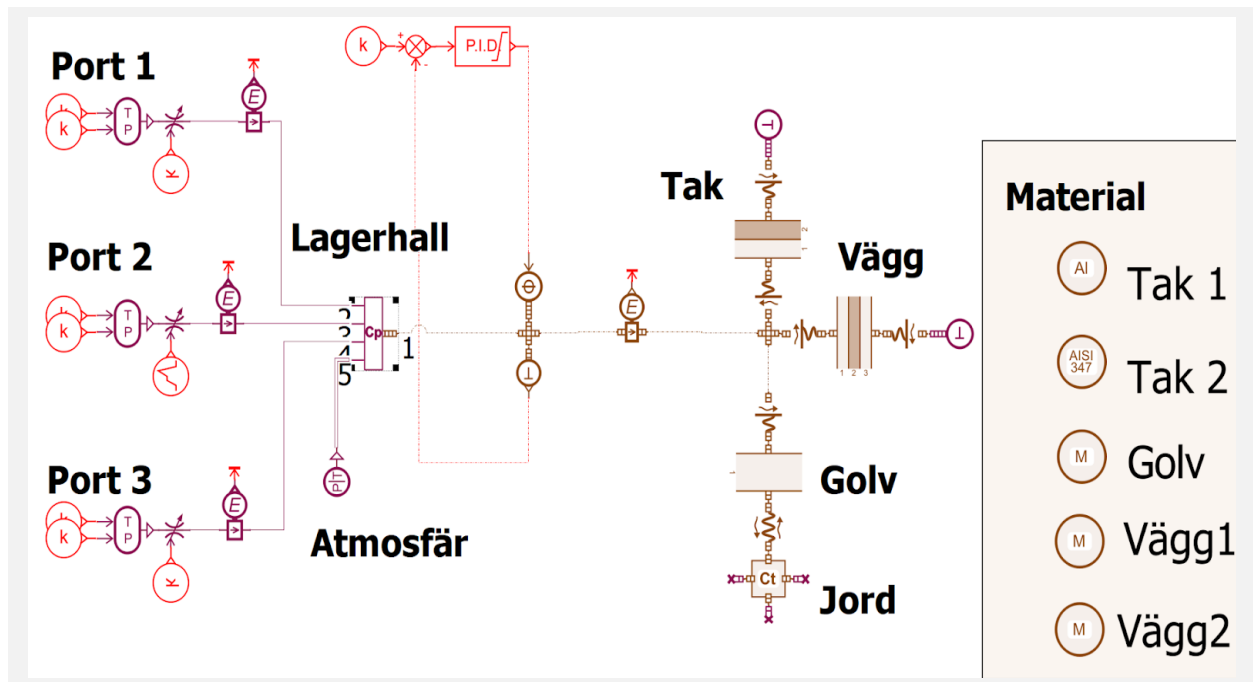




Reducering av energiförluster i industriella portar

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Maskinteknik

Ali Sharifi
Salman Babakhani

INSTITUTIONEN FÖR
MEKANIK OCH MARITIMA VETENSKAPER

EXAMENSARBETE 2021

Reducering av energiförluster i industriella portar

Ali Sharifi
Salman Babakhani



CHALMERS

Institutionen för Mekanik och maritima vetenskaper
Avdelningen för Fordonsteknik och Autonoma System
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2021

Reducering av energiförluster i industriella portar

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Maskinteknik

Ali Sharifi

Salman Babakhani

© Ali Sharifi, 2021

© Salman Babakhani, 2021

Handledare : Jelena Andric, Chalmers Tekniska Högskolan

Gunnar Latz, Siemens Digital industries Software

Examinator: Jelena Andric, Chalmers tekniska Högskolan

Rapportnummer 2021:06

Examensarbete 2021

Institutionen för Mekanik och maritima vetenskaper

Avdelningen för Fordonsteknik och Autonoma System

Chalmers tekniska högskola

SE-412 96 Göteborg

Sverige

Telefon: + 46 (0)31-772 1000

Sammanfattning

Nuförtiden finns det strävan efter ett hållbart samhälle och hållbar framtid för det. Forskarna och ingenjörer försöker att hitta metoder och utveckla nya produkter eller vägar för att kunna göra det möjligt för denna hållbara framtid. Därav minskad energikonsumtion är en viktig faktor till att nå hållbarhet i global nivå och begränsa klimatförändringar.

Detta examensarbete är om energiförluster som orsakas av öppning och stängning av industriella portar vid på- och avlastning från lastbilar vid leveranser till samt transport från lagerhallar. Dessa förluster uppstår när den kalla luften från utsidan kommer in i hallarna. Sedan behövs en hel del energi för att värma upp hallen till den önskade temperaturen och denna energiförlust skall minskas. För att göra det har ett program kallad Simcenter Amesim använts för att göra det i form av simuleringar. Simuleringen var utförd för olika scenarier undersöka olika påverkande faktorer bl.a. tryck, tid, temperatur. Resultatet visade genom att minska tryckskillnaden mellan inomhus och utomhus mindre värme är förlorad från hallen.

Nyckelord: hållbarhet, energiförlust, tryckskillnad, temperatur, simulering, Simcenter Amesim, HVAC.

Abstract

There is an endeavor among us nowadays to make a sustainable society and a sustainable future for it. Researchers and engineers try to find methods and develop new products or ways to make it possible for this sustainable future. Hence, reduced energy consumption is an important factor in reaching sustainability at a global level and limiting climate changes.

This thesis is about energy losses caused by opening and closing industrial gates while loading and unloading from the trucks during deliveries to and transport from warehouses. These losses occur when the cold air from the outside enters inside the halls. Hence, a lot of energy is needed to warm up the hall to the desired temperature level and this energy loss must be reduced. To make this performance a program called Simcenter Amesim was used to perform in the form of simulations. The simulations were performed for different scenarios to study the effects of various influencing factors, e.g. pressure, time, temperature. The results showed that by reducing the pressure difference between indoors and outdoors less heat is lost from the hall.

Keywords: sustainability, energy loss, pressure difference, temperature, simulation, Simcenter Amesim, HVAC.

Förord

Detta examensarbete är utförd vid institutionen för Mekanik och Maritima vetenskaper (M2) vid Chalmers Tekniska Högskolan under vårterminen 2021. Vi vill rikta oss till uppdragsgivaren Anders Arkenstedt (founder och VD) från Dimon Systems AB och tackar för att ställde upp under Coronatiden samt vill tacka vår examinerator och handledaren Jelena Andric, PhD, Docent vid Chalmers Tekniska Högskolan för stöd och vägledning som gjorde detta arbete möjligt. Vi vill även tacka speciell Dr. Gunnar Latz, Presales Solutions Consultant vid Siemens Digital Industries Software som ställde upp under sin pappaledighet och har varit till stor hjälp inom användning av programmet Simcenter Amesime.

Innehållsförteckning

Reducering av energiförluster i industriella portar.....	0
Sammanfattning.....	2
Abstract.....	3
Förord.....	4
Innehållsförteckning.....	5
1 Inledning.....	6
Bakgrund.....	7
Problemundersökning.....	7
Lasthus.....	7
Lagerhallar.....	8
Växthus.....	9
Värmekälla.....	9
Kylmaskin.....	9
Värmepump.....	10
Syfte.....	11
Avgränsning.....	11
Frågeställningar.....	11
2 Metod.....	12
Litteraturstudier.....	12
Simulering, Simcenter Amesim.....	14
Simuleringsmodell.....	14
Simulering av lagerhall i Simcenter Amesime.....	15
Komponenter.....	15
Portar.....	16

	Modellering av värmekälla med PID-regulator.....	19
	Simulering av Vägg, Golv och Tak.....	20
3	Resultat.....	21
	Scenario 1.....	21
	Scenario 2.....	22
	Scenario 3.....	23
	Scenario 4.....	24
	Scenario 5.....	25
	Scenario 6.....	26
	Scenario 7.....	27
	Jämförelse mellan scenarier.....	28
	Scenario 1, port 2 & Scenario 3, portar 1&3, -15°C ute.....	28
	Scenario.1 och 2 med öppen port 2 med olika temperatur -15°C och +5°C.....	31
	Scenario 1 port 2 öppen med -15 grader ute och Scenario 5 port 1&3 öppen med -15 grader ute) ...	34
	Scenario 1 port 2 öppen och Scenario 6 port 1-3 öppen med samma temperatur -15°C ute).....	36
	Scenario 3 port 1&3 öppna och Scenario 6 port 1–3 öppen med samma temperatur i både scenario -15°C ute.....	39
	Scenario 6 port 1-3 öppna med -15°C och Scenario 7 port 1-3 öppna med +5 °C ute.....	42
4	Diskussion.....	45
	Energiförlust.....	45
	Värmefflöde.....	47
	Tryck.....	47
	Temperatur.....	48
5	Slutsats.....	48
6	Referenser.....	50

1 Inledning

Bakgrund

Det finns nog en gemensam strävan i samhället att utveckla nya produkter och metoder för att kunna minimera användning av energimängden för en hållbar framtid. Energiförbrukning kräver elproduktion och enligt (ekonomifakta, 2020) svenska industri står för 36 procent som motsvarar 47,6 TWh och bygg och bostäder 69.1 TWh av den totala 134 TWh elkonsumtionen. I industriverksamheter, lager och växthus sker en hel del energiförluster via öppna portar. Exempelvis i lagerhallar inträffar detta fenomen vid öppna dörrar vid på- och avlastning av gods, samt i stora köpcenter som har många dörrar sker en del energiförluster mellan inomhus och utomhusmiljön. Det finns en del olika faktorer som spelar viktig roll för dessa förluster t.ex. tryck, temperaturdifferens mellan inom- och utomhus och tidsintervallet för öppna portar. Bakgrunden till detta projekt är att titta närmare till värme, ventilation och luftkonditionering för att se om det finns möjligheter att göra energibesparingar när portarna är öppna under på- och avlastning av varor genom att simulera ett system som kan ha styr över portarna. Vi konstaterar i detta examensarbete att hitta en formel eller metod för att kunna minska förlusterna i form av varm luft som sker i lokalerna. Metoden kommer att simuleras/modelleras i en programvara som heter Simcenter Amesime.

Problemundersökning

På grund av pandemin finns det inte möjlighet att ha kontakt med kunder och andra företag överhuvudtaget för att kunna ha en tydlig bild över problemet, och i detta projekt fokuseras på det uppgift som beskrivs av Dimon Systems AB samt litteratur undersökningar som är relevant med det. I detta avsnitt undersöks olika fall där sker energiförluster när dörrar/portar öppnas. Det fallet är till exempel lasthus, växthus och lagerhallar. Fallet kommer att beskrivas utförligt och hur det händer förluster i vars och ett fall och lite statistik kommer skrivas här efter simulering

Lasthus

Numera är vanligt att industrianläggningar använder sig av en speciell konstruktion kallad lasthus vid sina portar för av- och pålastning av transport. Lasthuset utnyttjas med avsikt på energibesparing och en bättre arbetsmiljö för medarbetare

i olika säsongsväder (ASSA ABLOY Entrance System,2021). lasthusets konstruktion ser väldigt olika ut och i allmänhet består det av en brygga för stabilisering av själva lasthuset, en isolerande vädertätning för att kunna motstå mot temperaturkontroll och port som är kopplad till dockningsenheten.

I samband med varje körning av last till lastflaket öppnas lasthusets port två gånger. Detta kräver en del energi för att öppna och stänga porten och samtidigt leder till värmeförlust från hallen, vilket gör en temperaturskillnad i hallen som i sin tur kräver energi för balansering av inomhustemperaturen. Enligt fig.1. (Anders Arkenstedt, Dimon Systems, 2021).



Figure 1. *Lasthus och Lagerhallar från ut- och insida.*

Lagerhallar

Lagerhallar har portar som öppnas i samband med av- och pålastning flera gånger om dagen. Beroende på temperaturskillnaden i utemiljö så får man kall luft in och varmluft ut från portarna som en konsekvens av att porten är öppen under en viss tid. Jo längre tid portarna är öppna desto mer värmeenergi behöver tillföras, för att lokalens normaltemperatur ska upprätthållas, (Anders Arkenstedt, Dimon Systems AB, 2021)



Figure 2. *Lager portar*

Växthus

Dörrar och portar till ett växthus är i vanliga fall uppbyggd av en nedre del aluminiumprofiler och övre del glas som ofta går sönder och ändrar form som i sin tur leder till värmeförluster. Skjutdörrar (Möller Nielsen, 2010) som visas i fig.2 öppnas automatiskt med inbyggd sensor i samband med in- och ut uppträdandet beroende på hur ofta de öppnas så utförs energi i utemiljön samt dörrarna i sig läcker värmeenergi.



Figur 3. Skjutdörr till ett växthus

Sammanfattningsvis tas hänsyn till detta problem i kommande kapitlet och undersöks vidare.

Värmekälla

Numera är det inte lika svårt som förut att hålla hushållet varmt under kalla tider och svalare under varma tider. Med hjälp av en maskin håller vi huset varmt i en viss nivå så att det inte blir så stor temperaturskillnad inomhus eller om det finns ett kylrum försöker vi hålla det kallt för speciella ändamål exempelvis hålla maten i längre tider. För att göra det behöver vi värmepump för att hålla temperaturen jämnt i hushållet och en kylmaskin för att hålla ett rums temperatur jämnt låg.

Kylmaskin

Värmens riktning är ett känt fenomen hos alla som går från ett medium med hög temperatur till ett med lägre temperatur. Denna värmeöverföring sker naturligt. Önskar man en omvänd process, dvs. värmeöverföring från ett kallt medium till ett med högre temperatur behöver man speciell apparat kallad kylmaskin. Den tar värmen från mediet i rummet för att få dess temperatur sänkt och överför till den varmare mediet exempelvis kylskåp, kylrum m.fl.

Kylmaskiner arbetar cykliskt med speciellt medel kallad kylmedel för att absorbera värmen från ett rums medium och överföra den till ett annat område med högre temperatur (Çengel, Cimbala & Turner 2017).

Värmepump

Värmepump är en apparat som också överför värme från en kallare medium till ett varmare. Den jobbar cykliskt som en kylmaskin till skillnad att den används för ett annat syfte. Värmepump används till för att överföra värmen från utomhusmiljö eller kall miljö med lägre temperatur, till en uppvärmd miljö med högre temperatur för att hålla dess temperatur i balans till skillnad från kylmaskin som är för att hålla en kallare miljö i låg temperatur genom att överföra

värmen därifrån. Värmeöverföring för värmepump görs genom att absorbera värmen från den kallare miljön och överför till miljön med högre temperatur. Ett exempel av sådan process är värmeöverföring från utomhusmiljö som är kallare under vintertid till inomhusmiljö med högre temperatur. Utförandet av värmeöverföring kräver arbete och hur effektivt arbetar en värmepump berörs en värmefaktor COP (Coefficient of performance) som förklarar hur värmepumpen klarar av att leverera värme i förhållande till utfört arbete.

Syfte

Syftet med detta projekt är att undersöka energislöseri i industriella portar såsom lagerhallar, lasthus och växthus genom att modellera och simulera ett system för en lagerhall där det sker oftast förluster i form av varm luft som förs bort från anläggningen i samband med på-/avlastning och ta fram en formel/metod för att kunna minimera dessa förluster genom att ha kontroll över portarnas beteende.

Avgränsning

I detta projekt kommer det inte att göras 3D CFD beräkningar. Detta projekt är baserat på systemsimuleringar där effekterna av dörrar förenklas i modellen. Andra begränsningar som finns är att på grund av rådande pandemin finns det inte möjligheten att göra fysiska undersökningar samt innebär det också att det avgränsar möjligheten att besöka Dimon Systems AB för en bättre inblick av företagets verksamheter, vilket innebär att allt arbete utförs på distans.

Frågeställningar

Följande frågeställningar står till grunden för projektet:

1. Hur kan man minimera energiförbrukningen vid öppning och stängning av lagerhallar?
2. Kan tryckskillnad reducera energiåtgången i hallen eller vid portar?
3. Vilka faktorer har direkt påverkan i energikonsumtionen i lagerhallen?

2 Metod

Under metod har ett program kallad Simcenter Amesime använts till att utföra simuleringar kring en lagerhall för att analysera det erhållna resultatet och senare undersöka energikonsumtionen när portarna öppnas och stängs. Därefter använda resultaten för att göra en helhetsanalys på hur mycket energi har använts, hur mycket energi kunde man ha sparat, hur mycket energi har vi lyckats spara osv.

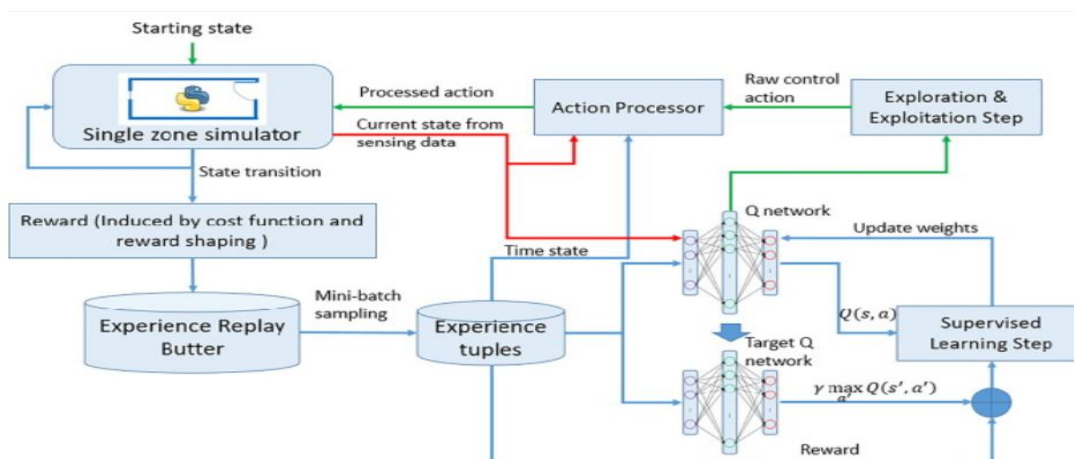
Litteraturstudier

Litteraturstudiet genomfördes i (Chalmers Bibliotek, 2021) databas för att ha en inblick på befintliga lösningar inom området. För att orientera sig rätt mellan vetenskapliga och akademiska artiklar om energibesparingar i industriella område, gjordes undersökningen efter specifika sökord. Detta avgränsade sökningen för att generera relevanta lösningar som resulterade intressanta artiklar. Sökordet som söktes, var “energy consumption”, “reduction of energy”, “industrial gate” osv.

Detta ledde till tänkvärda uppsatser som sammanfattas i detta avsnitt. Energieffektivisering påminner ett viktigt ämne i kontroll av byggnadens värme, ventilation och luftkonditioneringssystem (HVAC) enligt (Energy and Building, 2021) och olika uppsättningar kontrollstrategier har utvecklats för att optimera prestanda. Medan de flesta befintliga arbete har fokuserat på att minimera energiförbrukningen har generalisering till energikostnadsminimering under tidsvarierande elpris profiler och efterfrågan avgifter sällan undersökts.

