

Projekt nr	Projekt namn
G839J	Kartläggning av ympmedel med termisk analys

Författare	Rapport nr	Datum
Ralf Lisell	2013-016_	2013-07-03

---

## Kartläggning av ympmedel med termisk analys

Termisk analys används i många sammanhang som processtyrnings- och processuppföljnings-system. Det har dock visat sig att det finns en osäkerhet angående metodens känslighet för variationer i ympmedelssammansättning och ympmängd. Forskningsgrupp järn har valt att lyfta denna fråga genom en projektbeställning som avser att studera möjligheterna till att på ett mer nyanserat sätt utvärdera ymp effekter med termisk analys.

I projektet har testats två olika ympmedel och varje ympmedel har testats på fyra olika tillsatsnivåer, för gråjärn och segjärn. Gråjärnet har utvärderats mot vitdjupet i kilar och segjärnet har utvärderats mot nodularitet och nodultäthet i s.k. trapprover. Dessa trappor har haft sex steg, med stegtjocklekar mellan 5 mm och 120 mm.

Resultaten visar att den termiska analysens svalningskurva uppvisar olika form beroende både på ympmedelssort och tillsatt mängd. Kilarnas vitdjup för gråjärnet och nodulerna i segjärnet varierar med ympmedelstyp och tillsatt mängd.

Sambanden mellan metallografiska resultat och svalningskurvorna kan inte entydigt fastslås. Kurvorna har karaktäriserats genom en enkel modell via grundläggande s.k. termiska parametrar, t.ex. den undre eutektiska temperaturen TEu, och en del tendenser till samband finns. Spridningen är dock för stor för att klara slutsatser ska kunna dras och för att den utvärderingsmetoden ska kunna tillämpas i processtyrningssyfte.

## Summary

Thermal analysis is widely used as process control and post-process checking method. Some insecurity exist regarding the sensitivity of process variation of inoculation amount and type of the method. The aim has been to zoom in on the thermal analysis reliability via induced variation of inoculation.

In the project, two inoculants has been tested, each at four different addition levels, on both grey and ductile iron. The grey iron has been evaluated via wedge tests only, and the ductile iron has been evaluated metallographically with regards to nodularity and nodule count. The samples for the ductile iron have been step castings with six steps with height from 5 mm to 120 mm.

The results show that the shape of the cooling curve varies with inoculant type and amount. Also the chill depth of the wedges and the evaluated properties of the ductile iron varies with type and amount of inoculant.

The relation between metallographical results and the cooling curves cannot be concluded. The cooling curves has been evaluated in a simplistic way, via basic thermal parameters like the lower eutectic temperature,  $T_{Elow}$ . Some tendencies to relations do exist, but the spread in results are too big do make a definite conclusion, and for allowing the used cooling curve evaluation method to be used as process control tool.

# 1 Syfte och mål

Syftet har varit att förtydliga samband mellan termiska parametrar och vissa egenskaper hos det gjutna materialet.

## 1.1 Teoretisk bakgrund

Det finns många rapporter och försök gjorda i ämnet, referenslistan till denna rapport innehåller endast ett litet urval.

Rent generellt betraktas stelningskurvas form som en effekt av järnets förmåga till kärnbildning och tillväxt. Om järnet har en generellt bättre kärnbildningsförmåga kommer de olika effekterna att ske tidigare i tid och därmed vid högre temperaturer. Teoretiskt kan då kärnbildningsförmågan relateras till stelningskurvas inflexionspunkters läge i tid-temperaturdiagrammet.

# 2 Genomförande

En gjutning med segjärn har utförts på SKF Mekan AB i Katrineholm.

Prover i gråjärn har gjutits i försöksgjuteriet på Swerea SWECAST AB, i två omgångar.

För segjärnsprovet förbereddes sex ton bassmälta. Ur denna tappades och behandlades 1 ton järn varefter ca 200 kg behandlat järn överfördes till en mindre avgjutningsskänk och i samband med detta sista steg tillfördes en i förväg uppmätt mängd ympmedel.

Av det behandlade och ympade järnet göts trappprover och parallellt två prover för termisk analys.

Segjärnstrapporna sågades i bandsåg och lämpliga metallografiska prover togs centralt ur varje trappsteg. Proven analyserades med ljusoptisk mikroskopi.

Gråjärngjutningen utfördes genom att smältor med normal sammansättning skapades. Chargen bestod av ca 40 % tackjärn, 40 % stålskrot och resten återgång samt legeringsmedel. Det gjordes en smälta för varje ympmedel som avsågs testas.

I en mindre transportskänk placerades i botten en i förväg uppvägd mängd ympmedel. Skänken fylldes med målsättningen att tappa 30 kg, men den exakta mängden noterades via vågen mellan traverskrok och skänk. Resultterande verklig ympmedelshalt beräknades.

Ur denna skänk togs två prov, dubbelprov, för termisk analys och ett för kilprov.

Gråjärnskilarna knäcktes och viddjupet mättes manuellt med skjutmått.

### 3 Resultat och diskussion

Resultaten och diskussion är uppdelade i segjärn och gråjärn.

