

Livscykelkostnad för vägar



Iman Mirzadeh

Väg och Ban Teknik, KTH



Livscykelkostnad

- ❑ En process för utvärdera det totala ekonomiska värdet av ett projekt genom att analysera den initiala kostnaden och den framtida reducerade kostnaden (ex. underhållningskostnader) över projektets livstid
- ❑ Konceptet introducerades under 1930-talet som en del av USAs federala lagstiftning för att kontrollera översvämningar
- ❑ I början av 1950-talet har det används för att utvärdera motorvägsprojekt



LCC

Väghållarkostnader

- Planering (projektering, konstruktion, produktionsplanering mm.)
- Investeringskostnader (under- och överbyggnad, slitlager, bro, belysning mm.)
- Underhållskostnader (reparation, omläggning, väglinjemarkering mm.)
- Driftkostnader (vinterväghållning, belysning, renhållning mm.)
- Restvärde

Samhällskostnader

- Trafikantkostnader (olyckor, restid, fordon och inre buller/komfort)
- Yttre miljö (stoft, avgasemissioner, yttre buller mm.)
- Arbetsmiljökostnader (olyckor, toxiska produkter, ergonomi, komfort mm.)

LCC

- Kostnad för Produktion, Transport, Läggning (av asfalt)

Konstruktion
Väghållarkostnader



- Kostnad för Produktion, Transport, Milling, Blandning, Läggning

Rehabilitering
Väghållarkostnader



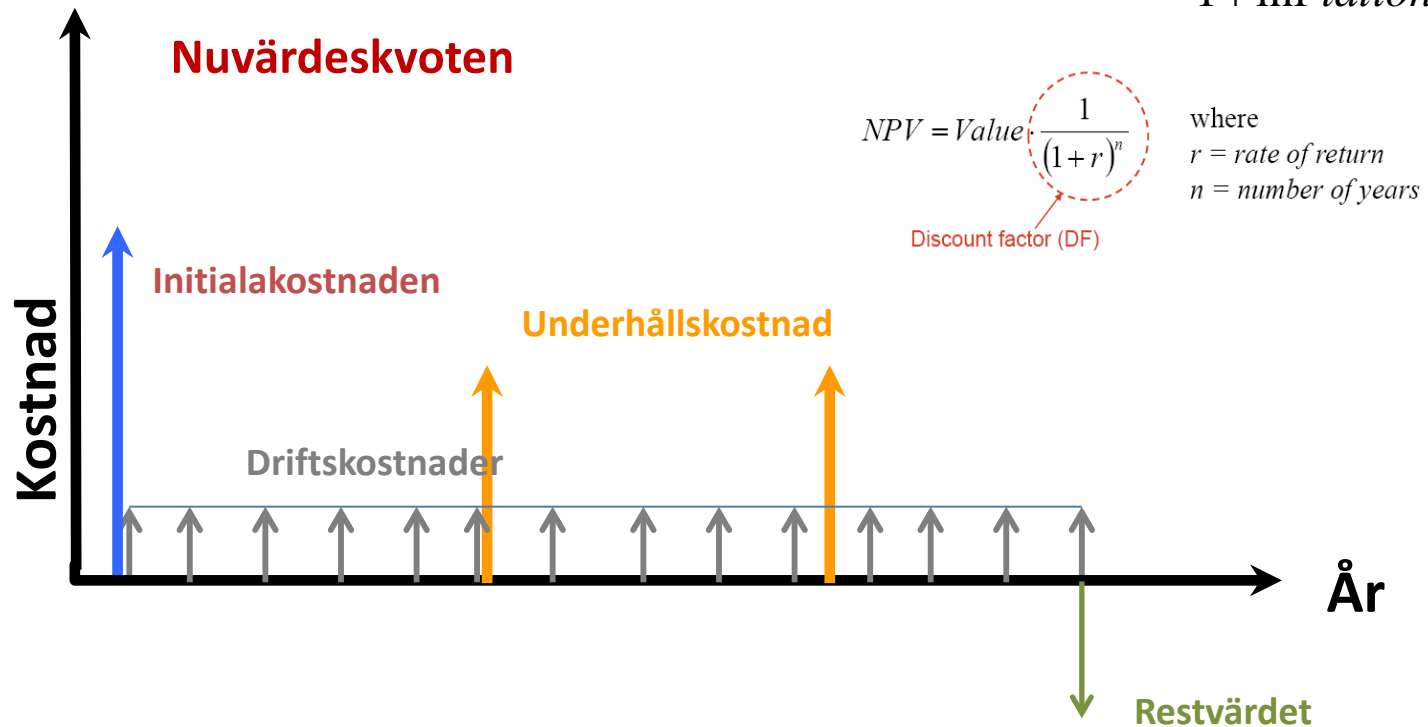
- Kostnaden Relaterad till Försening , Energi Förbrukning Avgasemissioner

Samhällskostnader



Nettonuvärdeskvoten

$$\text{Diskonteringsränta} = \frac{\text{ränta} - \text{inf lation}}{1 + \text{inf lation}}$$



$$NNK = \text{Initialkostnaden} + \sum_{n=0}^L \frac{\text{Underhålls kostnad}_n}{(1+r)^n} + \text{Driftskostnad} \times \frac{(1-(1+r)^{-n})}{r}$$



Nuvärdeanalys

- ❑ En investering som sker vid en viss tidpunkt måste antas ha en avkastning som motsvarar en alternativ satsning.
- ❑ T.ex. pengar som satsas i ett infrastrukturprojekt skulle även kunna sättas in på bank eller i värdepapper och få viss avkastning

