HÖGSKOLAN DALARNA

Examensarbete

Integrering av groplager i Borlänges fjärrvärmenät

The integration of pit storage in Borlänge's district heating network

Författare:
Presthans Svante Svensson
Adam Höglund
Nivå: grundnivå
Kursnamn: Examensarbete för högskoleingenjörsexamen i energiteknik
Kurskod: EG2004
Högskolepoäng: 15 HP
Handledare: Chris Bales
Institution: Institutionen för information och teknik
Examinator: Johan Heier
Uppdragsgivare: Borlänge Energi
Examinationsdatum: 2025-06-08

Vid Högskolan Dalarna finns möjlighet att publicera examensarbetet i fulltext i DiVA. Publiceringen sker open access, vilket innebär att arbetet blir fritt tillgängligt att läsa och ladda ned på nätet. Därmed ökar spridningen och synligheten av examensarbetet.

Open access är på väg att bli norm för att sprida vetenskaplig information på nätet. Högskolan Dalarna rekommenderar såväl forskare som studenter att publicera sina arbeten open access.

Jag/vi medger publicering i fulltext (fritt tillgänglig på nätet, open access):

Ja ☒ Nej ☐

Abstract:

A majority of today's heating in Sweden is done by district heating. The district heating of the future should follow the energy transition, where sustainable fuels play a key role. The district heating of the future should also be flexible and able to meet heating demands in a cost-effective way.

Pit Thermal Energy Storage, PTES, is a storage method that can be implemented in district heating grids and help in this transformation. Heat storage makes cost optimization possible by replacing expensive production with cheaper stored heat. From a sustainability view, heat storage can also make it possible to replace unsustainable fuels. This study investigates installation of a PTES in the main district heating grid of Borlänge, both fitting placement in relation to the grid as well as an economic analysis. The fuels used for district heating in Borlänge is mainly made up of waste and biofuels, with biofuels expected to rise in price the coming years. The report is limited to only analysing PTES with electric heating, where the storage is used to replace biofuel burning production during favourable conditions.

The results of the study show that heating of PTES with electric heating is not economic at the current prices. Over the last years the price of biofuel has been increasing quickly. From year 2022 to 2024 the price of wood chips in Sweden increased with 76 %. A continued increase of biofuels of 60 % could cause integration of a PTES to lead to savings of around three million SEK per year. The payback period (without discount rate) of the PTES is at least 37 years. With an 80% increase of biofuel prices the payback period is 20 years, which is the expected lifetime of the PTES (about 20 years). These results are based on tests with 30 MW charge and discharge power. Considering the discount rate, the payback period is significantly longer than the lifetime of the PTES. The result is based on the district heating grids production values for 2023 and 2024, as well as the electricity price for the same period. The result is based on a literature study, simulations, and calculations. In the report calculations with different assumptions for biofuels prices is performed.

Simulations show that the maximum charge power and discharge power is limited to 5 MW - 10 MW with current infrastructure. This is because the placement of the storage causes the pressure differences to be the limiting factor. This power limits the usage of the storage as well as its financial viability. Higher discharge power is preferrable because it increases the number of charge cycles. A storage with higher discharge power also gives the grid more resilience during maintenance for other production facilities. The costs/savings is dependent on how the electricity prices as well as the biofuel prices will look like in the future. It is possible to speculate how these prices will change, but one conclusion is that a PTES in combination with electric heating is economically risky at the moment.

Keywords: Pit thermal energy storage, PTES, district heating

Sammanfattning:

En majoritet av uppvärmningen i Sverige sker idag via fjärrvärme. Framtidens fjärrvärme bör efterlikna energiomställningen, där hållbara bränslen har en viktig roll. Framtidens fjärrvärme ska även vara flexibel och säkerställa uppvärmningsbehov på ett kostnadseffektivt sätt.

Groplager är en värmelagringsmetod som kan tillämpas i fjärrvärmenät och bidra till denna omställning. Värmelagring möjliggör kostnadsoptimering genom att ersätta dyr produktion med billigare lagrad värme. Hållbarhetsmässigt kan lagring möjliggöra ersättande av ohållbara bränslen. Denna studie undersöker groplagersinstallation i Borlänges huvudfjärrvärmenät; lämplig placering i nätet samt ekonomisk analys. Borlänges produktionsbränslen för fjärrvärme består till stor del av avfall och biobränslen, de sistnämnda förväntas öka i pris de kommande åren. Rapporten begränsas till att endast analysera lager i kombination med eluppvärmning, där lagret används för att ersätta fjärrvärme producerad med biobränsle under gynnsamma tillfällen.

Studiens resultat visar att uppvärmning av groplager via elpanna inte är ekonomiskt intressant vid dagens priser. De senaste åren har priserna på biobränsle dock ökat i snabb takt. Från år 2022 till 2024 ökade priset på skogsflis, i Sverige, med 76%. En fortsatt ökning av priset på biobränsle på 60% skulle kunna göra att integrering av ett groplager leder till besparingar på cirka tre miljoner kronor per år. Lagret får en rak återbetalningstid på minst 37 år. Vid 80 % ökning av biobränslepriset är återbetalningstiden lägst 20 år, vilket motsvarar den förväntade livslängden på lagret, cirka 20 år. Dessa resultat är baserade på tester med effektuttag på max 30 MW. Vid hänsyn till kalkylränta är återbetalningstiden betydligt längre än lagrets livslängd. Resultatet är baserat på fjärrvärmenätets produktionsvärden för åren 2023 och 2024, samt elpriset för samma period. Resultatet baseras på en litteraturstudie, simuleringar och beräkningar. I rapporten presenteras beräkningarna med antaganden för biobränslepriser.

Simuleringar med Netsim visar att lagrets maximala laddning och urladdningseffekt begränsas till 5 MW - 10 MW med den befintliga infrastrukturen. Detta beror på att den valda placeringen av lagret gör att differentialtrycken i nätet blir den begränsade faktorn. Dessa effekter begränsar lagrets användning samt försämrar lagrets lönsamhet. Högre urladdningseffekter föredras eftersom det höjer antalet laddcykler. Ett lager med högre urladdningskapacitet ger även nätet mer resiliens vid driftunderhåll för övriga produktionsanläggningar. Kostnaden/besparingen är beroende på hur elpriset såväl som biobränslepriset ser ut i framtiden. Det går att spekulera kring hur dessa priser kommer att ändras men en slutsats är att en groplagerinvestering i kombination med el är riskabel i nuläget, utifrån ett ekonomiskt perspektiv.

Nyckelord: Groplager, fjärrvärme

Förord:

Studien är ett examensarbete på 15 hp och är det avslutande momentet inom ”Högskoleingenjörsprogram i hållbara energisystem” vid Högskolan Dalarna. Vi vill tacka Tina Lidberg och Borlänge Energi som möjliggjort denna studie och bidragit med relevant information gällande Borlänges fjärrvärmenät. Vi vill också tacka vår handledare Chris Bales från Högskolan Dalarna som bidragit med stöd och synpunkter, både kring rapportskrivandet och arbetets inriktning.

Adam Höglund och Presthans Svante Svensson
Juni 2025 Högskolan Dalarna

Förkortningar

Förkortning	Beskrivning
kr	Kronor (svenska)
KV	Kvarnsveden
BL	Bäckelund

Innehållsförteckning

1. Introduktion 1

1.1 Bakgrund....2

1.2 Syfte....5

1.3 Frågeställning....5

1.4 Avgränsningar....5

2. Litteraturstudie 6

2.1 Borlänges fjärrvärmenät....6

2.2 Flöden och tryckfall i fjärrvärmenät....9

2.3 Groplager....10

2.4 Placering i förhållande till geologin....12

2.5 Placering i förhållande till nätet....14

2.6 Biobränslepriser....14

3. Metod 15

3.1 Metod Teori....15

3.2 Identifiera platser för lagerplacering....19

3.3 Simulering i Netsim....19

3.4 Beräkningar Excel....20

4. Resultat 24

4.1 Placering av lagret....24

4.2 Simulering Netsim....27

4.3 Beräkningar....29

4.3.1 Sparande direkt till nätet....29

4.3.2 Beräkningar Lager....30

5. Diskussion **37**

5.1 Diskussion resultat 37

5.1.1 Placering av lagret 37

5.1.2 Simulering Netsim 37

5.1.3 Beräkningar 38

5.2 Metodtillämplighet/felkällor 41

5.3 Förslag till fortsatt arbete 42

6. Slutsats **43**

7. Referenser **44**

8. Bilaga 1 **47**

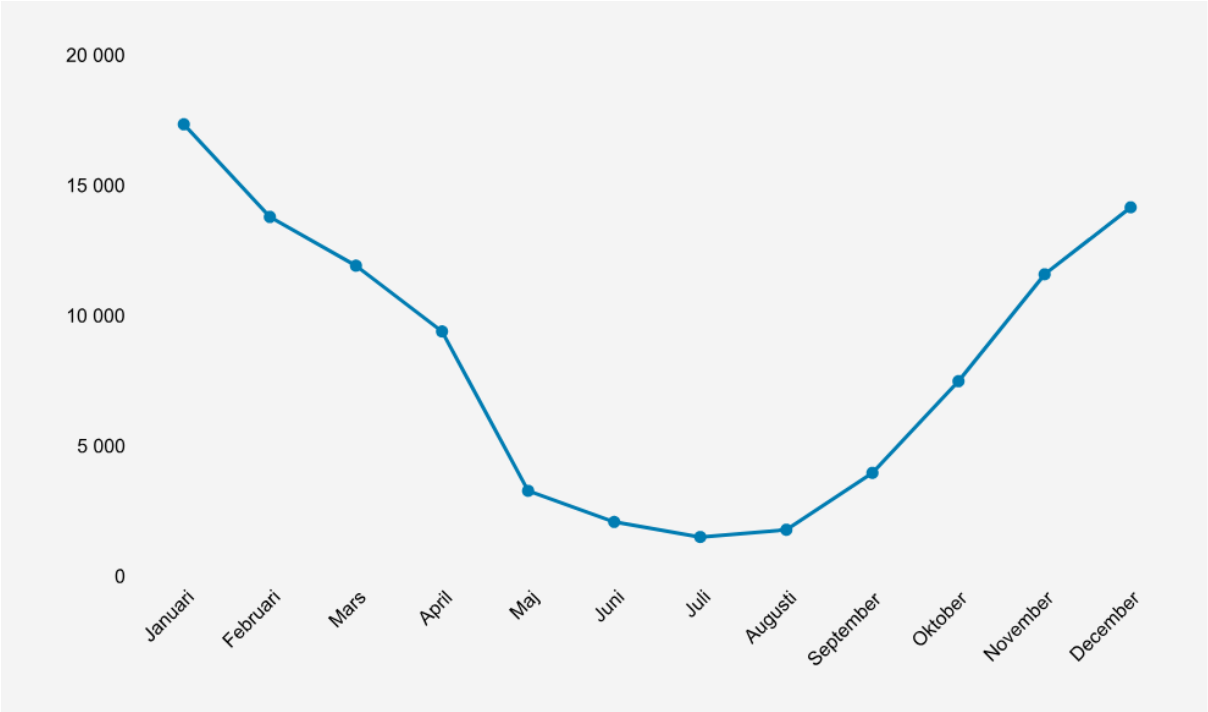
1. Introduktion

Borlänge fjärrvärmenät använder huvudsakligen avfall och biobränsle, i form av flis, för uppvärmning av sitt fjärrvärmenät. Priset för biobränsle har ökat markant de senaste åren. Borlänge fjärrvärmenät har även en elpanna på 40 MW som sällan används. Beroende på priset av biobränsle, i förhållande till elpriset, kan en ökad användning av denna elpanna vara intressant. I dagens elmarknad kan priserna variera kraftigt, timme till timme. Trots att uppvärmning med elpanna kan vara förhållandevis dyrt, sett under längre tidsperioder, finns det möjlighet att ta vara på låga timpriser. De låga priserna uppstår oftast på sommaren när behovet av fjärrvärme är lågt. Då dessa låga timpriser inte överensstämmer med behovet så finns anledning att spara denna energi. Ett sätt att lagra denna energi i form av värme, är i ett groplager. Denna rapport undersöker vilka besparingar detta kan ge i Borlänge fjärrvärmenät, beroende på hur priset för biobränsle utvecklas.

1.1 Bakgrund

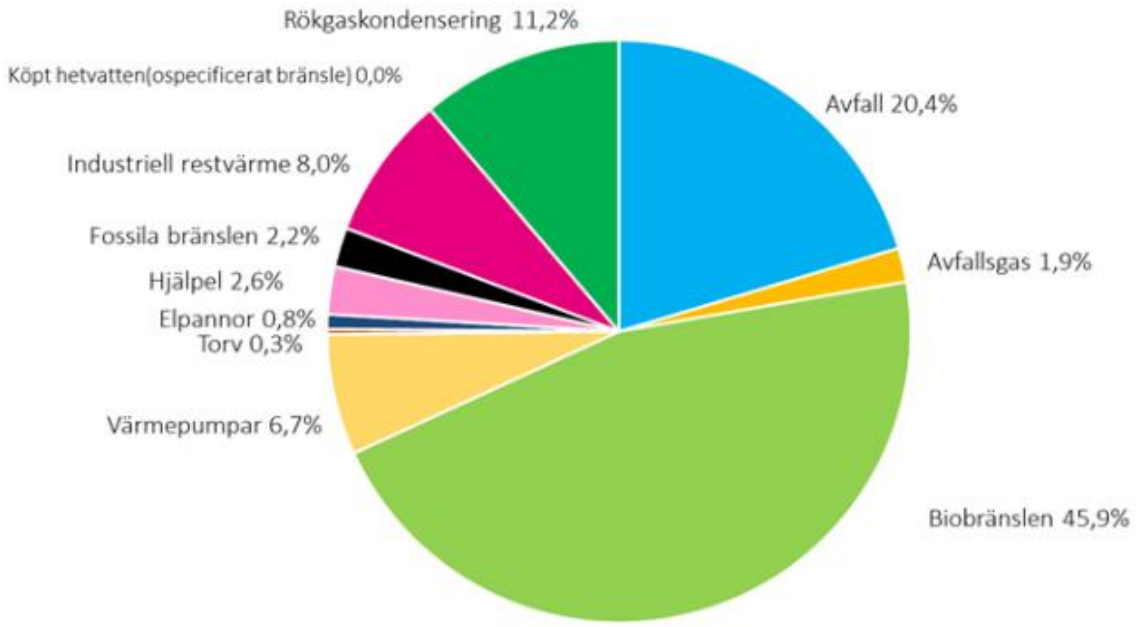
Fjärrvärme står för drygt 50 % av uppvärmningen av bostäder och lagerlokaler i Sverige, med 45,8 TWh av 77 TWh, enligt Energimyndigheten [1]. Då fjärrvärme levererar en majoritet av uppvärmningen, har dess effektivisering en markant inverkan på konsumenters uppvärmningskostnad samt Sveriges klimatpåverkan.

Uppvärmningsbehoven är stora under vintersäsongen i förhållande till sommarmånaderna när det knappt krävs någon uppvärmning, se figur 1 [2]. Detta gör att överskottsvärme under sommarperioden inte kan utnyttjas på samma sätt som under vinterperiod. Vid varierande utomhustemperaturer ändras också temperaturen på vattnet i fjärrvärmeledningarna; temperaturen för framledning varierar mellan 70 – 120 °C [3]



Figur 1: Fjärrvärmeförbrukningen i megawattimmar under 2024 för villor i Borlänge [2].

Omställningen till mer förnybara energikällor blir allt viktigare. Dagens fjärrvärme använder stor andel biobränsle för fjärrvärmeproduktion, Sveriges bränsleblandning visas i figur 2 [4]. Trender visar på att biobränslepriserna stiger, på grund av ökad efterfrågan från andra industriella processer [5].



Figur 2: Bränsleblandning för Sveriges fjärrvärmeproduktion 2024 [4].

Energin från avfall täcker också stor andel av fjärrvärmeproduktionen. Vid avfallsförbränning återvinns avfallets energi, i stället för materialet. Problemet med avfall för fjärrvärmeproduktion är att framtidens avfallsmängder är svåra att förutspå, däremot förväntas materialåtervinngen öka [6]. Detta resulterar i att mindre andel av det totala avfallet kan utnyttjas till förbränning. Avfallet som förbränns innehåller också plast vilket ger fossila utsläpp och går emot de klimatmål om fossilfrihet som eftersträvas.

Vid behov så används topplastanläggningar/reservpannor för att producera ytterligare värme än vad basproduktionen i fjärrvärmesystemet klarar av. Denna fjärrvärmeproduktion är varken lönsam eller klimatvänlig eftersom dessa anläggningar har högre utsläpp än basproduktion [7]. Bränslet som eldas i dessa anläggningar är dyrt samtidigt som kostnader för underhåll och uppstart av panna tillkommer [7].

Utmaningar för framtidens fjärrvärmesystem är att hålla nere produktionskostnaderna och samtidigt ställa om till mer hållbara och förnybara energikällor [5]. Värmelagring i fjärrvärmenät är en metod som kan bemöta dessa utmaningar.
Fjärrvärmeproduktionskostnader varierar under året [8] [9]. De skiljer sig också beroende på bränsletyp. Från ett ekonomiskt perspektiv kan värmelagring användas, för att lagra värme när produktionskostnaden är lägre. Lagringen kan sedan ersätta dyrare värmeproduktion. Detta utbyte kan ske via korttidslagring (dygnslagring) eller säsongslagring (månadslagring).

Ur ett hållbarhets-/miljöperspektiv kan säsongsvärmelagring utnyttja överskottsvärme från sommaren för att hjälpa till att täcka det ökade uppvärmningsbehovet under vintermånader [10]. Värmelagring inom fjärrvärmenät kan därmed bidra med större andel hållbara produktionsbränslen, beroende på vilken källa som lagras och vilket bränsle som ersätts.

Korttidslager och säsongslager skiljer sig i värmemängden som lagras [10]. Säsongslager rymmer större mängd värme och betraktas som storskalig värmelagring. Groplager är en storskalig lagringsteknik, som på senare år har uppmärksammats för dess potential i kombination med fjärrvärmenät [11]. I denna rapport kommer groplagers potential för Borlänges fjärrvärmenät att utvärderas.

1.2 Syfte

Huvudsyftet med projektet är att identifiera lämpliga platser för groplager samt undersöka placeringen i anslutning till Borlänges fjärrvärmenät. Rapporten undersöker lämplighet för placering i förhållande till nätet, men även i förhållande till marken och kommunens planer. Utifrån placeringen undersöks potentialen för besparingar genom användning av el för uppvärmning av groplager, vid låga elpriser.

1.3 Frågeställning

- Var i Borlänges fjärrvärmenät är det lämpligt att ansluta ett groplager**?**
- Hur begränsas lagret av placeringen och den befintliga infrastrukturen? Vilka flöden och effekter kan laddas till/urladdas från lagret?
- Hur påverkar priset på biobränsle en investering i groplager för värmelagring via uppvärmning med elpanna?

1.4 Avgränsningar

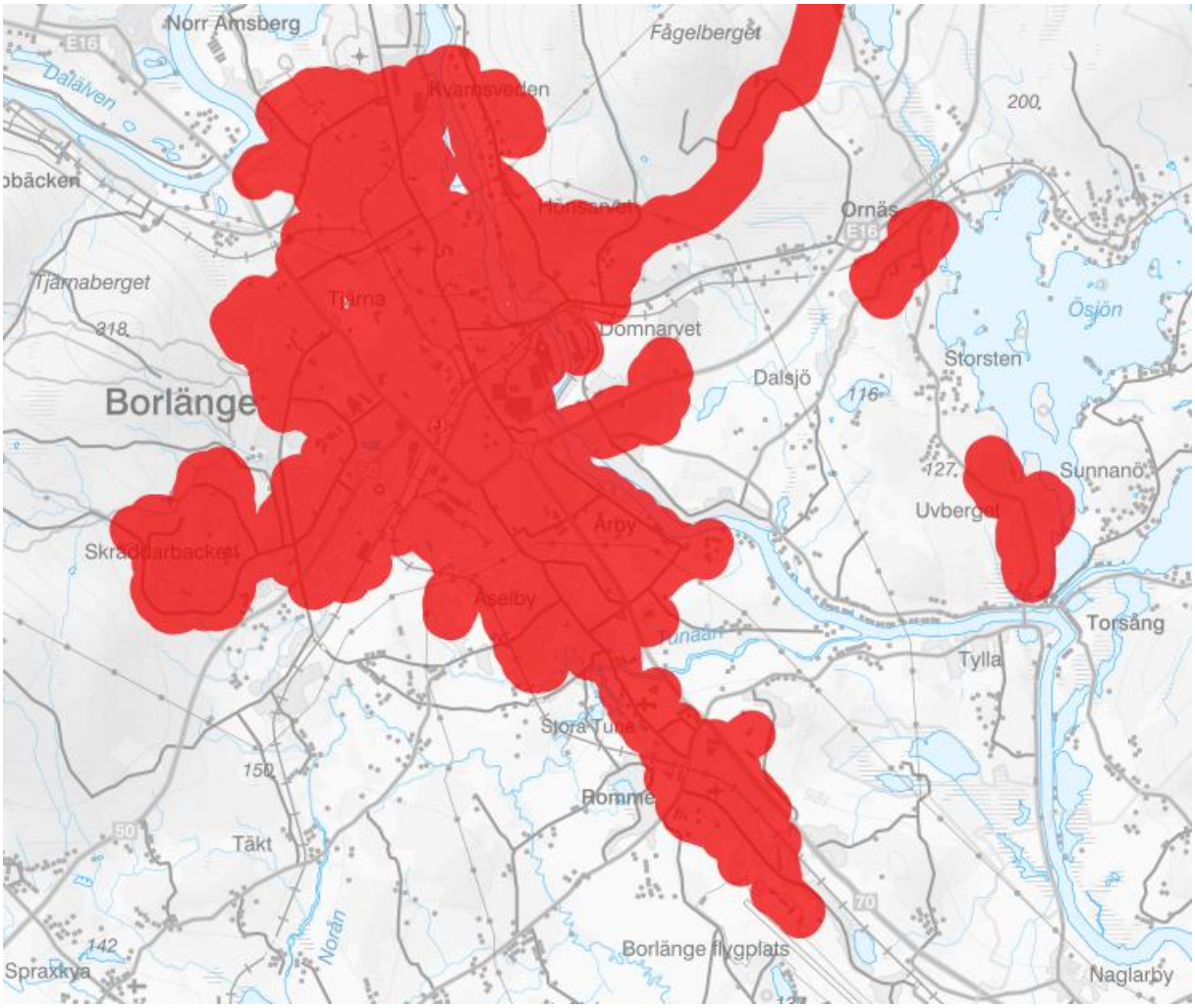
I denna studie kommer integration av groplager för Borlänge Energis huvudsakliga/största fjärrvärmenät att analyseras. Groplagret kommer endast att analyseras i kombination med elpanna för laddning.
Faluns nät är inte inkluderat, dock kan anslutningsrören mellan Falun och Borlänge vara en aktuell anslutningspunkt för groplager. Fjärrvärmenäten vid Ornäs och Torsång är inte inkluderade i denna studie.
Placeringen är gjord med avseende på kommunala och statliga planer, dock tas inte hänsyn till privata företag eller föreningar. Inga geologiska undersökningar utförs.

Resultaten baseras på timvärden från Borlänges fjärrvärmeproduktion för åren 2023 och 2024. Resultatet räknar med elpriset (spotpris och skatt) för 2023 och 2024. Resultatet tar inte hänsyn till att elpriset kan ändras. Övriga elkostnader bortses från. Ränta bortses från vid beräkning av återbetalningstiden.

2. Litteraturstudie

2.1 Borlänges fjärrvärmenät

Borlänges fjärrvärmenät producerar årligen cirka 450 GWh - 500 GWh fjärrvärme. Fjärrvärmenätets uppbyggnad visas förenklat i figur 3. Produktion från nätets anläggningar 2023 och 2024 visas i tabell 1 och tabell 2. Det stora nätets produktion kommer huvudsakligen från Kvarnsveden och Bäckelund och en liten andel kommer från SSAB:s spillvärme. Utöver huvudnätet så producerar Borlänge Energi fjärrvärme i två separata nät: Ornäs och Torsång.



Figur 3: Fjärrvärmenäten i Borlänge. Karta förenklad av säkerhetsskäl. Karta tillhandahållen av Borlänge Energi.

Tabell 1: Produktion för värmeproducenter och individuella pannor 2023. Data tillhandahållen av Borlänge Energi.

Anläggning	**Volym (GWh)**	**Andel (%)**	**Bränsle**
Kvarnsveden Panna 8	273	52	Biobränsle
Bäckelund Panna 7	194	37	Avfall
Bäckelund Panna 6	30	6	Avfall
SSAB	18	3	Spillvärme
Övrigt	11	2	
Totalt	**521**	**100**	

Tabell 2: Produktion för värmeproducenter och individuella pannor 2024. Data tillhandahållen av Borlänge Energi.