Under dessa användnings struktur kan betydande kostnadsbesparingar uppnås genom förkylning av byggnaden tidigt på morgonen när el är billigare vilket minskar eftermiddags förbrukning och minskar efterfrågan. Att korrekt identifiera dessa besparingar kräver planeringshorisonter på lång sikt (Energy and Building, 2021). För att ta itu med detta problem, utvecklade författarna ett system som heter “Deep Q-Network” eller (DQN) som syns ett schematisk modell enligt nedan.

Systemet visar en åtgärdsprocess och samt definierar miljön som en partiell observerbar Markov-beslutsprocess (POMDP) med en belöningsfunktion bestående av energikostnad (tid för användning och högsta efterfrågan) och en obehagstraff som är en förlängning av de flesta belöningsfunktioner används inom detta område.



Figur 4. Tränings och testsdiagram av DQN-modell: blå linjer anger träningsfasen för att få optimala vikter för Q-nätverk; röda linjer anger utbildad Q-nätverk; gröna linjer visar de vanliga stegen som delas av både utbildning och testning.

I denna artikel (Energy and Building, 2021) fokuseras på att minimera energikostnaden i stället för besparing av energiförbrukning och bevara komfortkraven. För att undvika höga kostnaderna som orsakas av den höga elektriska efterfrågan och samt tas hänsyn till att minimera elbehovet. Enligt denna forskning (HVAC Energy Cost Optimization for a Multizone Building via a Decentralized Approach, 2020) elkonsumtionen tillskrivs ca.40-50% för värmesystem, ventilation och luftkonditionering (HVAC). Uppsatsen visar kostnadsbesparing av elförbrukning i byggnaden t.ex. industriella företag och lager som har en hög elkonsumtion under viss tid under dag och en hög elkostnaden naturligtvis betalas till elföretag men byggnaderna kan reducera denna kostnad genom att aktivera sina kyl/frys-maskiner på morgonen när det inte är hög belastning på elet. litteraturstudiet fortsätter och tittar på andra artiklar som är mer relaterad till reducering av energiförluster i industriella portar och lagerhall portar.

I geografiska område med kallt klimat som Sverige, stora, massivt byggda industri- och lagerbyggnader och logistikanläggningar är stora konsumenter av energiresurser. Lokalernas stora höjd, stora volym och existensen av ett antal portar och byggnadskonfigurationer som inkluderar många transportkorridorer kräver alla användning av

lufttrådgardiner för att öka energieffektiviteten av byggnadens uppvärmningssystem, ventilation och luftkonditionering (HVAC), vilket vanligtvis producerar flera tusen kilowatt värmekraft. Optimering av luftridåer kan förbättra mikroklimat i lokalerna, uppnå besparingar i de ledande byggkostnaderna och även reducera energiförbrukning under drift med 10-20% (Alexander.M.Zhiova, 29 Mars 2021). Artikeln föreslår genom att optimera luftridåer i en industrianläggning kan minska energiförbrukningen och kan leda till ekonomiska besparingar.

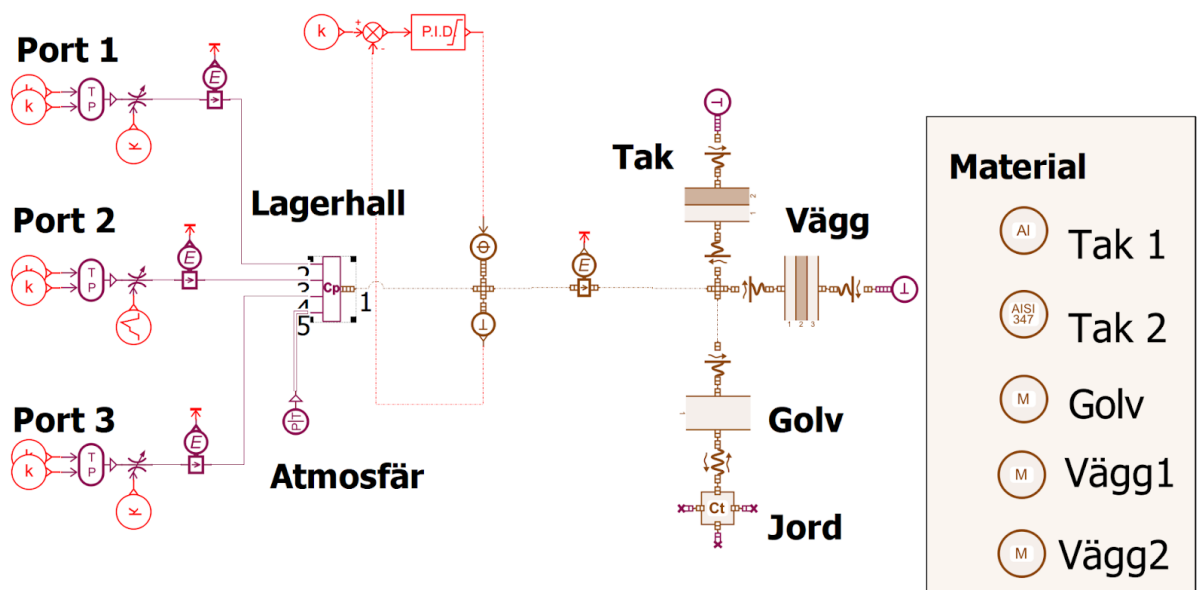
När litteraturundersökningen gjordes i databasen så har försökts att hitta relevanta svenska litteratur som kan vara inspirerande till detta arbete men senare märktes svårt med svenska litteratur och väldigt få artiklar hittades som handlade just om reducering av energiförluster i industriella anläggningar. Andra litteraturen som har granskat i detta avsnitt var givande och gav en helhet syn på att hur värmesystem, ventilation och luftkonditionering på en byggnads behöver energi för kunna arbeta. Sammanfattningsvis i lagerhallar och industriverksamhet finns det ett flertal dörrar för lastning och lossning av varor under arbetstid och det sker konstant. Vid öppning/stängning av portar inträffar förluster i form av kall luft kommer inte speciellt under vinter och varmluft ur från byggnaden som leder till värmesystemet jobbar oftare för att balansera temperaturen inne i huset, detta förlopp kräver energi.

Simulering, Simcenter Amesime

Simcenter Amesime är ett programvara som står för Advanced Modeling Environment för att utföra Simuleringar av olika tekniska/ingenjörsmässiga system som finns till exempel i termodynamiska-, pneumatiska-, mekaniska system för att kunna göra undersökningar i olika syfte såsom hur energikonsumtionen ser ut i ett system och hur man lyckas effektivisera den så att mindre energi går åt som inte går att passera förbi utan att ta hänsyn när det gäller miljöfrågor samt ekonomiska frågor för individer. Programmet utgår ifrån ett intuitivt grafiskt gränssnitt som visar hela systemet under ett helt simuleringssystem. Det har en 1D-simuleringsuppsättning där man kan modellera och analysera smarta system med flera domäner och för att kunna prediktera deras tvärvetenskapliga prestanda. Därav Simcenter Amesim har valts för detta examensarbete för att kunna utföra undersökningar kring en lagerhall och dess portar där det sker en del energiförluster.

Simuleringsmodell

Undersökning under examensarbetet har utförts i programmet Amesim genom att skapa en simuleringsmodell med relaterade sub-modeller som själv består av en eller flera komponenter. I modellen ingår olika fysikaliska sub-modeller såsom termiska, pneumatiska, signal och control.



Figur 5. En helhetsbild av systemet och dess sub-modeller och komponenter.

Simulering av lagerhall i Simcenter Amesime

Lagerhallen simuleras som en volym med storleken $30 \times 40 \times 5 \text{ m}^3$ i Simcenter Amesime med en Pneumatisk komponent Chamber enligt figur nedan med en initial temperatur och tryck på 20 grader och 101 KPa som motsvaras ungefär atmosfärstryck. Temperaturen i hallen kan ändras med öppning och stängning av portarna.

Komponenter

För att få en bra överblick av vilka komponenter behöver läggas i simulering av lagerhallen kommer en övergripande beskrivning av de komponenter med dess funktioner som har använts i modellen.



Figur 6. *Pneumatisk Chamber volym med ett antal pneumatiska portar och en termisk port*

Vid simulering av lagerhall har tillagts en Pneumatisk komponent enligt figur nedan som liknar en fläkt som kan styra trycket i hallen. Denna komponent har funktion att höja trycket i hallen och undvika att kalla luften komma in hallen via portar.



Figur 7. *Pneumatisk ideal tryck källa*

Portar

Portarna simuleras med en Pneumatisk komponent enligt figur nedan med en storlek på $3 \times 3.5 \text{ m}^2$ som liknar en ventil och markernas med 0, 1 och 0.5. Antal portar antogs tre stycken med en randvillkor.



Figur 8. *Pneumatisk öppning*

Portarna styrs av en signal enligt figur nedan. Om signalerna visar 0, 1 och 0.5 då är dörren är stängd, öppet respektive halvöppet.



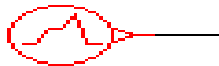
Figur 9. *Konstant signal.*

Utanför portarna har lagts randvillkor, detta betyder att det finns en viss utetemperatur och ett visst tryck. Den initiala temperaturen antogs 15 grader respektive 101.3 KPa. För simulering av randvillkoret har använts en signal-och ett Pneumatiskt element enligt figur nedan. Signal komponenten skickar en konstant signal till Pneumatiska elementen.



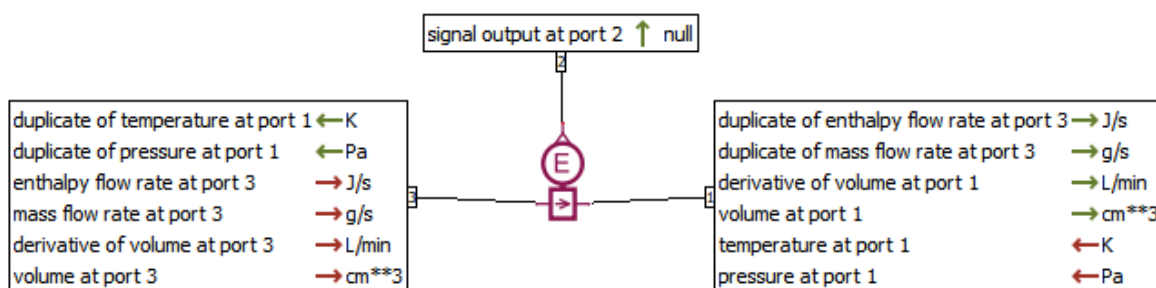
Figur 10. En kombination av signal-och pneumatisk komponent för randvillkor

Portarna öppnas/stängas flera gånger under dag och därför har tänkts använda en signalkomponent i modellen med fler steg med en start- och slutvärde enligt figur nedan. Med denna modell kan man ange max 8 steg för olika tidsintervall för öppning/stängning av portarna.



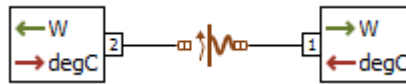
Figur 11. Piecewise linear signalkälla med fler steg.

Effekt/energi sensor tillämpas för beräkning av energiförluster vid varje port vid öppning/stängning. Denna sensor har massa flödes hastighet [g/s] och entalpi flödes hastighet [J/s] som ingång och tryck i [Pa] och temperatur [K= Kelvin] som utgångsvärde enligt figur nedan.



Figur 12. Effekt/energi sensor med ingående och utgående parametrar

En externt blandat konvektivt med termiska portar har lagts i modellen. Komponentens möjliggör värmeutbyte mellan ett material och en vätska samt kyler ner taket med kallt luft. Temperaturen är som ingående parameter i grader och som utgående är värme flöde i [J/s] enligt figur nedan.



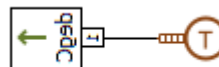
Figur 13. Externt konvektivt utbyte av värme mellan en vätska och ett material

I figur 5 skapades en modell som omvandlar en signal till värmeffekt som visas i figur nedan. Denna modell ersätter en AC-maskin som har en maxeffekt på 50 KW. Effekten förbrukas under temperaturskillnaden av volymen.



Figur.14 Omvandlare av signal till värmeffekt

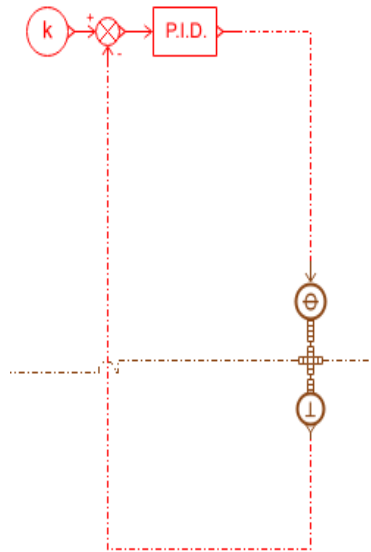
En konstant temperaturskälla har skapats enligt figur nedan. Denna temperaturskälla läser av temperaturen inne i hallen under olika tidsintervall.



Figur.15. Konstant temperaturskälla

Modellering av värmekälla med PID-regulator

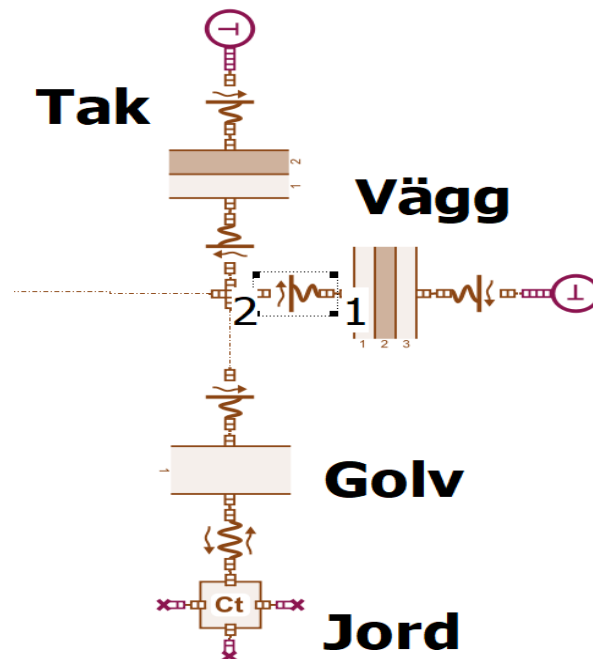
Vid simulering av värmekälla har använts tre termiska komponenter som är kopplad med PID-regulator som visas i figur nedan. Vid användning av PID-regulator så används ett Bör-värde som i detta fall är den konstanta signal som läser av temperaturen på 20 grader. Temperatursensorn läser av den verkliga temperaturen i hallen så att det finns ett till värde nämligen ÅR-värde och sedan skickar signal till den Subtraherande korsning. Där värdena jämförs för att kunna se om det finns avvikelse mellan Bör- och ÅR-värdet. Efter jämförelse om det finns någon avvikelse skickas den till PID-regulatorn. Då kommer regulator i reaktion och försöker styra värmeförsel så att avvikelsen blir noll. PID-regulator har en effektkapacitet på maximalt 50 KW som kan styra värmekällan (=AC-maskin) för återställer den avvikelsen på temperaturen. Denna maskin som har valts är efter hallens dimensionen på 30*20 m² enligt (polarpumpen.se).



Figur 16. Värmekälla som kompenserar AC med PID-regulator

Simulering av Vägg, Golv och Tak

Uppbyggnaden av lagerhall simuleras med termiska elementer med konvektionssystem emellan. konvektions elementet strömmar både kallt-och respektive varm luft in i hallen via väggar och och taket. Materialet för vägg valdes tegel, betong och gips och taket valdes Aluminium rostfritt stål. För golvet har tänkts använda betongplattor som är kopplad till en värmekapacitet som värmer eller respektive kylar ner marken enligt figur nedan. En tabell medföljer data för de material som används i anläggningen.



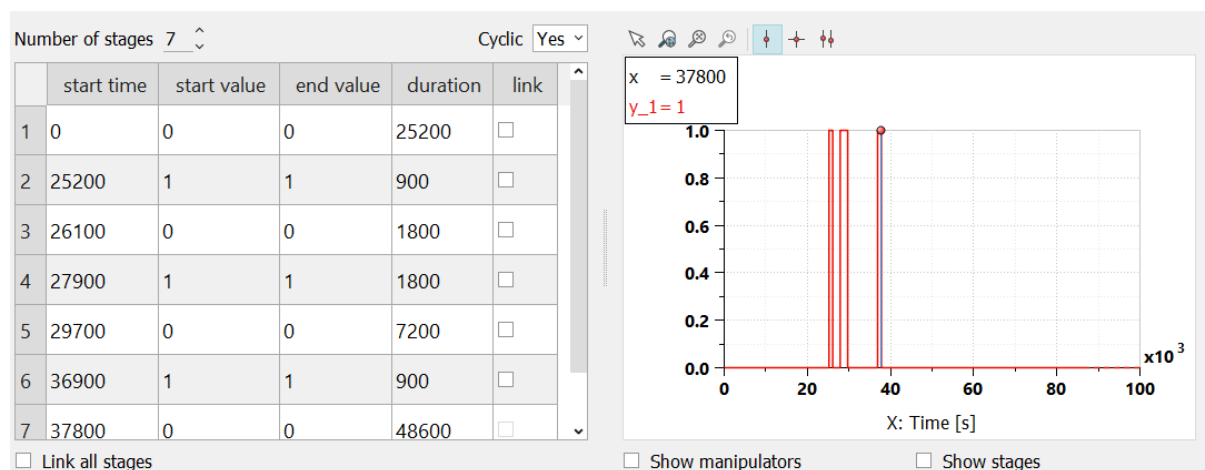
Figur 17. Modell över lagerhallens uppbyggnad

Material	Densitet (kg/m ³)	Specifik Värmekapacitet (J/Kg K)	Värmekonduktivitet (W/m K)
Aluminium (inlagt i systemet)	Al	Al	Al
Rostfritt Stål (AISI 347) (inlagt i systemet)	AISI 347	AISI 347	AISI 347
Betong	2350	1000	1.7
Gips	950	720	0.25
Tegel	1600	1350	0.6

Tabell 1. Materialdata för Tak, väggar och golv

3 Resultat

Efter simulering av lagerhall och dess delkomponenter på Simcenter Amesim, analyserades de parametrar som involveras i energi bortförsel. I detta avsnitt alla beräkningar görs i programvara Amesim och redovisas här. Vid analysen antogs flera scenario i samband med öppning och stängning av portarna. Syftet med de olika scenarion är att undersöka energimängden som bortförsel vid öppningen. Tabell nedan visar olika segt vid öppning av port 3.



Tabell 2. Piecewise linear steg intervall för port 2 under ett dygn

Scenario 1

Med konstant temperatur och tryck på -15°C respektive 1.013 barA utanför hallen, Port 2 hålls öppet och andra portar stängda. Med inmatade data kördes Amesime med en simuleringstid på ett dygn i sekunder, dvs. 86 400 sekunder som syns på tabell 3. i tabellen visas olika siffror. Talet 0 innebär att porten är stängd och 1 innebär öppen. Talen under start

time visar exakt när porten öppnas och stängs. Under duration representerar talen hur länge stäng- samt öppettiderna är för porten.