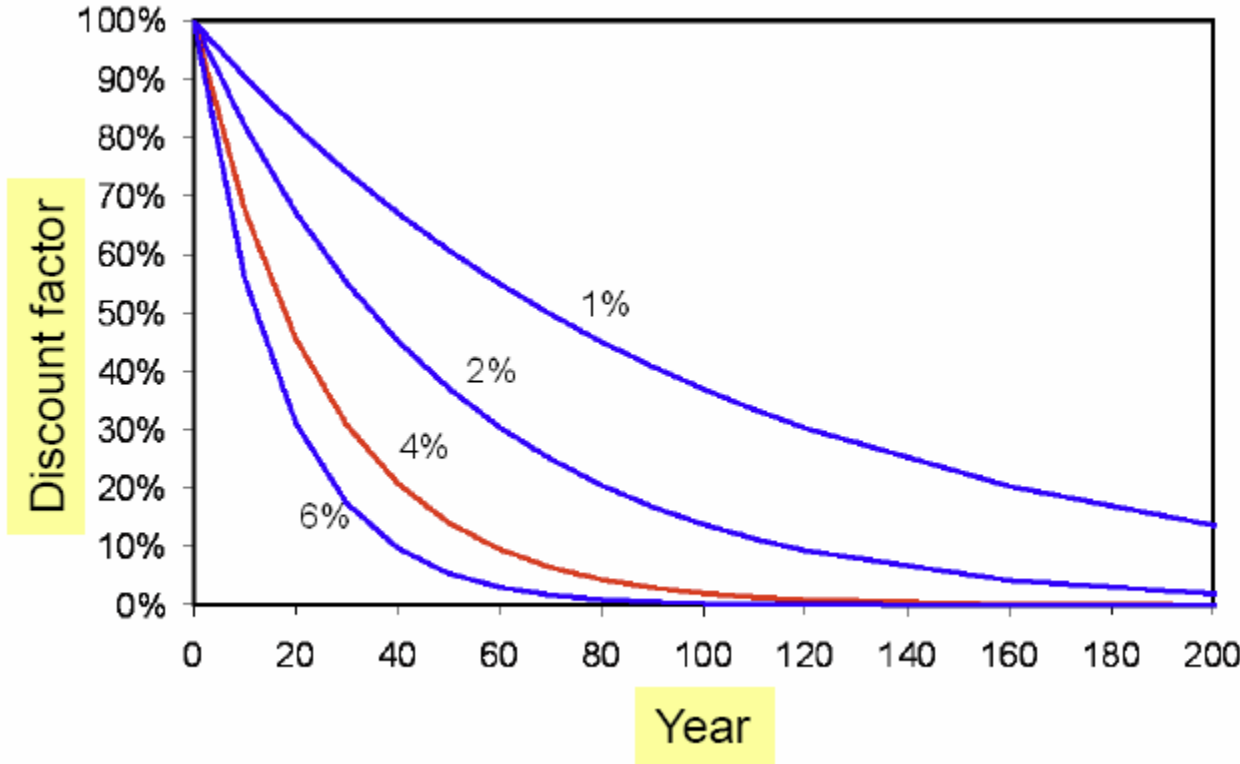


Diskonteringsfaktor

$$NPV = Value \cdot \frac{1}{(1+r)^n}$$

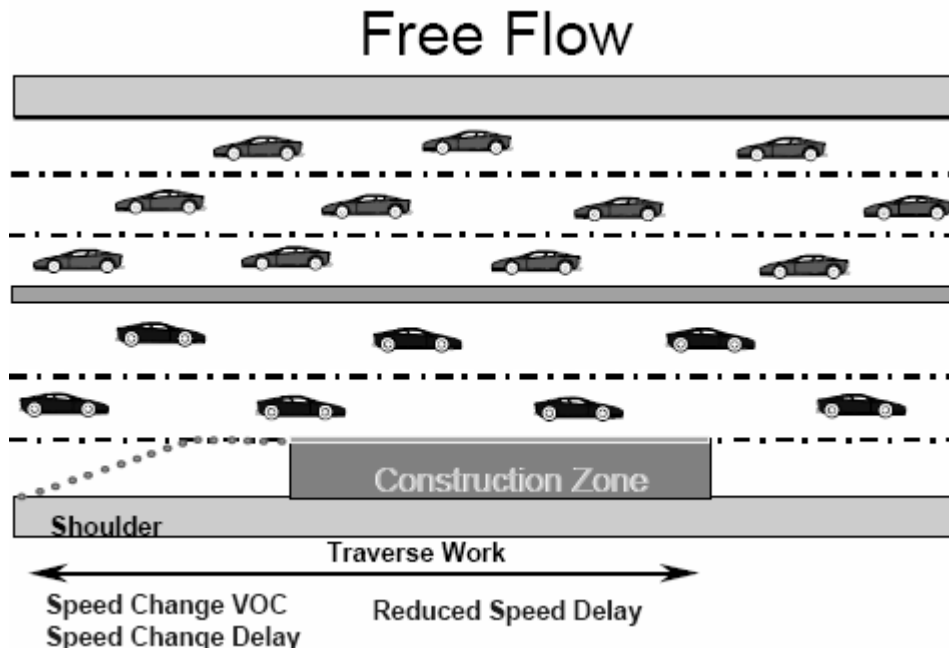
Discount factor (DF)

where
r = rate of return
n = number of years



$$NPV = \text{Initial Cost} + \sum_{i=1}^N \text{Future Cost} \times \left[\frac{1}{(1+i)^n} \right]$$

Arbetszonens kapacitet

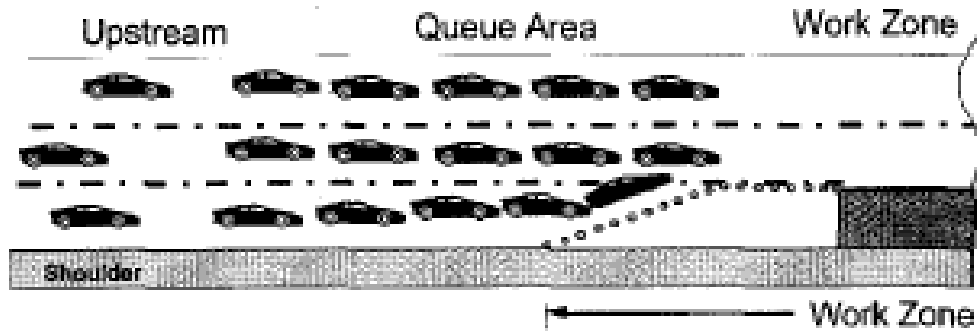


- ❖ Maximal kapacitet för 2-filig motorväg= 2200
- ❖ Filbredd = 3,5 m
- ❖ nr. Av körfält i varje riktning = 2
- ❖ Lastbil andel = 12%

Free flow kapacitet = 2075 vphpl

Arbetszonens kapacitet

Forced Flow



Speed Change
VOC & Delay



Reduced Speed Delay
(Traverse Work Zone)

Directional Lanes		Number of Studies	Average Capacity	
Normal Operations	Work Zone Operations		Vehicles Per Hour	Vehicles per Lane per Hour
3	1	7	1,170	1,170
2	1	8	1,340	1,340
5	2	8	2,740	1,370
4	2	4	2,960	1,480
3	2	9	2,980	1,490
4	3	4	4,560	1,520

Trafikantkostnader

❑ Kostnader för olyckor:

$$AC = L \times \text{ÅDT} \times N \times (Aa - An) \times ca$$

L = längden på drabbade väg

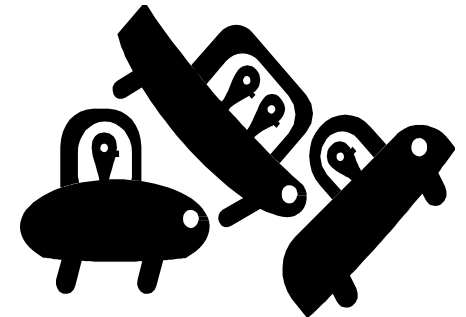
ÅDT = årsmedeldygnstrafik (fordon per dygn)

N = antal dagar från underhållsaktivitet

Aa = olycksfrekvensen under underhållsaktivitet

An = Normal olycksfrekvensen

ca = kostnad per olycka





Life-Cycle Cost Analysis

RealCost

USER MANUAL



US Department of Transportation
Federal Highway Administration

RealCost v. 2.1

Office of Asset Management

May 2004



Traffic Data [X]

AAADT Construction Year (total for both directions):

Single Unit Trucks as Percentage of AAADT (%):


Combination Trucks as Percentage of AAADT (%):

Annual Growth Rate of Traffic (%): ...