Anläggning	**Volym (GWh)**	**Andel (%)**	**Bränsle**
Kvarnsveden Panna 8	241	50	Biobränsle
Bäckelund Panna 7	192	40	Avfall
Bäckelund Panna 6	12	2	Avfall
SSAB	17	4	Spillvärme
Övrigt	20	4	
Totalt	**482**	**100**	

Borlänges nät har en koppling till Faluns nät där import/export av värme mellan städerna kan säkerställa behov och optimera produktionskostnader. Rörledningen är 20 km och har en kapacitet på 30 MW. Vanligtvis exporterar Borlänge mer än vad de importerar från Falun, se tabell 3.

Tabell 3: Import och export för Borlänge Energi från Falun. Data tillhandahållen av Borlänge Energi.

År	Export (GWh)	Import
2019	50	3
2020	31	14
2021	36	11
2022	27	22
2023	53	7
2024	17	1
Snitt / år	36	10

Kvarnsveden

Kvarnsvedens panna 8 togs över av Borlänge Energi för att kompensera för den spillvärme som försvann i och med stängningen av Kvarnsvedens Pappersbruk. Pannan byggdes för pappersbruket och är därför överdimensionerad för användning direkt för fjärrvärme, vilket leder till att topplastanläggningar/reservpannor sällan används, i stället eldas mer biobränsle. Panna 8 har en verkningsgrad på cirka 90%.

Tabell 4: Effekt och bränsle för pannorna i Kvarnsveden. Data tillhandahållen av Borlänge Energi.

Panna	Effekt (MW)	Bränsle	Användning
Panna 8 (2004)	130	Biobränsle	Ja
Panna 7 (1983)	35	Biobränsle	Sällan
Panna 7, reserv (1983)	99	Biobränsle/Olja	Sällan
Elektrisk	40	El	Sällan

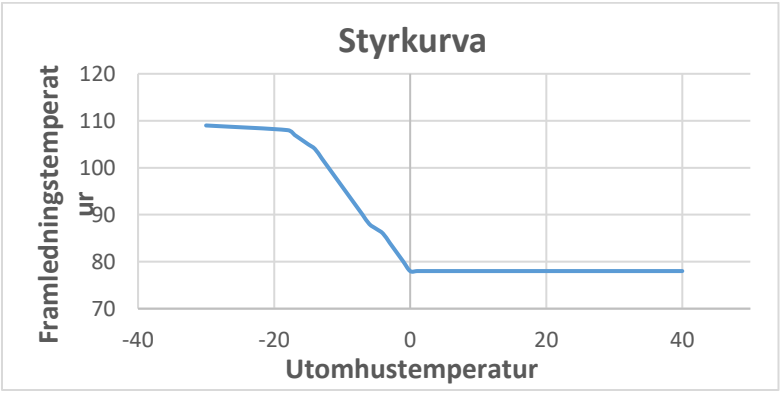
Bäckelund

I Bäckelund eldas främst avfall. Avfallet kommer från Borlänge samt närliggande områden, i perioder köps det in mer avfall utifrån. I Bäckelund finns även en ackumulatortank som används för korttidslagring i nätet.

Tabell 5: Effekt och bränsle för pannorna i Bäckelund. Data tillhandahållen av Borlänge Energi.

Panna	Effekt (MW)	Bränsle	Användning
Panna 7 (2009)	23	Avfall	Ja
Panna 7, Elektrisk	7	El	Sällan
Panna 6 (1983)	15	Avfall	Ja
Oljepannor, reserv	100	Olja	Nej/sällan

Framledningstemperaturen i fjärrvärmeledningarna varierar mellan 78 °C och 109 °C beroende på utomhustemperaturen, vilket visas i figur 4.



Figur 4: Styrkurvan i fjärrvärmenätet. Data tillhandahållen av Borlänge Energi.

2.2 Flöden och tryckfall i fjärrvärmenät

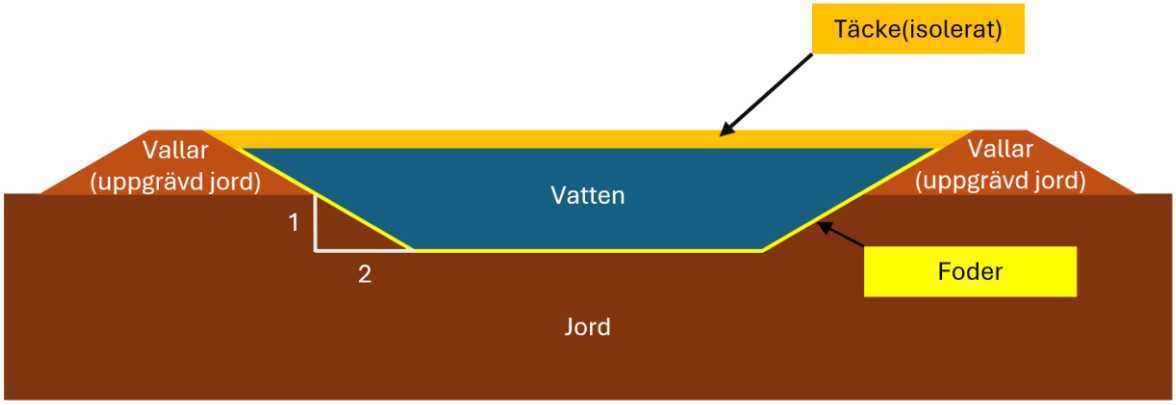
Tryck, flöden och flödeshastigheter i fjärrvärmenät kan skilja sig åt. Riktlinjer för differentialtryck (skillnaden i tryck mellan framledningsrör och returledningsrör) är mellan 1 bar och 6 bar [12], gärna en övre gräns vid 4 bar - 5 bar eftersom ledningarna kan orsaka ljudstörningar [13]. Detta kan kräva ytterligare åtgärder. Dessa riktlinjer är för flödeshastigheter vid 1 m/s - 3 m/s [12]. Låga flödeshastigheterna innebär att rördimensionerna behöver vara större för att framleda samma mängd vatten som mindre rör med högre hastighet [12]. Detta innebär högre materialkostnad. Nackdelar med högre flödeshastighet är högre friktionsförluster, mer erosion samt att pumpar belastas mer vilket ger högre pumpkostnader [12].

Trycket i ett fjärrvärmenät påverkas av nätets laster, då flödet ändras utifrån konsumtionen [12]. Utöver konsumentbehovet påverkar nätets produktionsanläggningar (produktionsvolym och placering) och höjdskillnader trycket i olika delar av nätet [12].

2.3 Groplager

Groplager är en lagringsmetod som huvudsakligen används i Danmark och Tyskland i kombination med fjärrvärmesystem [13]. Det används främst för säsongslagring av stora mängder värme även om det kan användas på kortare tid vid behov [13]. I fjärrvärmenät kan groplager användas för att ersätta delar av värmeproduktionen vintertid med lagring av överskottsvärme från sommaren. Detta kan bidra med lägre produktionskostnader genom att ersätta topplastproduktion med billigare lagrad värme [14].

Groplager är i grunden okomplicerade. Jensen och Nielsen [15] beskriver groplagers uppbyggnad som en vattentät grop täckt med ett isolerande lager. I praktiken krävs dock en mer detaljerad design för att säkerställa groplagrets funktionalitet över tid. Den enklaste och billigaste designen av groplager är i formen av en uppochnervänd pyramid med platt topp, som presenteras i figur 5 [15]. Genom att använda den uppgrävda jorden för att konstruera vallarna kan jordtransporter minimeras och därmed även kostnaden [15].



Figur 5: Illustration av groplager i tvärsnitt baserat på *[15] [16]*.

Foder och täcke

Groplager använder foder för att minimera vattenflöde till/från den intilliggande marken. Vattenflöde måste minimeras för att undvika energiförluster. Valet av foder har stor påverkan på lagrets vattengenomtränglighet samt dess livslängd [15]. Jensen och Nielsen delar upp fodren i tre huvudkategorier: polymer, elastomer och metall. De sammanfattar skillnaderna mellan de tre kategorierna som att polymer och elastomer är billigare än metall men att metall har längre livslängd och lägre vattengenomtränglighet.

Enligt Jensen och Nielsen är det vanligaste fodret polymer som polypropen (PP) och polyeten (PE) på grund av dess enkla installation samt låga kostnad för både material och installation. Jensen och Nielsen påpekar att polymer presterar sämre vid höga temperatur, då de snabbt ger högre vattengenomtränglighet. Höga temperaturer kan markant minska livslängden hos polymerfoder och permanent höja vattengenomträngligheten genom att tvinga ut tillsatser [15]. Jensen och Nielsen pekar på data från Danska Tekniska Institutet som kan ge en uppskattning av livslängden för olika foder, där de bästa resultaten ges av högdensitetspolyeten (HDPE) foder. Jensen och Nielsen menar att dessa resultat motsvarar över 20 år i ett typiskt groplager, sammankopplat med ett solvärmesystem. Elastomer som etenpropengummi (EPDM) klarar av högre temperaturer än PP och PE och kan användas över 90 °C [15]. EPDM har dock högre vattengenomtränglighet och installationskostnad än HDPE. Metallfoder är vattentäta och klarar mycket höga temperaturer, men har en högre kostnad för material samt installation [15]. Vid användning av metallfoder måste hänsyn tas till risken för korrosion, huvudsakligen på jordsidan av groplagret där vattenkemin är svårare att reglera [15].

Enligt en rapport från 2022 var metallfoder den äldre typen av foder som har blivit allt ovanligare då kostnaden för polymerfoder blivit billigare [17]. Rapporten framhäver dock att det finns exempel från ett projekt i Rottweil där offerter gav samma kostnad för ett metallfoder på 0,5 mm som för ett tjockare polymerfoder. Rapporten drar därmed slutsatsen att det krävs nya metoder, med hänsyn till olika krav för lagret, för att undersöka det optimala fodret i vart fall.

Ett annat viktigt val vid konstruktion av ett groplager är hur täcket ska konstrueras. Täcket är en viktig del av isoleringen då det översta lagret även är det varmaste och därmed har täcket stor inverkan på groplagrets värmeförluster [13] [15]. Täcket är även den dyraste delen av lagret [15]. Då täcket flyter på vattnet i groplagret kan det anpassa sig efter vattnets expansion och kontraktion. Jensen och Nielsen delar upp lösningarna i tre huvudkategorier: Flexibla isoleringsmattor, styva isoleringselement och bulkisolering. Flexibla isoleringsmattor kan täcka lagret som en enhet då deras flexibilitet tillåter rörelse med vattnet, trots att täcket kommer i kontakt med kanterna på lagret [15]. Styva isoleringselement ställer högre krav på utrymme för expansion då det styva täcket riskerar att fastna vid expansion av täcket och vattnet [15]. Bulkisolering liknar flexibla isoleringsmattor men kommer med utmaningar som högre risk för konvektion på grund av sin öppna design. Konvektionsbarriärer inkluderas i designen för att undvika konvektion [15].

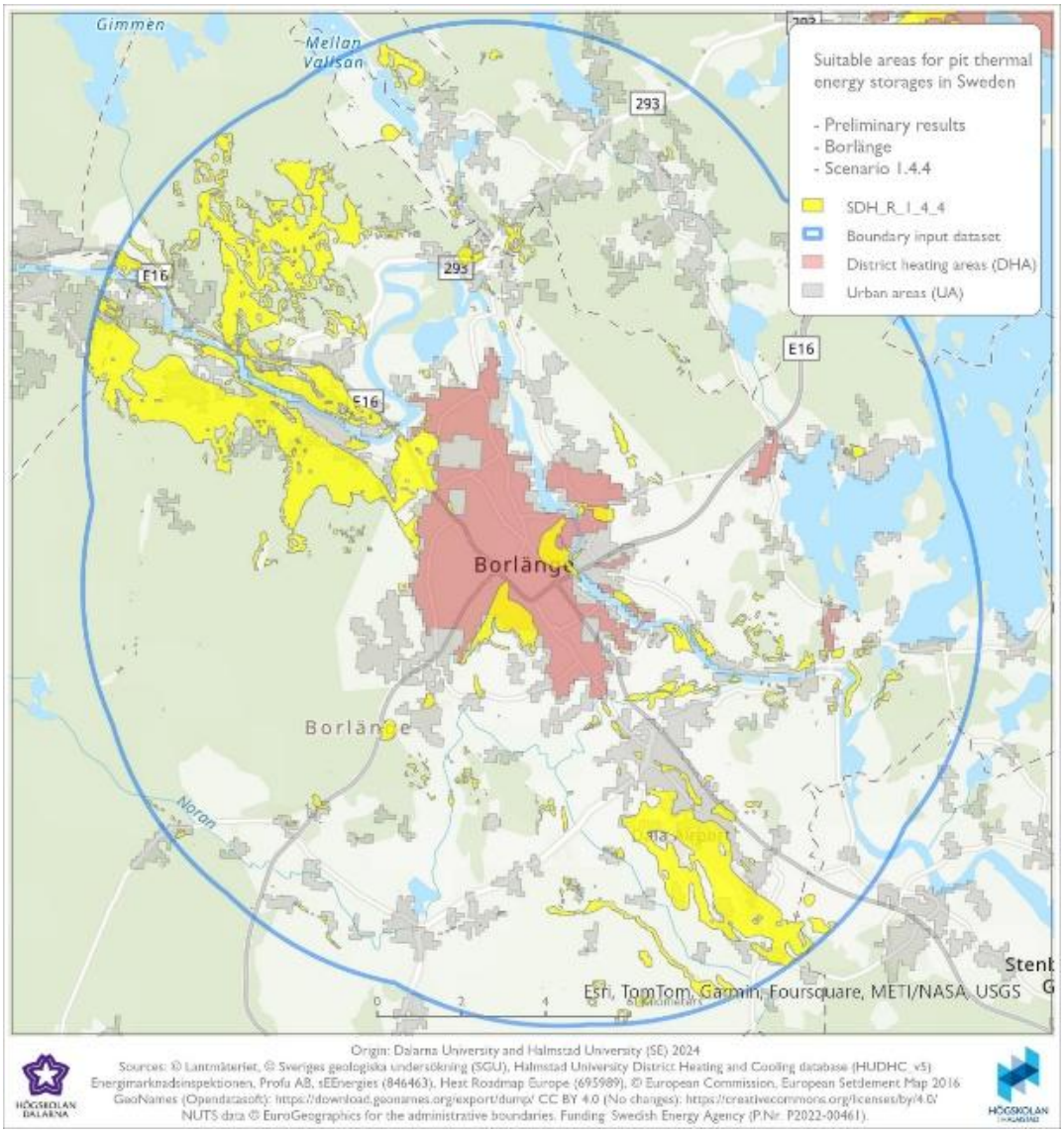
Av de totala förlusterna kommer en majoritet genom täcket [13]. Simuleringar i TRNSYS för Marstal och Dronninglund visar på att ca. 85 % - 90 % av förluster går genom täcket [13]. Simuleringar av Dronninglund använde en värmeöverföringskoefficient på 0,204 $W/(m^2 \cdot K)$ för täcket, medan simuleringar för Marstal använde en värmeöverföringskoefficient på 0,494 $W/(m^2 \cdot K)$ då täckets isoleringsförmåga var försämrad p.g.a. läckage [13].

2.4 Placering i förhållande till geologin

I rapporten ” Soldriven fjärrvärme med groplager för svenska förhållanden” av Chris Bales et al. presenteras geologiska krav för groplager [16]. Dessa krav togs fram genom diskussioner och konsultationer med Planenergi. Rapportens krav delas upp i fyra delar lutning, jorddjup, jordart och markanvändningstyp. Lutningen begränsas till max 15 %, djupet begränsas till minst 10 m och kraven på jordart är att jorden framför allt inte får bestå av lera, silt eller berg [16]. För jordart tog rapporten fram två olika uppsättningar med krav. Kraven är till stor del desamma men en uppsättning tillåter fler typer av lera och silt. Markens markanvändningstyp syftar till vad marken används till. Även här presenterar rapporten två uppsättningar med krav. Den första uppsättningen tillåter jordbruksmark samt seminaturliga områden. Detta avser obebyggd mark som tidigare har bearbetats och därmed är mer lättillgänglig än till exempel orörd skog. Den andra uppsättningen inkluderar fler typer av mark. Här inkluderar rapporten skog samt artificiell mark som till exempel industriell mark, väg, järnväg etcetera.

Rapporten använder ”Jorddjupsmodellen” från SGU för att undersöka begräsningar för jorddjup [16]. För att undersöka jordart används jordlager JG2 från SGU (Jordarter 1:25 000 – 1:100 000) [16]. Markanvändningstyp undersöks med data från ”Corine Land Cover” Version 20 (V20u1), av European Environment Agency [16].

Utifrån dessa krav och resten av arbetet i rapporten tog Urban Persson, Högskolan i Halmstad, fram en karta, figur 6, över lämpliga områden i Borlänge kommun. Grunden till kartan är arbetet i rapporten med avseende på jorddjup, lutning, jordartstyp samt markanvändningstyp. Kartan tar inte hänsyn till områdens tillgänglighet och grundvattennivåer. Grundvatten har betydelse vid placering av lagret. Grunda nivåer medger värmeförluster och ostabilitet i marken runt omkring [18]. Detta leder till ökade kostnader för installation av groplager, då förarbete krävs för att sänka grundvattennivån lägre än lagrets djup [13] [16].



Figur 6: Potentiellt lämpliga platser för groplager i Borlänge markerade i gult. De består av jordbruks- och skogsmark, stadsområden och industriområden. Framtagen av Urban Persson utifrån data från rapporten ”Soldriven fjärrvärme med groplager för svenska förhållanden” [16].

Total landyta som krävs för en groplagersinstallation är cirka 1,5 gånger större än groplagrets täcke. Denna area inkluderar ytan för byggområdet som krävs för att gräva/bygga gropen [16].

2.5 Placering i förhållande till nätet

Vid placering av lagret är det fördelaktigt att kunna koppla lagret till en av nätets större ledningar, vilket oftast är centrala ledningar nära produktionsanläggningar. I Borlänges nät kan även ledningen Falun - Borlänge klassas som en av de större. En större rörstorlek ger möjligheter till högre flödeskapacitet och därmed snabbare inladdning och urladdning till/från lagret. Detta minimerar värmeförlusterna från lagret till den omgivande marken eftersom värmeöverföring från lagret till marken sker under kortare tid [16].
Det är också viktigt att inte ha för hög flödeshastighet eftersom det ger mer friktionsförluster [12]. Detta gör att fokus ligger på ledningsstorlek (stor rördiameter) i stället för hög flödeshastighet, vid urladdning av lagret. Kostnaden för större rör är dock något som bör tas hänsyn till vid nybygge, vilket gör att man vill ha en placering nära en anslutningspunkt till fjärrvärmenätet. Placering av lagret nära en anslutningspunkt gör också att distributionssträckorna för vattnet blir kortare än med placering längre från nätet. Värmeförluster på grund av transportsträckor blir därmed lägre relativt till en placering längre från nätet.

2.6 Biobränslepriser

Historiska svenska priser på biobränsle, i form av skogsflis, från Energimyndigheten visar på en kraftig ökning under de senaste åren [19]. År 2022 till 2023 sågs en ökning på 43 %, år 2023 till 2024 sågs en ökning på 23 % [19]. Prisökningarna för dessa år står dock ut från mängden. Tidigare år visar hur priset går upp och ner i olika perioder men trenden är att priset ökar. Prisökningen från år 2000 till 2022 var 86 %, vilket ger en snittökning per år på 2,9 % [19].

3. Metod

Genom en dokumentstudie ska relevant litteratur kring groplager tas fram. Litteraturen kommer att användas som underlag för att identifiera begränsningar vid groplagerinstallation. Utöver dokumentstudien kommer kartmaterial att användas för att identifiera intressanta platser för groplager. I nästa steg väljs 2 till 3 lämpliga platser utifrån en uteslutningsprocess som utesluter konfliktområden med kommunen. Processen för att identifiera lämpliga platser för groplager görs i samråd med Borlänge Energi och Borlänge kommun.

De utvalda platsernas lämplighet, testas vidare med simuleringar i Netsim. Resultatet från Netsim kommer att användas som grund för vidare beräkningar i Excel, där groplagret i kombination med elpanna analyseras. Beräkningarna utgår från nätets timvärden för 2023 och 2024.

3.1 Metod Teori

Beteckningar:

$K = Kapacitet$	$[Wh]$	
$L = Laddad\ kapacitet$	$[Wh]$	
$U = Värmeöverföringskoefficient$	$[\frac{W}{m^2K}]$	(0,2 W/(m^2·K) används [13])
$A_{förluster} = Area\ för\ förluster$	$[m^2]$	
$T_{vätska} = Temperatur\ i\ lagret$	$[°C]$	
$T_{ute} = Temperatur\ ute$	$[°C]$	
$T_{top} = Temperatur\ i\ toppen\ lagret$	$[°C]$	
$T_{botten} = Temperatur\ i\ botten\ lagret$	$[°C]$	
$\Delta t = Tidsintervall$	$[h]$	
$k_{fast} = Fast\ kostnad$	$[M€]$	
$k_V = Kostnad\ volym$	$[€/m^3]$	
$k_{täcke} = Kostnad\ täcke$	$[€/m^2]$	
$k_{ladd.} = Kostnad\ laddning$	$[kr]$	
$b_{urladd.} = Besparing\ urladdning$	$[kr]$	
$p_{el.} = Elpris$	$[kr/MWh]$	
$p_{prod.} = Produktionspris\ biobränsle$	$[kr/MWh]$	
$E_{ladd.} = Energi\ laddning$	$[MWh]$	
$E_{urladd.} = Energi\ urladdning$	$[MWh]$	
$E_{nät} = Energi\ direkt\ ut\ till\ nätet$	$[MWh]$	

Beräkning av Volym beroende på Kapacitet:

$Cp = 4{,}18$ [kJ/(kg · K)]

$Cp = 4{,}18 \cdot \frac{998}{3600} = 1{,}16$ $[kWh/(m^3 \cdot K)]$

$$V = \frac{Kapacitet\ [MWh]}{(Ttop - Tbotten) \cdot \left(\frac{Cp}{1000}\right)} \quad [m^3]$$

$$V = \frac{Kapacitet\ [MWh]}{(Ttop - Tbotten) \cdot \left(\frac{1{,}16}{1000}\right)} \quad [m^3] \quad (1)$$

Beräkning av inre Area för förluster:

Antar att lagret är format som en cylinder.

$A = \pi \cdot d \cdot h$ [Antagande: h = 15]

$A = 15\pi \cdot d$

$V = \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot h$ $[m^3]$

$d = \sqrt{\frac{V}{\pi \cdot h} \cdot 4}$ ger:

$$A_{förluster} = 15\pi \cdot \sqrt{\frac{V}{\pi \cdot h} \cdot 4} \quad [m^2] \quad (2)$$

Beräkning av förluster:

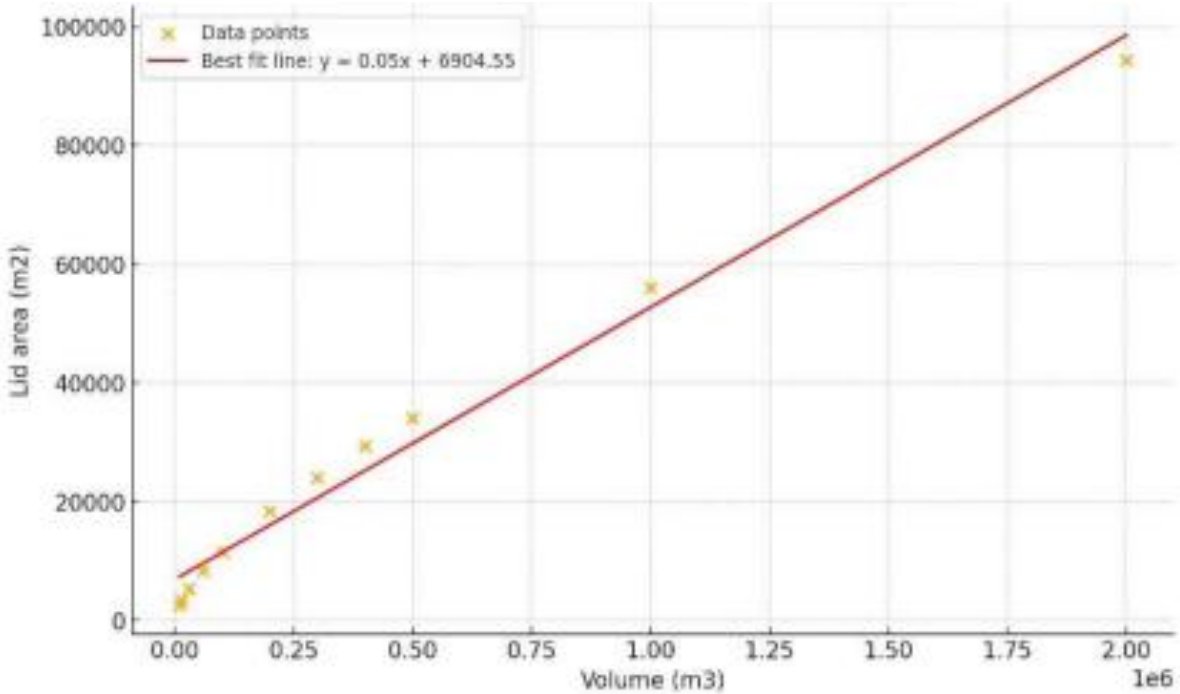
$Förluster = U \cdot A_{förluster} \cdot (T_{vätska} - T_{ute}) \cdot \Delta t$ $[Wh]$

$T_{vätska}$ delas in i varma/kalla skiktet i lagret, se ekvation (3) nedan.

$$Förluster = U \cdot A_{förluster} \cdot \left(\left(\frac{L}{K}\right)(T_{top} - T_{ute}) + \left(\frac{K-L}{K}\right)(T_{botten} - T_{ute})\right) \cdot \Delta t) \ [Wh] \quad (3)$$

Beräkning av täckets Area för investeringskostnad beroende på Volym:

$A = 0{,}05V + 6904{,}55$, enligt figur 7. (4)



Figur 7: Förhållande mellan groplagrets volym och täckets area [[16], fig. 6].

