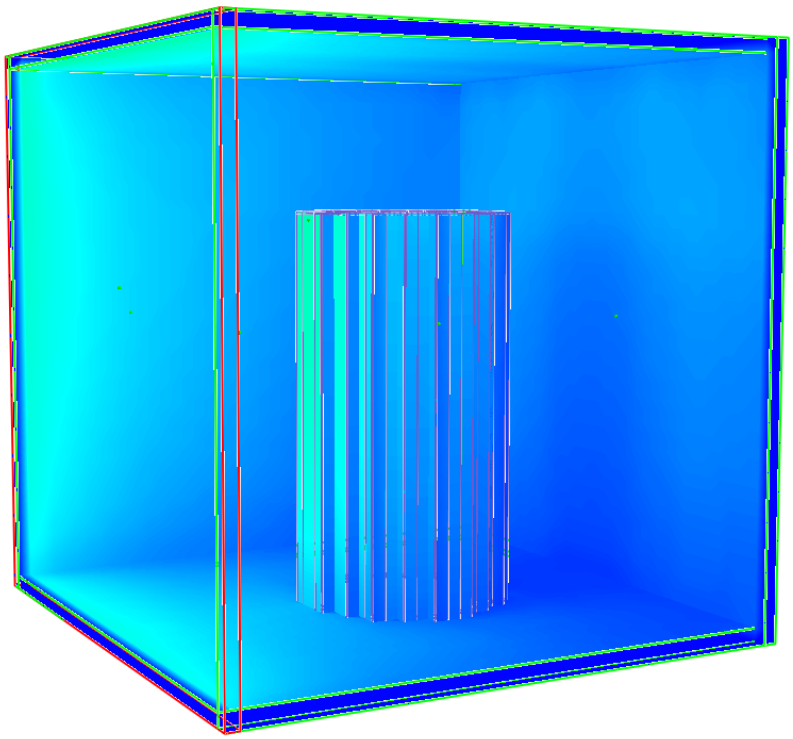
Myndigheten för samhällsskydd och beredskap

FORSKNING/STUDIE

EI-avskiljning vid förvaring av brandfarliga varor



Faktaruta

EI-avskiljning vid förvaring av brandfarliga varor

2020

RISE Research Institutes of Sweden

Alastair Temple, Johan Anderson och Petra Andersson

RISE kontrakterades av MSB i början av 2020 för att studera prestandan hos brandmotståndsklassade konstruktioner för skydd av brandfarliga varor. Studien som presenteras i denna rapport använder två olika beräkningsmodeller, FDS (Fire Dynamics Simulator) och en enkel värmeöverföringsmodell. Modellerna används för att studera gasbehållarnas temperaturökning när den EI-klassade konstruktionen utsätts för en temperaturökning motsvarande standardbrandkurvan. Studien undersöker effekterna av en mängd olika faktorer för gasbehållarnas uppvärmning, som behållarens storlek, mängden bränsle i varje behållare, behållarnas position i utrymmet (både avstånd från den exponerade väggen och höjden i utrymmet), behållarnas material och exponeringstiden.

När man granskar resultaten av modellerna kan man dra slutsatsen att de faktorer som påverkar en behållares temperaturstegring mest är:

- Mängden bränsle i behållaren - tomma behållare var upp till 40 ° C varmare än fulla behållare,
- Storleken på behållaren – större behållare var i allmänhet svalare än mindre (även om förhållandet volym till omslutande area är en viktig faktor)
- Behållarnas placering i utrymmet - temperaturerna minskade med avståndet från den exponerade väggen och ökar med höjden över golvet.

Baserat på dessa slutsatser bör följande rekommendationer övervägas för lagring av gasbehållare i en EI-klassad konstruktion:

- Ett minsta separationsavstånd (t.ex. 50 cm) från alla EI-klassade väggkonstruktioner,
- Behållare bör endast förvaras nära golvet,
- Behållare med lägre fyllnadsgrad ska förvaras på ett större minimiavstånd från brandcellsgränsen än fyllda behållare.

MSB:s kontaktpersoner:
Johannes Forsberg, 010-240 53 48

Foto: RISE

Publikationsnummer MSB1628 - Oktober 2020
ISBN 978-91-7927-073-5

MSB har beställt och finansierat genomförandet av denna forskningsrapport. Författarna är ensamma ansvariga för rapportens innehåll.

Förord

MSB finansierade en studie av prestandan för brandmotståndsklassade konstruktioner som används för skydd av brandfarliga varor, nämligen gasbehållare (från små flaskor till större behållare).

Denna rapport beskriver metodiken för bedömningen samt resultaten och några slutsatser som kan dras av dem.

Innehållsförteckning

Förord **4**
Innehållsförteckning **5**
Sammanfattning **6**
1. Introduktion **8**
2. Metodik för studien **10**
2.1 Data från publicerade brandmotståndsprovningar 11
2.2 Simuleringsgeometri i FDS 13
2.3 Beräkningsnät 15
2.4 Randvillkor 15
2.5 Materialegenskaper 15
2.6 Homogeniserad värmeöverföring 16
3. Resultat och analys **17**
3.1 Verifiering av den homogeniserade värmeöverföringsberäkningen 17
3.2 Effekten av olika brandmotståndskonstruktioner 20
3.3 Effekten av behållarnas konstruktion och innehåll 22
3.4 Effekten av behållarnas avstånd från väggen 24
3.5 Effekten av placering på olika höjd i utrymmet 25
3.6 Effekten av hotspots på väggen med förhöjd temperatur 27
3.7 Påverkan av upphettning från flera sidor 29
4. Diskussion och rekommendationer **32**
5. Referenser **34**
Bilaga 1: Modellista **35**
Bilaga 2: Exempel på FDS inputfil **37**
Bilaga 3: Känslighetsstudie för beräkningsnät **40**
Bilaga 4: Homogeniserad värmeöverföring **44**
Bilaga 5: Kombinera brandmotståndsklassade element **47**
Bilaga 6: Fullständiga resultat **49**

Sammanfattning

Vid förvaring av brandfarliga varor i verksamheter är det vanligt att det krävs en brandavskiljande åtgärd mot omgivningen. Placeringen kan innebära att det ställs krav på brandteknisk avskiljning med en konstruktion som klarar en standardbrand under 30, 60 eller 90 minuter. Detta anges ofta som brandteknisk avskiljning motsvarande EI 30, EI 60 respektive EI 90, som fås efter en standardiserad provning. Det består ofta av en byggnadsteknisk lösning, men skulle också kunna lösas med ett skåp som motsvarar EI 30, EI 60 eller EI 90.

MSB önskade få en bättre bild av vilken temperatur som uppstår i en gasbehållare placerad på olika avstånd från en avskiljande vägg, det vill säga hur gasbehållare och aerosol-förpackningar värms upp innanför en brandteknisk avskiljning som utsätts för en standardbrand. Dessutom vill MSB tydliggöra hur två EI 30-konstruktioner förhåller sig till en EI 60-konstruktion.

Denna rapport ger en bild av temperaturuppökningen beroende på scenario genom att beräkna temperaturen för olika stora behållare. Dels studerades aerosolbehållare på 100, 200, 300, 400 respektive 500 ml. Dels studerades gasbehållare av storleken 0,5 kg (campingbehållare), PC5 (5 kg gas), PC10 (10 kg gas) samt P11 (11 kg gas). Samtliga behållare hade i beräkningarna olika fyllnadsgrad (tom, 50% och full med avseende på vikten gas), gasflaskans hölje (t.ex. stål och plastkomposit) och tjocklek (från 1 mm till 5 mm). Behållarna var placerade på olika avstånd (0, 10, 20, 30, 40 och 50 cm från den brandmotståndsklassade (EI30, EI60 och EI90) väggen. Även storleken på utrymmet har varierats, med ett litet utrymme 0,9 m x 0,9 m x 0,9 m till ett större rum på 10 m x 5 m x 3 m. Vid beräkningarna antas det att behållarens yta och innehåll har samma temperatur, se också bilaga 4.

Analysen genomfördes med hjälp av två olika beräkningsmodeller. Fire Dynamics Simulator (FDS), som möjliggör beräkning av 3D-effekter av strålning och konvektionsdriven värmeöverföring i utrymmet, och en frikopplad värmeöverföringsmodell (där behållarna och deras innehåll behandlas som ett enda objekt med kombinerade egenskaper). Valet att använda två olika modeller motiveras av att minska antalet FDS-modeller som behöver köras på grund av den stora tidsåtgången för varje modell. Ingångsdata för konstruktionens brandprestanda till modellerna kommer från allmänt tillgängliga testrapporter som publicerades av British Gypsum.

Som slutsats från projektet visar det sig att de faktorer som kan ha stor inverkan på behållarnas maxtemperaturer för samma storlek på utrymme är:

- Mängden bränsle i behållaren, tomma behållare visade sig ha maxtemperaturer som är upp till 40 °C högre än för fyllda behållare samtidigt som en behållare som endast är fylld till 50 % bara får 5-10°C högre temperatur.

- Storleken på behållarna, mindre behållare var i allmänhet varmare än större behållare, även om förhållandet mellan area, volym och synfaktor (Hur mycket strålning en behållare ser.) också har en inverkan. Detta är inte ett enkelt förhållande.

- Placering i utrymmet;
  - eftersom strålningsintensiteten minskar med avståndet för behållarna, så blir behållare nära den varma väggen varmare än de längre bort,
  - uppvärmning av luften ifrån väggen får den heta luften att stiga upp till taket, och den övre delen av utrymmet har en högre temperatur än golvet. Detta gör att behållare placerade högre upp (t.ex. på en hylla längre upp) blir varmare än de som placeras på golvet. Notera att en avlång (hög behållare) kommer på liknande sätt troligen att bli varmare än en kortare/lägre med samma volym.

Baserat på slutsatserna ovan bör man överväga följande rekommendationer gällande lagring av gasbehållare i EI-klassade utrymmen:

- Ett minsta avstånd (t.ex. 50 cm) från alla EI-klassade väggkonstruktioner,

- Behållare bör endast förvaras nära golvet,

- Tomma behållare ska förvaras på ett större minimiavstånd från brandcellsgränsen än fyllda behållare.

1. Introduktion

Brandteknisk avskiljning
Vid hantering av brandfarliga varor i verksamheter är det vanligt att det krävs en brandavskiljande åtgärd mot omgivningen vid förvaringen av brandfarliga varor. Placering kan innebära att det ställs krav på brandteknisk avskiljning med en konstruktion som klarar en standardbrand under 30, 60 eller 90 minuter. Detta anges ofta som brandteknisk avskiljning motsvarande EI 30, EI 60 respektive EI 90. Det utförs ofta med en byggnadsteknisk lösning, men skulle kunna lösas med ett skåp som motsvarar EI 30, EI 60 eller EI 90.
Lagen (2010:1011) om brandfarliga och explosiva varor (LBE) har som syfte att hindra, förebygga och begränsa skador på liv, hälsa, miljö och egendom som kan uppkomma genom brand eller explosion orsakad av sådana varor. Paragraf 10 i LBE ställer krav på att byggnader och andra anläggningar ska vara placerade utifrån risk för brand och explosion samt konsekvenserna av brand och explosion.
MSB föreskrifter med tillhörande allmänna råd anger för placering ofta ett minsta avstånd som i flera fall kan minskas till halva avståndet med en EI avskiljning. MSB anger i till exempel vägledning för restauranger och skolor att en brandteknisk avskiljning kan utföras enligt EI 30 eller EI 60 för att skydda gasolbehållarna mot farlig uppvärmning.
En brandteknisk avskiljning, EI 30 eller EI 60, får enligt standarden SS-EN 13501 ha en maximal temperatur-stegring i någon enskild punkt på den icke-brandutsatta sidan, som inte får vara högre än 180 K, samt en medeltemperaturstegring på vissa punkter som inte får vara högre än 140 K. Det betyder att om begynnelsetemperaturen vid försöket är 25 °C så får temperaturen inte överstiga 205°C respektive 165 °C vid slutet av försöket, se Figur 5. En brandteknisk avskiljning benämnd EIXX uppfyller två olika kriterier. I står för isolering och E för integritet. XX är ett siffervärde som beskriver den tid som konstruktionen klarar utan att uppnå något av kriterierna. Kriterium I (isolering) är uppfyllt när den genomsnittliga temperaturökningen inte överstiger 140 K över hela den oexponerade ytan, och den största temperaturökningen inte överstiger 180 K på någon del av ytan (vid brandexponering enligt standardkurvan för temperatur-tid), vilket hindrar antändning av objekt i närliggande brandceller efter den aktuella testtiden (30, 60, 90 minuter). Kriterium E (integritet) är uppfyllt när flammor eller varma brandgaser inte antänder en bomullstuss på den oexponerade sidan av konstruktionen, samt att det inte finns sprickor eller spalter som överstiger en viss dimension efter den aktuella testtiden (30, 60, 90 minuter).

Studien syfte och upplägg
MSB önskade få en bättre bild av vilken temperatur som uppstår i en kropp på olika avstånd av en avskiljande vägg, det vill säga hur gasbehållare och aerosol-förpackningar värms upp innanför en brandteknisk avskiljning. Dessutom vill MSB tydliggöra hur två EI 30-konstruktioner förhåller sig till en EI 60-konstruktion.

Denna rapport ger en bild av temperaturuppbyggnaden beroende på scenario (med scenario menar vi en specifik kombination av utrymme, avskiljande konstruktion, storlek, typ och placering av behållare och fyllnadsgrad) genom att beräkna temperaturen i olika stora behållare. Dels studerades aerosolbehållare på 100, 200, 300, 400 respektive 500 ml. Dels studerades gasbehållare av storleken 0,5 kg (campingbehållare), PC5 (5kg gas), PC10 (10kg gas) samt P11 (11kg gas). Samtliga behållare hade i beräkningarna olika fyllnadsgrad (tom, 50% och full med avseende på vikten gas), hölje (t.ex. stål och plastkomposit) och tjocklek (1mm till 5mm). De var placerade på olika avstånd (0, 10, 20, 30, 40 och 50 cm från väggar av olika brandmotståndsklass (EI30, EI60 och EI90). Även storleken på utrymmet har varierats från ett litet utrymme på 0,9 m x 0,9 m 0,9 m till ett större rum på 10 m x 5 m x 3 m. Vid beräkningarna antas att behållarens yta och innehållet har samma temperatur.

Studien har genomförts med Fire Dynamics Simulator [1] förkortat till FDS (version 6.7.0) tillsammans med en värmeöverföringsberäkning där de termiska egenskaperna för gasbehållarna är homogeniserade (gasbehållarens hölje och innehållande gas kombineras till en kropp med medelvikten). Vad detta innebär förklaras vidare i avsnitt 2. FDS är utvecklat av National Institute of Standards and Technology (NIST) och gör det möjligt att beräkna 3D effekterna på en gasbehållare.
I bilaga 5, finns en kort översikt inkluderad på den relativa prestandan för olika testade brandmotståndsprodukter och en förklaring varför det inte går att anta att två produkter klassade enligt EI30 uppnår EI60 klassningen.

2. Metodik för studien

Det finns ett stort antal möjliga variabler som i princip måste beaktas i studien och därmed ett mycket stort antal möjliga kombinationer som potentiellt måste beräknas. För att minimera antalet kombinationer och därmed unika modeller (med modell menas hur ett scenario representeras i beräkningen) som behöver studeras, används en homogeniserad värmeöverföringsmodell för en delmängd av modellerna istället för att genomföra värmeöverföringen direkt i FDS för var och en av kombinationerna. Den här metodiken möjliggör att köra en FDS-modell för att beräkna värmepåverkan på behållarna i flera positioner. En känslighetsanalys görs genom att behållarnas homogeniserade termiska egenskaper varieras. En liten mängd FDS-modeller, som är relativt mindre tidskrävande att bygga, köra och analysera, kan köras för att täcka alla scenarier som önskas för studien.
Modellmatriser för FDS körningarna finns presenterad i bilaga 1, vilken visar modellerna som ligger till grund för resultaten i den här rapporten där modellerna 1 till 11 består av ett utrymme och en behållare för jämförelse och verifiering av den homogeniserade värmeöverföringsmodellen.
Modellerna 12 till 23 tillför indata för värmeöverföringsmodellerna vilka täcker de olika geometri- (storleken och utformningen av det inneslutna utrymmet) och brandscenariokombinationerna.
Detaljerade beskrivningar av de studerade geometrier, brandscenarier och behållare finns i följande underavsnitt 2.1 till och med 2.6 medan ett exempel på en inputfil som används för att köra FDS-modellen för scenario 3 (en 300 ml gasbehållare på golvet i ett mindre utrymme skyddad med EI60-konstruktion) återfinns i bilaga 2.
Inputdata från de valda brandscenarierna baseras på resultat från några standardiserade brandtest (enligt EN 1364-1 [2]). Medelvärdesbildade temperaturdata uppmätt med termoelement applicerade på den icke-exponerade ytan på EI- konstruktioner från testerna har använts som indata till beräkningsmodellen i FDS. Testerna som används är offentligt tillgängliga data från British Gypsum[1], se tabell 1. Ingen information fanns tillgänglig från andra tillverkare.

Brandmotståndsklassificering	Testrapport	Testlaboratorium
EI 30	BTC 12853F	Building Test Center
EI 60	BTC 11831F	Building Test Center
EI 90	BTC 11172F	Building Test Center

Tabell 1
Använda rapporter från British Gypsum.

[1] Rapporterna kommer från British Gypsum och är avsedda som referens på den brittiska marknaden, men British Gypsum är en del av Saint-Gobain-gruppen, och testerna är europeiska standardtester (EN 1364-1) och ett antal produkter som anges i konstruktionerna är märkta som Gyproc. Det antas därför att de testade konstruktionerna kan betraktas som representativa och innehar liknande prestanda som hos EN-testade produkter tillgängliga på den svenska marknaden.

Notera att det finns subtila skillnader mellan begreppen modell och scenario. Ett scenario består av en enda beskrivning av en situation som representerar en enda datapunkt vid varje jämförelse, till exempel en 300 ml behållare placerad 50 cm från en EI30-klassad vägg med förhöjd temperatur.

En modell är en beräkning (eller en kombination av olika beräkningar). Ett scenario kan representeras av en enskild modell (t.ex. FDS-modellerna 1 till 11 som alla representerar ett enda scenario), men du kan också behöva flera modeller (t.ex. FDS-modell + värmeöverföringsmodellen) för att representera ett enda scenario, där varje enskild modell kan användas för flera scenarier.

2.1 Data från publicerade brandmotståndsprovningar

De förhöjda temperaturerna som används på ytan eller ytorna baseras på data från tester publicerade av British Gypsum.
Alla brandmotståndstesterna utfördes vid The Building Test Centre i Storbritannien, och då speciellt de publicerade testerna som hänvisas till är:

- BTC 12853F: Ett brandmotståndstest på en 2,5 m hög British Gypsum Gypwall- partition klädd med ett lager av 12,5 mm Gyproc-väggskiva på Gypframe 48S50 'C' – reglar. Testet är utfört i enlighet med BS EN 1364-1:1999 (Testdatum 23:e juli 2003.).
- BTC 11831F: Ett brandmotståndstest, på en Gyproc Gypwall-partition som har Gypframe 48S50 metallreglar täckta av ett skikt med 15 mm Gyproc Fireline Board. Testet genomfördes i enlighet med BS EN 1364-1:1999 (Testdatum 30:e april 2002.).
- BTC 11172F: Ett brandmotståndstest, på en Gyproc metallregel-partition som har ett dubbelt lager av 15 mm Gyproc Wallboard. Testet genomfördes i enlighet med BS EN 1364-1: 1999 (Testdatum 11:e september 2000.).

Väggkonstruktionen för EI30 och EI60 testen kan ses i bild 2 och bild 3, skisserna är baserade på ritningar och beskrivningar från testrapporterna. I dokumentationen fanns ingen bild på konstruktionen som användes i EI90-testet, men följande beskrivning tillhandahölls, och en skiss ges i bild 4;

"Gyproc 50C50 channels were fixed to the head and the base of the test aperture at 600 mm centres with 50mm Hilti Hus fixings. Gyproc 48S50 studs were positioned at 600 mm centres between the channels. The right hand stud viewed from unexposed face was not fixed to the perimeter test frame, but the gap between the stud and the lining was filled with a 50 mm Rockwool Firebatt gasket. The left-hand stud was fixed to the test frame with 60 mm Hilti Hus fixings.
The framework was lined both sides with a double layer 15 mm Gyproc wallboard."

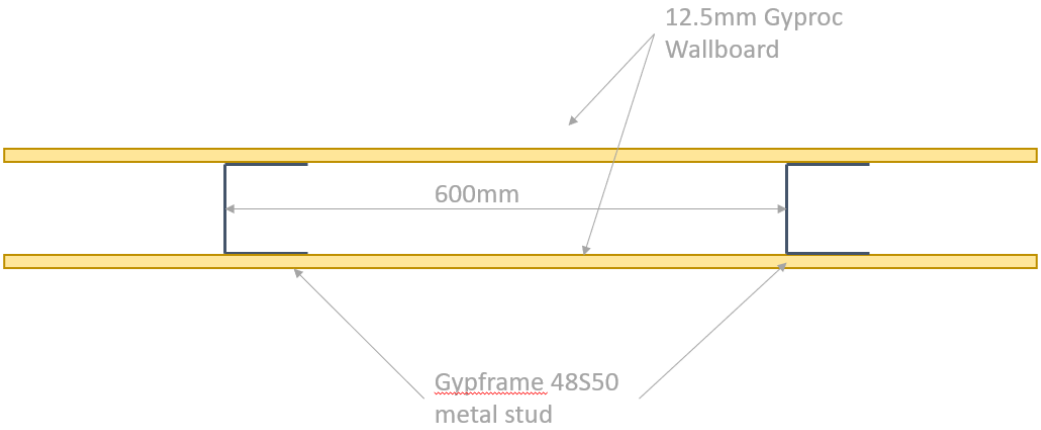


Bild 2

En av de testade konstruktionerna från British Gypsum för en EI30 vägg (skiss baserade på rapport BTC 12853F).

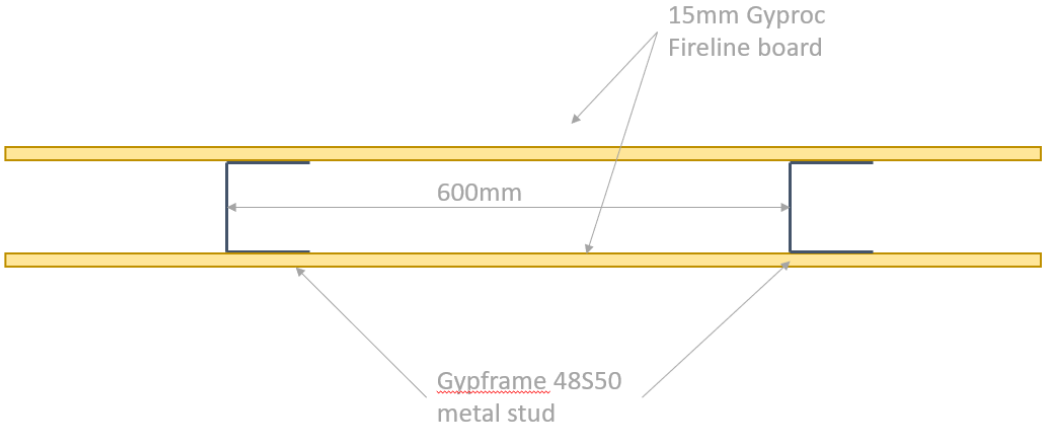


Bild 3

En av de testade konstruktionerna från British Gypsum för en EI60 vägg (skiss baserade på rapport BTC 11831F).

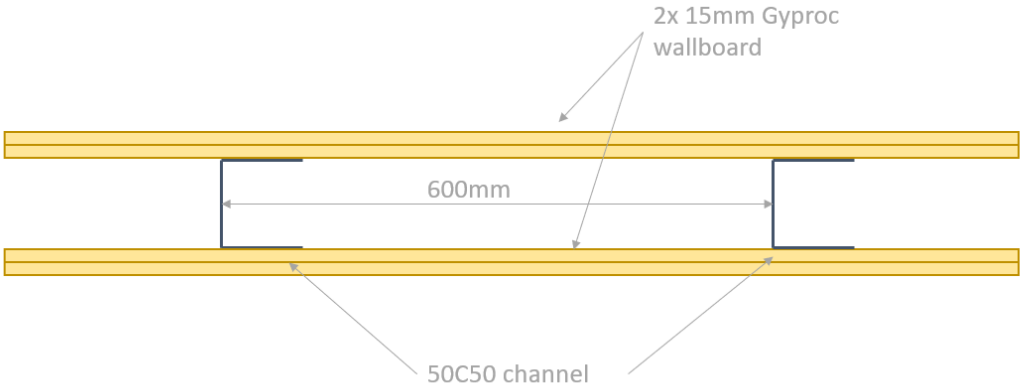


Bild 4

En skiss av EI90 konstruktionen gjord av RISE.

Medelvärdet och maxtemperaturerna på den icke-exponerade sidan för de tre testen som använts som input i FDS-modellerna visas i bild 5.

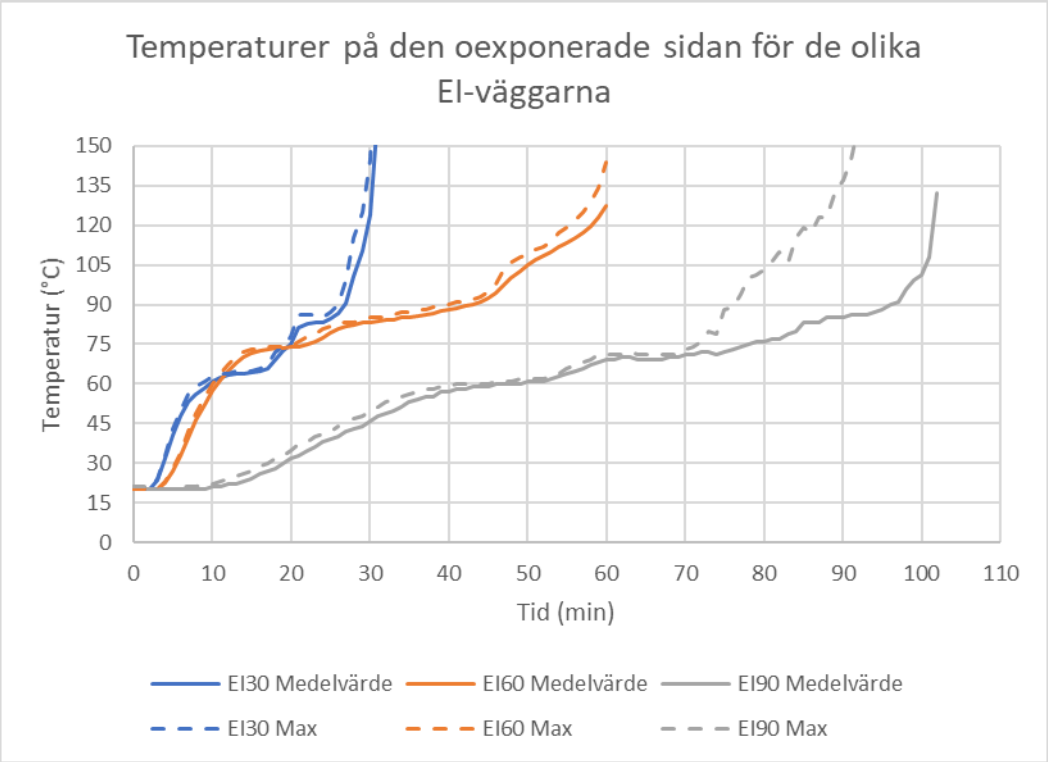


Bild 5

Uppmätta temperaturer på den icke-brandutsatta sidan som används som input till beräkningarna. Notera att det är absoluta temperaturer inte temperaturökning och att det ofta sker en brant temperaturökning vid eller strax innan kravtiden uppnås.

All data som används i den här studien kommer från konstruktioner som innehåller gipsskivor och reglar, EI-klassificering kan också uppnås för andra konstruktionstyper. EI-klassade konstruktioner kan vara allt från massiva väggar av lättbetong, betong, system med fibercementskivor, rena träkonstruktioner som är tillräckligt tjocka till lättviktssystem med gipsskivor och reglar (som vanligtvis tillverkas av stål eller trä). Hålrummet i lättviktssystem fylls ofta med isoleringsmaterial snarare än att lämna ett luftgap. Alla system som ska används som EI-klassad konstruktion i Sverige måste uppfylla lämpliga krav och test enligt standard SS-EN 1364-1: 2015 för icke-bärande väggar.

2.2 Simuleringsgeometri i FDS

För simuleringarna i den här studien beaktas två rumsgeometrier. Ett litet skåp på 0,9 x 0.9 x 0,9 m³ och ett rum på 10 m x 5 m med en takhöjd på 3 m. I FDS-modellerna anses väggarna vara en cell tjocka, eftersom det inte finns något medium i rörelse som t. ex. rök, och därför ingen konvektiv värmeöverföring genom väggarna. Väggtjockleken förväntas därför inte ha någon väsentlig påverkan på förhållandena inne i domänen och bedömningen är därför att uppvärmningen av behållarna påverkas i liten utsträckning.

Vi har inkluderat nio simuleringar för validering av antagandet för homogeniserade termiska materialdata. De här nio FDS-modellerna innehåller enskilda behållare på marken eller botten av utrymmet. I modellerna har behållarna modellerats som tomma cylindrar av 1 mm tjockt stål. Det bör emellertid noteras att fasta ämnen i FDS måste ha en tjocklek på minst en beräkningscell vilket medför att representationen av varje ”cylinder” begränsas av storleken på det kubiska beräkningsnätet och kommer att likna ett rätlinjigt objekt vad gäller extern geometri. I de fall då utrymmet är mycket större i förhållande till behållaren, kommer behållaren att modelleras som ett ihåligt objekt en beräkningscell tjock. En mycket användbar funktion i FDS är att det är möjligt att specificera fasta ämnen med en tjocklek som är mindre än storleken på en beräkningscell så bedömningen här är att även om objektet endast representeras av ett fåtal celler kommer det endast ha begränsad inverkan på den beräknade temperaturen.

Ett exempel på en FDS-geometri representerad i ”Smokeview” (Visualiseringsprogram för modeller i FDS.) [1] för en av dessa valideringsmodeller kan ses i bild 6 nedan.

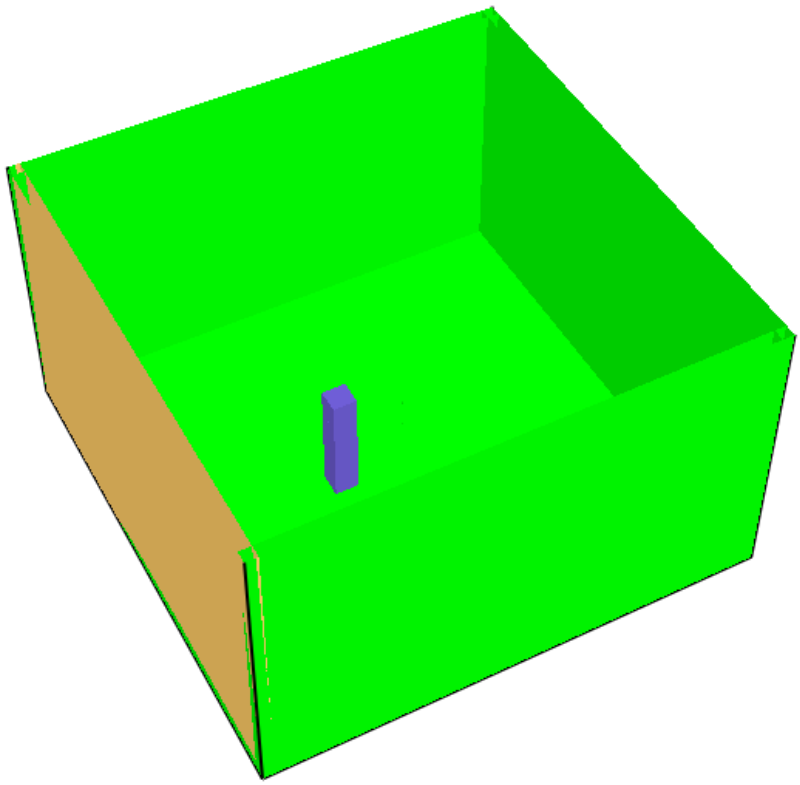


Bild 6

Geometrin för ett litet utrymme med en gasbehållare som den representeras i Smokeview.

2.3 Beräkningsnät

Ett beräkningsnät byggs upp av små celler där de två olika beräkningsnät som har utnyttjats inom denna studie är kubiska (dvs. cellstorleken den samma i x-, y- och z-riktningen). Beräkningsnätet för det mindre utrymmet har ett nät som bygger på celler med sidstorlek på 2 cm och för det större utrymmet används ett nät med 5 cm celler. En diskussion om känsligheten för simuleringsresultaten beroende på cellstorlek finns i bilaga 3.

2.4 Randvillkor

För FDS-modellerna måste randvillkoren vid randen av domänen sättas. Randvillkor för fluiddomänen och de fasta kropparna sätts på följande sätt:

- Gränserna för beräkningsnätet som beskriver luften sätts till väggytorna och har därmed hastigheten noll för luften vid ytan (no-slip randvillkor).
- Temperaturen på väggen med förhöjd temperatur är homogen (förutom i ett test med hotspots) och bestäms med en tidsberoende RAMP-funktion för temperaturen.
- Alla andra ytor har vid simuleringens start (t=0) omgivningens temperatur och värms när de utsätts för strålning och konvektion av värme som transporteras i luften från den upphettade väggen.

2.5 Materialegenskaper

Alla fasta material behöver väldefinierade termiska egenskaper i FDS-modellerna för att temperaturerna på ytan och i objekten ska kunna beräknas. Följande antaganden har gjorts för materialen som används i modellerna:

- Alla objekt förutom behållaren och dess innehåll (t.ex väggar) antas vara i lättviktsbetong med egenskaper baserade på Siporex [3]. De termiska egenskaperna är konstanta med avsikt på en liten förändring i temperaturen, där konduktiviteten är på 0,15 W/m, värmekapacitiviteten 1,0 J/kg K och densiteten på 500 kg/m^3 har använts. I och med att värmeutvecklingen i utrymmet styrs av den på väggen ansatta temperaturen och det inte är någon brand i utrymmet kommer detta att ha begränsad inverkan på resultaten.
- Stålet i behållarna eller gasbehållarna antas också ha konstanta termiska egenskaper, enlighet med det som anges i Drysdale [4]:
  - konduktivitet - 45,8 W/m
  - specifik värme - 0,46 J/kgK
  - densitet - 7850 kg/m^3
  - emissivitet - 0,95
- Den upphettade väggen antas ha en emissivitet på 0,9 vilket är realistiskt och ofta ett konservativt antagande.

2.6 Homogeniserad värmeöverföring

I de förenklade beräkningarna görs ett antagande om att behållaren och dess innehåll har en uppsättning termiska egenskaper och är alltså då homogeniserad, det kallas på engelska för Lumped Mass Heat Transfer (LMHT) där beräkningen enkelt kan utföras numeriskt i Excel. LMHT används för att kunna utvärdera effekterna av fler variabler än vad som är möjligt genom att köra en FDS-modell för varje fall på uppvärmningen i gasbehållarna. En fullständig beskrivning av beräkningen och de antaganden som gjorts för att utföra den finns i bilaga 4.

LMHT används för att undersöka variationen i uppvärmning av behållarna utifrån olika aspekter, detta inkluderar bland annat måtten på själva behållarna, som sträcker sig från små 100 ml butanbehållare till PC11-behållare som vanligtvis innehåller 11 kg LPG (Liquified Petroleum Gas, en blandning av butan och propan). Detaljerna som användes för varje behållare i denna studie kan hittas i tabell 1. Detaljerna i tabell 2 är hämtade från information om gasbehållare som är kommersiellt tillgängliga. Känsligheten för resultaten undersöks också med avseende på behållarens position, tjocklek på behållarens material (godstjockleken) och konstruktion och fyllnadsgraden på behållaren genom användning av LMHT-modellen.

Storlek	**100ml**	**200ml**	**300ml**	**400ml**	**500ml**	**0,5kg**	**PC5**	**PC10**	**P11**
Radie (m)	0,025	0,0435	0,025	0,0435	0,025	0,0435	0,1525	0,1525	0,15
Höjd (m)	0,2	0,075	0,238	0,09	0,3	0,12	0,395	0,58	0,61
Bränsletyp	Butan	Butan	Butan	Butan	Butan	Butan	LPG	LPG	LPG

Tabell 2
Storlek och typ av behållare.

På grund av antagandena i en LMHT beräkning (All massa antas vara i en enda punkt lokaliserat vid plattermoelementet.) går det inte att studera olika höjder för behållarna i en sådan jämförelse. I verkligheten har detta en inverkan på upphettningen av behållaren, som t.ex en 61 cm hög P11-gasbehållare på golvet utsätts för en ökad upphettning pga den strålning den tar emot jämfört med en 7,5 cm hög 200 ml kapsel. Det finns här ett relativt komplicerat förhållande mellan det man kallar synfaktor (Hur mycket strålning behållaren ser.) och förhållandet mellan yta och volym som är något olika för de olika flaskmodellerna.

3. Resultat och analys

En sammanställning av rådata för temperaturberäkningar från alla FDS-modeller och homogeniserade värmeöverföringsmodeller finns i bilaga 6. Vissa specifika sammanfattade resultat, jämförelser och analyser ges nedan.

3.1 Verifiering av den homogeniserade värmeöverföringsberäkningen

För att möjliggöra en verifiering av att antagandena som gjorts för en homogeniserad värmeöverföringsberäkning eller (LMHT) beräkning ger rimliga resultat, har en serie jämförelser gjorts mellan resultat från modellering av behållarna i FDS (tomma behållare), och en LMHT beräkning. Detaljerade jämförelser mellan LMHT beräkningarna och motsvarande resultat från en FDS-modell av behållarna på olika positioner kan ses i bild 8 och bild 9 (i dessa Bilder avser gasbehållare_F_T temperaturen för FDS-modellen högst upp på framsidan mot den upphettade väggen av behållaren
och gasbehållare_B_B basen på baksidan (mot den kalla väggen, ses i bild 7) medan de andra resultaten är från beräkningar som utförs med hjälp av LMHT-metoden med olika nivåer på fyllnadsgrad). Ytterligare jämförelser för andra fall kan också ses i bild 10.

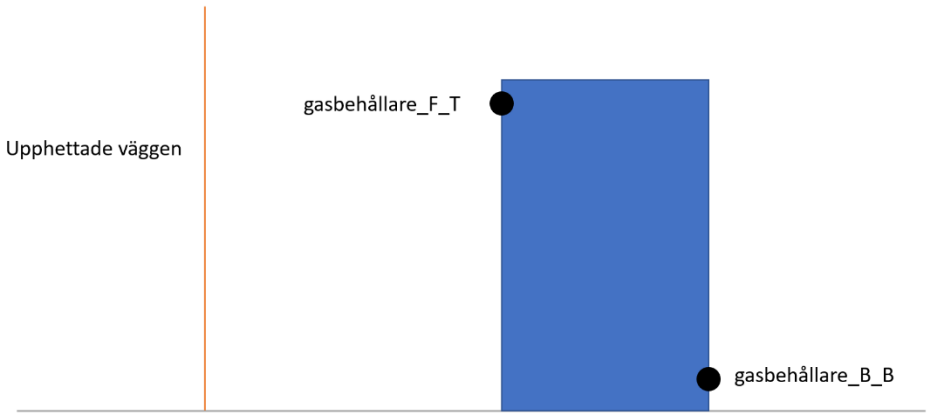


Bild 7
Skiss som visar positionerna för gasbehållare_F_T och gasbehållare_B_B.

Från dessa jämförelser kan man se att LMHT-beräkningarna ger resultat som är konservativa, och i samma storleksordning som FDS-resultaten. LMHT metoden kan därför anses ge rimliga resultat som ger en bra grund för analys och som kan användas för att studera påverkan av de andra variablerna i denna studie.
Det bör noteras att FDS-modellerna uppvisar en större variation i de beräknade temperaturerna än LMHT-modellerna. Det här beror troligtvis på att behållaren utsätts för mer strålning när behållaren placeras högre upp i

utrymmet och de olika behållarna placeras på golvet i FDS-modellerna vilket betyder att exponeringen är olika med avseende på strålning och konvektion. LMHT-modellerna använder exponeringen på en enda höjd för alla olika storlekar på behållare och därför påverkar endast deras termiska egenskaper sluttemperaturen men temperaturen påverkas inte av den mottagna strålningen. En analys av resultaten som påvisar effekten av variationen i exponering vid olika höjder återfinns nedan. Behållarnas temperaturer från FDS-modellen bestäms genom yttemperaturen vid en enda punkt.

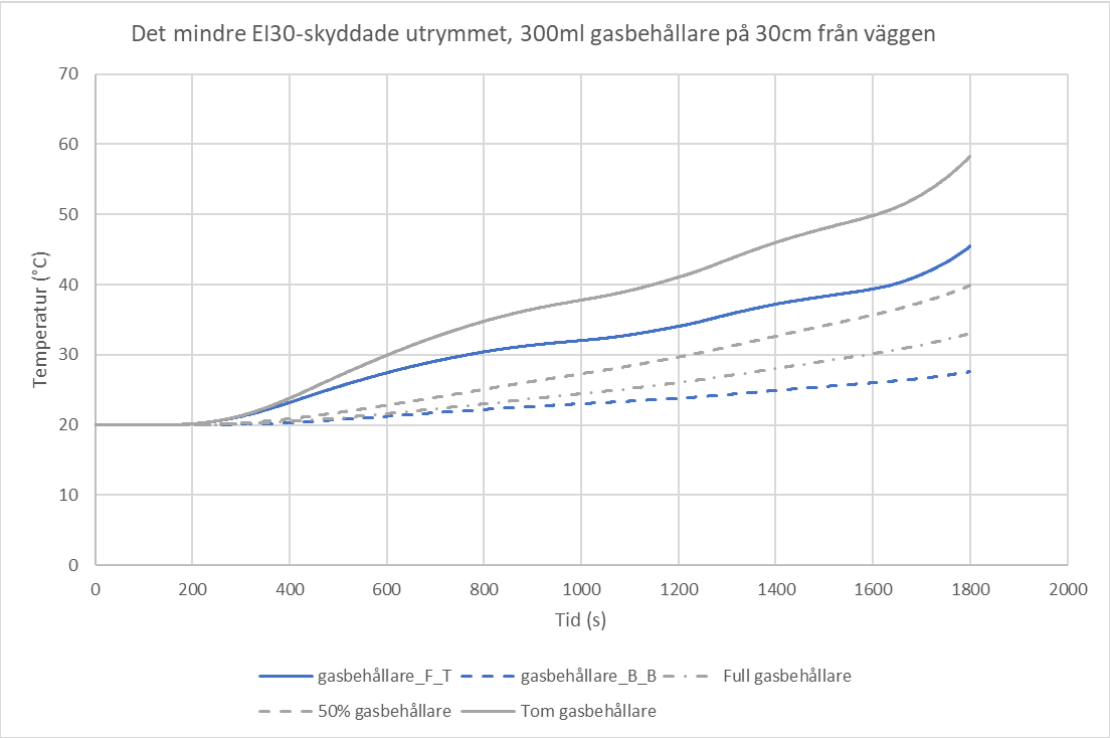


Bild 8

Jämförelse mellan beräknade yttemperaturer från FDS (blå kurvor) och homogeniserade temperaturer från LMHT (grå kurvor) modellen för en 300ml behållare i det mindre utrymmet som skyddas av EI30 väggar.

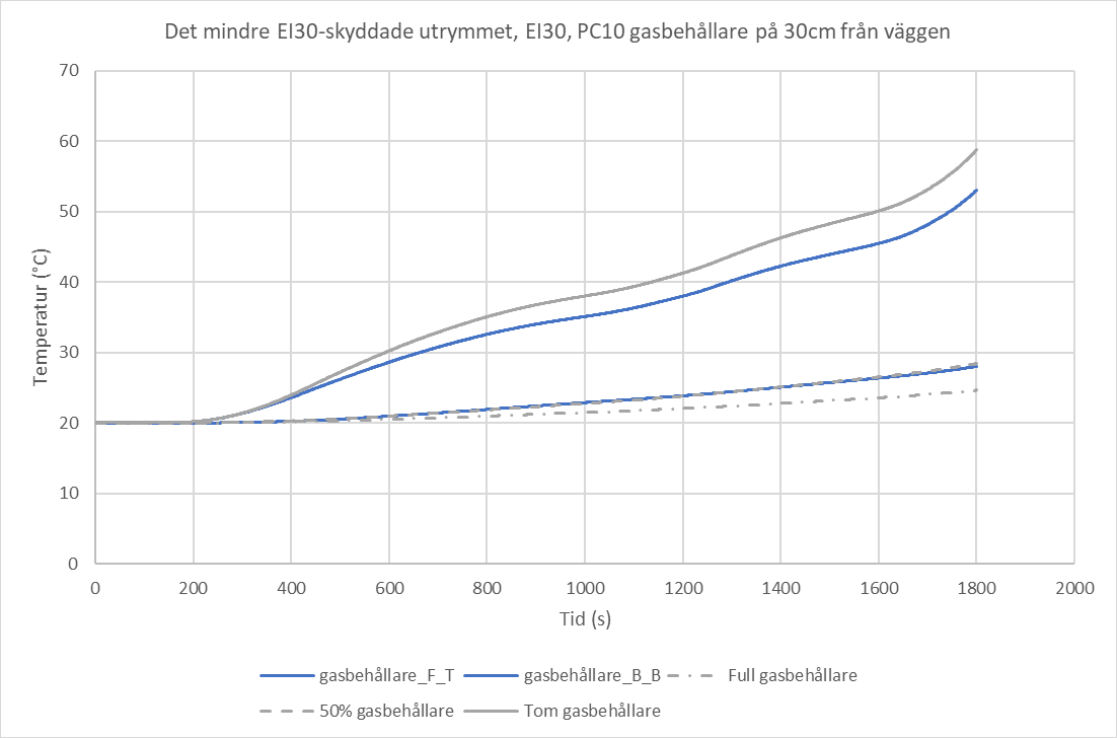


Bild 9

Jämförelse mellan beräknade temperaturer från FDS (blå kurvor) and LMHT (grå kurvor) resultat för en PC10 behållare i det mindre utrymmet som skyddas av EI30 väggar.

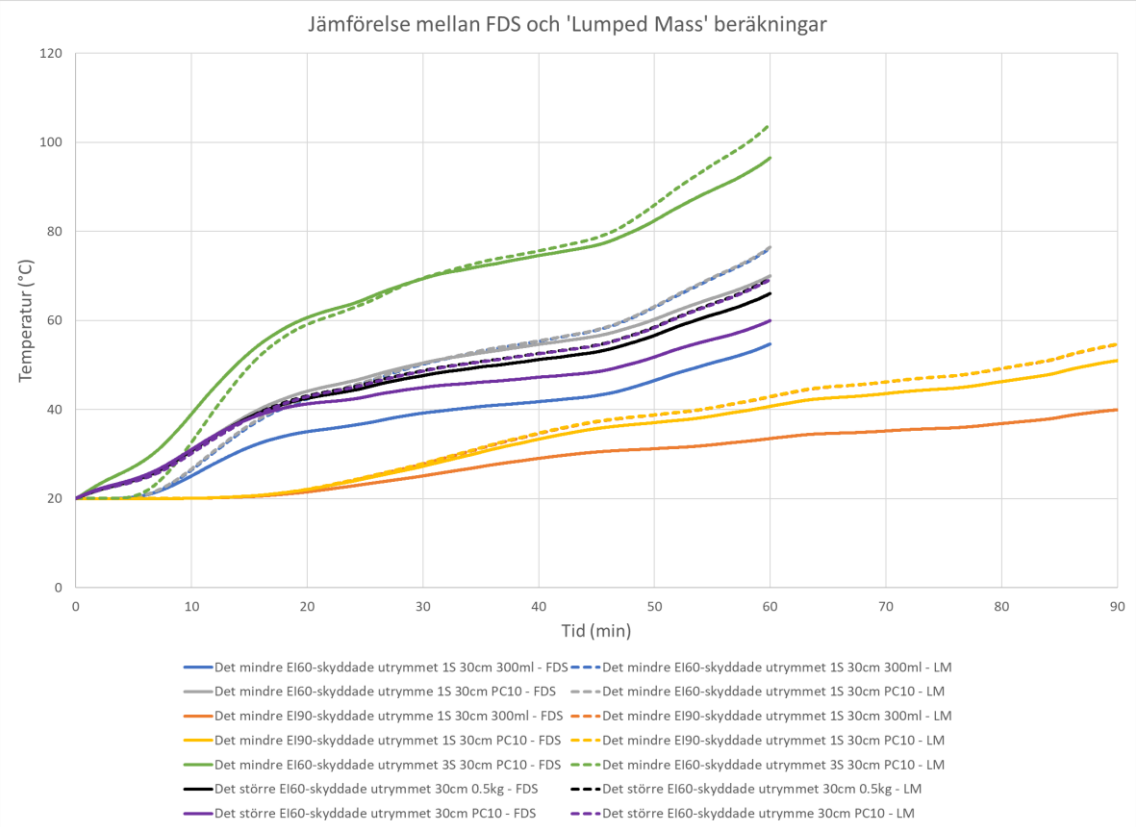


Bild 10

En sammanställning av jämförelser mellan beräknade temperaturer från FDS (heldragna) and LMHT modeller(streckade). Jämför med resultaten i bilderna 8, 9 och 11.

3.2 Effekten av olika brandmotståndskonstruktioner

Påverkan av väggens konstruktion, och därmed temperaturen på väggen med förhöjd temperatur, kan ha ett betydande inflytande på temperaturen på behållare i utrymmet. Effekten av olika konstruktioner illustreras bland annat i bild 11 och bild 12. Bild 11 visar var maxtemperaturerna för olika behållare P11 och 500 ml i det mindre utrymmet med EI30, EI60 och EI90 utrymmet återfinns i bild 11 (*detta är också märkbart för andra typer av behållare och olika konstruktioner*). Det finns emellertid inget tydligt samband mellan skyddsnivån eller vilken typ av brandmotståndsklass och de slutliga maxtemperaturerna, vilket blir väldigt tydligt då EI90-konstruktionen ger de lägsta temperaturerna och EI60 den högsta, när det ställs i förhållande till deras maxtid (till ex. EI 30 med 30 minuter). Exempel på tid-temperaturutveckling för gasbehållarna vid placering bakom en EI-avskiljande vägg med ett visst avstånd kan ses i bild 12. Från bilden är det tydligt att konstruktionerna har optimerats för de individuella tidsgränserna, vilket syns i temperaturutvecklingen. Vid 30 minuter är den EI30-skyddade gasbehållaren hetast (Strax innan konstruktionen inte längre kan upprätthålla sin funktion men den skulle också vara den hetaste efter 30 minuter vid fortsatt mätning.), och motsvarande behållare skyddad av en EI90-konstruktion är svalast under hela förloppet. Som jämförelse, i ett tidigt skede av brandtestet är den EI60-skyddade behållaren den hetaste, vilket visar att före konstruktionen inte längre upprätthåller sin funktion finns det ingen garanti för att en konstruktion med högre klass ger bättre skydd. Olika tid-temperaturutvecklingar på konstruktionens oexponerade sidan tillåts så länge temperaturerna håller sig under de tillåtna värdena. De temperaturer som varje behållare exponeras för kommer att vara mycket starkt beroende av hur konstruktionen uppför sig under provet. Det är också värt att notera att många EI-klassade avskiljningar är ofta konstruerade för att precis uppnå den givna klassningen, vilket också indikerades i alla de testrapporter av de olika konstruktionerna som granskades i den här studien. Det noterades mer specifikt att de temperaturer som används som indata till den här studien uppvisade snabba temperaturökningar strax före eller efter deras nominella tidsperiod för de olika konstruktionerna. Det är alltså vanligt att konstruktionen inte upprätthåller sin funktion strax efter brandmotståndstiden.

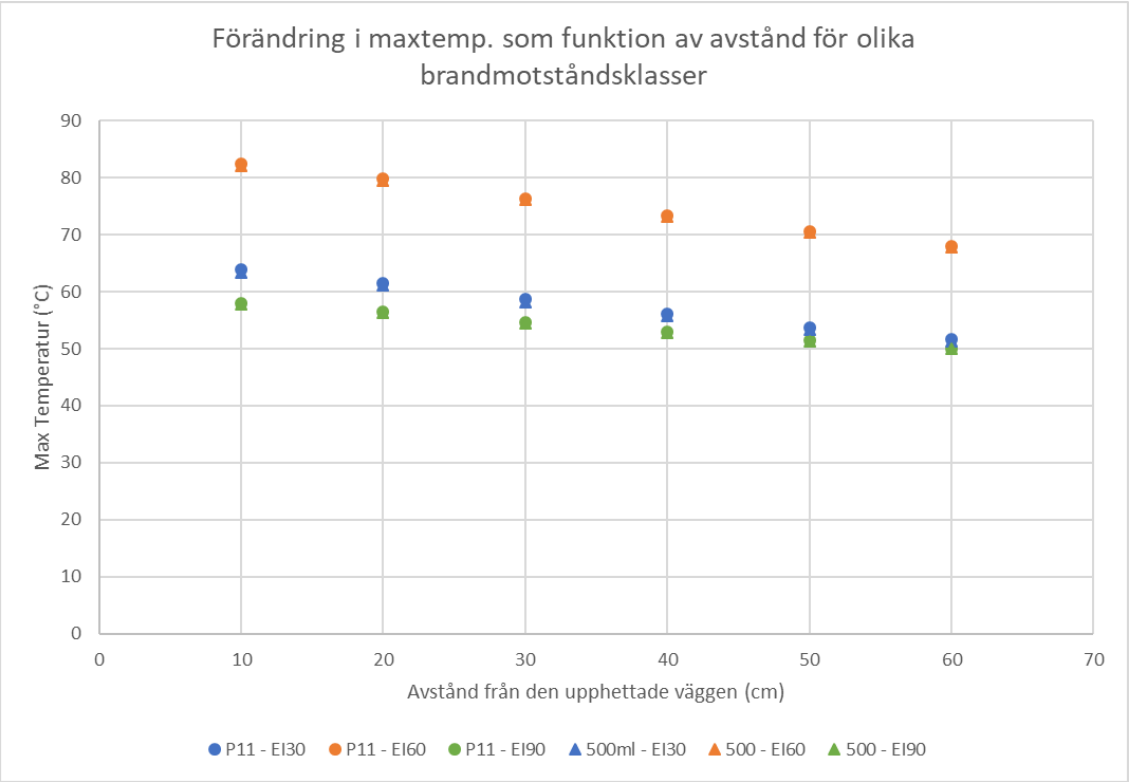


Bild 11

Maxtemperaturens variation som funktion av avstånd från väggen för de tre olika konstruktionerna, blå representerar brandmotståndklass EI30, orange EI60 och grön EI90.

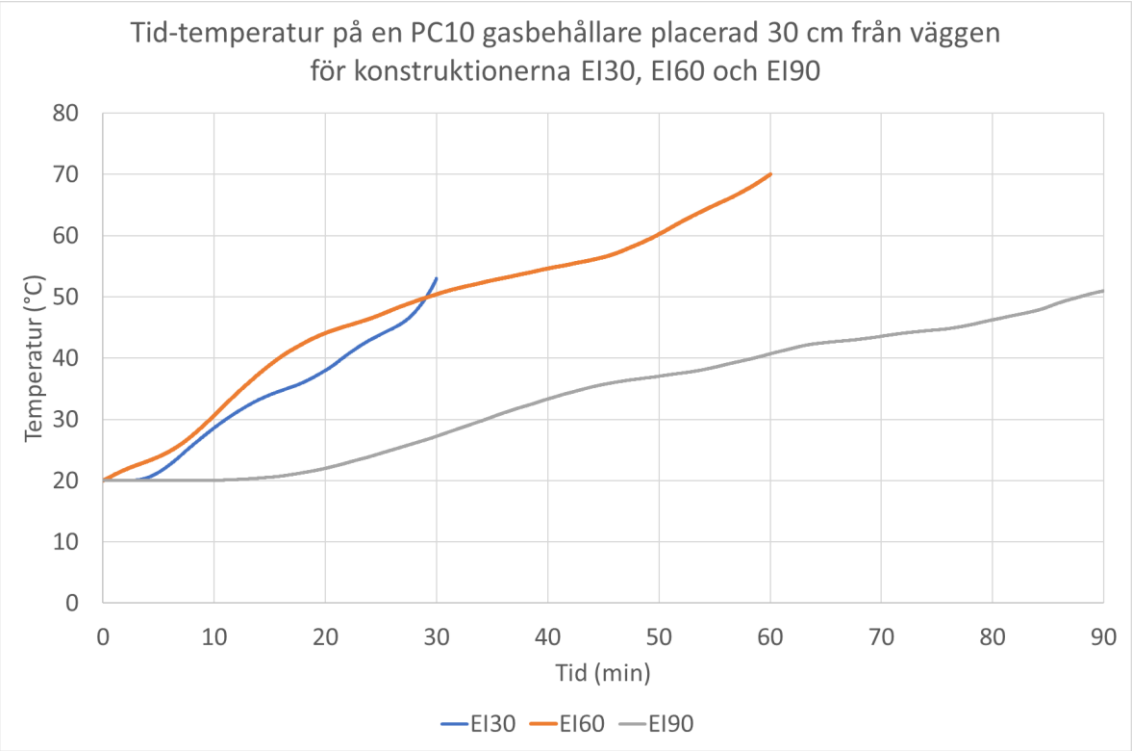


Bild 12

Exempel på tid-temperaturutveckling för gasbehållare placerade på samma plats (30 cm från väggen) för de olika konstruktionerna. Observera att alla tre konstruktionerna inte upprätthåller sin funktion strax efter den föreskrivna tiden.

3.3 Effekten av behållarnas konstruktion och innehåll

Behållarens konstruktion, i termer av material, form och total dimension kommer att ha betydelse för den beräknade temperaturen hos behållarna vid upphettningen. Godskonstruktionen för behållaren kommer också att inverka, men det bedöms ligga utanför ramen på den här studien.
Som vi diskuterat tidigare kommer formen och storleken på behållaren påverka behållarens temperatur. När förhållandet mellan arean och volymen förändras (när den är tom) och när volymen bränsle ändras (fyllnadsgraden) påverkar det hur behållaren värms upp. Som framgår av bild 13 minskar inte maxtemperaturen på en tom behållare med storleken (intern volym) utan fluktuerar lätt för de olika storlekarna. Detta indikerar att den yta som exponeras har större påverkan än behållarnas massa och tjocklek.

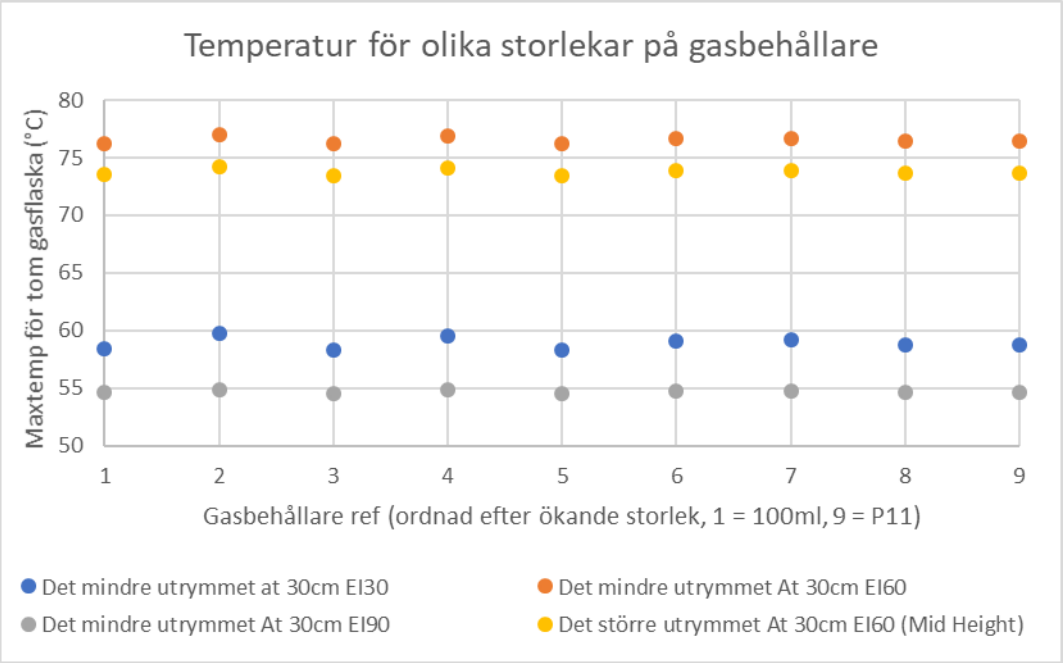


Bild 13

Temperatur för tomma behållare som funktion av storlek på behållare.

Det finns betydande effekter av volymen när behållarna innehåller bränsle, vilket visas i bild 14. Det bör också noteras att effekterna av det varierande förhållandet mellan area och volym också återfinns här, men effekten av den ökade massan på grund av bränslet dominerar. Det illustreras av minskningen av maxtemperaturerna, från över 70 °C för alla storlekar till 60 °C för den minsta (100 ml) behållaren och 30 °C för den största (P11) behållarna.

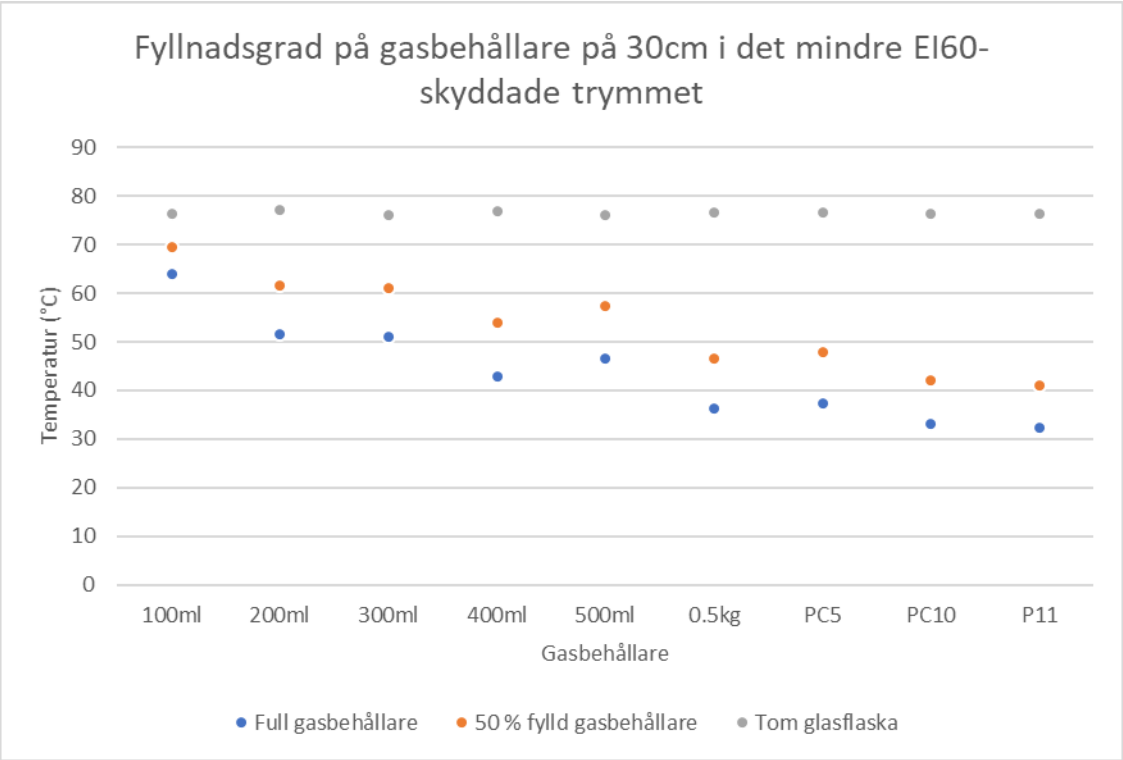


Bild 14

Maxtemperaturernas variation efter 60 minuter som funktion av fyllnadsgrad och storlek på behållare placerade 30 cm från väggen i ett litet utrymme som är EI60-klassat.

Materialtypen och godstjockleken kommer påverka hur behållarna värms upp. Större godstjocklek kräver mer energi för att värmas upp, på samma sätt som för material med högre värmekapacitivitet kommer att värmas upp i en långsammare takt. Det framgår dock tydligt från bild 15 att variationen på grund av konstruktionstypen är försumbar jämfört med fyllnadsnivån och den är också liten i jämförelse med vilket avstånd behållaren är placerad från väggen.

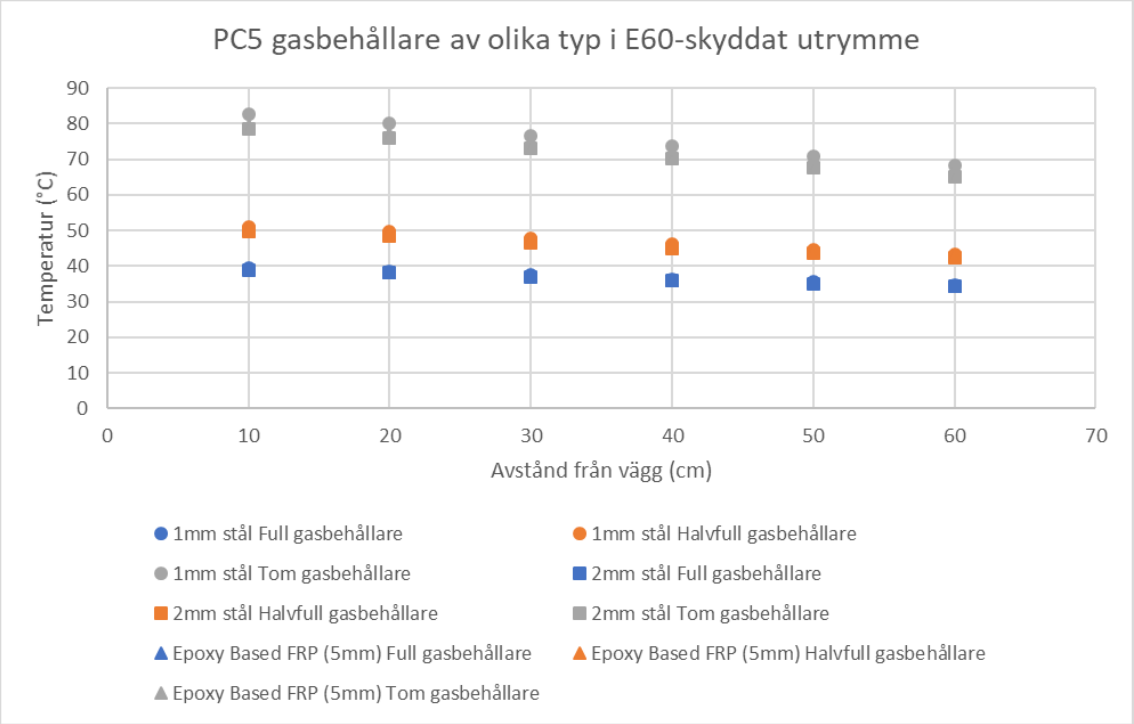


Bild 15

Variation av maximal temperatur med kapselkonstruktion, avstånd från vägg och bränslenivåer.

3.4 Effekten av behållarnas avstånd från väggen

Ett objekts mottagna värmestrålning minskar med avståndet och därför förväntas behållare som står längre från väggen med förhöjd temperatur uppnå en lägre maxtemperatur. Till exempel avtar strålningen från en punktkälla som omvänt proportionellt mot avståndet i kvadrat. För en hel vägg där objektet står relativt nära är inte den effekten lika stark, men effekten av en avtagande exponering är tydlig för maxtemperaturerna när avståndet ökar från den uppvärmda väggen. Resultat för behållare i det mindre EI30-skyddade utrymmet visar tydligt den här effekten för tomma behållare i bild 16 och för fullt fyllda behållare i bild 17.

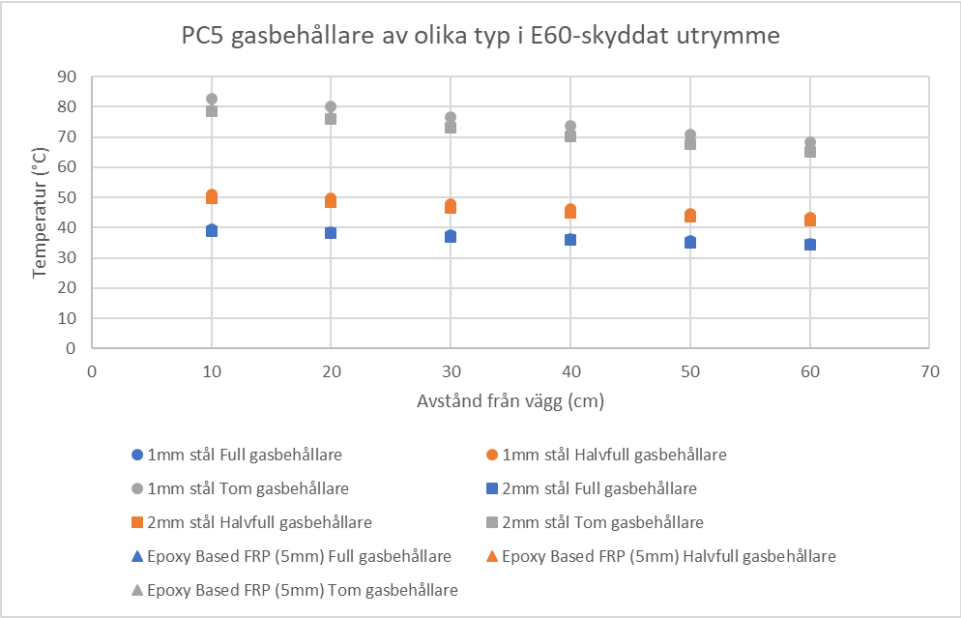


Bild 16

Maxtemperaturer för tomma behållare som funktion av avståndet från väggen med förhöjd temperatur i ett EI30-skyddat utrymme.