Speed Limit Under Normal Operating Conditions (mph):

Lanes Open in Each Direction Under Normal Conditions:

Free Flow Capacity (vphpl): ...

Free Flow Capacity Calculator 

Queue Dissipation Capacity (vphpl): ...

Maximum AAADT (total for both directions):

Maximum Queue Length (miles):

Rural or Urban Hourly Traffic Distribution: ▼



Value of User Time [X]

Value of Time for Passenger Cars (\$/hour): ...

Value of Time for Single Unit Trucks (\$/hour): ...

Value of Time for Combination Trucks (\$/hour): ...

Probability Function [X]

Variable Name:

Probability Distribution: ▼

Value:



Probability Function

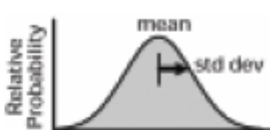


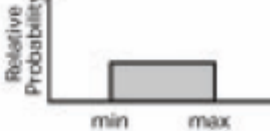
Variable Name: Value of Time for Passenger Cars

Probability Distribution: Deterministic

Value:

- Deterministic
- Uniform
- Normal**
- Log Normal
- Triangular
- Beta
- Geometric
- Truncated Normal

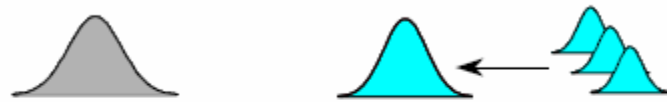
Ok Cancel

Distribution Type	Spreadsheet Formula	Illustration
Normal	lccanormal (mean, std dev)	
Truncated Normal	lccatnormal (mean, std dev, lower bound, upper bound)	
Triangular	lccatriang (minimum, most likely, maximum)	
Uniform	lccauniform (minimum, maximum)	

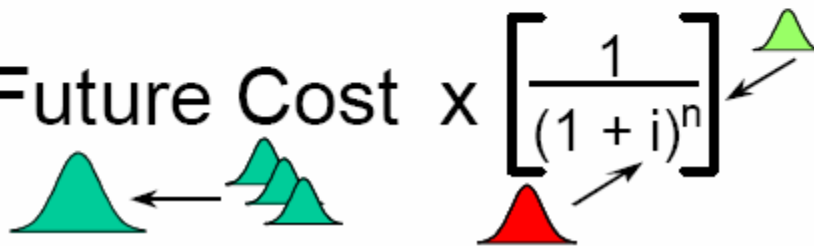
Uträkning av NNK

(med användning av sannolikheten och simulering)

Combine Variability of Inputs to Generate a Probability Distribution of Results



The diagram illustrates the process of combining multiple input probability distributions into a single output distribution. On the left, a grey bell curve represents the final output distribution. To its right, a cyan bell curve represents the initial cost. Further right, three overlapping cyan bell curves represent the individual future cost inputs. Arrows point from the three cyan curves towards the single cyan curve, indicating their aggregation.

$$\text{NPV} = \text{Initial Cost} + \sum \text{Future Cost} \times \left[\frac{1}{(1+i)^n} \right]$$


The diagram illustrates the combination of multiple input probability distributions into a single output distribution. On the left, a green bell curve represents the final output distribution. To its right, a red bell curve represents the initial cost. Further right, three overlapping green bell curves represent the individual future cost inputs. Arrows point from the three green curves towards the single green curve, indicating their aggregation. The discount factor term $\left[\frac{1}{(1+i)^n} \right]$ is shown with arrows pointing to the green and red curves, indicating its application to both.



Deterministiska resultat

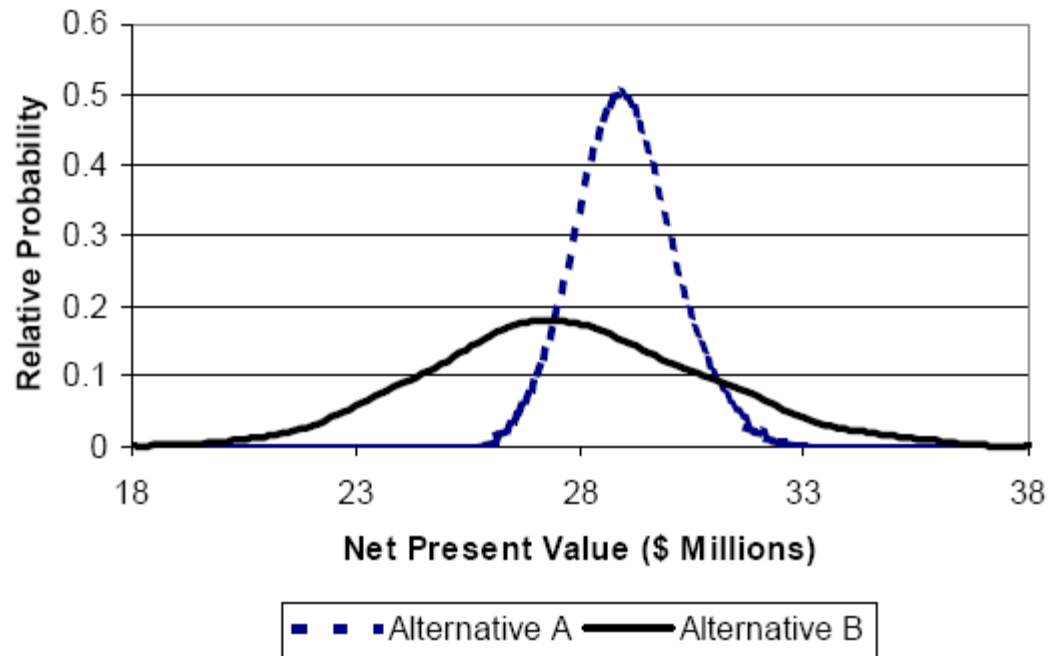
Deterministic Results ✕

Deterministic Results

Total Cost	Alternative 1: Hot Mix Asphalt - Deterministic Class Exercise		Alternative 2: Stone Matrix Asphalt - Deterministic Class Exercise	
	Agency Cost (\$1000)	User Cost (\$1000)	Agency Cost (\$1000)	User Cost (\$1000)
Present Value	\$5,909.73	\$21,450.18	\$6,026.59	\$18,764.58
Lowest Present Value Agency Cost	Alternative 1: Hot Mix Asphalt			
Lowest Present Value User Cost	Alternative 2: Stone Matrix Asphalt			