Beräkning för laddcykler

$$Laddcykler = \frac{Urladdad\ Energi}{Kapacitet}\ [st] \quad (5)$$

Beräkning av investeringskostnad

Investeringskostnad för groplager är summan av följande kostnader:

$k_{fast} = 0{,}37$	$[M€]$	[16]
$k_V = 25{,}22$	$[€/m^3]$	[16]
$k_{täcke} = 136{,}39$	$[€/m^2]$	[16]

Antaganden:

- Växlingskurs: 1 € = 11 kr
- $Investeringskostnad \cdot 1{,}5$, för att ta hänsyn till inflation och ökade kostnader

$k_{fast} = 4,07$ $[Mkr]$
$k_V = 277{,}42$ $[kr/m^3]$
$k_{täcke} = 1500{,}29$ $[kr/m^2]$

$$Investeringskostnad = \left(V_{lager} \cdot k_V + A_{täcke} \cdot k_{täcke} + k_{fast} \cdot 10^6\right) \cdot 1{,}5 \quad (6)$$

Beräkningar för årlig kostnad/besparing

$$k_{ladd.}\,[kr] = E_{ladd.}\,[MWh] \cdot p_{el.}\,[kr/MWh] \qquad (7)$$

$$b_{urladd.}\,[kr] = E_{urladd.}\,[MWh] \cdot p_{prod.}\,[kr/MWh] \qquad (8)$$

$$Sparande, lager\,[kr] = b_{urladd.}\,[kr] - k_{ladd.}\,[kr] \qquad (9)$$

$$Sparande, direkt\ till\ nätet\,[kr] = E_{nät}\,[MWh] \cdot \left(p_{prod.} - p_{el.}\right)[kr/MWh] \qquad (10)$$

Underhållskostnaden per år antas vara 0,2% av investeringskostnaden [16].

Beräkning av återbetalningstid

$$Återbetalningstid = \frac{Investeringskotnad}{Spande, lager\ /\ år - underhållskostnad\ /\ år} \quad [år] \qquad (11)$$

3.2 Identifiera platser för lagerplacering

- Utifrån kartan ”Potentiellt lämpliga platser för groplager i Borlänge”, figur 6 i avsnitt 2.4, väljs intressanta områden ut i förhållande till fjärrvärmenätet.
- Kartan ”Potentiellt lämpliga platser för groplager i Borlänge”, kombineras med annat kartmaterial för att kunna utesluta områden med konflikter. De kartor som användes var kommunens detaljplan [20], länsstyrelsens karta [21] (för att se framtida planer för järnväg) och kommunens karta för framtida bostadsplaner [22].
- De mest intressanta områdena utan intressekonflikter från kommunen, analyseras i Lantmäteriets karta [23] eller länsstyrelsens karta [21]. Utifrån mätningsverktygen kan en uppfattning kring områdets storlek tas fram.

3.3 Simulering i Netsim

- Insamlade data från dokumentstudien och de mest lovande områdena för groplager utgör grunden för simuleringar i Netsim.
- I Netsim simuleras lagren/lagret i Borlänges fjärrvärmenät som ”nedgrävd ackumulatortank” med inställningar anpassade för groplager.
- Detta arbete utförs internt av Borlänge Energi i deras modell av fjärrvärmenätet.
- Utifrån resultaten i NETSIM fås begränsningar för lagret i förhållande till övriga nätet.

3.4 Beräkningar Excel

Excelberäkningar gjordes för att få en översikt över lagrets beteende och lönsamhet under åren 2023 och 2024, beroende på antagna biobränslepriser. I detta steg bidrog Borlänge Energi med timvärden för elpriser, framledningstemperatur, returtemperatur, fjärrvärmebehov samt produktionseffekt för dess anläggningar, åren 2023 och 2024. Data för biobränslepriser är taget från Energimyndigheten [24]. Data för energiskatt på el kommer från Skatteverket [25]. I beräkningarna baserades begränsningar för laddning och urladdning utifrån resultaten från simuleringarna i Netsim.

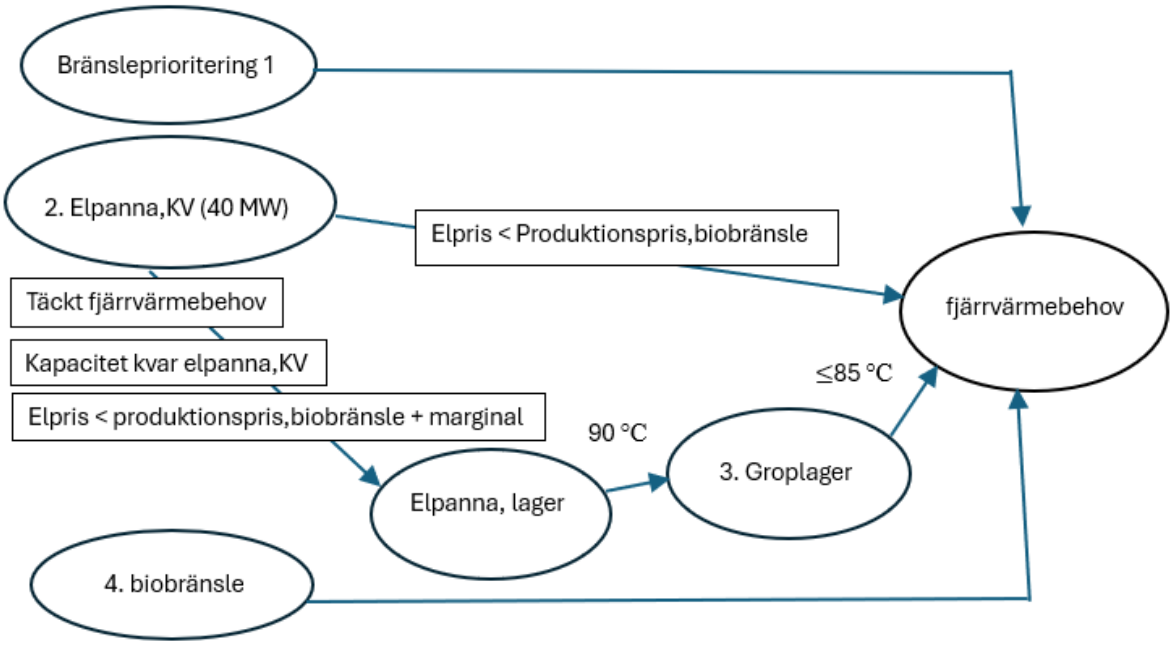
Priset på biobränsle för region 2 (Borlänges region) 2024 anges som startvärde för beräkningarna. Utifrån detta utförs beräkningar för biobränslepriser uppåt med steg på 100 kr/MWh för att se hur biobränslepriset påverkar lagret och dess lönsamhet. Då beräkningarna ska visa resultatet för normal drift, vilket betyder att lagret ska vara laddat vid årets början, utförs beräkningarna först för ett tomt lager under 2023 som sedan fortsätter in på 2024. Energin som ligger kvar i lagret används sedan som startvärde för 2023, för att motsvara energi som laddats upp under 2022, och beräkningarna upprepas för 2023 samt 2024. På detta vis påbörjar lagret 2023 med samma energi som det avslutar 2024 med. Lagrets kapacitet togs fram genom att testa olika värden för att finna ett värde som passade laddningen. Denna kapacitet är inte nödvändigtvis den mest ekonomiska utan den minsta som undviker att begränsa lagret. Denna kapacitet tillåter i första hand full uppladdning av lagret. Om urladdningen är begränsande så anpassas lagret för att undvika överdimensionering. Detta görs i steg på 1 GWh.

Följande steg utfördes i Excel för att få en uppfattning hur groplagret används samt kostnader/besparingar.

Antagen produktionsprioritering med hänsyn till produktionskostnader för Excelberäkningarna är:

1. Avfall, SSAB, urladdning av ackumulatortanken, import från Falun (grundledningen), minimum effekten för KV:s biobränslepanna (27 MW) under perioder där produktion är över 27 MW (dock ofta avstängd under sommaren).
2. Elpannan i KV när elpriset är lägre än produktionspriset för biobränslepannan. Biobränslepriset är 90 % av produktionspriset då verkningsgraden för pannan i KV är antagen till 90 % (oavsett last).
3. Urladdning av groplager.
4. Biobränsle.

I figur 8 visas värmeflödet samt krav för lagrets laddning/urladdning som ett flödesdiagram. Groplagret beskrivs mer i punkterna nedan.



Figur 8: Flödesdiagram: Siffrorna syftar på bränsleprioriteringen.

Laddning av groplagret:

- Utifrån timvärdena: räkna hur mycket kapacitet som finns kvar att utnyttja för elpannan i Kvarnsveden per timme.
- Finns det kapacitet att utnyttja från elpannan när fjärrvärmebehovet är täckt så laddas lagret när elpriset är billigare än produktionspriset för biobränsle med en viss marginal. Olika prismarginaler testas.
- Finns det begränsningar i laddningseffekt behöver det tas hänsyn till. Begränsningarna tas fram utifrån simuleringarna i Netsim.
- Räkna hur mycket extra som krävs för att värma framledningsvattnet till en temperatur som ska ladda lagret med 90 °C. En extra elpanna kopplat till lagret används för att värma till 92 °C (92 °C är antaget då 2 °C i förluster antas).

Urladdning:

- Det är antaget att urladdningen från lagret kan ske när framledningstemperaturen i nätet är max 85 °C (minst 87 °C i toppen behövs). Enligt styrkurvan kan lagret laddas ur vid utomhustemperaturer på cirka -4 °C och varmare.
- Urladdningen sker när fjärrvärmebehovet inte är täckt av källorna innan i prioriteringsordningen.
- Urladdningsbegränsningar fås från simuleringarna i Netsim.

Energi i lagret:

- Utifrån timvärden, lagringskapacitet, laddning och urladdning ta fram en graf som visar lagrets laddningsgrad under året.
- Beräkna förlusterna i lagret utifrån ekvation (3). Värmeöverföringskoefficienten förenklas till att vara lika runt hela lagret oavsett om det är täcket eller vid sidorna. Då en majoritet av förlusterna sker via täcket, används en värmeöverföringskoefficient på 0,2 W/(m^2·K). Koefficienten är tagen från ett verkligt exempel på groplager i Dronninglund [13]. Detta har visat sig vara en bra uppskattning för verkliga exempel [13]. Lagrets omgivningstemperatur förenklas till att vara utomhustemperaturen.
- Förlusterna varierar utifrån energin i lagret. Lagret antas vara cylinderformad med jämn inre area, vilket underlättar med hur stor yta som är i kontakt med lagrets varma/kalla skikt. Lagrets inre area tas fram enligt ekvation (2).

Investeringskostnad och underhållskostnad:

- Lagrets volym beräknas enligt ekvation (1) baserat på dess kapacitet.
- Utifrån lagervolym beräknas täckets area enligt ekvation (4).
- Investeringskostnad räknas ut med ekvation (6).

Årlig kostnad/besparing

- Beräkna underhållskostnaden utifrån investeringskostnaden (0,2 % av investeringskostnaden).
- Beräkna kostnaden för laddning av lagret, ekvation (7).
- Beräkna besparingen för urladdning av lagret enligt ekvation (8). Det antas att allt som ersätts av urladdningen är biobränsle (olja har annan kostnad men står för så liten del av produktionen att det antas som biobränslepris).
- Beräkna sparandet för lagret utifrån de två punkterna ovan, enligt ekvation (9)
- Beräkna sparandet för ersättande av biobränsle med el för uppvärmning direkt till nätet (antas även här att allt som ersätts är biobränsle) enligt (10).

Återbetalningstid beräknas enligt ekvation (11)

Lagrets laddningsgrad och lönsamhet testas utifrån olika förutsättningar, se tabell 6. Dessa tester utförs för olika biobränslepriser. Med ”anpassad” kapacitet ska kapaciteten inte begränsa antalet urladdningstillfällen (grafen ska inte gå i botten under längre tid, på grund av att kapaciteten begränsar uppladdningen).

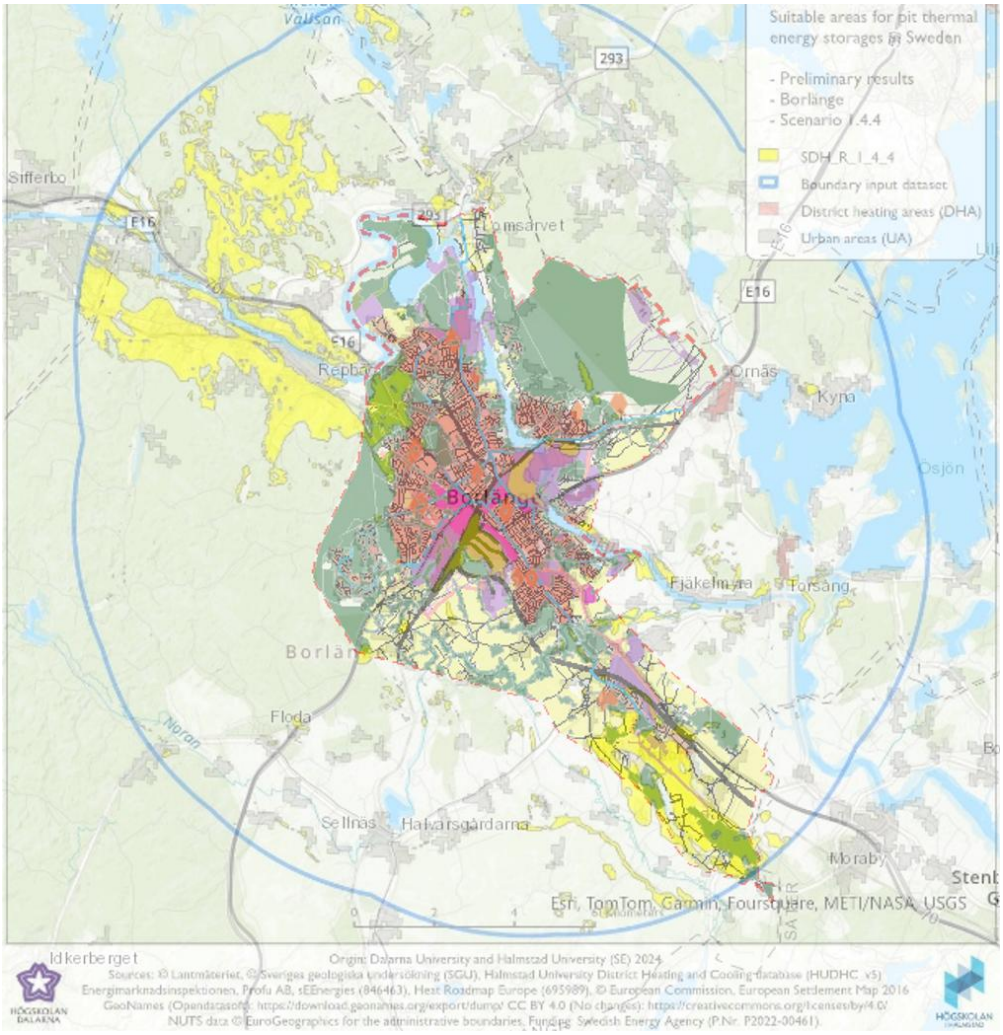
Tabell 6: Förutsättningar för testerna i Excel.

Test	Begränsning laddning/urladdning (MW)	Prismarginal (kr)	Kapacitet
1	5	50	Anpassad
2	5	100	Anpassad
3	10	100	Samma som 2
4	10	100	Anpassad
5	10	200	Samma som 3
6	30	Samma som tidigare bästa resultat.	Samma som tidigare bästa resultat.
7	10	100	5 GWh

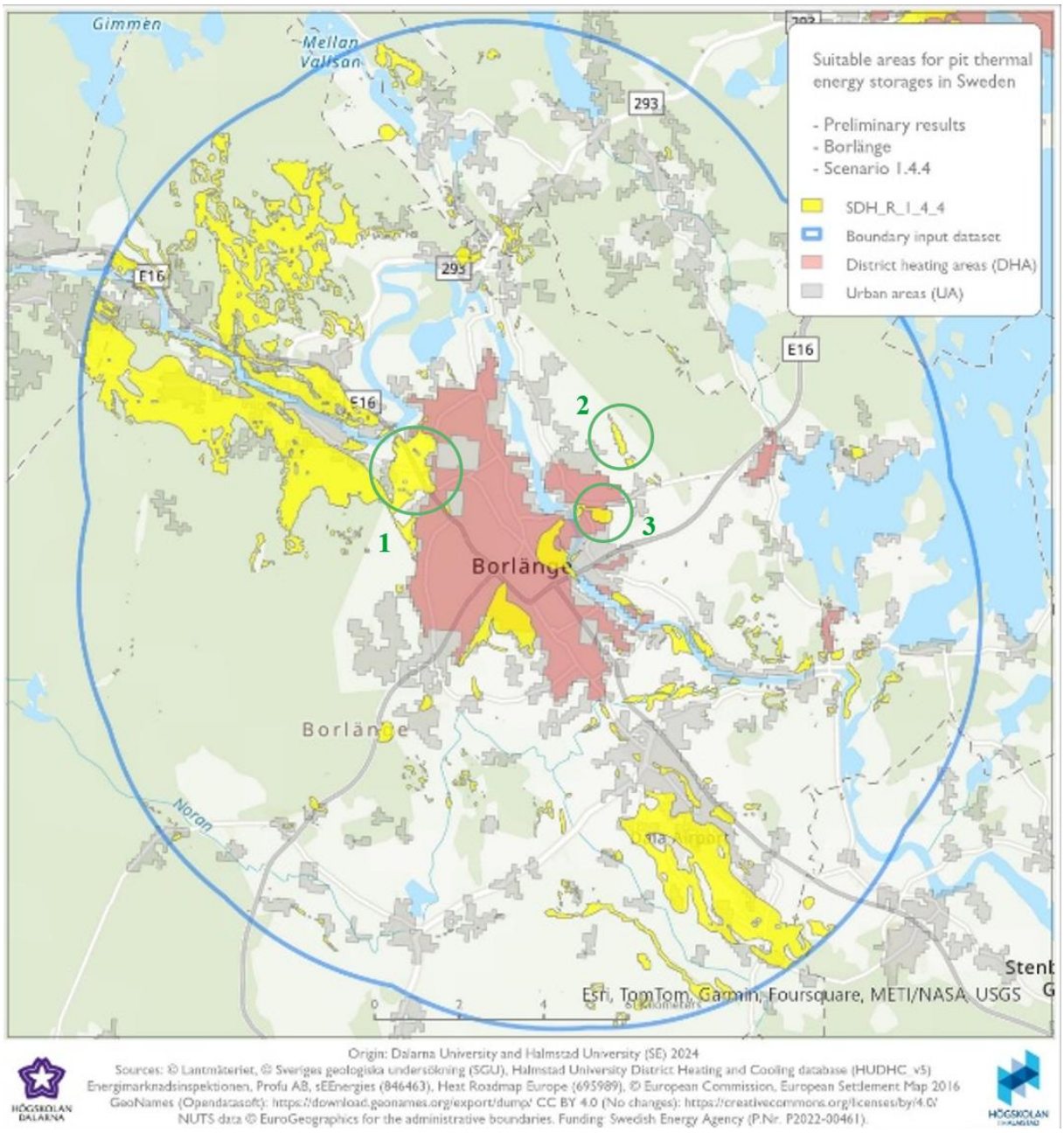
4. Resultat

4.1 Placering av lagret

För att hitta lämpliga platser användes kommunens karta ”Sammanvägd Markanvändning” samt kartan över Borlänges fjärrvärmenät, figur 3. Figur 9 visar markanvändningskartan tillsammans med kartan för potentiellt lämpliga platser för groplager, figur 6. Integrering av ett groplager ska helst ske nära centrum av fjärrvärmenätet för att kunna användas av hela nätet utan flaskhalsar. Området längst söderut i figur 9 är därmed mindre intressant. De områdena vid SSAB och Bäckelund kräver användning av markyta som redan är avsedd för industri. Utifrån detta är de mest attraktiva områdena, område 1, område 2 och område 3. Dessa är markerade i figur 10. Område 1 och 2 är områden nära bra anslutningspunkter samt är på oanvänd mark, i form av skog. Även område 3 är intressant då detta är oanvänd ängsmark som kommunen klassificerar som industrimark. Område 2 hamnar i närheten av en skjutbana.



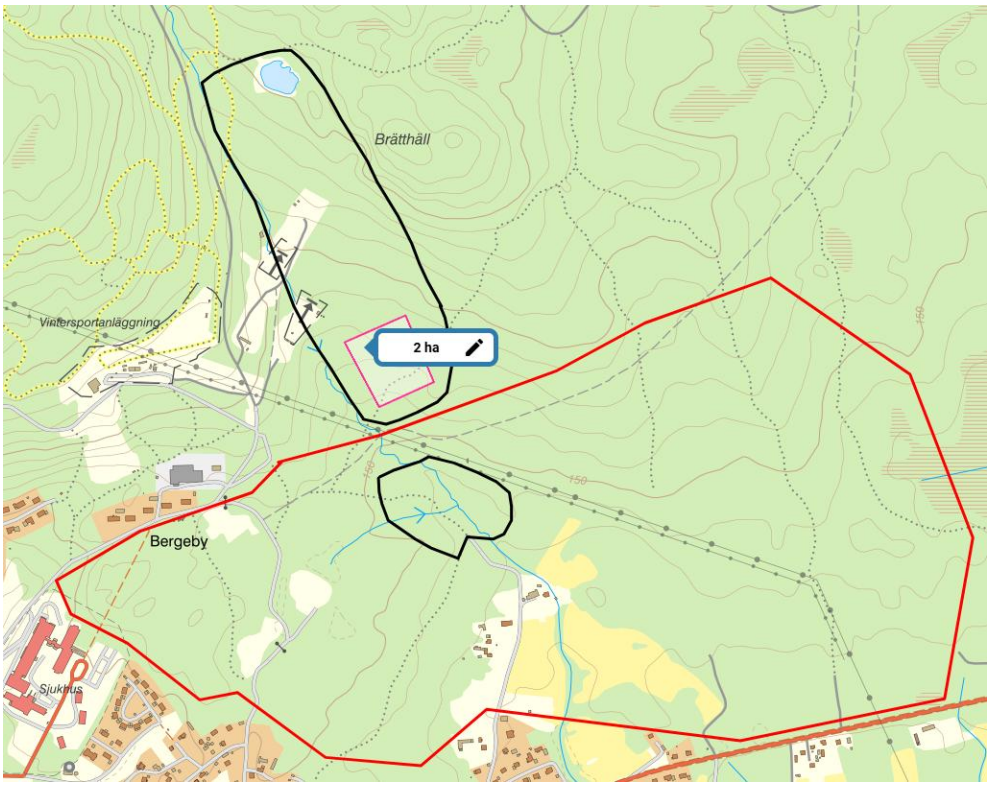
Figur 9: Karta med potentiellt lämpliga platser för groplager i Borlänge, figur 6, kombinerad med kartan ”Sammanvägd Markanvändning” för Borlänge tätorts planområde från 2018-05-08 *[20]*.



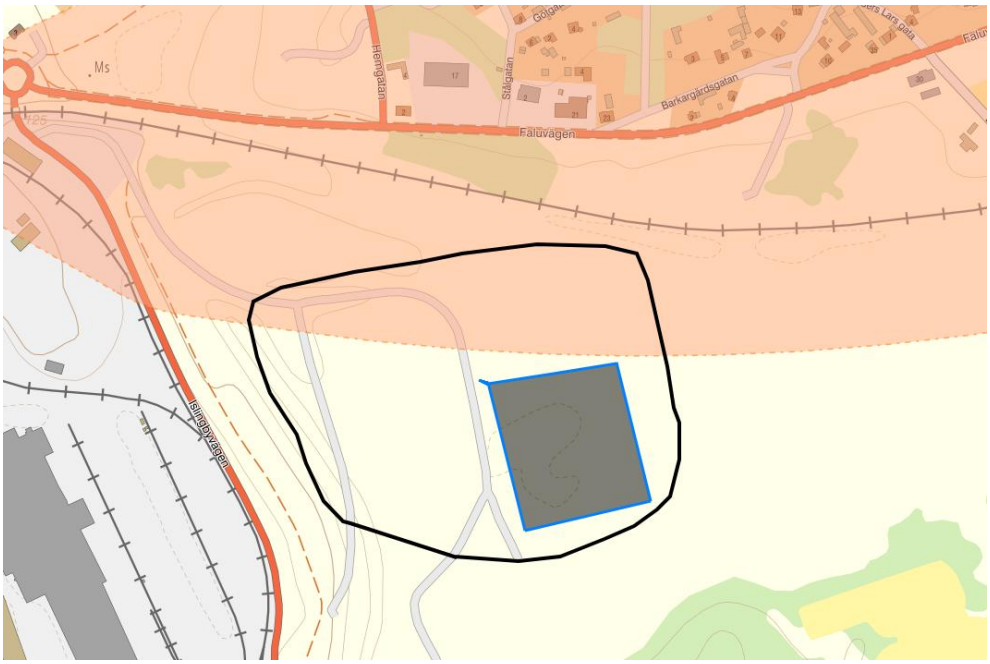
Figur 10: Intressanta områden för groplager i Borlänge omringat i grönt. Framtaget med hänsyn till en placering nära produktionsanläggningar och nätet samt i förhållande till kommunens andra intressen.

