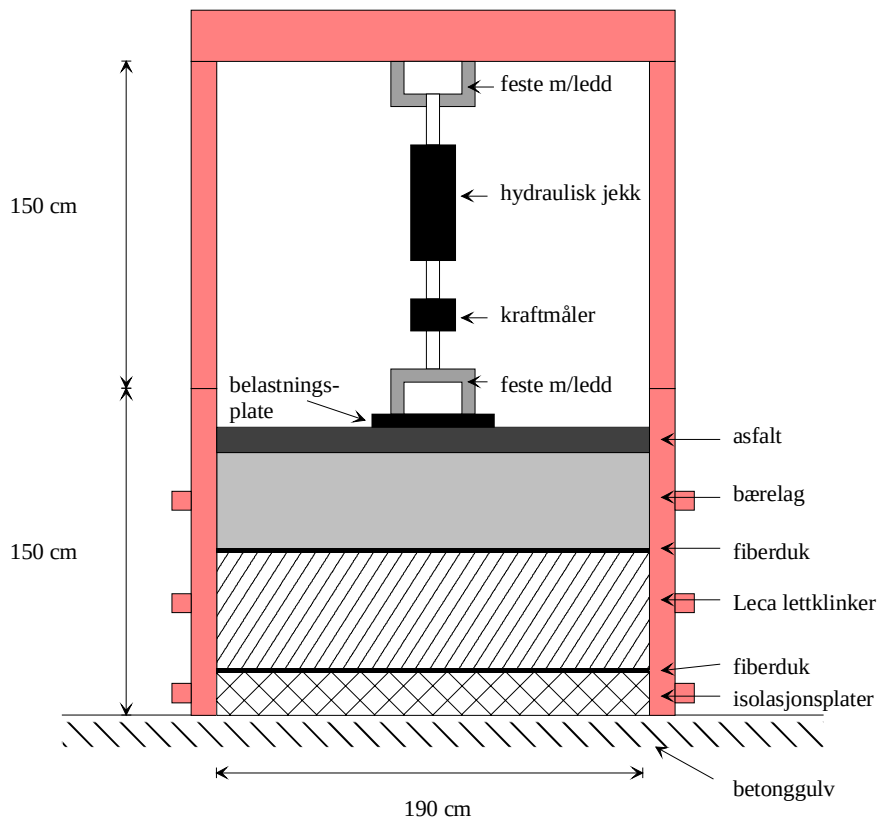
5.3.1 Storskala modellforsøk

Det ble bygd en modell i full vegstørrelse med 48 cm overbygning over et lag Leca 10–20. Vanninnhold i Leca var 4 %. Konstruksjonen var dimensjonert for ÅDT 5000 og dimensjoneringsperiode 20 år. Konstruksjonen bestod av:

Slitelag/dekke:	6 cm Ab 16
Øvre bærelag:	7 cm Agb 16
Nedre bærelag:	10 cm Fk 0-30
Øvre forsterkningslag:	25 cm Fk 0-30
Nedre forsterkningslag:	45 cm Leca 10-20
Undergrunn:	20 cm XPS -plater

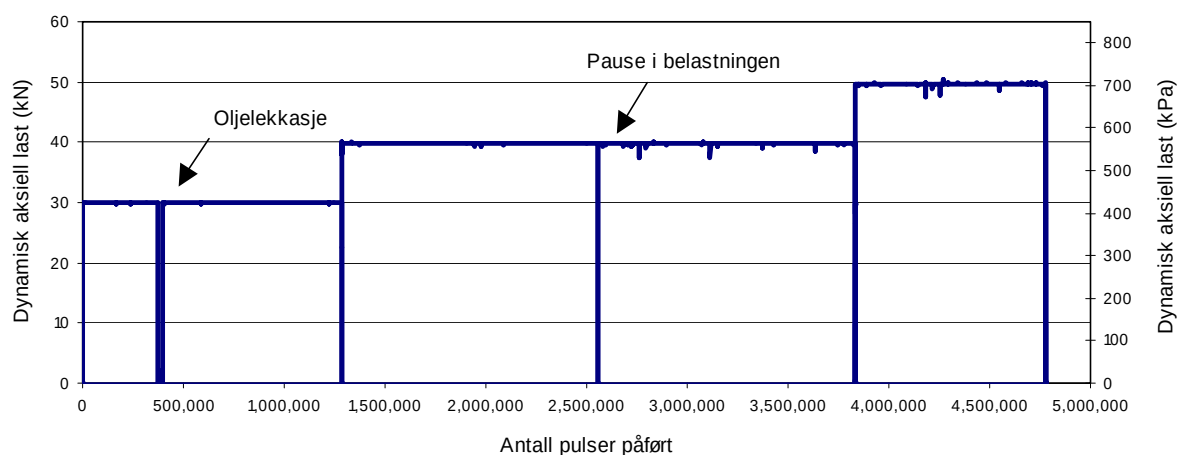
Undergrunn ble simulert ved hjelp av 20 cm XPS plater som har tilnærmet samme stivhet, $E = 12$ MPa, som for eksempel tørrskorpe leire. Modellen ble instrumentert slik at spenninger og deformasjoner kunne måles. Fullskalamodellen ble påført simulert trafikkbelastning ved hjelp av et hydraulisk belastningssystem. Oppriss av hydraulisk forsøksrigg er vist i Figur 5.5.

Den valgte overbygningen er betydelig "underdimensjonert" i forhold til gjeldende retningslinjer. Etter vegnormalen skulle vegen hatt til sammen 23 cm dekke og bærelag pluss et 50 cm forsterkningslag over Leca regnet som undergrunn klasse 4.



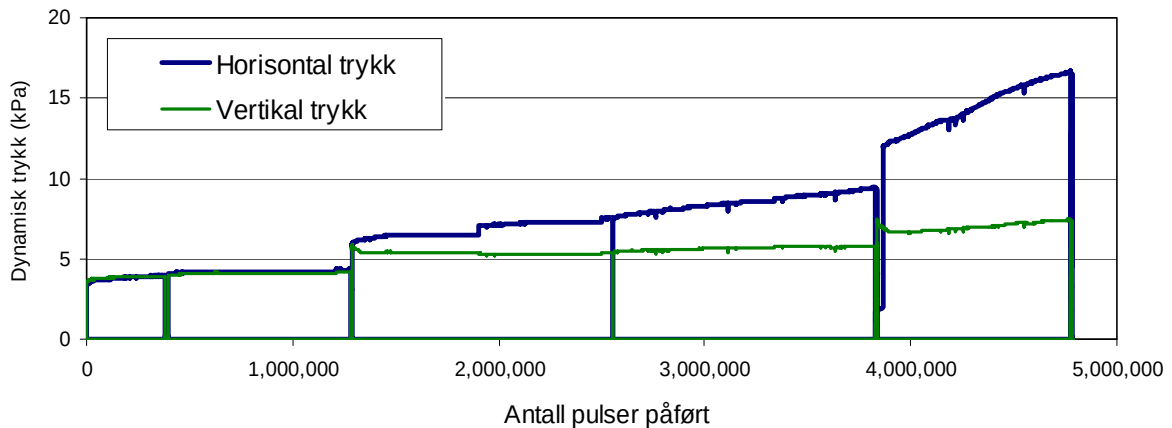
Figur 5.5 Oppriss av hydraulisk forsøksrigg, ikke målestokk-riktig. Kapasitet for lastriggen er 10 tonn med 10 Hz frekvens

For å hindre varmeutvikling og forringelse av asfaltens egenskaper ved gjentatt belastning ble asfalten under belastningsplaten avkjølt under forsøket. Vann ble ført gjennom en slange som var kveilet opp på oversiden av platen. Belastningen under forsøket ble øket trinnvis. Maksimalt kontaktrykk var i overkant av 700 kPa. Figur 5.6 viser påført belastning på toppen av asfaltlaget.

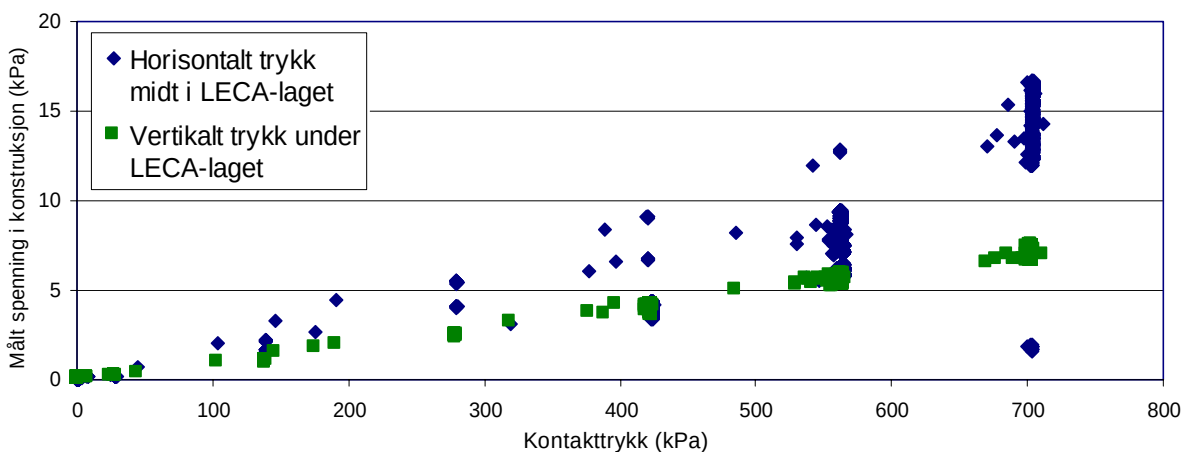


Figur 5.6 Påført belastning på toppen av asfaltlaget, til sammen 5.000.000 pulser.

Spenningsene i Leca-laget ble målt vertikalt og horisontalt ved hjelp av trykceller plassert i bunnen av Leca-laget og mot modellveggen midt i laget. De målte vertikale spenningsene var relativt konstante innenfor hvert belastningsnivå men økte lineært med økende kontakttrykk. Figur 5.7 viser resultatene fra spenningsmålingene.



Figur 5.7 Utvikling av spenninger i Leca-laget; målt dynamisk trykk horisontalt og vertikalt.

