

Bilag 1

Optimering af varmeoverføringen i jordvarmelager af stenmel

Svenska

Thule Brahed, 2019



Uppdragsnr: 105 19 40

Sammanfattning

Denna rapport sammanställs för att identifiera möjliga åtgärder för att förbättra dess prestanda till ett ASES (Active solar energy storage)-värmelager.

Studenter har i experimentell miljö utfört tester på tillsatsmaterial och olika kornstorlekar.

En ASES anläggning har blivit designad och uppförd vid DTU.

Förbättringsmöjligheter sågs inom att öka värmelagrets termiska konduktivitet. Om den termiska konduktiviteten kring kollektorslangen och värmelagret ökades så kan kollektorslangens längd minska och avståndet mellan slingorna i marken kan öka men samtidigt bevara densamma effektiviteten för värmelagret.

I övrigt skulle möjligheten undersökas att justera värmelagrets värmekapacitet för att se vilka material som kan bidra till att ökad värmekapacitet och ökade energilagringmöjligheter.

Två möjliga åtgärder som identifierades som genomförbara. Dels tillsattes metalliskt material kring kollektorslangarna genom att välja att fästa dem i armeringsmatta, detta ökar värmeledningsförmågan. Den andra åtgärden var att tillföra fukt under byggnationen då tillsatts av vatten ökade både områdets konduktiva förmåga och värmekapacitet.

Innehåll

1	Inledning	4
1.1	Bakgrund	4
1.2	Syfte	5
1.3	Metod	5
1.4	Avgränsning	5
2	Resultat	6
2.1	Marktemperatur	6
2.2	Jordarter och korn	6
2.3	Materialblandningar och vattenhalt	10
2.4	Bergarter	11
3	Slutsatser	13
4	Litteraturförteckning	14
5	Bilaga 1 Design av ASES värmelagret	15

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Free Energy AS, Danmarks tekniska universitet och Norconsult AB samarbetar i ett gemensamt forskningsprojekt delfinansierat av Elforsk. Projektet syftar till att optimera elanvändningen för uppvärmning av byggnader genom att använda solvärme, ASES (Active Solar Energy Storage) säsongsvärmelager och en smart styrd värmepump.

ASES säsongsvärmelager lagrar lågtempererad energi från sommar till vintern. Värmen hämtas med hjälp av värmepump vars kollektorslang är placerad i botten på värmelagret. Ovan värmelagret placeras isolering. Det är sedan möjligt att placera en byggnad/parkering/markyta ovanpå värmelagret.



Figur 1 Sektionsskiss av ett ASES värmelager.

Ett ASES värmelager består av 3 olika materialzoner likt Figur 1.

- Zon 1 är kärnan i säsongsvärmelagringen. Denna zon skall kunna lagra värmen från sommar till vinter och behöver därav ha en hög värmekapacitet.
- Zon 2 är placering av kollektorslangen. Det är viktigt att kollektorslangen är skyddad och ej kan skadas av spetsiga material. I detta område är väsentligt att värmeledningsförmågan är hög för att kollektorslangen snabbt skall kunna avge värme.
- Zon 3 är omgivande mark och materialet i denna zon kommer variera vid varje genomförande.

1.2 Syfte

Denna rapport skrivs för att bidra till optimering av värmekonduktivitet och värmekapacitet i ASES säsongsvärmelager och därmed öka dess prestanda. Detta görs genom att undersöka vilka materialval och stenmjölsblandningar till zon 1 och 2 som kan vara önskvärda att kombinera i stenmjöslagret.

1.3 Metod

Denna rapport baseras på en litteraturstudie och testning av olika material av studenter från VIA University College samt erfarenheter från tidigare undersökta säsongsvärmelager.