Område 1 används av kommunen för ”rekreation” och anses därmed ej lämpligt. Nedre delen av Område 2, se figur 11, krockar med planer för framtida bostadsområden [22]. Detta gör att den del av området som ligger närmast skjutbanan är det intressanta. I Område 3, se figur 12 täcks den övre delen av järnväg och planer för framtida järnväg [21]. Ytan under anses vara intressant men marken ägs av SSAB. Det finns yta för att bygga ett groplager söder om området för framtida järnväg.

I figur 11 och figur 12 visas ett exempel på ca. 2 hektar [23].



Figur 11: Lämpliga området för groplager. Röda området är planer för framtida bostadsområden *[22]*. Kvadraten är en skiss på ca. 2 hektar.



Figur 12: Lämpliga området för groplager. Området i orange är framtida planer för järnväg *[21]*. Kvadraten är en skiss på ca. 2 hektar.

2 hektar är ungefär den yta som behövs för att bygga ett groplager med cirka 7000 MWh. Områdesarean för andra lagringskapaciteter som testats i beräkningarna (avsnitt 4.3), kan ses i tabell 7.

Tabell 7: Landytan som behövs för ett lager beroende på lagringskapacitet. Områdets area är 1,5 gånger täckets area.

Lagringskapacitet (GWh)	Volym ($m^3 * 10^3$)	Täckets area (ha)	Områdets area (ha)
3	58	1,0	1,5
5	96	1,2	1,8
6	115	1,3	1,9
7	135	1,4	2,0
8	154	1,5	2,2
10	192	1,7	2,5
16	308	2,2	3,3

4.2 Simulering Netsim

Simuleringarna i Netsim utfördes av Borlänge Energi, utifrån indata från denna studie. Utifrån de identifierade platserna valdes ledningen Borlänge - Falun som anslutningspunkt.

Differentialtrycken mättes i hela nätet under simuleringarna. I tabellerna 8 och 9 syftar differentialtrycket till det begränsade differentialtrycket i nätet när ett groplager används. I samtliga simuleringar var området (Domnarvet/Medväga) mellan KV och groplagret begränsande. Differentialtrycken ska helst vara mellan 1 bar och 4 bar (1 bar är 100 kPa), de skulle kunna sträcka sig till 6 bar [13]. Utifrån tabell 8 ger en laddning med 10 MW för låga differentialtryck i Domnarvet vid 15 °C, när KV:s produktion är noll. 5 MW laddning ger ett differentialtryck på drygt 1 bar. När KV producerar runt 90 MW, vid -8 °C, fungerar en laddningseffekt på 10 MW.

Tabell 8: Differentialtryck, vid laddning, för olika driftfall i nätet.
BL: Bäckelund kraftvärmeverk. KV: Kvarnsveden värmeverk.

Utetemp. (°C)	Effekt BL (MW)	Effekt KV (MW)	Effekt till Groplager (MW)	Differentialtryck (kPa)
-8	25	88	10	139
-8	25	93	15	-36
-8	25	98	20	-239
15	31	0	5	102
15	36	0	10	-11

Resultatet i tabell 9 tyder på att urladdning vid utomhustemperaturen 15 °C inte bör överstiga 10 MW för att inte överstiga 4 bar. Detta är när KV:s biobränslepanna är avstängd. Vid -8 °C och 5 MW effekt från groplagret, är differentialtrycket strax över 4 bar.

Tabell 9: Differentialtryck, vid urladdning, för olika driftfall i nätet.
BL: Bäckelund kraftvärmeverk. KV: Kvarnsveden värmeverk.

Utetemp (°C)	Effekt BL (MW)	Effekt KV (MW)	Effekt från Groplager (MW)	Differentialtryck (kPa)
-15	25	99	5	533
-15	25	93	10	705
-15	25	83	20	848
-8	25	73	5	416
-8	25	68	10	519
-8	25	63	15	581
-8	25	58	20	709
15	16	0	10	375
15	11	0	15	613
15	6	0	20	967

4.3 Beräkningar

Resultaten nedan är sammanställt utifrån beräkningar med biobränslepriser från 360 kr/MWh upp till 660 kr/MWh. Lagrets laddningsgrad och lönsamhet är beräknat utifrån olika tester, enligt tabell 6 i metodavsnitt 3.3. Sparande direkt till nätet påverkas inte av skillnaderna mellan testerna, utan enbart av biobränslepriserna.

Alla resultattabeller visar värden i snitt per år, för 2023 och 2024.

4.3.1 Sparande direkt till nätet

Elpannan i KV används för att ersätta biobränsle när elpriset är lägre än produktionspriset för biobränslepannan. Elpannans effekt går i första hand direkt ut till nätet för att täcka fjärrvärmebehovet. Finns effekt över laddas lagret. Då sparandet från energin direkt till nätet inte kräver en investering i groplager räknas den separat. Tabell 10 visar sparandet med användning av elpannan till nätet för olika biobränslepriser.

Tabell 10: Sparande direkt till nätet (snitt / år).

Biobränslepris (Kr / MWh)	Elkostnad (kkr.)	Minskad kostnad biobränsle (kkr.)	Sparande direkt till nätet (kkr.)
360	350	400	50
460	4300	4900	600
560	8200	10 200	2 000
660	16 100	20 600	4 500

4.3.2 Beräkningar Lager

I beräkningar för lager exkluderades sparandet från energin direkt till nätet. Endast energin som gått via lagret tas med. I tabell 11 visas vilka tester som utförts för vilket biobränslepris.

Tabell 11: Vilka test som utförts för vilket biobränslepris.

Test #	Begränsning laddning/ urladdning (MW)	Pris-marginal (kr)	Kapacitet	360 kr/MWh	460 kr/MWh	560 kr/MWh	660 kr/MWh
1	5	50	Anpassad	✓	✓	✓	✓
2	5	100	Anpassad	—	✓	✓	✓
3	10	100	Samma som 2	—	✓	✓	✓
4	10	100	Anpassad	—	✓	✓	✓
5	10	200	Samma som 3	—	—	✓	✓
6	30	Samma som bästa resultat.	Samma som bästa resultat.	—	—	✓	✓
7	10	100	5 GWh	—	—	✓	—

I följande tabeller är ”Kostnad laddning” elkostnaden för laddning av lagret. ”Besparing urladdning” är kostnaden för det biobränsle som urladdning av lagret ersätter.

Biobränslepris 360 kr/MWh

Vid 360 kr/MWh i biobränslepris blir sparandet för lagret negativt per år och därmed fås ingen återbetalningstid, se tabell 12.

Tabell 12: Resultatsammanställning för 360 kr/MWh (snitt / år).

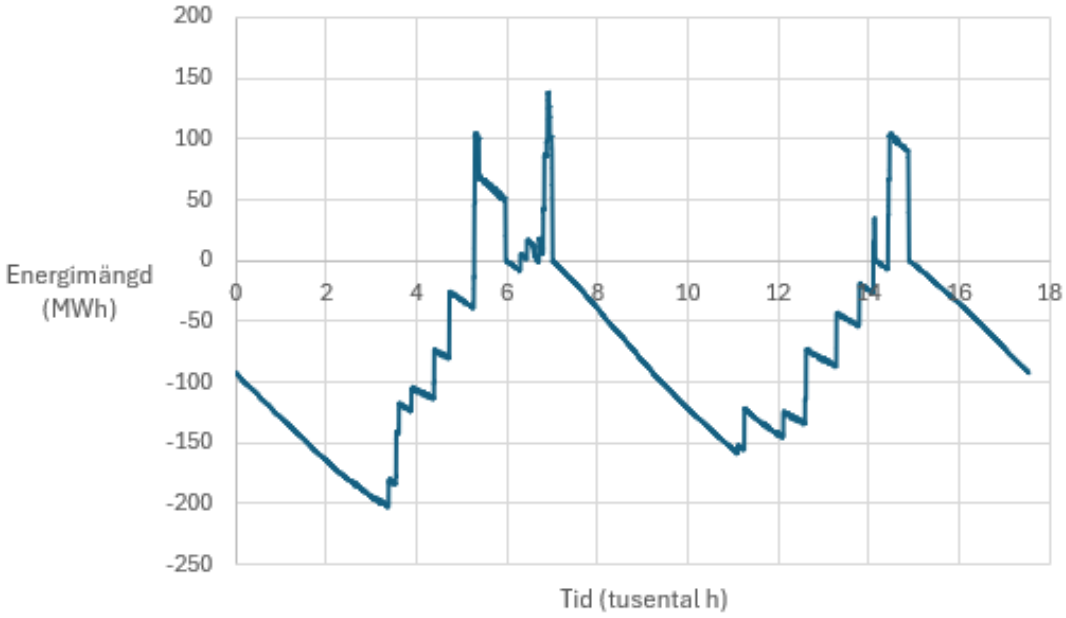
Test	Kapacitet (GWh)	Investerings-kostnad (Mkr)	Inladdad Energi (GWh)	Urladdad Energi (GWh)	Ladd-cykler (st.)	Förluster (GWh)	Sparande Per år (kkr.)	Åter-betalnings-tid (år)
1	1	32	0,5	0,2	0,2	0,2	-40	-

Sparandet per år tas fram från tabell 13.

Tabell 13: Kostnad för laddning och besparingen vid urladdning (snitt / år).

Test	Kostnad laddning (kkr.)	Besparing urladdning (kkr.)
1	120	80

Vid en prismarginal på 50 kr vid laddning (test 1) är priset på elektricitet sällan lägre än produktionspriset för biobränsle. Landningstillfällena är få och lagret når som högst 150 MWh, se figur 13. Lagret är negativt i perioder. Nollpunkten är när lagret inte kan ge någon värme till nätet, dvs samma temperatur som returtemperaturen i nätet, cirka 47 °C. Vid nollpunkten kan lagret fortfarande överge värme till omgivningen, därmed får lagret ”negativ” laddning. Vidare tester med 360 kr/MWh utförs inte eftersom laddningstillfällena blir ännu färre.



Figur 13: Lagrets laddningsgrad under 2023 och 2024 för test 1, biobränslepris 360 kr/MWh.

Biobränslepris 460 kr/MWh

I test 1, 2 och 4, anpassades kapaciteten på lagret för att lagrets urladdning inte ska begränsas. Trots att sparandet per år för lagret är positivt blir återbetalningstiden i tre av fyra tester negativ. Underhållskostnaden för lagret är högre än sparandet. Test 3 presterar bäst men med en extremt lång återbetalningstid, se tabell 14.

Test 5 utfördes inte för 460 kr/MWh eftersom prismarginalen på 200 kr mellan elpris och produktionspriset för biobränslepannan är för hög, därmed blir laddningstillfällena för få. Det kan liknas med figur 13 (test 1 för 360 kr/MWh).

Tabell 14: Resultatsammanställning för 460 kr/MWh (snitt / år).

Test	Kapacitet (GWh)	Investerings-kostnad (Mkr)	Inladdad Energi (GWh)	Urladdad Energi (GWh)	Ladd-cykler (st.)	Förluster (GWh)	Sparande Per år (kkr.)	Åter-betalnings-tid (år)
1	6	87	8,6	6,9	1,2	1,7	20	-
2	3	52	3,1	2,2	0,7	0,9	6	-
3	3	52	4,4	3,5	1,2	0,9	170	810
4	6	87	6,2	4,6	0,8	1,6	63	-

Sparandet per år tas fram från tabell 15.

Tabell 15: Kostnad för laddning och besparing vid urladdning (snitt / år).

Test	Kostnad laddning (kkr.)	Besparing urladdning (kkr.)
1	3520	3540
2	1150	1150
3	1640	1810
4	2280	2340

Biobränslepris 560 kr/MWh

Vid 560 kr/MWh hjälper den ökade prismarginalen på 100 kr till att minska återbetalningstiden. Test 3 presterar bäst för 10 MW. Varken en ökad kapacitet eller prismarginal på 200 kr hjälper lagret prestera bättre. 30 MW ger en markant förbättring av återbetalningstid och sparande, vid samma förutsättningar som för test 3, se tabell 16.

Tabell 16: Resultatsammanställning för 560 kr/MWh (snitt / år).

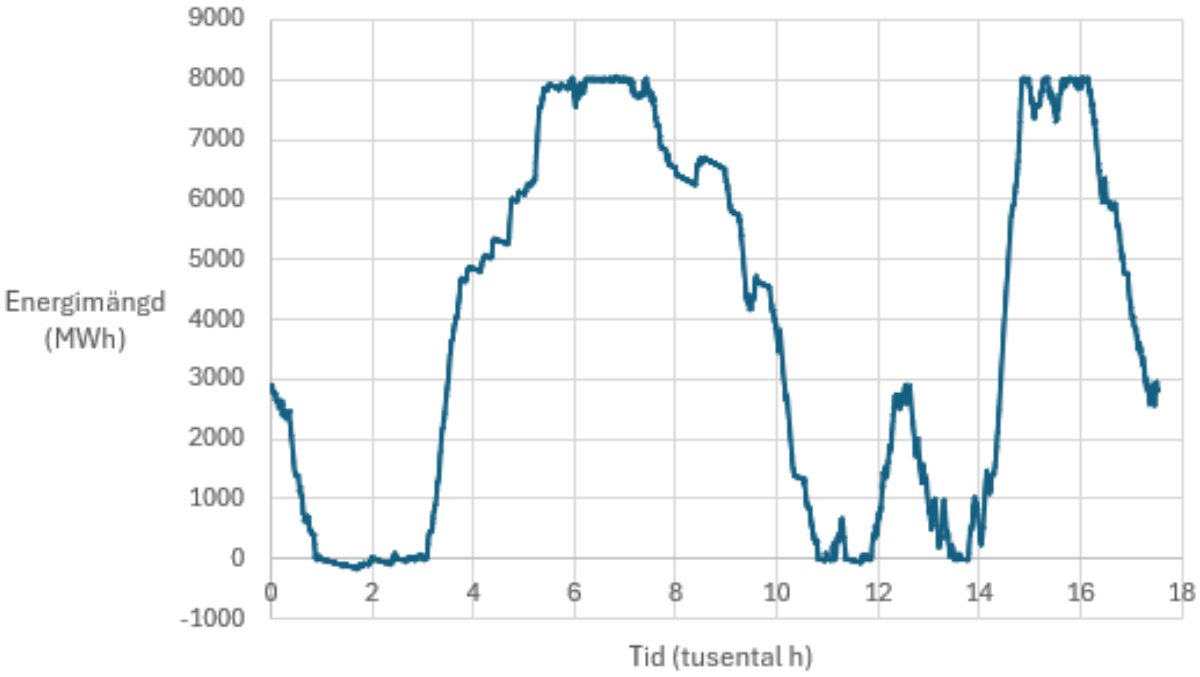
Test	Kapacitet (GWh)	Investerings-kostnad (Mkr)	Inladdad Energi (GWh)	Urladdad Energi (GWh)	Ladd-cykler (st.)	Förluster (GWh)	Sparande Per år (kkr.)	Åter-betalnings-tid (år)
1	8	103	15	12	1,5	2,7	760	190
2	8	103	13	11	1,3	2,5	870	160
3	8	103	19	17	2,1	2,7	1800	63
4	16	184	26	21	1,3	4,8	1800	130
5	8	103	8,3	6,1	0,8	2,1	650	230
6	8	103	27	24	3,0	2,9	3000	37

Sparandet per år tas fram från tabell 17.

Tabell 17: Kostnad för laddning och besparing vid urladdning (snitt / år).

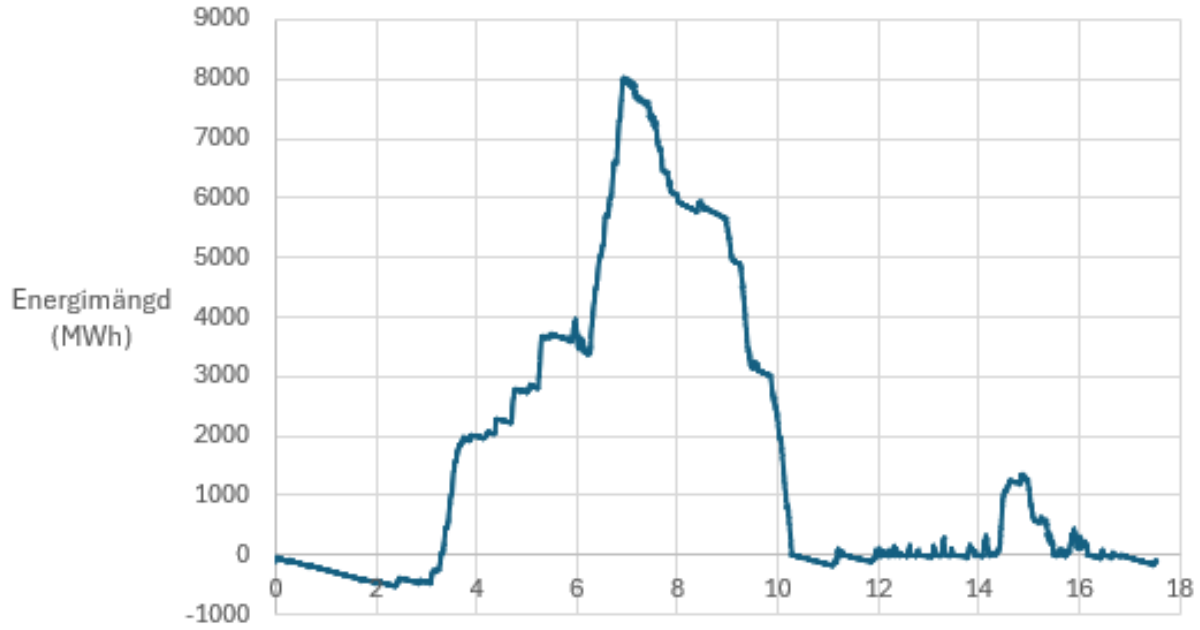
Test	Kostnad laddning (kkr.)	Besparing urladdning (kkr.)
1	6780	7540
2	5760	6630
3	8500	10 300
4	11 400	13 200
5	3150	3800
6	12 200	15 200

I figur 14 visas laddningsgraden för test 3.



Figur 14: Lagrets laddningsgrad under 2023 och 2024 för test 3, 560 kr/MWh.

Vid en prismarginalhöjning till 200 kr/MWh bevaras den långa urladdningsperioden sommaren 2023. Under 2024 då elpriset var högre laddas lagret knappt och urladdningstimmarna för år 2024 från test 3 förloras. Den högre prismarginalen är för hög, då laddningen begränsas alldeles för mycket 2024, enligt figur 15.



Figur 15: Lagrets laddningsgrad under 2023 och 2024 för test 5, biobränslepris 560 kr/MWh.

Biobränslepris 660 kr/MWh

Likt de andra biobränslepriserna, ger den högsta laddning och urladdningseffekten lägst återbetalningstid på grund av flera laddcykler. En skillnad från 560 kr/MWh är att en prismarginal på 200 kr vid laddning ger ett bättre resultat enligt tabell 18.

Tabell 18: Resultatsammanställning för 660 kr/MWh (snitt / år).

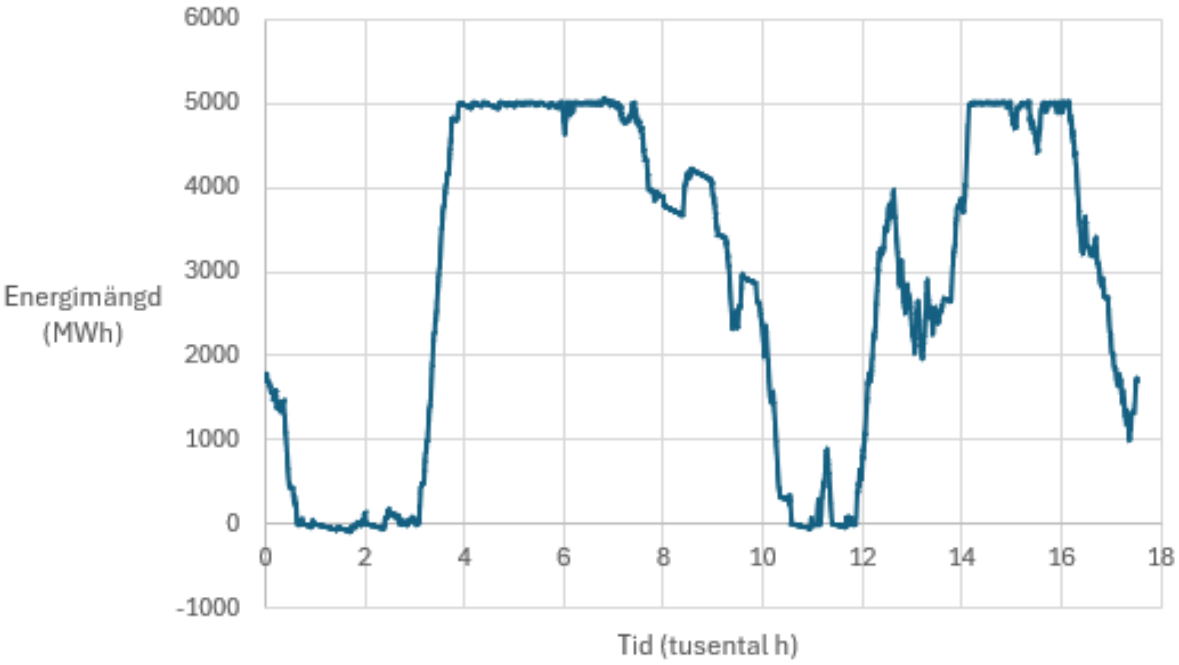
Test	Kapacitet (GWh)	Investerings-kostnad (Mkr)	Inladdad Energi (GWh)	Urladdad Energi (GWh)	Ladd-cykler (st.)	Förluster (GWh)	Sparande Per år (kkr.)	Åter-betalnings-tid (år)
1	5	73	11	9,0	1,8	2,2	700	130
2	5	73	11	9,0	1,8	2,1	1200	71
3	5	73	16	14	2,8	2,0	2500	31
4	10	123	21	17	1,7	3,9	2200	62
5	5	73	14	12	2,4	1,9	2600	29
6	5	73	20	18	3,5	1,9	3800	20

Sparandet per år tas fram från tabell 19.

Tabell 19: Kostnad för laddning och besparing vid urladdning (snitt / år).

Test	Kostnad laddning (kkr.)	Besparing urladdning (kkr.)
1	5900	6600
2	5400	6600
3	7900	10 400
4	10 100	12 300
5	6100	8700
6	9100	12 900

Prismarginalshöjningen från 100 kr till 200 kr är lönsam eftersom den inte begränsar laddningstillfällena på samma sätt som för 560 kr/MWh. Detta syns i figur 16.



Figur 16: Lagrets laddningsgrad under 2023 och 2024 för test 5, biobränslepris 660 kr/MWh.

Test 7 för Biobränslepris 560 kr/MWh

Samma kapacitet för 560 kr/MWh som 660 kr/MWh hade vid bästa resultat (5 GWh), testades för att kunna jämföra återbetalningstiden när biobränslepriset är det enda som skiljer. Tidigare test 3 för 560 kr/MWh gav en återbetalningstid på 63 år med en lagerkapacitet på 8 GWh. Ett lager på 5 GWh ger lägre återbetalningstid enligt tabell 20. Detta på grund av lägre investeringskostnad.

Tabell 20: Resultatsammanställning för 560 kr/MWh (snitt / år).

Test	Kapacitet (GWh)	Investerings-kostnad (Mkr)	Inladdad Energi (GWh)	Urladdad Energi (GWh)	Ladd-cykler (st.)	Förluster (GWh)	Sparande Per år (kkr.)	Åter-betalnings-tid (år)
7	5	73	16	14	2,8	1,8	1800	45

Sparandet per år tas fram från tabell 21.

Tabell 21: Kostnad för laddning och besparingen vid urladdning (snitt / år).

Test	Kostnad laddning (kkr.)	Besparing urladdning (kkr.)
7	7000	8800

5. Diskussion

5.1 Diskussion resultat

5.1.1 Placering av lagret

Resultaten för placering av lagret visar att lämpliga platser begränsas av kommunala och statliga planer samt tekniska aspekter. Därmed är lämpliga platser begränsade. De två platser som identifierats som intressanta och realistiska ligger nära intill varandra och ansluter båda till ledningen Borlänge – Falun. Båda placeringarna kommer med hinder. Område 2 hamnar nära ett planerat bostadsområde och även nära en skjutbana. Skjutbanan kan ha orsakat föroreningar vilket kan påverka processen för bygglov. Område 3 är både mer lättillgängligt och längre ifrån bebodda områden men ligger nära ett område för planerad järnväg. Marken för område 3 tillhör SSAB. Trots dessa hinder är dessa platser de mest lovande för konstruktion av groplager. Placering längre ifrån nätet kan vara möjligt men då ökar förluster och kostnader för ledningar. Även överföringskapaciteten förväntas försämras på grund av begränsningar i nätet vid anslutningspunkt längre ut i nätet.