Under simuleringen undersöktes energi, värmefflöde, tryck och temperaturändring i hallen under de olika tidsintervall. Resultatet visas i figur 18 nedan.

	start time	start value	end value	duration	link
1	0	0	0	25200	☐
2	25200	1	1	900	☐
3	26100	0	0	1800	☐
4	27900	1	1	1800	☐
5	29700	0	0	7200	☐
6	36900	1	1	900	☐
7	37800	0	0	48600	☐

Tabell 3. *Picewise linear steginterval för por 2 under ett dygn med start kl.07.00*



Figur 18. *Energi, värmefflöde, tryck och temperaturändring diagram över port 2 med -15 °C*

Scenario 2

För att kunna se skillnaden i energiförluster, värmefflöde, tryck och temperaturändring så skapades scenario 2 med en skillnad från scenario 1 på en temperaturökning från -15 till +5 grader. I denna fas hålls trycket på 1.013 bar konstant och portarna 1 och 3 stängda samt tidsintervallen är samma som scenario 1. Resultatet visas i ett energi, värmefflöde, tryck och temperaturändring enligt figur nedan.



Figur 19. Energi, värmefflöde, tryck och temperaturändring diagram över port 2 med temp. +5 °C

Scenario 3

I detta moment hålls trycket och temperatur konstant på 1.013 bar respektive -15 grader utanför hallen och portarna 1 och 3 hålls öppna medan port 2 är stängd. Både portarna öppnas samtidigt vid klockslag 07.00 som motsvarar 25 200 sekunder enligt tabell 4. Analysen visas i figur 21

	start time	start value	end value	duration	link
1	0	0	0	25200	☐
2	25200	1	1	900	☐
3	26100	0	0	1800	☐
4	27900	1	1	1800	☐
5	29700	0	0	7200	☐
6	36900	1	1	900	☐
7	37800	0	0	48600	☐

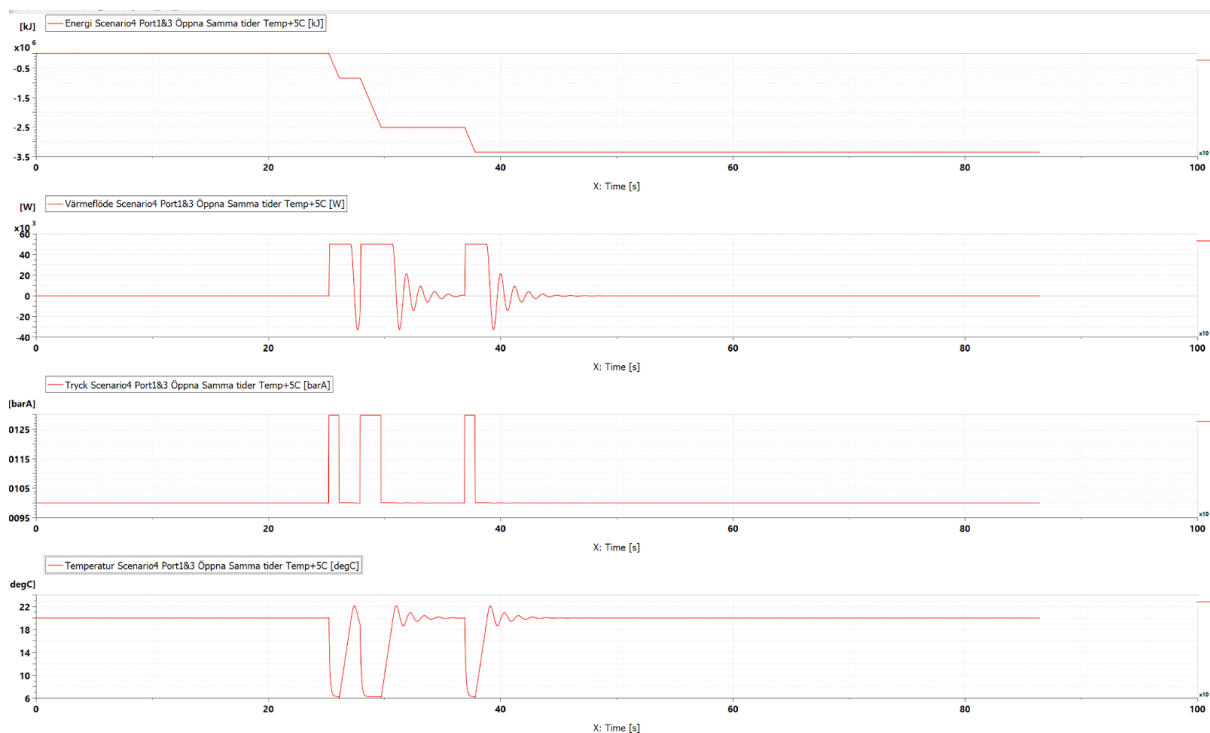
Tabell 4. Piecewise linear, olika tidsintervall vid öppning /stängning av portarna 1 och 3



Figur 20. Energi, värmefflöde, tryck och temperaturändring diagram över port 1 och 3 med temp. $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$

Scenario 4

För att undersöka skillnaden i energiförluster, värmefflöde, tryck och temperaturändring i en varmare klimat så skapades scenario 4 där två portar är öppna istället för en (jämfört med scenarier 1-2) och med en skillnad från scenario 3 på en temperaturökning från -15 till +5 grader. I detta fall hålls trycket på 1.013 bar konstant samt tidsintervallen är samma som scenario 3. Resultatet visas i ett diagram för energi, värmefflöde, tryck och temperaturändring enligt figur nedan.



Figur 21. Energi, värmefflöde, tryck och temperaturändring-diagram över portarna 1 och 3 med temp. +5 °C

Scenario 5

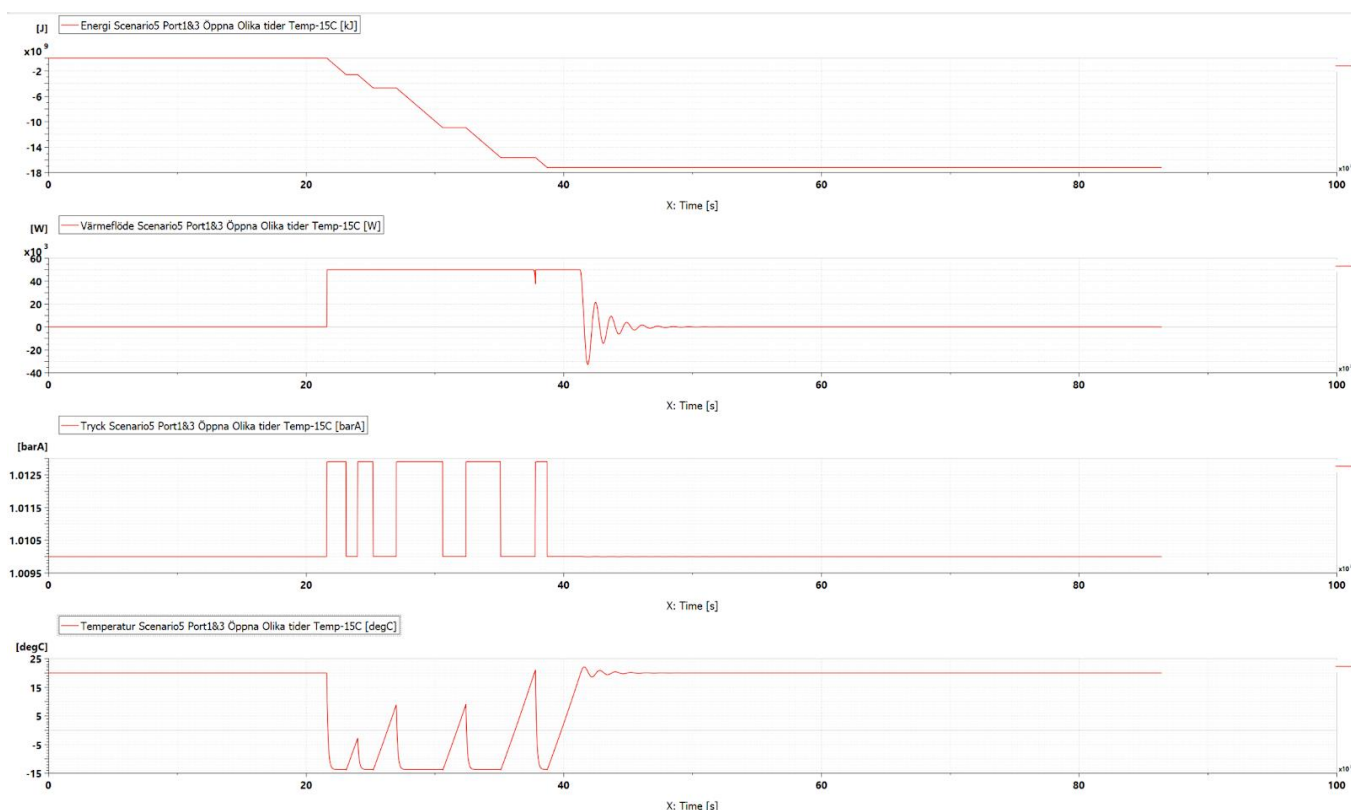
Under detta scenario var det tänkt att undersöka 2 portar, 1 och 3, öppna med samma villkor, dvs. konstant temperatur och tryck på -15°C respektive 1.013 barA utanför hallen, samt konstant temperatur och tryck på 20° C respektive 1.01 barA inne i hallen men till skillnad från andra scenarierna hittills som är att varje port har egna avsedda tider för stängnings- och öppningstider och är inte samma som varandra. Detta för att undersöka hur energikonsumtion, värmefflöde, tryck samt temperaturen beter sig vi olika tider avsett för varje port. Tidsintervallen för portarna och resultatet visas nedan i tabell 5 och figur 23.

	start time	start value	end value	duration	link
1	0	0	0	28800	☐
2	28800	1	1	1800	☐
3	30600	0	0	1800	☐
4	32400	1	1	2700	☐
5	35100	0	0	2700	☐
6	37800	1	1	900	☐
7	38700	0	0	47700	☐

Tabell 5. Piecewise linear tidsintervall för port 1

	start time	start value	end value	duration	link
1	0	0	0	21600	☐
2	21600	1	1	1500	☐
3	23100	0	0	900	☐
4	24000	1	1	1200	☐
5	25200	0	0	1800	☐
6	27000	1	1	1800	☐
7	28800	0	0	57600	☐

Tabell 6. Piecewise linear tidsintervall för port 3



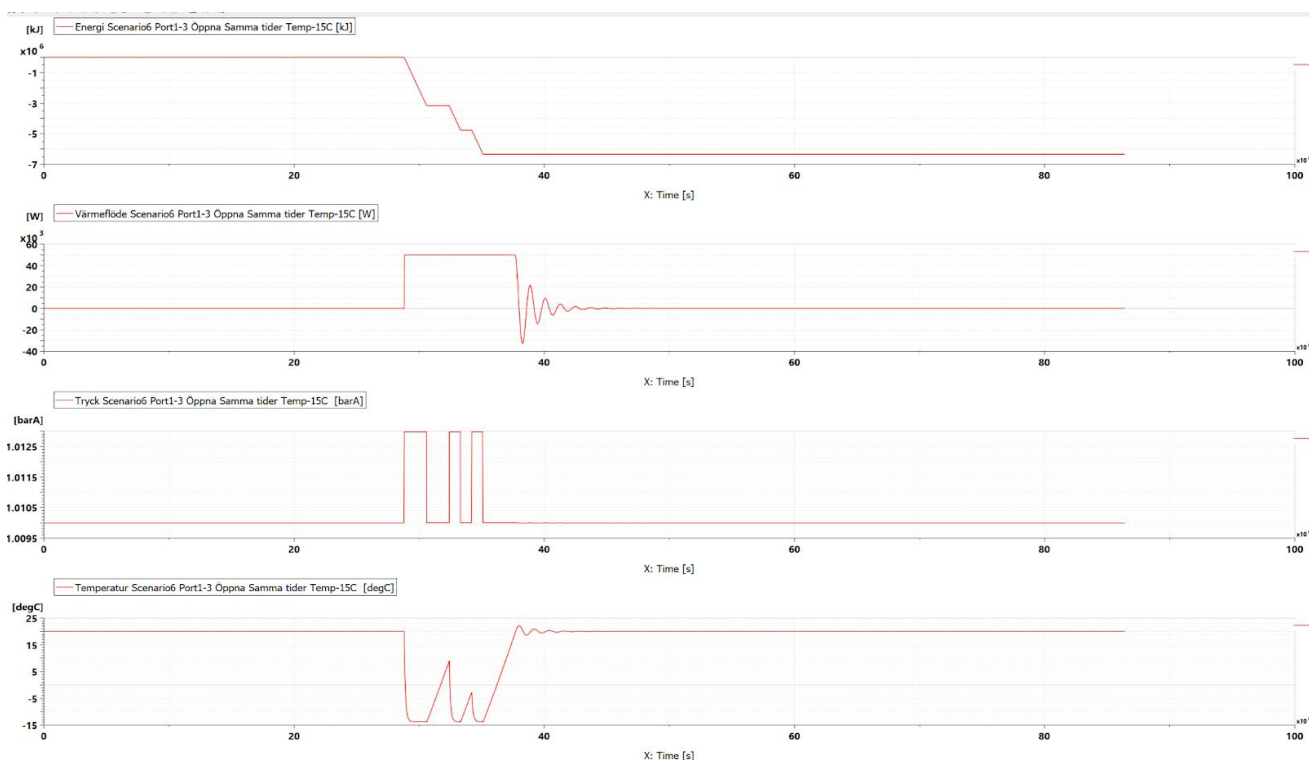
Figur 22. Energi, värmefflöde, tryck och temperaturändring diagram över portarna 1 och 3 med olika tidsintervall.

Scenario 6

I detta steg hålls alla tre portar öppna med ett konstant tryck och temperatur på 1.013 bar respektive -15 grader utanför hallen. Dörrarna öppnas samtidigt vid klockslag 08.00 motsvarande 28 800 sekunder som visas enligt tabell nedan. Tanken med detta scenario är att undersöka energikonsumtionen när tre portar är öppna samtidigt för att vidare kunna jämföra dem med andra scenarier.

	start time	start value	end value	duration	link
1	0	0	0	28800	☐
2	28800	1	1	1800	☐
3	30600	0	0	1800	☐
4	32400	1	1	900	☐
5	33300	0	0	900	☐
6	34200	1	1	900	☐
7	35100	0	0	51300	☐

Tabell 7. Tidsintervall vid öppning/stängning för alla tre portar



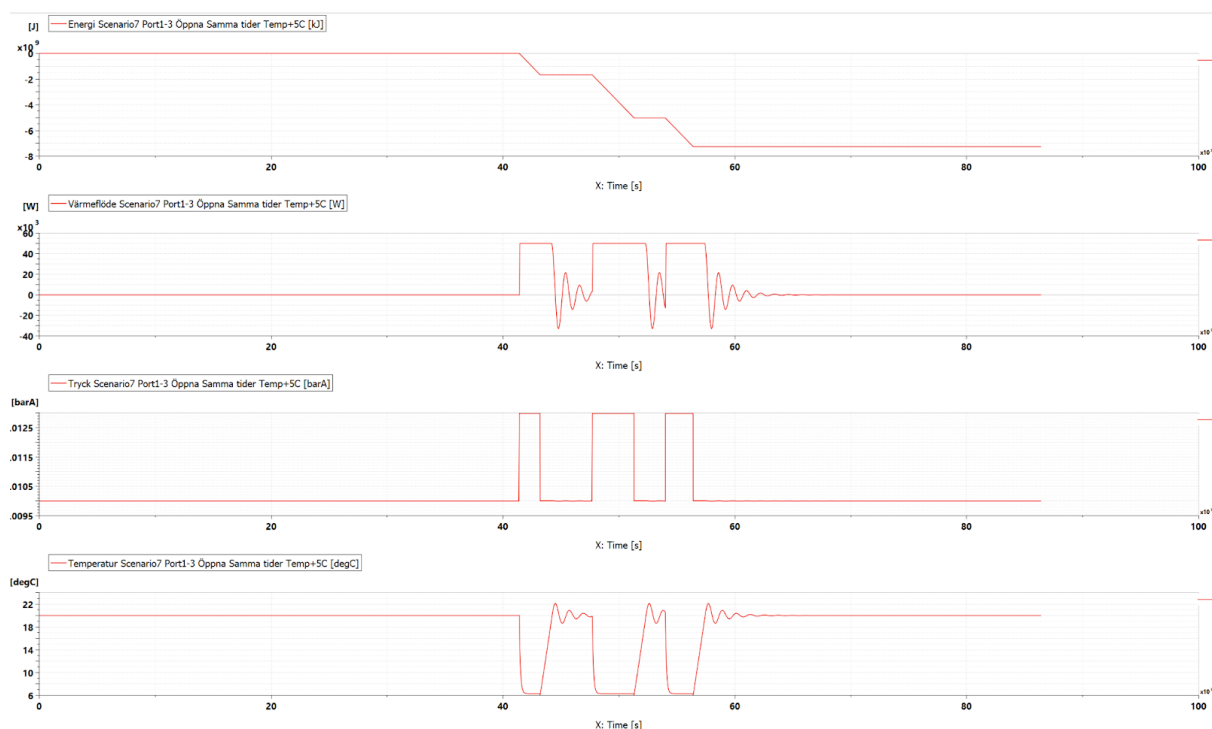
Figur 23. Energi, värmefflöde, tryck och temperaturändring diagram över port 1,2 och 3 med temp. -15 °C

Scenario 7

Scenario 7 innehåller samma villkor som scenario 6 till skillnad att den undersöks med lite olika tider samt +5 °C temperatur för utanför klimatet för att kunna jämföra hur energikonsumtionen, värmefflöde, tryck- samt temperaturändringen är jämfört med andra scenarier exempelvis scenario 6 där det har samma tider men olika temperatur utanför hallen.

	start time	start value	end value	duration	link
1	0	0	0	41400	☐
2	41400	1	1	1800	☐
3	43200	0	0	4500	☐
4	47700	1	1	3600	☐
5	51300	0	0	2700	☐
6	54000	1	1	2400	☐
7	56400	0	0	30000	☐