#### 3.1 Segjärn

*De uppmätta värdena finns i Tabell 1 och visas grafiskt i Figur 1-7.*

Tabell 1 visar ympmedelstillsatsen vilka provuttag som gjorts ur segjärnstrapporna och nodularitet respektive nodultal för de olika stegen. Pga. läckage ur formarna blev de flesta trapporna inte fullgjutna. Trappa sex hade inga användbara trappsteg. Av denna anledning har endast de fyra lägsta trappstegen i varje trappa utom nr. sex utvärderats. De rödmarkerade områdena är de trappsteg som inte varit möjliga att utvärdera. Steg fem och sex på de första trapporna kan ha utvärderas, men detta har inte gjorts då jämförelsedata saknas.

Tabell 1 visar nodultalen och nodulariteten för de två ympmedlen, det ses grafiskt i Figur 1 och 2. Uppenbarligen hoppar nodulariteten upp till klart acceptabla värden även för små mängder ympmedel och ytterligare mängder ger ingen förbättring på denna punkt. Undantaget är möjligen ympmedlet Alinocs inverkan i små mängder i tunna sektioner, i detta test stelnade den sektionen helt vitt. För nodultalet är skillnaderna tydligare, (Se Tabell 1 och figurerna 3 & 4!). Antalet noduler ökar med minskande godstjocklek och med ökande mängd ympmedel.

De termiska temperaturbaserade parametrarnas förändring med ymp tillsatserna kan ses i figurerna 5-7. Figur 5 visar reaktionerna för Foundrisil.

För parametern TL, likvidustemperatur, ses en konstant fallande trend. Detta är väntat då en ökad tillsats ger en resulterande ökad kolekvivalent och därmed en sjunkande likvidustemperatur.

För de övriga parametrarna ökar värdena med ökad tillsats, upp till en nivå då de minskar igen. Detta är väntat då ökad ympmedelstillsats ger ökad kärnbildningsförmåga och därmed sker stelningsreaktionen lättare, dvs. tidigare i tid vilket vid svalning innebär vid en högre temperatur. I något läge nås ett optimalt läge varifrån ytterligare tillsatser inte förbättrar situationen utan snarast försämrar stelningsreaktionens möjligheter.

För ympmedlet Alinoc, i Figur 6, är resultatet mer oklart. TL sjunker med ökad tillsats av samma anledning som tidigare, men de övriga parametrarna visar ingen nämnvärd skillnad alls. Möjligen kan tendensen med ökande värden, samma förklaring som för Foundrisil, ses, men ingen maxpunkt finns registrerad och trenden är svag. Slutsatsen är möjligen att Alinoc är mer förlåtande än Foundrisil vad gäller tillsatt mängd.

I Figur 7 ses parametern  $dT/dt$ -TS som funktion av tillsatt mängd ympmedel. Denna parameter relaterar till provets egenskaper i stelningens slutskede, framförallt värmeledningsförmågan. Värmeledningsförmågan i sin tur påverkas av grafitstruktur, porbildning, slaggbildning, segring av legeringsämnen till restsmältan etc. En högre värmeledningsförmåga visar på en bättre total situation vad gäller detta i stelningens slutskede.

Det är en sammanfattande bild som ges av värmeledningsförmågan, men generellt betyder en högre värmeledningsförmåga ett lägre värde på  $dT/dt$ -TS, dvs. en högre stelningshastighet, och i allmänhet är ett lägre värde på  $dT/dt$ -TS bättre än ett högre. Figur 7 visar en trend för båda ympmedlen att  $dT/dt$ -TS sjunker med ökad tillsats, dvs. situationen förbättras vilket är högst väntat.

Samtliga resultat för segjärn indikerar trender men antalet observationer är för litet, och därigenom är spridningen för stor, för att på något sätt kunna påstå att det är fråga annat än svaga indikationer. Trots det ökar nodulariteten med mängd tillsatt ympmedel för en given godstjocklek. Nodulariteten ökar även med minskande godstjocklek för en given mängd tillsatt ympmedel. De termiska parametrarna visar förändringar i förväntad riktning med ändring av tillsatsmängden men skillnaderna är för små, inom felmarginalen för mätsystemet, för att definitiva slutsatser ska kunna dras.

## 3.2 Gråjärn

*De uppmätta värdena finns i Tabell 2-4 och visas grafiskt i Figur 9-13.*

Resultaten i Figur 9 & 10 visar att vitdjupet för gråjärnsmältningskällorna minskar med ökad mängd tillsatt ympmedel. Vitdjupet minskar snabbt med en liten tillsats, men minskningen avtar raskt. Sambandet verkar inte vara linjärt. Vidare, när vitdjupet nått ner till mycket små värden, under 1 mm, kan ingen ytterligare förbättring noteras och effekterna av ytterligare ökad ymp tillsats kan inte utvärderas. Från Figur 10 gav inte små mängder Alinoc någon effekt på vitdjupet. Den uteblivna ymp effekten kan i detta test även noteras för Alinoc i segjärn i små mängder.

