

Bilaga D

Teknisk manual – VLM



Figur D.1: Bild på färdig Värmeflödesmätare

Detta är en Teknisk manual till värmeledningstalsmätaren som byggdes på Linköpings Universitet som ett kandidatarbete under våren 2022. Det är viktigt att läsa igenom HELA denna manual innan användning då felaktig användning av maskinen kan medföra säkerhetsrisker samt ge felaktiga resultat.

D.1 Teori

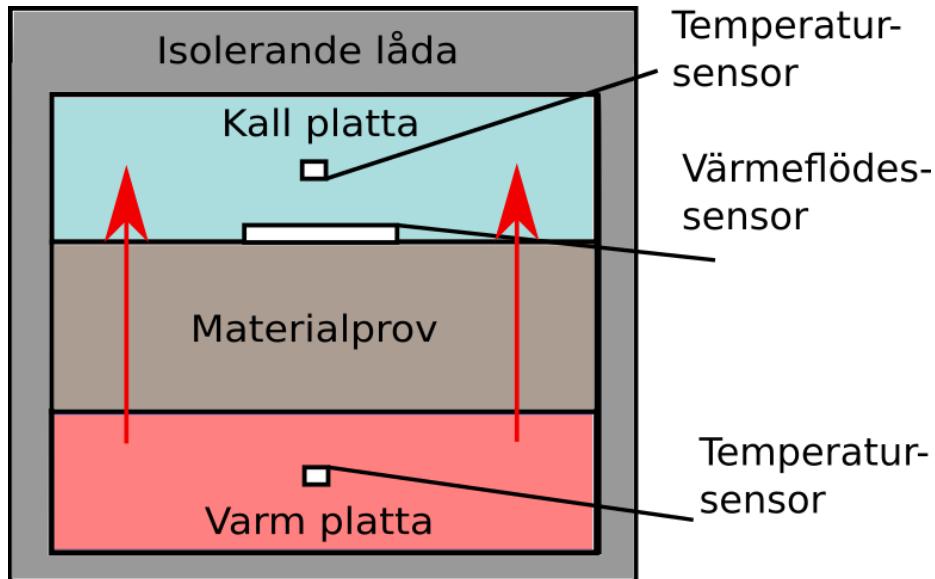
Denna värmeflöde mätare eller "Termisk värmekoefficientsmätare" som det också heter grunderar sig i fouriers värmeflödslag D.1. Ett materials förmåga att leda värme kan beskrivas med hjälp av dess värmeflödningstal. Ett högt värde på värmeflödningstalet betyder att materialet leder värme bra och ett lågt värde betyder att det leder värme sämre. Ur fouriers värmeflödslag kan Värmeflödningstalet brytas ut. Resulterande ekvation kan ses i D.2

$$\dot{Q} = -kA \frac{\partial T}{\partial x} \quad (D.1)$$

$$k = q \frac{\Delta x}{\Delta T} \quad (D.2)$$

k = Värmeflödningstal [W/m² K]
 \dot{Q} = Värmeflöde [W]
 q = Värmeflöde per areaenhet [W/m²]
 A = Area [A]
 Δx = Tjocklek [m]
 Δt = Temperaturdifferans [T]

Denna VLM använder sig av en temperaturdifferens tillsammans med en värmeflödesensor för att bestämma k-värdet. Temperaturdifferensen skapas genom att värma en platta med värmefolie samt kyla motstående platta med peltierelement. I figur D.2 visas en bild på den tekniska principen för denna maskin. I botten av den kalla plattan ligger en värmeflödesensor i kontakt med provbiten som möjliggör avläsandet av värmeflödet. För att få ett korrekt mätresultat behöver man uppnå steady-state. Detta är då värmeflödet in i materialet är lika stort som värmeflödet ut. Detta sker dock inte direkt utan ofta krävs det tid för att uppnås då materialet behöver uppnå en jämn medeltemperatur. Kravet för att steady-state ska vara uppfyllt är att värmeflödet genom ett material inte ska ha ändrats mer än 0.5% under 5 stycken mätningar tagna under ett tidsintervall på 10 minuter. Med hjälp av detta värmeflöde i steady-state och fouriers ekvation tas värmeflödningstalet fram.