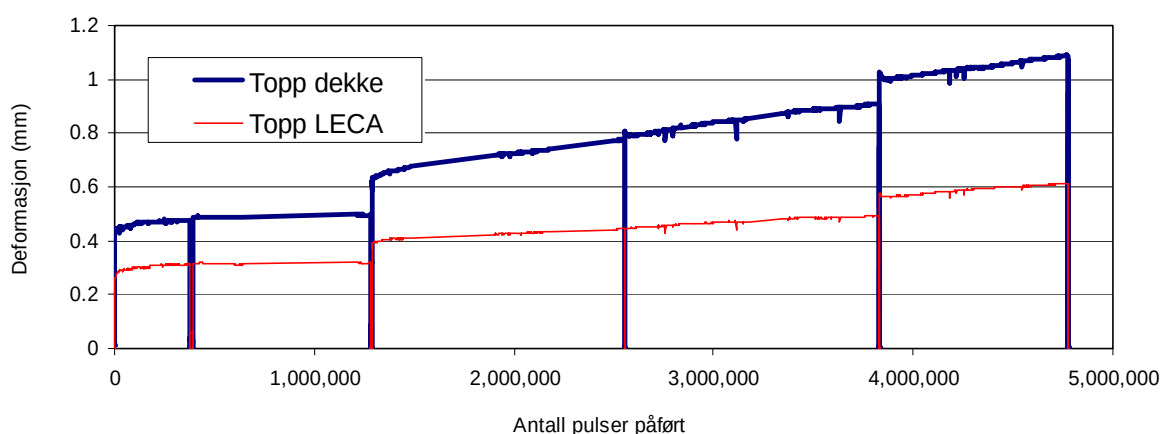


Figur 5.8 Utvikling av spenning i Leca-laget mot platebelastning.

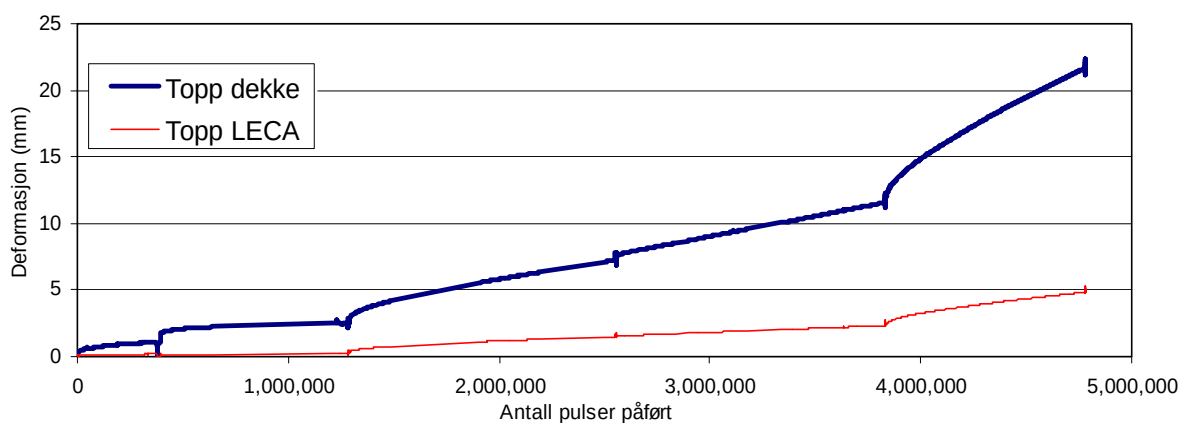
Figur 5.8 viser utvikling av spenninger i Leca-laget som funksjon av platebelastning. Horisontalspenningene økte med antall lastpulser i løpet av lasttrinnet. De økte også mer enn lineært med økende kontakttrykk. De høye horisontalspenningene kan skyldes økende grad av elastisk dilatans, men kan muligens også skyldes randeffekter i modellen. Resultatene fra målingene viser at dagens praksis med god sidestøtte og overdekning ved avslutning av Leca-lag er riktig.

Deformasjon ble målt i to punkt i konstruksjonen, i toppen av dekket og i toppen av Leca-laget. Figurene 9 og 10 viser målte deformasjoner. Begge målingene inkluderer deformasjon av platene som utgjør undergrunnen i modellen.

Elastisk deformasjon i isolasjonsplatene var beregnet til 0.2-0.5 mm avhengig av belastning. Det betyr at største elastiske tøyning i Leca-laget var ca 1.1 %. Det antas å være godt innenfor grensen for hva som er akseptabelt for en vegkonstruksjon.



Figur 5.9 Utvikling av elastiske deformasjoner inkludert deformasjoner i isolasjonsplatene.

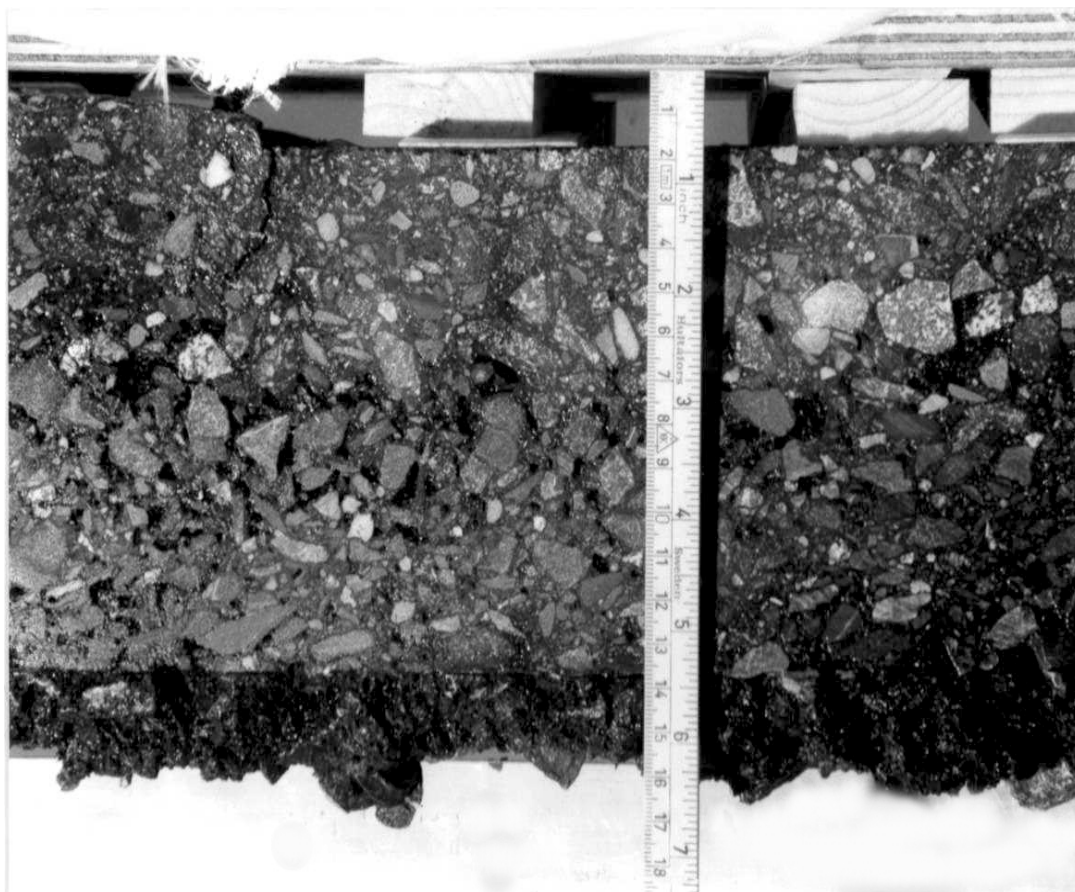


Figur 5.10 Utvikling av permanente deformasjoner i overbygningen.

Permanente deformasjoner i topp av Leca-laget var 5 mm. Dette er akseptabel deformasjon i forhold til belastningsnivået. For en konstruksjon ute i felt ville en god del av disse deformasjonene kommet i løpet av anleggsfasen

De permanente deformasjonene var størst i dekke og bærelag. Figur 5.11 viser asfaltdekke under belastningsplaten etter forsøket. Lagene var imidlertid dårligere komprimert enn det som vil være tilfellet i felt. Bedre komprimering av overbygningen ville gitt lavere påkjenning og mindre deformasjon i Leca-laget. Gjentatt belastning med stålplate på samme sted er også meget ugunstig for et asfaltdekke. En tilsvarende veg med reell trafikklast ville derfor fått mindre permanente deformasjoner i topp av dekke.

Totalt sett gav de påførte belastningene små deformasjoner i Leca-laget, og samvirket mellom lettklinker og øvrige materialer var godt. Etter forsøket var Leca-materialet i samme tilstand som før start. Storskala forsøket tyder på at Leca kan benyttes med betydelig mindre overdekning enn det som er gitt i Vegnormalen.



Figur 5.11 Asfaltdekket under belastningsplaten etter forsøket. Gjentatt belastning på samme sted ga store deformasjoner i asfaltdekket og synlig sprekkdannelse.