De termiska parametrarnas variation med tillsatt mängd ympmedel visas i Figur 11-13, där samtliga temperaturbaserade parametrar ökar med ökad ymp tillsats. Detta indikerar en bättre kärnbildningsförmåga med ökad tillsats, vilket måste sägas vara väntat.

För ympmedlet Foundrisil (Se Figur 11!) ses en konstant ökning. Dessvärre är den högsta noterade ymp tillsatsen 0,17 % vilket är ungefär den normala tillsatsen i gråjärnsgjutier. Från Figur 13 kunde det termiska datas förändring i området som normalt betecknas som överympning kan inte utvärderas.

För ympmedlet Alinoc (Se Figur 12!), där provdata finns upp till 0,20 % kan en viss utplaning av trenden ses för termiska parametrar associerade med den eutektiska delen av stelningen. Från Figur 13 kunde det termiska datas förändring i området som normalt betecknas som överympning identifieras vid 0,2 %.

Dock uppvisar även TL, som är starkt knuten till kolekvivalenten CEL, även den en ökning med ökad tillsats. Denna ökning i TL kan endast ske om CEL minskar, eftersom sammansättningen på normala gråjärn ligger på den undereutektiska sidan av den eutektiska punkten i fasdiagrammet. Likviduslinjen är fallande med ökad CEL. Orsaken till detta beteende på TL står att finna i den kemiska analysen, Tabell 4. Proven är tagna i ordning, ur samma ugn och inom en timmes tid. Kolhalten och därmed kolekvivalenten faller fortare än ymp tillsatserna ökar CEL, därav den med tiden ökande TL. Då det uppdagats att kolhalten sjunker mycket fort i den ugn som använts för försöken kan giltigheten av gråjärnstesten starkt ifrågasättas.

## 4 Slutsats

Tendenser till samband mellan utvärderade egenskaper och termiska parametrar finns. Dessa samband är dock inte tillräckligt bra för att kunna användas för definitiva slutsatser, för prediktion av egenskaper i gjutgods eller för processkontroll.

## 5 Fortsatt arbete

Den använda metoden för utvärdering av svalningskurvor upplevs vara för enkel. I ett fortsatt studium av svalningskurvornas relation till materialegenskaper bör en mer matematiskt avancerad utvärderingsmetod användas.

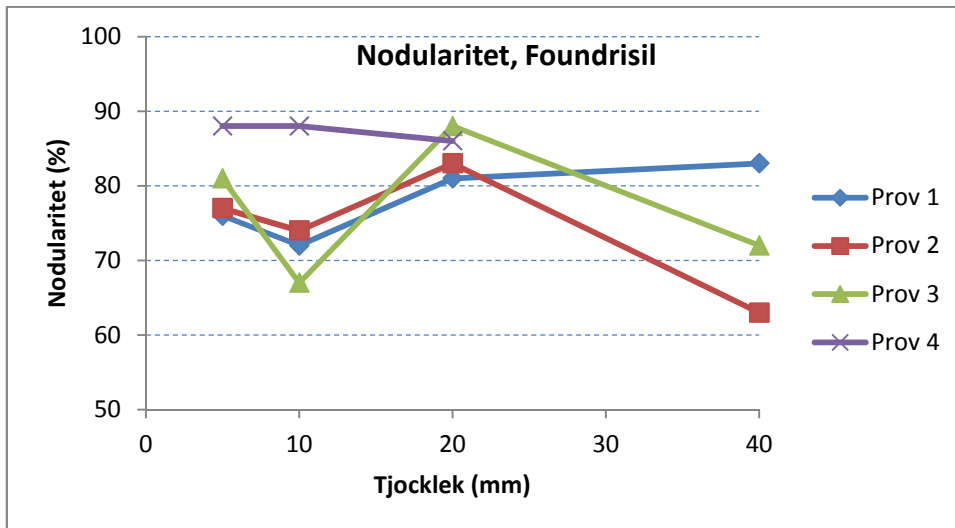
Vidare bör termiska data undvikas att kopplas till slutligt gods, eftersom termiska data är fråga om materialegenskaper och inte godsegenskaper. Som jämförelse kan tas ett dragprov. Draghållfastheten är en materialegenskap och är inte ett bevis för att alla punkter, eller ens någon, har den egenskapen i ett gjutgods. Resultatet från termisk analys kan t.ex kallas materialets grafitiseringspotential eller liknande.