Figur D.2: En bild på den tekniska principen

D.2 Säkerhet

Beakta att den varma plattan på maskinen kan bli väldigt varm, undvik därför att ta direkt på den. Även materialen som testas i maskinen kan bli väldigt varma (80 grader) beroende på respektive materials värmeförmåga. Då maskinen använder sig av en domkraft finns även en klämrisk. Av dessa anledningar skall alltid följande försiktighetsåtgärder fästas avseende på innan maskinen används.

1. Säkerställ alltid att provbiten är sval nog att hantera innan den helt tas ut ur maskinen.
2. In och uttagningen av material ska alltid ske av endast en person. Detta för att minimera risken för klämskador som annars kan uppstå om två eller fler individer hanterar maskinen samtidigt.
3. En koldioxidbrandsläckare skall alltid finnas i rummet vid användning.

D.3 Användning

Här beskrivs användningen av maskinen. Två metoder för användning är listade här. För lättare applikationer så som laborationer finns en D.3.1 metod där skärmen på VLMen används för avläsning av värden. För mer Avancerad D.3.2 användning så som forskning kan även en dator kopplas in för att få en mer detaljerad och komplett vy där det även går att lägga in en kalibreringsfaktor för olika material samt ändra area på provbiten.

OBS! Då denna VLM har överdimensionerad kylningspump som stör steady-state rekommenderas det att sätta kalla plattans temperatur när varma plattans temperatur då detta praktiskt taget inaktiverar peltierelementen i kylplattan. Detta leder till att kalla plattans temperatur endast kyls av vattenkylarna. Alternativt kan någon form av medelvärde användas men detta lämnas till användaren. Detta skall åtgärdas i framtida projekt om det anses behövas.

D.3.1 Standard

Nedan följer de olika steg som krävs för att operera maskinen.

Förbered materialprovet

Materialprovet som skall mätas bör fylla upp maskinen helt, det vill säga bör provbitens dimensioner vara $200 \cdot 200\text{mm}$. Gör rent materialprovet så gott som möjligt. Mät och anteckna materialprovets tjocklek. För efter detta in materialprovet in i maskinen, var nogrann med att lägga in provbiten försiktigt då värmeflödessensorn är känslig samt att den varma bottenplattan endast balanseras på en punkt.

Styr kylysystemet

Hastigheten på kylaren till peltierelementen kan varieras emellan låg, mellan och hög fart. Material med lägre värmeförmåga behöver inte full kyleffekt, det kan då vara skönt att dra ner fartern på fläktarna för att sänka ljudnivån som skapas av kylysystemet. Vice versa med material med hög värmeförmåga, då rekommenderas det att sätta kylysystemet till "hög" då det behövs mer kyling. Bedömning om vad som är material med hög/låg värmeförmåga lämnas till

användaren. Hastigheten kan regleras manuellt med hjälp av knappar på baksidan av instrumentpanelens vänstra framsida, se figur D.3. Detta kan endast styras då maskinen är igång vilket är nästa steg.



Figur D.3: En figur på vart kontrollen för hastigheten på kylsystemet sitter.

Starta och styr maskinen

Starta utrustningen genom att slå på den stora röda knappen på maskinens framsida. Pressa sedan upp materialprovet med önskat tryck genom att veva på veven till domkraften. Det uppnådda trycket kan ses på skärmen. Genom att välja trycket på skärmen nollställs det uppvisade värdet. Skärmen manövreras genom att snurra och trycka på knappen på maskinens instrumentbräda D.4

- TH = Vald temperatur på varma plattan. Uppnåd temperatur brevid. °C
- TC = Vald temperatur på kalla plattan. Uppnåd temperatur brevid. °C
- t = tjocklek på provbiten. [mm]
- P = kontakttryck på plattan. [kPa]
- q = värmeflöde. [$\frac{W}{m^2 K}$]
- k = värmceledningstal. [$\frac{W}{mK}$]

Efter detta kan luckan säkert stängas. Det är viktigt att först trycka upp materialet och SEN stänga luckan annars kan packningarna som håller tätt skadas. Mata via skärmen in önskade temperaturer på både varm och kall platta samt uppmätt tjocklek. När alla värden matats in börjar mätningen automatiskt.

