

# Energisparande åtgärder vid asfalttillverkning

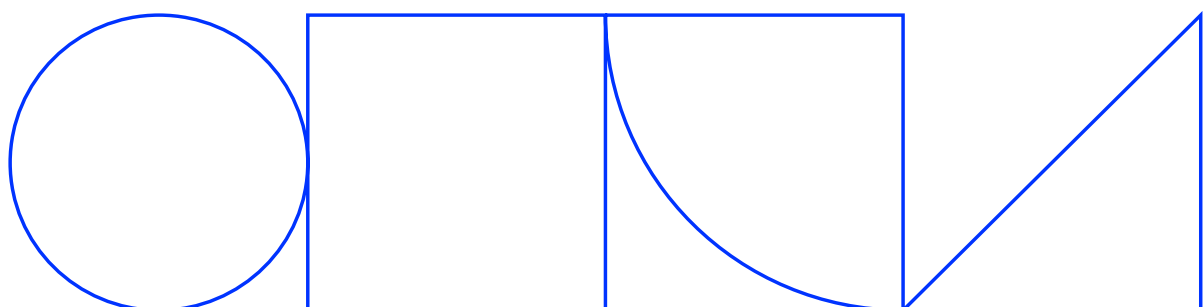
Relaterat till fukt och filler i stenmaterialet

---

Martin Fornander  
Skanska Sverige AB

2025-04-23

# SKANSKA



## FÖRORD

I denna rapport studeras åtgärder för att begränsa andelen fukt och filler som i onödan hettas upp eller förångas i torktrumman, samt metoder som kan användas för att återvinna energi ur rökgaserna. Detta görs med utgångspunkt i tidigare erfarenheter från såväl SBUF-projekt som andra forskningsprojekt från närliggande branscher.

Projektorganisationen vill uttryckligen tacka SBUF och alla medverkande. Ett varmt tack riktas till referensgruppen för deras bidrag till studien.

Referensgruppen består av följande personer:

Björn Nilsson	Skanska Industrial Solutions
Karl-Johan Aksell	NCC
Magnus Johansson	NCC
Anders Karlsson	PEAB

## SAMMANFATTNING

Varje år produceras stora mängder asfalt i Sverige. Vid produktionen av asfalt förbrukas stora mängder energi för att värma och torka stenmaterialet innan det blandas med bitumen för att bli varmassa, eller asfaltmassa. Asfalt består i huvudsak av två komponenter, bitumen och krossat stenmaterial. Stenmaterialet består i sin tur av en blandning av olika fraktioner baserade på specifika recept, gemensamt är att alla består av mer eller mindre finpartiklar, filler. Vid uppvärmningen, som sker i en torktrumma, går majoriteten av energin till att förångas vatten som finns i stenmaterialet. Vattnet är dessutom främst bundet till de minsta partiklarna, fillermaterialet. När stenmaterialet produceras är det dessutom svårt att styra andelen filler och den blir ofta större än vad som är önskvärt. Detta resulterar i att fillermaterial värms upp i onödan för att sedan sorteras bort.

I denna rapport studeras åtgärder för att begränsa andelen fukt och filler som hettas upp eller förångas i onödan, samt metoder som kan användas för att återvinna energi ur rökgaserna. Detta görs med utgångspunkt i tidigare erfarenheter från såväl SBUF-projekt som andra forskningsprojekt från närliggande branscher.

Syftet är att spara energi och minska koldioxidutsläpp vid asfalttillverkning och fokuserar på materialfraktionen 0–2. I rapporten identifieras metoder och processer för att avskilja överskottsfiller, förtorka stenmaterialet och spara energi vid upphettning i befintlig torktrumma och återvinna spillvärme från torktrumman.

Teoretiska beräkningar av energibehovet i torktrumman har utförts och grundas i resultat från tidigare SBUF-projekt, tekniska rapporter samt uppgifter från leverantörer. Det är tydligt att fukthalten i materialet som går in i torktrumman har väldigt stor påverkan på hur mycket energi som krävs, eller hur mycket bränsle som går åt, för att förvärma materialet. Därför är det naturligt att fokusera på att minska fukthalten då även små förändringar gör stor skillnad. Uppvärmningen av överskottsfiller innebär, relativt med fukthalten, inte en särskilt stor ökning av energiförbrukningen, men en minskning av överskottsfiller ger en kapacitetsökning sett till nyttigt material som går genom torktrumman. Studien visar också att det finns väldigt mycket energi i rökgaserna som går att återvinna men att det är svårt att hitta rätt användningsområde för energin samt att det medför nya utmaningar. En sådan lösning åtgärdar heller inte något av grundproblemen med överskott av fukt och filler.

Enligt utförda beräkningar är det möjligt att spara ganska stora mängder energi, som mest drygt 15%. Detta är dock, som tidigare nämnt, helt beroende av att lösningarna som har föreslagits är genomförbara och har den positiva effekt som antas. Den stora energibesparingen fås genom att begränsa fukthalten eller kondensera ångan ur rökgaserna som en hög fukthalt medför.

Baserat på de kostnader som de olika lösningsförslagen innebär, för investering, drift, underhåll etcetera, är det tydligt att även en billigare och enklare lösning kan vara ”bättre” än en avancerad och dyr lösning även om den spar mer energi.

För att driva utvecklingen vidare måste det antingen finnas en tydlig lönsamhet i att spara energi och pengar eller så måste det finnas en betalningsvilja för att göra det. Utveckling mot hållbarhet och effektivisering av asfalt kräver rätt form av incitament och samsyn i värdekedjan.

## Innehållsförteckning

<b>1</b>	<b>BAKGRUND</b> .....	<b>5</b>
1.1	ALLMÄN BESKRIVNING AV PROJEKTET .....	5
1.2	SYFTE & MÅL .....	5
1.3	METODIK.....	6
<b>2</b>	<b>GENOMFÖRANDE</b> .....	<b>7</b>
2.1	ASFALTTILLVERKNING.....	7
2.2	FÖRBRÄNNING, RÖKGAS .....	11
2.3	DAGGPUNKT, KONDENS.....	11
<b>3</b>	<b>FÖRSTUDIE</b> .....	<b>13</b>
3.1	SBUF PROJEKT .....	13
3.2	AVSKILJA ÖVERSKOTTSFILLER INNAN UPPVÄRMNING .....	15
3.3	REDUCERA FUKT I STENMATERIAL .....	17
3.4	TORKA MATERIALET .....	18
3.5	ÅTERVINNA ENERGI UR SPILLVÄRME.....	19
3.6	ÖVRIGT.....	23
<b>4</b>	<b>UTVÄRDERING OCH ANPASSNING</b> .....	<b>24</b>
4.1	AVSKILJA ÖVERSKOTTSFILLER INNAN UPPVÄRMNING .....	24
4.2	REDUCERA FUKT I STENMATERIAL .....	24
4.3	TORKA MATERIALET I SEPARAT STEG .....	25
4.4	ÅTERVINNA ENERGI UR SPILLVÄRME.....	25
<b>5</b>	<b>ENERGI- OCH KOSTNADSBERÄKNINGAR</b> .....	<b>27</b>
5.1	RECEPT ASFALT.....	27
5.2	ENERGIBERÄKNINGAR .....	27
5.3	CO2-EKVIVALENTER.....	45
5.4	KOSTNADER OCH BESPARINGAR .....	46
<b>6</b>	<b>JÄMFÖRELSE</b> .....	<b>49</b>
<b>7</b>	<b>DISKUSSION</b> .....	<b>50</b>
<b>8</b>	<b>SLUTSATSER</b> .....	<b>52</b>
<b>9</b>	<b>NÄSTA STEG</b> .....	<b>53</b>
<b>10</b>	<b>REFERENSER</b> .....	<b>54</b>

## 1 BAKGRUND

Varje år produceras stora mängder asfalt i Sverige, mellan 5 och 7 miljoner ton. Vid produktionen av asfalt förbrukas stora mängder energi för att värma och torka stenmaterialet innan det blandas med bitumen för att bli varmassa, eller asfaltmassa. För varje ton asfalt som produceras krävs det energi motsvarande ungefär 7 liter eldningsolja för att värma upp stenmaterialet.

Asfalt består i huvudsak av två komponenter, bitumen och krossat stenmaterial. Stenmaterialet består i sin tur av en blandning av olika fraktioner baserade på specifika recept, gemensamt är att alla består av mer eller mindre finpartiklar, filler. Innan bitumen och stenmaterial blandas till asfaltmassa behöver de ingående materialen värmas upp till blandningstemperatur vilket kräver stora mängder energi. Detta är ett av de steg som konsumerar den mesta energin vid asfalttillverkning och majoriteten av energin går till att förångas vatten som finns i stenmaterialet. Vattnet är främst bundet till de minsta partiklarna, fillermaterialet. När stenmaterialet produceras är det dessutom svårt att styra andelen filler och andelen blir ofta större än vad som är önskvärt. Detta resulterar i att en stor andel fillermaterial värms upp i onödan för att sedan sorterar bort vid tillverkning av asfaltmassa. En hög fukthalt kan också bidra till andra negativa effekter och ökar risken för exempelvis kondens i filtren som används för att avskilja fillermaterialet.

I denna rapport studeras åtgärder för att begränsa andelen fukt och filler som hettas upp eller förångas i onödan, samt metoder som kan användas för att återvinna energi ur rökgaserna. Detta görs med utgångspunkt i tidigare erfarenheter från såväl SBUF-projekt som andra forskningsprojekt från närliggande branscher.

### 1.1 Allmän beskrivning av projektet

Studien i detta projekt har inriktat sig på filler (kornfraktion  $< 0.063\text{mm}$ ) och fukt och fokuserat på att spara energi och minska koldioxidutsläppen vid uppvärmningen av stenmaterial vid framställningen av asfalt. Eftersom problemen är direkt relaterade till en för hög andel filler och fukt i stenmaterialet har metoder för att minska dessa studerats. Ytterligare aspekter som har studerats närmare är ifall det går att utnyttja spillvärme för att exempelvis förtorka materialet.

### 1.2 Syfte & Mål

Syftet med detta projekt är att spara energi och minska koldioxidutsläpp vid asfalttillverkning och fokuserar på materialfraktionen 0–2 mm, även kallad stenmjöl, ibland enbart benämnd som 0–2. Rapporten presenterar olika metoder för att bidra till detta och deras teoretiska nytta undersöks och redovisas. Metoderna går ur ett teoretiskt perspektiv att anpassa till asfaltproduktion. Projektet har förhoppningar om att bidra med ytterligare en pusselbit för att hjälpa asfaltbranschen nå uppsatta klimatmål och samtidigt öka lönsamheten.

### 1.3 Metodik

Syftet uppnås genom att identifiera metoder och utveckla en process för att avskilja överskottsfiller, förtorka stenmaterialet och spara energi vid upphettning i befintlig torktrumma och återvinna spillvärme från torktrumman. De teoretiska beräkningarna grundas i resultat från tidigare SBUF-projekt, tekniska rapporter samt uppgifter från leverantörer.

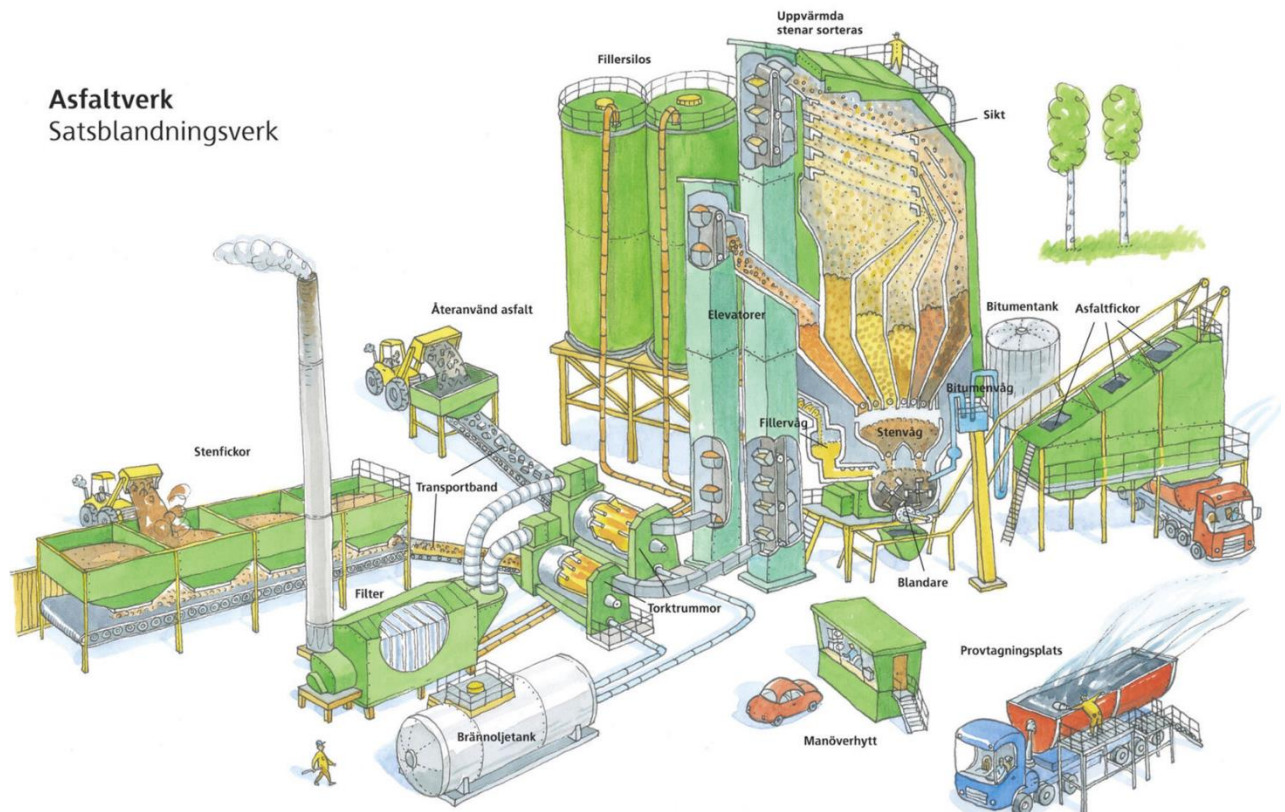
## 2 GENOMFÖRANDE

Projektet inleddes med en förstudie för att identifiera olika metoder för att minska energianvändningen och koldioxidutsläppen vid asfalttillverkning, specifikt i torktrumman. Dessa metoder fokuserar på att antingen minska andelen filler, minska andelen fukt eller att ta vara på spillvärmerna i rökgaserna. De olika metoderna studerades sedan för att bedöma huruvida de kan anpassas för asfalttillverkning. Efter det har teoretiska beräkningar utförts för att uppskatta vilken påverkan de potentiellt skulle kunna ha med avseende på energiförbrukning och koldioxidutsläpp.

För läsarens förståelse följer en beskrivning av typisk asfaltproduktion och några viktiga begrepp.

### 2.1 Asfalttillverkning

De delar av asfalttillverkningen som är bra att känna till genom denna rapport gäller stenmaterialets flöde genom asfaltverket. Fokus kommer att ligga på torktrumman och vad som sker innan och efter denna, se figur nedan. Notera att två torktrummor syns i bilden nedan där den ena är avsedd för återanvänd asfalt vilket är utanför rapportens avgränsningar.



Figur 1. Skiss över ett satsblandningsverks ingående delar (Skanska).

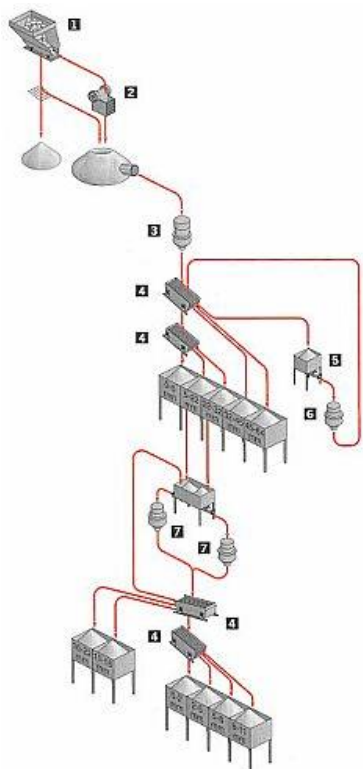


### 2.1.1 Stenfickor

Stenfickorna, även kallade kalldoseringsfickorna, används för att dosera och proportionera stenmaterialets olika fraktioner och kvaliteter. I ett satsblandningsverk proportioneras stenmaterialet ytterligare en gång innan det förvaras i varmvstensfickorna för att sedan gå ner i blandaren. I ett kontinuerligt verk är proportioneringen vid kalldoseringen dock den enda och därmed helt avgörande för den färdiga asfaltmassans kvalitet. Kalldoseringsfickorna (i figuren benämnda stenfickor) är oftast öppna och exponerade för exempelvis regn som ökar fukthalten i stenmaterialet.