## 6 Referenser

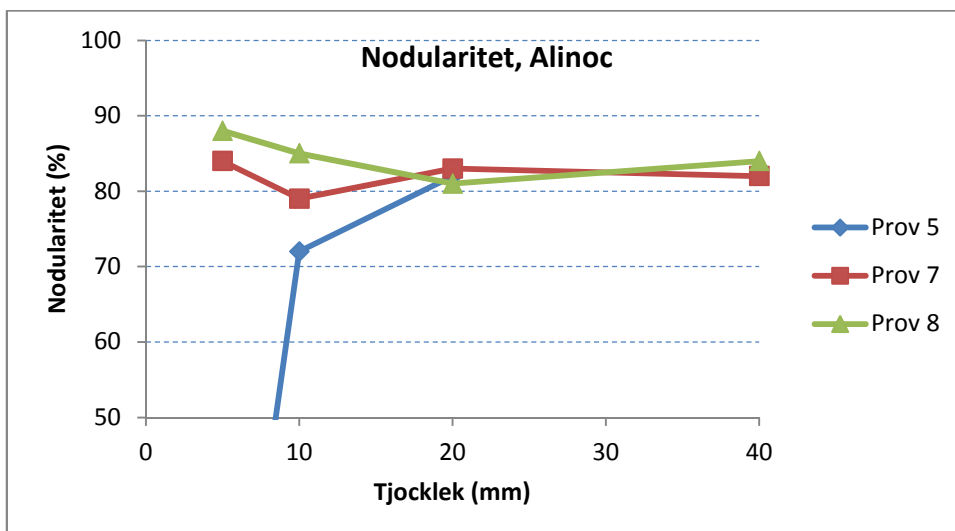
- [1] C. Loper et al., Thermal analysis of ductile iron, *AFS Transactions*, (1967)
- [2] M.D. Chaudhari, R.W. Heine, C.R. Loper., Principles involved in the use of cooling curves in ductile iron process control, *AFS Transactions*, (1971)
- [3] M.D. Chaudhari, R.W. Heine, C.R. Loper, Potential applications of cooling curves in ductile iron process control, *AFS Transactions*, (1974)
- [4] G.R. Strong, Thermal analysis as a ductile iron molten metal processing evaluation tool, *AFS Transactions*, (1983)
- [5] D. Hui, Y. Jingxiang, K. G. Davies, Thermal effect during the solidification of cast iron, *AFS Transactions*, (1985)

Tabell 1, Ympmedel, nodularitet och nodultal för segjärnsproven

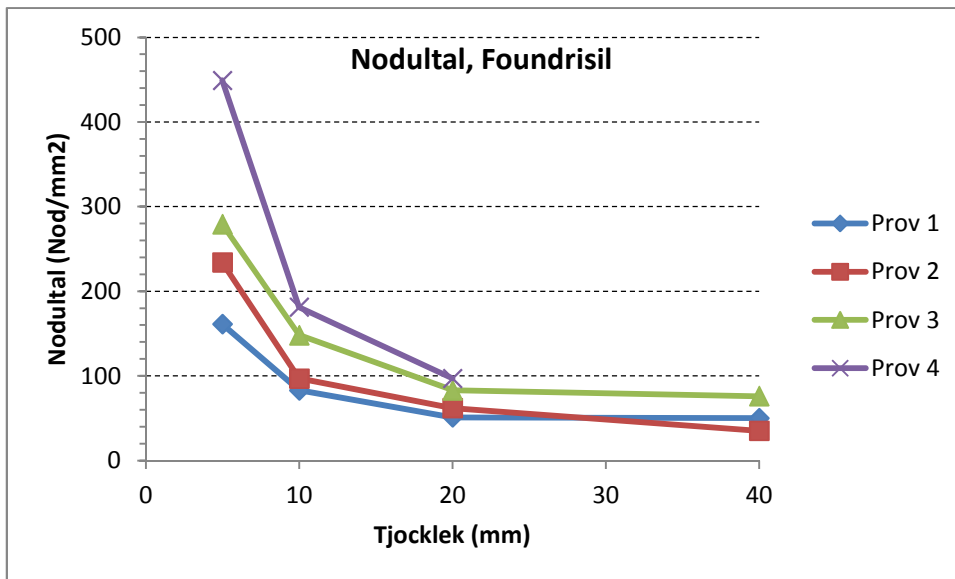
Prov	Ympmedel	Tillsats (%)	Nodularitet (%)				Nodultal (Nod/mm <sup>2</sup> )			
			5 mm	10 mm	20 mm	40 mm	5 mm	10 mm	20 mm	40 mm
1	Foundrisil	0,03	76	72	81	83	161	83	51	50
2	Foundrisil	0,10	77	74	83	63	234	97	62	35
3	Foundrisil	0,18	81	67	88	72	279	148	83	76
4	Foundrisil	0,26	88	88	86		449	181	97	
5	Alinoc	0,03	0	72	82		0	104	61	
6	Alinoc	0,10								
7	Alinoc	0,20	84	79	83	82	253	104	60	56
8	Alinoc	0,30	88	85	81	84	383	146	90	54