Selv om denne konstruksjonen er bygd i full skala med hensyn på lagtykkelser og belastningene er like store som virkelige trafikklaster er det noen forskjeller fra virkelige dekkekonstruksjoner. De viktigste forskjellene er :

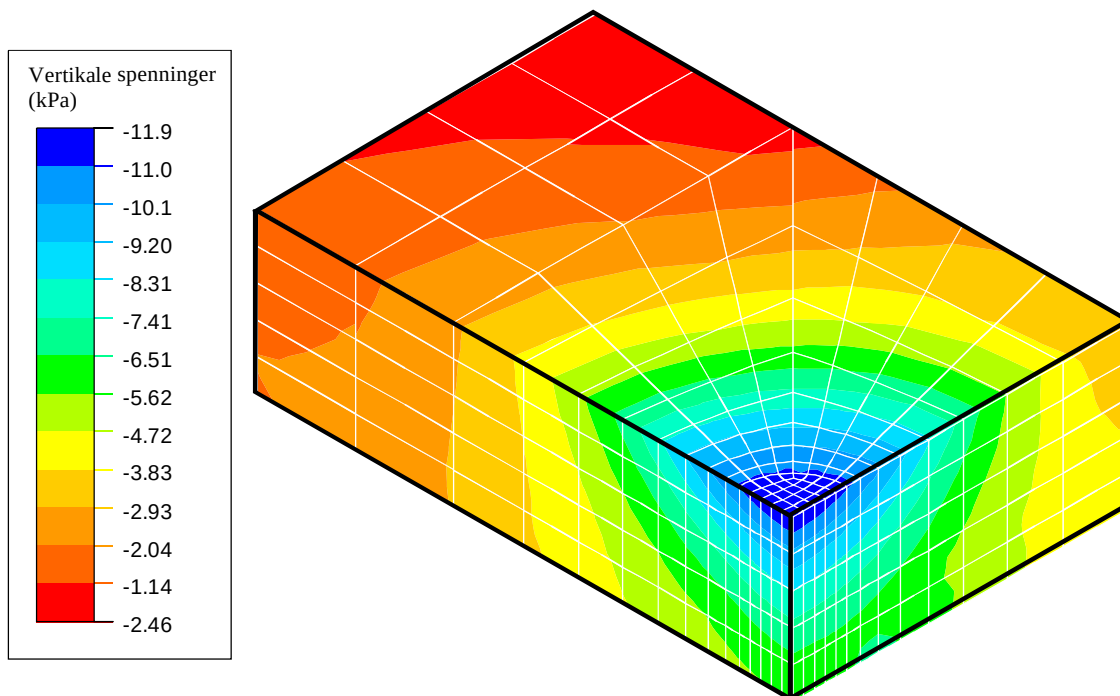
- Bedre innspenning, ingen vegkant.
- Belastning på samme sted hele tiden.
- Konstant temperatur og fuktighet.
- Noe mindre komprimering enn det som normalt oppnås i felt.
- Simulert undergrunn.

Ingen av disse faktorene har avgjørende betydning for hovedkonklusjonen fra storskalaforsøkene, men det er viktig å være klar over forskjellene ved vurdering av forsøksresultatene.

I det fellesnordiske prosjektet er det utført etterregning av storskalaforsøket. Hensikten med etterregningen var blant annet å finne spenningsfordelingen i Leca laget. I forsøket ble spenningen i underkant av Leca-laget målt, mens det vanligvis er spenning i toppen av laget som er av interesse for å vurdere mulighet for nedknusing av Leca kulene.

Det ble gjort en tredimensjonal analyse av spenningsforholdene som Leca-materialet ble utsatt for under forsøket. Analysene viser at friksjonen mot kanten av modellen påvirker spenningene på en ikke-neglisjerbar måte. Veggfriksjon ble derfor tatt med i beregningsmodellen. Det lyktes å finne en god overensstemmelse mellom de målte verdiene for spenninger og deformasjoner med

unntak av de målte horisontale spenningene mot veggen i forsøket. Figur 5.12 viser beregnede vertikale spenninger i Leca-laget.



Figur 5.12 Beregnede vertikale spenninger for Leca-laget i storskalaforsøket.

Etterregningen viser at spenningene som blir påført toppen av Leca-laget er relativt moderate (maks 12 kPa). Dette samsvarer også med den lave E-modulen som ble benyttet for å få samsvar mellom målte og beregnede vertikalspenninger.

5.3.2 Feltundersøkelse av lettfylling ved Tysknebben

På Riksveg 753 i Nord-Trøndelag er det bygget en Leca Lettklinker fylling på bløt grunn. Det er benyttet Leca 0-32 med inntil 2.5 meter tykkelse. På stedet hvor tilstandskontrollen ble utført, var tykkelsen av dekkekonstruksjonen knappe 42 cm hvorav asfaltdekket utgjorde ca 10 cm. Oppbygging av konstruksjonen er:

- 10 cm asfaltdekke (Ag16 +GjA)
- 32 cm bærelag (Fk 0-32 mm)
- Fylling av Leca Lettklinker 0 - 32 mm (varierende tykkelse inntil 2.5 m.)

Etter 1.5 år under trafikk var det ikke oppstått spordannelser eller oppsprekking i asfaltdekket. Ved avdekking i en prøvegropp etablert i den ene kjørebanen ble det observert at Leca-fyllingen var meget godt komprimert og hadde god bæreevne. Ved frigjøring ble det observert at Leca-kulene var lite skadet. Videre undersøkelser i felt og laboratorieundersøkelser på uttatte prøver bekreftet disse visuelle observasjonene.

Ved bruk av isolasjonsmaterialer krever Vegnormalene at vegoverbygningen dimensjoneres som for bæreevnegruppe 4. På en hovedveg med samme ÅDT som på riksveg 753 gir dette en overdekning over et Leca isolasjonslag på ca 60 cm. Erfaringene fra lettfyllingen tyder på at Vegnormalenes krav til minimum overdekning for vegkonstruksjoner frostsikret med løs Leca kan reduseres med tanke på akseptable trafikkpåkjenninger på Leca-materialet.

Mekaniske egenskaper:

- Ødometermodul M :
 - Leca 0-32: $M = 20-30 \text{ MPa}$, for spenningsområdet 0-200 kPa
 - Leca 4-20: $M = 15-20 \text{ MPa}$, for spenningsområdet 0-100 kPa
 - Leca 10-20: $M = 15-20 \text{ MPa}$, for spenningsområdet 0-100 kPa
- Dynamisk E -moduler, spenningsnivå 50 - 100 kPa:
 - Leca 0-32: $E = 250 - 450 \text{ Mpa}$
 - Leca 10-20: $E = 110 - 210 \text{ Mpa}$
- Leca Lettklinker har tilnærmet samme dynamiske stivhet som grus og pukk forutsatt at belastningene ikke er så store at materialet knuses
- Elastisk grense for Leca Lettklinker er tilnærmet som for tradisjonelle vegbyggingsmaterialer, men bruddgrensen er lavere enn for sand, pukk og grus
- storskala modellforsøk og tilstandsundersøkelse av lettfylling med tynn overbygning bekrefter laboratorieresultatene.

Hovedkonklusjoner:

I spenningsområdet 0 - 150 kPa oppfører Leca Lettklinker seg tilnærmet likt grus og pukk. Dette gjelder både stivhet og motstand mot plastiske deformasjoner.

Leca Lettklinker har mekanisk styrke og stivhet som tilsier at materialet kan inngå som en del av forsterkningslaget i veg og benyttes med betydelig mindre overdekning enn det som er gitt i vegnormalen.

6 VARMETEKNISKE EGENSKAPER OG TERMISK VIRKEMÅTE

Telehiv og teleløsning reduserer kjørekomfort og sikkerhet på vintervegene og forårsaker skade både på vegkonstruksjon og dekke. Leca Lettklinker i veg reduserer omfanget av teleproblemene. I MiljøIso-prosjektet er termisk virkemåte av Leca Lettklinker søkt kartlagt ved måling av varmeledningsevne, fryseforsøk i felt og termiske analyser av vegkonstruksjoner med og uten Leca. Det er også gjort en vurdering av isingsfare for veg med og uten Leca Lettklinker.

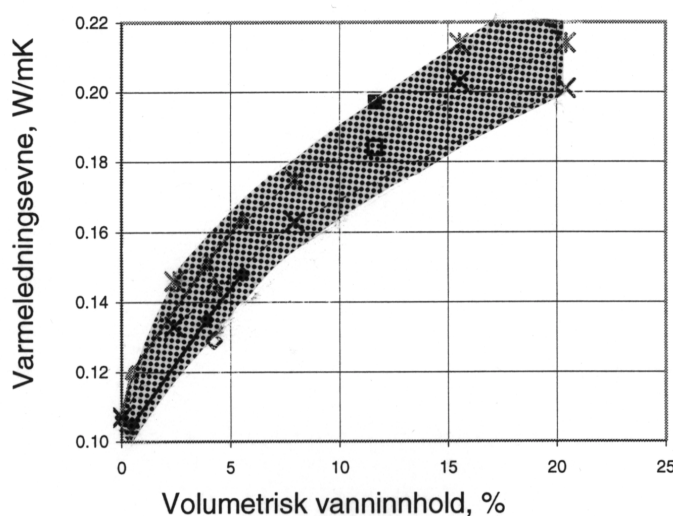
6.1 Varmetekniske egenskaper

Med varmetekniske egenskaper for Leca Lettklinker menes varmeledningsevne, volumetrisk varmekapasitet og fryse-/tinevarme.

6.1.1 Målt varmeledningsevne

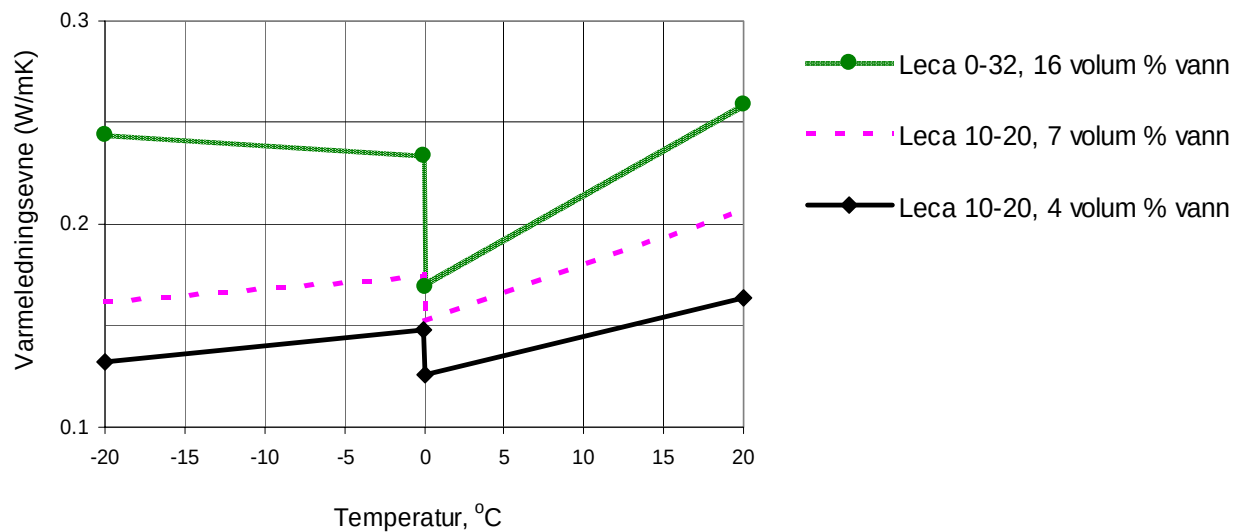
I MiljøIso-prosjektet, delprosjekt 2, ble varmeledningsevne målt ved midlere temperatur $+10^{\circ}\text{C}$ for Leca med varierende vanninnhold. Det ble også gjort noen målinger på frosset Leca. Hoveddelen av målingene ble gjort på Leca Iso 10 - 20 og Leca 0-32. Målingene på tørt materiale ble gjort i et varmestrømsapparat (ISO 8301), målingene på fuktig og frosset materiale ble gjort i et såkalt "Guarded Hot Plate" apparat (ISO 8302).

