Miljøministeriet
Naturstyrelsen

Udvikling af faskine med jordvarmeslanger

2013

Titel: Udvikling af faskine med jordvarmeslanger

Udvikling af faskine med jordvarmeslanger

Redaktion:

Hanne Kjær Jørgensen, Rørcentret, Teknologisk Institut

Udgiver:

Naturstyrelsen
Haraldsgade 53
2100 København Ø
www.naturstyrelsen.dk

År:

2013

ISBN nr.

978-87-7279-623-9

Ansvarsfraskrivelse:

Naturstyrelsen offentliggør rapporter inden for miljøteknologi , medfinansieret af Miljøministeriet. Offentliggørelsen betyder, at Naturstyrelsen finder indholdet af væsentlig betydning for en bredere kreds. Naturstyrelsen deler dog ikke nødvendigvis de synspunkter, der kommer til udtryk i rapporterne.

Må citeres med kildeangivelse.

Indhold

Forord **4**

Konklusion og sammenfatning **5**

Sammenfatning **8**

Konklusion **9**

Summary and Conclusion **10**

1. Baggrund for projektet **12**
1.1 Teoretisk projekt om jordvarme og faskiner 12

2. Formål med projektet **14**
2.1 Projektets forløb 14

3. Hvad har vi målt? Beskrivelse af prototyper **16**
3.1 Prototype 1 Dræn 16
3.2 Prototype 2 Spoler 16

4. Dimensionering af jordvarmeanlæg, herunder forsøgsopstilling **19**
4.1 Dimensionering af jordvarmeanlæg 19

5. Måleudstyr og datalogning **21**

6. Dimensionering af faskiner og dræn **29**
6.1 Sigtekurveanalyser 29
6.2 Nedsivningstest 30
6.3 Dimensionering af faskiner 31
6.4 Dimensionering af dræn 32

7. Praktiske erfaringer **34**

8. Forsøgsresultater **37**
8.1 Antal målepunkter 37
8.2 Nedbør 38
8.3 Målt og beregnet effekt 39
8.4 Temperaturforskel 41
8.5 Flow 41
8.6 Akkumuleret energi 41
8.7 Akkumuleret energi gennem (0,0) 42
8.8 Akkumuleret energi gennem (0,0) pr. m jordvarmeslange 42
8.9 Fugtdata 43

9. Diskussion **45**

Referencer **48**

Bilag 1: Etablering af prototype 1: Dræn **43**

Bilag 2: Etablering af prototype 2: Spoler **51**

Bilag 3: Måledata **58**

Forord

Formålet med dette projekt har været at udvikle og teste prototyper til at kombinere jordvarmeslanger og faskiner.

Projektet er finansieret af Miljøstyrelsens Miljøeffektiv Teknologi-pulje samt følgende firmaer:

Kolding Spildevand
Greve Forsyning
Albertslund Kommune
Nyrup Plast A/S
Nordisk Wavin A/S
Køle- og varmepumpeteknik, Teknologisk Institut
Rørcentret, Teknologisk Institut

Rapporten er udarbejdet af Hanne Kjær Jørgensen, Rørcentret TI, og arbejdet har været fulgt af en styregruppe bestående af:

- Naturstyrelsen Robert Jensen
- TI Køle- og Varmepumpetek, Ivan Katic og Per Henrik Pedersen
- Kolding Spildevand, Jette Nørgaard Jensen
- Greve Forsyning, Charlotte Jersborg
- Albertlund Kommune, Hans Henrik Høg og Ian Cridland
- Nyrup Plast A/S, Henrik Johansen
- Nordisk Wavin A/S, Henning Stabell og Thomas Milert Hansen

Rørcentret vil gerne takke styregruppen for et meget konstruktivt og inspirerende samarbejde, som forhåbentlig sikrer udbredelsen og anvendelsen af jordvarmefaskinen.

Januar 2013
Rørcentret, Teknologisk Institut

Konklusion og sammenfatning

Med regeringens beslutning om, at olie og naturgas som primærkilde til opvarmning skal udfases inden 2050, er der basis for at styrke eksisterende teknologier samt at tænke i nye grønne løsninger. Med klimaændringerne er vi nødt til at tænke i mere energieffektive og miljømæssige teknologier for at kunne spare på CO_2.

Kommuner og spildevandsforsyninger vil samtidig være interesserede i at øge incitamentet og få stærke argumenter for selv at vælge nedsivning – samt for at få den private borger til at nedsive regnvand på privat grund, da belastningen af det offentlige kloaknet derved reduceres og risikoen for skybrud minimeres.

På baggrund af ovenstående er der behov for at udvikle en ny teknologi, der kan kombinere nedsivningen af regnvand med brugen af vedvarende energi. Helt konkret er der behov for at udvikle en ny faskine, der kan indeholde jordvarmeslanger.
Der er i dette projekt udviklet 2 forskellige prototyper af såkaldte 'jordvarmefaskiner', hvilket er jordvarmeslanger kombineret med faskiner.

Prototype 1 består af dræn i samme tracé som jordvarmeslangerne.

I prototype 2 er jordvarmeslangerne udlagt som spoler i et "kar", der er dannet af impermeabel membran. Spolerne er tildækket med singels. Umiddelbart over laget med singels er der etableret en faskine af plastkassetter, der er pakket ind i permeabel geotextil i top, sider og bund, der fordeler regnvandet over jordvarmeslangerne.

Prototyperne er anlagt i et demonstrationsanlæg sammen med en reference, dvs. en jordvarmeslange uden tilledning af regnvand.

Regnvand fra 144 m^2 tag ledes til jordvarmefaskinerne og fordeles over hhv. prototype 1 og prototype 2.

Der er udført i alt 14 måneders sammenhængende målinger, og med måling hver halve time og en datasikkerhed på 94% svarer det til i alt 19.174 datasæt af temperaturforskel, flow og akkumuleret energi.

Desuden er jordfugtighed ved hvert kredsløb målt hver time. Nedbøren er indhentet fra SVK-måleren i Høje Tåstrup. Sammenhængen mellem nedbør og jordfugtighed viser, at testen er lykkedes. Jorden er langt mere fugtig ved prototype 1 og 2 end ved referencen, og de måneder, hvor det regner mindst, er jordfugtigheden også mindst.

Samtlige data viser, at prototype 1 fungerer langt bedre end både prototype 2 og referencen. Med de udførte målinger er prototype 1 (dræn) 47% bedre til at hive energi ud af jorden end referencen. Hvis der korrigeres for de forskellige længder jordvarmeslanger, er prototype 1 fortsat 42% bedre end referencen.

Prototype 2 (inspirereret af den engelske jordvarmefaskine) er umiddelbart lidt bedre eller sammenlignelig med referencen (6%). Korrigeres der for længden af jordvarmeslangerne ændres dette billede. Nu er referencen langt bedre end prototype 2.

De miljømæssige og økonomiske konsekvenser af at anvende prototype 1 fremfor jordvarmeslanger uden fordeling af regnvand er åbenlyse. Hvis en borger i dag har behov for at anlægge 400 m jordvarmeslanger, vil anlæg af prototype 1 betyde, at det kun vil være nødvendigt at anlægge ca. 200 m jordvarmeslange. Dermed er anlægsudgiften for selve jordvarmeanlægget også blive reduceret . Dertil skal lægges en mindre anlægsudgift for dræn og singels, der lægges ned i samme tracé som jordvarmeslangerne. Desuden tilbyder flere kommuner i Danmark at tilbagebetale op til 40% af tilslutningsafgiften (i størrelsesordenen 23.000 kr.), hvis en borger afkobler sit regnvand. Der vil derfor være endnu en økonomisk gevinst ved at anlægge en jordvarmefaskine fremfor jordvarmeslanger alene.

Det skal understreges, at det ved alle løsninger, hvor regnvand anvendes lokalt, er en forudsætning, at det undersøges, hvad der sker i tilfælde af hverdagsregn, dimensionsgivende regn samt skybrud. Overløbsmuligheder ved fx skybrud eller større dimensionsgivende regn skal derfor undersøges/fastlægges.

Driftsmæssigt og miljømæssigt vil jordvarmefaskinen også have store positive konsekvenser. Hvis længden af jordvarmeslangerne halveres, reduceres cirkulationspumpens elforbrug– samt CO_2-belastningen – til varmepumpen.

Sammenfatning

Med regeringens beslutning om, at olie og naturgas som primærkilde til opvarmning skal udfases inden 2050, er der basis for at styrke eksisterende teknologier samt at tænke i nye grønne løsninger. Med klimaændringerne er vi nødt til at tænke i mere energieffektive og miljømæssige teknologier for at kunne spare på CO_2.

Kommuner og spildevandsforsyninger vil samtidig være interesserede i at øge incitamentet og få stærke argumenter for selv at vælge nedsivning – samt for at få den private borger til at nedsive regnvand på privat grund, da belastningen af det offentlige kloaknet derved reduceres og risikoen for skybrud minimeres.

På baggrund af ovenstående er der behov for at udvikle en ny teknologi, der kan kombinere nedsivningen af regnvand med brugen af vedvarende energi. Helt konkret er der behov for at udvikle en ny faskine, der kan indeholde jordvarmeslanger.

Der er i dette projekt udviklet 2 forskellige prototyper af såkaldte 'jordvarmefaskiner', hvilket er jordvarmeslanger kombineret med faskiner.

Prototype 1 består af dræn i samme tracé som jordvarmeslangerne.

I prototype 2 er jordvarmeslangerne udlagt som spoler i et "kar", der er dannet af impermeabel membran. Spolerne er tildækket med singels. Umiddelbart over laget med singels er der etableret en faskine af plastkassetter, der er pakket ind i permeabel geotextil i top, sider og bund, der fordeler regnvandet over jordvarmeslangerne.

Prototyperne er anlagt i et demonstrationsanlæg sammen med en reference, dvs. en jordvarmeslange uden tilledning af regnvand.

Regnvand fra 144 m^2 tag ledes til jordvarmefaskinerne og fordeles over hhv. prototype 1 og prototype 2.

Der er udført i alt 14 måneders sammenhængende målinger, og med måling hver halve time og en datasikkerhed på 94% svarer det til i alt 19.174 datasæt af temperaturforskel, flow og akkumuleret energi.

Desuden er jordfugtighed ved hvert kredsløb målt hver time. Nedbøren er indhentet fra SVK-måleren i Høje Tåstrup. Sammenhængen mellem nedbør og jordfugtighed viser, at testen er lykkedes. Jorden er langt mere fugtig ved prototype 1 og 2 end ved referencen, og de måneder, hvor det regner mindst, er jordfugtigheden også mindst.

Konklusion

Der er udviklet 2 forskellige prototyper af såkaldte 'jordvarmefaskiner', hvilket er jordvarmeslanger kombineret med faskiner.

Prototype 1 består af dræn i samme tracé som jordvarmeslangerne.

I prototype 2 er jordvarmeslangerne udlagt som spoler i et "kar", der er dannet af impermeabel membran. Spolerne er tildækket med singels. Umiddelbart over laget med singels er der etableret en faskine af plastkassetter, der er pakket ind i permeabel geotextil i top, sider og bund, der fordeler regnvandet over jordvarmeslangerne.

Prototyperne er anlagt i et demonstrationsanlæg sammen med en reference, dvs. en jordvarmeslange uden tilledning af regnvand.

Regnvand fra 144 m² tag ledes til jordvarmefaskinerne og fordeles over hhv. prototype 1 og prototype 2.

Der er udført i alt 14 måneders sammenhængende målinger, og med måling hver halve time og en datasikkerhed på 94% svarer det til i alt 19.174 datasæt af temperaturforskel, flow og akkumuleret energi.

Desuden er jordfugtighed ved hvert kredsløb målt hver time. Nedbøren er indhentet fra SVK-måleren i Høje Tåstrup. Sammenhængen mellem nedbør og jordfugtighed viser, at testen er lykkedes. Jorden er langt mere fugtig ved prototype 1 og 2 end ved referencen, og de måneder, hvor det regner mindst, er jordfugtigheden også mindst.

Samtlige data viser, at prototype 1 fungerer langt bedre end både prototype 2 og referencen. Med de udførte målinger er prototype 1 (dræn) 47% bedre til at hive energi ud af jorden end referencen. Hvis der korrigeres for de forskellige længder jordvarmeslanger, er prototype 1 fortsat 42% bedre end referencen.

Prototype 2 (inspirereret af den engelske jordvarmefaskine) er umiddelbart lidt bedre eller sammenlignelig med referencen (6%). Korrigeres der for længden af jordvarmeslangerne ændres dette billede. Nu er referencen langt bedre end prototype 2.

Summary and Conclusion

With the governments decision about outphasing oil and gas as primary sources for heating before 2050, it is time to think in improved existing technologies and new green solutions. With climate changes we have to consider more energy effective and sustainable technologies to reduce CO_2. Citycouncils and their utilities will at the same time be interested in increasing incentives for the communities for choosing infiltration of stormwater on private property, as this will reduce the impact on the public seweragesystems, which again will reduce the risc of cloudbursts.

Considering the above mentioned arguments, there is a need of developing a new technology, which can combine the infiltration of stormwater with the use of renewable energy. Concretely, there is a need of inventing a new infiltration trench combined with geothermal hoses related to heat pump systems.

During this project, two new prototypes of infiltration trenches combined with geothermal hoses is developed and tested. This solution will now be mentioned as 'geothermal infiltration trenches' Prototype 1 is a traditional underdrain placed in the same trench – but above - the geothermal hose. In prototype 2, the geothermal hoses are implemented as coils in an underground vascular, which is shaped by an impervious membrane. The coils are covered with pebbles. Above the pebbles, an infiltration trench of plastic cartridges wrapped in pervious geotextile at all sides (lid, bottom, sides) is distributing the stormwater to the geothermal hoses.

The prototypes is implemented in a demonstration plant together with a reference, which is a geothermal hose without the distribution of stormwater.

The stormwater from a roof of 144 m^2 is distributed to the two prototypes of 'the geothermal infiltration trenches'.

Continous measurements of 14 months is carried out. With measurements every half hour and a data security of 94%, this means in total 19.174 measurements of difference in temperature, flow and accumulated energy.

Additionally, the humidity of the soil of each circuit is measured every hour. Precipitation is obtained from the nearby SVK-raingauge in Høje Taastrup. The link between the obtained precipitation and the measured humidity of soil shows us, that the test has succeded. The soil is far more humid at the circuit of prototype 1 and 2 than at the reference, and in the months of little precipitation, the humidity of the soil is less than the other months.

All data shows, that the prototype 1 is far better than prototype 2 and the reference. The measurements of the accumulated energy shows, that prototype 1 (underdrain) is 47% more effective in pulling out the energy than the reference. When considering the lengths of the geothermal hoses, the prototype 1 is still 42% better than the reference for each meter of geothermal hose.

Prototype 2 (which is inspired by the English version of geothermal infiltration trench) is in the same level as the reference in pulling out energy from the soil, og maybe a little better (6%). When considering the length of the geothermal hose, this is changing. Now the reference is far better than prototype 2.

The environmental and economic consequences of using prototype 1 as an alternative to traditional heat pump systems are obvious. If a citizen today has a need of establishing 400 m geothermal hoses, the use of prototype 1 means, that it is now only necessary to establish about 200 m of geothermal hoses. This means, that the construction costs will be almost half price. Additionally, the costs of underdrains and pebbles has to be included in the construction costs.

Besides, more Danish citycouncils are offering citizens a refund of 40% of the connection fee (about 23.000 Dk kr.) when disconnecting their downspouts. This will again be a financial gain of using 'geothermal infiltration trenches' as an alternative to traditional geothermal hoses.
It must be pointed out, that in all solutions of disconnecting downspouts, it is required to investigate what happens during different rainevents, such as an 'everyday rain', 'designstorm' and cloudburst. Handling overflow needs to be invented.

Considering operating costs and environmental gains, the geothermal infiltration trenches also have obvious consequences. If the length of the geothermal hoses is half as long as the traditional hoses, also the operating cost of the circulator pump – and the consumption of CO_2 - will be reduced

1. Baggrund for projektet

Med regeringens beslutning om, at olie og naturgas som primærkilde til opvarmning skal udfases inden 2050 er der basis for at styrke eksisterende teknologier samt at tænke nyt.

Kommuner og spildevandsforsyninger vil samtidig være interesserede i at øge incitamentet og få stærke argumenter for selv at vælge nedsivning – samt for at få den private borger til at nedsive regnvand på privat grund, da belastningen af det offentlige kloaknet derved reduceres og risikoen for skybrud minimeres.

På baggrund af ovenstående er der behov for at udvikle en ny teknologi, der kan kombinere nedsivningen af regnvand med brugen af vedvarende energi. Helt konkret er der behov for at udvikle en ny faskine, der kan indeholde jordvarmeslanger.

1.1 Teoretisk projekt om jordvarme og faskiner

I foråret 2010 gennemførte projektgruppen et projekt under puljen for Miljøeffektiv Teknologi der bl.a. indeholdt en modelberegning af energiindholdet i regnvand, der nedsives omkring en jordvarmeslange.

Modelberegningen viste, at der er en tydelig sammenhæng mellem jordens mætningsgrad og de termiske egenskaber i jorden, som er afgørende for, hvor meget energi, der kan hives ud af jorden. I projektet indgik derfor også en vurdering af, hvilken mætningsgrad, der er repræsentativ for jorden omkring jordvarmeslangerne i Danmark.

Konklusionen blev, at en repræsentativ mætningsgrad omkring en jordvarmeslange er høj (større end 75 %), hvorfor gevinsten, som fås ved at øge jordens mætningsgrad, blev skønnet til at være relativt begrænset. Nedsivningen omkring jordvarmeslangerne vil dog blive optimeret af, at jorden tilføres varme fra det nedsivende regnvand, hvis det blev sikret, at det nedsivende regnvand blev fordelt over en så stor del af jordvarmeslangerne som muligt.

Et forsigtigt skøn var ud fra overvejelser omkring jordens mætningsgrad og de termiske egenskaber i jorden, at den øgede varmetilførelse vil kunne nå et niveau på op i mod 20 %, hvoraf de 5 - 10 % muligvis ville kunne tilskrives den øgede mætningsgrad.

Det blev desuden konkluderet, at faskinens udformning vil være afgørende for, hvilken effektforøgelse, der vil kunne opnås. I dag bliver de fleste faskiner opbygget ved hjælp af plastkassetter, der kan indeholde en relativ stor vandmængde. I faskiner omkring jordvarmeslanger er det afgørende, at regnvandet fordeles over en så stor del af varmeslangen som muligt. Dette vil stille krav til udformningen af nedsivningsdelen, således at regnvandet fordeles mest muligt.

Endelig blev det konkluderet, at en mulig udformning af jordvarme-faskinen kan være at anbringe en eller flere fordelerbrønde, der sikrer, at regnvandet fordeles ud i et antal drænslanger, der lægges over varmeslangerne. Under varmeslangerne kan der anbringes en vandtæt membran, som lægges i en U-form, således at varmeslangerne kommer til at ligge i et underjordisk kar, der vil sikre en høj mætningsgrad af jorden omkring jordvarmeslangerne.

2. Formål med projektet

Formålet med projektet har været at udvikle, etablere samt afprøve en prototype til en faskine, der er kombineret med jordvarmeslanger. Udviklingen af prototypen har omfattet udvikling og afprøvning af en faskine i et demonstrationsanlæg (field test), dokumentation og afrapportering.

Udviklingen og afprøvningen er sket med fokus rettet mod følgende:

- Faskinen er opbygget og optimeret ud fra den teoretiske viden, der er opnået under det teoretiske forprojekt, så effektforøgelsen bliver størst mulig
- Jorden omkring varmeslangerne er søgt sikret en så høj mætningsgrad som muligt
- Regnvandet skulle fordeles ud over en så stor del af jordvarmeslangernes længde som muligt
- Der er inddraget teoretisk viden samt praktiske erfaringer indsamlet på besøg på Universitetet i Coventry (i forbindelse med det teoretiske projekt)
- I England er der fx opnået den praktiske erfaring, at regnvandet omkring jordvarmeslangerne kan fryse til is i begyndelsen af jordvarmeslangerne, hvor jordvarmeslangerne er koldest. Det er derfor vigtigt at sørge for, at det regnvand, der tilføres efterfølgende, har mulighed for at komme forbi isklumpen. I udviklingen af prototypen er der indtænkt og afprøvet forskellige løsningsforslag, så effekten af denne gene minimeres

2.1 Projektets forløb

Projektet er gennemført i løbet af 18 måneder og omfatter:

<u>Udvikling og efterprøvning af prototype</u>

- Udvikling af prototype. Der er opbygget 2 forskellige prototyper, der er efterprøvet og sammenlignet
- Bestemmelse af testmetode. Der er udviklet en testmetode, så det er muligt at dokumentere, hvilken af de 2 prototyper, der har den største effekt
- Desuden er de økonomiske og miljømæssige gevinster fastlagt for prototyperne. Længden af jordvarmeslangerne er søgt optimeret ud fra erfaringer med, at transporten af regnvandet medfører en langt mere effektiv og hurtigere varmetransport til jordvarmeslangerne, end hvis jordvarmeslangerne er etableret i tør jord
- De 2 prototyper er etableret i praksis som demonstrationsanlæg (field test) på Rørcentret, Teknologisk Institut
- Afrapportering

3. Hvad har vi målt? Beskrivelse af prototyper

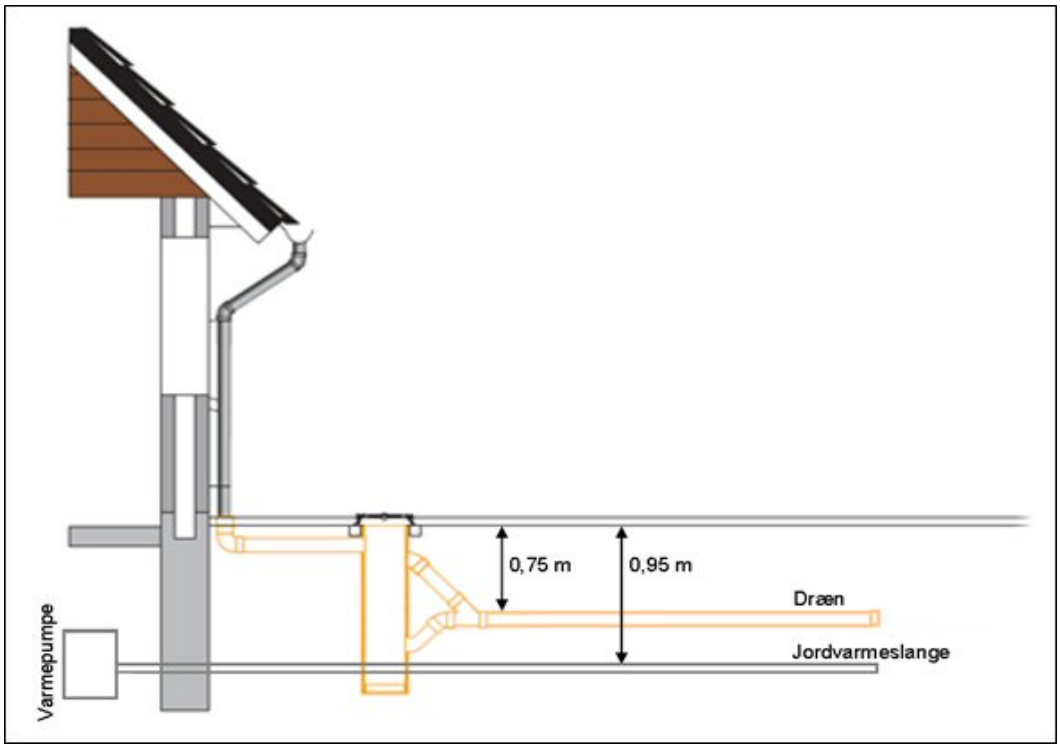
På 3 forskellige, indledende møder i projektgruppen samt 2 møder internt på Teknologisk Institut (Rørcentret og Center for køle- og varmepumpeteknik) blev der udviklet 2 prototyper af jordvarmefaskinen, der skal sammenlignes med en reference. I det følgende defineres disse 2.

Referencefaskine består af traditionelle jordvarmeslanger uden faskine, dvs. jordvarmeslanger uden fordeling af regnvand.

3.1 Prototype 1 Dræn

Der udlægges en drænslange 80/92 mm i dybden 75 cm u.t. Samtidig udlægges der en jordvarmeslange i dybden 95 cm u.t. i samme tracé.

For at øge kapaciteten af drænet, er drænet lagt dobbelt. Se fotos fra etablering af prototype 1 (bilag 1).

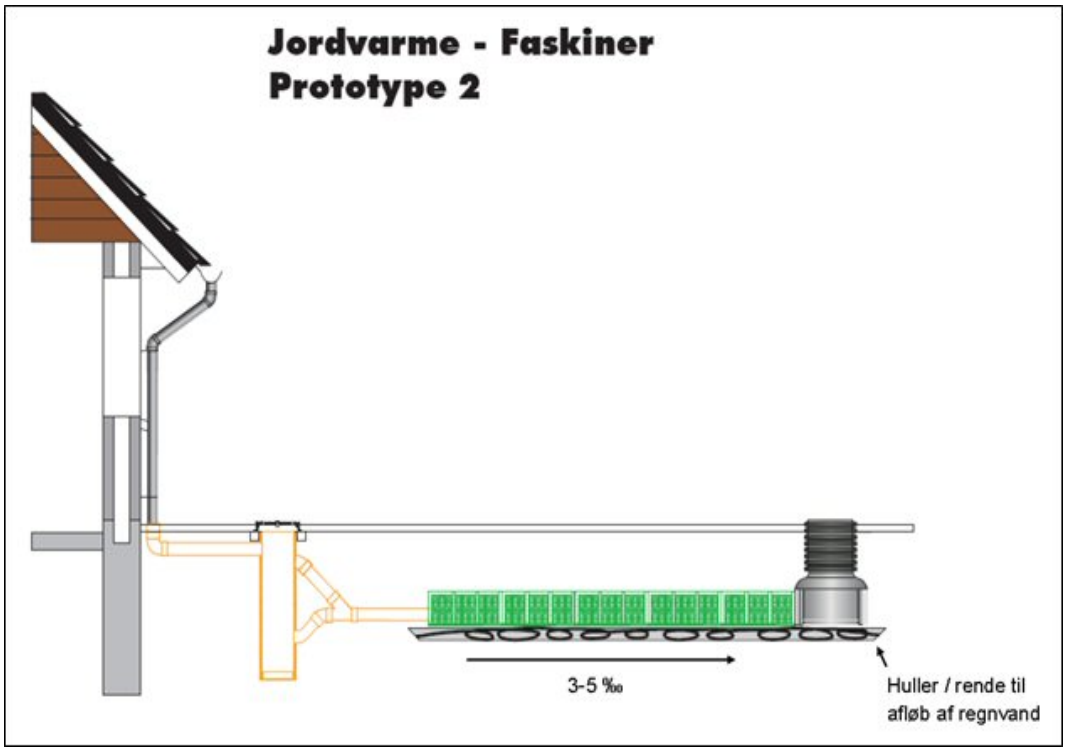


BILLEDE 1
OPBYGNING AF PROTOTYPE 1: DRÆNSLANGER FORDELER REGNVANDET UD OVER JORDVARMESLANGER.

3.2 Prototype 2 Spoler

Jordvarmeslangerne er udlagt som spoler i et ”kar”, der er dannet af impermeabel membran. Se fotos fra etablering af prototype 2 (bilag 2).

Spolerne er tildækket med et 10 cm tykt lag singels. Umiddelbart over laget med singels er der etableret en faskine af plastkassetter, der er pakket ind i permeabel geotextil i top, sider og bund. Tilløbet af tagvand til faskine sker via en sandfangsbrønd.



BILLEDE 2
OPBYGNING AF PROTOTYPE 2: REGNVANDET LEDES TIL PLASTKASSETTER MED MEMBRAN I BUND OG I SIDER. JORDVARMESLANGERNE LIGGER SOM SPOLER UNDER FASKINEN. FASKINEN HAR ET SVAGT FALD I BUNDEN OG REGNVANDET LEDES UD VIA HULLER I MEMBRANEN FOR ENDEN AF FASKINEN.

.

4. Dimensionering af jordvarmeanlæg, herunder forsøgsopstilling

Demonstrationsanlægget blev etableret på Teknologisk Institut bagved Rørcentrets gamle barak (undervisningslokale 90). Tagvandet fra barakken blev afkoblet og blev ledt til sandfangsbrønd og herefter fordelt ud over hhv. prototype 1 og prototype 2.