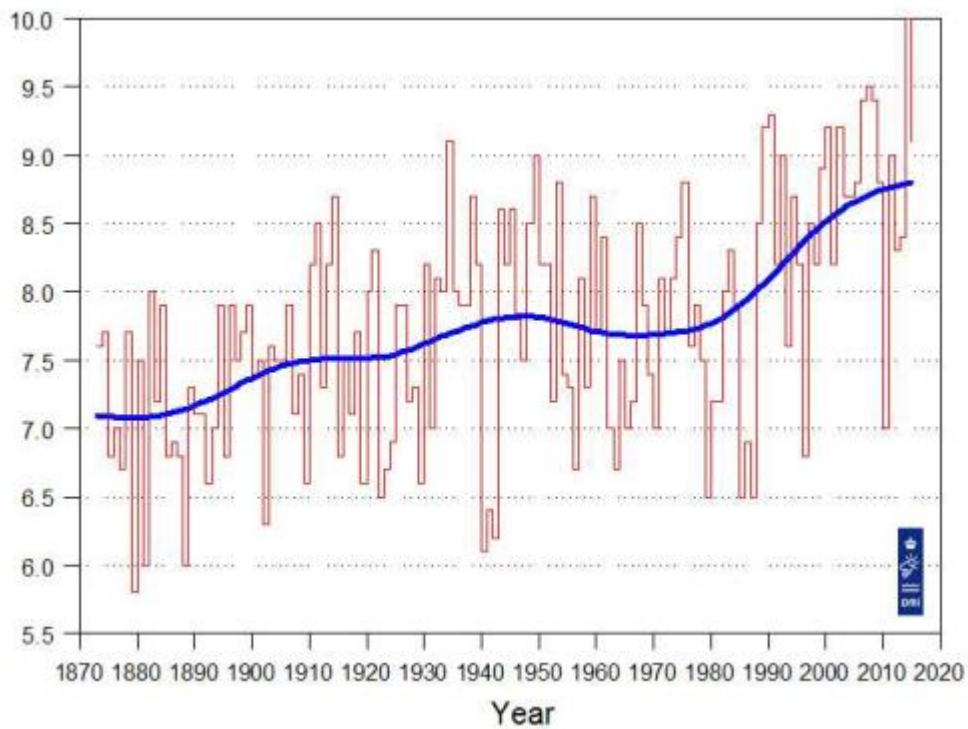
1.4 Avgränsning

Litteraturstudien avgränsas till val av materialblandningar och vilken påverkan de har på värmelagret och dess prestanda för zon 1 och zon 2.

2 Resultat

2.1 Marktemperatur

Markens temperatur är densamma som årsmedeltemperaturen. Djupet då temperaturen i marken anses konstant varierar med markens egenskaper och temperaturen på orten. (Svenskt Geocenter, 2019) Utvecklingen av årsmedeltemperaturen i Danmark presenteras i Figur 2. (DMI, 2017) I det fall värmelagrets temperatur sjunker under årsmedeltemperaturen hämtar kollektorslangarna värme direkt ifrån den omgivande marken.



Figur 2 Årsmedeltemperaturen i Danmark ökar och ligger mellan 7,4 - 8,4°C (DMI, 2017)

2.2 Jordarter och korn

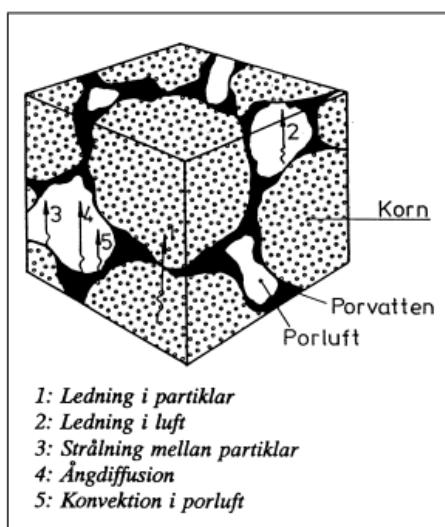
Mineraljordar delas upp i kornfraktioner utifrån kornens grovhet. Uppdelning är enligt Figur 3. Jordarna innehåller vanligtvis flera av de tabellerade fraktionerna i olika blandningar.

Huvudfraktion	Underfraktioner	Beteckning	Fraktionsgränser mm
Mycket grov jord	Stora block	LBo	> 630
	Block	Bo	> 200 till 630
	Sten	Co	> 63 till 200
Grovjord	Grus	Gr	> 2 till 63
	Grovgrus	CGr	> 20 till 63
	Mellangrus	MGr	> 6,3 till 20
	Fingrus	FGr	> 2 till 6,3
	Sand	Sa	> 0,063 till 2,0
	Grovsand	CSa	> 0,63 till 2,0
	Mellansand	MSa	> 0,2 till 0,63
	Finsand	FSa	> 0,063 till 0,2
Finjord	Silt	Si	> 0,002 till 0,063
	Grovsilt	CSi	> 0,02 till 0,063
	Mellansilt	MSi	> 0,0063 till 0,02
	Finsilt	FSi	> 0,002 till 0,0063
	Ler	Cl	≤ 0,002

Figur 3 Definition av korn och des storlekar i en jordblandning. (Larsson, 2008)