Varmeledningsevnen for Leca Lettklinker øker med økende volumetrisk vanninnhold og tørr densitet. Det skraverte arealet i Figur 6.1 viser variasjonsområdet for varmeledningsevne for Leca Lettklinker ved $+10^{\circ}\text{C}$.



Figur 6.1 Målt varmeledningsevne, λ_{10} , begge sorteringer. Data fra MiljøIso-prosjektet, delprosjekt 2.

For detaljerte termiske analyser er det bruk for varmeledningsevne som funksjon av temperatur. Kurvene i Figur 6.2 er laget på grunnlag av målingene i MiljøIso-prosjektet og data fra "Frost i Jord", som viser hvordan varmeledningsevnen endres med temperaturen.



Figur 6.2 Varmedningsevne for forskjellige typer Leca Lettklinker med varierende vanninnhold.

Figur 6.2 viser at varmedningsevnen for fuktig Leca Lettklinker øker når materialet fryses. Økningen i varmedningsevne skyldes at is har nesten 4 ganger så høy varmedningsevne som vann. Vanninnholdet vil imidlertid bremse gjennomfrysing av Leca-laget. Det skyldes i noen grad at vann gir økt volumetrisk varmekapasitet men først og fremst frysevarmen som frigis ved faseovergang fra vann til is.

6.1.2 Volumetrisk varmekapasitet

Volumetrisk varmekapasitet er summen av varmekapasitet for mineral og vann/is og kan beregnes fra volumandel, densitet og spesifikk varmekapasitet for hvert materiale. Volumetrisk varmekapasitet er ikke målt i MiljøIso-prosjektet. Tabell 6.1 viser beregnet volumetrisk varmekapasitet for Leca Lettklinker.

Tabell 6.1 Beregnet volumetrisk varmekapasitet for Leca Lettklinker, ($\text{kJ/m}^3\text{K}$).

Sortering og vanninnhold	Frosset Leca Lettklinker	Ufrosset Leca Lettklinker
Leca 10-20, 4.2 vol %	290	390
Leca 10-20, 7.2 vol %	350	510
Leca 0-32, 16.4 vol %	580	950

6.1.3 Fryse- og tinevarme for Leca Lettklinker

Frysevarme for vann er $334\,000\text{ kJ/m}^3$. Frysing av en kubikkmeter Leca Lettklinker med 7.2 volum % vann frigir $24\,000\text{ kJ}$. Nedkjøling av samme volum Leca fra $+10$ til 0°C fjerner netto $5\,100\text{ kJ}$. Frysevarmen for fuktig Leca er derfor et betydelig bidrag til materialets motstand mot gjennomfrysing.

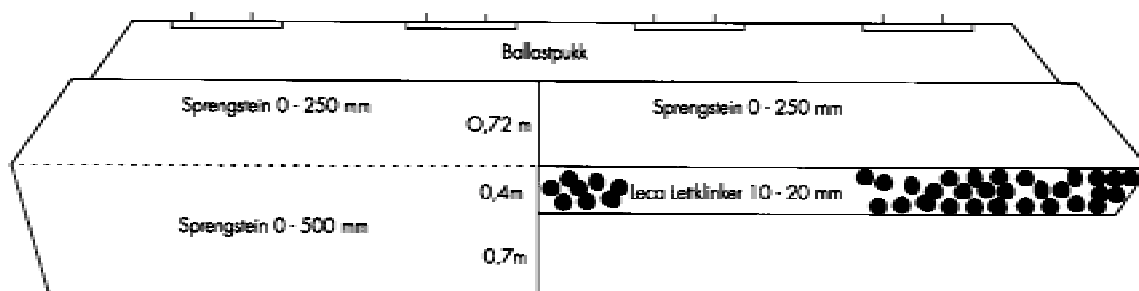
6.2 Erfaring fra frostforsøkene ved Gardermobanen på Leirsund

Forsøket med nedfrysing av en 25 m prøvefylling parallelt med Gardermobanen gav interessante resultater. I feltforsøket ble det bygget et frysehus over en todelt prøvefylling - en del bygget av pukk og sortert sprengstein og en del hvor de nederste 110 cm sortert sprengstein var byttet ut med 40 cm Leca 10-20.

Området ble påført en kuldemengde på 30.000 timegrader som tilsvarer hundreårsvinteren for området. Temperaturmålinger viste at frosten trengte gjennom den 232 cm tykke konstruksjonen uten Leca og forårsaket telehiv. For den 162 cm tykke konstruksjonen med Leca ble det ikke observert hverken gjennomfrysing eller telehiv (unntatt for målestrengen like foran kuldeaggregatet hvor nedkjølingen var mye sterkere enn gjennomsnittet).

I dette tilfellet ga Leca Lettklinker muligheten til å redusere gravedybden i leire/silt med 70 cm.

Figur 6.3 viser normalprofil for Gardermobanen med og uten Leca 10-20. Leca Lettklinker gir bedre sikkerhet mot teleskader. I tillegg medfører bruk av Leca at høyden av konstruksjon reduseres med ca en tredel.



Figur 6.3 Oppbygging av Gardermobanen med og uten Leca.

Vanninnholdet i Leca på prøvestrekningen var 24 vekt %. Varmeledningsevne for Leca 10-20 med 24 vekt % vann ble etterregnet til 0.16 - 0.21 W/mK (avhengig av temperatur). Etterregnet varmeledningsevne for sortert sprengstein var mellom 0.6 og 1.1 W/mK, med andre ord en relativt stor variasjon i varmeledningsevne over et meget lite område.

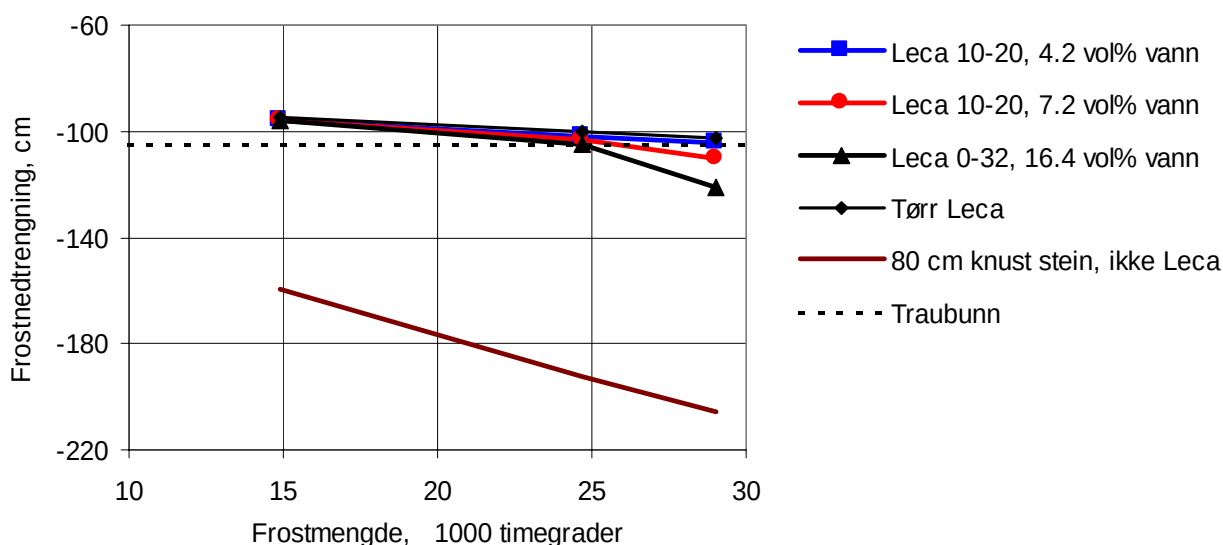
For håndregning er det praktisk å benytte en ekvivalent varmeledningsevne som inkluderer effekt av varmekapasitet og frysevarme. Etterregning av fryseforsøk på Gardermobanen viser at Leca 10-20 med 7 volum% vann her har en ekvivalent varmeledningsevne på 0.12 W/mK.

6.3 Fuktopptak og frostsikringsegenskaper

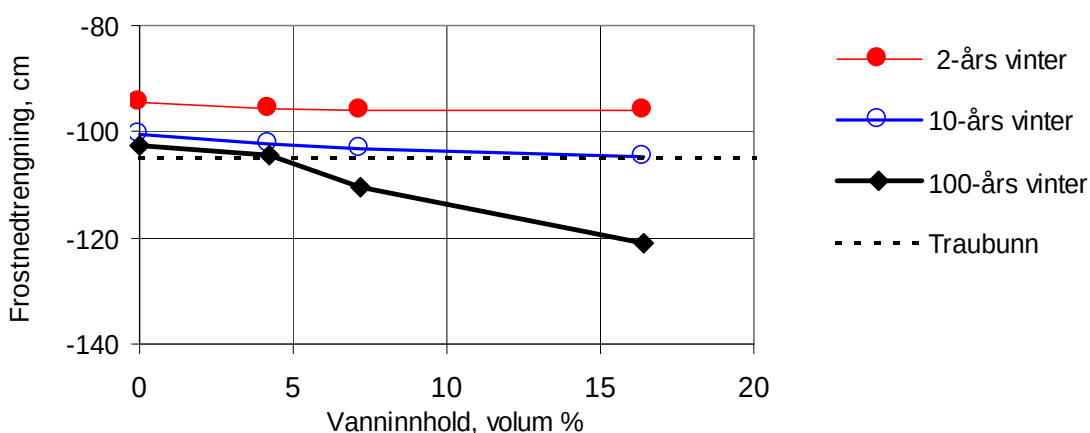
Varmeledningsevne for Leca øker med økende vanninnhold. Feltmålinger har vist at volumetrisk vanninnhold for drenert Leca i veg og bane kan være i størrelsesorden 5 til 15 volumprosent. Figur 6.1 viser at varmeledningsevne for Leca Lettklinker med dette vanninnholdet er ca 50 til 100 % høyere enn for tørr Leca. Dette betyr likevel ikke at de frostisolerende egenskapene er tilsvarende forringet. Vanninnhold gir både en økning av volumetrisk varmekapasitet og et "lager" av latent varme i form av frysevarme.