4.1 Dimensionering af jordvarmeanlæg

Hele bygningen er 144 m². Varmepumpen blev placeret indenfor i lokale 90 og forsynede undervisningslokalet (96 m²) via en varmeblæser med varme i 14 måneder. Efterspørgslen efter varme er derfor sammenlignelig med forbrugsmønsteret i et normalt parcelhus.

Når der blev produceret overskudsvarme, blev varmen afgivet af en varmeblæser anbragt udenfor lokalet.

Der er anvendt en væske-vand varmepumpe med en varmeydelse på 2,1 kW ved fuld belastning, som kan drosle ned til ca. 1,0 kW. Det betyder at varmeoptaget fra jorden varierer fra ca. 0,66-1,4 kW under kontinuert drift.

For typisk jord kan man regne med en maksimal kuldebelastning på 16-24 W/m², hvilket kan omregnes til 75-105 kWh/m slange pr år, hvis der er 1,5 m mellem slangerne. Her er indregnet en sikkerhed mod gennemfrysning af jorden.

Hvis varmepumpen kører konstant et helt år med 1 kW varmeoptag, skal der derfor bruges cirka 1kW x 8765 h / 100 kWh/m = <u>88 meter</u>.

Det er nok urealistisk langt til et ”lille” forsøg, men normalt vil en varmepumpe også have stopperioder hvor jorden kan regenerere. Det tilses, at varmepumpen ikke har for hyppig start/stop.

Da formålet er at teste tre forskellige optagersystemer, skal jordvarmeslangen deles op i 3 kredsløb:

1) Referencestrækning uden vanding ca. 30 m
2) Prototype med dræn ca. 30 m
3) Prototype med spoler i kar min. 30 m. I forsøgsopstillingen er kanter ikke isoleret med lodrette plader for at eliminere randeffekter

Når der regnes med en aktiv jordoverflade på i alt 40 m², kan der på et år hentes ca. 2.400 kWh op, idet der regnes med ca. 50-70 kWh/m² pr år.

Hver energioptager blev forsynet med egen energimåler samt ventil for indregulering af volumenstrøm. Slanger mellem energimåler og varmeoptager blev isoleret grundigt.

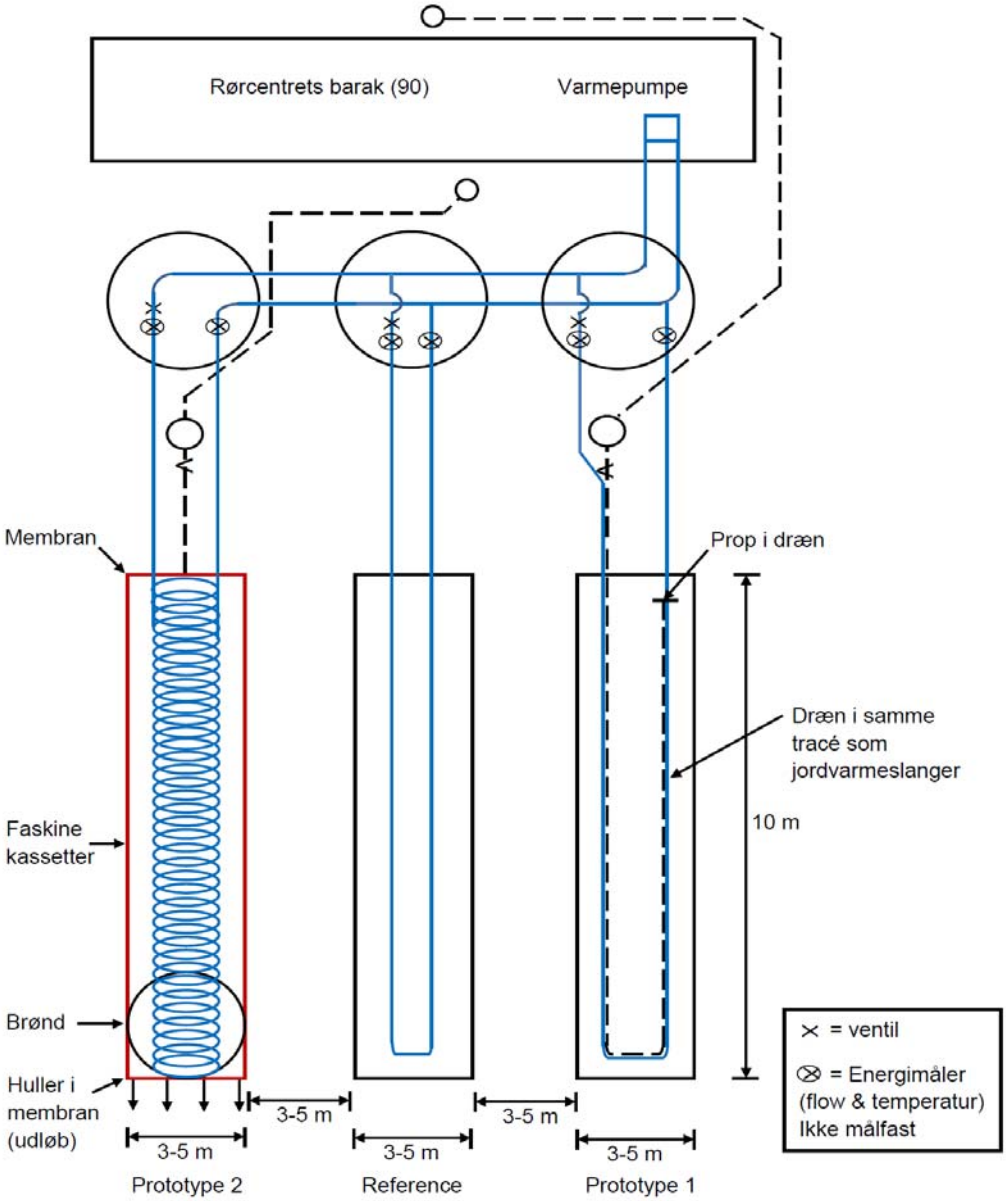
Der blev nedgravet i alt 12 fugtsensorer med ca. 0,5 m interval (hhv. 5 i prototype 1, 5 i reference samt 2 i prototype 2, hhv. indenfor og udenfor membran).

Det etablerede meter i jordvarmeslange fremgår af nedenstående tabel 1.

Anlæg	**Antal m jordvarmeslange**	**Målernr.**
Reference (jordvarmeslange uden faskine)	27	64
Prototype 1 (dræn og jordvarmeslange)	28	65
Prototype 2 (spoler i faskine med membran)	81	63

TABEL 1
ANTAL METER JORDVARMESLANGER I DE 3 KREDSLØB, HHV. REFERENCE, PROTOTYPE 1 OG PROTOTYPE 2.

Forsøgsopstillingen er vist på billede 3.



BILLEDE 3
FORSØGSOPSTILLING. PROTOTYPE 1 (TH) OG PROTOTYPE 2 (TV) SAMMENLIGNES MED REFERENCE I MIDTEN.

5. Måleudstyr og datalogning

Der er benyttet følgende måleudstyr:

- Energimålere til glycol, type HGQ1 fra Brunata, bestående af:
    - Temperatursensor der anbringes i til- og udløbet på jordvarmeslangerne
    - Flowmåling af jordvarmevæsken
- Fugtsensorer af typen Decagon EC-5 Fugtmålingssensor (forhandler www.inverva.com)
- SVK nedbørmåler i Høje Tåstrup, målernr. 581520 (tidligere 30388)

Til datalogning er brugt følgende udstyr:

- Datalogger af typen Decagon Em50 Datalogger (til logning af fugtdata) fra www.inverva.com
- Mbusmodul til HG (3 stk, ét til hver logger anbragt i brønd) fra Brunata
- Mbusmaster 230 Volt (levelkonverter der opsamler data fra 3 dataloggere) fra Brunata
- Programmet MBsheet fra Relay GmbH (opsamling og logning af data), se www.relay.de
- Programmet blev installeret på en stationær PC, hvorfra data blev logget og gemt lokalt ca. 1 gang pr. uge

Energimålerne (3 stk.) monteres i 3 forskellige målebrønde, hvor samlinger af jordvarmeslanger er udført, se billede 4.

BILLEDE 4
MONTERING AF ENERGIMÅLER I MÅLERBRØNDE.

Fugtsensorerne anbringes i samme dybde som jordvarmeslangerne (ca. 0,95 m under terræn) med ca. 0,5 m's afstand. Der monteres i alt 12 fugtsensorer:

- 5 fugtsensorer ved referencen
- 5 fugtsensorer ved prototype 1
- 2 fugtsensorer ved prototype 2, hhv. indenfor og udenfor membran

Fugtsensorerne må ikke anbringes vandret, da der ellers kan samle sig fugt ovenpå sensorerne, og monteres derfor skråt.

Efter at beskyttelses-hætten på sensorerne er fjernet, anbringes sensorerne i jord opslemmet i vand, så jorden slutter helt tæt til sensoren.

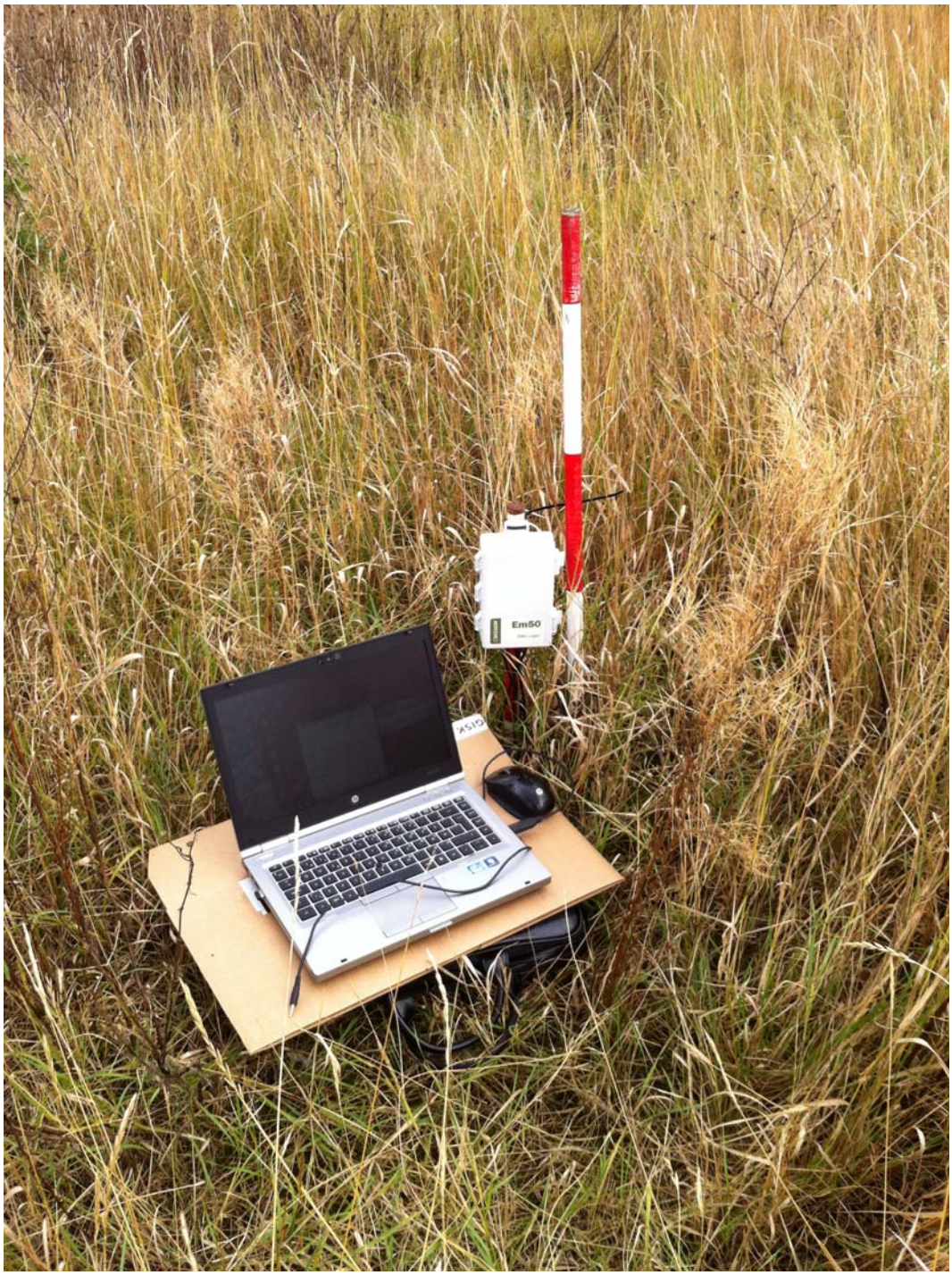
BILLEDE 5
FUGTSENSOR.

BILLEDE 6
FUGTSENSOR ANBRINGES I JORD OPSLEMMET I VAND, SÅ JORDEN SLUTTER TÆT TIL SENSOREN.

BILLEDE 7
MONTERING AF FUGTSENSOR I REFERENCEN SAMT I PROTOTYPE 1.

BILLEDE 8
MONTERING AF FUGTSENSORER I PROTOTYPE 2, HHV. INDENFOR OG UDENFOR MEMBRAN.

BILLEDE 9
LOGNING AF FUGTSENSORER.



BILLEDE 10
AFTAPNING AF FUGTDATA.

6. Dimensionering af faskiner og dræn

Jordbundsforholdene er den vigtigste parameter, når nedsivningsevnen i jorden skal vurderes.

Derfor er det vigtigt at udføre nedsivningstest samt evt. sigtekurveanalyse.

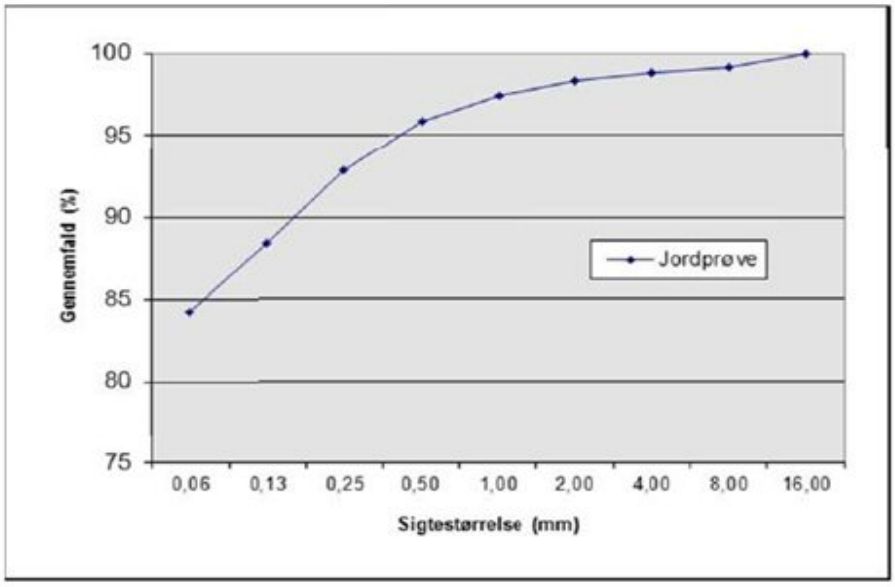
6.1 Sigtekurveanalyser

Nedenfor ses resultaterne af sigtekurveanalyserne, der er udført efter DS/EN 933-1:2012. Metoder til prøvning af tilslags geometriske egenskaber – Del 1: Bestemmelse af kornstørrelsesfordeling – Sigteanalyse.

DS/EN 933-1 Bestemmelse af kornstørrelsesfordeling

Jordprøve

Sigtestørrelse (mm)	Gennemfald (%)
32,00	**100,0**
16,00	**100,0**
8,00	**99,1**
4,00	**98,8**
2,000	**98,3**
1,000	**97,4**
0,500	**95,8**
0,250	**92,9**
0,125	**88,4**
0,063	**84,3**



FIGUR 1
SIGTEKURVEANALYSE. BESTEMMELSE AF KORNSTØRRELSESFORDELING.

6.2 Nedsivningstest

Der er ligeledes udført en nedsivningstest den 5/5/2011 (beskrevet i Rørcenter-anvisning 009, Nedsivning af regnvand i faskiner).

Resultatet af nedsivningstesten fremgår af nedenstående tabel 2:

Tid	Målt vandstand (cm)	Tids-forskel (min)	Tids-forskel (sek)	Dybde (cm)	Dybde (m)	Nedsivnings-hastighed (m/s)
12.32	16,5	-		-		-
13.13	16,2	41	2460	0,3	0,003	1,21951E-06
13.45	16,1	32	1920	0,1	0,001	5,20833E-07
14.53	15,7	68	4080	0,4	0,004	9,80392E-07
16.10	15,4	77	4620	0,3	0,003	6,49351E-07
Næste dag 8.26	10	976	58560	5,4	0,054	9,22131E-07
10.40	9,8	134	8040	0,2	0,002	2,48756E-07
Gennemsnit			79680	6,7	0,067	8,40863E-07

TABEL 2
RESULTAT AF NEDSIVNINGSTEST MAJ 2011.

Fra Spildevandskomitéens skrift nr. 25 (gengivet i Rørcenter-anvisning 009, Nedsivning af regnvand i faskiner) er der angivet tabelværdier for den mættede hydrauliske ledningsevne for forskellige jordtyper, se tabel 3 nedenfor:

Jordtype	Kornstørrelse	Hydraulisk ledningsevne K	Værdi ved beregning
	µm	m/s	m/s
Grus	2.000 – 60.000	10^{-3} – 10^{-1}	K = 10^{-3}
Sand	50-2.000	10^{-5} – 10^{-2}	K= 10^{-4}
Silt	2-50	10^{-9} – 10^{-5}	K = 10^{-6}
Blåler (uden sprækker)	0-2	< 10^{-9}	K=10^{-8}
Moræneler	-	10^{-10} – 10^{-6}	K=10^{-7}

TABEL 3
TABELVÆRDIER FOR DEN MÆTTEDE HYDRAULISKE LEDNINGSEVNE FOR FORSKELLIGE JORDTYPER (SVK SKRIFT NR. 25 OG RØRCENTER-ANVISNING 009, NEDSIVNING AF REGNVAND I FASKINER).

Nedsivningstesten og sigtekurveanalysen viser, at jordbundsforholdene svarer til moræneler.

På barakken 90 er der et tagareal på i alt 144 m². Med 2 tagnedløb er tagarealet på 72 m² pr. tagnedløb. Regnvandet fra det ene tagnedløb blev ledt til prototype 1, og regnvandet fra det andet tagnedløb blev ledt til prototype 2 (se billede 3 i afsnit 4).

6.3 Dimensionering af faskiner

Der er udført en helt simpel håndberegning for dimensionering af faskiner:

Tagnedløbet modtager vand fra 72 m² tag

Med max-10-min-intensitet for en 2-års regn på 140 l/s/ha fås et volumen på:
140 l/s/ha * 72/10.000 = 1,008 l/s = 60,5 l/min

Der er anvendt 5 stk. plastkassetter, der hver har en størrelse på 800x800x350 mm, svarende til et totalt volumen på:

5 blokke * (0,8 *0,8 * 0,35) = 1,12 m^3 = 1.120 l

Således vil de 5 plastkassetter være fyldt på ca. 1.120/60,5 = 18,5 minutter.

Faskinen kan derfor håndtere en regn med max-10-min-intensitet fra en 2-års regn i 18,5 minutter.

6.4 Dimensionering af dræn

Der er udført en helt simpel håndberegning for dimensionering af dræn:

Tagnedløbet modtager vand fra 72 m^2 tag

Med max-10-min-intensitet for en 2-års regn på 140 l/s/ha fås et volumen på:

140 l/s/ha * 72/10.000 = 1,008 l/s = 60,5 l/min

30 m dræn med radius på 80 mm kan rumme i alt voluminet:

Volumen = π * $radius^2$ * længde = π * $0{,}040^2$ * 30 = 0,151 m^3 = 151 l

Således vil 30 m dræn være fyldt på ca. 151/60,5 = 2,5 minutter.

Det blev ud fra denne simple betragtning besluttet at lægge drænet dobbelt (dvs. i alt 60 m), så det var muligt at håndtere en regn med max-10-minutters-intensitet fra en 2-års regn i 5 minutter.

7. Praktiske erfaringer

Adgang til energimålere og dataloggere skal være let, og placering af målere og loggere skal derfor planlægges fra starten, så drift og vedligehold gøres let.

Det skal derfor overvejes, om målere samt dataloggere kan anbringes samlet i en målekasse over jord fremfor i særskilte målerbrønde. Dette forudsætter, at jordvarmeslangerne isoleres fra målekreds til måler.

Vandstanden i testområdet har været høj. Dette har betydet, at målerbrøndene gentagne gange har været oversvømmet. Det har i perioder været nødvendigt at fjerne grundvandet i brøndene med en dykpumpe.

Temperaturmålingerne kan have været påvirket af oversvømmelserne i målebrønden.

Dette betyder desuden, at det kan være svært at afgøre, om fugten stammer fra høj grundvandsstand og/eller fra nedbør.

I september 2011 var der problemer med 'negative' temperaturforskelle, da der ikke var overensstemmelse mellem flowretning og anbringelse af temperaturmålere. Dette betød, at til- og udløb ikke var defineret korrekt. Strømningsretningen af brinevæsken blev efterfølgende vendt.

Der er ikke observeret problemer som følge af frost. Dog har den synlige del af jordvarmekredsløbet for specielt prototype 1 og mindre for referencen været tilfrosset uden på rørene. Se fotos - billede 11, 12 og 13.

BILLEDE 11
DER ER OBSERVERET MEGET FROST UDEN PÅ JORDVARMESLANGER I MÅLERBRØND FOR PROTOTYPE 1 DRÆN (ARPIL 2012).

BILLEDE 12
DER HAR IKKE VÆRET OBSERVERET FROST UDEN PÅ JORDVARMESLANGER I MÅLERBRØND FOR PROTOTYPE 2 SPOLER (APRIL 2012).

BILLEDE 13
DER HAR VÆRET OBSERVERET MINDRE FROST UDEN PÅ JORDVARMESLANGER I MÅLERBRØND FOR REFERENCEN (APRIL 2012).

8. Forsøgsresultater

Alle måledata er fra perioden 1. sep. 2011- 1. nov. 2012 er præsenteret i bilag 3. Følgende parametre er afbildet:

- Temperaturforskel (K)
- Flow (l/h)
- Akkumuleret energi (kWh)
- Akkumuleret energi gennem (0,0) (kWh)
- Akkumuleret energi gennem (0,0) pr. m jordvarmeslange (kWh)

Alle parametre er målt hver halve time.

Alle målingerne er foretaget af 3 energimålere:

- Måler 63: Prototype 2 spoler
- Måler 64: Reference
- Måler 65: Prototype 1 dræn

Bilaget er opdelt i 2. I bilag 3.a fremgår måledata fra indkøringsperioden 1. september – 11. oktober 2011, hvor flowet blev justeret, så det var i samme størrelsesorden i de 3 kredsløb.

I bilag 3.b fremgår måledata fra den øvrige måleperiode: 1. november 2011 til og med 1. november 2012.

8.1 Antal målepunkter

Der er opnået i alt 19.174 målepunkter ud af 20.407 mulige, svarende til en dækning på 94%, se tabel 4 nedenfor.

Måned	Antal målepunkter i alt	Antal mulige datapunkter	%-vis data
September 2011	1.215	1.490	82
Oktober 2011	1.536	1.536	100
November 2011	1.401	1.401	100
December 2011	1.573	1.573	100
Januar 2012	1.135	1.390	82
Februar 2012	1.416	1.416	100
Marts 2012	1.486	1.486	100
April 2012	1.366	1.420	96
Maj 2012	1.488	1.488	100
Juni 2012	1.198	1.299	92

Juli 2012	962	1.510	62
August 2012	1.468	1.468	100
September 2012	1.440	1.440	100
Oktober 2012	1.490	1.490	100
I alt	**19.174**	**20.407**	**94**

TABEL 4
ANTAL MÅLEPUNKTER I PERIODEN SEPTEMBER 2011 – OKTOBER 2012.

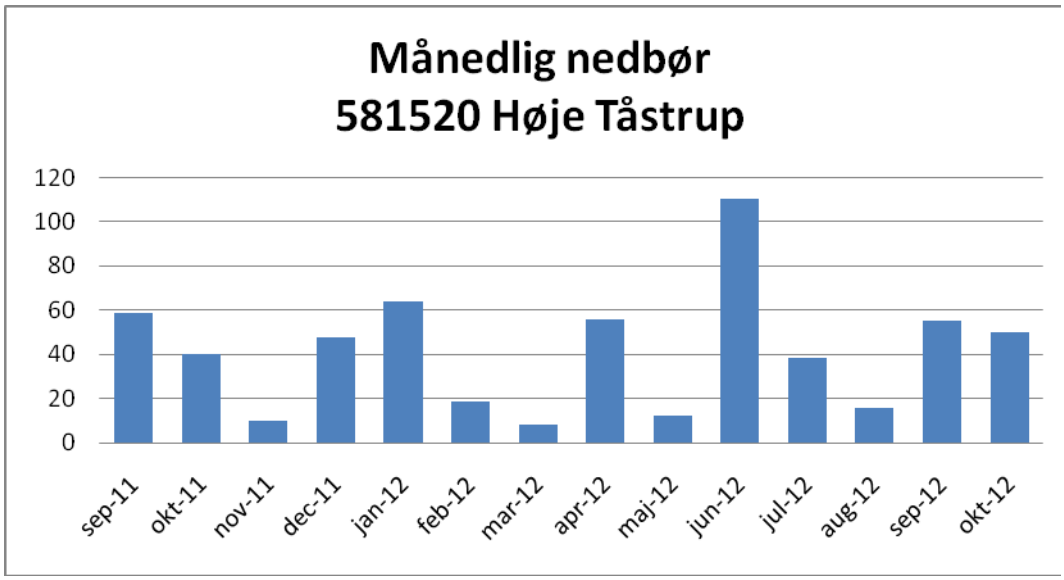
Af tabellen fremgår det, at der i hovedparten af månederne er en datadækning på 100%. Dog er månederne september (indkøring), januar (fejl i forbindelse med aflæsning) og juli (fejl i forbindelse med ferie) mindre.

8.2 Nedbør

I perioden 1. september 2011 – 1. november 2012 har SVK nedbørmåleren registreret en samlet nedbør på 585,4 mm, se tabel 5 og søjlediagrammet i figur 1. Nedbøren er målt hvert minut og summeret til månedsnedbør.

Måned	**Nedbør**
September 2011	58,8
Oktober 2011	40
November 2011	10,20
December 2011	47,8
Januar 2012	64
Februar 2012	18,8
Marts 2012	8,4
April 2012	56
Maj 2012	12
Juni 2012	110,2
Juli 2012	38,2
August 2012	15,8
September 2012	55
Oktober 2012	50,2
I alt	**585,40**

TABEL 5
MÅNEDLIG NEDBØR OBSERVERET AF SVK-MÅLER 581520 HØJE TÅSTRUP (TIDLIGERE SVK-MÅLER 30388).



FIGUR 2
MÅNEDLIG NEDBØR OBSERVERET AF SVK-MÅLER 581520 HØJE TÅSTRUP (TIDLIGERE SVK-MÅLER 30388).

Med et tagareal på 144 m² på barakken '90', har de anlagte jordvarmefaskiner håndteret 84,3 m³ regnvand i måleperioden.

8.3 Målt og beregnet effekt

Målt og beregnet effekt (W) er sammenlignet i diagrammerne nedenfor.