Probabilistiska resultat





Målet med studien

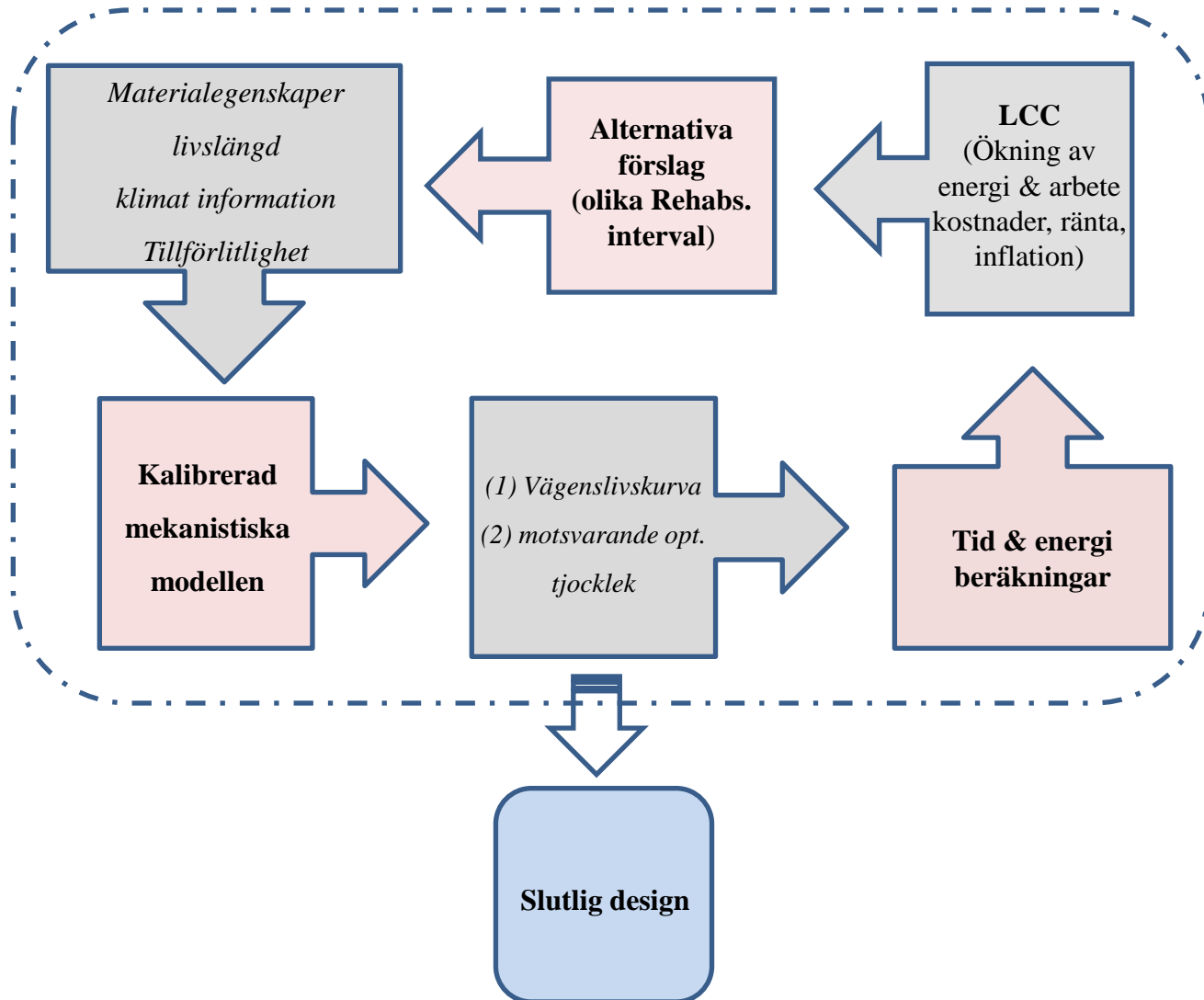
- ❑ Att utveckla en metod för att utföra jämförande LCC för att hitta det mest ekonomiska design alternativet när det gäller den totala kostnaden under vägens livstid
- ❑ I detta synsätt utfördes LCC utifrån designens förutsägelser av CM (Kalibrerad Mekaniska) flexibla väg design
- ❑ Kostnaderna kommer ifrån två entiteter; energi och tid