Figurene 6.4 og 6.5 på neste side viser beregnet frostnedtrengning for vei med 40 cm knust stein over 40 cm Leca Lettklinker med varierende vanninnhold. Frostnedtrengning for veg med 80 cm

knust stein er også vist. Begge vegkonstruksjonene har 25 cm samlet tykkelse av dekke og bærelag. Klimadata fra Drammen er benyttet for de termiske analysene.



Figur 6.4. Frostnedtrengning under veg med forsterkningslag av 40 cm knust stein over 40 cm Leca. Vegen har 25 cm dekke og bærelag.



Figur 6.5 Frostnedtrengning som funksjon av vanninnhold under veg med forsterkningslag av 40 cm knust stein over 40 cm Leca. Vegen har 25 cm dekke og bærelag.

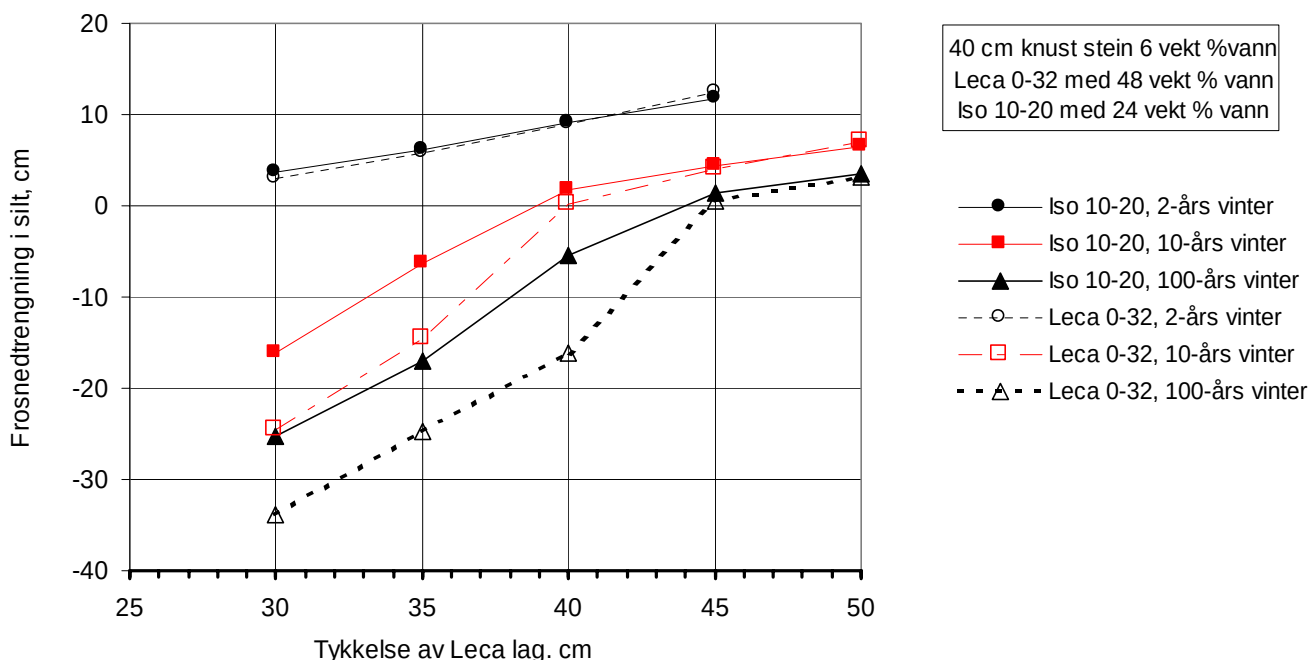
Før frosten trenger gjennom Leca-laget oppveier frigitt frysevarme i stor grad virkningen av høyere varmeledningsevne på grunn av fuktinnhold. Når vinteren blir så kald at frosten trenger gjennom Leca-laget, er frostnedtrengning i undergrunnen større jo høyere vanninnholdet i Leca-laget er.

I praksis medfører dette at vanninnholdet i Leca-materialet ikke har så stor betydning for isolasjonsevnen for Leca Lettklinker når det dimensjoneres for full frostsikring !

6.4 Dimensjonering av Leca-lag for full frostsikring

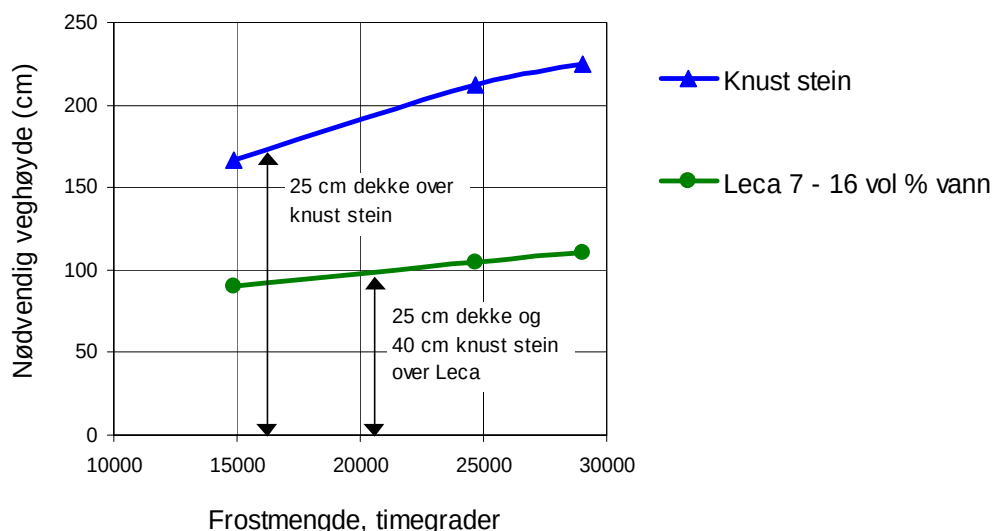
Ved dimensjonering av veg med Leca i forsterkningslaget må frostmotstand, deformasjon av Leca-laget og fare for ising på vegoverflaten vurderes spesielt.

Figur 6.6 viser eksempel på hvordan resultatene fra flere termiske analyser er brukt for å finne nødvendig tykkelse av Leca-lag for å unngå gjennomfrysing av veg. Negative verdier for frostnedtrengning angir frostnedtrengning i undergrunnen. Positive verdier betyr at Leca-laget ikke er gjennomfrosset. Kurvenes kryssing med linjen for 0 cm frostnedtrengning gir nødvendig lagtykkelse for aktuell Leca-type og dimensjonerende vinter og full frostsikring.



Figur 6.6 Bestemmelse av Leca-lag tykkelse for å hindre gjennomfrysing av veg. Veg med 40 cm knust stein over Leca. Overbygning tilsammen 65 cm.

Figur 6.7 viser tykkelse av frostsikker vegoverbygning med frostsikringslag av Leca Lettklinker og knust stein. For praktiske formål er det liten forskjell i nødvendig lagtykkelse for Leca med middels og høyt vanninnhold. Beregningene er gjort med klimadata fra Drammen.



Figur 6.7 Nødvendig veghøyde for veg frostsikret med Leca Lettklinker eller knust stein. Overdekning over Leca laget er 65 cm inkludert 40 cm stein.

"Frost i jord" og Håndbok 018 (1980-versjonen) angir 1.5 - 1.8 m som maksimum tykkelse for frostsikret veg. Våre beregninger viser at en slik veg knapt nok er frostsikker mot gjennomsnittsvinteren i Drammen (ca 15 000 timegrader) uten bruk av isolasjon.

6.4.1 Effekt av frostsikring

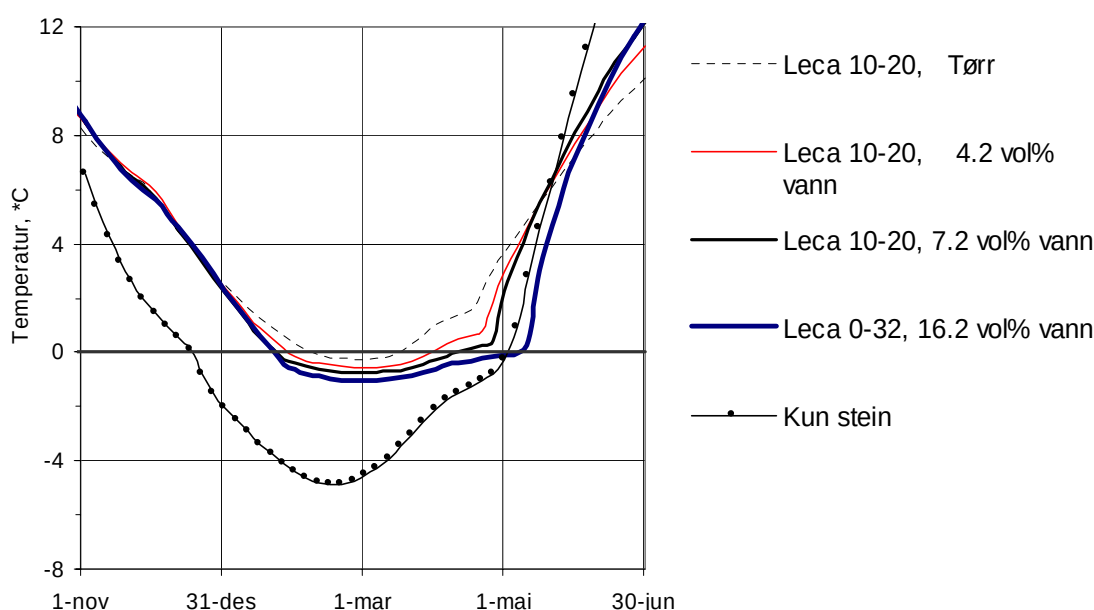
Resultatene fra de termiske analysene er benyttet som grunnlag for å se på effekten av frostsikring med Leca Lettklinker. Analysene er utført for en gitt vegkonstruksjon og klimadata fra Drammen, men det kan likevel trekkes en rekke generelle konklusjoner på grunnlag av resultatene fra analysene.

