

Thesis 368

Återvinning av asfalt

En kartläggning av användning av returafalt vid tillverkning av nya asfaltbeläggningar

Bashir Chikho

Trafik och Väg
Institutionen för Teknik och Samhälle
Lunds Tekniska Högskola
Lunds Universitet



Copyright © Bashir Chikho

LTH, Institutionen för Teknik och samhälle
CODEN: LUTVDG/(TVTT-5335) /1-81/2021
ISSN 1653–1922

Tryckt i Sverige av Media-Tryck, Lunds universitet
Lund 2021

Examensarbete

CODEN: LUTVDG/(TVTT-5335) /1-81/2021

Thesis / Lunds Tekniska Högskola,
Institutionen för Teknik och samhälle,
Trafik och väg, 368

ISSN 1653–1922

Author: Bashir Chikho
Title: Återvinning av asfalt
English title: Recycling of asphalt
Language: Svenska
Year: 2021
Keywords: Vägbyggnad, asfaltbeläggning, asfaltgranulat, varm återvinning, kall och halvvarm återvinning, återvinning i verk, återvinning på plats.
Citation: Chikho, B., Återvinning av asfalt. Lund, Lunds universitet, LTH, Institutionen för Teknik och samhälle. Trafik och väg 2021. Thesis. 368

Abstract:

To achieve a society with sustainable development, the use of valuable non-renewable resources, i.e., the crude oil used for bituminous binder and aggregates must be changed. Meanwhile, the road network is expanding worldwide, requiring more recourses. The asphalt concrete can be recycled up to 100% after being removed from an existing road pavement, which ensures the sustainability of the asphalt pavement construction process.

The reclaimed asphalt pavement (RAP) handling in the process of mix design is critical, especially the mixing and compaction temperatures for high RAP mixes. In this report, the production challenges and common pavement distresses of RAP content mixtures are identified and methods to improve the mix design as well as production technology in order to allow manufacturing of sustainable mixtures are described. The climatic, environmental and economic aspects of different processes are also discussed to examine if the use of RAP is profitable. This was done through a comprehensive literature study.

The aim of this master thesis report is to summarize the state-of-the-art of use of RAP aggregates in new asphalt mixtures. Several studies have revealed positive responses of the recycled asphalt mixtures, provided that RAP is properly managed, with high content of RAP. The results from this literature study show that the amount of RAP in asphalt mixtures can be increased by applying good management practices of the RAP.

Trafik och väg
Institutionen för Teknik och samhälle
Lunds Tekniska Högskola, LTH
Lunds Universitet
Box 118, 221 00 LUND

Transport and Roads
Department of Technology and Society
Faculty of Engineering, LTH
Lund University
Box 118, SE-221 00 Lund, Sweden

Förord

Denna rapport är resultat av mitt examensarbete som utgör ett avslutande moment av min utbildning på Civilingenjörsprogrammet inom Väg- och Vattenbyggnad på Lunds tekniska högskola. Arbetet som påbörjades hösten 2021 och avslutades i december 2021 motsvarar 30 högskolepoäng och består av litteraturstudie och studiebesök. Arbetet har genomförts på Institutionen för Teknik och Samhälle, på avdelningen Trafik och Väg, och i samarbete med Skanska Sverige AB, distrikt Väg och Anläggning Syd. Arbetet har genomförts efter önskemål om kartläggning av återvinning av asfalt.

Först och främst vill jag rikta ett stort tack till mina handledare, Sven Agardh från institutionen och Petra Mani från Skanska, som har väglett mig igenom hela arbetsgången, svarat på alla frågor och bidragit med värdefulla synpunkter. Utan er hjälp hade jag inte klarat av detta. Extra stort tack riktar jag till examinatorn, Joacim Lundberg, som har också bidragit med många värdefulla kommentarer och konstruktiv kritik för att göra detta arbete bättre, tack till dig! Jag vill också rikta ett tack till alla er som medverkade i detta arbete på ett eller annat sätt. Ingen nämnd, ingen glömd!

Speciellt skulle jag också vilja tacka min familj som alltid stöttar och finns där för mig, trots distans, jag uppskattar allt ni har gjort för mig både innan och under utbildningen, stort tack till er!

Bashir Chikho

Lund, december 2021

Sammanfattning

Anläggnings- och byggbranschen står för cirka 20% av Sveriges totala utsläpp av växthusgaser. Därför krävs det stora förändringar för att uppnå de uppsatta klimatmålen till år 2045, vilket innebär att Sverige inte ska ha några nettoutsläpp av växthusgaser till atmosfären, för att därefter uppnå negativa utsläpp. För att uppnå dessa mål är det viktigt att hitta nya sätt att återanvända och återvinna material snarare än att producera nya material. I teorin är asfaltmassor, som är borttagna från en befintlig vägbeläggning, ett 100% återvinningsbart material. Eftersom returafalt (RA), som den borttagna asfaltmassan kallas, består av värdefulla och icke förnybara resurser, så som stenaggregat och åldrat bituminöst bindemedel, kan den återvinnas till nya asfaltbeläggningar, vilket minskar efterfrågan på jungfruliga stenmaterial och bitumen, eller återanvändas till obundna lager i en vägkonstruktion. Men praktiken och teorin är långt från varandra. Skillnaden mellan praktiken och teorin kommer som en konsekvens av diverse begränsningar så som materialkvalitet, produktionsteknik och hanteringen av returafalt. Användningen av borttagna asfaltmassor måste också utvärderas ur ett ekonomiskt perspektiv, eftersom det medför en minskning av totala kostnader för nya bituminösa produkter.

Syftet med detta masterexamensarbete är att undersöka vad som har utförts kring användning av RA vid tillverkning av nya asfaltbeläggningar. För att uppnå detta mål har de befintliga begränsningarna och utmaningarna för högre användning av returafalt identifierats, och förbättringsåtgärderna har sammanställts. Denna rapport tar också hänsyn till de ekonomiska besparingarna som kan åstadkommas med användning av RA och undersöker miljö- och klimatpåverkan av asfaltbeläggningar, med och utan användning av RA. Metoden som används för att uppnå målet är en omfattande litteraturstudie, som också har genomförts för att få kunskap om vägbyggnad i allmänhet och för att ta reda på vad tidigare forskning har kommit fram till inom ämnesområdet. Följande frågeställningar diskuteras och besvaras:

- Hur ser asfaltsåtervinningsprocesser ut i allmänhet?
- I hur stor utsträckning återvinns asfalt idag runtom i världen?
- Vad begränsar användning av höga halter av returafalt vid tillverkning av högkvalitativa asfaltbeläggningar?
- Vilka förbättringsmöjligheter finns i asfaltsåtervinningsprocesser?
- Vilka klimatmässiga, miljömässiga och ekonomiska besparingar kan åstadkommas med asfaltåtervinning?

Resultaten från litteraturstudien tyder på att asfaltbeläggningar kan återvinnas med hjälp av flera olika metoder, såväl i asfaltverk som på plats. De olika metoderna har både för- och nackdelar beroende på bland annat beräknad trafikmängd, klimatzon och tilltänkt livslängd för vägen i fråga. Användning av 10-20 vikt-% RA har blivit en industriell praxis vid tillverkning av nya asfaltmassor i många länder runtom världen. De negativa uppfattningarna och de praktiska frågor om asfaltsåtervinning som begränsar den genomsnittliga inblandningshalten till ett intervall på 10-20 vikt-%, kan sammanfattas under fem kategorier i betraktande av: materialkvalitet, produktionsteknik, asfaltens arbetsrecept, färdiga beläggningars prestanda och förorenade massor. Resultaten visar också att andelen av RA i asfaltbeläggningar kan ökas avsevärt genom att vidta några åtgärder vid hantering av RA,

till exempel genom lagring av material under tak för att hålla en låg fukthalt i massorna. Dessutom har användning av RA vid tillverkning av nya asfaltbeläggningar en positiv påverkan på ekonomin, klimatet och miljön, eftersom det innebär att ingen materialutvinning behöver göras, vilket innebär att ändliga resurser sparas. Det finns även potential att spara in på transporter genom användningen av RA, vilket minskar bland annat utsläpp av avgaser och buller som orsakas av fordon.

Utförning och tillverkning av asfaltbeläggningar innehållande höga RA-halter är inte mer utmanande än det för konventionella asfaltbeläggningar. Myndigheterna bör öppna upp för en högre användning av RA under förutsättning att regelverken som myndigheterna ger ut ska tillhandhålla tydliga kriterier som säkerställa beläggningsprestanda, inklusive kriterier som verifierar beläggningshållbarhet.

Summary

The construction of infrastructure and the housing industry is responsible for about 20% of Sweden's total greenhouse gas emissions. Hence, major changes must be made to achieve the set climate goals by 2045, i.e., that Sweden is to have zero net emissions of greenhouse gases into the atmosphere and should thereafter achieve negative emissions. To achieve these goals, it is important to find new ways to reuse and recycle materials rather than producing new materials. In theory, the asphalt concrete removed from an existing road pavement is a 100% recyclable material for construction. Since it consists of valuable non-renewable resources, i.e., stone aggregates and aged bituminous binder, it can be reused in new asphalt mixtures, reducing the demand for virgin aggregates and bitumen, or as recycled aggregates to produce unbound layers of pavements. But the practice and theory are far apart. The difference between practice and theory is an effect of various limitations such as materials' quality, manufacturing techniques and the handling of recycled asphalt. Additionally, the use of removed asphalt concrete has to be evaluated from a cost efficiency perspective, since it significantly reduces the overall costs of new bituminous products.

The aim of this master thesis report is to investigate the state-of-the-art of use of reclaimed asphalt pavements (RAP) aggregates in new asphalt mixtures. To achieve this aim, the existing limitations and challenges of using RAP for new asphalt mixtures have been identified, and the practices in RAP management have been summarized. This report also considers the economic benefits connected to the inclusion of RAP and examines the environmental and climate impacts of asphalt mixtures, with and without use of RAP aggregates. The method used to achieve the aim is a comprehensive literature study, which also has been done to gain knowledge about road construction in general and to find out what previous research on the subject has been conculcated. The following questions are discussed and answered:

- What do asphalt recycling processes look like in general?
- To what extent is asphalt recycled today around the world?
- What limits the use of high amount of reclaimed asphalt pavement for high quality asphalt mixtures?
- Which improvement opportunities are there for the asphalt recycling processes?
- Which climate, environmental and economic benefits can be achieved with asphalt recycling?

The results from the literature study indicate that asphalt pavements can be recycled using several different methods, as an in-place process or a central plant process. These methods have both advantages and disadvantages depending on, among other things, the estimated traffic volume, climate zone, and intended service life. A RAP content in the range of 10-20 weight-%. has become a standard industrial practice for the production of new mix asphalt in many countries around the world. The negative perceptions and the practical issues that limit the common practice to go beyond the average RAP content of 10-20 weight-%. can be summarized in five categories in terms of: the quality of the RAP aggregates, the technology of the production plant, the mix design methodology, the performances of the final mix containing RAP and the contamination of the RAP aggregates. The results also

show that the amount of RAP in asphalt mixtures can be significantly increased by applying good management practices of the RAP, for example by covering the RAP stockpiles to keep a low moisture content in the masses. Moreover, the incorporation of RAP material in recycled asphalt mixtures can positively affect the economic, environmental and climate impacts of the construction of a road pavement, since no extraction is needed for new material, which means that finite resources are saved. There is also potential to decrease transports by using RAP material, which reduces, among other things, emissions of exhaust and noise caused by vehicles.

The design and production of high content RAP asphalt mixtures is not more challenging than traditional asphalt mixtures. The authorities should allow the use of high RAP content in asphalt pavement layers, providing that the authorities provide clear criteria for ensuring pavement performance, including considering criteria used to determine mixture sustainability.

Begreppsförklaringar

ABD	Dränerade asfaltbetong är en varm verkblandad asfaltmassa. Det har en brant kornstorleksfördelningskurva med låg halt av filler.
ABS	Stenrik asfaltbetong är en varm verkblandad asfaltmassa. Det har en brant kornstorleksfördelningskurva med hög halt av högkvalitativt stenmaterial.
ABT	Tät asfaltbetong är en varm verkblandad asfaltmassa. Det har en kontinuerlig kornstorleksfördelningskurva.
AG	Asfaltgrus är en varm verkblandad asfaltmassa.
Asfalt	En blandning av stenmaterial och bitumen och ibland även olika tillsatser.
Asfaltgranulat	Det är ett samlingsnamn på krossad eller fräst asfaltbeläggning. Asfaltgranulaten består av stenmaterial och bitumen. Det används som ingångsmaterial vid asfaltsåtervinning i verk eller till obundna lager.
Beständighet	Ett materials förmåga att motstå olika nedbrytningsprocesser.
Bitumenhärdning	(Åldring) Bitumen hårdnar med tiden genom avgång av lätta oljor och oxidering. Även vid varm tillverkning kan härdning av bindemedlet inträffa.
Blödning	Koncentration av bindemedel på beläggningsytan till följd av temperaturpåverkan och trafikbelastning samt överskott av bindemedel i beläggningen.
Koldioxidekvivalent	CO_2e ett mått på utsläpp av växthusgaser uttryckt i CO_2 som har olika förmåga att bidra till växthuseffekten.
Extraktion	Separering av bindemedel ur bituminös massa.
Föryngringsmedel	Olja som mjukar upp bitumen i returafalt och/eller tillför ursprungliga kemiska komponenter.
Heating	Att värma upp den befintliga beläggningen med speciella värmeaggregat innan den nya beläggningen läggs ut.
Hållbarhet	Hållbar syftar till goda sociala livsbetingelser utan att människans existens och förverkligande i samhället utarmar ekosystemens funktioner.
Hålrums halt	Kvoten mellan hålvolym och skrymvolym i en packad asfaltbeläggning.
Inblandningsgrad	Andel inblandat returmaterial vid tillverkning av asfalt.
Kontinuerligt verk	Asfaltverk som blandar asfaltmassa med ett kontinuerligt materialflöde genom verket.

Nötning	(eng. <i>fretting</i>) nötning från dubbdäck inträffar vid korta belastningstider och när bitumen har hög styvhet (låg temperatur). Texturen av en beläggningsyta blir lägre i hjulspåren än ytorna utanför spåren.
Returasfalt (RA)	I samband med borttagning, mellanlagring och återvinning av gamla asfaltbeläggningar brukar asfaltmassorna benämnas returafalt. Returasfalt är benämningen på frästa, rivna eller uppgrävda massor innan de bearbetas för återvinning.
Satsblandningsverk	Blandningsverk där blandning av stenmaterial, bitumen och eventuella tillsatser sker satsvis i tvångblandare.
Spårbildning	Längsgående hjulspår i en beläggning, uppkomna genom packning, deformation och nötning från trafiken.
Stabilitet	Förmåga att motstå deformationer vid belastning.
Stenkolstjära	Tjära eller vägtjära är en bioprodukt som erhålls vid framställning av gas och koks ur stenkolk. Det har tidigare använts som bindemedel och vidhäftningsmedel vid tillverkning av flexibla beläggningar.
Stensläpp	Förlusten av stenmaterial uppkommer på grund av dålig vidhäftning mellan stenarna i asfalten, felaktiga proportioner mellan sten och bitumen, krackelering, åldrad beläggningsyta eller mekaniska skador.
Superpave	<i>Superior performing Asphalt Pavements</i> , utförningsprogram för asfaltbeläggningar förvaltade av <i>Asphalt Institute</i> i USA.
Tillsatsmedel	Material utöver stenmaterial och bindemedel som ingår i en beläggning. Oftast används för att erhålla en önskad effekt, till exempel ökad elasticitet eller förbättra vidhäftning mellan stenaggregat och bindemedel.
Vattenkvot	Kvoten av vattenmängd och torr materiemängd.
Vattenkänslighet	Förhållandet i pressdaghållfasthet mellan våt- och torrlagrade provkropp.
Viskositet	Konsistensen eller lättflutenheten hos en vätska.

Innehållsförteckning

1 Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte och frågeställning	4
1.3 Avgränsningar	4
1.4 Metodbeskrivning	5
1.5 Rapportens disposition	5
2 Vägbyggnad	7
2.1 Vägkroppens uppbyggnad	7
2.1.1 Slitlager	8
2.1.2 Bärlager	9
2.1.3 Förstärkningslager	9
2.1.3 Skyddslager	9
2.2 Asfaltens ingående delar	9
2.2.1 Stenmaterialet	9
2.2.2 Bindemedel	10
2.2.3 Tillsatsmedel	11
3 Återvinning av asfalt	13
3.1 Förberedelsearbete inför återvinning	13
3.1.1 Borttagning	13
3.1.2 Mellanlagring och bearbetning	14
3.2 Metodöversikt	15
3.3 Föryngring av returafalt	16
3.4 Varm återvinning i verk	18
3.4.1 Satsblandningsverk	18
3.4.2 Trumblandningsverk	20
3.5 Halvvarm återvinning i verk	24
3.6 Kall återvinning i verk	25
3.7 Varm återvinning på plats	26
3.8 Kall och halvvarm återvinning på plats	28

3.9 Andra användningsområden	29
4 En internationell kartläggning av användning av returafalt	31
5 Begränsningar för högre användning av returafalt	35
5.1 Kvalitet och sammansättning	35
5.2 Produktionsteknik för varm återvinning i verk	37
5.3 Arbetsrecept	38
5.4 Belägningsprestanda	39
5.5 Tjårhaltig asfaltmassa	39
6 Förbättringsmöjligheter i återvinningsprocess	41
6.1 Mellanlagring	41
6.2 Bearbetning	46
7 Klimat, miljö och ekonomi	49
8 Diskussion	53
8.1 Diskussion	53
8.2 Metoddiskussion	55
9 Slutsatser	57
9.1 Förslag på framtida studier	59
10 Referenser	61

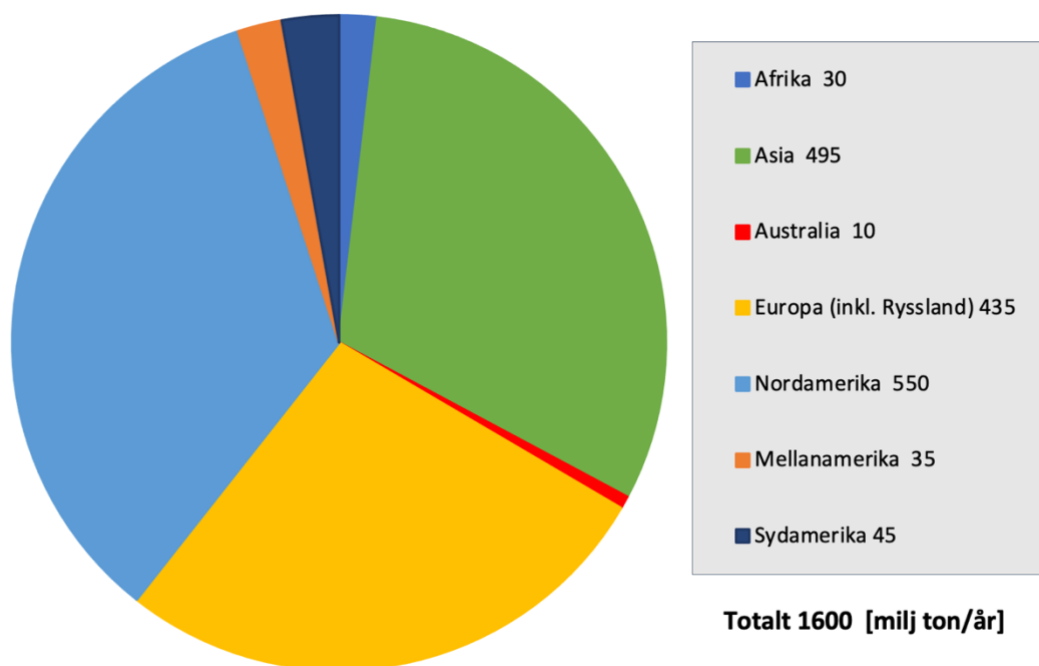
1 Inledning

1.1 Bakgrund

Mot bakgrund av den ökade medvetenheten kring miljö- och klimatproblem runtom i världen, antog FN:s stats- och regeringschefer i september 2015 17 globala mål och Agenda 2030 för en mer hållbar utveckling (Förenta nationernas utvecklingsprogram (UNDP), 2021). Hållbar utveckling är ett centralt begrepp och syftar på en utveckling som tillfredsställer dagens behov utan att riskera kommande generationers möjligheter att tillfredsställa sina behov (Regeringskansliet, 2017). I FN:s Agenda 2030 tydliggörs att hållbar utveckling är en avgörande faktor för den gemensamma framtiden och att alla tre dimensionerna av hållbar utveckling (ekonomiska, miljömässiga och sociala) måste samverka för att den de globala målen ska uppnås (Regeringskansliet, 2015). Den ekonomiska hållbarheten avser den ekonomiska utveckling som inte medför negativa konsekvenser för den miljömässiga eller sociala hållbarheten. En ökning av ekonomiskt kapital får inte ske på bekostnad av en minskning i socialt kapital eller naturkapital. Den miljömässiga hållbarheten innefattar bland annat klimatsystemens stabilitet, luft- och vattenkvalitet. Den sociala hållbarhetsdimensionen handlar om välbefinnande, makt, rättvisa, rättigheter och individens behov. Dessa tre dimensioner samspelar för att tillsammans spänna över den hållbara utvecklingen (Regeringskansliet, 2017).

I rapporten till FN:s politiska högnivåforum om hållbar utveckling (2017) framgår att Sveriges regering har nationella planer och tydliga strategier för att främja hållbar konsumtion och produktion och för att bekämpa klimatförändringarna och dess konsekvenser. Enligt miljömålsrådet (2020) står anläggnings- och byggbranschen för en stor del av Sveriges utsläpp av växthusgaser. Branschen har enats om målet 50% minskade utsläpp år 2030 (jämfört med 2015) och nettoutsläpp på noll år 2045. Miljömålsrådet påstår att anläggnings- och byggsektorn kan uppnå första delmålet om 50% minskade utsläpp år 2030 med hjälp av teknik som redan finns idag, medan det andra delmålet kräver en etablerad samverkan mellan branschen och myndigheterna för att öka takten för omställning till ett fossilfritt Sverige och därmed uppnå ett nettoutsläpp på noll.

Asfalt spelar en viktig roll i den globala transportinfrastrukturen som driver den ekonomiska tillväxten och det sociala välbefinnandet i såväl utvecklade som i utvecklingsländer (Mangum, 2006). Världens vägnät utgör flera miljontals kilometer (Philip, et al., 2010). De hävdar att över 90% av det europiska vägnätet har asfalterade ytor och 90% av asfalterade vägar i världen består av varmtillverkad asfalt. År 2007 uppgick världsproduktionen av asfalt till 1,6 miljarder ton (*European Asphalt Pavement Association (EAPA) & National Asphalt Pavement Association (NAPA)*, 2011). Figur 1-1 visar en geografisk fördelning av asfaltproduktionen per kontinent.



Figur 1-1. Uppskattad världsproduktion av asfalt för år 2007 (EAPA & NAPA, 2011).

Enligt Trafikverket (2020a) består det svenska vägnätet av över 600 000 km bilväg. En del av dessa vägar är statligt eller kommunalt ägda och resterande är enskilda vägar med eller utan statsbidrag. Enligt Moritz (2015) tillverkar Sverige cirka 7,5 miljoner ton asfaltmassa per år och det går således åt stora mängder av stenmaterial och bitumen, vilka båda är ändliga naturresurser. Utöver själva asfaltstillverkning ska andra moment så som krossning, fräsning, transporter och utläggning av asfaltmassa också läggas till (Westergren, 2004). Detta tyder på att en relativ stor belastning, cirka 20%, av Sveriges inhemska växthusgaser kommer från bygg- och anläggningsbranschen: enligt branschens egen färdplan för fossilfri konkurrenskraft beräknas den till cirka 22 miljoner ton koldioxidekvivalenter (CO_2e) (Miljömålsrådet, 2020).

Utsläppet fördelas på bland annat transport, industriprocesser, elkraft och förbränning. Vanligen används (CO_2e) för att ange hur mycket koldioxid (CO_2) som skulle behöva släppas ut för att ge samma påverkan på klimatet (U.S. Environmental Protection Agency (U.S.EPA), 2021). Trafikverkets statistik (2020b) visar att totalt ligger mängden koldioxidutsläpp per utlagt ton av jungfrulig asfaltmassa inklusive de ovannämnda ingående momenten på cirka 52 kg CO_2 per ton. Detta ger på årsbasis i Sverige cirka 390 000 ton CO_2 , beräknat av Trafikverket för en ABT 16 70/100 med 20 km transport. Moritz (2015) påpekar att på senare år har Trafikverket haft ett styrkortsmål med krav på energieffektivisering för asfaltbeläggningar. Moritz tillägger att målen har delvis uppnåtts genom ökad andel av mer energisnåla beläggningstyper och tekniker vid upphandlingarna och numera ställs krav på minskning av CO_2 -utsläpp.

I byggbranschen finns det en stor potential för att spara såväl ändliga som oändliga naturresurser, bland annat genom återvinning av gamla asfaltbeläggningar som annars skulle betyda höga kostnader och stora deponivolymer (Westergren, 2004). Enligt EU:s avfallsdirektiv (EU, 2008/98/EG), som fastställer en rättslig ram för avfallshantering i EU, ska alla EU:s medlemsländer ha sitt eget avfallsförebyggande program. Varje program ska innehålla tydliga åtgärder som kan medföra en minskad klimat- och miljöpåverkan från avfallet, en minskad avfallsmängd och minskade farliga ämnen i avfallet (Naturvårdsverket,

2021a). I EU:s avfallshierarki, se Figur 1-2, skall återanvändning och återvinning av bland annat material, råvaror och energi prioriteras före deponering (Kling Ek & Spjuth, 2019).



Figur 1-2. Avfallshierarkin med energi- och klimatperspektiv (Kling Ek & Spjuth, 2019).

I Trafikverkets handbok om Gröna koncept inom asfaltbeläggningar (Moritz, 2015) problematiseras asfaltsåtervinning genom att det inte finns i stor utsträckning fastställda underlag som anger mängden ackumulerade fossilbränsle- och energibesparingar som avses att uppnås med återvinning av asfaltbeläggningar. Frågans intresse skapar en drivkraft som speglar sig i samverkan mellan branschen och akademien för att få fram en långsiktig strategi till alltmer systematiskt arbete med de aktiviteter och åtgärder som ger bästa effekterna för att nå de ovannämnda uppsatta målen (Dehlin, et al., 2011). De tydliggör att samverkan mellan akademi och branschen sker på flera olika former, till exempel genom examensarbeten, fallstudier eller djupare forskningssamverkan.

Sedan början av 2000-talet har återvinning av asfaltbeläggningar blivit större i många länder runt om i världen (Tarsi, et al., 2020). Därutöver har forskningen om asfaltåtervinning också ökat kraftigt och många forskare har blivit mer optimistiska om möjligheterna inom området. I Sverige har det kommit flera examensarbeten som handlar om asfaltbeläggningar och dess återvinning. Till exempel har Aurell och Olsson (2015) undersökt om det är tekniskt möjligt att använda föryngringsmedel i varmverk för att kunna höja inblandningsprocenten av asfaltgranulat utan att påverka kvalitén. Ett annat exempel på examensarbete av Hjerpe (2015) har utrett vilka möjligheter det finns att återvinna tjärasfalt från avvecklingsområden i Malmberget, Gällivare kommun.