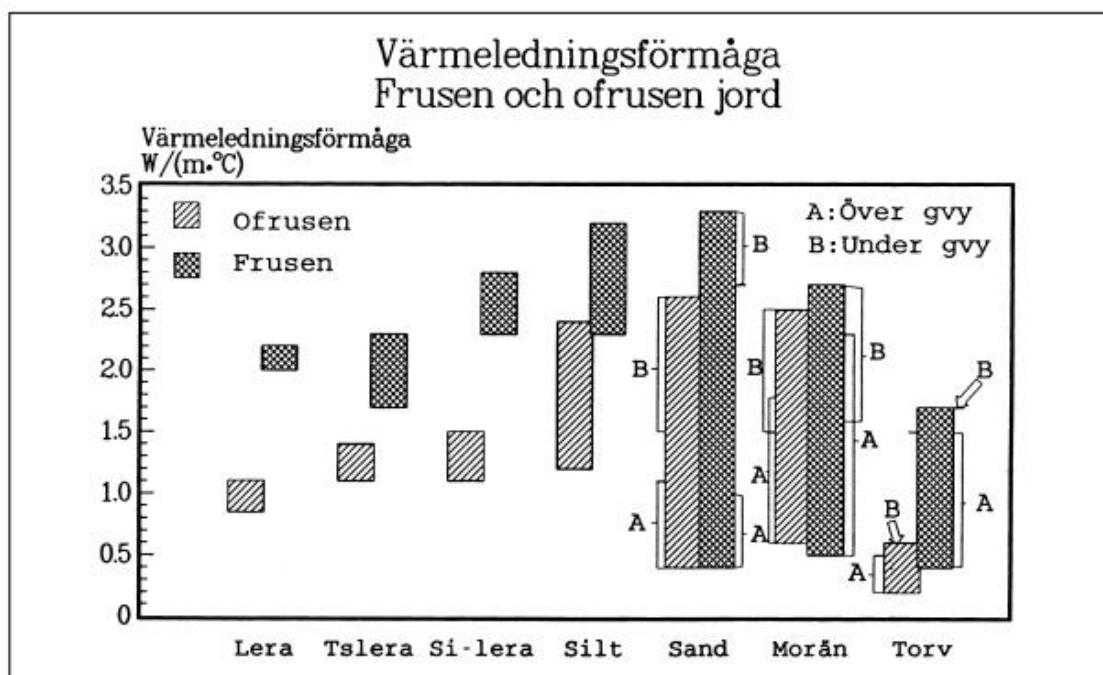
Markens material har en porositet och lagerföljd som alltid varierar och påverkar dess egenskaper att lagra värmeenergi. Närheten till berg och dess uppbyggnad påverkar även Framförallt har tillgången på flödande grundvatten en stor påverkan på möjligheten att lagra energi. (Erlström, Mellqvist, & Schwarz, 2016:16)

En avgränsad volym med korn finn i Figur 4. Under normala markförhållanden sker mest värmetransport genom ledning (konduktion). Detta medför att materialets porositet och vattenhalt har stor betydelse. Vatten är ca 20 gånger bättre värmeledare än luft. I många fall placeras varmelager ej i grundvatten och vattenhalten är låg. Markens porositet bestäms då utefter en kornsamlings densitet. Detta innebär att kornens form och storlek påverkar porositeten. Genom att säkerställa att en stor mängd silt återfinns i materialet så säkerställs att materialets värmeegenskaper ej försämras. (Sundberg, 1991)