6.4.2 Redusert frostnedtrengning.

Figur 6.4 viser klart at selv det dårligst isolerende Leca-laget reduserer frostnedtrengning betydelig sammenlignet med veg uten Leca Lettklinker.

6.4.3 Redusert telehiv ved delvis frostsikring med Leca Lettklinker

Figur 6.8 viser beregnet temperatur i traubunnen i løpet av 100-års vinteren for to vegkonstruksjoner med 70 cm forsterkningslag, 40 cm knust stein over 30 cm Leca eller 70 cm knust stein. Beregningene er gjort for tre Leca Lettklinker alternativer.



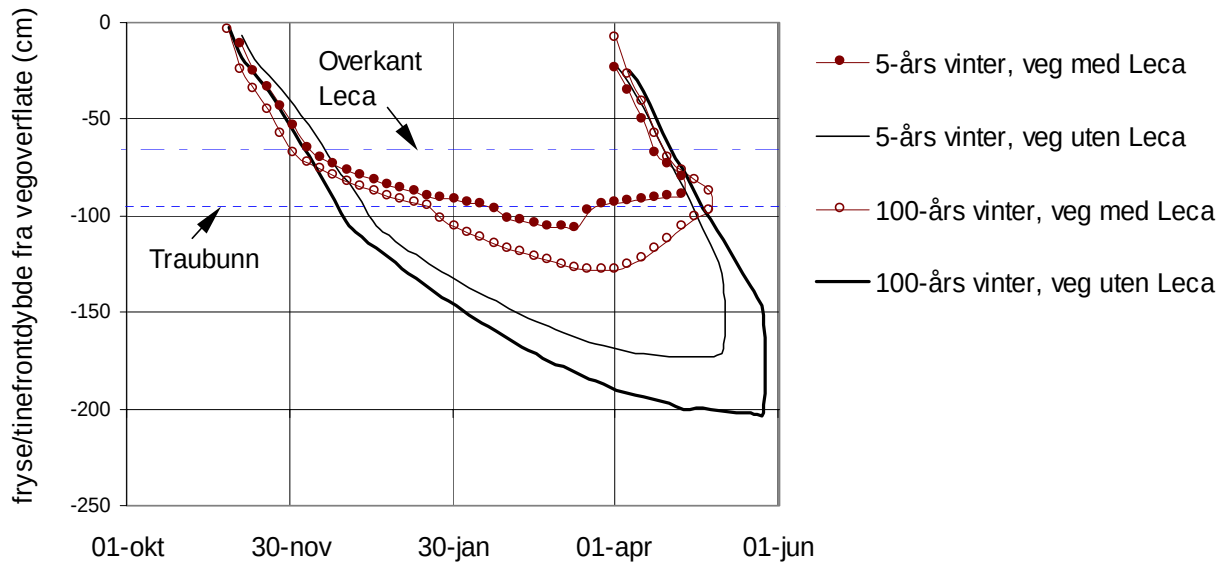
Figur 6.8 Beregnet temperatur i traubunnen i løpet av hundreårsvinteren for veg med forsterkningslag av 40 cm knust stein over 30 cm Leca av forskjellig type og vanninnh.

Laveste temperatur i traubunnen er tilnærmet 3 grader varmere for vegen som er isolert med Leca enn for den uisolert vegen. Frostperioden i traubunnen er dessuten betraktelig kortere i vegen med Leca Lettklinker.

6.4.4 Gunstigere tineforløp og større bæreevne i teleløsningen

Veg som er frostsikret med Leca har bedre bæreevne i teleløsningsperioden enn ikke isolert veg med samme høyde. Det skyldes at Leca-laget endrer forløpet av tining i den frosne undergrunnen. I veg med Leca skjer tining av frossen silt fra undersiden slik at overskuddsvann fra tinende islinser kan dreneres bort.

For veg uten Leca er det ut på våren et teleglag et stykke ned i undergrunnen. Vegkonstruksjonen og silten over teleglaget har overskudd av vann fra islinser og dermed meget dårlig bæreevne. Trafikkbetasting kan "pumpe" de bløte massene opp i vegkonstruksjonen slik at den på sikt blir ødelagt. Figur 6.9 viser beregnet frysefront for veg med og uten Leca.



Figur 6.9 Beregnet frostdyp i løpet av 5 og 100 - års vinteren for veg med og uten frostsikring av 40 cm Leca 0 - 32 . Vanninnhold for lettklinkeren er 16 volum %.

6.4.5 Ising

Det er utført varmemasseberegninger for vegoverflaten for veg med og uten Leca. Hensikten med beregningene er å vurdere risiko for ising på grunnlag av antall timer med frost i vegoverflaten - eller mer presist - forskjell i timer med frost i overflaten for veg med og uten Leca. Resultatene fra analysene er vist i Tabell 6.2.

Tabell 6.2 Antall timer og tidsandel med overflatefrost og frost i luften. Gjennomsiktig rim. Absorpsjonsfaktor som for asfalt uten rim.

		Frost i veioverflate (transparent rim)				Frost i luft	
		Leca		Knust stein			
		Timer	Andel %	Timer	Andel %	Timer	Andel %
1985	August	0	0	0	0	0	0
	September	28	3.9	19	2.6	8	1.1
	Oktober	218	29.3	201	27.0	81	10.9
	November	550	76.4	539	74.9	474	65.8
	Desember	729	98.0	726	97.6	693	93.1
1986	Januar	744	100	744	100	730	98.1
	Februar	672	100	672	100	667	99.3
	Mars	462	62.1	480	64.5	208	28.0
	April	195	27.1	211	29.3	151	21.0
Totalt		3598	-	3592	-	3012	-

De beregnede overflatetemperaturene viser at vegen med Leca Lettklinker får frost i dekkeoverflaten noe tidligere enn vegen uten Leca. Resultatene viser også at overflatetemperaturen om vinteren generelt er noe lavere for veg med Leca enn for konvensjonell veg.

Det er likevel verd å merke seg at totalt antall timer med frost i overflaten for veg med Leca, er tilnærmet likt med en veg uten Leca. Dette skyldes at materialene over det isolerende Leca-laget blir noe fortere oppvarmet om våren enn de øvre lagene i en veg uten Leca. Det betyr kortere frostperiode for veg med Leca.

I virkeligheten er muligheten for ising ikke bare avhengig av at dekketemperaturen er under null, men også av fuktinnhold i luft, temperaturforskjell mellom luft og dekke, forskjell mellom dag og nattemperatur og faktisk temperatur i dekkeoverflaten. For å få et fullstendig bilde av isingsfare må også disse faktorene med i evalueringen.

Moderne veger bygget med asfalt, knust stein og sprengstein har generelt langt større isingsrisiko enn eldre veger med tynt dekke over fuktig grus eller sand. Med tanke på isingsfare er det trolig liten forskjell mellom uisolert veg med dagens oppbygging og en veg isolert med Leca.

6.5 Termisk virkemåte i hovedtrekk

Hensikten med frostsikring av veg er å:

- redusere eller forhindre telehiv
- å forhindre teleskader på vegdekke og selve vegkonstruksjonen

Frostsikring av veg blir oftest gjort med 10-års vinter som dimensjonerende frostmengde. Det betyr at det i gjennomsnitt vil gå minst 10-år mellom hver gang frosten trenger ned i undergrunnen. For vannmettet jord som fryser er det to kilder til telehiv:

- volumutvidelse av porevannet ved frysing
- islinsedannelse på grunn av vann som "suges" til frysefronten

Telehivprosessen er komplisert og involverer både massetransport, faseovergang og varmeledning.

I gjennomgangen av resultatene fra de termiske analysene er det vist at selv om frosten trenger gjennom Leca-laget i løpet av en ekstra kald vinter, så vil effekten av frostsikringen med Leca likevel være:

- Redusert telehiv på grunn av:
 - redusert frostnedtrengning
 - kortere frostperiode for undergrunn
- Bedre bæreevne i teleløsningsperioden ved at Leca-laget endrer forløpet av tining i den frosne undergrunnen.

Sammenlignet med knust stein har Leca Lettklinker stabil kvalitet og godt dokumentert varmeledningsevne. Dette gir jevn kvalitet og langt mindre risiko for punktvise gjennomfrysing på en frostsikret strekning. Bruk av lettklinker gir også mulighet for full frostsikring uten at høyden på vegkonstruksjonen må økes drastisk i forhold til hva som kreves for å oppnå tilstrekkelig bæreevne. Bruk av Leca Lettklinker øker trolig ikke isingsfaren mye sammenlignet med isingsfare for veg bygget med knust stein eller sortert sprengstein.

Varmetekniske egenskaper og termisk virkemåte:

- Varmeledningsevne for Leca Lettklinker er 0.1 til 0.25 W/mK avhengig av fukt, temperatur og densitet. (Figur 6.1 og 6.2)
- For fuktig Leca gir volumetrisk varmekapasitet og latent varme et viktig bidrag til frostmotstand
- Vanninnhold i Leca Lettklinker har lite å si for frostmotstand i veg eller bane - høyere varmeledningsevne oppveies av større varmekapasitet og latent varme.
- Leca Lettklinker reduserer frostnedtrengning og nødvendig konstruksjonshøyde for full frostsikring
- Leca Lettklinker endrer tineforløp - slik at reduksjon av bæreevne i tilfelle gjennomfrysing blir mindre
- Ising på veg med Leca er tilnærmet som for tradisjonell veg bygget med asfalt og knust stein.

7 PRAKTISK BRUK AV LECA LETTKLINKER

7.1 Aktuelle bruksområder

Mest aktuelle bruksområder for Leca Lettklinker i anleggssektoren er som:

- lett fyllmasse under veger, baner og plasser
- lett, isolerende og godt drenerende tilbakefylling mot faste konstruksjoner
- frostisolerende lag i baneanlegg og vegkonstruksjoner
- frostsikring i ledningsgrøfter

7.1.1 Leca som lett fyllmasse

Ved bruk av *Leca* Lettklinker som lett fyllmasse i veger, baner o.l. er hensiktene å sikre stabilitet, forebygge setninger og å redusere jordtrykk. I mange tilfeller kan mer enn en av disse funksjonene være interessant samtidig. Prinsippene for bruk av *Leca* Lettklinker i fyllinger er vist i Tabell 7.1. Eksempler på aktuelle anvendelser av *Leca* som lett fyllmasse er vist i Figur 7.1. Eksempler på prosjekter hvor *Leca* Lettklinker er brukt som fyllingsmateriale er vist i Figur 7.2-7.5.