Tabell 9. Tidsintervall vid öppning/stängning för alla tre portar med +5°C

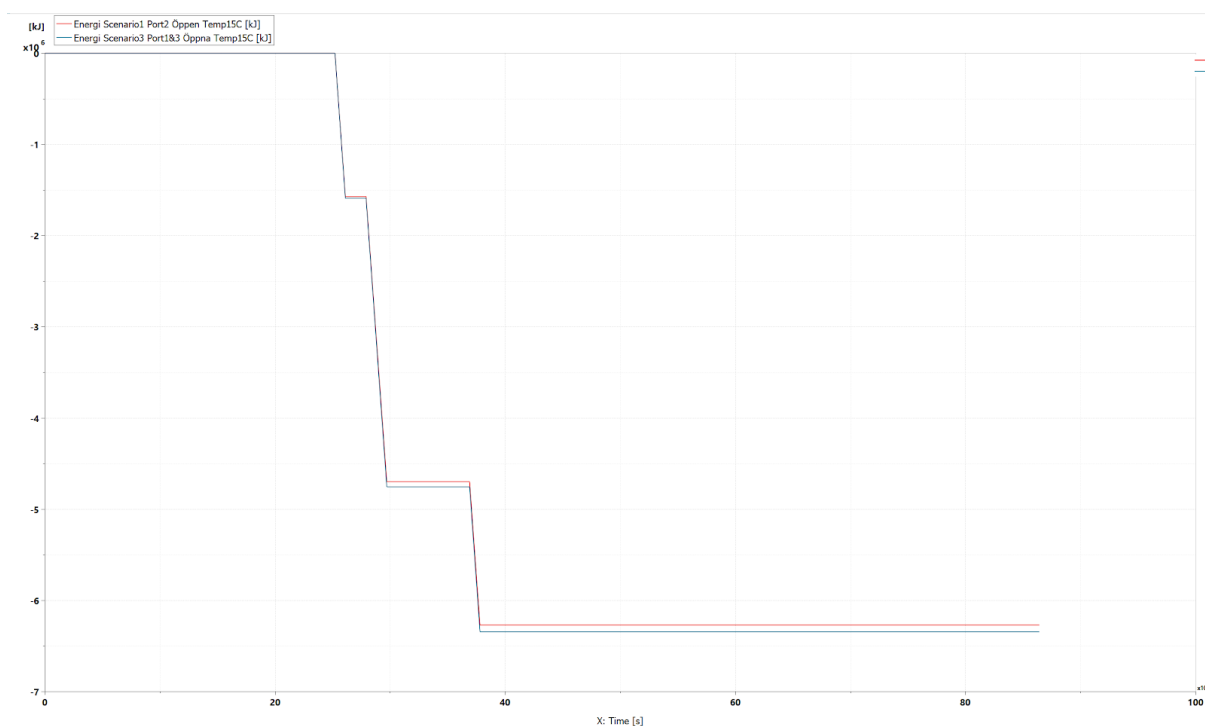


Figur 24. Energi, värmefflöde, tryck och temperaturändring diagram över port 1,2 och 3 med temp. +5 °C

Jämförelse mellan scenarier

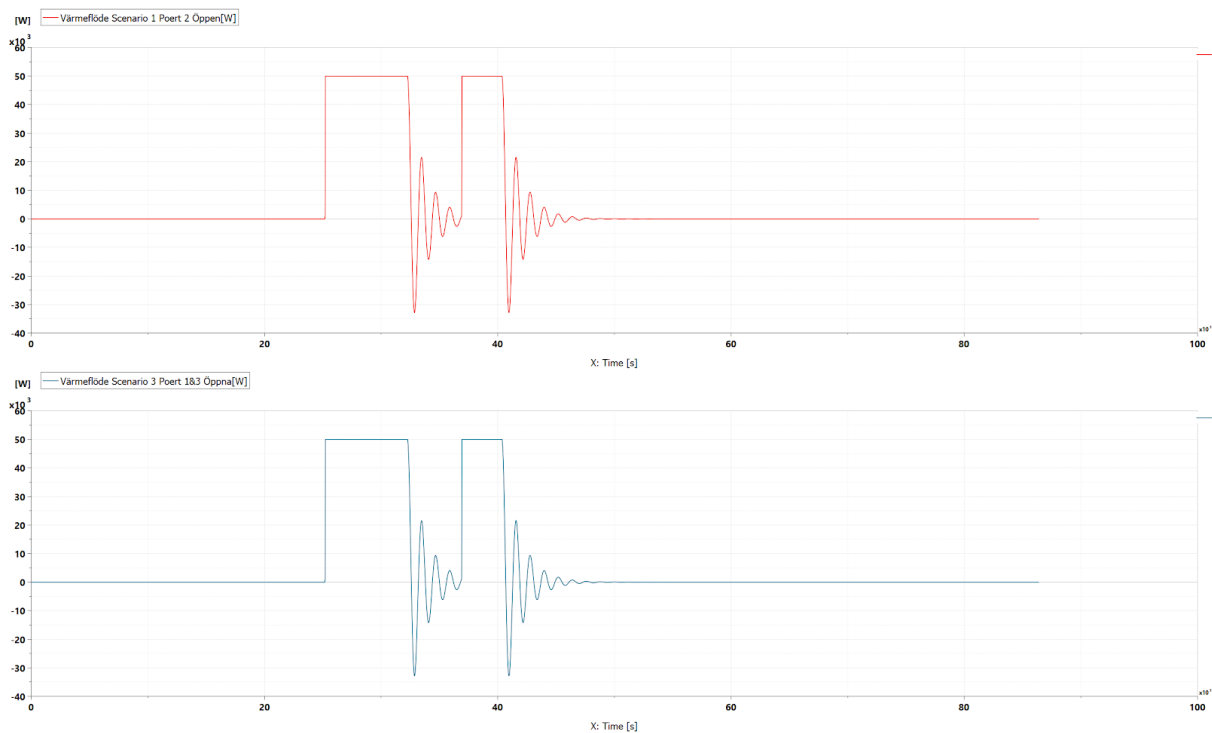
Scenario 1, port 2 & Scenario 3, portar 1&3, -15°C ute

Energidiagram för Scenarier 1 och 3:



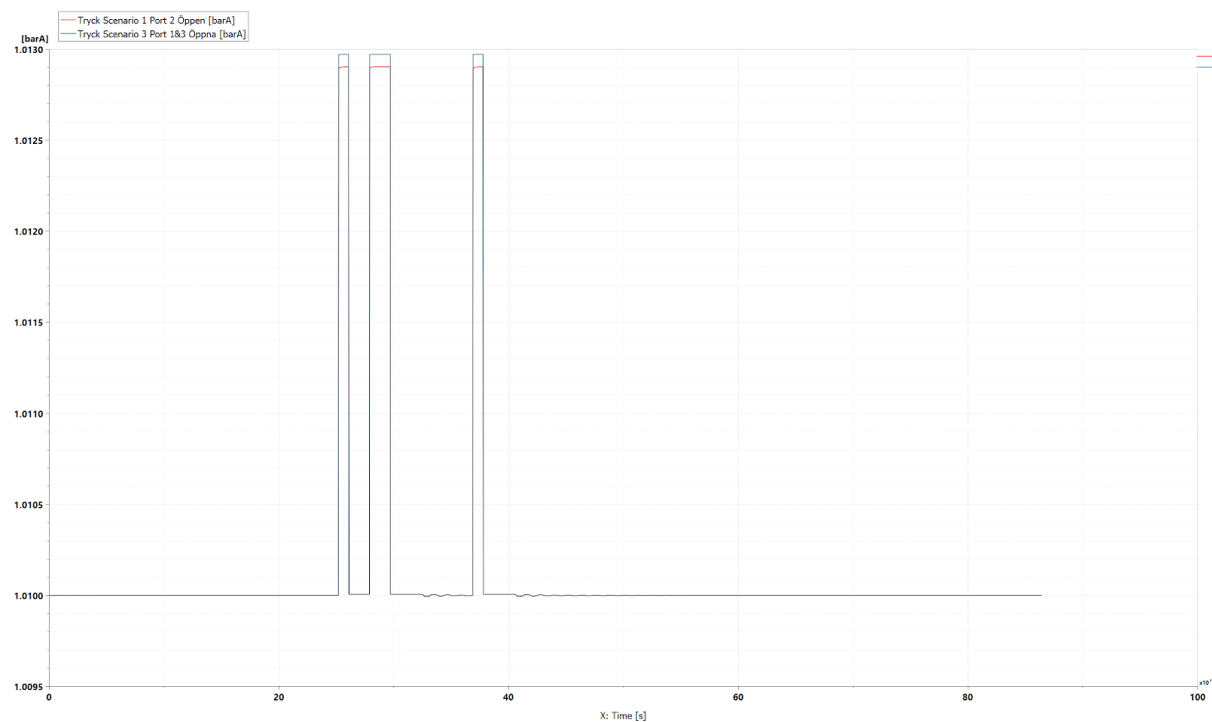
Figur 25. Jämförelse av energiförluster på port 2 i scenario 1 och port 1&3 i scenario 3 med samma temperatur enligt diagrammet där energin är funktionen av tiden

Värmefflöde-diagram för Scenarier 1 och 3:



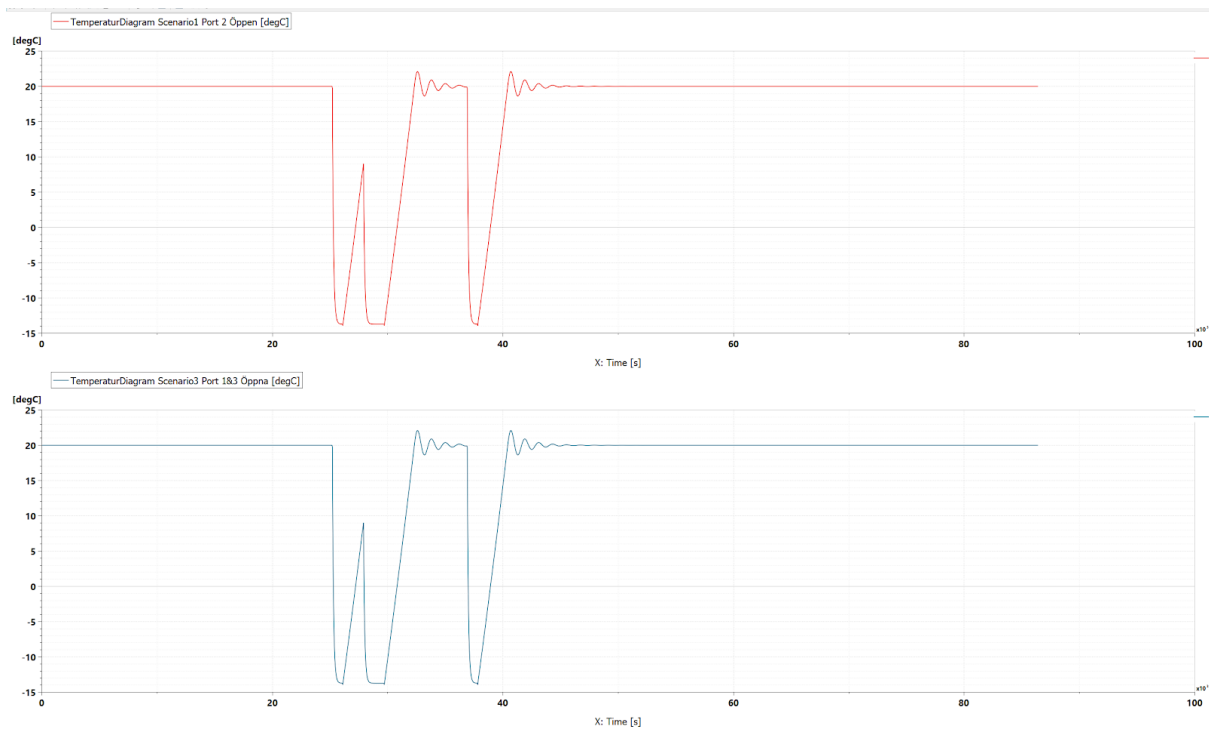
Figur 26. Jämförelse av flödesändring på port 2 i scenario 1 och port 1&3 i scenario 3 med samma temperatur enligt diagrammet där flöde är funktionen av tiden

Tryckdiagram för Scenarier 1 och 3:



Figur 27. Jämförelse av tryckändring på port 2 i scenario 1 och port 1&3 i scenario 3 med samma temperatur enligt diagrammet där trycket är funktionen av tiden

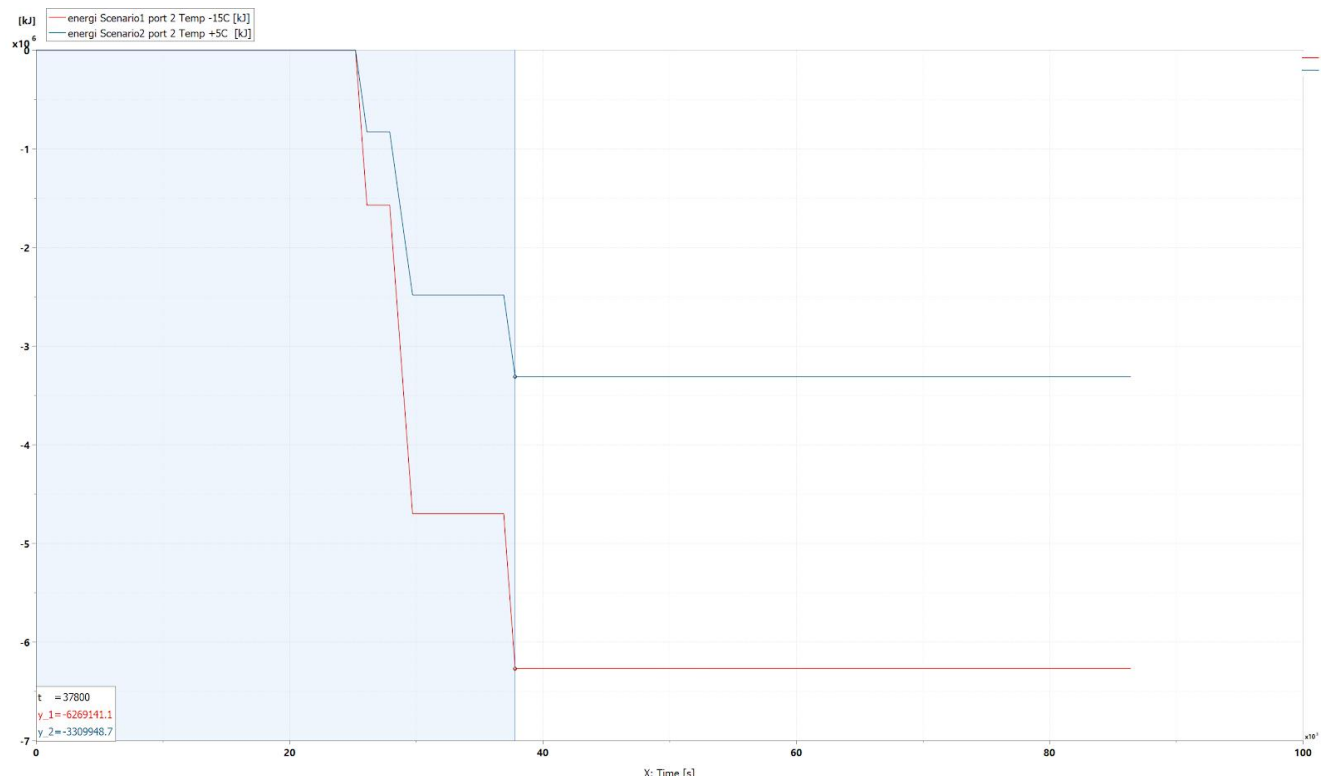
Temperatur diagram för Scenarier 1 och 3:



Figur 28. Jämförelse av temperaturändring på port 2 i scenario 1 och port 1&3 i scenario 3 med samma temperatur enligt diagrammet där tempen är funktionen av tiden

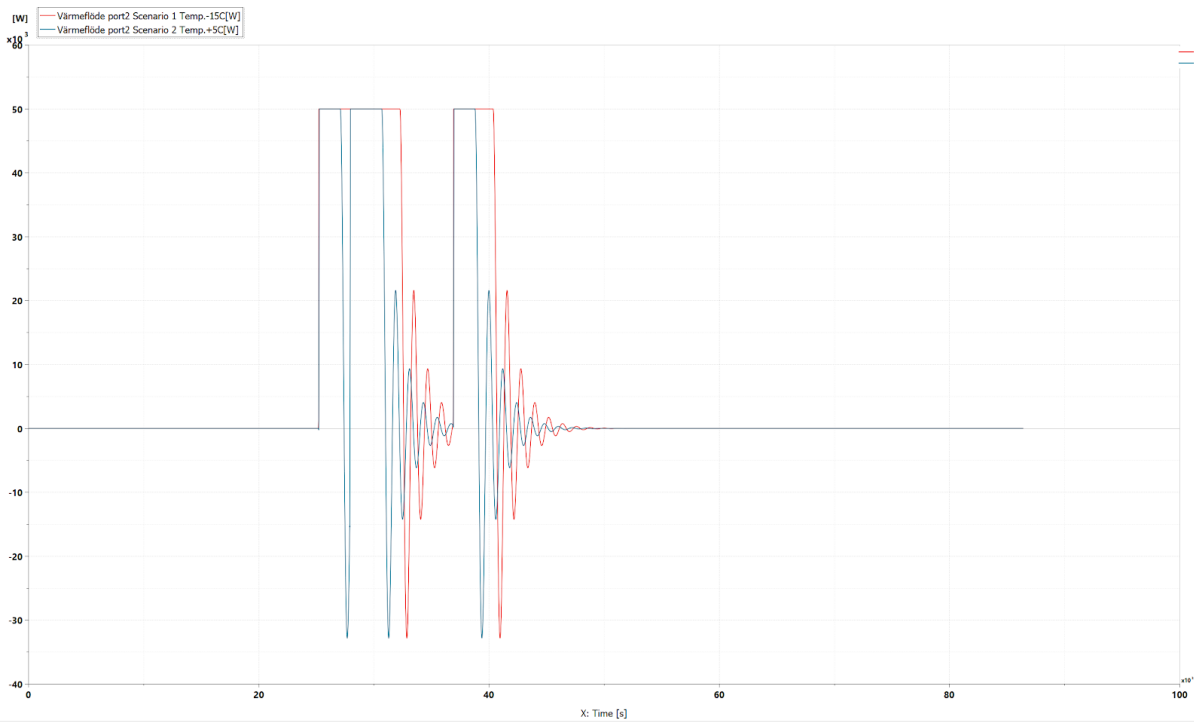
Scenario.1 och 2 med öppen port 2 med olika temperatur -15°C och +5°C

Energidiagram för Scenarier 1 och 2:



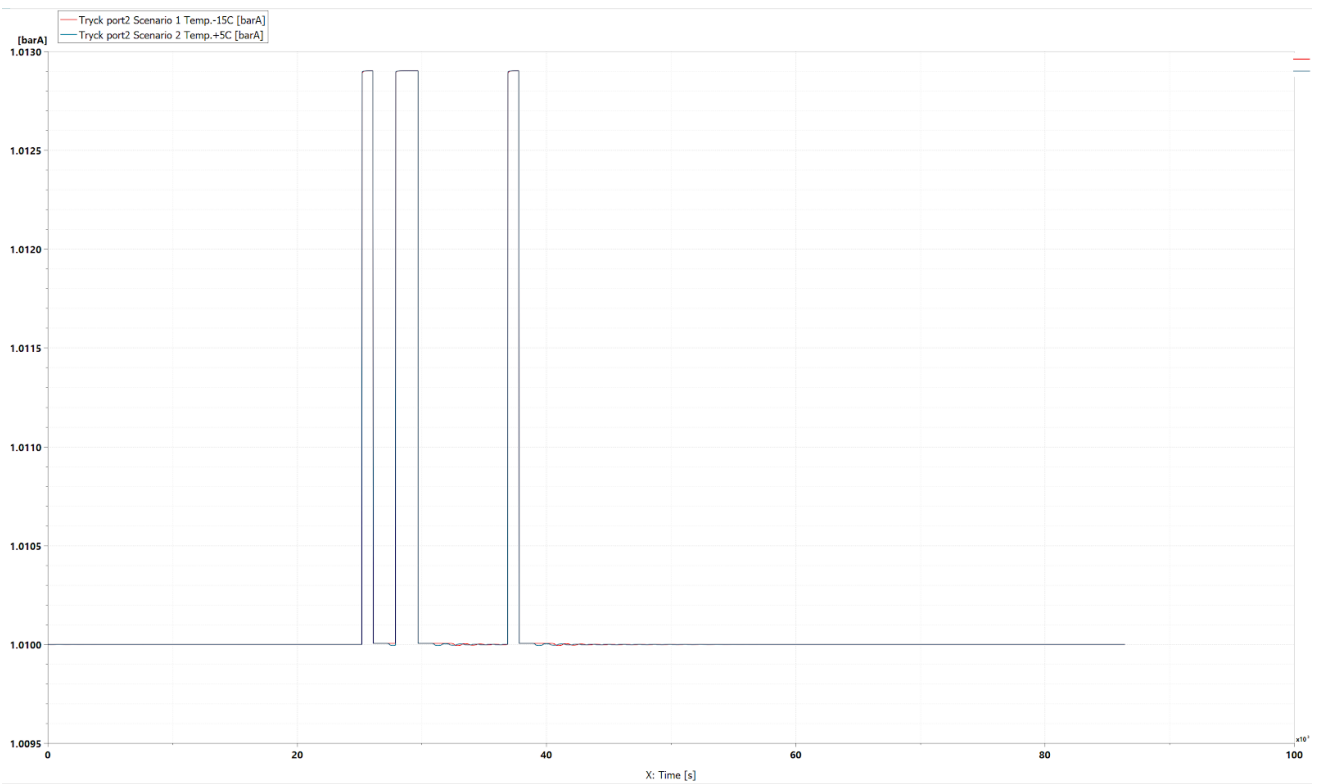
Figur 29. Jämförelse av energiändring på port 2 med olika temperatur enligt diagrammet där energin är funktionen av tiden

Värmefflöde-diagram för Scenarier 1 och 2:



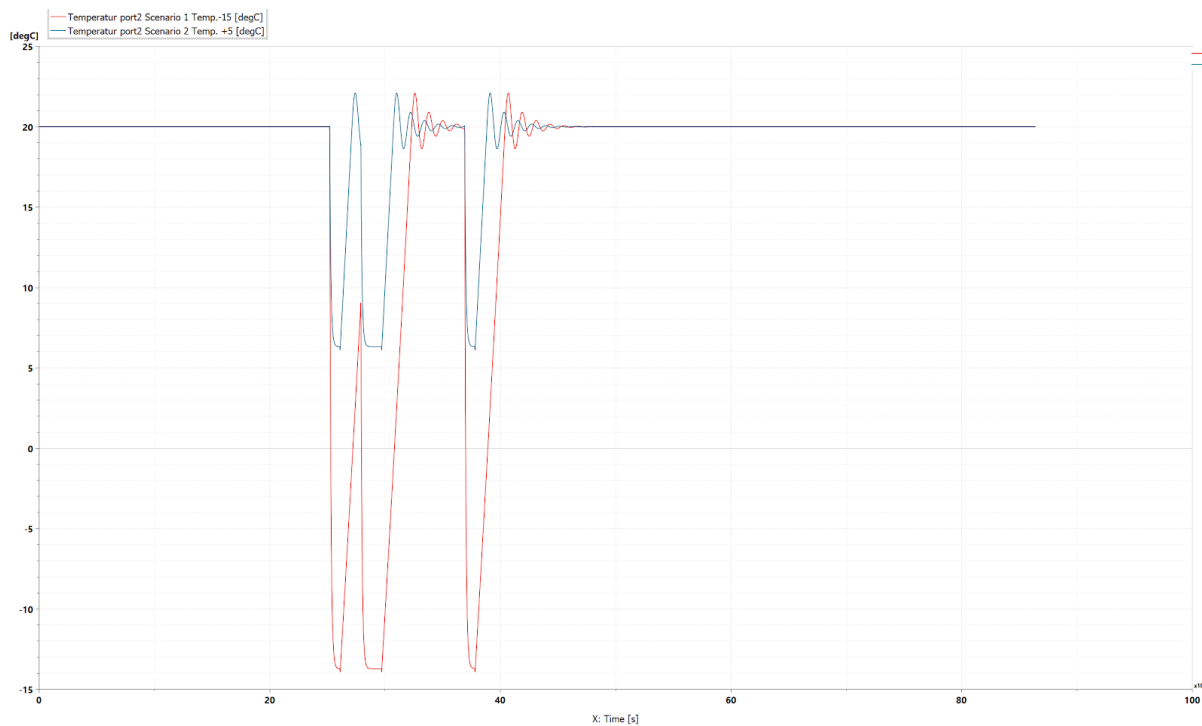
Figur 30. Jämförelse av värmefflöde ändring på port 2 med olika temperatur enligt diagrammet där flöden är funktionen av tiden.

Tryckdiagram for Scenarier 1 och 2:



Figur 31. Jämförelse av tryckändring på port 2 med olika temperatur enligt diagrammet där trycket är funktionen av tiden.

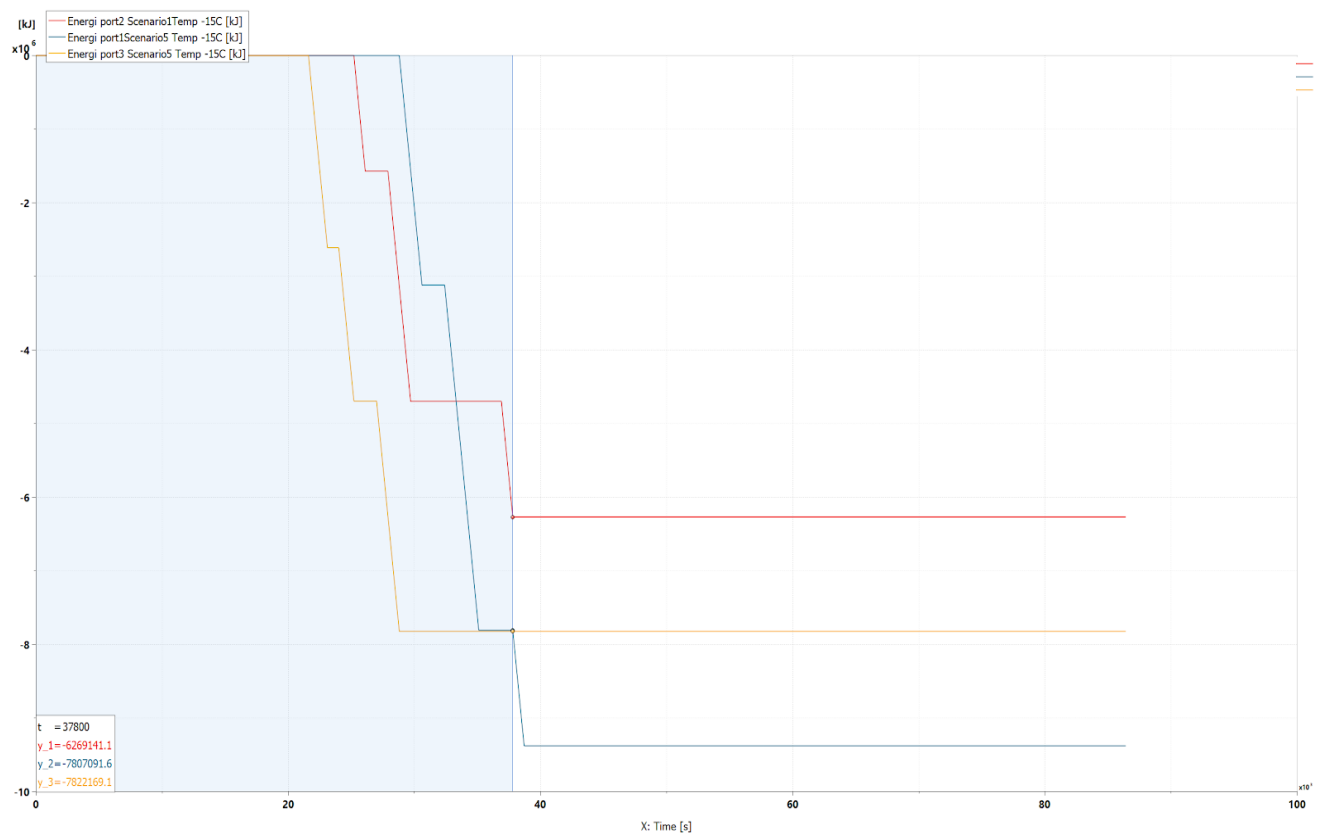
Temperatur diagram för Scenarier 1 och 2:



Figur 32. Jämförelse av temperaturändring på port 2 med olika temperatur enligt diagrammet där temperaturen är funktionen av tiden.

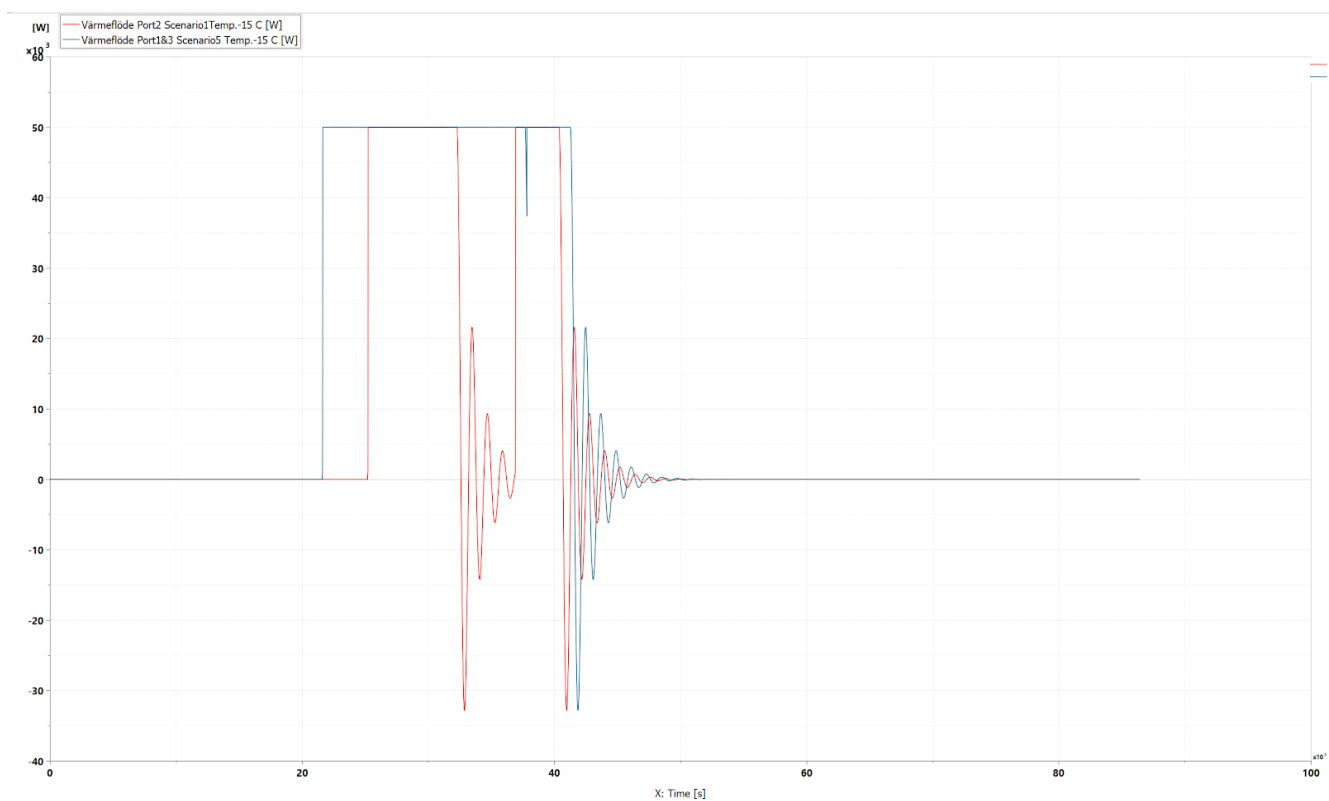
Scenario 1 port 2 öppen med -15 grader ute och Scenario 5 port 1&3 öppen med -15 grader ute)

Energidiagram för Scenarier 1 och 5:



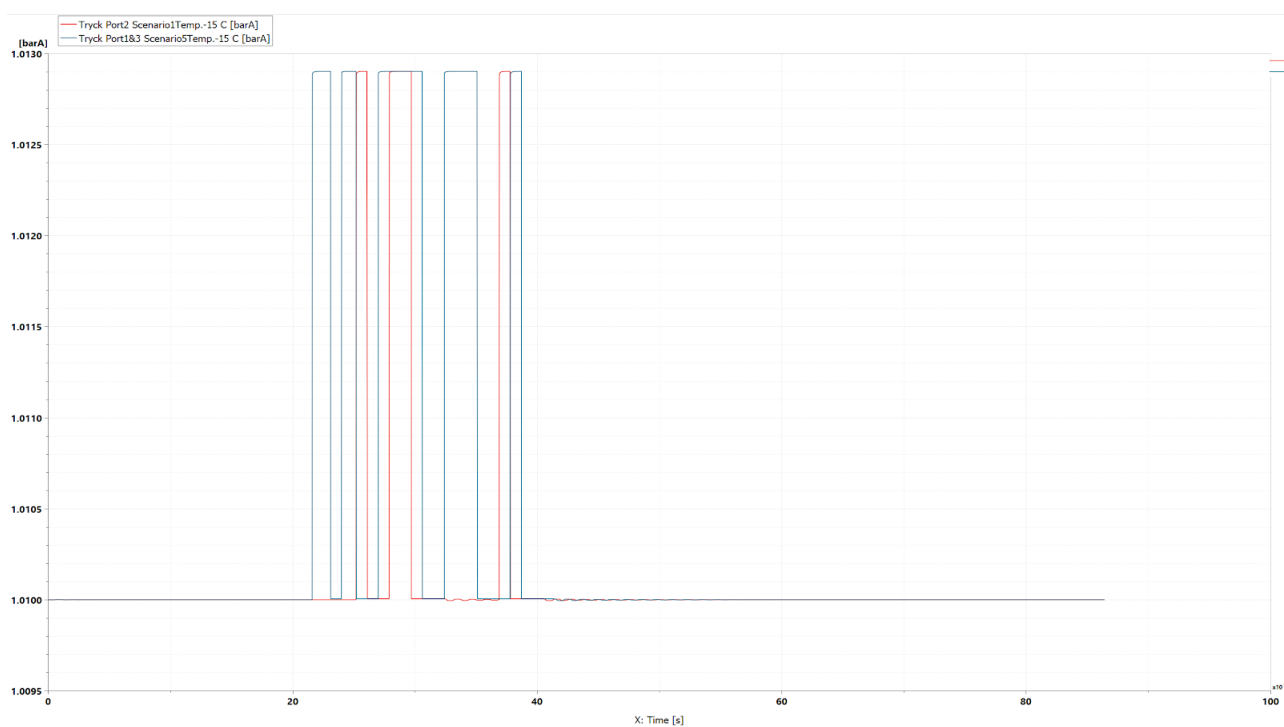
Figur 33. Jämförelse av energiändring mellan port 2 i scenario 1 och port 1&3 i scenario 5 med samma temperatur enligt diagrammet där energin är funktionen av tiden.

Värmefflöde-diagram for Scenarier 1 och 5:



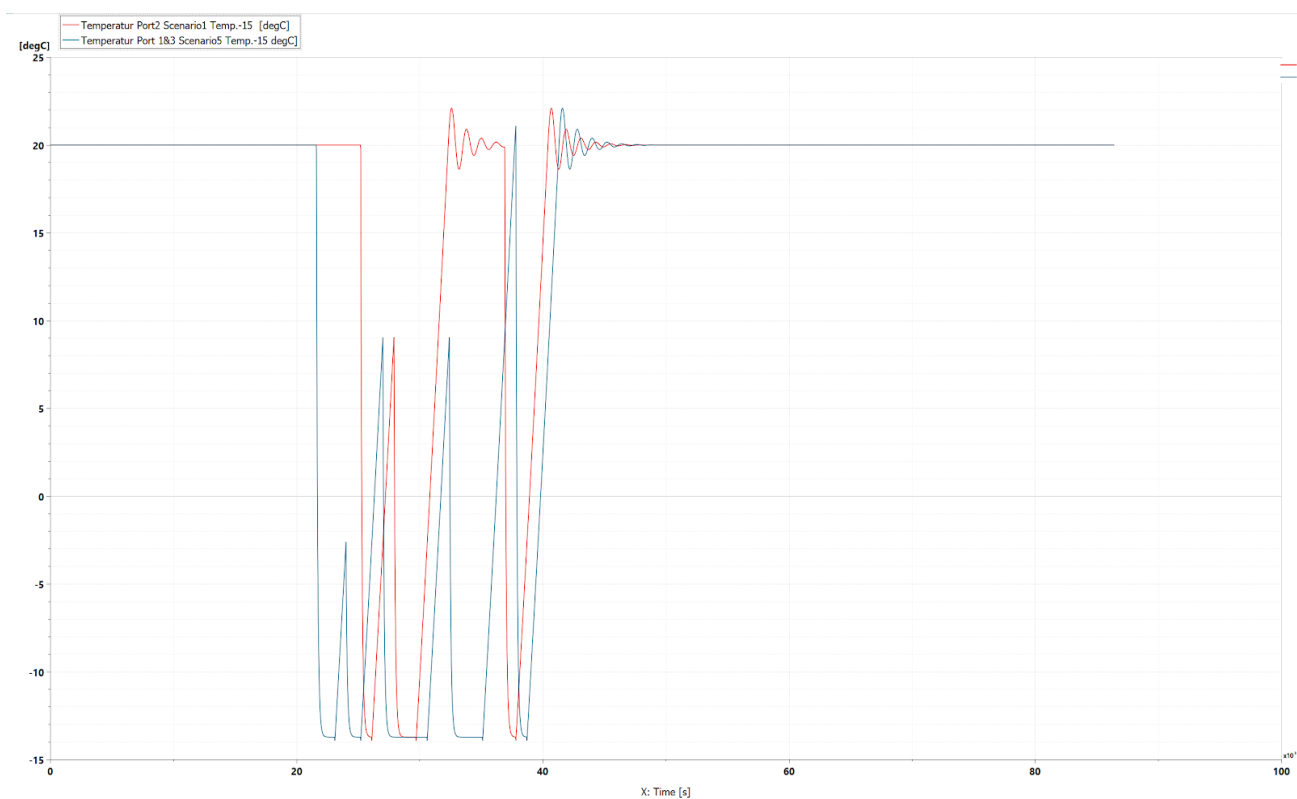
Figur 34. Jämförelse av värmeflöde ändring mellan port 2 i scenario 1 och port 1&3 i scenario 5 med samma temperatur enligt diagrammet där flöden är funktion av tiden.