Til at beregne effekten benyttes relationen:

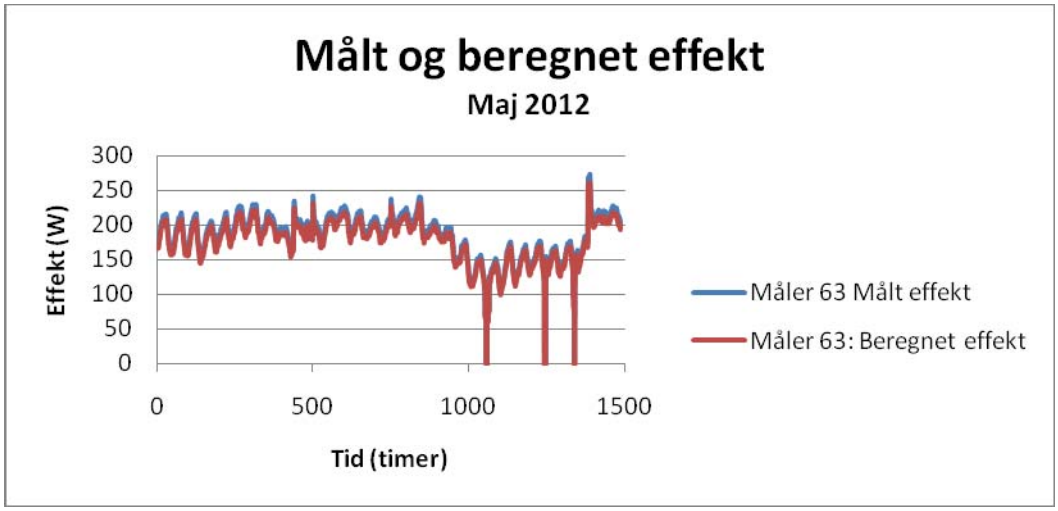
Effekten i W = Temperaturforskel (K) * Flow (m³/s) * Densitet (kg/m³) * Varmekapacitet (J/KgK)

Konstanterne bestemmes vha. følgende hjemmeside:
http://www.engineeringtoolbox.com/ethylene-glycol-d_146.html

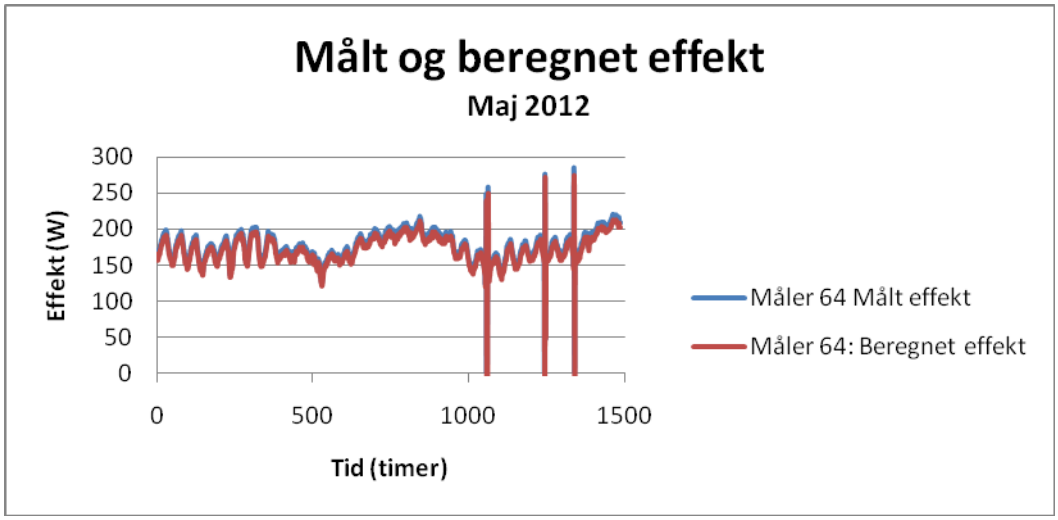
Idet der er anvendt brinevæsken 40%-glocol, er der i overensstemmelse med hjemmesiden benyttet følgende konstanter:

Densitet	ca. 1070 kg/m³
Varmekapacitet	ca. 3517 J/KgK

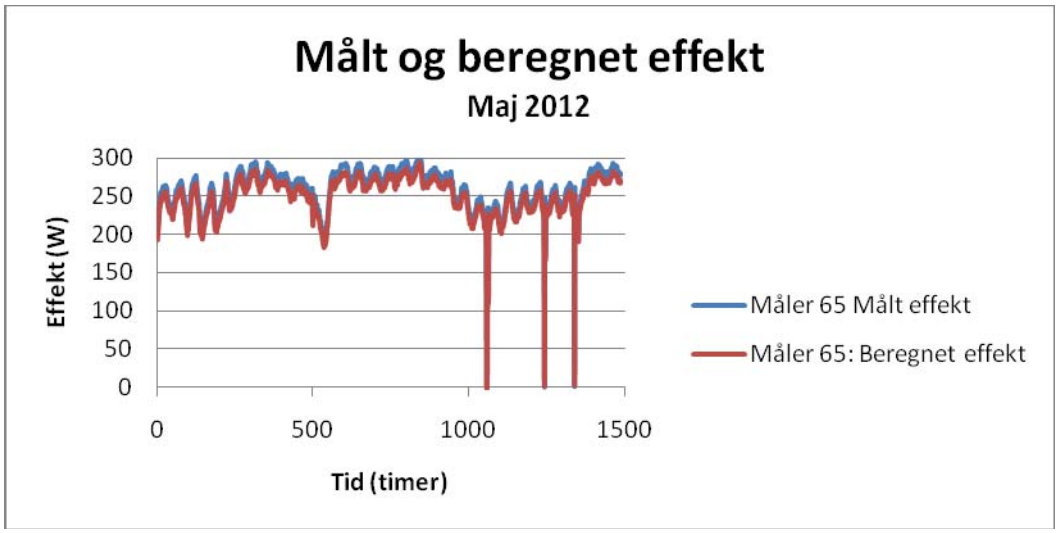
TABEL 6
ANVENDTE KONSTANTER FOR DENSITET OG VARMEKAPACITET FOR BRINEVÆSKEN 40% GLUCOL.



FIGUR 3
MÅLT OG BEREGNET EFFEKT ER SAMMENLIGNET FOR HHV. MÅLER 63, 64 OG 65 FOR MAJ 2012.



FIGUR 4
MÅLT OG BEREGNET EFFEKT ER SAMMENLIGNET FOR HHV. MÅLER 63, 64 OG 65 FOR MAJ 2012.



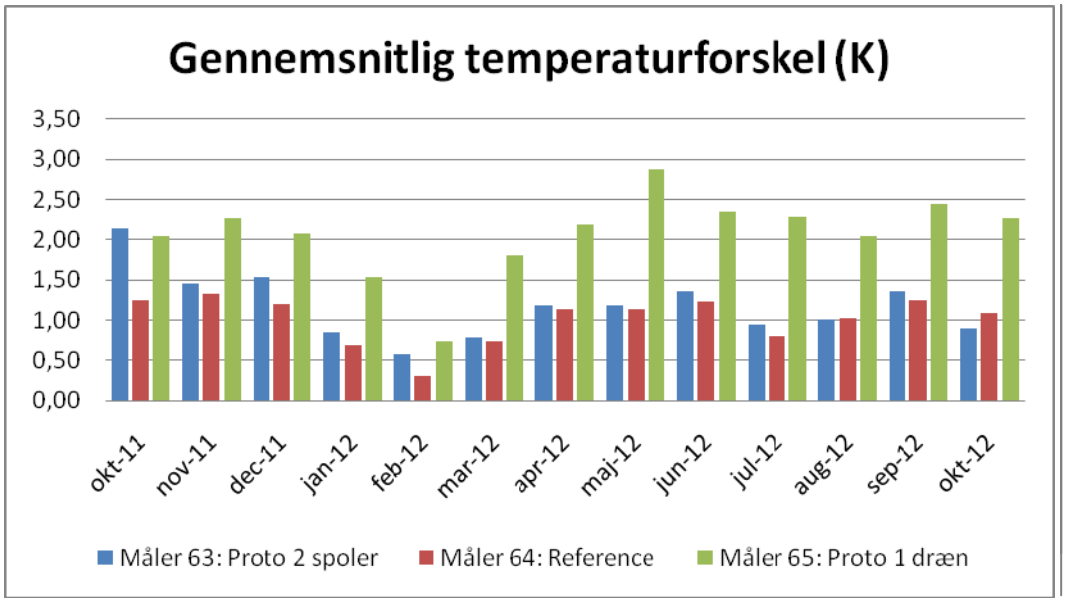
FIGUR 5
MÅLT OG BEREGNET EFFEKT ER SAMMENLIGNET FOR HHV. MÅLER 63, 64 OG 65 FOR MAJ 2012.

Af diagrammerne fremgår det, at der er en særdeles god overensstemmelse mellem målt og beregnet effekt.

8.4 Temperaturforskel

Temperaturforskel i brinevæsken (udløb minus tilløb) er målt hver halve time og fremgår af måledata i bilag 3.

Desuden er den gennemsnitlige temperaturforskel pr. måned afbildet i nedenstående figur 6.



FIGUR 6
GENNEMSNITLIG TEMPERATURFORSKEL PR. MÅNED ER VIST FOR OKTOBER 2011 TIL OG MED OKTOBER 2012.

Af alle kurverne visende temperaturforskel i bilag 3 samt ovenstående figur 4 fremgår det, at Prototype 1 måler en langt højere temperaturforskel end både referencen og prototype 2.

Desuden viser ovenstående figur 6, at der ikke umiddelbart ses en forskydning af temperaturforskellen, men at den varierer tilfældigt over året.

8.5 Flow

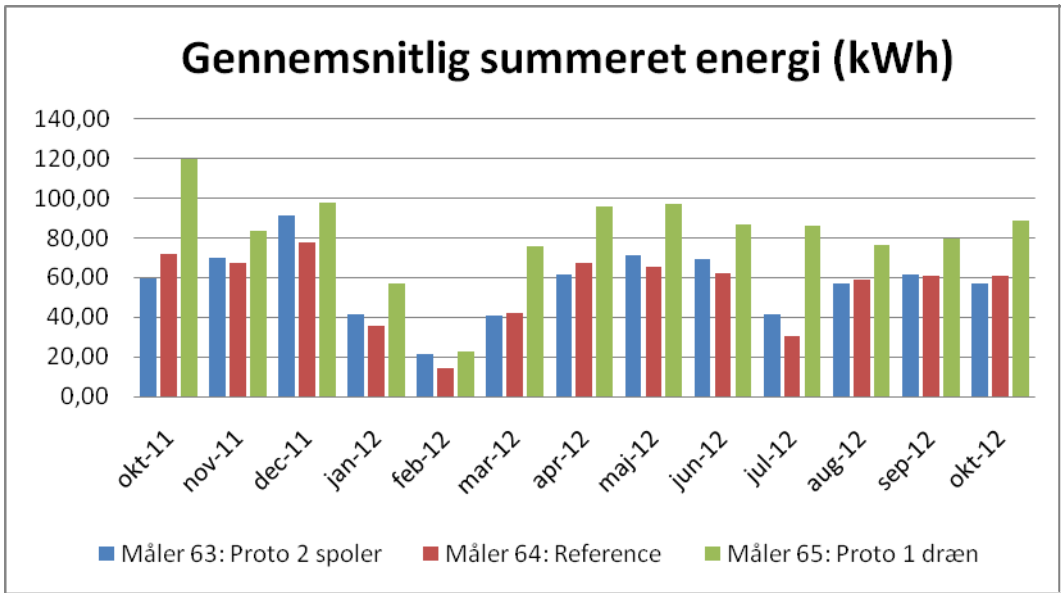
Flow af brinevæsken er målt hver halve time og fremgår af måledata i bilag 3.

Efter justering af flow den 11/10/2011 har flowet i de 3 kredsløb været i samme størrelsesorden. Flowet i prototype 1 har generelt været lidt lavere end i referencen og i prototype 2.

8.6 Akkumuleret energi

Akkumuleret energi er målt (dvs. beregnet direkte af energimåleren ud fra målt flow og temperaturforskel, se afsnit 8.3) hver halve time og fremgår af bilag 3.

Desuden er den gennemsnitlige, summerede energi pr. måned afbildet i nedenstående figur 7.



FIGUR 7
GENNEMSNITLIG SUMMERET ENERGI PR. MÅNED ER VIST FOR OKTOBER 2011 TIL OG MED OKTOBER 2012.

Af alle kurverne visende akkumuleret energi i bilag 3 samt ovenstående figur 7 fremgår det, at Prototype 1 opnår en langt højere energioptag end både referencen og prototype 2.

Desuden viser ovenstående figur 7, at der ikke umiddelbart ses en forskydning af den summerede energi, men at den varierer tilfældigt over året.

8.7 Akkumuleret energi gennem (0,0)

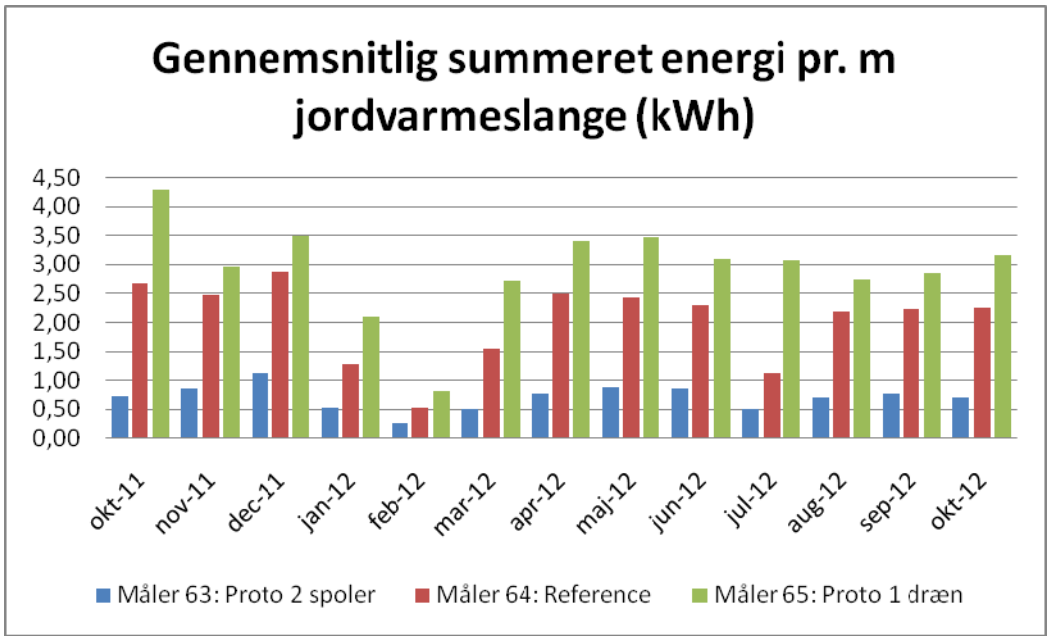
Den akkumulerede energi måles som beskrevet i afsnit 8.6. For at sammenligne de 3 kredsløb ud fra samme startpunkt i hver måned, fratrækkes den en første målte værdi fra alle målepunkter i hver måned. Således går alle 3 kurver igennem startpunktet (0,0). Kurverne er vist i bilag 3.

Af alle kurverne visende akkumuleret energi gennem (0,0)i bilag 3 fremgår det, at Prototype 1 opnår en langt højere energioptag end både referencen og prototype 2.

8.8 Akkumuleret energi gennem (0,0) pr. m jordvarmeslange

Den akkumulerede energi gennem (0,0) måles og beregnes som beskrevet i afsnit 8.6 og 8.7. For at sammenligne de 3 kredsløb ud fra samme antal m jordvarmeslange, divideres den akkumulerede energi gennem (0,0) med det totale antal meter jordvarmeslange for hvert kredsløb (se tabel 1 i afsnit 4). Kurverne er vist i bilag 3.

Desuden er den gennemsnitlige, summerede energi pr. m jordvarmeslange pr. måned afbildet i nedenstående figur 8.



FIGUR 8
GENNEMSNITLIG SUMMERET ENERGI PR. M JORDVARMESLANGE PR. MÅNED ER VIST FOR OKTOBER 2011 TIL OG MED OKTOBER 2012.

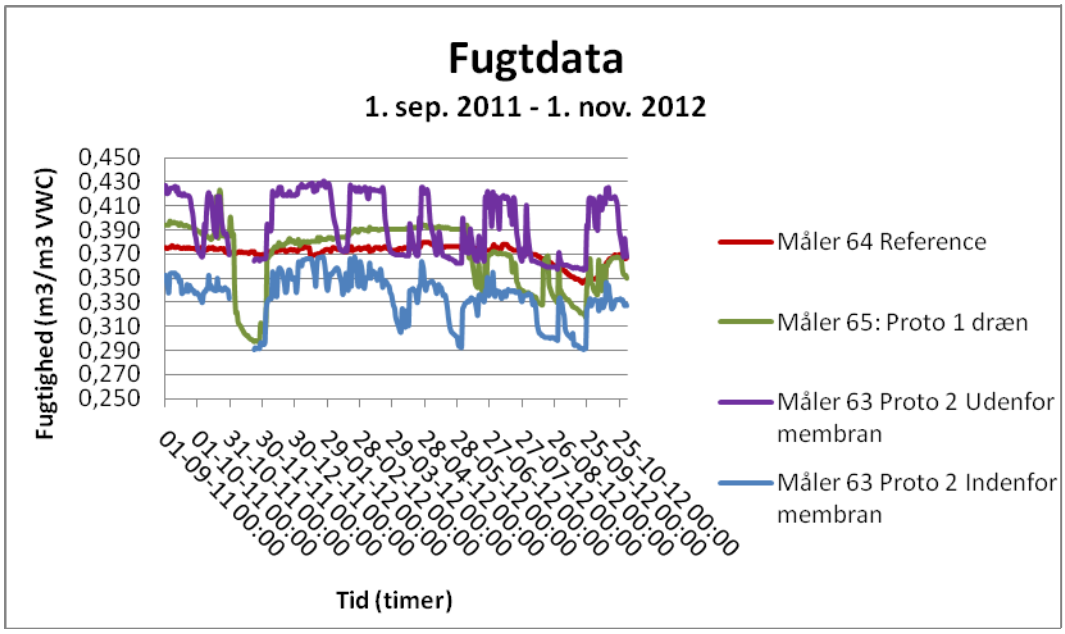
Af alle kurverne visende akkumuleret energi gennem (0,0) pr. m jordvarmeslange i bilag 3 samt ovenstående figur 8 fremgår det, at Prototype 1 opnår et langt højere energioptag end både referencen og prototype 2.

Desuden viser ovenstående figur 8, at der ikke umiddelbart ses en forskydning af den summerede energi, men at den varierer tilfældigt over året.

8.9 Fugtdata

Der er målt fugt 1 gang i timen i 12 forskellige sensorer: 5 ved reference, 5 ved Prototype 1 og 2 ved prototype 2 (hhv. indenfor og udenfor membran)

I nedenstående databearbejdning er der udvalgt data 1 gang i døgnet (kl. 8) og for i alt 4 sensorer: én for prototype 1, én for referencen og begge sensorer for prototype 2, se figur 9.



FIGUR 9
FUGTDATA I PERIODEN SEPTEMBER 2011 TIL OG MED OKTOBER 2012. DER ER UDVALGT 4 SENSORER OG DATA MÅLES ÉN GANG I DØGNET.

Af figuren fremgår det, at der har været mest fugtigt udenfor membran ved prototype 2. Dette er tankevækkende, da membranen var etableret netop for at skabe fugtige forhold. Begge målinger (indenfor og udenfor membran) er lokale, og der har sandsynligvis været meget høj lokal grundvandsstand i målepunktet ved prototype 2 udenfor membran.

Desuden fremgår det af figur 9, at der generelt har været mere fugtigt ved prototype 1 end ved både referencen og prototype 2 indenfor membran.

Generelt kan det ses, at fugtindholdet følger nedbøren (se afsnit 8.2). Således har fugtindholdet været lavest i de måneder, hvor de er forekommet mindst nedbør (november 2011, marts 2012, maj 2012 og august 2012).

Det fremgår også, at der har været langt større variationer af det målte fugtindhold i både prototype 1 og prototype 2 end i referencen, hvilket viser, at tilledningen af fugt til de 2 prototyper er lykkedes.

9. Diskussion

Der er udviklet 2 forskellige prototyper af jordvarmeslanger kombineret med faskiner. Prototyperne er anlagt i et demonstrationsanlæg sammen med en reference. Der er udført i alt 14 måneders sammenhængende målinger, og med måling hver halve time og en datasikkerhed på 94% svarer det til i alt 19.174 datasæt af temperaturforskel, flow og akkumuleret energi.

Desuden er fugtighed ved hvert kredsløb målt hver time. Nedbøren er indhentet fra SVK-måleren i Høje Tåstrup.

Samtlige data viser, at prototype 1 dræn fungerer langt bedre end både prototype 2 og referencen både totalt set i dette forsøgsanslæg samt pr. meter jordvarmeslange. For at få et billede af, hvor meget bedre, den kvantitativt fungerer, er den akkumulerede energi pr. måned beregnet i nedenstående tabel 7. Den absolutte værdi er beregnet. Desuden er den relative værdi i % i forhold til referencen beregnet.

Måned	**Prototype 1 (kWh)**	**Prototype 2 (kWh)**	**Reference**	**Proto 1 (%)**	**Proto 2 (%)**
September 2011	232*	26*	17*	1265*	53*
Oktober 2011	221	148	150	47	-1
November 2011	170	140	136	25	3
December 2011	183	173	142	29	22
Januar 2012	123	84	73	68	15
Februar 2012	61	61	35	74	74
Marts 2012	159	89	87	83	2
April 2012	183	128	129	42	-1
Maj 2012	194	137	132	47	4
Juni 2012	168	134	120	40	12
Juli 2012	154	84	69	123	22
August 2012	147	108	115	28	-6
September 2012	165	129	124	33	4
Oktober 2012	152	83	104	46	-20
I alt	2.080	1.498	1.416	47	6

* Data fra september 2011 medtages ikke i gennemsnittet over året, da flowet ikke er reguleret

TABEL 7
AKKUMULERET ENERGI PR. MÅNED ABSOLUT SAMT RELATIVT I FORHOLD TIL REFERENCEMÅLING.

Af tabellen fremgår det, at Prototype 1 som gennemsnit over 13 måneder er i stand til at hive 47% mere energi ud af jorden end referencen. For alle måneder (undtagen februar 2012) er prototype 1 bedre end både referencen og prototype 2. I februar 2012 er prototype 1 og 2 lige gode.
Det tilsvarende tal for prototype 2 er kun 6%. Der er her store variationer i forhold til referencen.

Den tilsvarende tabel pr. m jordvarmeslange er vist nedenfor.

Måned	**Prototype 1 (kWh)**	**Prototype 2 (kWh)**	**Reference**	**Proto 1 (%)**	**Proto 2 (%)**
September 2011	8,29*	0,32*	0,63*	1216*	-49*
Oktober 2011	7,89	1,83	5,56	42	-67
November 2011	6,07	1,73	5,04	21	-66
December 2011	6,54	2,14	5,26	24	-59
Januar 2012	4,39	1,04	2,70	62	-62
Februar 2012	2,18	0,75	1,30	68	-42
Marts 2012	5,68	1,10	3,22	76	-66
April 2012	6,54	1,58	4,78	37	-67
Maj 2012	6,93	1,69	4,89	42	-65
Juni 2012	6,00	1,65	4,44	35	-63
Juli 2012	5,50	1,04	2,56	115	-59
August 2012	5,25	1,33	4,26	23	-69
September 2012	5,89	1,59	4,59	28	-65
Oktober 2012	5,43	1,02	3,85	41	-73
I alt	74,29	18,49	52,44	42	-65

* Data fra september 2011 medtages ikke i gennemsnittet over året, da flowet ikke er reguleret

TABEL 8
AKKUMULERET ENERGI PR. M JORDVARMESLANGE PR. MÅNED ABSOLUT OG RELATIVT I FORHOLD TIL REFERENCEMÅLING.

Af tabellen fremgår det tydeligt (som det også ses af diagrammerne i bilag 3), at Prototype 1 fortsat er langt bedre end både referencen (42%) og prototype 2.

Desuden sker der det, at kurverne 'bytter plads', så referencen nu er betydeligt bedre end prototype 2, hvor de totalt set er sammenlignelige (evt. med en lille fordel til prototype 2). Dette skyldes, at længden af jordvarmeslangen i prototype 2 er meget længere (81 m) end både referencen (27 meter) og prototype 1 (28 m).

I virkeligheden kunne længden af jordvarmeslangen i prototype 2 godt have været kortere, og dette ville have haft indflydelse på beregningerne i ovenstående tabel 8.

Det interessante er, at opbygningen af prototype 2 er inspireret af den opbygning, der anvendes i England, hvor jordvarmeslangerne netop udlægges som spoler i faskiner.

Med udviklingen af prototype 1 er der i henhold til de udførte tests således udviklet en jordvarmefaskine, der vil fungere langt bedre end både referencen og prototype 2 inspireret af de engelske jordvarmefaskiner, der blev set under det teoretiske forprojekt.

De miljømæssige og økonomiske konsekvenser af at anvende prototype 1 fremfor jordvarmeslanger uden fordeling af regnvand er åbenlyse. Hvis en borger i dag har behov for at anlægge 400 m jordvarmeslanger, vil anlæg af prototype 1 betyde, at det kun vil være nødvendigt at anlægge ca. 200 m jordvarmeslange. Dermed er anlægsudgiften for selve jordvarmeanlægget halveret. Dertil skal lægges en mindre anlægsudgiften for dræn og singels, der lægges ned i samme tracé som jordvarmeslangerne. Til gengæld tilbyder flere kommuner i Danmark at tilbagebetale op til 40% af tilslutningsafgiften (i størrelsesordenen 23.000 kr.), hvis en borger afkobler sit regnvand. Der vil derfor være endnu en økonomisk gevinst ved at anlægge en jordvarmefaskine fremfor jordvarmeslanger alene.

Det skal understreges, at der ved alle løsninger, hvor regnvand anvendes lokalt, er det en forudsætning, at det undersøges, hvad der sker i tilfælde af hverdagsregn, dimensionsgivende regn samt skybrud. Overløbsmuligheder ved fx skybrud eller større dimensionsgivende regn skal derfor undersøges/fastlægges.

Driftsmæssigt og miljømæssigt vil jordvarmefaskinen også have store positive konsekvenser. Hvis længden af jordvarmeslangerne halveres, halveres også driftsudgifterne – samt CO_2-belastningen – til varmepumpen.

Referencer

Rørcenter-anvisning 009, Nedsivning af regnvand i faskiner

http://www.engineeringtoolbox.com/ethylene-glycol-d_146.html

Bilag 1: Etablering af prototype 1: Dræn

BILLEDE 1
UDGRAVNING AF TRACÉ.

BILLEDE 2
FÆRDIGT TRACÉ.

BILLEDE 3
SÆTNING AF BRØND TIL SAMLING AF OG MÅLEUDSTYR PÅ JORDVARMESLANGER.

BILLEDE 4
PÅBORING AF HULLER I BRØND TIL JORDVARMESLANGER.

BILLEDE 5
UDLÆGNING AF JORDVARMESLANGE.

BILLEDE 6
UDLÆGNING AF DRÆN.

BILLEDE 7
OMKRINGFYLDNING MED SINGELS.

BILLEDE 8
FÆRDIGT TRACÉ MED DRÆN.

Bilag 2: Etablering af prototype 2: Spoler

BILLEDE 1
UDLÆGNING AF IMPERMEABEL MEMBRAN.

BILLEDE 2
UDLÆGNING AF JORDVARMESLANGER SOM SPOLER.

BILLEDE 3
SPOLER DÆKKES MED SINGELS.

BILLEDE 4
SINGELS.

BILLEDE 5
UDLÆGNING AF PERMEABEL GEOTEXTIL I BUND AF FASKINE.

BILLEDE 6
UDLÆGNING AF PERMEABEL GEOTEXTIL I TOP OG SIDER AF FASKINE.

BILLEDE 7
JORDPÅFYLDNING.