#### 2.1.1.1 Från Bergtäkt

Stenmaterialet har sitt ursprung ur bergtäkten där det tas loss från berget genom borrhning och sprängning. Efter detta genomgår stenmaterialet ett antal olika steg via matare, krossar och siktar, se figur nedan, innan det förvaras i stack eller transporteras till kalldoseringsfickorna. Beroende på de mineral som bergets bergart är uppbyggd av fås olika egenskaper. Bergarterna varierar beroende på geografisk placering och medför exempelvis en variation i hur stor andelen filler blir i det färdiga stenmaterialet.



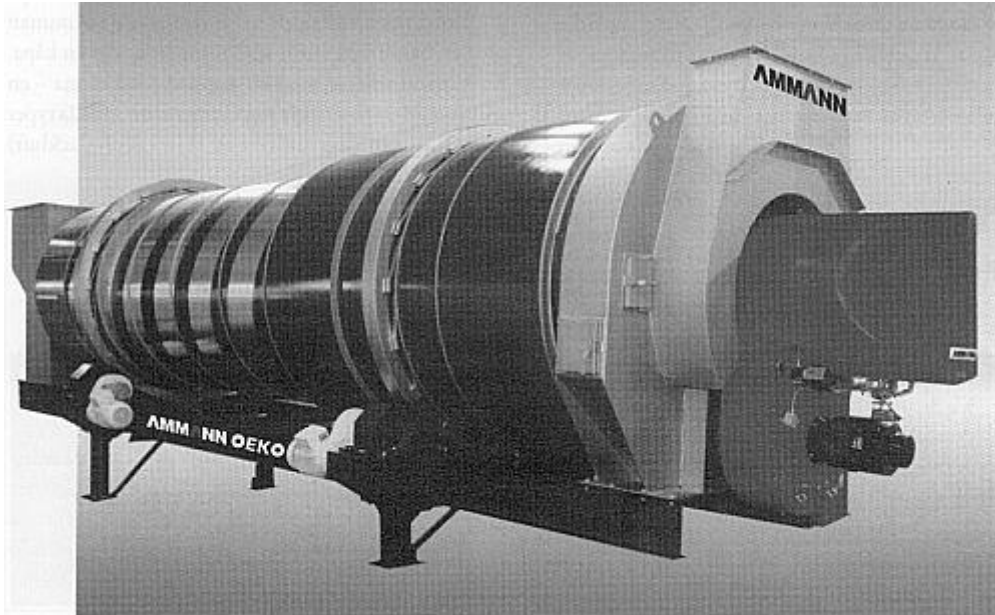
Figur 2. Exempel på flödesschema för krossanläggning i bergtäkt i bergtäkt  
1 Matarstation, 2 Kästkross, 3 Spindelkross, 4 Vibrationssikt, 5 Ficka med matare,  
6 konkross, 7 Konkrossar [1].

### 2.1.2 Transportband

Transportband används mellan kalldoseringsfickorna och torktrumman och är en del av produktionen där materialet är oskyddat vid exempelvis regn.

### 2.1.3 Torktrummor

Torktrumman används för att torka och upphetta stenmaterialet till blandningstemperatur. Detta är nödvändigt för att uppnå god vidhäftning mellan bindemedlet och stenmaterialet när det blandas. Det är här den mesta energin går åt vid asfalttillverkning och är vad huvudfokus ligger på i denna rapport. En typisk torktrumma syns i Figur 3.



Figur 3. Torktrumma [1].



Figur 4. Insida av torktrumma [1].

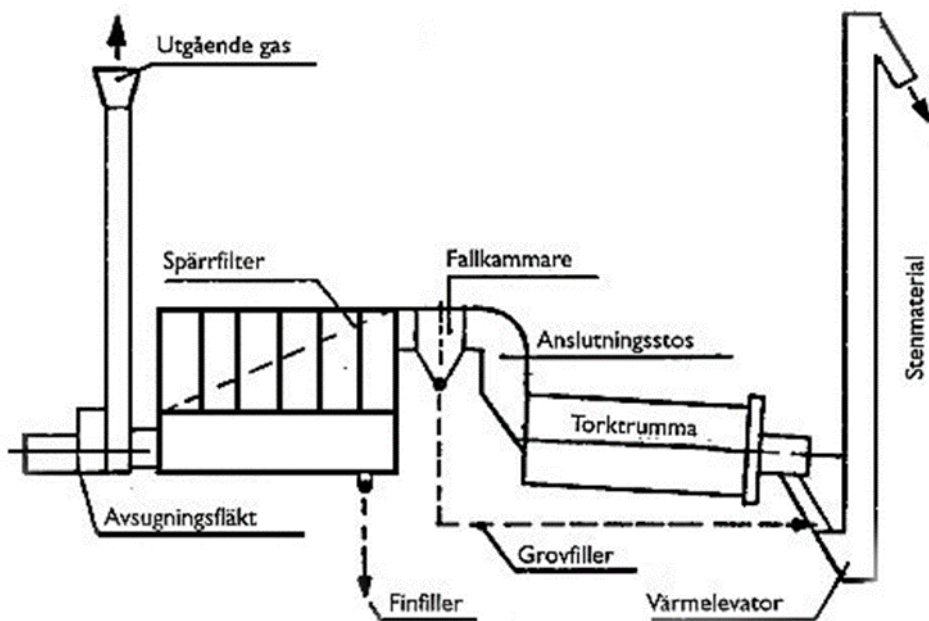
Trumman har en lutning mot brännaren och roterar medan stenmaterialet matas in i trumman på motsatt sida. Trummans insida är utformad med skovlar för att lyfta och fördela

stenmaterialet och på så sätt skapa en ridå som den varma luften passerar, se bild. På grund av trummans lutning transporteras stenmaterialet mot brännaren när trumman roterar. Motströmsprincipen gör trumman mer effektiv och temperaturen på rökgaserna blir lägre vilket är viktigt för de efterföljande filtren.

Ytterligare en trumma, en parallelltrumma, kan användas för att värma återanvänd asfalt.

### 2.1.4 Filter

Rökgaserna går igenom ett filter efter att de har passerat torktrumman. Filtret har som uppgift att filtrera de partiklar som följer med rökgaserna från torktrumman, fillret. Filterduken är gjord av textil och sydd till runda eller ovala slangar med öppning i ena änden. Med hjälp av en fläkt skapas ett undertryck, ett sug, vid den öppna änden som gör att textilfiltret får en konkav yta där fillret fastnar. När textilduken är mättad släpps undertrycket alternativt skapas ett övertryck med tryckluft vilket rensar filtret. Efter filtret går den rensade gasen vidare via filterfläkten upp i en skorsten ut i luften. Se Figur 5 för filtrets placering i förhållande till torktrumma och skorsten.



Figur 5. Filtrets position i förhållande till torktrumman och skorsten [1].

Det är viktigt att temperaturen inte blir för hög då detta kan skada filterdukarna men den får samtidigt inte bli så låg att det finns risk för kondens i filtret. Vanligen är temperaturen i filtret mellan 100 och 130 grader Celsius.

### 2.1.5 Återanvänd asfalt

Denna rapport avgränsar sig från att studera återanvänd asfalt. Eftersom materialet innehåller bindemedel är det svårt att hantera det, fillret binder till bindemedlet och blir svårt eller omöjligt att filtrera.

## 2.2 Förbränning, Rökgas

Vid förbränningen sker en kemisk reaktion mellan bränsle och syre från luften, som resulterar i produktion av värme (och ljus). Vid förbränning av kolväten bildas främst koldioxid (CO<sub>2</sub>) och vattenånga,  $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{värme}$ .

Beroende på bränsletyp och förbränningsförhållandena kommer rökgaserna bestå av även andra komponenter:

Kväveoxider (NO<sub>x</sub>): Bildas vid höga temperaturer när kväve i luften reagerar med syre.

Kolmonoxid (CO): En giftig gas som bildas vid ofullständig förbränning.

Svaveldioxid (SO<sub>2</sub>): Bildas vid förbränning av svavelhaltiga bränslen, såsom kol och olja.

Rökgasen innehåller dessutom partikelmaterial, sot, aska och oorganiska partiklar som kan vara skadliga om de inandas.

Energien i rökgaserna kan bestämmas med hjälp av rökgasens sammansättning, luft/syrekvot och temperatur.

Sammanfattningsvis är förståelsen av både förbränningsprocessen och de resulterande rökgaserna avgörande för att kunna optimera energiproduktion samtidigt som man minskar miljöpåverkan.

## 2.3 Daggpunkt, Kondens

Det kan även vara nyttigt att känna till begreppen daggpunkt och relativ luftfuktighet vilket kan leda till problem i framför allt filtren. Daggpunkten är den temperatur vid vilken luften blir mättad med fukt, och vattenånga börjar kondenseras till vätska. Varm luft kan hålla mer vattenånga än kall luft. Det betyder att när luften kyls ner till daggpunkten, kan den inte längre hålla all vattenånga, vilket resulterar i att kondens bildas. Daggpunkten är en indikation på luftens absoluta fukttinnehåll – ju högre daggpunkt, desto mer fuktig är luften. Relaterat till daggpunkten är Relativ luftfuktighet (RF). Det är ett mått på mängden vattenånga som finns i luften jämfört med den maximala mängd vattenånga som luften kan hålla vid en given temperatur. Den uttrycks i procent och om den relativa luftfuktigheten är 100%, betyder det att luften är helt mättad med vattenånga. Vid exempelvis 50% relativ fuktighet innehåller luften hälften av den maximala mängden vattenånga som den kan hålla vid samma temperatur.

Sambandet mellan dessa två begrepp är att när temperaturen sjunker till daggpunkten, når den relativa luftfuktigheten 100%, vilket innebär att kondensation börjar ske. Om rökgasen innehåller mycket fukt, alltså har en hög fukthalt, ökar risken för kondens i filtret.

### 2.3.1 Syradaggpunkten

I förbränningsgaser som innehåller svavel finns det risk för att svavelsyraånga bildas. Svavelsyraånga uppstår vid temperaturer mellan 200 °C och 560 °C. Den temperatur då svavelsyraånga kondenseras till flytande svavelsyra kallas syradaggpunkten och ligger vanligtvis mellan 70 °C och 170 °C, vilket är betydligt högre än den vanliga daggpunkten. Kondensation av svavelsyraånga är den främsta orsaken till korrosionsangrepp på ytor som exponeras för kalla rökgaser. Korrosionsangreppen är som mest intensiva vid temperaturer som ligger 20 °C till 50 °C under syradaggpunkten. Vid ytterligare sänkning av temperaturen kondenserar även vattenånga, vilket leder till att en större mängd svagt koncentrerad svavelsyralösning bildas, samt SO<sub>2</sub>- och CO<sub>2</sub>-gaser som också verkar korrosivt.

### 3 FÖRSTUDIE

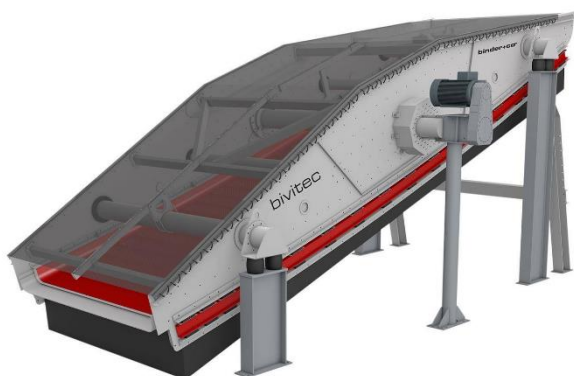
Förstudien delas in i studier av tidigare SBUF-projekt, andra forskningsprojekt och tekniska rapporter eller uppgifter från leverantörer av intressant utrustning.

#### 3.1 SBUF Projekt

En självklar källa för kunskap är tidigare SBUF-projekt. Här finns flera projekt som har undersökt möjligheten att reducera andelen filler i 0-2 med hjälp av siktar.

##### 3.1.1 SBUF 11200 – Reduktion av andelen filler i ballast genom siktning

Studien i SBUF projekt 11200 [2] undersöker möjligheten att reducera andelen filler i 0-2 genom att sikta materialet. Då konventionella siktar sätter igen när öppningarna blir för små så har Bivi-tec-siktar från Binder+Co använts. Dessa siktar är flexibla och har mycket hög acceleration och visade sig fungera mycket väl för bortsiktning av filler för relativt torra material (med en fukthalt mindre än eller lika med approximativt 0.5 %). Siktarna hade också en hög kapacitet och skulle kunna användas löpande i produktion med en påmatningshastighet på över 70 ton/timme.



Figur 6. Flip flow screen [3].

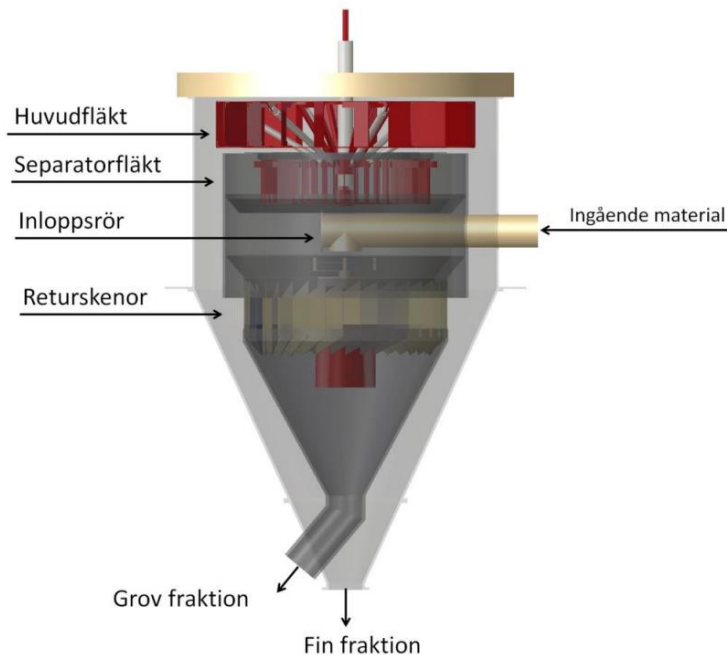
Även om siktarna i sig inte sätter igen vid högre fukthalter så är de inte lämpade för att sikta bort filler ur 0-2 vid högre fukthalt då fillret vidhäftar de större partiklarna och inte passerar genom sikten.

##### 3.1.2 SBUF 12036 – Torr klassering av fina ballastfraktioner till asfalt och betong

I SBUF projekt 12036 [4], Torr klassering av fina ballast fraktioner till asfalt och betong, undersöks vindsiktars funktion, användning och utformning ur ett ballastproduktionsperspektiv. Projektets fokus är riktat mot

ballastförädlingsprocessen. Två olika typer av vindsiktar undersöks; en så kallad internflödesvindsikt och en tvåstegsvindsikt, se figur nedan.

Experimenten visar att båda vindsiktarna klarar av att tillverka en avdammad 0-2 fraktion och minskade andelen av partiklar under 100  $\mu\text{m}$  (0.100 mm) från ca 15% till 5%.



Figur 7. Internflödesvindsikt [4].

Sammanfattningsvis har projektet visat att det är möjligt att genom ett korrekt användande av vindsiktning i bergtäkter producera en förädlad 0-2 fraktion till betong- och asfaltsindustrin. Här nämns att för bergtäkter med överskott av 0-2 kan detta öppna upp nya marknader. Vindsiktning av 0-2 till asfaltsindustrin skapar en möjlighet att öka kundvärdet och kan därmed möjliggöra att ta ut ett högre pris.

### 3.1.3 SBUF 12818 – Torr klassering av fina ballastfraktioner till asfalt och betong, Fas II

SBUF projekt 12818 [5], Torr klassering av fina ballast fraktioner till asfalt och betong fas II, är en fortsättning på föregående SBUF projekt 12036 [4]. I detta, mycket omfattande, projekt utförs både tester och simuleringar av vindsiktar. Simuleringarna visar att siktarnas prestanda påverkas av yttre faktorer som nivån på matningen av material och att luftflödet i vissa typer av siktar inte är optimala för ändamålet men ändå tillräckligt bra för att göra nytta. Det mest intressanta att ta med sig från denna studie är de erfarenheter som visat att klassificeringsprestandan påverkas av fukt och dåligt väder. En av vindsiktarna som undersöktes använde fuktsensorer och produktionen stoppades vid fuktnivåer över 2 procent. Liknande resultat upplevdes med en annan vindsikt som var en del av en pilotanläggning som användes från norr till söder i Sverige. Under produktionen noterades snabbt att det inte var lönt att använda anläggningen om det inmatade materialet inte var torrt eller om vädret var

ogynnsamt (regn eller snö). Fälterfarenheten visar därför att matningen bör hållas så torr som möjligt.