Av dessa anledningar är det av intresse att sammanställa en ”state-of-the-art” rapport som klargör var bygg- och anläggningsbranschen står idag när det gäller återvinning av asfalt. För att hushålla med ändliga naturresurser och minska uttaget av jungfruligt bergmaterial undersöks i detta arbete vilka möjligheter som finns genom återvinningen av asfalt. På så sätt kan de berörda aktörerna i byggbranschen bidra till att uppnå Sveriges miljömål respektive de internationella hållbarhetsmålen som är definierade i FN:s Agenda 2030.

1.2 Syfte och frågeställning

Examensarbetets huvudsyfte är att kartlägga vad som har utförts sedan början av 2000-talet kring återvinning av asfaltbeläggningar i världen och att utreda i vilken omfattning och på vilka sätt asfaltsåtervinning sker idag. Arbetet syftar också till att beskriva hur en återvunnen asfaltbeläggning skiljer sig ifrån en asfaltbeläggning som är tillverkad av nya jungfruliga material sett utifrån tekniska aspekter. Utifrån detta underlag identifieras brister och behov samt undersöks möjligheterna till utökad asfaltsåtervinning.

Målsättningen med arbetet är att åstadkomma ett effektivare utnyttjande av returafalt och bättre fungerande återvinningsprocesser. Utöver det ska arbetet också klargöra hur asfaltsåtervinning kan bidra till klimatmässiga, miljömässiga och ekonomiska besparingar. För att uppnå syftet och målsättningen har nedanstående frågeställningar formulerats för utredning:

- Hur ser asfaltsåtervinningsprocesser ut i allmänhet?
- I hur stor utsträckning återvinns asfalt idag runtom i världen?
- Vad begränsar användning av höga halter av returafalt vid tillverkning av högkvalitativa asfaltbeläggningar?
- Vilka förbättringsmöjligheter finns i asfaltsåtervinningsprocesser?
- Vilka klimatmässiga, miljömässiga och ekonomiska besparingar, avseende buller, partiklar, växthusgasutsläpp och material, kan åstadkommas med asfaltsåtervinning?

1.3 Avgränsningar

De grundläggande teoretiska kunskaperna kring vägkroppens uppbyggnad och asfaltens ingående delar har begränsats till de svenska normerna och praxis. Det finns en rad olika metodiker som kan användas vid återvinning av asfaltbeläggningar. Arbetet fokuserar främst på varm återvinning i verk eftersom det är den metoden som används mest i världen enligt statistiken från *European Asphalt Pavement Association* (2019) och *National Asphalt Pavement Association* i USA (2020). Arbetet avser inte att specifikt besvara vilken återvinningsmetod som ska eller kan användas då en fullständig utredning och beskrivning av varje enskilt fall måste genomföras för att kunna ge ett optimalt svar. Hänsyn tas enbart till den tekniska aspekten på grund av examensarbetets begränsning i tid och resurser. Undersökningen i arbetet följer inte några strikta geografiska avgränsningar. Detta eftersom många länder har kommit längre än Sverige i teknologi när det gäller återvinning av asfalt och samtidigt för att skapa en internationell bredd i arbetet. Arbetet fokuserar dock främst på Europa, Nordamerika och Japan där aktuella data är tillgänglig via olika databaser som nämns i metodbeskrivningen. Klimatmässiga, miljömässiga och ekonomiska aspekter diskuteras på en översiktlig nivå, där exakta siffror skiljer sig mycket från plats till plats inom ett och samma land.

1.4 Metodbeskrivning

Examensarbetet inleds med en litteraturstudie kring teoretiska kunskaper om hur väggroppens uppbyggnad görs idag med utgångspunkt från de olika regelverk och krav som ställs i Sverige. Därefter samlas information om asfaltens ingående delar, så som stenmaterial och bitumen, och dess relevanta egenskaper, så som bitumenåldring, samt återvinningsprocesser. Dessa kunskaper tas fram för att skapa en grundläggande förståelse kring ämnet. Vidare behandlar litteraturstudien asfaltsåtervinning internationellt, där både hinder och möjligheter till ett högre användande av asfaltsåtervinning undersöks. Slutligen innehåller litteraturstudien också en utredning kring klimatmässiga, miljömässiga och ekonomiska aspekter beträffande asfaltsåtervinning. Litteraturstudien har kombinerats med ett studiebesök till Skanskas asfaltverk i Dalby, sydost om Lund. Studiebesöket har bidragit till att utöka den teoretiska förståelsen kring den varma återvinningsprocessen som används i verket. Studiebesöket sammanfattas med några bilder som är infogade i denna rapport.

Litteraturen som används består av vetenskapliga artiklar, vetenskapliga rapporter från bland annat olika branschgemensamma projekt och dokument från olika myndigheter runtom i världen. Kunskaper kring råd, krav och regler gällande vägkonstruktion och vägbyggnad hämtas från Trafikverkets publikationer.

Litteratursökningen utförs främst med hjälp av olika databaser på internet, men också genom tryckta böcker och publikationer. Databaser som används vid litteratursökning är:

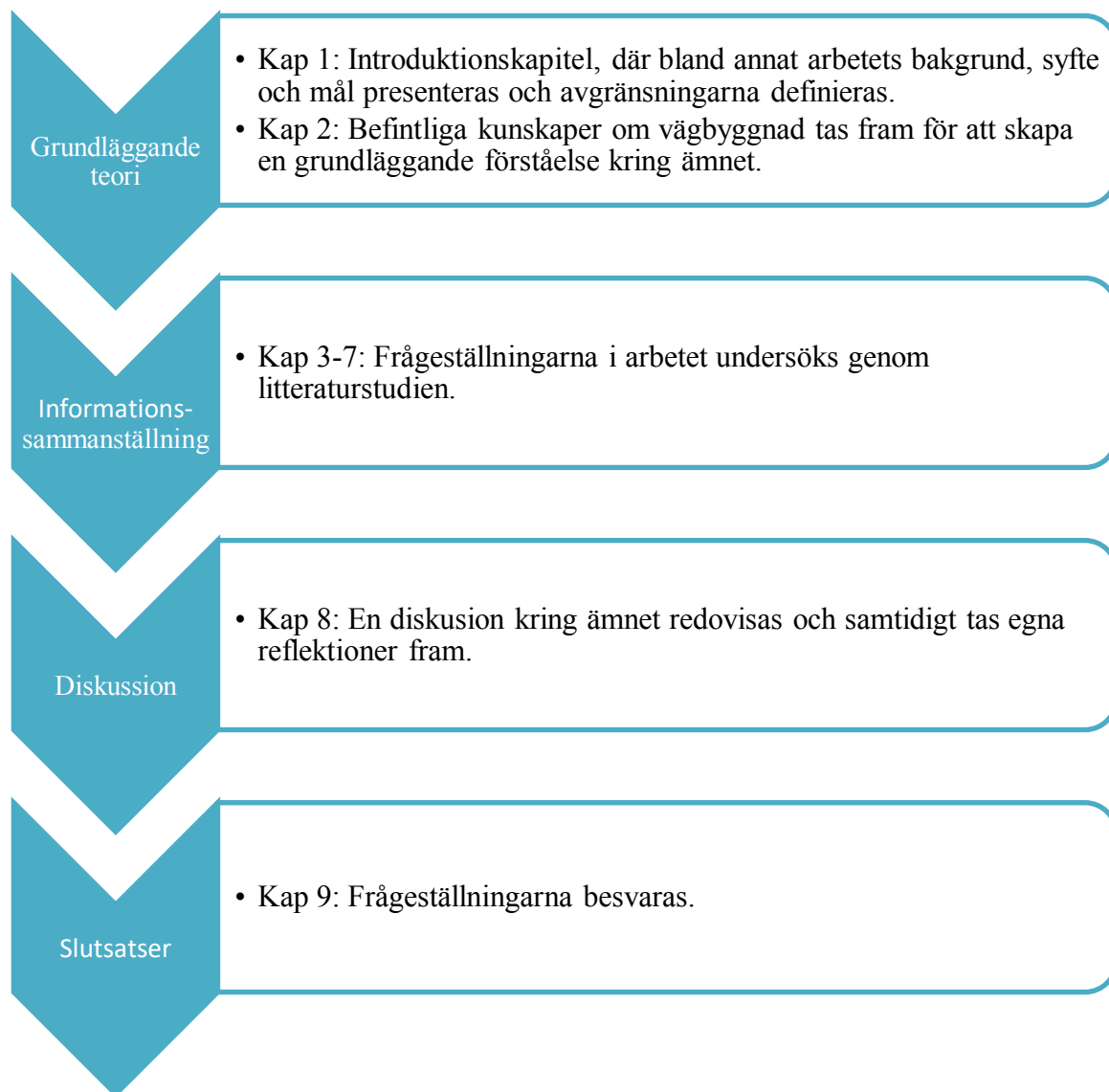
- *Directory of open Access Journals (DOAJ)*
- *DiVA – Digitala Vetenskapliga Arkivet*
- *Google Scholar*
- *LUP Student papers– Lunds universitets-bibliotek*
- *LUBsearch Discovery – Lunds universitets-bibliotek*
- *ScienceDirect*
- *Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond (SBUF)*
- *Trafikverkets publikationsdatabas*

Sökord och sökfraser som används vid litteratursökning är främst:

- Svenska: *“grön asfalt”, “varm”, “halvvarm och kall återvinning”, “parallelltrumma”, “asfaltgranulat”, “fräsmassor”, “asfaltbeläggningar innehållande hög andel återvinning”, “hållbar utveckling av vägsektorn”.*
- Engelska: *“Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)”, “high RAP asphalt pavement”, “asphalt pavement industry”, “pavement recycling”, “asphalt recycling”, “asphalt plants”, “continuous plant”, “mechanical properties”, “milling”, “hot mix asphalt (HMA)”, “warm mix asphalt (WMA)”.*

1.5 Rapportens disposition

Rapporten är uppdelad i tre huvuddelar: ”Grundläggande teori” och ”Informationssammanställning”. Rapporten avslutas med den tredje delen ”Diskussion” och ”Slutsatser”. Arbetsgången för arbetet sker enligt följande Figur 1-3.



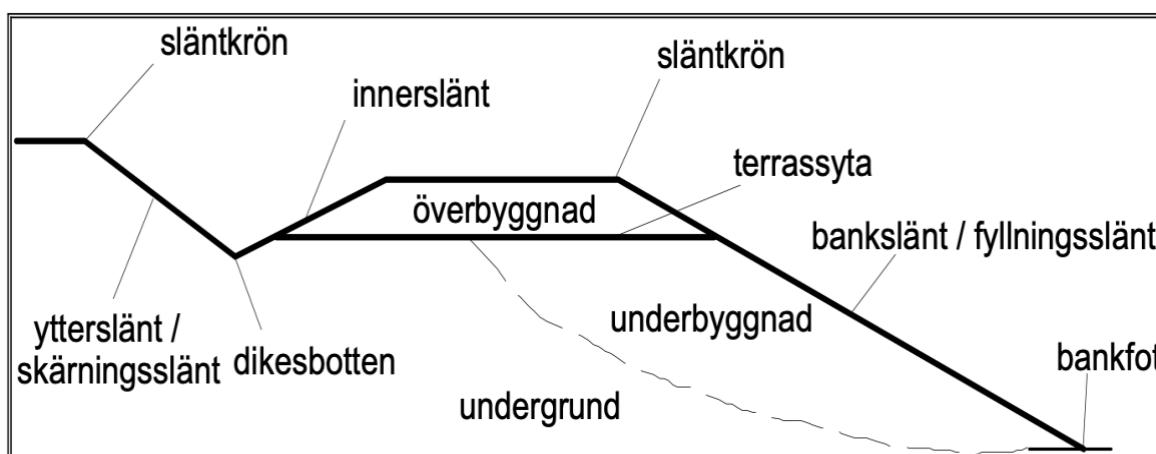
Figur 1-3. Rapportens disposition.

2 Vägbyggnad

2.1 Vägkroppens uppbyggnad

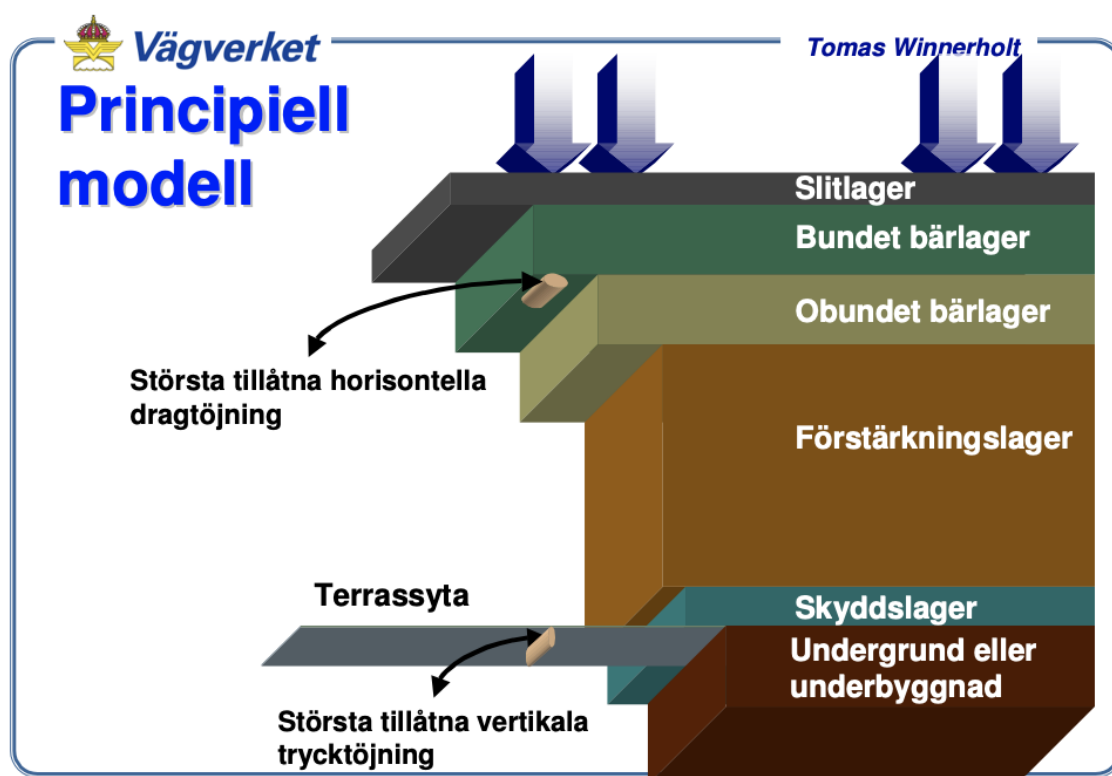
Vägkroppen är en geometrisk enkel konstruktion som kan delas in i lager med hänsyn till funktioner i vägbyggnaden (Styffe, et al., 2021). Vägkroppen består av två huvuddelar, en överbyggnad och en underbyggnad (Granhage, 2009), se Figur 2-1. Överbyggnaden är den delen som utgör en stor del av vägens totala investering, det vill säga att utformning och dimensionering av olika lager i överbyggnaden är en viktig del ur ett ekonomiskt, miljömässigt samt tekniskt perspektiv (Agardh & Parhamifar, 2014). Enligt Granhage (2009) är överbyggnadens huvudfunktion att bland annat fördela lasten från trafiken på så sätt att underbyggnaden inte utsätts för större last än den klarar av. Enligt Agardh och Parhamifar (2014) har överbyggnaderna genomgått en stark utveckling sedan början av 1990-talet för att den ska uppfylla de krav på säkerhet och komfort som trafik ställer. De påstår att många nya asfalttyper med bättre hållfasthet har också tagits fram. De tillägger att det också är viktigt att ha material med bra bärighet högst upp i konstruktionen, eftersom lasten sprids över en större yta när den fördelas ner i vägenskonstruktion. Grunddefinitionen av bärighet är förmåga att bära last utan att gå sönder eller deformeras (Styffe, et al., 2021). Agardh och Parhamifar (2014) förklarar att ingående vägbyggnadsmaterial måste ha sådana egenskaper som möjliggör att överbyggnadskonstruktionen i allt väsentligt behåller sina hållfasthetsegenskaper under hela den förutsatta dimensioneringsperioden samt att klara av dess huvudfunktioner enligt nedanstående:

- Transportera bort vatten från vägytan och vägkroppen.
- Sprida laster till underbyggnad på ett tillfredsställande sätt.
- Motstå belastningar från trafiken utan att stora deformationer uppstår i vägkroppen.
- Säkerställa en jämn yta i både längd- och tvärled.



Figur 2-1. Principiell skiss av undergrund, underbyggnad, terrassyta, överbyggnad och slänter (Trafikverket, 2011).

Enligt definitionen omfattar begreppet överbyggnad de anläggningsdelar som finns ovanför terrassytan (Styffe, et al., 2021). Obundna bärlager och förstärkningslager består normalt av bergkross och grus medan bundna lager oftast består av asfaltmassa (Vägverket, 2001), se Figur 2-2. Det finns tre olika huvudgrupper av överbyggnader: styva, flexibla och halvstyva, beroende på vilka ingående material som används vid uppbyggnaden (Agardh & Parhamifar, 2014). Oftast har styva överbyggnader en längre livslängd jämfört med flexibla (Trafikverket, 2011). Trafikverket påpekar att asfaltmassans sammansättning är en kompromiss mellan egenskaper, till exempel friktion och resistens mot deformation, hos asfaltbeläggningen och beroende på vilka krav som ställs och trafikmängd kan lagertyp, tjocklekar och egenskaper variera i en stor omfattning. Grusbitumen- (GBÖ), bergbitumen- (BBÖ) och cementbitumenöverbyggnad (CBÖ) är de tre olika typerna av överbyggnader som används i Sverige, där grusbitumenöverbyggnaden är den vanligaste typen (Agardh & Parhamifar, 2014).



Figur 2-2. Vägkroppens principiella uppbyggnad (Vägverket, 2001). Copyright (2001) med tillstånd från Tomas Winnerholt.

2.1.1 Slitlager

Slitlagret är det översta bundna lagret som tillfredsställer de olika kraven på trafiksäkerhet, transportekonomi och komfort (Agardh & Parhamifar, 2014). Enligt dem kan slitlagret bestå av betong på vägar med stora trafikbelastningar men vanligtvis består det av någon typ av asfaltbetong. Dock lyfter Agardh och Parhamifar fram att det också finns många olika typer av slitlager. Slitlagrets primära funktioner är att avleda vatten och fördela trafikens laster till underliggande lager i vägkonstruktionen samt att skydda de underliggande bärlagren från nötning under tiden (Trafikverket, 2011). På grund av nötningen från dubbdäckstrafiken måste slitlagret ha en god slitstyrka och därför bör halten av grov ballast med goda

egenskaper vara hög i slitlager (Moritz, 2015). Enligt Agardh och Parhamifar (2014) finns viktiga parametrar som bör beaktas för att få ett mer beständigt slitlager, så som beständighet och friktion.

2.1.2 Bärlager

Bärlager har till uppgift att ta upp och fördela ut trafikbelastningar på så sätt att stora påkänningar eller deformationer inte uppstår i de underliggande lagren (Wiman & Tholén, 1999). Ett bärlager kan vara bundet, så kallat bitumenbundet bärlager, eller obundet (Trafikverket, 2011). I båda varianter bör material av hög kvalitet användas för att överbyggnadens konstruktion ska behålla sina hållfasthetsegenskaper under hela sin tekniska livslängd (Agardh & Parhamifar, 2014). Om vägen har bristande bärighet brukar sprickor uppkomma i ett relativt tidigt skede (Moritz, 2015).

2.1.3 Förstärkningslager

Förstärkningslager är ett obundet lager som har till funktion att föra ner trafikbelastningar till undergrunden samtidigt som det ska fungera som ett dränerande lager (Agardh & Parhamifar, 2014). Det ska hindra vattnet från att tränga in och ansamlas i ovanliggande lager (Wiman & Tholén, 1999).

2.1.3 Skyddslager

Eventuellt skyddslager läggs ut under förstärkningslager vid stor köldmängd i marken, tjälfarligt material i undergrunden eller risk för tjällyftningar i områden (Agardh & Parhamifar, 2014). Enligt dem kan skyddslagret användas som ett materialskiljande lager vid byggande på en finkornig undergrund. Under skyddslagret ligger en terrassyta som utgör en gräns mellan överbyggnaden och underbyggnaden (Styffe, et al., 2021). Vidare beskriver Styffe, *et al.* att i underbyggnaden ingår fyllnadsmaterial och eventuella tillhörande geokonstruktioner.

2.2 Asfaltens ingående delar

Det finns ett flertal typer av asfaltbeläggningar som kan användas för olika ändamål och trafikmängder. Bituminös beläggning är den vanligaste beläggningen som används i Sverige idag (Agardh & Parhamifar, 2014). Det består av ett sammanhållande bindemedel (bitumen) och stenmaterial av olika kornstorlekar. Dessutom innehåller beläggningssmassan ibland någon form av tillsatsmedel för att den ska få speciella egenskaper, till exempel förbättra vidhäftningsförmågan i bindemedlet. Exempel på tillsatsmedel är fibrer, polymerer och vidhäftningsmedel så som mineraler och filler.

2.2.1 Stenmaterialet

Stenmaterialet utgör cirka 93 – 97 vikt-% av beläggningen och det har en stor betydelse för beständigheten hos asfaltbeläggning (Liu, et al., 2017). Vanligtvis används krossat berg och naturgrus och i vissa mån används också restmaterial, så kallade slagger (Vägverket, 2007). Dock används naturgrus sällan i Sverige, i stället används krossat material i en större

utsträckning eftersom det har relativt sett högre hållfasthetsegenskaper än naturgrus och tillgång till ballast är i allmänhet bra i Sverige (Agardh & Parhamifar, 2014), men även för att spara på naturliga akvifärer och därmed grundvattenkällor (Vidal, *et al.*, 2013). Dessa jungfruliga stenmaterial betraktas inte som oändliga naturresurser och dess användning bör reduceras för att kunna spara på jordens begränsade resurser och därmed nå miljömålet och begränsa klimatpåverkan på omgivningen (Sveriges Miljömål, 2018).

2.2.2 Bindemedel

Bitumen är ett material som används till att binda samman stenmaterialet i en asfaltmassa (Eurobitume, 2021). Det har en väsentlig roll för beläggningarnas funktioner trots att det viktmässigt utgör cirka 3–7 % av en vanlig asfaltbeläggning (Liu, *et al.*, 2017). Agardh och Parhamifar (2014) förklarar att bitumen fungerar som ett skydd för stenmaterialet mot krossning och olika klimatpåverkan, så som angrepp av värme, kyla, regn och luft. Utöver detta påstår de att bitumen bidrar till bland annat beläggningens lastfördelande förmåga och ger beläggningen flexibilitet vilket innebär att beläggningen kan forma sig efter de långsamma rörelserna som orsakas av olika laster utan att gå till brott. Vid utläggning och packning fungerar bitumen som smörjmedel. Enligt Agardh och Parhamifar underlättar detta en tät och stabil uppbyggnad av stenaggregatet. Dessa egenskaper måste bindemedlet behålla under hela beläggningens livslängd.

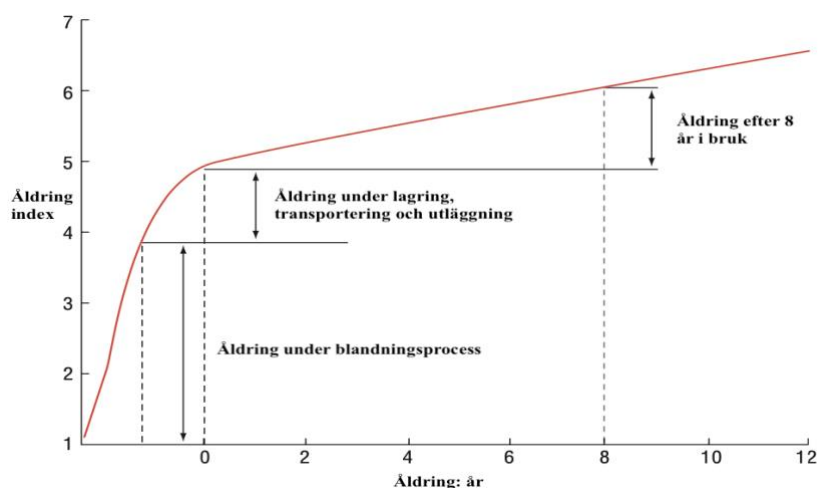
Bitumen har också flera olika användningsområden med avseende på dess varierande egenskaper. Cirka 80–85% av producerad bitumen används till vägbyggnad, dock används det också inom takläggning och andra industriella applikationer (Eurobitume, 2021). Agardh och Parhamifar (2014) påstår att de egenskaperna som gett bitumen dess stora användning är vidhäftningsförmåga, motstånd mot vatten, resistens mot kemikalier och klimat. De anser att vidhäftningen mellan bitumen och stenfraktionerna är en avgörande faktor för beläggningens livslängd.

Bitumen kan förekomma i naturen i form av naturasfalt i både berggrund och asfaltsjöar (Anderson, 2011). Dock används naturlig bitumen sällan idag utan det framställs vanligen i raffinaderier genom destillation av råoljor, så kallad petroleum (Agardh & Parhamifar, 2014). Vidare beskriver de att bitumen är ett mörkbrunt till svart, svårflyktigt, fast till halvfast material vid rumstemperatur. Den största delen av bitumen utgörs av olja men det består också av partiklar av kolföreningar, så kallad asfaltener, och lättflytande kolväten, så kallad hartser. Enligt Scholz (1995) har bitumen en kemisk sammansättning som inte i första taget kan analyseras eftersom det består av en komplex blandning av olika flytande kolväten. Scholz påstår att bitumen är ett viskoelastiskt material som är starkt beroende av temperaturen. Det betyder att vid låga temperaturer beter sig bitumen som ett elastiskt och svårflyktigt material och vid höga temperaturer beter sig som trögflytande vätskor (Phönix Contractors, 1995). Bitumen är inte hälsovådligt vid rumstemperatur, men vid varm hantering avges rök från bituminet som kan verka irriterande, varför höga exponeringar bör undvikas (Moritz, 2015). Hon tillägger att bitumen inte är klassificerat som miljöfarligt.

Vid bestämning av kvaliteten på ett bitumen används oftast mått på dess penetration vid 25°C (Agardh & Parhamifar, 2014). Enligt dem är penetrationstalet ett mått på hårdhet/mjukhet på ett bindemedel. Vidare påstår de att i andra kvalitetssystem, till exempel *Super Pavement*, anges bitumenkvaliteten med hjälp av temperaturintervall. Den undre temperaturen anger vid vilken temperatur bindemedlet har en viss sprödhet (sprickbenägenhet) och den övre temperaturen anger vid vilken temperatur bindemedlet har en viss mjukhet. Vilken bitumenkvalitet som bör användas beror bland annat på klimatet, den förväntade trafiken och trafikens hastighet (Eurobitume, 2021). I länderna som har ett relativt kallt klimat, så som Sverige, används en mjukare typ av bitumen för att undvika

sprickbildning, medan i länderna som har högre medeltemperaturer, så som USA, används till stor del en hårdare typ av bitumen för att undvika plastiska deformationer (Preston & O’Nions, 2015). Ett hårt bitumen måste mjukas upp för att underlätta hantering, blandning och utläggning (Zaumanis, et al., 2014a). Enligt dem finns det tre olika metoder för att mjuka upp bitumen: uppvärmning till omkring 160°C, inblandning av lösningsmedel eller användning av bitumenemulsioner där bitumen och vatten blandas.