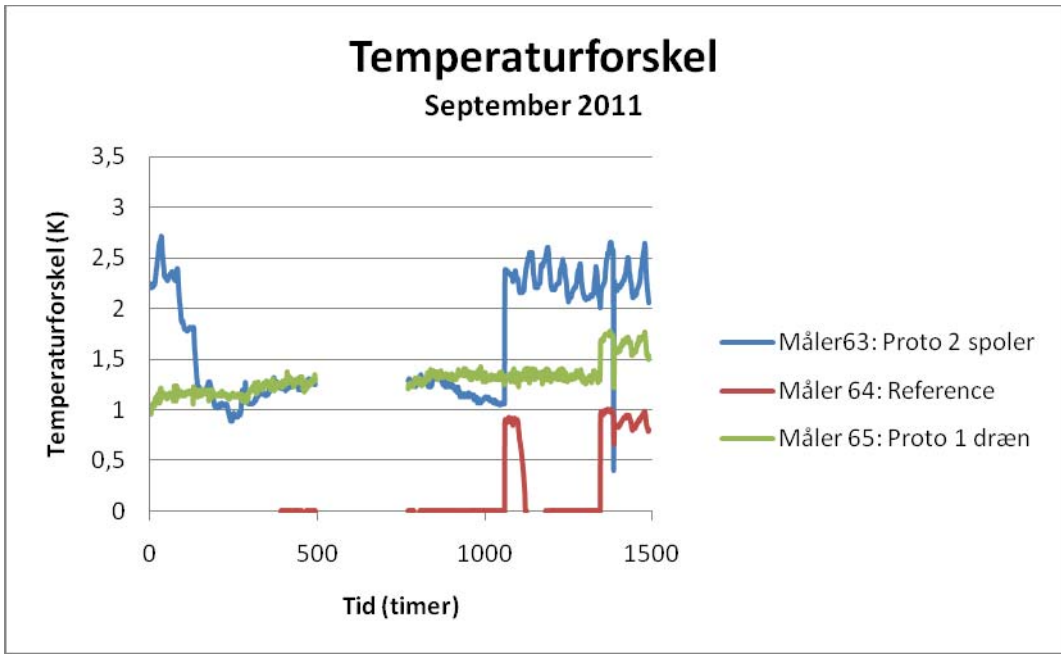
BILLEDE 8
ETABLERING AF SANGFANGSBRØND FØR FASKINE.

BILLEDE 9
JORDPÅFYLDNING.

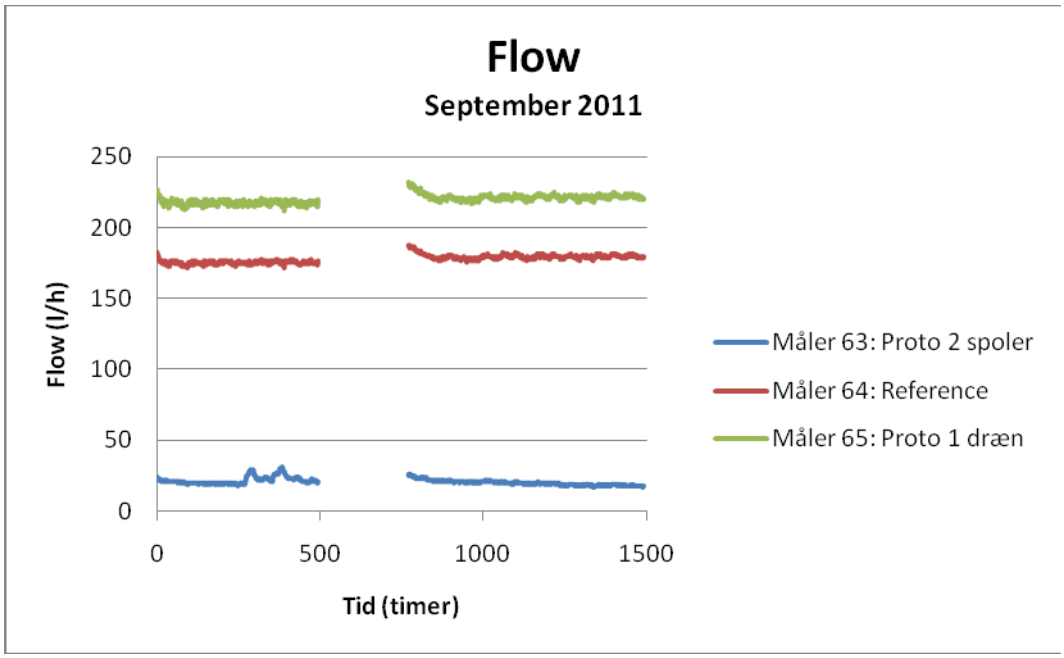
Bilag 3: Måledata

Bilag 3.a: Indkøringsperiode

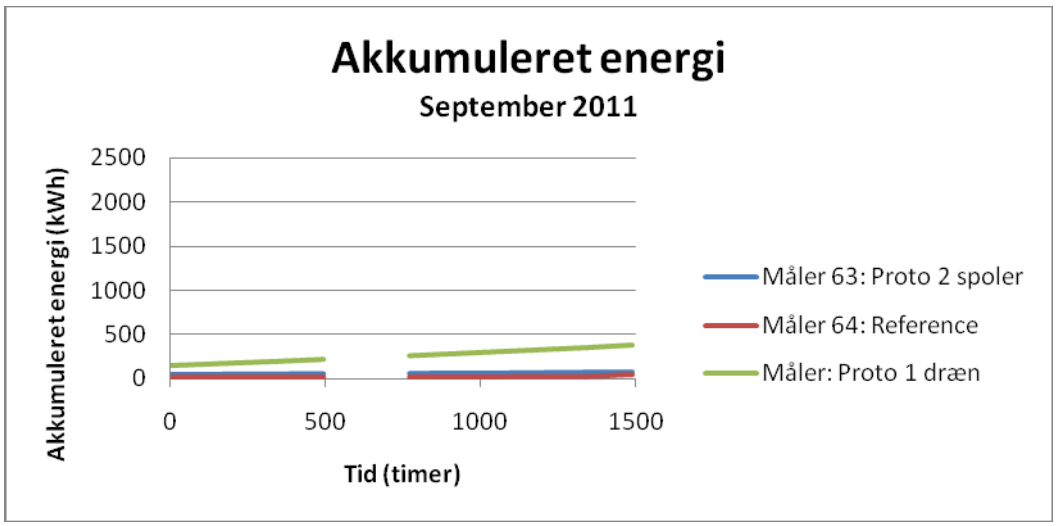
Temperaturforskel (K)
Flow (l/h)
Akkumuleret energi (kWh)
Akkumuleret energi gennem (0,0) (kWh)
Akkumuleret energi gennem (0,0) pr. m jordvarmeslange (kWh)



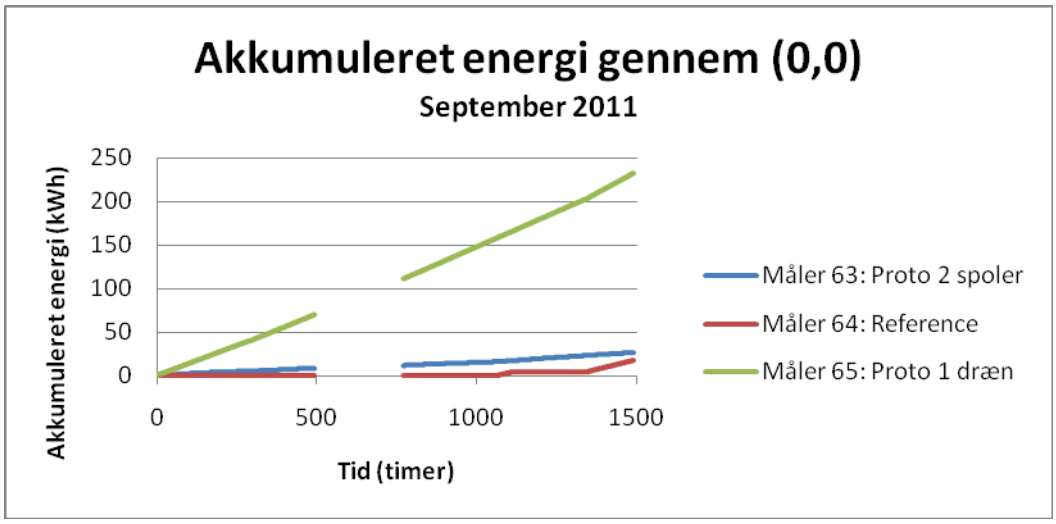
FIGUR 1
TEMPERATURFORSKEL SEPTEMBER 2011.



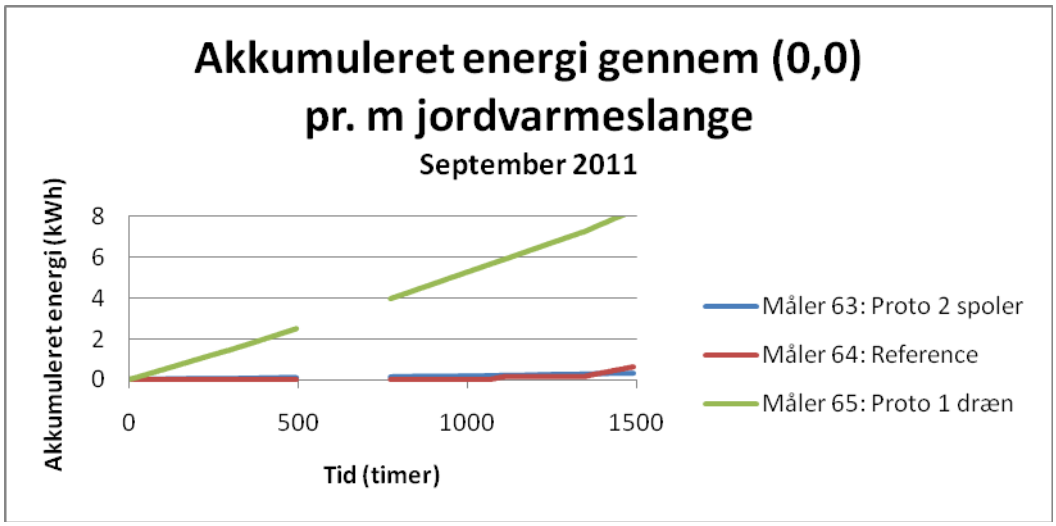
FIGUR 2
FLOW SEPTEMBER 2011.



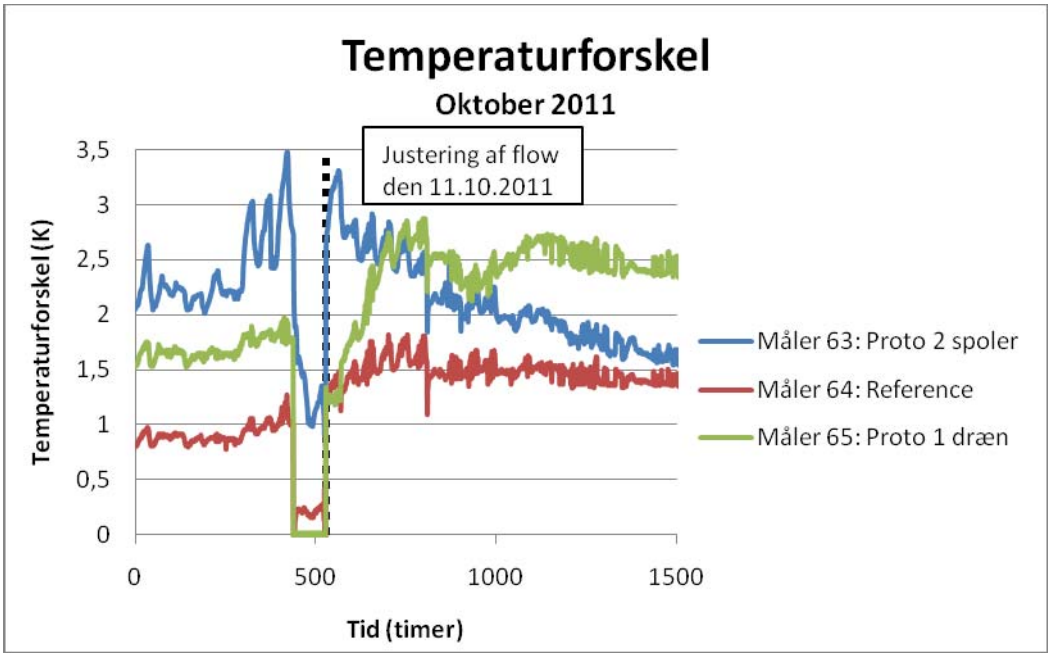
FIGUR 3
AKKUMULERET ENERGI SEPTEMBER 2011.



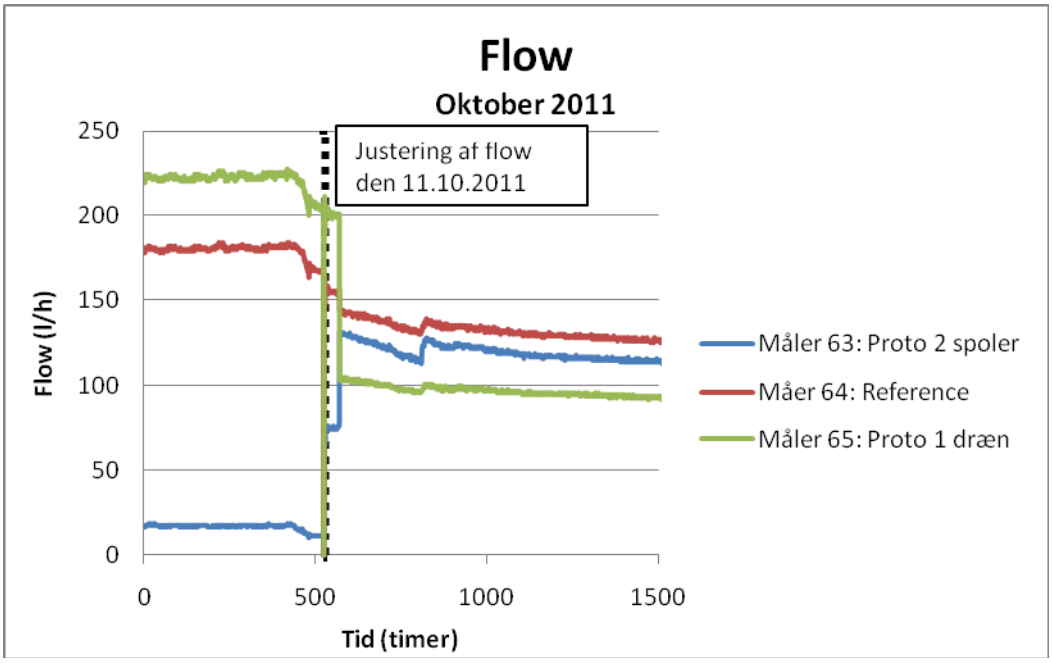
FIGUR 4
AKKUMULERET ENERGI GENNEM (0,0) SEPTEMBER 2011.



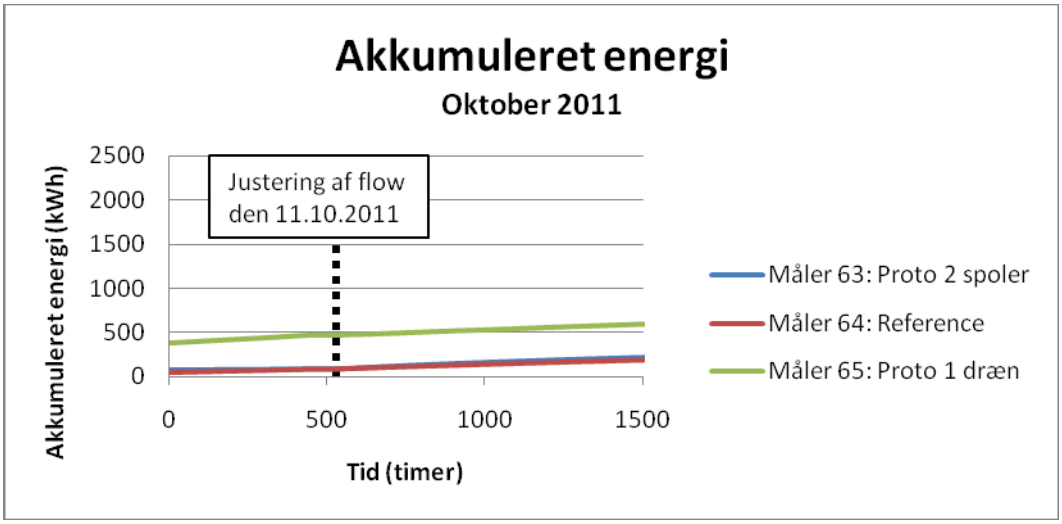
FIGUR 5
AKKUMULERET ENERGI GENNEM (0,0) PR. M JORDVARMESLANGE SEPTEMBER 2011.



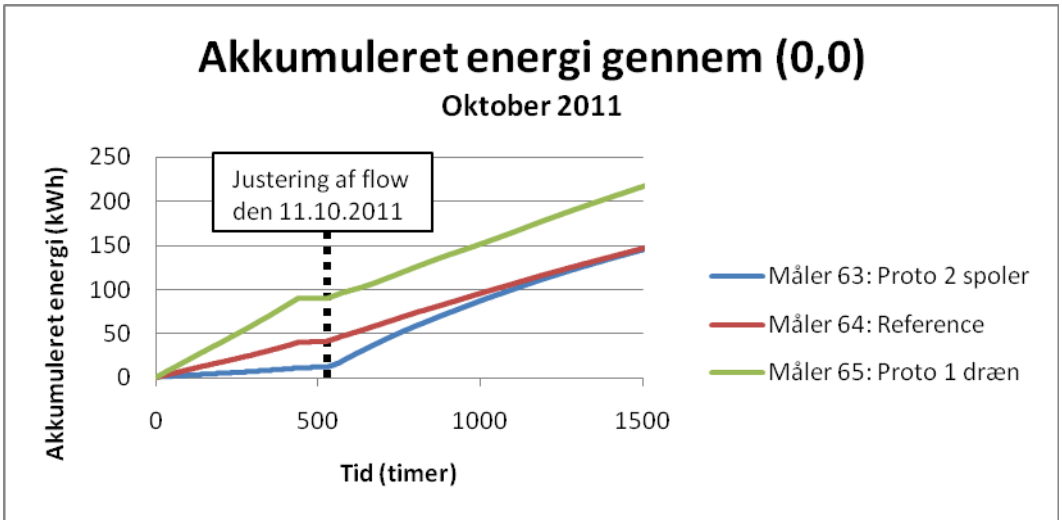
FIGUR 6
TEMPERATURFORSKEL OKTOBER 2011.



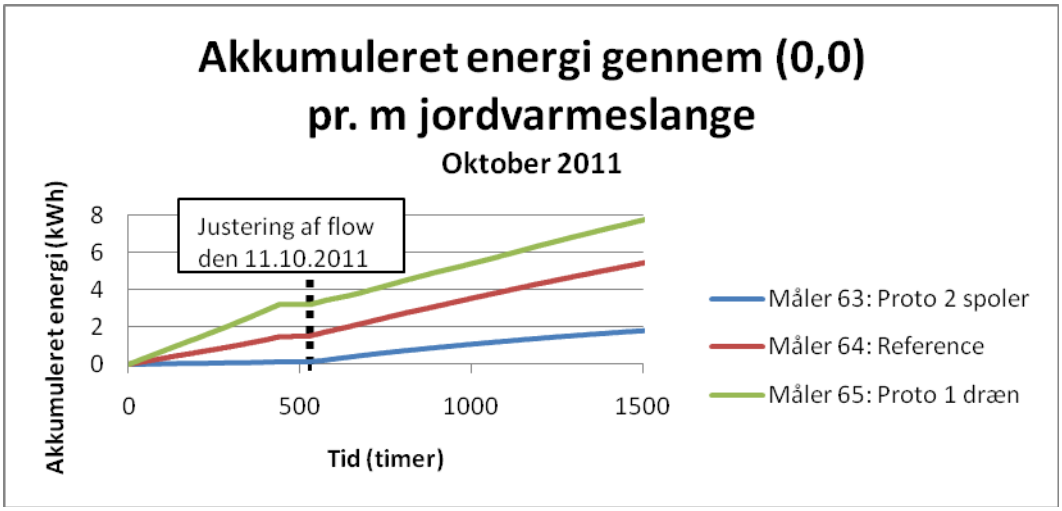
FIGUR 7
FLOW OKTOBER 2011.



FIGUR 8
AKKUMULERET ENERGI OKTOBER 2011.



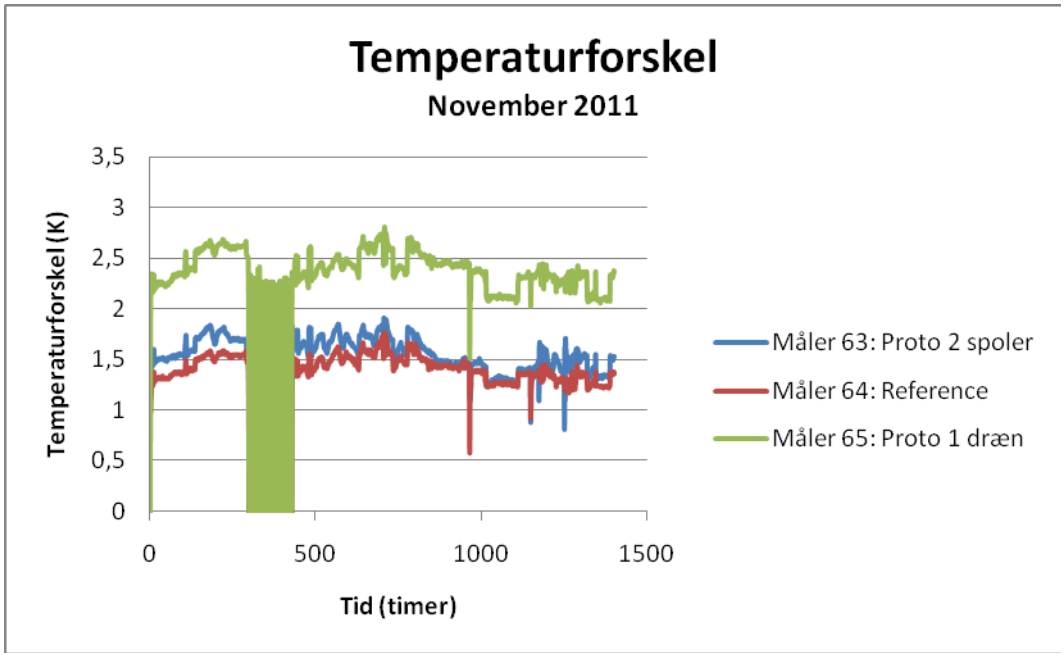
FIGUR 9
AKKUMULERET ENERGI GENNEM (0,0) OKOTBER 2011.



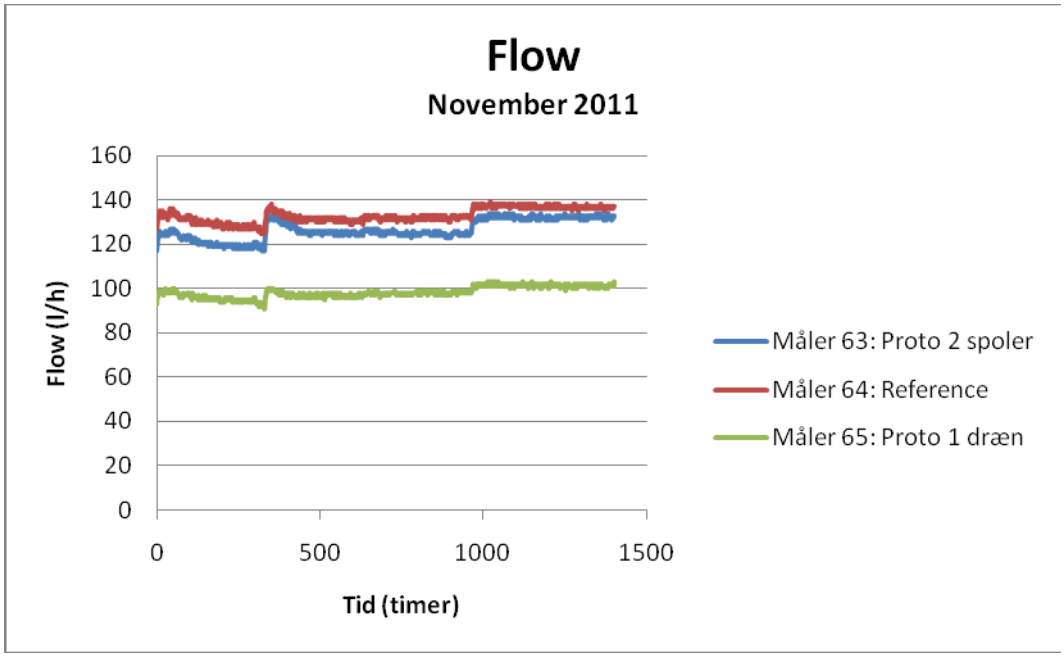
FIGUR 10
AKKUMULERET ENERGI GENNEM (0,0) PR. M JORDVARMESLANGE OKOTBER 2011.

Bilag 3.b: Indkøringsperiode

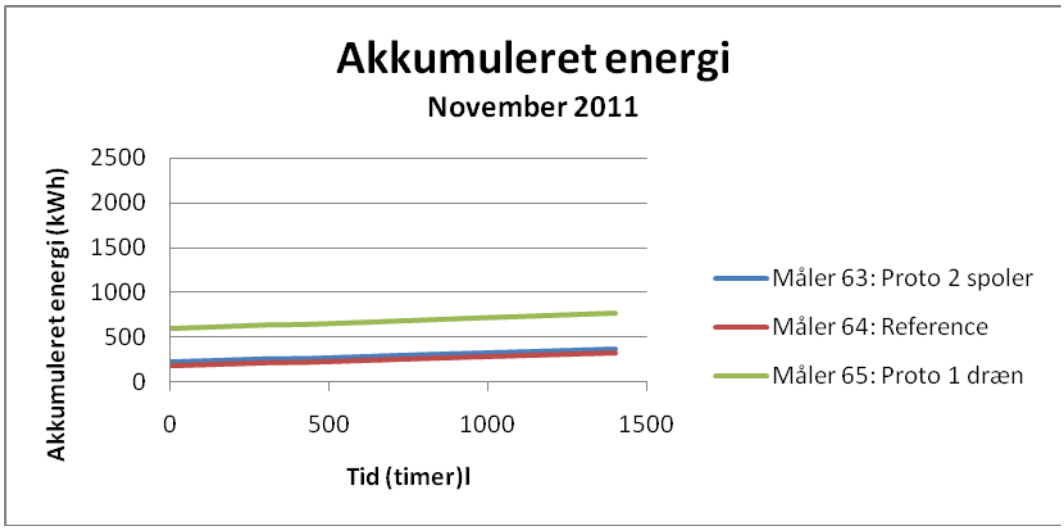
Temperaturforskel (K)
Flow (l/h)
Akkumuleret energi (kWh)
Akkumuleret energi gennem (0,0) (kWh)
Akkumuleret energi gennem (0,0) pr. m jordvarmeslange (kWh)



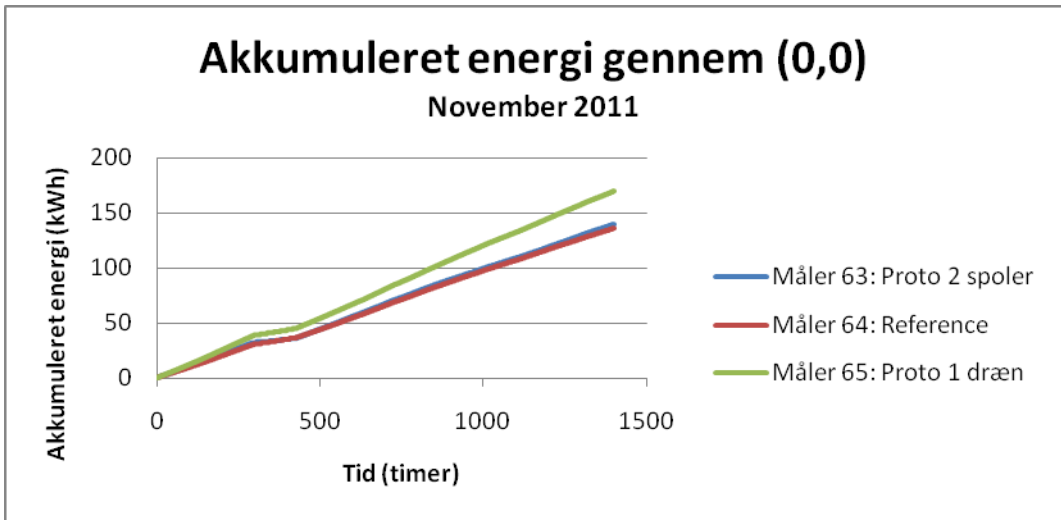
FIGUR 11
TEMPERATURFORSKEL NOVEMBER 2011.