## 3.2 Avskilja överskottsfiller innan uppvärmning

Genom att avskilja överskottsfiller innan materialet torkas och värms upp till blandningstemperatur undviks att energi slösas i onödan. En reduktion av filler bör även kunna innebära en reduktion av fukt. Detta medför ytterligare besparing av energi. Avskilja filler från 0–2 kan göras på flera olika sätt. Här har lärdom tagits från tidigare SBUF-projekt men även genom dialog med leverantörer av utrustning.

### 3.2.1 Siktning med konventionell sikt

Konventionella siktar kräver en minsta storlek på öppningarna för att inte sätta igen. Denna minsta storlek är ca 3,2 mm. Med öppningar av den storleken kommer alldeles för stor del av stenmjölet att siktas bort vilket inte är önskvärt eller ekonomiskt försvarbart.

I SBUF-rapport 11200 [2] som nämns ovan används så kallade ”flip flow”-siktar (Bivi-tec-siktar från Binder+Co användes i rapporten, men det finns flera tillverkare) för reducera andelen filler i 0-2. Denna typ av sikt tillverkas av flexibel polyuretan och med hjälp av hög acceleration är den effektiv för att sikta material med små kornfraktioner som annars är svår att sikta då sikten sätter igen. De visade sig vara effektiva för torra material men blev sämre när materialets fukthalt ökade och bedömdes inte som en effektiv lösning för stackade material.

Eftersom studien i SBUF-rapporten ovan utfördes för över 20 år sedan så undersöktes det ifall det skett någon utveckling hos denna typ av siktar. Efter dialoger med återförsäljare och leverantörer är slutsatsen att utvecklingen tyvärr inte tagit några större kliv och att filler med en fukthalt runt 4% eller mer inte går att sikta. Även innan denna nivå är fukten ogynnsam för att uppnå ett tillfredställande resultat.

### 3.2.2 Vindsikt

En vindsikt används för att separera och klassificera partiklar och material baserat på deras storlek, form och densitet med hjälp av en luftström. Materialet som ska klassificeras matas in i klassificeraren där en luftström genereras. När materialet kommer in i luftflödet lyfts det av luftströmmen och centrifugalkraft och gravitation gör att större eller tätare partiklar faller igenom luftströmmen medan finare och/eller lättare partiklar följer med luftströmmen.

Utöver det arbete som utförts i ovan nämnda SBUF-projekt har det varit svårt att hitta mer relevant information eller relevanta experiment. Inga ytterligare studier eller tillverkare som fokuserar på vindsiktar för detta specifika syfte har identifierats. Resultaten från SBUF-projekten kommer att användas som indata för de teoretiska beräkningarna.

Internflödesvindsikten i SBUF-projekt 12036 [4] kunde, när huvudfläkt och separatorfläkt var optimerade, minska fillerhalten i det ingående materialet från 15% till 5%. Det går inte att



utläsa ifall det hade gått att optimera prestandan ytterligare eller hur produktionskapaciteten påverkades av att variera hastigheten på fläktarna. Tvåstegsvindsikten i samma projekt uppvisade liknande prestanda gällande minskning av fillerhalten. I rapporten för SBUF-projektet nämns inget om huruvida resultatet påverkas om materialet är fuktigt eller ej. Det nämns däremot i den efterföljande rapporten för SBUF-projekt 12818 [5]. Erfarenheter från experimenten visade att fukt och dåligt väder, i form av regn eller snö, kraftigt påverkade vindsiktens prestanda. Vissa av siktarna kördes exempelvis inte när fukthalten i materialet översteg 2 procent. Och för den sikt i rapporten som använts runtom i Sverige så förstod operatörerna tidigt att det inte var lönt att använda den i fuktigt väder som regn eller snö.

Vid diskussion med flera leverantörer av vindsiktar uppger de flesta att för att effektivt sikta materialet bör fukthalten vara som mest 3% vilket relativt bra överens med slutsatserna från tidigare SBUF-projekt.

Att implementera denna typ av sikt vid asfaltverken är inget hinder. De används redan i liknande situationer och har testats i produktion. Osäkerhet finns rörande driftsäkerhet och eventuellt slitage.

### 3.2.3 Våtklassering eller våtsortering

Ett alternativ för att avskilja filler ut fuktigt stenmjöl är genom våtklassering. Denna metod gör det möjligt att bestämma fillerhalten i den färdiga produkten med mycket stor säkerhet.

Efter diskussioner med leverantörer av utrustning för våtsortering anses kapaciteten som går att uppnå fullt tillräcklig för ändamålet med ca 150 ton/h.

När materialet har genomgått våtsorteringen, se Figur 8, används en avvattningssikt för att reducera fukthalten och den hamnar efter detta steg runt 10-15% [6]. Detta är en hög fukthalt, betydligt högre än innan våtsortering, men när fillret är bortsorterat så bör övriga fraktioner torka snabbare. Det är dock osäkerhet hur stor skillnaden blir då de önskvärda partiklarna fortfarande är relativt små.



Figur 8. Terex Washing för att sortera små fraktioner [7].

Med denna metod tillkommer hantering av tvättvatten och filler. Filler hanteras ju oavsett i ett senare steg men risken är att det blir hantering av filler i flera steg som försvårar processen. Det är inte heller alltid överskott av filler och då krävs det att finns filler i materialet, och om fillret då ska användas som tillsats är det såklart ogynnsamt om det är del av en 'blöt massa'.

### 3.3 Reducera fukt i stenmaterial

Ifall fukthalten i stenmaterialet kan begränsas eller minskas när det förvaras och transporteras behöver inte lika stor mängd vatten förångas vilket sparar energi. En minskning av fukthalten medför också att det är möjligt eller underlättar vid siktning av materialet för att reducera mängden överskottsfiller.

#### 3.3.1 Förändra steg i produktionen

I många fall så används vatten för att förhindra att stenmaterialet dammar vid hantering av detta. För att undvika denna källa till en ökad fukthalt i materialet skulle detta kunna göras annorlunda, exempelvis genom att använda kåpor eller skydd eller tunnelmatare som innesluter materialet och förhindrar spridningen av damm. Detta skulle även medföra att materialet skyddas från nederbörd.

#### 3.3.2 Förhindra fukt att nå materialet

Eftersom en majoritet av energin som förbrukas vid uppvärmningen av stenmaterialet går åt för att förånga fukt vore det en god idé att begränsa andelen fukt som finns i materialet när det kommer till torktrumman. Detta kan göras genom att exempelvis bygga tak över det stackade materialet. Även vid transport och hanteringen av materialet utsätts det för nederbörd vilket även här skulle kunna hindras med hjälp av tak. Fickorna för kalldosering som står öppna samlar också in mycket vatten vid nederbörd och borde kunna byggas in. Notera att prioritet är att skydda 0-2 från fukt då det är de minsta fraktionerna och partiklarna som binder störst andel fukt och ger störst bidrag till en ökad fukthalt.



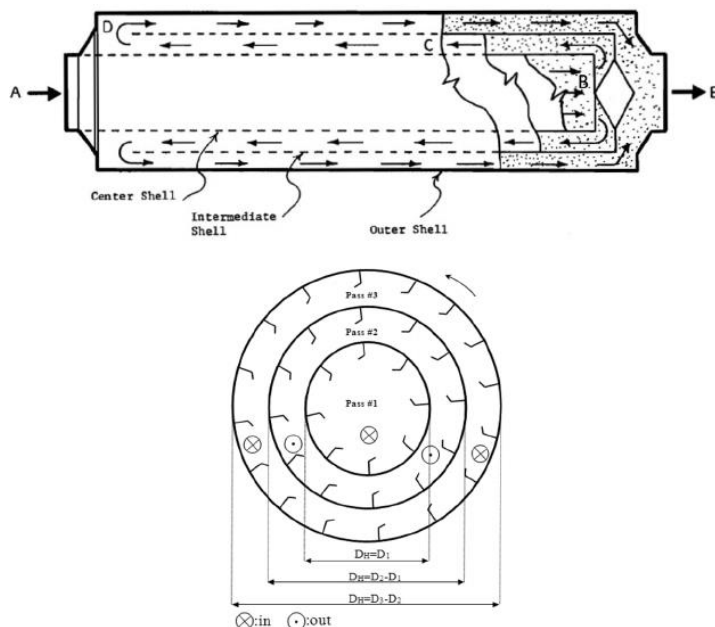
Figur 9. Förvaring av stenmaterial under tak (Skanska).

### 3.4 Torka materialet

Ett alternativ till att låta stenmaterialet torkas i torktrumman är ifall det kan torkas mer effektivt, exempelvis med en annan typ av tork eller utan att behöva tillföra extra energi. Verkningsgraden i torktrumman är dock redan relativt hög, och ligger i de teoretiska beräkningarna runt 70%, lite beroende på hur man räknar och definierar verkningsgraden.

I examensarbetet "Torkning av gjutsand i en fluidiserad bädd" [8] kan gjuterisand torkas genom fluidiserad bädd. En fluidiserad bädd är en teknik som används inom industrin för att förbättra blandning, värmeöverföring och kemiska reaktioner mellan fasta partiklar och gaser eller vätskor. Tekniken bygger på att en ström av gas eller vätska blåses upp genom ett lager av fasta partiklar med tillräcklig hastighet för att få partiklarna att "sväva" och på så vis bete sig som en vätska. Detta resulterar i att när gasen passerar genom det fasta materialet ökar kontaktytan och blandningen vilket jämnar ut temperaturfördelningen och torkningen sker mer effektivt. I examensarbetet uppnås dock en relativt låg verkningsgrad och för ändamålet betyder det höga luftflödet som krävs att torkningseffektiviteten blir låg.

Ett annat alternativ är att använda en ytterligare torktrumma som enbart är utformad för att effektivt torka stenmaterialet innan det värms till blandningstemperatur i den befintliga torktrumman. Det finns även torktrummor uppbyggda med flera mantlar för att bli mer effektiva och öka verkningsgraden, se figur nedan. I en separat trumma skulle även trumman kunna optimeras för torkning utan att behöva ta hänsyn till andra faktorer.



Figur 10. Torktrumma med flera mantlar [9].

Inget av dessa alternativ ser särskilt effektivt ut och det känns till synes komplicerat att addera ett extra steg som redan liknar det vi gör idag.

### 3.4.1 Passivt torka

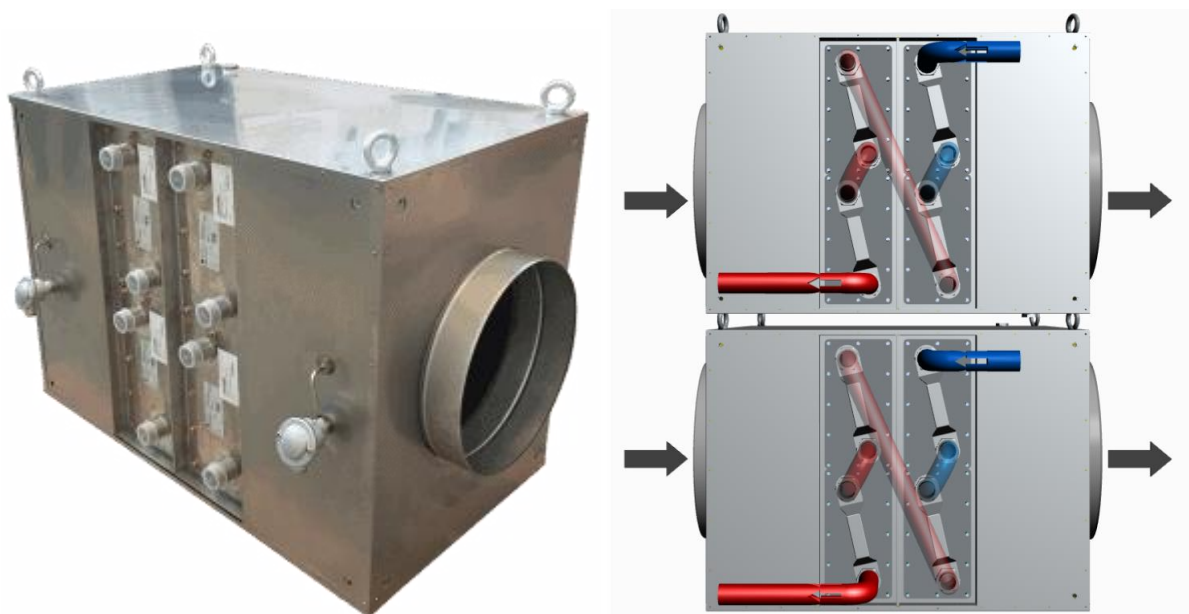
Med passivt torka materialet menas att inte aktivt tillföra någon ytterligare energi för torkprocessen utan att låta den ske naturligt på grund av avdunstning till omkringliggande luft. För att det ska kunna ske måste materialet placeras i en väl ventilerad och väderskyddad miljö.

Lador som används för förvaring av materialet som skyddar mot nederbörd kan även bidra till att materialet har möjlighet att torka ut. Hur stor denna effekt är diskuteras och ifall materialet ska hinna förvaras i ladan länge nog för att någon torkeffekt ska uppnås krävs stora utrymmen under tak för att hantera de mängder material som förbrukas. Ladorna måste vara väl ventilerade för att inte kapsla in fukten som försämrar torkeffekten och i stället riskerar att kondensera.

## 3.5 Återvinna energi ur spillvärme

Rökgaserna innehåller värmeenergi som går att ta vara på. Energin består av både sensibel och latent värme, eller energi. Sensibel värme är kännbar värme, och innebär en temperaturförändring, och energin som överförs resulterar i att ett objekt värms upp eller kyls ner och är direkt relaterad till ett ämnes värmekapacitet. Latent värme är den värme som krävs för att omvandla ett fast ämne till flytande, eller ett flytande ämne till ånga. Vid förbränningen bildas förutom rökgaser också vattenånga. Även fukten i det som värms upp, i detta fall stenmaterialet, förångas och löses i rökgaserna. Om ångan i rökgaserna kondenseras till flytande form, vatten, är det möjligt att ta vara på även den latent delen av energin i rökgasen.

Principen för en värmeväxlare visas i Figur 11 nedan. Rökgaserna kommer in varma från vänster och kyls ned av det motriktade flödet (i detta fall bestående av vatten) som tar upp energin ur rökgaserna som sedan lämnar värmeväxlaren.



Figur 11. Rökgasvärmväxlare [10].

Gemensamt för de olika typerna av värmväxlare är att det uppvärmda mediet behöver användas till något för att energin ska nyttjas. Värmen kan till exempel användas för att förvärma bränslet, förbränningsluften eller stenmaterialet, beroende på vad som är lämpligt, och på så sätt minska energimängden som går åt i själv torktrumman. Detta leder till ökad energieffektivitet och minskade utsläpp av växthusgaser.

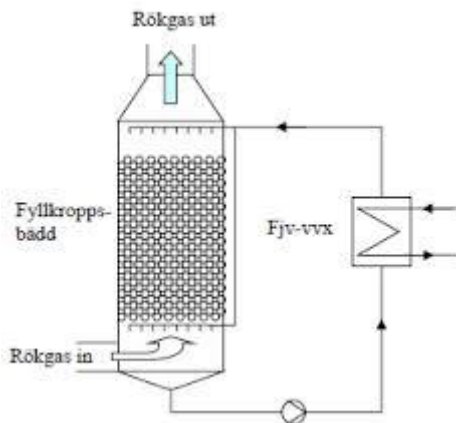
### 3.5.1 Rökgasvärmväxlare

I en rökgasvärmväxlare används rökgaserna för att värma ett medium, antingen luft eller vatten, som sedan kan användas för att nyttja energin i form av värme till andra ändamål. På detta vis kan energi sparas.

Det finns värmväxlare där den latent energi (fasövergången mellan gas och flytande form) inte tillvaratas vilket missar stora mängder av tillgänglig energi. Det är viktigt att kondensera så mycket fukt som möjligt ur rökgaserna för att ta vara på den latent energi.