Den strukturella sammansättningen hos bitumen förändras i kontakt med luftens syre. Vid oxidation av bitumen minskar materialets flexibilitet som i sin tur gör att sprickor börjar bildas och utvecklas (Agardh & Parhamifar, 2014). Vidare menar Agardh och Parhamifar att materialet blir hårdare och sprödare med tiden, så kallad åldring. Enligt Read och Whiteoak (2003) påskyndar högre temperaturer oxidationen, vilket betyder att vid tillverkning, förvärmning och utläggningen försämras bitumenegenskaper, så som viskositet och styvhet, se Figur 2-3. Detta kommer att spela en stor roll vid asfaltåtervinning eftersom det krävs extra resurser för att få tillbaka dessa egenskaper, så som förnyngningsmedel.



Figur 2-3. Åldring av bitumen under dess livstid. Blandning, utläggning och bruk (Preston & O’Nions, 2015). Åldringsindex är en icke fundamental parameter, det är enbart ett förhållande av två värden: viskositet och styvhet, som är mätta vid olika tidpunkter. Översatt från engelska. Copyright (2015) med tillstånd från Shell UK Oil Products Limited.

2.2.3 Tillsatsmedel

Inblandning av tillsatsmedel kan ske på grund av många olika anledningar och trots att tillsatsmedel oftast är dyra i förhållande till övriga ingående material har de blivit allt vanligare i asfaltmassor (Fahlström, 2020). Detta beror på en fortsatt trafikökning med högre totalvikter samt högre krav på ökade hållbarhet och beständighet hos asfaltbeläggningar (Moritz, 2015).

Enligt Fahlström (2020) avser tillsatsmedel oftast att förbättra någon egenskap hos asfaltmassan, bitumen eller den färdiga beläggningen, till exempel flexibilitet, stabilitet eller beständigheten mot kemikalier eller vatten. Tillsatsmedel används också i avsikt att kompensera för svagheter hos andra ingående material i asfaltmassa eller reducera risken för bristande kvalitet vid tillverkning och utläggning av asfaltbeläggning (Vidal, et al., 2013). Utöver det påstår Vidal, *et al.* att inblandning av tillsatsmedel kan medföra förbättringar för

beständigheten hos asfaltbeläggningsen, vilket anses vara fördelaktigt ur både miljö- och klimatperspektiv eftersom livslängden hos beläggningsen blir högre.

Ett exempel på tillsatsmedel som kan användas i asfaltmassor för att förbättra vidhäftning mellan bitumen och stenmaterial är vidhäftningsmedel (Wallin, 2020). Han menar att inblandning av vidhäftningsmedlet medför också en förbättrad resistens mot väderväxlingar och vatten, vilket innebär att vattnet inte förmår tränga undan bitumen från stenmaterial i en asfaltbeläggning. Moritz (2015) lyfter fram att användandet av tillsatsmedel får dock inte ske på bekostnad av en försämrad arbetsmiljö eller annan egenskap. Vidare påstår Moritz att vissa typer av vidhäftningsmedel innehåller aminer som är basiska förningar som strukturellt är relaterade till ammoniak och kan misstänkas orsaka allergier och astmatiska besvär.

3 Återvinning av asfalt

Återvinning av asfaltbeläggningar innebär en stor potential för att spara såväl ändliga som oändliga naturresurser. Asfaltsåtervinning är inte en komplicerad process i förhållande till den konventionella tillverkningsprocessen (Liu, et al., 2017).

3.1 Förberedelsearbete inför återvinning

Hur returafalten hanteras och bearbetas inför återvinningen är ett viktigt moment för att kunna producera högkvalitativa återvunna asfaltbeläggningar. Förberedelsearbetet för asfaltsåtervinning består huvudsakligen av två faser: borttagning och mellanlagring med bearbetning (Westergren, 2004). Detta gäller när asfaltsåtervinning sker i stationära verk. För asfaltsåtervinning som sker på plats genom mobila verk ingår inte mellanlagringsfas i arbetet.

3.1.1 Borttagning

Den första fasen i förberedelsearbetet är borttagningen. Westergren (2004) förklarar att denna fas har en stor betydelse för fortsättningen av återvinningsprocess eftersom det redan då kan avgöras vad som är möjligt att göra av de borttagna asfaltmassorna och vad som måste göras i efterkommande behandling.

Det finns två olika tekniker som kan användas för borttagning: fräsning och grävning, där metoden bestäms av hur det är tänkt att den upptagna asfalten ska återvinnas (West, 2015). Westergren (2004) påstår att en fel utförd borttagning leder till att återvinningen försvåras eller onödig kostsam. West (2015) hävdar att borttagningen kan klaras med enkla utrustningar. Vidare beskriver West att grävning utförs med hjälp av en grävmaskin som river upp befintlig beläggning i form av asfaltkakor. West uttrycker att nackdelen med grävning är att det finns en stor risk att få med uppgrävda massor oönskade material från underliggande lager som obundet lager eller underbyggnad, vilket medför i sin tur att efterbehandlingsprocessen blir mer resurskrävande.

Fräsning utförs med hjälp av asfaltfräsar, se Figur 3-1, som finns i flera storlekar och möjliggör att fräsa upp asfaltbeläggningar med noggrannhet på millimeternivå (West, 2015). Enligt West är fördelen med tekniken att asfaltbeläggningen kan fräsas i skikt, vilket innebär att man kan ta tillvara på olika fraktioner och egenskaper för de olika lagren i vägkonstruktionen. Skiktfräsning anses också vara av yttersta vikt vid förekomst av tjerasfalt i beläggningen, då det underlättar efterbehandlingen (Brock & Richmond, 2006). Utöver det påpekar Brock och Richmond att tekniken minimerar de trafikstörningarna som vanligen orsakas av vägarbete.



Figur 3-1. Kallfräsning (planfräsning) av asfaltbeläggning (CAT, 2021). Copyright (2021) med tillstånd från CAT Copyright Agent.

3.1.2 Mellanlagring och bearbetning

Efter borttagningen börjar mellanlagringsfas. Mellanlagring kan ske i tre olika former: Temporär mellanlagring under en kortare tid, permanent mellanlagring under längre tid för fortvarig verksamhet eller mellanlagring i upplagshögar vid stationära asfaltverk i avvaktan på erforderliga resurser för vidare behandling (Westergren, 2004).

För att de borttagna asfaltmassorna ska kunna återvinnas måste de först bearbetas (Westergren, 2004). Han skriver att beroende på materialens beskaffenhet och tänkta användningsområden vidtas olika bearbetningsmoment när retur-asfalt kommer till ett mellanlager. Enligt Westergren kan processen delas i fem olika moment:

1. Mottagning och grovsortering i en eller flera kvaliteter.
2. Frånskiljning av oönskade material så som jord eller främmande restprodukter.
3. Krossning och siktning som medför en viss homogenisering av materialen.
4. Förvaring av bearbetade fraktioner sker enligt följande fördelning: 0–11 mm eller 0–16 mm för slitlager och 0–22 mm för bundet bärlager.
5. Homogenisering för att undvika separation.

De krossade eller frästa asfaltbeläggningarna benämns asfaltgranulat. Granulat-kornen består av asfaltklumpar av bindemedel och stenmaterial av varierande storlek, vanligen 0–11 mm för att passa in i de flesta arbetsrecept, dock mindre än 25mm (Westergren, 2004). Det är alltid fördelaktigt att sortera materialen efter ursprung och fraktioner, då detta avser att underlätta återvinningsprocessen (West, 2015).

Sista steget i denna fas är förvaring av bearbetade granulat i avvaktan på användning i tillverkning av nya asfaltmassor (Copeland, 2011). Han beskriver att förvaringen kan ske på öppna upplag eller skyddade upplag under tak.

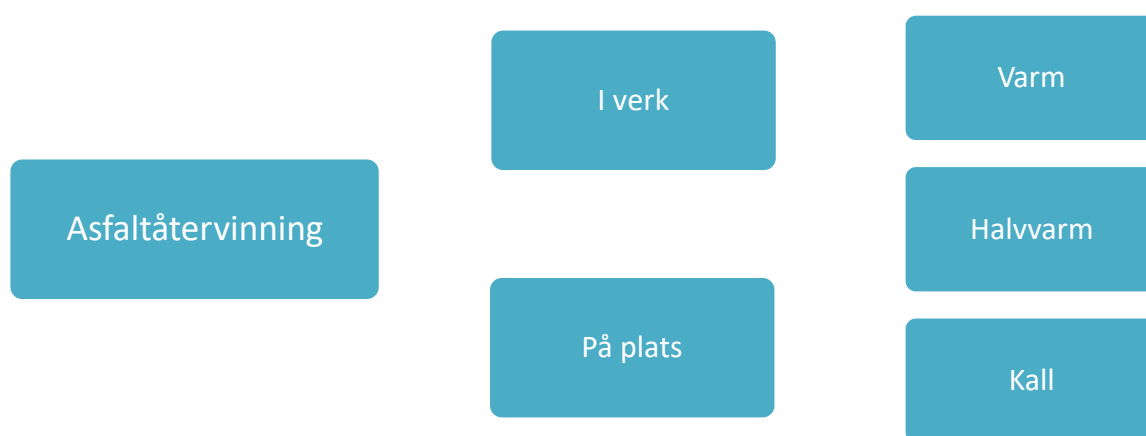
3.2 Metodöversikt

Asfaltbeläggningar kan återvinnas med hjälp av flera olika metoder. Westergren (2004) hävdar att valet av återvinningsmetod huvudsakligen beror på krav som ställs på beläggningen som ska anläggas, där kraven varierar beroende på typ av väg, men en rad andra tekniska parametrar så som logistiken, behovet, omgivnings- och arbetsmiljö kan också påverka valet av återvinningsmetoden. De olika metoderna har både för- och nackdelar beroende på bland annat klimatzon, beräknad trafikmängd och tilltänkt livslängd (Kandhal & Mallick, 1997).

Tyllgren (2010) beskriver att asfaltbeläggningen kan återvinnas i tre olika nivåer. I den första nivån återvinns returafalten till sin ursprungliga kvalitet vilket kräver specialutrustade asfaltverk. I den andra nivån återvinns returafalten till någon enklare kvalitet vilket kan göras i ordinarie asfaltverk genom kall eller halvvarm återvinningsteknik. Den tredje nivån är den lägsta och enklaste formen av återvinning som sker genom att returafalten krossas för att användas som grusmaterial i olika tillämpningar.

Hur returafalten återvunnits har med tiden varierat och tekniken för högkvalitativ återvinning har utvecklats något de senaste åren (Zaumanis & Mallick, 2015). Återvinningsmetoderna kan indelas i två huvudgrupper: i verk och på plats, se Figur 3-2. Den första metodgruppen är återvinning i ett stationärt asfaltverk där returafalten kan inblandas i olika halter upp till 100 vikt-% beroende på bland annat valda tekniker, utrustningstillgänglighet och tilltänkt användningsområde men även returafaltens egenskaper kan påverka inblandningshalten (Westergren, 2004), se Tabell 3-1. Han förklarar att det finns två olika typer av stationära asfaltverk för återvinning av returafalt (RA): satsblandningsverk, även kallade diskontinuerliga blandningsverk och trumblandningsverk, även kallade kontinuerliga blandningsverk. Vidare konstaterar Westergren att skillnaden mellan de två typerna av asfaltverk är i huvudsak att inblandning av material sker kontinuerligt i kontinuerliga verk och satsvis i satsvisa verk.

Den andra metodgruppen är återvinning på plats (in-situ) där befintlig asfaltbeläggning återvinns direkt och läggs ut igen med eventuellt tillskott av en mindre andel jungfruliga material (Kandhal & Mallick, 1997), se Tabell 3-2.



Figur 3-2. Schematisk skiss över de olika metoderna som används vid asfaltsåtervinning.

Metoderna kan i både grupperna vara av typen varm, halvvarm eller kall (Kandhal & Mallick, 1997). De påpekar att det som skiljer sig mellan metoderna är processtemperaturen, se Tabell 3-1. Vidare beskriver de att ju högre temperatur massan tillverkas i, desto högre blir den initiala styvheten hos den slutliga produkten, vilket innebär en högre motståndskraft mot mekaniska påkänningar. Kandhal och Mallick förklarar att de reologiska egenskaperna hos returafalten förändras beroende på valda återvinningsmetoden.

Tabell 3-1. Metoder och användningsområde av asfaltåtervinning i verk (Moritz, 2015).

Metod	Användningsområde
Varm återvinning (135–180°C)	För alla varmblandade beläggningstyper och för alla trafikklasser.
Halvvarm återvinning (50–120°C)	Slit- och bärlager på lågtrafikerade vägar.
Kall återvinning ($\leq 50^\circ\text{C}$)	Slit- och bärlager på lågtrafikerade vägar.

Tabell 3-2. Metoder och användningsområde av asfaltåtervinning på plats (Moritz, 2015). *(Metoderna beskrivs i kapitel 3-7 och 3-8)

Metod	Användningsområde
Varm återvinning (repaving)*	För slitlager med medeltrafikerade vägar.
Varm återvinning (remixing, remixing plus)*	För slitlager i alla trafikklasser.
Halvvarm återvinning (remixing)*	För slitlager på lågtrafikerade vägar där beläggningen utgörs av mjukasfalt.
Kall återvinning (stabilisering, remixing)*	Bärlager på låg- till medeltrafikerade vägar.
Kall återvinning (djupfräsning)*	Bärlager på lågtrafikerade vägar med dålig bärighet.

3.3 Föryngring av returafalt

Asfaltsåtervinning innebär att ge gammal asfalt nytt liv igen, det vill säga föryngra den (Tyllgren, 2010). Han anser att analysering av bitumen har en central betydelse i det sammanhanget. Vidare beskriver han att vid återvinning till ursprunglig kvalitet bör bitumenkvalitet och -kvantitet (bitumenhalten) analyseras med omsorg för att kunna vidta lämpliga åtgärder vid inblandning och därmed åstadkomma optimala resultat.

Det kan inträffa att bitumenkomponenter separerar från varandra när bitumenkvaliteter av olika ursprung blandas, även efter en längre tid i en beläggning (Westergren, 2004). Han förklarar att detta beror på att bitumen kan ha varierande åldringsgrader och varje bitumenursprung har en unik sammansättning. Åldring av bitumen har en mindre betydelse

vid RA-inblandningshalter lägre än 20%, men det är av yttersta vikt vid användning av högre RA-inblandningshalter (Kaseer, et al., 2020). Vidare skriver de att vid bearbetning av asfaltgranulat extraheras bindemedlet för att kontrollera dess mjukpunkt och penetration, dessa värden anger materialets åldringsgrad.

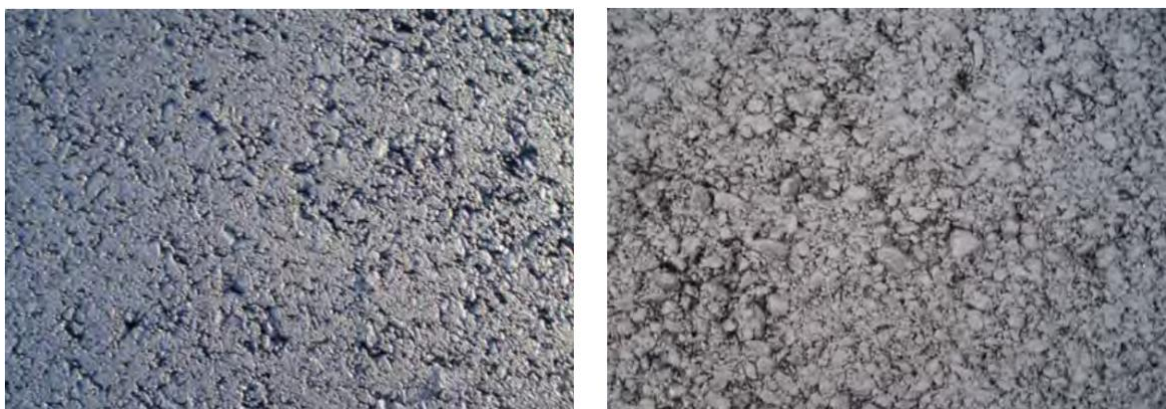
Moritz (2015) påstår att bitumeninnehållet i RA vanligen ligger runt 3% om massorna är uppgrävda och runt 6% om massorna är frästa. Hon förklarar att den låga halten i uppgrävda massor beror på att en stor del stenmaterial från underliggande lager följer med massorna vid uppgrävning av asfaltbeläggningar, medan vid fräsning brukar massorna ha någon högre bindemedelshalt och liten andel av obundet stenmaterial. Bitumeninnehållet i RA kan enkelt korrigeras mängdmässigt i blandningsrecepten.

Bitumenkvaliteten i RA kan förbättras enligt två olika metoder. Den ena är genom tillsättning av mjukt bitumen och den andra är genom tillsättning av föryngringsmedel, så kallad rejuvenators (Zaumanis, et al., 2014a). De uttrycker att tillsättning av mjukt bitumen har varit den vanligaste metoden när returafalten inblandas i mindre mängder. Däremot anses metoden vara olämplig vid större RA-inblandningshalter, där mängden tillfört nytt bitumen inte räcker till för att korrigera det åldrade bitumen i returafalten (Moritz, 2015). Hon hävdar att tillsättning av föryngringsmedel är mer optimal.

Fördelen med föryngringsmedel är att bitumenkvaliteten kan återställas till originalskick (Tyllgren, 2010). Han påstår att de senaste åren har det blivit alltmer vanligt att använda föryngringsmedel. Det finns ett stort antal produkter på marknaden. Tyllgren tillägger att andra fördelar med föryngringsmedel är att det har en beständig verkan, relativt hög kokpunkt för att klara av värmestrumma och tillräckligt hög viskositet för att kvarstå i granulat i upplaget.

Tillsats av föryngringsmedel kan ske vid två moment, antingen vid krossning av RA eller strax före inblandning i asfaltverket (Kaseer, et al., 2020). De anser att tillsats vid krossningsarbetet möjliggör att sprida oljan jämnt över hela materialet och att föryngringsmedlet sugns in i granulaten medan materialet bearbetas, medan tillsats strax före inblandning används när en extra dos av föryngringsmedlet ska tillsättas eller när det inte finns tillräcklig tid för spridning i förväg.

Tyllgren (2010) visar i sin rapport en skillnad i strukturen mellan två nylagda asfaltbeläggningar. Han finner att beläggningen med RA som har föryngrats genom tillsättning av mjukt bitumen har små öar av sammanhållen massa, se Figur 3-3 (vänster), medan beläggningen med RA som har föryngrats genom tillsättning av föryngringsmedel har en jämn struktur som liknar en nytillverkad massa, se Figur 3-3 (höger).

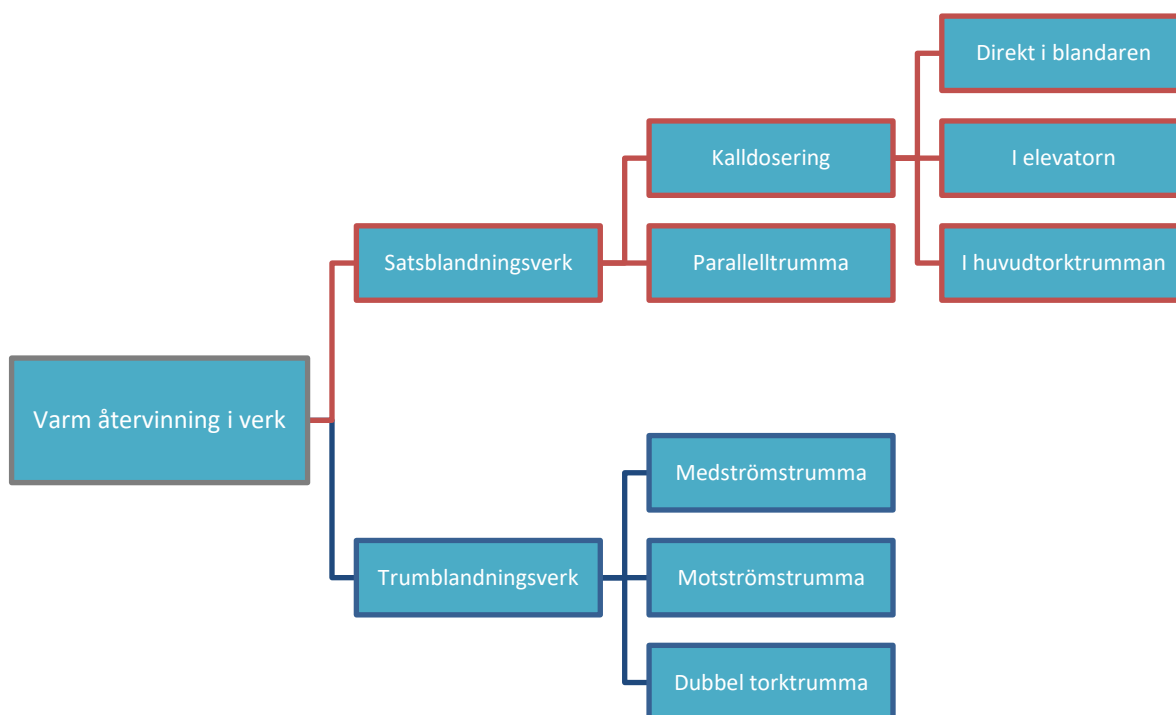


Figur 3-3 Ej vältad yta direkt efter asfaltläggaren: RA-massan (vänster) med blanka partier av sammanhållen massa och RA-massan (höger), som mer påminner om nytillverkad asfalt (Tyllgren, 2010). Copyright (2010) med tillstånd från Tyllgren, P.

3.4 Varm återvinning i verk

Varm asfaltsåtervinning i verk (vid 135–180°C), se Figur 3-4, har en tillverkningsprocess som liknar den konventionella tillverkningsprocessen förutom att asfaltgranulat, uppvärmt eller kallt, ersätter en viss del av ballasten och bitumen (Westergren, 2004). Utöver det visar beläggningar som är återvunna med varm teknik vanligen lika goda egenskaper som nytillverkade beläggningar under förutsättning att återvinningsprocessen utförs på ett korrekt sätt (Olsson, 2019). Westergren (2004) uttrycker att tekniken anses vara lämplig vid stationära och större anläggningar, men även mindre anläggningar av mobila typer kan förekomma.

Fördelen med denna teknik i förhållande till andra tekniker är att asfaltgranulatet kan återvinnas till alla typer av asfaltlager oavsett trafikmängden (Westergren, 2004). Westergren menar att oftast används tekniken vid tillverkning av högtrafikerade asfaltbeläggningar men ibland kan det användas även för lågtrafikerade asfaltbeläggningar. Dock konstaterar Westergren också att det är nödvändigt att andelen av obundet stenmaterial i uppgrävda massor är relativt liten för att massorna skall kunna användas för varm återvinning. Ibland kan det vara svårt att bedöma andelen av obundet stenmaterial som kommit med i uppgrävningen men bitumenhalten i returafalten brukar ge en fingervisning, under förutsättning att beläggningstypen är känd (Tyllgren, 2004).



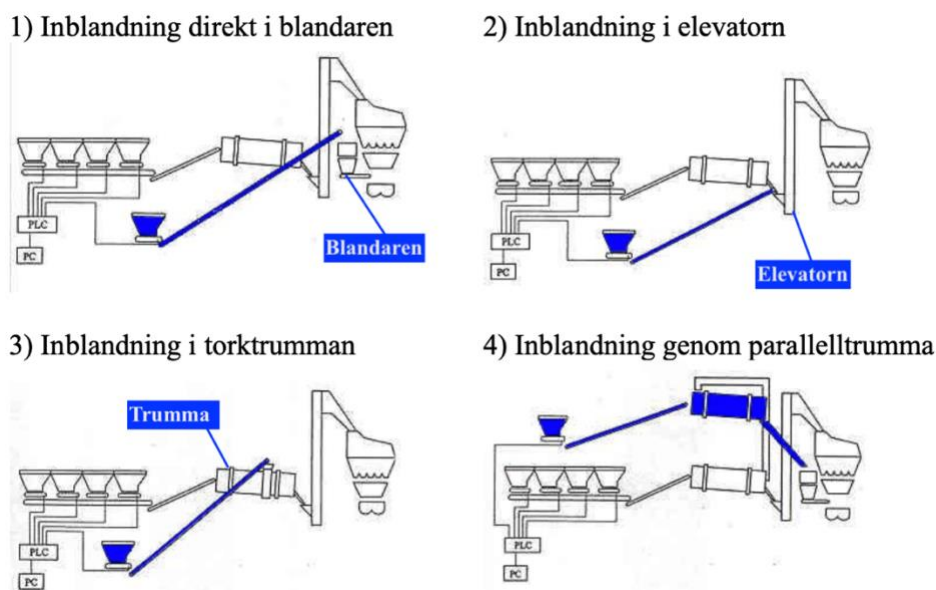
Figur 3-4. Schematisk skiss över de olika metoderna som kan användas vid varm återvinning i verk.

3.4.1 Satsblandningsverk

Tillsättning av asfaltgranulaten i ett satsblandningsverk kan vanligtvis ske på fyra olika sätt, där skillnader ligger i hur uppvärmning av granulat, blandningsförfarande och överhettning av stenmaterial sker (Kandhal & Mallick, 1997).

Westergren (2004) beskriver de fyra olika tillsättningsmetoderna enligt följande:

1. Direkt i blandaren: kalla asfaltgranulat värms upp av den varma asfaltmassan, se Figur 3-5 (1). Inne i blandaren sker en mild ångexplosion där ångan utryms.
2. I elevatoren: kalla asfaltgranulat blandas med de varma stenmaterialen innan bitumen tillsätts, se Figur 3-5 (2).
3. I huvudtorktrumman: kalla asfaltgranulat och stenmaterialet värms upp tillsammans, se Figur 3-5 (3). Materialet förs sedan genom en bypass-ficka, blir uppvägd i färdiga satser och slutligen blandad till asfaltmassa i blandaren.
4. Via parallelltrumma: en separat trumma används för förvärmning av asfaltgranulaten innan inblandning i blandaren, se Figur 3-5 (4).



Figur 3-5. Schematisk skiss över verk för satsvis tillverkning av varm massa. Blåfärgade ytor markerar var granulatet tillsätts i processen, (Westergren, 2004).

Jungfruliga stenmaterial i torktrumman måste överhettas, i varierande grad, för att kompensera för asfaltgranulatens låga temperatur. Detta gäller när inblandning av kalla asfaltgranulat sker direkt i blandaren, i elevatoren eller i huvudtorktrumman (Westergren, 2004), se Figur 3-5. Dessa blandningsförfaranden möjliggör en maximal inblandningshalt av asfaltgranulat på upp till 20–25 % eftersom högre inblandningshalter kan leda till problematik kring ångbildning och låg masstemperatur som kan leda till masseparation (Liu, et al., 2017).