Tryckdiagram för Scenarier 1 och 5:



Figur 35. Jämförelse av tryckändring mellan port 2 i scenario 1 och port 1&3 i scenario 5 med samma temperatur enligt diagrammet där trycket är funktionen av tiden.

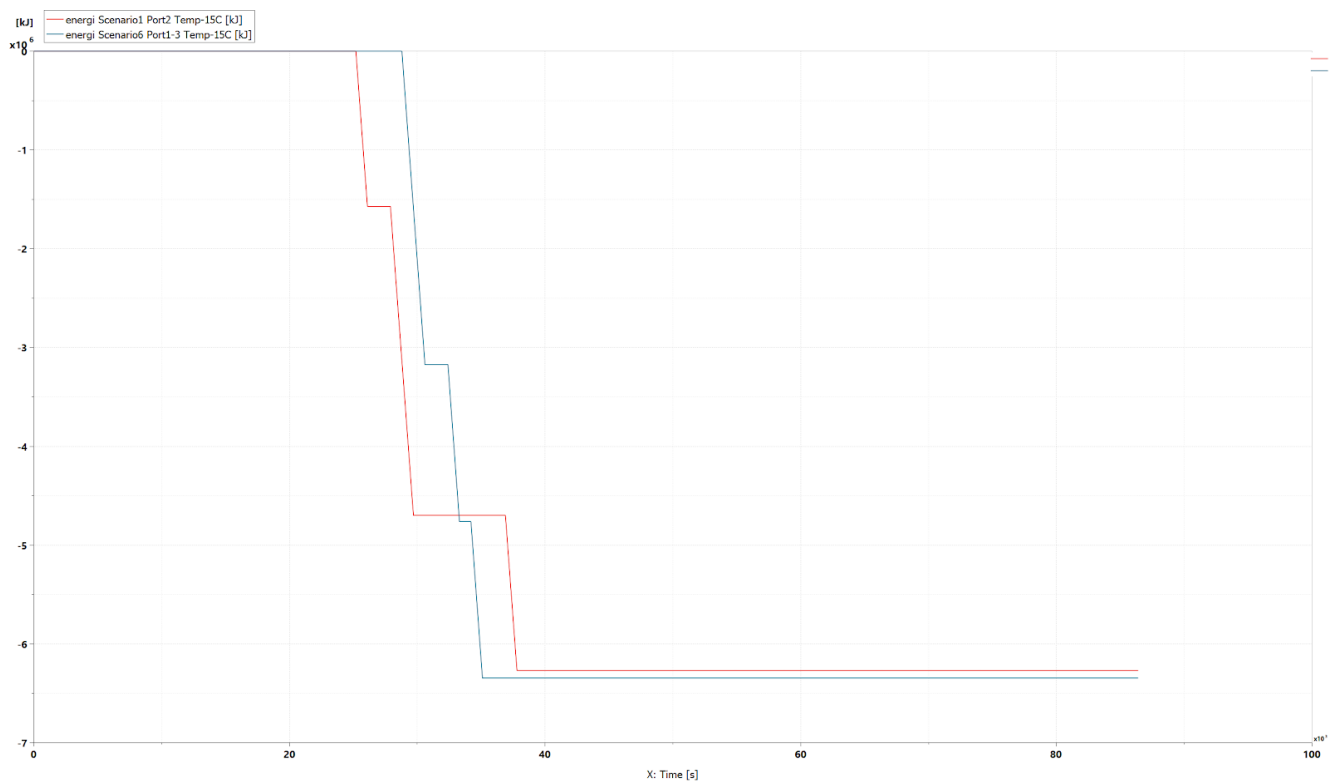
Temperatur diagram för Scenarier 1 och 5:



Figur 36. Jämförelse av temperaturändring mellan port 2 i scenario 1 och port 1&3 i scenario 5 med samma temperatur enligt diagrammet där temperatur är funktionen av tiden.

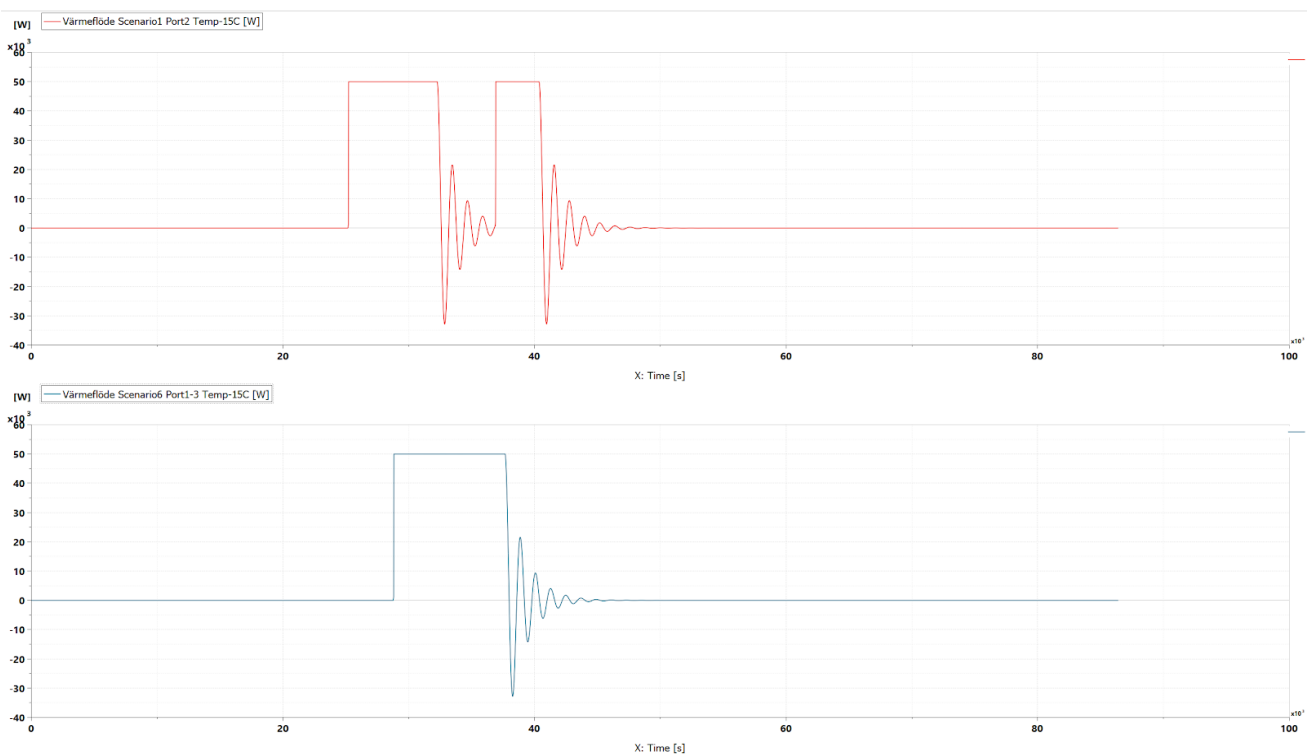
Scenario 1 port 2 öppen och Scenario 6 port 1–3 öppen med samma temperatur -15°C ute)

Energidiagram för Scenarier 1 och 6:



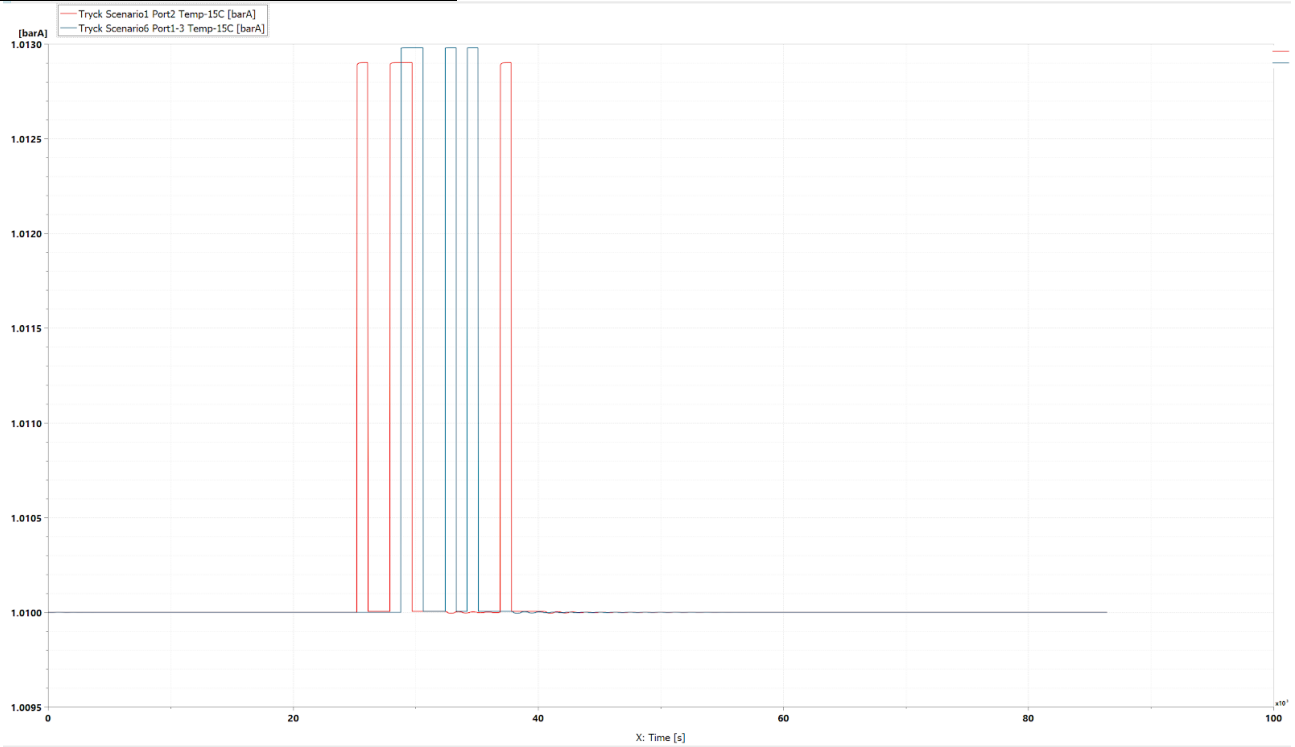
Figur 37. Jämförelse av energiförluster mellan port 2 i scenario 1 och portarna 1–3 i scenario 6 med en temperatur på -15°C där energin är funktion av tiden

Värme-flöde-diagram för Scenarier 1 och 6:



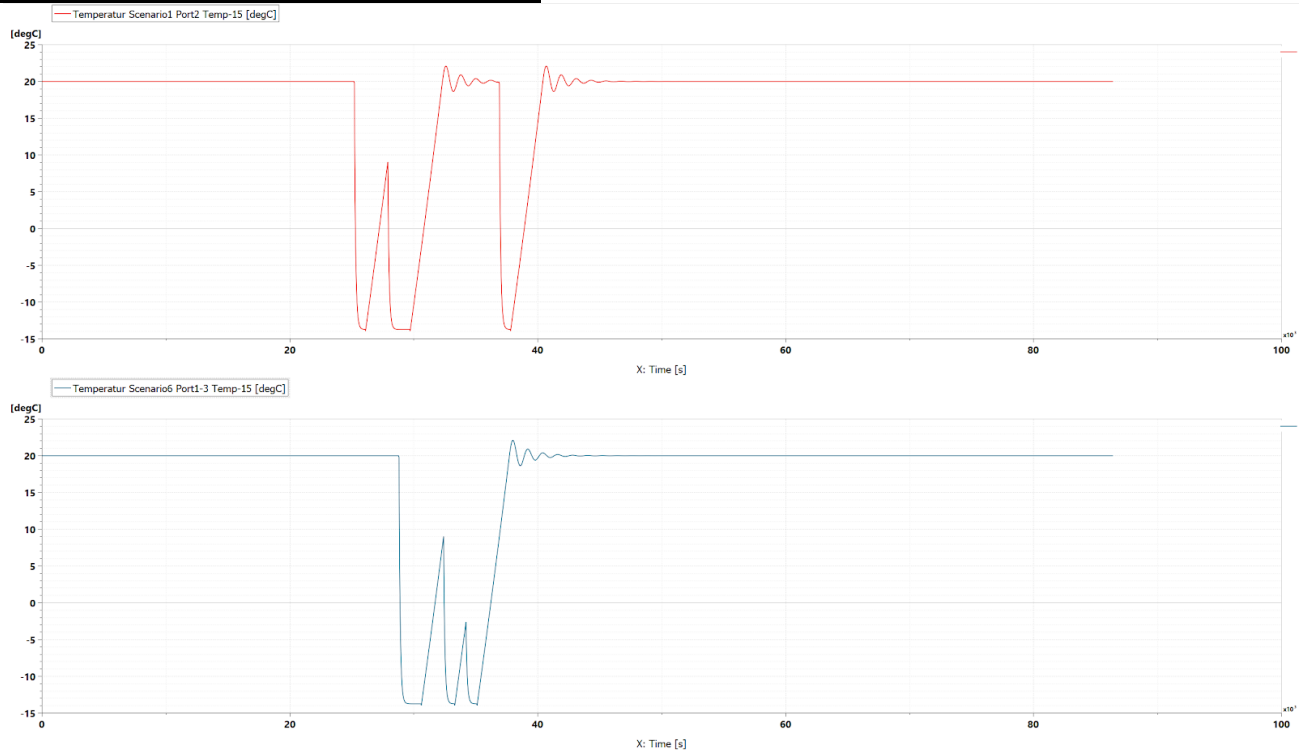
Figur 38. Jämförelse av flödesändring mellan port 2 i scenario 1 och portarna 1–3 i scenario 6 med en temperatur på -15°C där flöden är funktion av tiden.

Tryckdiagram för Scenarier 1 och 6:



Figur 39. Jämförelse av tryckändring mellan port 2 i scenario 1 och portarna 1-3 i scenario 6 med en temperatur på -15°C där trycket är funktion av tiden

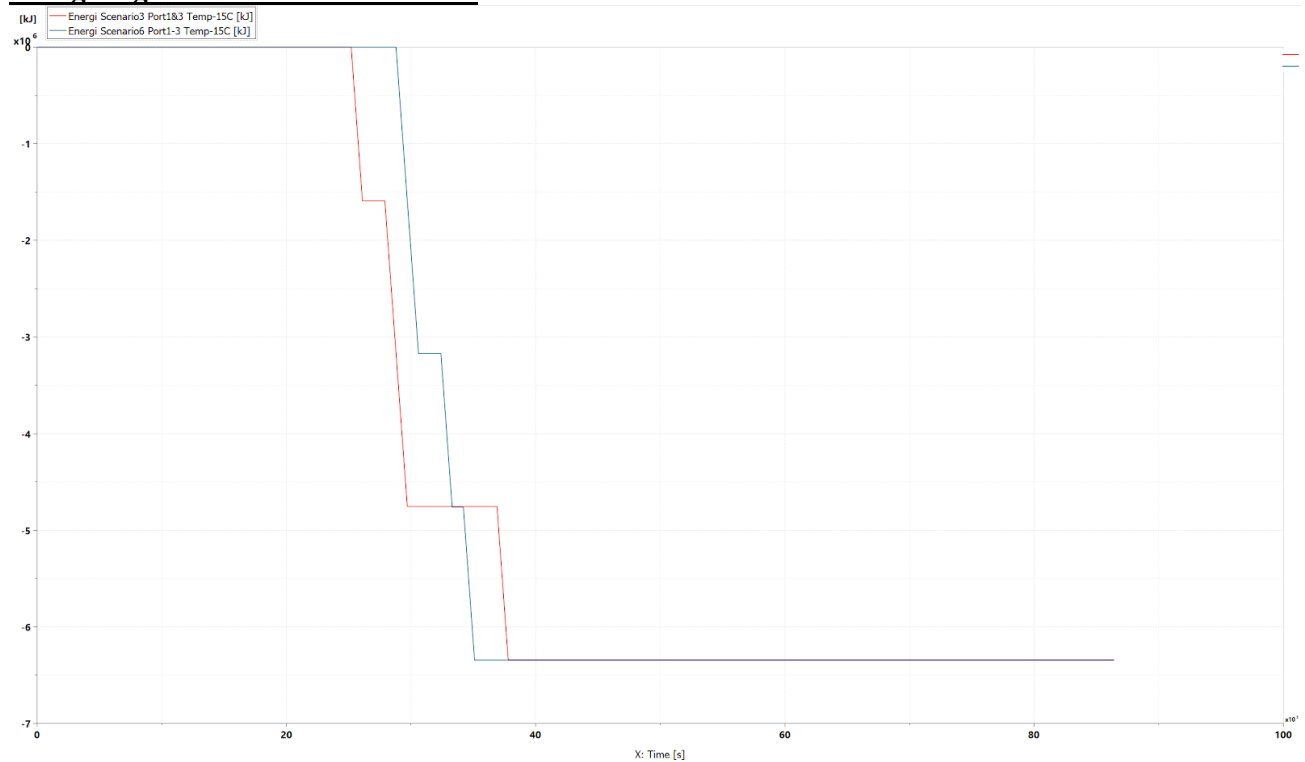
Temperatur diagram för Scenarier 1 och 6:



Figur 40. Jämförelse av temperaturändring mellan port 2 i scenario 1 och portarna 1-3 i scenario 6 med en temperatur på -15°C där temperaturen är funktion av tiden