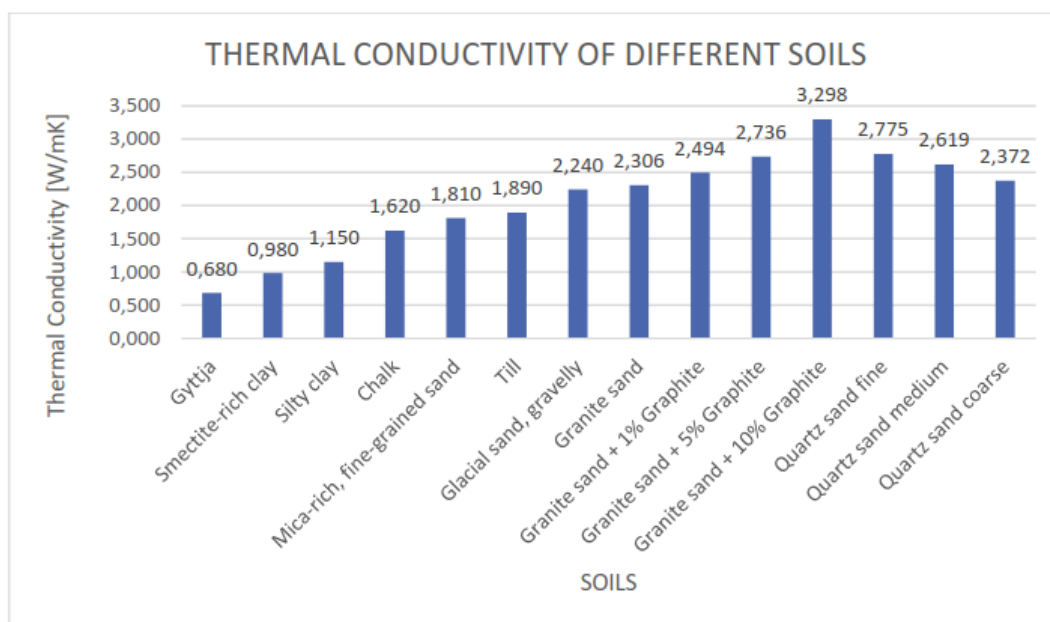


Figur 4 Mekanismer som påverkar termisk konduktivitet och värmelagring. (Sundberg, 1991)

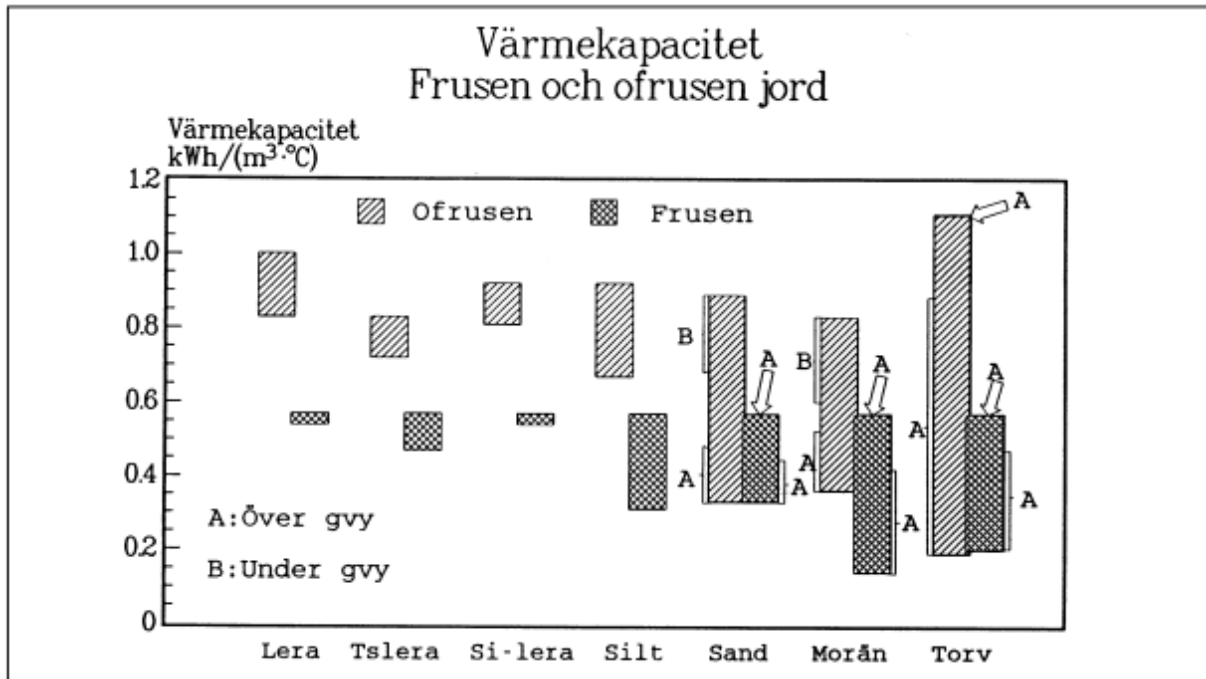
Värmeledningsförmåga i jord presenteras i Figur 5. Det stora spannet på värmeledningsförmågan hos silt, sand och morän beror framför allt på materialets porositet och andelen porluft som finns i materialet. Jord med små partiklar så som lera, torrskorpelera (Tslera) och silt-lera är lättare att uppskatta värmeledningsförmåga, kornen blir kompaktare och den ökade kapillärförmågan bidrar till att jorden ofta är fuktigt. Många likheter återkommer i Figur 7 som visar jordens värmekapacitet. En tydlig trend är att finjordar med vattenhalt och små partiklar har en högre värmekapacitet. (Sundberg, 1991)