Liu, *et al.* (2017) lyfter att stenmaterialet i den ordinarie torktrumman inte behöver överhettas i samma grad vid asfaltåtervinning via en separat parallelltrumma eftersom asfaltgranulaten värms upp till cirka 120–140°C. Detta blandningsförfarande tillåter större inblandningshalter av asfaltgranulat, upp till 100%, eftersom förvärmning medför att asfaltgranulat mjuknar tillräckligt, bryts ned och blir mer blandningsbar med jungfruliga material jämfört med tillsats av kalla granulat (Tran & Hassan, 2011). En fördel med uppvärmning via en parallelltrumma är att utsläpp av rökgaser från parallelltrumman förbränns i den ordinarie torktrumman vilket sänker utsläppen (Liu, *et al.*, 2017; Zaumanis, *et al.*, 2014; Kandhal & Mallick, 1997).

3.4.2 Trumblandningsverk

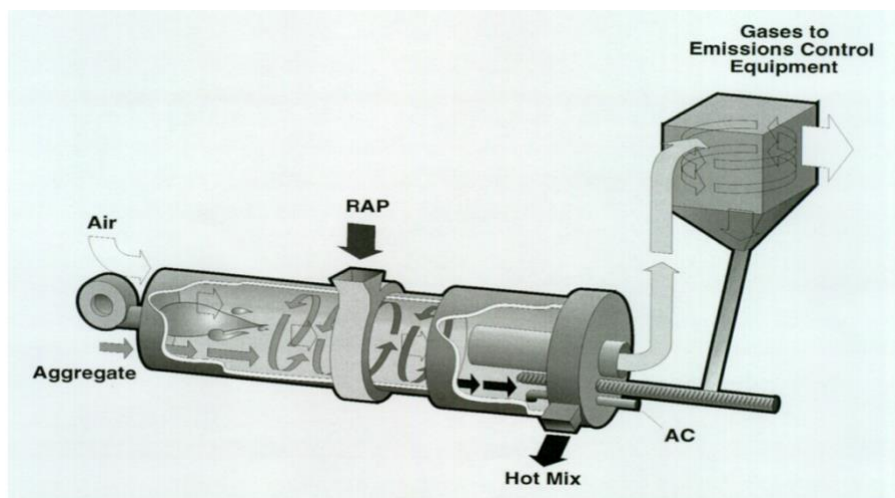
I ett trumblandningsverk återvinns asfalt i en kontinuerlig process, i ett så kallat kontinuerligt blandningsverk (Westergren, 2004). Denna typ av verk är särskilt anpassade för asfaltåtervinning och tillåter en inblandningshalt av asfaltgranulat på upp till 50% (Kandhal & Mallick, 1997). Kandhal och Mallick förklarar att i trumblandningsverk blandas jungfruliga massor kontinuerligt där uppvärmning, torkning och blandningen med asfaltgranulat vanligen sker i samma roterande trumma

Det finns tre olika sorter av trumblandningsverk: medströmstrumma, motströmstrumma och dubbel torktrumma (Liu, et al., 2017). De beskriver att skillnader mellan sorterna ligger i hur uppvärmning av asfaltgranulat, blandningsförfarande och överhettning av stenmaterial sker.

Medströmstrumma

Trumman är uppdelad i en torkningskammare och en isolerad blandningskammare. En brännare finns på framsidan av trumman, se Figur 3-6, där jungfruliga material matas in. Brännarens huvuduppgift är att torka och värma upp de kalla och fuktiga jungfruliga stenmaterialen som i sin roll uppvärmer de tillsatta kalla asfaltgranulaten. Luftflödestemperaturen vid brännarlågan överstiger 760 °C (Liu, et al., 2017).

Asfaltgranulat tillsätts in i blandningsdelen uppifrån i den isolerade blandningskammaren, på så sätt att asfaltgranulat inte utsätts för brännarlågan. Medan material blandas ihop pumpas bitumen in i blandningskammaren bakifrån i en kontinuerlig process, se Figur 3-6. När blandningsskedet är klart matas massan ut från baksida och transporteras till en lagringssilo (Liu, et al., 2017).



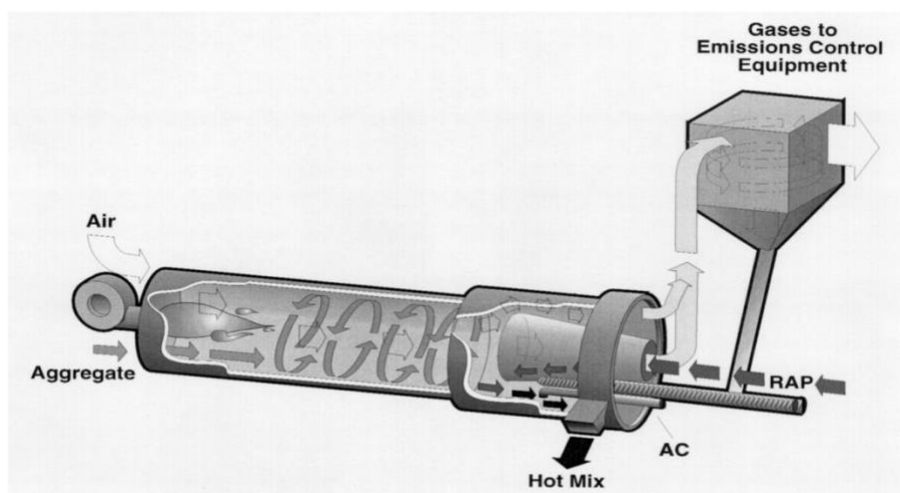
Figur 3-6. Medströmstrumma där asfaltgranulat matas in i en isolerad blandningskammare (Kandhal & Mallick, 1997). Där: Returasfalt (RAP), luft (Air), jungfruligt stenmaterial (Aggregate), bitumen (AC), varm massa (Hot mix), rökgaser strömmar till utsläppskontrollutrustning (Gases to Emissions Control Equipment).

Förbränning av de jungfruliga stenmaterialen ger upphov till upphettade rökgaser. Rökgaserna strömmar parallellt med stenmaterialen för att sedan sugas ut via en kanal till en grovavskiljare och vidare genom ett filterhus av en fläkt med variabel intagsöppning utan att rökgaserna kommer i kontakt med de tillsatta asfaltgranulaten. Temperaturen för rökgaserna som släpps ut är vanligtvis 30°C varmare än slutmassan som brukar vara cirka 150 °C (Liu,

et al., 2017). Vidare påstår de att en högre temperatur för rökgaserna indikerar att blandningen är utförd på ett felaktigt sätt.

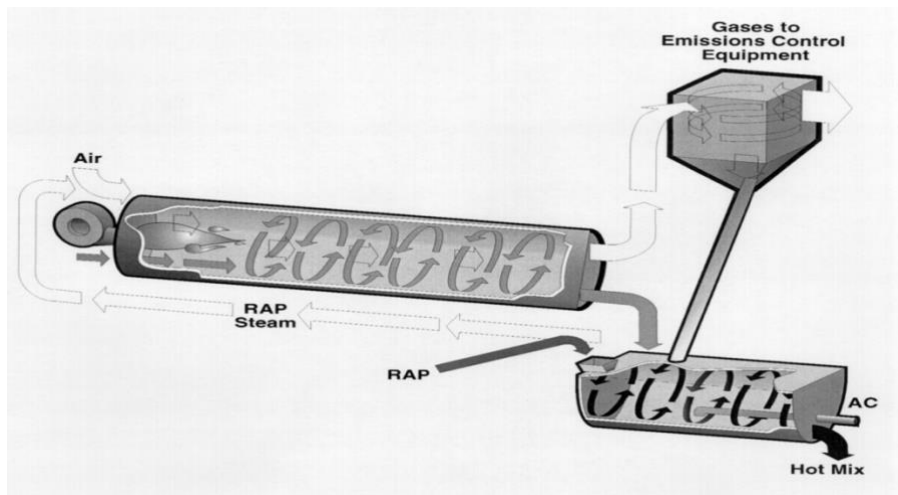
Att få de jungfruliga stenmaterialen torra och överhettade innan de kommer i kontakt med asfaltgranulat är det mest kritiska momentet med återvinningen via parallellflödestrumma (Kandhal & Mallick, 1997). De förklarar att en fel temperatur på de jungfruliga stenmaterialen resulterar i en icke homogen slutprodukt.

Till skillnad från den ovannämnda konventionella varianten av medströmstrumma kan de kalla och fuktiga asfaltgranulaten matas in i blandningskammaren bakifrån genom en sval virvelcylinder, se Figur 3-7, det vill säga att de upphettade rökgaserna strömmar i en motsatsriktning till asfaltgranulaten (Kandhal & Mallick, 1997). Uppvärmningen av asfaltgranulat sker delvis i den svala virvelcylindern och delvis genom blandning med de överhettade jungfruliga materialen. Även det nytillsatta bitumen är aldrig i direkt kontakt med lågor eller upphettade rökgaser. Tekniskt sett medför denna variant en kraftig reducering av kolvätenivåer i de upphettade rökgaserna jämfört med en konventionell medströmstrumma, vilket anses vara fördelaktigt ur ett miljöperspektiv (Liu, et al., 2017).



Figur 3-7. Medströmstrumma där asfaltgranulat matas in bakifrån (Kandhal & Mallick, 1997). Där: Returasfalt (RAP), luft (Air), jungfruligt stenmaterial (Aggregate), bitumen (AC), varm massa (Hot mix), rökgaser strömmar utsläppskontrollutrustning (Gases to Emissions Control Equipment).

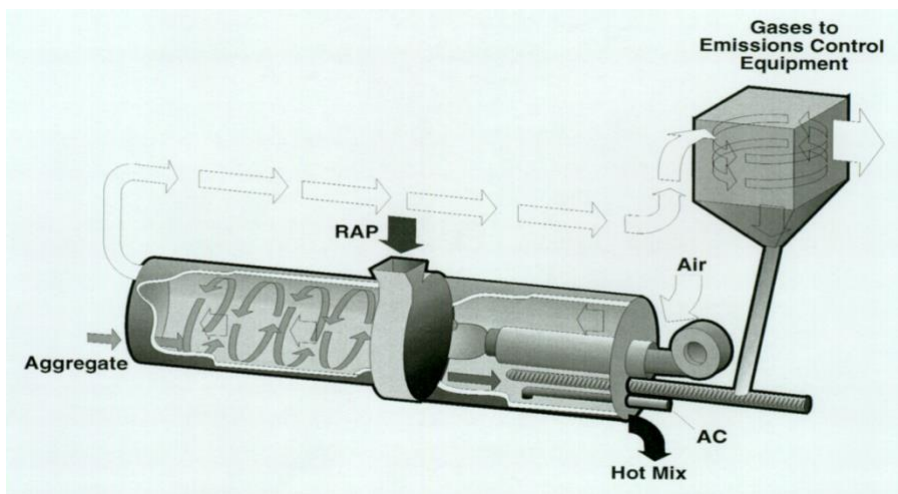
I en annan variant av medströmsteknik sker uppvärmningen av de kalla och fuktiga asfaltgranulaten genom blandning med överhettade jungfruliga stenmaterial i en separat kontinuerlig blandningstrumma (Kandhal & Mallick, 1997), se Figur 3-8. Kandhal och Mallick förklarar att blandningen i en separat trumma ger upphov till större mängder av ånga och rökgaser jämfört med de andra teknikvarianterna. Detta innebär att asfaltgranulats inblandningshalt som kan uppnås med denna teknik kommer att påverkas av det fysiska utrymmet som krävs för rök- och ångbildningen.



Figur 3-8. Medströmstrumma där asfaltgranulat blandas i en separat blandningstrumma (Kandhal & Mallick, 1997). Där: Returasfalt (RAP), returasfalt ånga (RAP Steam), luft (Air), jungfruligt stenmaterial (Aggregate), bitumen (AC), varm massa (Hot mix), rökgaser strömmar utsläppskontrollutrustning (Gases to Emissions Control Equipment).

Motströmstrumma

Motströmstrumman är uppdelad i en isolerad torkningsdel och en kontinuerlig blandningsdel, se Figur 3-9. Brännaren i denna variant är utrustat med ett förlängbart munstycke som möjliggör att uppvärmning av de kalla och fuktiga asfaltgranulaten sker genom blandning med de överhettade jungfruliga stenmaterial utan att utsätta blandningen för brännarlågan. De jungfruliga stenmaterialen överhettas genom konvektion (Kandhal & Mallick, 1997).



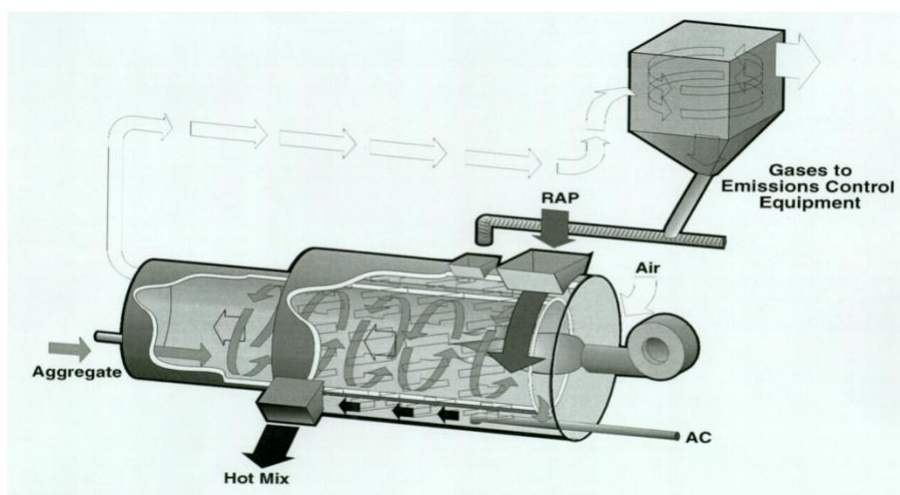
Figur 3-9. Motströmstrumma (Kandhal & Mallick, 1997). Där: Returasfalt (RAP), luft (Air), jungfruligt stenmaterial (Aggregate), bitumen (AC), varm massa (Hot mix), rökgaser strömmar till utsläppskontrollutrustning (Gases to Emissions Control Equipment).

Dubbel torktrumma

En annan typ av kontinuerligt blandningsverk är dubbel torktrumma. Det är en av de mest avancerade teknikerna som används vid asfaltåtervinning i trumblandningsverk. Dubbel torktrumma är en kombination av blandningstrumma med integrerad tvångsblandare (Liu, et al., 2017).

Det jungfruliga stenmaterialet torkas och värms upp i en roterande motströmstrumma, så kallad innertrumma. Asfaltgranulat tillsätts och värms upp i en integrerad tvångsblandare, så kallad yttertrumma, som ligger runt om innertrumman, se bild 3-10. Inblandningshalt är till en stor del styrd av utrymmet mellan trummorna (Kandhal & Mallick, 1997).

Rökgaserna som uppstår på grund av förbränning av det jungfruliga materialet sugas tillbaka genom hålen i innertrumman och tvingas igenom brännarens låga. Detta medför att de miljöfarliga rökgaserna, så som kolväte, förbränns på ett effektivt sätt (Kandhal & Mallick, 1997).



Figur 3-10. Dubbel torktrumma (Kandhal & Mallick, 1997). Där: Returasfalt (RAP), luft (Air), jungfruligt stenmaterial (Aggregate), bitumen (AC), varm massa (Hot mix), rökgaser strömmar utsläppskontrollutrustning (Gases to Emissions Control Equipment).

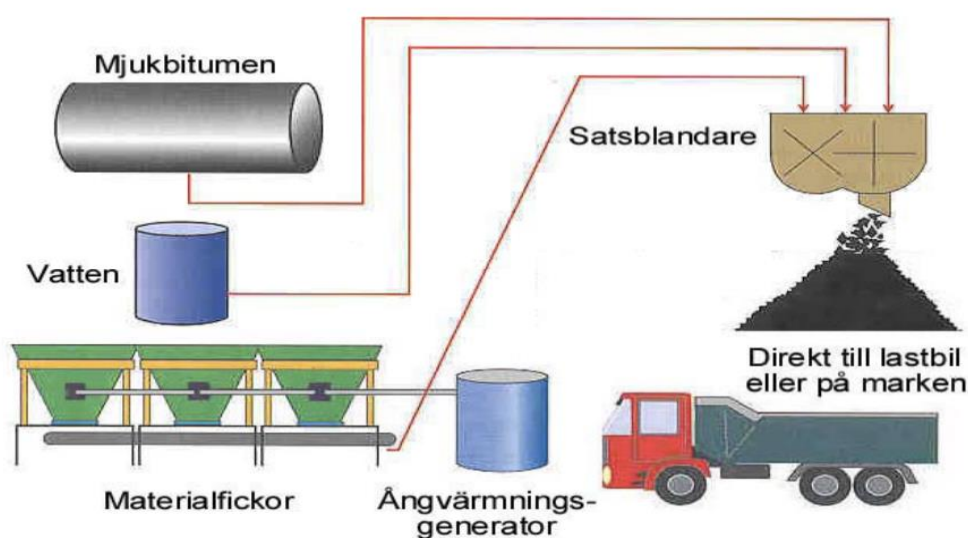
3.5 Halvvarm återvinning i verk

Halvvarm återvinning i verk (vid 50-120°C) är den vanligaste tekniken som används för lågtrafikerade asfaltbeläggningar (≤ 2000 fordon per dygn) som ett alternativ till konventionell asfalttillverkning (Zaumanis & Mallick, 2015). Zaumanis (2014) påstår att tekniken resulterar oftast i mer ekonomiska och beständiga asfaltmassor än vid varm återvinning i verk. Zaumanis förklarar att detta beror på att asfaltmassan ibland får för hög temperatur vid återvinning i ett varmt verk med risk att det jungfruliga bindemedlet oxiderar.

Vid halvvarm återvinning i verk används ett mjukgjort bindemedel som medför att utläggning kan göras vid betydligt lägre temperatur än med varm asfaltmassa (Westergren, 2004). Zaumanis (2014) konstaterar att en halvvarm återvunnen massa kan bestå till 100% av RA med tillsats av ett mjukgjort bindemedel och vatten men då kan massan upplevas som trög och svårlagd. Vidare förklarar Zaumanis att detta beror framför allt på att det åldrade bindemedlet i asfaltgranulat aktiveras och blir klabbigt, speciellt vid högre bindemedelsinnehåll och högre temperaturer. Westergren (2004) hävdar att inblandning av jungfruliga stenmaterial gör massan smidigare så att den går att lägga ut och att beläggningens stabilitetsegenskaper förbättras.

Materialet brukar vanligen värmas upp till cirka 50–120°C vid återvinning (Westergren, 2004). Uppvärmningen sker normalt med hjälp av överhettad vattenånga eller i en torktrumma. Detta medför att asfaltmassan blir mer lättpackad. Westergren hävdar att blandningsverk som används för halvvarm återvinning kan också användas för nytillverkade halvvarma och kalla massor. Vidare påstår Westergren att både satsblandningsverk och trumblandningsverk kan förekomma, men satsblandningsverk, se Figur 3-11, är den vanligaste typen. Westergren förklarar att blandningsverken är lätta att flytta och har en igångsättningstid på några timmar. Detta innebär att tekniken kan användas även vid tillverkning av mindre mängder asfalt.

De halvvarma återvinningsmassorna innehåller vanligen vatten vilket gör att massorna ej är fukt känsliga men de kyls relativt snabbt vid låga temperaturer. På grund av det mjukare bindemedlet kan de halvvarma återvinningsmassorna med fördel användas där en flexibel asfaltmassa önskas, det vill säga i kalla klimat (Zaumanis, 2014).



Figur 3-11. Schematisk skiss över ett satsblandningsverk för tillverkning av halvvarm massa. Massan uppvärms med hjälp av överhettad ånga genom en ångvärmningsgenerator (Westergren, 2004).

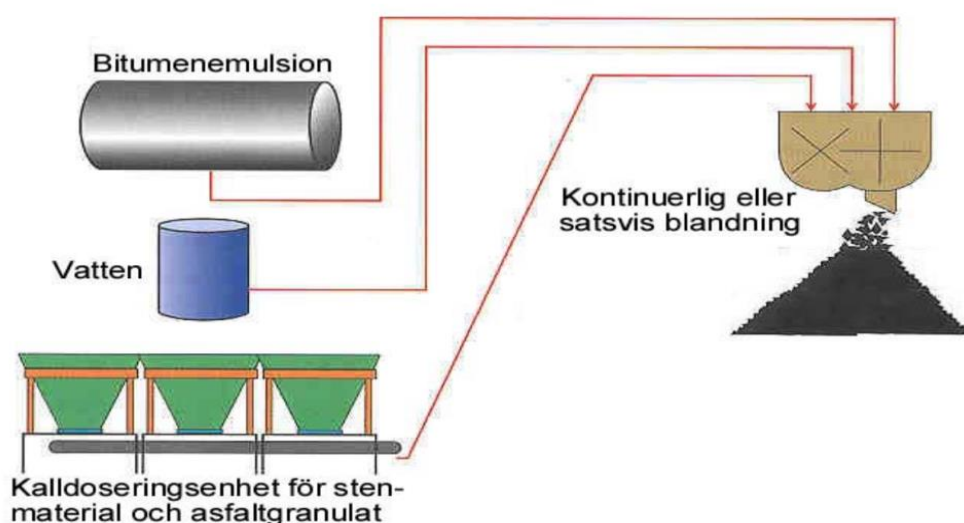
3.6 Kall återvinning i verk

Kall återvinning i verk (vid $\leq 50^{\circ}\text{C}$) är en relativt kostnadseffektiv teknik eftersom materialet i stort sett inte behöver värmas upp eller torkas (Westergren, 2004). Det är ett kännetecken för den kalla återvinningsprocessen att den saknar uppvärmningsenhet. Westergren påstår att både satsvis och kontinuerlig inblandning kan förekomma vid kall asfaltsåtervinning men den kontinuerliga inblandningen är den vanligaste typen, se Figur 3-12. Westergren påstår att ett blandningsverk av denna typ är också lätta att flytta och har en igångsättningstid på några timmar vilket minskar transportkostnaderna eftersom verket lätt kan ställas upp i närhet till vägobjektet. Denna typ av verk anses vara lämplig för småskaliga verksamheter (Zaumanis, 2014). Dock påpekar Moritz (2015) att beläggningar som är återvunna enligt den kalla tekniken är oftast extra flexibla och anpassat för underlaget, vilket kan ha bristande bärighet och ojämna tjällyftningar.

Kall återvinning i verk sker normalt genom tillsättning av jungfruligt stenmaterial, asfaltgranulat och vatten i ett ouppvämt och naturfuktigt tillstånd med $50\text{--}70^{\circ}\text{C}$ varmt bindemedel som kan vara i form av bitumenemulsion, mjukbitumen eller skummat bitumen (Kandhal & Mallick, 1997). Enligt Westergren (2004) är bitumenemulsion en bitumenblandning som emulgerats till en vattenfas vilket gör massan möjlig att hantera vid lägre temperatur än vanligt bitumen.

Då återvinningen sker kallt är det emellertid svårt att uppnå effektiv blandning med det åldrade bindemedlet i asfaltgranulat och massan kan upplevas som trög (Westergren, 2004). Vidare förklarar Westergren att tillsats av vatten avser att medföra en smörjande effekt på massan vid blandningen. Däremot bör inget vatten tillsättas om asfaltgranulat från början har en hög fuktkvot ($>5\%$) eftersom bitumenemulsionen också innehåller vatten. Det vill säga att både väderleken och emulsionskvoten påverkar valet av vattentillsats.

En kall återvunnen massa kan bestå till 100% av RA men då är det oerhört viktigt att säkerställa att massan har förbehandlats på ett korrekt sätt för att åstadkomma ett önskat resultat med återvinningsprocessen (Westergren, 2004). Även om användning av 100% RA är ett möjligt alternativ görs ändå en inblandning av en mindre andel jungfruliga stenmaterial för att förbättra massans konsistens och läggbarhet men också för att höja materialets



Figur 3-12. En principskiss av ett verk för tillverkning av kallblandad asfalt med återvunna material (Westergren, 2004).

stabilitet ifall asfaltgranulatet innehåller för hög halt åldrat bindemedel (Kandhal & Mallick, 1997). De tillägger att bindemedelsåldringen för kalla beläggningar är mindre jämfört med varma beläggningar, eftersom de kalla beläggningarna inte hettas upp vid masstillverkningen och bindemedlet därför inte blir oxiderade i samma utsträckning som varma massor

3.7 Varm återvinning på plats

Asfaltbeläggningar, särskilt på högtrafikerade vägar, utsätts vanligen för stora påkänningar som gör att slitlagret slits i en snabb takt. Om vägkonstruktionen är tillräckligt dimensionerad och inte är i behov av en förstärkning kan slitaget åtgärdas genom varm återvinning på plats (Kandhal & Mallick, 1997).

Varm återvinning på plats är en resurs- och miljöbesparande teknik som möjliggör att förändra sammansättningen av ett gammalt slitlager direkt på plats genom att tillsätta nytt material och nytt bindemedel till en önskad sammansättning (Westergren, 2004), se Figur 3-13. Tekniken är fördelaktig för flerfältsvägar där endast delar av vägen skall åtgärdas och den orsakar vanligen begränsade störningar för trafiken (Stroup-Gardiner, 2011). Tekniken riktar sig till relativt homogena slitlager på såväl medel- som högtrafikerade vägar. När det gäller nötningsresistens och textur påstår Westergren (2004) att slutresultatet kan bli jämförbart med en motsvarande ny konventionellt utlagd beläggning om utförandet sker på ett korrekt sätt och det påförda materialet har en sammansättning som överensstämmer med gällande föreskrifter. Dock anser Stroup-Gardiner (2011) att tekniken inte är lämplig om asfaltbeläggningen har omfattande separationer, plastiska deformationer eller andra defekter. Inte heller är den lämplig för kraftigt åldrande beläggningar eller beläggningar där en stor del av ytan har lagningar, eftersom det kan vara svårt att i högre grad förändra massans sammansättning (Westergren, 2004).



Figur 3-13. En jämförelse av en beläggning före och efter återvinning på plats (Kandhal & Mallick, 1997)

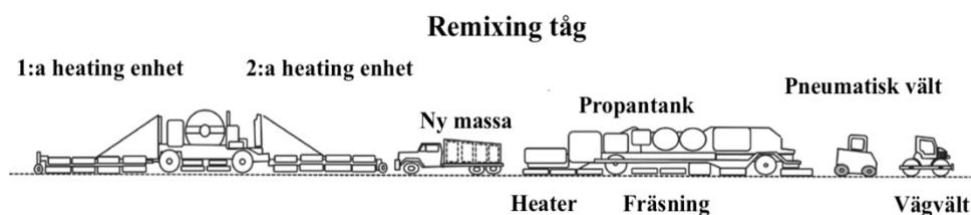
I grund och botten består återvinningstekniken av fyra steg: uppmjukning av asfaltbeläggnings yta med hjälp av värme; rivning av asfaltbeläggnings ytan; eventuellt blandning med nya material; och slutligen utläggning (Kandhal & Mallick, 1997). Alla dessa steg sker omedelbart efter varandra i en integrerad process med samma maskinenhet (Westergren, 2004). Westergren beskriver att rivningen utförs vanligtvis till ett djup av 20 till 50 mm, där 25 mm är ett typiskt djup. Processen förekommer i tre varianter: repaving, remixing och remixing plus.