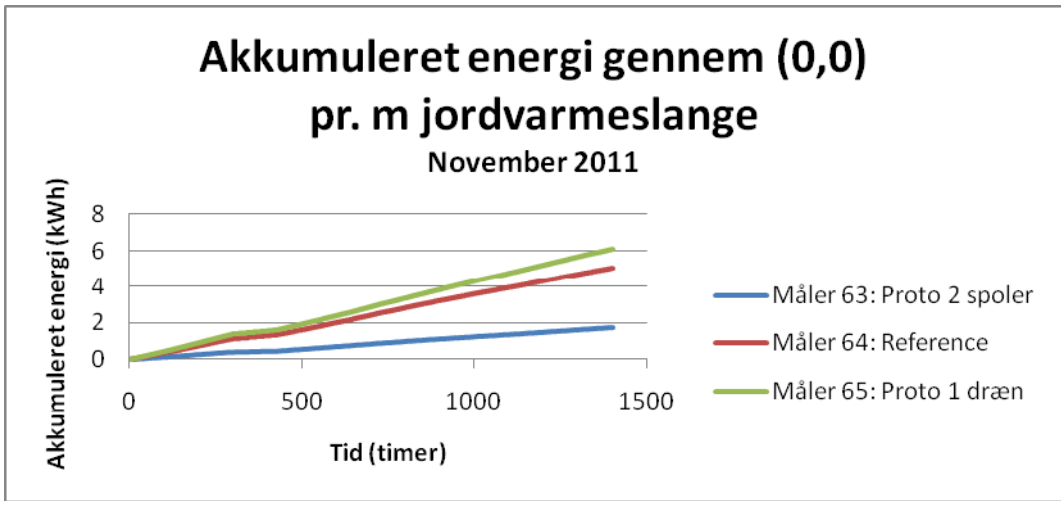
FIGUR 12
FLOW NOVEMBER 2011.



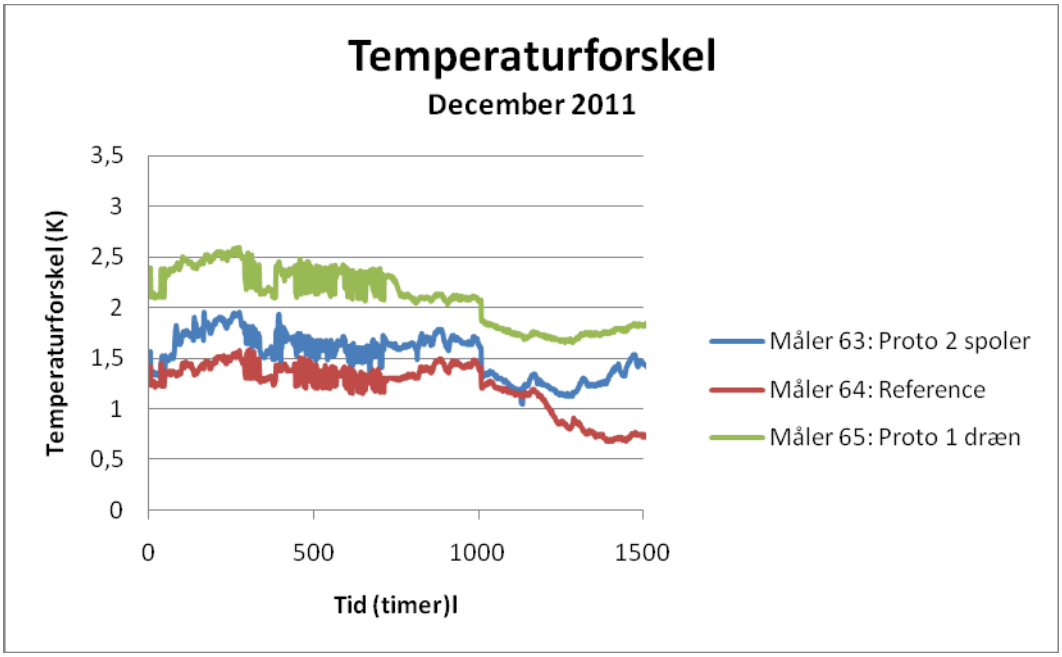
FIGUR 13
AKKUMULERET ENERGI NOVEMBER 2011.



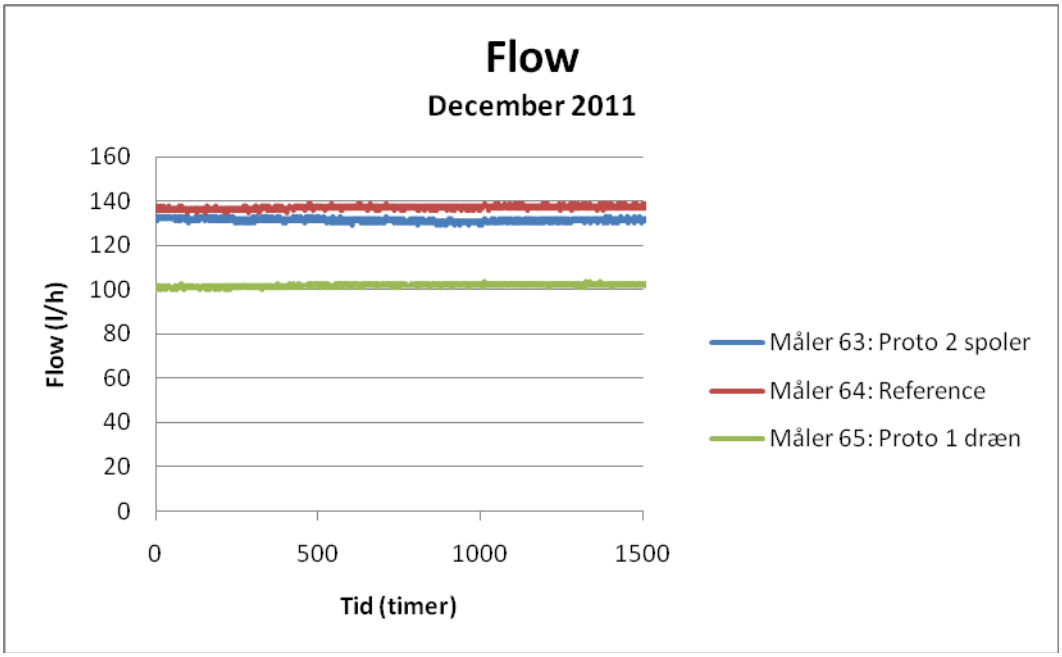
FIGUR 14
AKKUMULERET ENERGI GENNEM (0,0) NOVEMBER 2011.



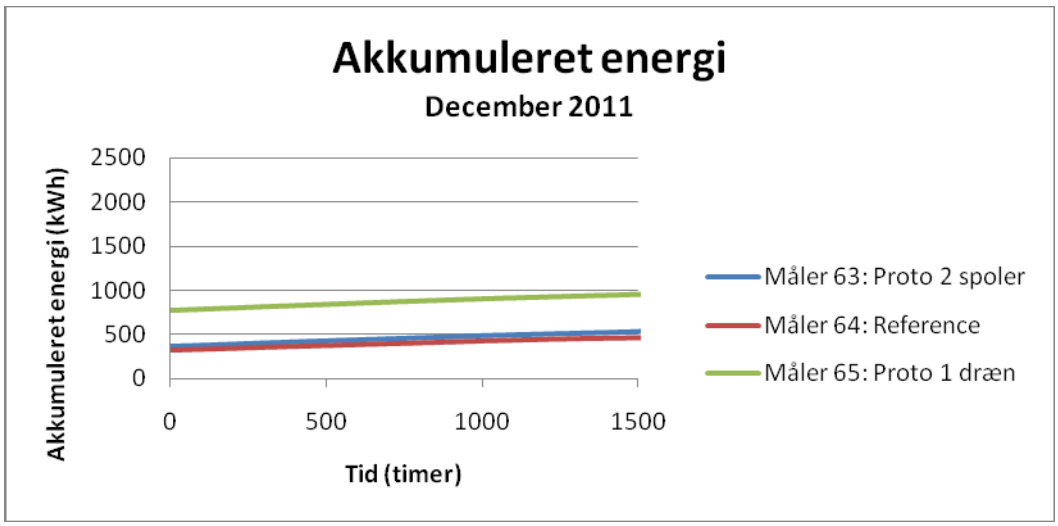
FIGUR 15
AKKUMULERET ENERGI GENNEM (0,0) PR. M JORDSLANGE NOVEMBER 2011.



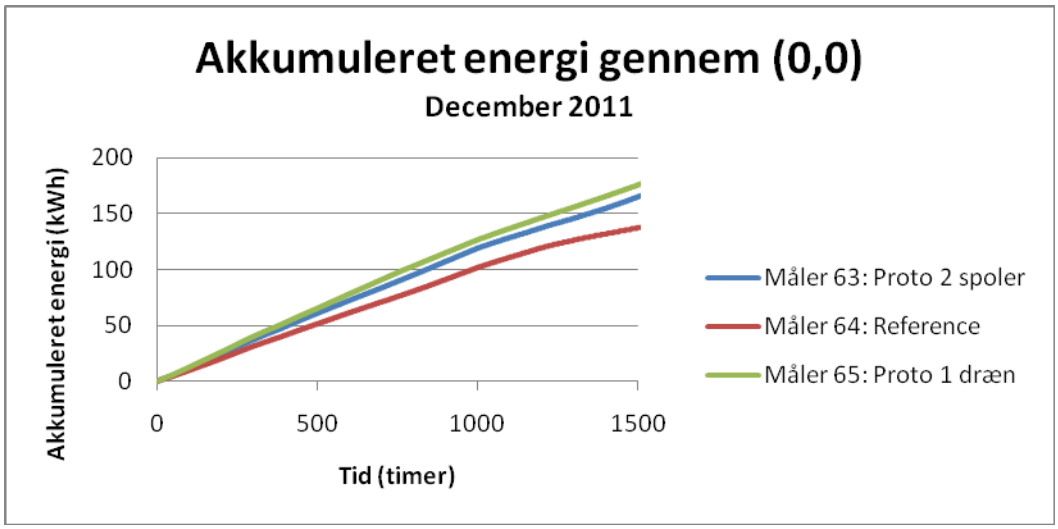
FIGUR 16
TEMPERATURFORSKEL DECEMBER 2011.



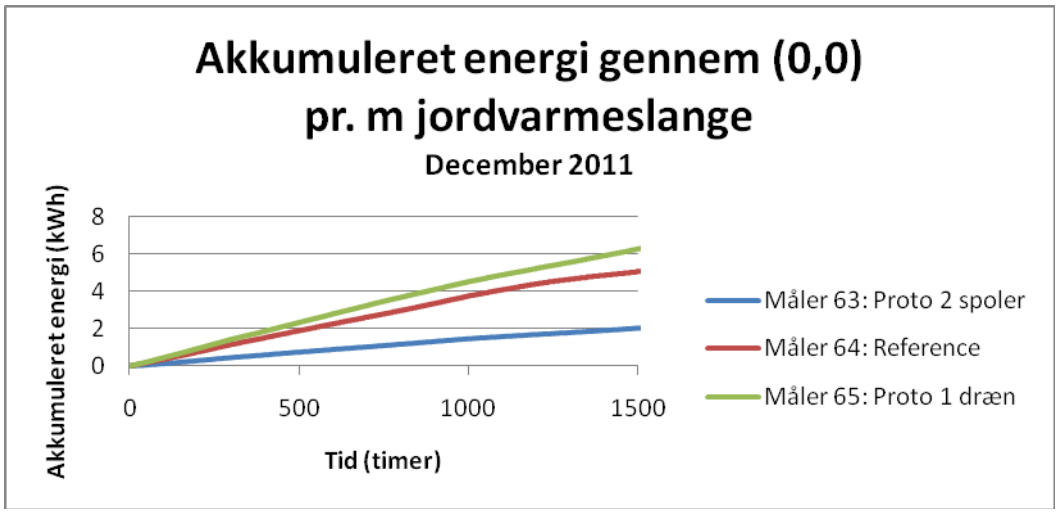
FIGUR 17
FLOW DECEMBER 2011.



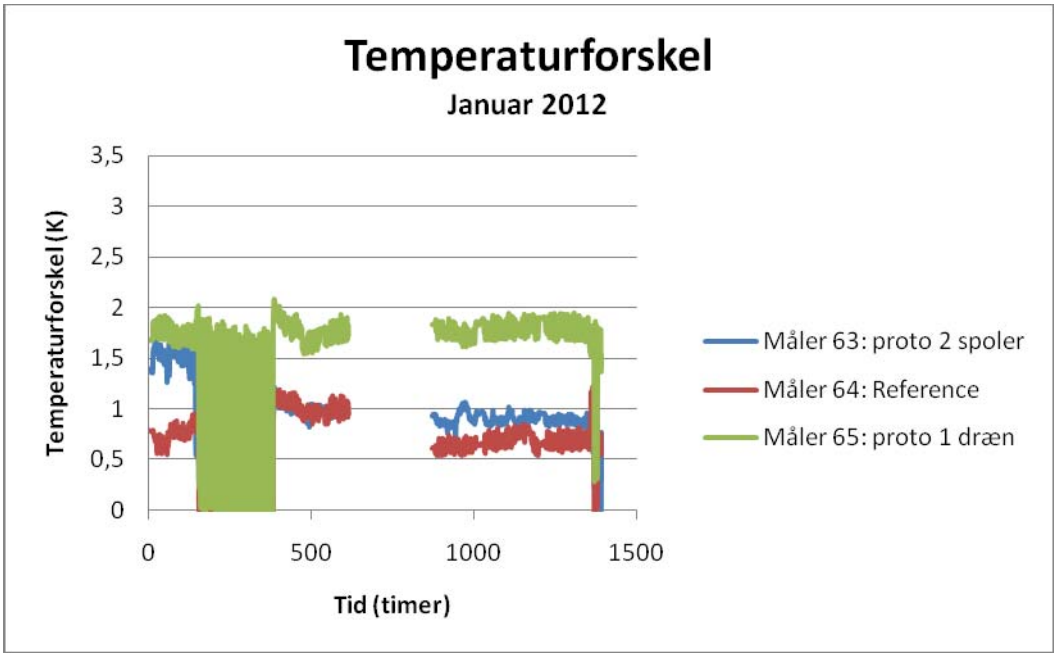
FIGUR 18
AKKUMULERET ENERGI DECEMBER 2011.



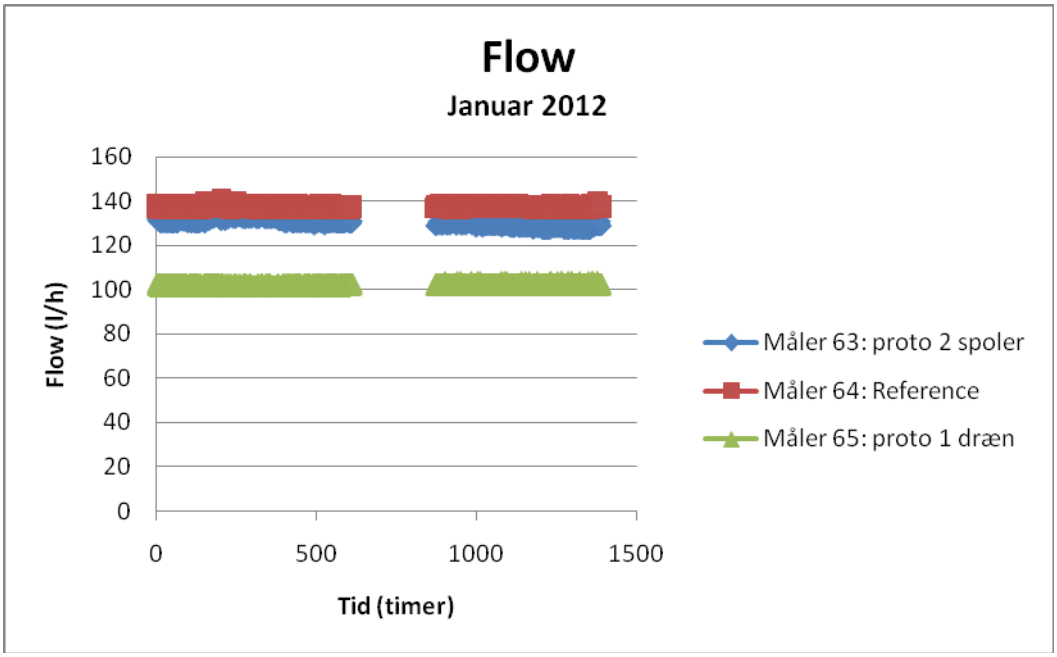
FIGUR 19
AKKUMULERET ENERGI GENNEM (0,0) DECEMBER 2011.



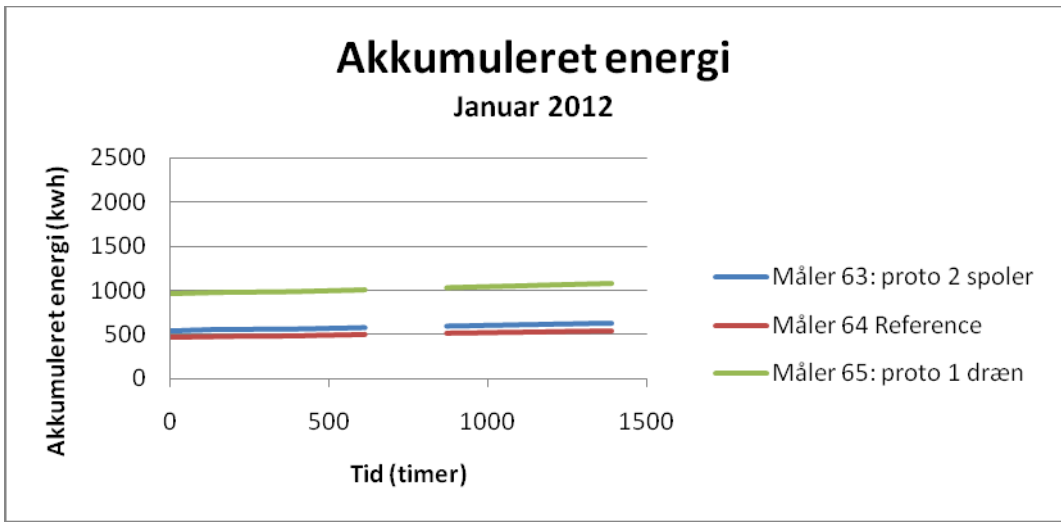
FIGUR 20
AKKUMULERET ENERGI GENNEM (0,0) PR. M JORDSLANGE DECEMBER 2011.



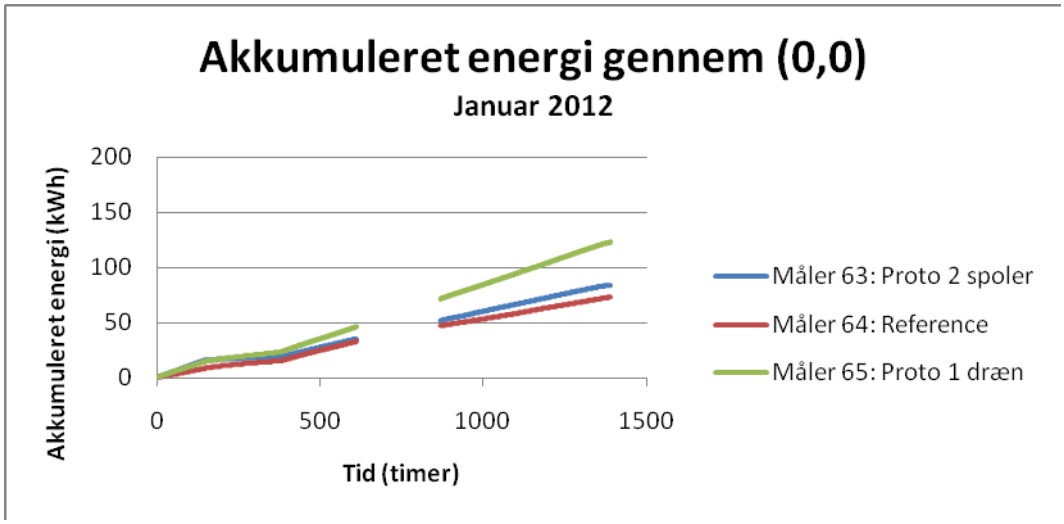
FIGUR 21
TEMPERATURFORSKEL JANUAR 2012.



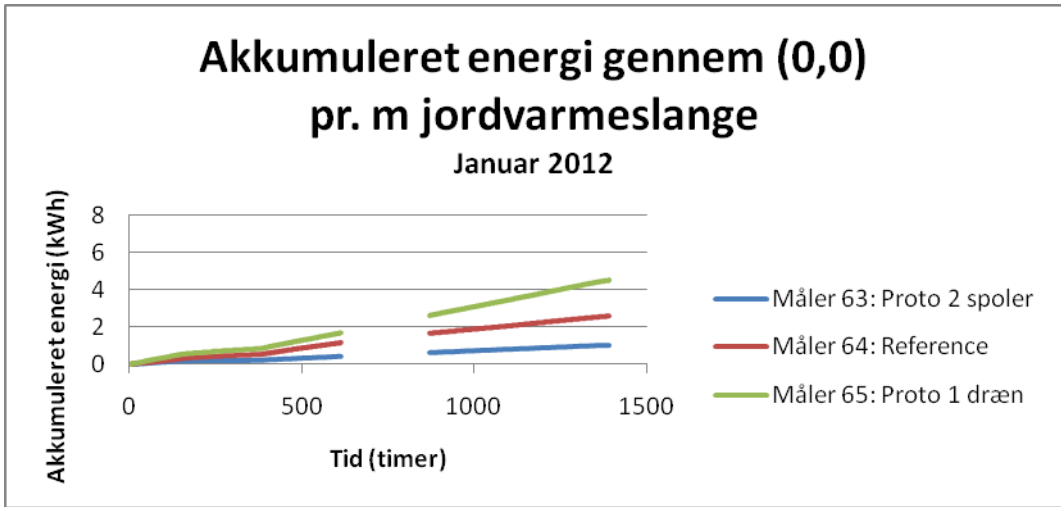
FIGUR 22
FLOW JANUAR 2012.



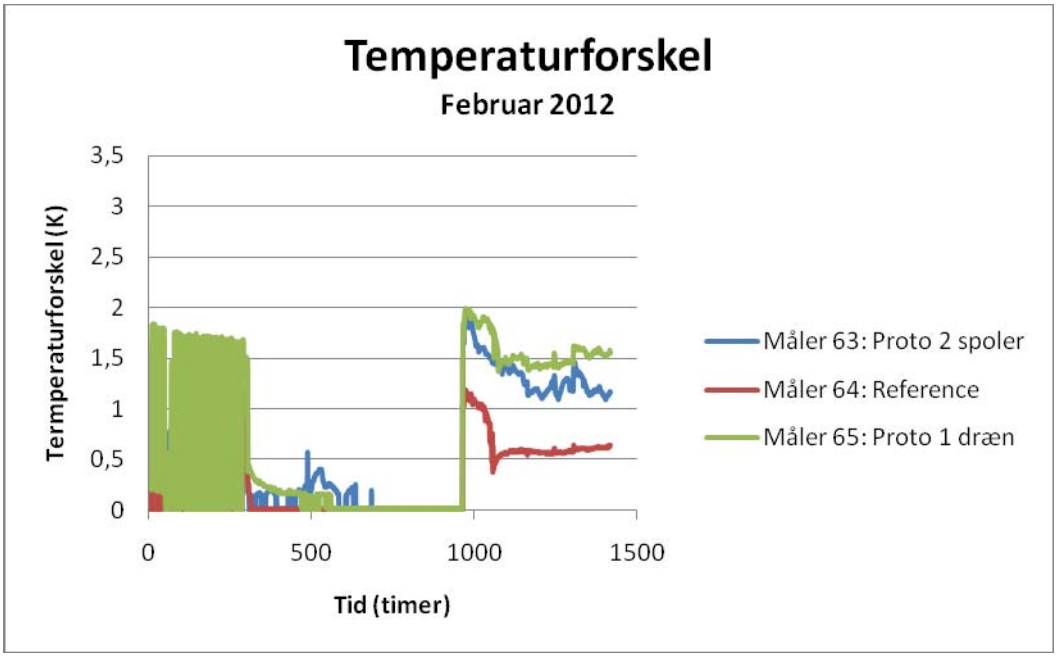
FIGUR 23
AKKUMULERET ENERGI JANUAR 2012.



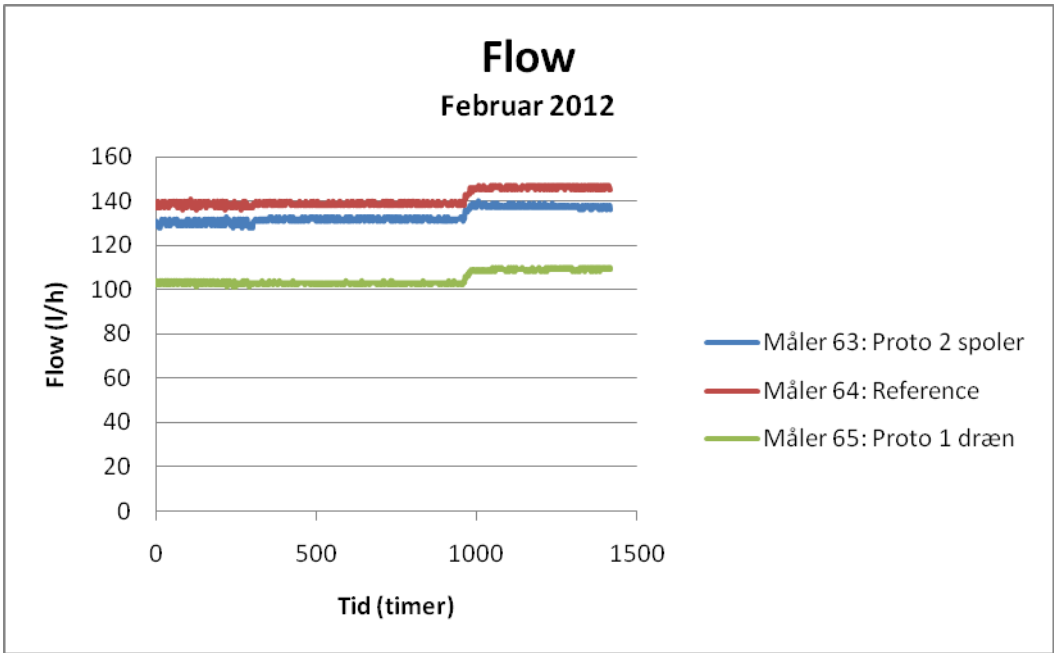
FIGUR 24
AKKUMULERET ENERGI GENNEM (0,0) JANUAR 2012.



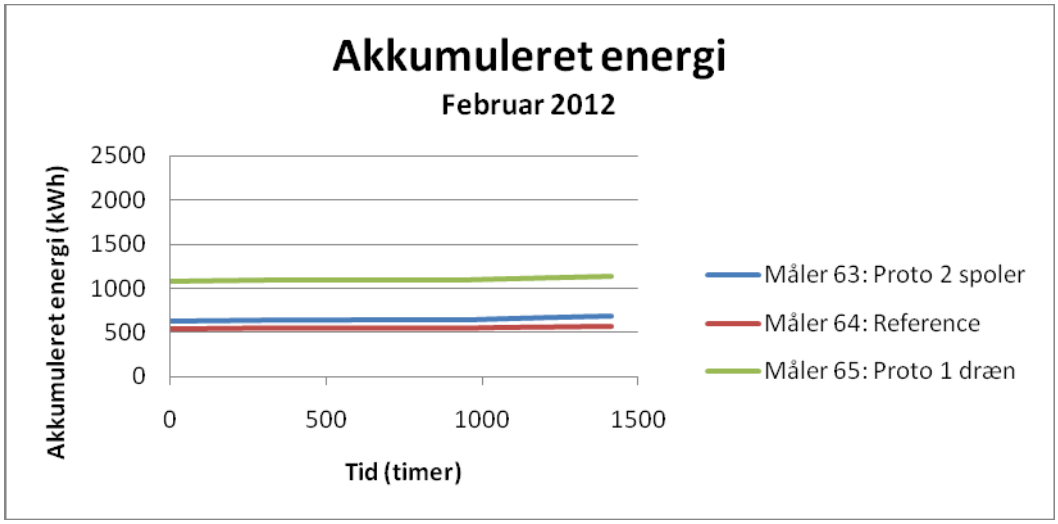
FIGUR 25
AKKUMULERET ENERGI GENNEM (0,0) PR. M JORDVARMESLANGE JANUAR 2012.