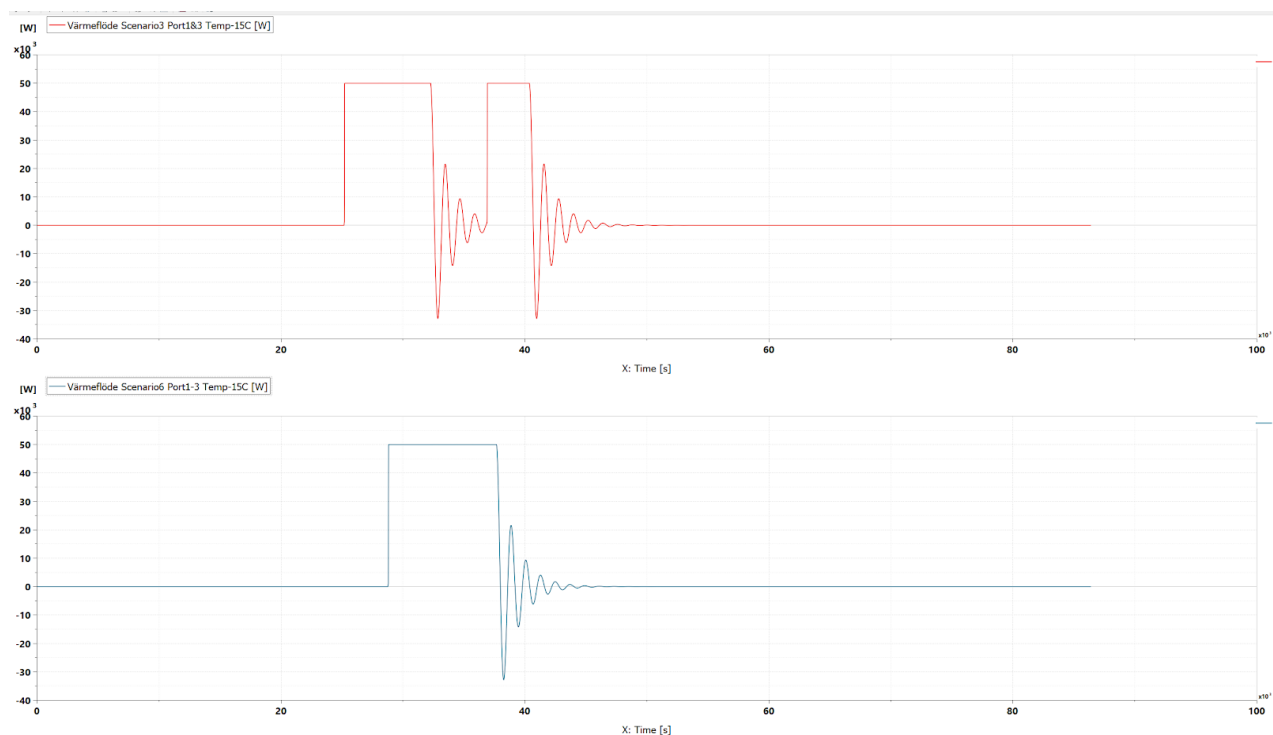
Scenario 3 port 1&3 öppna och Scenario 6 port 1–3 öppen med samma temperatur i både scenario -15°C ute

Energidiagram för Scenarier 3 och 6:



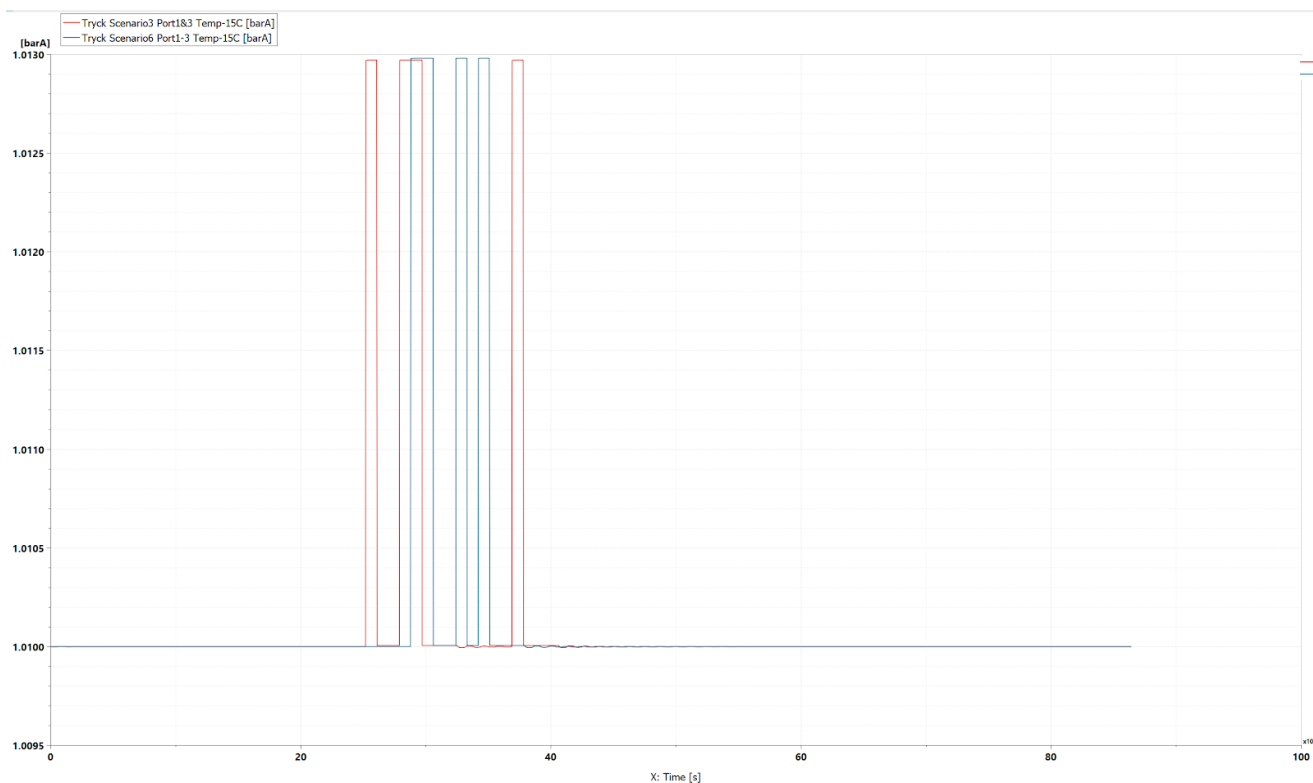
Figur 41. Jämförelse av energiförluster mellan port 1&3 i scenario 3 och portarna 1-3 i scenario 6 med en temperatur på -15°C där energin är funktion av tiden

Värmefflöde-diagram för Scenarier 3 och 6:



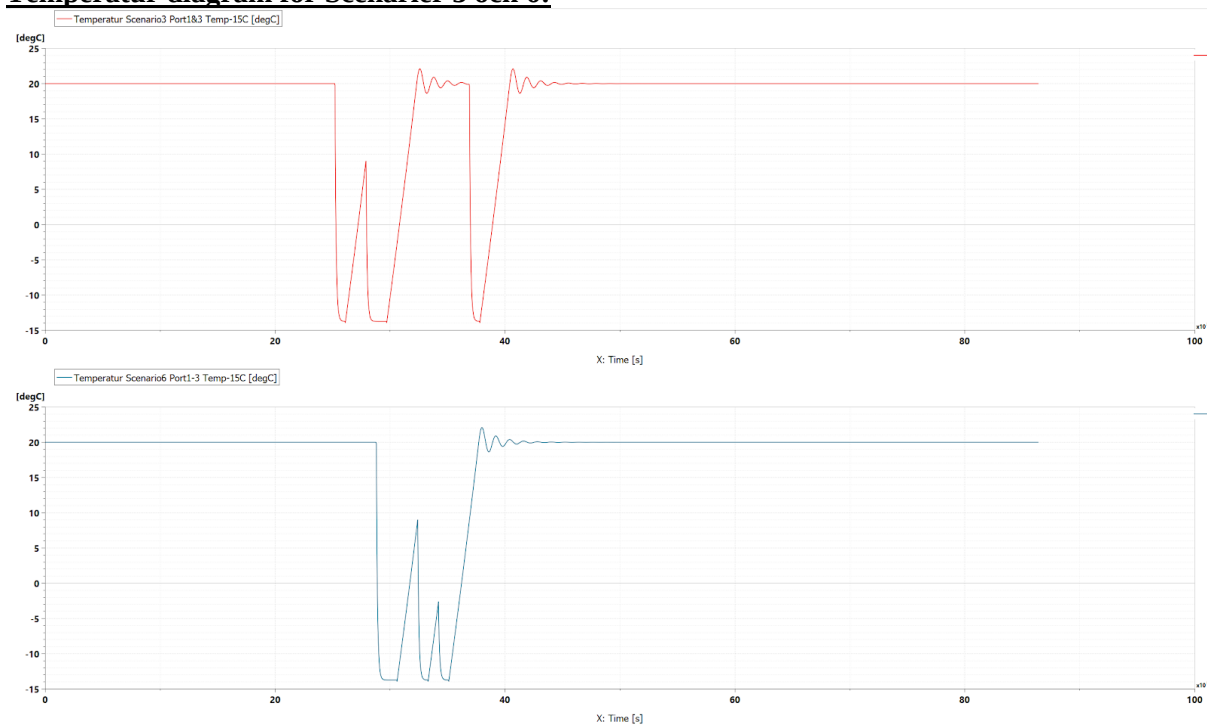
Figur 42. Jämförelse av flödesändring mellan port 1&3 i scenario 3 och portarna 1-3 i scenario 6 med en temperatur på -15°C där flöden är funktion av tiden

Tryckdiagram för Scenarier 3 och 6 :



Figur 43. Jämförelse av tryckändring mellan port 1&3 i scenario 3 och portarna 1-3 i scenario 6 med en temperatur på -15°C där trycket är funktion av tiden.

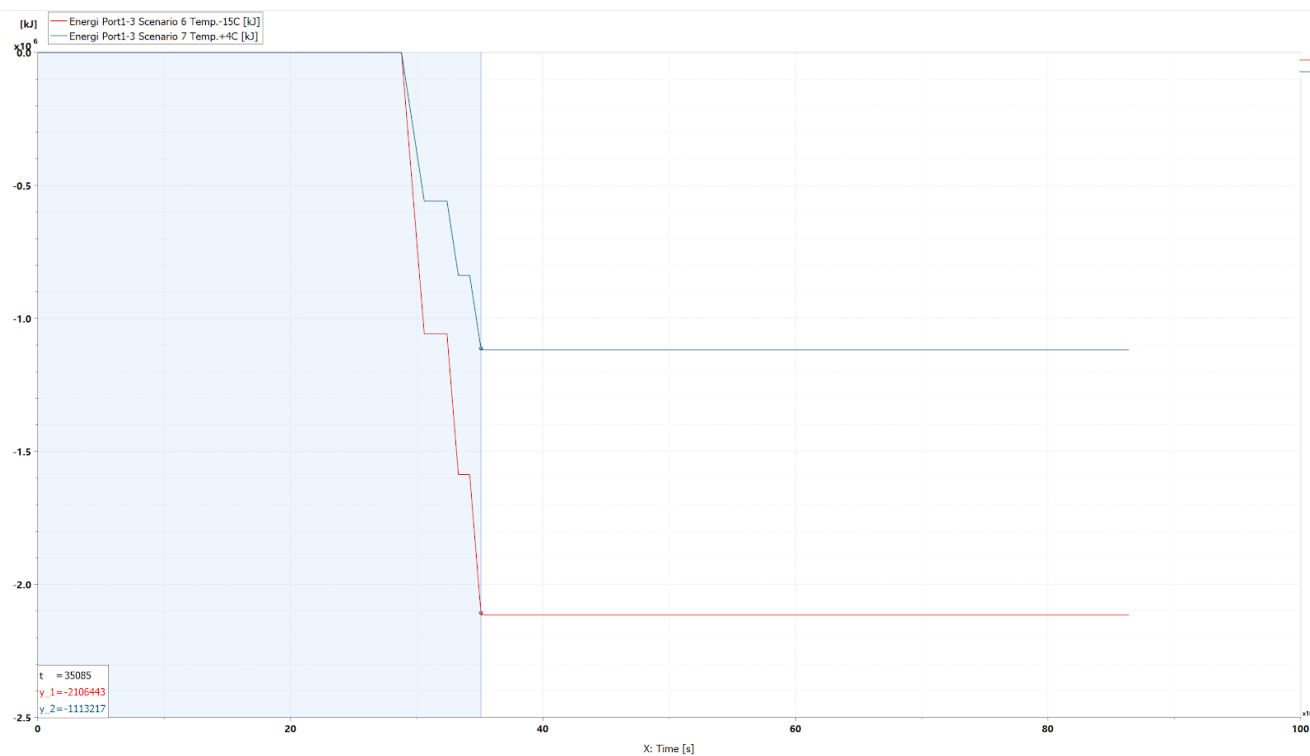
Temperatur diagram för Scenarier 3 och 6:



Figur 44. Jämförelse av temperaturändring mellan port 1&3 i scenario 3 och portarna 1-3 i scenario 6 med en temperatur på -15°C där temperaturen är funktion av tiden.

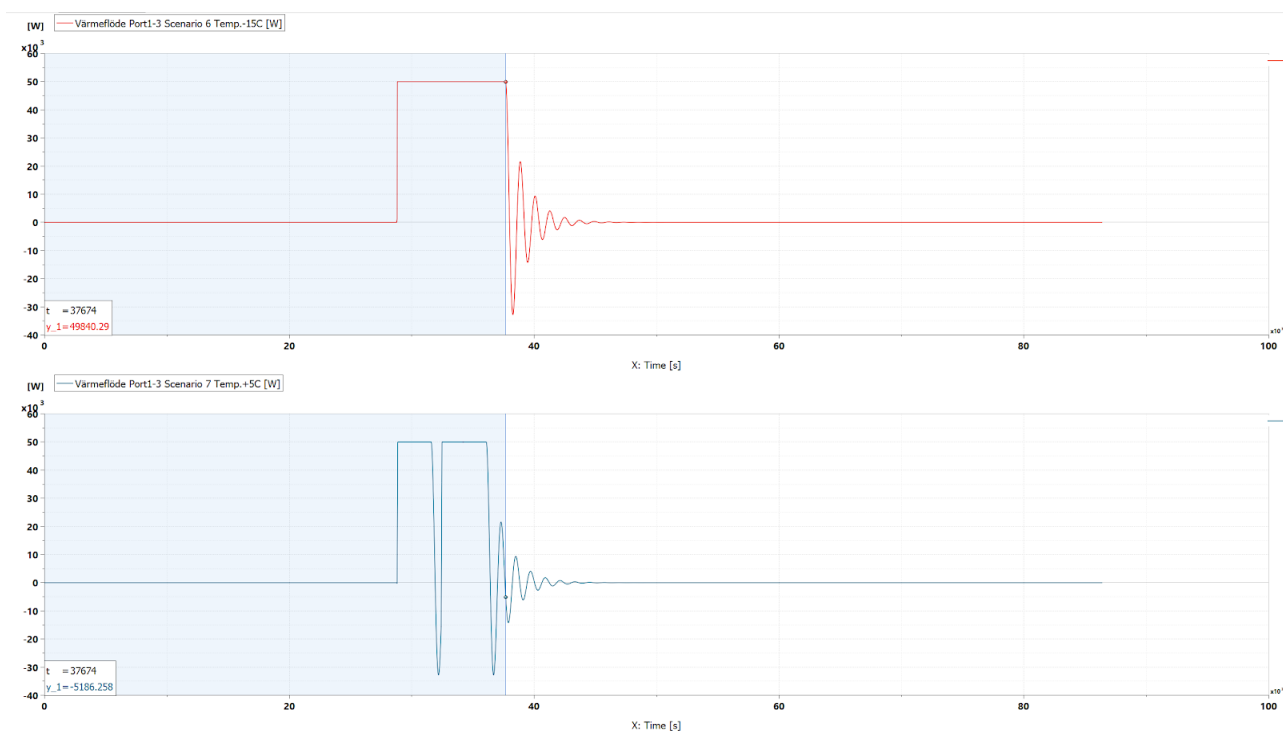
Scenario 6 port 1-3 öppna med -15°C och Scenario 7 port 1-3 öppna med $+5^{\circ}\text{C}$ ute

Energidiagram för Scenarier 6 och 7:



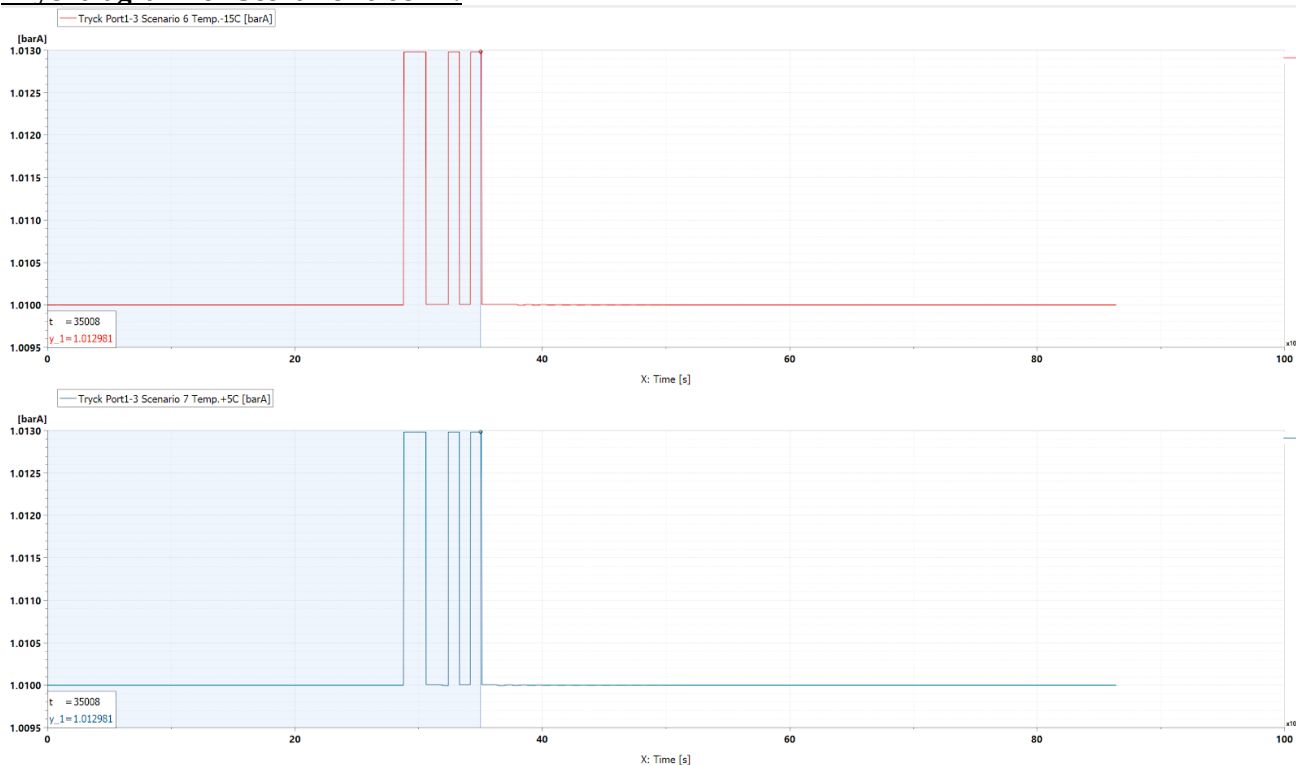
Figur 45. Jämförelse av energiförluster mellan portarna 1-3 i scenario 6 med tempen -15°C och portarna 1-3 i scenario 7 med en temperatur på $+5^{\circ}\text{C}$ där energin är funktion av tiden