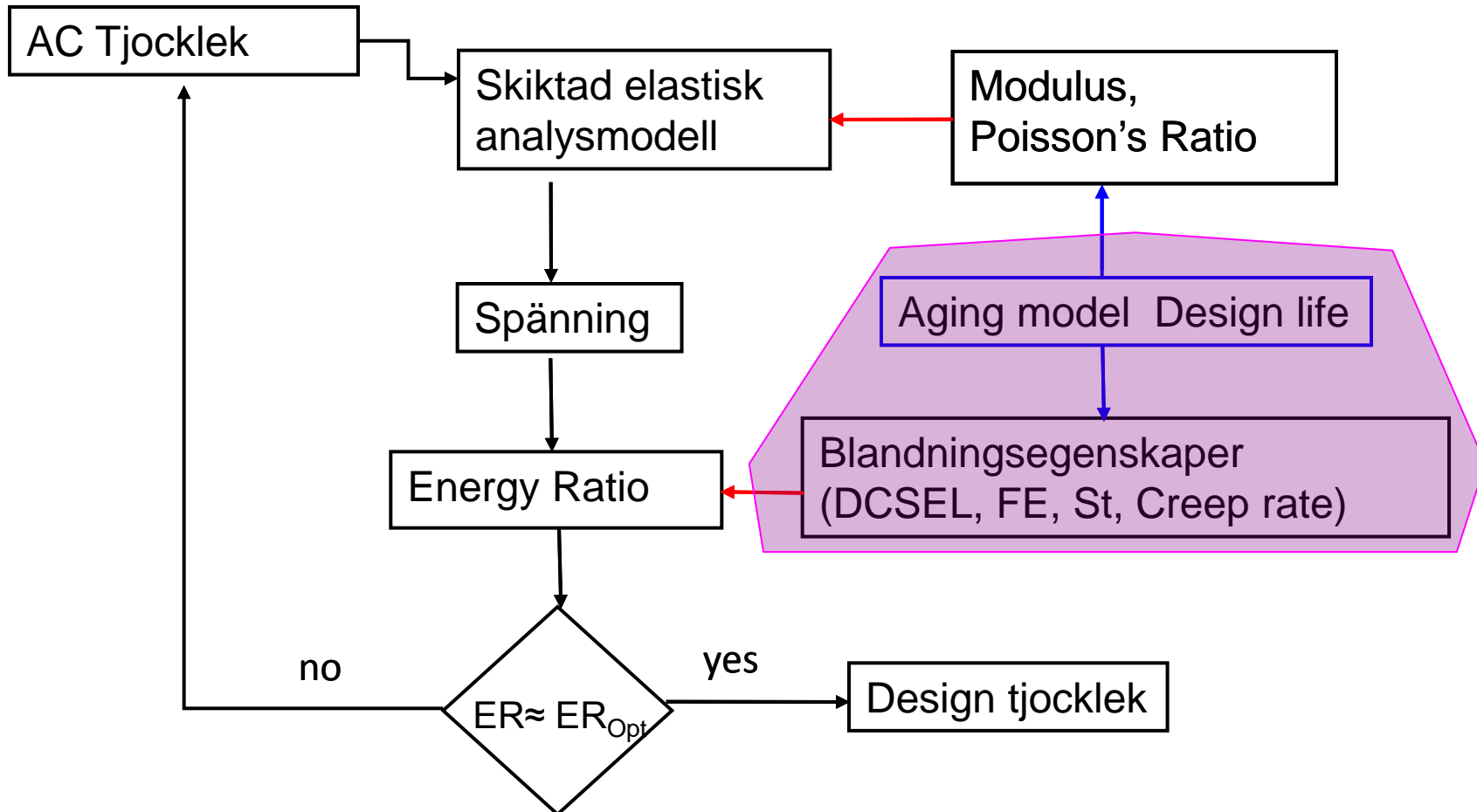
Tid och Energi tidsram

- ❖ Med energi och tid enheter gör ramen oberoende av förändringar i valutor, inflation och ränta
- ❖ Ramen kommer att vara global och kan användas i olika delar av världen för att göra LCC
 - ❖ Kostnaden kan beräknas beroende på värdet av tid och energi