Repaving innebär att värma, riva upp, omfördela och förse den befintliga beläggnings ytan med ett nytt lager asfaltmassa som läggs ut med hjälp av en läggarutrustning längst bak på maskinen (Stroup-Gardiner, 2011), se Figur 3-14. Westergren (2004) anser att tekniken kan betraktas som en vidareutveckling av värmebehandling, *heating*, som används som underhållsåtgärd för sämre vägytor, eftersom det uppvärmda befintliga beläggings materialet omfördelas innan överläggning sker. Emellertid sker omfördelningen endast i en begränsad omfattning på så sätt att ytan jämnas av.



Figur 3-14. Schematisk skiss av ett så kallat Repaving återvinningståg (Kandhal & Mallick, 1997). Översatt från engelska.

Remixing innebär att rekonditionera den befintliga gamla asfaltbeläggnings ytan genom att värma, riva upp, blanda den med en ny asfaltmassa och lägga ut blandningen (Stroup-Gardiner, 2011), se Figur 3-15. Westergren (2004) lyfter fram att den rivna massan måste ha sådan värme att blandningen med den nya massan får rätt utläggningstemperatur.



Figur 3-15. Schematisk skiss av ett så kallat Remixing återvinningståg (Kandhal & Mallick, 1997). Översatt från engelska.

Remixing plusvarianten är en kombination av repaving och remixing (Isacsson, 2000). Isacsson förklarar att den befintliga gamla beläggnings ytan remixas enligt den konventionella varianten utan någon inblandning av nytt material. Dessutom läggs ett nytt jungfruligt lager asfaltmassa ut ovanpå det remixade lagret. Jämnheten efter en sådan process är ofta till och med bättre än på en nybyggd väg.

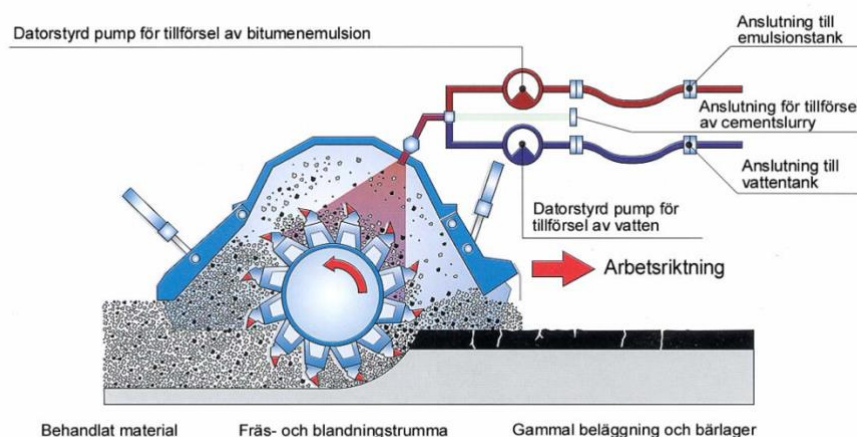
3.8 Kall och halvvarm återvinning på plats

De långa avstånden till stationära asfaltverken har medfört att mindre mobila anläggningar för återvinning av asfalt har utvecklats (Moritz, 2015). Vid behov av omläggning av en asfaltbeläggning kan det ibland vara svårt att värma upp beläggningen tillräckligt så att asfaltmassan blir bearbetningsbar (Wirtgen, 2012). Wirtgen anser att detta beror huvudsakligen på det härdade bindemedlet och i detta fall anses att kall och halvvarm asfaltsåtervinning är en passande teknik som kan användas. Enligt Moritz (2015) riktar tekniken sig till förbättring eller förstärkning av relativt homogena beläggningar på såväl medel- som lågtrafikerade vägar (≤ 2000 fordon per dygn). Tekniken är mycket resurssnål som tar till vara och åtgärdar befintliga material på plats och det är mest fördelaktigt i glesbygd med långa avstånd till asfaltverk eller bergtäkter (Westergren, 2004).

Kall och halvvarm asfaltsåtervinning innebär att den befintliga asfaltbeläggningen förbättras genom fräsning och eventuellt inblandning med nytt bindemedel och stenmaterial eller ny massa. Vid den kalla tekniken värms inte beläggningen upp överhuvudtaget medan vid den halvvarma tekniken hettas beläggningen upp måttligt (Stroup-Gardiner, 2011).

Det finns tre metoder för den kalla tekniken: stabilisering; remixing; och djupfräsning (Westergren, 2004). Däremot finns det bara en metod för den halvvarma tekniken: remixing. Enligt Westergren bygger de olika metoderna i grund och botten på att asfalt fräses och nytt bindemedel blandas eventuellt in i samma moment, alternativt separat. Westergren påpekar att det nya bindemedlet som blandas in vid både kall och halvvarm återvinning på plats kan vara i form av bitumenemulsion, mjukbitumen eller skummat bitumen. Val av bindemedlet styrs huvudsakligen av materialtypen och materialsammansättningen.

Stabilisering avser att kallt återvinna en beläggning till ett bitumenbundet bärlager. Detta sker genom att beläggningen djupfräses och blandas med ett nytt bindemedel genom ett antal spridare som är monterade i frästrumman, där vatten och andra tillsatsmedel kan tillsättas, se Figur 3-16. En eventuell tillsats av jungfruligt stenmaterial behöver inte uppvärmas, vilket leder till låg energiåtgång. Tekniken anses vara mest lämplig när sammansättningen i bärlagret innehåller en hög andel finmaterial ($\leq 0,125\text{mm}$) (Westergren, 2004).



Figur 3-16. Blandningsförfarande i frästrumma samt översikt över de maskiner som behövs vid stabilisering med emulsion eller kombinationen emulsion och cement (Wirtgen, 2012). Copyright (2012) med tillstånd från Wirtgen Group.

Remixing avser att återvinna mjukgjorda kalla och halvvarma beläggningstyper. Detta sker genom att fräsa upp beläggningen, blanda den med nytt bindemedel, jungfruligt material eller ny asfaltmassa och lägga ut blandningen därefter (Wirtgen, 2012). Han påpekar att vid användning av den halvvarma tekniken måste den befintliga vägytan värmas upp måttligt först genom *heating* eller infravärme för att underlätta fräsningen. Detta avser också att underlätta blandningsförfarandet och packning av massan.

Djupfräsning innebär att homogenisera bitumenbundna lager tillsammans med obundna bärlager i en vägbeläggning utan tillsättning av nytt bindemedel varför materialet förblir obundet (Westergren, 2004). Dock anser Westergren att tillsättning av jungfruligt stenmaterial kan vara aktuellt vid en hög andel finmaterial ($\leq 0,125\text{mm}$) i beläggningen.

3.9 Andra användningsområden

Asfaltgranulat har också en mängd andra alternativa användningsområden (Westergren, 2004). Han menar att det kan användas till bland annat obundna lager men också som material till stödremсор och tillfälliga lagningsmassor vid till exempel ledningsschakter, då inget nytt bindemedel behöver blandas in, men för att förbättra stabiliteten föreslår Westergren att asfaltgranulaten blandas in med ett nytt stenmaterial. Trots att inget nytt bindemedel tillsätts kan befintliga bindemedlet utöva en viss bindande aktivitet under varma sommardagar (Moritz, 2015).

4 En internationell kartläggning av användning av returafalt

Användningen av returafalt (RA) i höga halter vid tillverkning av högkvalitativa beläggningar har ökat i många länder, så som USA, Japan, Australia och Sydafrika. Utöver det har tillämpningen av 15-20 vikt-% RA numera blivit en industriell praxis i Europa och USA vid tillverkning av olika asfaltmassor (EAPA & NAPA, 2011). I vissa länder, så som Japan, används det stora mängder av RA vid framställning av varma respektive halvvarma asfaltmassor, vilket anses vara det mest lämpliga användningsområdet för RA ur ett ekonomiskt och miljömässigt perspektiv (West & Copeland, 2015).

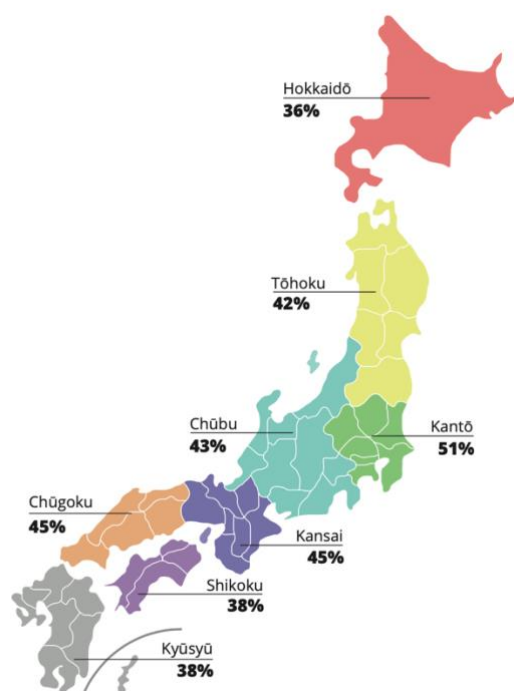
Enligt Moritz (2015) började Sverige återvinna asfalt sedan 1990-talet och sedan 2005 har den totala mängden RA som gått till återvinning varit cirka 1-1,5 miljoner ton per år medan den totala asfaltproduktionen i Sverige har varit cirka 7,5 miljoner ton per år under samma period. Moritz påstår att en tredjedel av den totala RA-mängden (cirka 0,3-0,5 miljoner ton) har dock använts till obundna lager, så som bär- eller förstärkningslager, och endast några ton har hamnat på deponi eller använts som kantstöd på väggenar. Vidare hävdar Moritz att i Sverige får återvinningsgrad vara högst 20 vikt-% i slitlager, 30 vikt-% i bindlager och 40 vikt-% i bundet bärlager.

Ett flertal testförsök för användning av 40 vikt-% RA vid framställning av varm asfaltbetongmassa inleddes i Sydafrika i 2009 (Sabita, 2019). Enligt Sabita visade testförsöken på att det är möjligt att utforma högkvalitativa beläggningar med 40 % RA utan att volymetriska eller mekaniska krav kompromissas och aktörerna har börjat använda varm återvinning i verk i en större utsträckning sedan dess. Sabita konstaterar att Sydafrika är ett av de länder som kommit längre fram i tekniken när det gäller asfaltåtervinning.

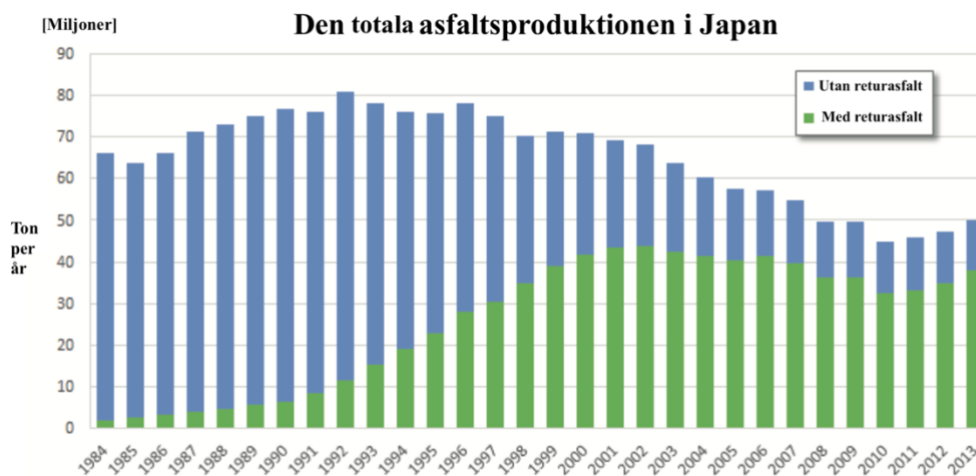
Även den japanska vägsektorn ligger i framkant när det gäller kvalitetskontroll och effektivitet i återvinningsprocessen. Japan började återvinna asfalt sedan 1970-talet och sedan 2013 används cirka 99% av den totala tillgängliga mängden av asfaltgranulat för tillverkning av nya asfaltbeläggningar (West & Copeland, 2015). De påpekar att en relativ liten mängd asfaltgranulat används till uppbyggnad av bärlager medan den största delen används vid tillverkningen av nya bundna slitlager. West och Copeland påstår att i Japan tillsätts vanligen i genomsnitt 36-51 vikt-% RA vid tillverkning av nya massor, se Figur 4-1

Det japanska vägnätet består av cirka 1 273 295 km bilväg och Japan är ett relativt litet land till ytan ($377\,975\text{ km}^2$) i förhållande till en befolkning på över 126 miljoner och befolkningstäthet på 335 invånare/ km^2 (Statistics of Japan, 2021). West och Copeland (2015) hävdar att dessa förutsättningar med bland annat ett begränsat utrymme för avfallshantering och brist på naturresurser utgör en katalysator för ett ständigt sökande efter nya hållbara tekniker som kan minimera avfall samt maximera bevarande av naturresurserna.

Japan tillverkar cirka 45-80 miljoner ton asfaltmassa per år, se Figur 4-2. Figuren speglar också hur användning av RA har utvecklats under åren. De allra flesta asfaltverken i Japan, cirka 87%, är av typ satsblandningsverk, diskontinuerliga blandningsverk, som har mindre produktionskapacitet och långsammare produktionshastighet jämfört med trumblandningsverk, kontinuerliga blandningsverk, som är det vanligaste typen av asfaltverk i USA (Brian, 2014).



Figur 4-1. Japans olika regioner och deras genomsnittliga RA-inblandningshalter (West & Copeland, 2015).



Figur 4-2. Den totala årliga asfaltsproduktionen i Japan (Brian, 2014). Översatt från engelska.

Den ökade användningen av RA i den japanska vägsektorn beror på följande fem motiv (West & Copeland, 2015):

1. Minskad avfallsmängd från asfaltbeläggningar.
2. Hushållande med naturresurser, till exempel bergmaterial och bitumen.
3. Minskade energibehovet (energi som krävs för utvinning, bearbetning, uppvärmning och transporter).
4. Minskad växthusgasutsläpp som uppnås genom energins besparing.
5. Minskade kostnader för asfaltstillverkning.

Utvecklingen inom asfaltbeläggingsbranschen i USA liknar den japanska trenden. Rapporten från *National Asphalt Pavement Association* för år 2019 framför att asfaltindustrin i USA återanvände mer än 99 % av den totala tillgängliga mängden av asfaltgranulat för tillverkning av nya asfaltbeläggningar (Williams, et al., 2020). Vidare redovisar Williams, et al. att det används ungefär 94 % för tillverkningen av varma respektive halvvarma massor, medan resterande mängder, cirka 6 %, används för bland annat obundna bärlager och i andra applikationer inom anläggningsbranschen, till exempel jordförstärkning. Williams, et al. påstår att asfaltgranulat är det mest återvunna material bland de amerikanska delstaterna. Detta har medfört att den genomsnittliga mängden av deponerat asfaltgranulat var nästan noll under 2019. Enligt Williams et al. rapporterade branschaktörerna under samma år, 2019, deponering av cirka 52 550 ton asfaltgranulat, vilket utgör 0,013 % av den totala tillgängliga mängden av asfaltgranulat och därmed anses vara försumbart med hänsyn till landets totala asfaltbeläggingsproduktion. Denna statistik, för år 2019, omfattar 48 delstater, ett territorium och *District of Columbia (D.C.)*.

Enligt den europeiska asfaltbranschorganisationen, *European Asphalt Pavement Association*, som har i uppdrag av den europeiska unionen att tillhandhålla information om bland annat asfaltstillverkning och -återvinning, använder de europeiska länderna RA vid tillverkning av främst varma respektive halvvarma asfaltmassor och endast en relativ liten del, cirka 9,5%, används vid tillverkning av kalla massor (EAPA, 2020). Under 2020 rapporterade EAPA att cirka 56,3% av den totala mängden tillgängligt asfaltgranulat användes i tillverkning av bundna lager och cirka 18% användes som obundna bärlager och förstärkningslager, däremot deponerades cirka 6% under samma år. I rapporten påpekas också att återvinningsgrad av RA varierar avsevärt mellan de olika europeiska länderna beroende på varje lands nationella bestämmelser. Statistiken representerar genomsnittliga mängder i 16 europeiska länder. Data från de andra europeiska länderna saknas och därmed sätts de till noll vid sammanställningen.

Statistiken från asfaltbranschorganisationerna i både Europa (EAPA) och USA (NAPA) presenteras i Tabell 4-1 nedan för jämförelse. I tabellen presenteras tillgängliga data som visar den totala produktionen av varma samt halvvarma massor i förhållande till de totala återvunna massorna under år 2019.

Tabell 4-1. En jämförelse av RA-användning i Europa och USA enligt statistiken för år 2019, (EAPA, 2020; Williams, et al., 2020).

Användningsområde	Europa [%]	USA [%]
Varma och halvvarma asfaltmassor	56,3	92
Kalla massor	9,5	0,5
Obundna bärlager	18	4
Andra applikationer (till exempel jordförstärkning)	1	1,5
Deponi	6	≈ 0
Övrigt (ökänd)	9,2	2

Jämförelsen indikerar att den europeiska trenden inom asfaltåtervinning i stora drag skiljer sig från trenden som följs av de amerikanska aktörerna. Den största skillnaden ligger huvudsakligen i mängder av RA som används vid tillverkning av nya varma respektive halvvarma asfaltmassor. Å ena sidan använder några europeiska länder mer RA vid tillverkning av kalla asfaltmassor och obundna lager, å andra sidan skickas en hög andel, cirka 6%, RA vidare till deponi i de europeiska länderna jämfört med ≈ 0% i USA. Det vill

säga att det fortfarande finns en stor potential inom RA som de europeiska länderna kan utnyttja på ett miljövänligt och hållbart sätt.

Det finns en missuppfattning om att produkter som är gjorda av återvunna material har lägre prestanda över lag i jämförelse med produkter som är gjord av jungfruliga material (Brock & Richmond, 2006). Enligt den australiska asfaltbranschorganisationen, *Australian Asphalt Pavement Association* (AAPA), har denna missuppfattning lett till ett bristfällig förtroende för återvunna asfaltbeläggningar (AAPA, 2018). Därmed har det också börjat uppstå restriktiva anvisningar som begränsar användning av höga halter av RA (mer än 25-30 vikt-%) vid tillverkning av nya asfaltbeläggningar, vilket i sin tur resulterar i stora högar med RA i deponianläggningar (Zaumanis, et al., 2014b).

Enligt Copeland (2011) tillåter de flesta delstaterna i USA och Kanada användning av 10-15 vikt-% RA vid tillverkning av nya asfaltbeläggningar, se Tabell 4-2. Antal stater avtar när det gäller högre halter och endast 5 delstater tillåter användning av mycket höga halter (mer än 30 vikt-%).

Tabell 4-2. Antal amerikanska och kanadensiska delstater i förhållande till tillåtna RA-halter och användningsområde (Copeland, 2011).

Tillåten RA-halt [Vikt-%]	Antal delstater (av 60 stycke totalt)	
	Slitlager	Bundna bärlager
Upp till 10 %	43	45
Upp till 19 %	35	43
Upp till 29 %	20	36
30 % eller högre	5	15

Enligt Williams, *et al.* (2020) har den genomsnittliga RA-inblandningshalten varit i en ständig öka i USA sedan 2009. Den genomsnittliga RA-halten som användes i USA låg på 21,1% för år 2019 (Williams, et al., 2020), vilket är betydligt lägre än de genomsnittliga RA-inblandningshalter som används i Japan och Sydafrika på 47 % respektive 40 % (Sabita, 2019).

Däremot begränsar de flesta delstaterna i Australien och Nya Zeeland tillåtna RA-halter i nya asfaltbeläggningar till 15-20 vikt-% på grund av den ovannämnda missuppfattningen (Lee, et al., 2015). De skriver att användning av högre RA-halter (mer än 20 vikt-%) kräver entreprenörer att uppvisa ett utförligt kvalitetskontrollförfarande. Utöver det tillåter australiska staterna inte användning av RA i stenrika (ABS) eller dränerande asfaltmassor (ABD) överhuvudtaget.

5 Begränsningar för högre användning av returafalt

Oljekrisen på 1970-talet medförde bland annat en ökad bitumenkostnad, då många länder runtom i världen, så som USA och Japan, började använda mellan 30-100 vikt-% RA i asfaltmassor (Zaumanis, et al., 2016). Samtidigt började problem med asfaltbeläggningsprestanda, konsistens och produktion observeras. Bonaquist (2007) hävdar att problemen beror på att det funnits kunskapsbrister, där obearbetad RA använts i asfaltverk som inte varit utformade att klara av materialet. Zaumanis, et al. skriver även att problemen med asfaltbelaggningsen gjorde aktörerna i asfaltbranschen anta ett säkert tillvägagångssätt att använda mellan 10-25 vikt-% RA i asfaltmassor. *The Federal Highway Administration* i USA (FHWA) definierar en RA-halt över 25 vikt-% av asfaltmassan som en hög RA-halt och en RA-halt över 40 vikt-% som en mycket hög halt (Copeland, 2011).

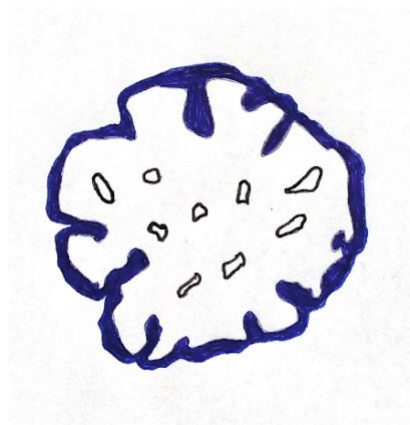
Det finns dock inte någon tveksamhet kring att returafalten är till 100% återvinningsbar. Den kan förvandlas till en ny asfaltbeläggning med dagens konventionella tillverkningsmaskiner och -tekniker utan att det uppstår några allvarliga problem med beläggningsprestanda (Nordiska Vägtekniska Förbundet (NVF), 2012). Både bindemedlet och stenmaterialet kan användas på nytt utan att någonting behöver sorteras bort under förutsättning att asfalten inte innehåller stenkoltjära eller höga halter av andra cancerframkallande ämnen (Zaumanis, et al., 2014b). Lee, et al. (2020) påpekar att det fortfarande finns några oklarheter kring praktiska frågor om asfaltsåtervinning, vilka gör att genomsnittliga inblandningshalter som används idag begränsas till ett intervall på 10-20 vikt-%, med undantag för Japan och Sydafrika som använder relativt högre halter på 40-50 vikt-%. Dessa oklarheter kan fördelas under fem kategorier i betraktande av kvaliteten, produktionstekniken, arbetsreceptet, färdiga beläggningsprestanda och förorenade massor, vilka beskrivs närmare i följande avsnitt.

5.1 Kvalitet och sammansättning

Kraven på asfaltmassan är vanligtvis samma oavsett om RA används eller inte. Hur stor andel av asfaltmassan som kan utgöras av RA beror huvudsakligen på två faktorer: materialets kvalitet och homogenitet (Kandhal & Mallick, 1997). För att kunna formulera en lämplig sammansättning av en asfaltmassa innehållande RA, behövs kännedom om bland annat kornstorlek, bindemedelshalt och tillsatser, så som fibrer och vidhäftningsmedel, samt stenmaterialegenskaper, så som flisighet, nötningsresistens och hårdhet, som kan spela en avgörande roll för asfaltskvaliteten (Lee, et al., 2015). Vid användning av RA behövs också en proportionering och en noggrann karakterisering där olika materialkombinationer förprövas eftersom materialets egenskaper kan variera mycket beroende på bland annat ålder, borttagningsförfarande och ursprung (Westergren, 2004). En relevant karakterisering är erforderlig för att kunna välja rätt återvinningsmetod eller kunna avgöra om återvinning överhuvudtaget är möjlig (Copeland, 2011).

Vid uppfräsning av en beläggning kan kvaliteten på uppfräst asfaltmaterial variera i hög grad beroende på bland annat fräsmaskin, dess hastighet och fräsdjup (Van den Kerkhof, 2012). Westergren (2004) lyfter fram att användning av en godtycklig borttagningsmetod kan resultera i en dyr efterbehandling eller omöjliggöra en önskvärd återvinning. Westergren tillägger att ibland används RA i nya beläggningar direkt efter fräsning och granulering utan vidare bearbetning. Användning av RA utan bearbetning anser Westergren vara otillräckligt för att säkerställa god kvalitet på beläggningarna eftersom RA oftast har ogynnsam korngradering och materialen normalt inte är tillräckligt homogeniserade. En inhomogen asfaltmassa orsakar spårbildning under de tidiga skedena av beläggningens brukstid (Zaumanis, et al., 2018).

Uppfrästa asfaltmassor innehåller vanligen en hög andel finmaterial som fullständigt passerar en 0,125 mm sikt, vilket kan begränsa möjligheterna att tillverka högkvalitativa vägbeläggningar innehållande höga RA-halter eftersom kraven på en homogen korngradering för beläggningen förmodligen inte kommer vara uppfylld (Leegwater, et al., 2016). Dessutom innehåller finmaterial vanligtvis högre mängder av åldrat bindemedel på grund av materialets stora effektiva ytor (Newcomb, et al., 2007), se Figur 5-1.



Figur 5-1. Illustrations skiss av ett finkornigt material. Blåfärgade yta markerar den effektiva ytan, (Egen bild).

Kandhal & Mallick (1997) lyfter fram att finmaterial har en hög förmåga att behålla vatten och att krossade och siktade jungfruliga stenmaterial ($\geq 0,125\text{mm}$) har vanligtvis en högre dräneringsförmåga jämfört med RA. Vidare menar Kandhal och Mallick att ju högre finmaterialandel i RA, desto högre är dess fukthalt. Detta innebär att vid förekomsten av finmaterial krävs det mer energi för att torka materialen (Moritz, 2015). Enligt Miliutenko, et al. (2013) är det fördelaktigt om asfaltmaterialet kan mellanlagras under tak eller övertäckas. Vidare påstår Miliutenko, et al. att övertäckningen kan minska koldioxidutsläppen med cirka 4% per ton RA om fukthalten i materialen har varit 1% lägre. Westergren (2004) konstaterar att en låg och homogen fukthalt hos asfaltgranulat medför en fördel vid tillverkningsprocessen eftersom uppvärmningsbehovet för material blir mindre. Enligt Androjić och Gordana (2016) krävs det cirka 8 kW h energi per ton RA för att sänka fukthalten med 1%.

Inblandningsgraden av RA beror till stor del på den valda återvinningsmetoden. De flesta konventionella återvinningsmetoderna begränsar den tillåtna granulatmängden som kan tillsättas vid tillverkning av nya asfaltmassor (Zaumanis, et al., 2014b). I RA kan det förekomma oönskade partiklar eller komponenter från den tidigare användningen, till exempel vägmarkeringsmassa, spill, vägsalt eller slitagerester från däck och andra utsläpp från trafiken, därför kan asfaltgranulat inte inlemmas i standardtillverkningsprocessen som jungfruliga material (Westergren, 2004). Det är inte sällan att högarna växer till veritabla berg innan asfaltverken tvingas att hitta ett lämpligt användningsområde (Tyllgren, 2010).