Värmefflöde-diagram för Scenarier 6 och 7:



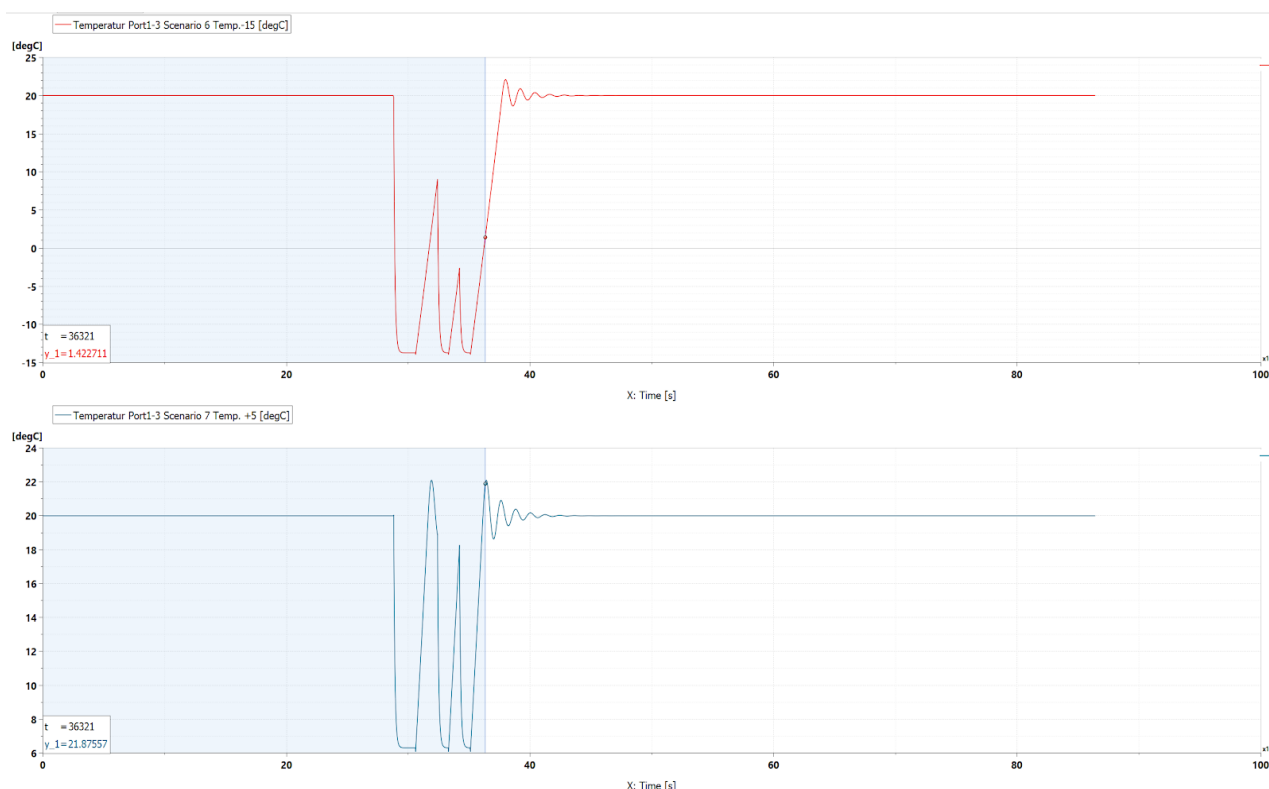
Figur 46. Jämförelse av värme flödesändring mellan portarna 1-3 i scenario 6 med tempen -15°C och portarna 1-3 i scenario 7 med en temperatur på $+5^{\circ}\text{C}$ där flöden är funktion av tiden

Tryckdiagram för Scenarier 6 och 7:



Figur 47. Jämförelse av tryckändring mellan portarna 1-3 i scenario 6 med tempen -15°C och portarna 1-3 i scenario 7 med en temperatur på $+5^{\circ}\text{C}$ där trycket är funktion av tiden

Temperatur diagram för Scenarier 6 och 7:



Figur 48. Jämförelse av temperaturändring mellan portarna 1-3 i scenario 6 med tempen -15°C och portarna 1-3 i scenario 7 med en temperatur på $+5^{\circ}\text{C}$ där tempen är funktion av tiden

4 Diskussion

Modellen som har stimulerats representerar en lagerhall med tre portar. Antal portar kan ökas eller minskas men i denna modell begränsades till tre portar på grund av tidsbrist för simulering och analysen. Under simuleringen skapades olika scenarier med fokus på faktorerna tid som utgångspunkt för temperaturen under dygnet, samt antal portar som öppnas och stängs under de tiderna. Detta för att kunna ha möjlighet att undersöka ändringar i energibortgång, värmefflöde, tryck och temperaturen och se hur de beter sig när de faktorerna ovan ändras. Parametrarna som har tagits upp från modellen vid olika scenarier för analysen är energin, Tryck, temperatur och värmefflöde. Dessa parametrar beskrivs enligt följande.

Energiförlust

Resultatet som har fått från simuleringar när det gäller energiförlusten var uppmärksamhetsväckande eftersom vid undersökning av energiförluster under de olika scenarierna märker man att den följer inte någon förbrukningsmönster t.ex. om man jämför energiförlusten när en port öppnas jämfört med när två eller tre portar öppnas samtidigt kommer man märka att förlusten blir inte dubbelt så mycket som när en port är öppen eller andra alternativen när man öppnar tre portar så blir förlusten inte tre gånger så stor jämfört med när en port öppnas. Däremot genom att läsa av diagrammen för alla jämförelser mellan scenarierna märks att förlusten till och med är mer när det är tre eller två portar är öppna jämförd med en port, men det går inte åt dubbelt så mycket eller tre gånger så mycket energi. Detta kan man se på figur 25 där det visas energiförluster för när en port är öppen, scenario 1, och när två portar är öppna, scenario 3, samt figur 38 som visar energiförlusten när en och tre portar är öppna.

Det finns många anledningar som har påverkan i energiförluster. En av de kan vara solstrålning som inte har tagits hänsyn till under denna undersökning, vilket har orsakats av den begränsade tiden för hela projektet. Dels för att det behövs fler komponenter som skulle tas med i modellen, vilket i sin tur kräver längre tid för utförande av fler

simuleringar, dels att undersökningen var under en vintertid där temperaturen i genomsnitt ligger runt -15°C , dvs. perioder där solstrålning är liten och uppvärmning sker mestadels med hjälp av uppvärmningsmaskiner, exempelvis AC-maskin i detta fall.

En annan faktor som är viktigast av alla andra i detta projekt är trycket i hallen och utomhusmiljön och tryckskillnaden mellan dessa, som har tagits hänsyn till ganska mycket, till och med den huvudfaktor som påverkar förbrukningen i en stor skala. Ett fenomen som syns när man öppnar en port jämfört med två eller tre portar. Utanför hallen är lite högre lufttryck jämför med hallen, 1,013 utanför samt 1,01 bar absolut tryck inne i hallen. Båda är atmosfärstryck till skillnad att inne i hallen eftersom det är stängd och begränsad miljö är den avsedd med 1,01 bar. Eftersom det är tryckskillnad mellan innanför och utanför hallen vid öppning av en port, så fort porten öppnas går en del energi i form av värme ut från hallen och kall luft kommer in. Eftersom det är mindre area för flödets passage genom porten jämfört med två och tre portar så hinner inte hallen närma sig till trycket utanför och då står tryckskillnaden fortfarande och det går mindre energi bort. Däremot om vi har två eller tre portar öppna och flödet inte hinner gå ut genom ventilationen så kommer in mer flöde med kall luft in och trycket vill närma sig till trycket utanför, vilket orsakar att mer energi går bort från hallen.

En sak till som skall nämnas här är ventilationen i hallen som finns som en utgångskanal för flödet som skall ut från hallen. Genom att undersöka de diagrammen ovan (se resultat) märker man att trycket i hallen kommer aldrig jämnas med trycket utsidan. Detta orsakas av den så kallade ventilationskanal som gör att en del av flödet som kommer in förs bort genom den och låter inte trycket i hallen jämnas ut med trycket utanför, därav en viss del energi kvarstår inne i hallen..

Värme flöde

Värme flöde är flödet av värmeenergi som flyter över en yta från en plats till en annan, från en hög till en låg potentialområde, dvs. från hög till låg temperatur. Därför sänks temperaturen i hallen så fort en eller flera portar öppnas och värmeenergin överförs till område eller molekyler med lägre temperatur, i detta fall kall luft som kommer in. Sedan känner temperatursensorn av temperaturen i hallen och sätts värmekälla (=AC-maskinen) igång och börjar producera värmeenergi som sprids till omgivningen för att få temperaturen i hallen till den installerade temperaturnivå vilket syns exempelvis i figur 26 och 28 där man ser att temperaturen sänks och maskinen sätter igång tills önskat värde är uppnått och då den stängs av. Maskinen jobbar mer under tiden när det är mer större temperaturskillnad inne i hallen och jobbar mindre när denna skillnad är mindre.

Tryck

Tryckändring varierar under scenarier som har undersökts enligt data som har använts under resultatavsnittet. Trycket avviker i hallen jämförd med trycket utanför när en port är öppen. Denna avvikelse syns tydligt i diagrammet där scenario 1 och 3 jämfördes (Figur 27). Detta kan bero på inne-och ute randvillkor som har angivits på 1.013 barA och temperaturen -15°C utanför porten och 1.01 barA och $+20^{\circ}\text{C}$ inne i hallen. Luften strömmar in från utemiljö där trycket är högt med en viss hastighet till en innemiljö som har lägre tryck. I diagrammet ser man att när en dörr öppnas då kommer den inre trycket i hallen aldrig jämna ut sig efter flera öppningar och stängning medan när två dörrar öppnas då strömmar in luft med en större volym som leder trycket kommer i hallen jämnar ut sig som atmosfärstrycket. Detta resultat bekräftas där scenario 1 och 6 jämfördes. I den jämförelse hålls temperaturen konstant på -15°C och antal öppna portar ökas med tre portar. I (Figur 39) visas denna skillnad där trycket i den blåa linjen sträcker ut sig till cirka 1.0130 barA efter några öppning/stängning medan den röda linjen skiljer sig 0.0001 barA. Skälet till denna avvikelse är samma resonemang som ovan att luften kommer med en större volym från utemiljön med en högre tryck till hallen med ett lägre tryck. En annan skillnad ser man vid öppning/stängning av alla portar är då tidsintervallet är kortare jämförd med när en port öppnas och diagrammet visar denna trycksvängningarna. Andra faktorer som hade tänkt sig att kunna påverka tryck ändringen var temperaturändring. I scenario 6 och 7 hålls öppet alla portar med en temperaturändring från -15°C till $+5^{\circ}\text{C}$. När alla portar öppnas/stängas samtidigt, trycket i hallen kommer upp till nästa 1.013 barA. Resultatet visade sig i diagrammet (Figur 47) att trycket är oberoende av temperaturändring i hallen.

Temperatur

För värmeflödet är det ett subsystem bestående av två stycken sensorer där en känner av BÖR-värdet och den andra känner av ÅR-värdet och sedan jämförs de med varandra. Sedan skickas avvikelser vidare till PID-regulatorn som är kopplad eller är en del av värmekällan för att återställa hallen till den inlagda temperaturnivån (Bör-värdet). Hela systemet genom PID-regulatorn avsett med +/- 50 kW (Polarpumpen.se) styrs och vill återställa hallen till den avsedda temperaturen.

Jämförelse mellan diagrammen visar att vid portöppning kommer energin i form av värme flöde föras bort från hallen då kall luft med mindre temperatur ersätter den förlorade varma luften och temperaturen i hallen närmar sig till utomhustemperaturen. I samband med när portarna öppnas sätts värmekällan (=AC-maskinen) igång för att återställa inomhustemperaturen till referensnivån, dvs. 20°C. Genom att undersöka temperatur-diagrammen ovan, under resultat, till exempel diagram för figur 28 visar hur temperaturen har återställts under tiden då när utomhustemperaturen är -15°C samt +5°C. Då temperaturen i hallen sänks från 20°C till de nämnda, däremot syns det lite skillnad i tiden för återställning av innetemperaturen som man ser i diagrammen där det visas att det tar längre tid vid -15°C jämfört med +5°C att återställa temperaturen till sitt ursprung. Man kan se även hur uppvärmning av hallen har varit under tiden. I vissa fall till exempel figur 40, första diagrammet, ser man att uppvärmningen har hunnit en del att värma upp hallen till sin referensnivå men i vissa andra fall samma figur, diagrammet nedanför, ser man att uppvärmningen har inte riktigt hunnits ske helt upp till referensnivån, dvs. 20°C och då sker det fler öppningar och stängning av portar, vilket är en självklarhet då hallen kommer igen tappa energi genom porten när den öppnas.

5 Slutsats

Syftet med detta projekt var att undersöka energiförluster speciellt hos industriella anläggningar såsom lagerhall, lasthus där det sker en hel del energislöseri i form av värmeenergi som förs bort från hallen i samband med öppning och stängning av portarna. I fortsättningen av detta arbete begränsades projektet till lagerhallen som uppdragsgivarens beskrivning stod för. Med vägledning och tips från handledaren under arbetet så har bestämts att detta problem skall undersökas i en programvara som är relaterad för just sådana problem och det var Simcenter Amesim. Under simulering uppstod en del problem för just att medlemmarna inte var bekanta med denna programvara dels att de inte har jobbat med det tidigare, dels att Amesime är väldigt bred och avancerat program men en bra introduktion och vägledning av programmet, kom medlemmarna i gång.

Ett av målet med detta arbete var att lära sig något nytt samt kunna få en begripligt förståelse av simulering, i detta fall simulering i programmet Amesime, och vidare kunna tillämpa de kunskaper man har fått under arbetet för att kunna i senare skede förbättra/effektivisera energiförbrukningen i verkligheten. Detta görs för att identifiera de faktorer som är orsaken till mer energiförbrukning, vilket är tryckskillnad, temperaturskillnad mellan två miljöer. Detta examensarbete har haft största fokus på att undersöka dessa faktorer och vilka roller de spelar i processen samt hur de påverkar energiförbrukningen. Detta möjliggjordes att undersöka i programvaran Simcenter Amesim i form av simuleringar. Till följd av detta har olika scenarier skapats och jämförelse analysen av dessa simuleringar har dokumenterats.

Resultat av simuleringarna visade att Simcenter Amesims svar stämmer med verkligheten trots att den förenklade modellen som hade en del avgränsningar där en enkel värmekälla används i stället för en verklig värmekälla (=AC-maskin). Vid analysen framstod det tydligt att tryckskillnad mellan två miljöerna innan- och utanför lagerhallen var den speciellt största påverkande faktorn för energikonsumtionen.

Att göra åtgärder kring denna faktor är helt upp till beslutfattarna i företaget. Däremot finns det några lösningsförslag utifrån undersökningar från detta examensarbete som kan vara till hjälp när ledningen i företaget tar beslut. Ett av dessa förslag är att minska denna tryckskillnad genom att skapa en slags tryck inne i hallen som motsvarar trycket utanför. På så sätt skapar vi en jämnare tryckskillnad mellan dessa miljöer, dvs. trycket i hallen och utanför är ganska lika så blir flödet lägre, vilket gör att inte mycket kall luft kan komma in och mindre molekyler av innemiljön har kontakt med kall

luften och på så sätt mindre konvektion/värmeöverföring under tiden då portarna är öppna och fortsättningsvis mindre energiförbrukning för att värma upp hallen igen.

Ett annat förslag är att minska dimensionen i ventilationskanalen t.ex. minska diametern av den. På så sätt mindre diameter stryper flödet som ska ut från hallen genom denna kanal och trycket i hallen blir högre när porten öppnas och denna tryckskillnad försvinner snabbare. Då betydligt stora mängder ström kommer in och det blir tryckbalans mellan hallen och utemiljön och återigen mindre energi går åt att värma upp hallen igen till referensnivån.

Reglera leveranstiderna så att fler portar kan öppnas samtidigt vilket syns i diagrammet på figur 38 där tre portar är öppna samtidigt jämfört med en port. Då är energiförbrukningen inte tre gånger så stort som när en port är öppen.

I detta arbete har en förenklad modell simulerats som ledde till ett översiktligt resultat om hur mycket energiförluster är under olika scenarier. Vid vidareutveckling av detta projekt kan rekommenderas att skapa en mer bred modell av lagerhallen där fler komponenter är inkluderade såsom fönster med dess komponenter, solstrålning, mer standardisolering m.fl. som har ganska direkt påverkan i energikonsumtionen i lagerhallen. Detta för att få mer noggrant och detaljerat resultat, vilket kan vara närmare till verkligheten.

- Alexander .M.Zhivoa (29 Mars 2021) Energieffektiva luftridåer för industriportar i kallt klimat: hämtad 2021-05-04 från [Energy Efficient Air Curtains for Industrial Gates in Cold Climates | E3S Web of Conferences \(e3s-conferences.org\)](#)
- Anders Arkensted (2021) bilder som visa lasthus och lagerhallar. hämtad 2021-04-09 från [Dimon Systems?](#)
- ASSA ABLOY(2021), lasthus användas för på- och avlastning av gods: hämtad 2021-04-27 från [Lasthus | ASSA ABLOY Entrance Systems](#)
- Chalmers Bibliotek(2021) användes för litteraturstudie: hämtad 2021-04-29 från [Guider - Chalmers bibliotek](#)
- Ekonomifakta (2020) elanvändning i svenska indutri under år 2020: hämtad 2021-04-09 från [Elanvändning - Ekonomifakta](#)
- Andric, Jelena, 'Värmepump&Kylmaskin', Föreläsning 5, slide 8, hämtad 2021-04-15.
- Möller Nielsen (2010) Växthusdörren och dess konstruktion: hämtad 2021-04-27 från [p9_3.pdf \(jordbruksverket.se\)](#)
- Polarpumpen.se, 'Dimensionering av AC och luftkonditionering', <https://www.polarpumpen.se/ac/ac-hemma/kunskapsbank/vilken-ac-ska-jag-kopa/dimensionering>, Hämtad 2021-05-04.
- Xiwang Li,Jim Wen(2014)Energy and Building används för litteraturstudie: hämtad 2021-05-03 från [Review of building energy modeling for control and operation - ScienceDirect](#)
- Yang, Y., Hu, G., & Spanos, C.J.(2020) HVAC energikostander för litteraturstudie : hämtad 2021-05-03 från [HVAC Energy Cost Optimization for a Multizone Building via a Decentralized Approach | IEEE Journals & Magazine | IEEE Xplore](#)
- Çengel, Yunus A., Cimbala, John, Turner, Robert H.; 2017; *Fundamentals of Thermal-Fluid Science*; Upplaga 5 (Fifth edition), Pennsylvania Plaza, McGraw-Hill Education, page 243-244.

**INSTITUTIONEN FÖR
MEKANIK OCH MARITIMA VETENSKAPER
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA**

Göteborg, Sverige 2021
www.chalmers.se



CHALMERS