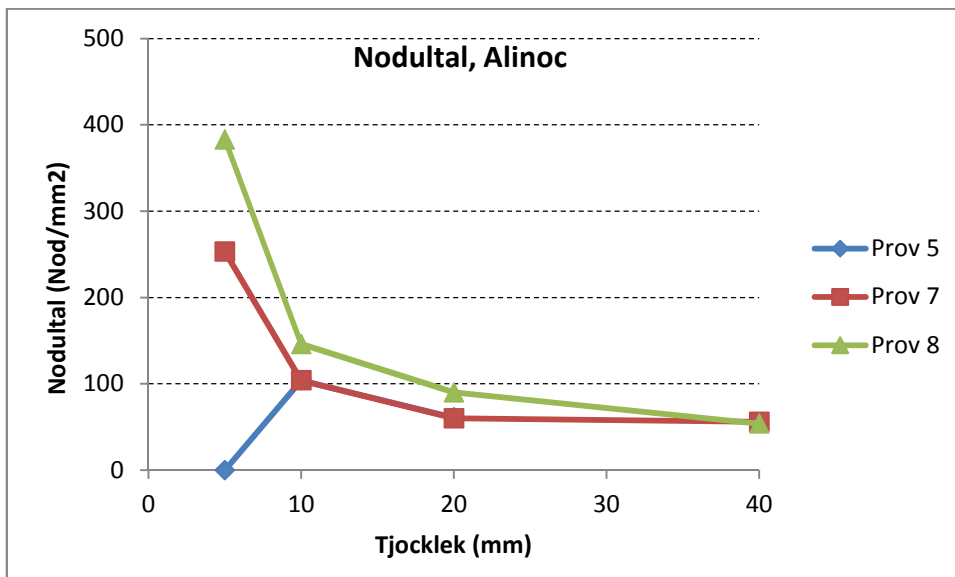
Figur 1, nodularitet v. godstjocklek, mängd Foundrisil som parameter



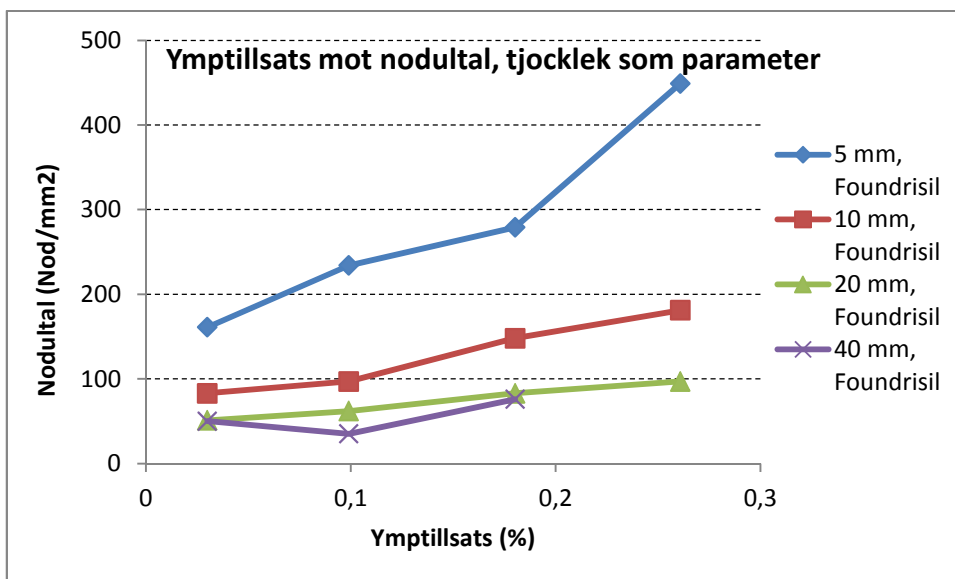
Figur 2, nodularitet v. godstjocklek, mängd Alinoc som parameter



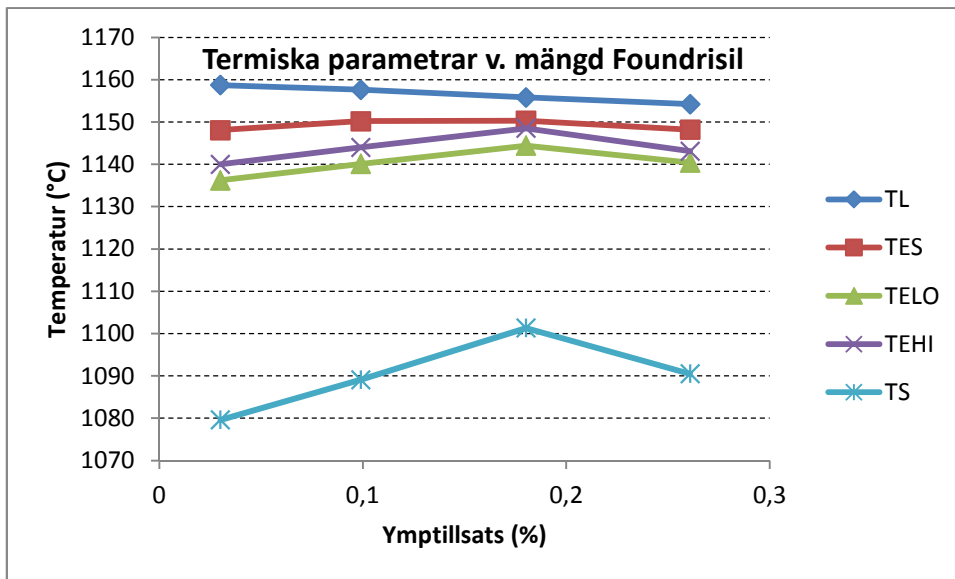
Figur 3, nodultal v. godstjocklek, mängd Foundrisil som parameter