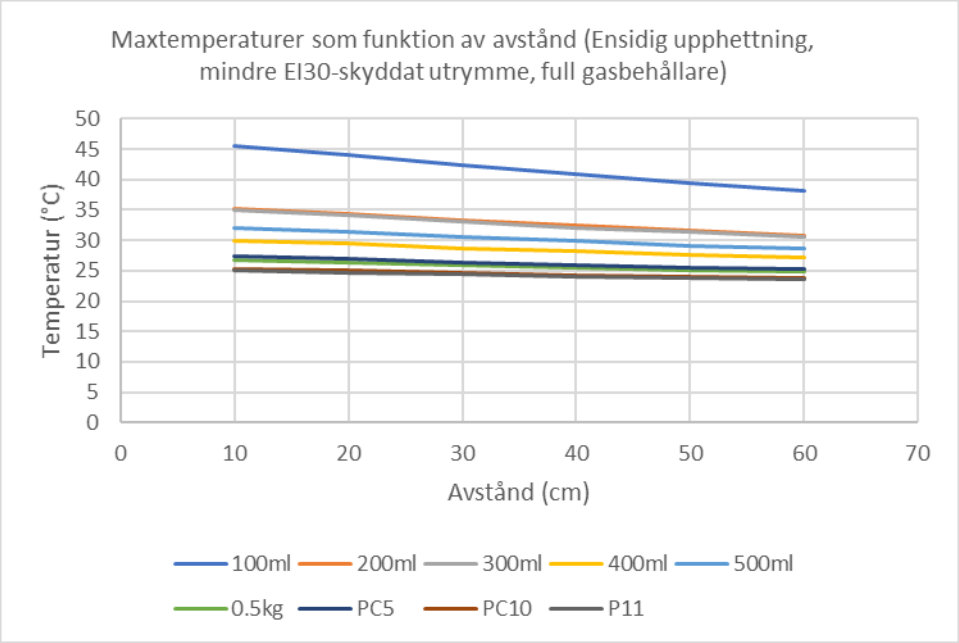


Bild 17

Maxtemperaturer för fullt fyllda behållare som funktion av avståndet från väggen med förhöjd temperatur i ett EI30-skyddat utrymme.

3.5 Effekten av placering på olika höjd i utrymmet

Varmare gaser stiger naturligt i ett utrymme på grund av lyftkraft vilket betyder att det ansamlas varmare luft vid taket på utrymmet, därför är det intressant att studera hur behållare som står på en hylla med en viss höjd från marken påverkas av en annan exponering. Det är viktigt att notera att det blir större differentiering av temperaturerna i det större utrymmet, därför kommer det

vara större skillnad mellan exponering på de behållare som står på golvet än de som förvaras närmare taket (t.ex. en behållare på en hylla) i det utrymmet. Effekten av höjden från golvet har beräknats för både fulla och tomma behållare och resultaten visar en märkbar skillnad i de beräknade maxtemperaturerna, vilket visas i bild 18 och bild 19.

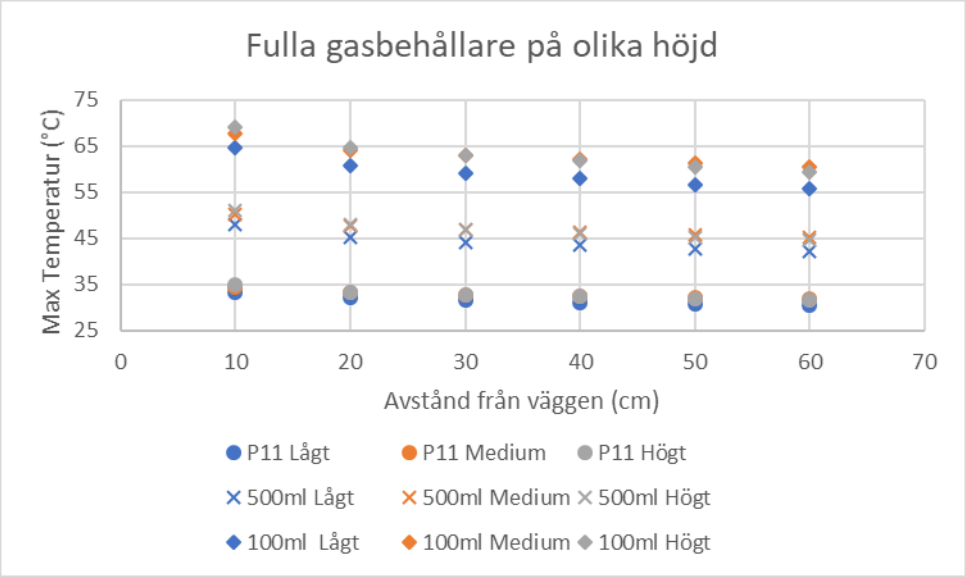


Bild 18

Maxtemperatur för fullt fyllda behållare på olika höjd från marken där, lågt är 0,5 m, medium är 1,5 m och högt är 2,5 m från marken.

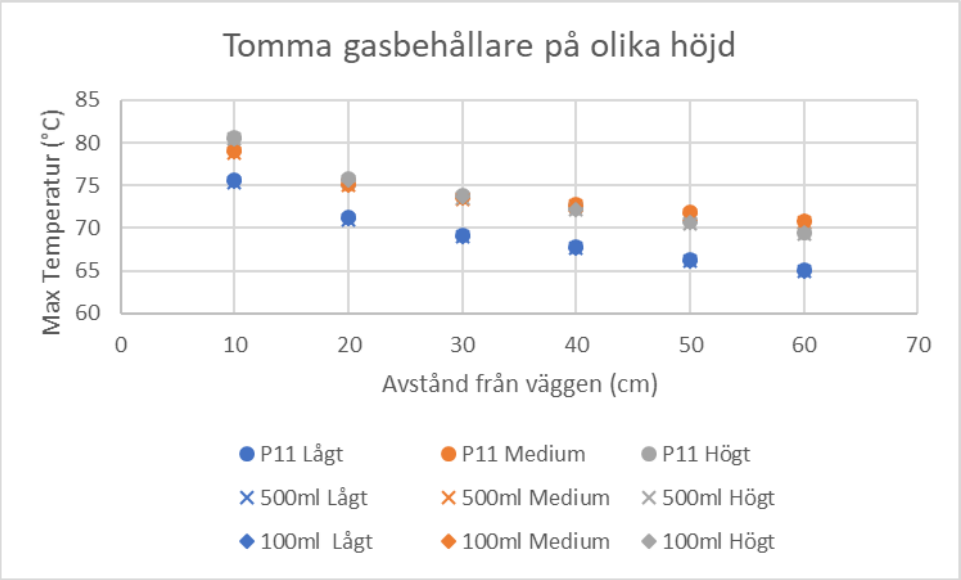


Bild 19

Maxtemperatur för fullt fyllda behållare på olika höjd från marken där, lågt är 0,5 m, medium är 1,5 m och högt är 2,5 m från marken.

3.6 Effekten av hotspots på väggen med förhöjd temperatur

Brandmotståndskonstruktioner är i verkligheten inte perfekta och det kommer ofta visa sig att det finns svaga punkter där en "hot spot" kan uppstå i en brandsituation. Effekten på exponeringen från dessa svaga punkter kan undersökas genom att ytterligare hotspots har införts i FDS-modellerna, se bild 20. Temperaturerna på dessa hotspots följer de uppmätta maxtemperaturer från EN 1364-1- tester [2] medan resten av väggen följer medeltemperaturerna. Fem stycken hotspots om 8 cm² infördes i modellen, en i mitten och fyra i hörnen med 8 cm avstånd från varje sida enligt bild 19.

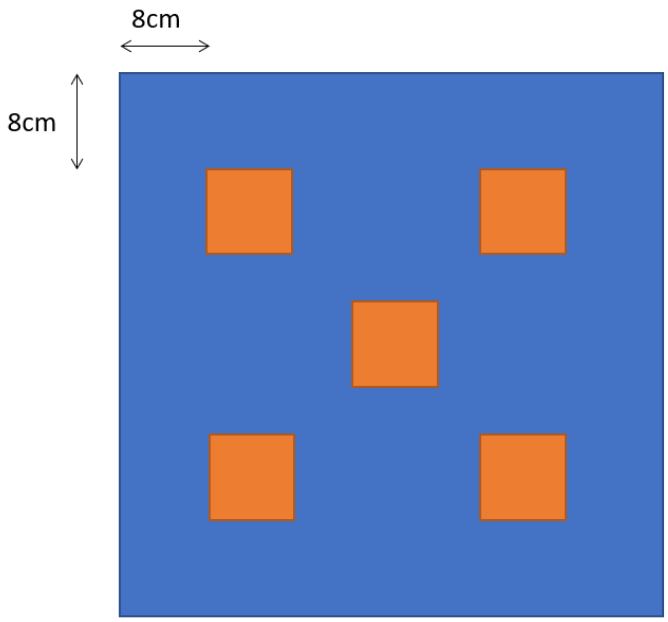


Bild 20

Placering av hotspots på väggen med förhöjd temperatur.

Resultaten från modellen med hotspots visas i bild 21 och 22 och det indikeras att dessa hotspots har en mycket liten effekt på de slutliga temperaturerna, med en ökning på omkring 1°C för de tomma behållarna.

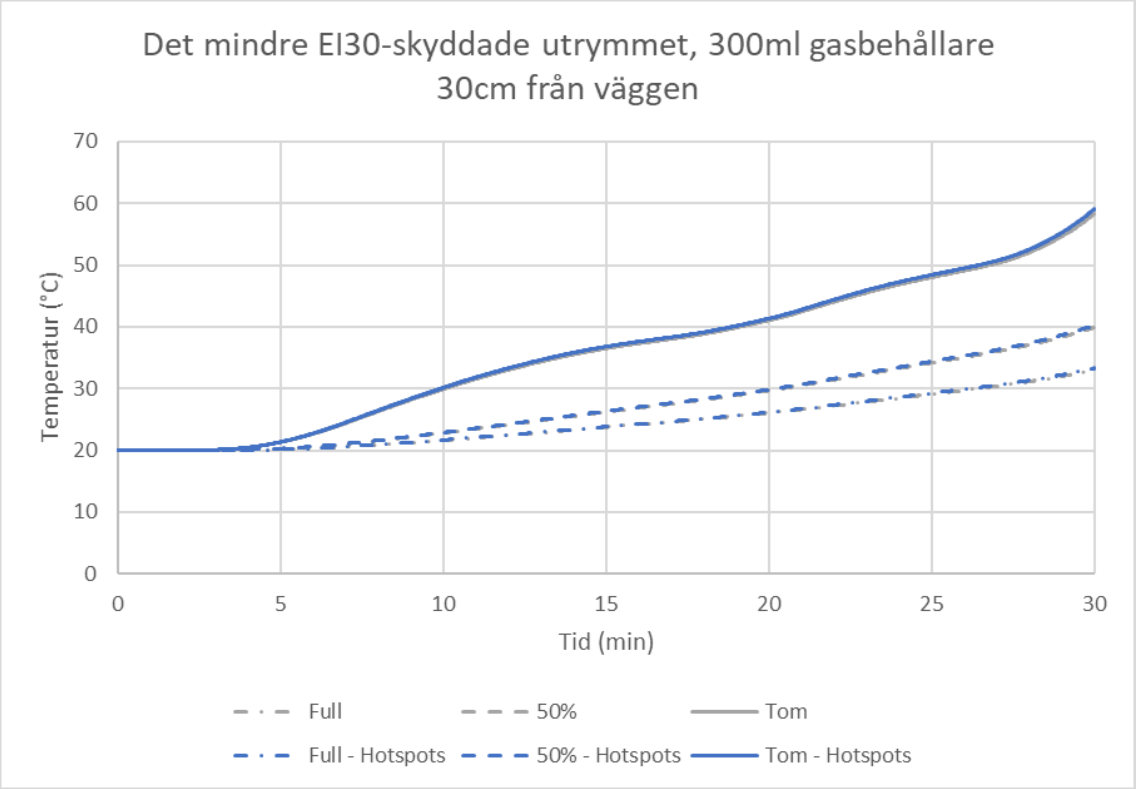


Bild 21

Jämförelse mellan uppvärmningen av för en 100 ml behållare, med och utan hotspots i ett EI30-skyddat utrymme.

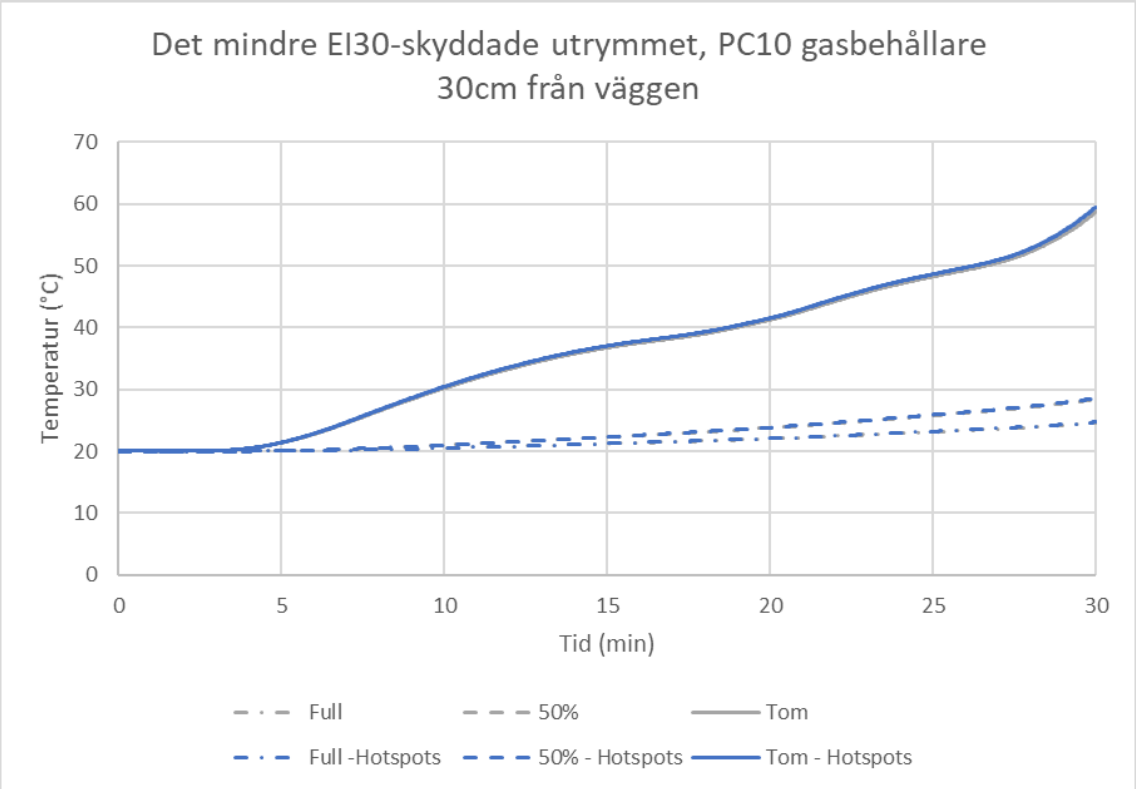


Bild 22

Jämförelse mellan uppvärmningen av för en PC 10 behållare, med och utan hotspots i ett EI30-skyddat utrymme.

3.7 Påverkan av upphettning från flera sidor

I det här avsnittet studerar vi effekterna av ökad exponering på behållarna genom att införa förhöjda temperaturer på flera väggar samtidigt. Ett scenario liknade det här blir relevant då behållarna finns i ett skåp eller för ett mindre skyddat utrymme i ett större rum eller där de är i hörnet av ett rum, enligt bild 23.

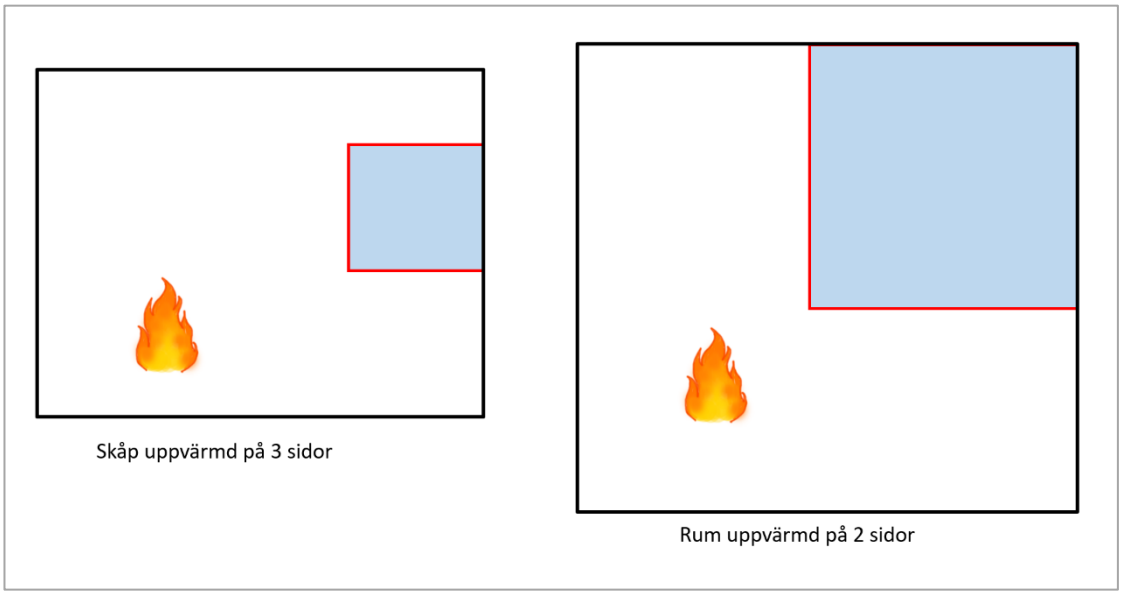


Bild 23

Enkla scenarier där upphettning från flera sidor är relevant.

Bild 24 påvisar ökade maxtemperaturer i fallet med upphettning från tre sidor för alla storlekarna (Behållarna placeras 30 cm från främre väggen.). Exponering från flera sidor har stor inverkan på de beräknade maxtemperaturerna, både på tomma och fyllda behållare med en temperaturökning på ca. 30 °C för tomma behållare och mellan 15 °C (P11) och 30 °C (100 ml) för fyllda behållare.

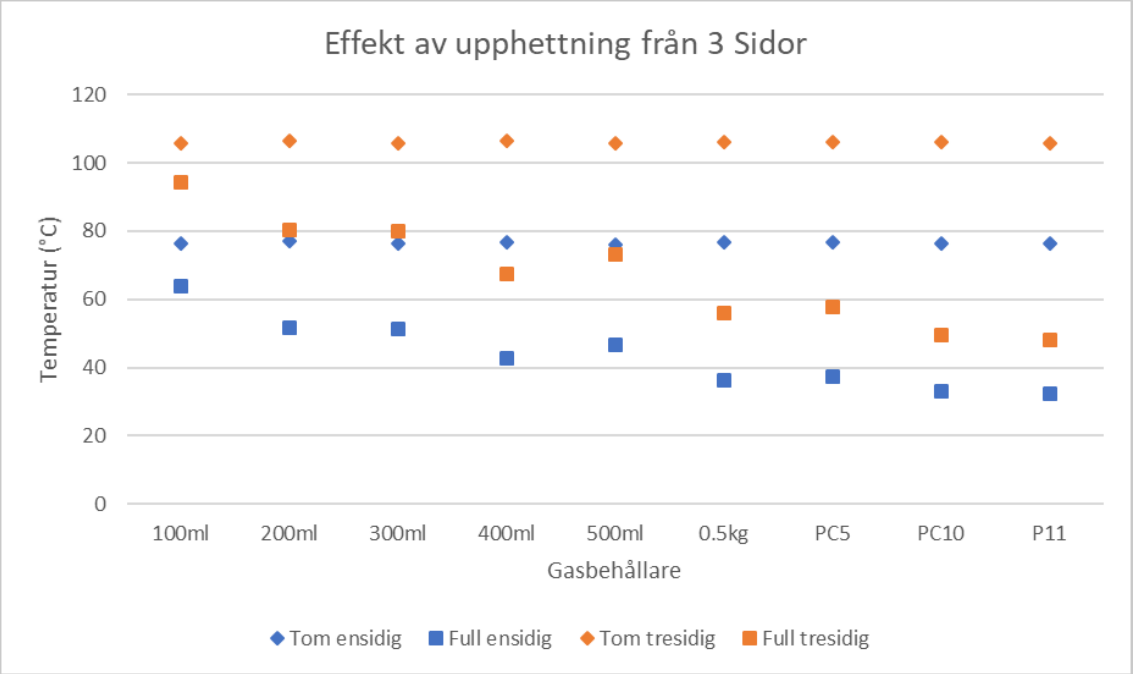


Bild 24

En jämförelse av maxtemperaturerna för tomma och fyllda behållare i ett utrymme som har en eller tre väggar med förhöjd temperatur. Behållarna är placerade på golvet längs mittlinjen (höger till vänster) med ett avstånd till den främre väggen på 30 cm.

Ökningen i maxtemperatur i fallet med upphettning från två sidor för tomma 0,5kg och PC10 behållare som modelleras i FDS visas i bild 25. Exponeringen av flera sidor har betydande påverkan på de beräknade maxtemperaturerna. Beräkningarna visar att en temperaturökning på ca 30 °C för den mindre behållaren och något mindre för den större PC10-behållaren. Beräkningarna visar också att effekten av dubbelsidig upphettning för det större utrymmet är mindre än tresidig upphettning av det stora utrymmet.

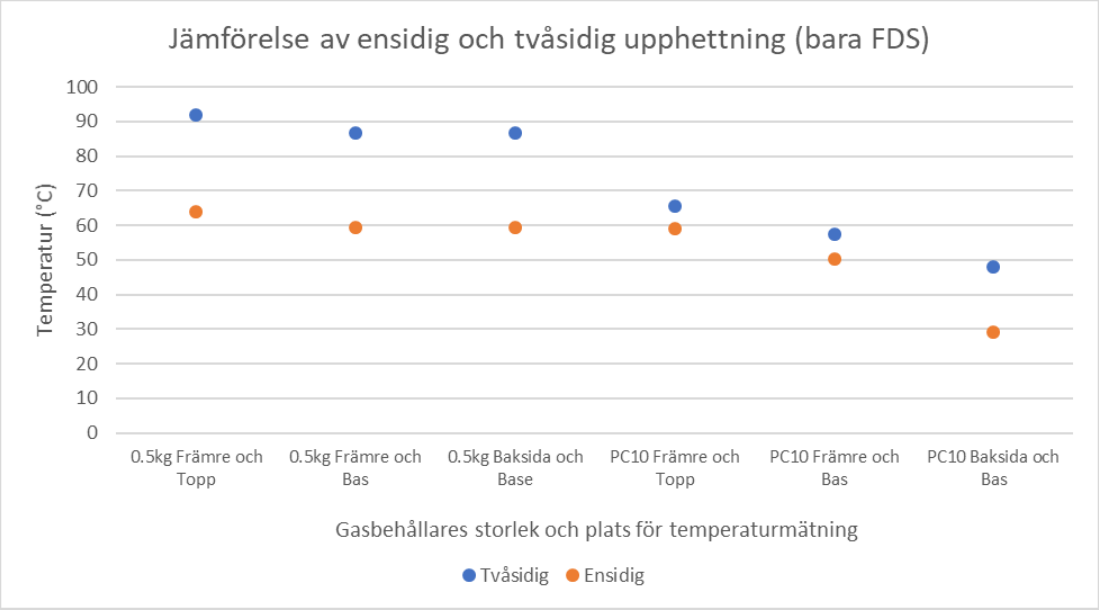


Bild 25

En jämförelse mellan de beräknade temperaturerna från FDS modeller med en 0.5kg and PC10 behållare som upphettas från en och två sidor. Behållarnas placering är i hörnet, 30 cm från båda väggarna med förhöjd temperatur.

4. Diskussion och rekommendationer

Rapporten beskriver en studie där behållare (innehållande butan eller propan påverkas av yttre upphettning i ett utrymme som är brandmotståndsklassat. Studien bygger på indata (i form av uppmätta temperaturer) från brandmotståndsprovningar som används för att simulera omgivningen och de temperaturer som behållare i det skyddade utrymmet uppnår med hjälp av FDS och beräkning av flasktemperaturer med en förenklad modell (Lumped Mass Heat Transfer - LMHT) där behållarna betraktas som homogena objekt. Den förenklade modellen LMHT används för att studera vilken inverkan olika variationer (rumsstorlek, avstånd, behållartyp och fyllnadsgrad) har på de temperaturer som en behållare kan uppnå. Studien omfattar effekterna olika brandmotståndsklasser har på utrymmet så som EI30, EI60 och EI90, storleken på behållaren (från 100 ml till P11 behållare), godstjockleken på behållaren och behållarens position i utrymmet. De grundläggarna frågorna som besvarats är hur uppvärmningen av behållare påverkas placerade med olika avstånd från den skyddande konstruktionen (se bilderna 16 och 17), vidare finns det jämförelser mellan de olika utrymmena (se bild 13 och jämför bild 17 och 18). Det finns tillfällen då temperaturerna på behållarna kan bli högre än de rekommenderade och vi ger här nedan några rekommendationer för att minimera dessa risker.
Det visar sig att de faktorer som kan ha stor inverkan på behållarnas maxtemperaturer i samma storlek på utrymme är:

- Mängden bränsle i behållaren, tomma behållare visade sig ha maxtemperaturer som är upp till 40 °C högre än för fyllda behållare medan en behållare som endast är fylld till 50% får bara 5-10°C högre temperatur.
- Storleken på behållarna, mindre behållare var i allmänhet varmare än större behållare, även om förhållandet mellan area, volym och synfaktor (Hur mycket strålning behållaren ser.) också har en inverkan. Detta är inte ett enkelt förhållande.
- Placering i utrymmet;
  - eftersom strålningsintensiteten minskar med avståndet för behållarna, så blir behållare nära den varma väggen varmare än de längre bort,
  - uppvärmning av luften ifrån väggen får den heta luften att stiga upp till taket, och den övre delen av utrymmet har en högre temperatur än golvet. Detta gör att kapslar placerade högre upp (t.ex. på en hylla längre upp) blir varmare än de som placeras på golvet. Notera att en avlång (hög behållare kommer på liknande sätt troligen att bli varmare än en kortare/lägre med samma volym.

Utifrån påverkan från de olika faktorerna som beskrivits ovan kan det rekommenderas att gasbehållare, där det är möjligt, förvaras på lågt placerade i utrymmet (större behållare tål bättre en större värmepåverkan men det finns

andra risker förknippade med att lagra tunga föremål högre upp). För att minska risken för att en behållare orsakar att den avskiljningen mellan brandcellsgränser som finns bryts av ett tidigt fel skulle man kunna överväga ett krav på att tomma behållare inte får placeras närmre än 50 cm från utrymmets brandcellsgräns.

När det gäller konstruktionen av utrymmet kan det konstateras att även om brandmotståndsreglerna har en betydande inverkan på de möjliga temperaturerna som kan uppkomma i utrymmet, så återfinns en ganska stor variation på de maxtemperaturer som väggarna kan uppnå. Detta indikerar att prestandan för alla brandmotståndskonstruktioner är starkt beroende av den exakta konstruktionen som används, och att slutsatser som omfattar alla olika konstruktioner med en specifik klass kan vara svåra att göra. Det som däremot var klart är att de hotspots som kan tillåtas enligt testmetoden EN 1364-1 har mycket begränsad inverkan på behållarnas temperaturer.
Slutligen, om branden sprider sig och påverkar flera sidor på det skyddande utrymmet så kan det ha stor inverkan på behållarnas temperaturer. För fall där både dubbelsidig och tresidig upphettning får förekomma så fann man vid 30 cm från väggarna en temperaturökning på 30 °C för tomma behållare.

5. Referenser

[1] McGrattan, K., McDermott, R. Hostikka, S. Floyd, J., Fire Dynamics Simulator (Version 6) – user's guide. NIST Special Publication 2020.

[2] EN 1364-1:1999 Fire resistance tests for non-loadbearing elements - Part 1: Walls

[3] Sundström B., and Wickström, U., FIRE: FULL SCALE TESTS CALIBRATION OF TEST ROOM - PART I, Technical Report SP- RAPP 1981:48.

[4] Drysdale, D., An Introduction to Fire Dynamics, Third Edition, John Wiley & Sons, Ltd 2011.

[5] Wickström, U., Anderson, J., Sjöström, J., 2019. Fire and Materials, Vol 43, pp 51-56.

[6] Wickström, U., Duthinh, D., McGrattan, K. B., 2007. Adiabatic Surface Temperature for Calculating Heat Transfer to Fire Exposed Structures, Interflam 2007 (Interflam '07) International Interflam Conference 11th Proceedings September 3-5.

Bilaga 1: Modellista

Tabell 3 nedan innehåller modellmatrisen för de FDS-modeller som används för att representera ett enda scenario. I varje modell var behållarens framsida 30 cm från den uppvärmda väggen.

Model Num.	Rumsgeometri		EI konstruktion	Gasbehållare	Värme på
	Rum	Litet skåp			
1		●	EI30	300ml	1 sida
2		●	EI30	PC10	1 sida
3		●	EI60	300ml	1 sida
4		●	EI60	PC10	1 sida
5		●	EI90	300ml	1 sida
6		●	EI90	PC10	1 sida
7		●	EI60	PC10	3 sidor
8	●		EI60	0.5kg	1 sida
9	●		EI60	PC10	1 sida
10	●		EI60	0.5kg	2 sidor
11	●		EI60	PC10	2 sidor

Tabell 3
Matris med alla FDS modeller. Gasbehållaren är 30 cm från den uppvärmda väggen i alla modeller.

Tabell 4 nedan innehåller modellmatrisen för FDS-modellerna som används för att tillhandahålla inputdata till den förenklade värmeöverföringsmodellen som används för att utvärdera känsligheten hos modellerna. Varje modell innehöll plattermoelement (PTs) som möjliggör ett sätt att mäta exponeringen på en given plats, för varje 10:e cm från den uppvärmda väggen mellan 10 och 60 cm.

Model Num.	Rumsgeometri		EI konstruktion	Värme på
	Rum	Litet skåp		
12		●	EI30	1 sida
13		●	EI60	1 sida
14		●	EI90	1 sida
15		●	EI30	3 sidor
16		●	EI60	3 sidor
17		●	EI90	3 sidor
18	●		EI30	1 sida

19	●		EI60	1 sida
20	●		EI90	1 sida
21		●	EI30	1 sida + hotspots
22		●	EI60	1 sida + hotspots
23		●	EI90	1 sida + hotspots

Tabell 4
Matris med FDS-modeller som används för att tillhandahålla inputdata till den förenklade värmeöverföringsmodellen som används för att utvärdera känsligheten hos modellerna. Varje modell innehöll plattermoelement (PTs) som möjliggör ett sätt att mäta exponeringen på en given plats.

Bilaga 2: Exempel på FDS inputfil

I den här bilagan finns inputfilen för scenario 3 för ett litet säkerhetsskåp med EI60-klassade delar som värms upp från en sida. Scenariot innehåller en 300 ml behållare. Inputfilen innehåller alla instruktioner som behövs för att FDS ska kunna köras.

```
&HEAD CHID='SC_1S_EI60', TITLE='PT Model: 1 Sided Small Compartment
EI60'  /
MSB Gas Canister Safety Project - Small Compartment
1 sided small compartment with EI60 protection.
Plate Thermometer Model.
2cm mesh.
&MESH IJK=42,42,42, XB=-0.42,0.42,0.0,0.84,0.0,0.84 / 2 cm grid

&TIME T_END=3600 /
&DUMP NFRAMES=3600/ Measurements 1800 times
&MISC RADIATION=.TRUE./

-------------------------------------------------------------

Geometry
&VENT MB='XMAX' ,SURF_ID='WALL' / to the outside in x - direction
&VENT MB='ZMAX' ,SURF_ID='WALL' / to the outside in z -direction
&VENT MB='XMIN' ,SURF_ID='WALL'/
&VENT MB='YMIN' ,SURF_ID='WALL'/
&VENT MB='YMAX' ,SURF_ID='WALL'/
&VENT MB='ZMIN' ,SURF_ID='WALL'/floor
&OBST XB=-0.42,0.42,0.00,0.02,0.00,0.84,SURF_ID='HEATER'/front wall

&OBST XB=-0.42,0.42,0.82,0.84,0.00,0.84,SURF_ID='WALL'/back wall
&OBST XB=-0.42,-0.4,0.00,0.84,0.00,0.84,SURF_ID='WALL'/wall
&OBST XB=0.4,0.42,0.0,0.84,0.00,0.84,SURF_ID='WALL'/wall
&OBST XB=-0.4,0.4,0.00,0.84,0.00,0.02,SURF_ID='WALL'/floor
&OBST XB=-0.4,0.4,0.00,0.84,0.82,0.84,SURF_ID='WALL'/ceiling

-------------------------------------------------------------
Material
&MATL ID     ='Siporex'
 FYI                          ='SP Report 1981:48'
 CONDUCTIVITY                 =0.15
 SPECIFIC_HEAT                =1.0
 DENSITY      =500./

&MATL ID='STEEL',
 FYI='Drysdale, Intro to Fire Dynamics - ATF NIST Multi-Floor Validation',
 SPECIFIC_HEAT=0.46,
 CONDUCTIVITY=45.8,
 DENSITY=7850.0,
 EMISSIVITY=0.95/

&SURF ID     ='WALL'
 COLOR                        ='GREEN'
 MATL_ID      ='Siporex'
 THICKNESS =0.02
 BACKING      ='EXPOSED'/

&SURF ID='HEATER'
```

```
 TMP_FRONT = 140
 RAMP_T = 'EI60'
 COLOR = 'RED'/

&RAMP ID='EI60', T=0, F=0 /
&RAMP ID='EI60', T=60, F=0 /
&RAMP ID='EI60', T=120, F=0 /
&RAMP ID='EI60', T=180, F=0 /
&RAMP ID='EI60', T=240, F=0.02 /
&RAMP ID='EI60', T=300, F=0.06 /
&RAMP ID='EI60', T=360, F=0.11 /
&RAMP ID='EI60', T=420, F=0.17 /
&RAMP ID='EI60', T=480, F=0.22 /
&RAMP ID='EI60', T=540, F=0.27 /
&RAMP ID='EI60', T=600, F=0.31 /
&RAMP ID='EI60', T=660, F=0.35 /
&RAMP ID='EI60', T=720, F=0.37 /
&RAMP ID='EI60', T=780, F=0.4 /
&RAMP ID='EI60', T=840, F=0.42 /
&RAMP ID='EI60', T=900, F=0.43 /
&RAMP ID='EI60', T=960, F=0.44 /
&RAMP ID='EI60', T=1020, F=0.44 /
&RAMP ID='EI60', T=1080, F=0.45 /
&RAMP ID='EI60', T=1140, F=0.45 /
&RAMP ID='EI60', T=1200, F=0.45 /
&RAMP ID='EI60', T=1260, F=0.45 /
&RAMP ID='EI60', T=1320, F=0.46 /
&RAMP ID='EI60', T=1380, F=0.47 /
&RAMP ID='EI60', T=1440, F=0.48 /
&RAMP ID='EI60', T=1500, F=0.49 /
&RAMP ID='EI60', T=1560, F=0.51 /
&RAMP ID='EI60', T=1620, F=0.52 /
&RAMP ID='EI60', T=1680, F=0.52 /
&RAMP ID='EI60', T=1740, F=0.53 /
&RAMP ID='EI60', T=1800, F=0.53 /
&RAMP ID='EI60', T=1860, F=0.53 /
&RAMP ID='EI60', T=1920, F=0.54 /
&RAMP ID='EI60', T=1980, F=0.54 /
&RAMP ID='EI60', T=2040, F=0.55 /
&RAMP ID='EI60', T=2100, F=0.55 /
&RAMP ID='EI60', T=2160, F=0.55 /
&RAMP ID='EI60', T=2220, F=0.55 /
&RAMP ID='EI60', T=2280, F=0.56 /
&RAMP ID='EI60', T=2340, F=0.56 /
&RAMP ID='EI60', T=2400, F=0.57 /
&RAMP ID='EI60', T=2460, F=0.57 /
&RAMP ID='EI60', T=2520, F=0.58 /
&RAMP ID='EI60', T=2580, F=0.58 /

&RAMP ID='EI60', T=2640, F=0.59 /
&RAMP ID='EI60', T=2700, F=0.61 /
&RAMP ID='EI60', T=2760, F=0.62 /
&RAMP ID='EI60', T=2820, F=0.65 /
&RAMP ID='EI60', T=2880, F=0.67 /
&RAMP ID='EI60', T=2940, F=0.69 /
&RAMP ID='EI60', T=3000, F=0.71 /
&RAMP ID='EI60', T=3060, F=0.73 /
&RAMP ID='EI60', T=3120, F=0.74 /
&RAMP ID='EI60', T=3180, F=0.75 /
```

```
&RAMP ID='EI60', T=3240, F=0.77 /
&RAMP ID='EI60', T=3300, F=0.78 /
&RAMP ID='EI60', T=3360, F=0.79 /
&RAMP ID='EI60', T=3420, F=0.81 /
&RAMP ID='EI60', T=3480, F=0.83 /
&RAMP ID='EI60', T=3540, F=0.86 /
&RAMP ID='EI60', T=3600, F=0.89 /

&SURF ID     ='CONTAINER'
 MATL_ID     ='STEEL'
 THICKNESS =0.001
 BACKING     ='EXPOSED'/

&OBST XB=-0.017678,0.017678,0.32732,0.36268,0.02,0.258,COLOR='SLATE
BLUE',SURF_ID='CONTAINER'/
&OBST XB=0.005324,-
0.005324,0.32057,0.36943,0.02,0.258,COLOR='SLATE
BLUE',SURF_ID='CONTAINER'/
&OBST XB=0.019995,-
0.019995,0.36001,0.32999,0.02,0.258,COLOR='SLATE
BLUE',SURF_ID='CONTAINER'/
&OBST XB=-0.021913,0.021913,0.33297,0.35703,0.02,0.258,COLOR='SLATE
BLUE',SURF_ID='CONTAINER'/

----------------
Outputs
----------------
&SLCF PBx=0.0, QUANTITY='TEMPERATURE' / Temperature

&BNDF QUANTITY='WALL_TEMPERATURE'/ Surface Temperatures

Temperatures in the middle of the room
&DEVC XYZ=0.2,0.12,0.45,QUANTITY='TEMPERATURE',ID='TC_L_10'/
&DEVC XYZ=0.2,0.42,0.45,QUANTITY='TEMPERATURE',ID='TC_L_40'/
&DEVC XYZ=0.2,0.72,0.45,QUANTITY='TEMPERATURE',ID='TC_L_70'/
&DEVC XYZ=-0.2,0.12,0.45,QUANTITY='TEMPERATURE',ID='TC_R_10'/
&DEVC XYZ=-0.2,0.42,0.45,QUANTITY='TEMPERATURE',ID='TC_R_40'/
&DEVC XYZ=-0.2,0.72,0.45,QUANTITY='TEMPERATURE',ID='TC_R_70'/

Surface Temperature Devices
&DEVC XYZ=0,0.03,0.5, QUANTITY='WALL TEMPERATURE', IOR=2,
ID='Hot_Wall' / Hot wall temperature
&DEVC XYZ=0,0.32,0.24, QUANTITY='WALL TEMPERATURE', IOR=-2,
ID='Canister_F_T' / Top of canister near face
&DEVC XYZ=0,0.37,0.04, QUANTITY='WALL TEMPERATURE', IOR=2,
ID='Canister_B_B' / Bottom canister far face
&TAIL /
```

Bilaga 3: Känslighetsstudie för beräkningsnät

För att få tillräcklig numerisk precision och tillförlitliga resultat är det viktigt att beräkningsnätet som täcker upp domänen vi beräknar är indelat i tillräckligt små celler. FDS använder det man brukar benämna för Large Eddy Simulering (LES) där alla fenomen och virvlar större än en beräkningscell beräknas korrekt med Navier-Stokes ekvationer medan för det som är mindre används en förenklad modell. I FDS finns det flera sätt att göra en analys över nätets tillämpbarhet, den första är att jämföra cellernas storlek med den förväntade flytkraften de heta gaserna får från en brandkälla och den andra är att beräkna hur stor del av den kinetiska energin är för de rörelser som är mindre än en beräkningscell. Är den energin en väsentlig del kan man misstänka att lösningen blir sämre och det finns en rekommenderad gräns på ca 20%. Den första metoden är inte tillämplig eftersom vi endast har en förhöjd temperatur och inte en brand. Den andra metoden som används här för att utvärdera lösningarna är att beräkna Measurement of Turbulent Resolution (MTR) enligt följande uttryck:

$$MTR = \frac{\langle k_{SGS} \rangle}{\langle TKE \rangle + \langle k_{SGS} \rangle}$$

där k_{SGS} är den uppskattade energin för flöden och virvlar som är mindre än en cell och TKE är den totala kinetiska energin för den resterande delen och där <*> representerar medelvärden. Det brukar rekommenderas att MTR-värdet är 0,2 eller mindre av den totala energin för att kunna anse att huvuddelen av kinetiska energin för gaserna i domänen beräknas med tillräckligt hög noggrannhet (Den delen av energin som finns i de rumsskalor som är mindre än en cellstorlek omfördelas enligt en modell av Deardorff).

MTR-värdena granskas för två scenarier:

1. Det mindre utrymmet med ensidig upphettning och en 0,5 kg behållare placerad 30 cm från väggen.
2. Det större utrymmet med ensidig upphettning och en 0,5 kg behållare placerad 30 cm från väggen.

För varje beräkningsnät för de två scenarierna ovan användes tre olika cellstorlekar. För scenario 1 (det mindre utrymmet) användes beräkningsnät med kubiska celler på 1 cm, 2 cm och 5 cm i sidan, medan scenario 2 (det större utrymmet) användes beräkningsnät med 2 cm, 5 cm och 10 cm celler. I varje fall beräknades MTR-värdena på sex olika positioner, fem runt behållaren och en längre bort från behållaren (0,8 m från främre väggen för det mindre utrymmet och 1,5 m i det större utrymmet). För var och en av positionerna och beräkningsnäten beräknas MTR-värdena vilket ger 18 MTR-värden totalt. För att få en bättre överblick studeras medelvärden över tiden och då visar det sig:

- I alla fall fluktuerar MTR-värdet betydligt med tiden och antar både max och minvärdet under simuleringstiden.
- För det mindre utrymmet fanns det en signifikant minskning av de medelvärdesbildade MTR-värdena från ett beräkningsnät med celler på 5 cm nät till 2 cm celler, medan det endast var begränsad förbättring mellan 2 cm och 1 cm celler, se bild 26.
- För det större utrymmet fanns det en signifikant minskning av de medelvärdesbildade MTR-värdena från ett beräkningsnät med celler på 10 cm till 5 cm, medan det endast var begränsad förbättring mellan 5 cm och 2 cm celler, se bild 27. Det noteras att i några positioner så är medelvärdena större än 0.2, det bedöms ändå som att effekten är liten och att noggrannheterna på de beräknade temperaturerna är tillräckligt bra.

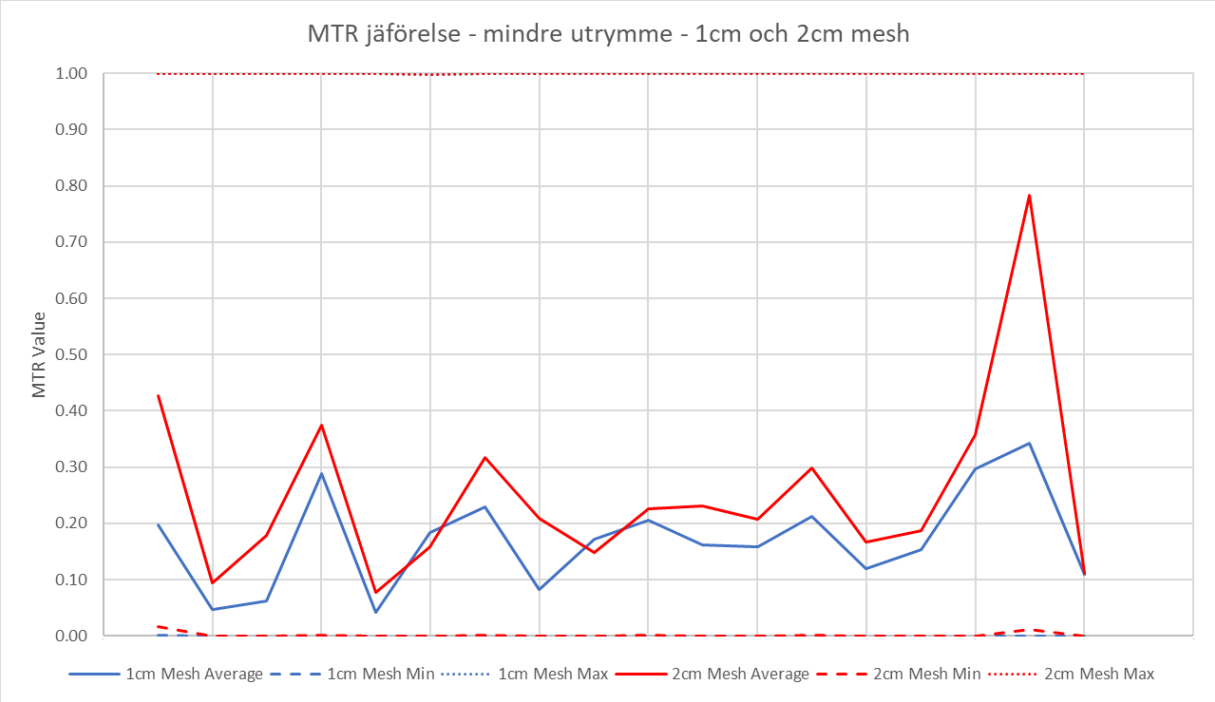


Bild 26
Jämförelser mellan MTR-värden för det mindre utrymmet som funktion av de olika mätpunkterna. (Punkterna har bara tilldelats ett numeriskt värde för varje x, y, z riktning vid varje position men att de hålls konstant mellan de olika fallen.).

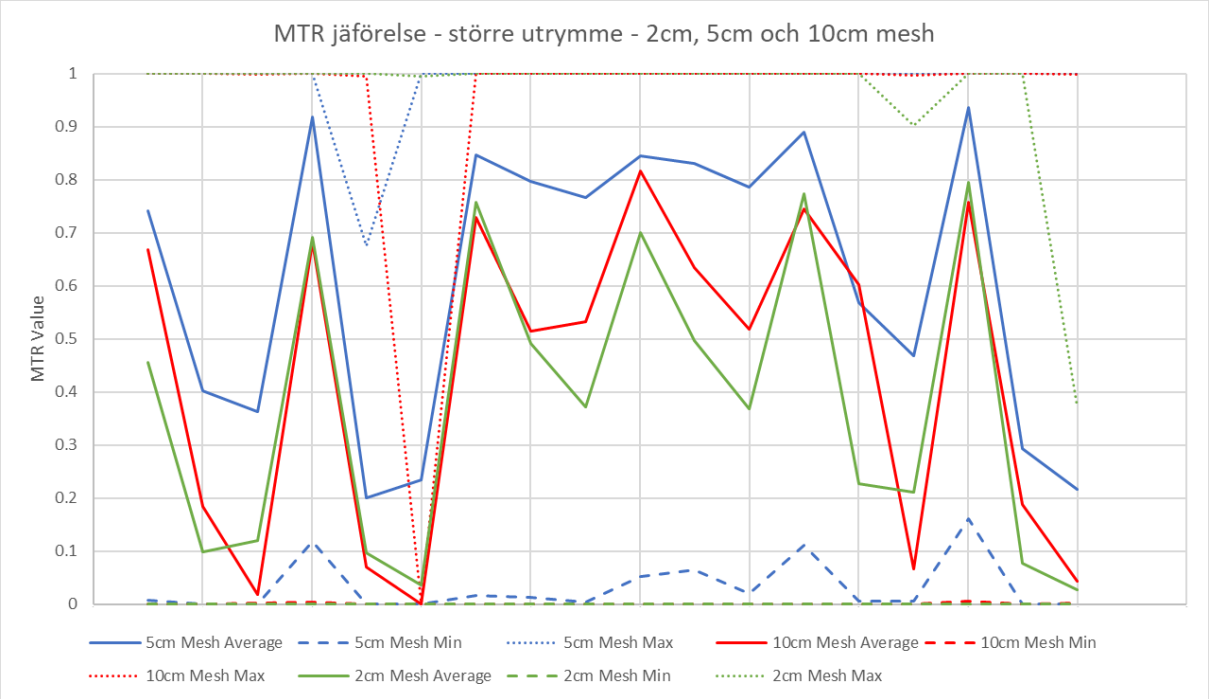


Bild 27
Jämförelser mellan MTR-värden för det större utrymmet som funktion av de olika mätpunkterna. (Punkterna har bara tilldelats ett numeriskt värde för varje x, y, z riktning vid varje position men att de hålls konstant mellan de olika fallen.).

Vi konstaterar att ett beräkningsnät med cellstorlekar på 2 cm för det mindre utrymmet och 5 cm för det större utrymmet kan användas för studien. De genomsnittliga MTR-värdena för dessa cellstorlekar ligger mestadels under eller nära den rekommenderade 0,2-nivån, dessutom ger de en bra avvägning

mellan körtid och låga MTR värden för modellerna och kommer inte begränsa tiden slutförandet av projektet.
Vi noterar att i alla fanns fall där MTR-värdet var stora, men under begränsad tid, och hade fluktuationer från nära 0 upp till maxvärdet 1.

Vi har också genomfört enstaka versioner av PT-modeller i högre upplösningar (1 cm för mindre utrymme fack och 2 cm för det stora). Skillnaden i PT-temperaturers i dessa modeller och deras mindre täta motsvarigheter kan ses i bilderna 28 och 29 nedan. Det kan ses att temperaturerna är mycket lika i båda fallen (huvudsakligen inom 1 grad) och är högre i den maskstorlek som används. Beräkningsnät antagandena är därför rimliga och konservativa.

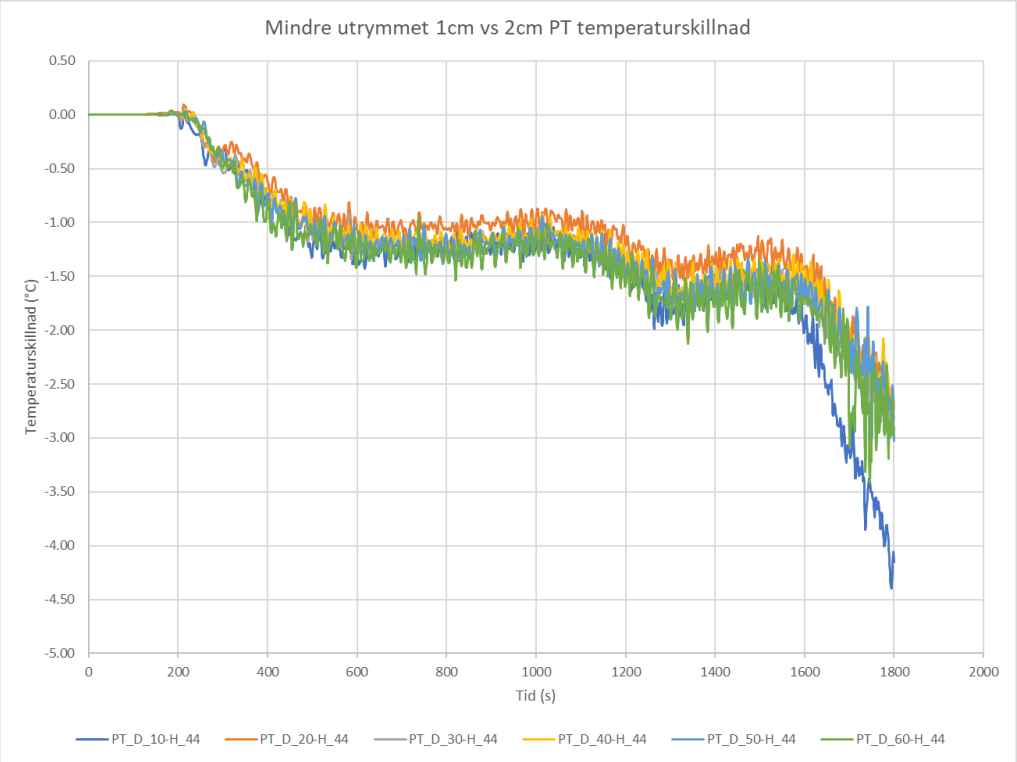


Bild 28
Temperaturskillnad för PT i det lilla utrymmet mellan 1cm och 2cm beräkningsnät.

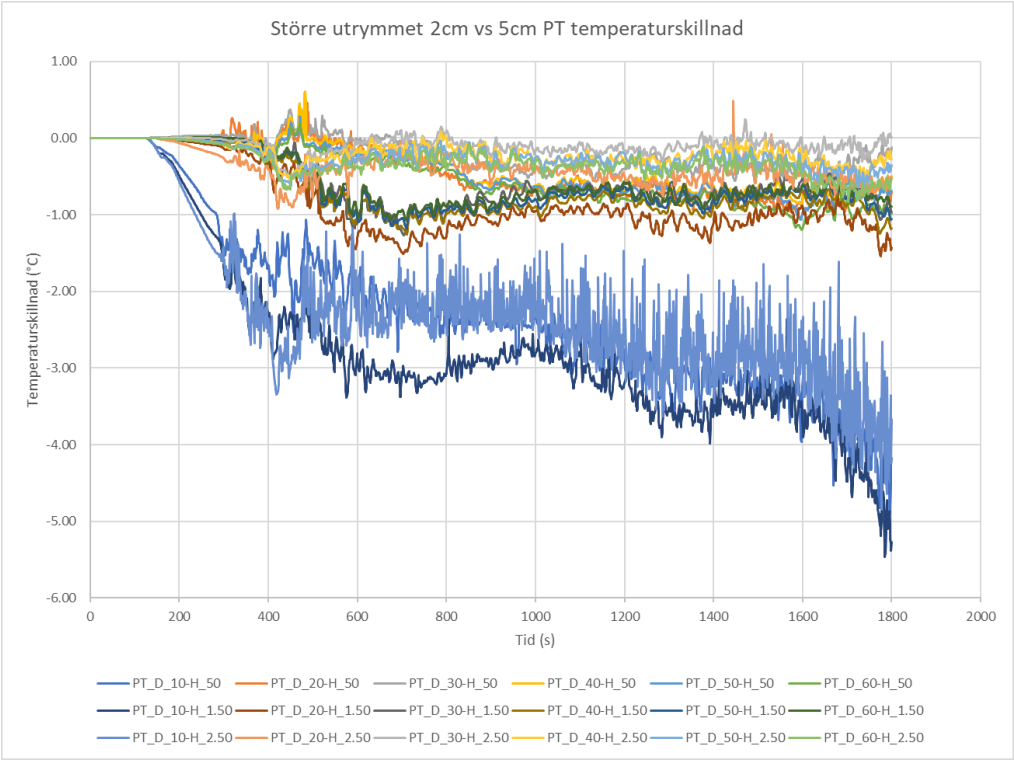


Bild 29
Temperaturskillnad för PT i det större utrymmet mellan 2cm och 5cm beräkningsnät.

Bilaga 4: Homogeniserad värmeöverföring

Värmeöverföringsberäkningen med homogeniserade behållare (eller Lumped Mass Heat Transfer - LMHT) används för beräkning av flasktemperaturer för att möjliggöra att fler variationer kan studeras. Metoden för LMHT-beräkningarna beskrivs i den här bilagan. Det grundläggande antagandet är att hela behållaren värms upp samtidigt till en och samma temperatur och att det alltså inte finns någon värmetransport i behållaren. Eftersom behållarna är relativt små med tunt gods är det ett rimligt antagande för denna analys.

I den här typen av system kan temperaturförändringen under tiden Δt, beräknas med följande ekvation:

$$\Delta T = \frac{\dot{Q}}{mc_p}\Delta t \qquad (1)$$

m betecknar massan för den homogeniserade behållaren som värms upp och c_p värmecapaciviteten. Värmeflödet kan beräknas genom:

$$\dot{Q} = \dot{Q}_{stål} + \dot{Q}_{konv} - \dot{Q}_{förl} \qquad (2)$$

Indexen ”stål”¸ ”konv” och ”förl” är benämning för den del av värmeflödet som kommer från strålning, det konvektiva värmeflödet och förlust för eventuella värmeförluster till omgivningen. I beräkningen antas det att det inte finns några värmeförluster från behållaren. Det är inte helt realistiskt men eftersom det inte finns någon påtvingad mekanisk ventilation i utrymmen så bedöms konvektionsförlusterna vara små, och på grund av de relativt låga temperaturerna kommer strålningsförlusterna också att vara små. Det verkar därför som ett rimligt antagande och kommer förmodligen ge ett konservativt resultat.

Den delen av värmeflödet som kommer från strålning kan beräknas med följande ekvation:

$$\dot{Q}_{rad} = \varepsilon\sigma A\left(T_{PT}^4 - T_{flaska}^4\right) \qquad (3)$$

Här är ε stålets emissivitet, σ är Stefan-Boltzmanns constant och A är arean för den exponerade ytan. Det konvektiva bidraget av värmeflödet kan beräknas genom:

$$\dot{Q}_{conv} = hA\left(T_{PT} - T_{flaska}\right) \qquad (4)$$

Här är h värmeövergångstalet. Det är viktigt att alla temperaturer är i Kelvin, speciellt i Ekvation 3.

Temperaturen T_{PT}, i Ekvation 3 och 4 ovan är den temperatur som ett plattermoelement mäter eller som i det här fallet den temperatur som plattermoelementet får i FDS beräkningen. Plattermoelementet uppmäter den påverkan på ett objekt som tar hänsyn till både konvektion och strålning och kan användas som den temperatur som bestämmer värmeöverföringen till behållarna. Fler detaljer om plattermolement och hur de kan användas för att beräkna påverkan på ett objekt finns publicerat tidigare i Wickström et al. (2007) [6].

Vad beträffar bränslet i behållarna så antas perfekt kontakt mellan godset och vätskan. Det här antagandet är konservativt när vi antar att temperaturen är densamma genom hela behållaren i den homogeniserade modellen men det är också viktigt att poängtera att vätskans rörelser i behållaren skulle ge skiktningar i temperatur och vissa delar av behållarens yttersida skulle

förmodligen bli varmare. För att beräkna temperaturökningen för hela systemet så byts mc_p termen i Ekvation 1 ut mot L_{cp} enligt följande:

$$L_{cp} = m_{flaska}c_{p,flaska} + m_{bränsle}c_{p,bränsle} \quad (5)$$

Behållarna antas kunna representeras av en cylinder och där utrymmet hettas upp från en vägg antas behållaren utsättas för samma påverkan på halva arean, vilket är ett konservativt antagande. När två väggar hettas upp ersätts arean med 66% för tvåsidig upphettning och 75% för tresidig upphettning. Materialegenskaper, beräkningsparametrar och antaganden för LMHT-beräkningen finns summerade i tabell 3.

Variabel	**Värde**	**Noter och referenser**
Emissivitet	0.9	konservativt antagande (se avsnitt 2.5).
T_∞	20 °C	-
ρ stål	7850 kg/m³	EN1993-1-2 vid Normalt Tryck och Temperatur (NTP)
c_p stål	460 J/kgK	EN1993-1-2 vid NTP
ρ FRP Epoxy	7850 kg/m³	https://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=thermoset_epoxy_ep
c_p FRP Epoxy	460 J/kgK	https://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=thermoset_epoxy_ep
ρ Butan	571 kg/m³	Butan antas vara i vätskefas i behållarna. Densitet vid 27°C från https://www.engineeringtoolbox.com/butane-density-specific-weight-temperature-pressure-d_2080.html
c_p Butan	1730 J/kgK	Butan antas vara i vätskefas i behållarna. Ref: https://www.engineeringtoolbox.com/butane-C4H10-specific-heat-capacity-Cp-Cv-isobaric-isochoric-d_2087.html
ρ Propan	493 kg/m³	https://www.engineeringtoolbox.com/propane-C3H8-density-specific-weight-temperature-pressure-d_2033.html
c_p Propan	1675 J/kgK	https://www.engineeringtoolbox.com/specific-heat-capacity-propane-Cp-Cv-isobaric-isochoric-d_2060.html
LPG Mix	50% Butane / 50% Propane	Ett antagande eftersom inga typiska värden för Sverige fanns.
h	10 W/m²K	Antagbart värde. På samma sätt som rekommenderas av EN1991-1-2 för ytor som inte utsätts för brand, men högre för att känna igen ökning av temperaturer över omgivningsrummet. Ansågs ok på grund av osäkerheter på andra håll och verifiering av HT-beräkning mot FDS-resultat. Kontroll utförd med ekvation från Wickstrom et al.[2] visar värden mellan 1,5 och 16 W/m²K.

[2] Measuring incident heat flux and adiabatic surface temperature with plate thermometers in ambient and high temperatures, Fire and Materials, 2019-01-14

σ	$5.67x10^{-8}$ W/m^2K^4	-
Timestep	1 s	-

Tabell 3
Antaganden för värmeöverföringsberäkningen

Alla materialegenskaper och antaganden, i tabell 3, är tagna för NTP alltså vid normalt tryck och temperatur vilket baseras på följande:

- endast en måttlig förändring av temperaturerna där de fasta ämnen, t.ex. stål, ändras väldigt lite,
- och att egenskaperna för vätskorna ändras ofta med en ökande värmekapacivitet vilket gör att antagandet blir konservativt då vi med en ökande värmekapacivitet skulle få en lägre temperatur i beräkningen

Bilaga 5: Kombinera brandmotståndsklassade element

Det kan tyckas rimligt att vid en första anblick anta att två brandmotståndklassade konstruktioner med klassificering EI30 efter varandra skulle uppnå EI60 (eller att en EI30 och ett EI60-vägg kombinerat kommer att ge EI90), men det är väl förenklat och gäller oftast inte vilket diskuteras nedan. Det finns främst ett par orsaker till detta, en är att belastningen ökar med tid och det att en EI30 klassificering inte ger någon information om hur den konstruktionen klarar den högre belastning som gäller mellan t. ex. 30 och 60 minuter. Vid placering av två EI30 konstruktioner efter varandra gäller vid ett tänkt försök:

1. Under de första 30 minuterna så stiger temperaturen från rumstemperatur till 840 °C.
2. Om det första systemet fallerar efter 31 minuter uppnår det en EI30-klassificering men det ger inte tillräckligt skydd (t.ex. skivor eller delar som faller av).
3. Den andra delen av konstruktion som är EI 30 klassad (som dessutom nu redan är uppvärmd) utsätts sedan för en 30-minutersperiod där upphettningen börjar vid 840 °C och höjs till 945 °C.
4. Det andra delen får är en kraftigare exponering än det första elementet och därför kanske det inte bibehåller sin funktion under hela perioden.

I verkligheten blir det något mera komplicerat med verkliga material på grund av deras variabla termiska egenskaper. I bild 30 illustreras ett exempel där ett enkelt fiktivt skyddsmaterial och installationen är uppskissad.