### 3.5.2 Rökgaskondensering

Rökgaskondensering är en typ av värmväxling. Det är en process som används för att återvinna värmeenergi från rökgaserna som bildas vid förbränning av bränslen, såsom naturgas, olja eller biomassa. Vid rökgaskondensering kyls rökgaserna ofta ned genom att kallt vatten sprayas över dem. Detta för att rökgaserna ska nå sin daggpunkt där vattenånga kondenserar och latent energi frigörs. Den frigjorda värmen överförs till vattnet som kan användas för att återvinna energin. Figur 12 visar en principskiss där rökgaskondensering används med värmväxlare för fjärrvärme. De små munstyckena ovanför "rökgas in" och i toppen av cylindern sprayar vatten över de heta rökgaserna.



Figur 12. Principskiss för rökgaskondensering [11].

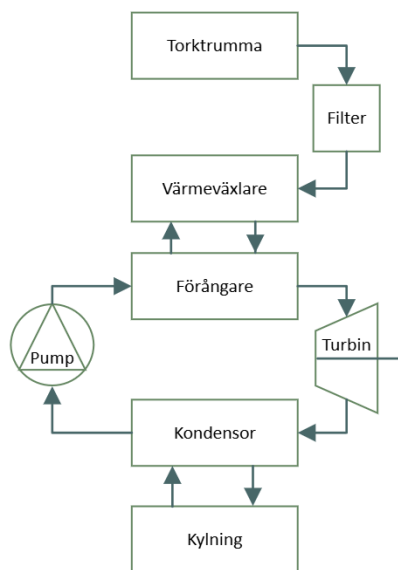
Rökgaskondensering används ofta i fjärrvärmesystem, industriella processer samt i bostadsuppvärmning där höga krav ställs på energieffektivitet och miljöpåverkan.

En fördel och nackdel med rökgaskondensering är att vattnet binder föroreningar och renar gasen. Vattnet som används blir därmed förorenat och måste tas om hand.

### 3.5.3 Organic Rankine Cycle (ORC)

Med hjälp av ORC återvinns värmeenergi för att producera elenergi. Den fungerar på liknande sätt som den traditionella Rankine-cykeln men använder en organisk vätska med lägre kokpunkt än vatten, vilket gör den lämplig för lågtemperaturvärmekällor.

Den fungerar genom att ett medium, en "arbetsvätska", pumpas in i en förångare där den absorberar värme från värmekällan och förångas till högtrycksånga. Ångan går sedan in i en turbin eller expanderare där den expanderar och utför mekaniskt arbete genom att driva turbinen. Detta driver en generator för att producera elektricitet. Efter att ha passerat genom turbinen går ångan in i en kondensator där den kyls ned och kondenseras tillbaka till vätskeform genom att avge sin återstående värme till ett kylmedium (till exempel luft eller vatten). Den kondenserade vätskan pumpas sedan tillbaka till högt tryck och återförs till förångaren för att upprepa cykeln. En av fördelarna med att använda ORC, framför traditionell Rankine där vattenånga används, är dess flexibilitet med olika typer av arbetsvätskor som kan anpassas för specifika temperaturområden och applikationer.



Figur 13. Principskiss för ORC.

En fördel med detta är att elenergin kan vara lättare att transportera och hitta användningsområden för. Notera att en värmeväxlare behövs och är en del av denna process.

### 3.5.3.1 Examensarbete om Energieffektivisering genom ORC

Ett examensarbete [12] har utförts vid Chalmers Tekniska Universitet i syfte att undersöka möjligheten att nyttja ORC för att skapa elenergi ur rökgaserna vid asfalttillverkning. Här studeras olika scenarion där rökgaserna värmeväxlas för att värma mediet som används i ORC. Slutsatserna i denna rapport är att effekten som kan överföras inte räcker till för att värma mediet till en temperatur som är tillräcklig för att cykeln ska bli effektiv.

Värmeväxlaren från företaget Processor kan dock värma upp mediet till 75°C med en effekt på 638kW, för i rapporten givna förhållanden, och därmed kan energieffektivisering fortfarande göras med endast värmeväxlaren. Här föreslås att utnyttja det varma mediet till att exempelvis underhållsvärma tankar, byggnader eller kalldoseringsfickorna. Här nämns också att av miljöskäl är det också många asfaltverk som ställer om till miljövänligare bränslen och exempelvis tallolja behöver ha en underhållsvärme på ca 65°C. En del av den underhållsvärmen skulle värmeväxlaren kunna bidra med.

### 3.5.4 Economiser

En economiser är vanligtvis integrerad i ångpannor och stora HVAC-system och återvinner värme från pannans avgaser för att förvärma matarvattnet innan det går in i pannan. Detta ökar pannans effektivitet genom att minska mängden bränsle som behövs för att producera ånga och bidrar till lägre driftkostnader och minskade utsläpp.

De är alltså inte direkt lämpade för det ändamål som söks i projektet, men det är en typ av integrerad värmeväxlare där matarvattnet i stället skulle kunna vara tilluft till torktrumman.

## 3.6 Övrigt

Punkten övrigt är lite utanför detta projekts avgränsningar. Det finns såklart andra metoder eller åtgärder som kan göra det möjligt att spara energi i torktrumman och några av dessa listas här men studeras inte mer.

### 3.6.1 Värmeförluster genom torktrummans mantel

I ett examensarbete från 2009, [13], studeras inverkan av att isolera torktrumman för att minska värmeförlusterna genom trummans mantelyta. Här studeras bland annat effekten av isolering med luftspalt och mineralull men även nyttan med att bygga in trumman för att skydda den mot väder och vind. Jämförelser av energiförluster för ett ton material beräknas för ett asfaltverk där torktrumman är isolerad med luftspalt och för ett asfaltverk där torktrumman är oisolerad visar att isolering markant kan minska dessa förluster.

För en oisolerad torktrumma i medelvind om ca 4 m/s beräknas värmeförlusterna genom manteln uppgå till nästan 20 kWh/ton.

Torktrumman kan alternativt till att förses med ett isolerade lager konstrueras i flera lager för att begränsa värmeförlusterna genom torktrummans mantelyta. Detta är något som redan implementeras och studeras inte närmare i detta projekt.

### 3.6.2 Ta vara på värmen i filler

Genom en fillerbypass är det möjligt att ta vara på fillret direkt från filltret när det fortfarande är hett. Då är det möjligt att spara den energin. Studier visar att för ett recept som innehåller 100 kg filler där hälften av fillret kan nyttjas hett så att det inte behöver värmas upp flera gånger sparar ca 0,7 kWh per ton färdig asfaltmassa. I beräkningarna i kapitel 5 antas att endast energin i överskottsfiller går förlorad, vilket i princip innebär att allt filler går via bypass.

### 3.6.3 Energilagringssystem

Relaterat till värmeväxling och överskottsvärme är energilagring som kan användas för att öka flexibiliteten för användningsområdena för energin som återvinns. Med möjligheten att lagra energin ställs inga krav på att energin måste användas samtidigt som produktionen sker. Energi kan lagras i flera former, exempelvis som värmeenergi eller kemisk energi i en ackumulator eller med termiska energilager som smältsalt eller fasförändringsmaterial. Detta är inget som studeras i detta projekt men nämns då det skulle öppna för andra möjligheter.



## 4 UTVÄRDERING OCH ANPASSNING

Metoderna i kapitel 3 utvärderas ifall de kan anpassas till asfalttillverkning. Ifall de inte anses lämpliga kommer de inte studeras vidare.

### 4.1 Avskilja överskottsfiller innan uppvärmning

Baserat på resultaten från tidigare SBUF-projekt, diskussioner med leverantörer av både flip-flow siktar och vindsiktar bedöms det svårt att med nuvarande teknik att effektivt reducera fillermängden när materialet har en fukthalt på över 4%.

Ett sätt att använda dessa siktar skulle vara ifall torrt material siktas i så stor utsträckning som möjligt för att tillverka ett stenmjöl med låg fillerhalt innan den stackas och utsätts för fukt. Sikten skulle alltså användas direkt efter krossningen för att skapa ett fillerfattigt material att förvara i stack. Detta skulle innebära att materialet potentiellt binder mindre fukt när det är stackat och också kan dränera och torka snabbare. Detta är dock bara en hypotes och måste studeras närmare.

Effekterna av att använda en vindsikt för att avskilja filler från 0–2 fraktionen studeras trots nämnda svårigheter vidare i nästa kapitel. En annan effekt av vindsikten som är intressant att studera är ifall processen i sig har en upptorkande effekt av materialet.

Då siktar redan är en del av produktionen är det ett naturligt steg att använda dessa för att förfina produkten ytterligare. Även vindsiktar används i liknande miljöer och har testats i ballastproduktion. Den tillkommande hanteringen utgör inget hinder utan det som främst begränsar är dess möjlighet att hantera fuktigt material, vilket gäller båda typer av siktar. Utvecklingen av dessa siktar och råd från leverantören undersöks. Det råder även en osäkerhet rörande driftsäkerhet och eventuellt slitage för vindsiktarna som bör studeras närmare.

Alternativet våtklassering bedöms vara ett mindre lämpligt alternativ. Den höga fukthalten efter klasseringen, >10%, kombinerat med att partiklarna som fortfarande är önskvärda och därmed närvarande är relativt små bidrar till en lång torktid.

### 4.2 Reducera fukt i stenmaterial

I teorin används lador för att minska eller begränsa fukthalten i stenmaterialet genom att det lagras skyddat från nederbörd och ges en möjlighet att även torka under tiden. Den största effekten av en lada är med största sannolikhet att hindra att regn faller på det stackade materialet och den torkande effekten är troligtvis begränsad. En av nackdelarna med förvaring i lada är storleken som krävs på ladan för att rymma den mängd material som förbrukas under det tidsförlopp som krävs för att dra nytta av ladan och eventuellt torka materialet. Det är också viktigt att det inte bildas kondens i ladan som skulle kunna försämra torkeffekten eller till och med öka fukthalten.

Eftersom 0–2 binder mer fukt än övriga fraktioner bör det därmed prioriteras. Det finns uppgifter som säger att en lada kan bidra till att fukthalten i 0–2 är cirka två tredjedelar lägre när det når torktrumman.

Redan idag förvaras 0–2 i flera fall under tak i skydd från regn. Vilken effekt detta har på fukthalten i materialet är omdiskuterat och en mer detaljerad studie över en längre tidsperiod krävs för att kunna dra några slutsatser. Den positiva effekten av ett skyddande tak varierar både beroende av hur länge materialet förvaras under det och naturligtvis också av årstid och klimat. Någon möjlighet att studera effekterna av lagring i lada har inte kunnat genomföras under projektets gång och inte heller någon mer utförlig studie har påträffats.

Att bygga öppna hallar eller lador som ska skydda det stackade materialet behöver inte ta upp mer plats än vad stackarna redan gör. Hanteringen bör också kunna anpassas för att påverka arbetsgången minimalt.

Ändringar av steg i produktionen som att använda kåpor eller skydd som förhindrar spridningen av damm studeras inte vidare i denna rapport.

### 4.3 Torka materialet i separat steg

Metoder för att torka 0–2 mer effektivt och med högre verkningsgrad är ett sätt att spara energi i den ordinarie torktrumman. Då flera sandtorkningsmetoder består av en torktrumma likt den som redan används är det svårt att göra någon större påverkan på verkningsgraden även om den går att förbättra. Andra metoder för att torka materialet skulle oavsett verkningsgrad också endast marginellt förbättra energieffektiviteten. Oavsett vilken metod som skulle användas kommer detta kräva ett ytterligare steg i hanteringen av 0–2.

### 4.4 Återvinna energi ur spillvärme

Genom att använda en rökgasvärmeväxlare eller rökgaskondensator är det relativt enkelt att överföra värme från rökgaser till en annan vätska eller gas för att återvinna och återanvända värme som annars skulle ha gått förlorad.

En av utmaningarna är att ta vara på energin ur det uppvärmda mediet. Det kan exempelvis användas för att förvärma och torka stenmaterialet alternativt värma tilluften till torktrumman. Ifall detta inte är möjligt kan den användas för att värma andra delar i produktionen, det är dock svårare att se var detta energitillskott kan utnyttjas, särskilt med tanke på att det endast finns tillgängligt när det sker produktion om ingen typ av energilagring ska till.

Det examensarbete som beskrivs i stycke 3.5.3.1 om rökgasåtervinning till elektricitet med hjälp av ORC (Organic Rankine Cycle) visade att temperaturen på rökgaserna blir för låg för att den ska vara effektiv. Det är möjligt att ytterligare arbete kan utföras som kan göra att denna process blir mer effektiv. Om rökgasenergin kan omvandlas till elektricitet är den betydligt mer flexibel. En möjlighet är ifall det skulle gå att höja temperaturen i torktrumman

så att rökgaserna höll en högre temperatur än idag. För att detta ska vara möjligt måste filtren som används för att avskilja filler ur rökgaserna klara den högre temperaturen.

Nackdelar och utmaningar med värmeväxling utöver hur energin ska användas är bland annat tillkomsten av förorenat kondensat som måste tas om hand (dock med renare rökgaser som resultat); risken för kondensation av svavelsyraånga som är korrosiv; tryckfall som förhindrar rökgaserna från att stiga genom skorstenen. Notera att alla dessa utmaningar går att hantera.

Eftersom mängden energi i rökgaserna är så pass stor undersöks detta alternativ vidare.

## 5 ENERGI- OCH KOSTNADSBERÄKNINGAR

Detta kapitel behandlar det teoretiska energibehov som finns för att förångna fukt och värma stenmaterial till önskad temperatur. Det beräknas både med och utan de olika lösningarna som är tänkta att minska energibehovet.

### 5.1 Recept asfalt

För att förenkla beräkningarna och inte behöva ta hänsyn till olika recept på asfalt så skapas ett ”medel”-recept som bygger på medelvärden från fyra vanliga asfaltrecept.

#### Kommentar och antagande om fillerhalt

Ett antagande är andelen filler som finns i fraktion 0–2, som är satt till 15%. Detta värde återfinns i tidigare SBUF-rapport 12036 [4] och bör vara ett rimligt antagande för typiskt stenmjöl även om det skiljer sig mellan olika täkter och krossar. Vidare antas att övriga större fraktioner endast innehåller en försumbar mängd filler. Det innebär att den totala mängden filler i stenmaterialet endast är 15% av 0–2 materialet. Om denna massa jämförs med massan filler som är önskvärd i recepten presenterade nedan så skulle detta innebära ett underskott på filler. Enligt utsago så är det totala filleröverskottet motsvarande ~7% av allt stenmaterial. Det innebär att för vårt ”medel”-recept som ska innehålla ca 6,7 % filler borde stenmaterialet innehålla  $6,7+7=13,7$  % filler i grundreceptet för att nå upp till 7% överskott. Alltså, 13,7% av allt stenmaterial är mer än 15% av 0–2. Det betyder det att det måste tillkomma filler till stenmaterialet från andra källor.

Detta kanske kan förklaras med att inblandningen av återanvänd asfalt, RAP, ökar fillermängden avsevärt och det blir ett överskott, eller att de uppmätta värden som återfinns i SBUF-rapporten är i underkant mot vad typiskt stenmjöl innehåller. Det gör i sin tur att det bör vara önskvärdt att avlägsna mer filler ur det jungfruliga materialet än vad som görs i beräkningarna då det i verkligheten kompenseras av granulat-andelen.

I beräkningarna antas att det är önskvärdt att ta bort 2/3 av de 15% filler som finns i 0–2 för att uppnå önskvärd mängd filler. Detta innebär att andelen och massan filler i beräkningarna inte stämmer överens med recepten. Det innebär också att det troligtvis är önskvärdt att ta bort ännu mer filler ur 0–2. Värt att notera är att det oavsett endast är denna andel filler som går att påverka om enbart 0–2 ska behandlas.

### 5.2 Energiberäkningar

Eftersom 0–2 fraktionen är fokus i detta projekt så är inte fukthalten i övriga fraktioner avgörande, särskilt inte vid en jämförelse mellan metoderna. Däremot så påverkas den totala mängden energi i rökgaserna direkt av fukthalten och spelar en stor roll vid exempelvis värmewäxling.

### 5.2.1 Energikonserveringsprincipen

För att utföra de teoretiska beräkningarna för hur mycket energi som går åt till att värma material och förånga fukt, samt försvinner med rökgasen tillämpas energikonserveringsprincipen, eller termodynamikens första lag. Den konstaterar att energi inte kan skapas eller förstöras utan enbart ändra form. Den totala energin som tillförs ett system är därmed lika med den energi som lämnar systemet. Om man förenklar bort den energi som tillförs via arbete, exempelvis friktion, går det att jämföra tillförd energi med värmeenergin i materialet och rökgaserna.