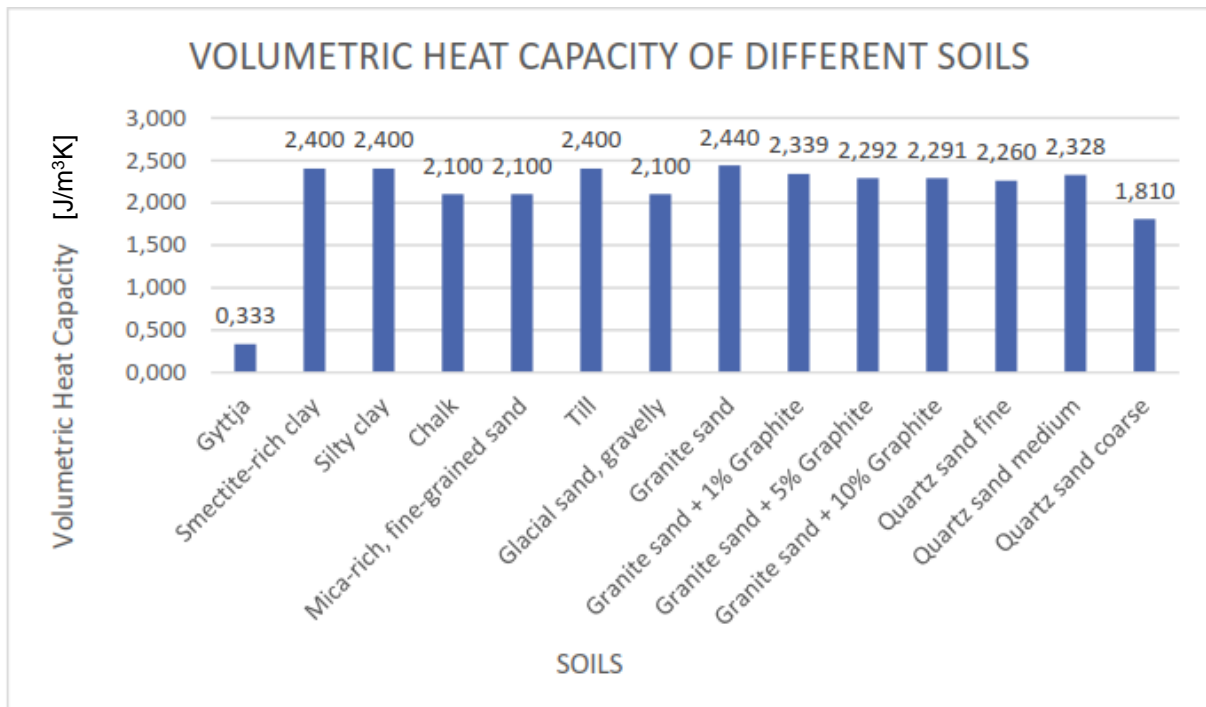
Figur 5. Värmeledningsförmåga i jorden varierar till stor del på grund av jordens porositet. (Sundberg, 1991)



Figur 6 Detaljer av figuren ovan. (Castel, Motas, & Rosario, 2017)



Figur 7 Värmekapacitet hos jord kan jämföras med Figur 5 i variation. (Sundberg, 1991)



Figur 8 Detaljer av figuren ovan. (Castel, Motas, & Rosario, 2017)

2.3 Materialblandningar och vattenhalt

Metalliska material har hög värmekonduktivitet, från stål 70 W/mK till koppar 400 W/mK. Blandning av metalliska material stenmjölet närmast kollektorslangen skulle öka värmelagrets prestanda.

Vissa industrier producerar biprodukter som blir fint material. Exempel på detta är järnsand, eller granulering. Dessa material kommer från smältverkets kopparframställning och består framförallt av järn och kisel samt ett 20-tal ytterligare beståndsdelar som uppgår till 2-3 %. Järnsandens miljöeffekter är undersökt och anses vara kemiskt stabil. Inga negativa miljöeffekter har upptäckts där materialet har använts. (Boliden, 2019)

Kollektorslangen kan ha olika möjligheter på infästning i marken. Genom att fästa kollektorslang i en armeringsmatta kommer järnet fungera som fenor till kollektorslangarna och sprida värmen horisontellt ut i lagret snabbare. Armeringsjärnets kropp har en får en stor sammanhängande yta som avger värme och jämnar ut temperaturerna i värmelagret.