System Integration

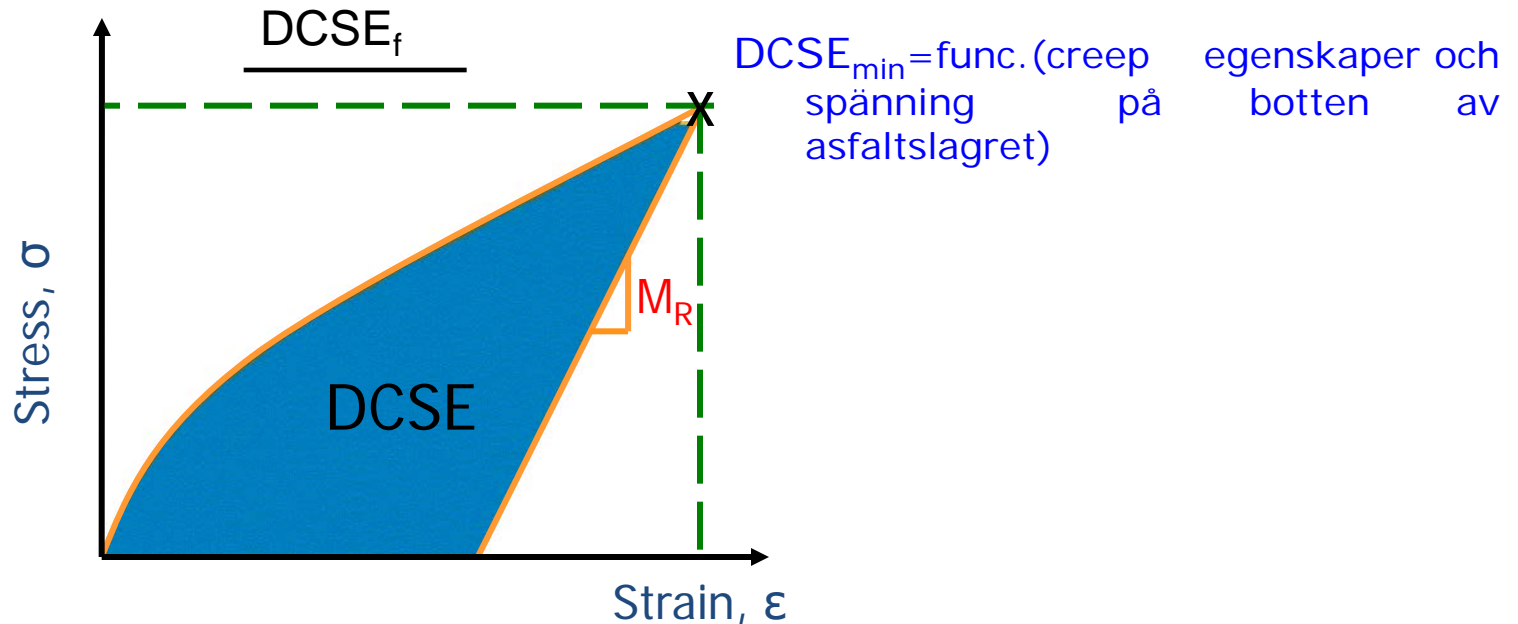


Kalibrerad mekanisk baserad Design



Energiförhållande konceptet

DCSE_f måste vara större än DCSE_{min} för bra sprickmotstånd prestanda



$$DCSE_f = AREAN$$

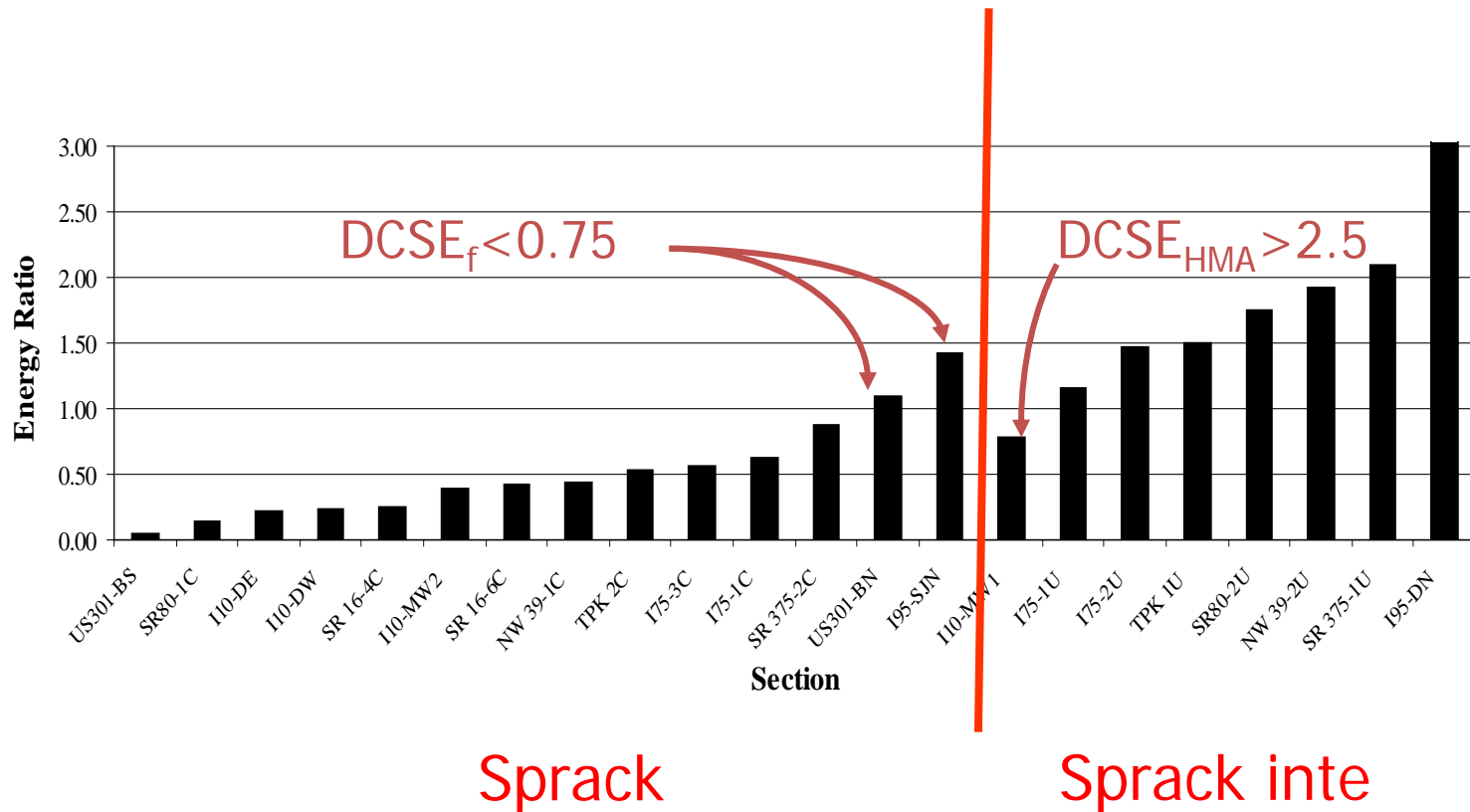
$$ENERGY\ RATIO = \frac{DCSE_f}{DCSE_{min}} > 1$$



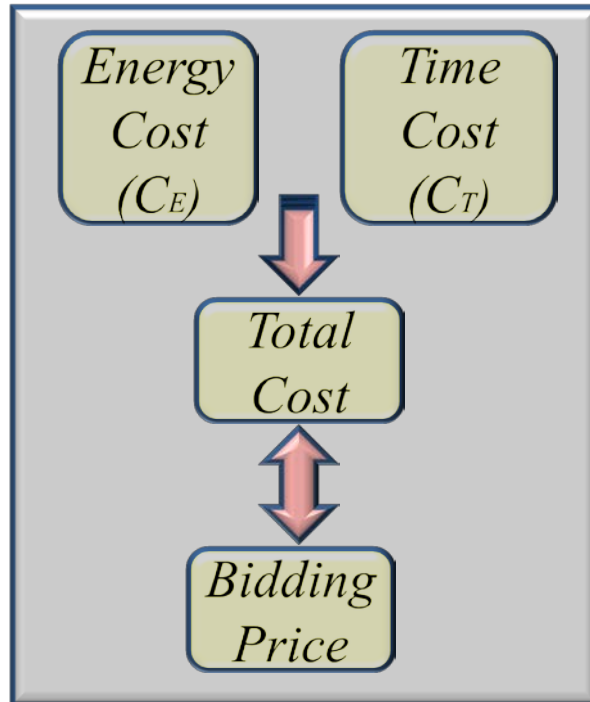
ER kriterier

Alla test sektioner undersöktes

prestandakriterier: $ER > 1$; $DCSE_{HMA} > 0.75$



Tid och Energi koncept



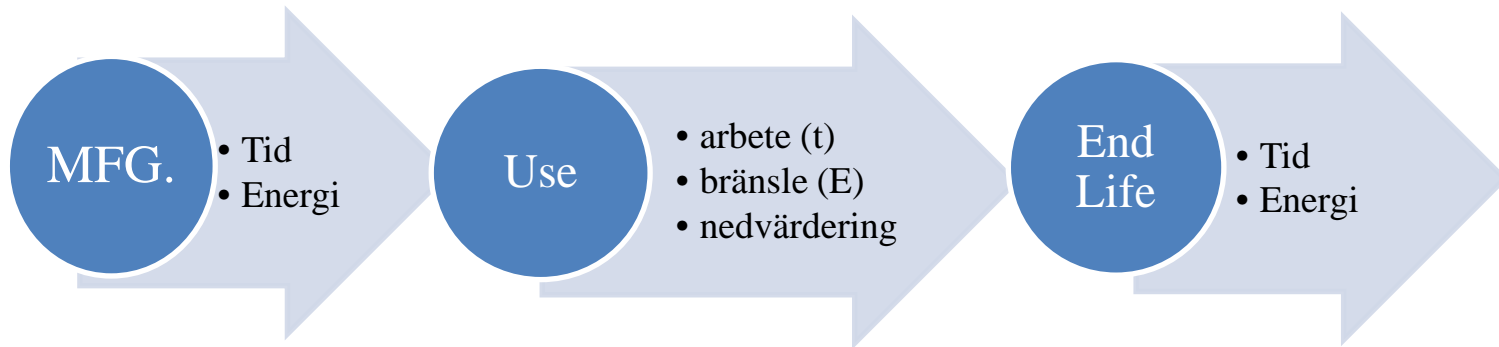
$$C_t = \sum_{i=1}^n T_i \times ct_i$$

$$C_E = \sum_{i=1}^n E_i \times ce_i$$

- T_i : The i^{th} Component of Time
- ct_i : The unit value of T_i in terms of Euro
- E_i : The i^{th} Component of Energy
- Ct_i : The unit value of E_i in terms of Euro

- Bitumen produktion
- Sten produktion
- Asfalt produktion
- Asfaltsläggning
- Komprimering av asfalt
- Milling, blandning och läggning
- Transport (Et)