Värmeöverföring i ett slutet stationärt system ges av:

$$Q = mC_p\Delta T$$

$Q$	Värmeöverföring in eller ut ur systemet	[kJ]
$m$	Massa	[kg]
$C_p$	Specifik värmekapacitet vid konstant tryck	[kJ]/(kg * K)
$\Delta T$	Temperaturdifferensen	[K]

Vid förångning av vatten gäller:

$$Q_{\text{Förångning,H}_2\text{O}} = m_{\text{H}_2\text{O}} * h_{\text{ÅNGA,H}_2\text{O}}$$

$h_{\text{ÅNGA,H}_2\text{O}}$	Ångbildningsentalpi för vatten, energi för att förånga vatten	[kJ/kg]
$m_{\text{H}_2\text{O}}$	Massan vatten	[kg]

För energiinnehållet i rökgaserna gäller:

$$Q_{\text{RÖKGAS}} = m_{\text{BRÄNSLE}} * V_{\text{RÖKGAS}} * h_{\text{RÖKGAS}}$$

$m_{\text{BRÄNSLE}}$	Mängden bränsle	[kg]
$V_{\text{RÖKGAS}}$	Volymen rökgas per mängd bränsle	[nm <sup>3</sup> /kg]
$h_{\text{RÖKGAS}}$	Entalpiet hos rökgasen	[kJ/nm <sup>3</sup> ]

Där rökgasen kan delar upp enligt

$$V_{\text{RÖKGAS}} = V_{0,\text{RÖKGAS}} + (n - 1) * V_{0,\text{LUFT}}$$

$V_{\text{RÖKGAS}}$	Verklig mängd rökgas	[nm <sup>3</sup> /kg]
$V_{0,\text{RÖKGAS}}$	Teoretisk mängd rökgas	[nm <sup>3</sup> /kg]
$n$	Luftfaktor	[-]
$V_{0,\text{LUFT}}$	Teoretisk mängd luft	[nm <sup>3</sup> /kg]
$V_{\text{LUFT}}$	Verklig mängd luft	[nm <sup>3</sup> /kg]

Beräkningarna genomförs med energienheterna Joule och kilowattimmar och omvandlingen mellan dessa sker enligt sambandet, 1 kWh = 3600 kJ.

$$\begin{aligned}\Delta E_{system} = 0 &= Q_{IN} - Q_{UT} \\ &= Q_{IN} - Q_{STEN} - Q_{H2O} - Q_{FÖRÅNGA.H2O} - Q_{ÅNGA} - Q_{RÖKGAS} \\ &\quad - Q_{FÖRLUST}\end{aligned}$$

Parametrar i balansen, notera att beräkningarna utförs för mängder som ingår i framställningen av 1 ton färdig asfaltmassa. Den totala massan varierar därmed beroende av andelen fukt och filler som går in i systemet men som sedan inte ingår i den färdiga asfaltmassan.

Energien i stenmaterialet kan också delas in mellan nyttig sten (det material som blir del av den färdiga massan) och överskottsfiller (det filler som filtreras bort och inte används).

$$Q_{STEN} = Q_{BALLAST} + Q_{FILLER.ÖVERSKOTT}$$

Energien i rökgasen vid given temperatur, antingen innan eller efter rökgasfiltret, beräknas med hjälp av ett beräkningsark i Excel från Energihandbok.se [14]. Luftflöde och temperatur ger rökgasens entalpitet. Eftersom referenstemperaturen för entalpiteten är 25 °C och temperaturen på ingående luft är lägre än detta tillkommer även ett energibehov för att värma luften upp till referenstemperaturen. Detta tillskott är inte inkluderat i beräkningarna nedan men bedöms vara en väldigt begränsad mängd av den totala energin.

Notera att energin i bindemedlet utelämnas ut ekvationen.

$Q_{IN}$	Energi in i system	$\frac{\text{Bränsleåtgång} * \text{Bränslets energinnehåll}}{\text{Mängd stenmaterial}}$
$Q_{STEN}$	Energi för att värma sten	$(m_{BALLAST} + m_{FILLER.ÖVERSKOTT}) * C_{P,STEN} * (T_{STEN,UT} - T_{STEN,IN})$
$Q_{H2O}$	Energi för att värma fuktinnehållet	$m_{H2O} * C_{P,H2O} * (T_{H2O,KOK} - T_{H2O,IN})$
$Q_{FÖRÅNGA,H2O}$	Energi för att förånga fukten	$m_{H2O} * h_{ÅNGA,H2O}$
$Q_{ÅNGA}$	Energi i ångan som överstiger 100°C	$m_{H2O} * C_{P,ÅNGA} * (T_{ÅNGA,UT} - T_{H2O,KOK})$
$Q_{ÅNGA,LF}$	Energi i ångan på grund av luftfuktighet	$m_{H2O} * C_{P,ÅNGA} * (T_{ÅNGA,UT} - T_{H2O,KOK})$
$Q_{RÖKGAS}$	Energi i rökgas från förbränning	$m_{BRÄNSLE} * V_{RÖKGAS} * h_{RÖKGAS}$

$Q_{FÖRLUST}$	Övriga Energiförluster genom exempelvis trummans mantel	
---------------	--	--

Givna värden;

$C_{P,H_2O} = 4,18 \left[ \frac{kJ}{kg * K} \right]$	Värmekapacitet för vatten
$C_{P,ÅNGA} = 1,89 \left[ \frac{kJ}{kg * K} \right]$	Värmekapacitet för ånga vid 100 °C
$C_{P,STEN} = 0,836 \left[ \frac{kJ}{kg * K} \right]$	Värmekapacitet för sten, antaget värde, beror på bergartens mineralsammansättning
$C_{P,LUFT} = 1,012 \left[ \frac{kJ}{kg * K} \right]$	Värmekapacitet för luft vid 100 °C
$C_{P,LUFT} = 1,006 \left[ \frac{kJ}{kg * K} \right]$	Värmekapacitet för luft vid 20 °C
$h_{ÅNGA,H_2O} = 2260 \left[ \frac{kJ}{kg} \right]$	Ångbildningsentalpin för vatten vid 100 °C
$T_{STEN,IN} = 12 \text{ [}^\circ\text{C]}$	Temperatur på stenmaterial innan uppvärmning. Antagande baserat på dygnsmedeltemperaturen i Göteborg från mars till och med oktober de senaste 5 åren
$T_{H_2O,IN} = 12 \text{ [}^\circ\text{C]}$	Temperatur på fukten som är bunden i materialet, samma temperatur som stenmaterialet.
$T_{LUFT,IN} = 16 \text{ [}^\circ\text{C]}$	Antagande baserat på medeltemperaturen dagtid i Göteborg från april till och med oktober de senaste 5 åren
$T_{STEN,UT} = 180 \text{ [}^\circ\text{C]}$	Temperatur på stenmaterial efter uppvärmning
$T_{H_2O,KOK} = 100 \text{ [}^\circ\text{C]}$	Temperatur på fukten innan den förångas.
$T_{RÖKGAS,INNAN} = 120 \text{ [}^\circ\text{C]}$	Temperaturen på rökgasen innan filtret
$T_{RÖKGAS,EFTER} = 75 \text{ [}^\circ\text{C]}$	Temperaturen på rökgasen efter filtret
$T_{REF} = 25 \text{ [}^\circ\text{C]}$	Referenstemperatur för entalpiberäkning
$V_{RÖKGAS}$	Volym rökgas per mängd bränsle, beroende av bränslemängd.
$\rho_{LUFT,100C} = 0,9329 \text{ [kg/m}^3\text{]}$	Densitet för luft vid 100 °C
$\rho_{ÅNGA,100C} = 0,598 \text{ [kg/m}^3\text{]}$	Densitet för vattenånga vid 100 °C

## 5.2.2 Basfall

Som en referens skapas ett basfall med antagna värden och ett fiktivt asfaltrecept. Receptet baseras på ett medelvärde av fyra typiska asfaltrecept. Värden för andelen fukt i materialen är baserade på antaganden där majoriteten av fukten binds i 0–2. För jämförelserna beräknas energimängder och utsläpp för ett ton färdig asfaltmassa.

Färdig produkt asfaltmassa	1000	kg
Stenmaterial (inkl. filleröverskott)	965,2	kg
Recept	Medel	-
Andel 0-2	26,1	%
Fillerhalt i 0-2	15,0	%
Fillerhalt i Stenmaterial	3,9	%
Filler i kg	37,7	kg
Fukthalt i 0-2	5	%
Fukthalt i stenmaterial	1,30	%
Fukt i kg	12,6	kg
Önskad fillerhalt	1,30	%
Bindemedel	6	%
Färdig produkt sten	940	kg
Rökgas, inkl. tilluft	400	m <sup>3</sup>

Konstanter, samma som redovisade tidigare:

Energi, värmekapacitet vatten	4,18	kJ/(kg*K)
Energi, ångbildningsentalpin	2260	kJ/(kg*K)
Energi, värmekapacitet ånga	1,89	kJ/(kg*K)
Energi, värmekapacitet sten <sup>1)</sup>	0,836	kJ/(kg*K)
Energi, värmekapacitet luft	1,012	kJ/(kg*K)
Energi, eldningsolja l	35 588	MJ/m <sup>3</sup>
Densitet luft, vid 100°C	0,9329	kg/m <sup>3</sup>
Densitet vattenånga, vid 100°C	0,598	kg/m <sup>3</sup>

<sup>1)</sup> Värmekapaciteten för sten är cirka en femtedel av vad den är för vatten.

Antagna indatavärden:

Temp luft in <sup>1)</sup>	16	°C
Temp, kokpunkt	100	°C
Temp rökgas ut	75,0	°C
Temp mtrl in	12	°C
Temp mtrl ut	180	°C
RH luft in	50	%
Luft in <sup>2)</sup>	329,4	m <sup>3</sup>
Fukt i luft	8,64	v [g/ m <sup>3</sup> ]



Fukt i luft	2,8	kg per ton asfaltmassa
Kokpunkt	100	°C
Fukt från förbränning	5,5	kg per ton asfaltmassa
Fukthalt i rökgas <sup>3)</sup>	52,2	g / m <sup>3</sup>
100% RH vid	40,4	°C
RH rökgas vid 75°C	21	%

<sup>1)</sup> Medeltemperatur för Göteborg, dagtid, april till oktober.

<sup>2)</sup> Luftmängd för en total mängd rökgas på 400 m<sup>3</sup> per ton asfaltmassa

<sup>3)</sup> All fukt från stenmaterial, förbränning och luft löst i rökgaserna

Luftfuktigheten i rökgasen beräknas baserat på den fukthalt som fås om all fukt är löst i de totalt 400 m<sup>3</sup> rökgas. Dagpunkten och den relativa luftfuktigheten vid 75°C beräknas sedan för att se ifall det finns en risk för kondens i filtret.

Energien som tillförs i torktrumman per ton asfaltmassa är antagen som den mängd som finns i ca 7 liter eldningsolja.

Energi för ett ton färdig asfaltmassa.

	<b>kJ</b>	<b>kWh</b>	<b>Av Tillförd Energi</b>
Energi värma vatten	4 627	1,30	1,9%
Energi förånga vatten	28 426	7,90	11,4%
Energi värma ånga i luft	356	0,12	0,1%
Energi värma överskottsfiller	3 533	0,98	1,4%
Energi värma stenmaterial	132 021	36,7	53,0%
Energi rökgas ut	43 954	12,2	17,6%
Total utan rökgas	168 963	46,9	67,8%
Total med rökgas	212 991	59,2	85,5%
Övriga förluster <sup>1)</sup>	36 197	10,1	14,5%
<b>Tillförd Energi <sup>2)</sup></b>	<b>249 115</b>	<b>69,2</b>	<b>100%</b>

<sup>1)</sup> Övriga förluster baseras på skillnaden mellan 'Tillförd Energi' och 'Total med rökgas'.

<sup>2)</sup> Energimängden i 7 liter eldningsolja.

Rökgaserna innehåller också den fukt som tillförts torktrumman via stenmaterial och via fukten som finns i tilluften. Energin i rökgaserna delas upp i latent och sensibel energi och är beräknade vid 75°C, dvs temperaturen efter filtret. Den latent energi återfås ur vattenångan när den kondenseras till flytande form. Intressant är att se hur mycket energi som följer med rökgaserna upp genom skorstenen.

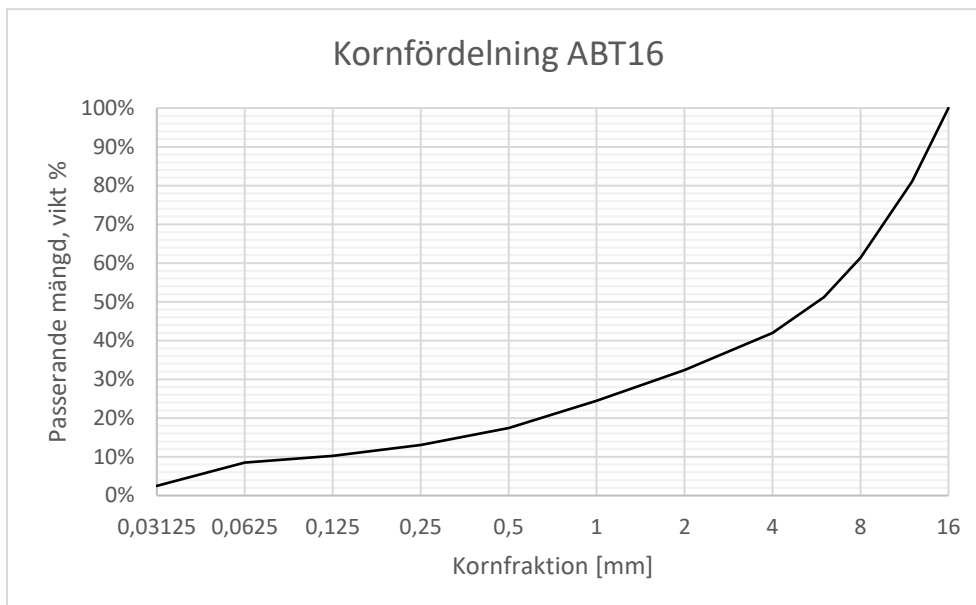
	<b>kJ</b>	<b>kWh</b>
Rökgas Energi – Latent	17 940	5,0
Rökgas Energi – Sensibel	26 015	7,2
Övrig Latent Energi*	33 501	9,3

\*Latent energi tillgänglig i övrig fukt löst i rökgasen.

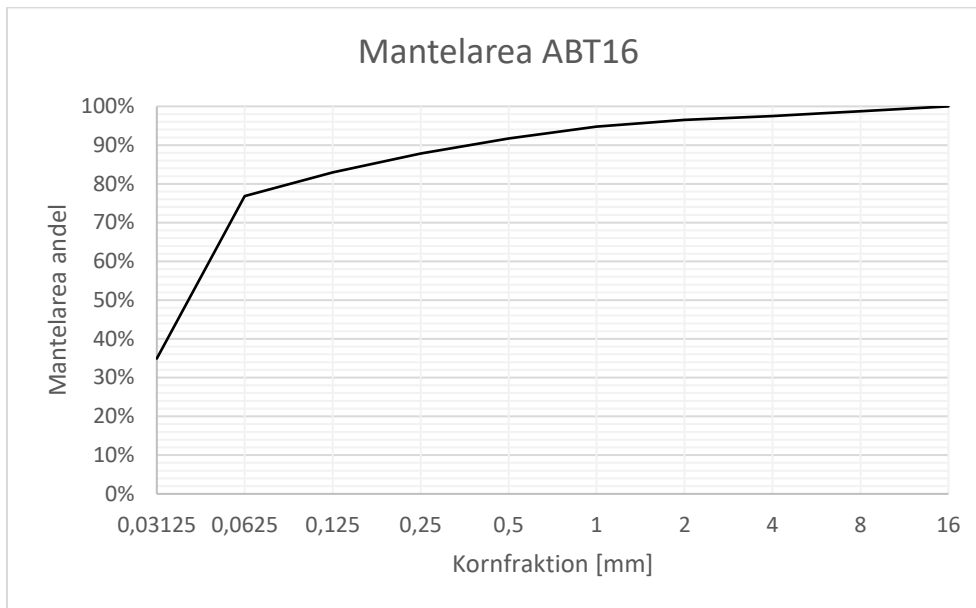
### 5.2.2.1 Fuktfördelning i stenmaterialet

Fukten i stenmaterialet är inte jämnt fördelad mellan fraktionerna. Mindre partiklar binder mer fukt än större. I basfallet, och de olika konceptfallen som kommer nedan, antas att en större mängd fukt är bunden i stensmjölet (0-2) medan de större fraktionerna innehåller en jämförelsevis försumbar mängd fukt. Detta är såklart en väldigt grov förenkling.