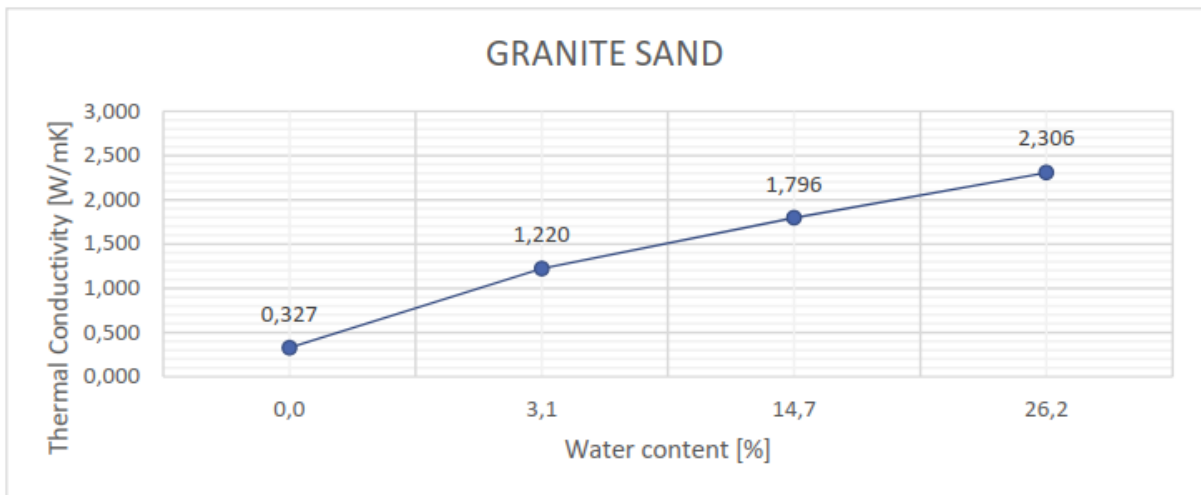
Nytt stenmjöl har kapillärkrafter som bidrar till en bevarad hög fukthalt då värmelager placeras i närheten av grundvatten. Även under stenmjölets packning fuktas värmelagret för att packas hårdare. Den största korrosionshastigheten som har mätts upp av koppar i en sandfyllning i organisk lera ansågs låg, 1,4 µm/år. (Högberg & J, 2017)

Material/Jordart	Tunghet, kN/m ³			
	Vattenmättad, m	Effektiv tunghet under grundvattenytan '	Naturfuktig jord ovan grundvattenytan '	*) Vanligen kapillärt vattenmättade ovan grundvattenytan
Sprängsten	21	11	18	
Makadam	21	11	18	
Grus	22	12	19	
Grusig morän	23	13	20	
Sand	20	10	18	
Sandig morän	22	12	20	
Silt	19	9	17	
Siltig morän	21	11	20	
Lera	17	7	17	*
Lermorän	22	12	22	*
Gyttja	14	4	14	*
Torv	11-13	1-3	11-13	*

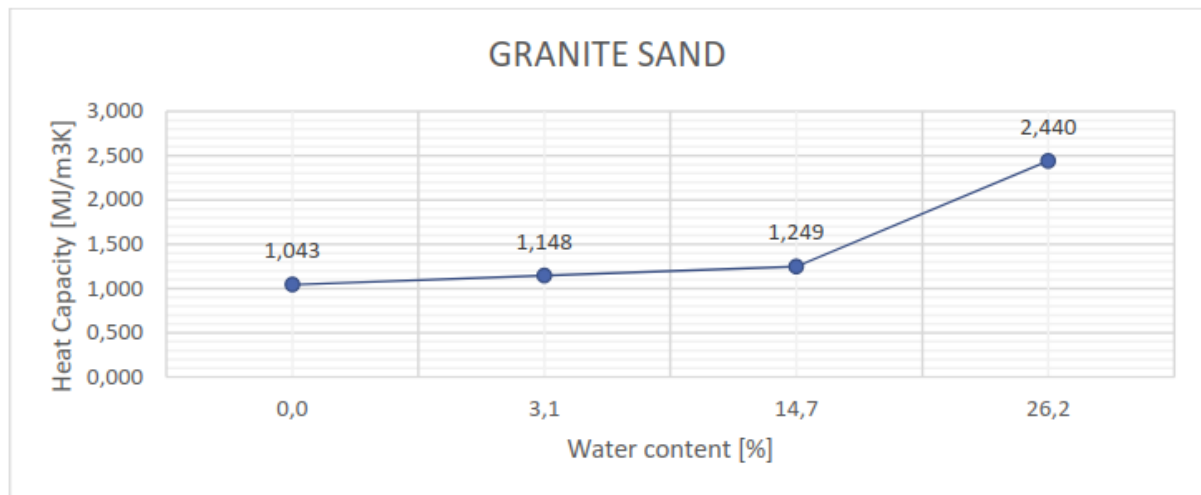
Figur 9 Typiska värden på när en jord är vattenmättad och samt kapillärt ovan grundvattenytan. (Larsson, 2008)