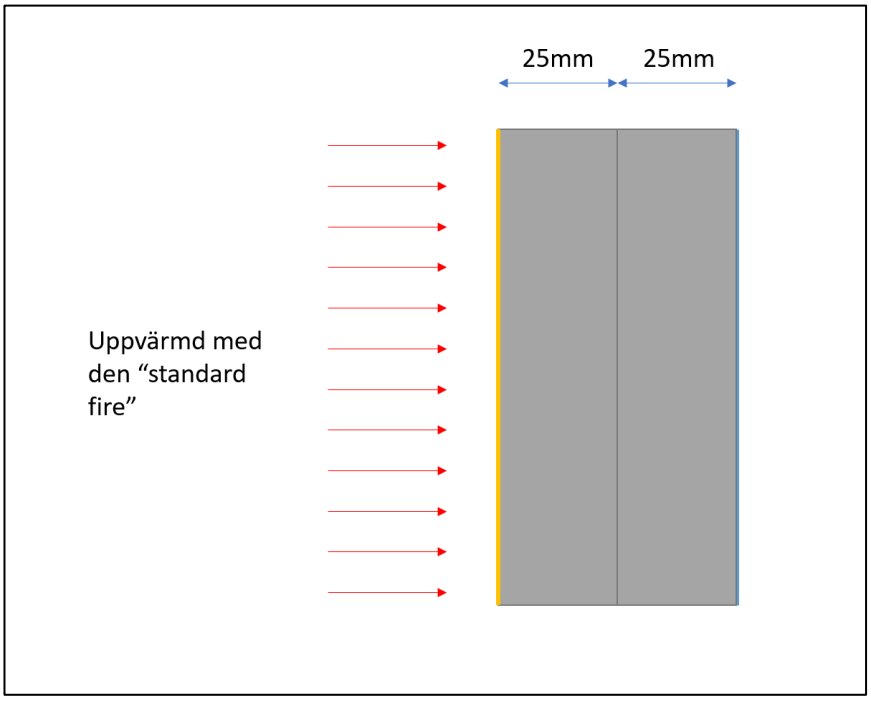
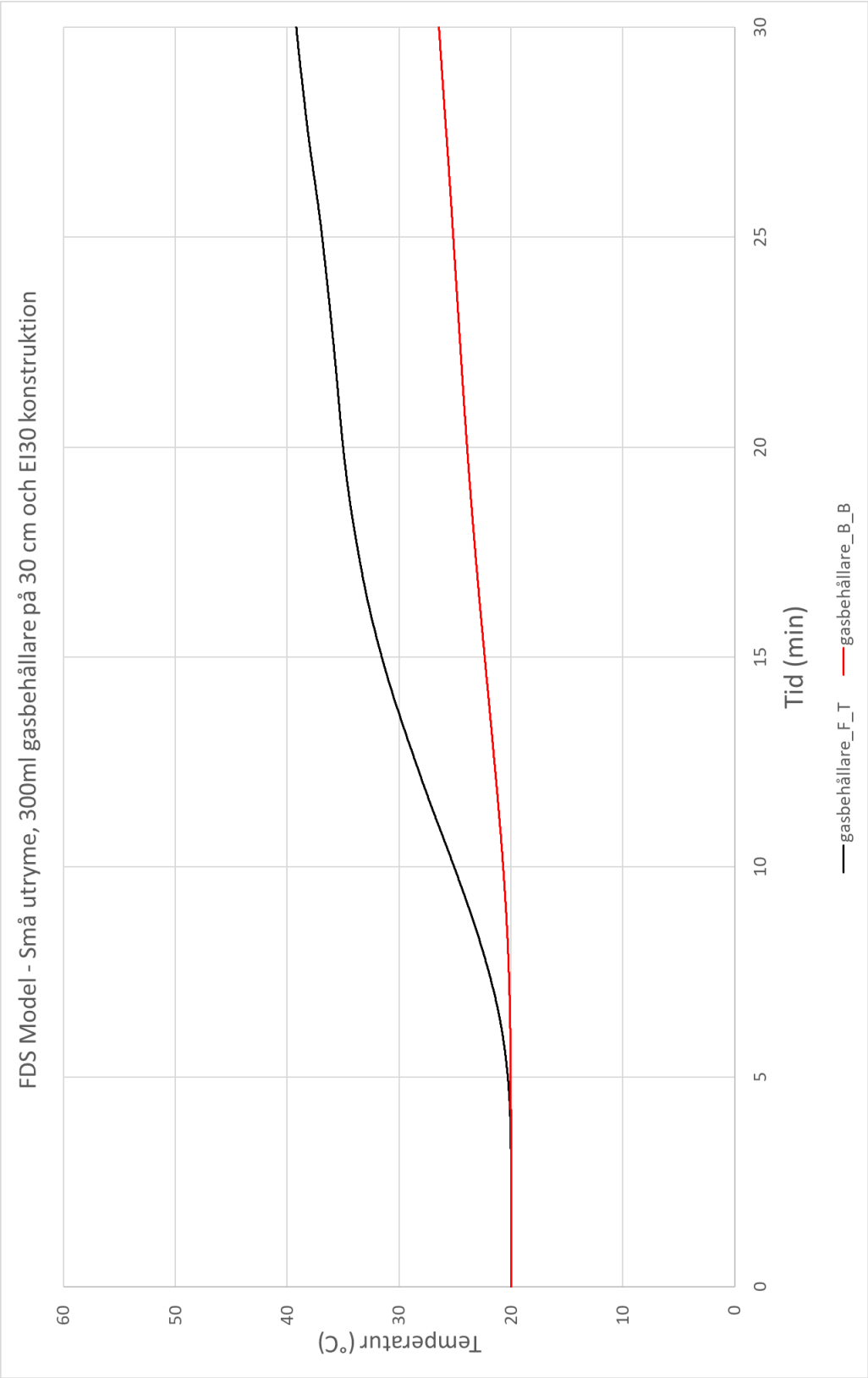


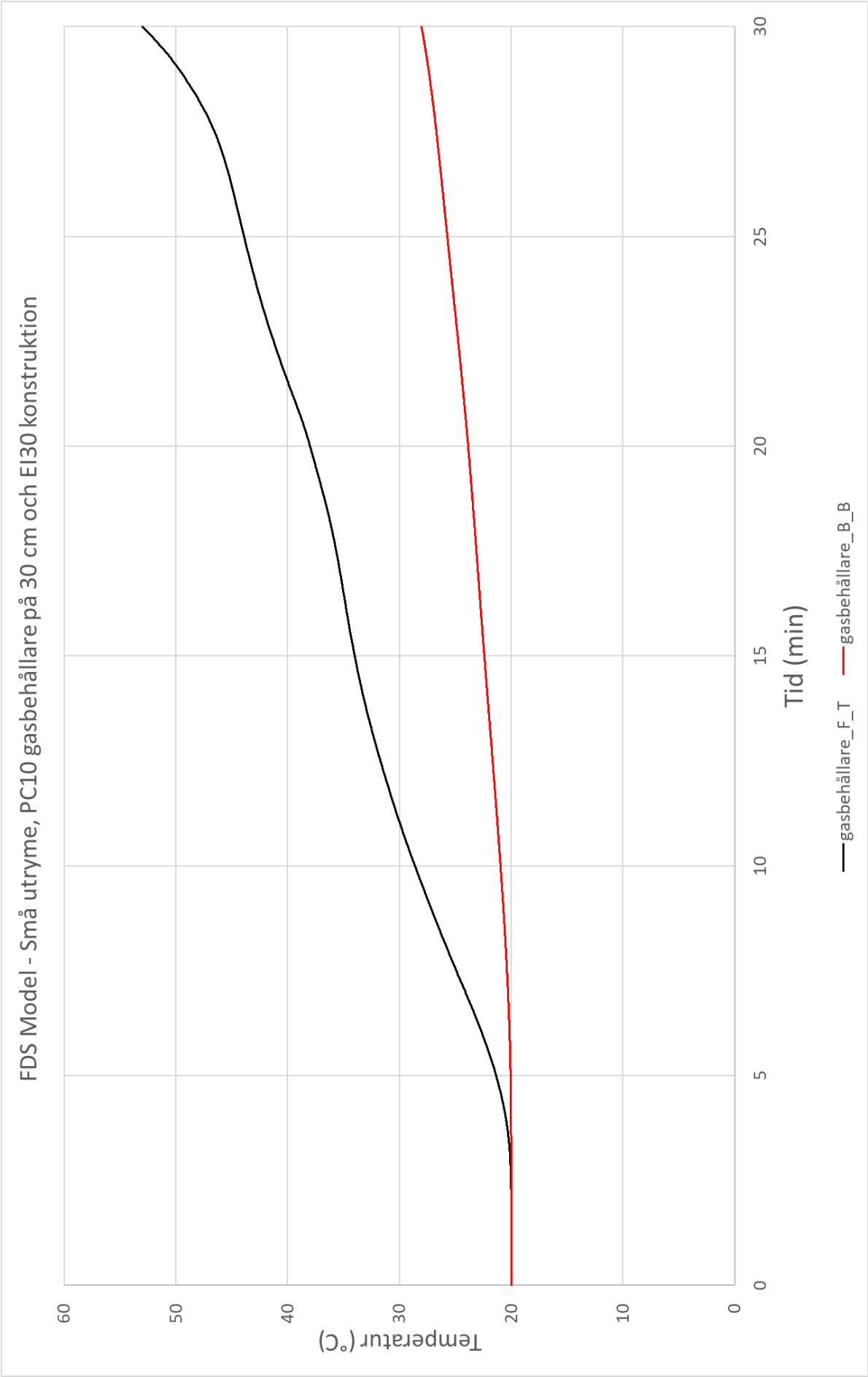
Bild 30

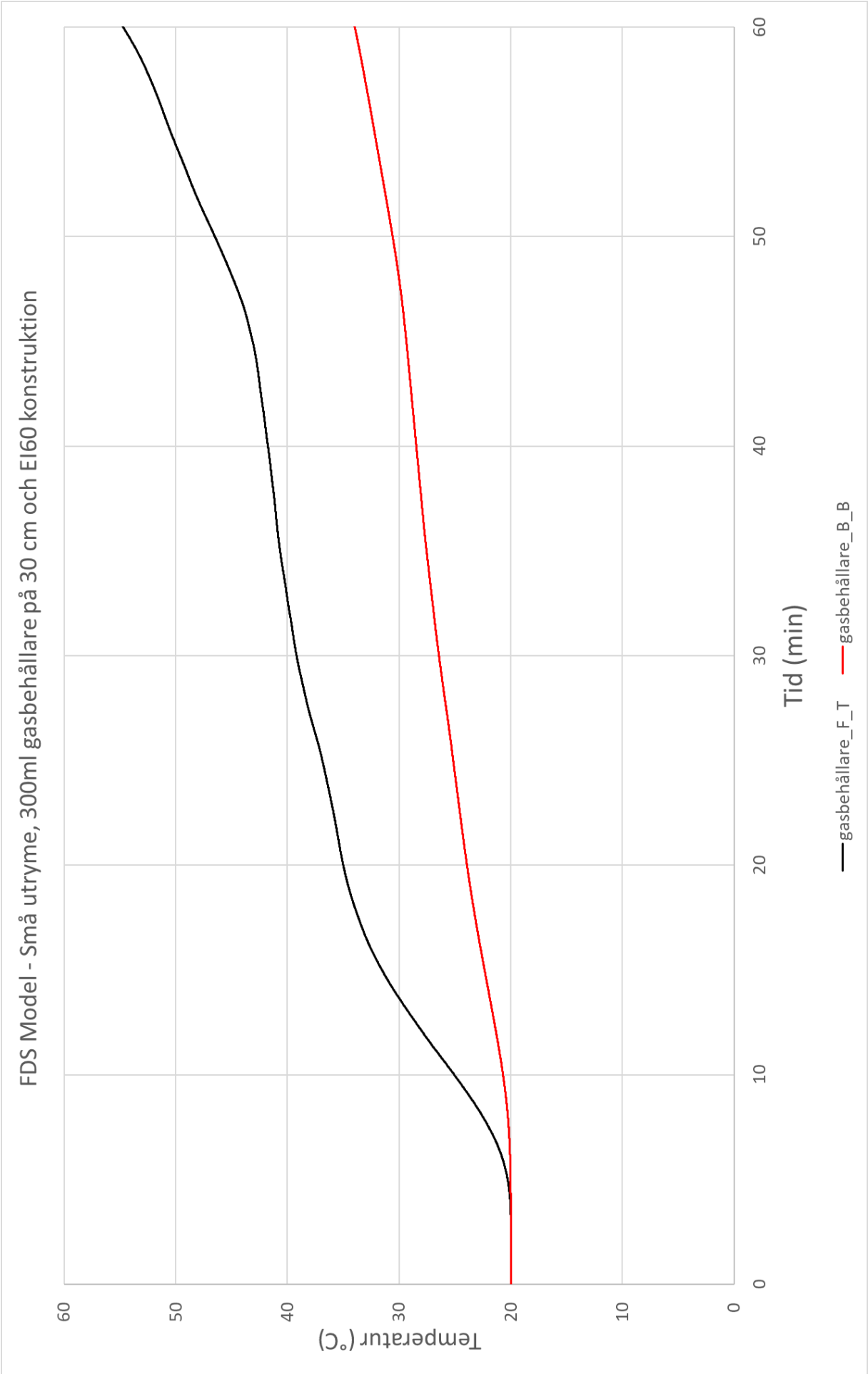
En skiss på demonstrationsfallet.

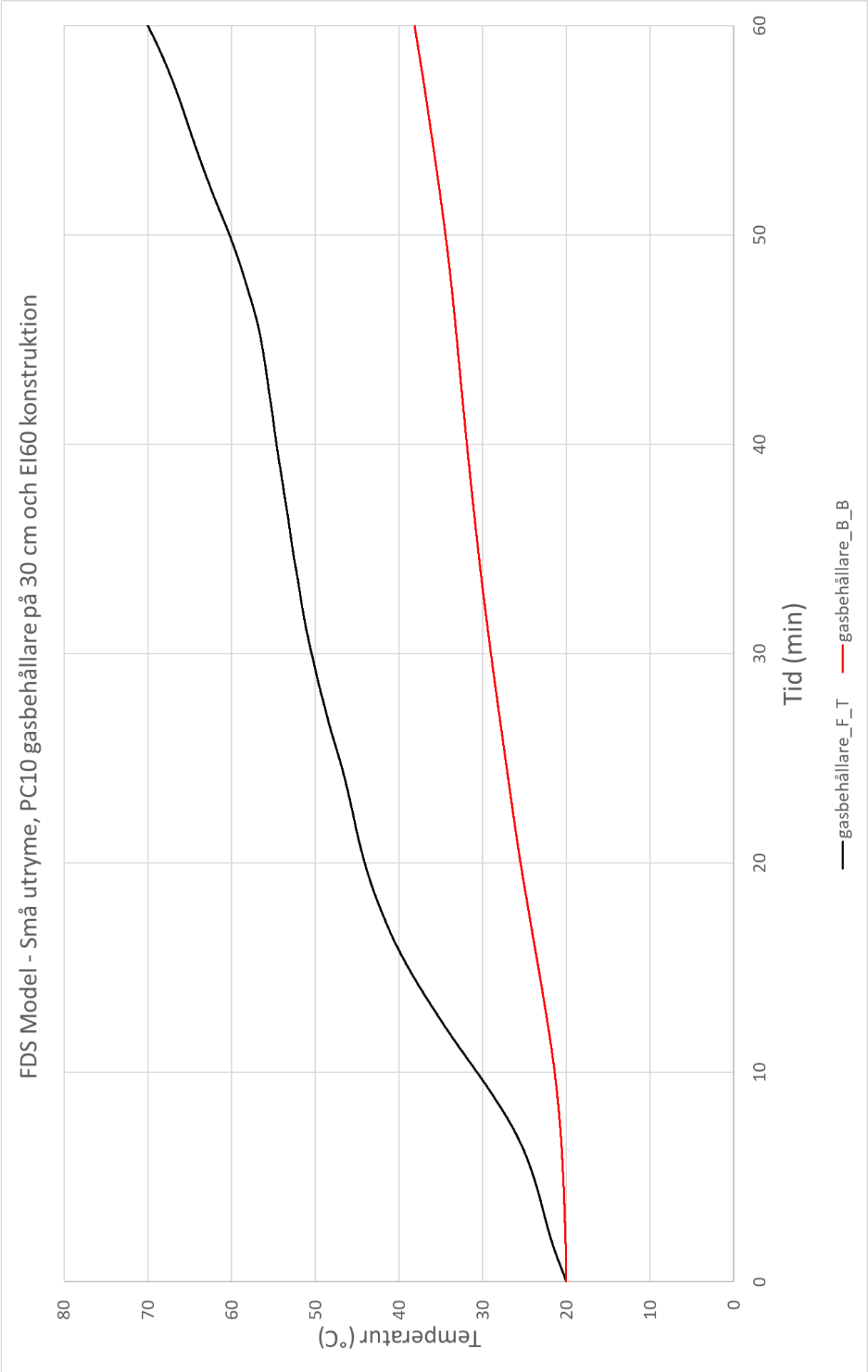
För att analysera fallet lite djupare gör vi ett antagande om materialen som ingår i konstruktionen. Om vi antar att skyddsmaterialet har en konduktivitet på 0,075 W/mK, densitet 1250 kg/m^3 och en specifik värmekapacitet på 600 J/kgK kan vi analysera tre enkla scenarier med en 1D värmeöverföring; Scenario 1 - 25 mm (1 lager), Scenario 2 - 2 st 25 mm lager utan att systemet fallerar, Scenario 3 – 2 st 25 mm lager där det första lagret faller bort efter 31 minuters i provningen.
Temperaturerna på den icke brandutsatta sidan i de tre scenarierna är 131 °C under scenario 1, 56 °C i scenario 2 och 186 °C i scenario 3. I scenario 1, finner vi att 25mm av materialet skulle uppnå en EI30 klassificering (ingen höjning på över 140 ° C, men det förutsätter att integriteten upprätthålls), men vi skulle fortfarande inte veta vilket av scenario 2 eller 3 som skulle inträffa om vi försökte sätta ihop de två konstruktionerna. Därför kan man med säkerhet bara använda system som har testats under hela den erforderliga perioden.

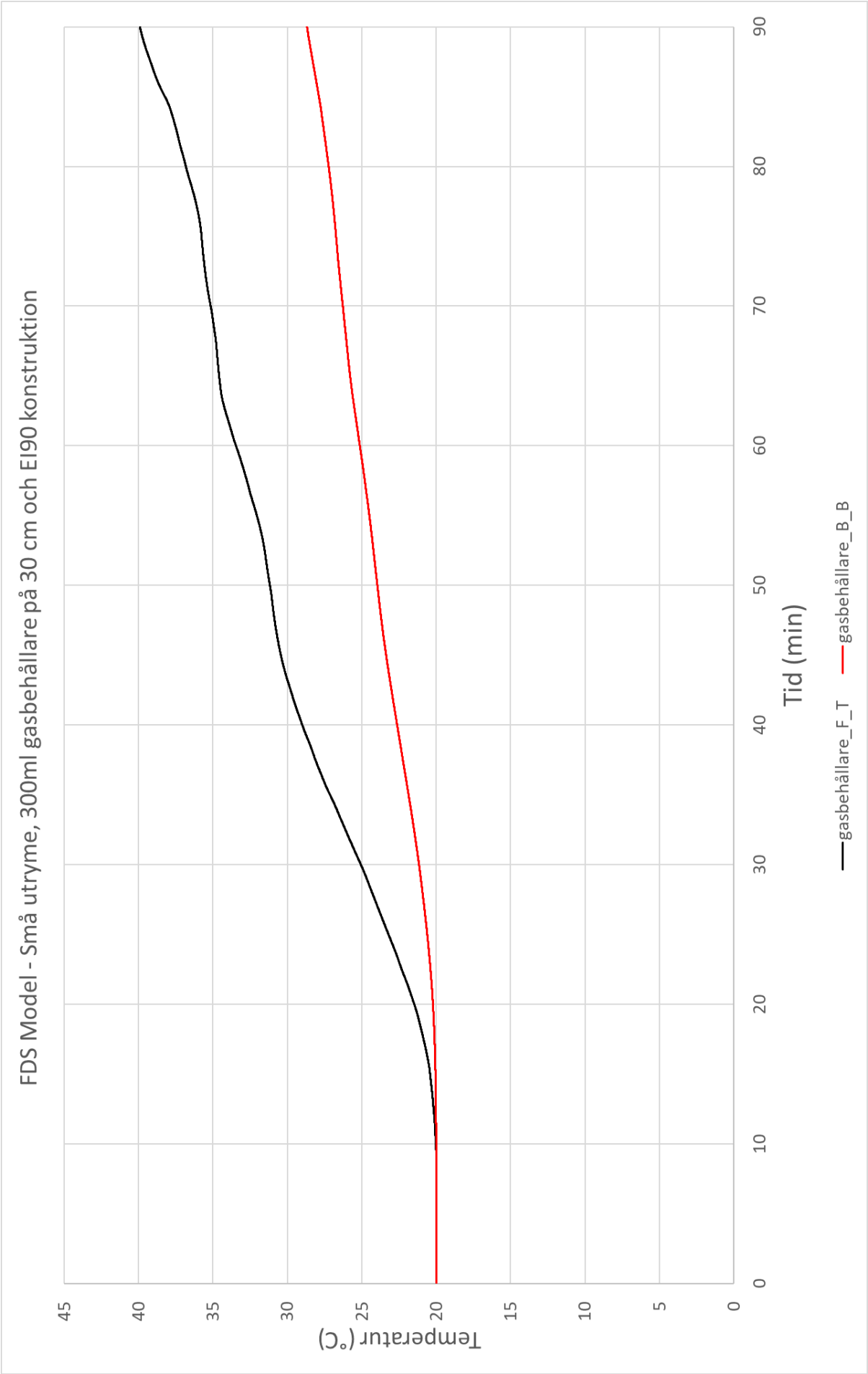
Bilaga 6: Fullständiga resultat

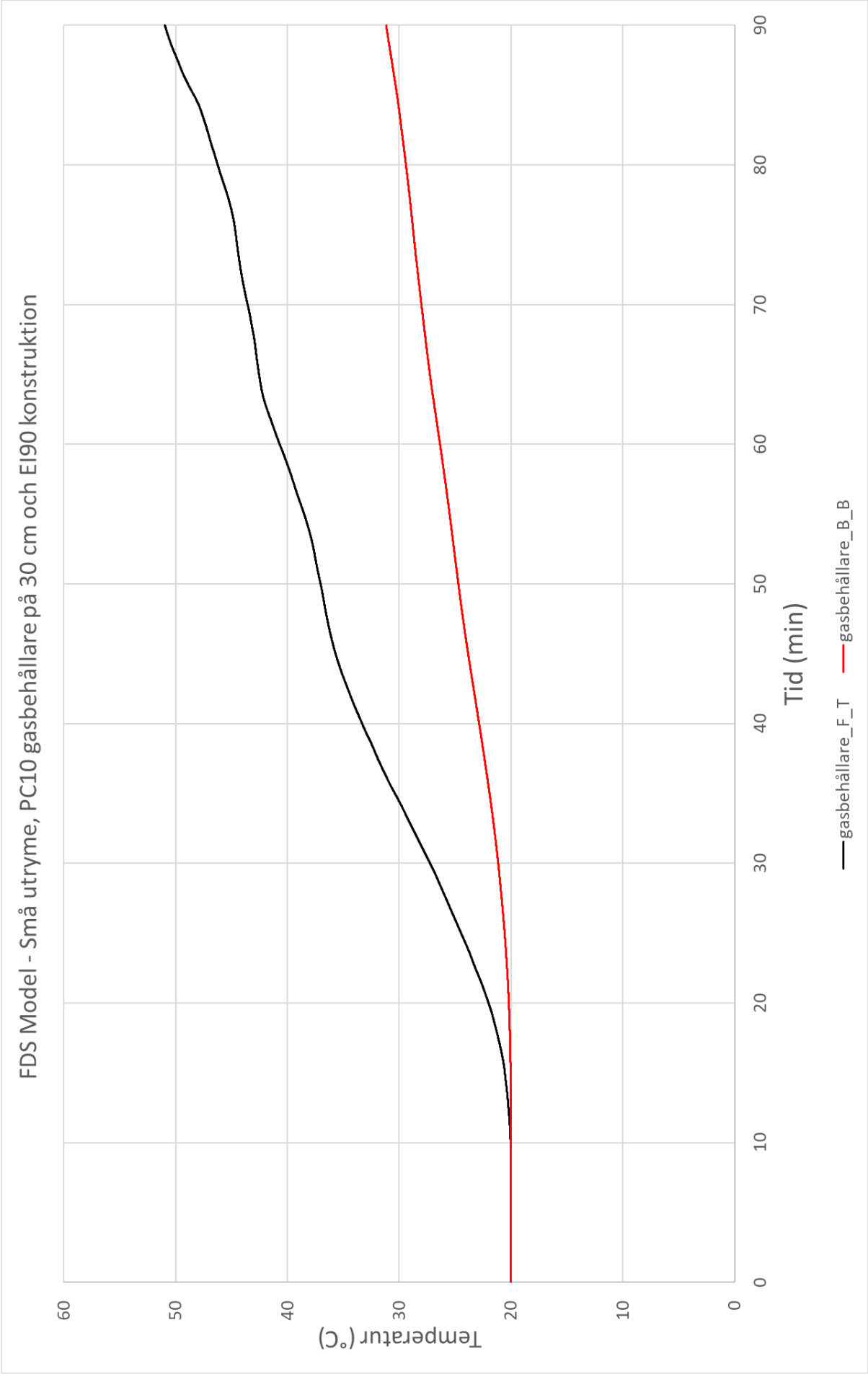

FDS Model - Små utryme, 300ml gasbehållare på 30 cm och EI30 konstruktion
Temperatur (°C)
60
50
40
30
20
10
0
0
5
10
15
20
25
30
Tid (min)
gasbehållare_F_T
gasbehållare_B_B

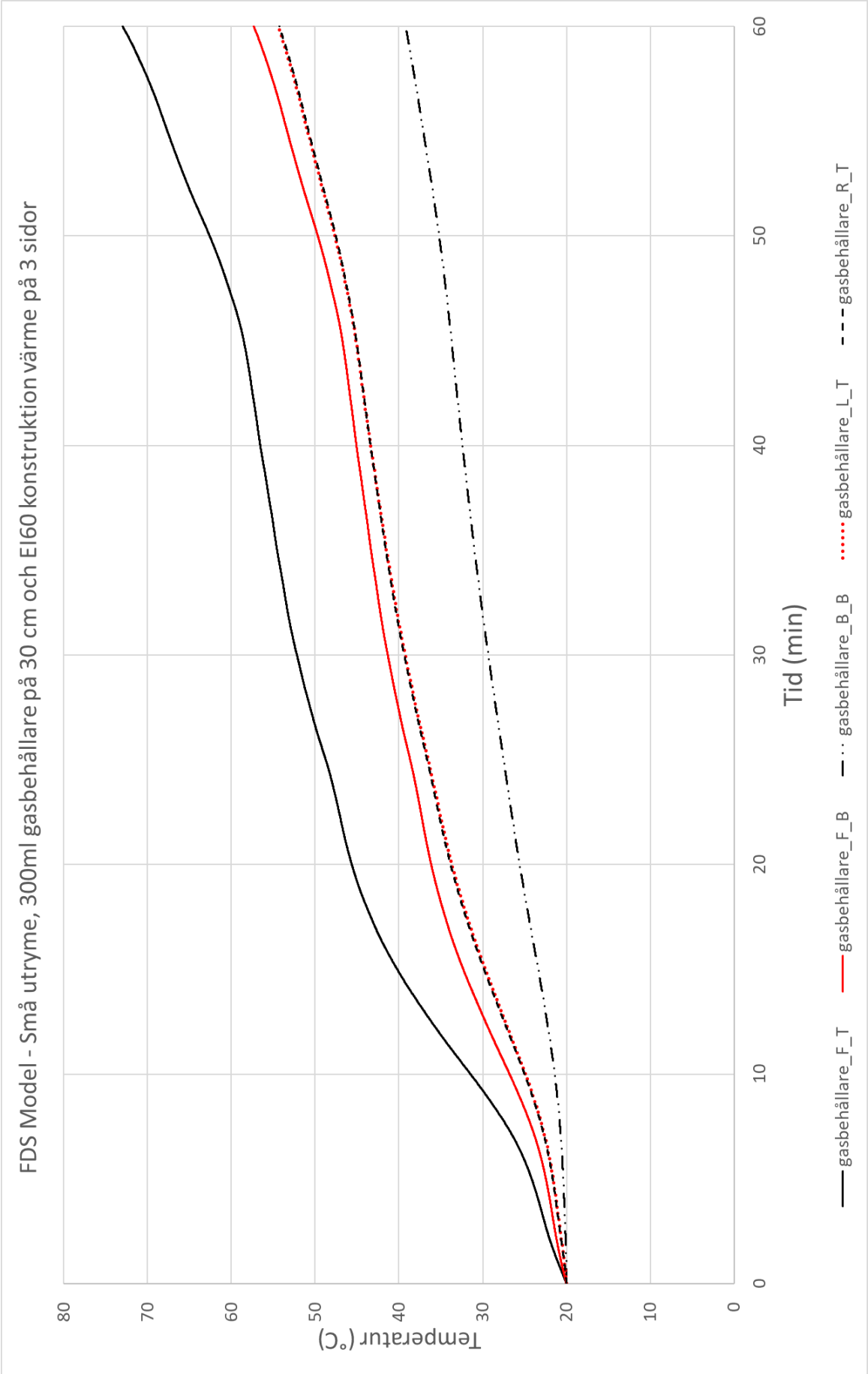

FDS Model - Små utryme, PC10 gasbehållare på 30 cm och EI30 konstruktion
Temperatur (°C)
60
50
40
30
20
10
0
0
5
10
15
20
25
30
Tid (min)
gasbehållare_F_T
gasbehållare_B_B

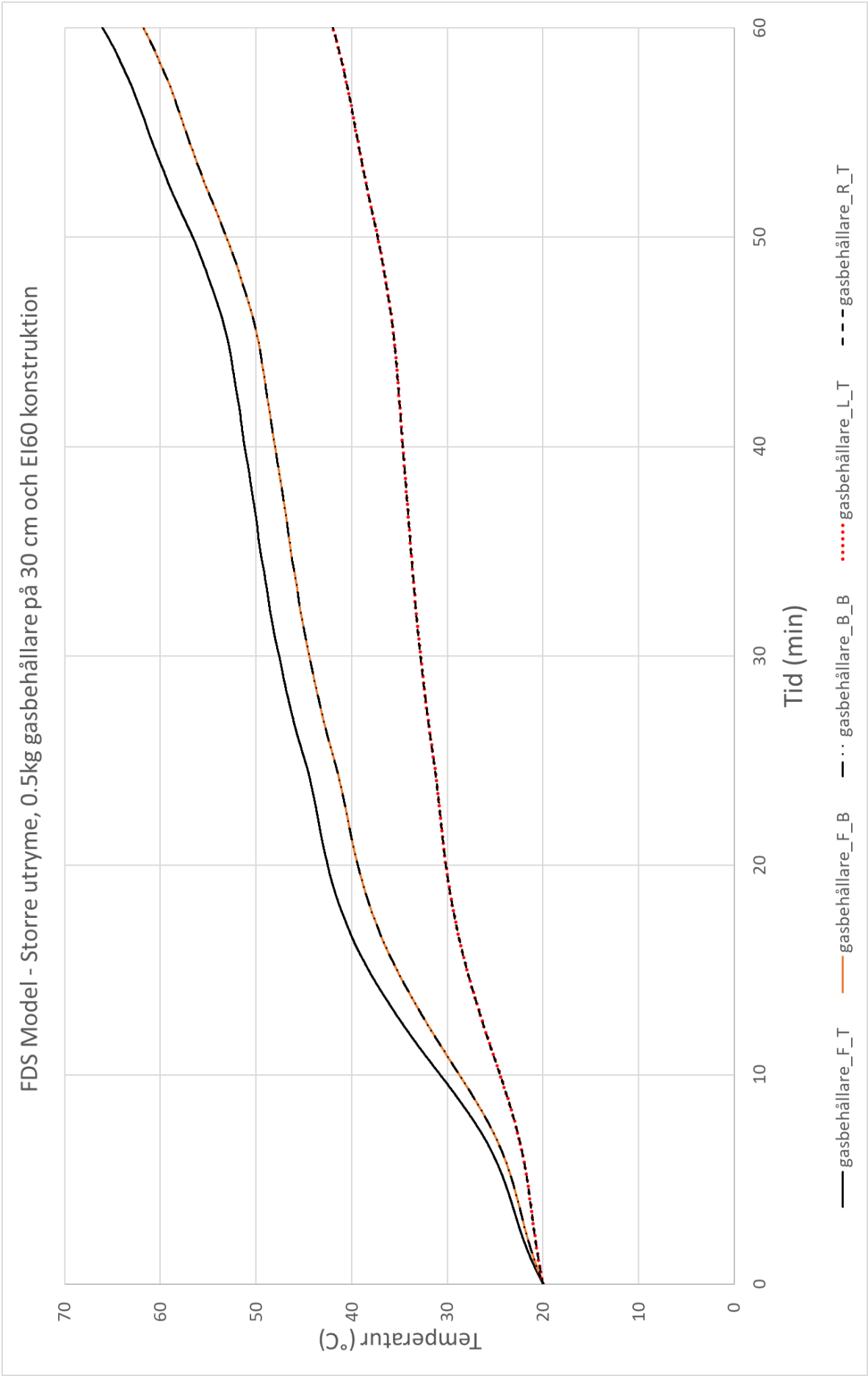

FDS Model - Små utryme, 300ml gasbehållare på 30 cm och EI60 konstruktion
Temperatur (°C)
60
50
40
30
20
10
0
0
10
20
30
40
50
60
Tid (min)
gasbehållare_F_T
gasbehållare_B_B

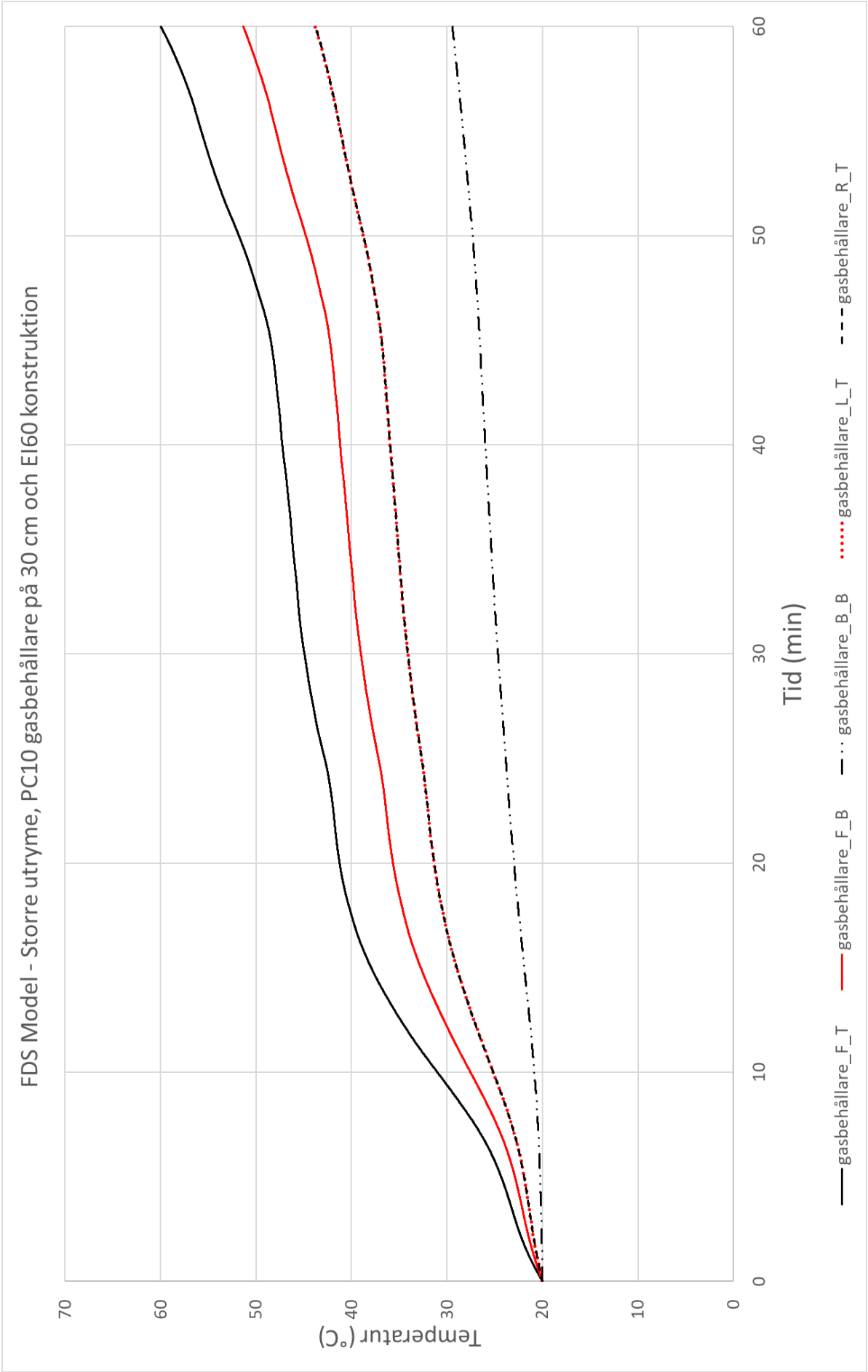

FDS Model - Små utryme, PC10 gasbehållare på 30 cm och EI60 konstruktion
Temperatur (°C)
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
10
20
30
40
50
60
Tid (min)
gasbehållare_F_T
gasbehållare_B_B

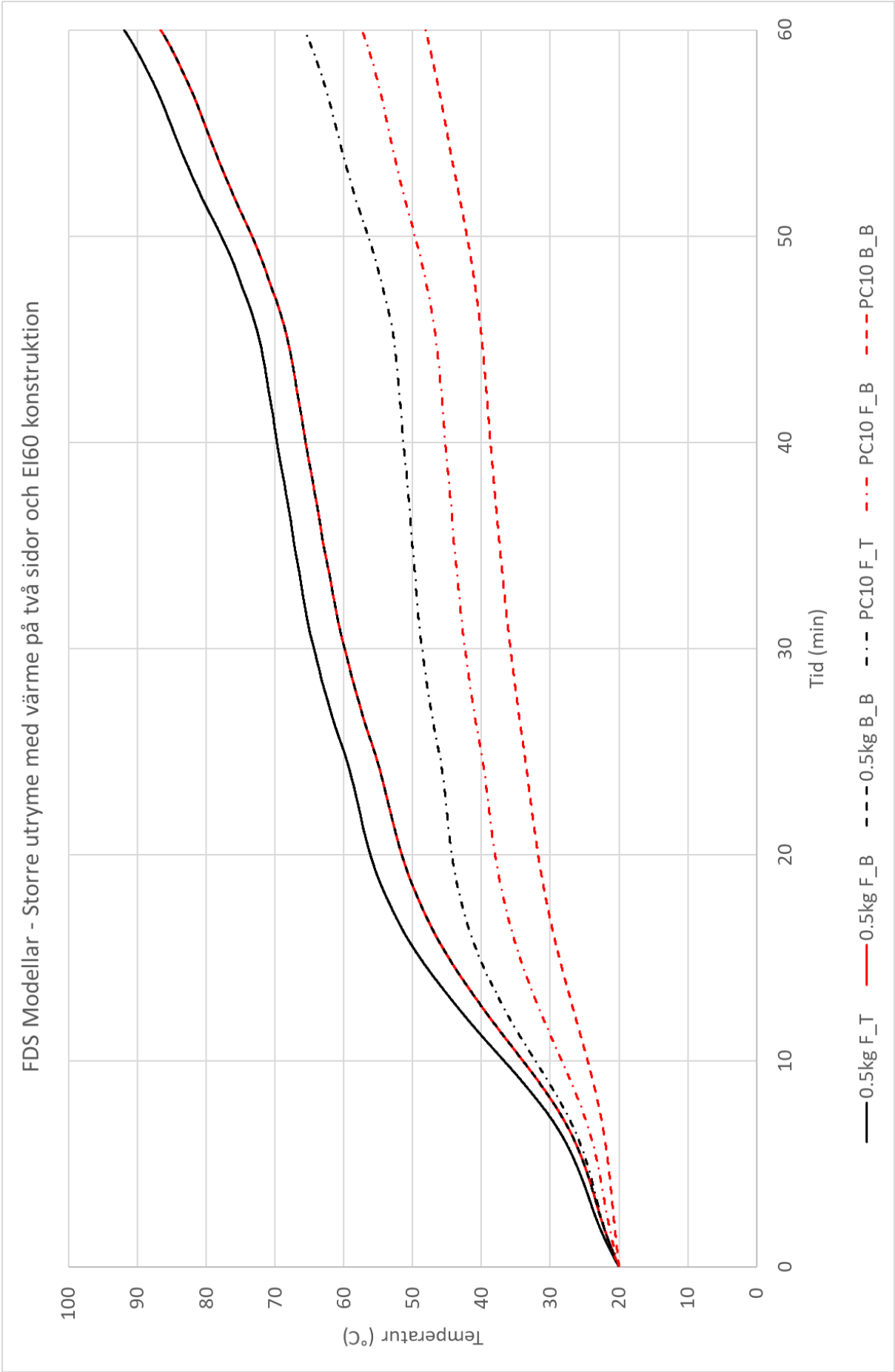

FDS Model - Små utryme, 300ml gasbehållare på 30 cm och EI90 konstruktion
Temperatur (°C)
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
Tid (min)
gasbehållare_F_T
gasbehållare_B_B

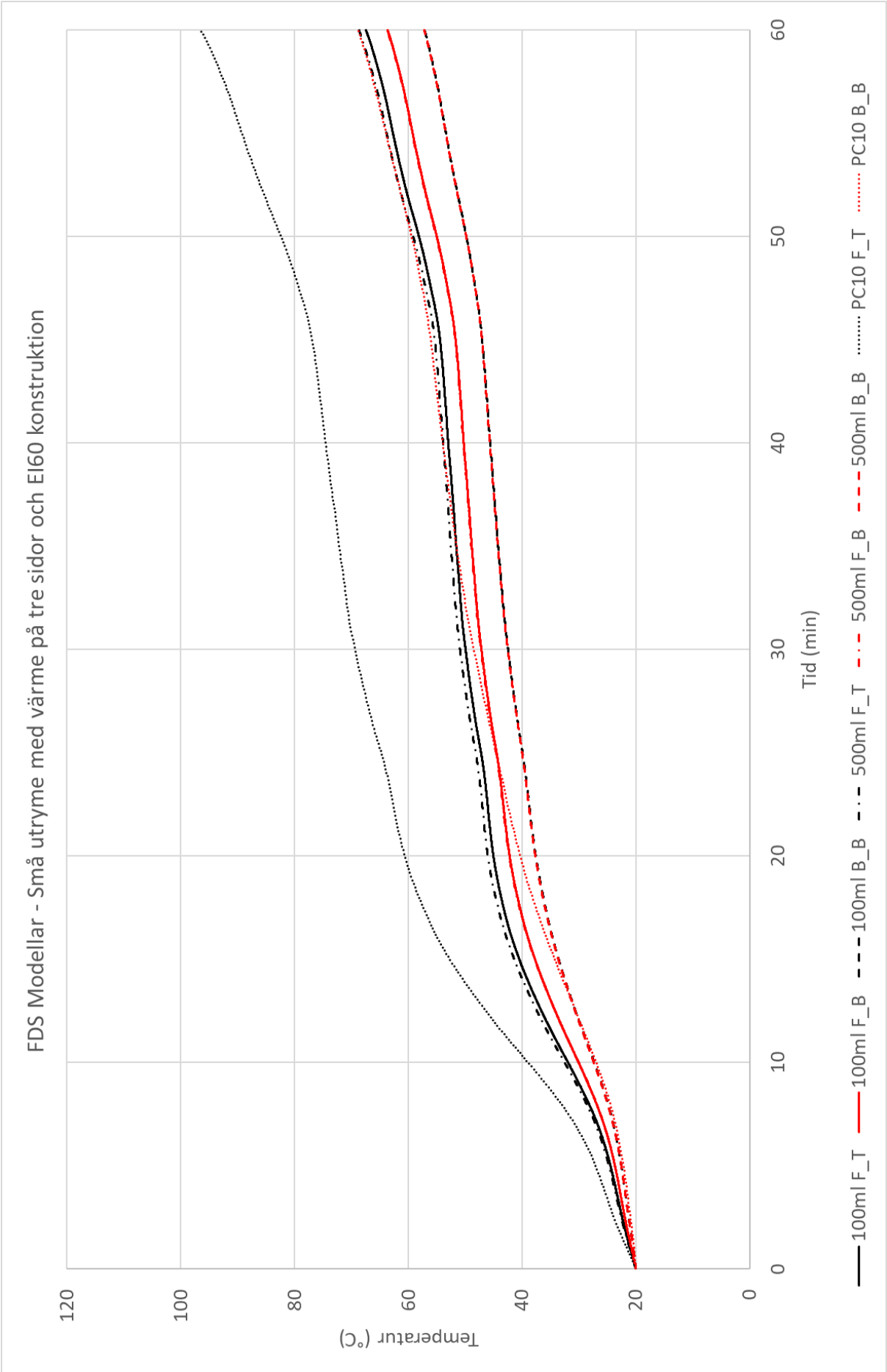

FDS Model - Små utryme, PC10 gasbehållare på 30 cm och EI90 konstruktion
Temperatur (°C)
60
50
40
30
20
10
0
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
Tid (min)
gasbehållare_F_T
gasbehållare_B_B


FDS Model - Små utryme, 300ml gasbehållare på 30 cm och EI60 konstruktion värme på 3 sidor
Temperatur (°C)
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
10
20
30
40
50
60
Tid (min)
gasbehållare_F_T
gasbehållare_F_B
gasbehållare_B_B
gasbehållare_L_T
gasbehållare_R_T

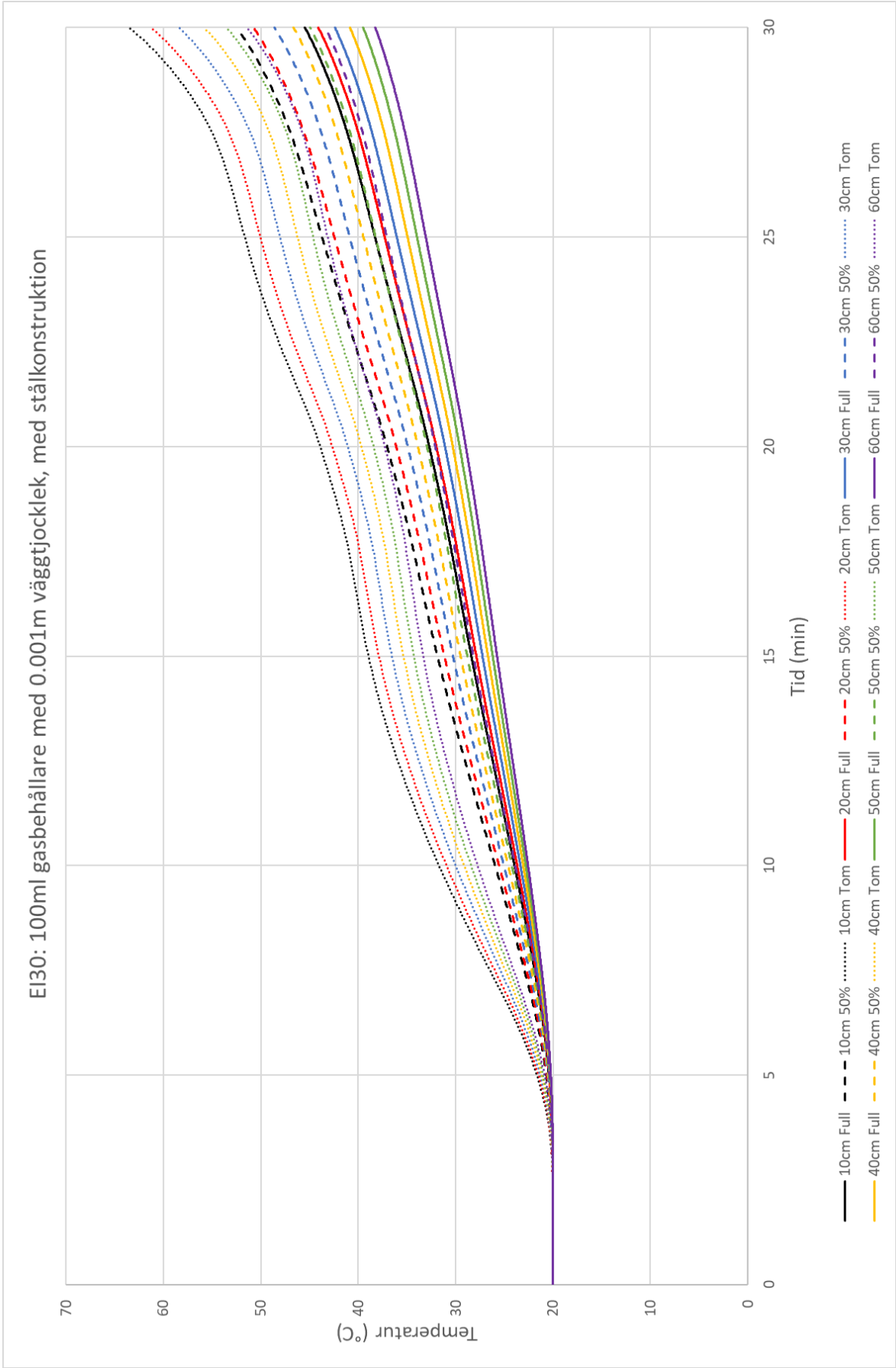

FDS Model - Storre utryme, 0.5kg gasbehållare på 30 cm och EI60 konstruktion
Temperatur (°C)
70
60
50
40
30
20
10
0
0
10
20
30
40
50
60
Tid (min)
gasbehållare_F_T
gasbehållare_F_B
gasbehållare_B_B
gasbehållare_L_T
gasbehållare_R_T

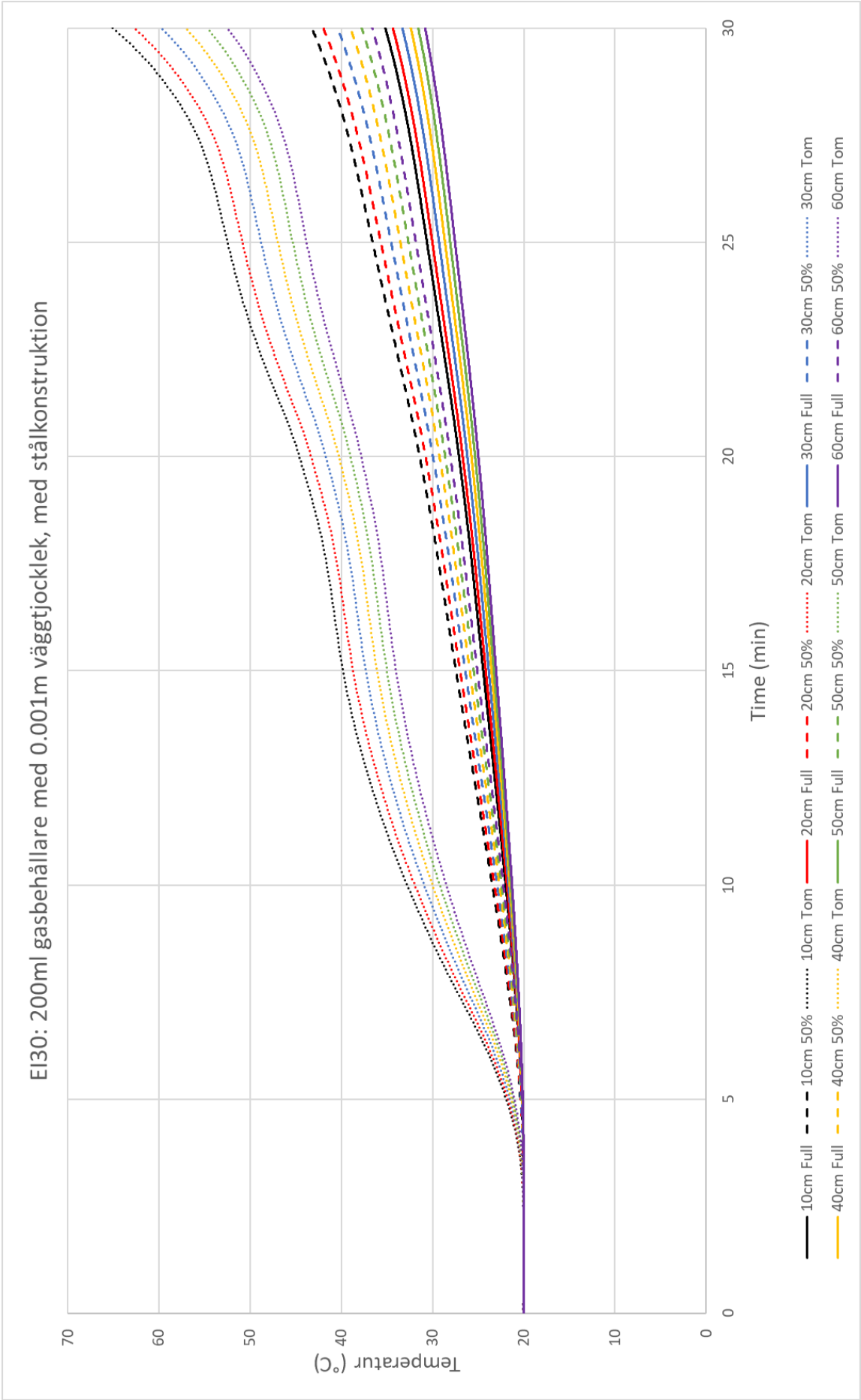

FDS Model - Storre utryme, PC10 gasbehållare på 30 cm och EI60 konstruktion
Temperatur (°C)
70
60
50
40
30
20
10
0
0
10
20
30
40
50
60
Tid (min)
gasbehållare_F_T
gasbehållare_F_B
gasbehållare_B_B
gasbehållare_L_T
gasbehållare_R_T

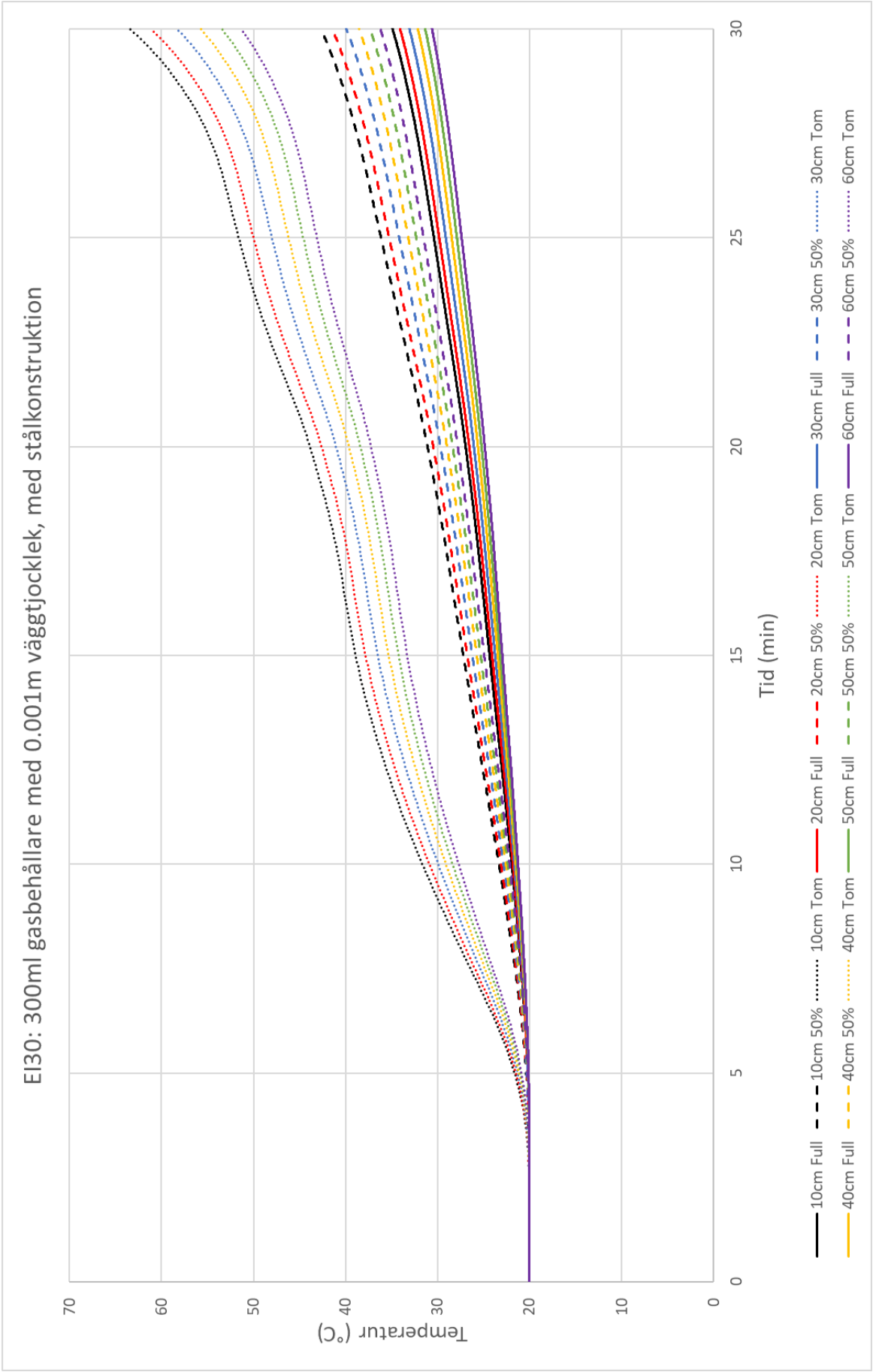

FDS Modellar - Storre utryme med värme på två sidor och EI60 konstruktion
Temperatur (°C)
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
10
20
30
40
50
60
Tid (min)
0.5kg F_T
0.5kg F_B
0.5kg B_B
PC10 F_T
PC10 F_B
PC10 B_B

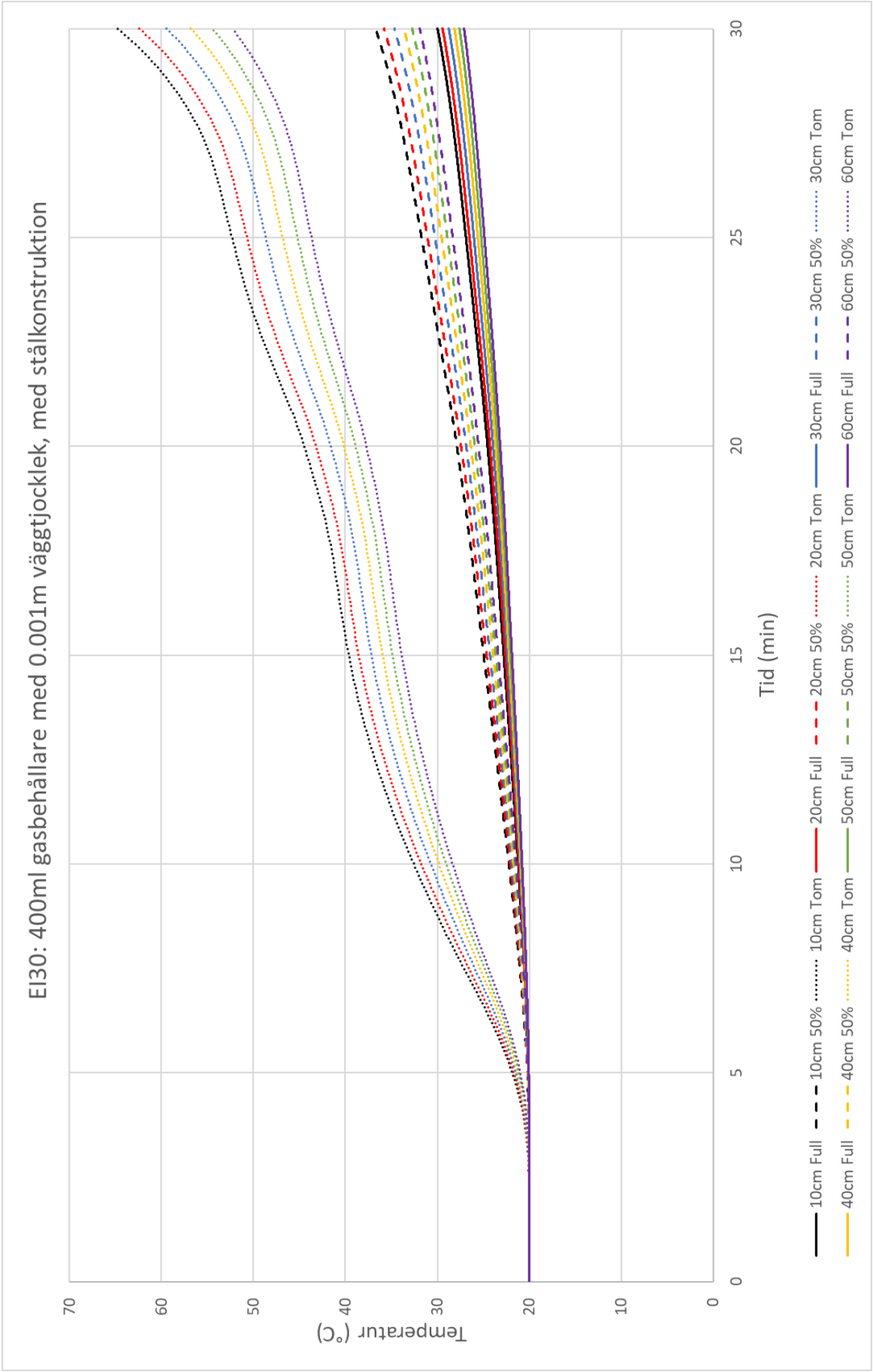

FDS Modellar - Små utryme med värme på tre sidor och EI60 konstruktion
Temperatur (°C)
120
100
80
60
40
20
0
0
10
20
30
40
50
60
Tid (min)
100ml F_T
100ml F_B
100ml B_B
500ml F_T
500ml F_B
500ml B_B
PC10 F_T
PC10 B_B

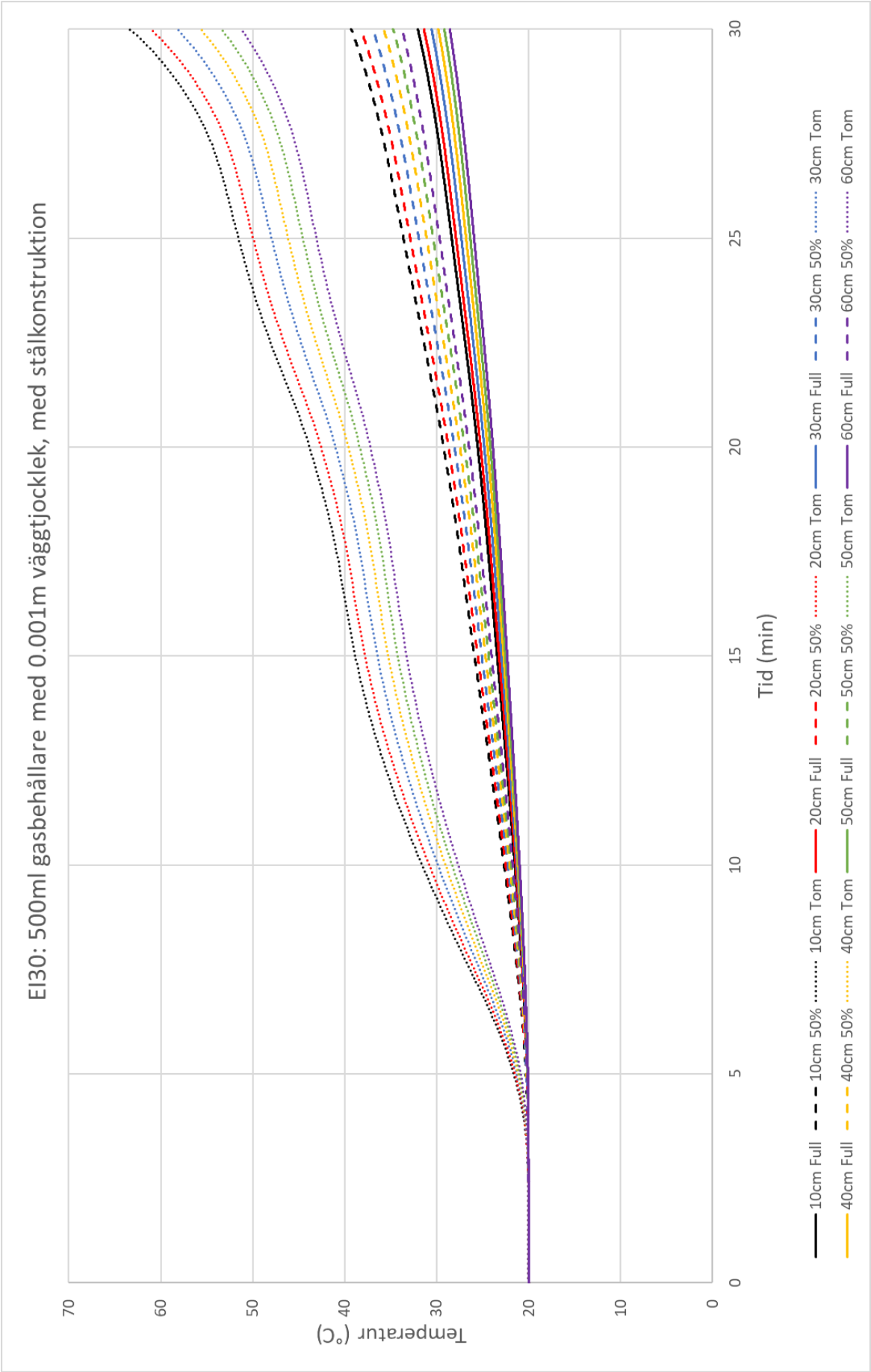
Lumped Mass – Litet utrymme med 1 sidig uppvärmning

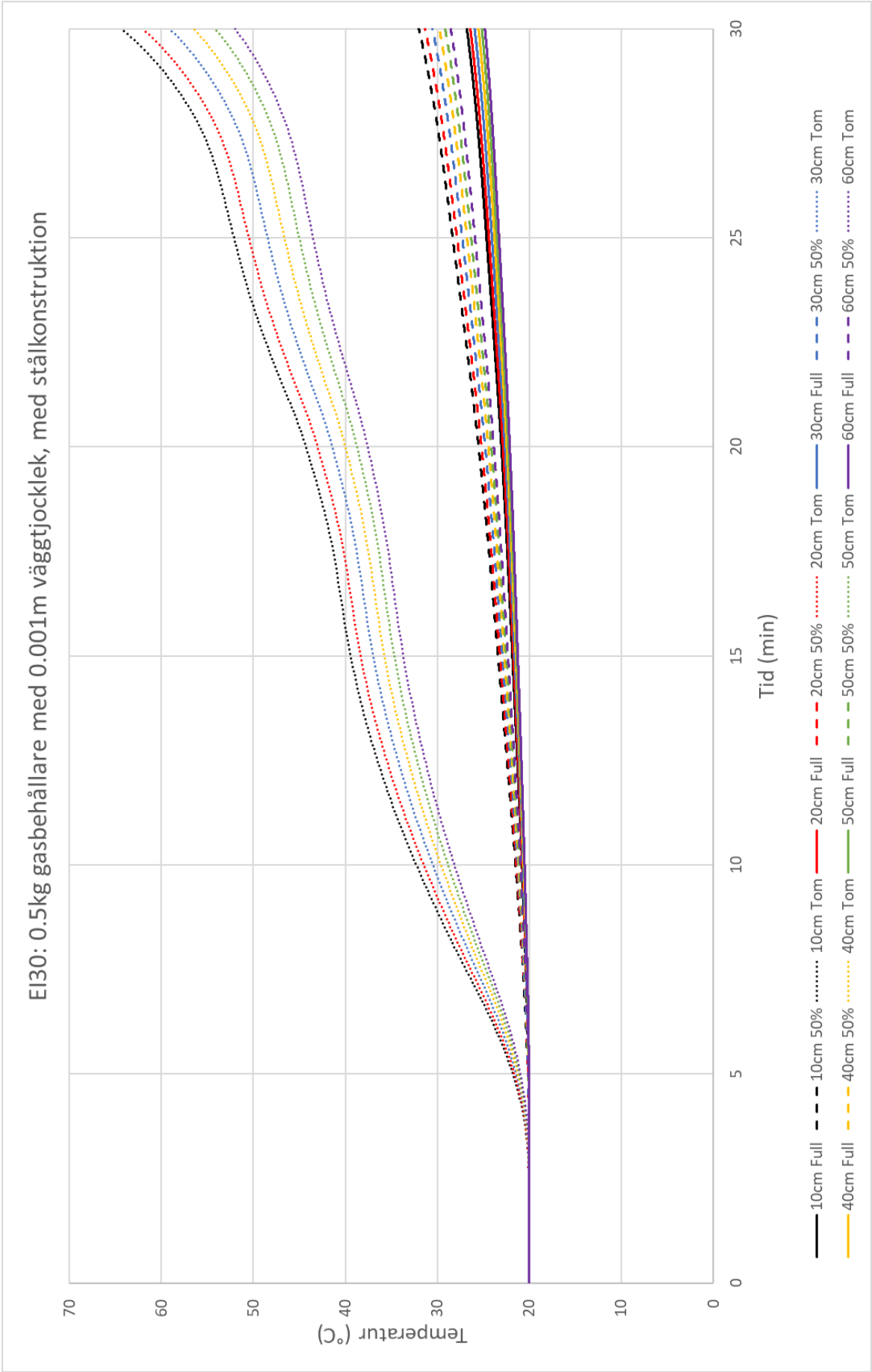


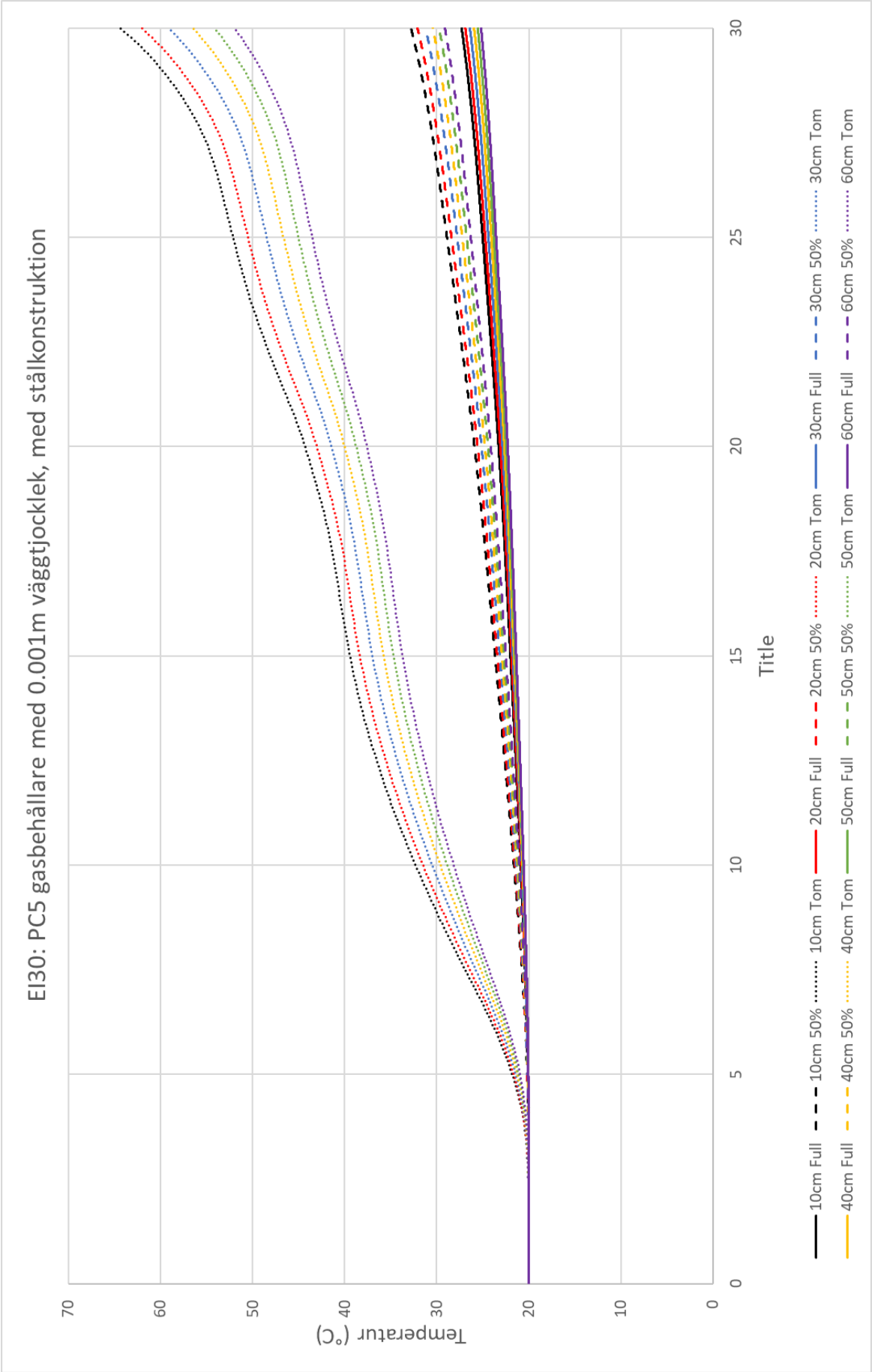

EI30: 200ml gasbehållare med 0.001m väggtjocklek, med stålkonstruktion
Temperatur (°C)
70
60
50
40
30
20
10
0
0
5
10
15
20
25
30
Time (min)
10cm Full
10cm 50%
10cm Tom
20cm Full
20cm 50%
20cm Tom
30cm Full
30cm 50%
30cm Tom
40cm Full
40cm 50%
40cm Tom
50cm Full
50cm 50%
50cm Tom
60cm Full
60cm 50%
60cm Tom