För att visa att det ändå ligger en del sanning i förenklingen så går det att göra en uppskattning av hur fukten fördelas i stensmjölets olika fraktioner med hjälp av förhållandet mellan mantelarea och diameter på det ingående stenmaterialet. Detta då fukten binder till ytan på stenmaterialet. Med ett typrecept för ABT16 och en tillhörande kornfördelningskurva är det möjligt att göra en grov uppskattning vilka partiklar som bidrar med majoriteten av mantelarea som också ger ett mått på var mest fukt binds. Det visar att de partiklar som har en diameter under 0,125 mm trots att de endast utgör ca 10% av massan står för mer än 80% av mantelarean.



Figur 14. Kornfördelning, passerande mängd, för ABT16.



Figur 15. Fördelning av mantelarea mellan kornfraktioner i ABT16.

### 5.2.3 Vindsikt

För att ta reda på hur stor nytta en vindsikt gjort ifall den används för att sikta bort filler (och fukt) görs beräkningar som baseras på basfallet.

Ett antagande görs att vindsikten kan sikta bort tillräckligt med filler för att inget överskott skall finnas kvar. Det motsvarar två tredjedelar av det filler som finns närvarande i det jungfruliga materialet. Tillsammans med fillret reduceras även fukthalten med lika stor andel.

Vindsikten förbrukar elenergi. Enligt tidigare SBUF-projekt landade förbrukningen för vindsikten på 2,3 kWh per ton 0–2 och vilket motsvarar ca 0,7 kWh på ton färdig massa. Denna energi läggs till i beräkningen.

Färdig produkt asfaltmassa	1000	kg
Stenmaterial	944,1 <sup>*)</sup>	kg
Recept	Medel	-
Andel 0-2	26,1	%
Fillerhalt i 0-2	15,0	%
Fillerhalt i Stenmaterial	3,9	%
Filler i kg	12,3	kg
Fukthalt i 0-2	5	%
Fukthalt i stenmaterial	1,30	%
Fukt i kg	4,1	kg
Önskad fillerhalt	1,30	%
Bindemedel	6	%
Färdig produkt sten	940	kg
Rökgas	400	m <sup>3</sup>

<sup>1)</sup> Efter att filler har siktats bort i vindsikten

Konstanterna är samma som för basfallet.

Antagna indatavärden som skiljer sig:

Fukthalt i rökgas <sup>1)</sup>	37,6	g / m <sup>3</sup>
100% RH vid	34,1	°C

<sup>1)</sup> All fukt från stenmaterial, förbränning och luft löst i rökgaserna

Energien som tillförs i torktrumman per ton asfaltmassa är beräknad baserat hur stor andel energi som utgör "Total utan rökgas" i basfallet. "Total utan rökgas" uppgår till ca 68% av den tillförda energin och denna fördelning antas vara lika även i detta fall. På så vis beräknas energimängden i rökgasen och även övriga förluster.

Energi för ett ton färdig asfaltmassa skulle då bli enligt följande.

	<b>kJ</b>	<b>kWh</b>	<b>Av Tillförd Energi</b>
Energi värma vatten	1 502	0,42	0,7%
Energi förångna vatten	9 228	2,6	4,3%
Energi värma ånga i luft	356	0,1	0,2%
Energi värma överskottsfiller	0	0	0%
Energi värma stenmaterial	132 021	36,7	61,8%
Energi rökgas ut <sup>1)</sup>	37 228	10,3	17,4%
Total utan rökgas	143 108	39,8	67,0%
Total	180 336	50,1	84,5%
Övriga förluster	30 658	8,5	14,4%
Tillförd Energi, torktrumma.	210 995	58,6	98,8%
Förbrukning vindsikt 0,7 kWh <sup>2)</sup>	2 520	0,7	1,2%
<b>Tillförd Energi inkl. Vindsikt</b>	<b>213 515</b>	<b>59,3</b>	<b>100%</b>
Besparing	35 600	9,9	14,3%

<sup>1)</sup> Energimängden i rökgasen är skalad baserat på basfallet och 'Total utan rökgas'

<sup>2)</sup> Vindsiktens energiförbrukning enligt tidigare SBUF-projekt.

### 5.2.3.1 Fillerhalt och överskottsfiller

Som tidigare beskrivet så uppgår överskottet av filler enligt utsago till ca 7% av allt stenmaterial. Det innebär att för vårt "medel"-recept som ska innehålla ca 6,7 % filler borde stenmaterialet innehålla  $6,7+7=13,7$  % filler i grundreceptet för att nå upp till 7% överskott, motsvarande nästan 70 kg överskott per ton asfaltmassa. I beräkningarna antas överskottet vara 2/3 av de 15% filler som finns i 0-2, motsvarande 25 kg.

I beräkningarna ovan sparas ca 1 kWh genom att inte värma överskottsfiller, detta utan att räkna in eventuell fukt som binds av fillret och inte heller behöver förångas (egentligen den stora mängden energi). Troligtvis är det inte möjligt att ta bort allt överskottsfiller innan torktrumman men ifall allt överskott av filler i stället är ca 3 gånger så stort, alltså 7% av allt stenmaterial, så skulle betydligt mer energi sparas genom att reducera andelen filler än vad beräkningarna visar.

### 5.2.4 Lada

För utreda på hur stor nytta en lada gör ifall den används för att skydda 0–2 från nederbörd görs beräkningar som baseras på basfallet. Baserat på den data som finns angående fukt i 0–2 så reducerar en lada fukthalten med ca två tredjedelar. Då fukthalten i basfallet är 5% så resulterar det att den i detta fall blir ca 1,7%.

Färdig produkt asfaltmassa	1000	kg
Stenmaterial (inkl. filleröverskott)	965,2	kg
Recept	Medel	-
Andel 0-2	26,1	%
Fillerhalt i 0-2	15,0	%
Fillerhalt i Stenmaterial	3,9	%
Filler i kg	37,7	kg
Fukthalt i 0-2	1,7	%
Fukthalt i stenmaterial	0,43	%
Fukt i kg	4,2	kg
Önskad fillerhalt	1,30	%
Bindemedel	6	%
Färdig produkt sten	940	kg
Rökgas	400	m <sup>3</sup>

Konstanterna är samma som för basfallet.

Eftersom fuktinnehållet blir lägre ändras daggpunkten och den relativa luftfuktigheten till det lägre.

Antagna indatavärden som skiljer sig:

Fukthalt i rökgas <sup>1)</sup>	31,3	g / m <sup>3</sup>
100% RH vid	30,6	°C
RH rökgas vid 75°C	13	%

<sup>1)</sup> All fukt från stenmaterial, förbränning och luft löst i rökgaserna

Energi för ett ton färdig asfaltmassa.

	<b>kJ</b>	<b>kWh</b>	<b>Av Tillförd Energi</b>
Energi värma vatten	1 542	0,43	0,7%
Energi förånga vatten	9 475	2,6	4,4%
Energi värma ånga i luft	356	0,1	0,2%
Energi värma överskottsfiller	3 533	1,0	1,6%
Energi värma stenmaterial	132 021	36,7	60,9%
Energi rökgas ut <sup>1)</sup>	38 222	10,6	17,6%
Total utan rökgas	146 928	40,8	67,8%
Total med rökgas	185 150	51,4	85,5%
Övriga förluster	31 477	8,7	14,5%
<b>Tillförd Energi</b>	<b>216 627</b>	<b>60,2</b>	<b>100%</b>
Energibesparing jämfört med basfall	32 488	9,0	13,0%

<sup>1)</sup> Energimängden i rökgasen är skalad baserat på basfallet och 'Total utan rökgas'

### 5.2.5 Sandtork

En 'sandtork' representerar möjligheten att torka materialet mer effektivt än i den ordinarie torktrumman. I beräkningen antas att den energi som krävs för att förånga fukten vara 90% av den totala energi som tillförs i sandtorken. I den ordinarie torktrumman krävs därför ingen energi för detta. Den totala tillförda energin fås sedan genom att summera energin i sandtorken och den ordinarie torktrumman. Notera att stenmaterialet inte antas värmas i sandtorken utan bara torkas, detta är såklart inte helt sanningsenligt.

Antagna värden för ingående stenmaterial till sandtorken:

Stenmaterial 0-2 till sandtorken	298,9	kg
Överskott filler	25,5	kg
Fukt i 0-2	12,7	kg
Stenmaterial 0-2 från sandtork till torktrumman	286,1	kg
Stenmaterial 0-2 i färdig produkt (avfillrad)	260,6	%

Antagna värden för ingående material till torktrumman.

Färdig produkt asfaltmassa	1000	kg
Stenmaterial	965,5	kg
Recept	Medel	-
Andel 0-2	26,1	%
Fillerhalt i 0-2	15,0	%
Fillerhalt i Stenmaterial	3,9	%
Filler i kg	37,7	kg
Fukthalt i 0-2	5	%
Fukthalt i stenmaterial <sup>1)</sup>	0	%
Fukt i kg	0	kg
Önskad fillerhalt	1,3	%
Bindemedel	6	%
Färdig produkt sten	940	kg
Rökgas	400	m <sup>3</sup>

<sup>1)</sup> Fukthalten är 0% då fukten torkas i sandtorken innan torktrumman.

Konstanterna är samma som för basfallet.

Antagna indatavärden som skiljer sig från basfallet:

Fukthalt i rökgas <sup>1)</sup>	25,2	g / m <sup>3</sup>
100% RH vid	26,7	°C

<sup>1)</sup> All fukt från stenmaterial, förbränning och luft löst i rökgaserna

Energi för ett ton färdig asfaltmassa.

	<b>kJ</b>	<b>kWh</b>	<b>Av Tillförd Energi</b>
Energi värma vatten	4 689	1,30	2,0%
Energi förånga vatten	28 811	8,00	12,1%
Energi värma ånga i luft	356	0,1	0,2%
Energi värma överskottsfiller	3 533	1,0	1,5%
Energi värma stenmaterial	132 021	36,7	55,6%
Energi rökgas ut	35 356	9,8	14,9%
Total utan rökgas	135 911	37,8	57,2%
Total	171 267	47,6	72,1%
Övriga förluster	29 116	8,1	12,3%
Tillförd energi, ordinarie trumma	200 383	55,7	84,3%
Energibehov i Sandtork	37 223	10,3	15,7%
<b>Tillförd Energi inkl Sandtork</b>	<b>237 606</b>	<b>66,0</b>	<b>100%</b>
Energibesparing jämfört med basfall	11 509	3,2	4,6%

## 5.2.6 Värmeväxlare

Med en värmeväxlare, som kan kondensera vattenånga, efter filtret kan delar av energin från rökgaserna tas tillvara. Rökgaserna består av latent och sensibel energi där den latent delen utgörs av vattenångan som är löst i rökgasen. Den ”återfås” när vattenångan genomgår en fasövergång till flytande form. I basfallet finns knappt 22 kWh energi i rökgasen per ton asfaltmassa. Av dessa är drygt 14 kWh latent energi.

Om energin i rökgaserna kan värmeväxlas och återföras till exempelvis tilluften till torktrumman kan bränslemängden minskas.

De värden som används för ingående material till torktrumman är samma som för basfallet.

Konstanterna är samma som för basfallet.

Antagna indatavärden som skiljer sig från basfallet:

Fukthalt i utluft <sup>1)</sup>	50,7	g / m <sup>3</sup>
100% RH vid	39,9	°C

<sup>1)</sup> All fukt från stenmaterial, förbränning och luft löst i rökgaserna

Eftersom det krävs mindre energi och bränsle i torktrumman så skalas energin som krävs så att verkningsgraden i torktrumman är densamma. I fallet nedan så krävs mindre tillförd energi

Energi för ett ton färdig asfaltmassa.

	<b>kJ</b>	<b>kWh</b>	<b>Av Tillförd Energi</b>
Energi värma vatten	4 689	1,30	2,3%
Energi förånga vatten	28 811	8,00	14,0%
Energi värma ånga i luft	356	0,1	0,2%
Energi värma överskottsfiller	3 533	1,0	1,7%
Energi värma stenmaterial	132 021	36,7	64,0%
Energi rökgas ut	35 415	9,8	17,2%
Total utan rökgas	169 411	47,1	72,1%
Total	204 827	56,9	99,2%
Övriga förluster	34 822	9,9	16,9%
Energibehov	239 649	66,6	116,1%
Från återvinning	33 273	9,2	16,1%
<b>Tillförd Energi</b>	206 376	57,3	100%
Energibesparing jämfört med basfall	42 739	11,9	17,2%

Rökgaserna innehåller också den fukt som tillförts torktrumman via stenmaterial och via fukten som finns i tilluften. Energin i rökgaserna delas upp i latent och sensibel energi. Den latent energin återfås ur vattenångan när den kondenseras till flytande form.



	<b>kJ</b>	<b>kWh</b>
Rökgas Energi – Latent	14 455	4,0
Rökgas Energi – Sensibel	20 961	5,8
Tillförd Latent*	33 501	9,3

\*Latent energi tillgänglig i övrig fukt löst i rökgasen.

### 5.2.6.1 Värmeväxla tilluft

För att kunna nyttja energin som i exemplet ovan så krävs det att; energin går att återvinna ur rökgasen; att den sedan går att utnyttja. Värmeväxlingen sker genom att rökgasen värmeväxlas med ett sekundärmedie som skulle kunna vara luft eller vatten. Med vatten går det att uppnå effekt i storleksordningen som i exemplet, dock så är nyttan av varmvatten begränsad.

Exempelvis så är ju tilluften en begränsad mängd och maxtemperaturen för mediet som det värmeväxlas till bestäms av rökgasernas temperatur. Om tilluften håller en temperatur av 16°C och 50% RH så skulle energin räcka till att värma tilluften till över 100°C. Då rökgaserna inte håller en så hög temperatur är det därmed inte möjligt att nyttja energin på det sättet.

Om rökgasen i stället värmeväxlas till ett annat medie, exempelvis vatten, så är det möjligt att utvinna den mängden energin ur rökgasen. Vilken temperatur som vattnet får och hur mycket energi som kan utvinnas beror på vattnets inflödestemperatur och volymen som cirkulerar. Problemet kvarstår dock hur, i detta fall vattnet, ska utnyttjas. Ska det exempelvis värmeväxlas tillbaka till luft så förloras energi i ett sådant steg som dessutom innebär ytterligare investeringar, dåligt på flera sätt.

Värmen skulle också kunna användas för att förvärma både tilluft och stenmaterialet. Det skulle exempelvis kunna göras genom en separat torktrumma där processen kan optimeras för ändamålet. Här skulle endast den varma torra luften ledas genom stenmaterialet och ingen brännare skulle användas.

### 5.2.7 Sammanställning

Nedan är en sammanställning av hur mycket energi som potentiellt kan sparas per ton producerad asfaltmassa. Vissa eller flera av lösningarna skulle kunna kombineras, det innebär dock inte att effekten av dem adderas.

Tabell 1. Sammanställning av energibesparing per ton asfaltmassa.

	<b>Basfall</b>	<b>Vindsikt</b>	<b>Lada</b>	<b>Sandtork</b>	<b>Värmeväxlare</b>
Energiförbrukning [kWh]	69,2	60,9	60,2	66,0	57,3
Energibesparing [kWh]	-	8,3	9,0	3,2	11,9
	-	12%	13%	5%	17%

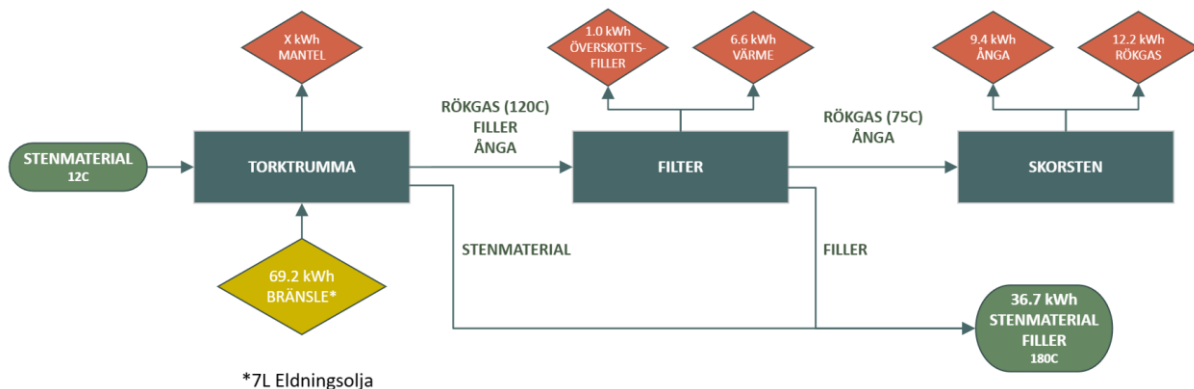
För Sveriges totala årsproduktion av asfaltmassa (ca 5 miljoner ton) skulle detta kunna innebära en energibesparing på runt 50 GWh. Det skulle täcka det årliga energibehovet för 2 500 villor baserat på att en genomsnittlig villa i Sverige förbrukar ungefär 20 000 kWh årligen.