Markvärmelager placerade i grundvatten håller sig vattenmättade så länge grundvattennivån är densamma. En jords vattenmättnad kan antingen mätas eller uppskattas utifrån Figur 9. Hög andel av material som är kapillärt vattenmättade ovan grundvattenytan kan anses vara vattenmättade där värmelagrets placering är nära grundvattennivån. (Larsson, 2008)

Studenter undersökte i ett projektarbete inom materialet granit med olika vattenhalt och blandning av 1%, 5% samt 10% grafit. De undersökte även kvarts med olika fukthalt och grovkornighet. Deras försök visade tydligt att vattenhalten har en stor påverkan på både termisk konduktivitet och värmekapacitet. (Castel, Motas, & Rosario, 2017)



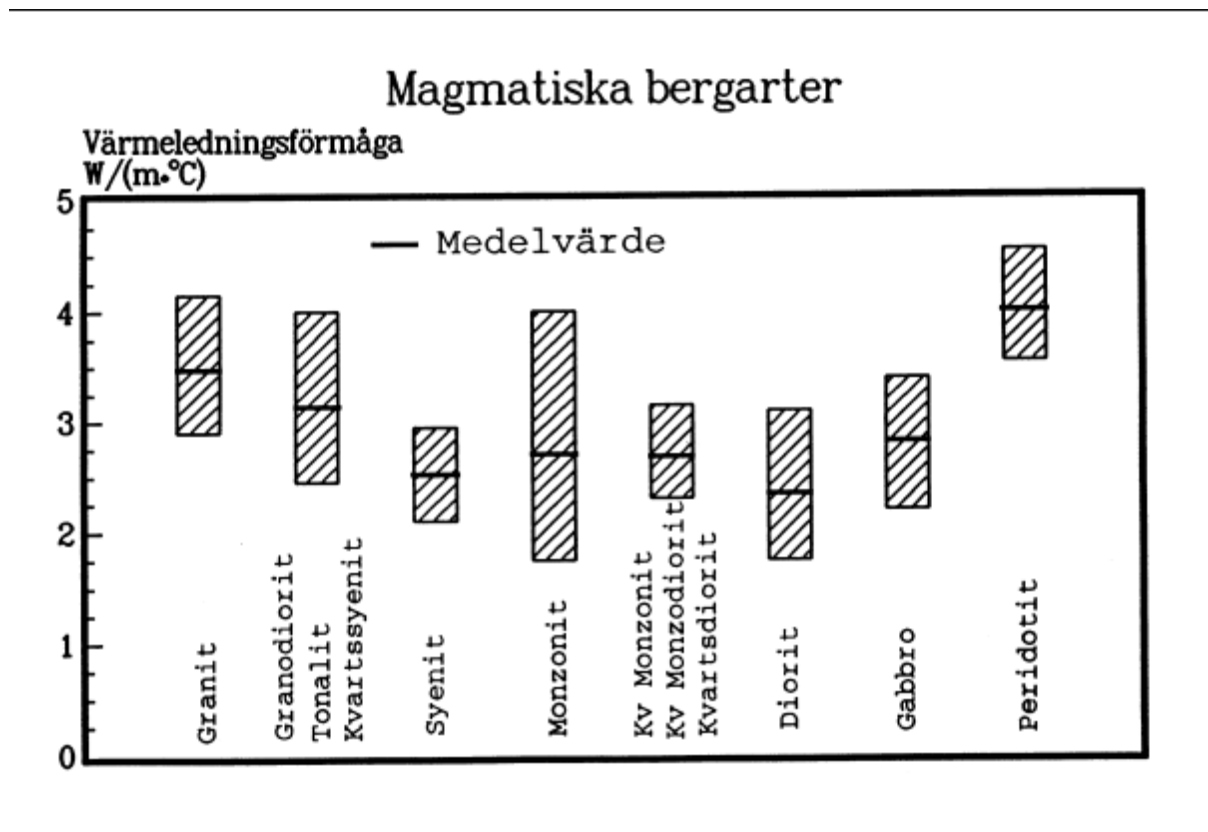
Figur 10 Värmekonduktivitetsens påverkan av vattenhalt i granit. (Castel, Motas, & Rosario, 2017)



Figur 11 Värmekapacitetens påverkan av vattenhalt i granit. (Castel, Motas, & Rosario, 2017)

2.4 Bergarter

Det finns möjlighet att placera värmelager i bergtäkt. I dessa fall sker sprängning för att rymma kollektorslangen. Olika bergarters värmeledningsförmåga kan variera liksom Figur 12. Värmekapaciteten för bergarterna anges ofta till 0,55 kWh/mK. Vid bergtäkt är det viktigt att ta hänsyn till omgivningen och dess risk att läcka in regnvatten genom sprickor i berget. (Sundberg, 1991)