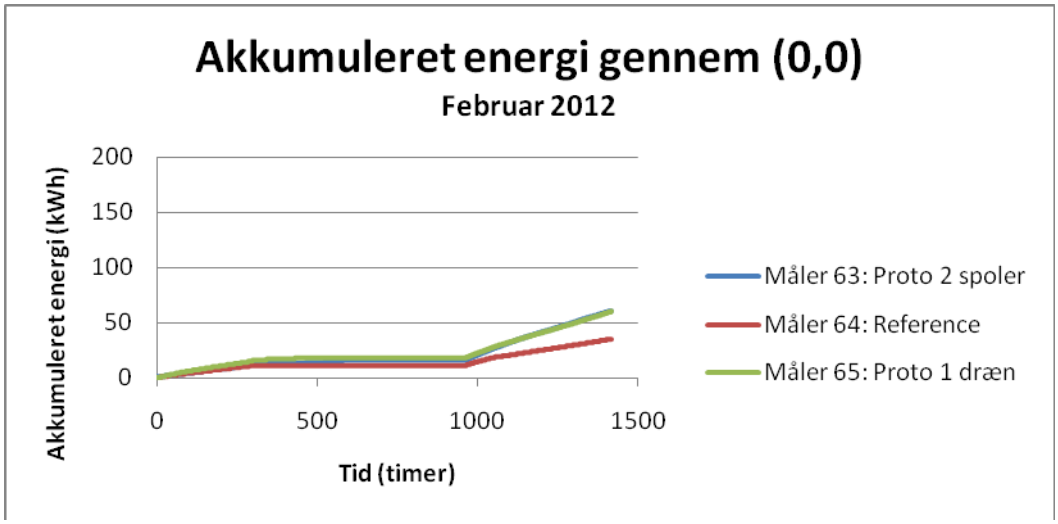
FIGUR 26
TEMPERATURFORSKEL FEBRUAR 2012.



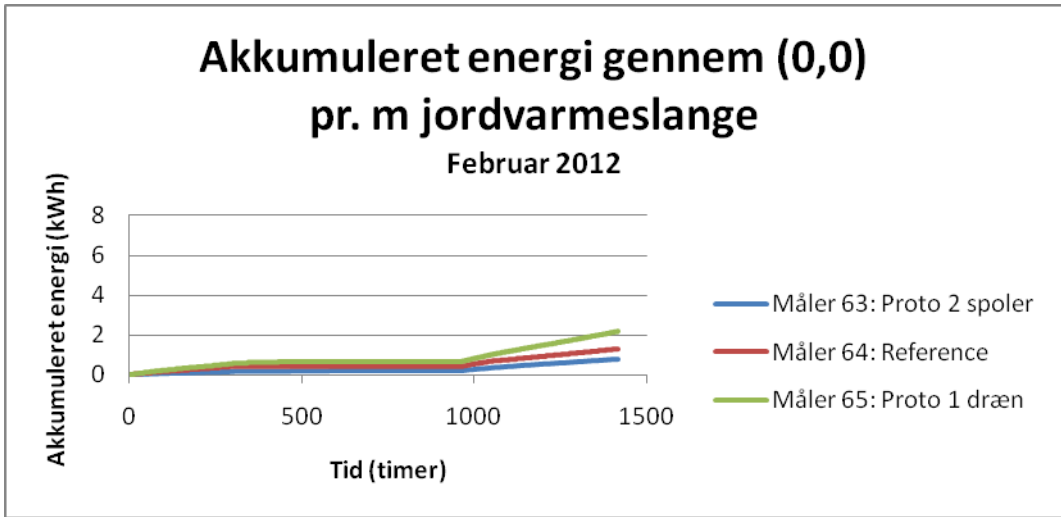
FIGUR 27
FLOW FEBRUAR 2012.



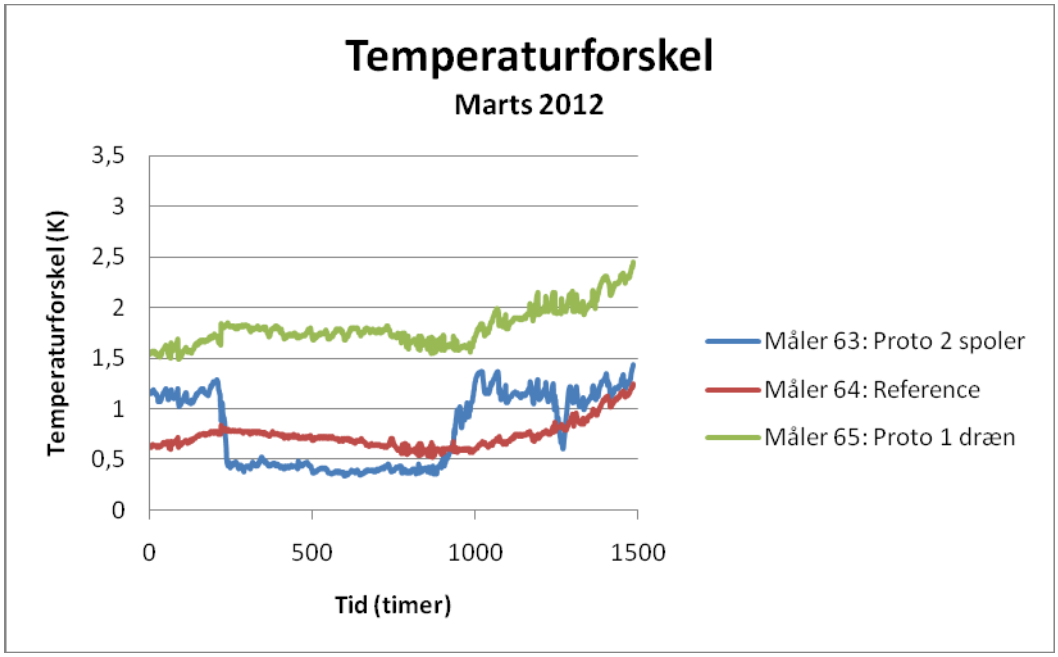
FIGUR 28
AKKUMULERET ENGERGI FEBRUAR 2012.



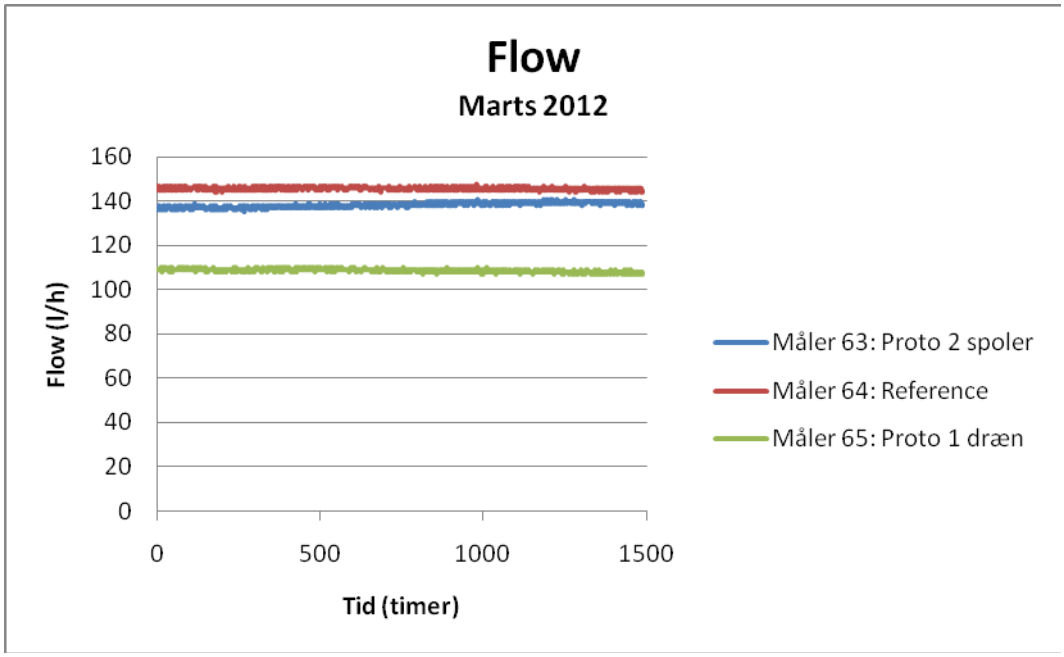
FIGUR 29
AKKUMULERET ENGERGI GENNEM (0,0) FEBRUAR 2012.



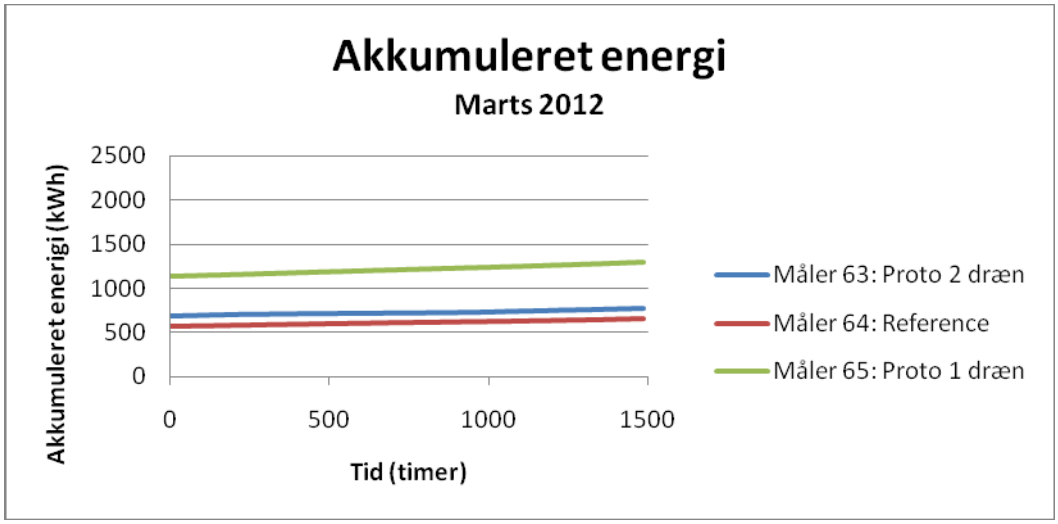
FIGUR 30
AKKUMULERET ENGERGI GENNEM (0,0) PR. M JORDVARMESLANGE FEBRUAR 2012.



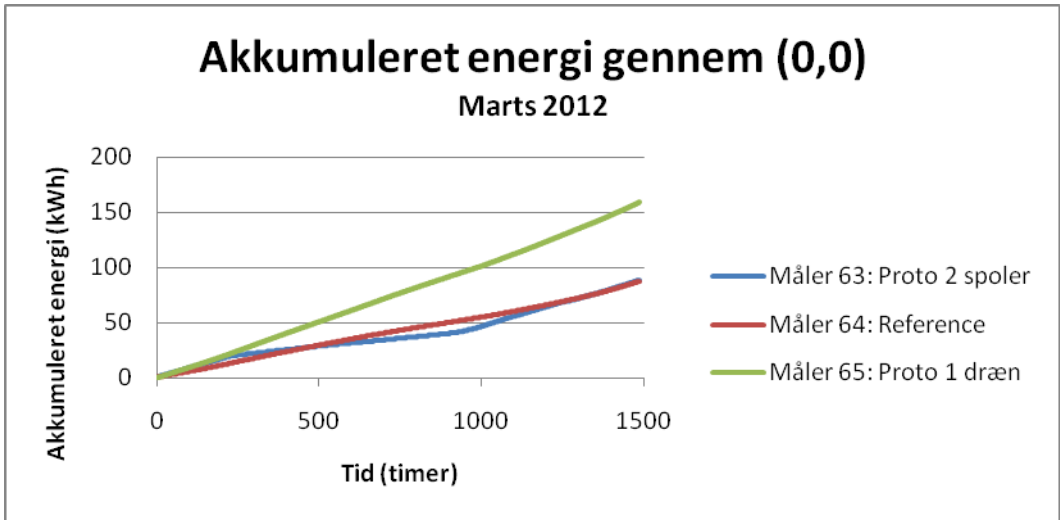
FIGUR 31
TEMPERATURFORSKEL MARTS 2012.



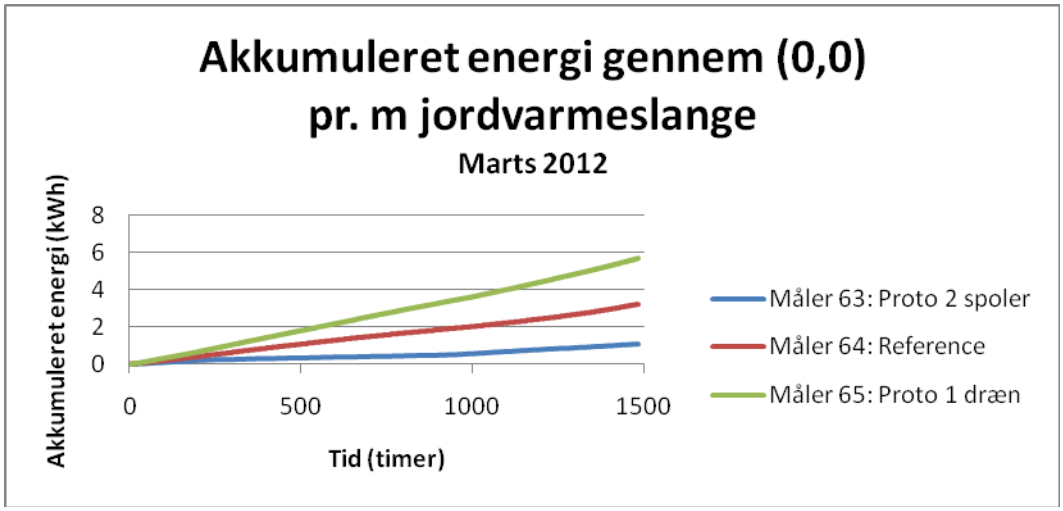
FIGUR 32
FLOW MARTS 2012.



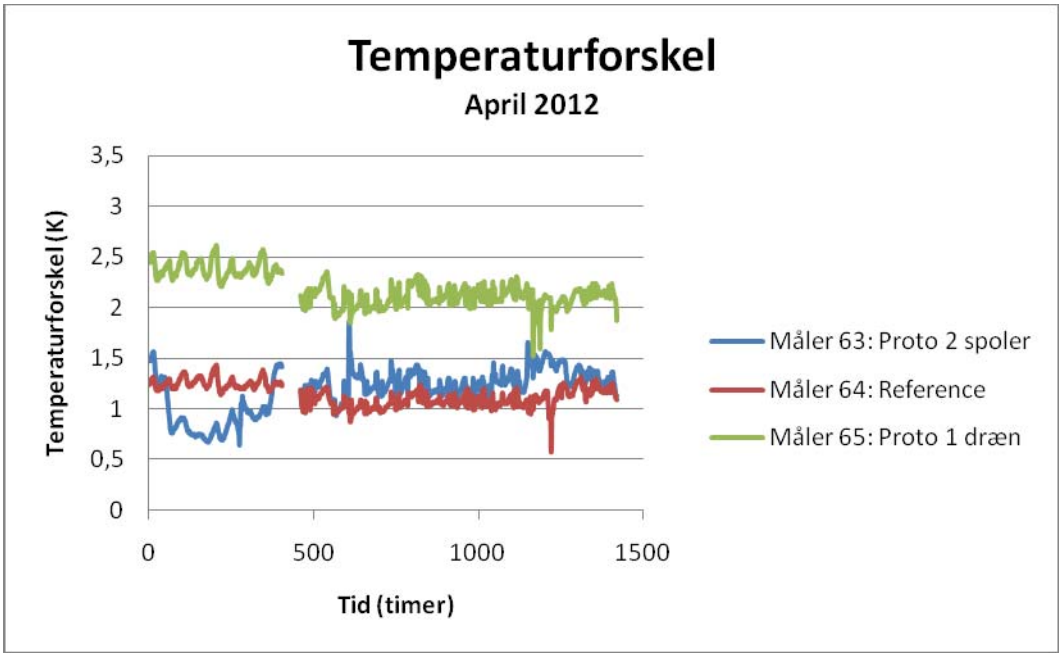
FIGUR 33
AKKUMULERET ENGERGI MARTS 2012.



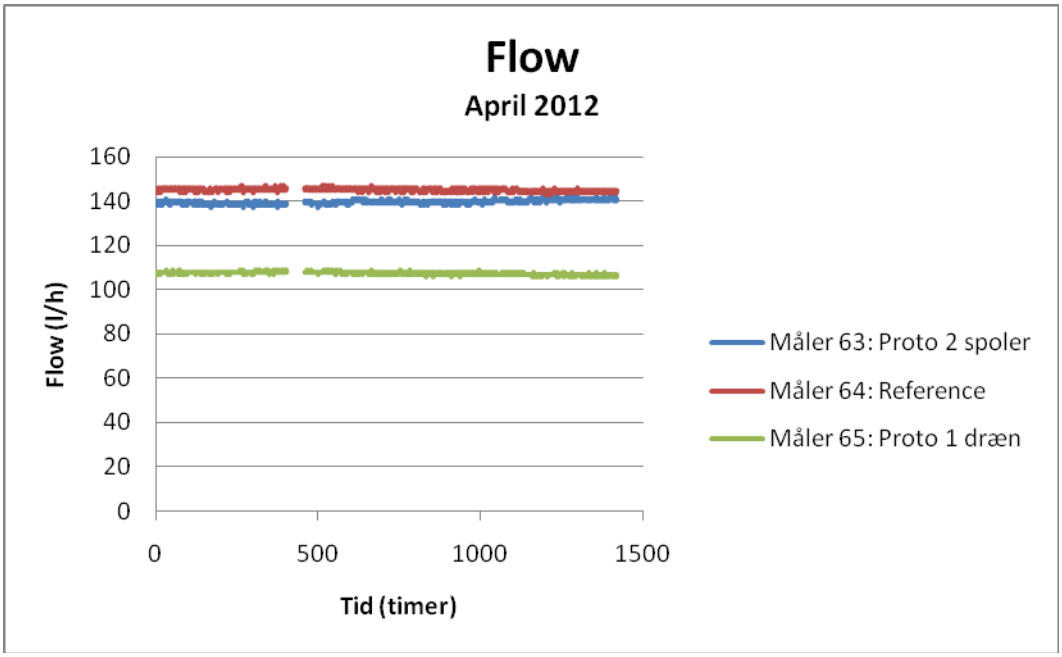
FIGUR 34
AKKUMULERET ENGERGI GENNEM (0,0) MARTS 2012.



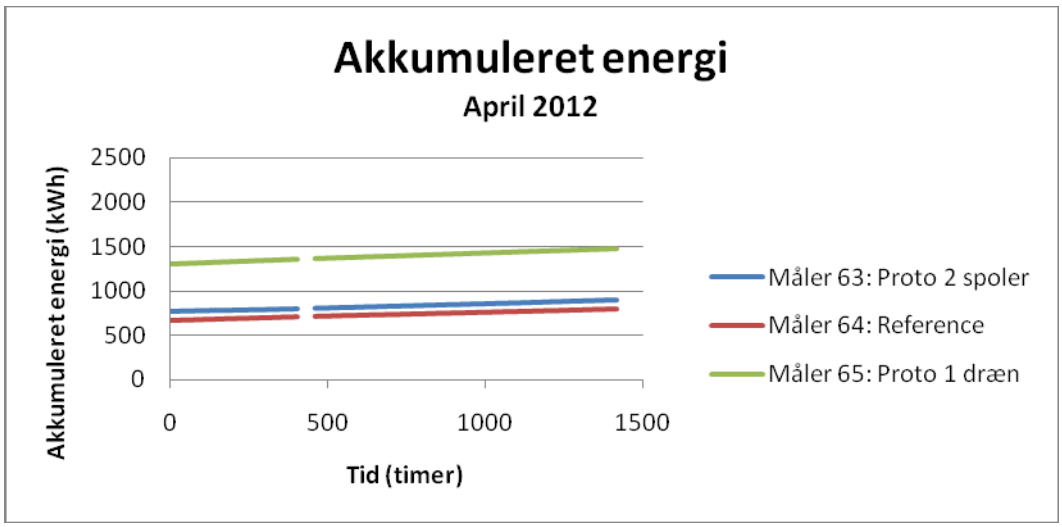
FIGUR 35
AKKUMULERET ENGERGI GENNEM (0,0) PR. M JORDVARMESLANGE MARTS 2012.



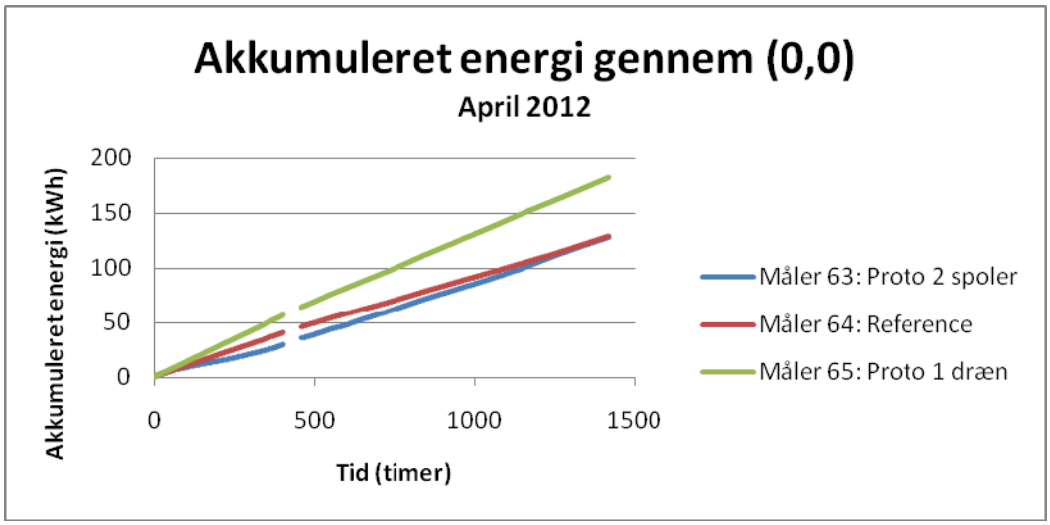
FIGUR 36
TEMPERATURFORSKEL APRIL 2012.



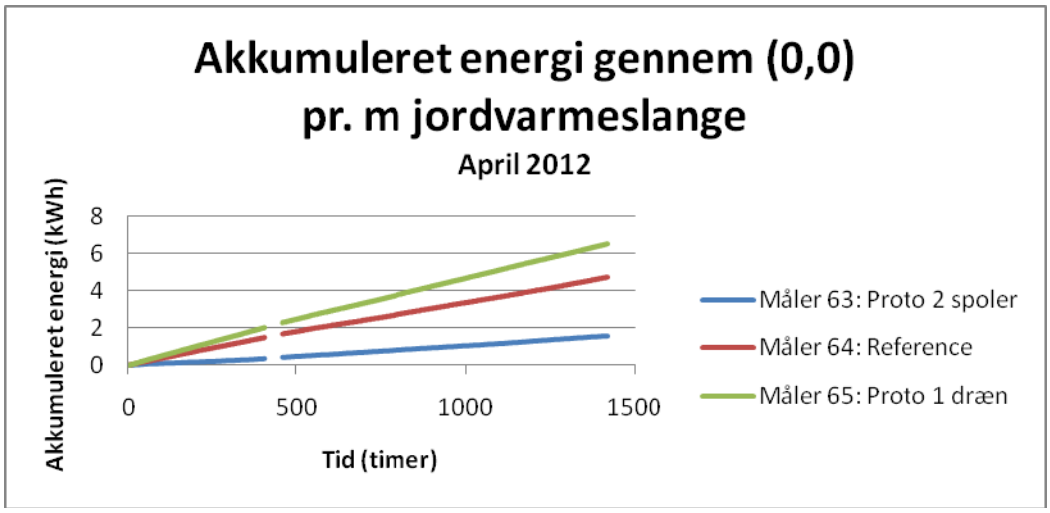
FIGUR 37
FLOW APRIL 2012.



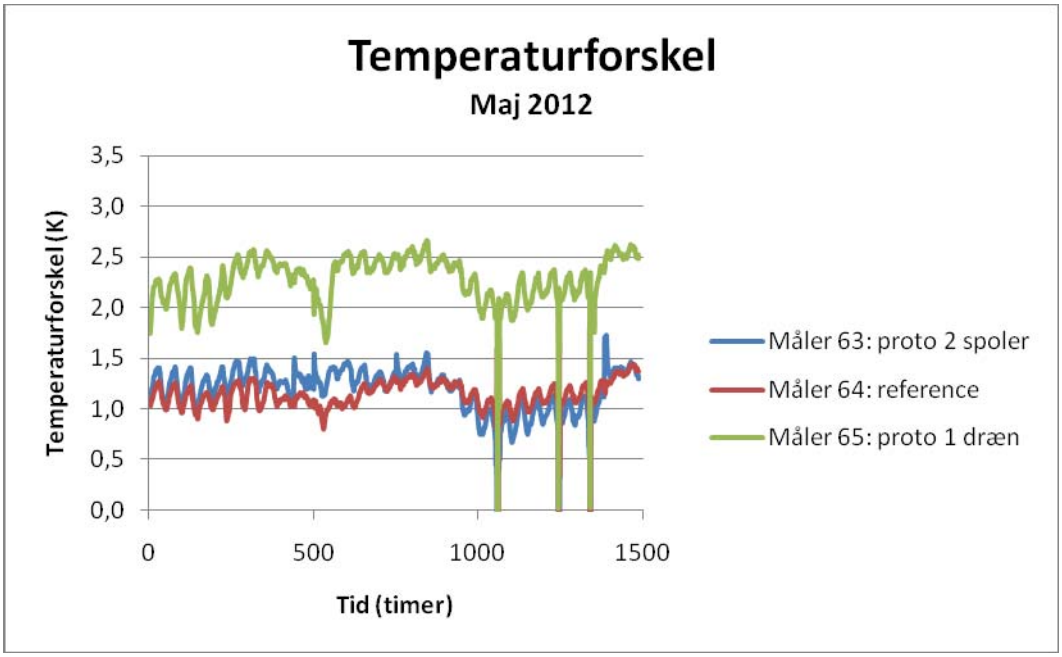
FIGUR 38
AKKUMULERET ENGERGI APRIL 2012.



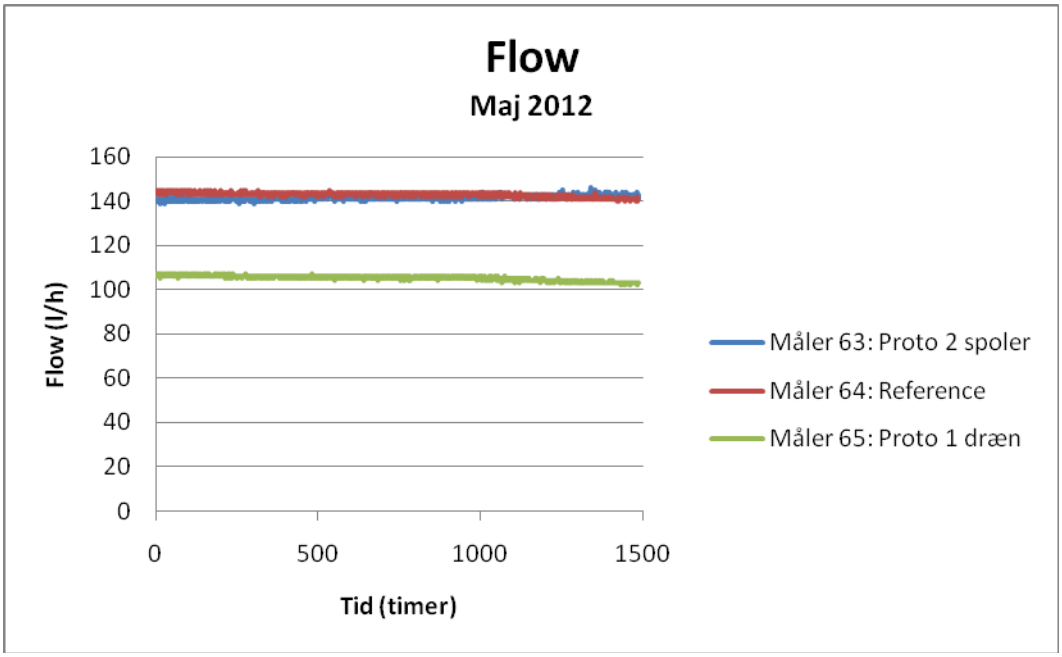
FIGUR 39
AKKUMULERET ENGERGI GENNEM (0,0) APRIL 2012.