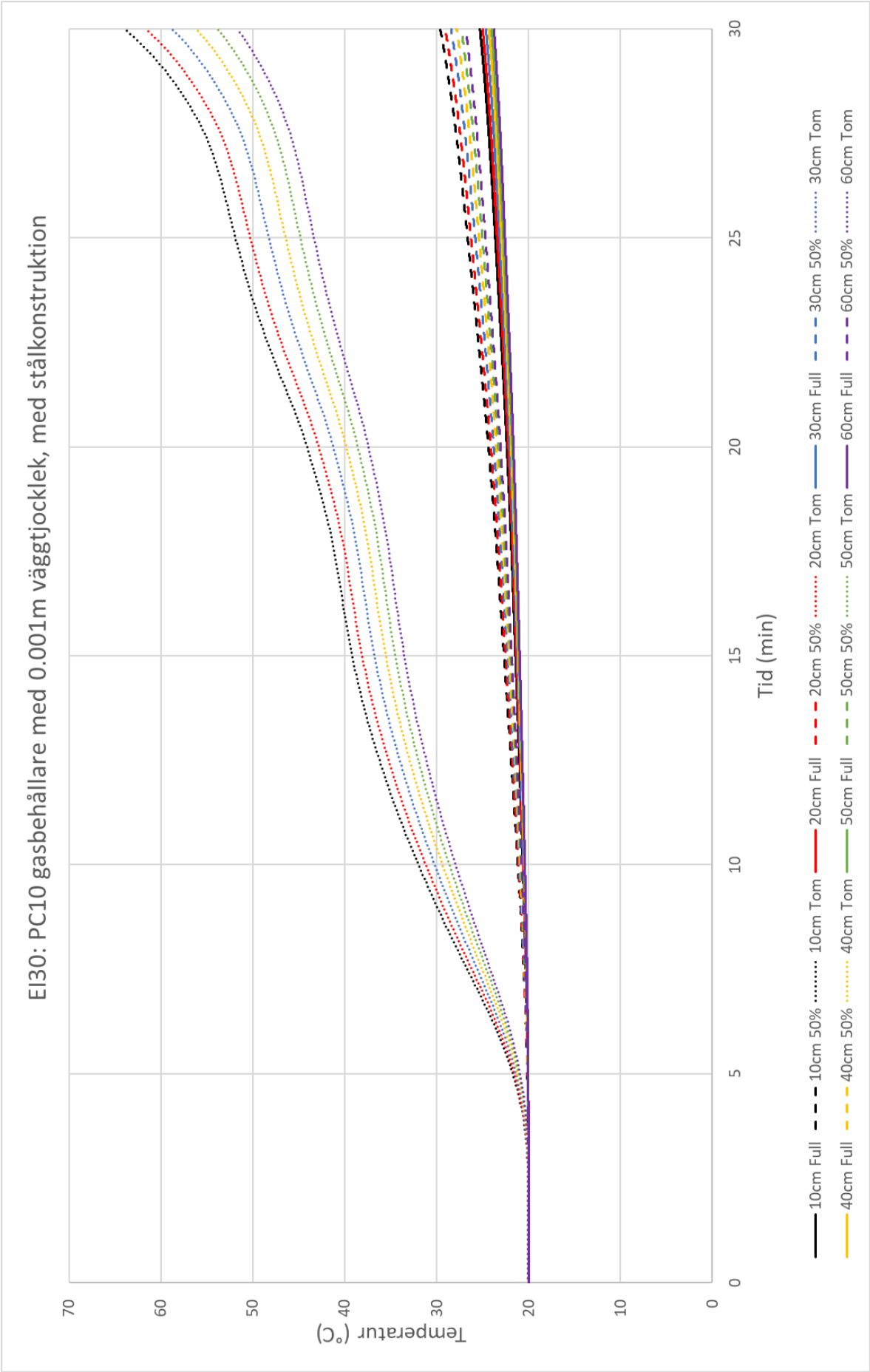

EI30: 300ml gasbehållare med 0.001m väggtjocklek, med stålkonstruktion
Temperatur (°C)
70
60
50
40
30
20
10
0
0
5
10
15
20
25
30
Tid (min)
10cm Full
10cm 50%
10cm Tom
20cm Full
20cm 50%
20cm Tom
30cm Full
30cm 50%
30cm Tom
40cm Full
40cm 50%
40cm Tom
50cm Full
50cm 50%
50cm Tom
60cm Full
60cm 50%
60cm Tom

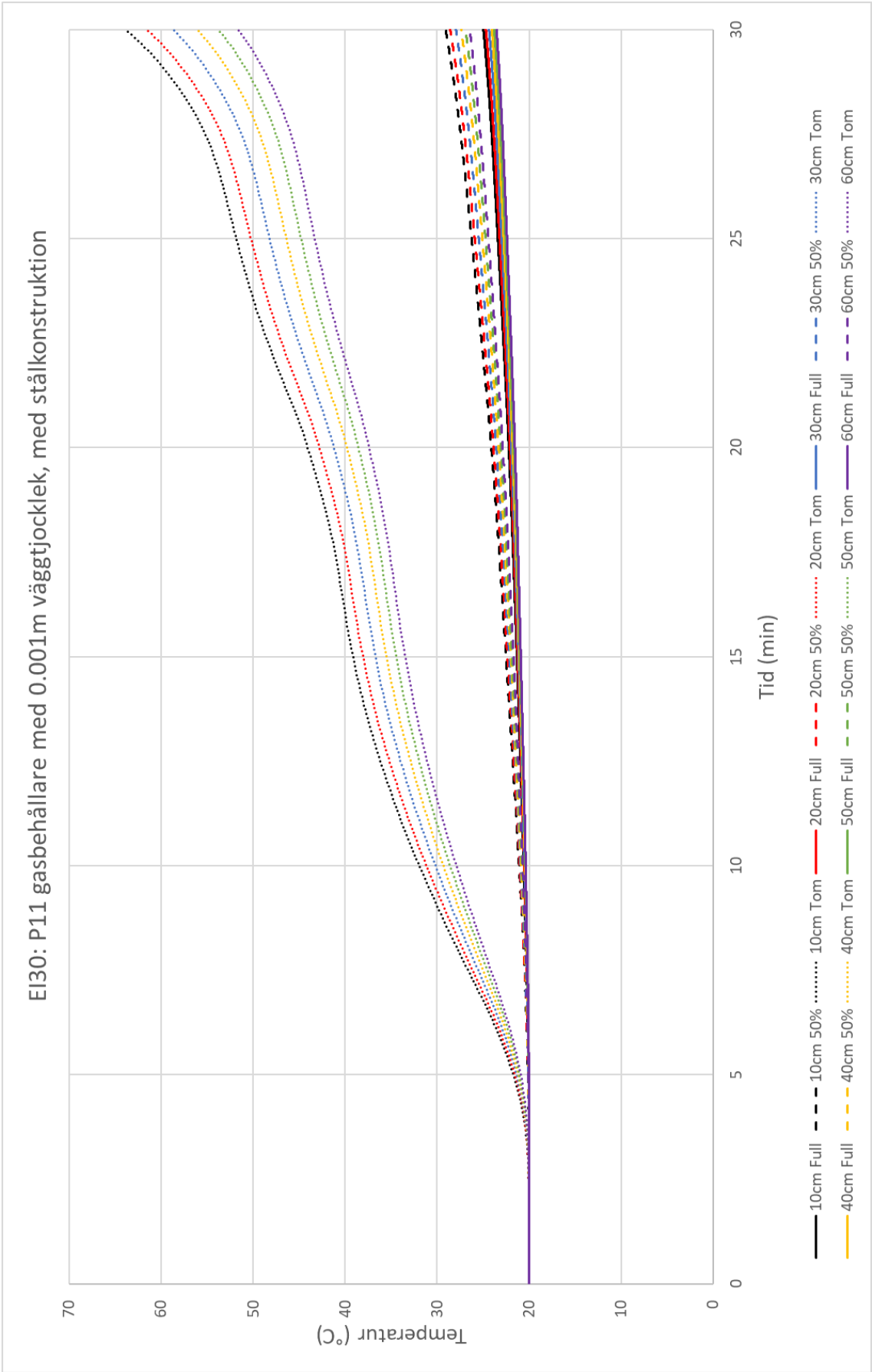

EI30: 400ml gasbehållare med 0.001m väggtjocklek, med stålkonstruktion
Temperatur (°C)
70
60
50
40
30
20
10
0
0
5
10
15
20
25
30
Tid (min)
10cm Full
10cm 50%
10cm Tom
20cm Full
20cm 50%
20cm Tom
30cm Full
30cm 50%
30cm Tom
40cm Full
40cm 50%
40cm Tom
50cm Full
50cm 50%
50cm Tom
60cm Full
60cm 50%
60cm Tom

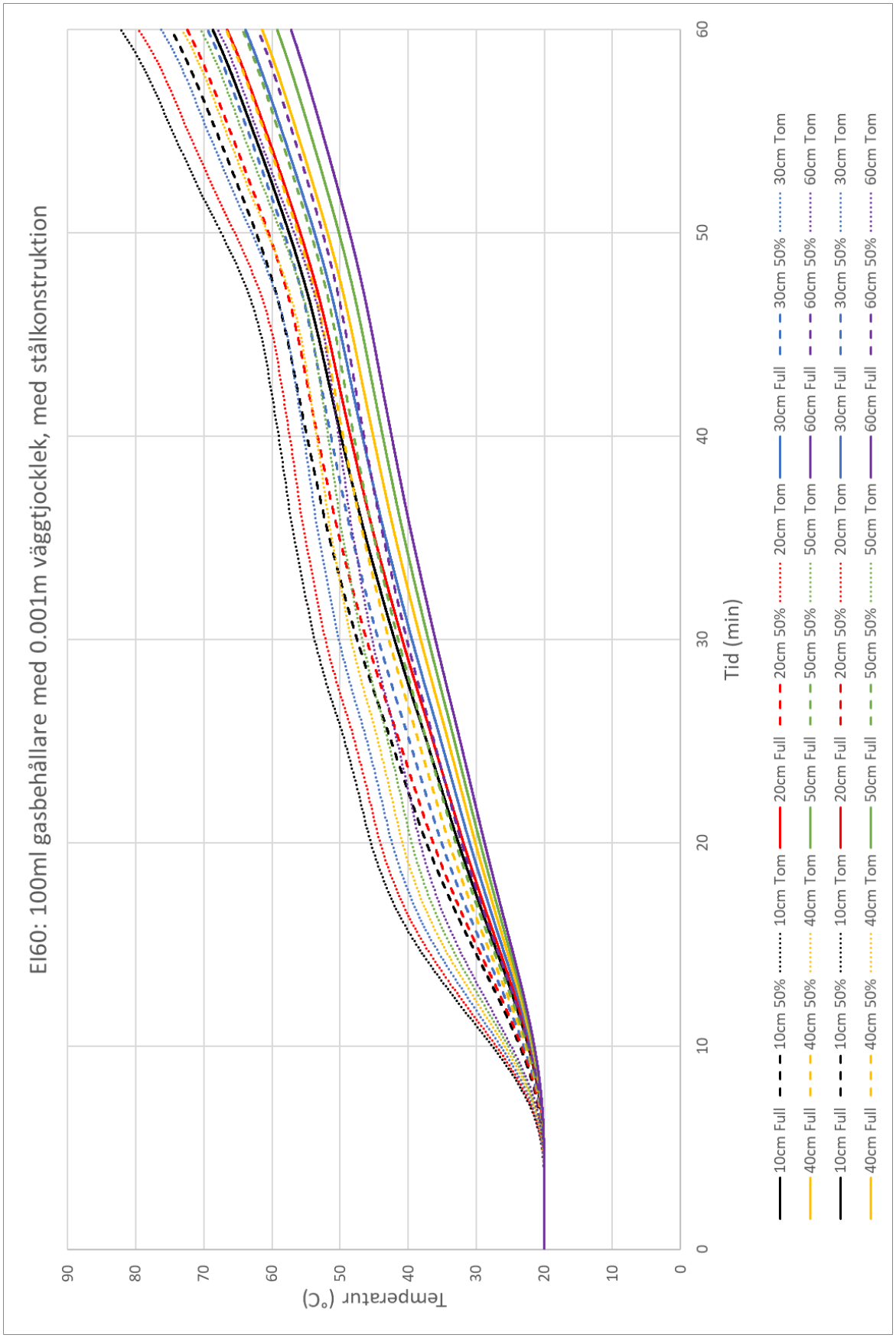

EI30: 500ml gasbehållare med 0.001m väggtjocklek, med stålkonstruktion
Temperatur (°C)
70
60
50
40
30
20
10
0
0
5
10
15
20
25
30
Tid (min)
10cm Full
10cm 50%
10cm Tom
20cm Full
20cm 50%
20cm Tom
30cm Full
30cm 50%
30cm Tom
40cm Full
40cm 50%
40cm Tom
50cm Full
50cm 50%
50cm Tom
60cm Full
60cm 50%
60cm Tom

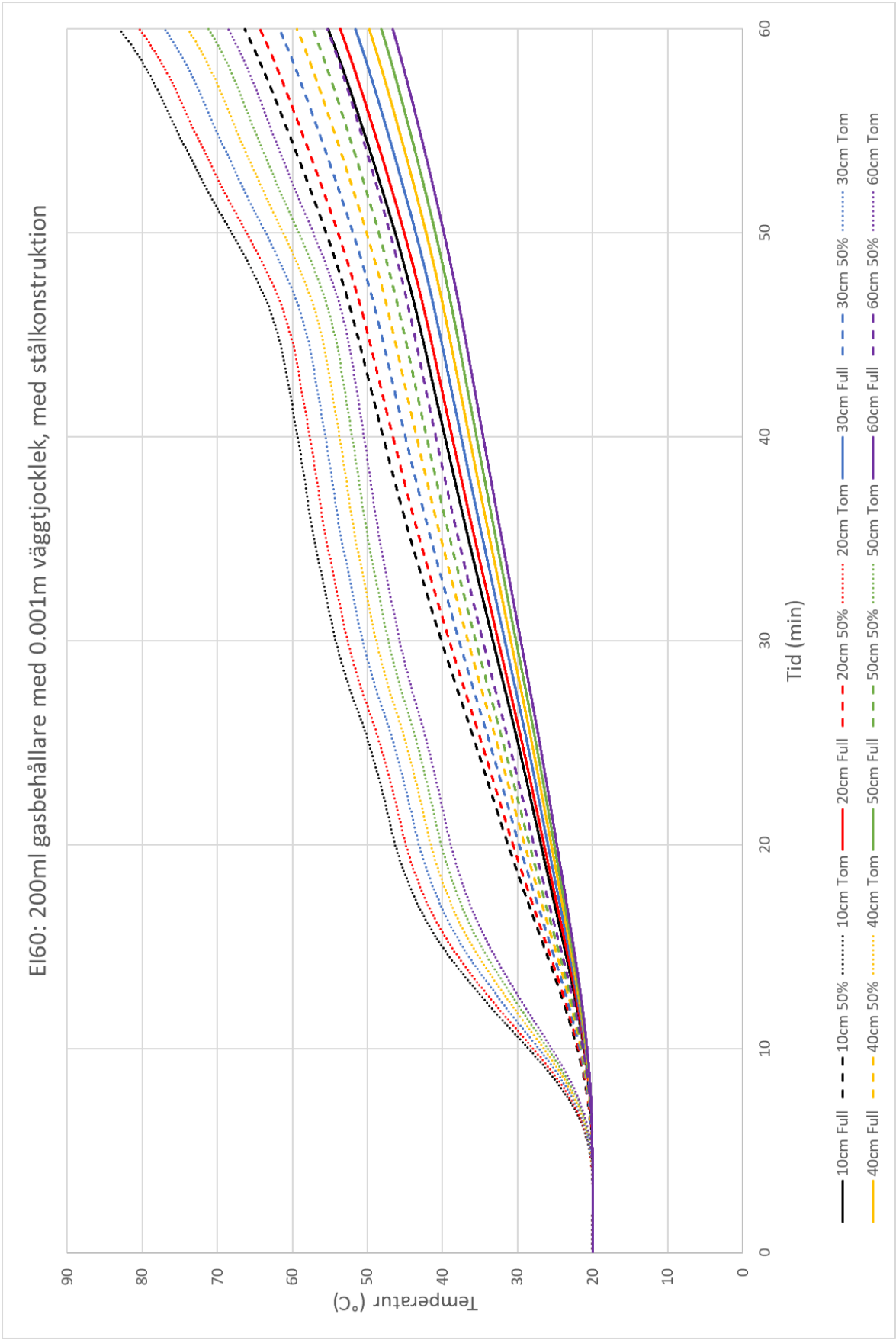

EI30: 0.5kg gasbehållare med 0.001m väggtjocklek, med stålkonstruktion
Temperatur (°C)
70
60
50
40
30
20
10
0
0
5
10
15
20
25
30
Tid (min)
10cm Full
10cm 50%
10cm Tom
20cm Full
20cm 50%
20cm Tom
30cm Full
30cm 50%
30cm Tom
40cm Full
40cm 50%
40cm Tom
50cm Full
50cm 50%
50cm Tom
60cm Full
60cm 50%
60cm Tom

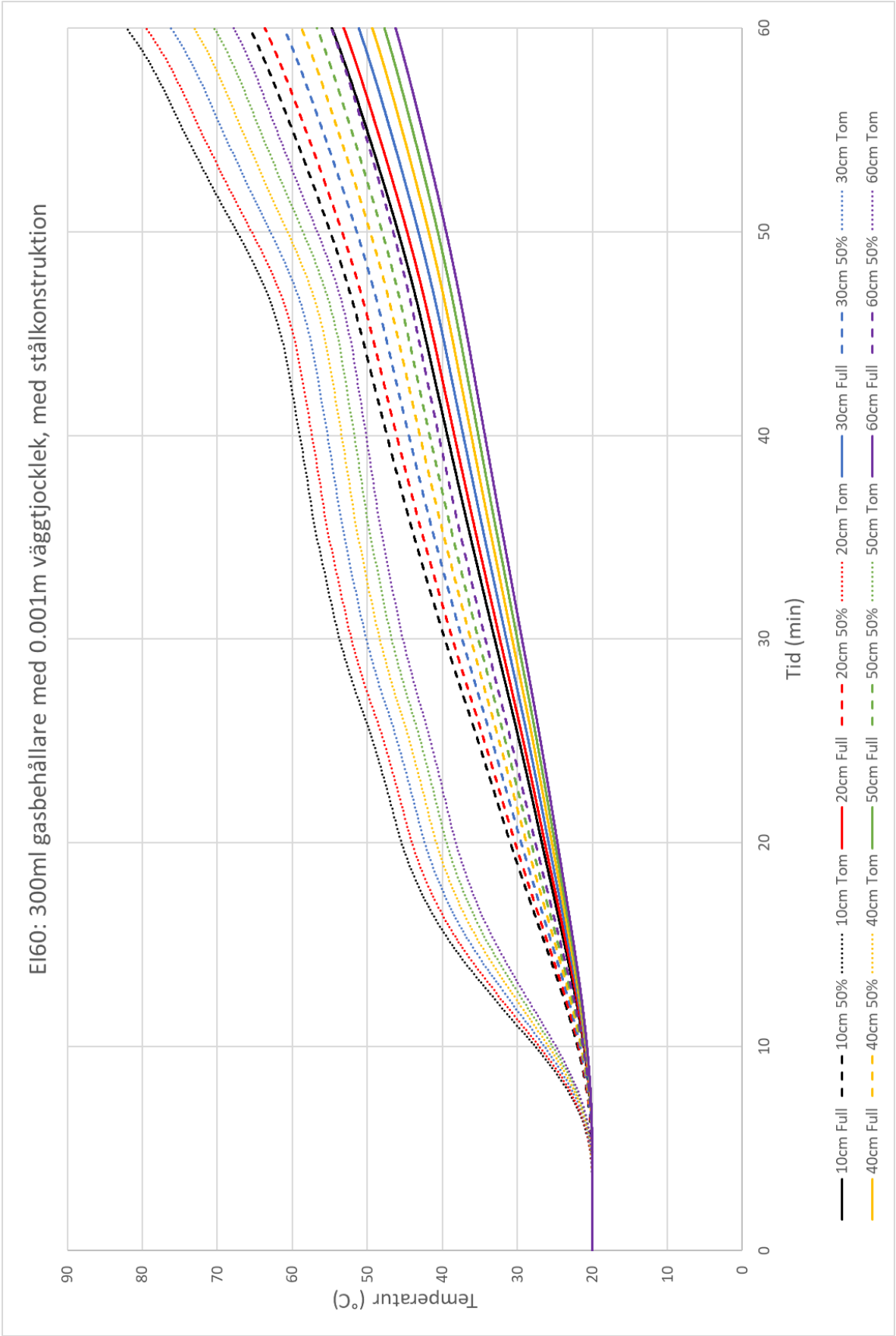

EI30: PC5 gasbehållare med 0.001m väggtjocklek, med stålkonstruktion
Temperatur (°C)
70
60
50
40
30
20
10
0
0
5
10
15
20
25
30
Title
10cm Full
10cm 50%
10cm Tom
20cm Full
20cm 50%
20cm Tom
30cm Full
30cm 50%
30cm Tom
40cm Full
40cm 50%
40cm Tom
50cm Full
50cm 50%
50cm Tom
60cm Full
60cm 50%
60cm Tom

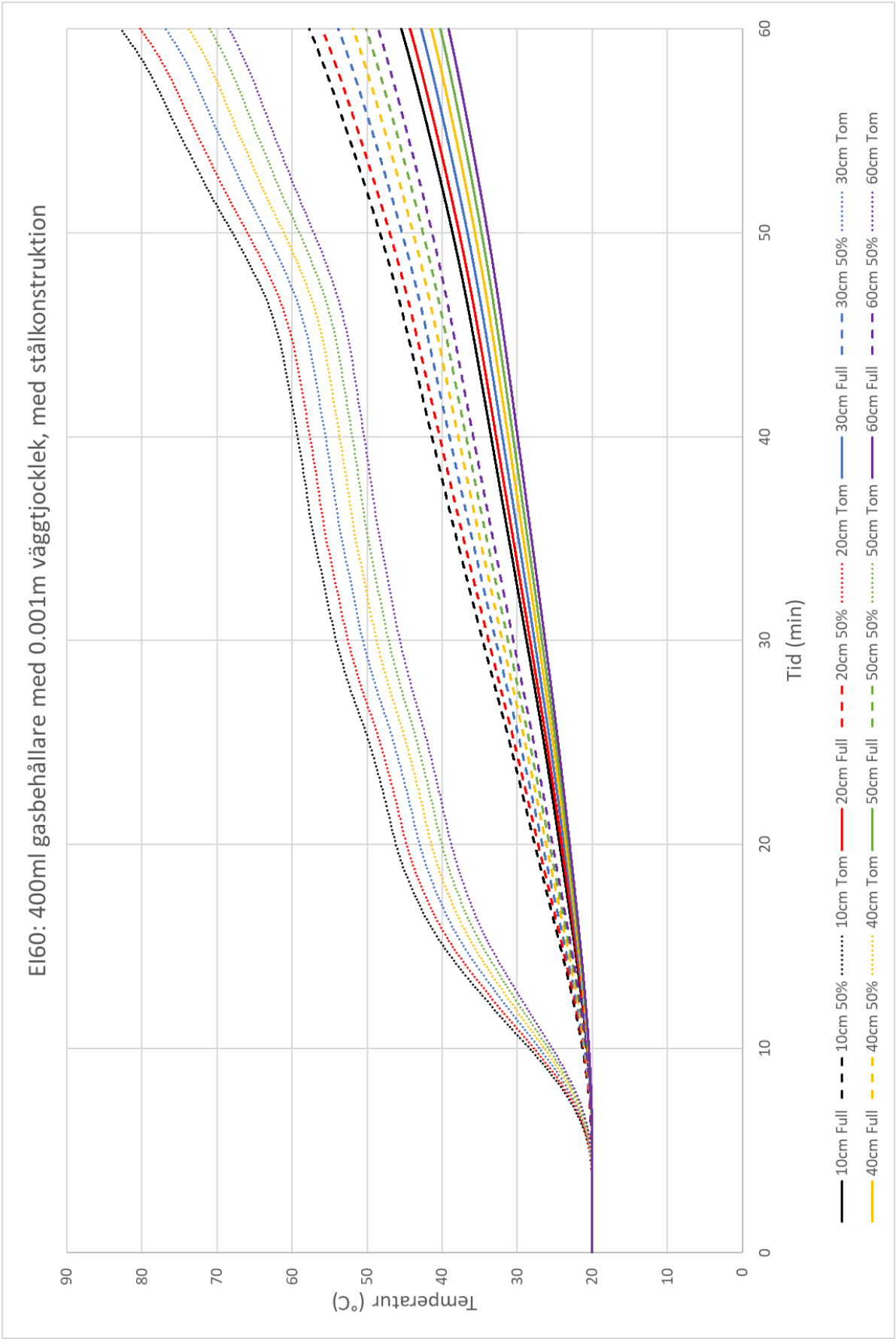

EI30: PC10 gasbehållare med 0.001m väggtjocklek, med stålkonstruktion
Temperatur (°C)
70
60
50
40
30
20
10
0
0
5
10
15
20
25
30
Tid (min)
10cm Full
10cm 50%
10cm Tom
20cm Full
20cm 50%
20cm Tom
30cm Full
30cm 50%
30cm Tom
40cm Full
40cm 50%
40cm Tom
50cm Full
50cm 50%
50cm Tom
60cm Full
60cm 50%
60cm Tom

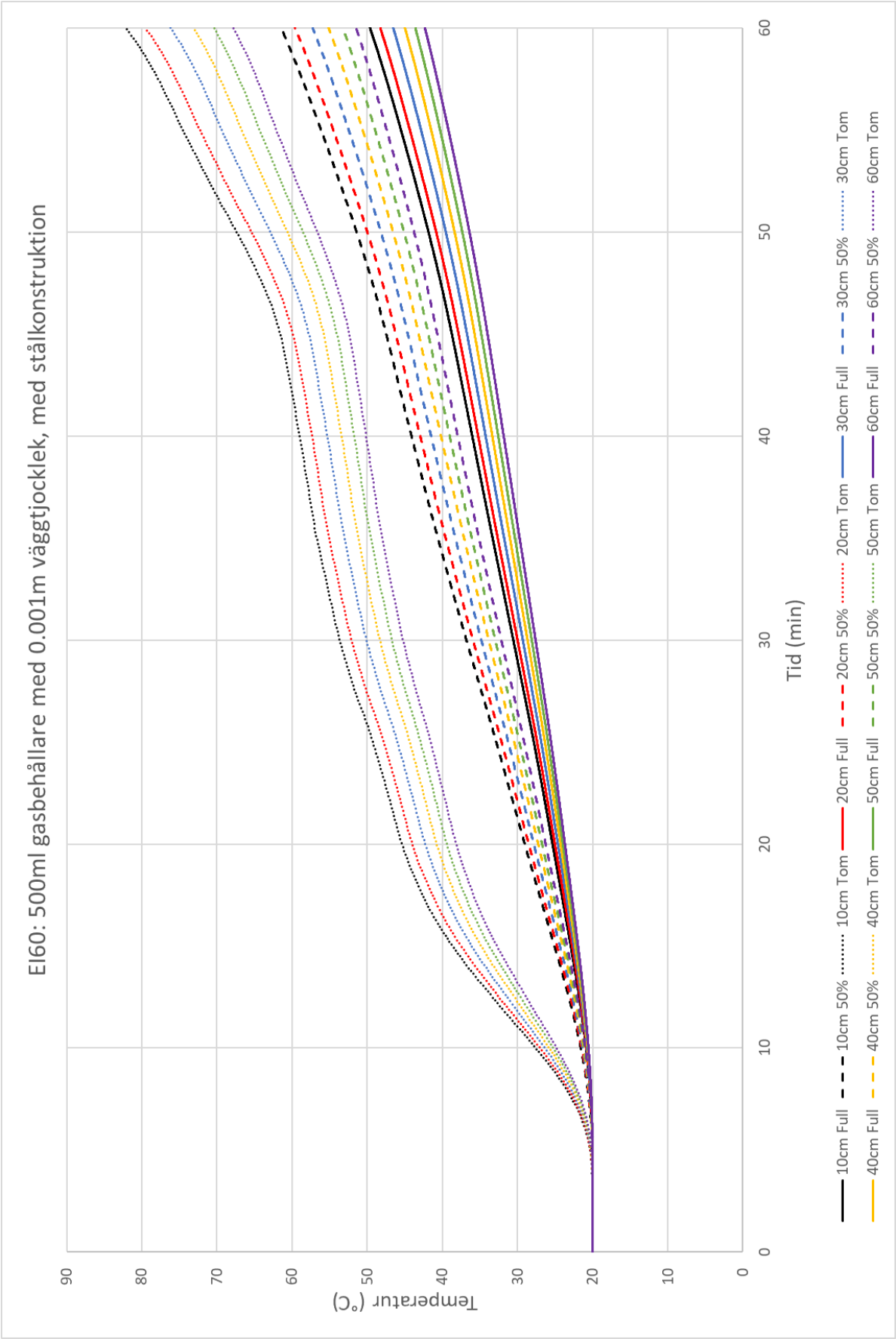

EI30: P11 gasbehållare med 0.001m väggtjocklek, med stålkonstruktion
Temperatur (°C)
70
60
50
40
30
20
10
0
0
5
10
15
20
25
30
Tid (min)
10cm Full
10cm 50%
10cm Tom
20cm Full
20cm 50%
20cm Tom
30cm Full
30cm 50%
30cm Tom
40cm Full
40cm 50%
40cm Tom
50cm Full
50cm 50%
50cm Tom
60cm Full
60cm 50%
60cm Tom

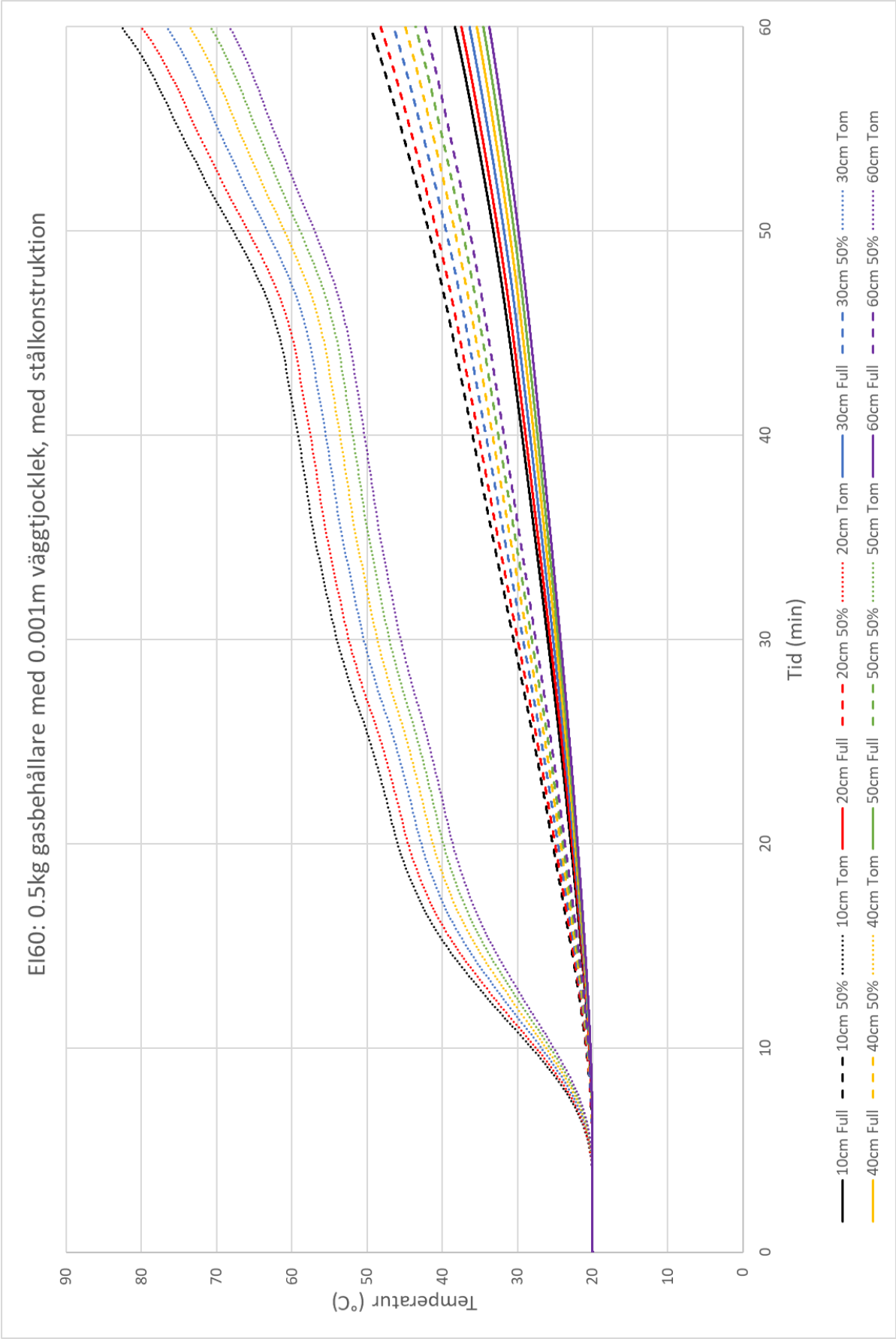

EI60: 100ml gasbehållare med 0.001m väggtjocklek, med stålkonstruktion
Temperatur (°C)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
Tid (min)
0
10
20
30
40
50
60
10cm Full
10cm 50%
10cm Tom
20cm Full
20cm 50%
20cm Tom
30cm Full
30cm 50%
30cm Tom
40cm Full
40cm 50%
40cm Tom
50cm Full
50cm 50%
50cm Tom
60cm Full
60cm 50%
60cm Tom

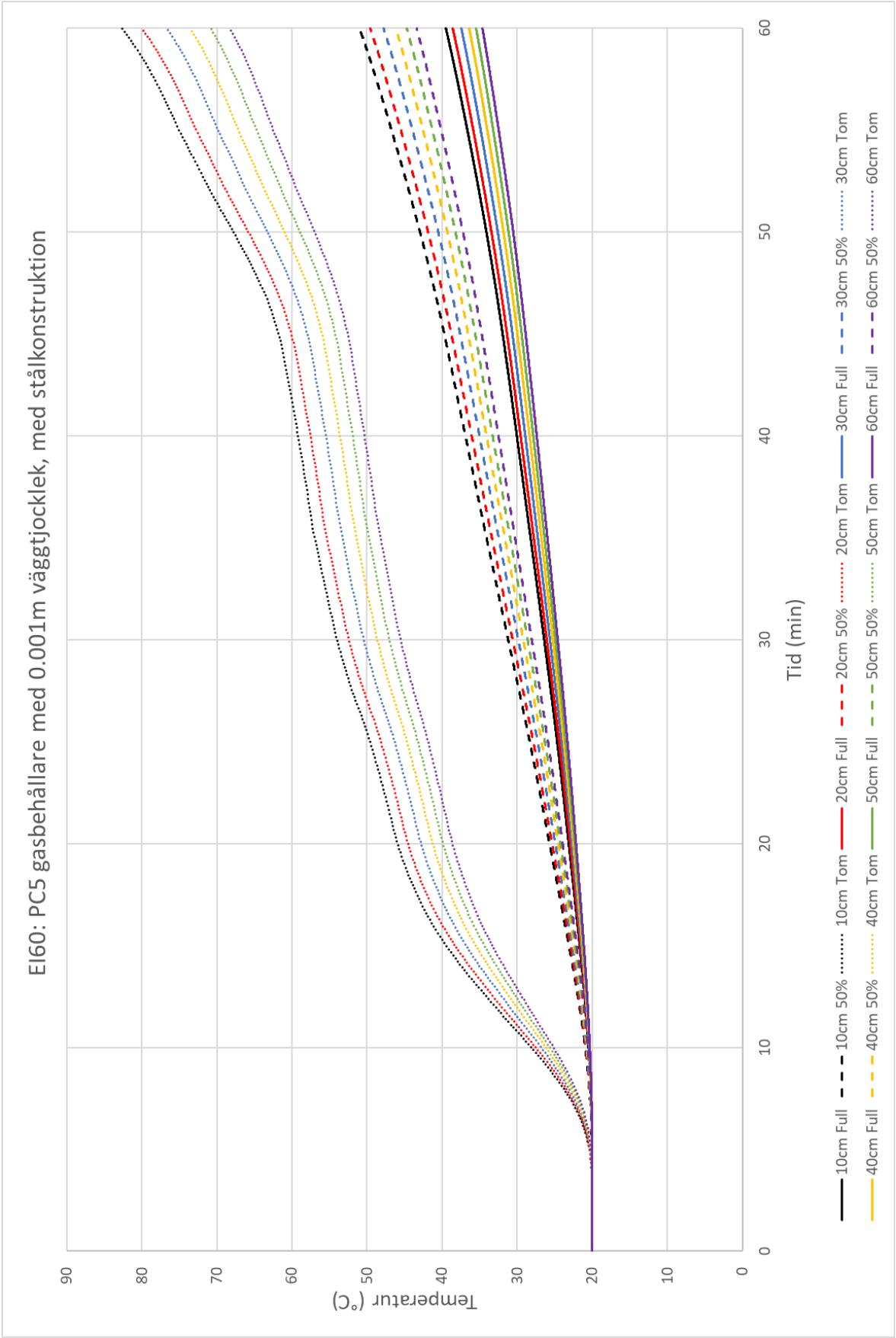

EI60: 200ml gasbehållare med 0.001m väggtjocklek, med stålkonstruktion
Temperatur (°C)
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
10
20
30
40
50
60
Tid (min)
10cm Full
10cm 50%
10cm Tom
20cm Full
20cm 50%
20cm Tom
30cm Full
30cm 50%
30cm Tom
40cm Full
40cm 50%
40cm Tom
50cm Full
50cm 50%
50cm Tom
60cm Full
60cm 50%
60cm Tom

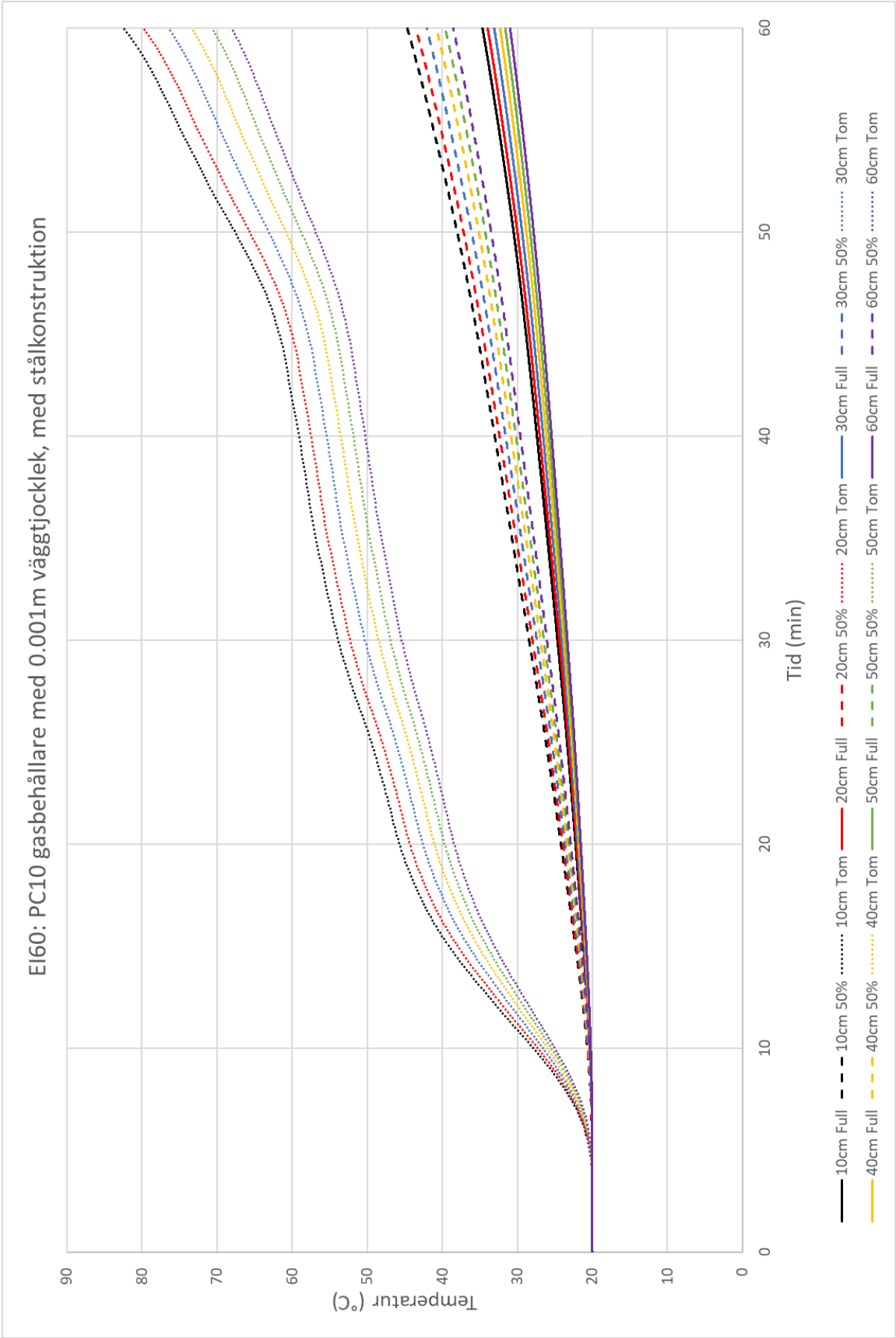

EI60: 300ml gasbehållare med 0.001m väggtjocklek, med stålkonstruktion
Temperatur (°C)
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
10
20
30
40
50
60
Tid (min)
10cm Full
10cm 50%
10cm Tom
20cm Full
20cm 50%
20cm Tom
30cm Full
30cm 50%
30cm Tom
40cm Full
40cm 50%
40cm Tom
50cm Full
50cm 50%
50cm Tom
60cm Full
60cm 50%
60cm Tom

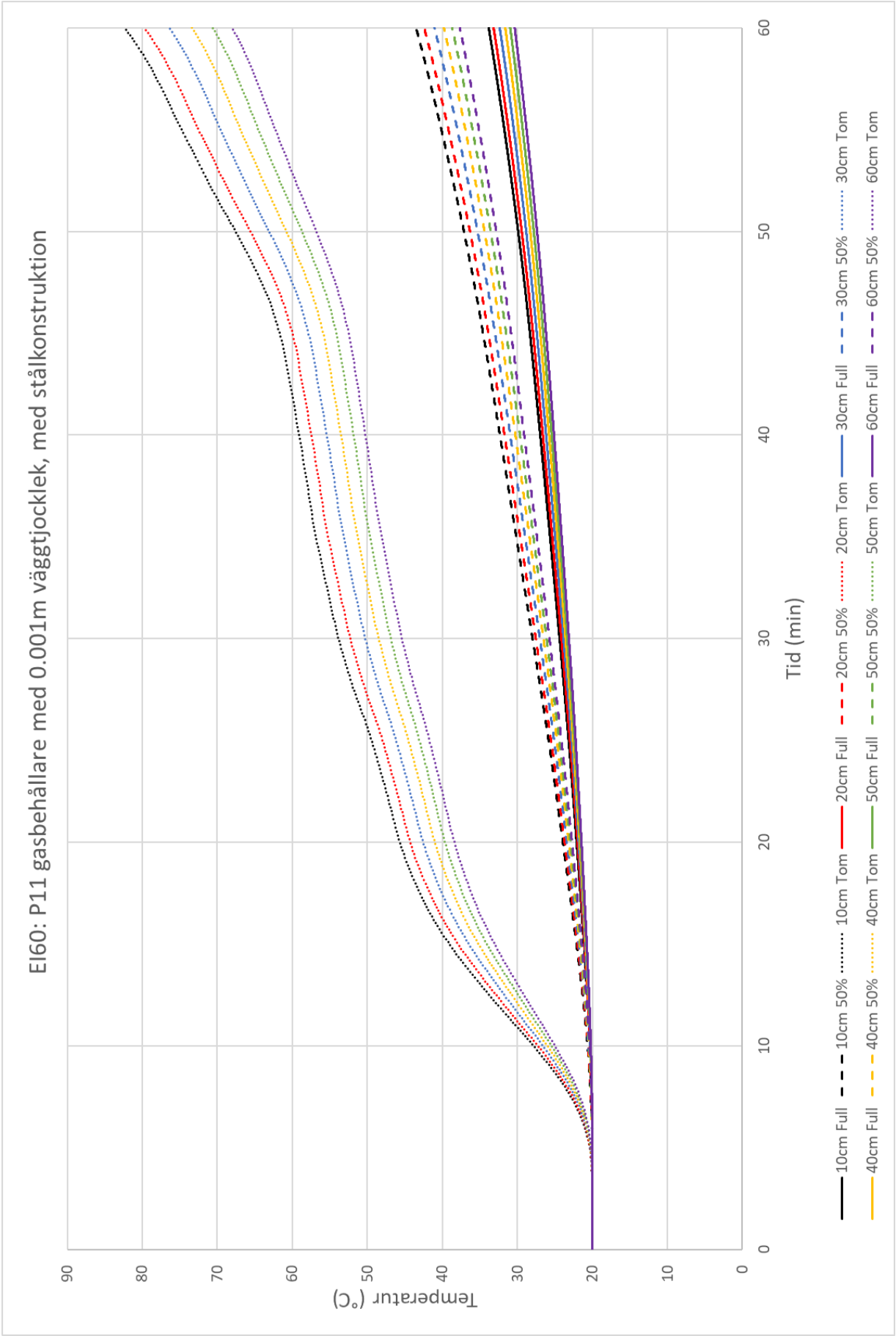

EI60: 400ml gasbehållare med 0.001m väggtjocklek, med stålkonstruktion
Temperatur (°C)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
Tid (min)
0
10
20
30
40
50
60
10cm Full
10cm 50%
10cm Tom
20cm Full
20cm 50%
20cm Tom
30cm Full
30cm 50%
30cm Tom
40cm Full
40cm 50%
40cm Tom
50cm Full
50cm 50%
50cm Tom
60cm Full
60cm 50%
60cm Tom

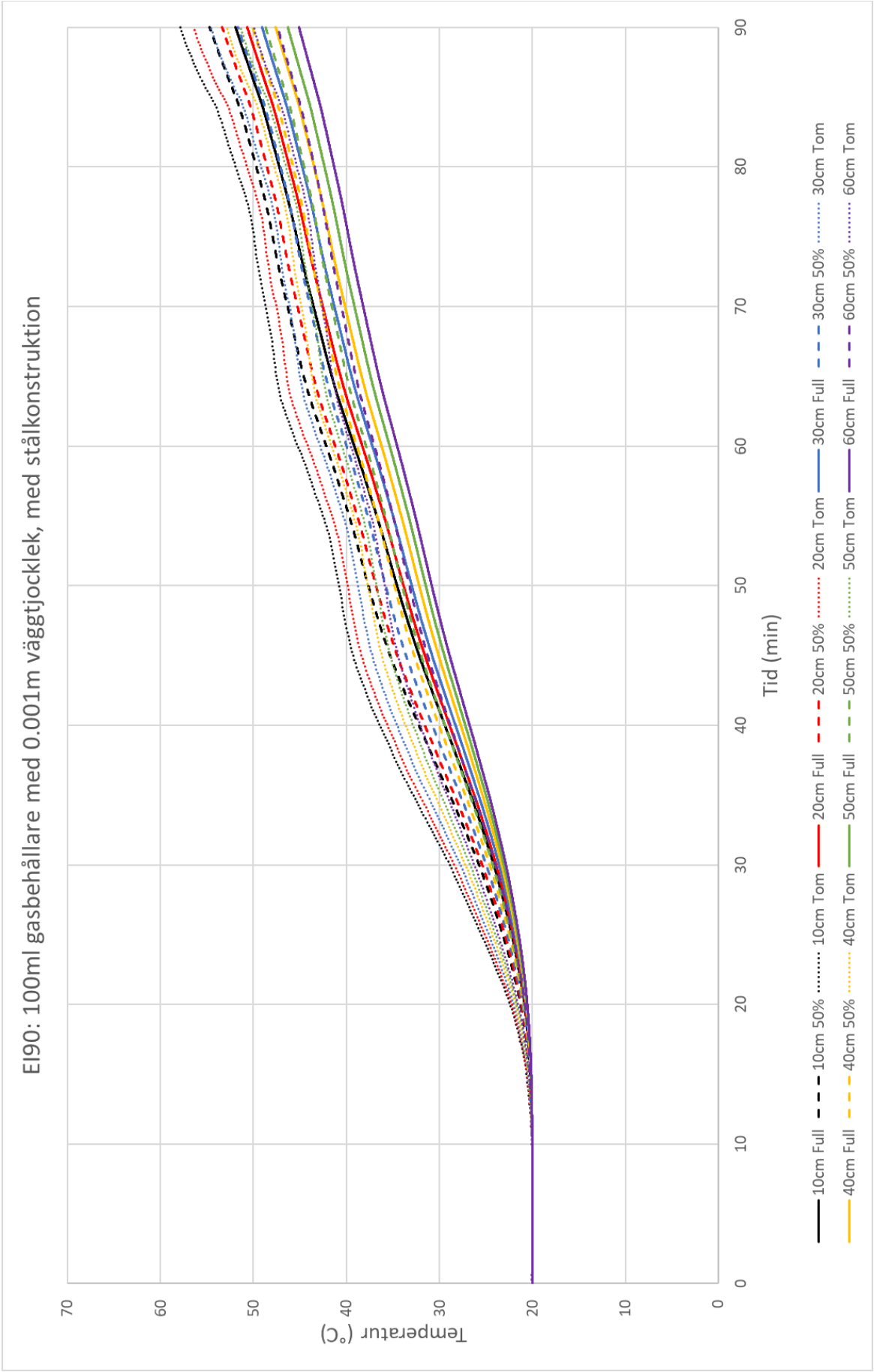

EI60: 500ml gasbehållare med 0.001m väggtjocklek, med stålkonstruktion
Temperatur (°C)
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
10
20
30
40
50
60
Tid (min)
10cm Full
10cm 50%
10cm Tom
20cm Full
20cm 50%
20cm Tom
30cm Full
30cm 50%
30cm Tom
40cm Full
40cm 50%
40cm Tom
50cm Full
50cm 50%
50cm Tom
60cm Full
60cm 50%
60cm Tom

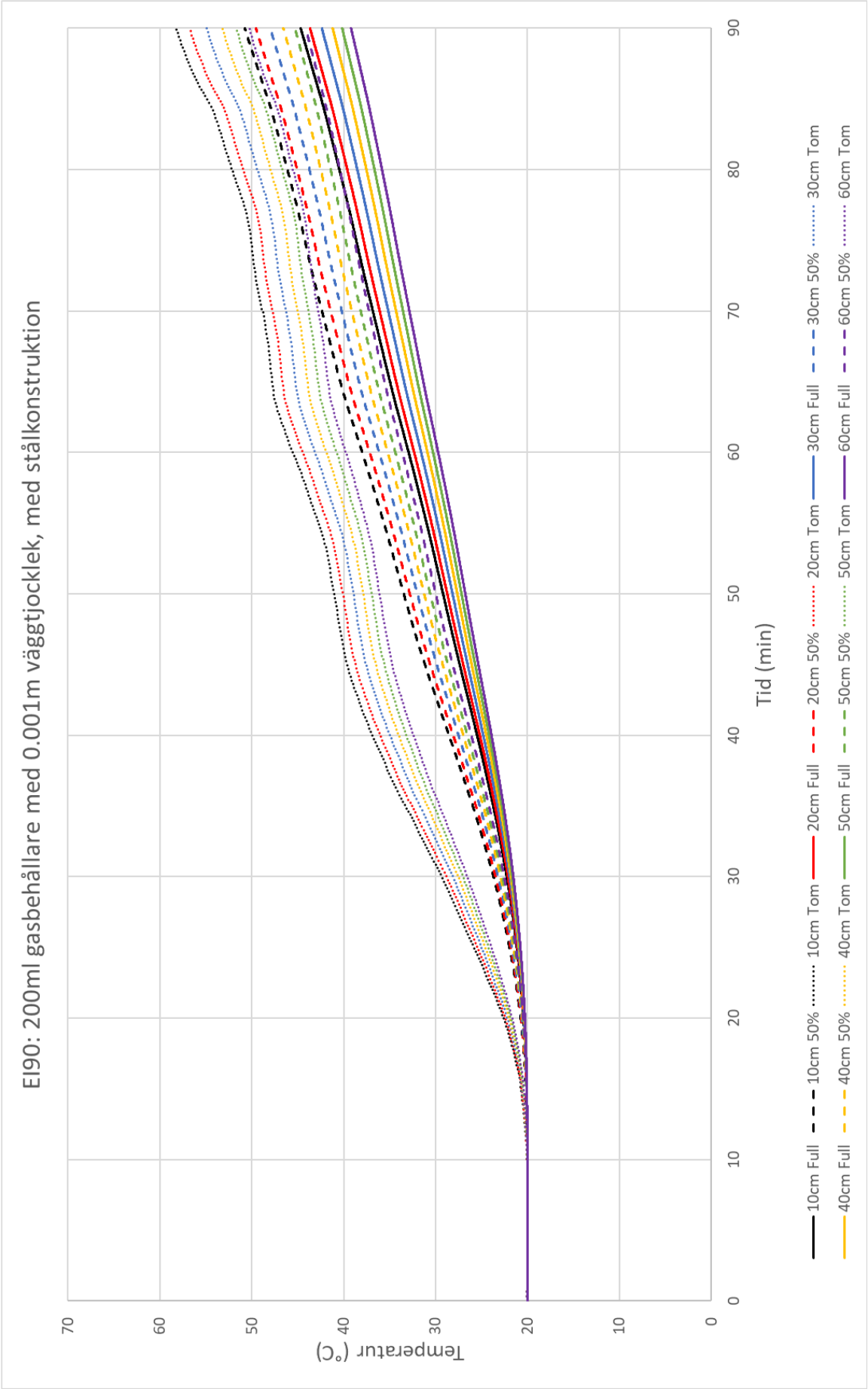

EI60: 0.5kg gasbehållare med 0.001m väggtjocklek, med stålkonstruktion
Temperatur (°C)
Tid (min)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
10cm Full
10cm 50%
10cm Tom
20cm Full
20cm 50%
20cm Tom
30cm Full
30cm 50%
30cm Tom
40cm Full
40cm 50%
40cm Tom
50cm Full
50cm 50%
50cm Tom
60cm Full
60cm 50%
60cm Tom

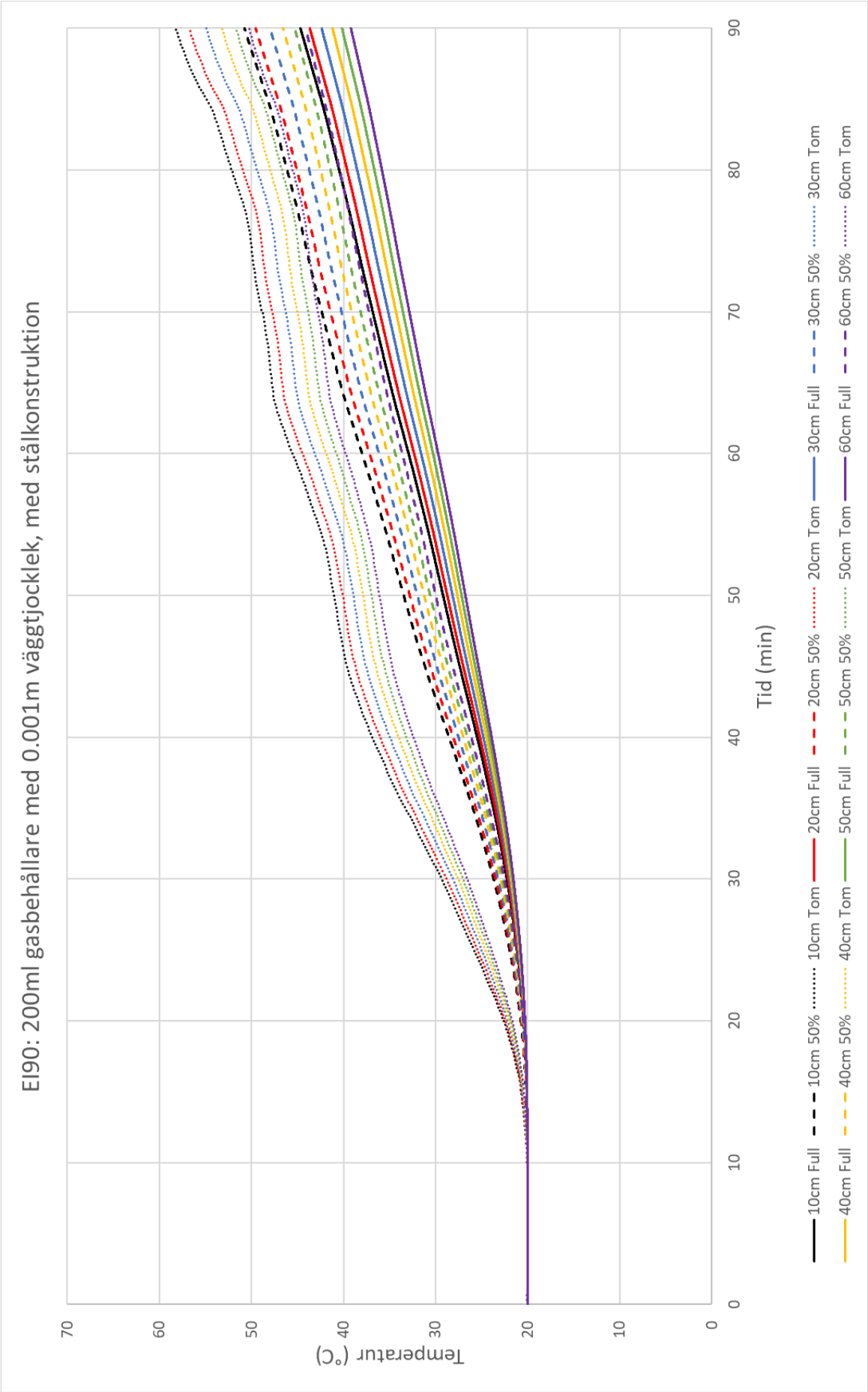

EI60: PC5 gasbehållare med 0.001m väggtjocklek, med stålkonstruktion
Temperatur (°C)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
Tid (min)
0
10
20
30
40
50
60
10cm Full
10cm 50%
10cm Tom
20cm Full
20cm 50%
20cm Tom
30cm Full
30cm 50%
30cm Tom
40cm Full
40cm 50%
40cm Tom
50cm Full
50cm 50%
50cm Tom
60cm Full
60cm 50%
60cm Tom

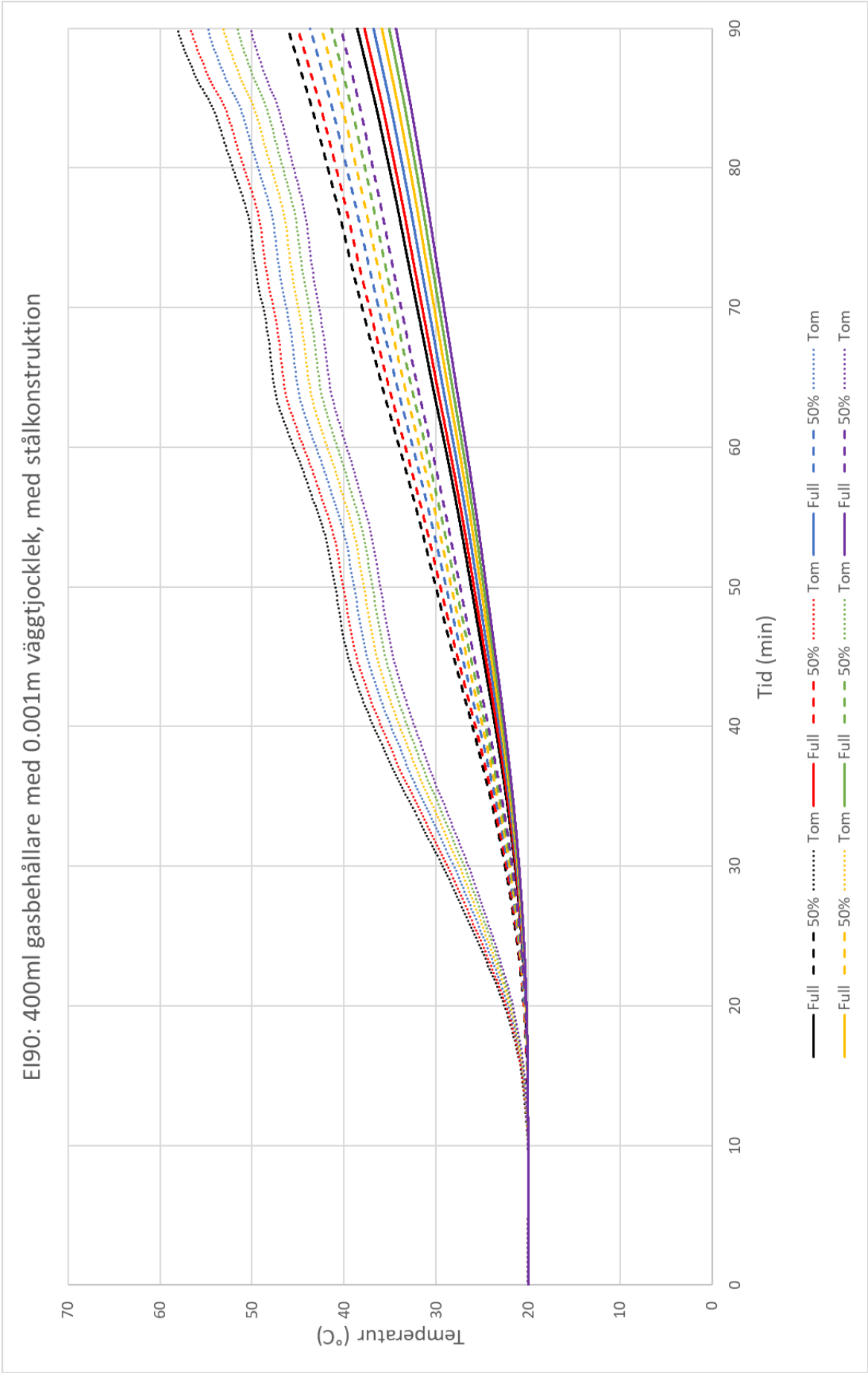

EI60: PC10 gasbehållare med 0.001m väggtjocklek, med stålkonstruktion
Temperatur (°C)
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
10
20
30
40
50
60
Tid (min)
10cm Full
10cm 50%
10cm Tom
20cm Full
20cm 50%
20cm Tom
30cm Full
30cm 50%
30cm Tom
40cm Full
40cm 50%
40cm Tom
50cm Full
50cm 50%
50cm Tom
60cm Full
60cm 50%
60cm Tom

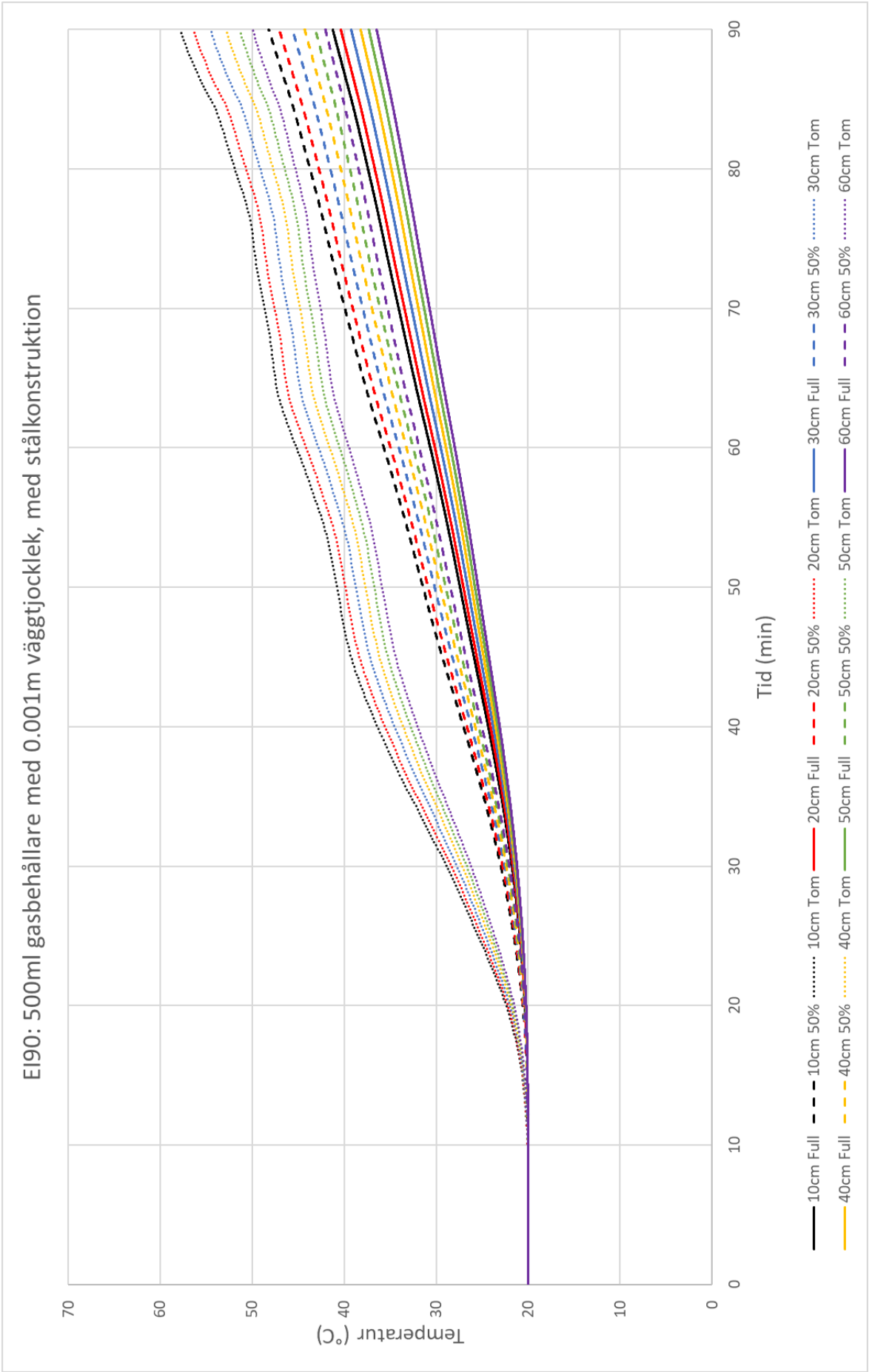

EI60: P11 gasbehållare med 0.001m väggtjocklek, med stålkonstruktion
Temperatur (°C)
Tid (min)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
0
10
20
30
40
50
60
10cm Full
10cm 50%
10cm Tom
20cm Full
20cm 50%
20cm Tom
30cm Full
30cm 50%
30cm Tom
40cm Full
40cm 50%
40cm Tom
50cm Full
50cm 50%
50cm Tom
60cm Full
60cm 50%
60cm Tom

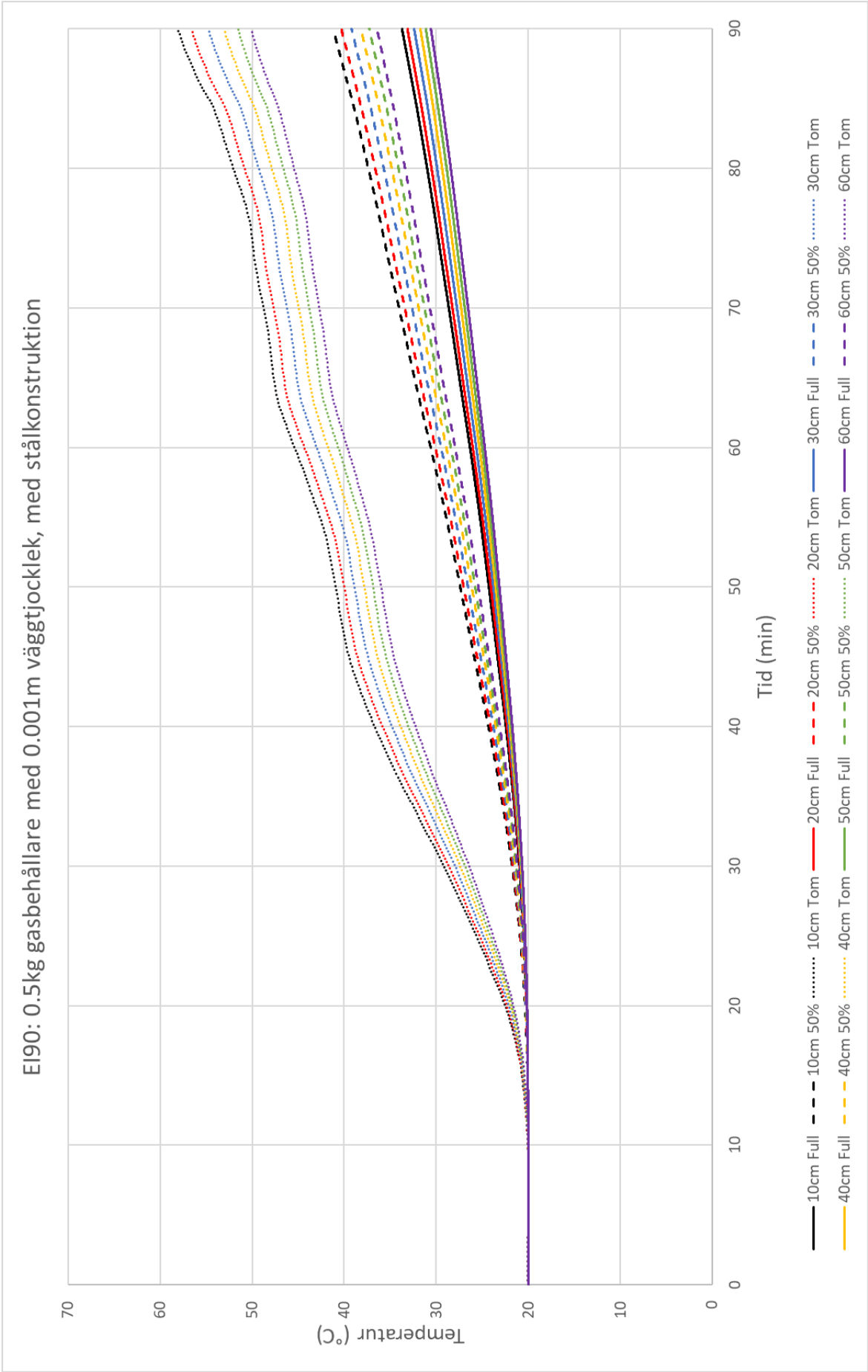

EI90: 100ml gasbehållare med 0.001m väggtjocklek, med stålkonstruktion
Temperatur (°C)
0
10
20
30
40
50
60
70
Tid (min)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
10cm Full
10cm 50%
10cm Tom
20cm Full
20cm 50%
20cm Tom
30cm Full
30cm 50%
30cm Tom
40cm Full
40cm 50%
40cm Tom
50cm Full
50cm 50%
50cm Tom
60cm Full
60cm 50%
60cm Tom