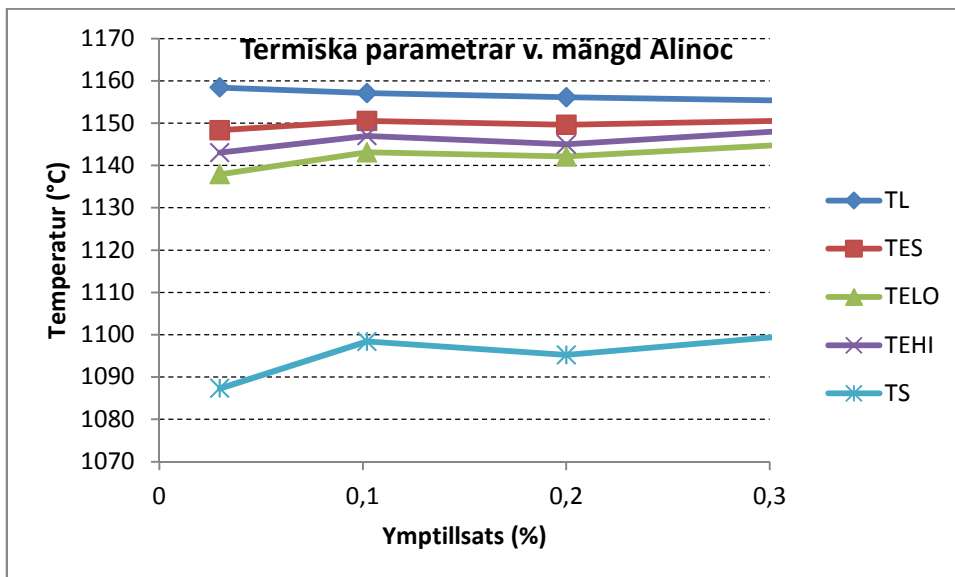
Figur 4, nodultal v. godstjocklek, mängd Alinoc som parameter



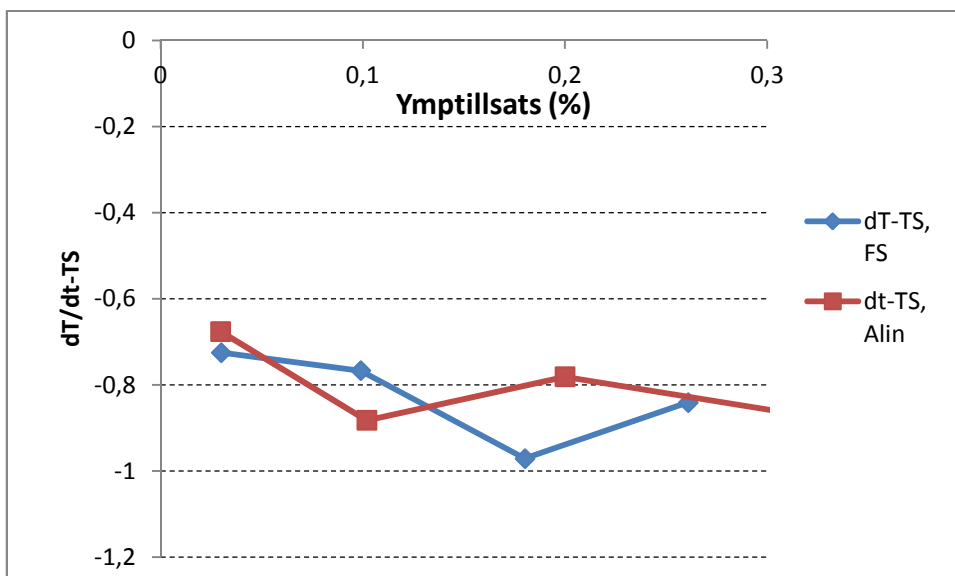
Figur 5, ymptmängd mot nodultal, godstjocklek som parameter