Tabell 7.1 Prinsipper for bruk av *Leca* Lettklinker i fyllinger

Anvendelse	Fylling av Leca	Tilbakefylling med Leca mot faste konstruksjoner	Masseutskifting med Leca
Virkemåte	Redusert tilleggsbelastning på grunnen	Redusert jordtrykk og tilleggsbelastning på grunnen	Avlastning av grunnen
Aktuelle hensikter	Forbedret stabilitet Reduserte setninger Setningsutjevning	Mindre påkjenning på støttemurer, landkar etc. Reduksjon og utjevning av setninger inn mot kulverter og bruer.	Kompensert fundamentering. Setningsfri konstruksjon.

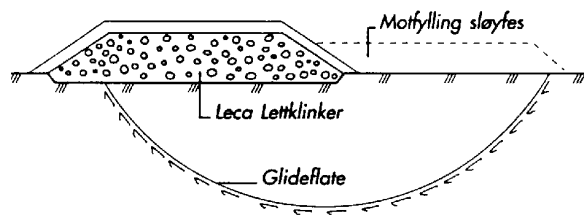
Med bruk av *Leca* som lett fyllmasse er virkningene på stabilitet, setninger og jordtrykk lett å beregne. Det er samtidig enkelt å utforme myke overgangssoner med gradvis endring av effektene. Dette gir gode muligheter for å skreddersy optimale løsninger for aktuelle problem; f.eks for ei tilløpsfylling på bløt leire med gradvis avtakende setninger inn mot ei bru som er pelet til fjell (se Figur 7.1c).

I enkelte tilfeller kan *Leca* Lettklinker også bli valgt som byggemateriale fordi materialet er lett å legge ut. På vanskelig tilgjengelig steder vil mye arbeid kunne spares med innblåsing av *Leca* Lettklinker. Fraksjon 10-20 mm brukes når det er aktuelt å blåse.

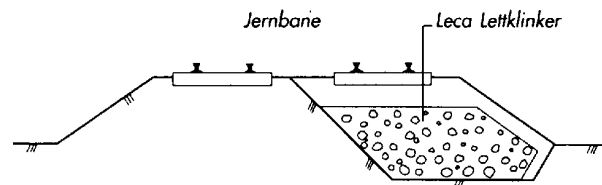
7.1.2 Leca Lettklinker som frostisolasjon

Ved bruk som frostisolasjon utnyttes primært de varmeisolerende egenskapene i lettklinkeren. Brukt som frostsikringslag i veger, jernbaner o.l. vil lettklinkerens gode drenerende egenskaper også være positivt. Nærmere omtale av *Leca* Lettklinker som frostisolasjon er gitt i avsnitt 7.3.

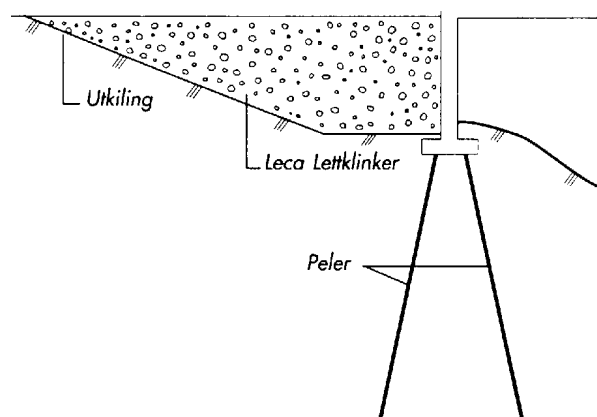
a) fylling på lite bæredyktig grunn



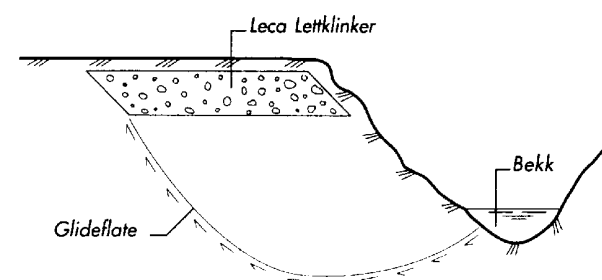
b) breddeutvidelse av gammel fylling



c) tilfylling mot brulandkar og kile av lett masse i tilløpsfylling



d) masseutskifting i ustabil skråning



Figur 7.1 Eksempler på mulige anvendelser av Leca Lettklinker som lett fyllmasse



Figur 7.2 Leca-fylling i en ny jernbaneparsell på Vestfoldbanen



Figur 7.3 Masseutskifting med løs Leca for avlasting av skjæringsskråning ved Sande stasjon.



Figur 7.4 Lettklinkerfylling ved breddeutvidelse av E6 nord for Oslo.



Figur 7.5 Lav vegfylling av Leca på meget bløt grunn ved Vestby (her valgt i stedet for kalk/segment peler).

7.2 Bygging med Leca Lettklinker

7.2.1 Levering

For anlegg på land leveres Leca Lettklinker vanligvis i fraksjonene 0-32 mm og 10-20 mm. Vanligste fraksjon til fyllingsformål er 0-32 mm. For fyllinger under vann leveres en finere fraksjon (0-4 mm) med høyere korndensitet enn vann.

I Norge produseres Leca Lettklinker ved fabrikker på Rælingen i Akershus og i Borge i Østfold. Foruten produksjonsstedene er det faste lagre av Leca Lettklinker i Vestnes i Romsdal, i Stjørdal og i Tovik ved Harstad.

Materialet kan leveres over hele landet og kan normalt skaffes på kort varsel. I innlandet skjer transporten som regel med bil fra produksjonsstedet eller nærmeste faste lager. Fraksjon 10-20 mm kan avtales ferdig utlagt ved innblåsing direkte fra bil. For levering i større kvanta til kystnære anlegg brukes ofte båttransport fram til nærmeste kai, se Figur 7.6. Båtene som benyttes tar inntil 6000 m³. En fullastet bil med henger kan ta opptil 95 m³.



Figur 7.6 Til kystnære anlegg benyttes ofte båttransport.

7.2.2 Utlegging

Løs lagret Leca har lav vekt og lav indre friksjon og er dermed lett å håndtere. Maskinell utlegging kan utføres på flere måter:

- utdosing fra tipp
- utlegging med beltegående gravemaskin (fra bil eller tipp)
- blåsing fra bil med blåseaggregat inntil 40 meter horisontalt og inntil 20 meter vertikalt (gjelder fraksjon 10-20 mm, se Figur 7.7.)

Fyllingsskråninger av Leca Lettklinker må tildekkes med vanlige mineralske fyllmasser. I veg- og jernbanefyllinger er anbefalt tykkelse av dekningslaget 0,8 meter målt vinkelrett på skråningen. Ved fyllinger med høyde større enn ca 3 meter bør det bygges ranker av stabilt steinmateriale som nedre halvdel av fyllingen kan komprimeres mot.

Finavretting kan lett utføres med håndredskap.



Figur 7.7 Innblåsing av Leca Lettklinker 10-20 mm direkte fra bil.



Figur 7.8 Utlegging av Leca Lettklinker med beltegående gravemaskin.

7.2.3 Komprimering og innbygging

På grunn av lav romvekt og rund kornform trenger Leca Lettklinker mindre komprimeringsarbeid enn andre granulære masser. Ved komprimering oppnås raskt en omlagring av kornene som gir en volumreduksjon på ca 10% i forhold til løseste lagring. Leca-fyllinger kan legges ut i inntil en meter tykke lag og komprimeres med doser eller beltegående gravemaskin med marktrykk maksimalt 50 kN/m². Tre overfarter med doser er normalt tilstrekkelig. Inn mot faste konstruksjoner og ved mindre arbeider må det benyttes platevibrator med inntil 50 kN/m² marktrykk. Lagtykkelsen må da begrenses til ca 60 cm og det er nødvendig med minst tre overfarter.

Blåsing av løs Leca gir en viss komprimering, normalt ca 4-5% i forhold til løseste lagring. Tilleggskomprimering, f.eks med platevibrator, anbefales for lagtykkelser over 50 cm.

Hvis overbygningen består av finkornige eller organiske masser må det legges ut fiberduk for å separere Leca-materialet og overliggende masser. Overliggende lag må ikke tippes direkte på Leca-fyllinga, men fordeles fra tipp med doser eller gravemaskin. Overliggende lag må ikke trafikkeres med så tunge kjøretøyer at det oppstår knusing i Leca-materialet. Et mekanisk stabilisert lag på 25-30 cm gir normalt tilstrekkelig beskyttelse i anleggsperioden.

7.3 Bruk av Leca Lettklinker til frostsikring av jernbaner, veger og grøfter

7.3.1 Krav til frostsikring

Funksjonskravene til frostsikring av baneanlegg, veger og ledningsgrøfter er til dels forskjellige. En kort beskrivelse av gjeldende norske krav er gitt nedenfor.

Baneanlegg

For nye baneanlegg er det meget strenge krav til frostsikring. Kravet er at nye baner ikke skal få driftsforstyrrelser på grunn av telehiv oftere enn én gang pr 100 år. Denne målsettingen kan vanskelig nås uten bruk av isolasjonsmaterialer. I de tilfellene det er brukt isolasjonsmateriale i nye norske høyhastighetsbaner, er Leca Lettklinker valgt. Løsninger med bruk av Leca er også innarbeidet i Jernbaneverkets regelverk.

Veger

Gjeldene funksjonskrav til frostsikring av norske veger er innrettet mot tilstrekkelig bæreevne i teleløsningsperioden. Dette ivaretas gjennom den bæreevnemessige dimensjoneringen etter Vegnormalene. I tillegg er det åpnet for bedre frostsikring av viktige veger for å motvirke ujevne telehiv. Reduserte telehiv gir fordeler både for trafikantene og for vegholder hhv gjennom økt kjørekomfort og trafikksikkerhet, samt gjennom økt dekkelevealder og reduserte vedlikeholdskostnader.

Hittil har ikke bruk av isolasjonsmaterialer hatt særlig stort omfang i norsk vegbygging. Det må ventes at bruk av isolasjonsmaterialer vil bli mer aktuelt dersom myndighetenes målsetting om redusert piggdekkbruk innfris. Dette skyldes at teleskadene vil komme i fokus og få større betydning for vegstandarden og vedlikeholdskostnadene. Det vil da også bli mer lønnsomt å forbedre frostsikringen av eldre veger.