Detta innebär att kvaliteten på returafalten kan bli av skiftande karaktär beroende på bland annat mellanlagringstid och ursprung.

Dessa aspekter kring kvalitet och homogenitet i material är viktiga särskilt vid masshantering och tillverkning av en asfaltbeläggning innehållande RA. Aspekterna måste beaktas för att kunna åstadkomma rätt kvalitet (Copeland, 2011).

5.2 Produktionsteknik för varm återvinning i verk

Om granulat utsätts för flammor eller värme under tillverkningsprocessen kommer blårok att uppstå (Kandhal & Mallick, 1997). Vidare beskriver de att blåroken består av förgasade delar av åldrade bitumen som kondenserar i luft och har fått namn efter färgen på röken. De tillägger att blåroken förorenar såväl arbetsmiljön som den nära miljön eftersom den innehåller kolväten och en tämligen låg exponering för blårok kan vara hälsoskadligt. Vidare menar Kandhal och Mallick att det finns indikationer på en högre besvärförekomst hos arbetare som har den högsta exponering för blårok. Kolväten bidrar bland annat till bildandet av marknära ozon, som är skadligt för människor, djur och växtlighet (Naturvårdsverket, 2021b). Kolväten påverkar människors hälsa negativt bland annat genom irritation av ögon och inflammation i luftvägarna, enligt Naturvårdsverket. Enligt Andersson och Ekström (2018) fördubblas exponeringsnivån för var 10-15°C temperaturhöjning. Kandhal och Mallick (1997) tillägger att asfaltgranulats exponering för lågor måste undvikas och att den långvariga utsättningen av asfaltgranulat för överhettat material måste begränsas. Såväl överhettning av jungfruliga stenmaterial som exponering för lågor medför en extra förhårdning av både det nya och det gamla bindemedlet (Liu, et al., 2017). Förhårdningen kan orsaka nedbrytning av bitumensammansättning som leder till en dålig driftprestanda hos beläggning, till exempel en tidig åldring som leder till sprickbildning (Nguyen, 2009).

Westergren (2004) påpekar att vägmarkeringarna vanligen innehåller termoplastiska massor och vägmarkeringsmassor bör fräsas bort i förväg eftersom de kan orsaka bland annat arbetsmiljöproblem genom utsläppning av bland annat giftiga gaser från smältande och brinnande plast. Westergren anser att det finns ett stort behov av en systematisk bevakning av emitterade ämnen vid hanteringen av returafalt.

Användningen av kalla och fuktiga asfaltgranulat, med 7–8 % fukthalt, vid varm återvinning i verk medför en minskad produktionshastighet beroende på tillsatt mängd RA, eftersom det krävs en längre blandningstid för att granulat ska hinna torkas och uppvärmas samt att gammalt och nytt bindemedel migrerar ihop (Brock & Richmond, 2006). Av denna anledning bör asfaltgranulaten hållas torra i största möjliga mån (Kandhal & Mallick, 1997).

Vid varm återvinning i verk måste det jungfruliga stenmaterialet överhettas för att asfaltmassa skall få en tillräcklig hög sluttemperatur som gör det lättpackat (Westergren, 2004). Detta gäller när inblandning av asfaltgranulat sker i elevatorn, torktrumman eller direkt i blandaren vid omgivningstemperatur (Kandhal & Mallick, 1997). Tekniken möjliggör en maximal inblandningshalt av 20-25% RA eftersom högre inblandningshalter medför större utsläpp av fuktånga som vanligtvis innehåller stora mängder av dammpartiklar (Liu, et al., 2017). Enligt Zaumanis & Mallick (2015) är det möjligt att höja den maximala inblandningshalten till 30-35% eller mer (upp till 50%) i samband med några modifieringar av asfaltverk, till exempel att bygga en extra kammare som kan filtrera fuktånga.

5.3 Arbetsrecept

Asfaltarbetsrecept avser att erhålla en asfaltmassa som är bland annat fungerande i enlighet med beställarens krav, säker, hållbar, deformationsresistent och motståndskraftig mot lågtemperatursprickor och fuktskador (Agardh & Parhamifar, 2014). Detta innebär att asfaltmassan som innehåller asfaltgranulat måste uppfylla samma prestandakriterier som den jungfruliga asfaltmassan avser (West, et al., 2013; Willis, et al., 2012). Asfaltgranulat har oftast ogynnsam kornform eller korngradering och för att på ett kontinuerligt sätt kunna tillvarata högkvalitativ returafalt krävs att information om bland annat bindemedelstyp, bindemedelshalt och stenfraktioner i asfaltgranulaten kompromissas med framtagna arbetsreceptet (Leegwater, et al., 2016).

Trots att det finns olika datorprogram som kan ta fram optimala arbetsrecept, utförs arbetet oftast för hand enligt konventionella proportioneringsmetoder (Agardh & Parhamifar, 2014). De anser att orsaken till detta är att det finns kunskap som inte går att lägga in i programvaran. Exempel på det kan vara att identifiera vilka storleksfraktioner av asfaltgranulat som bäst uppfyller krav på bland annat korngradering, bindemedelsinnehåll eller prestanda (Zaumanis, et al., 2014b). De påstår att de smala marginalerna som empiriska arbetsrecept anser fungera inte kan tillämpas längre i dagens asfalttillverkning. Detta beror på det ökade behovet av användningen av returafalt, modifierad bitumen, förbättrade metoder i oljeraffinaderier och andra teknologiska framsteg (Zaumanis, et al., 2018). Utvecklingen går mot ökad användning av funktionskrav i stället för receptbaserade krav och därmed behöver nya metoder utvecklas (Lee, et al., 2015; West, et al., 2013).

Höga återvinningshalter medför vanligen en ökad styvhet hos beläggningen (Copeland, 2011). Enligt Zaumanis et al. (2018) beror detta på åldrade bitumen i asfaltgranulat. Reologiskt sett blir bitumen hårdare med tiden på grund av fysikaliska och kemiska förändringar (Al-Qadi, et al., 2007). En styvare beläggning är vanligtvis mindre motståndskraftig mot sprickbildning, vilket är en av de största anledningarna till att mycket höga RA-halter oftast inte används (Willis, et al., 2012). Emellertid lyfter Leegwater *et al.* (2014) fram att styvheten kan motverkas och de reologiska egenskaperna, så som elasticitet, viskositet och flytgränser, hos åldrat bindemedel kan återställas till originalskick genom att kompensera asfaltgranulat med föryngringsmedel. Detta gäller när en fullständig blandning mellan materialen utförs under rätta förutsättningar (Zhou, et al., 2011). Enligt Tyllgren (2010) har möjligheten till föryngring funnits länge men det är först i början av 2000-talet som miljömässigt acceptabla oljor blivit tillgängliga på marknaden. Med miljömässigt acceptabla oljor syftar Tyllgren på modifierade oljor som avger mindre rökemissioner och som inte medför någon besvärande lukt vid exponering till värme, detta eftersom de aromatiska kolvätena har tagits bort vid raffineringen. Tyllgren påpekar att tekniken kan användas vid varm återvinning i stationära asfaltverk med kalldosering eller parallelltrumma. Testresultat, som har genomförts av Tyllgren (2010), indikerar att föryngringen med ett föryngringsmedel medför en tydlig förbättring av utmattningsegenskaper hos beläggningen, i synnerhet vid låg temperatur, jämfört med tillsättning av ett mjukt bitumen.

Det finns en allmän uppfattning om vad som är bra teknik och mindre bra teknik i sammanhanget men åsikterna går ibland isär. I motsatsförhållande till Leegwaters, et al. (2014) påstående, hävdar Presti, et al. (2019) att endast en liten del av åldrade bitumen kan återaktiveras och få sina reologiska egenskaper tillbaka vid blandning med ett föryngringsmedel. Blandning och diffusion som sker mellan föryngringsmedlet och det åldrade bindemedlet utgör ett av de huvudsakliga hindren vid framtagning av ett tillfredställande arbetsrecept med hög eller mycket hög RA-halt. Detta eftersom det inte

finns några övergripande väldefinierade förfaranden för att optimera halterna (Presti, *et al.*, 2019; Zaumanis & Mallick, 2015).

5.4 Beläggningsprestanda

Ur ett mekaniskt perspektiv anses att beläggningar med retur-asfalt har en motsvarande eller bättre vattenkänslighet jämfört med jungfruliga beläggningar (Karlsson & Isacson, 2006). Detta eftersom ballasten från retur-asfalt redan är bitumentäckt och därmed finns en minskad risk för att vatten ska tränga in i partiklarna (Zaumanis, *et al.*, 2014b). Däremot anmärker Mogawer, *et al.* (2012) att en otillräcklig sammanblandning mellan åldrade och jungfruliga bindemedel medför en negativ påverkan på vattenkänsligheten. Detta eftersom vattenkänsligheten brukar vara cirka 60-100%, och allt för låg bindemedelsinblandning kan ge lägre värden (<50%) och indikera sämre beständighet (Westergren, 2004). Mogawer, *et al.* (2012) tillägger att olika bitumen kan ge olika påverkan på vattenkänsligheten beroende på variationerna i kemisk sammansättning och interaktionen mellan molekylgrupper som påverkas genom åldringen. Mogawer, *et al.* konstaterar att bitumenkemin är relativt komplex för att kunna prediktera egenskaperna hos asfaltmassa, inte minst dess vattenkänslighet.

Beläggningar som innehåller RA är mer känsliga för krackelering på grund av utmattning (Aurangzeb, *et al.*, 2014). Vidare menar de att återvunna beläggningar kräver ett mer frekvent underhåll och flera reparationer i jämförelse med jungfruliga beläggningar. Emellertid hävdar Oliveira, *et al.* (2013) att utmattningsresistensen kan ökas genom användning av föryngringsmedel, men följdproblemen som kan uppstå vid användning av föryngringsmedel eller andra tillsatsmedel är bland annat spårbildning och blödning. Oliveira, *et al.* beskriver att spårbildning uppstår vid användning av föryngringsmedel på ett felaktigt sätt, till exempel genom blandning vid fel temperatur, medan blödning kan uppkomma vid överdosering av föryngringsmedel. Med blödning menar de att bindemedel ansamlas på vägytan på grund av olämplig sammansättning av beläggningsmassan.

5.5 Tjårhaltig asfaltmassa

Stenkolstjära, vägtjära eller enbart tjära, är en biprodukt som erhölls vid framställning av gas och koks ur stenkolk genom destruktiv destillation vid höga temperaturer (Westergren, 2004). Stenkolstjäran innehåller en stor ämnesgrupp, polycykliska aromatiska kolväten (PAH), och i den finns ett antal organiska föreningar, till exempel bensenringar, som är klassificerade som hälso- och miljöfarliga (Moritz, 2015). Enligt *U.S. Geological Survey* (USGS, 2020) används stenkolstjära, ren eller utblandad med bitumen, som bindemedel och vidhäftningsmedel vid tillverkning av flexibla beläggningar. Bindemedel av denna typ har visat sig innehålla upp till 100 000 gånger högre halter av PAH än vanligt bitumen (Andersson & Ekström, 2018). Tjäran kännetecknas på sin karakteristiska lukt som framträder tydligare vid högre temperatur, dock finns det inte några kända hälsorisker förknippade med den kalla hanteringen av asfaltbeläggningar med innehåll av stenkolstjära (Vägverket, 2005). Emellertid anser Westergren (2004) att utlakningsstudier visar att det finns anledning till en reglerad hantering när den påträffas i hög halt.

Stenkolstjära användes fram till och med början av 1970-talet till bituminösa beläggningar på svenska vägar, sedan dess har produkten slutat användas i Sverige efter ett frivilligt beslut från den svenska asfaltbranschen på grund av cancerrisken (Vägverket, 2005). En hel del av de bituminösa beläggningarna som är asfalterade före 1970-talet finns kvar idag, vilket

innebär att stenkoltjärta fortfarande kan hittas ned i asfaltkonstruktionen (Westergren, 2004). Asfaltbeläggning innehållande stenkoltjärta är klassad som farligt avfall i Sverige enligt avfallsförordningen (SFS 2020:614) och därmed får den inte återvinnas som en vanlig asfaltmassa. Moritz (2015) skriver att återvinning av vägtjärta får endast ske om det inte medför någon miljöpåverkan på omgivningen, så som luftutsläpp av PAH, annars får massan deponeras.

Moritz (2015) lyfter fram att tjärhaltiga asfaltmassor inte bör förväxlas med vanliga asfaltmassor även om de till det yttre ser likadana ut. Vidare påpekar Mortiz att det är svårt att skilja på asfalt och tjärasfalt okulärt. Därför krävs det provning i laboratorium eller UV-lampa med vit sprayfärg baserad på lösningsmedel för identifikation av tjärasfalt. Det är dock materialets föroreningsgrad, halten av olika cancerogena och giftiga ämnen, som avgör om asfaltbeläggningen får återvinnas eller inte och i så fall hur den kan återvinnas samt hur den får eventuellt mellanlagras (Lindgren, 2004).

Trots att stenkoltjärta innehåller höga halter av de giftiga föreningarna, PAH, används det fortfarande i vissa länder så som USA. Det främsta användningsområdet för stenkoltjärta i USA är som tätningsmedel för att skydda och förbättra utseendet på befintliga asfaltbeläggningar och andra asfalterade ytor. Sedan 2006 har några delstater i USA, så som *Texas*, börjat förbjuda försäljning eller användning av stenkoltjärta eftersom det visade sig att stenkoltjärta kan ta sig in i miljön genom att slitagepartiklar av de stenkoltjärabaserade tätskikten transporteras med avrinnande regnvatten, dagvatten eller vind för att hamna till slut i sjöar och hav (*The U.S. Geological Survey (USGS), 2020*), se Figur 5-2.



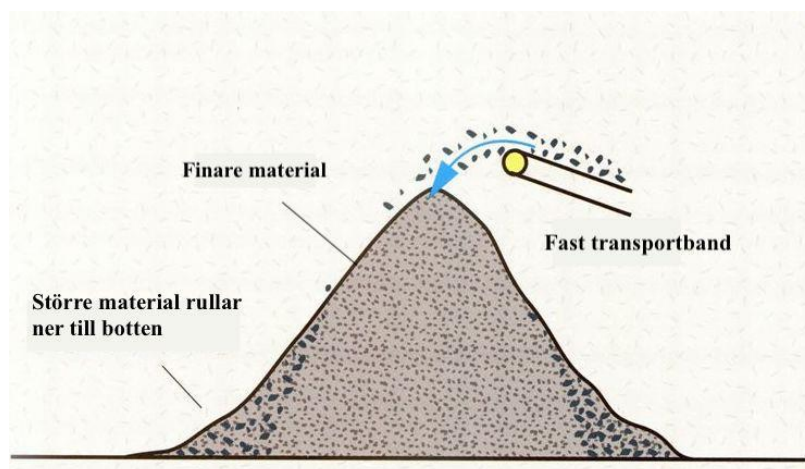
Figur 5-2. Illustrationsskiss som visar hur stenkoltjärta kan ta sig in i miljön (USGS, 2020). Översatt från engelska. Copyright (2020) med tillstånd från Geological Survey. Där: spårning (Tracking), vind (Wind), avrinning (Run-off), nötning (Abrasion).

6 Förbättringsmöjligheter i återvinningsprocess

Mellanlagringen och bearbetningen av returmassorna innan de används för tillverkning av nya beläggningar är två viktiga moment i återvinningsprocessen. Utföranden av dessa moment har en stor betydelse i fortsättningen av processen (Sabita, 2019). Vid dessa moment avgörs vad som är möjligt att göra av de borttagna asfaltmassorna och vad som ska göras vidare för att åstadkomma ett önskat slutresultat (Westergren, 2004). Enligt West, et al. (2013) finns det dock några problem som är relaterade till dessa delprocesser och som bör beaktas. Problemen kan förebyggas och/eller begränsas genom att vidta några lämpliga åtgärder, vilka beskrivs närmare i följande avsnitt.

6.1 Mellanlagring

Mellanlagringen avser att öka återvinningsproduktiviteten, där materialen genomgår flera steg när det anländer till ett mellanlager i avvaktan på vidare bearbetning (Westergren, 2004). Copeland (2011) förklarar att det finns några problem, så som segregering, konsolidering och högt fukttinnehåll, som brukar uppstå vid mellanlagring och bör beaktas vid utförandet av denna delprocess. Segregering är ett problem som tillkommer när lagringsarbete genomförs med hjälp av ett fast transportband (West, et al., 2013). De förklarar att större stenmaterial är tyngre och har relativt större kinetisk energi än finare stenmaterial vilket medför att de stora stenar rullar ner mot botten av en asfaltshög och därmed når längre avstånd än finare material, se Figur 6-1. På detta sätt uppstår segregering i asfaltshögarna och får materialen ogynnsamma sammansättningar. Det vill säga grova stenmaterial med lägre bitumeninnehåll segregeras från finare stenmaterial med högre bitumeninnehåll (West, 2015).

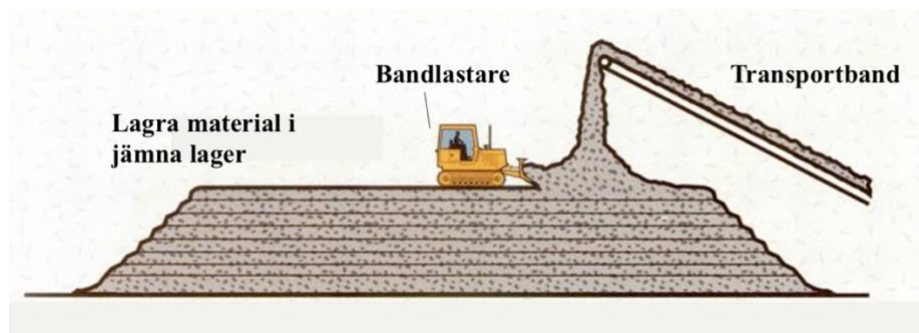


Figur 6-1. En illustration bild av materialsegregation (Gregory, 2014). Översatt från engelska.

Vidare föreslår West att segregeringen kan undvikas genom att använda indexerat transportband som förlänger och höjer transportörens ände efter behovet, se Figur 6-2. En annan lösning är att lagra materialen i bågformade högar, där högarna med hjälp av en bandlastare kan få jämna lager av välblandade material (Copeland, 2011), se Figur 6-3.



Figur 6-2. Ett indexerat transportband (Superior, 2021) Copyright (2021) med tillstånd från Superior Industries, Inc.



Figur 6-3. En illustration bild av lagring av material i jämna lager med hjälp av bandlastare (Gregory, 2014). Översatt från engelska.

Att förvara och lagra borttagna asfaltmaterial, före och efter bearbetning, i separata högar som är indelade i kvalitet och ursprung och att undvika blandning med andra inslag möjliggör att högre RA-halter kan användas vid tillverkning av nya asfaltmassor (Copeland, 2011). Returasfaltmassorna som består av mycket varierande fraktionsstorlekar, och som kommer från olika källor, måste lagras i separata högar och det är nödvändigt att massorna blandas ihop innan vidare användning (Kandhal & Mallick, 1997). Willis, et al. (2012) konstaterar att det fortfarande finns en stor potential för de blandade massorna som ursprungligen kommer från olika källor. Vidare menar de att dessa material oftast har en mer konsekvent gradering än jungfruliga material.

Lee, et al. (2015) anser att det kan vara opraktiskt att lagra RA i separata högar beroende på ursprung med tanke på att asfaltverket oftast har en begränsad upplagsyta och detta kommer

innebära att större ytor behövs för processutrustningar, kompletteringsmaterial och transport inom området. Samtidigt brukar RA-mängden som tillkommer från ett enda projekt vara tillräckligt liten för att kunna hantera det separat. Detta betyder svårigheter i logistik och lagring samtidigt som förvarat material kan påverkas negativt av vind och väder som kan innebära högre fukthalt i material (West, 2015). Däremot upplyser Zaumanis *et al.* (2014b) i sin rapport om en alternativ lösning för att undvika dessa potentiella svårigheter när det gäller brist i upplagsyta. De skriver att i Birmensdorf, Schweiz, förvarar asfaltverket tillkommande RA i förvaringsbunkar som är byggda under mark. På så sätt har asfaltverket bland annat utökat sin förvarningskapacitet samt skyddat RA från väderpåverkan.

Fukttinnehållet i massan är en nyckelparameter som påverkar både produktionshastigheten och resursåtgången (West, 2015), se kapitel 5.1. Ett lågt och homogent fukttinnehåll i massan medför en fördel vid tillverkningsprocessen (Westergren, 2004), eftersom mindre energi krävs för att torka materialen (Moritz, 2015). Westergren påstår att fukttinnehållet dock påverkas av en rad olika faktorer, till exempel vattenkvoten i asfaltgranulaten. Asfaltgranulaten har en tendens att bevara vatten mellan partiklarna (Zaumanis & Mallick, 2015).

I Japan utförs mellanlagring och bearbetning inomhus i inneslutna stora anläggningar (West & Copeland, 2015). Detta möjliggör en minskad spridning av det flyktiga dammet som uppstår vid asfaltsmasshantering, till exempel krossning, och medför en minskad påverkan av en varierad väderlek. Metoden har också visat sin effektivitet där fukthalten i den japanska returafalten brukar vara cirka 1,5-2% även före uppvärmning.

Det finns flera andra enkla lösningar för att hindra fuktackumulering i asfaltgranulat, till exempel att lagra materialen under ett tak, se Figur 6-4 och 6-5, eller att övertäcka materialen med en presenning (Copeland, 2011). Copeland menar att dessa åtgärder avser att skydda materialen från nederbörd.

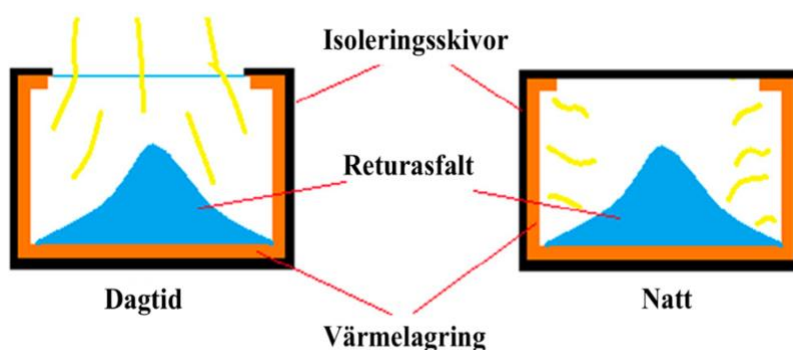


Figur 6-4. Mellanlagring av returafalt i en stor anläggning i asfaltverket, Dalby (egen bild).



Figur 6-5. Mellanlagring av returafalt delvis under tak i separata högar (Brian, 2014).

En annan metod som används i Kroatien för att reducera fukthalten i asfaltgranulat är att lagra materialen i ett solenergilager (Androjić & Gordana, 2016). De uttrycker att solenergilagrets primära syfte är att uppnå, under exponeringsperioden, en större värmeenergiackumulering från solstrålning. Ett solenergilager har vanligtvis en konstant volymkapacitet, där väggarna är värmeisolerade med 2, 5 eller 10 cm tjocka isoleringsskivor och taket består av glas som möjliggör att solstrålning kan nå till lagrade material, se Figur 6-6. Fördelarna som kan uppnås med ett solenergilager är att fukthalten blir lägre och asfaltgranulat förvärms något.

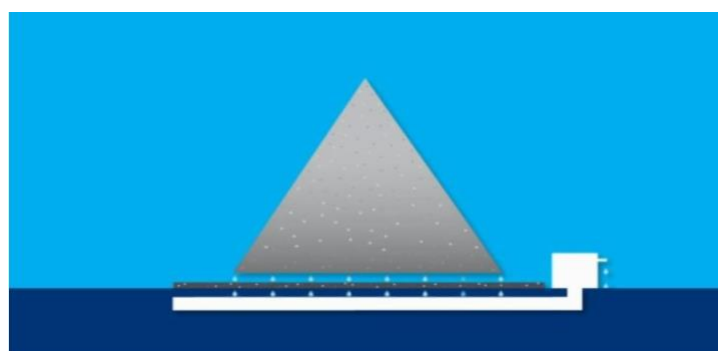


Figur 6-6. Schematisk skiss av ett solenergilager (Androjić & Gordana, 2016). Översatt från engelska. Copyright (2016) med tillstånd från Elsevier.

West (2015) anser att ett konformat upplag ska också medföra att den största delen av nederbörd avleds längs yttersta skorpan, som bildas naturligt på de ytliga 20-25 cm av lagren, ner till marken. Det får inte glömmas att ett konformat upplag kan vara porös, därför är det också nödvändigt att upplaget byggs på ett lämpligt underlag som är fast och lutande, se Figur 6-7 eller på en dränerad asfalterad yta med en vattenpump under (West, 2008; Copeland, 2011), se Figur 6-8. Båda förslagen ska möjliggöra att vattnet avrinner vidare och förhindra uppkomsten av föroreningar från underliggande mark vid lastning (Gillespie, 2012).



Figur 6-7. Ett konformat upplag på ett lutande underlag (Carbon-Trust, 2009).



Figur 6-8. Ett konformat upplag på en dränerad asfalterad yta och en vattenpump (Carbon-Trust, 2009).

På samma sätt som jungfruliga material lagras, är det rekommenderat att materialen efter krossnings- och siktningsarbete inte lagras i högar högre än nio meter och att endast lätta lastare ska användas vid lagringsarbete för att undvika materialkonsolidering på grund av egentyngd (West, 2015). Copeland (2011) påpekar, ur en geometrisk synpunkt, att högarna måste byggas i olika lager där konformade och små lutande högar är att föredra framför stora höga högar.

Alla dessa ovannämnda åtgärder rekommenderas också av flera nationella riktlinjer, så som de i Sydafrika, Japan och USA, för hantering av returafalt (AAPA, 2018; Sabita, 2019; West & Copeland, 2015).

6.2 Bearbetning

Bearbetningsprocessen avser att resultera i enhetliga och konsekventa massor för en ökad användning av returafalt. Processen kan bestå av ett eller flera moment beroende på materialets beskaffenhet och tänkta användningsområde (West, 2015). Vanligen inleds bearbetningsprocessen med en kvalitetskontroll där materialen grovsorteras i enlighet med kvalitetskriterier och förekomsten av föroreningar undersöks (Copeland, 2011). Föroreningar kan innefatta växtmaterial, byggavfall eller andra skadliga material så som gummirester från bildäck och tätningemedel. Förekomsten av föroreningar är ett problem som inträffar främst när returmassor från olika källor blandas ihop och mellanlagras i en och samma hög (AAPA, 2018; Sabita, 2019). West, *et al.* (2013) anser att problemet beror på att materialen inte övervakas ordentligt vid mottagning och mellanlagring.