Figur 6, termiska parametrar v. ymptillsats



Figur 7, termiska parametrar v. ymptillsats



Figur 8, termiska parametrar v. ymptillsats

Tabell 2, data från gråjärnstest med Foundrisil

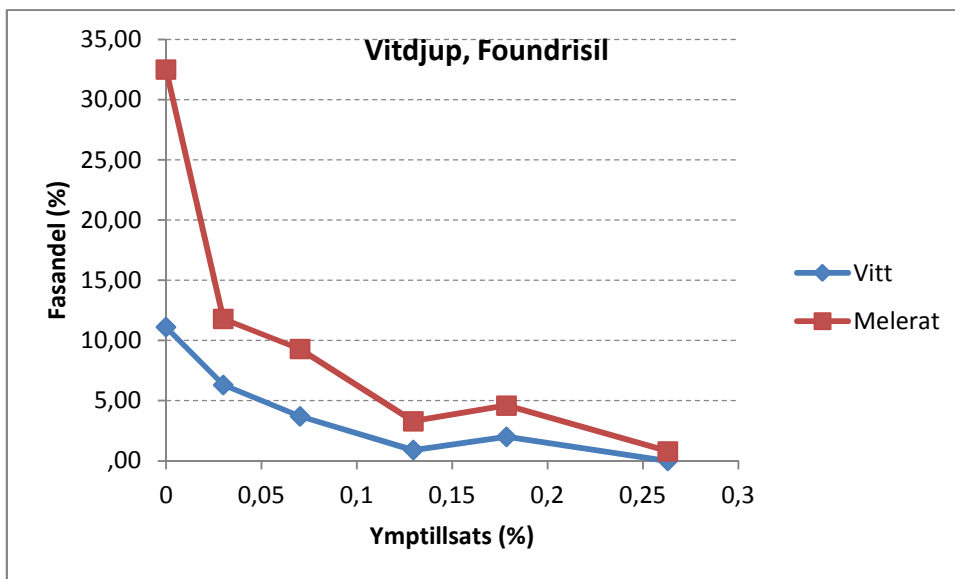
Gråjärn	Foundrisil	Kilprov		Termiska data					
		Ymptillsats (%)	Vitt	Melerat	TL	TES	TELO	TEHI	TS
1	0	11,1	32,5	1215,9	1183,9	1137,9	1146	1105,2	-1,535
2	0,030	6,3	11,8						
3	0,070	3,7	9,3	1222,9	1192,6	1144,6	1150,8	1110,9	-1,611
4	0,130	0,9	3,3						
5	0,179	2,0	4,6	1231,3	1200,9	1147,4	1152,4	1121,9	-1,949
6	0,263	0,0	0,8						

Tabell 3, data från gråjärnstest med Alinoc

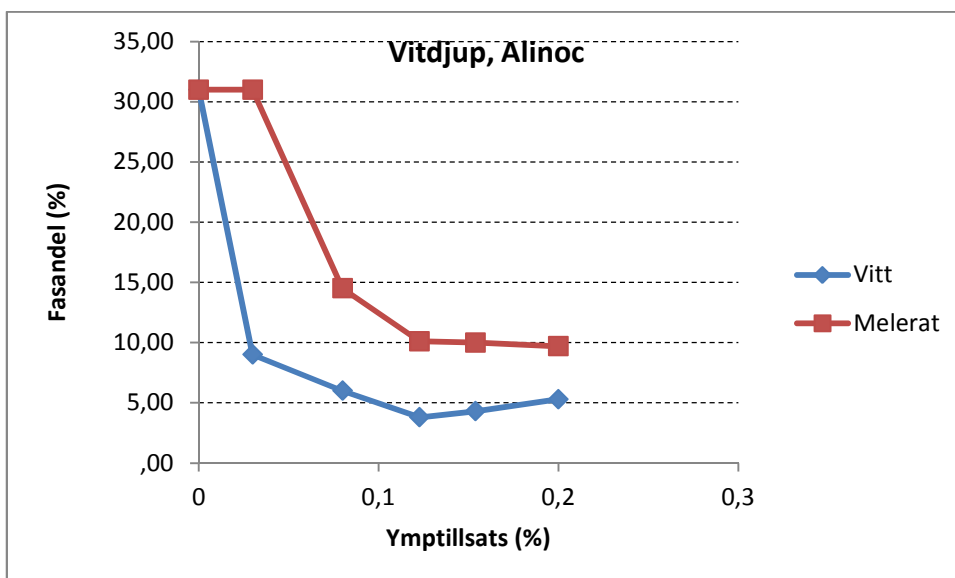
Gråjärn	Alinoc	Kilprov		Termiska data					
		Ymptillsats, %	Vitt	Melerat	TL	TES	TELO	TEHI	TS
1	0	31,0	31,0	1234,4	1193,4	1124,8	1129,0	1089,4	-1,089
2	0,030	9,0	31,0						
3	0,080	6,0	14,5	1244,3	1218,7	1139,3	1145,3	1106,1	-1,682
4	0,123	3,8	10,1						
5	0,154	4,3	10,0	1253,7	1227,5	1141,7	1148,1	1113,5	-1,773
6	0,200	5,3	9,7	1265,2	1236,0	1140,7	1148,2	1112,7	-1,499

Tabell 4, kemisk sammansättning, gråjärn

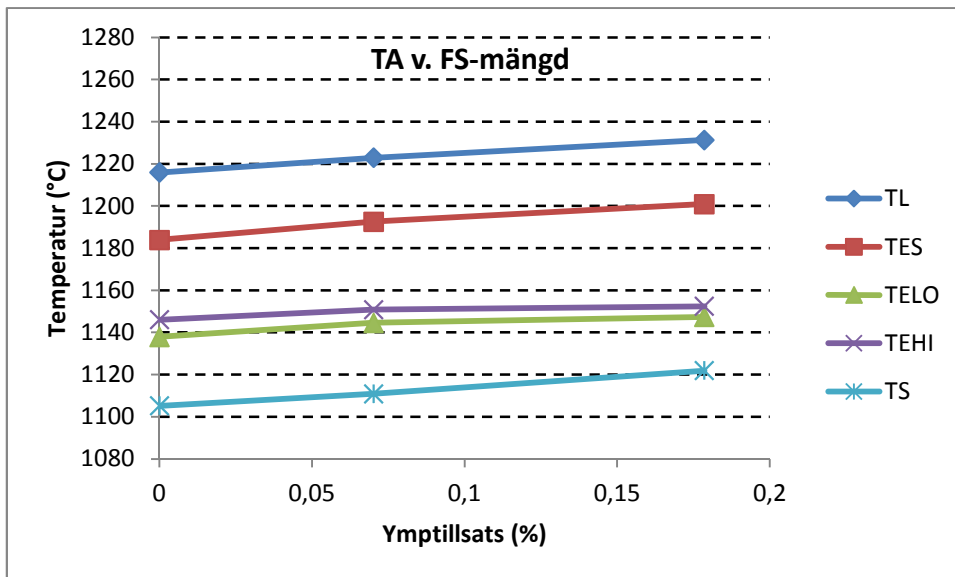
Kemisk sammansättning	C	Si	P	CE
<i>Beräknad</i>	3,30	1,87	0,07	3,80
Verklig, prov 1	3,29	1,86	0,04	3,78
Verklig, prov 2	3,23	1,85	0,04	3,71
Verklig, prov 3	3,18	1,89	0,04	3,67
Verklig, prov 4	3,12	1,93	0,05	3,63
Verklig, prov 5	3,04	2,01	0,04	3,56