Ett lager på 7000 MWh kräver en total yta på 2 ha (inkl. byggområde), vilket får plats på båda områdena. Vid placering på område 3, bör ett lite större lager få plats men då måste troligen befintlig gång/cykelväg grävas upp. Ett större lager är dock inget resultaten argumenterar för.

5.1.2 Simulering Netsim

En antagen avgränsning i Excelberäkningarna är att lagret kan laddas ut när framledningstemperaturen är som högst 85 °C. Enligt styrkurvan för nätet är det vid en utomhustemperatur vid -3 °C till -4 °C. Simuleringarna i Netsim är inte optimala i förhållande till urladdningsbegränsningen eftersom en del av simuleringarna utförs vid lägre temperaturer, då urladdning inte kan ske. Simulering vid -8 °C och en produktion runt 60 MW - 70 MW vid KV ger ett något högt differentialtryck (415 kPa) med en urladdning på 5 MW. Enligt resultatet minskar differentialtrycket när utomhustemperaturen ökar. Detta gör att en utomhustemperatur på -3 °C bör ge ett differentialtryck på mindre än 400 kPa med 5 MW urladdning. Används 6 bar som övre gräns kan det antas att 10 MW - 15 MW kan urladdas för utomhustemperaturer från -3 °C till 15 °C. Utifrån dessa resultat är 5 MW begränsningen för urladdning för att hålla differentialtrycket under 400 kPa. Begränsningen för uppladdning är 5 W för att hålla differentialtrycket positivt runt 100 kPa. För att kunna använda högre effekter vid uppladdning/urladdning krävs användning av pumpar för att hantera differentialtrycket. Mer utförliga simuleringar krävs för att identifiera vilken påverkan pumpar kan ha på differentialtrycket.

5.1.3 Beräkningar

Sparande direkt till nätet

Sparande direkt till nätet prioriteras över laddning av lagret. Dessa besparingar är direkt bundna till biobränslepriset och kräver ingen investering. Beroende på hur snabb svarstiden hos elpannan och biobränslepannan är, kan övergång från biobränsle till el vara mycket fördelaktig om biobränslepriserna stiger. Då dessa beräkningar inte tar hänsyn till någon slags tröghet i systemet är dessa resultat troligen något optimistiska då elpriset varierar så snabbt.

Groplager

Beräkningarna visar tydligt att uppvärmning av groplager med elektricitet inte är ekonomiskt gångbart vid nuvarande biobränslepriser. Användning av groplager blir minimal då elpriserna sällan är lägre än biobränslepriserna. Biobränslepriset 460 kr/MWh ger en del tillfällen där elpriskravet för laddning uppfylls. Det årliga sparandet som ges av användning av lagret är dock lägre än underhållskostnaden, vilket ger en negativ återbetalningstid för bränslepriser på 460 kr/MWh och lägre.

När priset på biobränslen ökat till 560 kr/MWh ges en positiv, om än mycket lång, återbetalningstid. Trots en markant höjning av biobränslepriset från 360 kr/MWh till 660 kr/MWh så är återbetalningstiden som lägst cirka 20 år för samtliga tester. 20 år är ungefär groplagrets livslängd. Det test som gav den kortaste återbetalningstiden, kräver investeringar i nätet för att höja effektuttaget till 30 MW. Dessa investeringar är inte inkluderade i beräkningarna. Återbetalningstiden tar inte hänsyn till någon ränta, en mer realistisk återbetalningstid med kalkylränta hade varit betydligt längre än lagrets livslängd.

Fler tester än studiens behövs för att ta fram de bästa lagerförutsättningarna och den kortaste återbetalningstiden. Det kan dock konstateras att biobränslepriset bör stiga ännu mer än 660 kr/MWh för att en groplagersinstallation ska kunna bli aktuell, förutsatt att elpriserna är oförändrade.

Prismarginal

Högre prismarginaler vid laddning av lagret ger lägre laddningskostnader. Detta är önskvärt så länge antalet laddningstimmar inte blir för begränsade och därmed inte ger någon laddning. Detta hände i test 5 för 560 kr/MWh, figur 15. Att välja/anpassa laddningspriset för att få ett bra/optimalt förhållande mellan laddningstimmar och kostnader är svårt då elpriset är okänt. Sätts marginalen för stor, riskeras för få laddningstillfällen och outnyttjad användning av lagrets volym. Mindre marginaler ger högre kostnad per laddningstimme.

Ladd/urladdningseffekt

När laddnings och urladdningseffekten ökar, får lagret fler laddcykler per år. Lagrets sparande höjs och återbetalningstiden sänks. Vid en höjning av effekten kan det ses som att lagret går miste om ”potentiella urladdningstimmar”, på grund av begränsningar i kapaciteten, och har onödiga förluster i toppen. Dessa perioder kan undvikas med ett större lager och/eller justering med prismarginaler. Vid en ökning i effektuttag till 30 MW från 10 MW, höjdes antal laddcykler med drygt 1 och återbetalningstiden sänktes nästan från 29 till 20 år, för 660 kr/MWh i biobränslepris.

Högre urladdningseffekt ger fjärrvärmenätet mer av en ”trygghet”. Det kan användas för att ersätta andra anläggningars produktion vid driftstopp/underhåll. Det krävs till exempel en urladdningseffekt på 27 MW för att ersätta KV:s biobränslepannas minimumeffekt. Lägre urladdningseffekter behöver kompenseras med andra värmeproducenter i nätet.

Högre laddningseffekt kräver färre laddningstimmar, därmed kan de låga elpristimmarna utnyttjas mer. Högre laddningseffekt gör att landningstillfällena kan begränsas till billigare elpristimmar. Återigen ska understrykas att det är svårt att förutse de bästa timmarna. Hög laddningseffekt och urladdningseffekt är viktigt för groplager och möjligheterna att höja dessa för nätet i Borlänge borde undersökas.

Lagerstorlek

En storleksökning för att ta vara på ”potentiella urladdningstillfällen” är inte lönsam enligt studiens resultat, i och med ökad investeringskostnad. I studiens fall för 560 kr/MWh och 660 kr/MWh ökar även andelen förluster med ett större lager. I dessa tester ökades volymen så att alla urladdningstimmar kunde ske. Mindre volymökningar utfördes inte men enligt resultaten borde dessa vara ”mindre dåliga”.

Trenden att lagervolymen blir större för ökade biobränslepriser bryts vid 660 kr/MWh. Detta biobränslepris gör att elpannan i KV används så pass ofta direkt ut till nätet och därmed täcker fjärrvärmebehovet. Antalet urladdningstillfällen för groplagret minkar på grund av prioriteringsordningen för produktionen. Testerna anpassar dock volymen efter möjliga urladdningar. Lagringskapaciteten sänktes från 8000 MWh (för 560 kr/MWh) till 5000 MWh (för 660 kr/MWh). Detta gör att jämförelser för olika biobränslepriser är svåra att göra, då investeringskostnaden har stor påverkan på återbetalningstiden. Test 7 ger en mer rättvis jämförelse mellan 560 kr/MWh och test 3 för 660 kr/MWh. När biobränslepriset är det enda som skiljer, sänks återbetalningstiden från 45 till 31 år.

Översikt

Resultatet tyder på att höga laddningseffekter/urladdningseffekter är viktigt för groplager. Ett större lager är inte ekonomiskt lönsamt i kombination med eluppvärmning.

Med dagens priser är uppvärmning av groplager med elpanna inte aktuellt. Beroende på prisutvecklingen kan det dock bli intressant. 2022 – 2023 såg skogsflis en ökning på 43 %, och 2023 – 2024 en ökning på 23%. Om den trenden fortsätter kommer priset att överstiga 630 kr/MWh inom ett par år. Vid detta pris kan möjligheter att ta vara på låga elpriser via uppvärmning av groplager att bli mer intressant. De senaste årens prisökningar har dock påverkats av den osäkra världshandeln och det är svårt att dra slutsatser om hur prisutvecklingen kommer att se ut de närmaste åren. På lång sikt förväntas dock biobränslepriserna att stiga, då efterfrågan ökar när fler industrier går över till biobränslen i den globala omställningen från fossila bränslen. Även framtidens elpriser är svåra att förutsäga. Om elprisernas instabilitet fortsätter kan groplager vara ett sätt att ta vara på låga timpriser. Om instabiliteten upphör försvinner även argumentet för lagring av värme från el. Utbyggnationen av förnybar energi kommer dock sannolikt att leda till fortsatt instabila elpriser. För att motivera investeringar i groplager, för lagring av värme från elpanna, i Borlänges fjärrvärmenät, krävs djupare analys av framtidens elpriser samt biobränslepriser. Möjligheterna att höja effektuttag för potentiella groplager bör också utvärderas.

Kostnaden/besparingen är beroende på hur både elpriset och biobränslepriset ser ut i framtiden. Det går att spekulera kring hur dessa priser kommer att ändras men en slutsats är att en groplagerinvestering i kombination med el är riskabelt ur ett ekonomiskt perspektiv.

5.2 Metodtillämplighet/felkällor

Utifrån rapportens diskussion kan fler tester göras. Fler volymer kan testas, gärna mindre volymer. Fler laddningseffekter och urladdningseffekter kan också testas. Rapportens metod i Excel kräver många tester för att hitta optimala förhållanden (prismarginaler, lagerstorlek och effekter) för biobränslepriser och är inte tidseffektivt. Andra program skulle kunna tillämpas i studien.

Majoriteten av dessa tester anpassar volymen till lagrets antal urladdningstimmar. Investeringskostnaden ändras utifrån lagrets storlek, tester för alla biobränslepriser med en och samma lagervolym vore bra. Detta för att jämföra biobränslepriserna oberoende av investeringskostnad och underhållskostnad.

Rökgaskondensering inkluderades inte i min.-effektbegränsningen för KV vilket gav en min.-effekt på 27 MW i stället för 36 MW. Med 36 MW i beräkningarna hade urladdningstillfällena för groplagret varit något färre enligt bränsleprioriteringen.

Rapporten tar inte hänsyn till eventuella driftsvårigheter för pannorna. Biobränslepannan kan vara svår att ställa om hastigt, vilket har bortsetts från. Verkningsgraden för biobränslepannan är antagen till 90 % vid beräkningarna. Verkningsgraden varierar beroende på driftfall och nyttjandegrad.

Studien tar inte hänsyn till importen/exporten i ledningen Borlänge - Falun i simuleringarna. Detta kan påverka differentialtrycket och därmed laddning och urladdningseffekten för lagret.

Investeringskostnaden för den extra elpannan i anslutning till lagret är inte medräknad.

Beräkningarna är gjorda i Excel. Det vore intressant att testa andra program där simuleringar kan göras. Till exempel för att kunna simulera systemet timme för timme, eller kortare tidsintervall. Gärna tillsammans med samma styrning som vid verklig drift.

5.3 Förslag till fortsatt arbete

Placeringarna bör undersökas ytterligare för dess lämplighet. Både marken i lagerområdet och ledningar från lagret till anslutningspunkt i nätet.

Andra uppvärmningsmetoder, för lagring, än el kan vara intressant. Till exempel solvärme eller industriell spillvärme beroende på hur Borlänges framtida industri ser ut.

Möjligheter att höja effekten för lagret kan undersökas, till exempel via simulering med pumpar för att veta hur mycket det är möjligt att begränsa differentialtrycken.

Värdet av att använda värmepump bör undersökas. Både i anslutning till lagret för att kunna urladda vid högre framledningstemperaturer och vid laddning av lagret. Värmepump kan också vara intressant i samband med spillvärme, beroende på framtida industri.

6. Slutsats

Denna studie har analyserat integration av groplager i Borlänges fjärrvärmenät, både ur ett geografiskt och ekonomiskt perspektiv. Utifrån resultaten har följande slutsatser dragits:

- I dagsläget är inte en groplagerinvestering i kombination med eluppvärmning aktuellt.
- Större lagerstorlekar är inte lönsamt i kombination med el för uppvärmning.
- Lager med högre urladdningseffekter ger fler laddcykler, är mer lönsamt och ger mer ”trygghet” när underhållsarbete krävs för övriga produktionsanläggningar i nätet.
- I Borlänges nät begränsas den maximala urladdningen av differentialtryck i Domnarvet/Medväga. Detta då lagret är kopplat till grundledningen Borlänge - Falun.
- Framtida elpriser samt biobränslepriser är okända. Det är svårt att utvärdera en framtida groplagersinvestering med eluppvärmning, med okända priser i åtanke. Därmed är en investering riskabel ur ett ekonomiskt perspektiv.

7. Referenser

[1] Energimyndigheten, ”Energiläget i siffror,” Energimyndigheten, 2024. [Online]. Tillgänglig: http://www.energimyndigheten.se/4a9942/globalassets/statistik/energilaget/energilaget-i-siffror-2024.xlsx.

[2] Borlänge Energi, ”Hur fungerar fjärrvärme?,” Borlänge Energi, 2024. [Online]. Tillgänglig: https://www.borlange-energi.se/fjarrvarme/hur-fungerar-fjarrvarme. [Använd 21 Mars 2025].

[3] E. Rydegran, ”Fjärrvärmenätet - distribution,” 11 Juli 2023. [Online]. Tillgänglig: https://www.energiforetagen.se/energifakta/fjarrvarme/fjarrvarmenaten-distribution/. [Använd 30 Maj 2025].

[4] E. Rydegran, ”Fjärrvärmeproduktion,” energiföretagen.se, 11 Juli 2023. [Online]. Tillgänglig: https://www.energiforetagen.se/energifakta/fjarrvarme/fjarrvarmeproduktion/. [Använd 18 Mars 2025].

[5] Skara Energi, ”Utmaningar för framtidens fjärrvärme,” Skara Energi, [Online]. Tillgänglig: https://skaraenergi.se/utmaningar-med-biobranslen-inom-fjarrvarme/. [Använd 18 Mars 2025].

[6] A. Lätt, J.-O. Sundqvist, A. Almasi, H. M. Ekholm, J. Gode, R. Berglund, L. Youhanan och A. Fråne, ”Avfallets roll i framtidens energisystem,” Energiforsk, 2019. [Online]. Tillgänglig: https://energiforsk.se/media/26467/avfallets-roll-i-framtidens-energisystem-energiforskrapport-2019-589.pdf.

[7] G. Andersson, J. Hedlund och E. Thurebom, ”Lägre utsläpp från fjärrvärmens topplast och reserv - En studie om hinder, incitament och styrmedel,” WSP.com, 2022. (Online). Tillgänglig: https://www.wsp.com/-/media/insights/sweden/documents/2022/lagre-utslapp-fran-fjarrvarmens-topplast-och-reserv.pdf.

[8] Energimyndigheten, ”Trädbränsle och torvpriser, per kvartal exklusive skatt, från och med 1993, kronor/MWh fritt förbrukare, löpande priser,” Energimyndigheten, 5 Mars 2025. [Online]. Tillgänglig: https://pxexternal.energimyndigheten.se/pxweb/sv/Energimyndighetens_statistikdatabas/Energimyndighetens_statistikdatabas__Officiell_energistatistik__Tradbransle_och_torvpriser/1_EN0307_1.px/. [Använd 6 Maj 2025].

[9] Energimyndigheten, ”Avfallspriser, per kvartal exklusive skatt, från och med 2021, kronor/MWh, fritt förbrukare, löpande priser,” Energimyndigheten, 5 Mars 2025. [Online]. Tillgänglig: https://pxexternal.energimyndigheten.se/pxweb/sv/Energimyndighetens_statistikdatabas/Energimyndighetens_statistikdatabas__Officiell_energistatistik__Tradbransle_och_torvpriser/3_EN0307_5.px/. [Använd 6 Maj 2025].

[10] K. Vilén och E. O. Ahlgren, ”Storskalig termisk säsongslagring i ett utvecklande fjärrvärmesystem – Långsiktig modellering av sammankopplad tillgång och efterfrågan (engelska),” Smart Energy, vol. vol. 15, 2024. doi: 10.1016/j.segy.2024.100156 [Online]. Tillgänglig: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666955224000261.

[11] M. Gao, S. Furbo, W. Kong, D. Wang och J. Fan, ”Validering och optimering av ett solfjärrvärmenät med storskaligt värmelager (engelska),” Journal of Cleaner Production, vol. vol. 484, 2024. doi: 10.1016/j.jclepro.2024.144360. [Online]. Tillgänglig: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652624038095.

[12] K. Åkerlund, T. Nordin och O. Penttinen, ”Dimensionering Av Servisledningar,” Energiforsk, 2021. [Online]. Tillgänglig: https://energiforsk.se/media/30563/dimensionering-av-servisledningar-i-distributionssystem-energiforskrapport-2021-813.pdf.

[13] S. Dadi, F. Niels, P. A. Sørensen, S. Thomas, K. Michael och P. Thomas, ”Gropvärmeenergilager för smart fjärrvärme och fjärrkyla (engelska),” IEA, 2020. [Online]. Tillgänglig: https://www.iea-dhc.org/the-research/annexes/annex-xii/annex-xii-project-03.

[14] H. Sköldberg, J. Holm och A. Rensfeldt, ”Värdet av säsongslager i regionala energisystem - modellberäkningar av sex typsystem,” Energiforsk, 2019. [Online]. Tillgänglig: https://energiforsk.se/media/27170/vardet-av-sasongslager-i-regionala-energisystem-energiforskrapport-2019-624.pdf .

[15] M. V. Jensen och J. E. Nielsen, ”Säsongsgroplager - Riktlinjer för material och konstruktion (engelska),” Planenergi, International Energy Agency - Solar heating and cooling programme, 2020. [Online]. Tillgänglig: https://task55.iea-shc.org/fact-sheets.

[16] C. Bales, U. Persson, P. Saini, F. Ottermo, L. S. García, J. Byström och E. Björkland, ”Soldriven fjärrvärme med groplager för svenska förhållanden,” Energimyndigheten, 2025. [Online]. Tillgänglig: https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:du-50446.

[17] Y. Xiang, Z. Xie, S. Furbo, D. Wang, M. Gao och J. Fan, ”En omfattande översikt över termisk energilagring i gropar: Tekniska element, numeriska metoder och aktuella tillämpningar (engelska),” Journal of Energy Storage, vol. 55, nr Part C, 2022. doi: 10.1016/j.est.2022.105716. [Online]. Tillgänglig: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352152X22017042.

[18] F. Fogelström, I. Danielski, T. Nguyen och G. Nair, ”En översikt över möjligheter och utmaningar med värmelagring i gropar inom svensk fjärrvärme (engelska),” i Int Sustain Ener Conf Proc, Graz, 2024. doi: 10.52825/isec.v1i.1221. [Online]. Tillgänglig: https://www.tib-op.org/ojs/index.php/isec/article/view/1221.

[19] Energimyndigheten, ”Trädbränsle och torvpriser, per år exklusive skatt, från och med 1993, kronor/MWh fritt förbrukare, löpande priser efter Period, Sortiment och Användare,” 5 Mars 2025. [Online]. Tillgänglig: https://pxexternal.energimyndigheten.se/pxweb/sv/Energimyndighetens_statistikdatabas/Energimyndighetens_statistikdatabas__Officiell_energistatistik__Tradbransle_och_torvpriser/2_EN0307_2.px/. [Använd 6 Maj 2025].

[20] Borlänge Kommun, ”Sammanvägd markanvändning,” Borlänge Kommun, 17 April 2025. [Online]. Tillgänglig: https://www.borlange.se/fordjupad-oversiktsplan-borlange/sammanvagd-markanvandning. [Använd 22 April 2025].

[21] Länsstyrelsen Dalarnas Län, ”Planeringsunderlag,” [Online]. Tillgänglig: https://ext-geoportal.lansstyrelsen.se/standard/?appid=c45f776423d948caa269c98e21a11950. [Använd 23 April 2025].

[22] Borlänge kommun, ”Borlänge växer,” [Online]. Tillgänglig: https://www.borlange.se/bygga-bo-och-miljo/borlangevaxer. [Använd 23 April 2025].

[23] Lantmäteriet, ”MinKarta,” [Online]. Tillgänglig: https://minkarta.lantmateriet.se/. [Använd 23 April 2025].

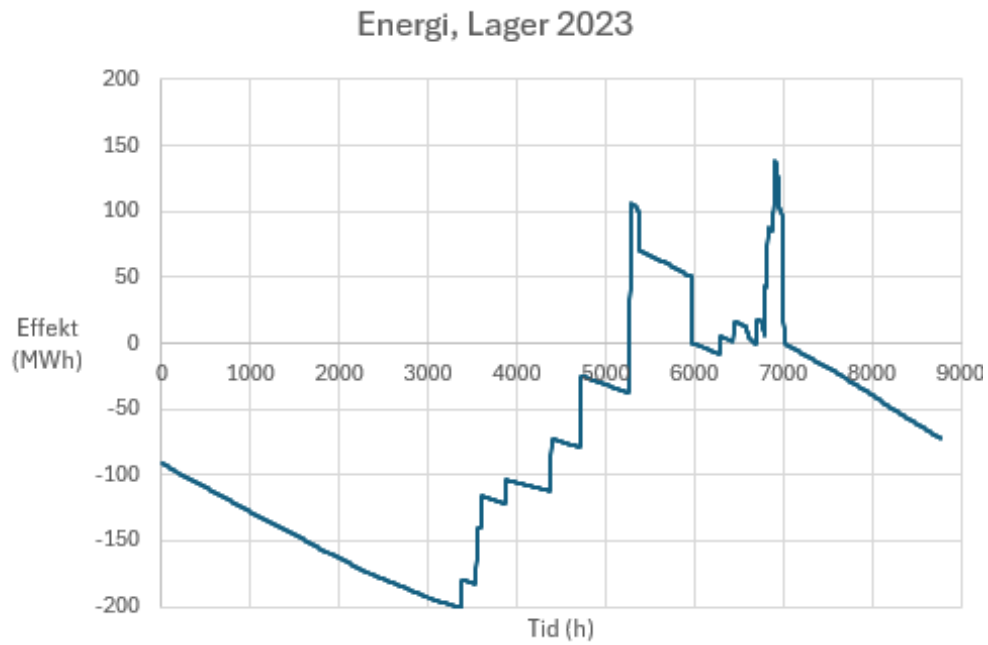
[24] Energimyndigheten, ”Trädbränsle-, torv- och avfallpriser, per region exklusive skatt, från och med 2023, kronor/MWh fritt förbrukare, löpande priser,” Energimyndigheten, 5 Mars 2025. [Online]. Tillgänglig: https://pxexternal.energimyndigheten.se/pxweb/sv/Energimyndighetens_statistikdatabas/Energimyndighetens_statistikdatabas__Officiell_energistatistik__Tradbransle_och_torvpriser/5_EN0307_6.px/. [Använd 20 Maj 2025].

[25] Skatteverket, ”Energiskatt på elektrisk kraft,” 2024. [Online]. Tillgänglig: https://www.skatteverket.se/download/18.262c54c219391f2e9634299/1734521730980/skattesatser%20tom%202025.pdf. [Använd 20 Maj 2025].