Få värden och stäng av maskinen

När "READY" syns på skärmen kan ett korrekt värmceledningstal läsas av och noteras. Innan dess visas bara ett tillfälligt värmceledningstal. Stäng sedan av maskinen. I fallet att materialet anses vara för varmt att hantera direkt skall luckan öppnas hela vägen och domkraften skall sänkas för att på så sätt få in luft som kan kylda ner materialet. Efter ett tag kan sedan materialet tas ut lika försiktigt som det stoppades in.



Figur D.4: En bild på skärmen under inmatning

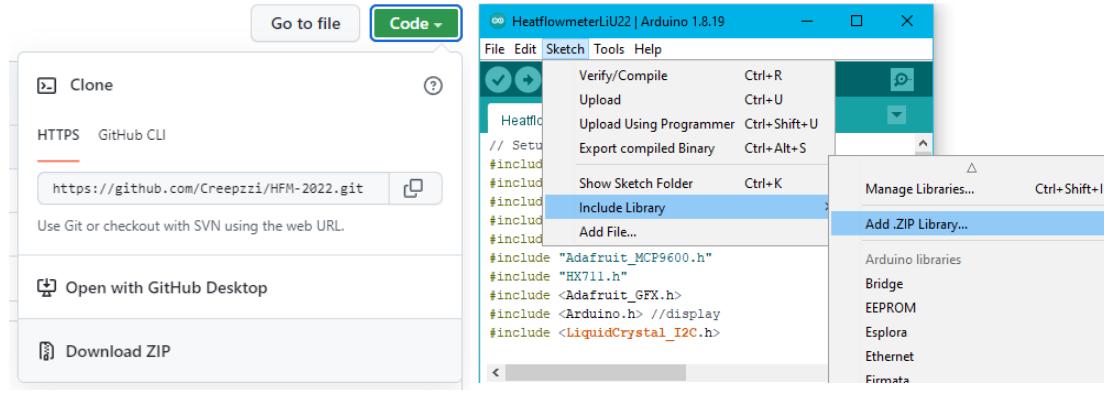
D.3.2 Avancerad

Vänligen läs och följ **Förbered materialprovet** samt **Styr kylsystem** under "Standard" D.3.1 innan nästa steg. Med denna metod går det även att ändra arean på provbiten, en form som fyller upp resten av maskinen med hål för provbiten måste då fabriceras av användaren. Denna form måste vara av ett material med liknande k-värde som provbiten annars kan felaktiga värden fås från maskinen.

Förberedande inför avläsning av värde

Ta fram en dator med en usb port och gör följande.

1. Ladda ner Arduino IDE
2. Ladda ner koden via GitHub på länken <https://github.com/Creepzzzi/HFM-2022>
3. Ladda ner hela repositoryt som en zip fil och unzipa den D.5a. Installera nu dem nödvändiga biblioteken som finns i "required.library". Gör detta inne i Arduino IDE D.5b
4. Koppla in USB sladden som kan hittas bakom instrumentbrädans framsida in i datorn. Försäkra er även om att kontakt finns mellan Arduinon och datorn.
5. Lägg nu in önskade temperaturer på varma och kalla plattan, uppmätt area och tjocklek i koden, var dessa värden ändras kan ses i figur D.5c. Det är även här som en annan area samt eventuell kalibreringsfaktor kan skrivas in, hur denna kalibreringsfaktor tas fram framgår i D.3.2. Ladda sedan upp koden.
6. Öppna nu Arduino IDEs monitor genom att trycka på Ctrl+Shift+m eller genom att trycka på det lilla förstoringsglaset i toppen av det högra hörnet enligt figur D.5d. Ändra så att Baud frekvensen nere i högra hörnet av seriemonitorn är 115200 om den inte redan är det. Nu bör en massa värden skrivas ut i seriemonitorn och Maskinen är redo att startas.