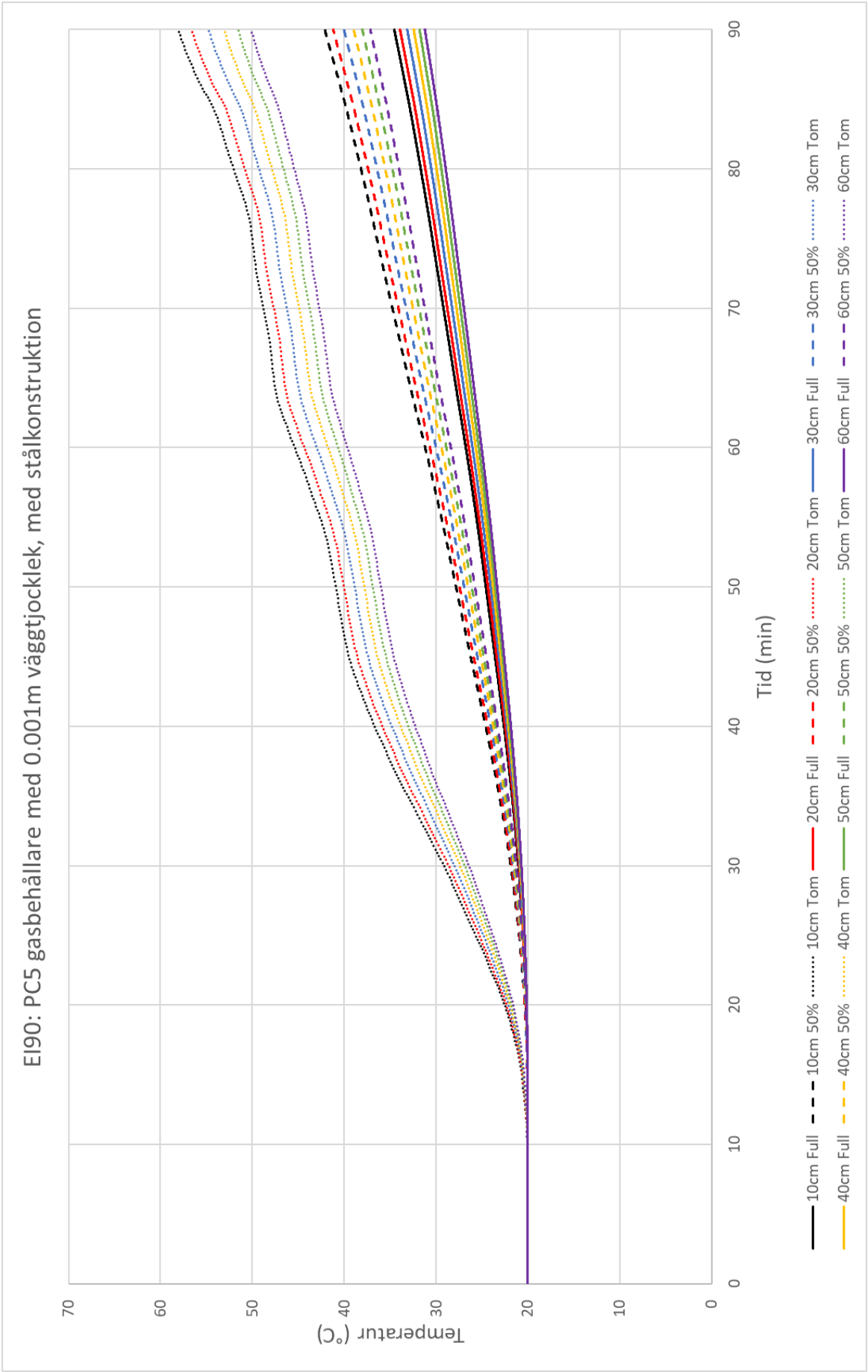

EI90: 200ml gasbehållare med 0.001m väggtjocklek, med stålkonstruktion
Temperatur (°C)
0
10
20
30
40
50
60
70
Tid (min)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
10cm Full
10cm 50%
10cm Tom
20cm Full
20cm 50%
20cm Tom
30cm Full
30cm 50%
30cm Tom
40cm Full
40cm 50%
40cm Tom
50cm Full
50cm 50%
50cm Tom
60cm Full
60cm 50%
60cm Tom

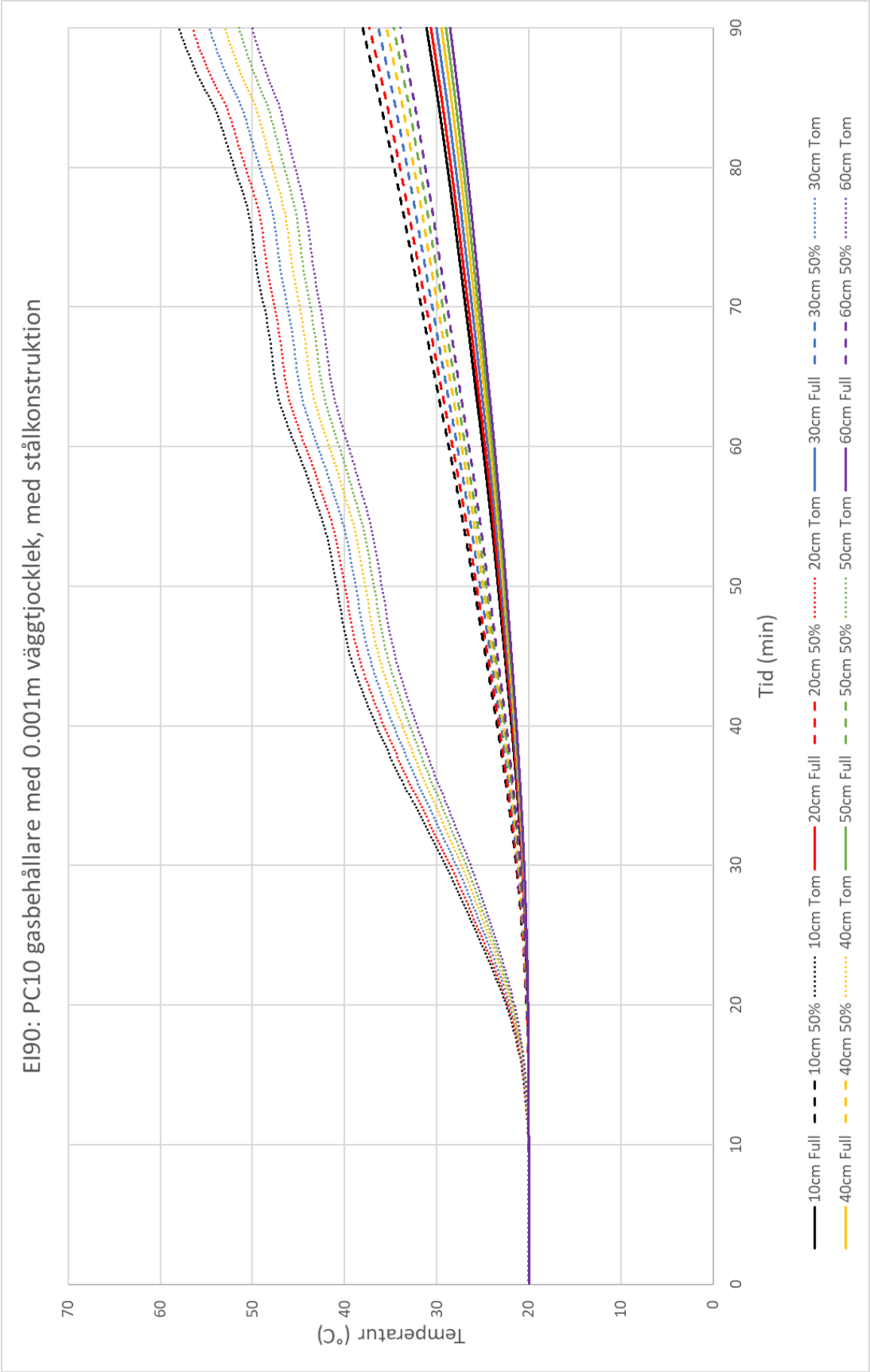

EI90: 200ml gasbehållare med 0.001m väggtjocklek, med stålkonstruktion
Temperatur (°C)
0
10
20
30
40
50
60
70
Tid (min)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
10cm Full
10cm 50%
10cm Tom
20cm Full
20cm 50%
20cm Tom
30cm Full
30cm 50%
30cm Tom
40cm Full
40cm 50%
40cm Tom
50cm Full
50cm 50%
50cm Tom
60cm Full
60cm 50%
60cm Tom

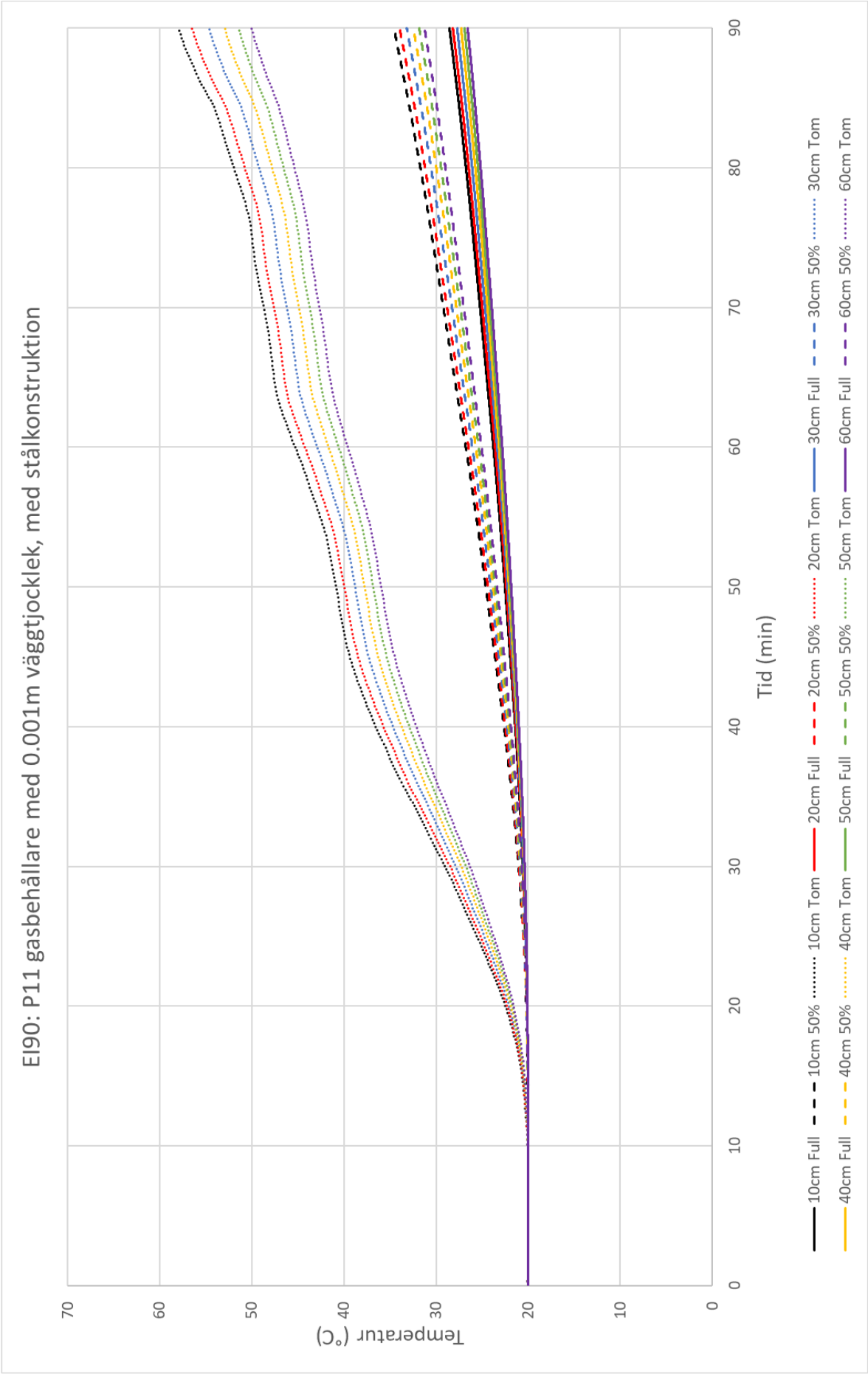

EI90: 400ml gasbehållare med 0.001m väggtjocklek, med stålkonstruktion
Temperatur (°C)
70
60
50
40
30
20
10
0
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
Tid (min)
Full
50%
Tom
Full
50%
Tom
Full
50%
Tom
Full
50%
Tom
Full
50%
Tom
Full
50%
Tom


EI90: 500ml gasbehållare med 0.001m väggtjocklek, med stålkonstruktion
Temperatur (°C)
0
10
20
30
40
50
60
70
Tid (min)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
10cm Full
10cm 50%
10cm Tom
20cm Full
20cm 50%
20cm Tom
30cm Full
30cm 50%
30cm Tom
40cm Full
40cm 50%
40cm Tom
50cm Full
50cm 50%
50cm Tom
60cm Full
60cm 50%
60cm Tom

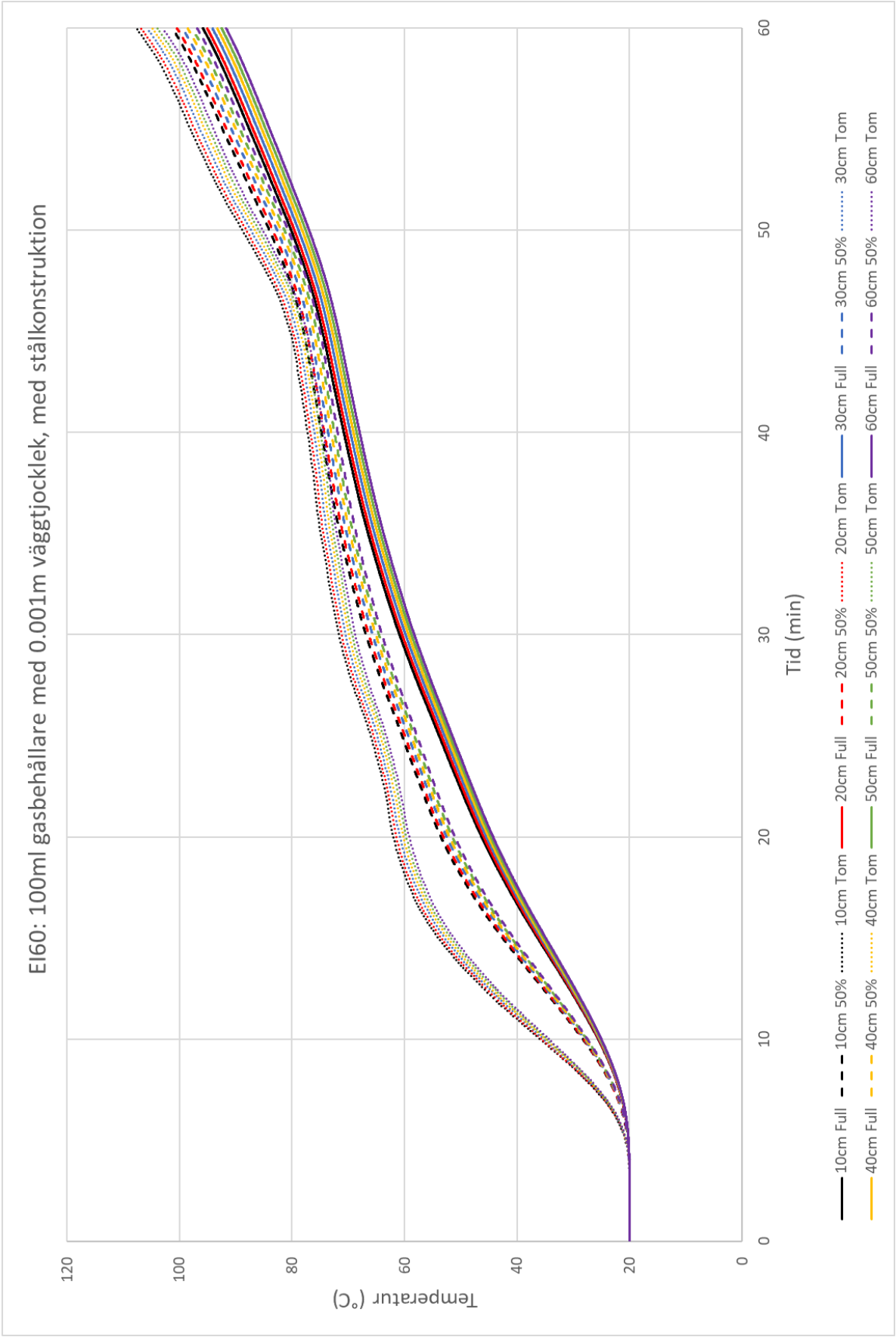

EI90: 0.5kg gasbehållare med 0.001m väggtjocklek, med stålkonstruktion
Temperatur (°C)
70
60
50
40
30
20
10
0
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
Tid (min)
10cm Full
10cm 50%
10cm Tom
20cm Full
20cm 50%
20cm Tom
30cm Full
30cm 50%
30cm Tom
40cm Full
40cm 50%
40cm Tom
50cm Full
50cm 50%
50cm Tom
60cm Full
60cm 50%
60cm Tom

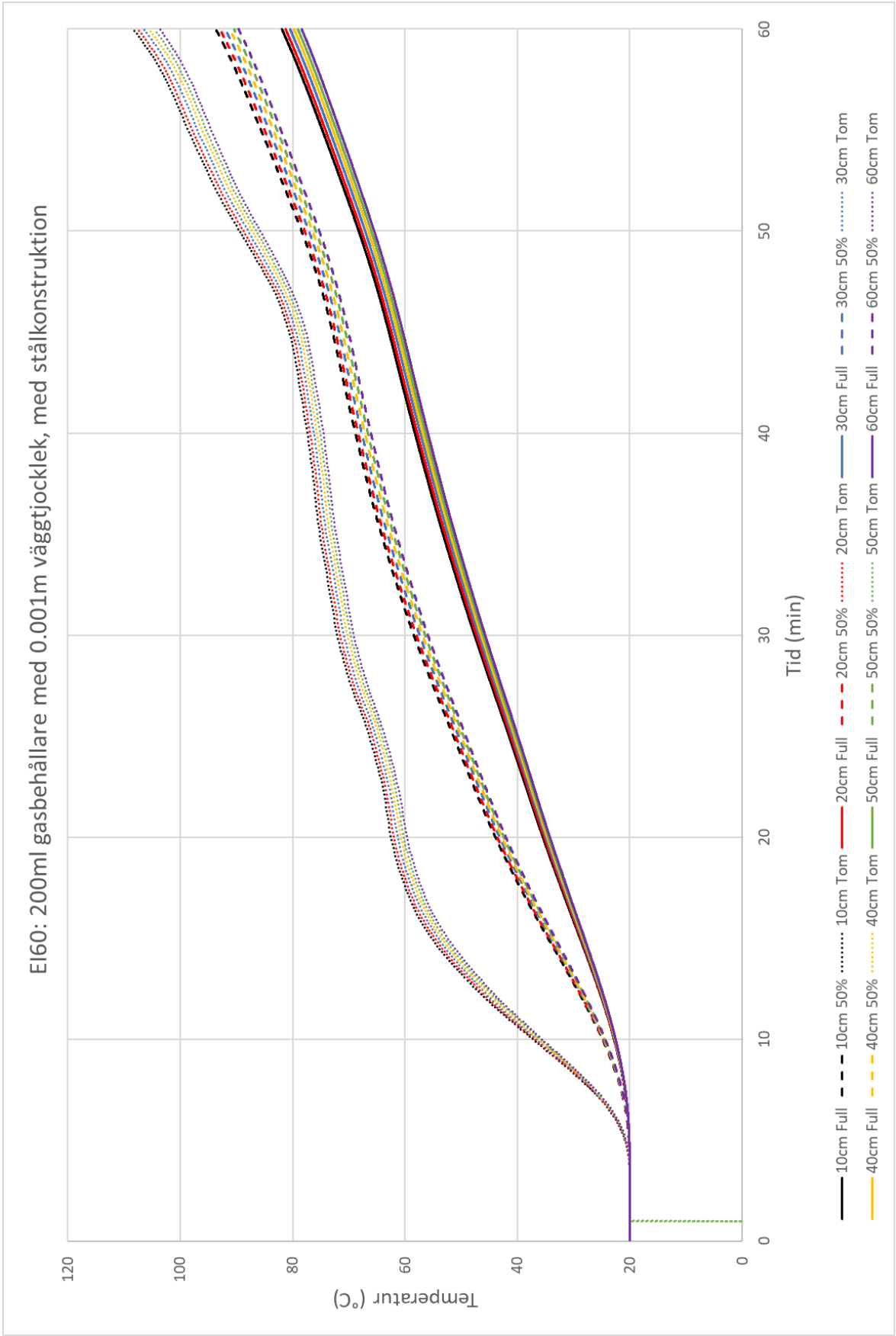

EI90: PC5 gasbehållare med 0.001m väggtjocklek, med stålkonstruktion
Temperatur (°C)
70
60
50
40
30
20
10
0
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
Tid (min)
10cm Full
10cm 50%
10cm Tom
20cm Full
20cm 50%
20cm Tom
30cm Full
30cm 50%
30cm Tom
40cm Full
40cm 50%
40cm Tom
50cm Full
50cm 50%
50cm Tom
60cm Full
60cm 50%
60cm Tom

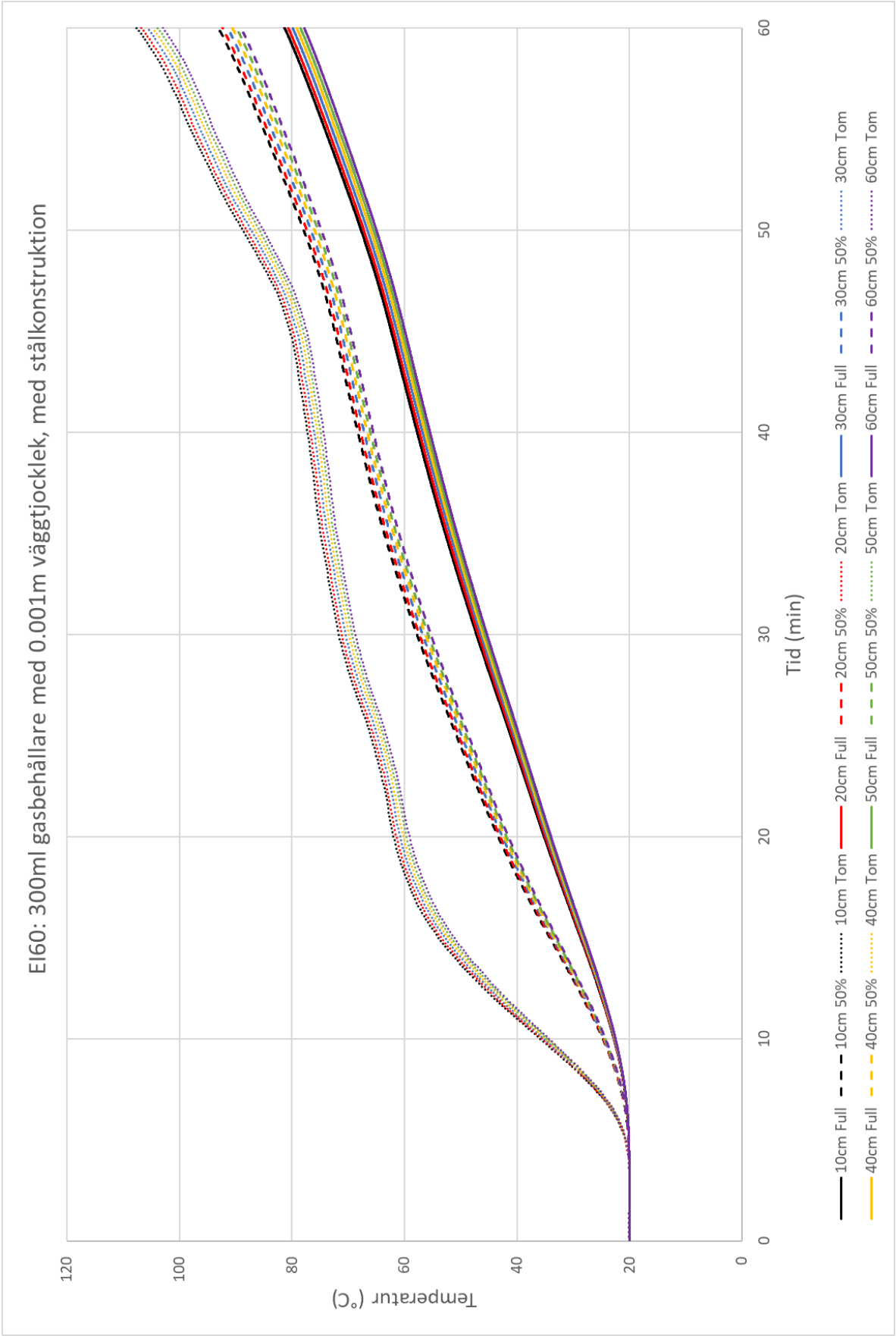

EI90: PC10 gasbehållare med 0.001m väggtjocklek, med stålkonstruktion
Temperatur (°C)
0
10
20
30
40
50
60
70
Tid (min)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
10cm Full
10cm 50%
10cm Tom
20cm Full
20cm 50%
20cm Tom
30cm Full
30cm 50%
30cm Tom
40cm Full
40cm 50%
40cm Tom
50cm Full
50cm 50%
50cm Tom
60cm Full
60cm 50%
60cm Tom

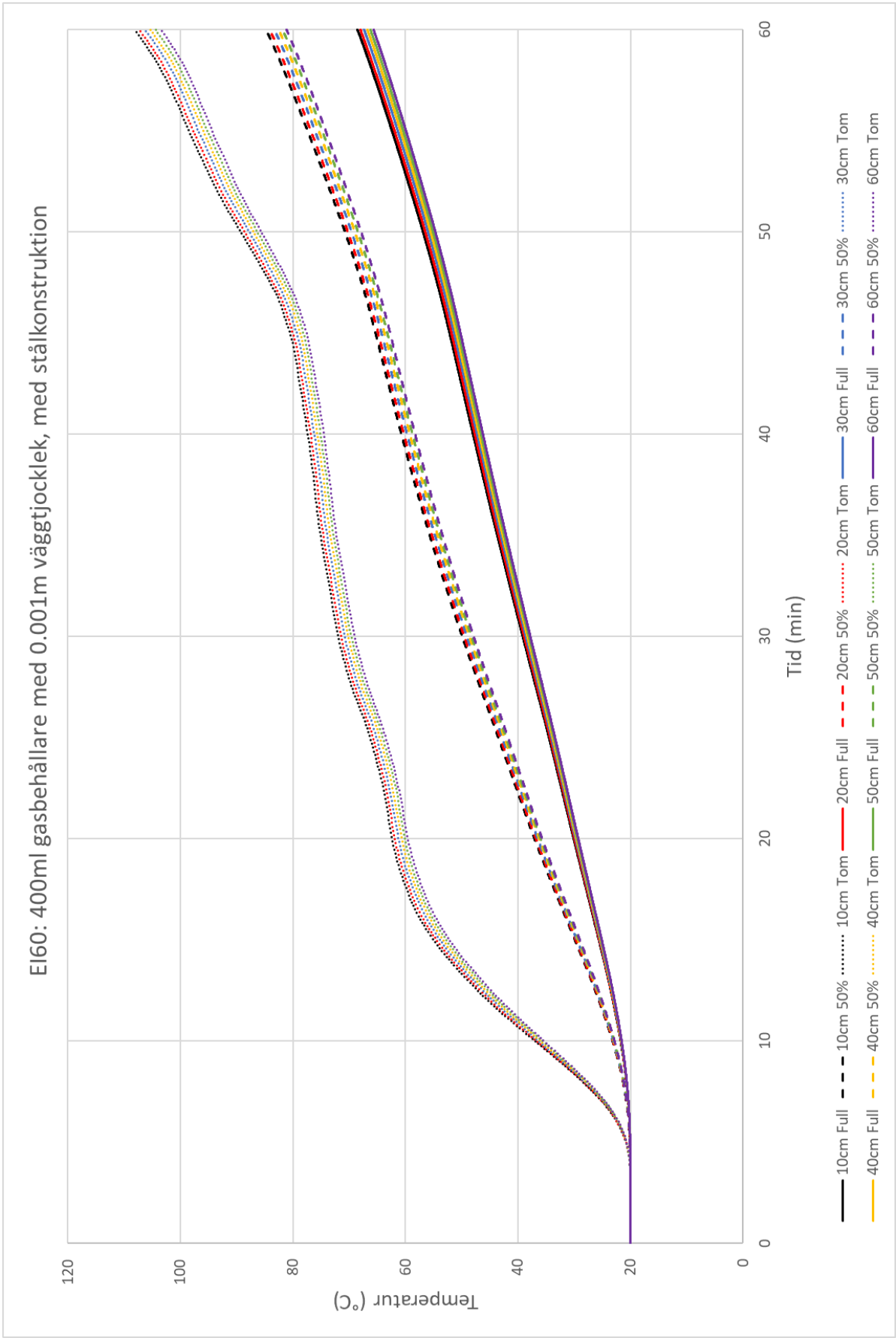

EI90: P11 gasbehållare med 0.001m väggtjocklek, med stålkonstruktion
Temperatur (°C)
70
60
50
40
30
20
10
0
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
Tid (min)
10cm Full
10cm 50%
10cm Tom
20cm Full
20cm 50%
20cm Tom
30cm Full
30cm 50%
30cm Tom
40cm Full
40cm 50%
40cm Tom
50cm Full
50cm 50%
50cm Tom
60cm Full
60cm 50%
60cm Tom

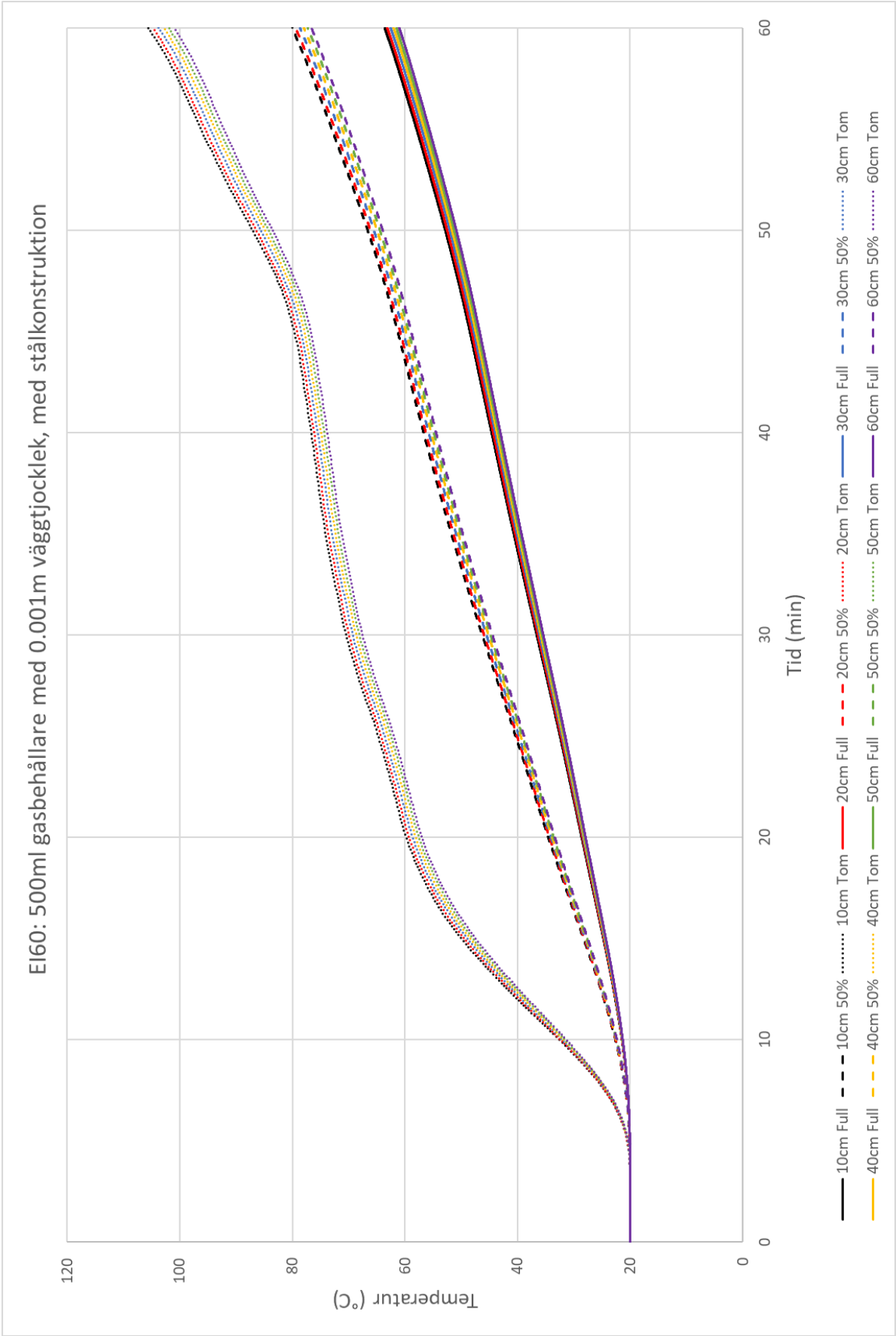
Lumped Mass – Litet utrymme med 3 sidors uppvärmning

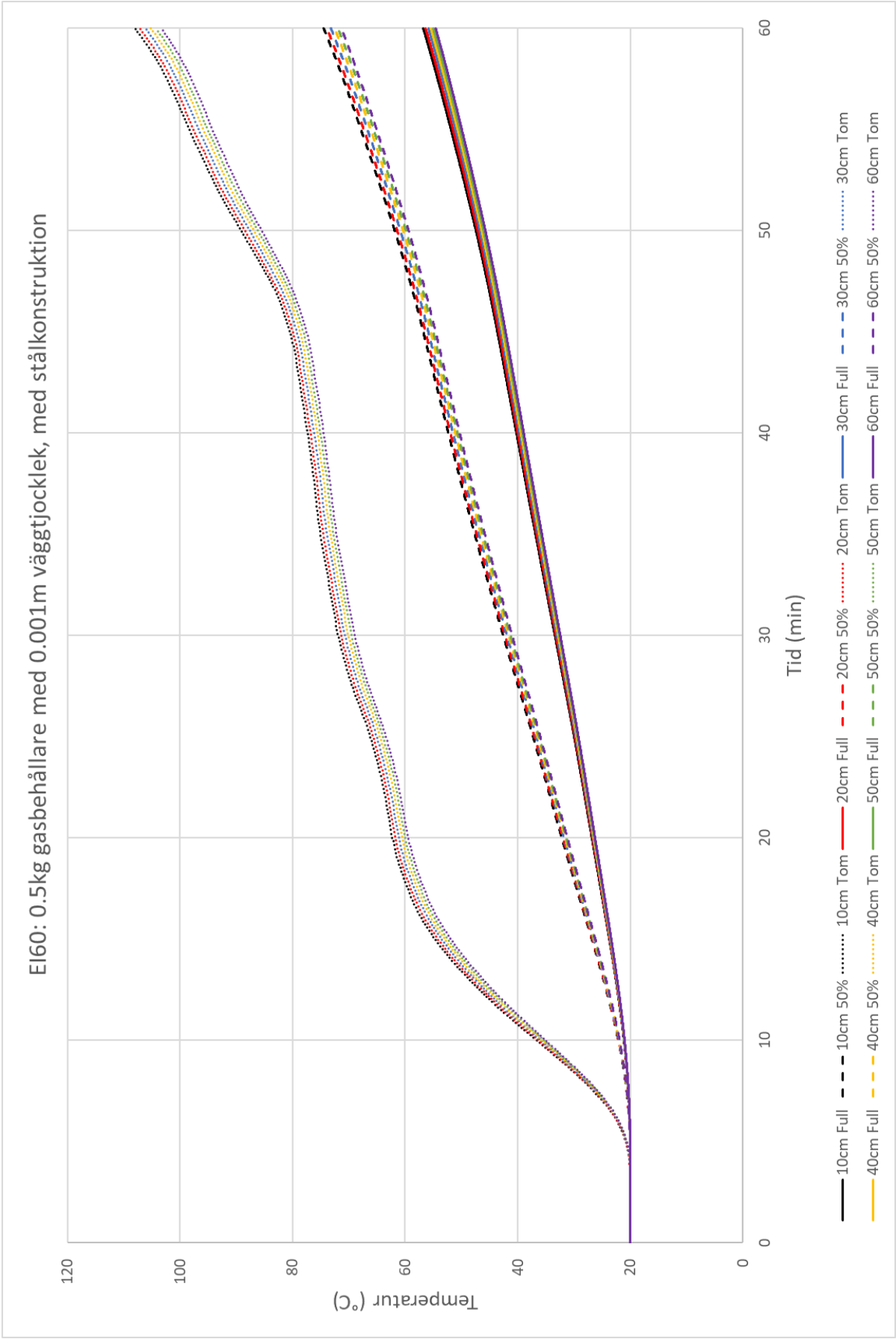


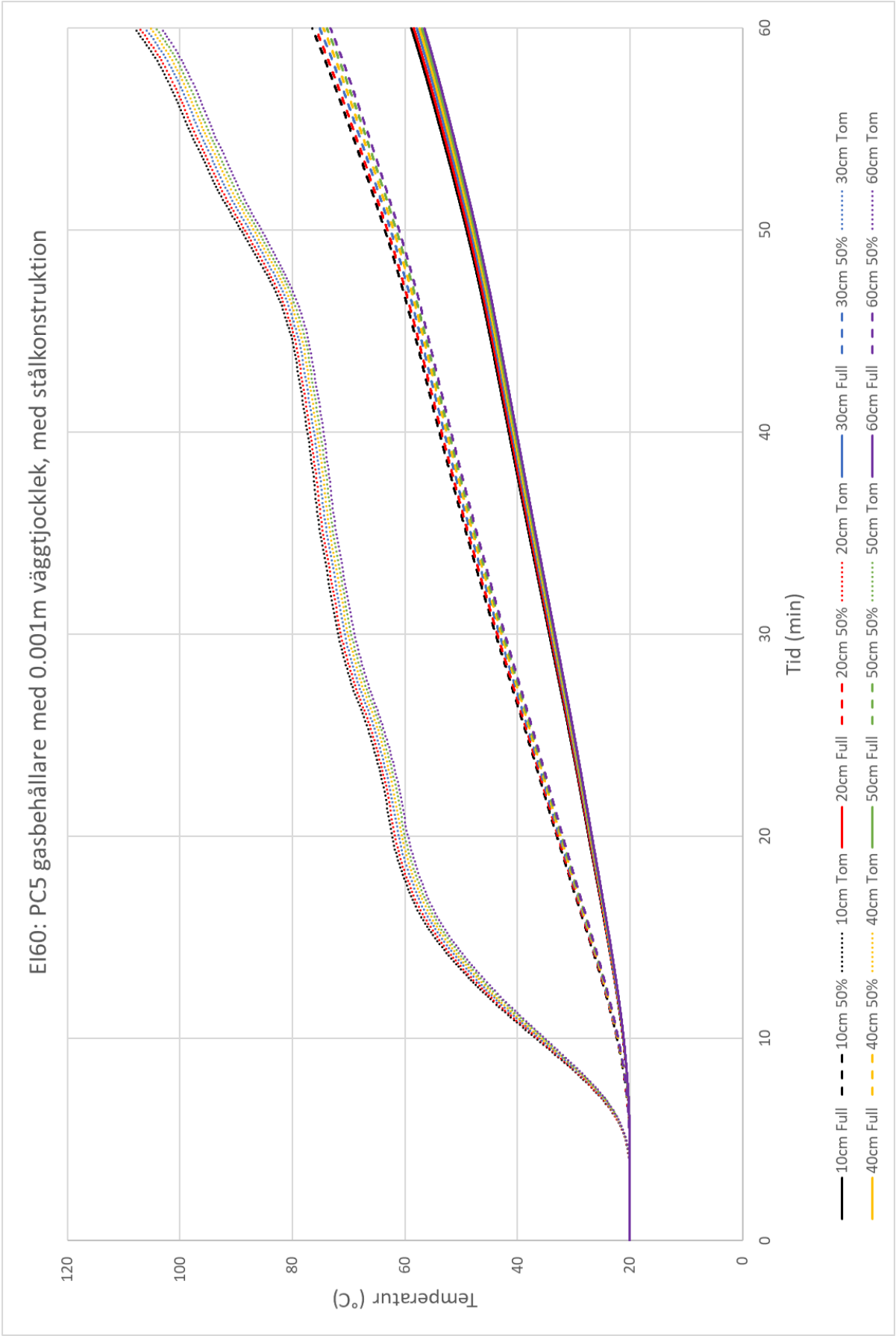

EI60: 200ml gasbehållare med 0.001m väggtjocklek, med stålkonstruktion
Temperatur (°C)
120
100
80
60
40
20
0
0
10
20
30
40
50
60
Tid (min)
10cm Full
10cm 50%
10cm Tom
20cm Full
20cm 50%
20cm Tom
30cm Full
30cm 50%
30cm Tom
40cm Full
40cm 50%
40cm Tom
50cm Full
50cm 50%
50cm Tom
60cm Full
60cm 50%
60cm Tom

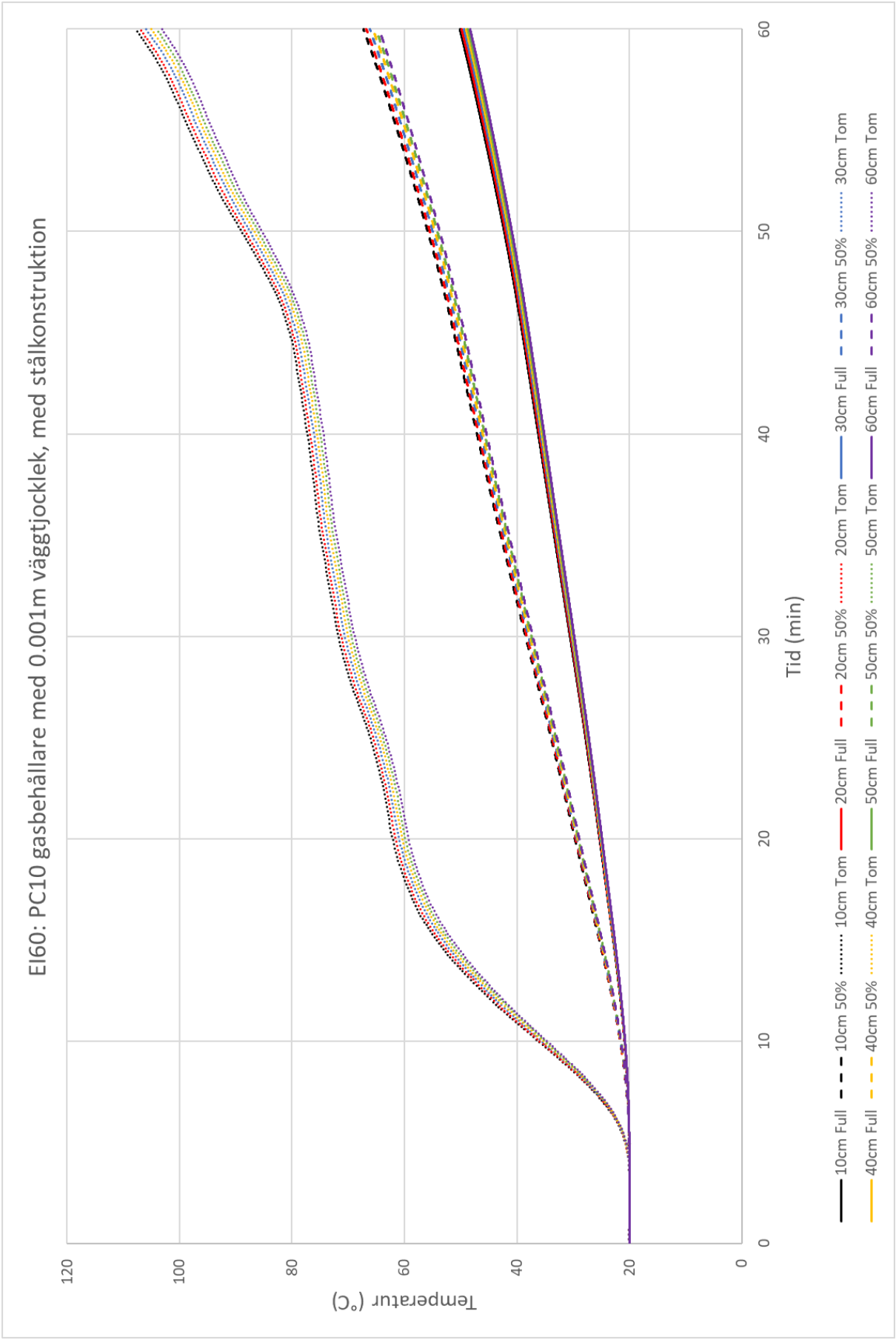

EI60: 300ml gasbehållare med 0.001m väggtjocklek, med stålkonstruktion
Temperatur (°C)
120
100
80
60
40
20
0
0
10
20
30
40
50
60
Tid (min)
10cm Full
10cm 50%
10cm Tom
20cm Full
20cm 50%
20cm Tom
30cm Full
30cm 50%
30cm Tom
40cm Full
40cm 50%
40cm Tom
50cm Full
50cm 50%
50cm Tom
60cm Full
60cm 50%
60cm Tom

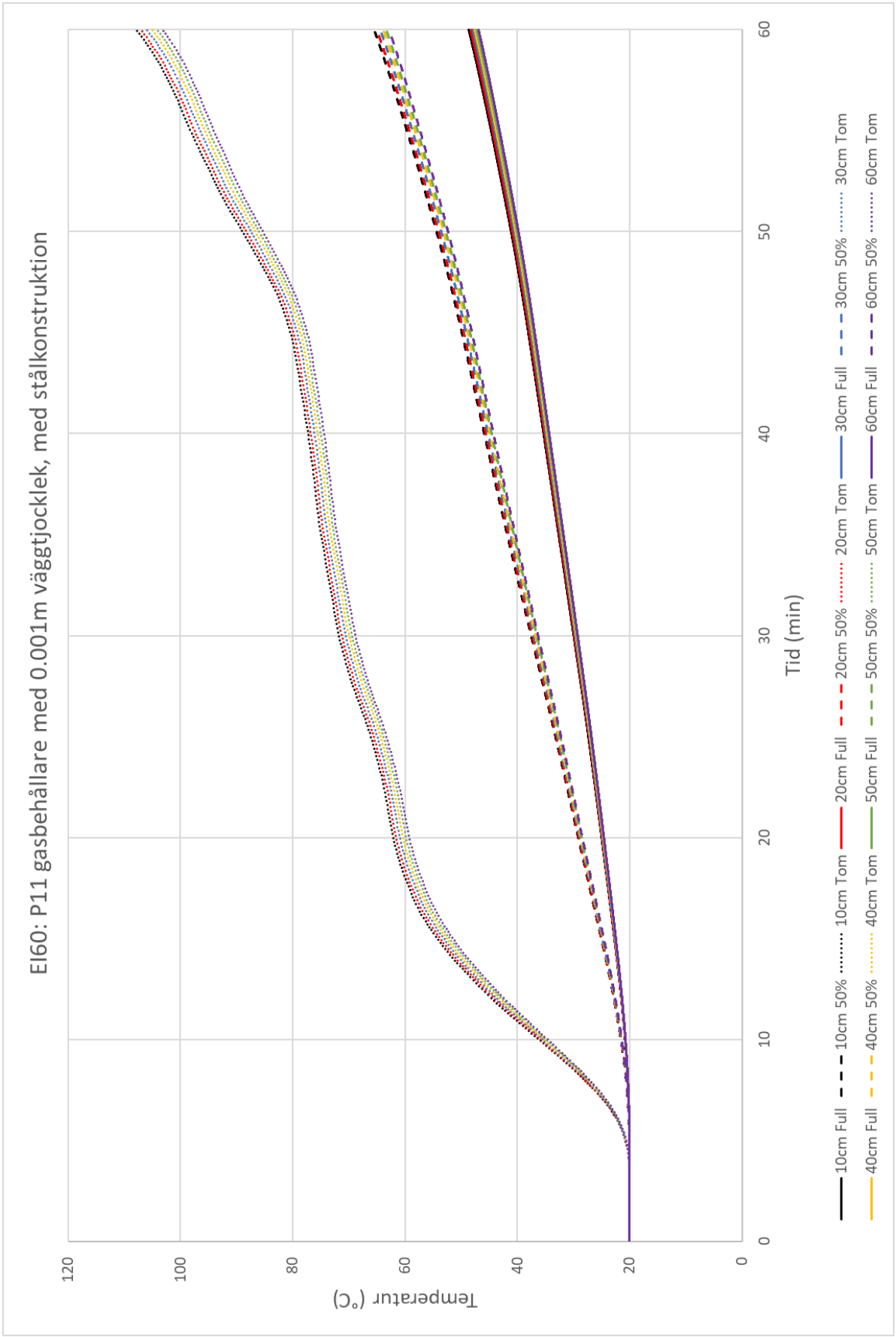

EI60: 400ml gasbehållare med 0.001m väggtjocklek, med stålkonstruktion
Temperatur (°C)
120
100
80
60
40
20
0
0
10
20
30
40
50
60
Tid (min)
10cm Full
10cm 50%
10cm Tom
20cm Full
20cm 50%
20cm Tom
30cm Full
30cm 50%
30cm Tom
40cm Full
40cm 50%
40cm Tom
50cm Full
50cm 50%
50cm Tom
60cm Full
60cm 50%
60cm Tom


EI60: 500ml gasbehållare med 0.001m väggtjocklek, med stålkonstruktion
Temperatur (°C)
120
100
80
60
40
20
0
0
10
20
30
40
50
60
Tid (min)
10cm Full
10cm 50%
10cm Tom
20cm Full
20cm 50%
20cm Tom
30cm Full
30cm 50%
30cm Tom
40cm Full
40cm 50%
40cm Tom
50cm Full
50cm 50%
50cm Tom
60cm Full
60cm 50%
60cm Tom

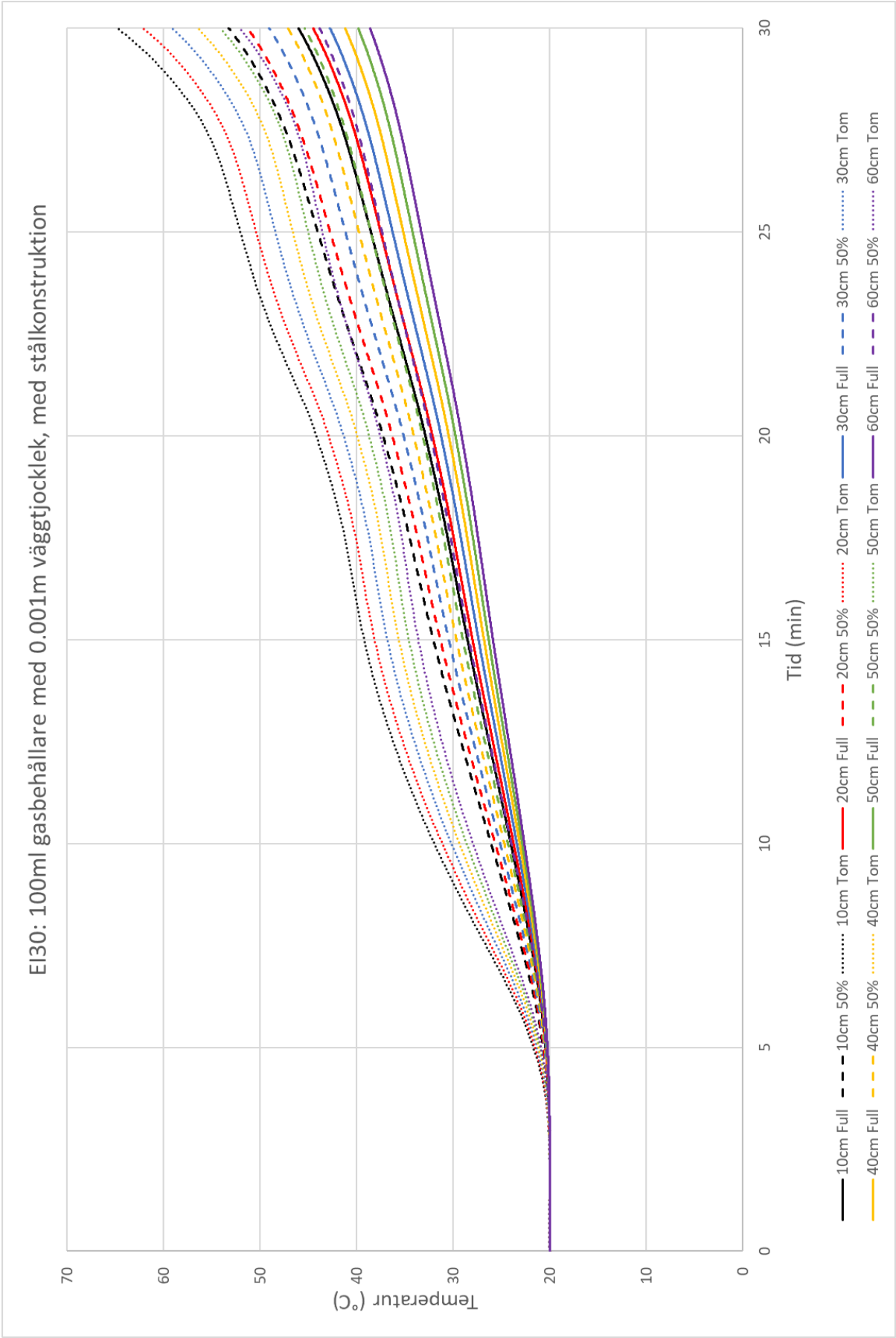

EI60: 0.5kg gasbehållare med 0.001m väggtjocklek, med stålkonstruktion
Temperatur (°C)
120
100
80
60
40
20
0
0
10
20
30
40
50
60
Tid (min)
10cm Full
10cm 50%
10cm Tom
20cm Full
20cm 50%
20cm Tom
30cm Full
30cm 50%
30cm Tom
40cm Full
40cm 50%
40cm Tom
50cm Full
50cm 50%
50cm Tom
60cm Full
60cm 50%
60cm Tom

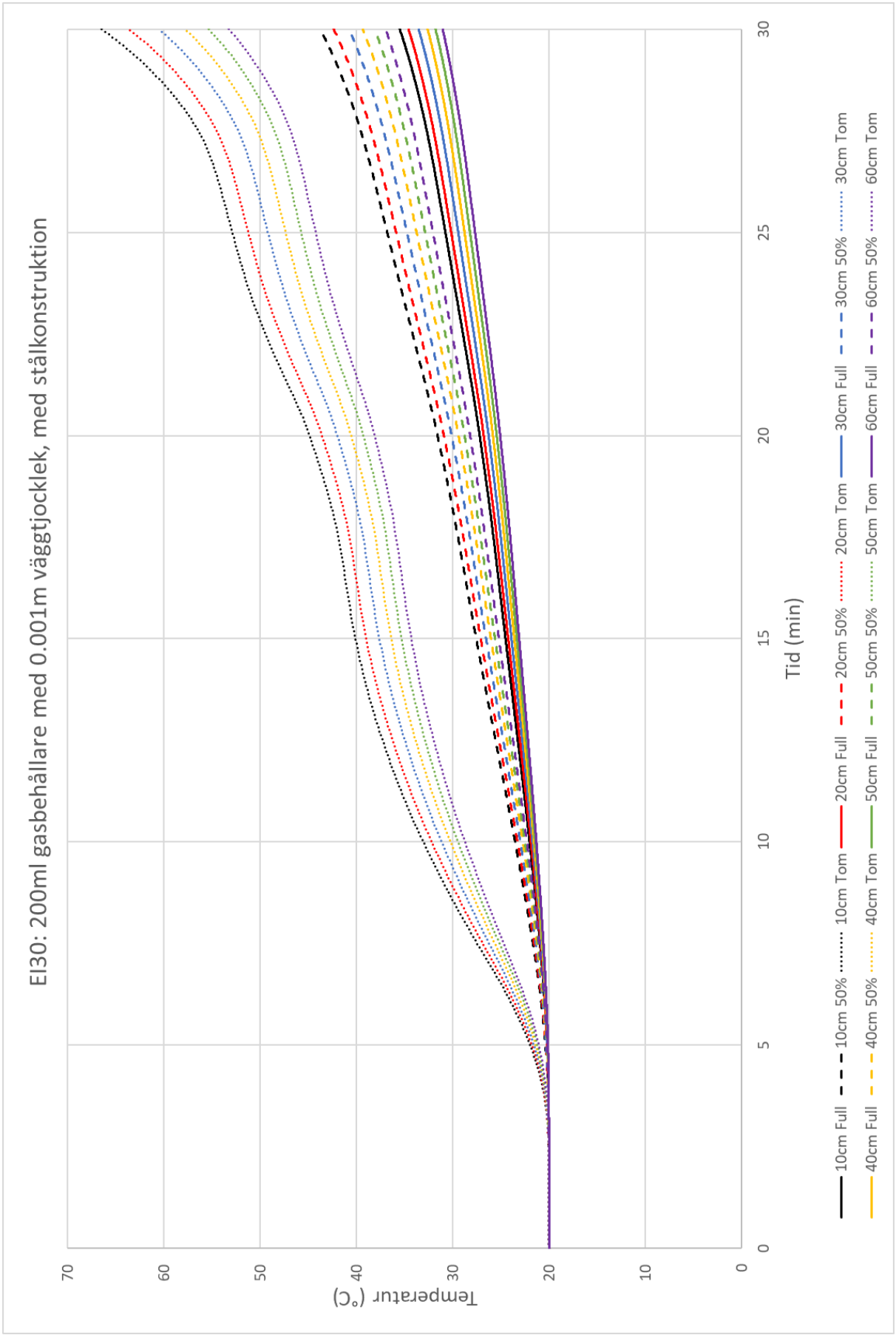

EI60: PC5 gasbehållare med 0.001m väggtjocklek, med stålkonstruktion
Temperatur (°C)
120
100
80
60
40
20
0
0
10
20
30
40
50
60
Tid (min)
10cm Full
10cm 50%
10cm Tom
20cm Full
20cm 50%
20cm Tom
30cm Full
30cm 50%
30cm Tom
40cm Full
40cm 50%
40cm Tom
50cm Full
50cm 50%
50cm Tom
60cm Full
60cm 50%
60cm Tom

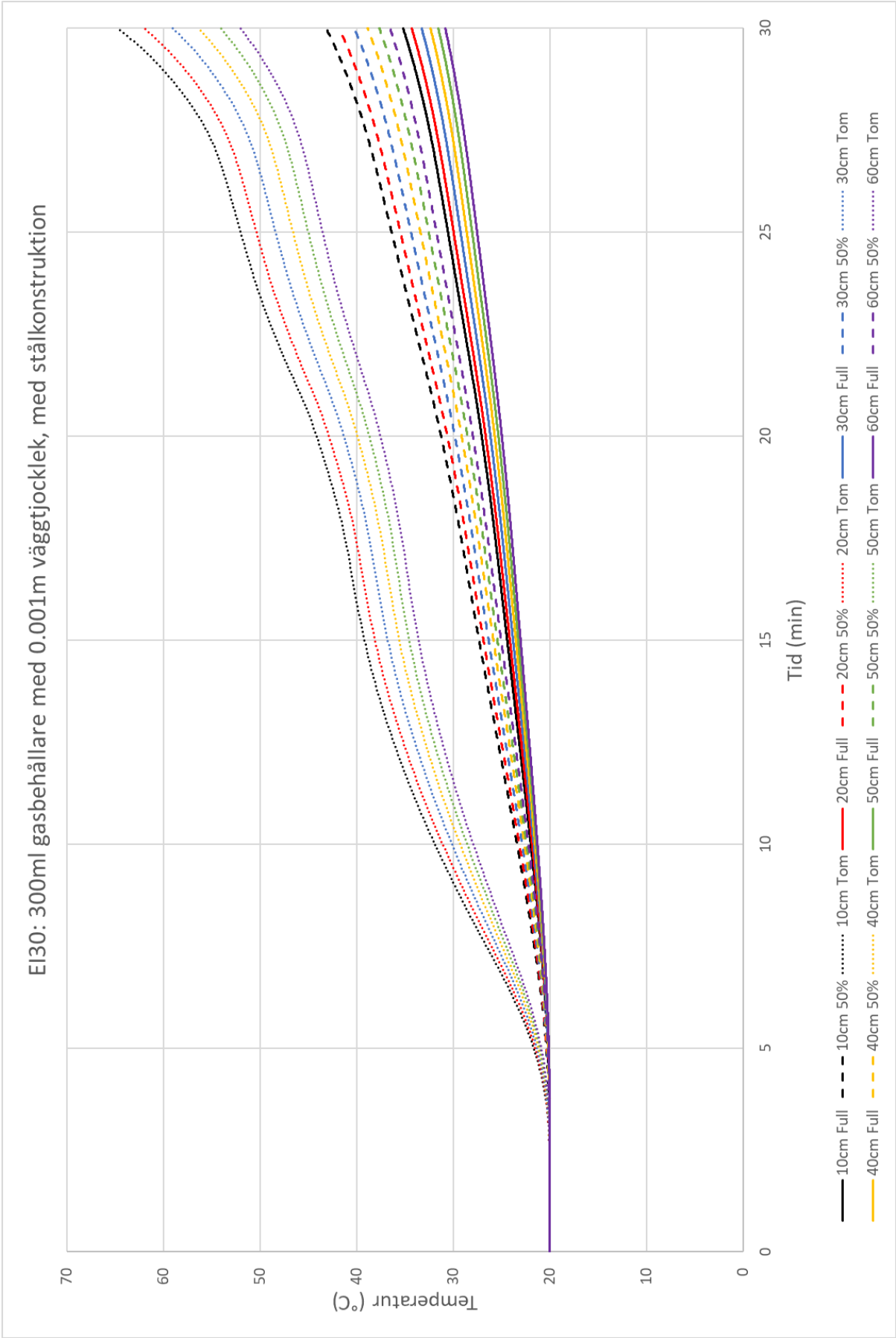

EI60: PC10 gasbehållare med 0.001m väggtjocklek, med stålkonstruktion
Temperatur (°C)
0
20
40
60
80
100
120
Tid (min)
0
10
20
30
40
50
60
10cm Full
10cm 50%
10cm Tom
20cm Full
20cm 50%
20cm Tom
30cm Full
30cm 50%
30cm Tom
40cm Full
40cm 50%
40cm Tom
50cm Full
50cm 50%
50cm Tom
60cm Full
60cm 50%
60cm Tom

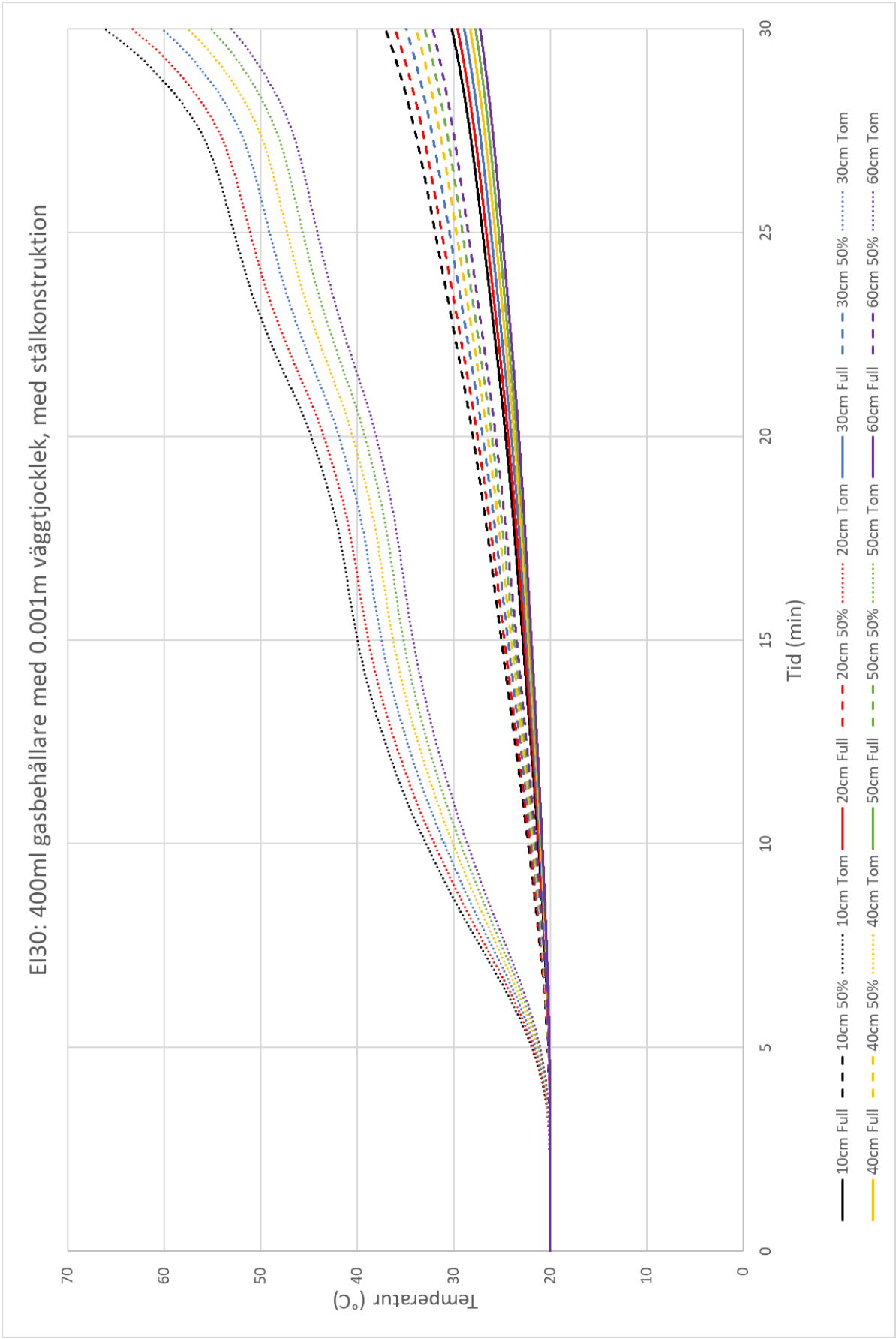

EI60: P11 gasbehållare med 0.001m väggtjocklek, med stålkonstruktion
Temperatur (°C)
120
100
80
60
40
20
0
0
10
20
30
40
50
60
Tid (min)
10cm Full
10cm 50%
10cm Tom
20cm Full
20cm 50%
20cm Tom
30cm Full
30cm 50%
30cm Tom
40cm Full
40cm 50%
40cm Tom
50cm Full
50cm 50%
50cm Tom
60cm Full
60cm 50%
60cm Tom

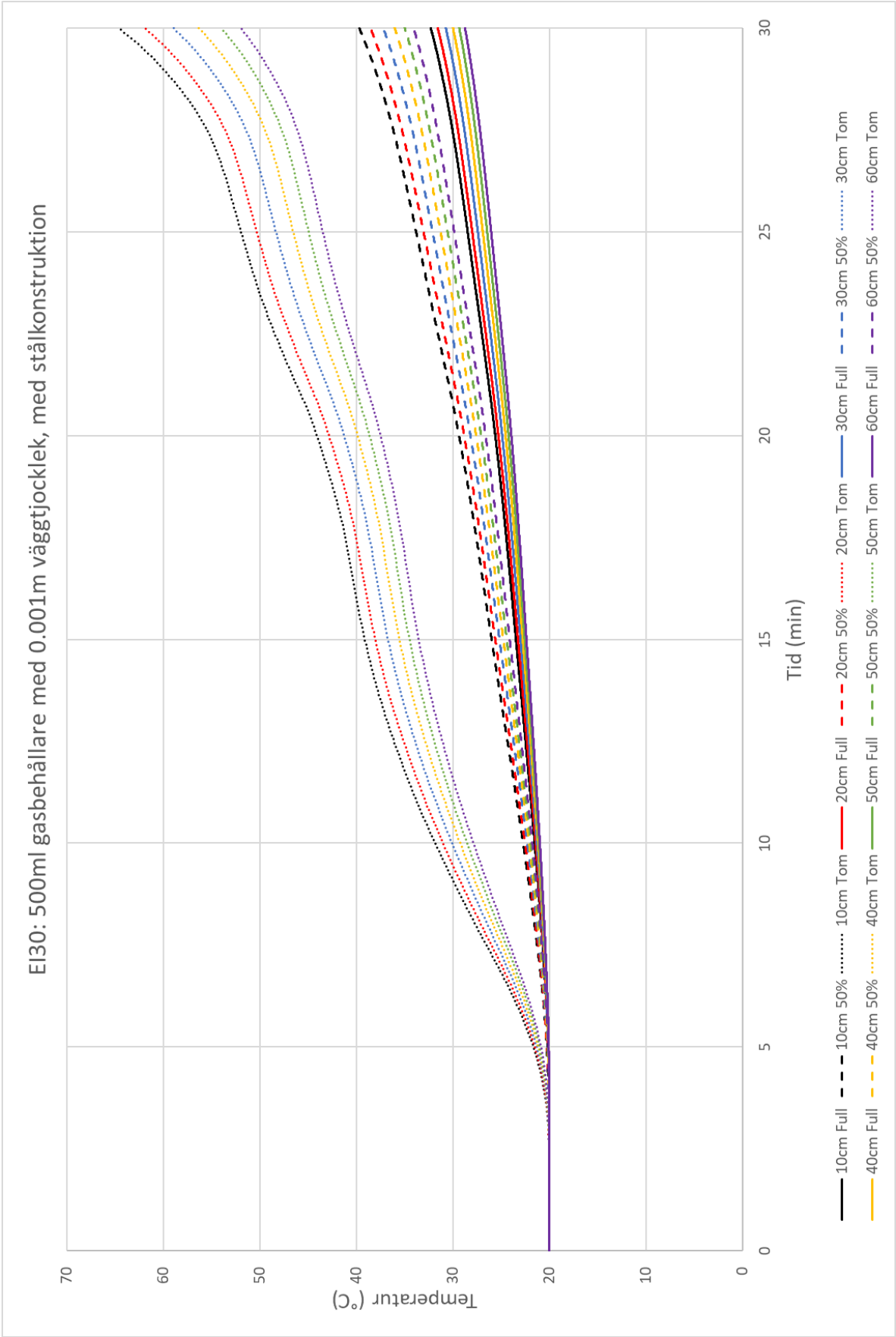
Lumped Mass – Litet trymme med 1 sidig uppvärmning och ”hotspots”