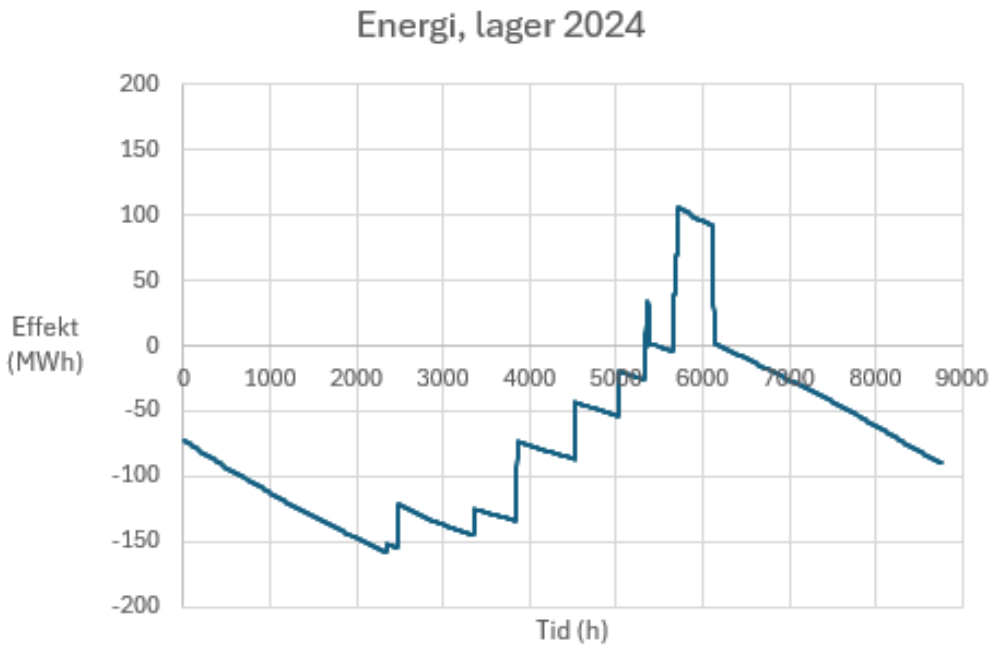
8. Bilaga 1

Biobränslepris 360 kr/MWh

Test 1



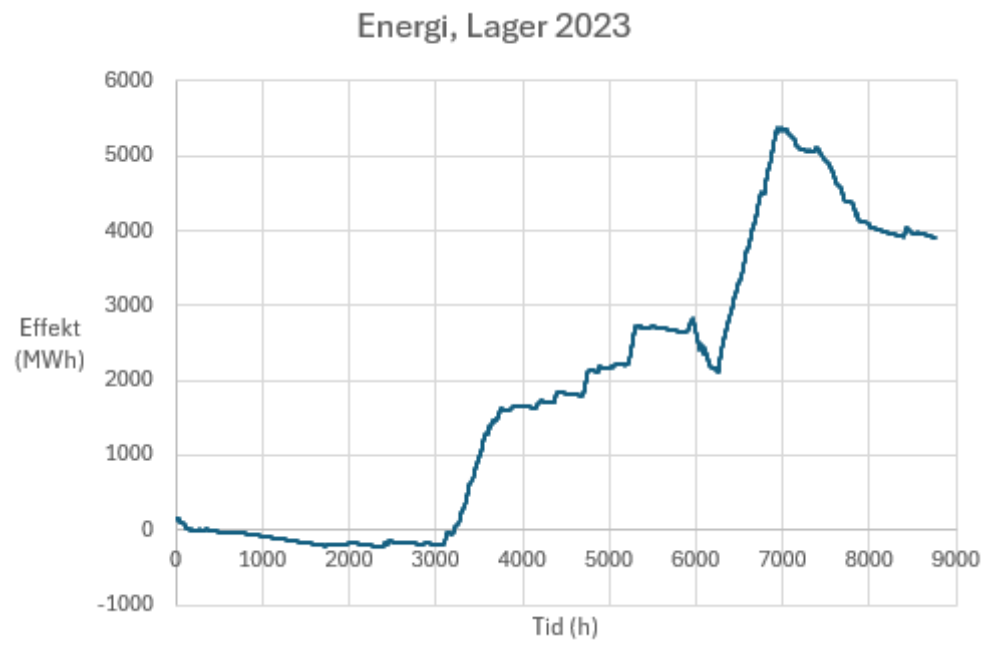
Figur 1: Lagrets laddningsgrad under 2023 vid start med 2024's slutvärde. Biobränslepris på 360 kr/MWh.



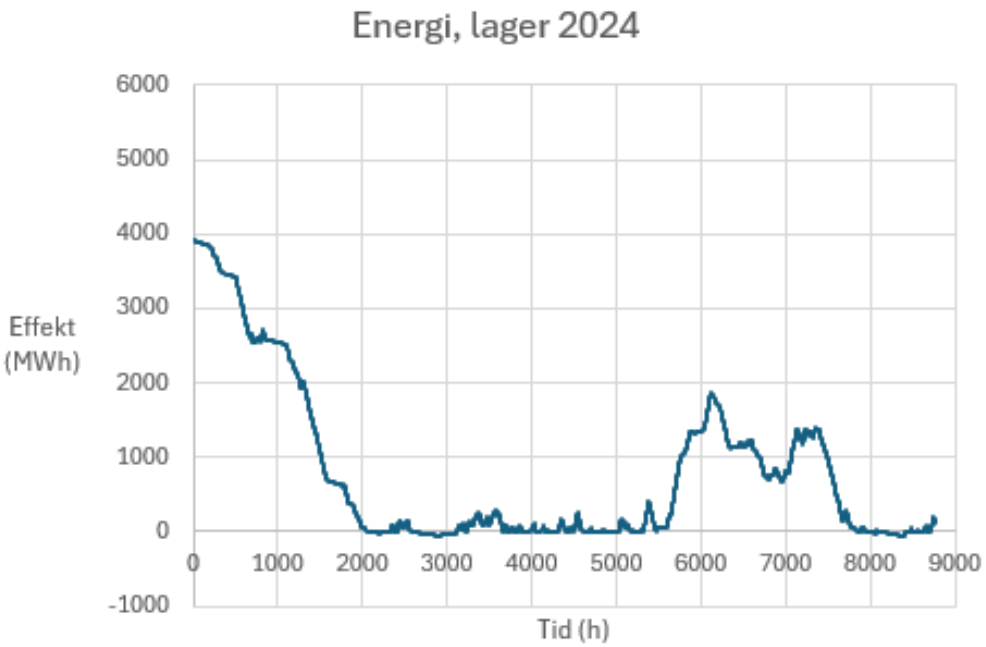
Figur 2: Lagrets laddningsgrad under 2024 vid start med fortsättning på slutvärdet från 2023. Biobränslepris på 360 kr/MWh.

Biobränslepris 460 kr/MWh

Test 1

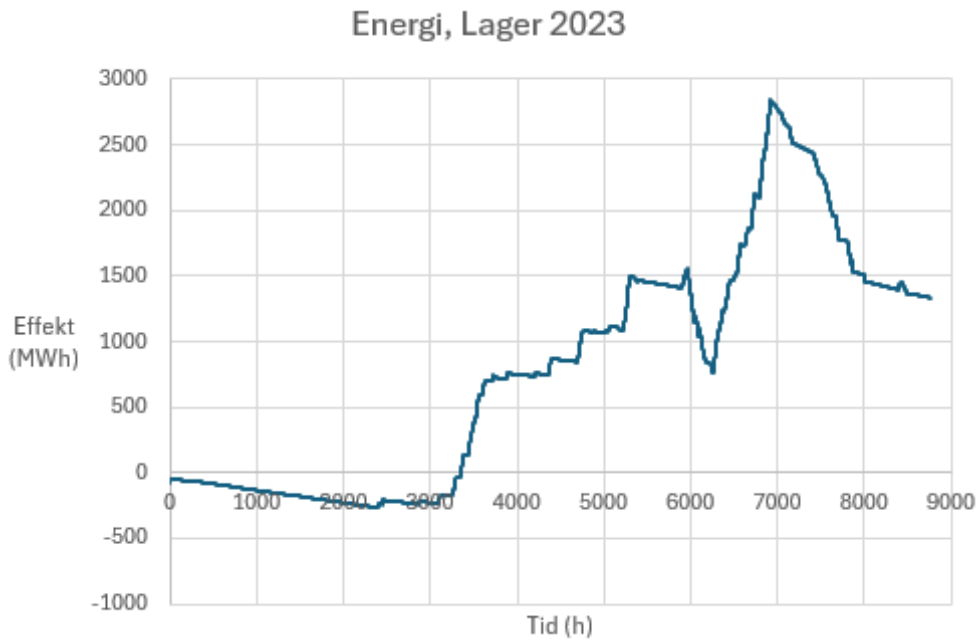


Figur 3: Lagrets laddningsgrad under 2023 vid start med 2024's slutvärde. Biobränslepris på 460 kr/MWh.

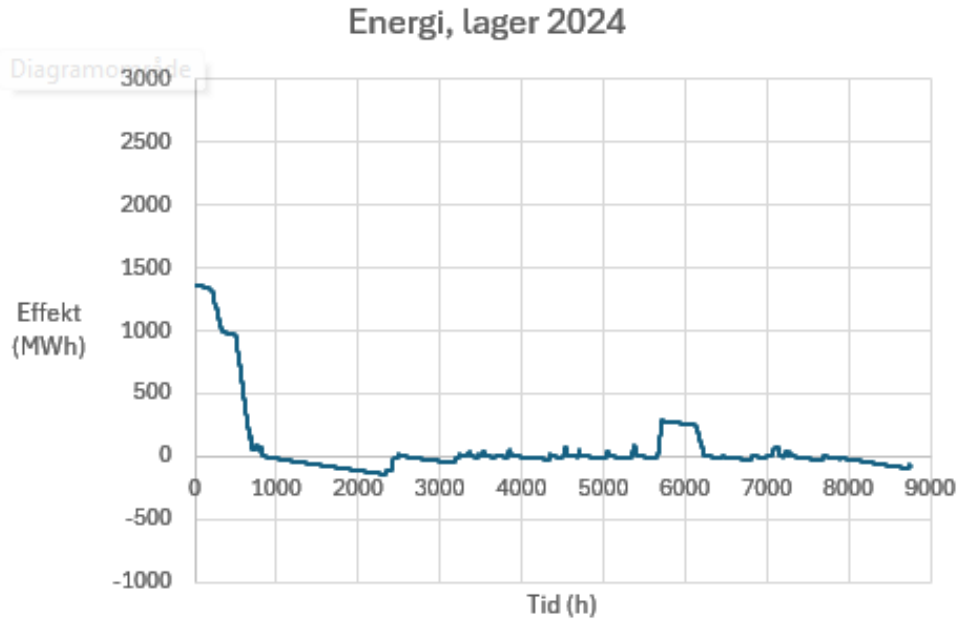


Figur 4: Lagrets laddningsgrad under 2024 vid start med fortsättning på slutvärdet från 2023. Biobränslepris på 460 kr/MWh.

Test 2

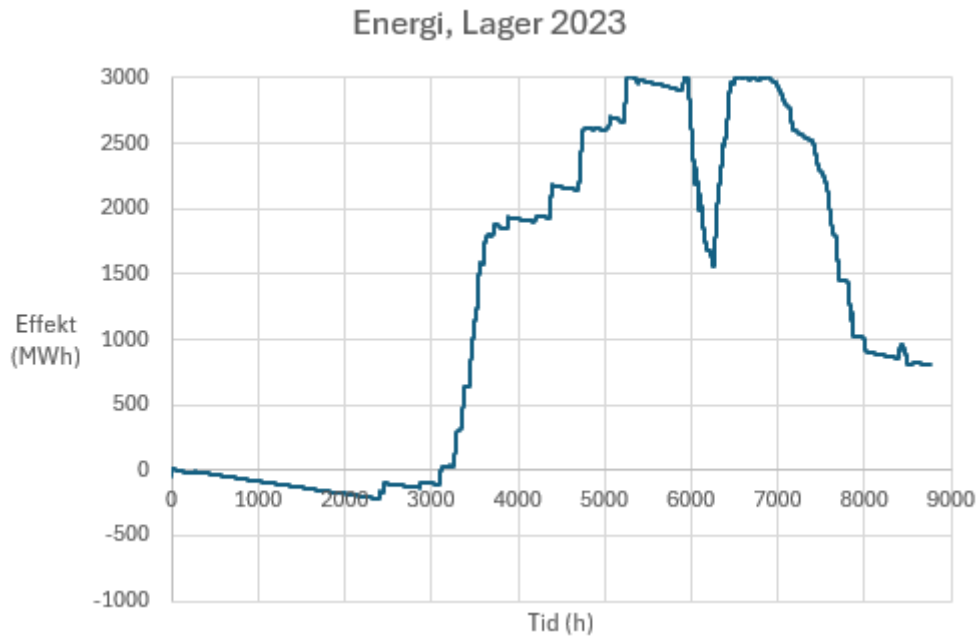


Figur 5: Lagrets laddningsgrad under 2023 vid start med fortsättning på slutvärdet från 2024. Biobränslepris på 460 kr/MWh.

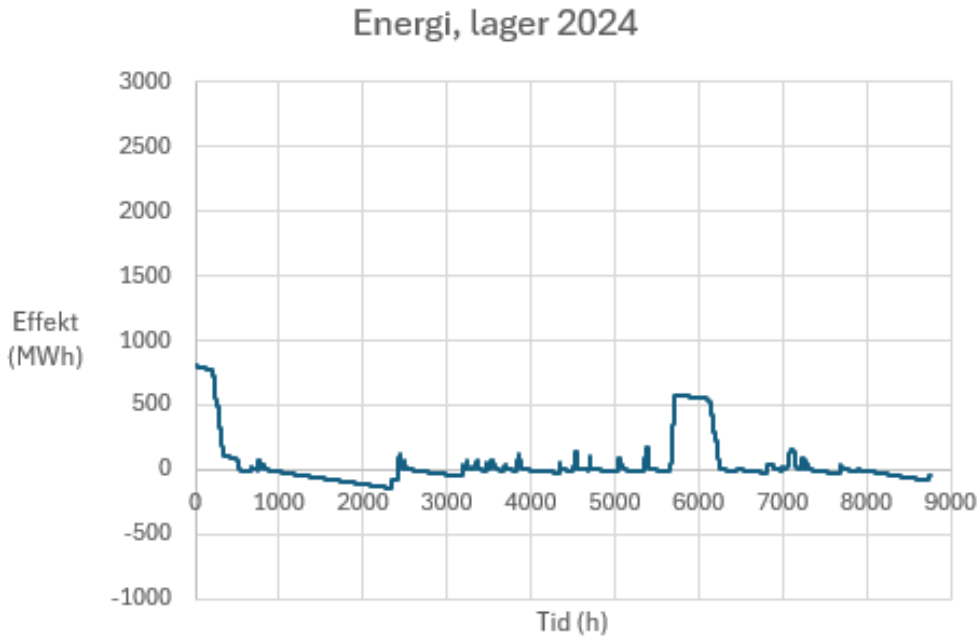


Figur 6: Lagrets laddningsgrad under 2024 vid start med fortsättning på slutvärdet från 2023. Biobränslepris på 460 kr/MWh.

Test 3

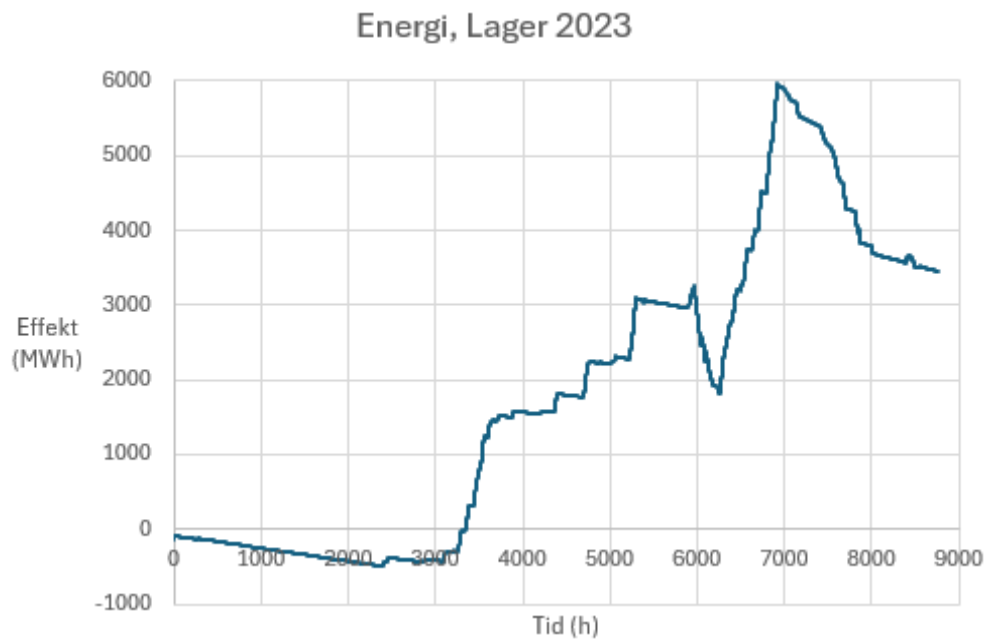


Figur 7: Lagrets laddningsgrad under 2023 vid start med fortsättning på slutvärdet från 2024. Biobränslepris på 460 kr/MWh.

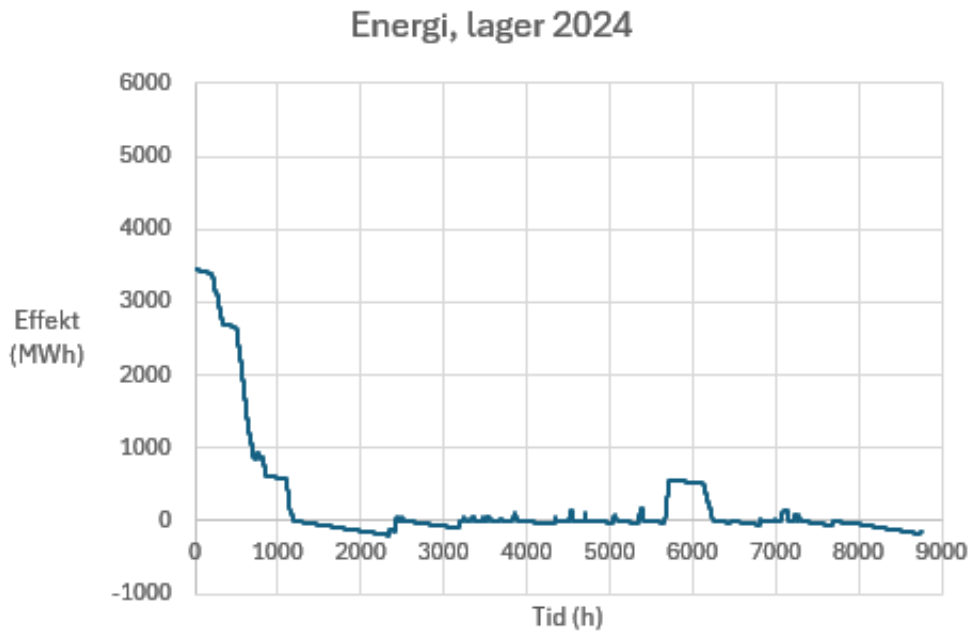


Figur 8: Lagrets laddningsgrad under 2024 vid start med fortsättning på slutvärdet från 2023. Biobränslepris på 460 kr/MWh.

Test 4



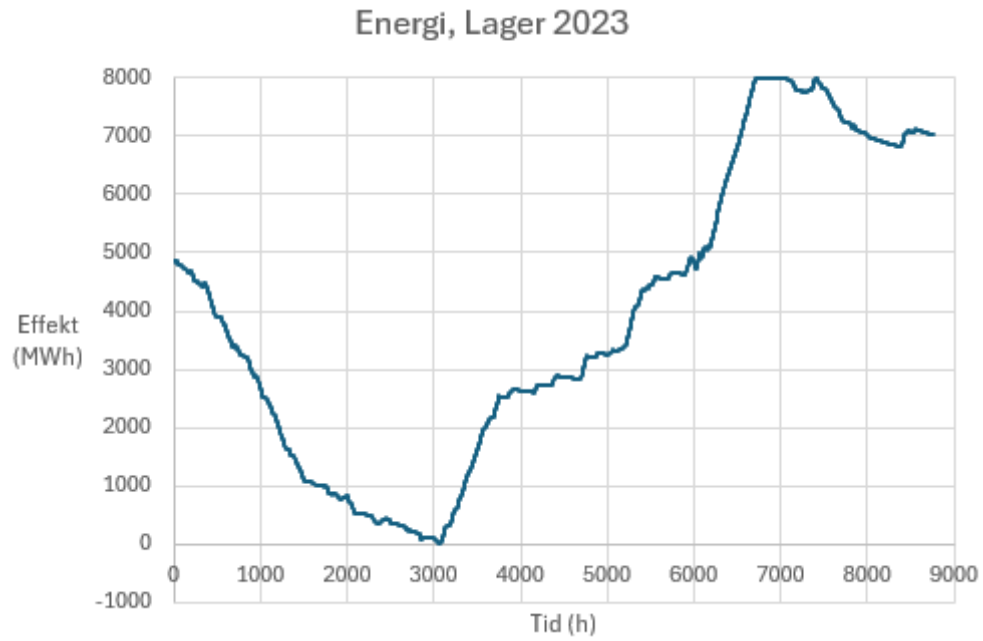
Figur 9: Lagrets laddningsgrad under 2023 vid start med fortsättning på slutvärdet från 2024. Biobränslepris på 460 kr/MWh.



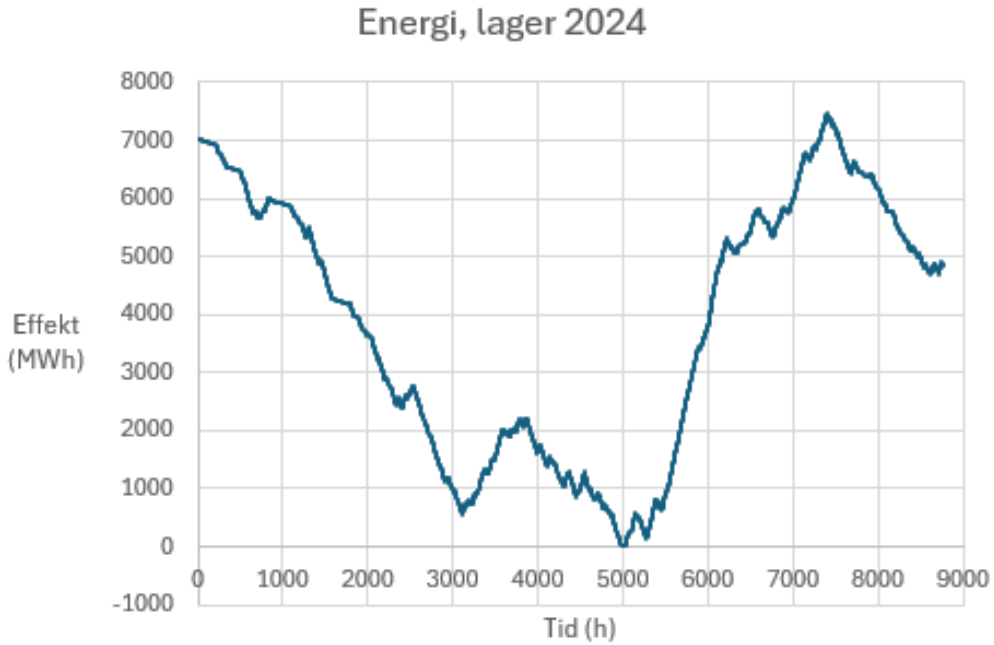
Figur 10: Lagrets laddningsgrad under 2024 vid start med fortsättning på slutvärdet från 2023. Biobränslepris på 460 kr/MWh.

Biobränslepris 560 kr/MWh

Test 1

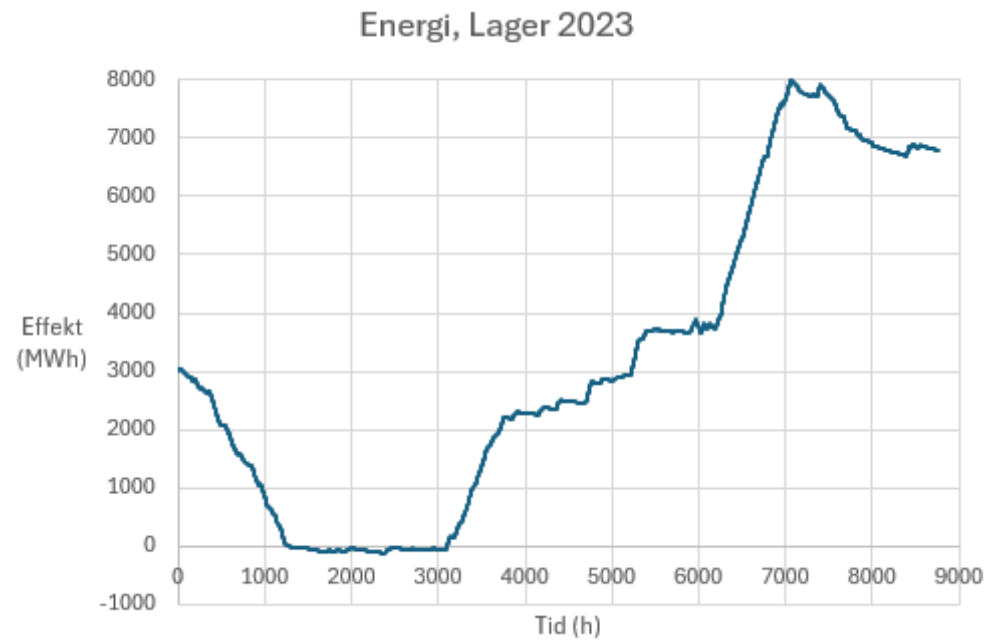


Figur 11: Lagrets laddningsgrad under 2023 vid start med 2024's slutvärde. Biobränslepris på 560 kr/MWh.