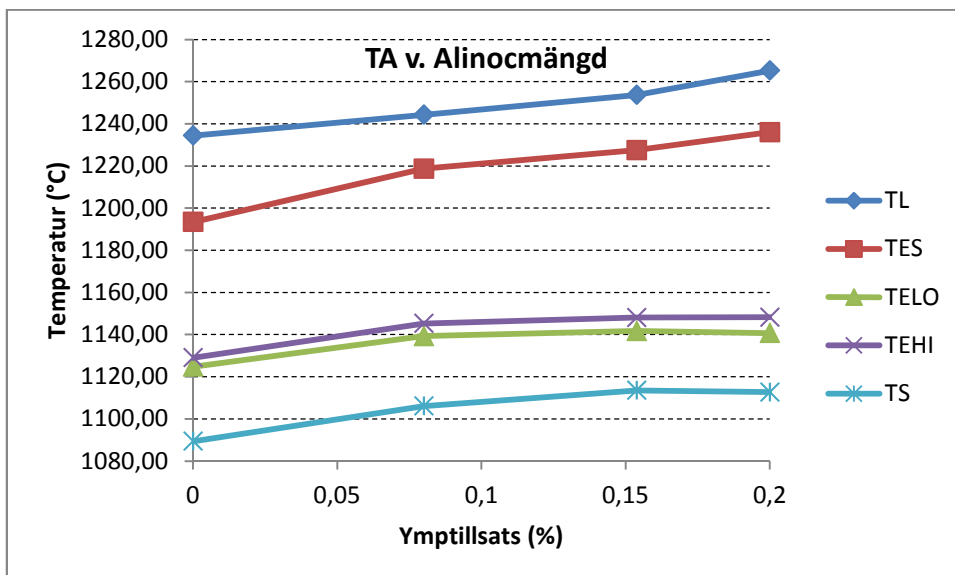
Figur 9, vitdjup v. mängd ympmedel, Foundrisil



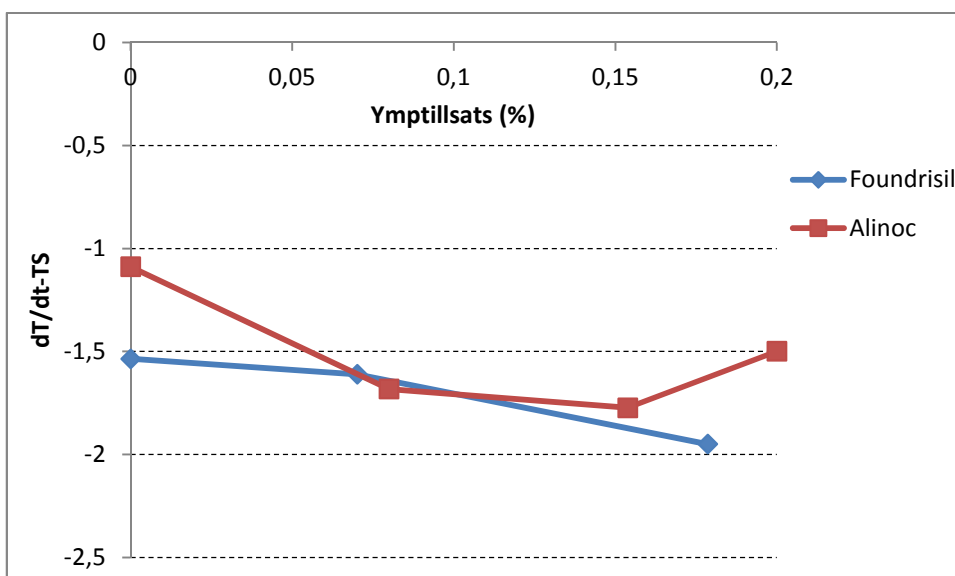
Figur 10, vitdjup v. mängd ympmedel, Alinoc



Figur 11, Termiska data v. mängd ympmedel, Foundrisil



Figur 12, Termiska data v. mängd ympmedel, Foundrisil



Figur 13, Termiska data v. mängd ympmedel