Grøfter og ledninger

Alle vann- og avløpsanlegg skal være frostsikre. Det betyr både at vannet i ledningene ikke skal fryse og at ledningene ikke skal utsettes for telehiv. Behovet for frostsikringstiltak er størst for sekundære ledninger med liten og variabel vannføring. Store hovedledninger med betydelig vannføring vil som oftest ikke ha store frostproblem untatt ved avstengning.

Ved å isolere vann- og spillvannsledninger i drift kan varmeangivelsen fra ledningene utnyttes i frostsikringen. I jordgrøfter vil et bredt horisontalt isolasjonslag over ledningene ofte være mest hensiktsmessig. I smale fjellgrøfter, hvor frosten trenger ned i fjellet under ledningene, er det nødvendig å la isolasjonen omslutte ledningene.

7.3.2 Aktuelle løsninger med bruk av Leca Lettklinker

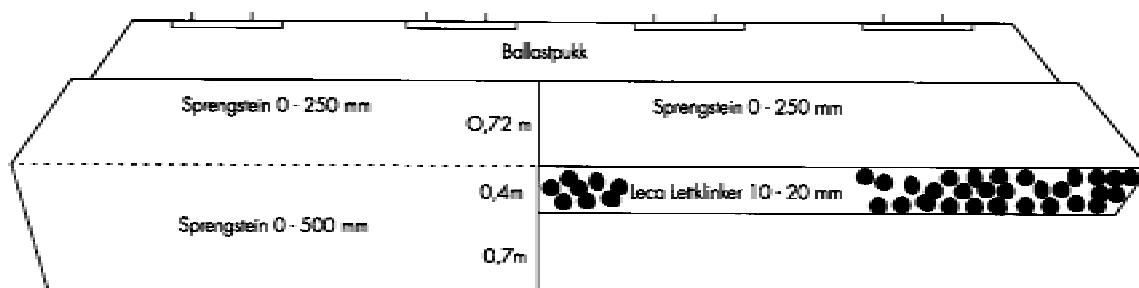
Ved bruk som frostisolasjon er det de varmeisolerende egenskapene i Leca Lettklinker som primært utnyttes. For frostsikringslag i veger og jernbaner vil lettklinkerens drenerende egenskaper samtidig være et positivt bidrag til en god konstruksjon. Enkel utlegging av materialet kan også være en viktig grunn for å velge Leca.

Frostsikringslag i jernbaner

Jernbaneverkets nåværende regler for prosjektering og bygging av nye baner angir bruk av lettklinker som frostsikringslag alternativt til frostsikring med steinmasser eller med sand/grus. På grunn av begrensede sand- og grusressurser er frostsikringslag av sprengstein det eneste reelle alternativet til lettklinker i jernbanefundamenter.

Ved bruk av lettklinker i baneanlegg skal dimensjonerende frostmengde baseres på 100-års vinteren. For å kompensere for nedtrengning av stein øverst i lettklinkerlaget, anbefaler retningslinjene at isolasjonstykkelsen overdimensjoneres med 20 %.

I de tilfellene Leca er blitt benyttet som frostsikringslag i nyere norske baner er løsningen vist i Figur 7.9 gjerne blitt benyttet. Figur 7.10 viser et jernbanetrau med frostsikringslag av Leca under utlegging.



Figur 7.9 Alternative jernbanefundament med frostsikringslag av Leca Lettklinker og sprengstein.

Det er gjort flere negative erfaringer med frostfundament av sprengstein i nye norske banestrekninger på 90-tallet. Frostsikring med Leca vil ha langt mindre risiko enn frostsikring med sprengstein. Det skyldes primært at Leca Lettklinker har mye mindre variasjoner i termiske egenskaper enn sprengstein. Dessuten vil variasjoner i materialsammensetning i underliggende og overliggende lag ha mindre betydning i isolerte konstruksjoner.

Med frostsikringslag av Leca er samlet fundament-tykkelse ca 70 cm tynnere enn ved tilsvarende frostsikring med steinmasser. Den reduserte gravedybden for trauet kan innebære vesentlige fordeler; f.eks.:

- redusert massetransport og masseoverskudd
- bedre utnyttelse av tørrskorpelaget på partier med bløt leire
- reduserte skjæringsinngrep i sideterrenget (og dermed også stabilitetsgevinst)
- kortere byggetid



Figur 7.10 Frostsikringslag av Leca Lettklinker under utlegging i jernbanetrau.

Isolasjonslag av Leca Lettklinker i veger

Ifølge nåværende Vegnormaler skal frostsikringslag av lettklinker betraktes som undergrunn i bæreevnegruppe 4 og komme i tillegg til den uisolerte vegkonstruksjonen. Gjennom MiljøIso-prosjektet er det dokumentert at Leca Lettklinker har mekaniske egenskaper som tilsier at den kan brukes som nedre del av forsterkningslaget i veger (se kapittel 4 og 5). Gjennom å legge et lag Leca Lettklinker som nedre del av forsterkningslaget oppnås en betydelig rimeligere frostsikring enn den løsningen Vegnormalene beskriver. Gjennom MiljøIso-prosjektet er det også dokumentert at frostsikringseffekten av Leca Lettklinker er lite følsom for vanninnholdet i Leca-materialet (se kapittel 6).

Det kan på bakgrunn av MiljøIso-prosjektet anbefales følgende vegkonstruksjon frostsikret for klimaforhold tilsvarende som i Drammen:

- Isolasjonslag/nedre forsterkningslag av Leca Lettklinker i fraksjon 0-32 med tykkelse 20-25 cm (avhengig av hvor god frostsikring som ønskes)
- Øvre forsterkningslag av sprengstein eller pukk (tykkelse minimum 25 cm men samtidig slik at samlet tykkelse av Leca-laget og forsterkningslaget tilfredsstiller Vegnormalenes krav til forsterkningslag)
- Dekke og bærelag som angitt i Vegnormalene for aktuell vegtype og trafikkbelastning

Det anbefales fiberduk både over og under isolasjonslaget. Et slik veg vil ikke få telehiv annet enn i ekstremt kalde vintre.

For isolerte vegkonstruksjoner er faren for økt overflateising et relevant spørsmål. Undersøkelser utført i MiljøIso-prosjektet tyder på at isolering med Leca Lettklinker gir liten endring av isingsfaren i forhold til andre moderne konstruksjonsløsninger (se kapittel 6).

Figur 7.11 viser toppen av ei Leca-fylling som har ligget under en veg med ca 40 cm overbygning. En tilstandsundersøkelse av Leca-fyllinga og vegen er utført i MiljøIso-prosjektet, og er en del av grunnlaget for å anbefale bruk av Leca som kombinert frostsikrings- og forsterkningslag. Også andre undersøkelser i MiljøIso-prosjektet støtter opp om denne anbefalingen, se kapittel 4, 5 og 6.



Figur 7.11 Avdekket Leca-fylling under en veg med 40 cm overbygning. Det ble ikke funnet noen indikasjoner på at trafikken skader fyllinga.

Leca som frostsikring av ledninger

I områder med moderat frostbelastning og for ledningsgrøfter anlagt i fuktige masser, vil mest aktuell løsning være å legge et lag med Leca Lettklinker over omfyllingssonen for rørene. En slik løsning vil redusere frostnedtrengningen lokalt ved grøfta. Aktuell lagtykkelse vil være 20-40 cm avhengig av klimaforhold og grøftedybde.

I områder med stor frostbelastning og på steder der ledningene ligger mer frostutsatt (f.eks i grunne grøfter i fjellterreng og under områder som ryddes for snø) må isolasjonen omslutte ledningene. Prinsippet er da å utnytte varmeavgivelsen fra ledningene. I slike tilfeller vil aktuell løsning være å bruke Leca Lettklinker både til rørfundament og omfyllings-materiale. Før rørene legges ut bør rørfundamentet stabiliseres med fiberduk.



Figur 7.12 Leca Lettklinker brukt som frostsikring av drensledning i ei grunn fjellgrøft.

8 REFERANSER

1. "MiljøIso-prosjektet. Leca isolasjon i veg og bane - Forstudie". SINTEF rapport STF22 F97663, Trondheim 1997.
2. "Leca in road construction works - materials and application, State-of-the-art in Norway". Memo to Participants Leca seminar, Oslo 1998.
3. "MiljøIso-prosjektet. Leca isolasjon i veg og bane - Laboratorieundersøkelser av mekaniske egenskaper". SINTEF rapport STF22 F98607, Trondheim 1998.
4. "MiljøIso-prosjektet. Leca isolasjon i veg og bane - Stivhet av Leca. Laboratorieforsøk i storødometer." Rapport O98.02.01 fra NTNU Institutt for Geoteknikk, Trondheim.
5. "MiljøIso-prosjektet. Leca isolasjon i veg og bane. Sykliske treaksforsøk på løs Leca". SINTEF rapport STF22 F98619, Trondheim 1998.
6. "MiljøIso-prosjektet. Leca isolasjon i veg og bane. Storskala laboratorieforsøk". SINTEF rapport STF22 F99603, Trondheim 1999.
7. "MiljøIso-prosjektet. Leca isolasjon i veg og bane. Tilstandsundersøkelse av Leca-fylling på riksveg 753 i Nord-Trøndelag". SINTEF rapport STF22 F98648, Trondheim 1998.
8. "MiljøIso-prosjektet. Måling av fukt og varmetekniske egenskaper til løs Lettklinker", Trondheim 1998, Rapport fra Norges byggforskningsinstitutt til as Norsk Leca.
9. "MiljøIso-prosjektet. Leca isolasjon i veg og bane - termiske analyser". SINTEF rapport STF22 F98645, Trondheim 1998.
10. "Optiroc, Internordisk Geoprojekt, Leca - Isolasjon i veg og bane. Analyse av spenningsforholdene i storskala laboratorieforsøk". SINTEF rapport STF22 F99619, Trondheim 1999.
11. "Frostforsøk -Leirsund. Resultater fra fryseforsøk". NGI Rapport 980011-1, 15 juni 1998.
12. "Frostmotstand for jernbanefyllinger. Fullskalaforsøk for NSB Gardermobanen". Lars Andresen NGI, Artikkel til Geoteknikkdagen 1998.
13. "Sikring mot teleskader". Frost i Jord nr 17. Oslo November 1976.