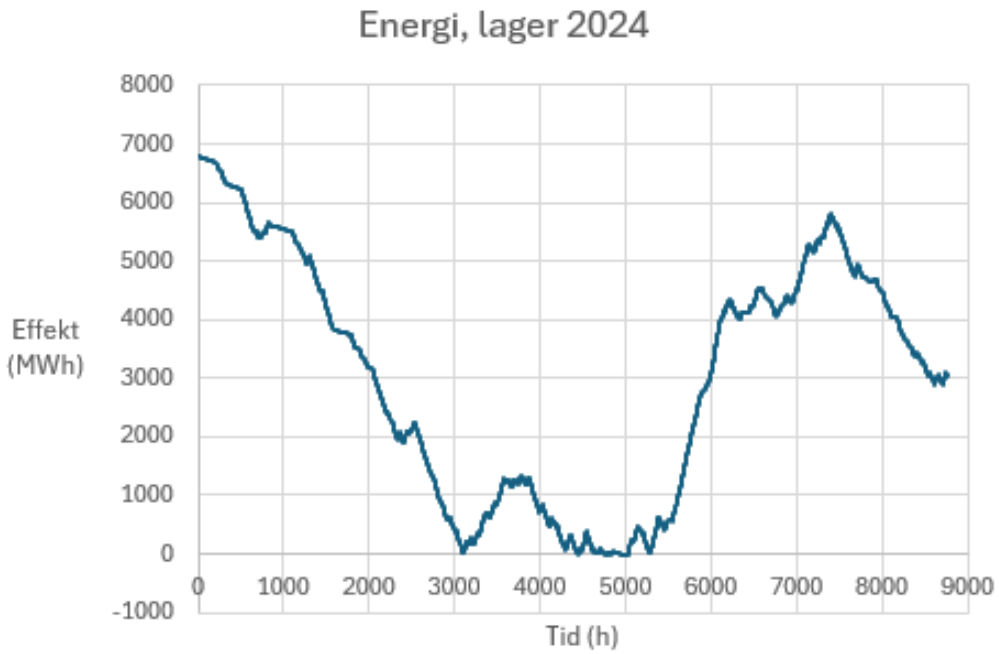


Figur 12: Lagrets laddningsgrad under 2024 vid start med fortsättning på slutvärdet från 2023. Biobränslepris på 560 kr/MWh.

Test 2

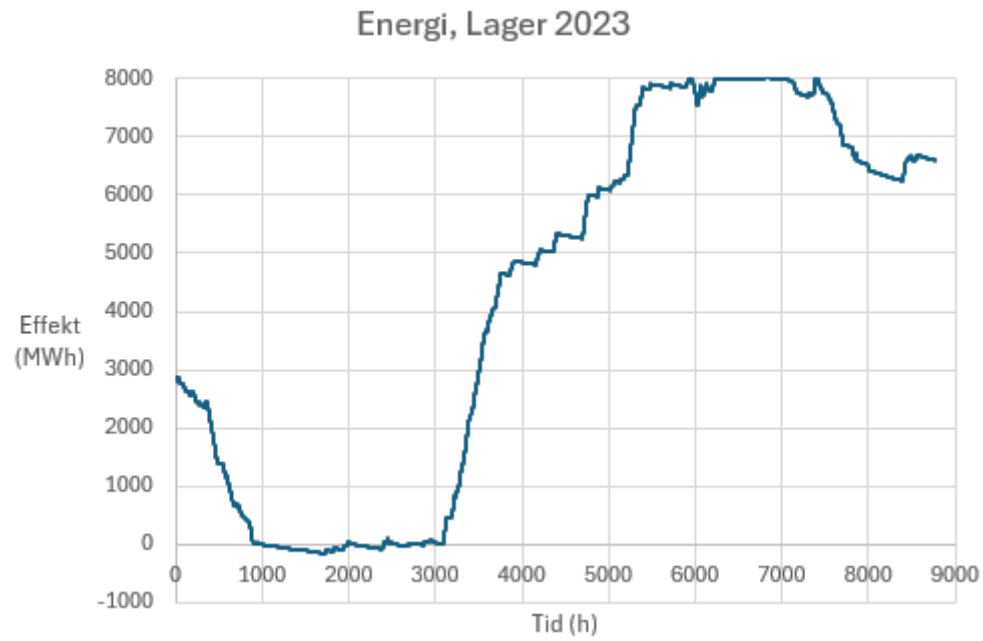


Figur 13: Lagrets laddningsgrad under 2023 vid start med 2024's slutvärde. Biobränslepris på 560 kr/MWh.

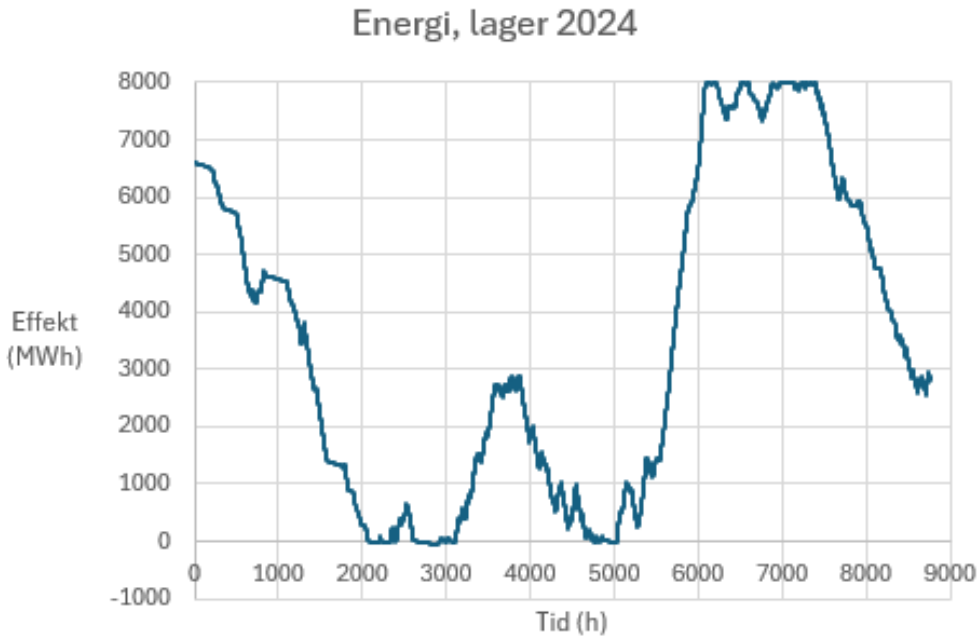


Figur 14: Lagrets laddningsgrad under 2024 vid start med fortsättning på slutvärdet från 2023. Biobränslepris på 560 kr/MWh.

Test 3

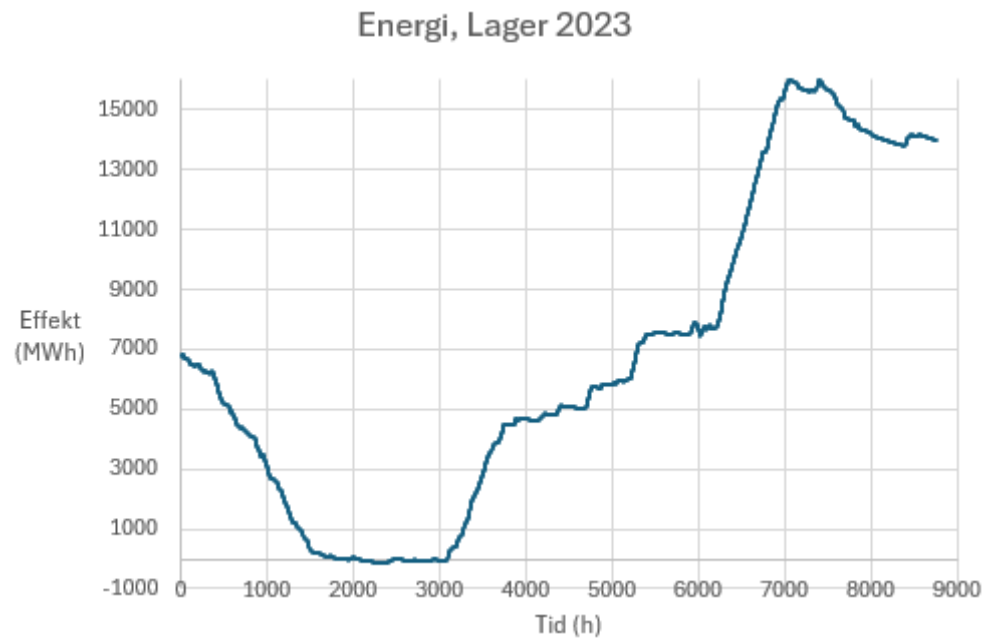


Figur 15: Lagrets laddningsgrad under 2023 vid start med 2024's slutvärde. Biobränslepris på 560 kr/MWh.

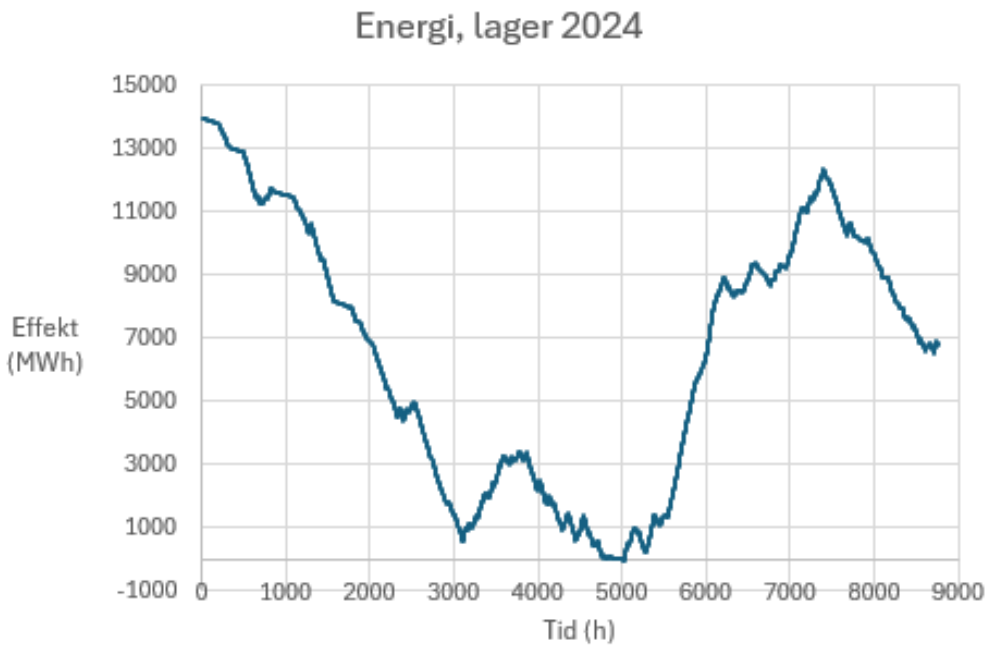


Figur 16: Lagrets laddningsgrad under 2024 vid start med fortsättning på slutvärdet från 2023. Biobränslepris på 560 kr/MWh.

Test 4

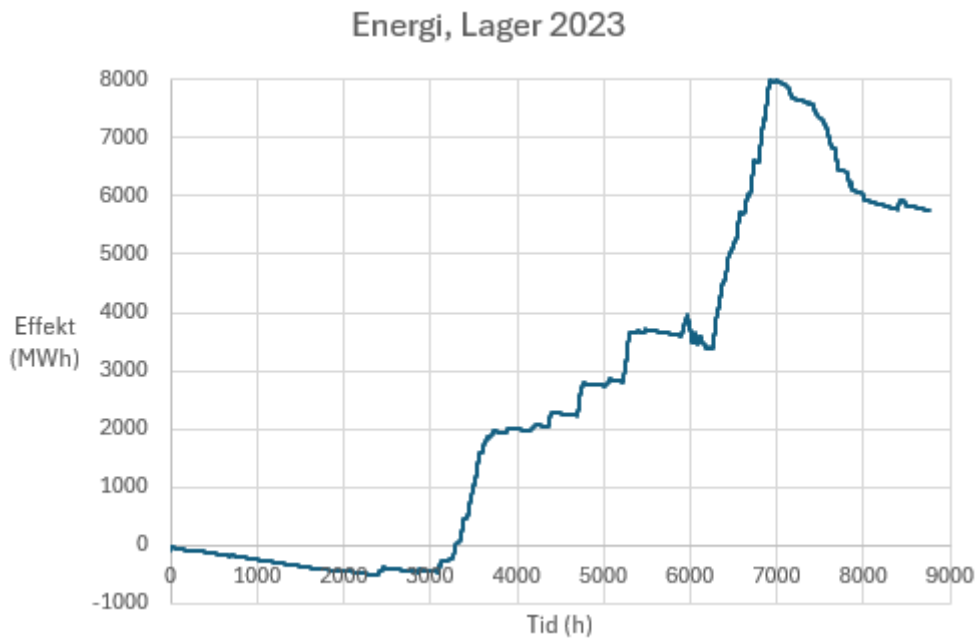


Figur 17: Lagrets laddningsgrad under 2023 vid start med 2024's slutvärde. Biobränslepris på 560 kr/MWh.

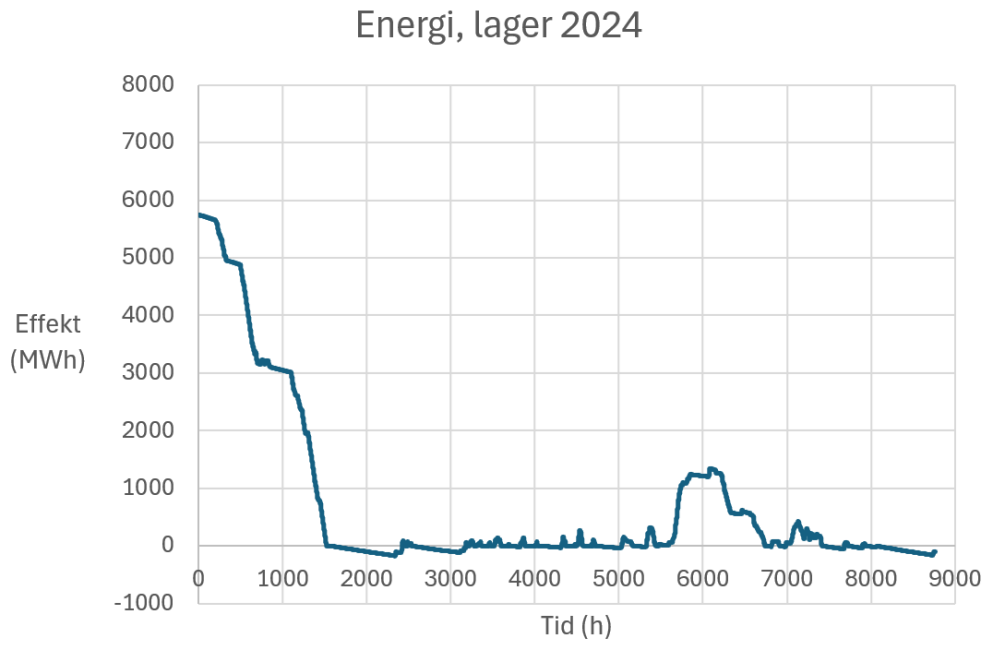


Figur 18: Lagrets laddningsgrad under 2024 vid start med fortsättning på slutvärdet från 2023. Biobränslepris på 560 kr/MWh.

Test 5

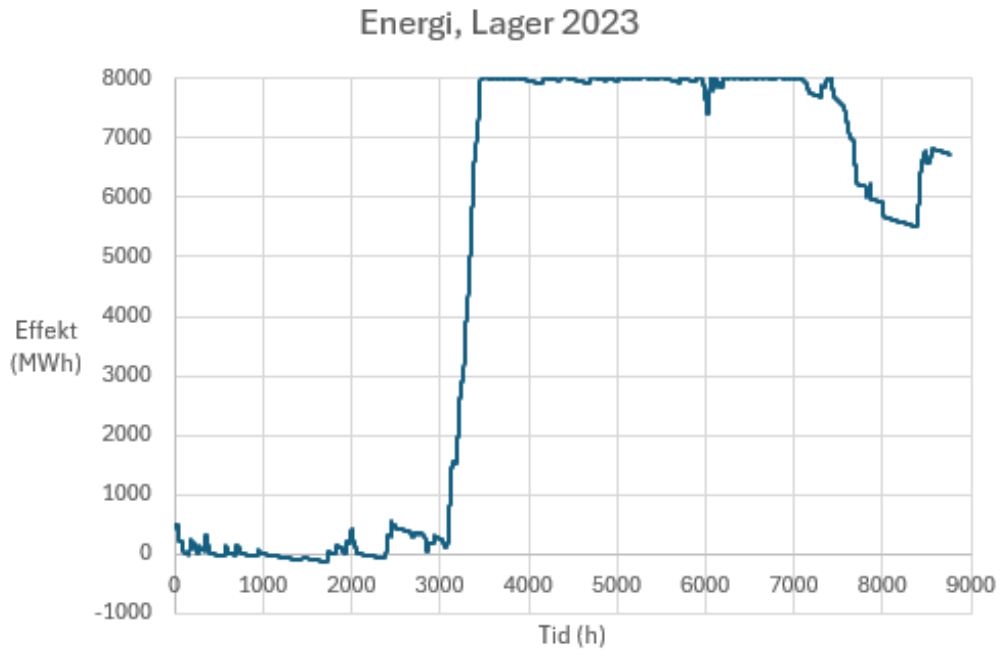


Figur 19: Lagrets laddningsgrad under 2023 vid start med 2024's slutvärde. Biobränslepris på 560 kr/MWh.

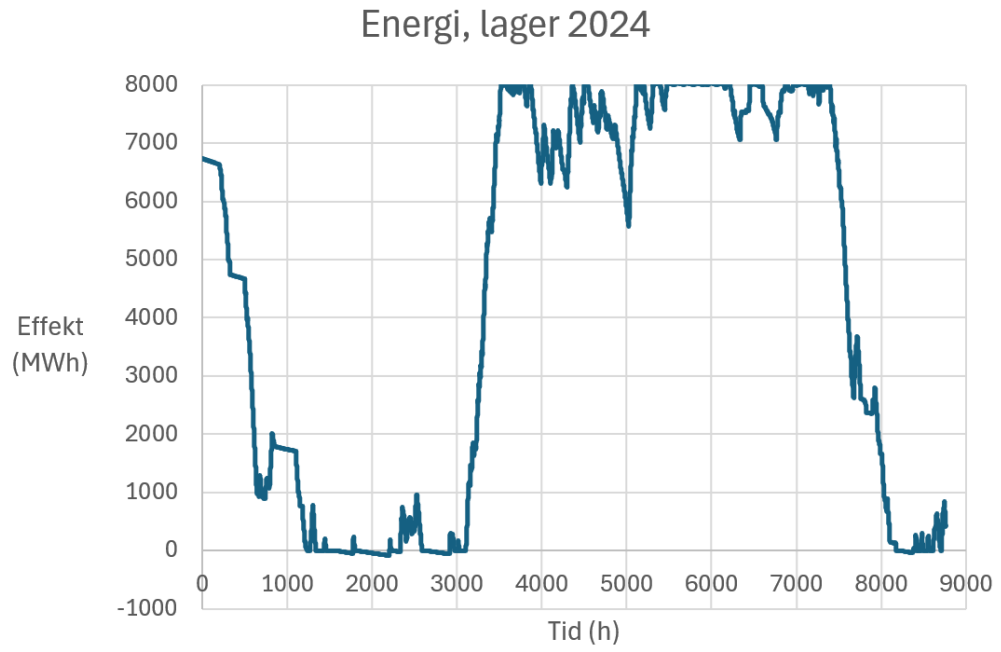


Figur 20: Lagrets laddningsgrad under 2024 vid start med fortsättning på slutvärdet från 2023. Biobränslepris på 560 kr/MWh.

Test 6

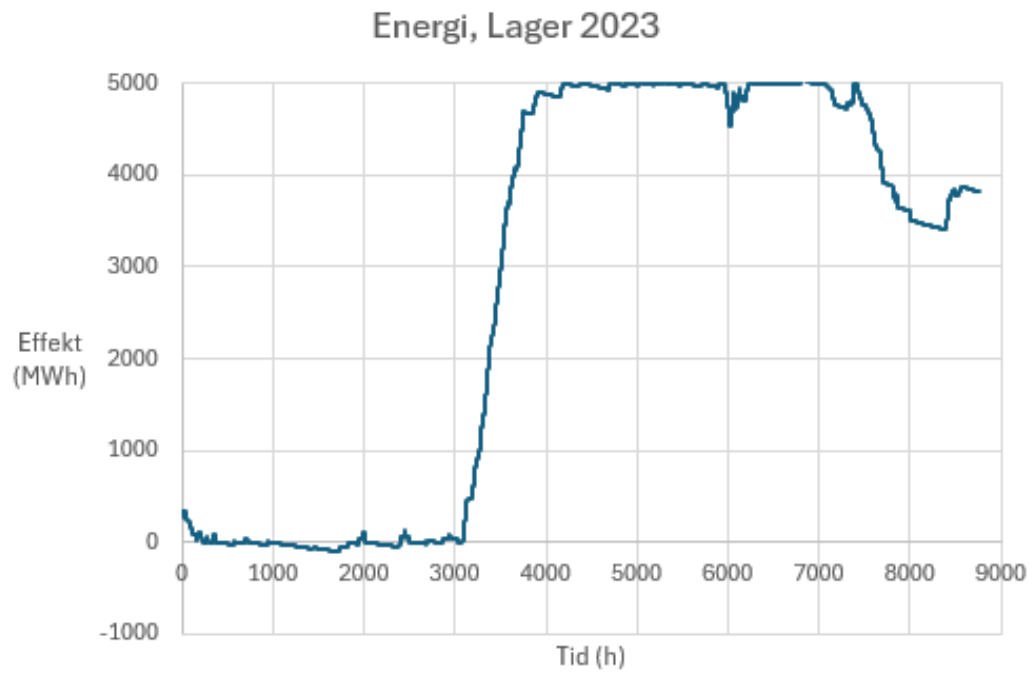


Figur 21: Lagrets laddningsgrad under 2023 vid start med 2024's slutvärde. Biobränslepris på 560 kr/MWh.

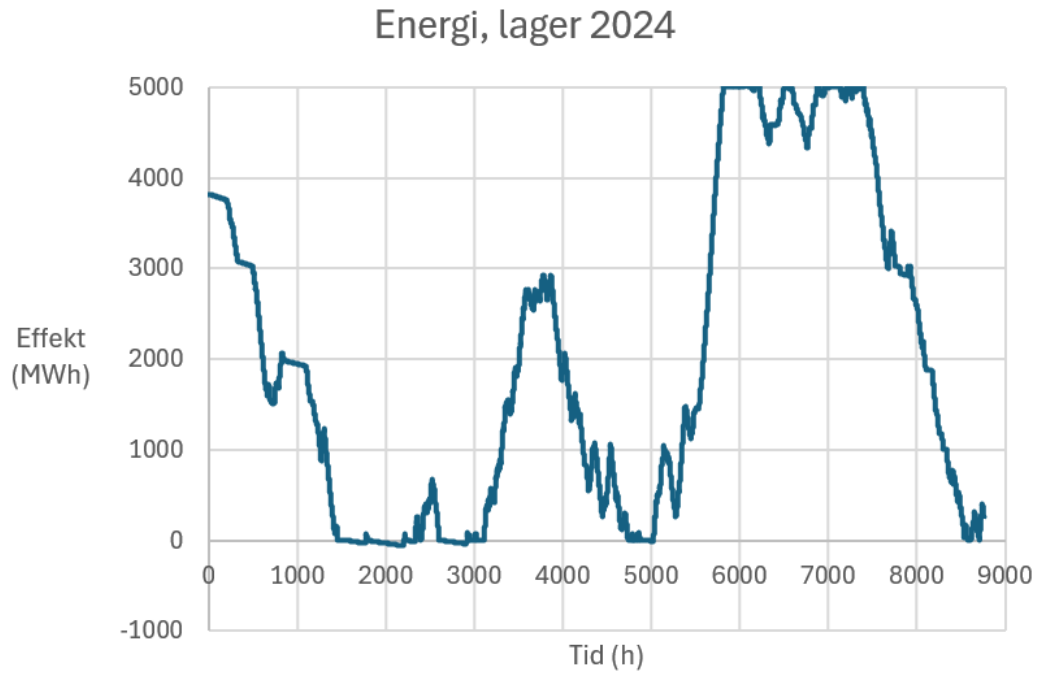


Figur 22: Lagrets laddningsgrad under 2024 vid start med fortsättning på slutvärdet från 2023. Biobränslepris på 560 kr/MWh.

Test 7



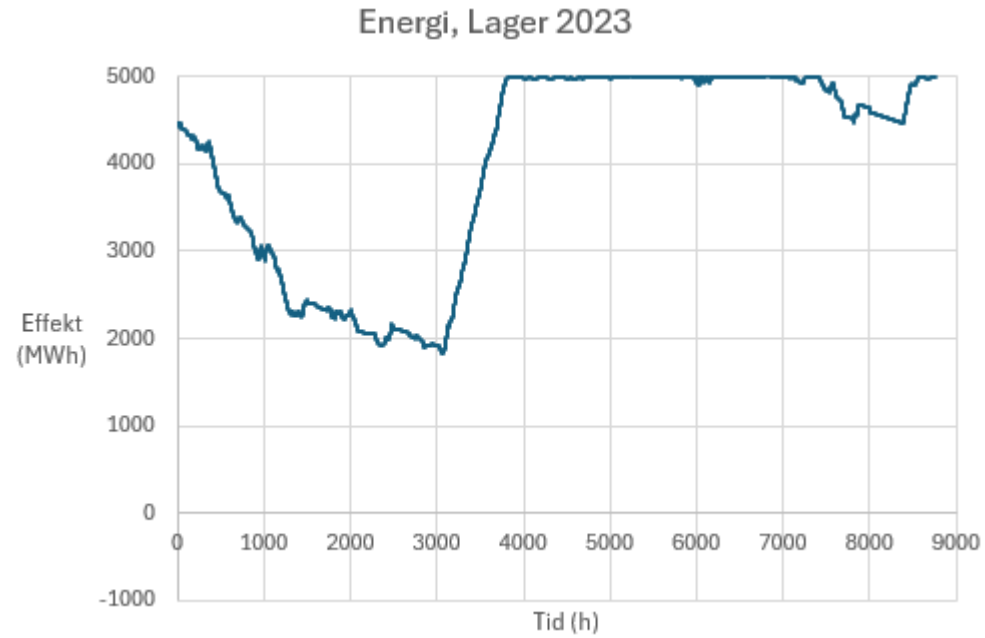
Figur 23: Lagrets laddningsgrad under 2023 vid start med 2024's slutvärde. Biobränslepris på 560 kr/MWh.