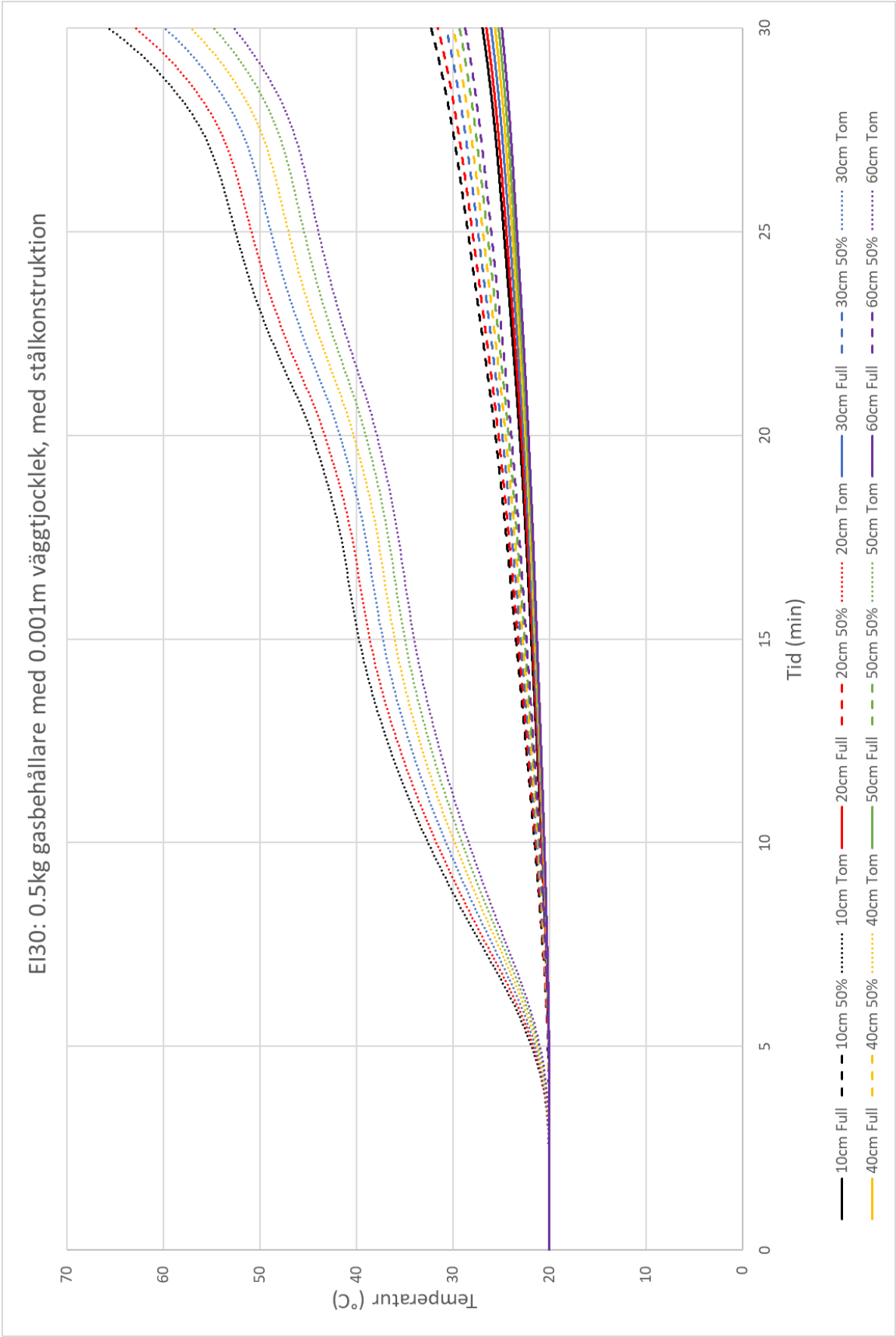


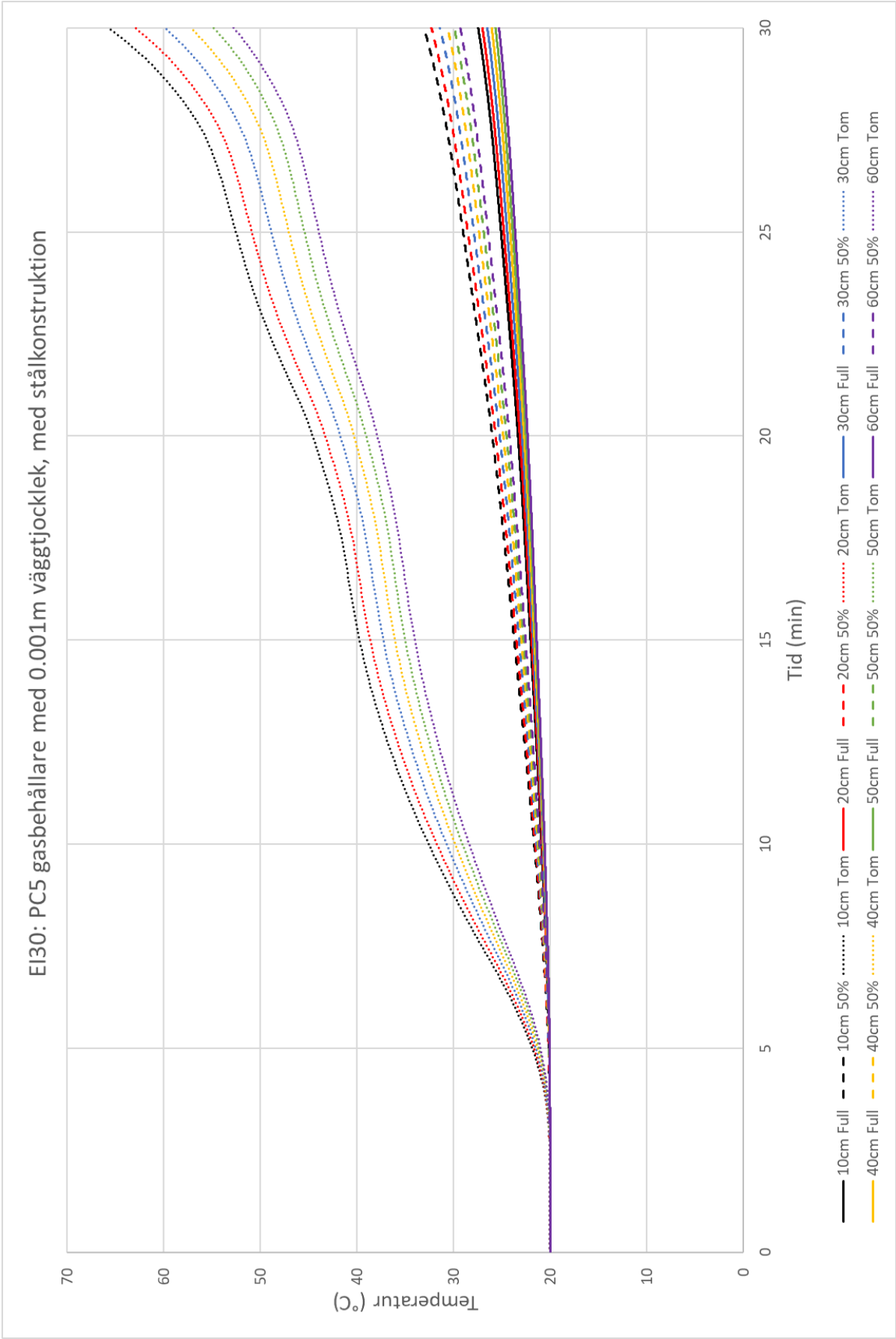

EI30: 200ml gasbehållare med 0.001m väggtjocklek, med stålkonstruktion
Temperatur (°C)
70
60
50
40
30
20
10
0
0
5
10
15
20
25
30
Tid (min)
10cm Full
10cm 50%
10cm Tom
20cm Full
20cm 50%
20cm Tom
30cm Full
30cm 50%
30cm Tom
40cm Full
40cm 50%
40cm Tom
50cm Full
50cm 50%
50cm Tom
60cm Full
60cm 50%
60cm Tom

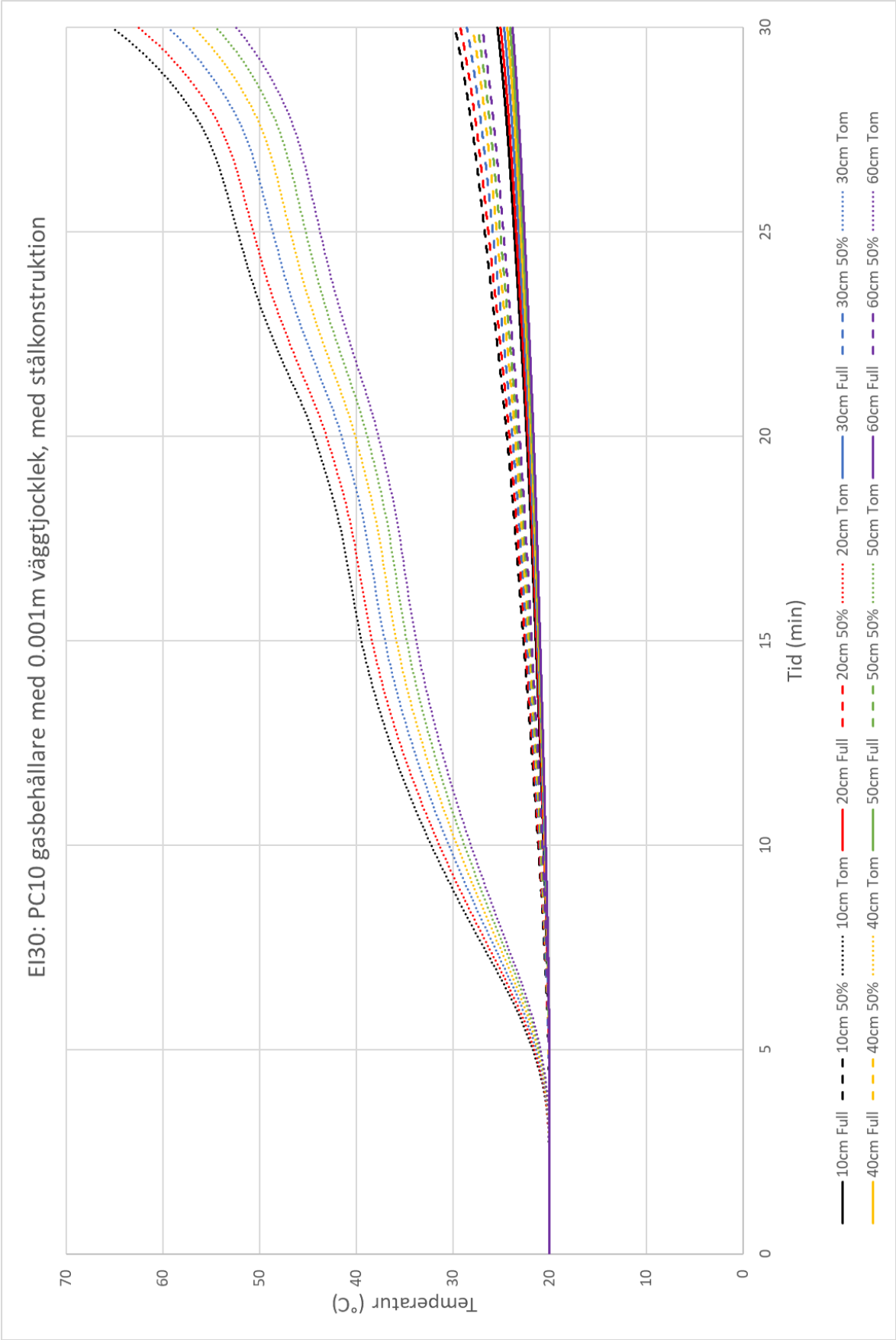

EI30: 300ml gasbehållare med 0.001m väggtjocklek, med stålkonstruktion
Temperatur (°C)
70
60
50
40
30
20
10
0
0
5
10
15
20
25
30
Tid (min)
10cm Full
10cm 50%
10cm Tom
20cm Full
20cm 50%
20cm Tom
30cm Full
30cm 50%
30cm Tom
40cm Full
40cm 50%
40cm Tom
50cm Full
50cm 50%
50cm Tom
60cm Full
60cm 50%
60cm Tom

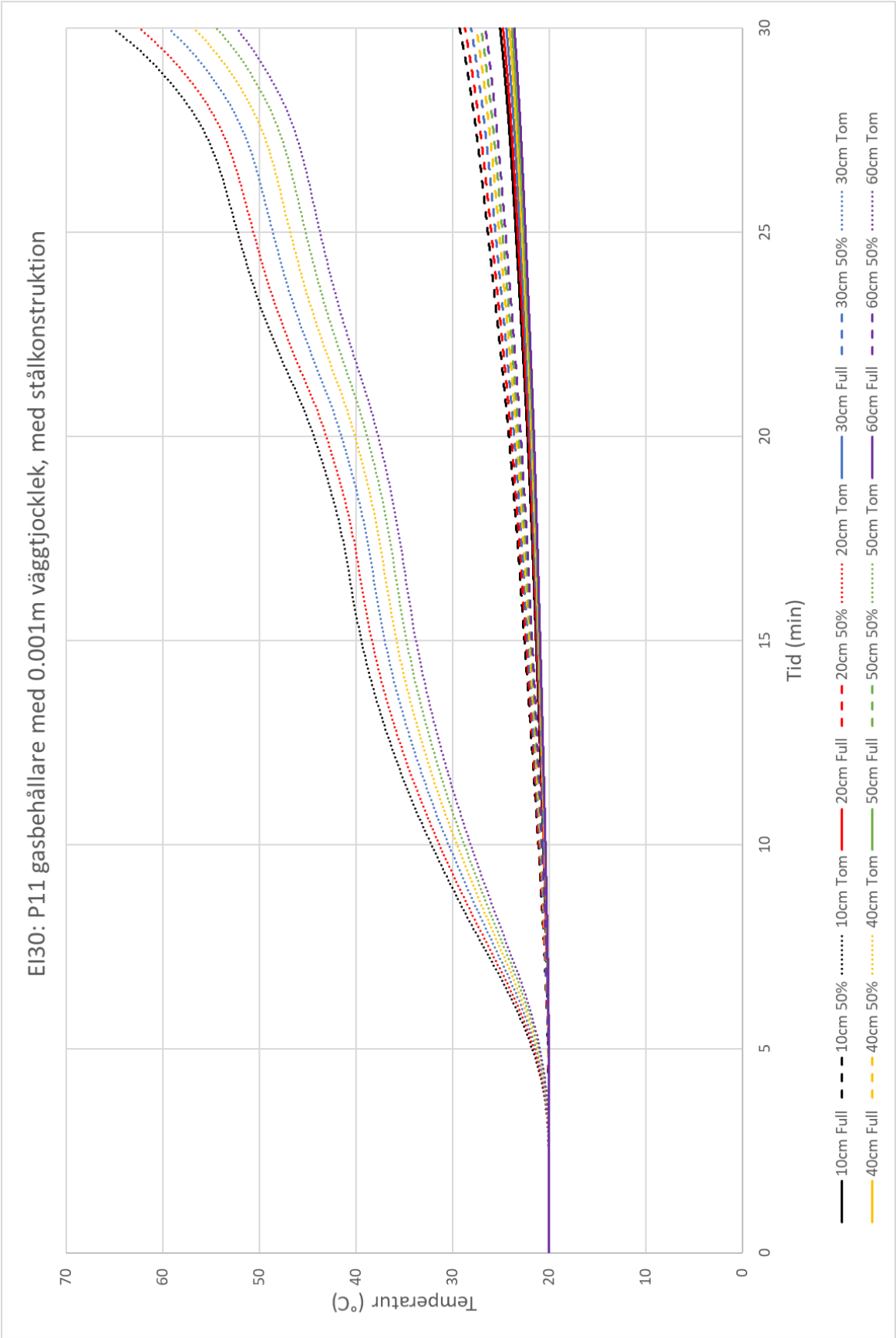

EI30: 400ml gasbehållare med 0.001m väggtjocklek, med stålkonstruktion
Temperatur (°C)
70
60
50
40
30
20
10
0
0
5
10
15
20
25
30
Tid (min)
10cm Full
10cm 50%
10cm Tom
20cm Full
20cm 50%
20cm Tom
30cm Full
30cm 50%
30cm Tom
40cm Full
40cm 50%
40cm Tom
50cm Full
50cm 50%
50cm Tom
60cm Full
60cm 50%
60cm Tom

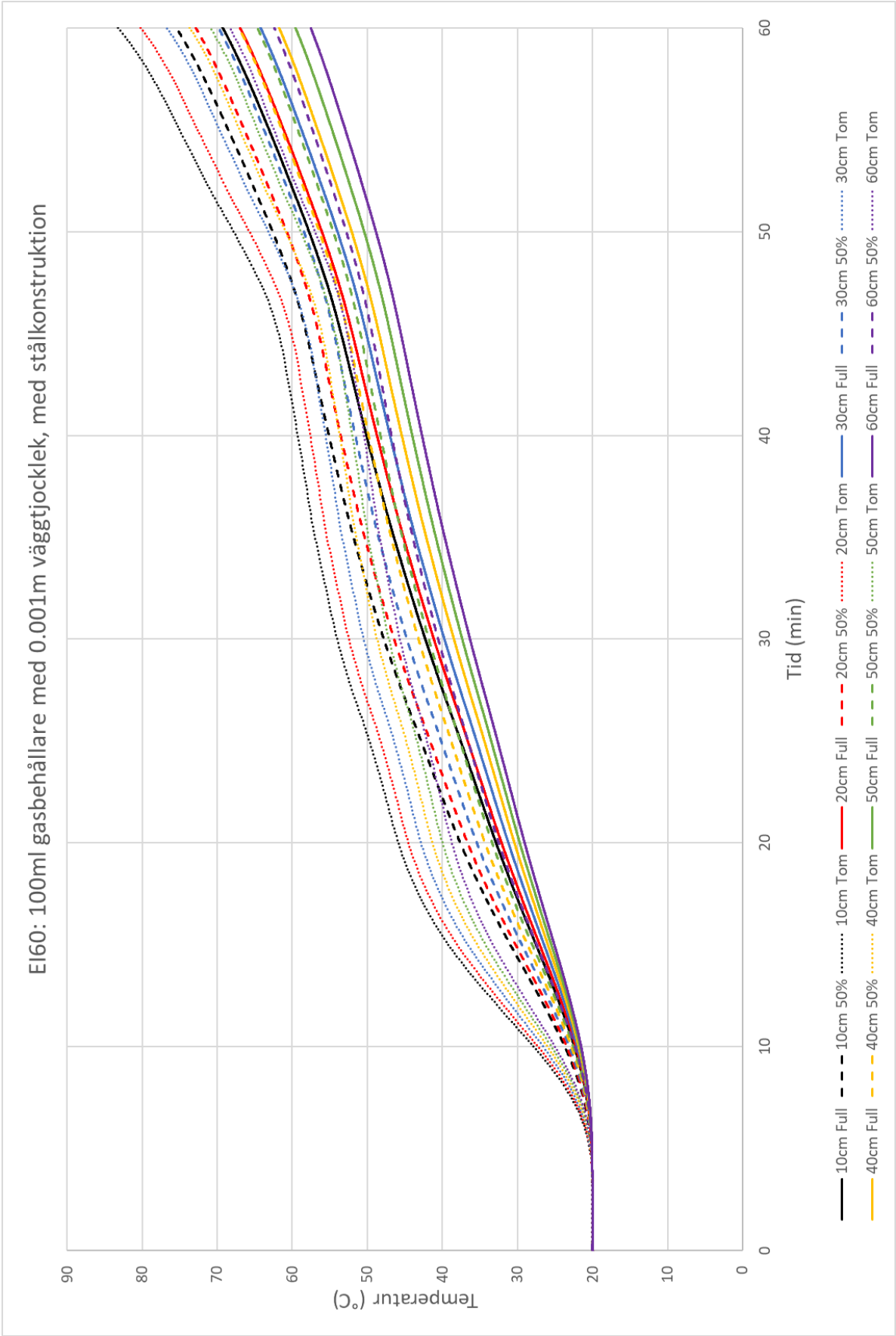

EI30: 500ml gasbehållare med 0.001m väggtjocklek, med stålkonstruktion
Temperatur (°C)
70
60
50
40
30
20
10
0
0
5
10
15
20
25
30
Tid (min)
10cm Full
10cm 50%
10cm Tom
20cm Full
20cm 50%
20cm Tom
30cm Full
30cm 50%
30cm Tom
40cm Full
40cm 50%
40cm Tom
50cm Full
50cm 50%
50cm Tom
60cm Full
60cm 50%
60cm Tom

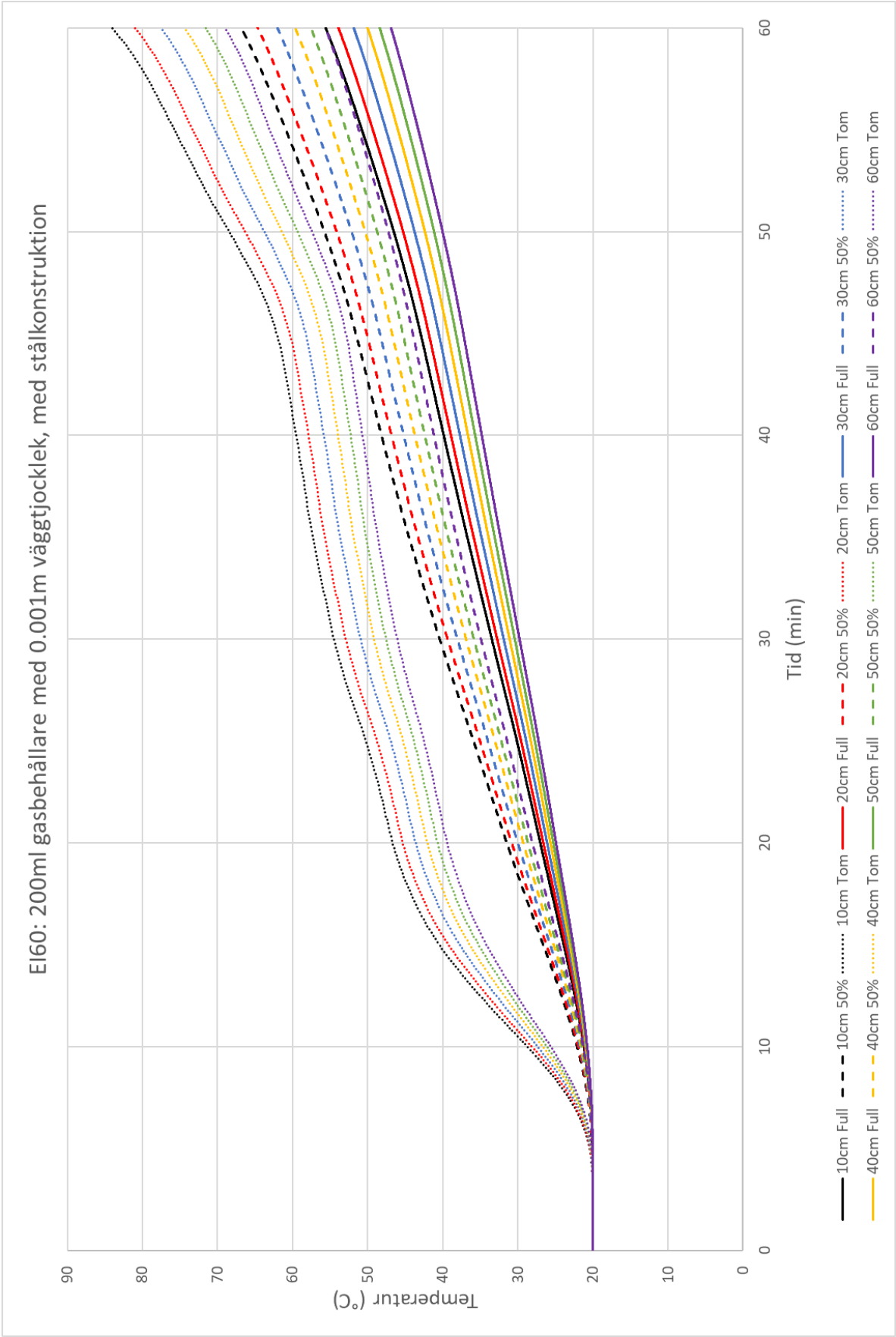

EI30: 0.5kg gasbehållare med 0.001m väggtjocklek, med stålkonstruktion
Temperatur (°C)
70
60
50
40
30
20
10
0
0
5
10
15
20
25
30
Tid (min)
10cm Full
10cm 50%
10cm Tom
20cm Full
20cm 50%
20cm Tom
30cm Full
30cm 50%
30cm Tom
40cm Full
40cm 50%
40cm Tom
50cm Full
50cm 50%
50cm Tom
60cm Full
60cm 50%
60cm Tom

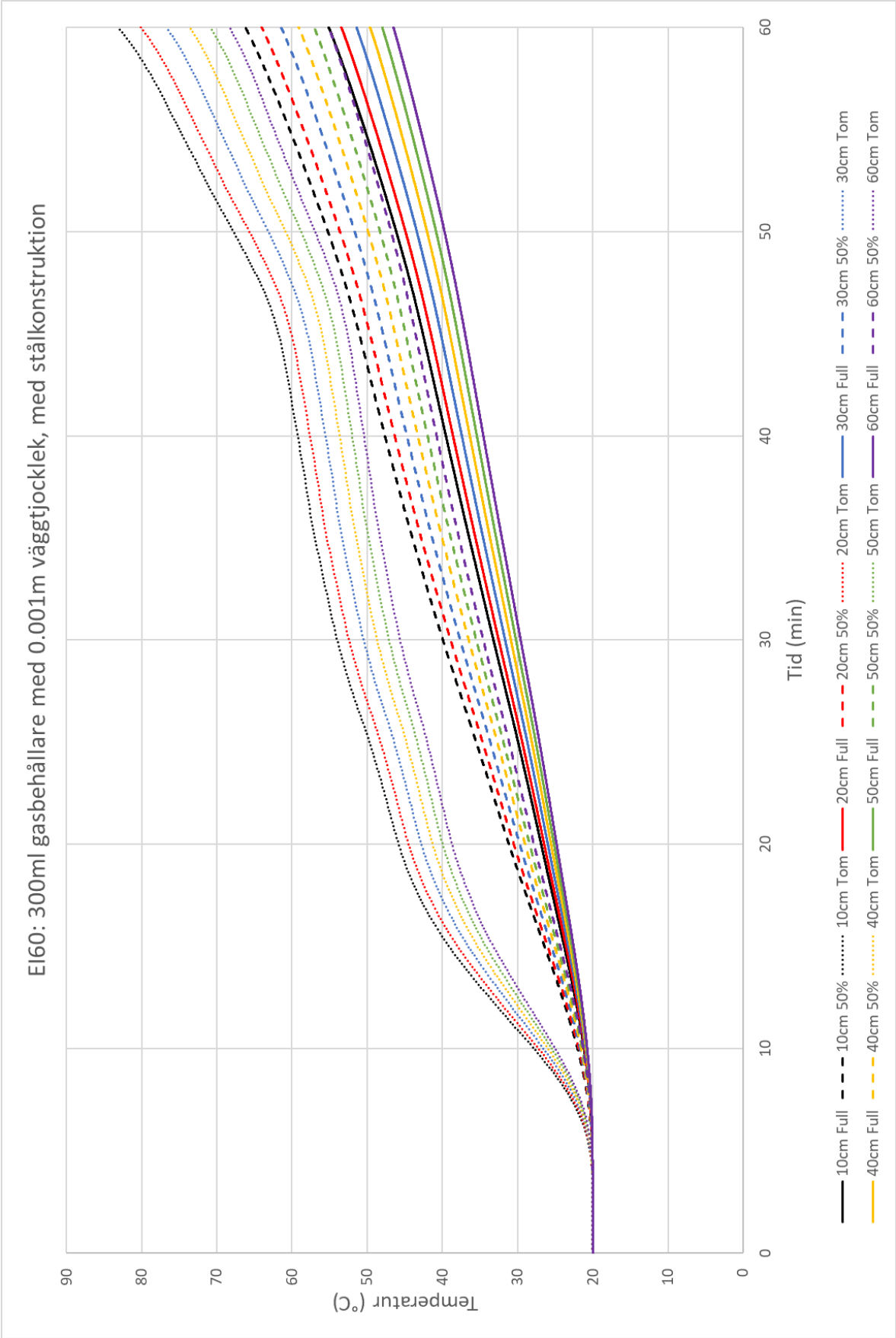

EI30: PC5 gasbehållare med 0.001m väggtjocklek, med stålkonstruktion
Temperatur (°C)
70
60
50
40
30
20
10
0
0
5
10
15
20
25
30
Tid (min)
10cm Full
10cm 50%
10cm Tom
20cm Full
20cm 50%
20cm Tom
30cm Full
30cm 50%
30cm Tom
40cm Full
40cm 50%
40cm Tom
50cm Full
50cm 50%
50cm Tom
60cm Full
60cm 50%
60cm Tom

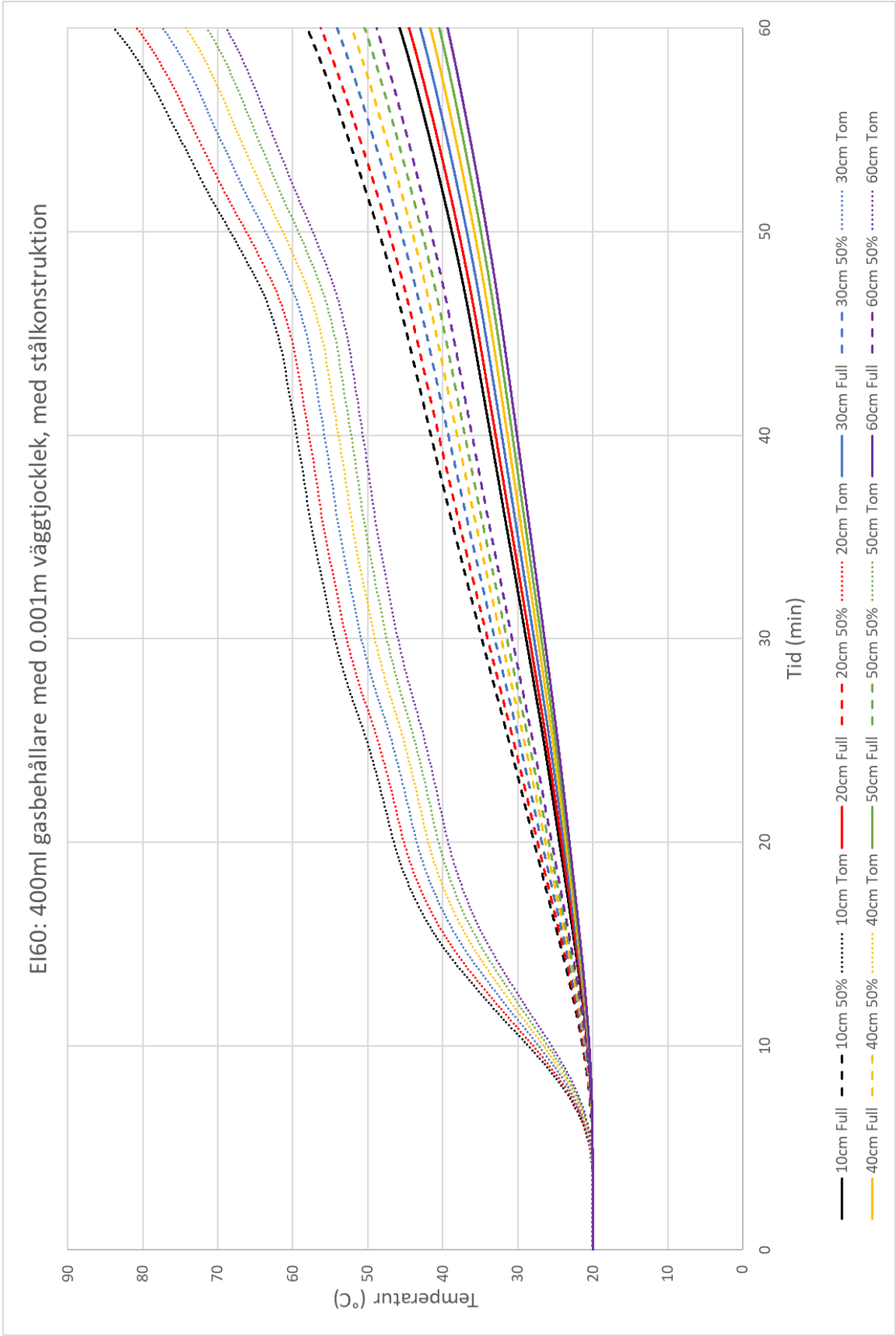

EI30: PC10 gasbehållare med 0.001m väggtjocklek, med stålkonstruktion
Temperatur (°C)
70
60
50
40
30
20
10
0
0
5
10
15
20
25
30
Tid (min)
10cm Full
10cm 50%
10cm Tom
20cm Full
20cm 50%
20cm Tom
30cm Full
30cm 50%
30cm Tom
40cm Full
40cm 50%
40cm Tom
50cm Full
50cm 50%
50cm Tom
60cm Full
60cm 50%
60cm Tom

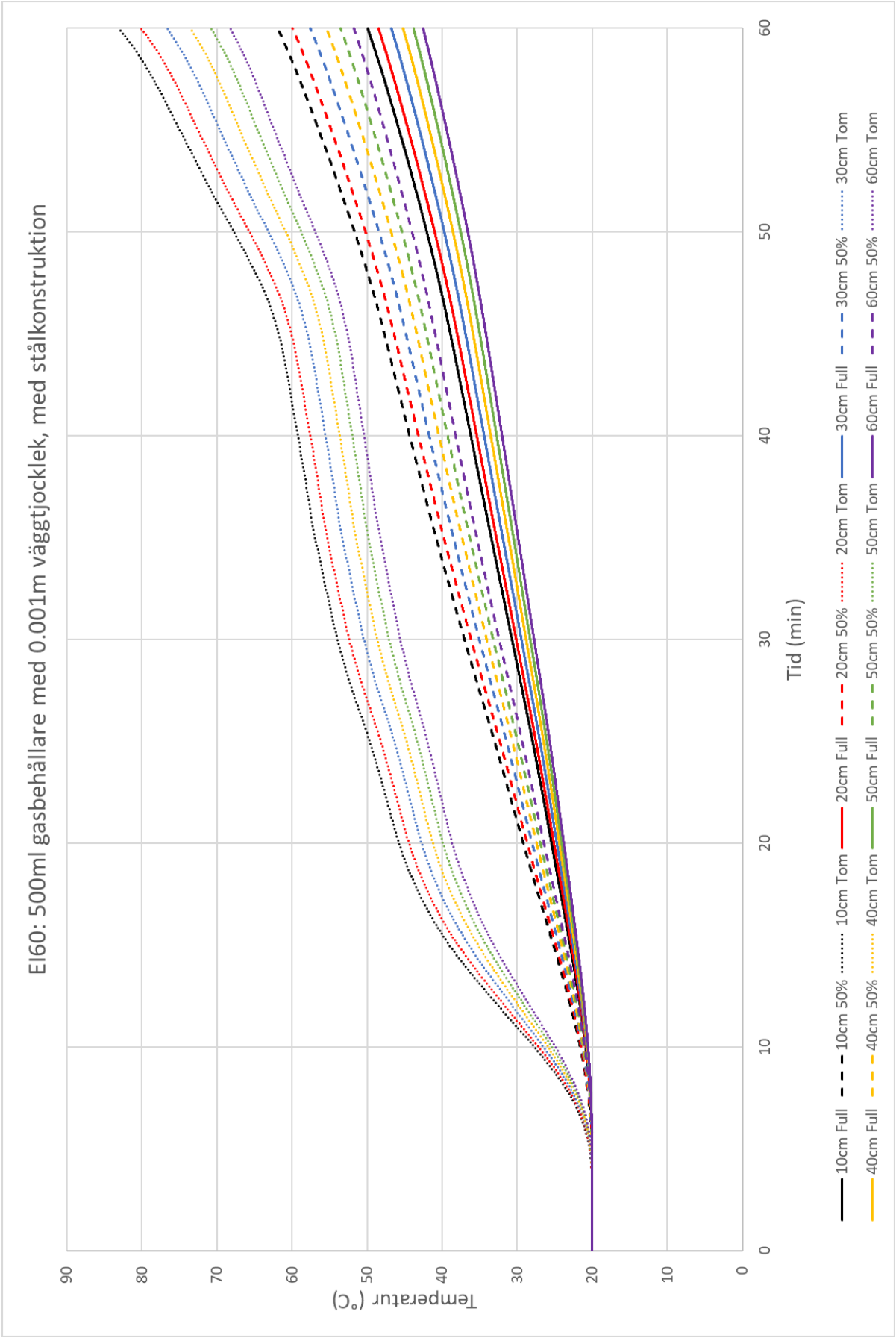

EI30: P11 gasbehållare med 0.001m väggtjocklek, med stålkonstruktion
Temperatur (°C)
70
60
50
40
30
20
10
0
0
5
10
15
20
25
30
Tid (min)
10cm Full
10cm 50%
10cm Tom
20cm Full
20cm 50%
20cm Tom
30cm Full
30cm 50%
30cm Tom
40cm Full
40cm 50%
40cm Tom
50cm Full
50cm 50%
50cm Tom
60cm Full
60cm 50%
60cm Tom

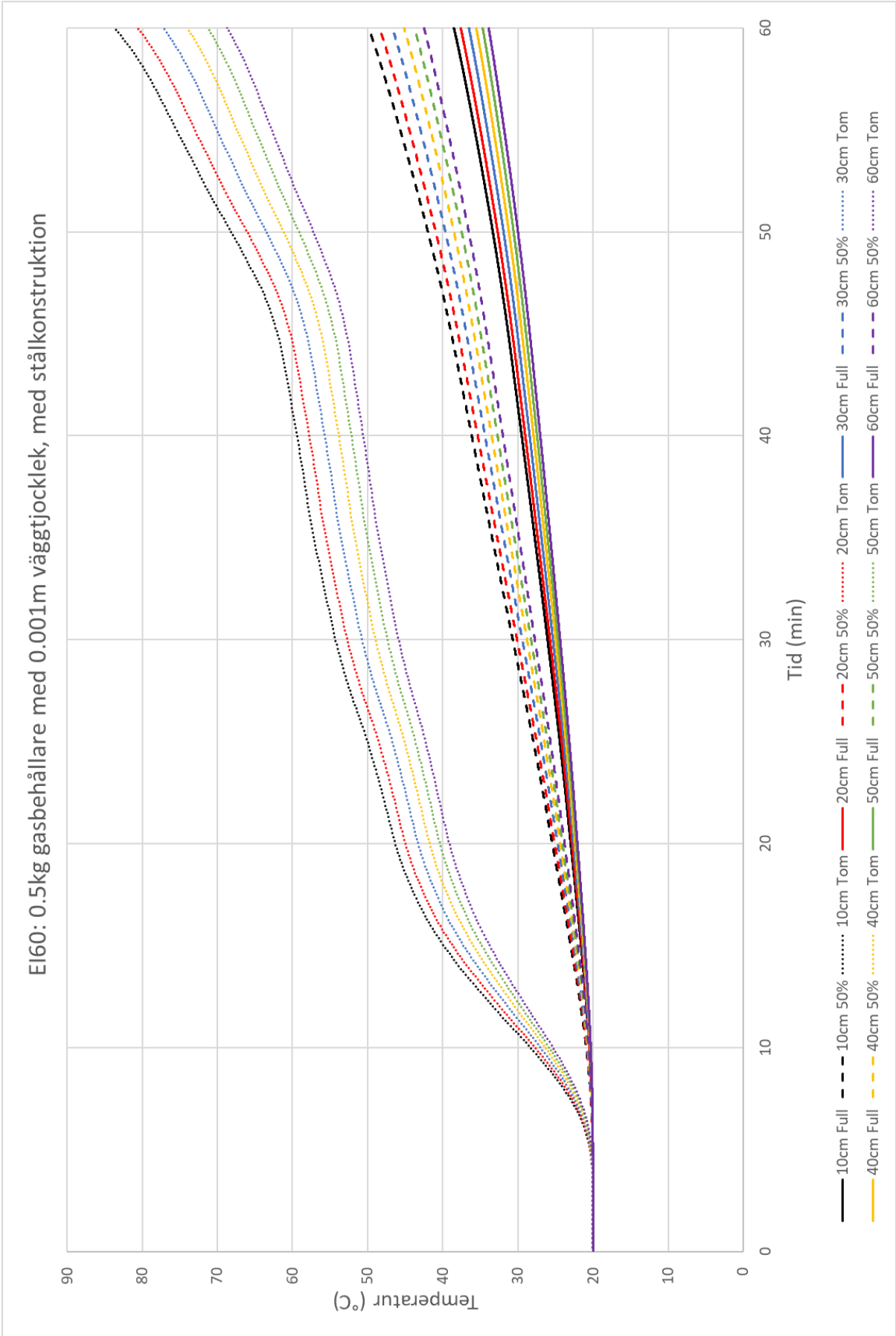

EI60: 100ml gasbehållare med 0.001m väggtjocklek, med stålkonstruktion
Temperatur (°C)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
Tid (min)
0
10
20
30
40
50
60
10cm Full
10cm 50%
10cm Tom
20cm Full
20cm 50%
20cm Tom
30cm Full
30cm 50%
30cm Tom
40cm Full
40cm 50%
40cm Tom
50cm Full
50cm 50%
50cm Tom
60cm Full
60cm 50%
60cm Tom

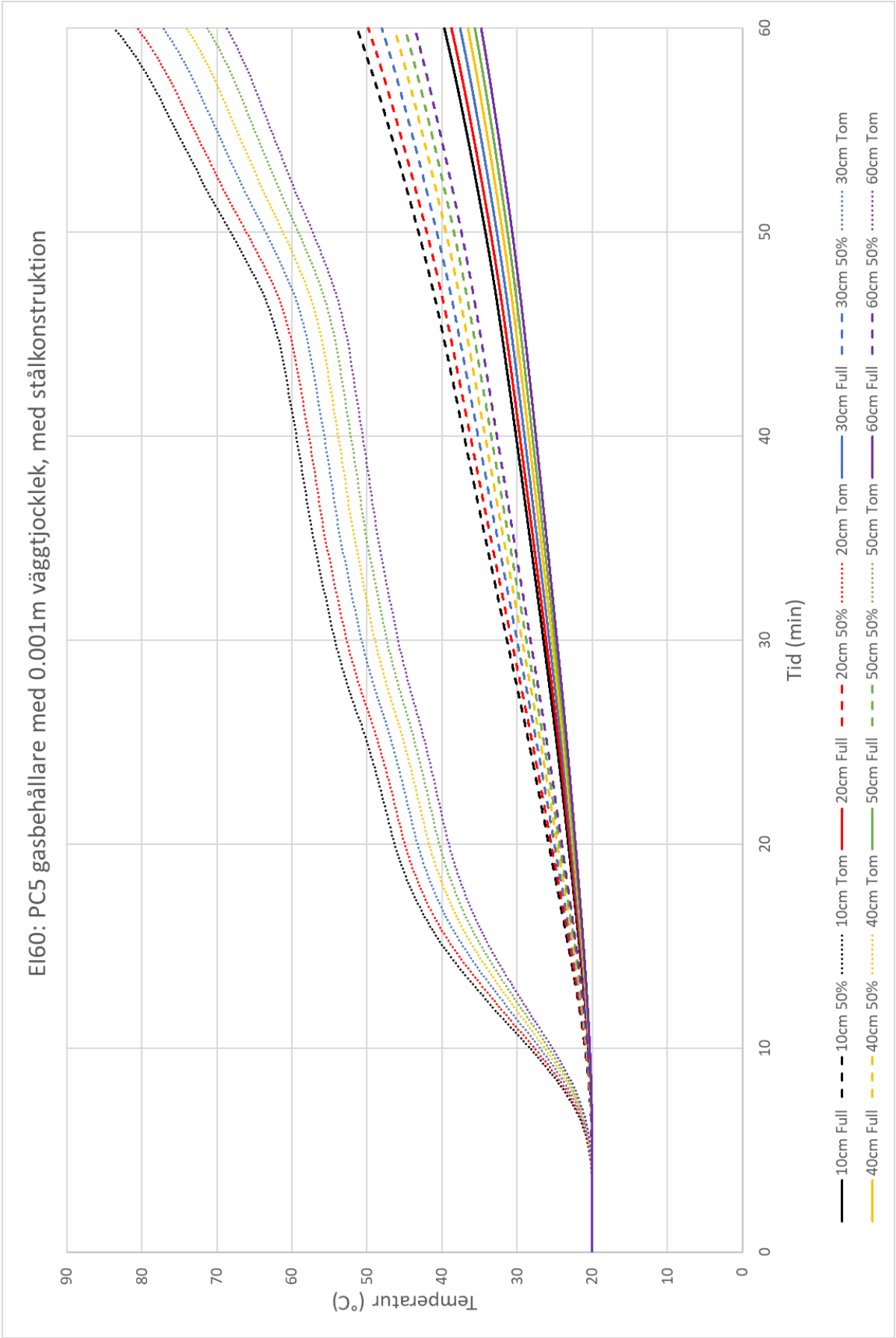

EI60: 200ml gasbehållare med 0.001m väggtjocklek, med stålkonstruktion
Temperatur (°C)
Tid (min)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
0
10
20
30
40
50
60
10cm Full
10cm 50%
10cm Tom
20cm Full
20cm 50%
20cm Tom
30cm Full
30cm 50%
30cm Tom
40cm Full
40cm 50%
40cm Tom
50cm Full
50cm 50%
50cm Tom
60cm Full
60cm 50%
60cm Tom

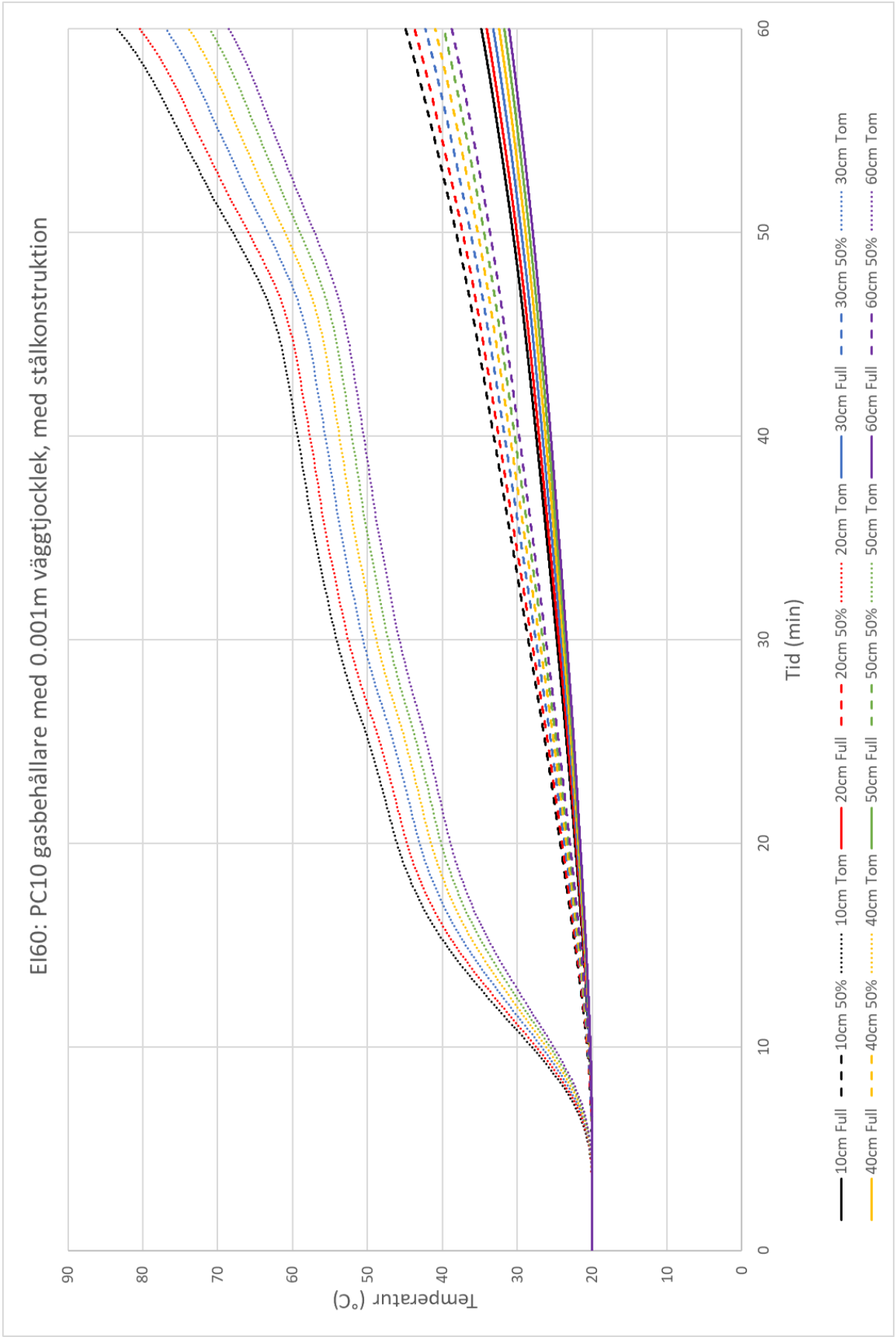

EI60: 300ml gasbehållare med 0.001m väggtjocklek, med stålkonstruktion
Temperatur (°C)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
Tid (min)
0
10
20
30
40
50
60
10cm Full
10cm 50%
10cm Tom
20cm Full
20cm 50%
20cm Tom
30cm Full
30cm 50%
30cm Tom
40cm Full
40cm 50%
40cm Tom
50cm Full
50cm 50%
50cm Tom
60cm Full
60cm 50%
60cm Tom

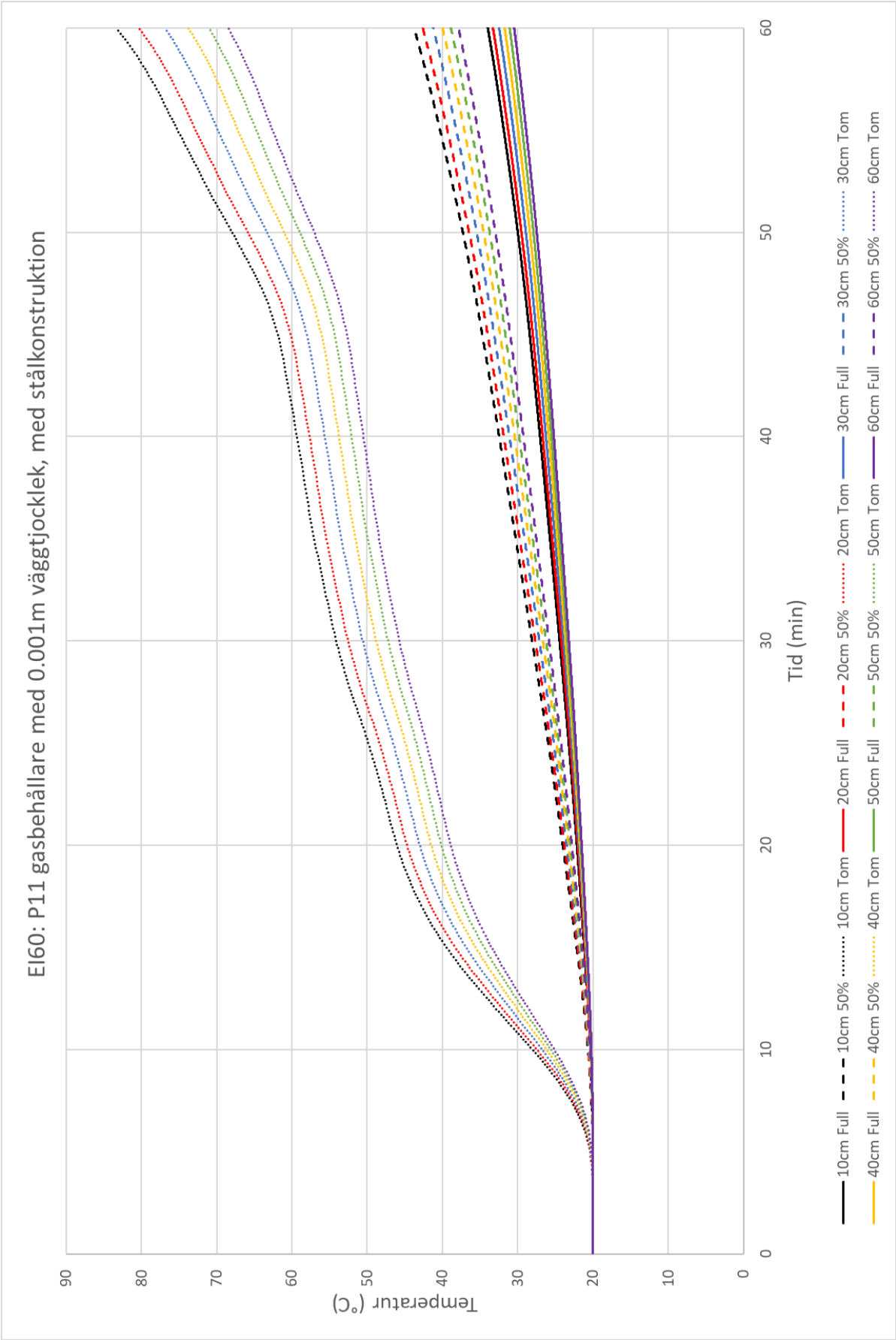

EI60: 400ml gasbehållare med 0.001m väggtjocklek, med stålkonstruktion
Temperatur (°C)
Tid (min)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
10cm Full
10cm 50%
10cm Tom
20cm Full
20cm 50%
20cm Tom
30cm Full
30cm 50%
30cm Tom
40cm Full
40cm 50%
40cm Tom
50cm Full
50cm 50%
50cm Tom
60cm Full
60cm 50%
60cm Tom

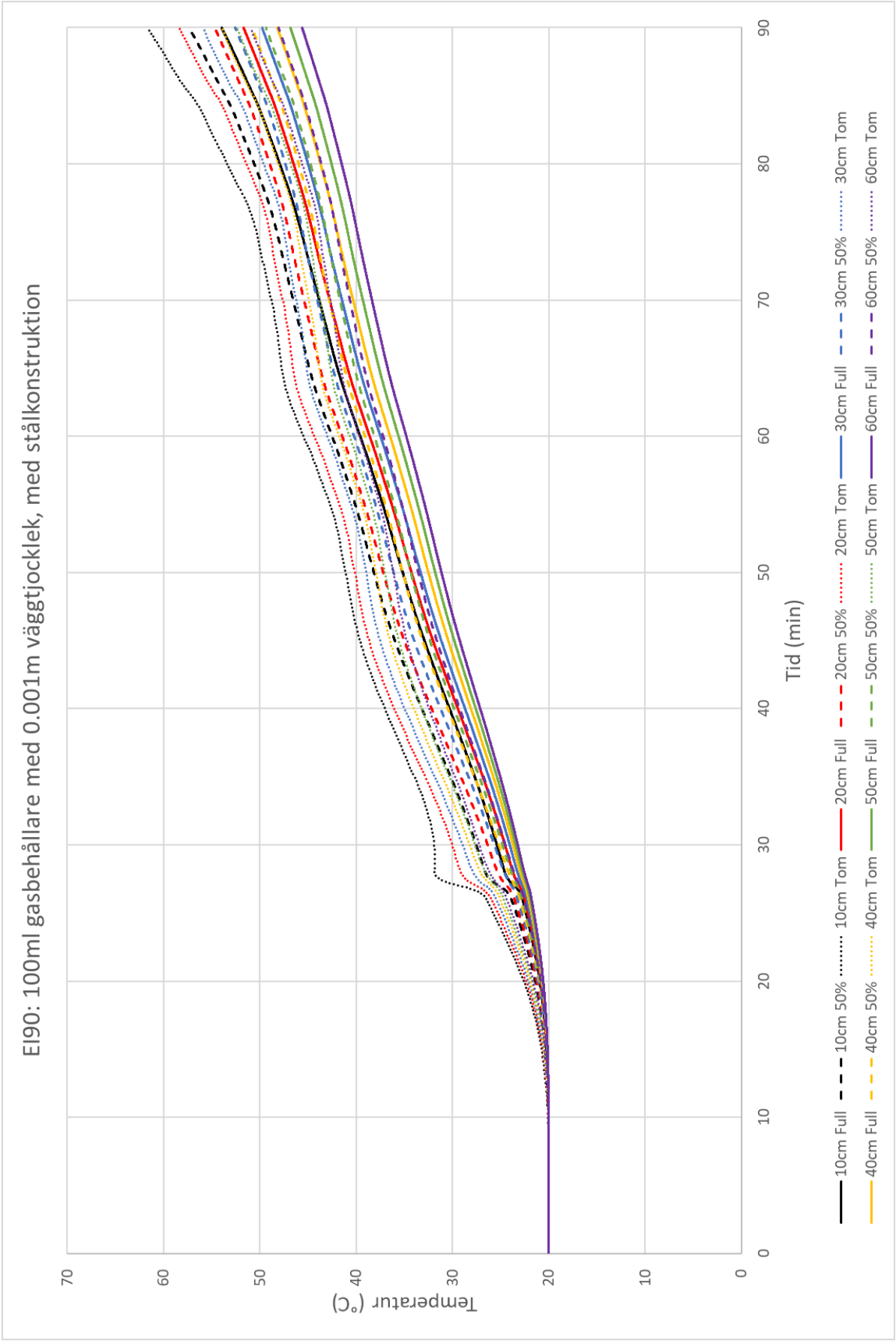

EI60: 500ml gasbehållare med 0.001m väggtjocklek, med stålkonstruktion
Temperatur (°C)
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
10
20
30
40
50
60
Tid (min)
10cm Full
10cm 50%
10cm Tom
20cm Full
20cm 50%
20cm Tom
30cm Full
30cm 50%
30cm Tom
40cm Full
40cm 50%
40cm Tom
50cm Full
50cm 50%
50cm Tom
60cm Full
60cm 50%
60cm Tom

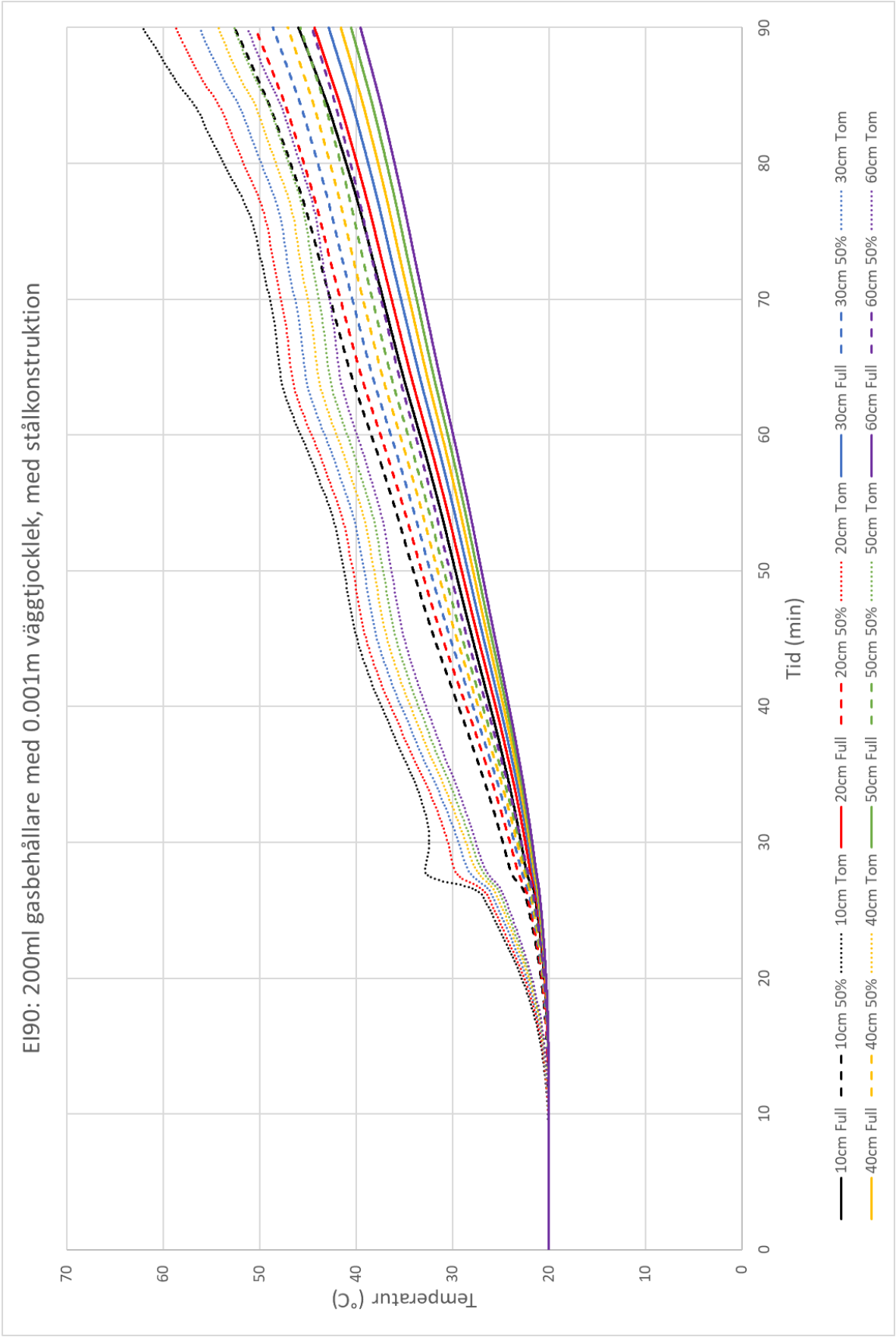

EI60: 0.5kg gasbehållare med 0.001m väggtjocklek, med stålkonstruktion
Temperatur (°C)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
Tid (min)
0
10
20
30
40
50
60
10cm Full
10cm 50%
10cm Tom
20cm Full
20cm 50%
20cm Tom
30cm Full
30cm 50%
30cm Tom
40cm Full
40cm 50%
40cm Tom
50cm Full
50cm 50%
50cm Tom
60cm Full
60cm 50%
60cm Tom

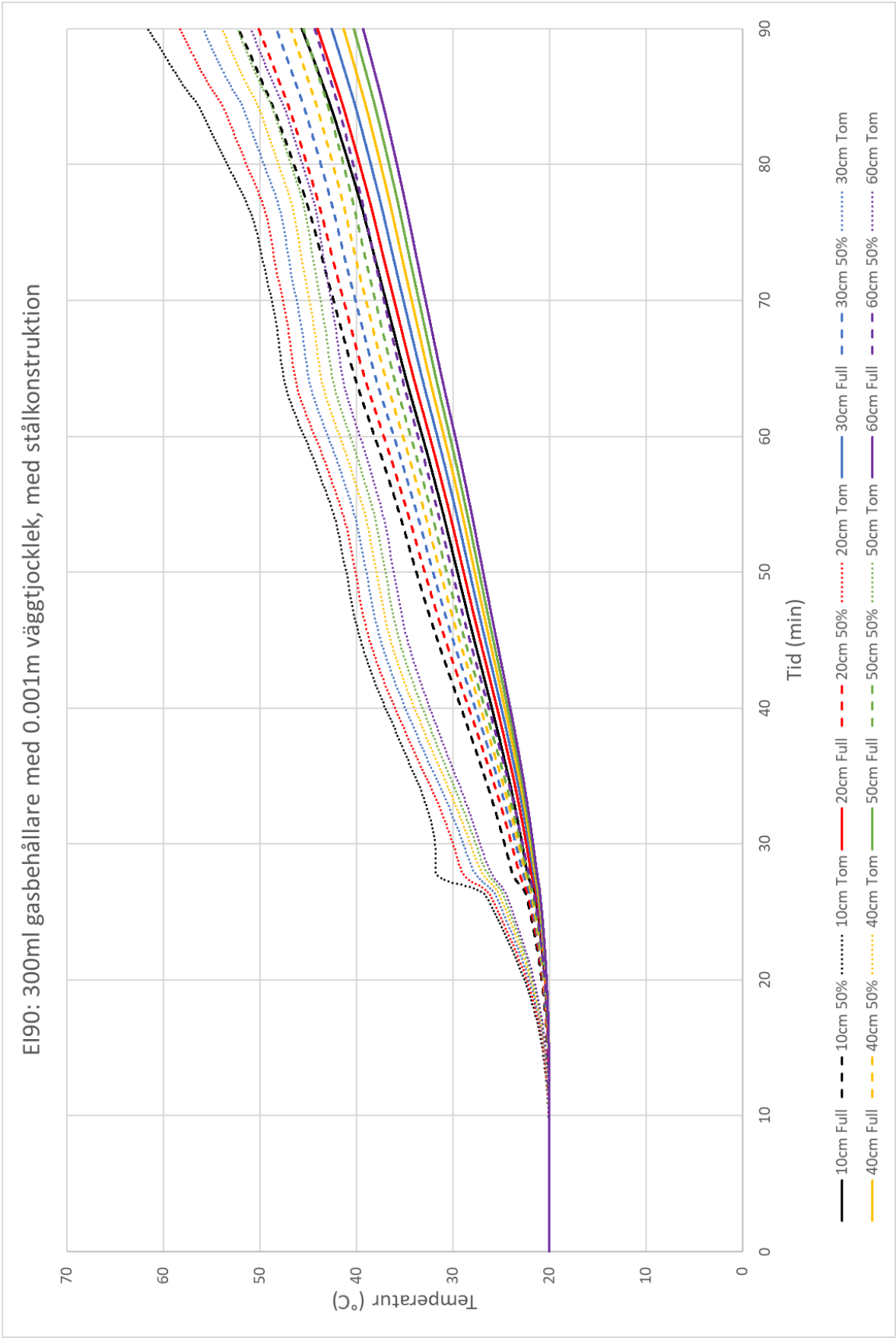

EI60: PC5 gasbehållare med 0.001m väggtjocklek, med stålkonstruktion
Temperatur (°C)
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
10
20
30
40
50
60
Tid (min)
10cm Full
10cm 50%
10cm Tom
20cm Full
20cm 50%
20cm Tom
30cm Full
30cm 50%
30cm Tom
40cm Full
40cm 50%
40cm Tom
50cm Full
50cm 50%
50cm Tom
60cm Full
60cm 50%
60cm Tom