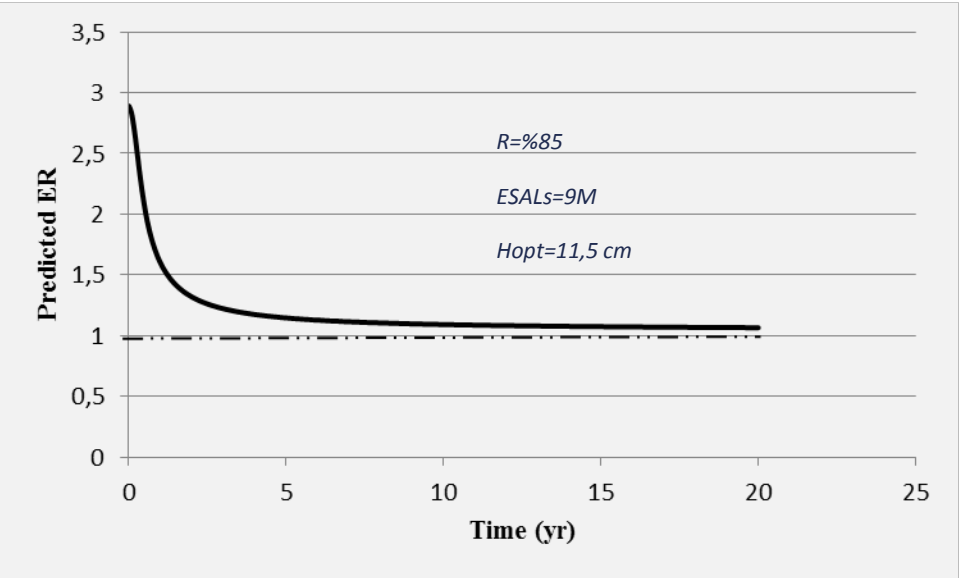
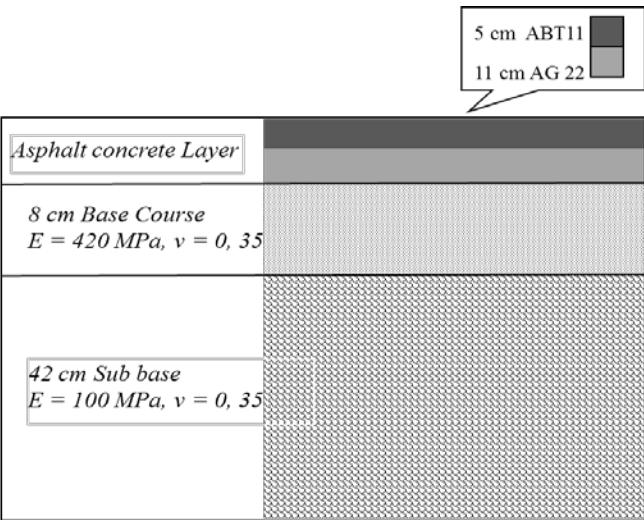
Maskinerier



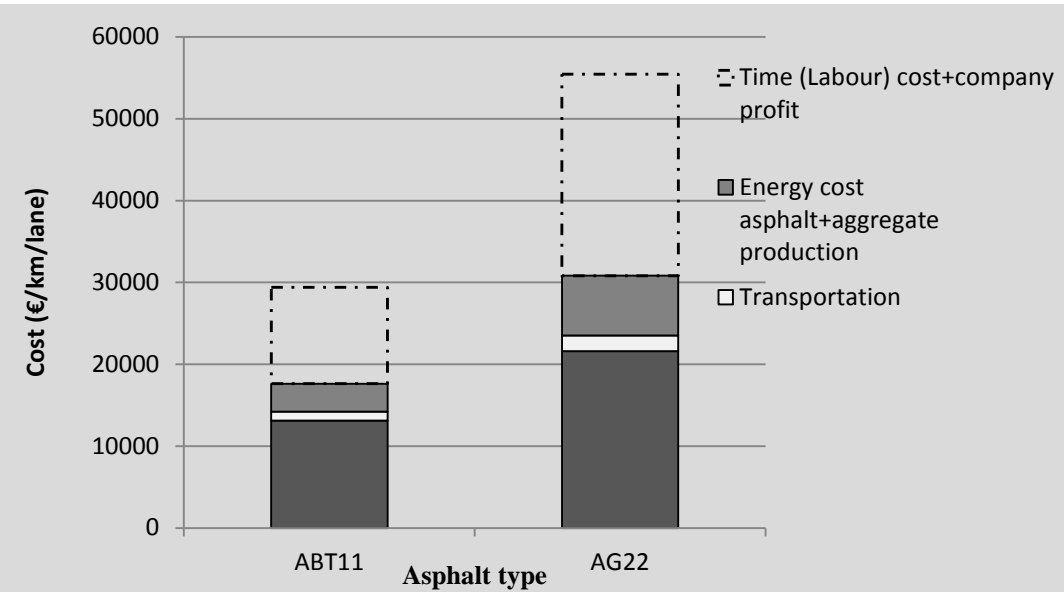
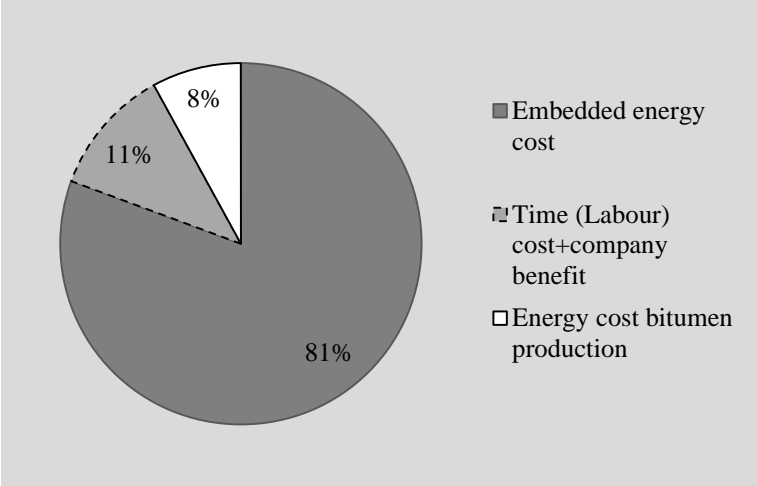
- ❑ Maskinerier är involverade i alla delar av tid och energi komponenter från tillverkning till återhämtning av vägar