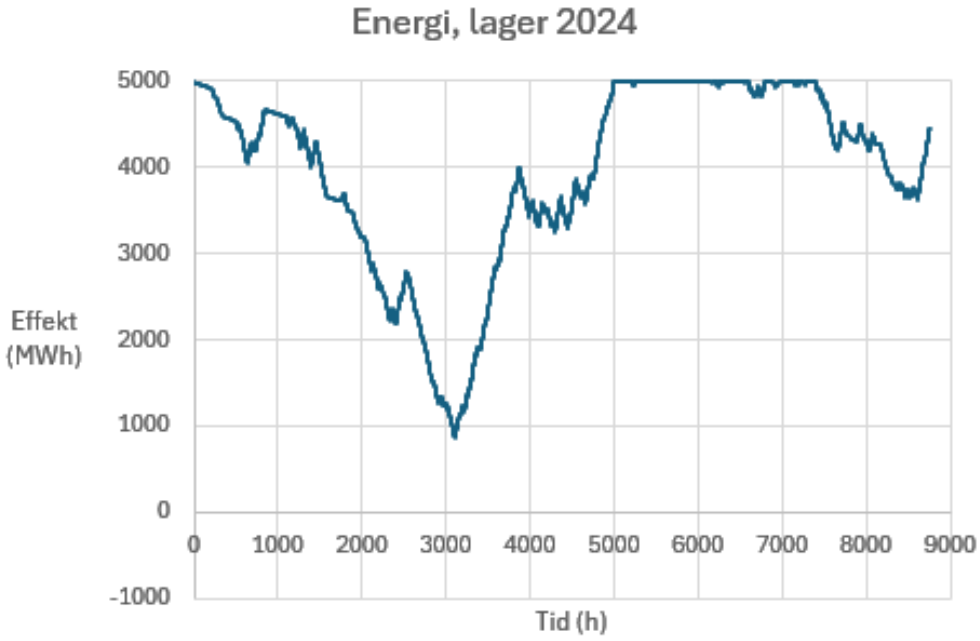
Figur 24: Lagrets laddningsgrad under 2024 vid start med fortsättning på slutvärdet från 2023. Biobränslepris på 560 kr/MWh.

Biobränslepris 660 kr/MWh

Test 1

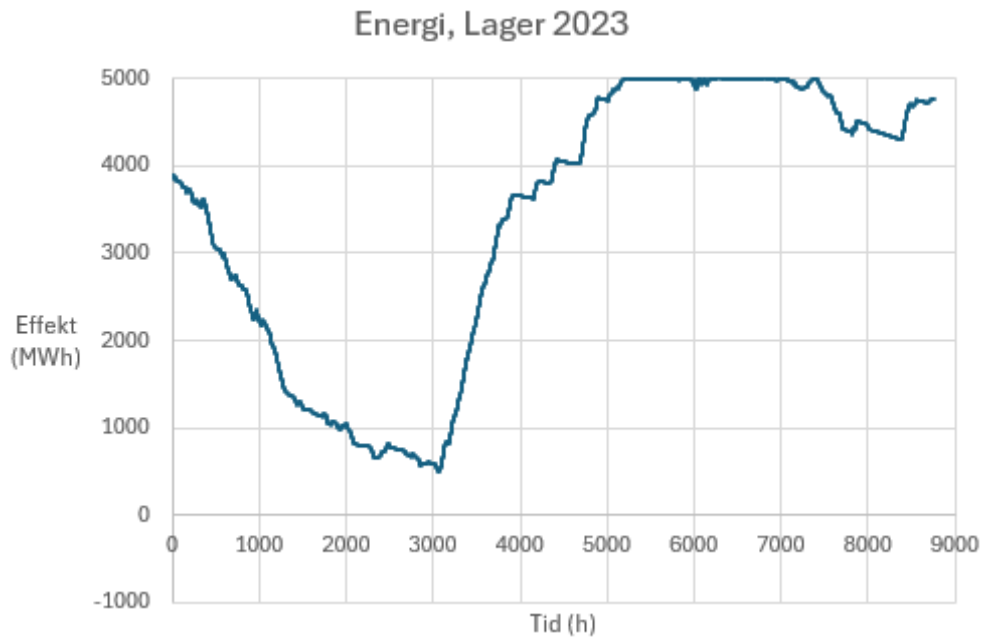


Figur 25: Lagrets laddningsgrad under 2023 vid start med 2024's slutvärde. Biobränslepris på 660 kr/MWh.

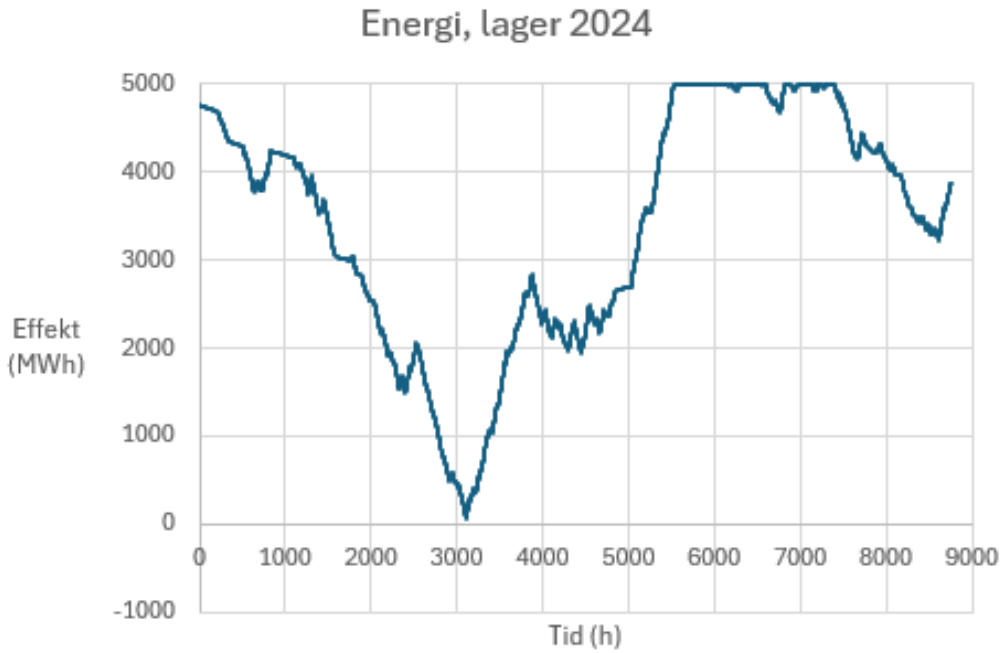


Figur 26: Lagrets laddningsgrad under 2024 vid start med fortsättning på slutvärdet från 2023. Biobränslepris på 660 kr/MWh.

Test 2

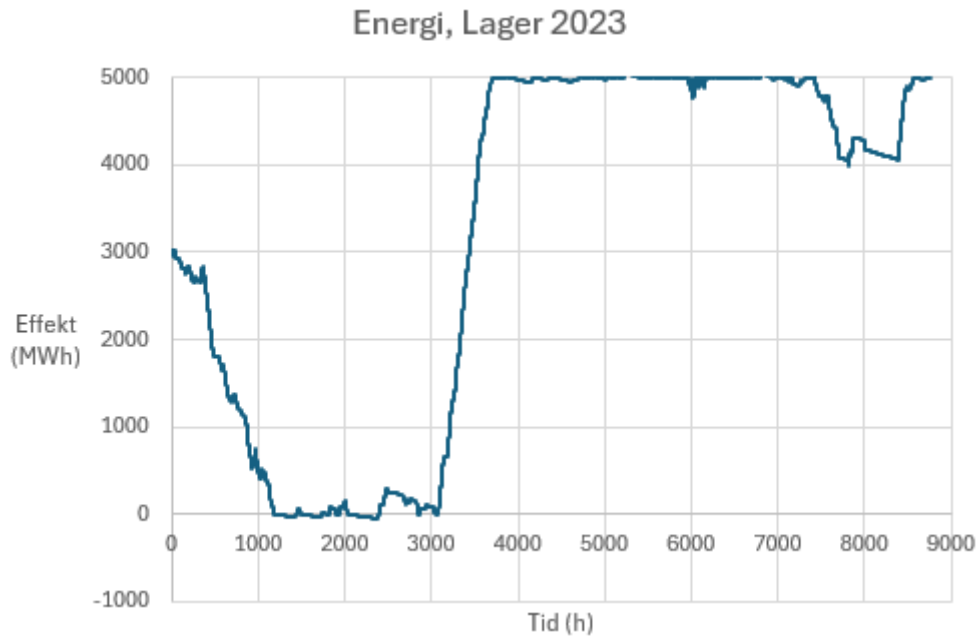


Figur 27: Lagrets laddningsgrad under 2023 vid start med 2024's slutvärde. Biobränslepris på 660 kr/MWh.

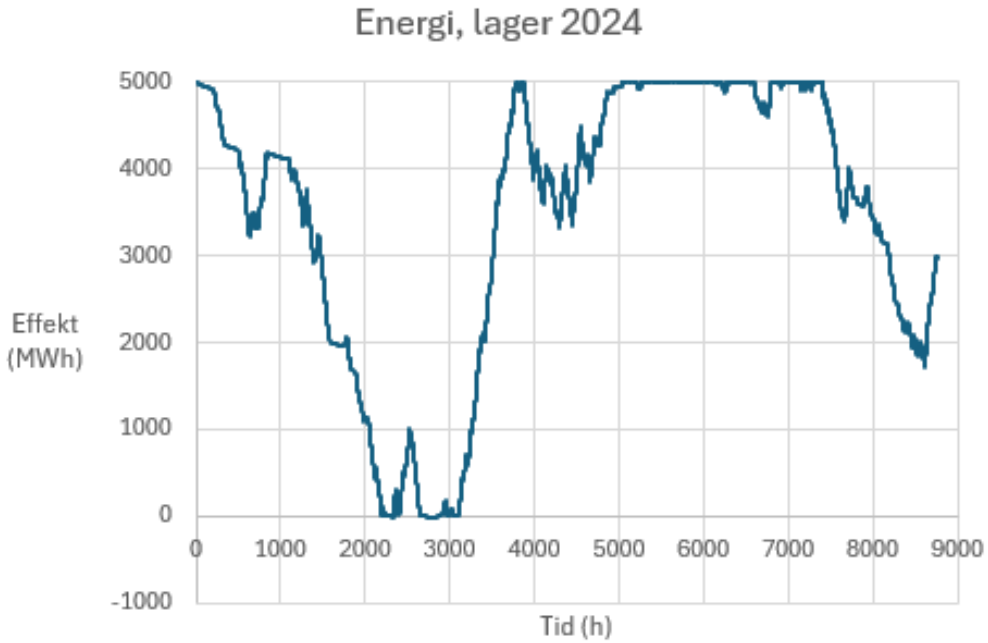


Figur 28: Lagrets laddningsgrad under 2024 vid start med fortsättning på slutvärdet från 2023. Biobränslepris på 660 kr/MWh.

Test 3

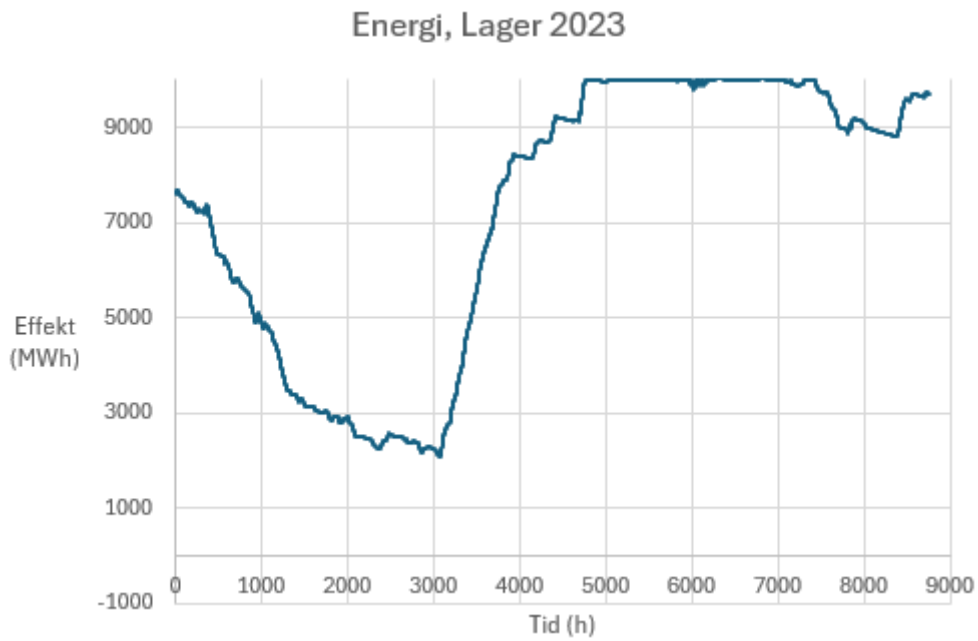


Figur 29: Lagrets laddningsgrad under 2023 vid start med 2024's slutvärde. Biobränslepris på 660 kr/MWh.

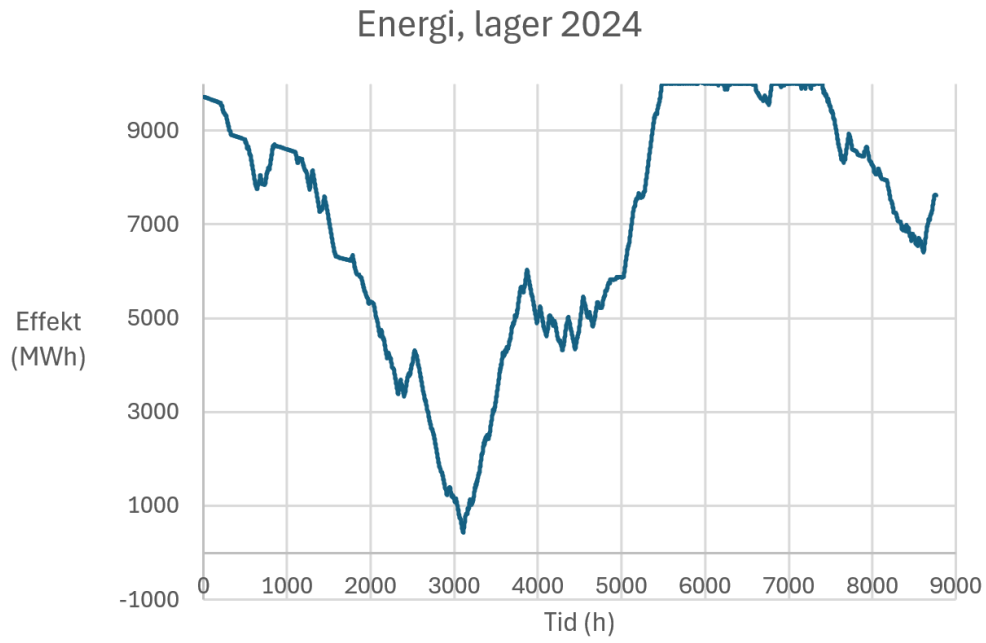


Figur 30: Lagrets laddningsgrad under 2024 vid start med fortsättning på slutvärdet från 2023. Biobränslepris på 660 kr/MWh.

Test 4

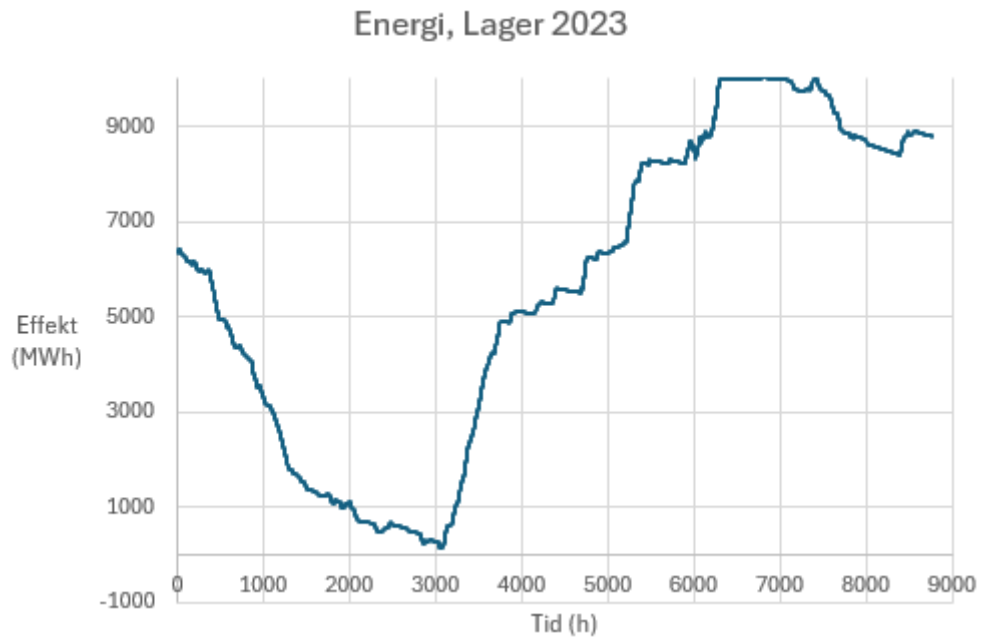


Figur 31: Lagrets laddningsgrad under 2023 vid start med 2024's slutvärde. Biobränslepris på 660 kr/MWh.

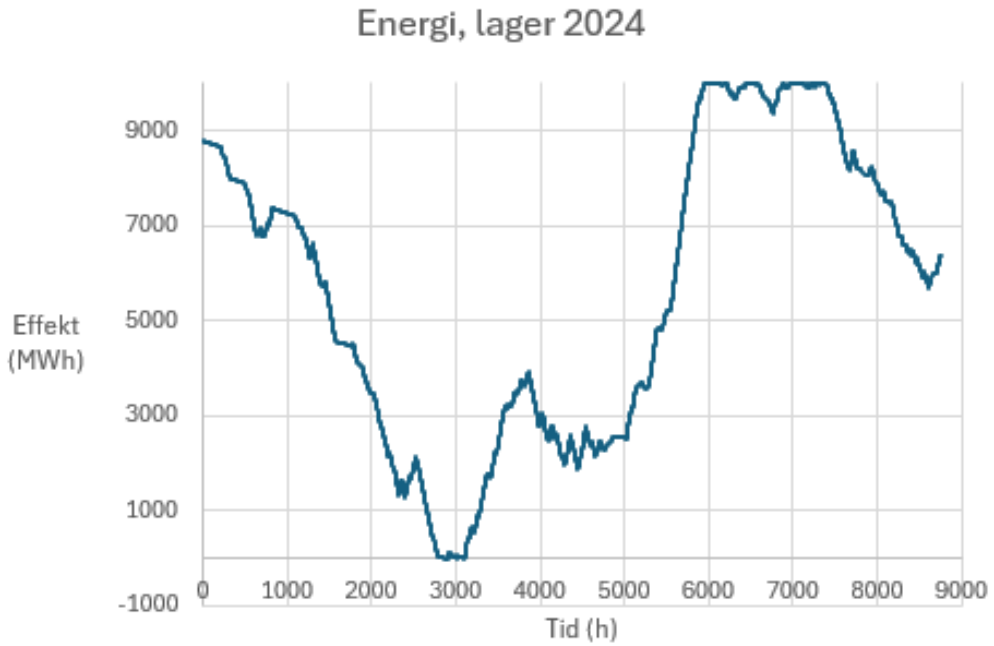


Figur 32: Lagrets laddningsgrad under 2024 vid start med fortsättning på slutvärdet från 2023. Biobränslepris på 660 kr/MWh.

Test 5

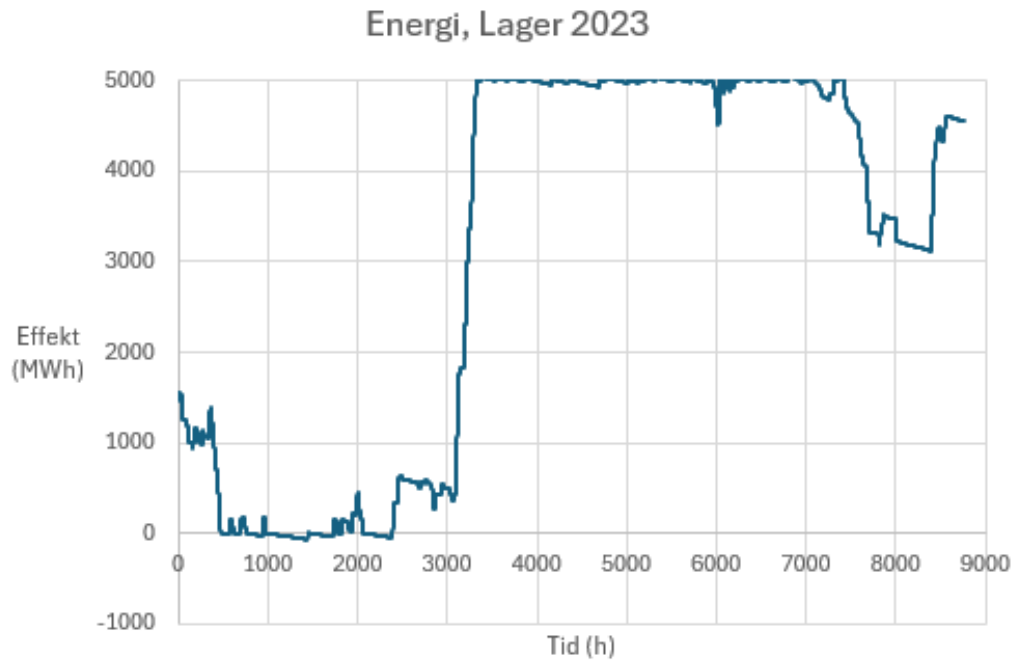


Figur 33: Lagrets laddningsgrad under 2023 vid start med 2024's slutvärde. Biobränslepris på 660 kr/MWh.

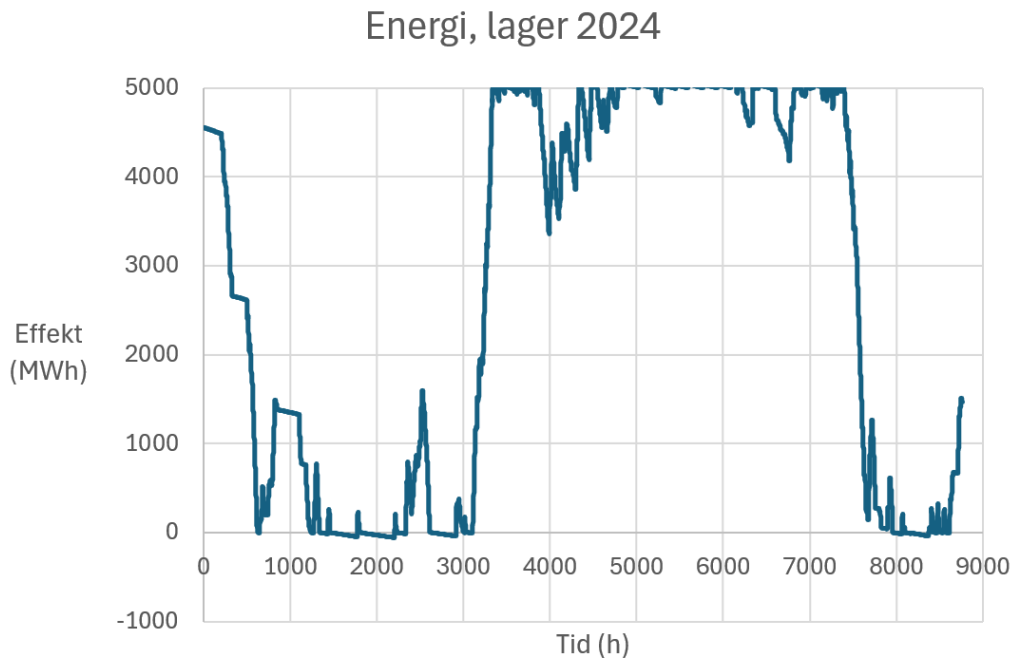


Figur 34: Lagrets laddningsgrad under 2024 vid start med fortsättning på slutvärdet från 2023. Biobränslepris på 660 kr/MWh.

Test 6



Figur 35: Lagrets laddningsgrad under 2023 vid start med 2024's slutvärde. Biobränslepris på 660 kr/MWh.



Figur 36: Lagrets laddningsgrad under 2024 vid start med fortsättning på slutvärdet från 2023. Biobränslepris på 660 kr/MWh.