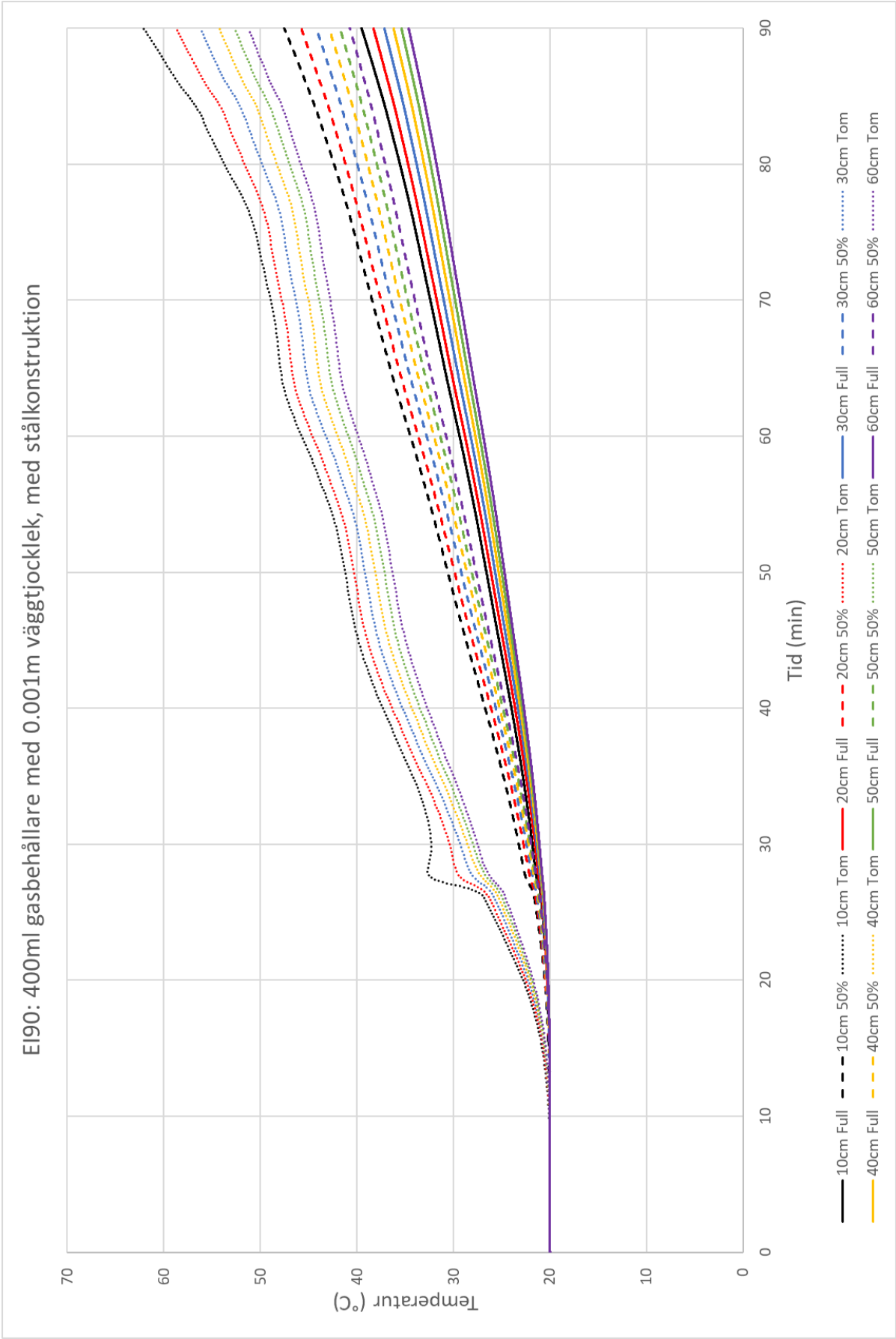

EI60: PC10 gasbehållare med 0.001m väggtjocklek, med stålkonstruktion
Temperatur (°C)
Tid (min)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
10cm Full
10cm 50%
10cm Tom
20cm Full
20cm 50%
20cm Tom
30cm Full
30cm 50%
30cm Tom
40cm Full
40cm 50%
40cm Tom
50cm Full
50cm 50%
50cm Tom
60cm Full
60cm 50%
60cm Tom

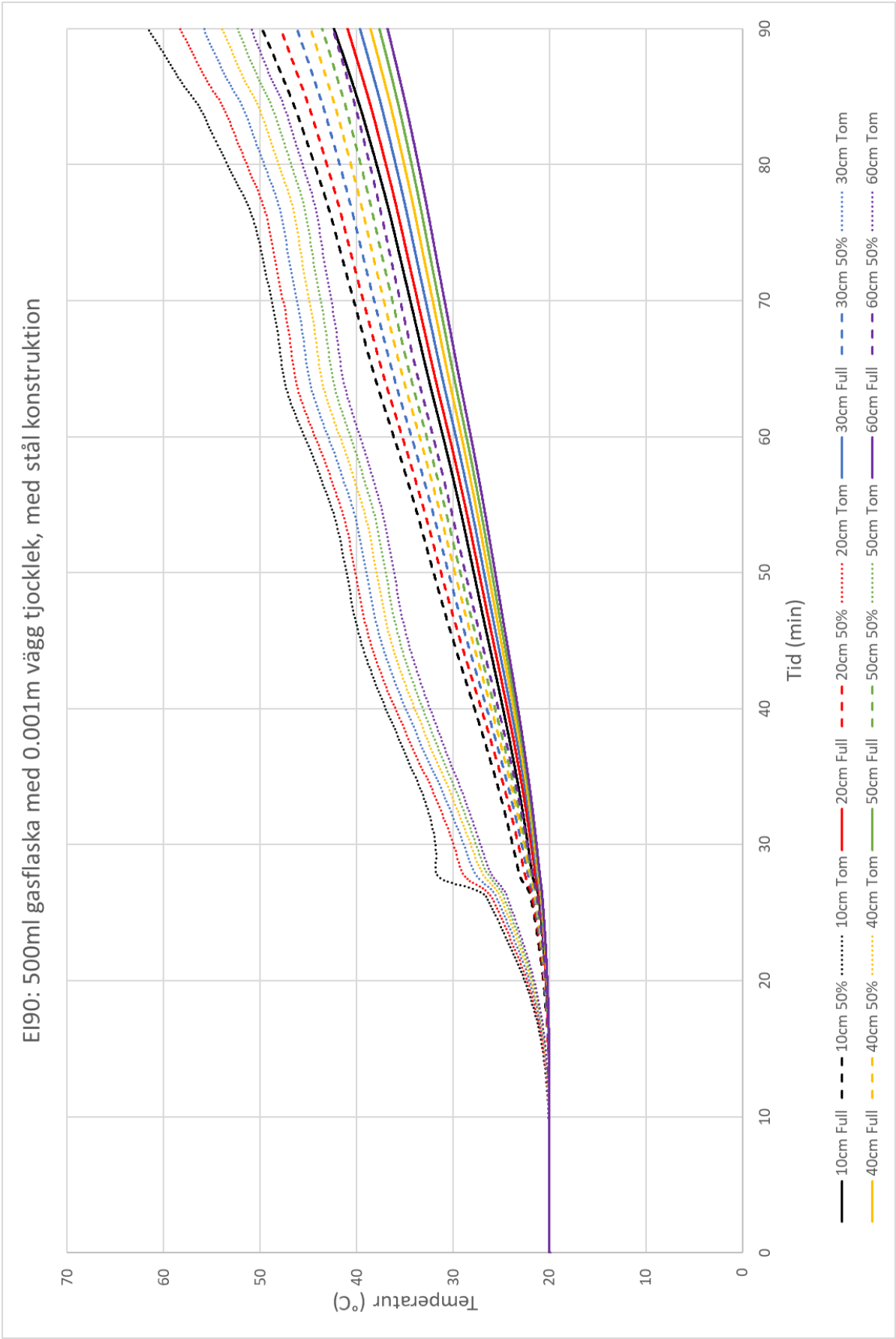

EI60: P11 gasbehållare med 0.001m väggtjocklek, med stålkonstruktion
Temperatur (°C)
Tid (min)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
0
10
20
30
40
50
60
10cm Full
10cm 50%
10cm Tom
20cm Full
20cm 50%
20cm Tom
30cm Full
30cm 50%
30cm Tom
40cm Full
40cm 50%
40cm Tom
50cm Full
50cm 50%
50cm Tom
60cm Full
60cm 50%
60cm Tom

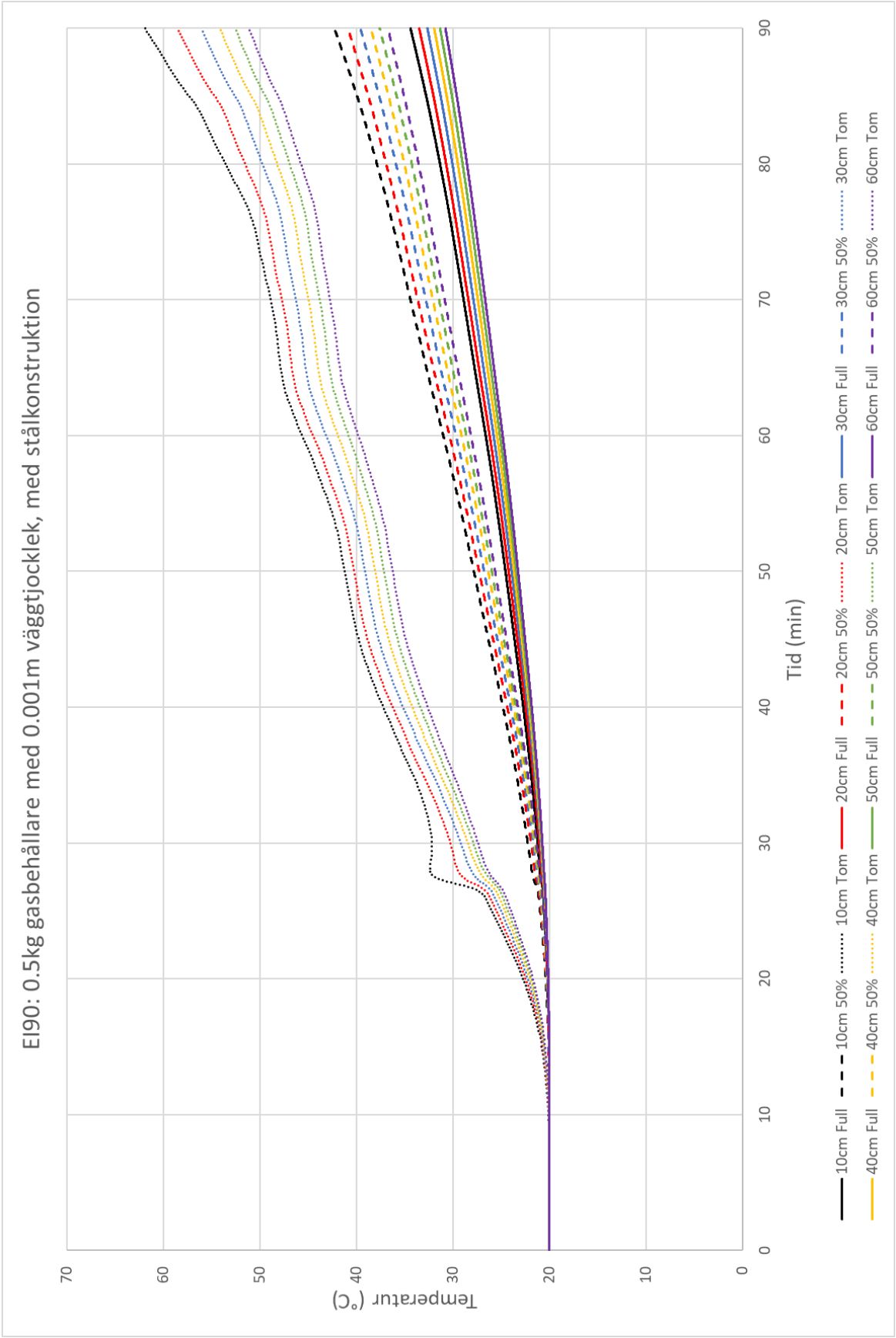

EI90: 100ml gasbehållare med 0.001m väggtjocklek, med stålkonstruktion
Temperatur (°C)
0
10
20
30
40
50
60
70
Tid (min)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
10cm Full
10cm 50%
10cm Tom
20cm Full
20cm 50%
20cm Tom
30cm Full
30cm 50%
30cm Tom
40cm Full
40cm 50%
40cm Tom
50cm Full
50cm 50%
50cm Tom
60cm Full
60cm 50%
60cm Tom

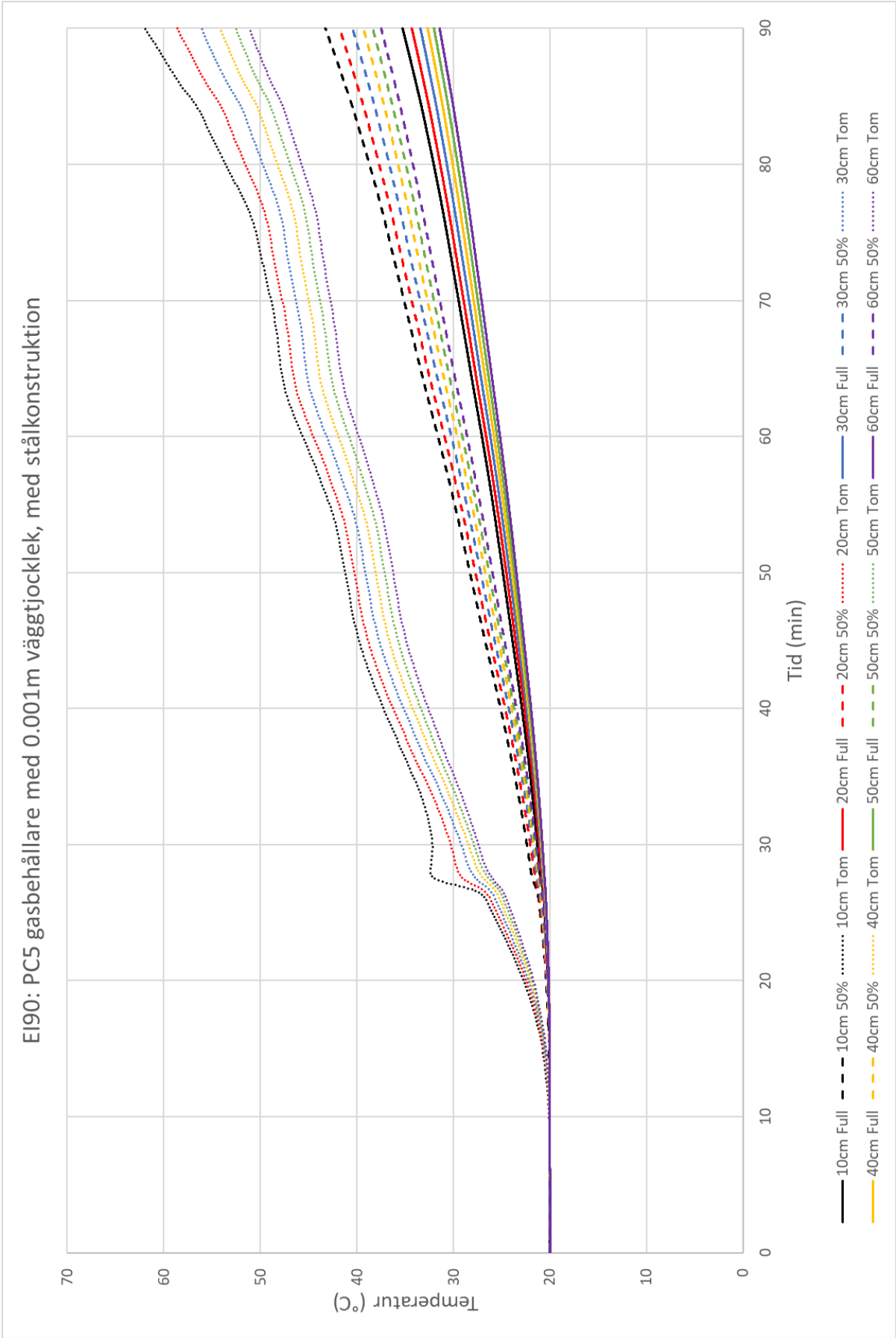

EI90: 200ml gasbehållare med 0.001m väggtjocklek, med stålkonstruktion
Temperatur (°C)
0
10
20
30
40
50
60
70
Tid (min)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
10cm Full
10cm 50%
10cm Tom
20cm Full
20cm 50%
20cm Tom
30cm Full
30cm 50%
30cm Tom
40cm Full
40cm 50%
40cm Tom
50cm Full
50cm 50%
50cm Tom
60cm Full
60cm 50%
60cm Tom

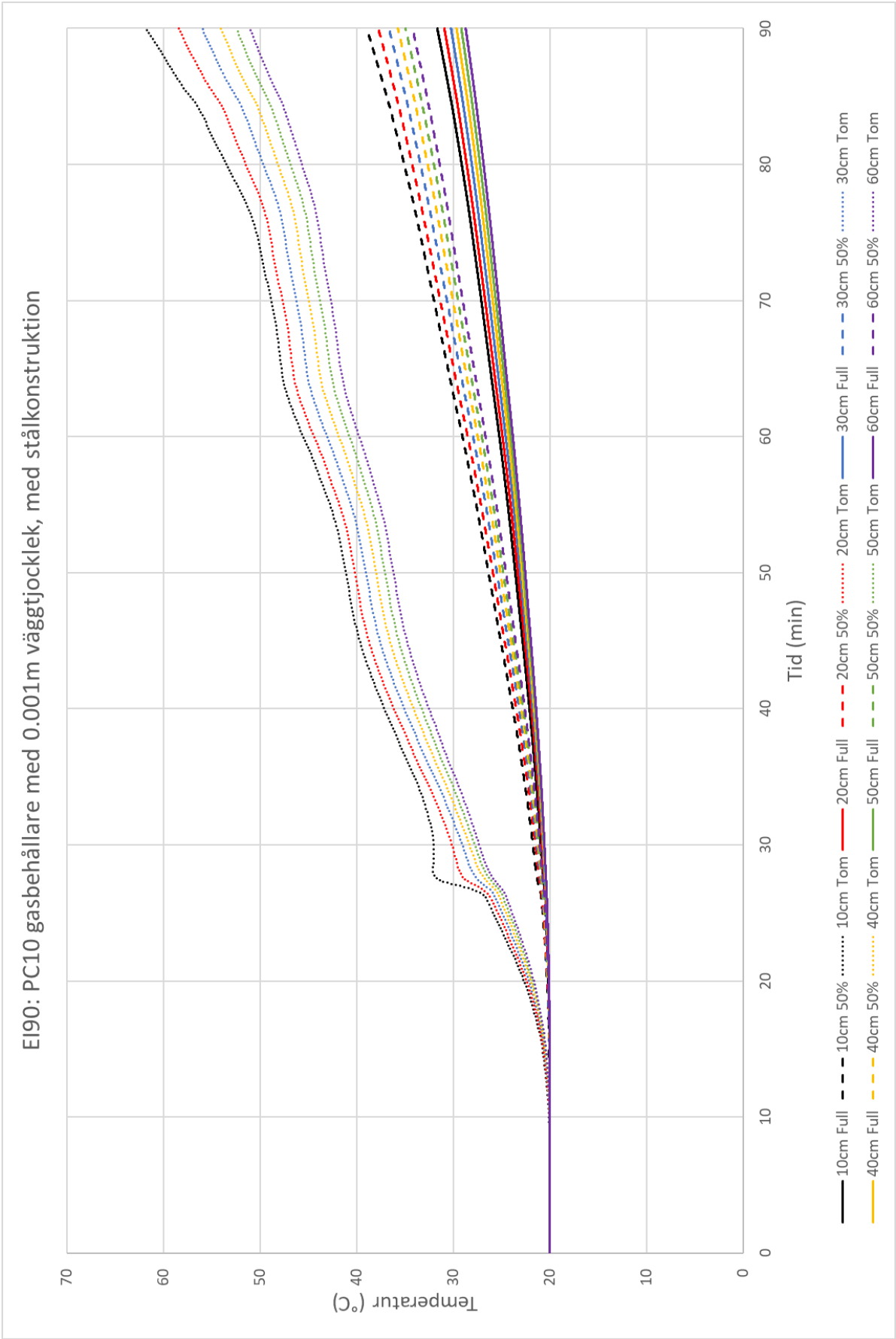

EI90: 300ml gasbehållare med 0.001m väggtjocklek, med stålkonstruktion
Temperatur (°C)
0
10
20
30
40
50
60
70
Tid (min)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
10cm Full
10cm 50%
10cm Tom
20cm Full
20cm 50%
20cm Tom
30cm Full
30cm 50%
30cm Tom
40cm Full
40cm 50%
40cm Tom
50cm Full
50cm 50%
50cm Tom
60cm Full
60cm 50%
60cm Tom

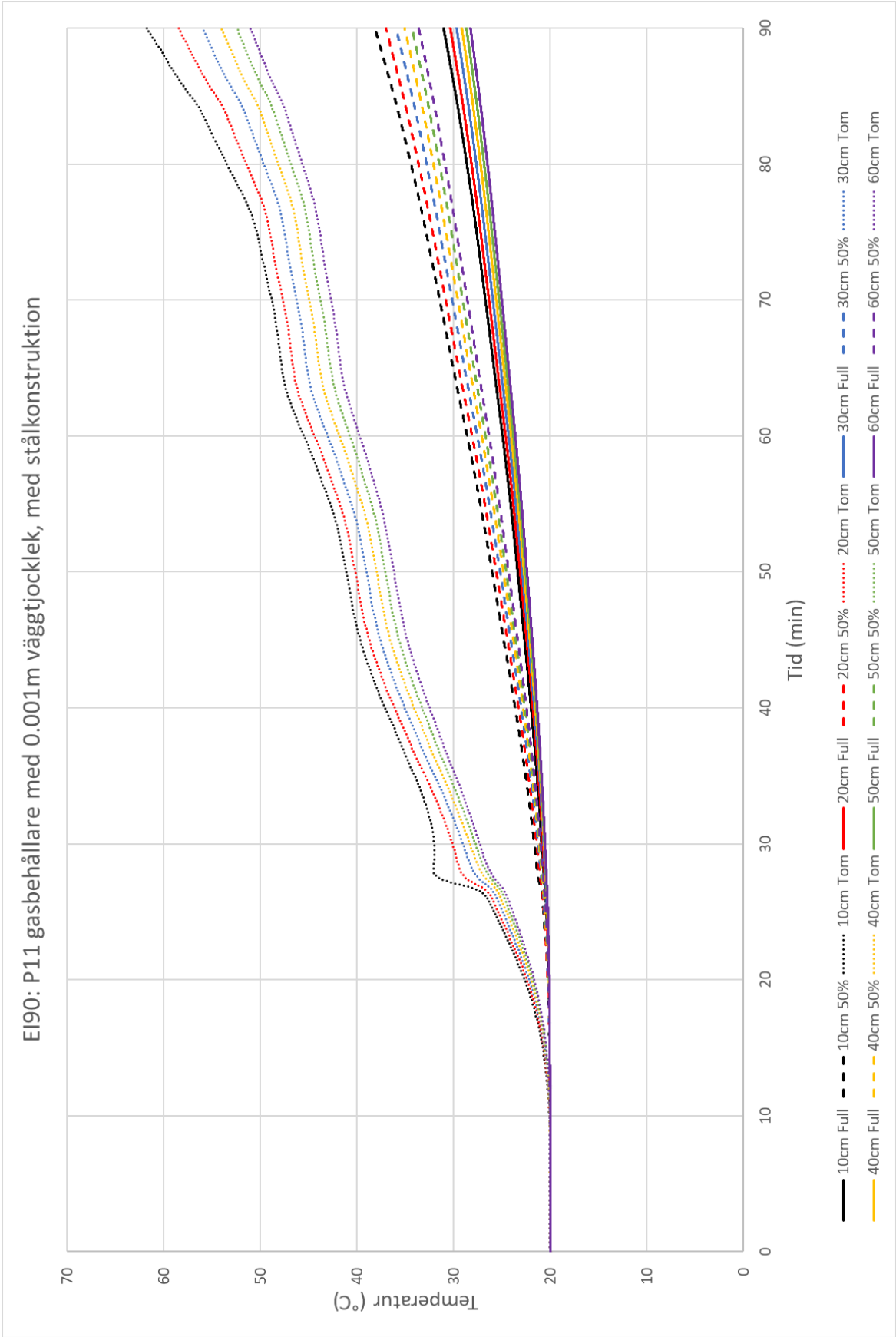

EI90: 400ml gasbehållare med 0.001m väggtjocklek, med stålkonstruktion
Temperatur (°C)
0
10
20
30
40
50
60
70
Tid (min)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
10cm Full
10cm 50%
10cm Tom
20cm Full
20cm 50%
20cm Tom
30cm Full
30cm 50%
30cm Tom
40cm Full
40cm 50%
40cm Tom
50cm Full
50cm 50%
50cm Tom
60cm Full
60cm 50%
60cm Tom


EI90: 500ml gasflaska med 0.001m vägg tjocklek, med stål konstruktion
Temperatur (°C)
0
10
20
30
40
50
60
70
Tid (min)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
10cm Full
10cm 50%
10cm Tom
20cm Full
20cm 50%
20cm Tom
30cm Full
30cm 50%
30cm Tom
40cm Full
40cm 50%
40cm Tom
50cm Full
50cm 50%
50cm Tom
60cm Full
60cm 50%
60cm Tom

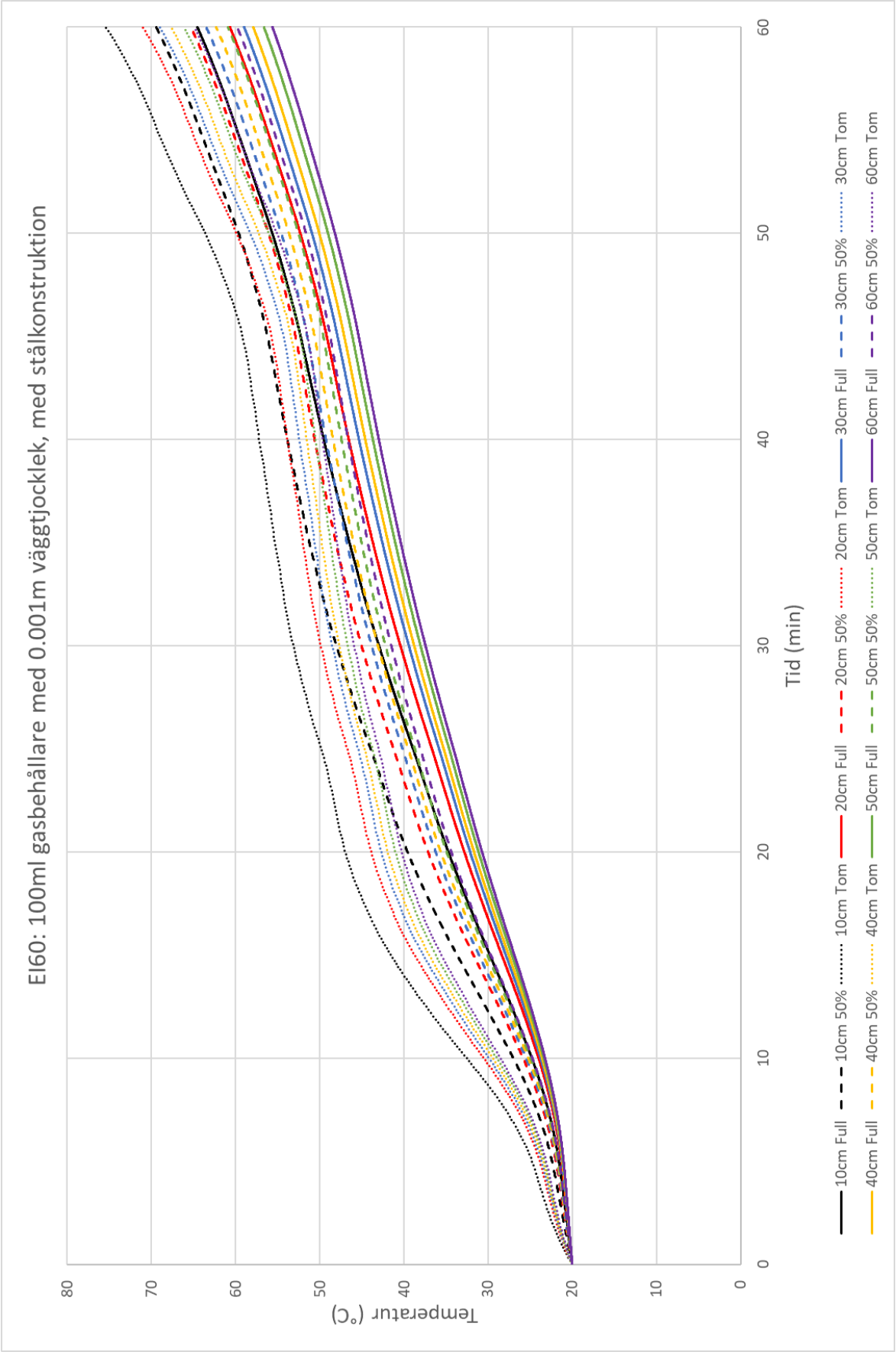

EI90: 0.5kg gasbehållare med 0.001m väggtjocklek, med stålkonstruktion
Temperatur (°C)
70
60
50
40
30
20
10
0
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
Tid (min)
10cm Full
10cm 50%
10cm Tom
20cm Full
20cm 50%
20cm Tom
30cm Full
30cm 50%
30cm Tom
40cm Full
40cm 50%
40cm Tom
50cm Full
50cm 50%
50cm Tom
60cm Full
60cm 50%
60cm Tom

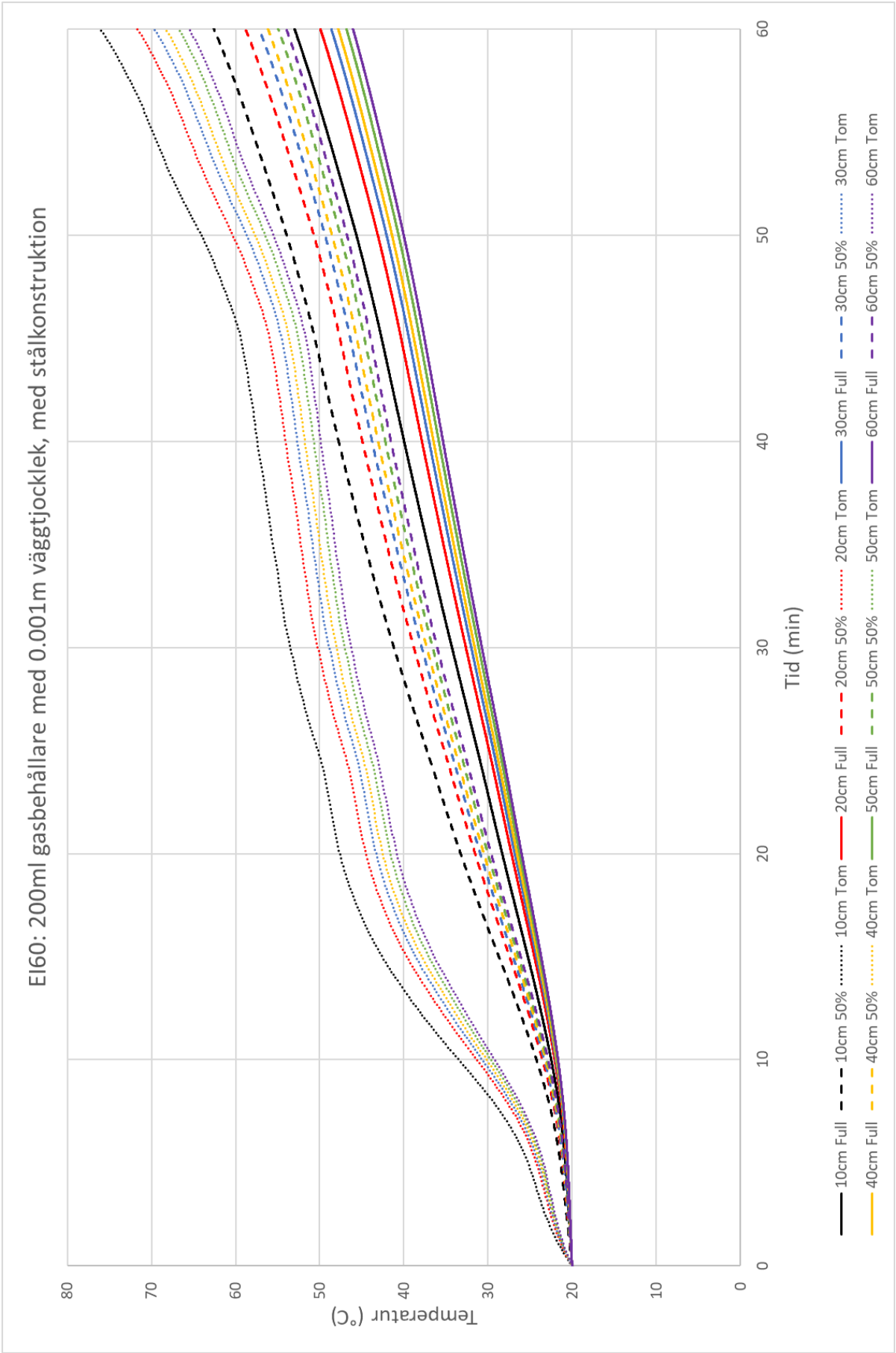

EI90: PC5 gasbehållare med 0.001m väggtjocklek, med stålkonstruktion
Temperatur (°C)
Tid (min)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
10cm Full
10cm 50%
10cm Tom
20cm Full
20cm 50%
20cm Tom
30cm Full
30cm 50%
30cm Tom
40cm Full
40cm 50%
40cm Tom
50cm Full
50cm 50%
50cm Tom
60cm Full
60cm 50%
60cm Tom

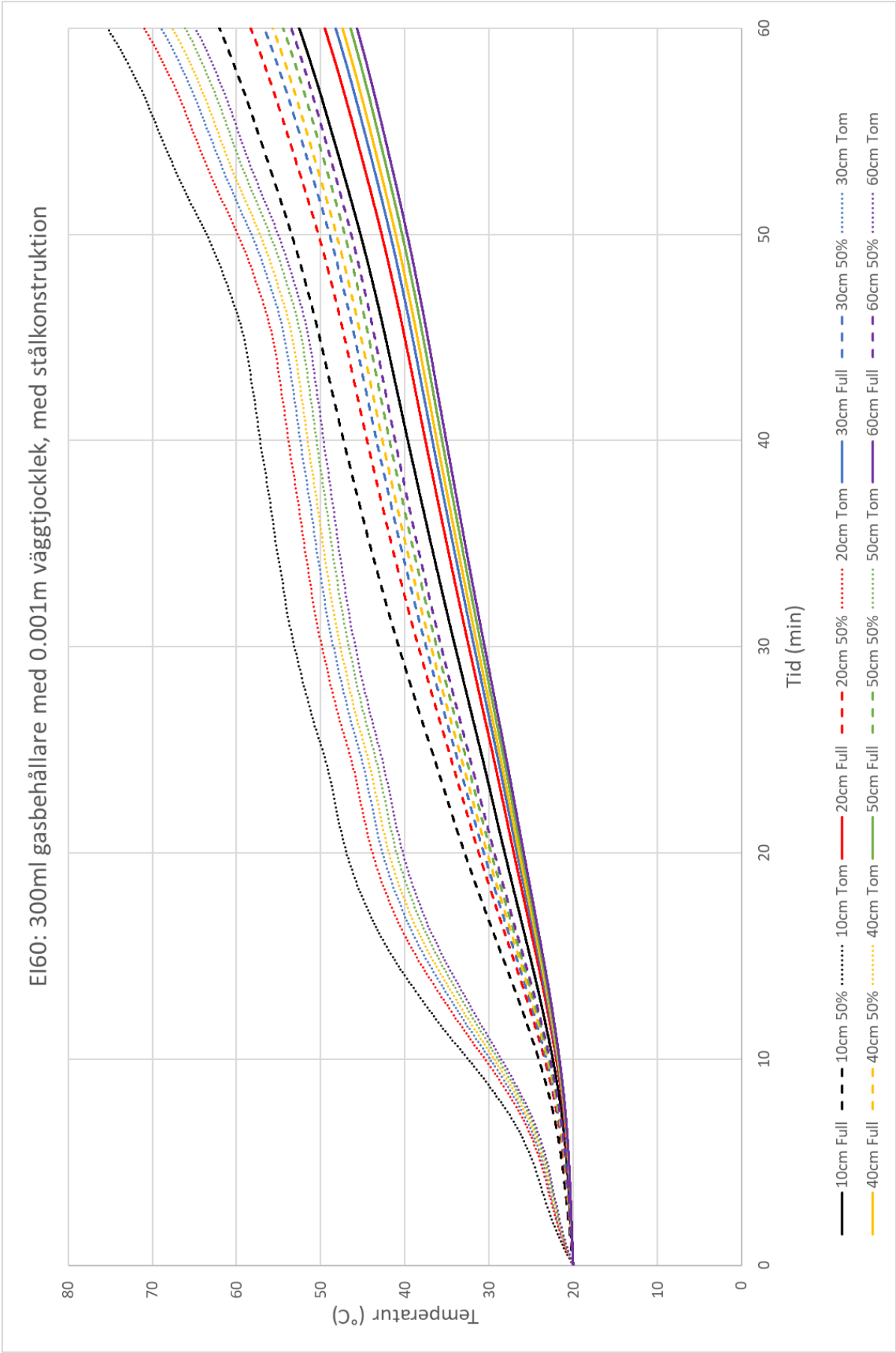

EI90: PC10 gasbehållare med 0.001m väggtjocklek, med stålkonstruktion
Temperatur (°C)
70
60
50
40
30
20
10
0
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
Tid (min)
10cm Full
10cm 50%
10cm Tom
20cm Full
20cm 50%
20cm Tom
30cm Full
30cm 50%
30cm Tom
40cm Full
40cm 50%
40cm Tom
50cm Full
50cm 50%
50cm Tom
60cm Full
60cm 50%
60cm Tom

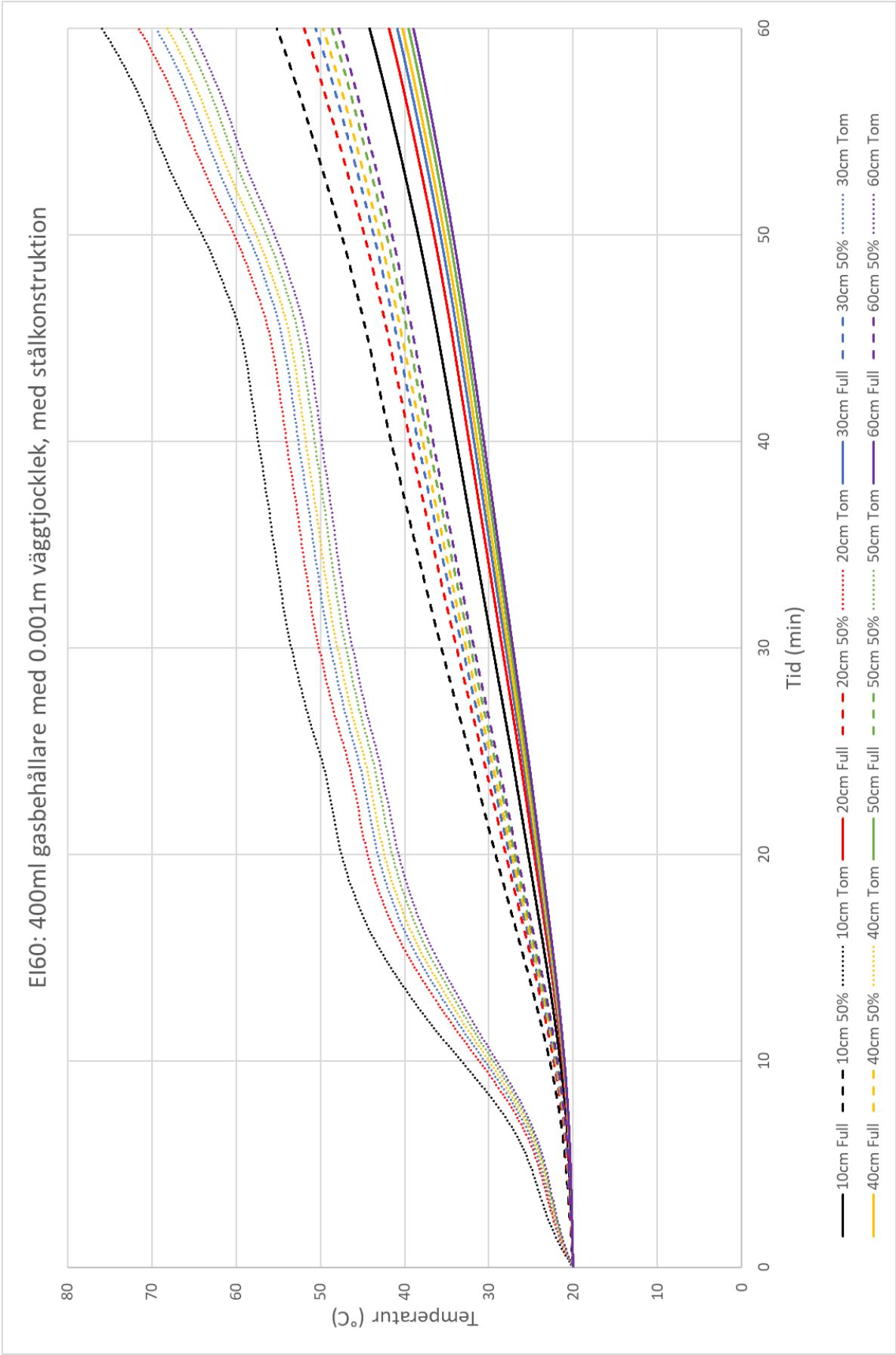

EI90: P11 gasbehållare med 0.001m väggtjocklek, med stålkonstruktion
Temperatur (°C)
70
60
50
40
30
20
10
0
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
Tid (min)
10cm Full
10cm 50%
10cm Tom
20cm Full
20cm 50%
20cm Tom
30cm Full
30cm 50%
30cm Tom
40cm Full
40cm 50%
40cm Tom
50cm Full
50cm 50%
50cm Tom
60cm Full
60cm 50%
60cm Tom

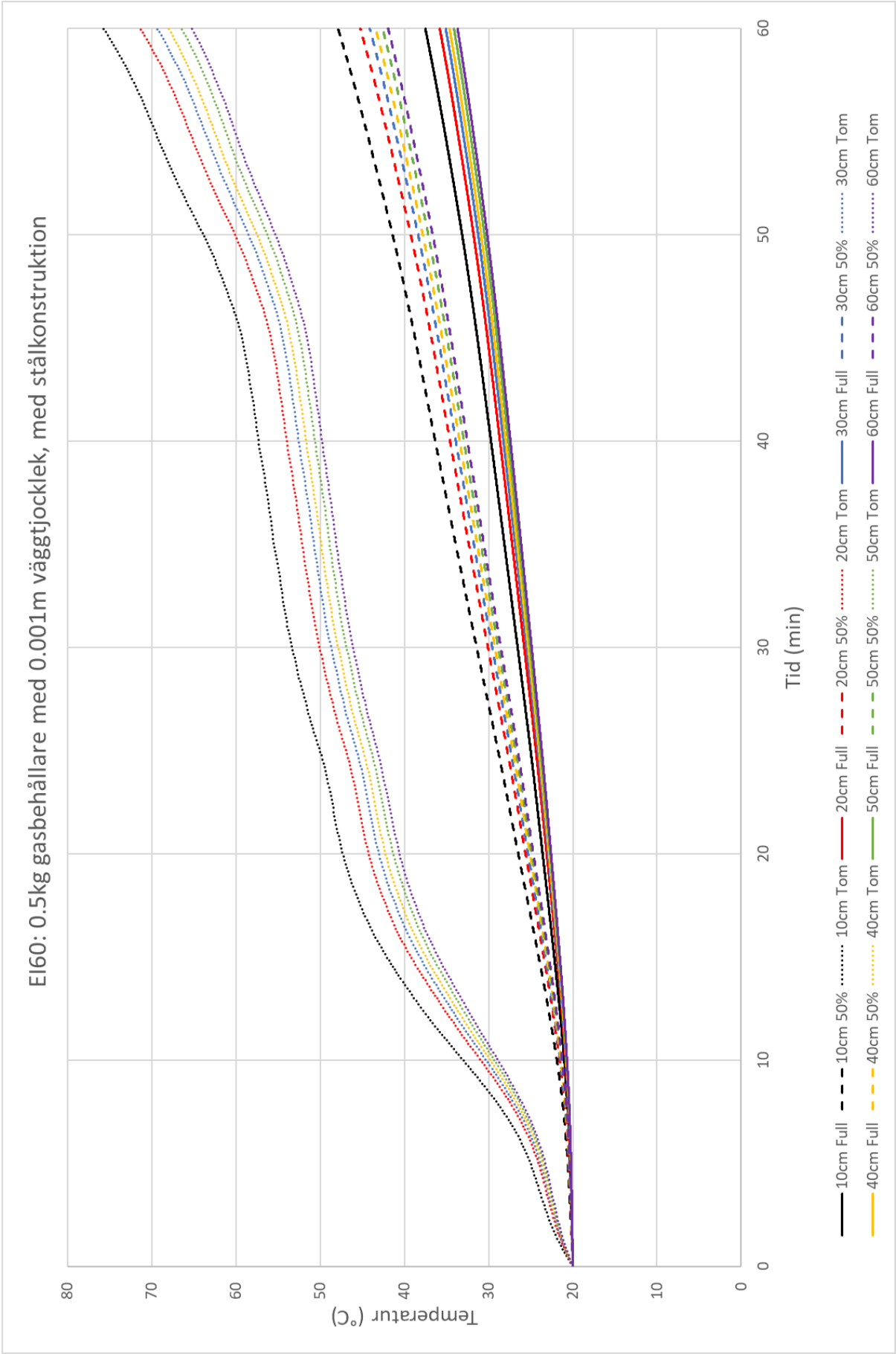
Lumped Mass – Större utrymme med 1 sidig uppvärmning med lågt placerad behållare

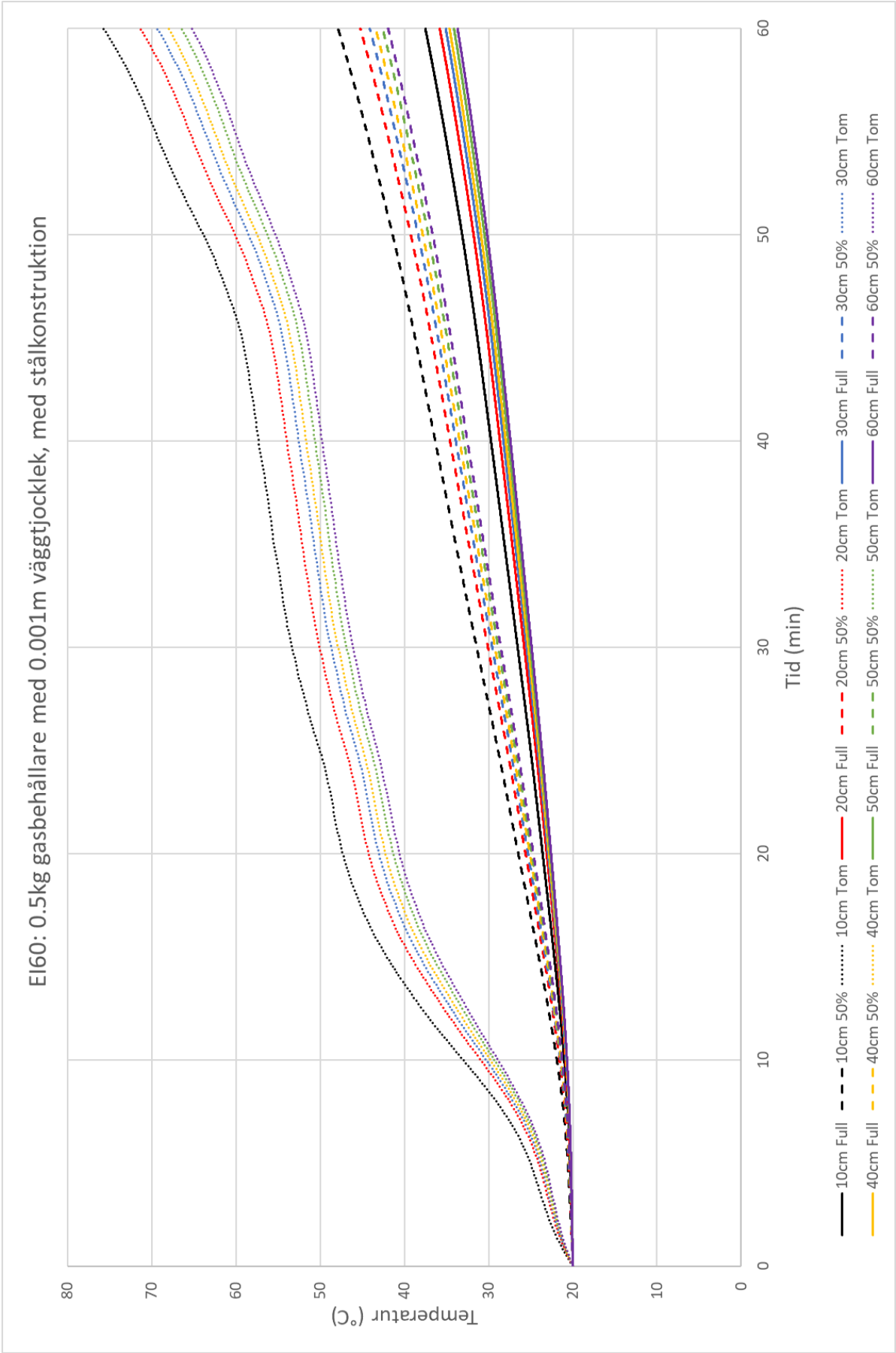


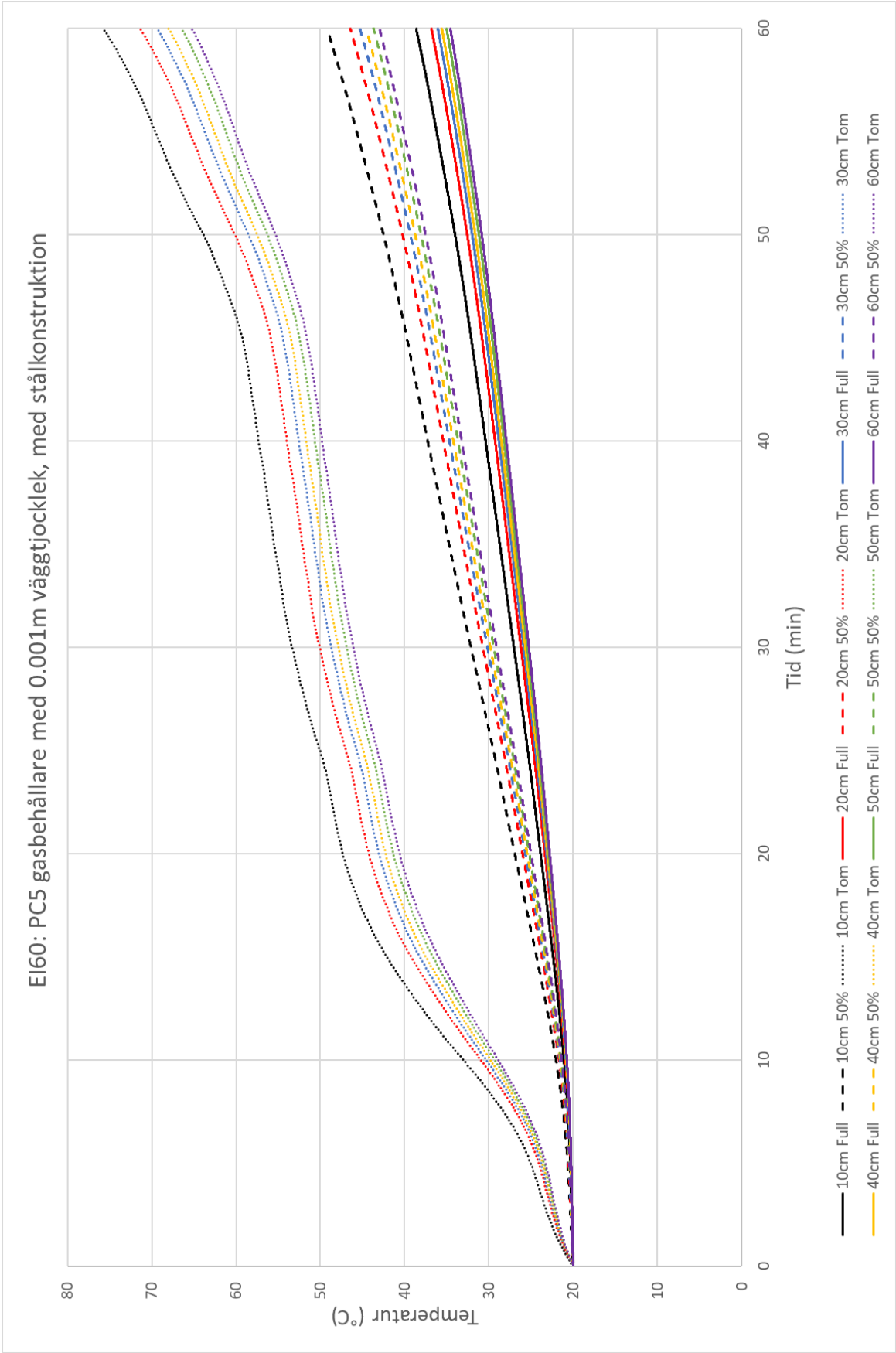

EI60: 200ml gasbehållare med 0.001m väggtjocklek, med stålkonstruktion
Temperatur (°C)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
Tid (min)
0
10
20
30
40
50
60
10cm Full
10cm 50%
10cm Tom
20cm Full
20cm 50%
20cm Tom
30cm Full
30cm 50%
30cm Tom
40cm Full
40cm 50%
40cm Tom
50cm Full
50cm 50%
50cm Tom
60cm Full
60cm 50%
60cm Tom

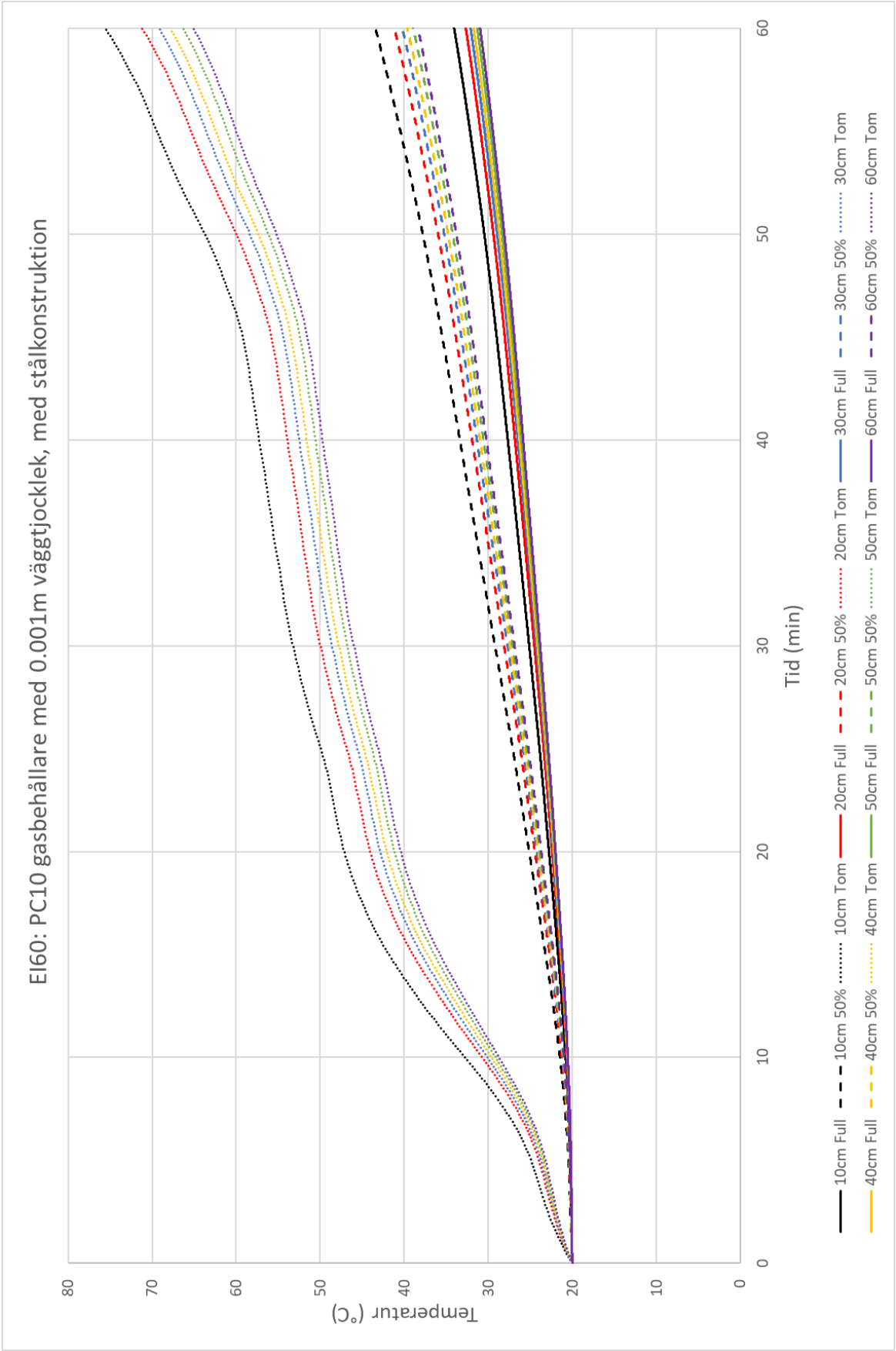

EI60: 300ml gasbehållare med 0.001m väggtjocklek, med stålkonstruktion
Temperatur (°C)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
Tid (min)
0
10
20
30
40
50
60
10cm Full
10cm 50%
10cm Tom
20cm Full
20cm 50%
20cm Tom
30cm Full
30cm 50%
30cm Tom
40cm Full
40cm 50%
40cm Tom
50cm Full
50cm 50%
50cm Tom
60cm Full
60cm 50%
60cm Tom

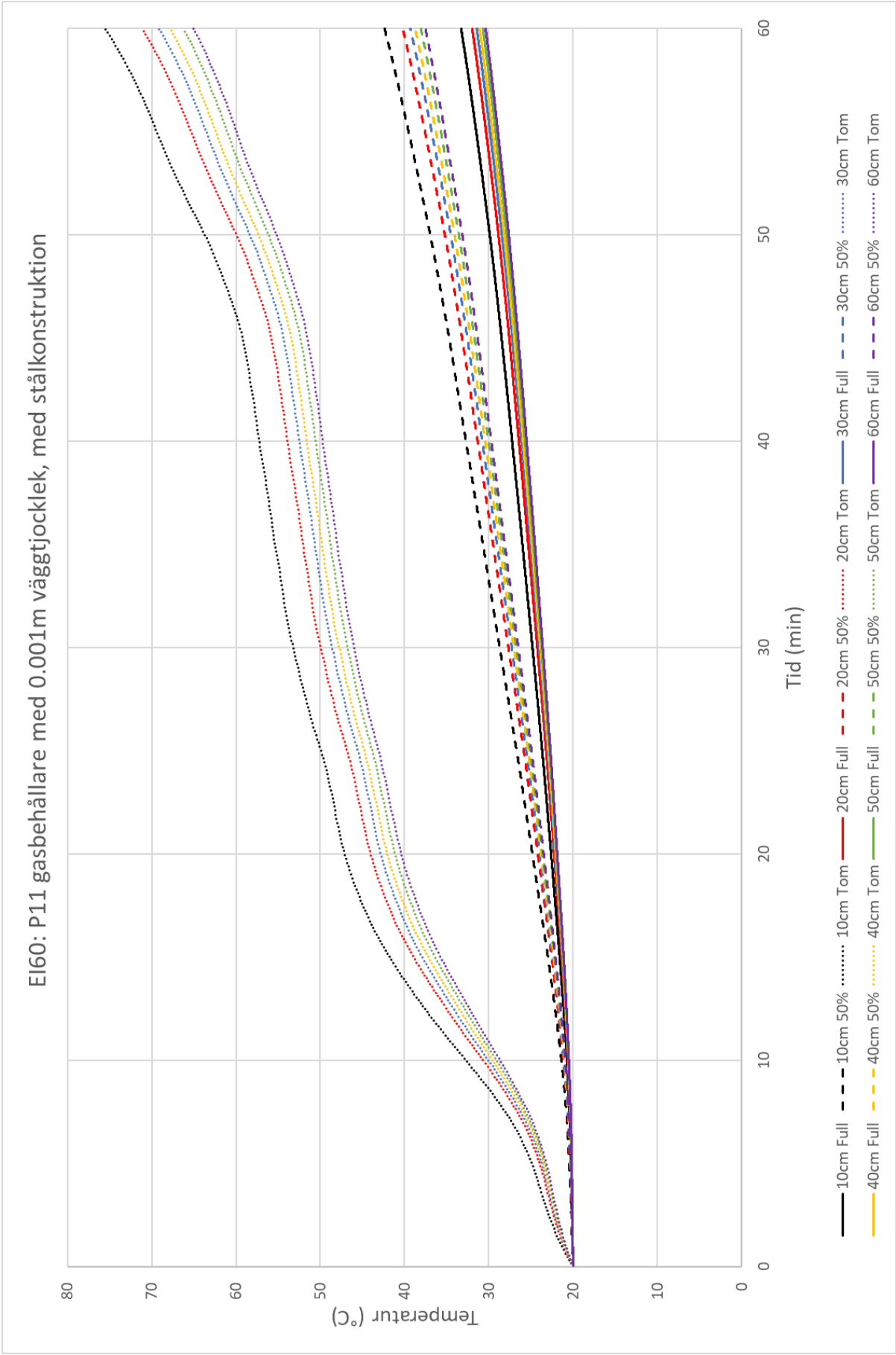

EI60: 400ml gasbehållare med 0.001m väggtjocklek, med stålkonstruktion
Temperatur (°C)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
Tid (min)
0
10
20
30
40
50
60
10cm Full
10cm 50%
10cm Tom
20cm Full
20cm 50%
20cm Tom
30cm Full
30cm 50%
30cm Tom
40cm Full
40cm 50%
40cm Tom
50cm Full
50cm 50%
50cm Tom
60cm Full
60cm 50%
60cm Tom


EI60: 0.5kg gasbehållare med 0.001m väggtjocklek, med stålkonstruktion
Temperatur (°C)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
Tid (min)
0
10
20
30
40
50
60
10cm Full
10cm 50%
10cm Tom
20cm Full
20cm 50%
20cm Tom
30cm Full
30cm 50%
30cm Tom
40cm Full
40cm 50%
40cm Tom
50cm Full
50cm 50%
50cm Tom
60cm Full
60cm 50%
60cm Tom

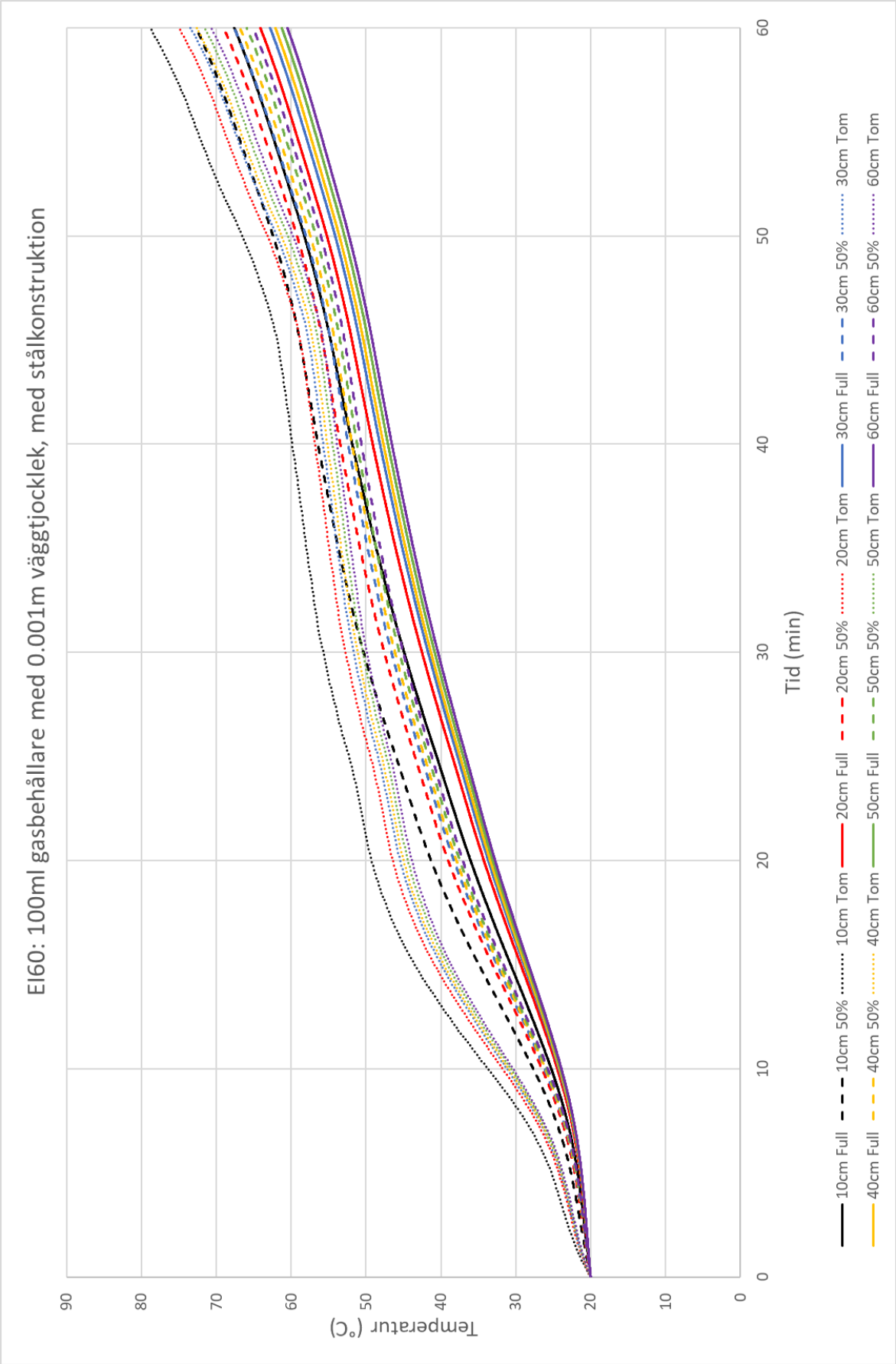

EI60: 0.5kg gasbehållare med 0.001m väggtjocklek, med stålkonstruktion
Temperatur (°C)
Tid (min)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
10cm Full
10cm 50%
10cm Tom
20cm Full
20cm 50%
20cm Tom
30cm Full
30cm 50%
30cm Tom
40cm Full
40cm 50%
40cm Tom
50cm Full
50cm 50%
50cm Tom
60cm Full
60cm 50%
60cm Tom

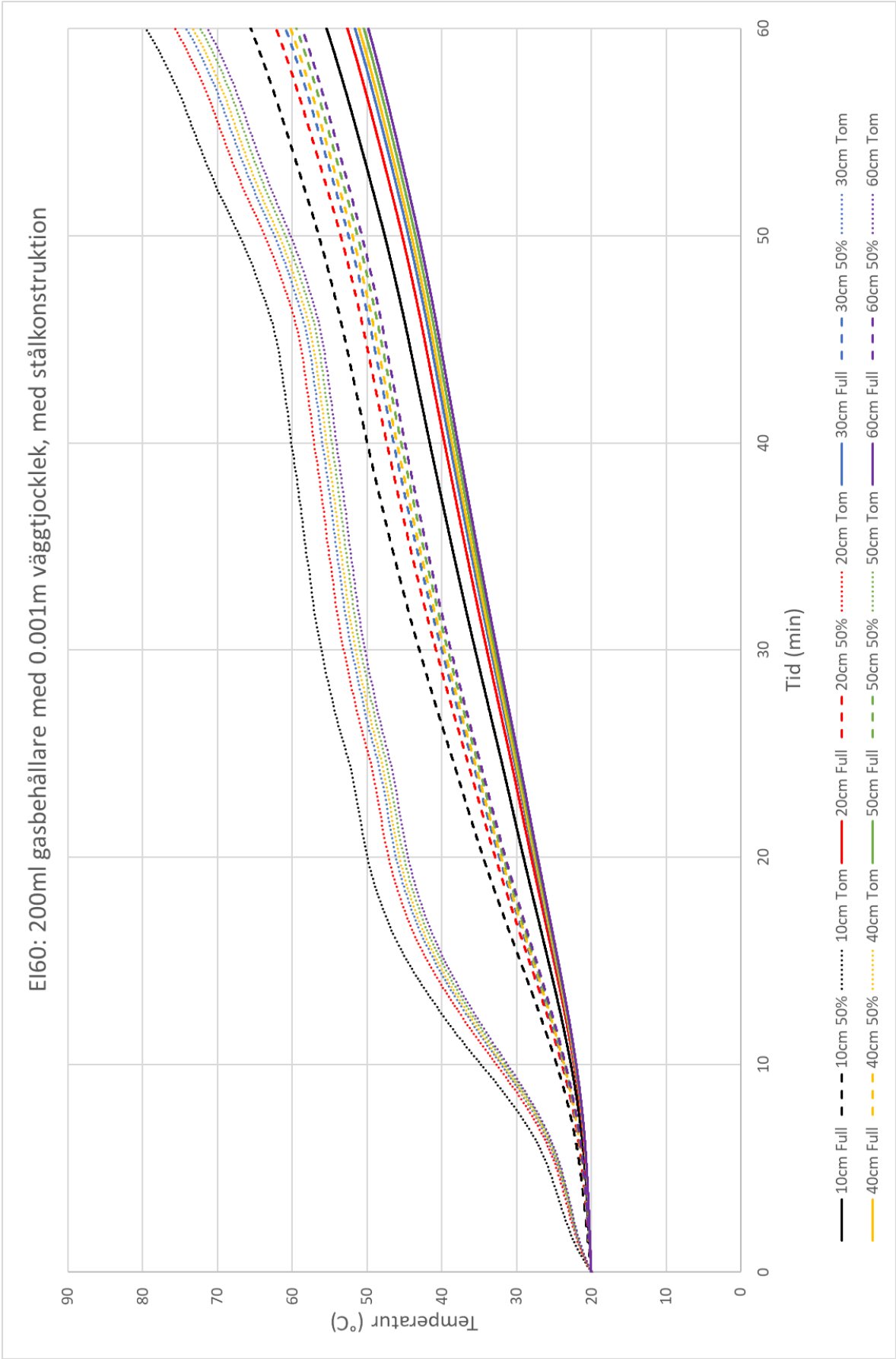

EI60: PC5 gasbehållare med 0.001m väggtjocklek, med stålkonstruktion
Temperatur (°C)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
Tid (min)
0
10
20
30
40
50
60
10cm Full
10cm 50%
10cm Tom
20cm Full
20cm 50%
20cm Tom
30cm Full
30cm 50%
30cm Tom
40cm Full
40cm 50%
40cm Tom
50cm Full
50cm 50%
50cm Tom
60cm Full
60cm 50%
60cm Tom