### 5.2.7.1 Schematiska processbeskrivningar

För att skapa en uppfattning om var energin tar vägen och var den kan tas tillvara skapas schematiska processbeskrivningar som visar stenmaterialets och energins vägen genom torknings och uppvärmningsprocessen.

#### Basfall

Basfallet utgår från att en fukthalt i 0-2 materialet på 5% och övrigt material anses vara torrt. Fillerhalten i 0-2 materialet antas vara 15% och den önskade fillerhalten skulle motsvara en fillerhalt på 5%. Detta används som referens för att jämföra energibesparande åtgärder.



Figur 16. Schematisk bild för basfallet.

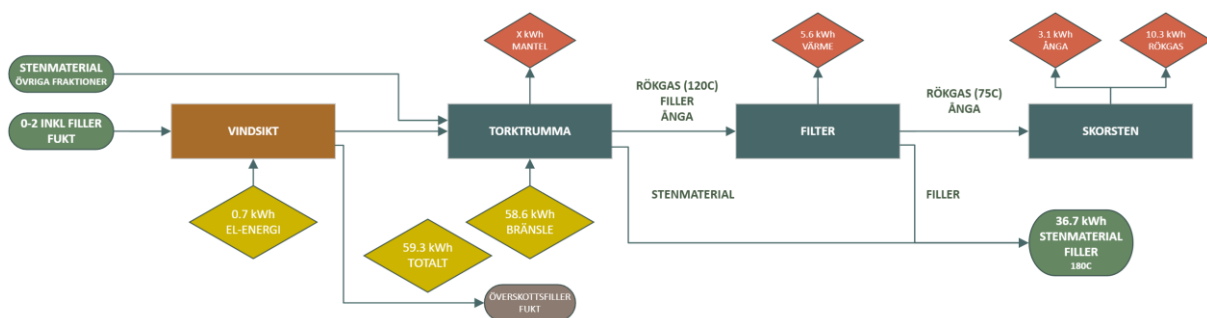
En del energi försvinner givetvis ut genom manteln på torktrumman men denna mängd är okänd och markerad med ett X. Genom att jämföra ingående med utgående energin så blir energin genom manteln 3,3 kWh, vilket troligtvis är i underkant baserat på rapporten som behandlar förluster genom torktrummans mantel [13].

Det är tydligt att rökgasen och ångan som är bunden i denna är bär det mesta av energin bortsett från energin som krävs för att faktiskt värma stenmaterialet. Värt att nämna är också den relativt stora energimängden som försvinner i filtret, vilket såklart är kopplat till den stora temperaturskillnaden innan och efter filtret. De är antagna värden och är möjligen väl långt ifrån varandra.

## Vindsikt

Ifall en vindsikt läggs till i processen så antas det att 2/3 av fillret kan siktas bort och den resulterande fillerhalten motsvarar den önskade. Fukten som är bunden i 0–2 antas också i huvudsak vara bunden till fillret och även den reduceras av vindsikten.

Vindsikten antas förbruka 0,7 kWh för att sikta mängden 0–2 som ingår i ett ton färdig asfaltmassa. Besparingen av framför allt minskad fukthalt efter vindsikten resulterar i en energibesparing på ca 12%, 69,2 kWh till 59,3 kWh.

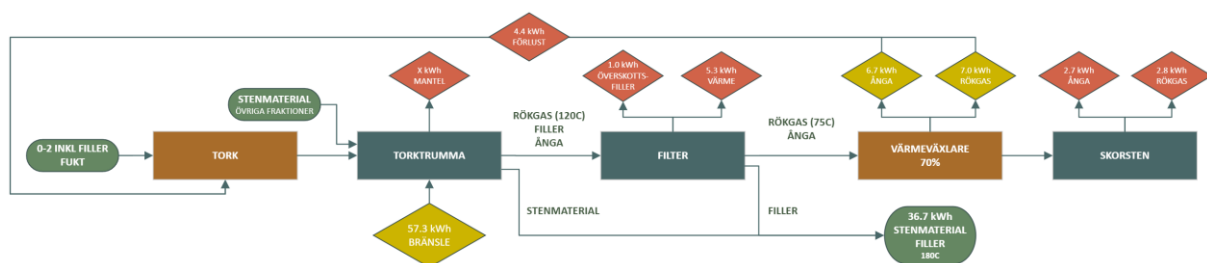


Figur 17. Schematisk bild för fallet med vindsikt.

## Värmeväxlare

Om en värmeväxlare placeras efter filtret som skulle kunna återvinna ca 70% av energin i rökgaserna, och denna energi också kan återföras till exempelvis stenmaterialet, så räcker denna energi för att förånga all fukt materialet. Notera att detta är ett antagande gjort för att energimängden ska täcka det som krävs för att värma och förånga fukten. Det är även med en förlust som sker vid överförandet av värmeenergi i torktrumman.

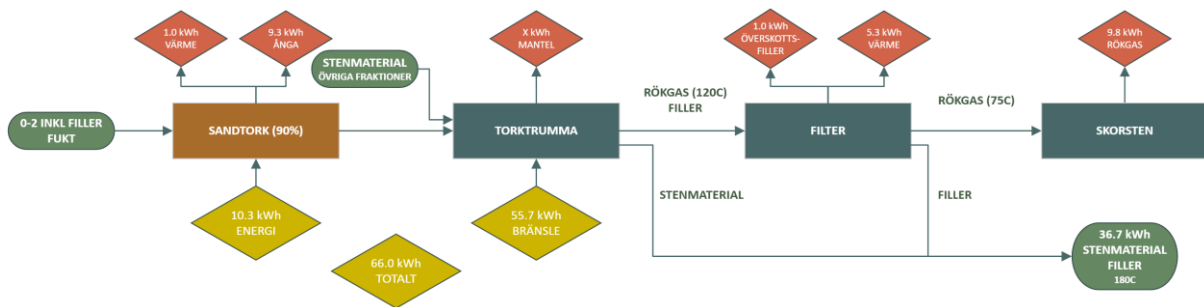
I exemplet nedan återförs värmeenergin till 0–2 i vad som symboliseras med en ”Tork” framför den ordinarie torktrumman. Med en sådan effektivitet så skulle energiförbrukningen sänkas till totalt 57,3 kWh vilket är en besparing på 17% jämfört med basfallet.



Figur 18. Schematisk bild för fallet med värmeväxlare.

## Sandtork

Här undersöks vad det skulle innebära ifall en mer effektiv tork användes. En sandtork med en uppgiven effektivitet på 90% har använts i detta exempel. Eftersom effektiviteten i den ordinarie torktrumman redan är relativt hög gör inte detta så stor effekt. Stora mängder energi försvinner fortfarande i form av ånga och värme.

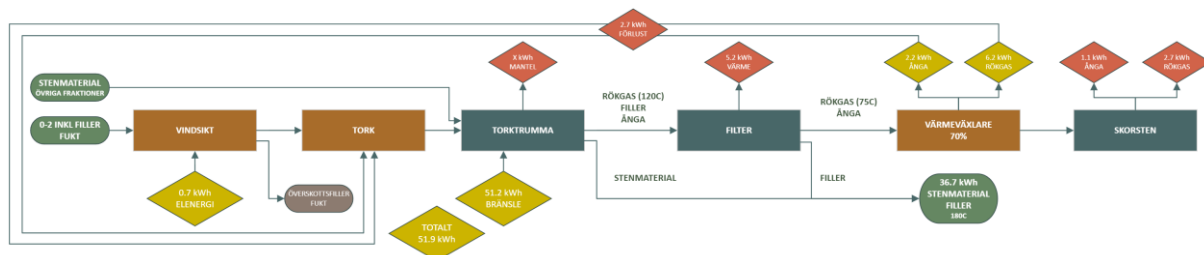


Figur 19. Schematisk bild för fallet med sandtork.

## Vindsikt och Värmeväxlare

Genom att kombinera både vindsikt och värmeväxlare går det att spara ännu lite mer energi. Ett dilemma med värmeväxlaren och vindsikten är att energimängden som kan värmeväxlas minskar med en ökad effektivitet. När det är mindre fukt i rökgaserna blir därför energin som går att återvinna mindre. Ska dessutom den latent energi i rökgaserna återvinnas måste temperaturen på rökgasen sänkas så mycket att ångan kondenserar. Det är möjligt att det inte är rimligt. Den stora mängden energi som återvinns ur värmeväxlaren måste dessutom kunna utnyttjas, vilket i praktiken är svårt.

Total energiåtgång i exemplet är 51,9 kWh, vilket ger en besparing på ca 25% jämfört med basfallet. Notera att värmeväxlaren på egen hand kunde bespara ca 17%.



Figur 20. Schematisk bild för fallet med vindsikt kombinerat med värmeväxlare.

Dessa exempel bygger på antaganden och ger endast en fingervisning vad de olika alternativen har för potential och ger en visuell bild som ökar förståelsen för processen.

Vindsikten antas exempelvis även torka materialet, både naturligt genom luftströmmen och genom att fukten följer med fillret som sikts bort. Huruvida detta stämmer är osäkert.

Att till exempel värmeväxlaren skulle prestera helt linjärt med samma, höga, verkningsgrad oavsett rökgassammansättning kanske är osannolikt. Även om det går att återvinna stora mängder energi ur rökgaserna måste det även effektivt gå att nyttja energin vilket i praktiken kan innebära större utmaningar.

### 5.3 CO<sub>2</sub>-ekvivalenter

En grov uppskattning av hur stora utsläppen blir i form av CO<sub>2</sub>-ekvivalenter utförs med hjälp av energiförbrukningen beräknad ovan och utsläppsvärden för växthusgaser från Naturvårdsverket [15].

Besparingarna av växthusgasutsläpp varierar kraftigt beroende på vilket bränsle som används. Fossila bränslen utsläpp är mycket högre än för förnyelsebara bränslen. Även om fossila bränslen fasas ut så används de fortfarande.

Tabell 2. Tabell för växthusgasutsläpp, från Naturvårdsverket [15]

BRÄNSLEN FÖR PRODUKTION AV VÄRME M.M.			FASTA BIOBRÄNSLEN	
	g/MJ kg/GJ	g/kWh kg/MWh		
ELDNINGSOLJA 1 (EO 1) <sup>1</sup>	80	288	SÅGVERKSRESTER/TRÄINDUSTRIAVFALL <sup>4</sup>	4,5 16,2
ELDNINGSOLJA 2-5 (EO 2-5) <sup>1</sup>	82	295	TRÄPELLETS/BRIKETTER <sup>4</sup>	10,9 39,2
GASOL <sup>1</sup>	72	259	SKOGSFLIS <sup>4</sup>	6,0 21,6
HUSHÅLLSAVFALL <sup>1</sup>	40	144	BIOOLJOR	
FOSSILGAS (NATURGAS) <sup>2</sup>	69	248	FFA (FREE FATTY ACID) <sup>5</sup>	1,5 5,4
VÄSTSVENSKA GASNÄTET (FOSSILGAS OCH BIOGAS) <sup>2,3</sup>	52	188	MFA (MIXED FATTY ACID) <sup>5</sup>	3 11
STENKOL <sup>1</sup>	107	385	RAPSOLJA <sup>5</sup>	31 111
TORV <sup>1</sup>	118	425	RÅTALLOLJA <sup>5</sup>	0,7 2,5
VERKSAMHETS-, GROVAVFALL <sup>1</sup>	26	94	TALLBECKSOLJA <sup>5</sup>	1,8 6,5
			ANNAN VEGETABILISK ELLER ANIMALISK AVFALLSOLJA <sup>5</sup>	3,4 12

Som nämns ovan så skulle en sänkning av energiförbrukningen med 5 kWh per ton asfaltmassa resultera i väldigt varierande besparing av växthusgasutsläpp. Vid användande av förnyelsebara bränslen blir besparing en mellan några hundra upp till ca 1 000 ton. För fossila bränslen skulle besparingen vara upp till sju gånger så stor och drygt 7 000 ton.

Tabell 3. Utsläpp och potentiell besparing av växthusgaser i Sverige.

	CO <sub>2</sub> -ekv g/kWh	Antal ton	Utsläpp [ton]	Besparing vid -5kWh [ton]
Eldningsolja 1	288	5 000 000	99 646	7200
Gasol	259		89 612	6475
Naturgas	248		85 806	6200
Fossil & Biogas	188		65 047	4700
Skogsflis	21,6		7 473	540
Träpellets	39,2		13 563	980
MFA	11		3 806	275
Tall- och beckolja	6,5		2 249	163

## 5.4 Kostnader och besparingar

Att implementera någon av dessa lösningar innebär en besparing av bränsle och växthusgasutsläpp men de innebär även en investeringskostnad samt tillkommande löpande kostnader. Nyttan måste jämföras mot investeringskostnaden och om det inte lönar sig så måste det finnas en betalningsvilja som täcker de ökade kostnaderna. Hur det ska motiveras är utanför denna rapport avgränsningar.

Utöver besparingarna i bränsle tillkommer även i flera fall minskat slitage på ordinarie utrustning som resultat av mindre filler. Det är även möjligt att hanteringen av överskottsfiller kan bli effektivare och innebära besparingar.

### 5.4.1 Besparingar

Energibesparingarna går att direkt översätta i monetära besparingar. Tabellen nedan redovisar kostnadsbesparingar baserade på ungefärliga priser per kilowattimme för några olika bränslen. Om förbrukningen per ton asfaltmassa kan sänkas med 5 kWh så skulle detta motsvara en årlig besparing på upp till 40 miljoner kronor.

Tabell 4. Kostnadsbesparing beroende på bränsle för årsproduktion Sverige.

	Kostnad SEK/kWh	Antal ton	Antal GWh	Total Kostnad [msek]	Besparing om -5kWh [msek]
Eldningsolja 1	1,58	5 000 000	345,9	545,6	39,4
Gasol	1,58			545,6	39,4
Fossil & Biogas	1,50			519,0	37,5
Träpellets	0,60			207,6	15,0
Tall- och becolja	1,33			458,5	33,1

### 5.4.2 Investeringskostnader

Genom att jämföra investeringskostnader med potentiell energi- eller kostnadsbesparing per ton producerad asfaltmassa är det möjligt att beräkna en återbetalningsperiod i antal ton asfaltmassa som behöver produceras innan investeringen har lönat sig. Hur lång tid det motsvarar beror på hur stor produktionen är. Som referens antas en årsproduktion på 100 000 ton och en önskad maxkapacitet på ca 150 ton per timme.

Notera att det är väldigt förenklat att endast jämföra besparingen per ton asfaltmassa med investeringskostnaden. Även driftkostnader och löpande kostnader för exempelvis service och underhåll samt beräknad livslängd är av stor betydelse.

Ett annat sätt att jämföra lite mer detaljerat är att jämföra årlig kostnad där avskrivning och krav på internränta inkluderas och jämföra med årlig besparing.

### 5.4.3 Vindsikt

Internflödesvindsikten i SBUF-projekt 12036 har en kapacitet på 3 ton/timme. För material 0-2 skulle det innebära att en löpande asfaltproduktion på ca 12 ton/timme är möjlig. När projektet utfördes 2011 kostade sikten ca 2 miljoner kronor. Justerat för inflation skulle samma sikt idag kosta ca 2,7 miljoner kronor. Under drift hade den en elförbrukning på ca 8 kWh, dvs ca 2,7 kWh per ton 0-2 och 0,7 kWh per ton asfaltmassa.

Tvåstegsvindsikten i samma projekt har en kapacitet på 50 ton/timme. För material 0-2 skulle det innebära att en löpande asfaltproduktion på ca 200 ton/timme är möjlig. När projektet utfördes 2011 kostade sikten ca 8 miljoner kronor. Justerat för inflation skulle samma sikt idag kosta ca 10,7 miljoner kronor. Under drift hade den en elförbrukning på ca 2 kWh per ton.