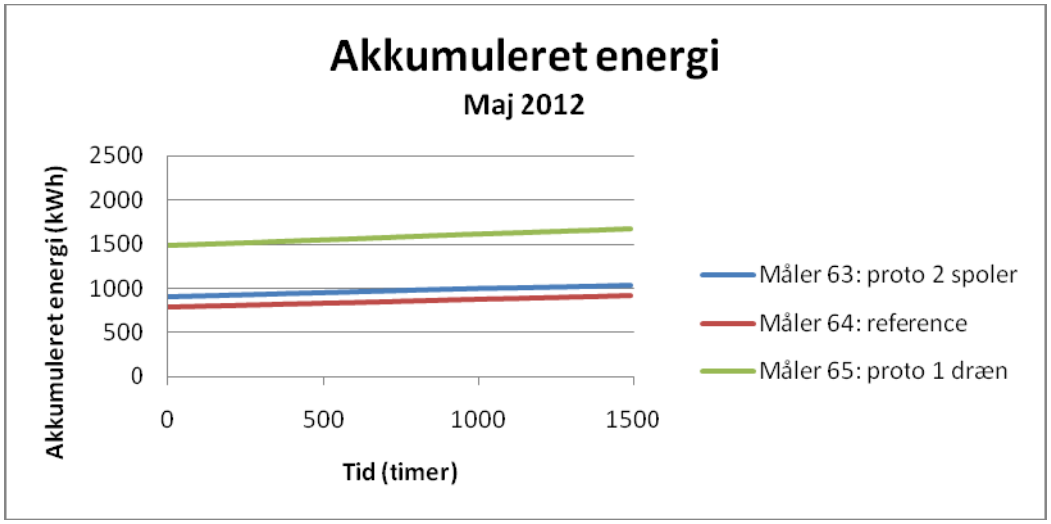
FIGUR 40
AKKUMULERET ENGERGI GENNEM (0,0) PR. M JORDVARMESLANGE APRIL 2012.



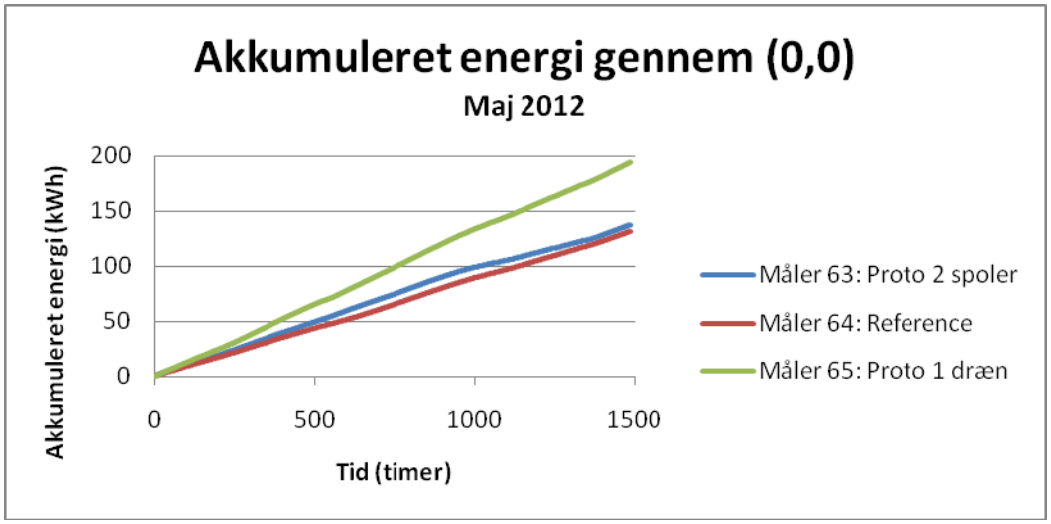
FIGUR 41
TEMPERATURFORSKEL MAJ 2012.



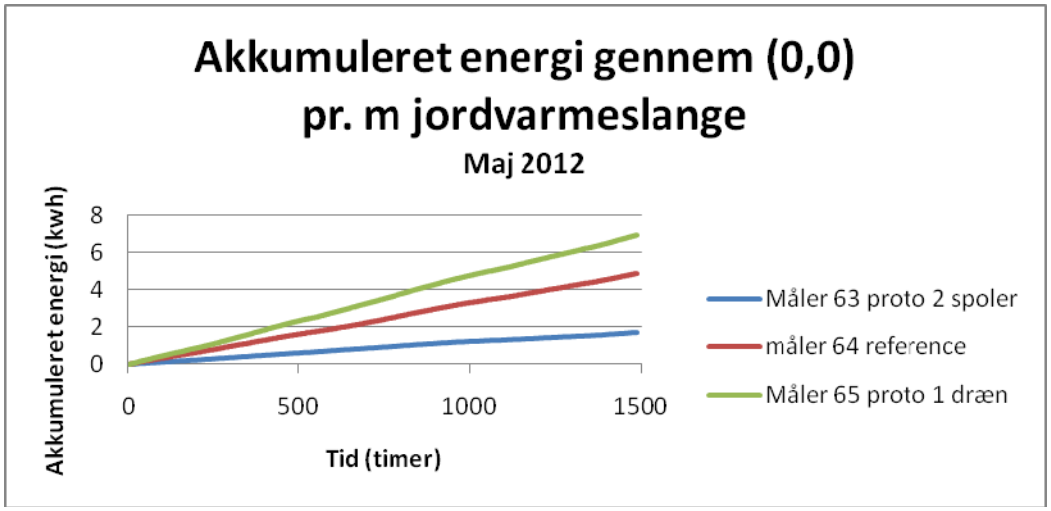
FIGUR 42
FLOW MAJ 2012.



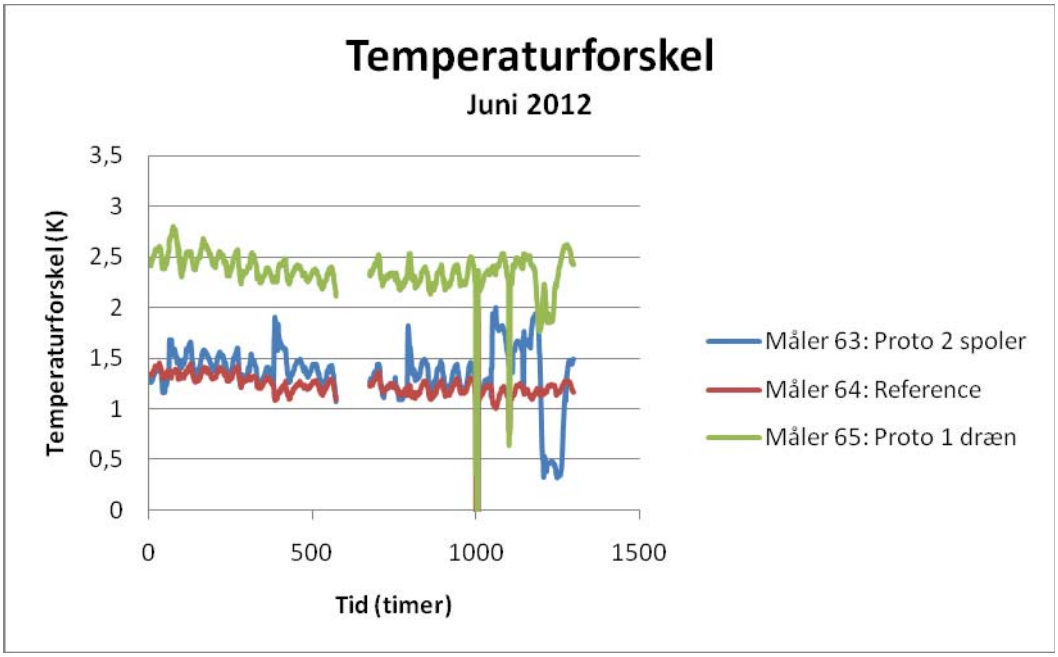
FIGUR 43
AKKUMULERET ENGERGI MAJ 2012.



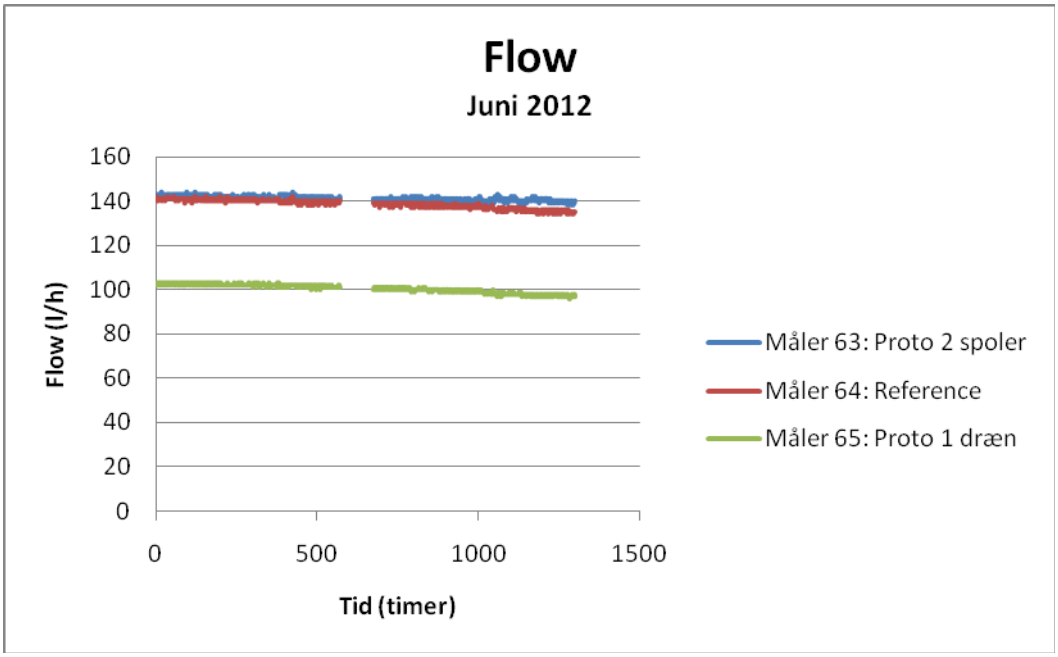
FIGUR 44
AKKUMULERET ENGERGI GENNEM (0,0) MAJ 2012.



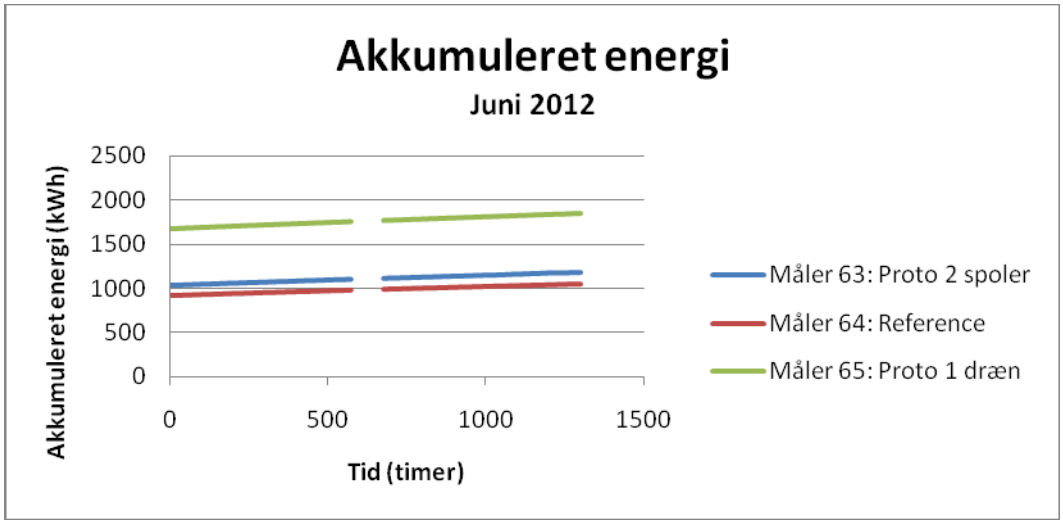
FIGUR 45
AKKUMULERET ENGERGI GENNEM (0,0) PR. M JORDVARMESLANGE MAJ 2012.



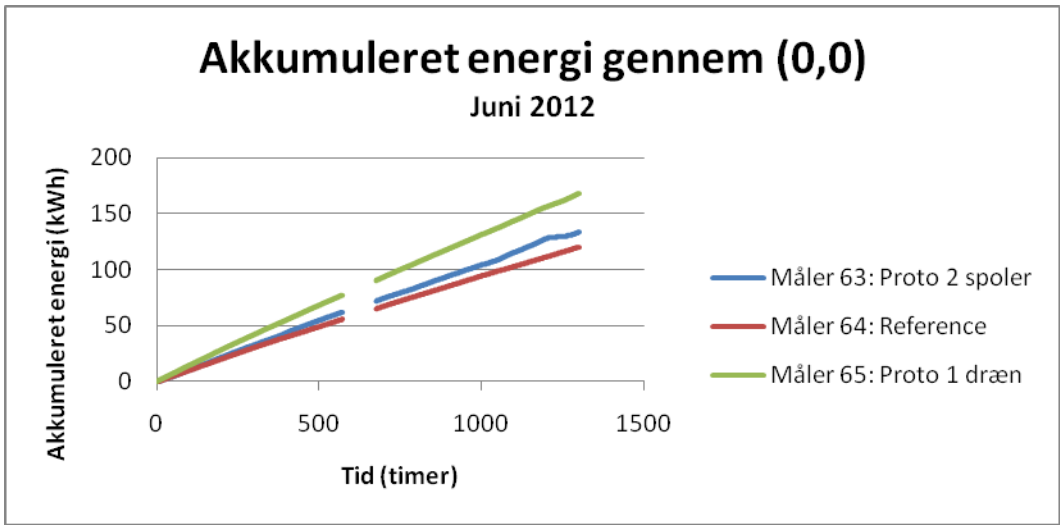
FIGUR 46
TEMPERATURFORSKEL JUNI 2012.



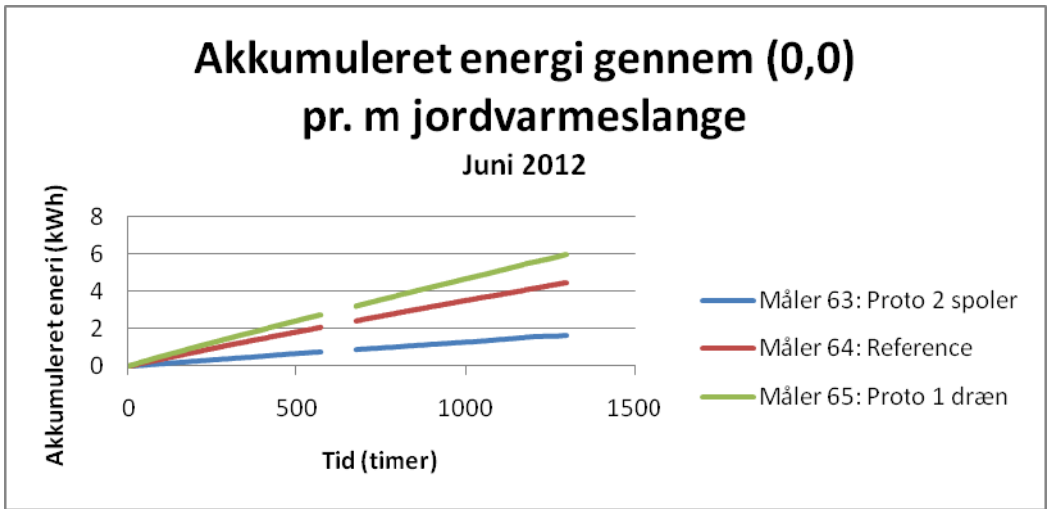
FIGUR 47
FLOW JUNI 2012.



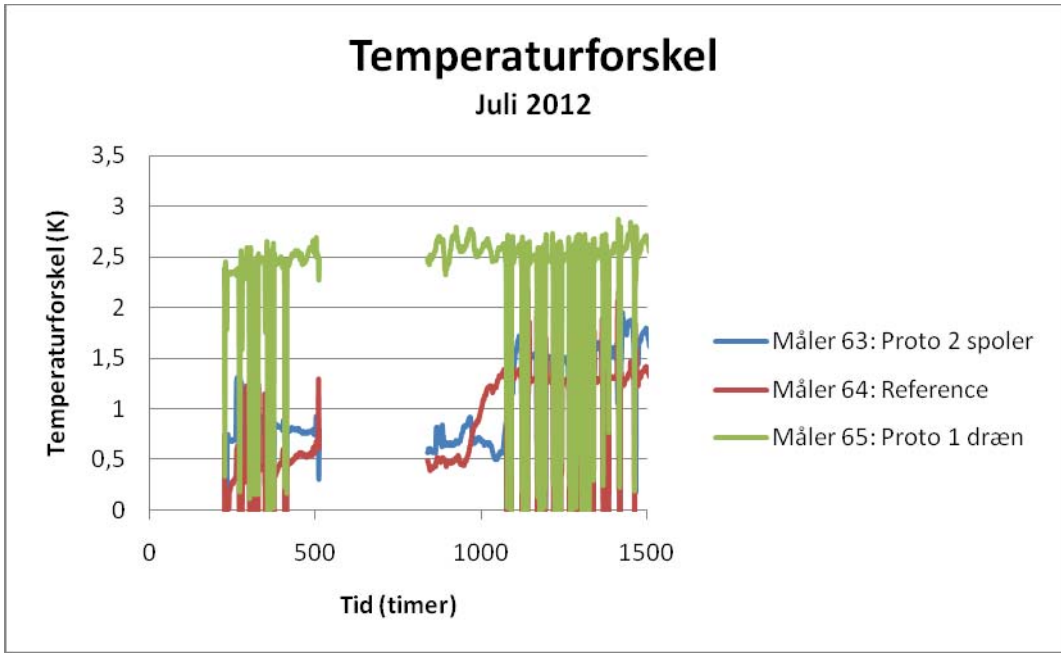
FIGUR 48
AKKUMULERET ENGERGI JUNI 2012.



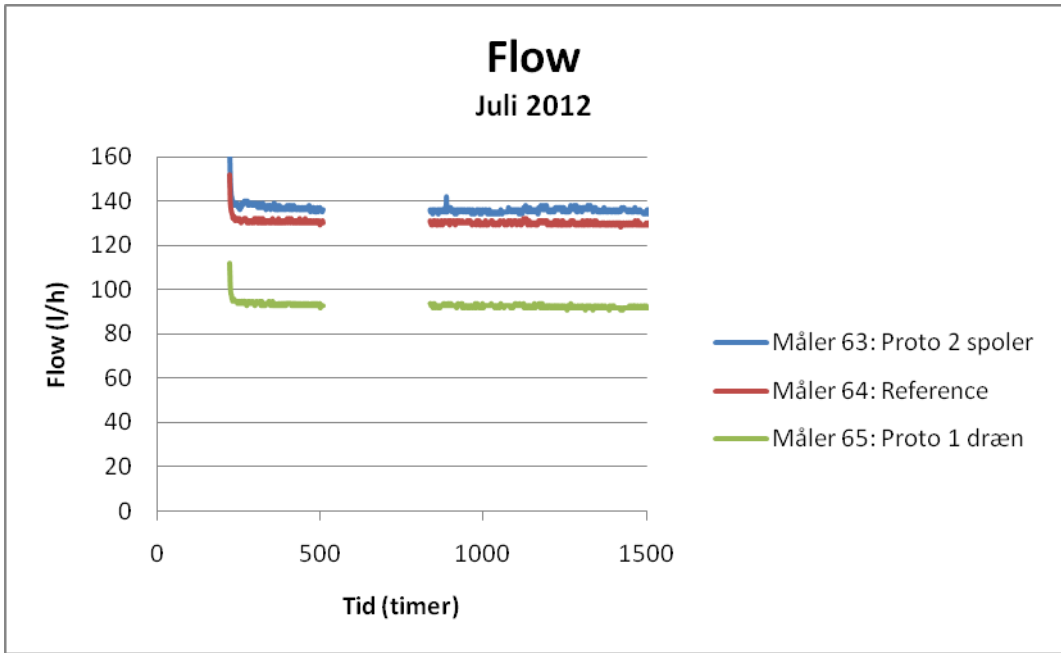
FIGUR 49
AKKUMULERET ENGERGI GENNEM (0,0) JUNI 2012.



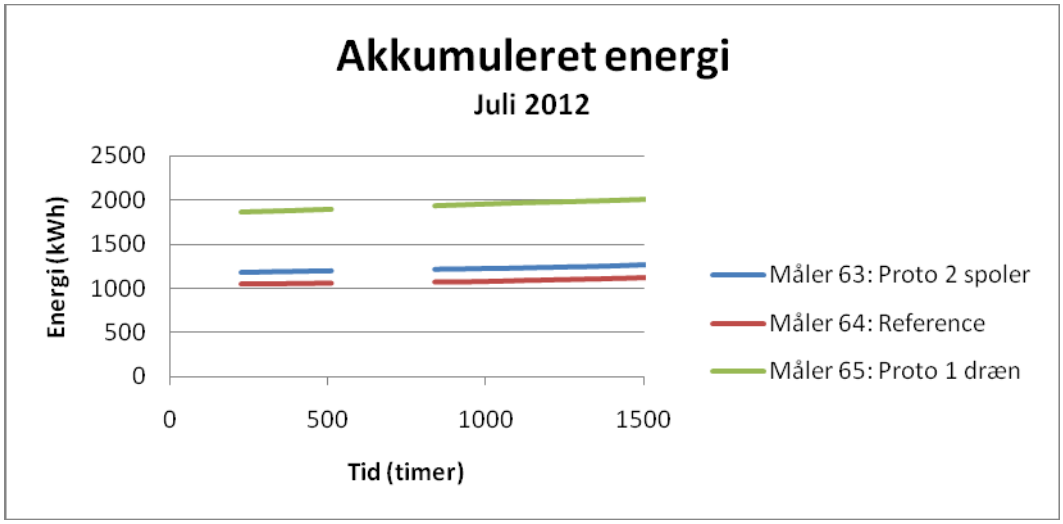
FIGUR 50
AKKUMULERET ENGERGI GENNEM (0,0) PR. M JORDVARMESLANGE JUNI 2012.



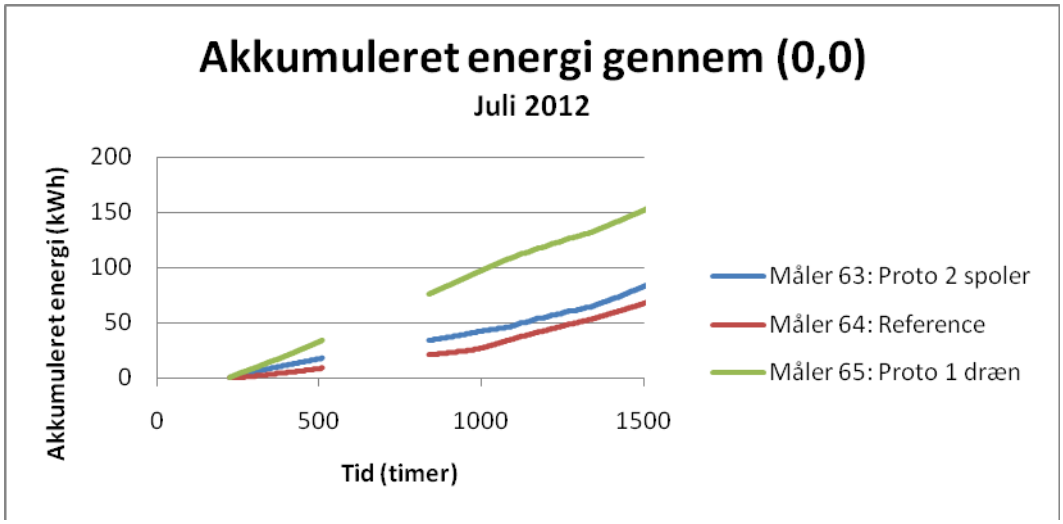
FIGUR 51
TEMPERATURFORSKEL JULI 2012.



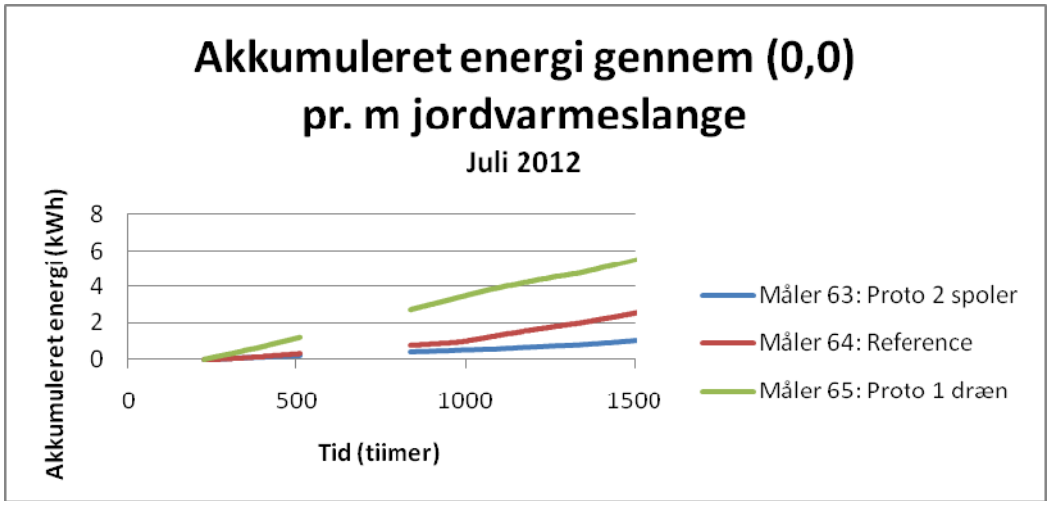
FIGUR 52
FLOW JULI 2012.



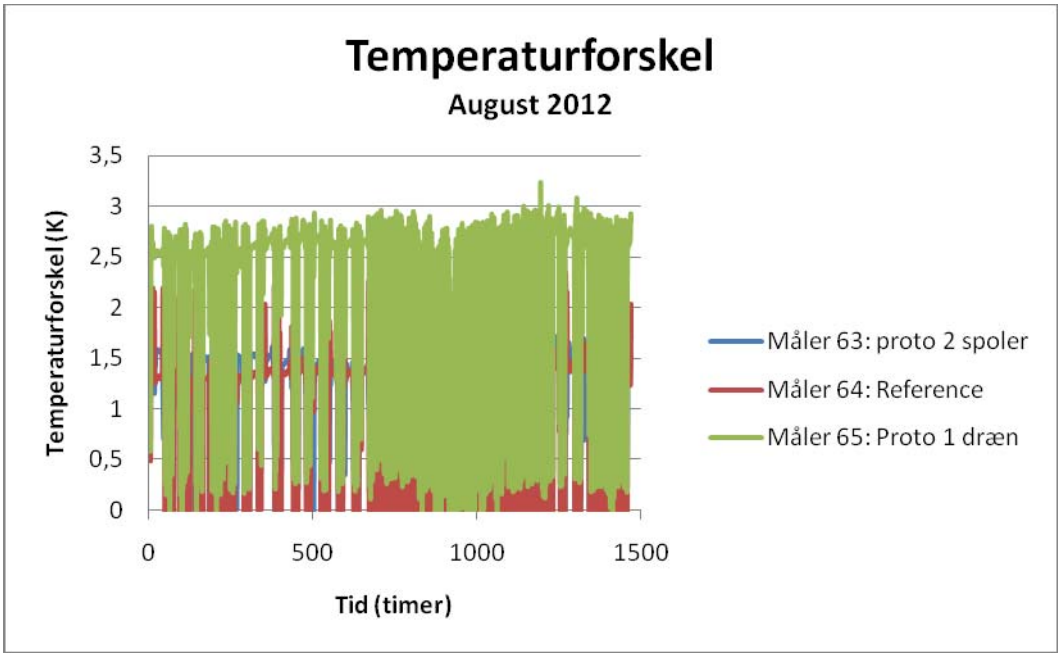
FIGUR 53
AKKUMULERET ENGERGI JULI 2012.