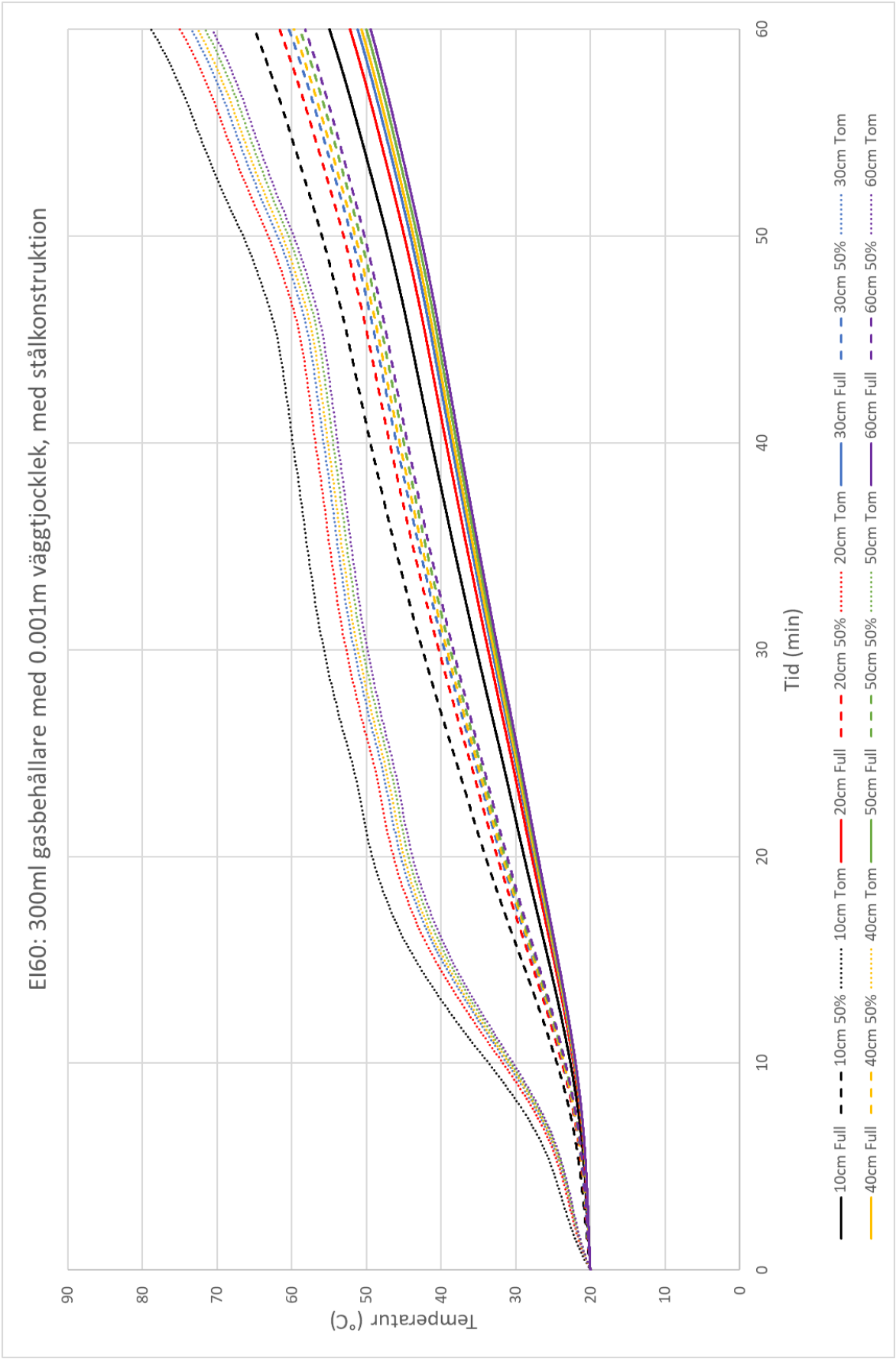

EI60: PC10 gasbehållare med 0.001m väggtjocklek, med stålkonstruktion
Temperatur (°C)
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
10
20
30
40
50
60
Tid (min)
10cm Full
10cm 50%
10cm Tom
20cm Full
20cm 50%
20cm Tom
30cm Full
30cm 50%
30cm Tom
40cm Full
40cm 50%
40cm Tom
50cm Full
50cm 50%
50cm Tom
60cm Full
60cm 50%
60cm Tom

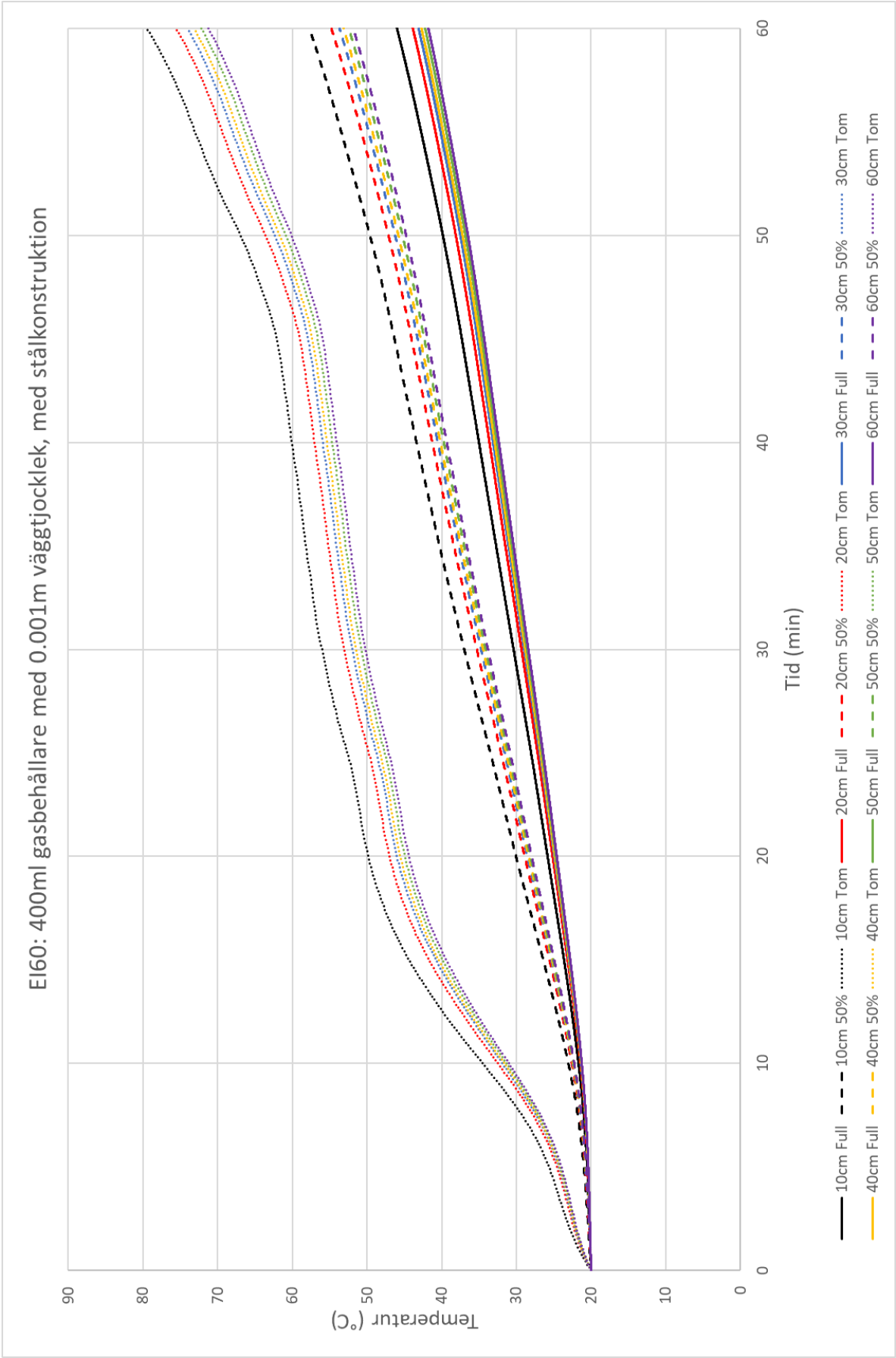

EI60: P11 gasbehållare med 0.001m väggtjocklek, med stålkonstruktion
Temperatur (°C)
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
10
20
30
40
50
60
Tid (min)
10cm Full
10cm 50%
10cm Tom
20cm Full
20cm 50%
20cm Tom
30cm Full
30cm 50%
30cm Tom
40cm Full
40cm 50%
40cm Tom
50cm Full
50cm 50%
50cm Tom
60cm Full
60cm 50%
60cm Tom

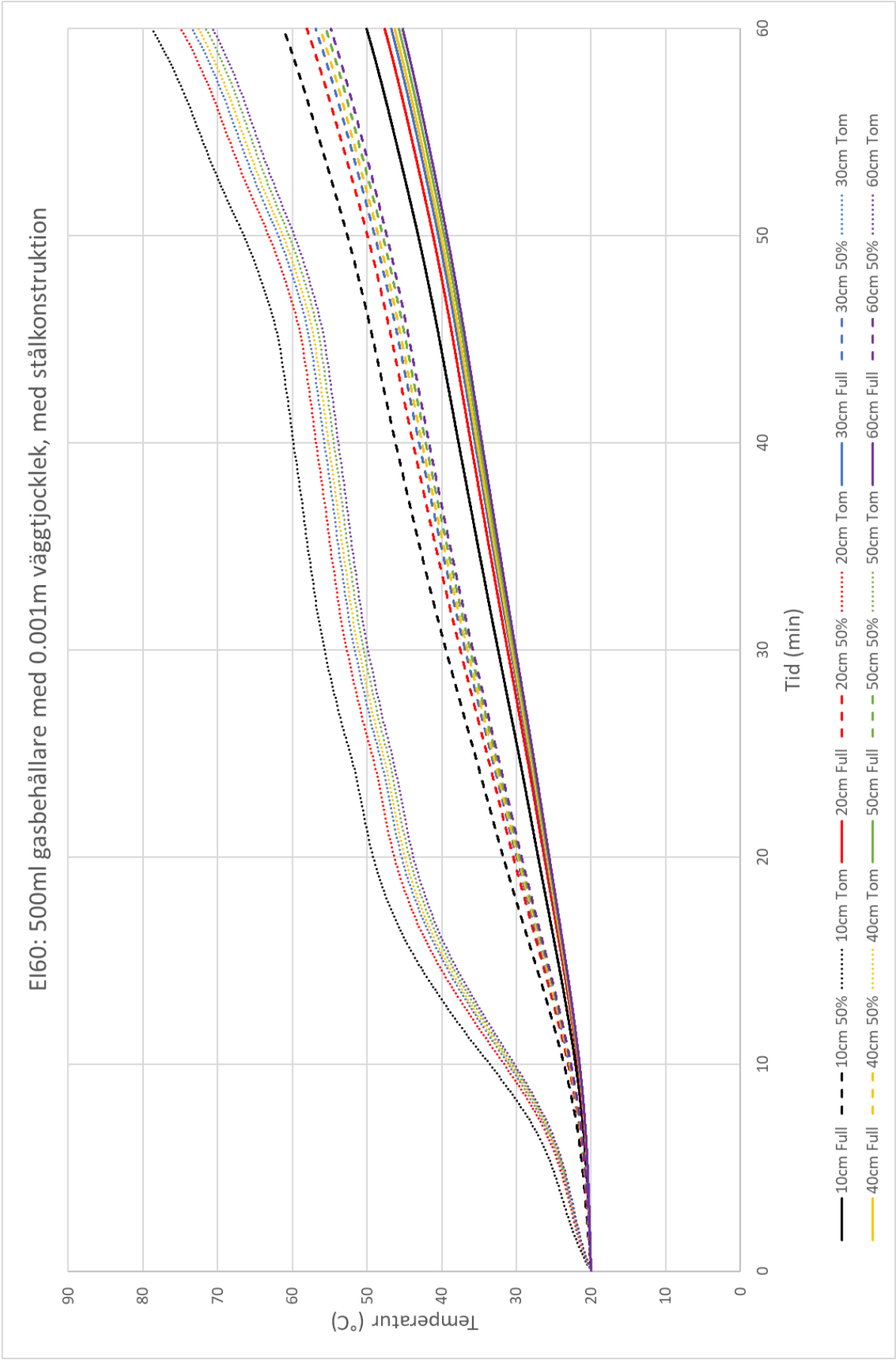
Lumped Mass – Större utrymme med 1 sidig uppvärmning med behållare placerad på mellannivå

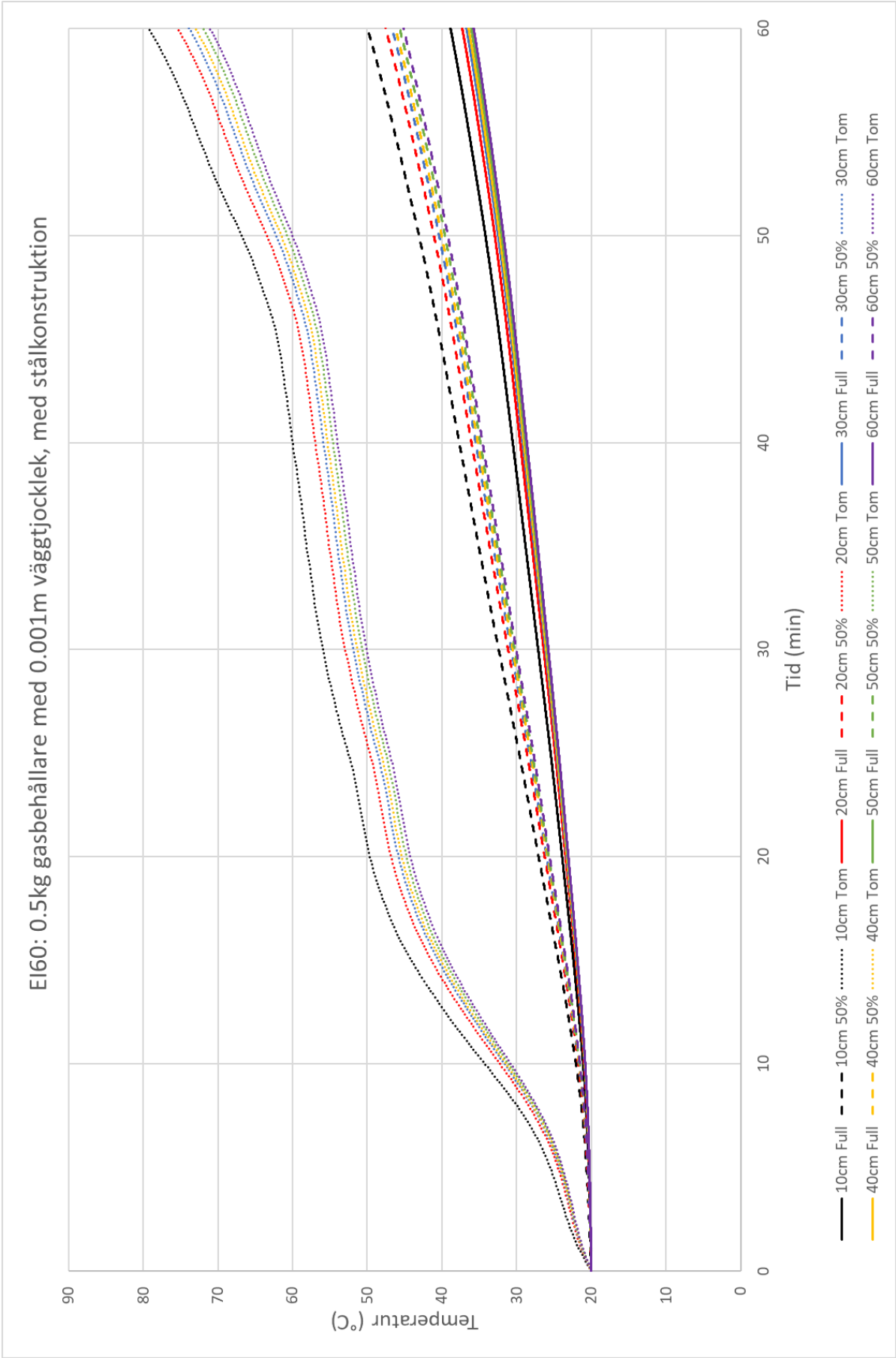


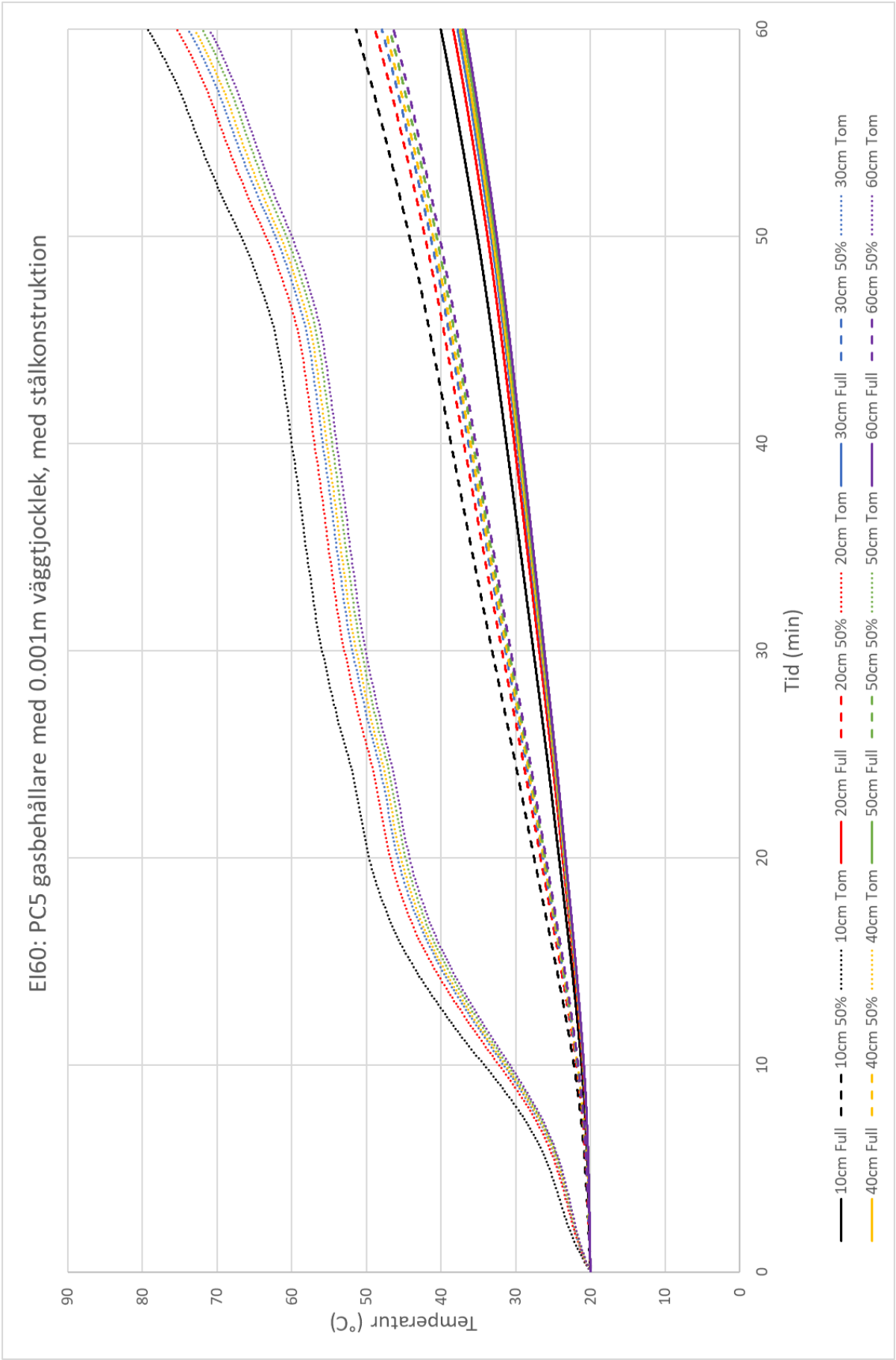

EI60: 200ml gasbehållare med 0.001m väggtjocklek, med stålkonstruktion
Temperatur (°C)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
Tid (min)
0
10
20
30
40
50
60
10cm Full
10cm 50%
10cm Tom
20cm Full
20cm 50%
20cm Tom
30cm Full
30cm 50%
30cm Tom
40cm Full
40cm 50%
40cm Tom
50cm Full
50cm 50%
50cm Tom
60cm Full
60cm 50%
60cm Tom

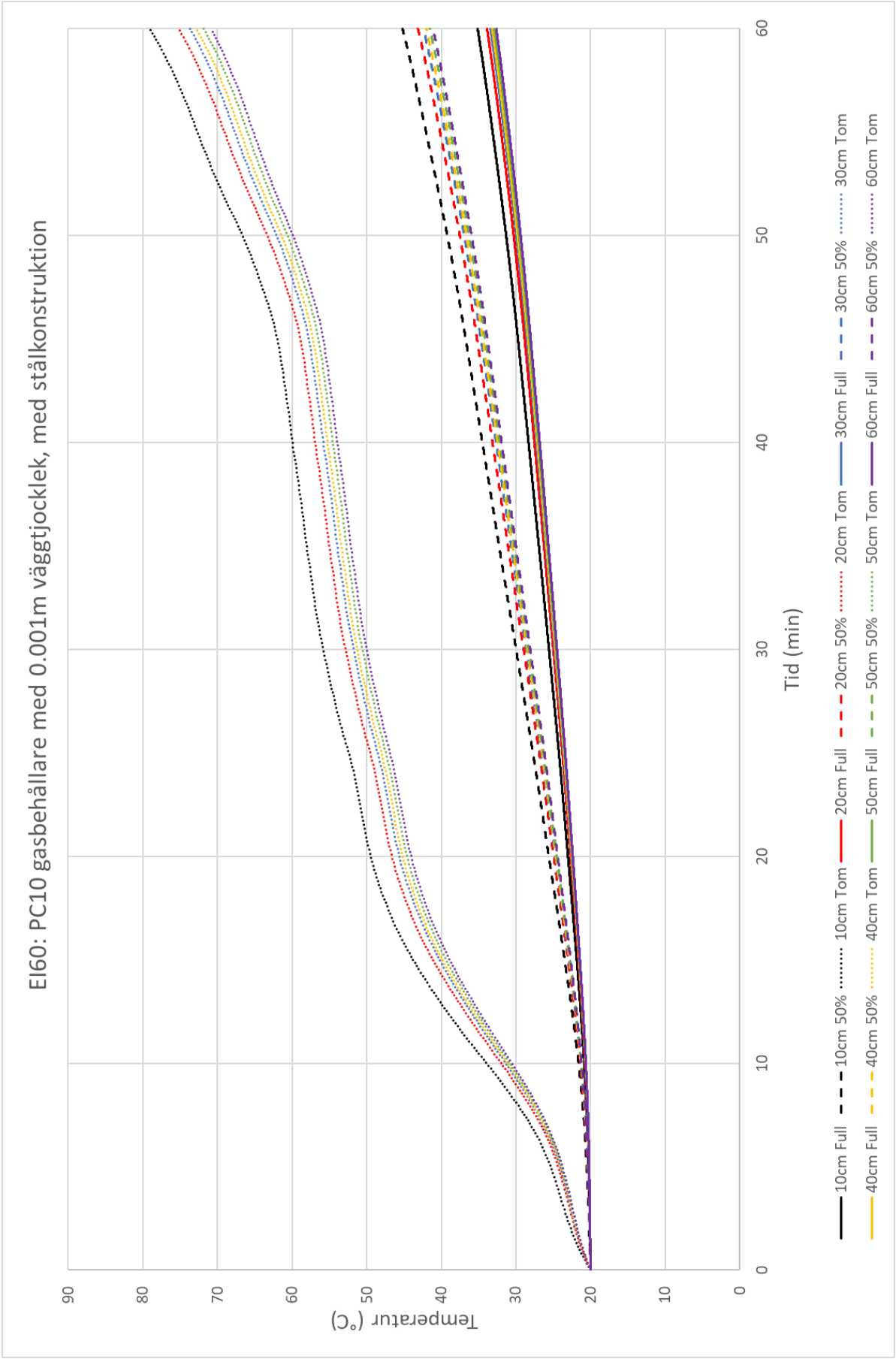

EI60: 300ml gasbehållare med 0.001m väggtjocklek, med stålkonstruktion
Temperatur (°C)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
Tid (min)
0
10
20
30
40
50
60
10cm Full
10cm 50%
10cm Tom
20cm Full
20cm 50%
20cm Tom
30cm Full
30cm 50%
30cm Tom
40cm Full
40cm 50%
40cm Tom
50cm Full
50cm 50%
50cm Tom
60cm Full
60cm 50%
60cm Tom

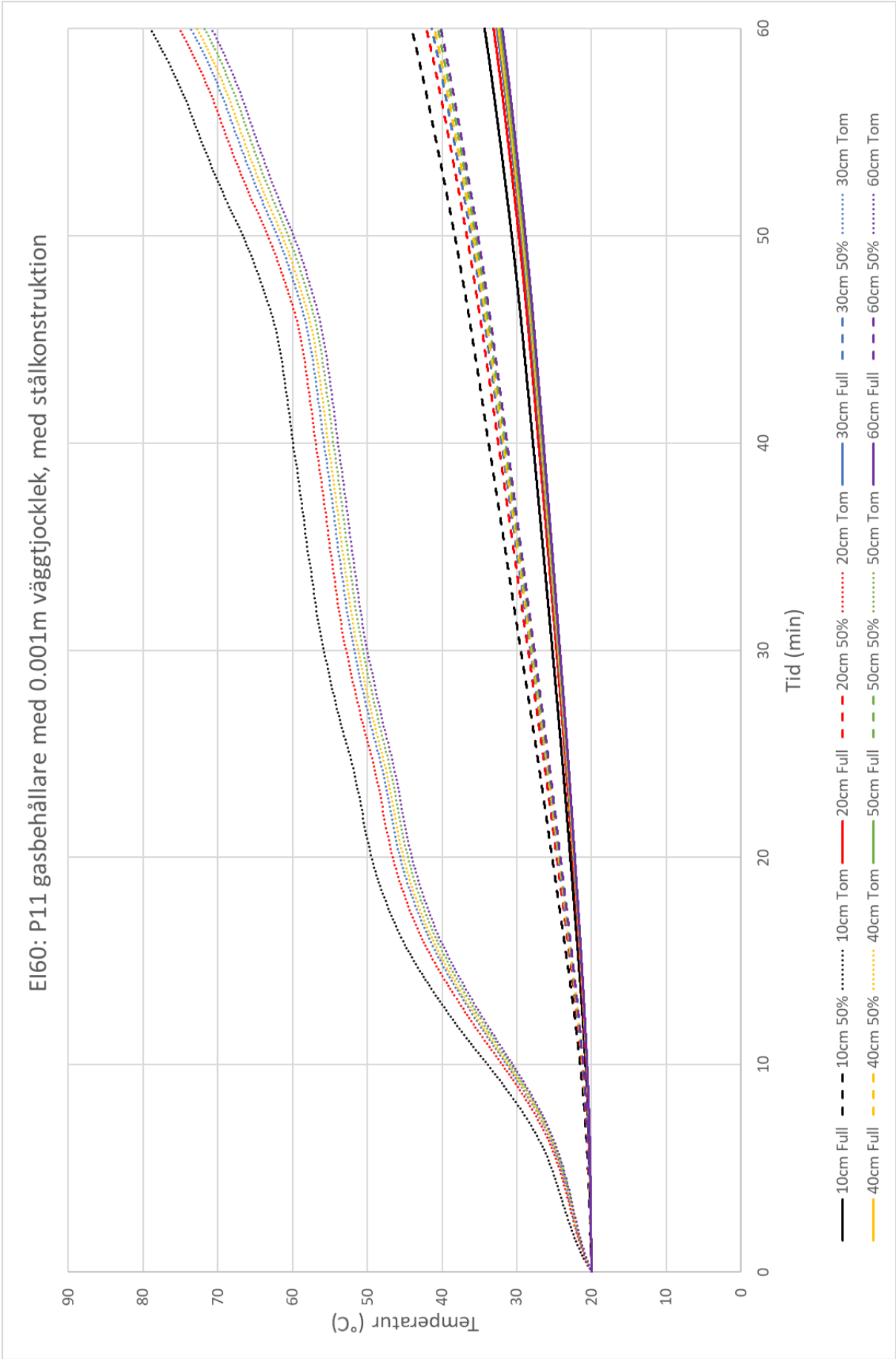

EI60: 400ml gasbehållare med 0.001m väggtjocklek, med stålkonstruktion
Temperatur (°C)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
Tid (min)
0
10
20
30
40
50
60
10cm Full
10cm 50%
10cm Tom
20cm Full
20cm 50%
20cm Tom
30cm Full
30cm 50%
30cm Tom
40cm Full
40cm 50%
40cm Tom
50cm Full
50cm 50%
50cm Tom
60cm Full
60cm 50%
60cm Tom


EI60: 500ml gasbehållare med 0.001m väggtjocklek, med stålkonstruktion
Temperatur (°C)
Tid (min)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
10cm Full
10cm 50%
10cm Tom
20cm Full
20cm 50%
20cm Tom
30cm Full
30cm 50%
30cm Tom
40cm Full
40cm 50%
40cm Tom
50cm Full
50cm 50%
50cm Tom
60cm Full
60cm 50%
60cm Tom

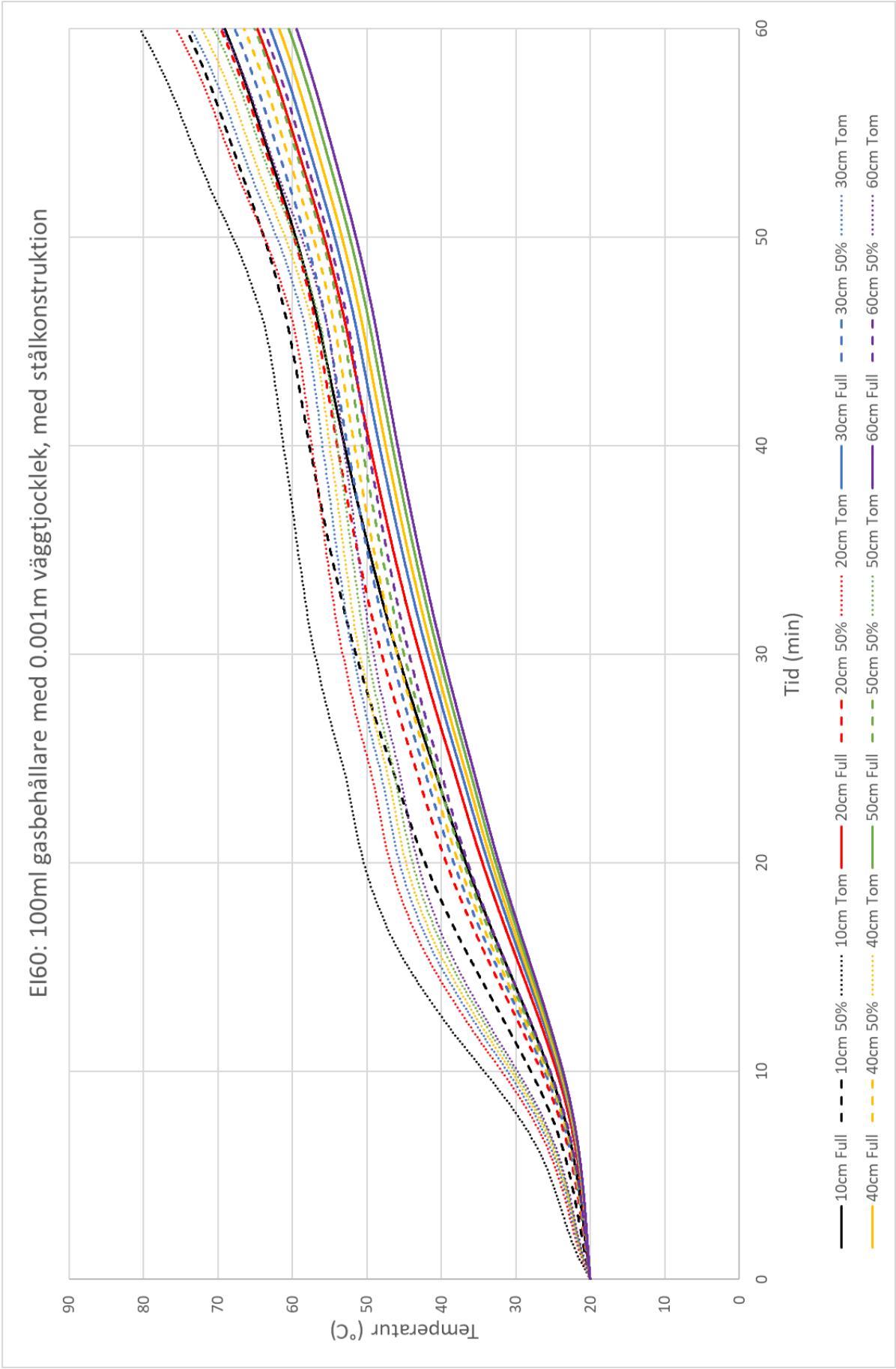

EI60: 0.5kg gasbehållare med 0.001m väggtjocklek, med stålkonstruktion
Temperatur (°C)
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
10
20
30
40
50
60
Tid (min)
10cm Full
10cm 50%
10cm Tom
20cm Full
20cm 50%
20cm Tom
30cm Full
30cm 50%
30cm Tom
40cm Full
40cm 50%
40cm Tom
50cm Full
50cm 50%
50cm Tom
60cm Full
60cm 50%
60cm Tom

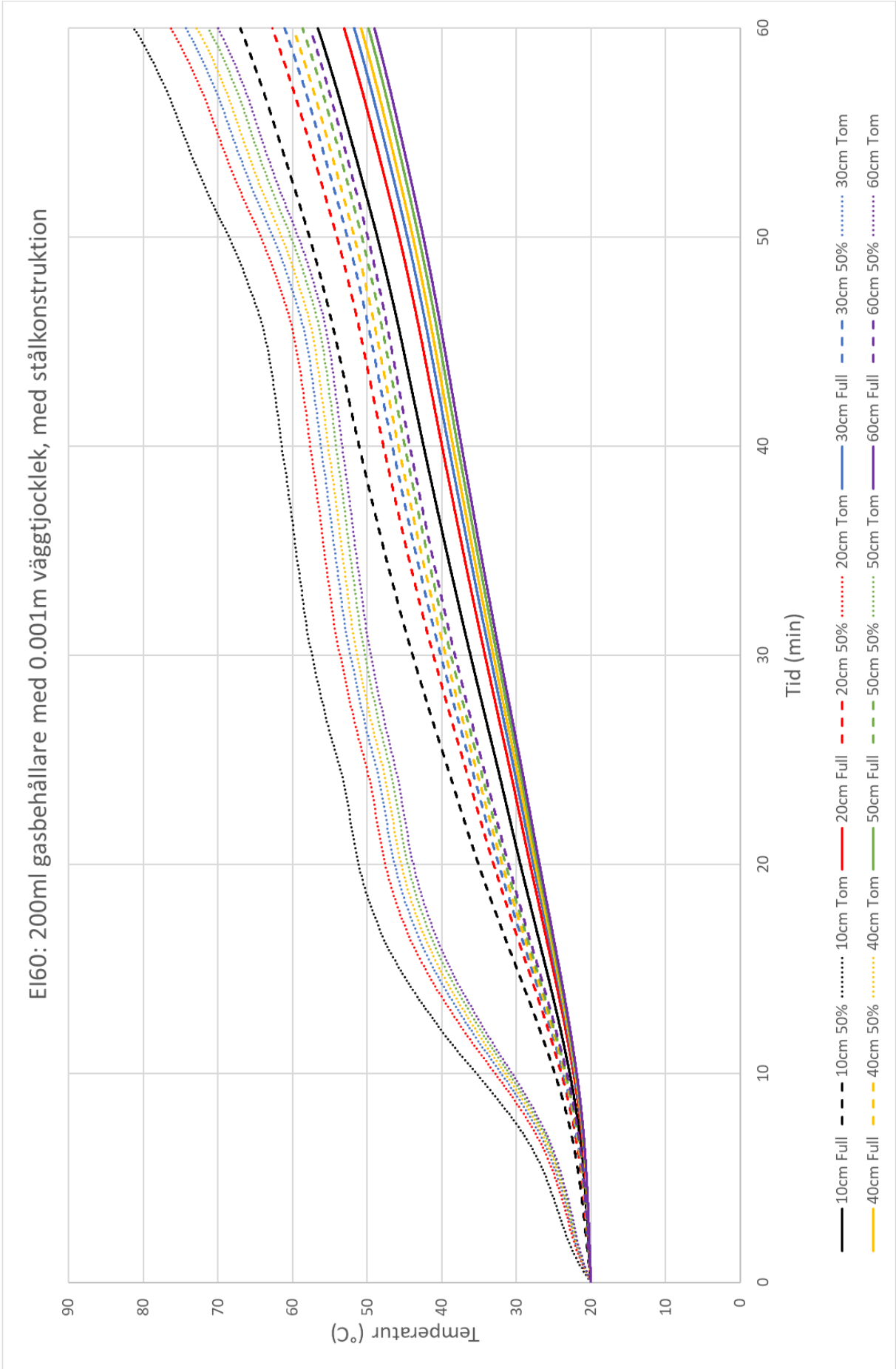

EI60: PC5 gasbehållare med 0.001m väggtjocklek, med stålkonstruktion
Temperatur (°C)
Tid (min)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
0
10
20
30
40
50
60
10cm Full
10cm 50%
10cm Tom
20cm Full
20cm 50%
20cm Tom
30cm Full
30cm 50%
30cm Tom
40cm Full
40cm 50%
40cm Tom
50cm Full
50cm 50%
50cm Tom
60cm Full
60cm 50%
60cm Tom

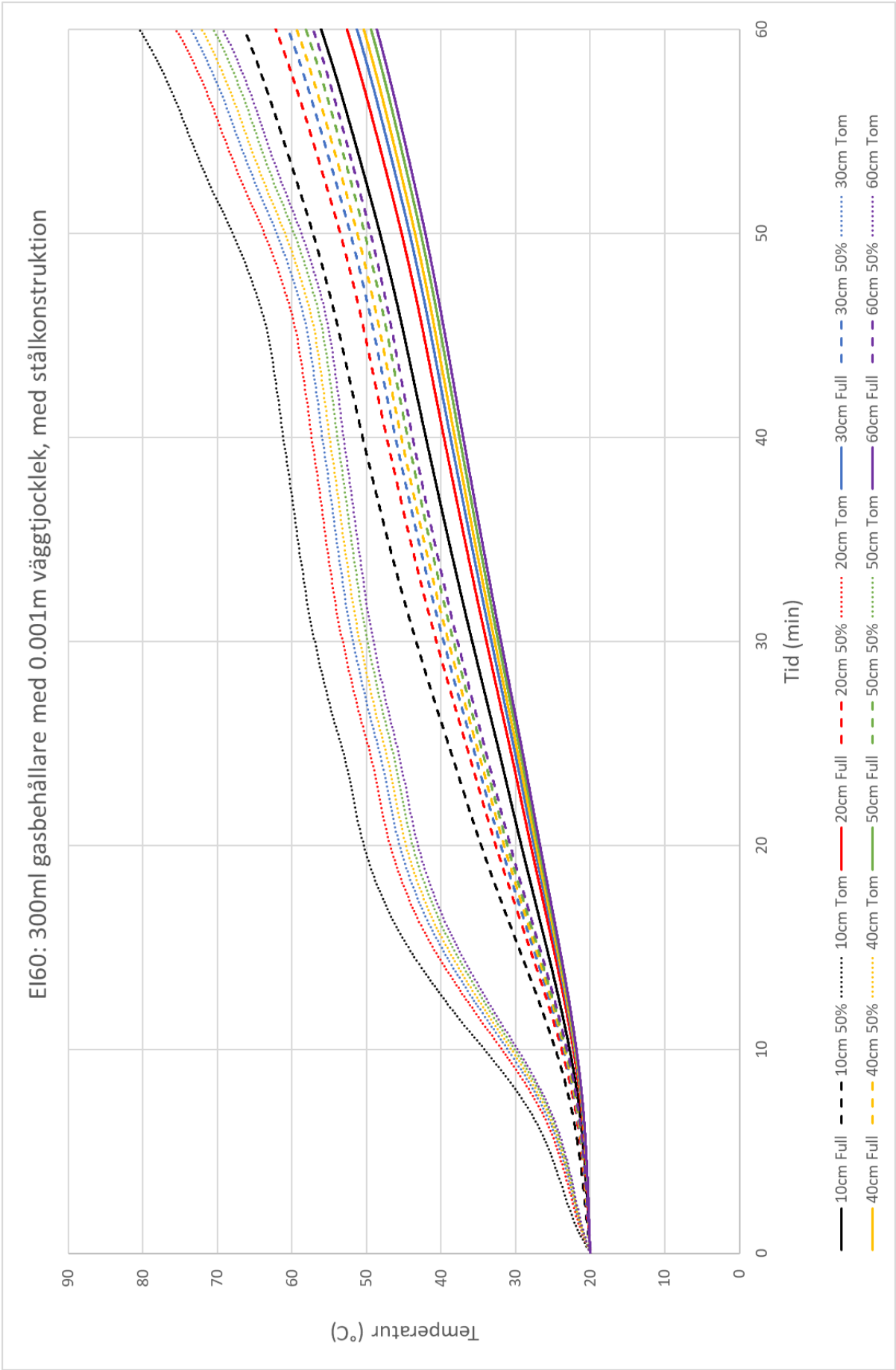

EI60: PC10 gasbehållare med 0.001m väggtjocklek, med stålkonstruktion
Temperatur (°C)
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
10
20
30
40
50
60
Tid (min)
10cm Full
10cm 50%
10cm Tom
20cm Full
20cm 50%
20cm Tom
30cm Full
30cm 50%
30cm Tom
40cm Full
40cm 50%
40cm Tom
50cm Full
50cm 50%
50cm Tom
60cm Full
60cm 50%
60cm Tom

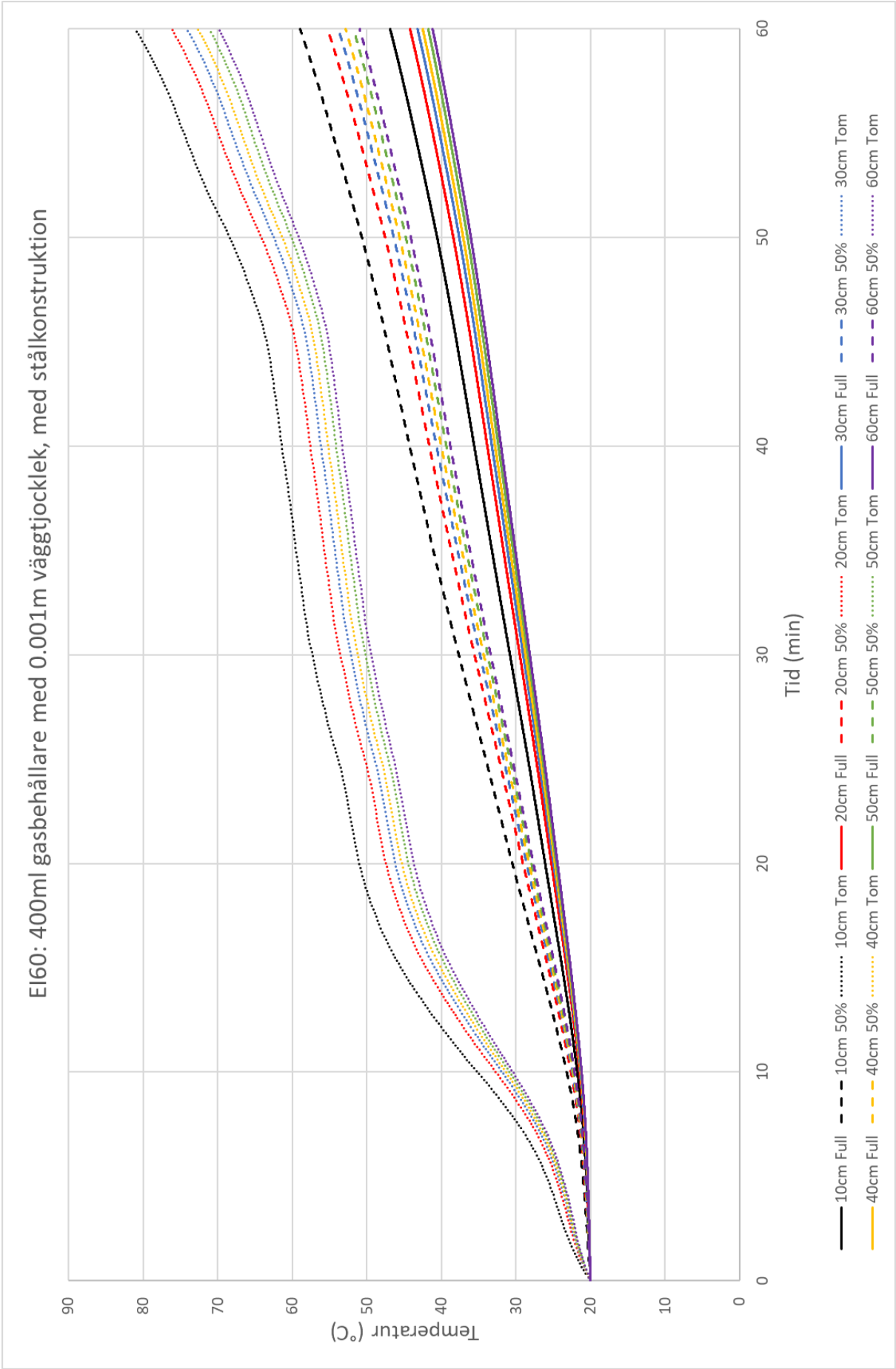

EI60: P11 gasbehållare med 0.001m väggtjocklek, med stålkonstruktion
Temperatur (°C)
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
10
20
30
40
50
60
Tid (min)
10cm Full
10cm 50%
10cm Tom
20cm Full
20cm 50%
20cm Tom
30cm Full
30cm 50%
30cm Tom
40cm Full
40cm 50%
40cm Tom
50cm Full
50cm 50%
50cm Tom
60cm Full
60cm 50%
60cm Tom

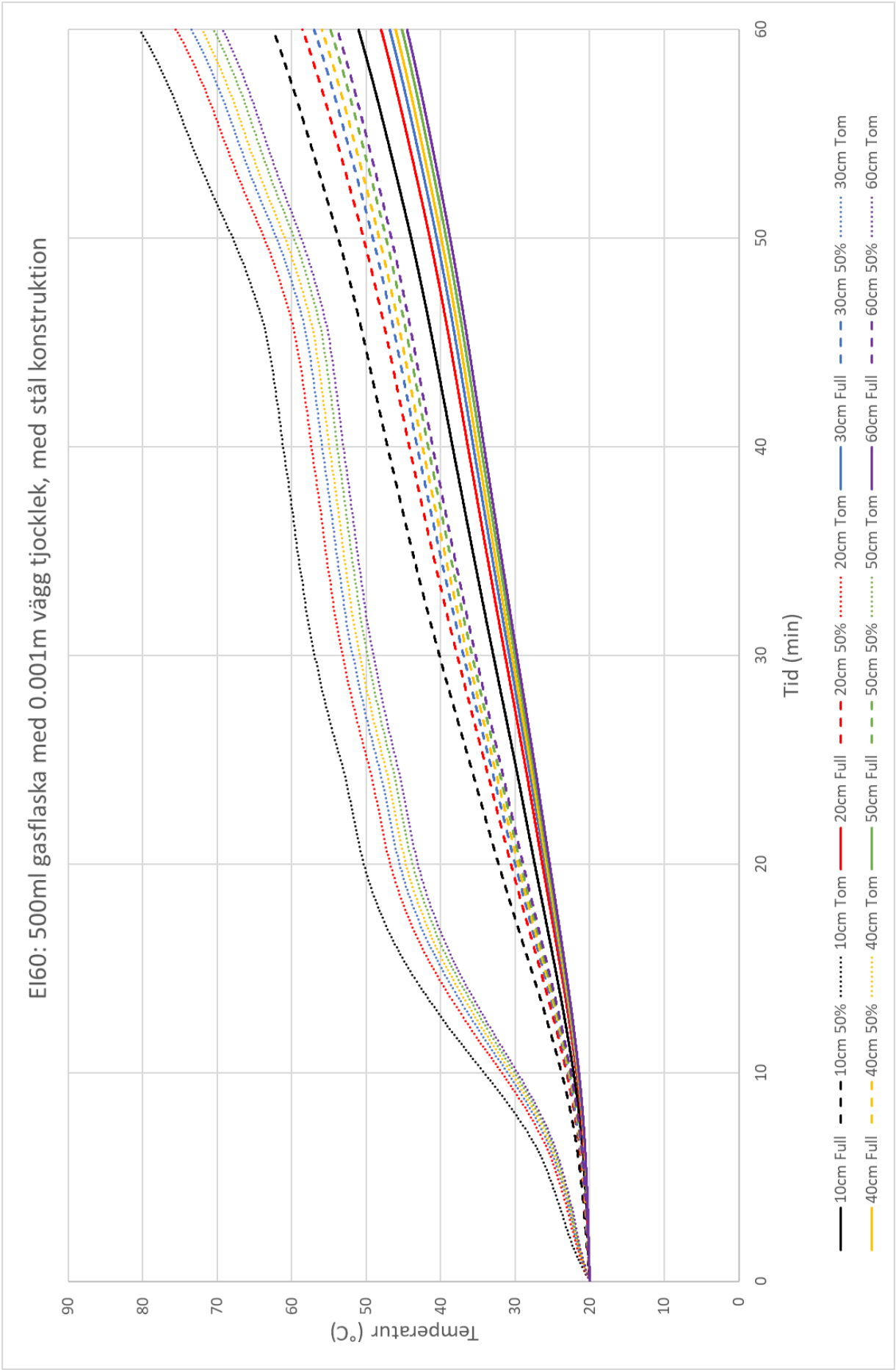
Lumped Mass – Större utrymme med 1 sidig uppvärmning med behållare placerad hög höjd

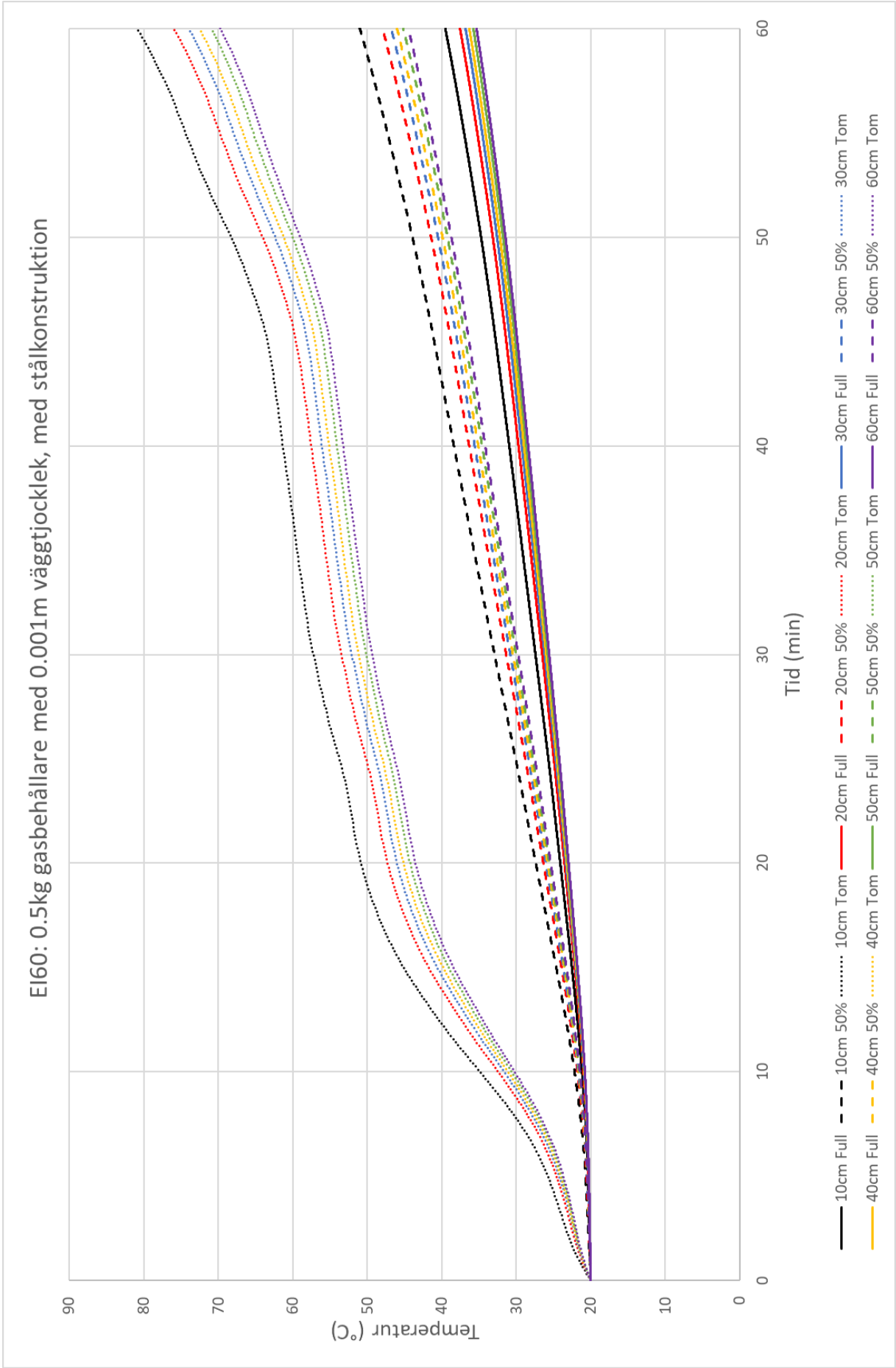

EI60: 100ml gasbehållare med 0.001m väggtjocklek, med stålkonstruktion
Temperatur (°C)
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
10
20
30
40
50
60
Tid (min)
10cm Full
10cm 50%
10cm Tom
20cm Full
20cm 50%
20cm Tom
30cm Full
30cm 50%
30cm Tom
40cm Full
40cm 50%
40cm Tom
50cm Full
50cm 50%
50cm Tom
60cm Full
60cm 50%
60cm Tom

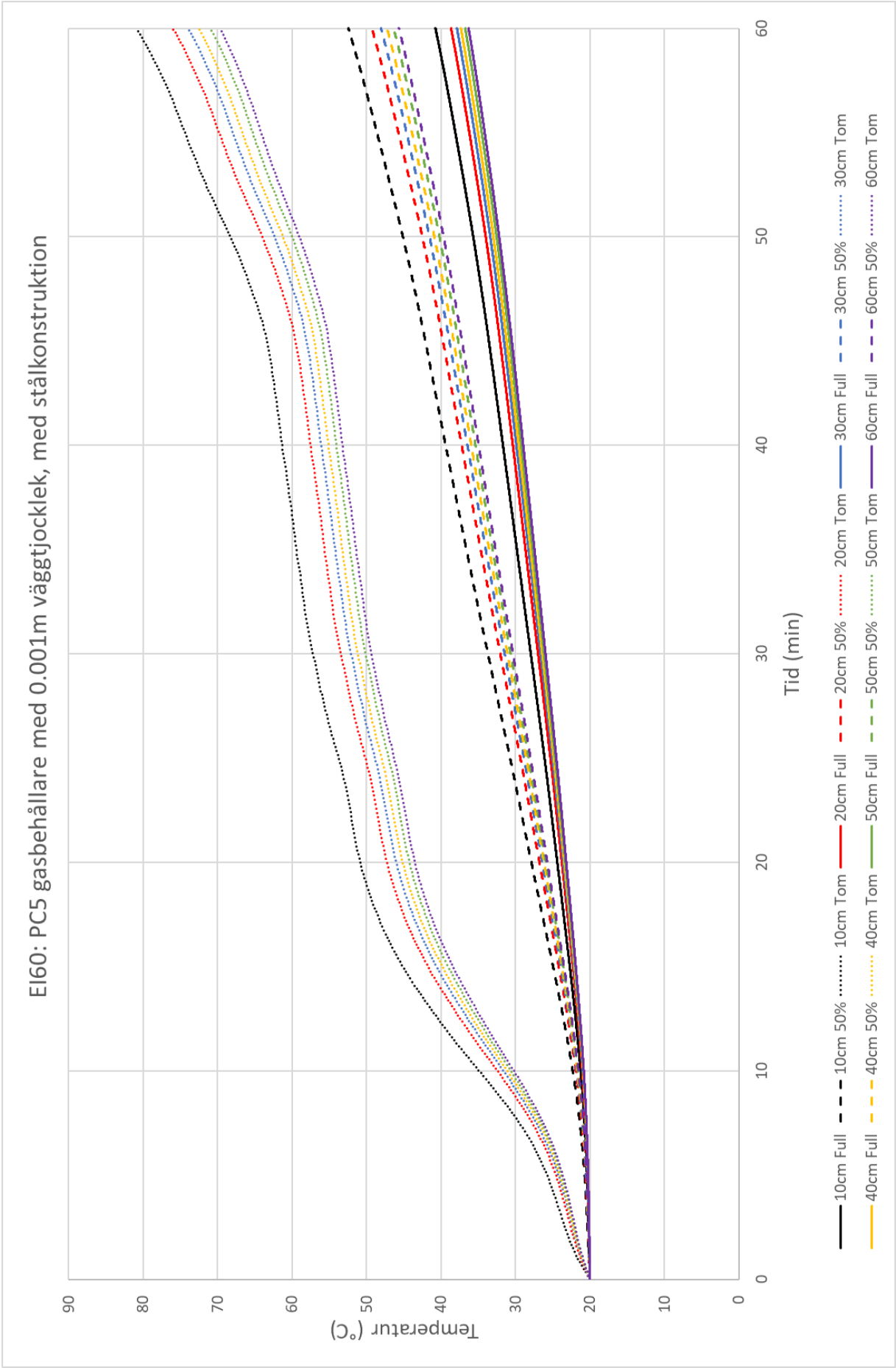

EI60: 200ml gasbehållare med 0.001m väggtjocklek, med stålkonstruktion
Temperatur (°C)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
Tid (min)
0
10
20
30
40
50
60
10cm Full
10cm 50%
10cm Tom
20cm Full
20cm 50%
20cm Tom
30cm Full
30cm 50%
30cm Tom
40cm Full
40cm 50%
40cm Tom
50cm Full
50cm 50%
50cm Tom
60cm Full
60cm 50%
60cm Tom

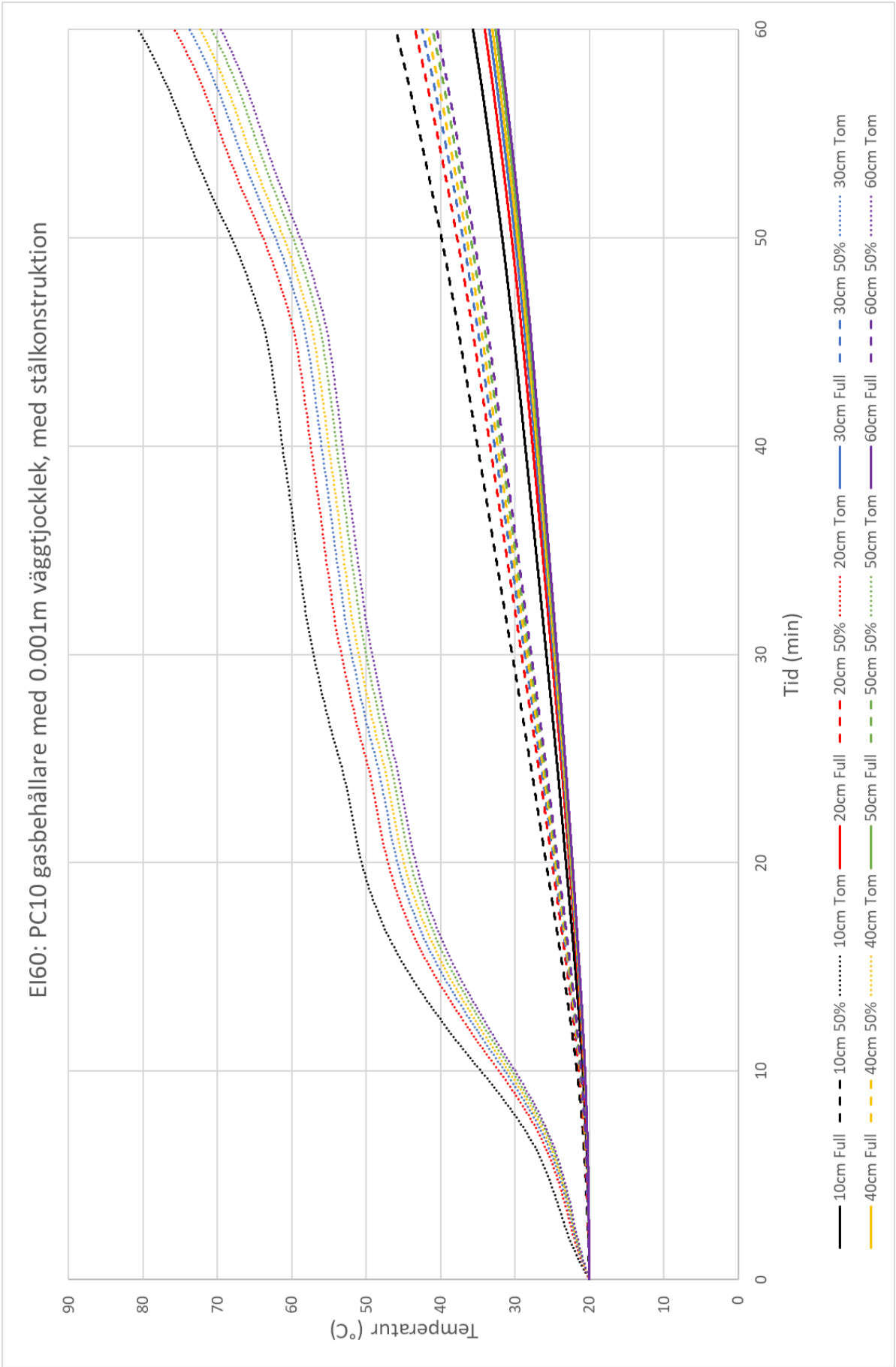

EI60: 300ml gasbehållare med 0.001m väggtjocklek, med stålkonstruktion
Temperatur (°C)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
Tid (min)
0
10
20
30
40
50
60
10cm Full
10cm 50%
10cm Tom
20cm Full
20cm 50%
20cm Tom
30cm Full
30cm 50%
30cm Tom
40cm Full
40cm 50%
40cm Tom
50cm Full
50cm 50%
50cm Tom
60cm Full
60cm 50%
60cm Tom

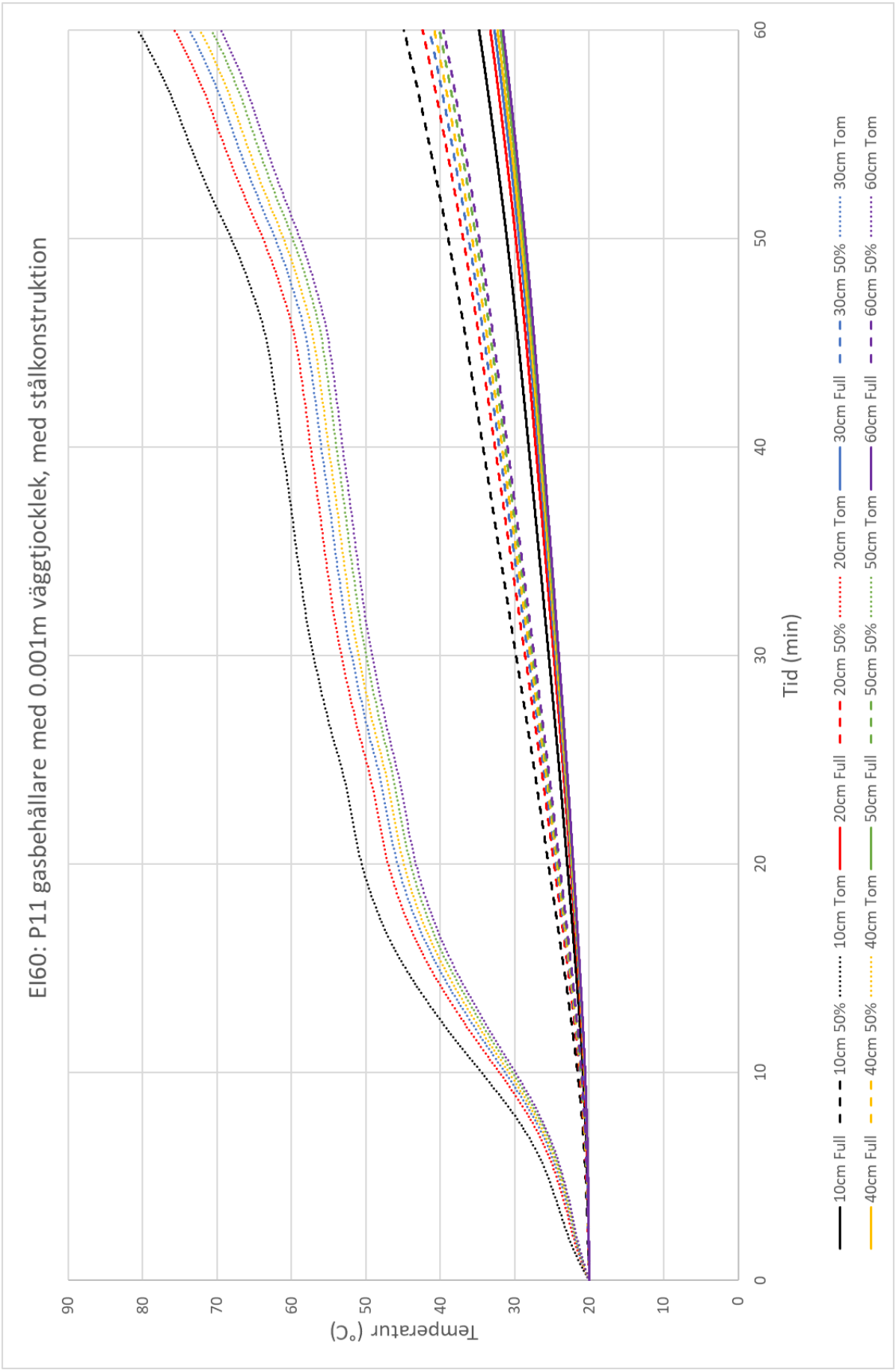

EI60: 400ml gasbehållare med 0.001m väggtjocklek, med stålkonstruktion
Temperatur (°C)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
Tid (min)
0
10
20
30
40
50
60
10cm Full
10cm 50%
10cm Tom
20cm Full
20cm 50%
20cm Tom
30cm Full
30cm 50%
30cm Tom
40cm Full
40cm 50%
40cm Tom
50cm Full
50cm 50%
50cm Tom
60cm Full
60cm 50%
60cm Tom


EI60: 500ml gasflaska med 0.001m vägg tjocklek, med stål konstruktion
Temperatur (°C)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
Tid (min)
0
10
20
30
40
50
60
10cm Full
10cm 50%
10cm Tom
20cm Full
20cm 50%
20cm Tom
30cm Full
30cm 50%
30cm Tom
40cm Full
40cm 50%
40cm Tom
50cm Full
50cm 50%
50cm Tom
60cm Full
60cm 50%
60cm Tom


EI60: 0.5kg gasbehållare med 0.001m väggtjocklek, med stålkonstruktion
Temperatur (°C)
Tid (min)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
0
10
20
30
40
50
60
10cm Full
10cm 50%
10cm Tom
20cm Full
20cm 50%
20cm Tom
30cm Full
30cm 50%
30cm Tom
40cm Full
40cm 50%
40cm Tom
50cm Full
50cm 50%
50cm Tom
60cm Full
60cm 50%
60cm Tom


EI60: PC5 gasbehållare med 0.001m väggtjocklek, med stålkonstruktion
Temperatur (°C)
Tid (min)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
0
10
20
30
40
50
60
10cm Full
10cm 50%
10cm Tom
20cm Full
20cm 50%
20cm Tom
30cm Full
30cm 50%
30cm Tom
40cm Full
40cm 50%
40cm Tom
50cm Full
50cm 50%
50cm Tom
60cm Full
60cm 50%
60cm Tom


EI60: PC10 gasbehållare med 0.001m väggtjocklek, med stålkonstruktion
Temperatur (°C)
Tid (min)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
0
10
20
30
40
50
60
10cm Full
10cm 50%
10cm Tom
20cm Full
20cm 50%
20cm Tom
30cm Full
30cm 50%
30cm Tom
40cm Full
40cm 50%
40cm Tom
50cm Full
50cm 50%
50cm Tom
60cm Full
60cm 50%
60cm Tom


EI60: P11 gasbehållare med 0.001m väggtjocklek, med stålkonstruktion
Temperatur (°C)
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
10
20
30
40
50
60
Tid (min)
10cm Full
10cm 50%
10cm Tom
20cm Full
20cm 50%
20cm Tom
30cm Full
30cm 50%
30cm Tom
40cm Full
40cm 50%
40cm Tom
50cm Full
50cm 50%
50cm Tom
60cm Full
60cm 50%
60cm Tom

Myndigheten för samhällsskydd och beredskap
651 81 Karlstad Tel 0771-240 240 www.msb.se
Publ.nr MSBXXX - Månad År ISBN 978-91-7383-XXX-X