Det är angeläget att säkerställa att returafalten är fullständigt fria från föroreningarna. Oavsett hur returafalten kommer att lagras eller bearbetas under senare skede av processen, kan problemet undvikas genom att massorna noggrant kontrolleras och testas vid mottagning och innan de mellanlagras i högar (West, *et al.*, 2013). De hävdar att en provtagningsfrekvens på 10 per 1000 ton kommer att ge tillräcklig information för att kunna upptäcka uppkomsten av någon form av föroreningar. Men provtagningen är också ett viktigt förfarande för att kunna karakterisera returmassorna. Det innebär att ett antal prov på material samlas in från olika slumpmässiga positioner runtom upplaget (Newcomb, *et al.*, 2007). Proven ska användas för att bestämma materialets sammansättning och egenskaper så som korngradering, flisighetsindex, åldrade bindemedelsinnehåll och fukthinnehåll (Lee, *et al.*, 2015). Provtagningen bör genomföras på ett frekvent och omfattande sätt, före och efter bearbetning, där proverna tas på samtliga massor som ska användas i produktionen (AAPA, 2018; Copeland, 2011). Krav på provtagningen kan dock variera beroende på materialkälla (Newcomb, *et al.*, 2007). Enligt den europeiska standarden, EN 13108–8, bör provfrekvensen anpassas efter RA-inblandningsgrad dock minst 5 prov per 1000 ton (*European Committee for Standardization* (CEN), 2016). FHWA och NAPA i USA är överens om att minst 10 prov per 1000 ton måste genomföras för att få tillräcklig information kring materialets sammansättning.

Därefter påbörjas krossnings- och siktningsprocessen som medför en väsentlig homogenisering av returafaltmassan (Copeland, 2011). I den delen av återvinningsprocessen kan konsistensen på materialen som kommer från olika källor modifieras innan att de återvinnas (West, 2015). Materialen bör dock sönderdelas i mindre partiklar av liknande storlek, vanligen mindre än 25 mm, för att få en mer gynnsam kornform och korngradering (Brock & Richmond, 2006). Moritz (2015) lyfter fram att asfaltgranulat kommer att få en bättre homogen sammansättning om en väl genomförd omblandning av massorna sker vid borttagningen från vägen, in- och utlastning i upplagen, mellanlagring och framför allt vid krossning och siktnings. En ökad användning av returafalt kräver en lämplig korngradering som möjliggör att få mer kontroll över massans sammansättning och därmed säkerställer en bättre kvalitet på slutprodukten (Zaumanis & Mallick, 2015).

Copeland (2011) hävdar att asfaltmassor som kommer från en spårbar källa ibland kan användas utan ytterligare krossning eller malning om de fräses på ett korrekt sätt. Vidare förklarar han att i detta fall, om fraktionernas storlek uppfyller de uppställda kraven på massa och beläggning, bör materialet lagras i en separat bågformad hög med flera lager, se kapitel 6.1. Enligt Copeland (2011) medför en bågformad hög med flera lager en minskad risk för segregering och vattensamling. Därefter ska provtagningar och tester genomföras för att kunna fastställa fraktionernas egenskaper och homogenitet (West, 2015).

Utöver dessa ovannämnda åtgärder konstateras det i Japan att deras framgång med användning av höga RA-halter, 40-50 vikt-%, vid tillverkning av nya asfaltbeläggningar beror främst på de följande tre faktorerna (West & Copeland, 2015):

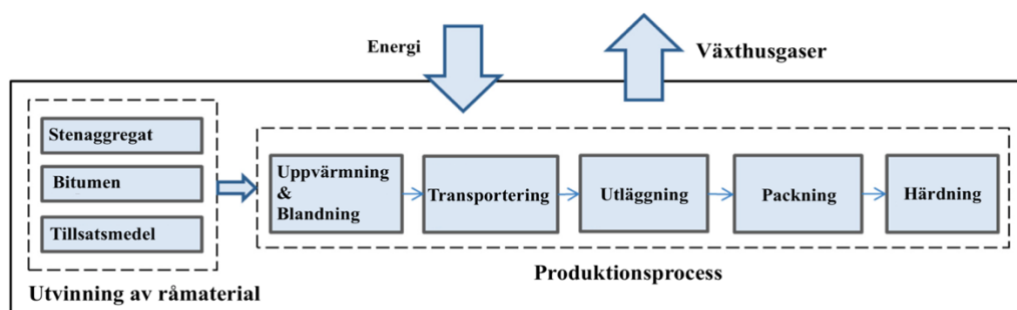
1. I Japan ligger mycket fokus på kvalitet, bearbetning och täckning av returafaltmassorna under hela återvinningsprocessen.
2. Uppvärmning av RA i en separat trumma enligt parallelltrummetoden för att driva ut fukt och mjuka upp åldrade bitumen i RA.
3. Användning av föryngringsmedel av en högre kvalitet för att kompensera RA för de försämrade egenskaperna, så som ökad styvhet.

7 Klimat, miljö och ekonomi

Asfaltsåtervinning har stora fördelar ur klimat-, miljömässiga och ekonomiska perspektiv. Användning av RA vid tillverkning av nya asfaltbeläggningar är viktigt för att bevara de icke förnybara resurserna, så som fossil olja, och reducera utvinningen av naturgrus som spelar en viktig roll i lagring och filtrering av grundvatten (Vidal, *et al.* 2013; Thives & Ghisi, 2017). Att ekonomi och miljö har en viktig roll beror på att samhällets resurser är begränsade och därmed kommer återvinningen medföra en minskad tillverkningskostnad (Williams, *et al.*, 2020).

En betydande miljöaspekt inom asfaltbeläggningssektorn är den omfattande användningen av råmaterialen och dess utvinningsprocess samt transporter av dessa materielmängder (Liu, *et al.*, 2017). De lyfter fram att utvinning av naturgrus har negativ påverkan på miljön. Vidare menar Liu, *et al.* att utvinningsprocessen genererar normalt utsläpp i form av buller, vibrationer, damm och partiklar från bland annat stenbrytning, maskiner och arbetsfordon. Utöver det påpekar Liu, *et al.* att utvinning av naturgrus också kan leda till grundvattensänkning i omgivande brunnar eller att vatten och mark i området blir förorenade av till exempel oljespill från maskiner eller andra föroreningsämnen från till exempel bergsprängningsarbete. Liu, *et al.* anser att detta innebär ingrepp i naturen, vilket påverkar människor, djur och växter i hela området och därmed bör begränsas.

Asfaltbeläggningssektorn har också sitt eget växthusgasavtryck (Vidal, *et al.*, 2013). För att kunna begripa de klimatmässiga besparingarna som åstadkoms genom asfaltsåtervinning krävs det en kartläggning av de potentiella klimatbelastningar som orsakas av en asfaltbeläggning under dess livslängd, till exempel det totala utsläppet av växthusgaser och energiförbrukning under produktionsprocess (Liu, *et al.*, 2017), se Figur 7-1. En fallstudie från Kina indikerar att under produktionsprocessen av asfaltbeläggningar släpps stora mängder av växthusgaser ut så som koldioxid (CO_2), metan (CH_4) och lustgas (N_2O) som huvudsakligen kommer från uppvärmningsfasen (Ma, *et al.*, 2016). De anmärker dock att det finns också andra källor för växthusgaserna, bland annat utvinning av råvaror (stenaggregat och bitumen), blandning, transporter, arbetsmaskiner och utläggning av asfaltmassor, se Tabell 7-1. Trafikverkets statistik (2020b) visar att totalt ligger mängden koldioxidutsläpp per utlagt ton jungfrulig asfaltmassa inklusive de momenten som framgår i Figur 7-1 på cirka 52 kg CO_2e per ton.



Figur 7-1. Klimatbelastningar som orsakas av en asfaltbeläggning under produktionsfasen. Inspirerad av (Ma, *et al.*, 2016).

Tabell 7-1. Växthusgasutsläpp under produktionsprocess av asfaltbeläggning (Ma, et al., 2016)

Produktionsfas	Växthusgasutsläpp
	[%]
Utvinning av råmaterial	43,2
Uppvärmning & blandning	54
Transportering	1,3
Utläggning	0,9
Packning	0,6

Utvinningen av stenaggregat omfattar bergsprängning, stembrytning, krossning, siktning och transportering av materialen till och från produktionsverk, medan bitumenutvinning omfattar raffinering av råolja och transportering (Ma, et al., 2016). De nämner att inom asfaltverken vanligen förbrukas fossila bränsle för torknings- och uppvärmningsfasen. Vidare tillägger Ma, et al. att det också används stora och energikrävande arbetsmaskiner som hjullastare, truckar och olika typer av andra maskiner med hög motoreffekt inom asfaltverken, vilket avsevärt påverkar klimatet genom utsläppen. Ju mer energikrävande processen är desto mer bränslen förbrukas och mer koldioxid släpps ut (Liu, et al., 2017). Därmed anser Ma, et al (2016) att användning av RA i tillverkning av nya asfaltbeläggningar är fördelaktigt ur klimatperspektiv eftersom det möjliggör minskade utsläpp av koldioxidekvivalenter som frigörs under utvinning av råmaterial.

Däremot påpekar Thives & Ghisi (2017) att inblandning av asfaltgranulat vid omgivningstemperatur kan innebära mer bränsleförbrukning under uppvärmnings- och blandningsfasen jämfört med motsvarande fas vid tillverkning med jungfruliga material. Oavsett vilken inblandningsteknik som används vid varm återvinning i verk krävs det att jungfruliga material överhettas. Vidare menar Thives och Ghisi att även om granulaten uppvärms i en separat torktrumma innebär detta mer bränsleförbrukning eftersom materialet inte kommer att värmas upp tillräckligt och jungfruliga material fortfarande bör överhettas måttligt. En fallstudie från Storbritannien indikerar att energiförbrukning vid varm återvinning i verk är väsentligt relaterad till överhettningstemperatur (Liu, et al., 2017). Överhettningstemperaturen varierar dock beroende på bland annat fuktinnehållet i material och RA-inblandningshalt.

Utifrån den teoretiska energimängden som överförs till materialen kan koldioxidutsläppen av en specifik återvinningsteknik utvärderas med hjälp av omvandlingsfaktorer, ju mer energikrävande tekniken är desto mer bränsle förbränns och desto mer koldioxid släpps ut (Liu, et al., 2017). En omvandlingsfaktor avser att räkna koldioxidutsläppen som kommer vid användning av en specifik energikälla, till exempel eldningsolja som används för uppvärmning. Detta görs genom att omvandla en tidigare konstaterad energiförbrukning för uppvärmning till kg/CO_2 . Resultaten från den brittiska fallstudien visar att trots att högre RA-inblandningshalter kräver högre överhettningstemperaturer och därmed mer bränsleförbrukning som i sin roll innebär mer koldioxidutsläppen, kan detta kompenseras via besparingarna som åstadkommas genom att undvika råmaterialutvinning (Liu, et al., 2017).

Enligt en studie av Zaumanis, et al. (2014) medför användning av 100 vikt-% RA en minskning av koldioxidutsläpp med 35% och energiförbrukning med 20%. De anser att en sådan minskning av klimatpåverkan ska uppmuntra berörda myndigheter att tillämpa ett nytt certifieringssystem för klimatomåttligt hållbara vägbyggnadsmetoder. Studien tar dock inte

hänsyn till utsläppet under borttagningsfasen, eftersom denna fas är en integrerad del av beläggningsarbetet och ska göras oavsett vilken tillverkningsprocess ska användas för den nya beläggningsen.

För att åstadkomma en helhetsbild av hur stor den totala klimatpåverkan är under en asfaltbeläggnings livscykel, med och utan användning av RA, har Vidal, et al. (2013) utvecklat ett livscykelanalysbaserat verktyg (LCA-verktyg). Vidal, et al. förklarar att asfaltbeläggnings livscykel börjar vid råvaruutvinning, via tillverkningsprocesser och användning till återanvändning, återvinning eller deponering, inklusive alla transporter och all energiåtgång i mellanleden. Vidal, et al. jämför och utvärderar alternativa asfaltbeläggningar som är baserade på samma metodval, har samma omfattning och samma datakvalitet i LCA-verktyget, men med olika RA-inblandningshalter. Resultaten visar de fördelaktiga effekterna av användning av RA på klimatet. Jämförelsen visar att användning av 15% RA medför minskning av klimatpåverkan, genom växthusgasutsläppen, med cirka 13%, utarmning av fossila resurser med cirka 13,5% och det kumulativa energibehovet med cirka 14% (Vidal, et al., 2013).

Utöver de klimat- och miljömässiga fördelarna medför användning av RA reducerade kostnader som är relaterade till råvaror. Enligt Williams, et al. (2020) har aktörerna inom beläggningssektorn i USA sparat totalt cirka 3,3 miljarder \$-US under ett år, för byggsäsongen 2019, tack vare användning av RA i stället för jungfruliga material i 48 delstater, ett territorium och *District of Columbia (D.C.)*. Denna substitution har medfört en besparing av cirka 4,5 miljoner ton av asfaltbindemedel och mer än 84 miljoner ton jungfruliga stenaggregat. Williams, et al. tillägger att under samma år, för byggsäsongen 2019, deponerades en låg andel, cirka 0,013 %, av de borttagna asfaltmassorna som var deklarerade i USA. Det betyder att genom återvinning av RA besparades cirka 58,9 miljoner kubikmeter deponiutrymme och mer än 5,3 miljarder \$-US i deponeringsavgift. Statistiken är baserade på genomsnittliga priser på jungfruliga material för år 2019.

Zaumanis & Mallick (2015) anser att bland alla de ekonomiska fördelarna som uppnås med asfaltåtervinning är besparingen i bitumen den viktigaste ur både ekonomisk och klimatmässigt perspektiv. Enligt Liu, et al. (2017) beror valet av bitumen mycket på den ekonomiska faktorn. Vidare menar Liu, et al. att i och med att bitumen utgörs av råolja kommer de internationella konflikterna och kriserna, oavsett om de är relaterade till råolja eller inte, att påverka bitumenpriser och -tillgänglighet signifikant. Till exempel, under lågkonjunkturen i början av 2008 steg bitumenpriset med cirka 85% till följd av den globala finanskrisen som började i USA. Illett (2011) uppskattar att med nuvarande takt av oljeförbrukning i världen kommer de största oljereserverna i världen, så som Kanada och USA, att räcka drygt fram till 2060-talet. Dessutom kommer bitumenpåverkan på miljön och klimatet också öka i takt med att utvecklingsländer ökar sin oljekonsumtion i stället för att försöka omställa sig till mer förnybara energikällor.

Emellertid måste dessa besparingar kvantifieras mot kostnader relaterade till bearbetning och provning av returafalten samt kostnader för eventuell användning av föryngringsmedel (Chiu, et al., 2007). Vidare tillägger de att användning av höga eller mycket höga RA-inblandningshalter kräver investeringar för att modifiera produktionsteknik i verk, vilka också bör beaktas. Zaumanis, et al. (2014) anser att modifieringskostnader dock varierar i synnerhet beroende på den valda tekniken och utrustningstillgänglighet.

8 Diskussion

8.1 Diskussion

Utifrån litteraturstudien kan det konstateras att användning av jungfruliga material, så som naturgrus, krossat berg och bitumen, är inte hållbart eftersom de är ändliga resurser. Utöver det anses att utvinning av dessa material inte är i linje med Sveriges miljömål eftersom det inte uppfyller etappmålen om att öka resurshushållningen i byggsektorn, vilket ska uppnås genom att öka återanvändning och återvinning. Att effektivisera resursanvändningen och se till att avfall värderas som en resurs kan bidra till att minska landets beroende av råvaruimport och främja övergången till en mer hållbar materialhantering. Utifrån litteraturstudien konstateras också att återvinning av asfalt är i linje med Sveriges miljömål och den hållbara utvecklingen i sina tre dimensioner, den ekonomiska, miljömässiga och sociala. Ett återvinningsprojekt har potential på maximeringen av samhällsnyttan. Därför är social hållbarhet en viktig del i asfaltsåtervinning.

Det finns fortfarande en tydlig kunskapslucka om de tekniska framstegen som hindrar berörda aktörer från en högre användning av RA när det är möjligt. RA är ett värdefullt material som kan ersätta jungfruliga stenaggregat och bitumen. Den maximala nyttan uppnås vid återvinning av RA till sin ursprungliga kvalitet. Att återanvända RA, som har ett högt bitumeninnehåll, till obundna lager anses vara ett mindre bra val i jämförelse med återvinning till bundna lager sett ur ett ekonomiskt perspektiv. Detta då ett högt ekonomiskt värde ligger i bitumen som styrs av världsmarknadspriset på olja.

Bygg- och anläggningsbranschen står inför stora utmaningar. Att ställa om till fossilfrihet och bidra till hållbar utveckling är några av dessa utmaningar som vägsektorns aktörer måste hitta nya lösningar för. Det kräver ny kunskap, innovativa lösningar och fördjupad samverkan mellan aktörerna i bygg- och anläggningsbranschen. För att minska energiförbrukningen och växthusgasutsläppet vid asfaltstillverkningsprocessen måste man, i första hand, försöka effektivisera uppvärmnings- och blandningsfasen. Dessa faser står för den största delen av det totala växthusgasutsläppet vid asfaltsproduktion, cirka 54%. Effektivisering avser att använda energibesparande maskiner och utrustning för att utföra arbetet. Genom återvinning av asfalt finns en stor potential för att spara på naturresurser. Det får inte glömmas att utvinning av naturresurser också står för cirka 44% av det totala växthusgasutsläppet vid asfaltsproduktion.

För att kunna öka återvinningsgraden krävs det mer engagemang och kunskap hos entreprenör, konsulter och beställare kring återvinningsprocessen. Även om de flesta varma återvinningsteknikerna tillåter en högre användning av RA och medför en minskad tillverkningskostnad jämfört med konventionell asfaltstillverkning, kan överhettning av jungfruliga stenmaterial medföra att bitumen förlorar sina unika egenskaper, detta gäller både nya och åldrade bitumen. Till följd av det kommer asfaltmassan att ha en lägre prestanda jämfört med en konventionell asfaltbeläggning. Överhettningstemperatur beror på tre olika faktorer: fukthalten i asfaltgranulat, kravet på massans sluttemperatur och

inblandningshalten. Till exempel, om inblandningshalten är på 20 vikt-%, fukthalten är 1% och massans sluttemperatur bör vara 127°C, måste jungfruliga stenmaterial överhettas till 177°C för att få rätt sluttemperatur på massan (Liu, et al., 2017). Enligt dem, om fukthalten hade varit 4%, under samma förutsättningar, måste jungfruliga stenmaterial överhettas till cirka 200°C i stället. På samma sätt, om de andra parametrarna förändras kommer överhettningstemperatur också förändras. En alltför hög temperatur vid överhettning medför försämring av bitumenegenskaper, så som vidhäftningsförmåga, vilket leder till att vatten förmår att tränga undan bitumen från stenmaterial.

Utveckling av vägsektorn och återvinning av RA drivs främst av den ekonomiska faktorn, det vill säga av kostnaderna för jungfruliga material och transporter. Bestämning av inblandningshalt av RA beror bland annat på de ekonomiska överväganden som görs av entreprenören, tillgång till högkvalitativa material och produktionskapacitet. En brist på naturresurser innebär höga kostnader vid tillverkning av jungfruliga beläggningar, och RA är ett relativt billigt material. Detta kan förklara varför många länder i Europa och i resten av världen har kommit längre fram än Sverige i tekniken när det gäller asfaltsåtervinning. Det har blivit mer naturligt för dessa länder att ta tillvara på resurserna på ett bättre sätt. Ju mer RA som går att lägga in i massan desto lägre blir kostnaden på massan.

Det finns fortfarande oklarheter kring hur asfaltbeläggning som innehåller stenkolstjära bör behandlas eller återvinnas. Stenkolstjära är inte farlig så länge den ligger kvar nere i asfaltkonstruktion, men den klassas som farligt avfall när den grävs upp och transporteras till upplag. I Sverige brukar RA som transporteras till asfaltverk kontrolleras för uppkomst av stenkolstjära, eftersom asfaltverk inte får ta hand om tjärasfalt utan skickar den till deponi i stället. Detta kan betraktas som ett resursslöseri, eftersom det finns goda möjligheter att återvinna sådana massor men det krävs dock flera försiktighetsåtgärder för att minska risken för miljöpåverkan. Deponering av uppgrävda asfaltmassor som innehåller stenkolstjära bör inte anses som första åtgärd, utan de asfaltmassorna kan återvinnas på plats (in-situ) via en kall teknik utan att behöva transportera dem. Även för asfaltmassor som inte innehåller stenkolstjära ska återvinning prioriteras före deponering under förutsättning att återvinningen inte ökar föroreningsbelastningen på platsen enligt EU:s avfallshierarki.

Målet om ett nettoutsläpp av växthusgaser på noll år 2045 kan uppnås endast genom samverkan mellan entreprenörerna, konsulterna och myndigheterna, där de samverkande myndigheterna måste undersöka vilka hinder och möjligheter det finns för innovativa lösningar och förslå åtgärder för hur innovationer på området kan främjas. Idag saknas i stor utsträckning fastställda arbetssätt för att säkerställa att beslut som tas angående utbyggnad av en ny jungfrulig asfaltbeläggning tar hänsyn till klimat- och miljömässiga konsekvenser i jämförelse med återvinning av en befintlig asfaltbeläggning. Bygg- och anläggningssektorn bör öka den egna kompetensen i miljöfrågor, implementera egna klimatmål i verksamheten, ställa krav och premiera livscykelperspektiv och återvinning. Inom ramen för svenska miljöbalken finns det olika tolkningar mellan Trafikverket och Naturvårdsverket om återvinning av asfalt. Enligt miljöbalken klassas asfaltverk som miljöfarlig verksamhet och är anmälningspliktiga (14 kap. 17§ Andra mineraliska produkter).

Utifrån studiebesöket till Skanskas asfaltverk i Dalby konstateras att det inte är innovation som saknas idag och det är sällan förutsättningarna på asfaltverken som begränsar återvinningsgraden, utan den begränsas främst av ett konservativt och icke riskbenäget regelverk som styr denna verksamhet. Det finns många asfaltverk i Sverige som har en hög återvinningskapacitet, till exempel asfaltverket i Dalby, där kan användas upp till 100 vikt-% RA vid tillverkning av nya asfaltmassor. Asfaltverket i Dalby är ett satsblandningsverk där tillsättning av RA kan ske på olika sätt: kalldosering eller via en parallelltrumma. Den höga återvinningskapaciteten hos asfaltverket i Dalby utnyttjas dock inte på grund av kraven som ställs bland annat av Trafikverket.

När Trafikverket och kommuner beställer asfalt följer de Allmän material- och arbetsbeskrivning (AMA). I AMA får återvinningsgrad vara högst 20 vikt-% i slitlager, 30 vikt-% i bindlager och 40 vikt-% i bundet bärlager. Myndigheterna bör öppna upp reglerna för en högre användning av RA under förutsättning att entreprenörerna ska kunna garantera en hållbar beläggning som klarar av alla funktionella krav och den tilltänkta livslängden. Ju längre vägen håller, desto mindre underhåll och reparationer krävs vilket leder till ett mindre resursslöseri. Det vill säga att kvaliteten på beläggningen ska vara samma oavsett om RA används eller inte.

För att uppnå ekonomiskt, miljö- och klimatmässigt hållbara asfaltbeläggningar är tydligt ledarskap hos beslutfattare en nyckelfaktor. En hållbar asfaltbeläggning ska kunna definieras som ett nätverk av högkvalitativa och långvariga beläggningar vars konstruktion, utformning och förvaltning tar hänsyn till det miljömässiga bevarandet samt den sociala och ekonomiska utvecklingen i samhället.

8.2 Metoddiskussion

Världen försöker ställa om till ett mer hållbart samhälle, men i olika takt beroende på en mängd olika förutsättningar, egenskaper och svårigheter som finns idag. Dessa förutsättningar, egenskaper och svårigheter kan dock också variera så småningom beroende på omständigheter i varje enskilt land. Asfaltsåtervinning är ett aktuellt och brett ämne att utforska vilket gör det svårt att hitta information som utgår från samma villkor och förutsättningar.

Detta arbete är baserat på en omfattande litteraturstudie och det har funnits en stor mängd information och data om de tekniska, ekonomiska, klimat- och miljömässiga aspekterna, vilket har lett till en stor mängd av synpunkter kring ämnet och har försvårat möjligheterna att dra fasta slutsatser kring frågeställningar.

Den stora mängden av information har eventuellt lett till en något skev bild av asfaltsåtervinnings för- och nackdelar i de olika aspekterna. Det får dock inte glömmas att alla återvinningsmetoderna och förbättringsförslagen som har nämnts ovan också kan ha negativa konsekvenser utifrån de olika aspekterna, även om författarna i de olika källorna inte har tagit upp dem.

Författaren anser att han hade kunnat använda sig av färre källor för att undvika hantering av den gigantiska mängden av synpunkter kring ämnet och i stället hade han kunnat välja att gå djupare i få källor för att dra mer specifika slutsatser kring frågeställningarna.

9 Slutsatser

Arbetet kartlägger användning av returafalt vid tillverkning av nya asfaltbeläggningar. I detalj sammanfattar detta arbete de olika återvinningsmetoderna, ger en översikt över asfaltsåtervinning i olika länder runtom i världen, beskriver begränsningar för högre användning av returafalt, lyfter fram de olika förbättringsmöjligheterna och hur returafalten bör hanteras för att åstadkomma bästa resultat. Dessutom definierar detta arbete de klimat- och miljömässiga fördelarna med asfaltsåtervinning samt överväger de ekonomiska besparingar som är kopplade till återvinningsprocessen. Utifrån detta underlag avslutas arbetet med följande slutsatser som avser att besvara frågeställningarna i korthet:

1. Hur ser asfaltsåtervinningsprocesser ut i allmänhet?

Återvinning av asfaltbeläggningar är inte en komplicerad process i förhållande till den konventionella tillverkningsprocessen och det går bra att återvinna asfalt i ett vanligt asfaltverk utan behov av omfattande ombyggnationer. Asfaltbeläggningar kan återvinnas med hjälp av flera olika metoder, såväl på plats som i asfaltsverk och det kan ske varmt, halvvarmt eller kallt. Valet av återvinningsmetod beror huvudsakligen på krav som ställs på beläggningen som ska anläggas, där kraven varierar beroende på typ av väg, men en rad andra parametrar så som logistiken, behovet, omgivnings- och arbetsmiljö kan också påverka valet av återvinningsmetoden. De olika metoderna har både för- och nackdelar beroende på bland annat klimatzon, beräknad trafikmängd och tilltänkt livslängd.

2. I hur stor utsträckning återvinns asfalt idag runtom i världen?

Användningen av RA i höga halter vid tillverkning av högkvalitativa beläggningar har ökat i många länder, så som USA, Japan, Australien och Sydafrika. Utöver det har tillämpningen av 10–20 vikt-% RA numera blivit en industriell praxis i Europa och USA vid tillverkning av olika asfaltmassor. I Sverige får återvinningsgrad vara högst 20 vikt-% i slitlager, 30 vikt-% i bindlager och 40 vikt-% i bundet bärlager. Den genomsnittliga RA-inblandningshalten har varit i en ständig ökning i USA sedan 2009 och det låg på 21,1 vikt-% för år 2019, vilket är lägre än de genomsnittliga RA-inblandningshalter som används i Japan och Sydafrika, 47 vikt-% respektive 40 vikt-%. Däremot begränsar de flesta delstaterna i Australien och Nya Zeeland tillåtna RA-halter i nya asfaltbeläggningar till 15–20 vikt-%.