Figur 12 Värmeledningsförmåga hos magmatiska bergarter. (Sundberg, 1991)

3 Slutsatser



Zon 3 påverkar lagringskapaciteten mycket då värmen sprids till denna zon och den blir en del av värmelagret. Det är därför viktigt att ta hänsyn till att markförutsättningarna på platsen är önskvärda och har goda termiska egenskaper. Genom att ha kännedom om att de termiska egenskaperna är goda ökar chansen att materialet på platsen kan återanvändas till utfyllnad av zon 1. Placering av värmelager i berg medför att värmekonduktiviteten från zon 2 blir högre än om det placeras i jord. I dessa fall är det av intresse att säkerställa att den horisontella isoleringen är tillräckligt utbredd för att undvika att värmen försvinner till markytan.

Värmekonduktivitet i zon 2 bör innehålla en hög andel av finjordigt material silt men även sand i en god blandning för att ha en hög täthet och minskad andel luftfickor i porerna. Blandning av olika material visade sig ha en mindre påverkan på materialets konduktivitet. Ett område som skulle behöva undersökas närmare är termiska egenskaperna hos järnsand, däremot ses tillgången som begränsad och det kan bli kostsamt med frakt från industriområdena. Att välja att fästa kollektorslangarna i en armeringsmatta för att på så sätt få ner en stor andel stål i zon 2. Stålet kommer med säkerhet ligga nära kollektorslangarna och öka konduktiviteten i zonen.

Zon 1 visar sig framförallt påverkas av markens fuktighet. Genom att säkerställa fuktigheten finns i marken ökar dess lagringskapacitet väsentligt.

4 Litteraturförteckning

Boliden. (den 16 12 2019). Hämtat från Fakta om järnsand: <http://jarnsand.boliden.com/fakta-om-jarnsand/>

Castel, A. R., Motas, M. M., & Rosario, S. B. (2017). *Study of the thermal properties of different materials for ground storage*. VIA University College.

DMI. (den 17 04 2017). Hämtat från Climate changes over time: Denmark: <https://www.dmi.dk/en/klima/climate-changes-over-time/denmark/>

Erlström, M., Mellqvist, C., & Schwarz, G. (2016:16). *Geologisk information för geoanläggningar - en översikt*. SGU.

Högberg, C.-J., & J, E. (2017). *Stenmjöls korrosivitet 2017-431*. Energiforsk.

Larsson, R. (2008). *Jords egenskaper*. Linköping: Statens geotekniska institut.

Sundberg, J. (1991). *Termiska egenskaper i jord och Berg*. Linköping: Statens geotekniska institut.

Svenskt Geoenergicentrum. (den 16 12 2019). *Geoenergicentrum*. Hämtat från Så funkar geoenergi: <http://geoenergicentrum.se/geoenergi-2/sa-funkar-geoenergi/>

5 Bilaga 1 Design av ASES värmelagret

Ytan som fanns tillgänglig för installation av värmelagret var ca 15x6 meter.

Värmeförlusterna hos en rektangulär figur är lägst när formen har minst omkrets, därav en kvadratisk form. De relativa värmeförlusterna till omgivningen är större om volymen hos värmelagret är mindre, likt att en iskub smälter snabbare ju mindre volym den har. Det är därför önskvärt att ha ett så stort lager som möjligt som är kvadratisk för att få de bästa förutsättningarna.

Ett säsongsvärmelager designas så det är varmest i mitten och svalare längs sidorna. I detta fall används ett 1-sling system vilket medför att flödesriktningen är densamma hela året. För att optimera lagringskapaciteten är det viktigt att under höst och vinter sänka temperaturen i värmelagrets yttre kant och bevara en varm kärna. På så sätt ökar även värmetillskottet från omgivande mark.

Det bestämdes att ASES värmelagret skulle speglas för att motsvara ett värmelager som är 10x10 meter. Detta gjordes genom att designa det till 10x5 meter och göra en vertikal vägg med isolering längs långsidan. Ovan värmelagret placeras isolering som ett "lock" för att minska värmeförlusterna mot luften. Kollektorslangens layout designas så att värmelagrets speglade centrum skall behålla en varm kärna.

Kollektorslangarna i värmelagret är ett 1-sling system med en fördelare för tillopp och en fördelare för retur. Kollektorslangen fäst till en armeringsmatta och skyddas av fint stenmjöl som packas väl.

Av ekonomiska skäl är värmelagrets återfyllnadsmaterial detsamma som var befintligt på platsen. Jorden fuktas under packning för att förbättra värmekapacitet och minska porositeten.