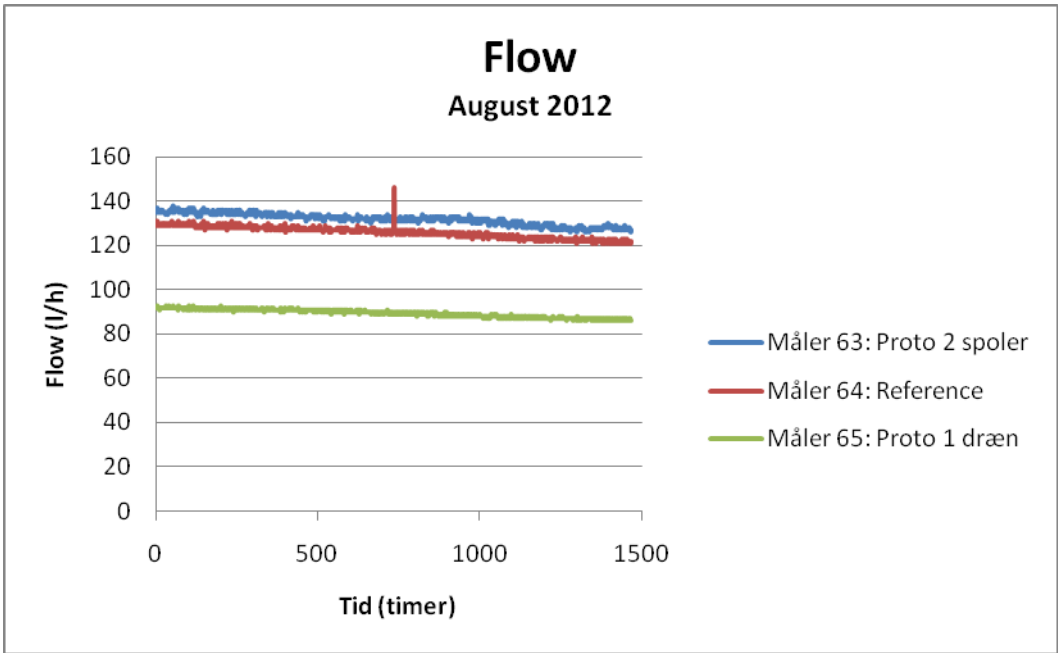
FIGUR 54
AKKUMULERET ENGERGI GENNEM (0,0) JULI 2012.



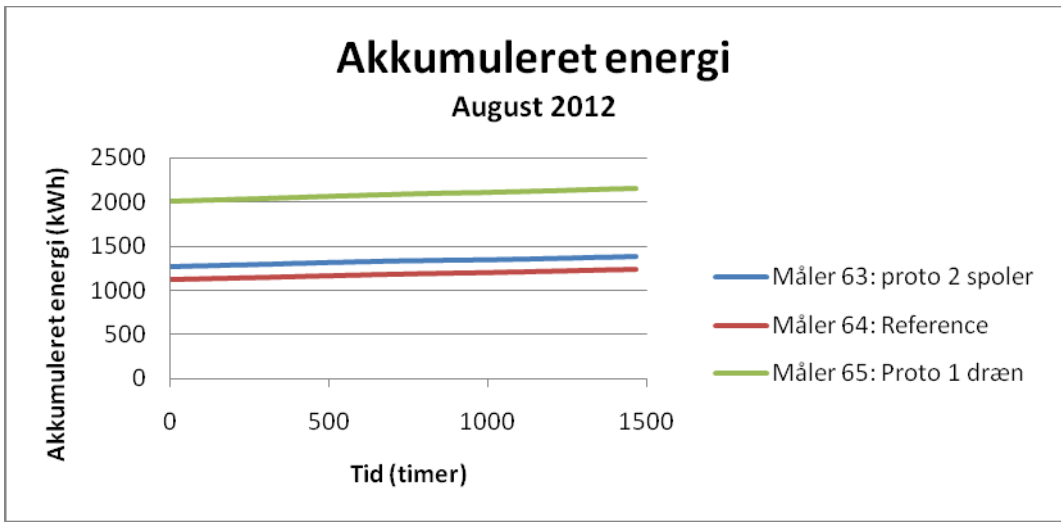
FIGUR 55
AKKUMULERET ENGERGI GENNEM (0,0) PR. M JORDVARMESLANGE JULI 2012.



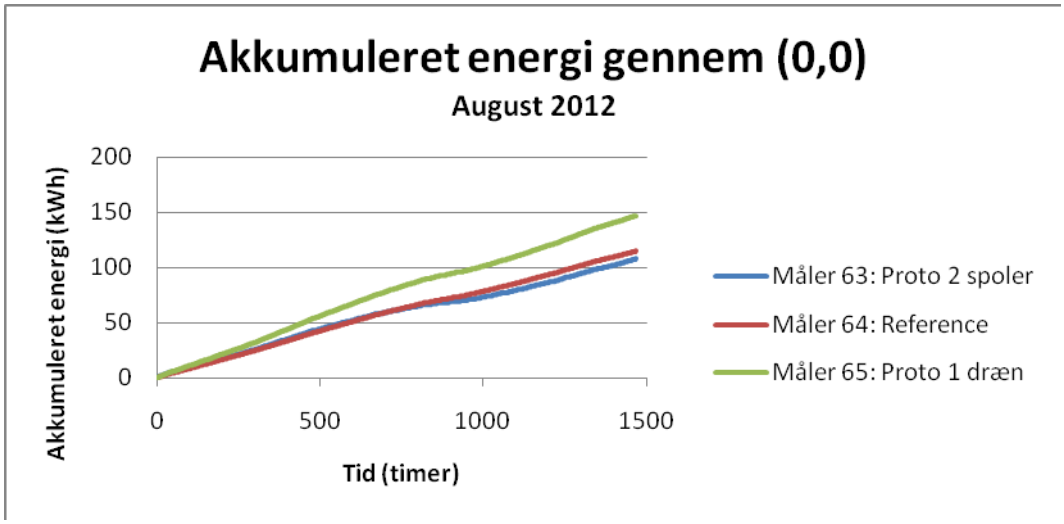
FIGUR 56
TEMPERATURFORSKEL AUGUST 2012.



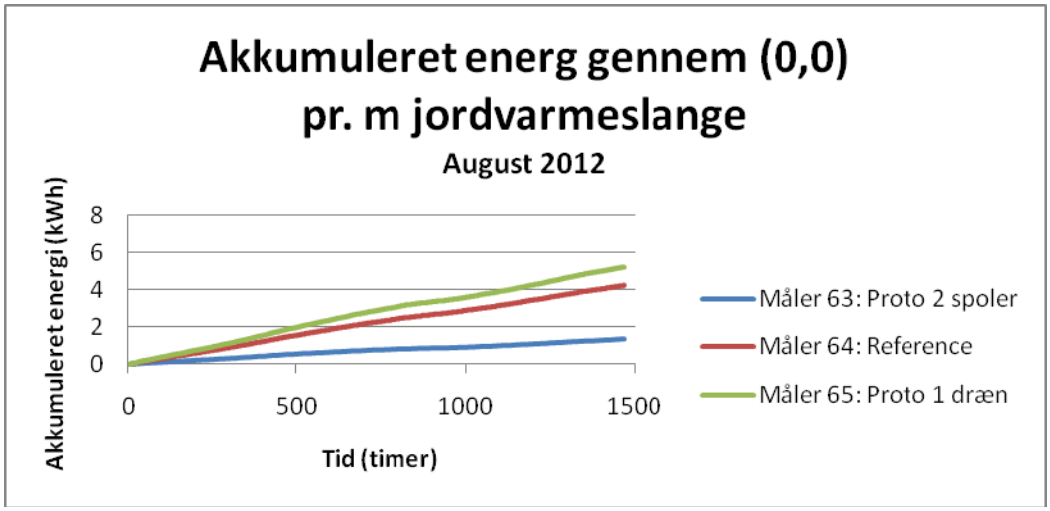
FIGUR 57
FLOW AUGUST 2012.



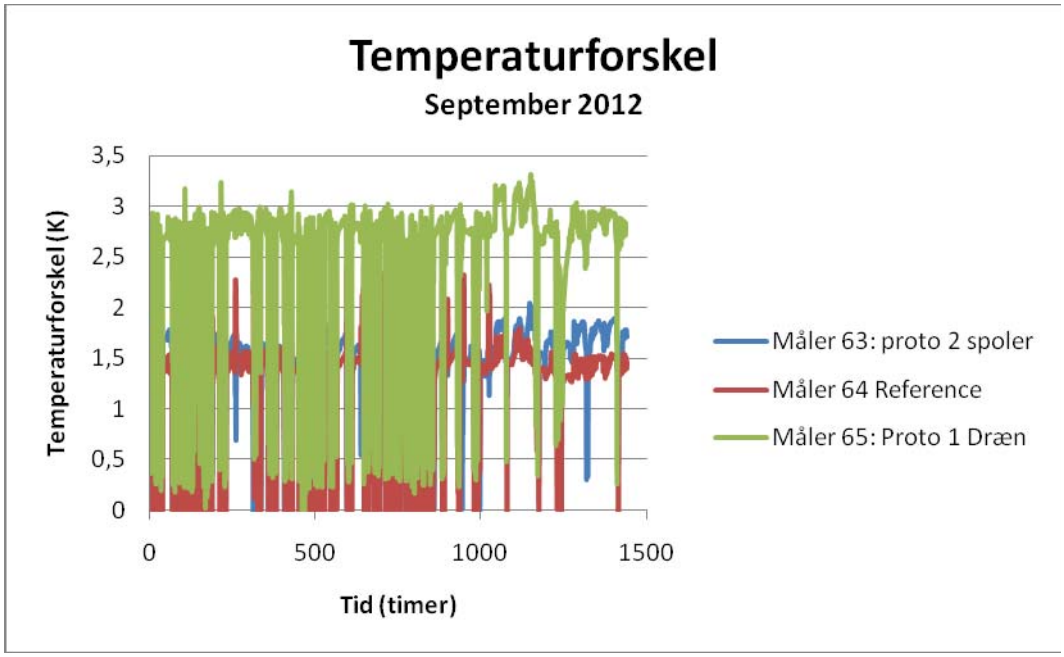
FIGUR 58
AKKUMULERET ENGERGI AUGUST 2012.



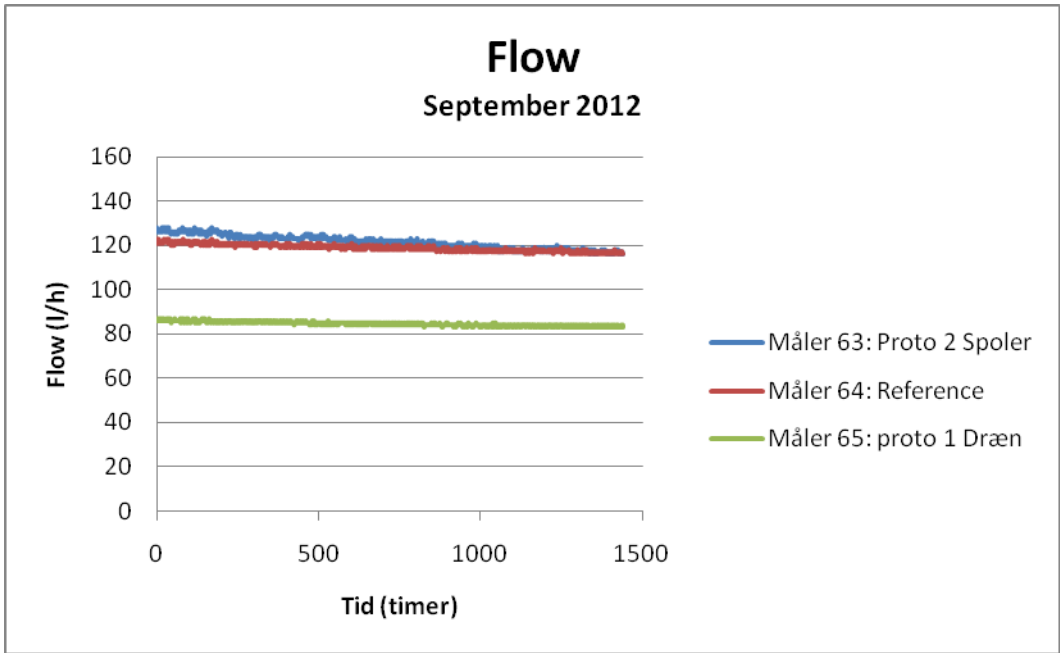
FIGUR 59
AKKUMULERET ENGERGI GENNEM (0,0) AUGUST 2012.



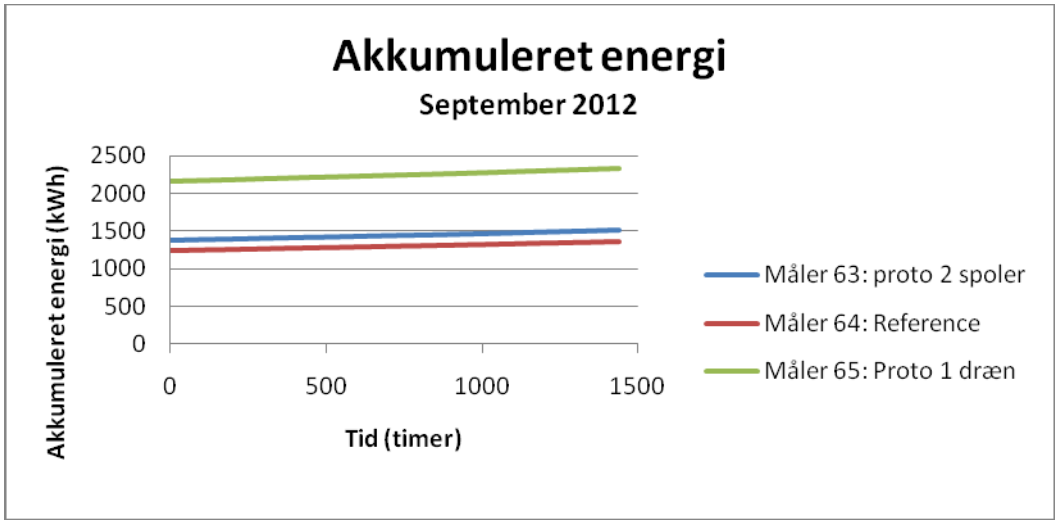
FIGUR 60
AKKUMULERET ENGERGI GENNEM (0,0) PR. M JORDVARMESLANGE AUGUST 2012.



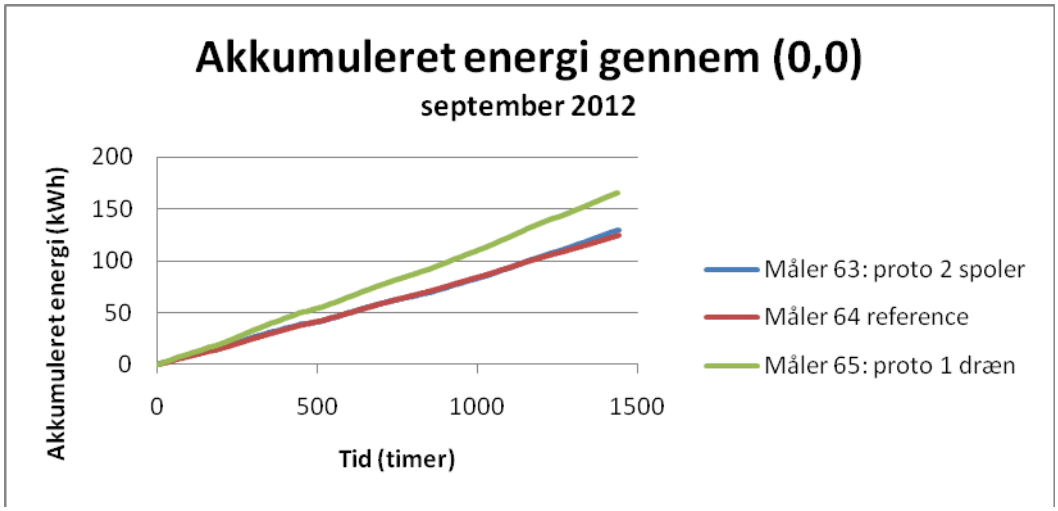
FIGUR 61
TEMPERATURFORSKEL SEPTEMBER 2012.



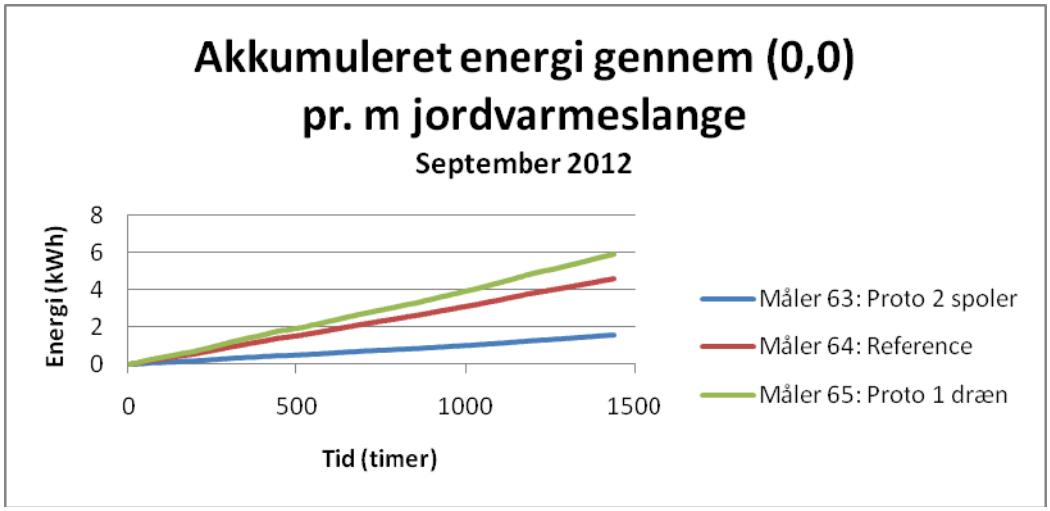
FIGUR 62
FLOW SEPTEMBER 2012.



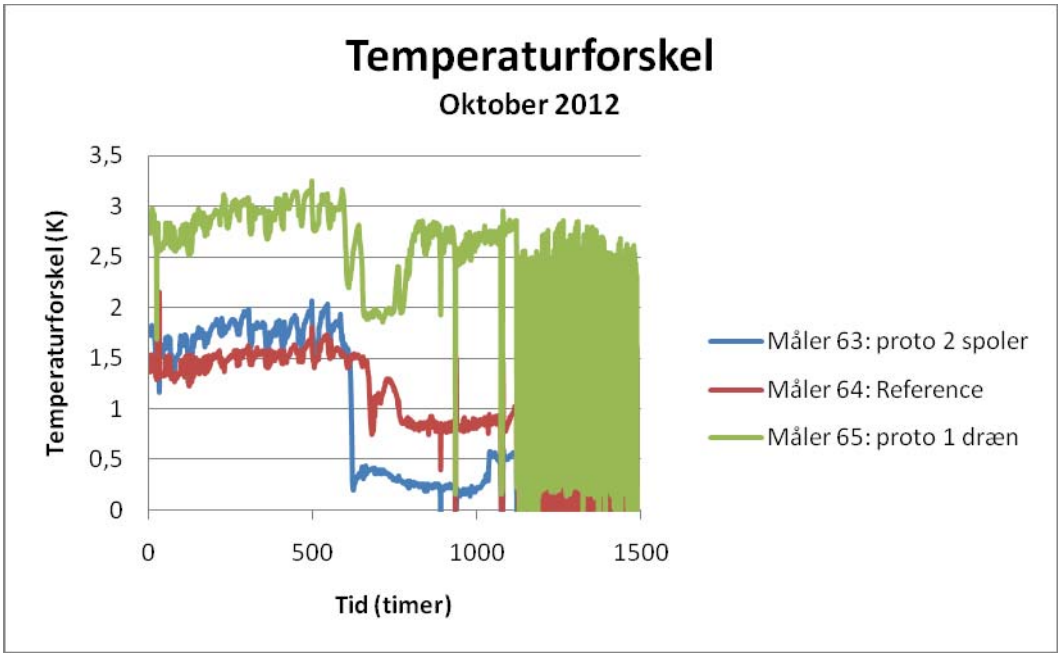
FIGUR 63
AKKUMULERET ENGERGI SEPTEMBER 2012.



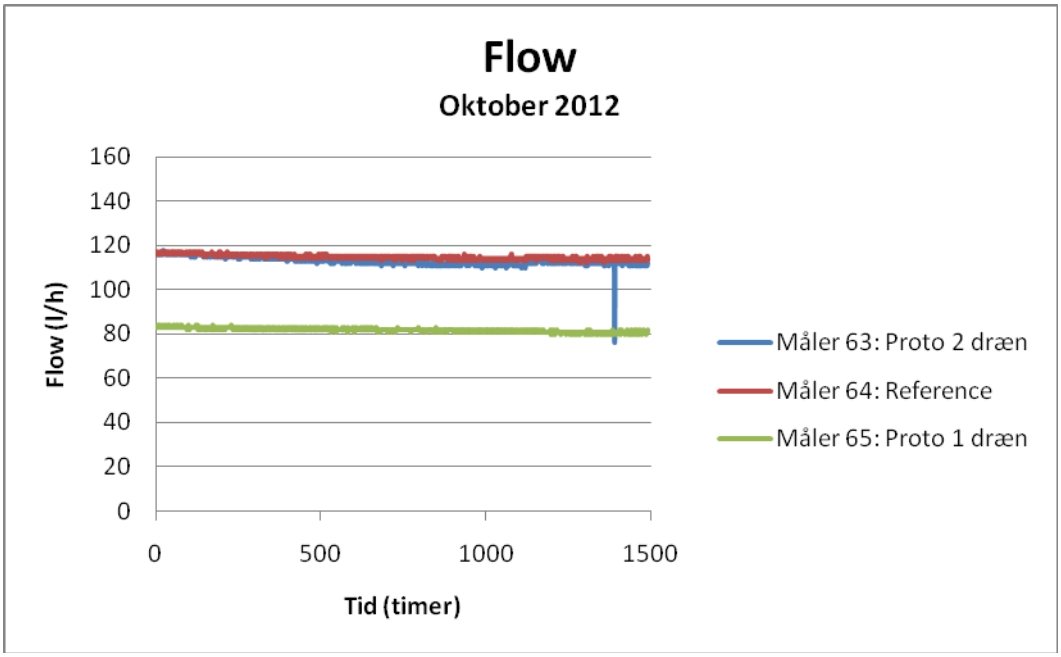
FIGUR 64
AKKUMULERET ENGERGI GENNEM (0,0) SEPTEMBER 2012.



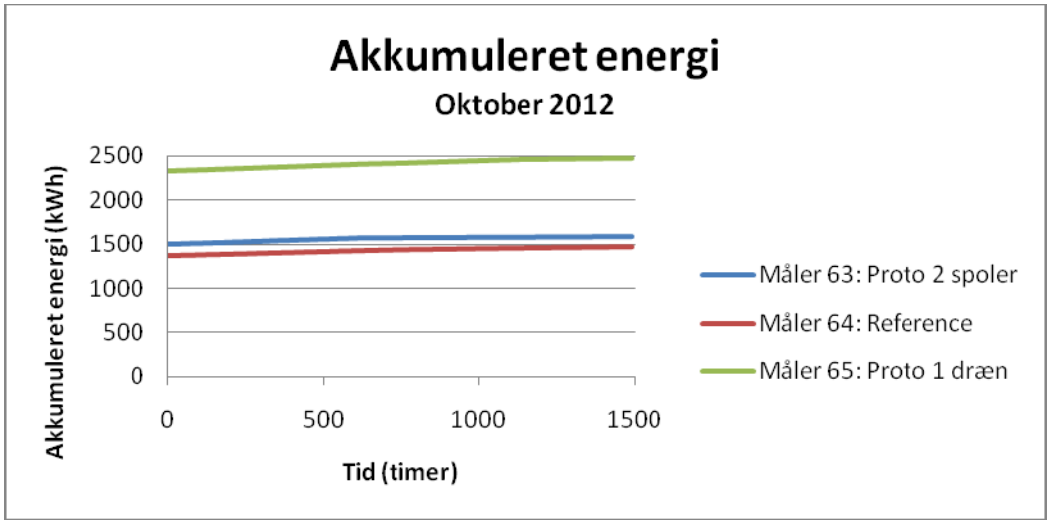
FIGUR 65
AKKUMULERET ENGERGI GENNEM (0,0) PR. M JORDVARMESLANGE SEPTEMBER 2012.



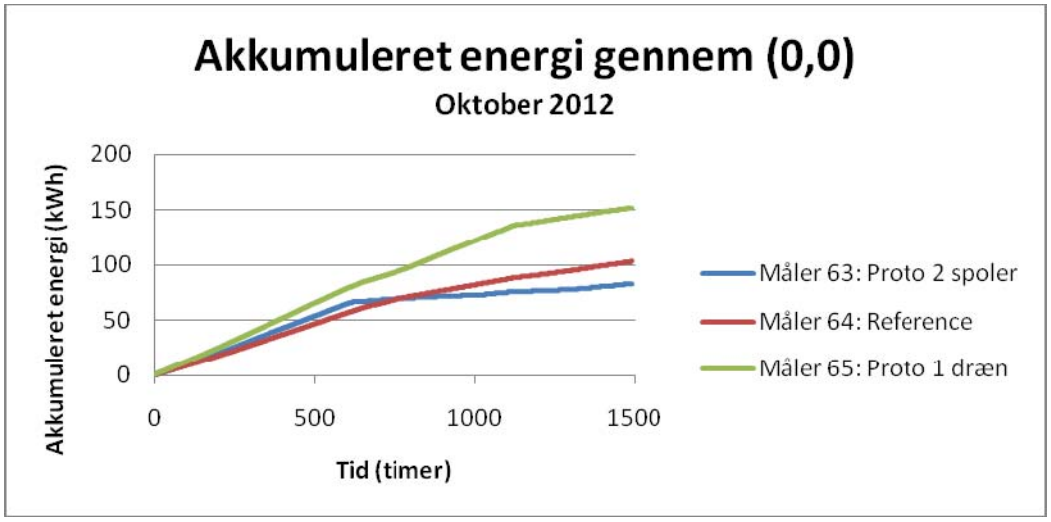
FIGUR 66
TEMPERATURFORSKEL OKTOBER 2012.



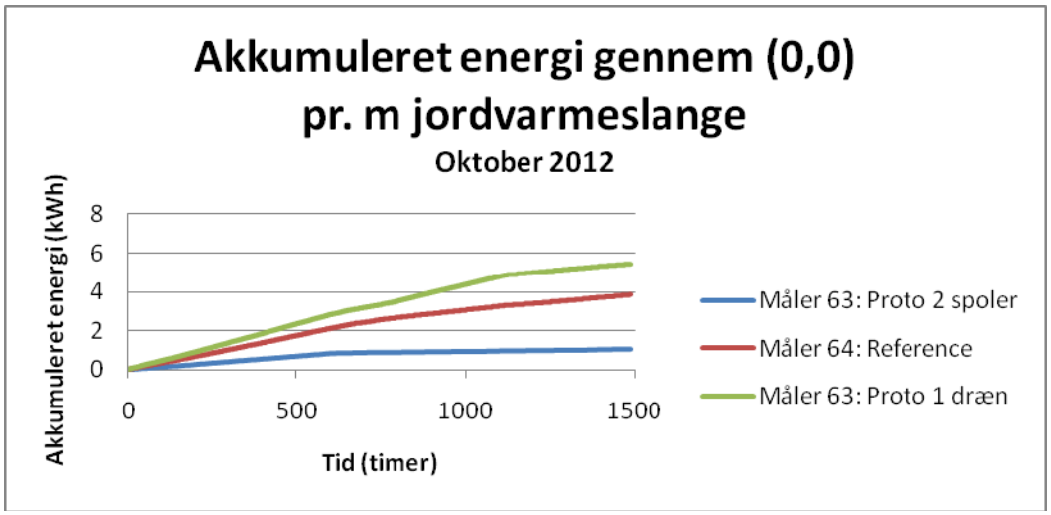
FIGUR 67
FLOW OKTOBER 2012.



FIGUR 68
AKKUMULERET ENGERGI OKTOBER 2012.



FIGUR 69
AKKUMULERET ENGERGI GENNEM (0,0) OKTOBER 2012.



FIGUR 70
AKKUMULERET ENGERGI GENNEM (0,0) PR. M JORDVARMESLANGE OKTOBER 2012.

Udvikling af faskine med jordvarmeslanger
[Bagside tekst]

Miljøministeriet
Naturstyrelsen

Haraldsgade 53
DK – 2100 København Ø
Tlf.: (+45) 72 54 30 00

www. naturstyrelsen.dk