3. Vad begränsar användning av höga halter av returafalt vid tillverkning av högkvalitativa asfaltbeläggningar?

Användning av en godtycklig borttagningsmetod kan resultera i en dyrbar efterbehandling eller omöjliggöra en önskvärd återvinning. Uppfrästa asfaltmassor innehåller en hög andel finmaterial som begränsar möjligheterna att tillverka högkvalitativa vägbeläggningar eftersom kraven på en homogen korngradering för beläggningen inte kommer vara uppfylld. I RA kan det också förekomma oönskade partiklar eller komponenter från den tidigare användningen, till exempel vägmarkeringsmassa, spill, vägsalt eller slitagerester från däck och andra utsläpp från trafiken som gör att återvinning försvåras.

Överhettning av jungfruliga stenmaterial och exponering för lågor vid återvinning medför en extra förhårdning av både nytt och gammalt bindemedel. Förhårdningen kan orsaka nedbrytning av bitumensammansättning som leder till en dålig driftprestanda hos beläggning.

Höga återvinningshalter medför vanligen en ökad styvhet hos beläggningen; detta beror på åldrade bitumen i asfaltgranulat. En styvare beläggning är mindre motståndskraftig mot sprickbildning, vilket är en av de största anledningarna till att mycket höga RA-halter oftast inte får användas. Beläggningar som innehåller RA är mer känsliga för krackelering på grund av utmattning vilket innebär att återvunna beläggningar kräver ett mer frekvent underhåll och flera reparationer i jämförelse med jungfruliga beläggningar.

Asfaltbeläggning innehållande stenkolstjära är klassad som farligt avfall i många länder och därmed får RA som innehåller stenkolstjära inte återvinnas som en vanlig asfaltmassa.

4. Vilka förbättringsmöjligheter finns i asfaltsåtervinningsprocesser?

Mellanlagring

Ett indexerat transportband som förlänger och höjer transportörens ånde efter behovet bör användas för att motverka segregationen i material vilket i sin tur möjliggör en ökad inblandningshalt av RA.

Att förvara och lagra RA, före och efter bearbetning, i separata bågformade högar som är indelade i kvalitet och ursprung och att undvika blandning med andra inslag möjliggör att högre RA-halter kan användas vid tillverkning av nya asfaltmassor.

Vid brist i upplagsyta kan RA lagras i förvaringsbunkar som är byggda under mark. På så sätt kan asfaltverk bland annat utöka sin förvaringskapacitet samt skydda RA från väderpåverkan.

Ett lågt och homogent fuktinnehåll i RA medför stora fördelar vid tillverkningsprocessen. Att lagra RA under ett tak eller att övertäcka RA med en presenning hindrar fuktackumulering i materialet. En annan metod för att reducera fukthalten i RA är att lagra RA i ett solenergilager.

Upplag med RA bör byggas på ett fast och lutande underlag eller på en dränerad asfalterad yta med en vattenpump under. Båda förslagen avser att vattnet ska avrinna vidare och uppkomsten av föroreningar från underliggande mark ska förebyggas.

Bearbetning

Bearbetningsprocessen avser att resultera i enhetliga och konsekventa massor för en ökad användning av RA. RA bör noggrant kontrolleras och testas vid mottagning och innan det mellanlagras i högar, detta för att säkerställa att RA är fullständigt fri från föroreningarna. Provtagningsfrekvens på minst 10 prov per 1000 ton måste genomföras för att få tillräckliga information kring materialets sammansättning.

RA kommer att få en bättre homogen sammansättning om en väl genomförd omblandning av massorna sker vid borttagning från väg, in- och utlastning i upplag, mellanlagring och framför allt vid krossning och siktning.

5. Vilka klimatmässiga, miljömässiga och ekonomiska besparingar, avseende buller, partiklar, växthusgasutsläpp och material, kan åstadkommas med asfaltåtervinning?

Den övergripande miljöfördelen med användning av RA i jämförelse med användning av jungfruliga material är att det omfattande uttaget av ändliga resurser som stenmaterial och bitumen minskar, vilket också sänker utsläpp i form av buller, vibrationer, damm och partiklar från bland annat stembrytning, maskiner och arbetsfordon.

Återvinning av RA anses vara fördelaktigt ur klimatperspektiv eftersom det möjliggör ett minskat utsläpp av växthusgaser som frigörs under utvinning av råmaterial och som utgör cirka 43% av det totala växthusgasutsläppet som uppstår vid tillverkning av nya konventionella asfaltbeläggningar. Användning av 100 vikt-% RA skulle medföra en minskning av koldioxidutsläppen med 35% och energiförbrukning med 20%. Användning

av 15 vikt-% RA medför minskning av klimatpåverkan med cirka 13%, utarmning av fossila resurser med cirka 13,5% och det kumulativa energibehovet med cirka 14%.

Trots att högre inblandningshalter kräver högre överhettningstemperaturer och därmed mer bränsleförbrukning som kostar pengar, kan detta kompenseras till en stor del av besparingen av råmaterialkostnader. Bland alla de ekonomiska fördelarna som uppnås med asfaltåtervinning är besparingen i bitumen den viktigaste ur både ekonomiskt och klimatmässigt perspektiv.

9.1 Förslag på framtida studier

Detta examensarbete kartlägger användning av RA runtom i världen och besvarar en del frågor om återvinning av asfalt, men lyfter även fram ett antal kunskapsluckor inom ämnesområdet som kräver vidare utredning. Några förslag på framtida studier som författaren av detta arbete anser vara aktuella inom ämnesområdet tas fram här:

- I dagsläget är det inte möjligt att generellt beakta energiförbrukning eftersom det saknas uppgifter från entreprenörer. Uppgifter om energiförbrukning vid lagring, transport och utläggning av asfalt har stor betydelse vid valet av inblandningshalter och återvinningsmetod, så fortsatta studier kring det rekommenderas.
- En relativ stor belastning, cirka 20%, av Sveriges inhemska växthusgaser kommer från anläggnings- och byggbranschen (Miljömålsrådet, 2020). Vid asfaltstillverkning används vanligen fossila bränslen för torkning och uppvärmning av stenaggregat vilket ger upphov till stora utsläpp av växthusgaser. En undersökning kring möjligheter att kunna ställa om asfaltverks energisystem till förnybara energikällor är aktuellt att genomföra.
- Att utreda hur långtidseffekter och livslängd på återvunna asfaltbeläggningar som innehåller höga eller mycket höga halter av RA förändras och att undersöka möjligheter att återvinna dessa asfaltbeläggningar igen.
- Att undersöka hur beställaren skall upphandla i framtiden, när det gäller asfaltstillverkning, för att bygg- och anläggningsbranschen skall nå de tuffa klimatmålen.
- Arbetet lyfter fram många förbättringsåtgärder för att kunna öka användning av RA i återvinningsprocessen. Att göra en kostnadsanalys för dessa åtgärder borde vara användbart för vidare utveckling. Oftast menas här inte exakta kostnader, utan mer att jämföra olika alternativ ur ett ekonomiskt perspektiv.
- Förekomst av föroreningar i RA resulterar oftast i en dyrbar efterbehandling eller försvårar en önskvärd återvinning. Det anses vara intressant att utreda hur reningsprocess och provtagning av RA går till och hur dessa kan utvecklas, förbättras och effektiviseras i största möjliga mån.

10 Referenser

- AAPA (2018). *Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) Management Plan, Version: v1.0*. Brisbane: National Technology & Leadership Committee.
- Agardh, S. & Parhamifar, E. (2014). *Vägbyggnad*. Första upplagen (red.) (u.o.): Liber AB.
- Al-Qadi, I. L., Elseifi, M. & Carpenter, S. H. (2007). *Reclaimed Asphalt Pavement: A Literature Review, No. FHWA-ICT-07-001*. Urbana: Illinois Center for Transportation.
- Anderson, R. M. (2011). *MS-26 Asphalt Binder Handbook*. Första upplagen. Lexington: Asphalt Institute.
- Andersson, A. & Ekström, L. G. (2018). *Hälsa, säkerhet och miljö*. (Elektronisk)
Tillgänglig: <https://asfaltboken.se/halsa-sakerhet-och-miljo/> [Hämtad 8-11-2021].
- Androjić, I. & Gordana, K. (2016). Usage of solar aggregate stockpiles in the production of hot mix asphalt. *Applied Thermal Engineering*, 108 (2016): ss.131-193.
<https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.07.089>
- Aurangzeb, Q., L.Al-Qadi, I., Ozer, H. & Yang, R. (2014). Hybrid life cycle assessment for asphalt mixtures with high RAP content. *Resources, Conservation and Recycling*, 83 (2014): ss. 77-86.
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.12.004>
- Arull, O. & Olsson, G. (2015). *Bitumen, en återvinningsbar produkt: återvinning av åldrat bitumen med förnyngsmedel. Kandidatuppsats, Institutionen för Teknik och samhälle*. Lund: Lunds Tekniska Högskola Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg.
- Bonaquist, R. (2007). *Can I run more RAP?, Hot Mix Asphalt Technology*. Washington: National Asphalt Pavement Association (NAPA)
- Brian, K. (2014). *Scanning Tour of Japan*. Tokyo: Plantmix Asphalt Industry of Kentucky (PAIKY).
- Brock, J. D. & Richmond, J. L., 2006. *Milling And Recycling, Technical Paper T-127*. Chattanooga: ASTEC, Inc.
- Carbon-Trust, 2009. *Saving energy, saving costs Inside the industry: Aggregates*. London: Carbon Trust.
- CAT (2021). *Cold Planers*. (Elektronisk)
Tillgänglig: https://www.cat.com/en_US/campaigns/npi/coldplaners.html [Hämtad 2-11-2021].
- Chiu, C.-T., Hsu, T.-H. & Yang, W.-F. (2007). Life cycle assessment on using recycled materials for rehabilitating asphalt pavements. *Resources, Conservation and Recycling*, 52 (3): ss. 545-556.
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2007.07.001>
- Copeland, A. (2011). *Reclaimed Asphalt Pavement in Asphalt Mixtures: State of the Practice, Publication no. FHWA-HRT-11-021*. Washington: Federal Highway Administration (FHWA).
- Dehlin, S., Heikkilä, K., Olofsson, T., Schade, J., Racz, T. & Eriksson, P. (2011). *Effektiv projektering av lågenergihus*. Luleå: Cerbof.
- EAPA (2020). *Asphalt In Figures 2019*. Bryssel: European Asphalt Pavement Association.
- EAPA & NAPA (2011). *The Asphalt Paving Industry, A Global perspective*. Bryssel & Lanham: European Asphalt Pavement Association; National Asphalt Pavement Association.
- Eurobitume (2021). *Bitumen comes in many forms*. (Elektronisk)
Tillgänglig: <https://www.eurobitume.eu/feature-production/> [Hämtad 20-09-2021].
- European Committee for Standardization (CEN) (2016). *EN 13108-8: Bituminous mixtures - Material specifications - Part 8: Reclaimed asphalt*. Bryssel: European Committee for Standardization (CEN).
- Europeiska Unionen (2008). *Europaparlamentets och Rådets Direktiv 2008/98/EG. Om avfall och om upphävande av vissa direktiv*. Bryssel: Europeiska Unionens Officiella Tidning.
- Fahlström, S. (2020). *Tillsatsmedel*. (Elektronisk)
Tillgänglig: <https://asfaltboken.se/tillsatsmedel/> [Hämtad 15-11-2021].

- Gillespie, I. (2012). *Quantifying the energy used in an asphalt coating plant*, Strathclyde: Department of Mechanical and Aerospace Engineering.
- Superior Industries, Inc. (2021). *TeleStacker Conveyor: King Of The Stockpile*. (Elektronisk)
Tillgänglig: <https://superior-ind.com/products/conveying-equipment/stockpile-conveyors/telestacker-conveyor/> [Hämtad 03-12-2021].
- Granhage, L. (2009). *Kompendium i vägbyggnad*. 1:a upplagen (red.) Göteborg: CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA Institutionen för bygg- och miljöteknik.
- Gregory, S. (2014). *Segregation in asphalt pavement: identification, causes and prevention*. Pennsylvania: Pennsylvania Asphalt Pavement Association.
- Höbeda, P. & Bern, R. (2001). *Stenmaterial*. (Elektronisk)
Tillgänglig: <https://asfaltboken.se/stenmaterial/> [Hämtad 19-09-2021].
- Hjerpe, J. (2015). *Återvinning av asfalt – en fallstudie i Malmberget. Masteruppsats, CEC - Centrum för miljö- och klimatforskning*. Lund: Lunds Universitet.
- Ilett, D. (2011). *Greenbang, How much oil is left?*. (Elektronisk)
Tillgänglig: https://theglobalview.com/how-much-oil-is-left_16795.html [Hämtad 16-11-2021].
- Isacsson, U. (2000). *Drift och underhåll av vägar och gator*. Stockholm: Kungl Tekniska Högskolan, Institutionen för infrastruktur och samhällsplanering.
- Kandhal, P. S. & Mallick, R. B. (1997). *Pavement Recycling Guidelines for State and Local Governments*. Auburn: National Center For Asphalt Technology (FHWA).
- Karlsson, R. & Isacsson, U. (2006). Material-Related Aspects of Asphalt Recycling—State-of-the-Art. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 18 (1): ss. 81-92. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(2006\)18:1\(81\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(2006)18:1(81))
- Kaseer, F., Cucalon, L.G., Arámbula-Mercado, E., Martin, A.E. & Epps, J. (2020). *Practical tools for optimizing recycled materials content and recycling agent dosage for improved short and long-term performance and rejuvenated binder blends and mixtures*. Texas: Texas A&M University, College Station.
- Kling Ek, M. & Spjuth, S. (2019). *Avfallsförebyggande i energi- och klimatomställningen*. Linköping: Länsstyrelsen Östergötland.
- Leegwater, G., Komačka, J., Liu, G., Nielsen, E. & Remišova, E. (2016). *Technical performance and benefits of recycling of reclaimed asphalt containing polymer modified binder into premium surface layers*. Delft: Transport Research Arena.
- Lee, J., Denneman, E. & Choi, Y. (2015). *Maximising the Re-use of Reclaimed Asphalt Pavement Outcomes of Year Two: RAP Mix Design*. Sydney: Austroads Ltd..
- Lindgren, Å. (2004). *Hantering av tjärhaltiga beläggningar*. Borlänge: Vägverket.
- Liu, S., Shukla, A. & Nandra, T. (2017). Technological, environmental and economic aspects of Asphalt recycling for road construction. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75 (2017): ss. 879-893. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.10.080>
- Ma, F., Sha, A., Lin, R., Huang, Y. & Wang, C. (2016). *Greenhouse Gas Emissions from Asphalt Pavement Construction: A Case Study in China*. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13 (3): 351. <https://doi.org/10.3390/ijerph13030351>
- Mangum, M. (2006). *Asphalt Paving Sector. Health Effects of Occupational Exposure to Emissions*. Dresden: European Asphalt Pavement Association (EAPA).
- Miliutenko, S., Björklund, A. & Carlsson, A. (2013). Opportunities for environmentally improved asphalt recycling: the example of Sweden. *Journal of Cleaner Production*, 43 (2013): ss. 156-165. doi: 10.1016/j.jclepro.2012.12.040
- Miljömålsrådet (2020). *Miljömålsrådets gemensamma åtgärdslista, Årsrapport 2020*. Stockholm: Naturvårdverket.
- Mogawer, W., Bennert, T., Daniel, J., Bonaquist, R., Austerman, A. & Booshehrian, A. (2012). Performance characteristics of plant produced high RAP mixtures. *Roads Materials and Pavement Design*, 13(1) :ss. 183-208. <https://doi.org/10.1080/14680629.2012.657070>
- Moritz, L. (2015). *Gröna koncept inom asfaltbeläggningar Kunskapsöversikt*. Borlänge: Trafikverket.

- Naturvårdsverket (2021a). *Avfallshierarkin visar stegen vi behöver ta*. (Elektronisk)
Tillgänglig: <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/avfall/pagaende-arbeten/avfallshierarkin-visar-stegen-vi-behoover-ta> [Hämtad 8-11-2021].
- Naturvårdsverket (2021b). *Marknära ozon i urban och regional bakgrund (årsmedelvärden)*. (Elektronisk)
Tillgänglig: <https://www.naturvardsverket.se/data-och-statistik/luft/ozon--marknara-halter-i-luft-urban-och-regional-bakgrund-arsmedelvarden/> [Hämtad 4-12-2021].
- Newcomb, D. E., Brown, E. R. & Epps, J. A. (2007). *Designing HMA Mixtures with High RAP Content A Practical Guide, Quality Improvement Series 124*. Lanham: National Asphalt Pavement Association (NAPA).
- Nguyen, V. H. (2009). *Effects of laboratory mixing methods and RAP materials on performance of hot recycled asphalt Mixtures*. PhD thesis, University of Nottingham. Nottingham: The University of Nottingham.
- NVF (2000). *Asfaltens Gröna Bok*. Gävle: Nordiska Vägtekniska Förbundet.
- NVF (2012). *Grön asfalt - Återvinning*. Gävle: Broschyr från Nordiskt Vägforum.
- Oliveira, J. R., Jesus, C., Silva, H., Abreu, L. & Fernandes, S. (2013). Pushing the Asphalt Recycling Technology to the Limit. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 6 (2): ss. 109-116. [http://dx.doi.org/10.6135/ijprt.org.tw/2013.6\(2\).109](http://dx.doi.org/10.6135/ijprt.org.tw/2013.6(2).109)
- Olsson, K. (2019). *Återvinning i högkvalitativa slitlagerbeläggningar*. Stockholm: SBUF.
- Philip, W., Jay S, G., Krishna P, B. & Kamil, K. (2010). Modeling climate change impacts of pavement production and construction. *Resources, Conservation and Recycling*, 54 (11): ss. 776-782.
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2009.12.007>
- Phønix Contractors (1995). *Veijbygning: -Materialer, -Befästelser, -Beläggningar*. 3:e utgåvan (red.) Köpenhamn: Phønix Contractors.
- Presti, D. L., Vasconcelos, K., Orešković, M., Pires, G. M. & Bressi, S. (2020). *On the degree of binder activity of reclaimed asphalt and degree of blending with recycling agents*. Missouri: Road Materials and Pavement Design.
- Preston, N. & O’Nions, L. (2015). *The Shell Bitumen Handbook (Sixth edition): Durability of bitumens and asphalts*. London: Shell Bitumen by ICE Publishing.
- Read, J. & Whiteoak, D. (2003). *The Shell Bitumen Handbook*. London: Thomas Telford.
- Regeringskansliet (2015). *Sveriges arbete med Agenda 2030*. (Elektronisk)
Tillgänglig: <https://www.regeringen.se/regeringens-politik/globala-malen-och-agenda-2030/globala-mal-for-hallbar-utveckling/> [Hämtad 13-09-2021].
- Regeringskansliet (2017). *Sverige och Agenda 2030 — rapport till FN:s politiska högnivåforum 2017 om hållbar utveckling*. Stockholm: Regeringskansliet.
- Sabita (2019). *Use of reclaimed asphalt in the production of asphalt*. Cape Town: Sabita.
- Scholz, T. V. (1995). *Durability of bituminous paving mixtures*. Nottingham: University of Nottingham.
- SFS 2020:614 (2020). *Sveriges Riksdag: Avfallsförordning*. (Elektronisk)
Tillgänglig: https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/avfallsforordning-2020614_sfs-2020-614 [Hämtad 02-11-2021].
- Statistics of Japan (2021). *Population Estimates / Monthly Report*. (Elektronisk)
Tillgänglig: <https://www.e-stat.go.jp/en/stat-search/files?page=1&layout=datalist&toukei=00200524&tstat=000000090001&cycle=1&year=20210&month=23070909&tclass1=000001011678> [Hämtad 05-10-2021].
- Statistiska centralbyrån (2021). *Utsläpp av växthusgaser*. (Elektronisk)
Tillgänglig: <https://www.scb.se/hitta-statistik/sverige-i-siffror/miljo/utslapp-av-vaxthusgaser/> [Hämtad 10-11-2021].
- Stroup-Gardiner, M. (2011). *Recycling and Reclamation of Asphalt Pavements Using In-Place Methods, A Synthesis of Highway Practice*. California: National Academy of Sciences.
- Styffe, S., Karlsson, R., Hansson, K., Karim, H. & Asp, A. (2021). *Forskning- och innovationsinriktning för vägkropp/vägkonstruktion*. Borlänge: Trafikverket.

- Sveriges Miljömål (2018). *Sveriges Miljömål*. (Elektronisk)
Tillgänglig: <https://sverigemiljomal.se/stod-och-rad-i-miljoarbetet/begransad-klimatpaverkan---sakerforetag-kan-gora/> [Hämtad 28-09-2021].
- Tarsi, G., Tataranni, P. & Sangiorgi, C. (2020). *The Challenges of Using Reclaimed Asphalt Pavement for New Asphalt Mixtures: A Review*. Bologna: University of Bologna.
- The European Commission (2012). *Re-road – End of life strategies of asphalt pavements*. Bryssel: The European Commission.
- Thives, L. P. & Ghisi, E. (2017). Asphalt mixtures emission and energy consumption: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 72 (2017): ss. 473-484. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.087>
- Trafikverket (2011). *TRVK Väg; Trafikverkets tekniska krav Vägkonstruktion*. Borlänge: Trafikverket.
- Trafikverket (2020a). *Sveriges vägnät*. (Elektronisk)
Tillgänglig: <https://www.trafikverket.se/resa-och-trafik/vag/Sveriges-vagnat/> [Hämtad 02-09-2021].
- Trafikverket (2020b). *Effektsamband för infrastrukturens klimatpåverkan och energianvändning ur ett livscykelperspektiv*. Borlänge: Trafikverket.
- Tran, B. T. & Hassan, R. A. (2011). *Performance of Hot-Mix Asphalt Containing Recycled Asphalt Pavement*. Melbourne: Transportation Research Record.
- Tyllgren, P. (2004). *Asfalt med rapsoljederivat (ROD) - Ett nytt koncept för kallblandning och halvvarm teknik*. Malmö: SBUF.
- Tyllgren, P. (2010). *Förnyring Av Returasfalt Med Miljöanpassade Tillsatsmedel, Projektnummer SBUF: 12230 Skanska ra100215a*. Malmö: SBUF.
- UNDP (2021). *Om Globala målen*. (Elektronisk)
Tillgänglig: <https://www.globalamalen.se/om-globala-malen/> [Hämtad 08-09-2021].
- U.S.EPA (2021). *Understanding Global Warming Potentials*. (Elektronisk)
Tillgänglig: <https://www.epa.gov/ghgemissions/understanding-global-warming-potentials> [Hämtad 14-10-2021].
- USGS (2020). *Coal-Tar-Based Pavement Sealcoat, PAHs, and Environmental Health*. (Elektronisk).
Tillgänglig: https://www.usgs.gov/mission-areas/water-resources/science/coal-tar-based-pavement-sealcoat-pahs-and-environmental-health?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects [Hämtad 15-11-2021].
- Van den Kerkhof, E. (2012). *Warm Waste Asphalt Recycling In Belgium: 30 Years Of Experience And Full Confidence In The Future*. Bryssel: Colas Belgium sa.
- Vidal, R., Moliner, E., Martínez, G. & Rubio, M. C. (2013). Life cycle assessment of hot mix asphalt and zeolite-based warm mix asphalt with reclaimed asphalt pavement. *Resources, Conservation and Recycling*. 74 (2013): ss. 101-114. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.02.018>
- Vägverket (2001). *ATB Väg 2002. Vägverkets publikation 2001:111*. Borlänge: Vägverket.
- Vägverket (2005). *Vägar med tjärhaltig beläggning Inventering av vägar i Västerbottens län*. Borlänge: Vägverket.
- Vägverket (2007). *Alternativa material i väg- och järnvägsbyggnad*. Borlänge: Vägverket.
- Wallin, T. (2020). *Tillsatsmedel*. (Elektronisk)
Tillgänglig: <https://asfaltboken.se/tillsatsmedel/#forfattare> [Hämtad 15-11-2021].
- West, R. C. (2008). *Summary of NCAT Survey on RAP Management Practices and RAP Variability*. Aurbun: National Center for Asphalt Technology.
- West, R. C. (2015). *Best Practices for RAP and RAS Management, Quality Improvement Series 129*. Lanham: National Asphalt Pavement Association (NAPA).
- West, R. C. & Copeland, A. (2015). *High RAP Asphalt Pavements: Japan Practice — Lessons Learned, Information Series 139*. Lanham: National Asphalt Pavement Association (NAPA).
- West, R., Willis, J. R. & Marasteanu, M. (2013). *Improved Mix Design, Evaluation, and Materials Management Practices for Hot Mix Asphalt with High Reclaimed Asphalt Pavement Content*. ISBN 978-0-309-25913-2 (red.) Washington, DC: The National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine.
- Westergren, P. (2004). *Handbok för återvinning av asfalt*. Borlänge: Vägverket.

- Williams, B. A., Willis, J. R. & Shacat, J. (2020). *Asphalt Pavement Industry Survey on Recycled Materials and Warm-Mix Asphalt Usage, Information Series 138, 10th Annual Survey*. Washington, DC: National Asphalt Pavement Association (NAPA).
- Willis, J. R., Turner, P., Padula, F. G., Tran, N. & Julian, G. (2012). Effects of Changing Virgin Binder Grade and Content on High Reclaimed Asphalt Pavement Mixture Properties. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. 2371 (1): ss. 66-73. doi:10.3141/2371-08
- Wiman, L. G. & Tholén, O. (1999). *Vägens uppbyggnad*. (Elektronisk)
Tillgänglig: <https://asfaltboken.se/vagens-uppbyggnad/> [Hämtad 24-09-2021].
- Wirtgen (2012). *Wirtgen Cold Recycling Technology*. Windhagen: Wirtgen Group-mbH.
- Zaumanis, M. (2014). *Warm Mix Asphalt: Climate Change, Energy, Sustainability and Pavements. Green Energy and Technology*, ss. 309-334. Worcester: Springer.
- Zaumanis, M. & Mallick, R. B. (2015). Review of very high-content reclaimed asphalt use in plant-produced pavements: state of the art. *International Journal of Pavement Engineering*, 16: ss. 39-55.
<https://doi.org/10.1080/10298436.2014.893331>
- Zaumanis, M., Mallick, R. B. & Frank, R. (2016). *100% hot mix asphalt recycling: challenges and benefits*. Worcester & Linwood: National Asphalt Pavement Association (NAPA).
- Zaumanis, M., Mallick, R. B. & Frank, R. (2014b). 100% recycled hot mix asphalt, A review and analysis. *Resources, Conservation and Recycling*. 92: ss. 230-245.
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2014.07.007>
- Zaumanis, M., Mallick, R. B. & Frank, R. (2014a). Determining optimum rejuvenator dose for asphalt recycling based on Superpave performance grade specifications. *Construction and Building Materials*. 69: ss. 159-166. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.07.035>
- Zaumanis, M., Oga, J. & Haritonovs, V. (2018). How to reduce reclaimed asphalt variability: A full-scale study. *Construction and Building Materials*, 188: ss. 546-554.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.08.137>
- Zhou, F., Hu, S., Das, G. & Scullion, T. (2011). *High RAP Mixes Design Methodology With Balanced Performance*. Austin: Texas Transportation Institute.