I räkneexemplen i avsnitt 5.2 beräknas den potentiella besparingen från vindsikten till drygt 8 kWh. En vindsikt för 2 miljoner respektive 8 miljoner skulle då betala sig efter 245 000 respektive 980 000 ton omräknat till dagens pengavärde. Notera att den billigare vindsikten inte har kapacitet i nog för en kontinuerlig produktion på 150 ton asfaltmassa per timme, för att klara detta skulle det krävas tio stycken!

För att producera de 980 000 ton som krävs för att återbetala sikten tar det vårt referensverk nästan 10 år. Om det skulle vara möjligt att utnyttja dess maxkapacitet under 2/3 delar av årets dagar ca 8 h per dag skulle produktionstakten dock vara nästan 4 gånger så hög vilket också skulle korta ner återbetalningen av sikten lika mycket.

Om värdeminskningen av utrustningen räknas med och avskrivningen skulle vara 10 år så medför vindsikten ingen besparing monetärt eftersom den har betalat sig lagom till dess att den behöver ersättas.

### 5.4.4 Lada

Antaget är att det skulle vara möjligt att sänka fukthalten med ca 2/3 i en lada mot att förvara materialet i en oskyddad stack. Det skulle enligt beräkningarna motsvara en energibesparing på ca 9 kWh per ton och innebära en besparing om ca 11 kr/ton med ett genomsnittligt uppskattat bränslepris per kWh. Med en uppskattad investeringskostnad för ladan på ca 2 msek och så har ladan återbetalat sig redan efter 175 000 ton.

### 5.4.5 Sandtork

I räkneexemplet i avsnitt 5.2.5 kunde endast drygt 3 kWh sparas per ton asfaltmassa ifall en mer effektiv torktrumma används. Här antogs att det skulle vara möjligt att torka 0-2 materialet med en 90% verkningsgrad.

Då en torktrumma kostar ca 3,4 msek i inköp krävs det en produktion på 820 000 ton innan investeringen är återbetald. Notera att sandtorken dessutom kräver energi under drift som inte är inkluderad i beräkningen.



#### 5.4.6 Värmeväxlare

I räkneexemplet i avsnitt 5.2.6 kunde drygt 11 kWh sparas per ton asfaltmassa ifall energin ur rökgaserna kunde återvinnas med en värmeväxlare. Här antogs att det skulle vara möjligt att utvinna nästan 14 kWh energi ur rökgaserna och ungefär 70% av den energin skulle gå att nyttja.

För att klara av ett rökgasflöde om ca 60 000 m<sup>3</sup>/h som gäller vid produktion på 150 ton/h krävs enligt en leverantör av värmeväxlare 12 stycken moduler av en viss modell. I en offert från samma leverantör kostar en av dessa moduler nästan 500 ksek. Totalkostnaden för 12 stycken blir ca 5,7 msek.

För att investeringen ska återbetala sig krävs att nästan 400 000 ton asfaltmassa produceras.

## 6 JÄMFÖRELSE

Energibesparing och CO<sub>2</sub>-utsläpp är för de flesta fall nära eller direkt relaterade. Den gång det inte är det är ifall stenmaterialet torkas och värms med en annan energikälla, exempelvis vindsikten drivs av elektricitet och utsläppen beror på hur den produceras.

I tabellen nedan så jämförs nyttan med de olika lösningarna tillsammans med den investeringskostnad som är uppskattad för var och en av förslagen. Livslängden som redovisas är uppskattade siffror och påverkar givetvis utfallet om den ändras drastiskt.

Som det går att se så har investeringskostnad och livslängd stor betydelse för hur lönsam en viss lösning är. Exempelvis för ladan och vindsikten som teoretiskt kan spara ungefär lika mycket energi så tar det nästan 10 år för sikten att betala sig, närapå lika lång tid som dess uppskattade livslängd: Ladan däremot, den betalar sig på mindre än 2 år och har med sin uppskattade livslängd på 50 år över 95% av sin livslängd kvar.

Tabell 5. Jämförelse mellan olika lösningar.

	<b>Basfall</b>	<b>Vindsikt</b>	<b>Lada</b>	<b>Sandtork</b>	<b>Värmeväxlare</b>
Energiförbrukning [kWh]	69,2	60,9	60,2	66,0	57,3
Energibesparing [kWh]	-	8,3	9,0	3,2	11,9
Procentuellt	-	12%	13%	5%	17%
Investeringskostnad [ksek]	-	10 700	2 000	3 400	5 700
Återbetalning [ton]	-	980 000	175 000	820 000	400 000
Produktion [ton/år]	100 000				
Återbetalning [år]		9,8	1,75	8,2	4
Livslängd		10 år	50 år	15 år	20 år
Del av livslängd		98%	4%	55%	20%

## 7 DISKUSSION

Utöver den energi och de utsläpp som är direkt relaterade till processen att torka och värma stenmaterial går det även att beakta utsläpp för att producera de lösningar som ska spara energi. Om livscykelanalysen för lösningarna visar att dess miljöpåverkan är större under dess livscykel än den besparing den beräknas göra så är det ju en dålig investering i vårt klimat.

Det är tydligt att vissa antaganden i beräkningarna är grova och samtidigt har stor påverkan på resultatet, vilket till viss del är för att beräkningarna ska vara generella. För att arbeta vidare skulle ett specifikt asfaltverk studeras närmare så att mer specifika indataparametrar kan användas. De föreslagna lösningarna kan därefter studeras närmare för att anpassas till det specifika asfaltverket. När sedan någon av lösningarna anpassats och implementerats vid ett asfaltverk är det lättare att jämföra andra asfaltverk med referensverket och anpassa därefter.

Vindsikten är beprövad och är enligt tidigare studier effektiv på att sikta material som är torrt. När materialet är fuktigt är erfarenheterna sämre. Detta skulle vara intressant att studera vidare för att se var gränsen går för att använda vindsikten och ifall det är möjligt att optimera dess användning vid ett fuktigare material. Resultatet från en sådan studie skulle kunna vara att en vindsikt som kan hantera en fukt upp till exempelvis 4% kan användas vid produktion för 90% av tiden då materialet endast har en högre fukthalt de övriga 10% av produktionsåret. Det skulle kunna vara tillräckligt för att motivera en sådan investering.

Resonemanget ovan står sig ju även för traditionella siktare som inte heller klarar av att hantera fuktigt material över en viss nivå.

Däremot skulle både traditionella siktare och vindsiktare kunna användas för att effektivt sikta materialet när det är torrt för att producera en avfillrad fraktion "0-2". Om denna produkt sedan försvaras i stack resulterar det förhoppningsvis i att det binder mindre fukt.

En annan intressant aspekt hos vindsikten är dess eventuellt torkande egenskaper. Erfarenheter från betongindustrin, som används vindsiktare för liknande ändamål, har konstaterat att materialet upplevs "för torrt" när vindsiktare används. Vid betongproduktion är det önskvärt att materialet har en viss fukthalt för att underlätta tillverkningen av betong. Denna torkande effekt vore intressant att studera vidare.

Uppvärmning av filleröverskottet, borträknat eventuell fukt bunden i fillret, kräver inte någon jättestor mängd energi och därmed finns inte heller jättemycket att spara. Är det däremot möjligt att komma åt och ta bort det filleröverskott som nämns som 7% av allt stenmaterial blir det genast en betydligt större besparingspotential. Det bör också vara rimligt att anta att fukten bunden vid fillret följer med detta ifall det är möjligt att sikta eller på annat sätt avskilja det från övrigt material.

Det finns redan lador byggda som används för att förvara 0–2. Dess effektivitet är dock omdiskuterad, vilket är intressant då den enligt beräkningarna i denna rapport är väldigt lovande. Effekten av att skydda materialet från nederbörd bör dock vara till nytta och borde

visa sig på bränsleförbrukningen. Om det däremot finns någon upptorkande effekt för redan fuktigt material vore intressant att studera närmare. Ifall effekten av att skydda material från nederbörd är stor nog så blir en eventuell upptorkande effekt bara en bonus och inget krav för att motivera en investering. Det beräkningarna visar är väldigt positivt och har även marginal ifall antaganden som är gjorda visar sig vara orimligt gynnsamma. Positivt med lador är också att de är lätta att implementera i arbetsprocessen. De kan också byggas för att enkelt kunna anpassa storleken och exempelvis byggas ut eller t o m kunna flyttas vid behov.

Att nyttja en värmeväxlare ser i teorin ut att kunna ”spara” mest energi. Här åtgärdas ju dock inget av vad som är anledningen till en hög energiförbrukning. Samtidigt så är effekten av en värmeväxlare störst ifall energiinnehållet i rökgasen är högt. Det vill säga att effekten från värmeväxlaren avtar ju mer effektiv processen görs i övrigt. Rökgasen kommer dock alltid innehålla energi i form av sensibel värme och latent värme i vattenånga från förbränningen. I exemplet står det för lite drygt hälften av energin som finns tillgänglig i rökgaserna. Under arbetets gång har det visat sig att det är betydligt svårare att implementera och utnyttja energin som kan utvinnas med en värmeväxlare. Som nämns i avsnitt 5.2.6 är energimängden som är tillgänglig mer än vad som kan användas för att bara värma exempelvis tilluften. Med en separat tork skulle det vara möjligt att förvärma stenmaterialet och där optimera luftflödet för en så effektiv torkprocess som möjligt utan att begränsas av att förbränningen i torktrumman ska ske effektivt.

Största hindret för värmeväxlare är hur det ska vara möjligt att effektivt ta vara på och utnyttja energin och den höga investeringskostnaden.

Återvunnen asfalt är utanför denna rapport avgränsningar men även för denna typ av asfalt är det möjligt att spara energi i torktrumman med lösningarna som diskuteras i denna rapport.

## 8 SLUTSATSER

Projektet har teoretiskt beräknat det energibehov som finns för att torka och värma stenmaterialet vid produktion av asfaltmassa. Det är tydligt att fukthalten i materialet som går in i torktrumman har väldigt stor påverkan på hur mycket energi som krävs, det vill säga hur mycket bränsle som går åt, för att förvärma materialet. Därför är det naturligt att fokusera på att minska fukthalten då även små förändringar gör stor skillnad. Samtidigt finns det stor potential i att återvinna den energi som finns i rökgaserna om det går att hitta rätt användningsområde för energin. Uppvärmningen av överskottsfiller innebär, relativt med fukthalten, inte en särskilt stor ökning av energiförbrukningen. Det är dock beroende av hur mycket fukt som faktiskt är bundet till fillret och hur mycket av den fukten som går att undvika om fillret kan avlägsnas innan torktrumman. Hanteringen av överskottsfiller är dock problematisk och det är möjligt att mildra denna omständighet genom att minska andelen filler som går genom torktrumman. Det skulle också leda till en högre kapacitet i torktrumman sett till önskvärt material.

Enligt utförda beräkningar, baserade på antagna indatavärden, ser det ut att vara möjligt att spara ganska stora mängder energi, som mest drygt 15%. Detta är dock, som tidigare nämnt, helt beroende av att lösningarna som har föreslagits är genomförbara och har den positiva effekt som antas. Flera av dessa antaganden baseras på tidigare erfarenhet, men de skulle behöva genomföras betydligt mer detaljerade fältstudier för att bekräfta dem.

Baserat på de kostnader som de olika lösningsförslagen innebär, för investering, drift, underhåll etcetera, är det tydligt att även en billigare och enklare lösning kan vara ”bättre” än en avancerad och dyr lösning även om den spar mer energi.

För att driva utvecklingen av detta måste det antingen finnas en tydlig lönsamhet i att spara energi (och utsläpp av växthusgaser) eller så måste det finnas en betalningsvilja för att göra det.

Projektet kom inte riktigt så långt som avsett med att utföra test och prover som var tänkt vid projektets start. Detta dels på grund av att projektet har tvingats att utföras under den period av året då det inte är någon produktion, dels att övriga delar av projektet varit mer omfattande än vad som förutsetts.

## 9 NÄSTA STEG

Det finns flera möjliga steg att ta för att komma vidare. Ett självklart nästa steg är att studera de tre lösningarna som sparar mest energi. Eftersom detta projekt har varit väldigt teoretiskt drivet så behöver antaganden gjorda i beräkningarna bekräftas för att slutsatser ska vara sanna.

Många av de antagna indataparametrarna skulle behöva verifieras och anpassas till specifika asfaltverk. Det skulle också vara intressant att väga in skalbarheten i lösningarna, för både produktionskapacitet och årsproduktion vid ett asfaltverk påverkar vilka lösningar som är lönsamma.

Ett annat nästa steg är att mäta effekter av vindsikten, ifall det även ger en torkande effekt och ifall fukten bunden till fillret också sänker fukthalten i samma utsträckning. Mer skulle också kunna göras för att optimera och mäta vilken fukthalt som är rimlig att använda vindsikten vid. Utöver det så behöver metodiken och hur den kan implementeras i arbetsflödet undersökas samt om det går att sänka kostnader med en mer anpassad sikt, för ändamål och kapacitet.

En lada ser i teorin ut att vara en bra investering. Detta skulle behöva studeras närmare, framför allt vilka effekter en lada har på fukthalten under en längre period. Ladans storlek är troligtvis också avgörande för både effektivitet och ekonomi. En ytterligare faktor som kan påverka materialets fukthalt är stackningsteknik. Eventuella fördelar av både lada och stackningsteknik går även att studera för återvunnen asfalt.

Oavsett om det är svårt att åtgärda roten till den höga energiförbrukningen, alltså fukthalt och fillerhalt, lockar det att återvinna den energi som finns i rökgasen med värmewäxlare. Det är inte omöjligt att återvinna ganska stor andel av den energi som idag försvinner med rökgasen men det behöver finnas en klar idé hur man ska dra nytta av energin.

När lösningarna är verifierade är ett nästa steg att ta fram systemhandling för en testanläggning och implementera det som endast är utfört i teorin.

## 10 REFERENSER

- [1] Svensk Beläggingsförening, "Asfaltboken," 2024. [Online]. Available: <https://asfaltboken.se/>. [Använd 2024].
- [2] M. S. Stafhammar, "Reduktion av andelen filler i ballast genom siktning," SBUF, 2003.
- [3] Binder+Co, "Flip flow screens Bivitec: Screening made easy," Binder+Co, [Online]. Available: <https://www.binder-co.com/en/products/screening/bivitec-flip-flow-screens/>. [Använd 12 Januari 2025].
- [4] R. Johansson, "Torr Klassering av fina ballast fraktioner till asfalt och betong," Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg, 2012.
- [5] R. Johansson, "Air Classification of Fine Aggregates," Chalmers University of Technology, Göteborg, 2014.
- [6] Terex Washing Systems, "Washing As It Should Be," [Online]. Available: [https://norditek.se/wp-content/uploads/2022/05/tws\\_main\\_guide\\_\\_en\\_.pdf](https://norditek.se/wp-content/uploads/2022/05/tws_main_guide__en_.pdf). [Använd Januari 2024].
- [7] Norditek, "Terex Washing," Terex Washing Systems, [Online]. Available: <https://norditek.se/norditeks-maskiner/tvattutrustning-terex-washing/>. [Använd Februari 2024].
- [8] L. Bogren, "Torkning av gjutsand i en fluidiserad bädd," Karlstads Universitet, Karlstad, 2022.
- [9] H. Zarea Hosseinabadi, M. Layeghi, K. Doosthosseini, D. Berthold och S. Shahhosseini, "Simulation of Wood Particle Motion Through a Concurrent Triple-Pass Rotary Dryer," *Drying Technology*, vol. 32, nr 12, pp. 1409-1422, 2014.
- [10] Exodraft, "Värmeåtervinning - Basic Plate 250-2000," Exodraft, [Online]. Available: <https://exodraft.se/produkt/basic-plate-250-2000/>. [Använd Januari 2024].
- [11] E. Pahkala, "Rökgaskondensering på Ålidhems värmeverk," Umeå Universitet, Umeå, 2013.
- [12] A. Gustafsson, "Energieffektivisering av asfalttillverkning - Utvecklingsmöjligheter med energiåtervinning ur rökgaser," Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg, 2023.
- [13] E. Johansson och K. Holm, "Analys av värmeförluster i torktrumma på asfaltsverk," Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg, 2009.
- [14] Jernkontoret, "Jernkontorets energihandbok - Eldningsolja," [Online]. Available: <https://www.energihandbok.se/konstanter/eldningsolja>. [Använd December 2023].
- [15] Naturvårdsverket, "Klimatklivet - Vägledning om beäkning av utsläppsminskning," 15 September 2023. [Online]. Available: <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatomställningen/klimatklivet/>. [Använd December 2023].