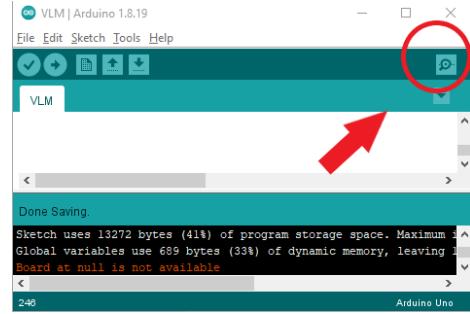


(a) Vart all kod kan laddas ner på github.

```
/*
 ***Define variables and it's initial value ***
 ****
 // -----
 // -----These can be changed-----
 float Area      = 0.04;      // [m^2]
 float set_thickness = 10;    // [m]
 float set_T_cool = 25.0;    // [C]
 float set_T_hot = 30.0;    // [C]
 float S = 0;
 //S calculated by hand
 //as k_ref(TH-TL)/(b_ref*E)
 //how to in detail in the
 //technical manual
```

(c) Vart i koden, samt vilka värden som kan ändras.

(b) Hur bibliotek läggs till i arduino IDE.



(d) Vart seriemonitorn kan hittas

Figur D.5: Alla bilder för Avancerat bruk

Starta maskinen

Starta apparaten genom att slå på den röda knappen på maskinens framsida. Pressa sedan upp materialprovet med önskat tryck genom att veva på veven till domkraften. Det uppnådda trycket kan ses på displayen. Displayen manövreras genom att snurra och trycka på knappen på maskinens instrumentbräda. Genom att välja trycket på displayen och sedan "trycka" på den nollställs det uppvisade värdet. Efter detta kan luckan säkert stängas. Det är viktigt att först trycka upp materialet och SEN stänga luckan annars kan packningarna som håller tätt skadas. Då alla värden redan är inmatade i koden är Maskinen redan i gång och mätningen är påbörjad.

Få värden och stäng av maskinen

Värden fås direkt via seriemonitorn. Där kan bland annat plattornas satta och faktiska temperaturer samt det råa värmeflödet utöver k-värdet läsas ut i realtid. K-värdet stämmer endast då Steady-state har uppnåtts. När detta är uppnått står även detta tydligt i monitorn och resulterande k-värde kan läsas av. Stäng sedan av maskinen. I fallet att materialet anses vara för varmt att hantera direkt skall luckan öppnas hela vägen och domkraften skall sänkas för att på så sätt få in luft som kan kyla ner materialet. Efter ett tag kan sedan materialet tas ut lika försiktigt som det stoppades in.

Kalibreringsfaktor

Innan mätningar genomförs bör utrustningen kalibreras mot ett material med kända termiska egenskaper. En kalibreringsfaktor S tas fram enligt ekvation (D.3). Där k_{ref} är det kända materialets termiska konduktivitet, b_{ref} är tjockleken och E är den spänning som ges av värmeflödessensorn.

$$S = \frac{k_{ref}(T_H - T_L)}{b_{ref}E} \quad (\text{D.3})$$

Med hjälp av kalibreringsfaktorn S kan den termiska konduktiviteten k tas fram för det materialprov som studeras med hjälp av ekvation (D.4). ¹

$$k = \frac{SEb}{\Delta T} \quad (\text{D.4})$$

D.4 Felsökning

Här kommer kort om vanliga problem och hur dem lösas.

Maskinen startar inte

Kolla att sladden är istoppad i väggen. Att nätaggregatet på baksidan är påslagen samt att strömknappen på framsidan är påslagen.

Fläktarna slutar snurra efter ett par sekunder av att maskinen slagits på

Detta är helt normalt och inget att oroa sig över. Fläkt kontrollen behöver lite tid att synka alla fläktar och efter ytterligare ett par sekunder börjar dem blåsa på medelfart igen.

ENDAST AVANCERAD:

Koden laddar inte upp

Se till att ha valt "Arduino UNO" som kort samt så att det är rätt port datorn försöker kommunicera med. Vanligtvis brukar det vara "COM3" som är rätt men detta varierar från dator till dator.

Det kommer bara ut massa konstiga tecken i seriemonitorn

Det är för att fel Baud frekvens är vald i seriemonitorn, välj 115200 i frekvens. Starta om och ladda upp koden igen om det fortfarande inte fungerar.

¹Olof Gustafsson, Niclas Jakauby and Johannes Prydz, Modifiering och färdigställning av mätutrustning för termisk konduktivitet, från isolerande till ledande material-Mättnoggranhet med avseende på materialprovets dimensioner, Linköpings Universitet 2022