Fältstudie

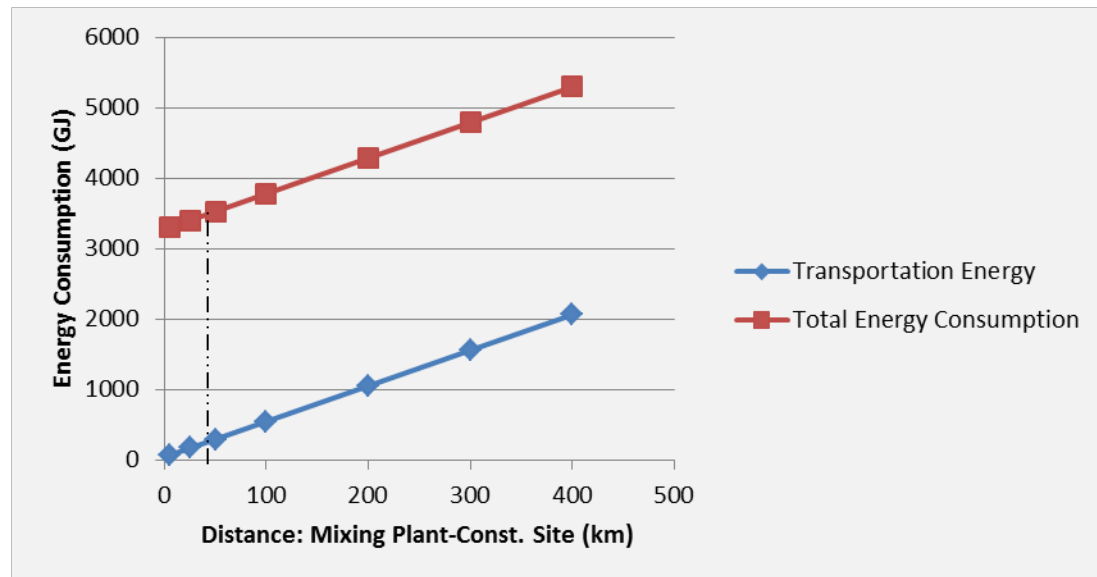


Raffinaderiet & Asphalt plant



Transport

Transport Material	From_To	Avstånd ⁴ (km)	Material mängder (tonne)	Tid(hr)	Energi (MJ)
Bitumen	Refinery ² _ Mixing plant ¹	100	69	20	24992
Sten	Quarry site ¹ _ Mixing plant	5	1317	19	23972
Asfalt	Mixing plant _ Construction site ³	50	1386	198	252212
Summary	Total energy (MJ)	301176		Total time (Hr)	236
	Total energy cost (€/km/lane)	11314		Time cost (€/km/lane)	8275



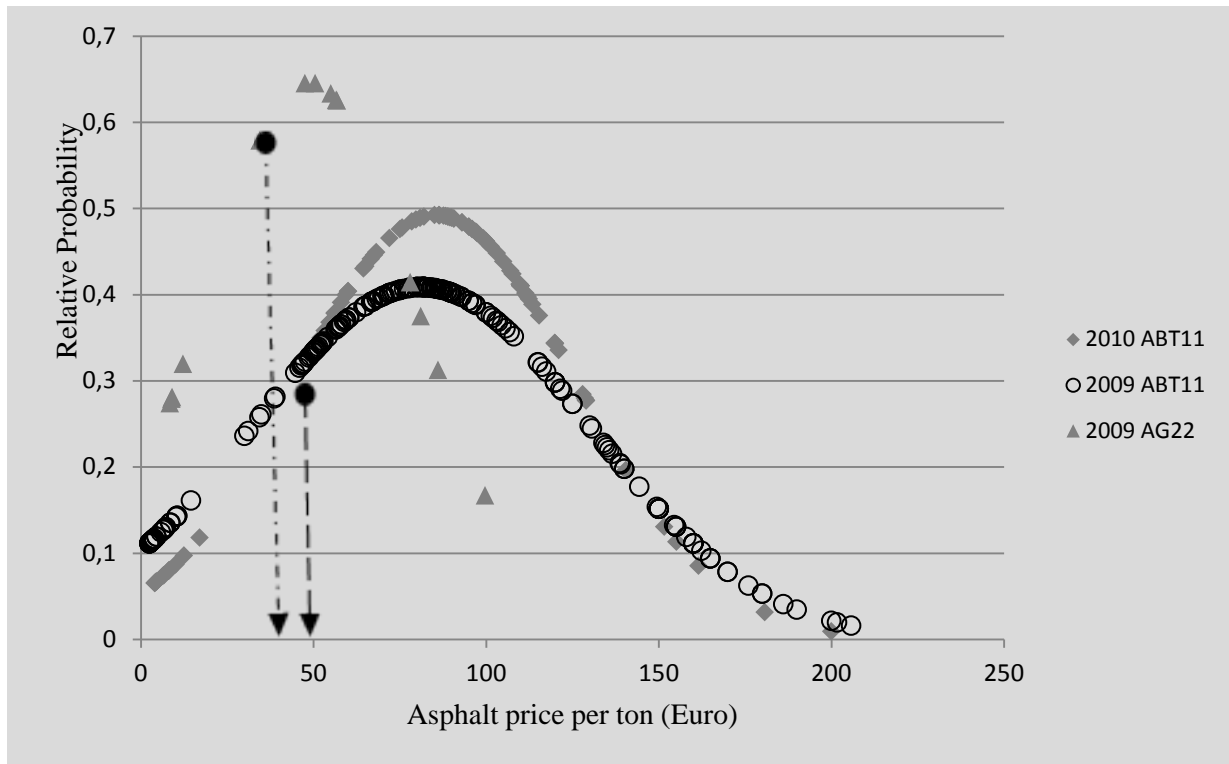


Energi och Tid

	Objekt	Energi (GJ/FU)	Kostnaden för energi(€FU)	Tid spenderad (Hr/FU)	Tid kostnad (€FU)	Kostnad Procent
Bitumen råmaterial energi		2618	28000	-	-	44,5%
Elförbrukning	Stenproduktion	26	171	-	-	0,3%
	Bitumenproduktion	17	106	-	-	0,2%
	Asfaltproduktion	40	253	-	-	0,4%
Bränsleförbrukning	Stenproduktionen	27	619	-	-	1,0%
	Bitumen produktion	71	2700	-	-	4,3%
	Asfaltproduktion	325	9639	-	-	15,3%
	Transport	292	10973	229	8026	30,2%
	Asfaltsbeläggning	2,07	616	3	96	1,1%
	Komprimerad asfalt	2,8	829	27	949	2,8%
<hr style="border-top: 1px dashed black;"/>						
Sammanfattning	Totala energi (GJ)	3421		Totala tid (Hr)		259
	Energi kostnad(€km/lane)	53906		Tid kostnad (€km/lane)		9071
		<u>63000</u>	<u>Total cost</u>			
	<u>Total cost (€km/lane)</u>		<u>(€/ton)</u>			<u>47</u>

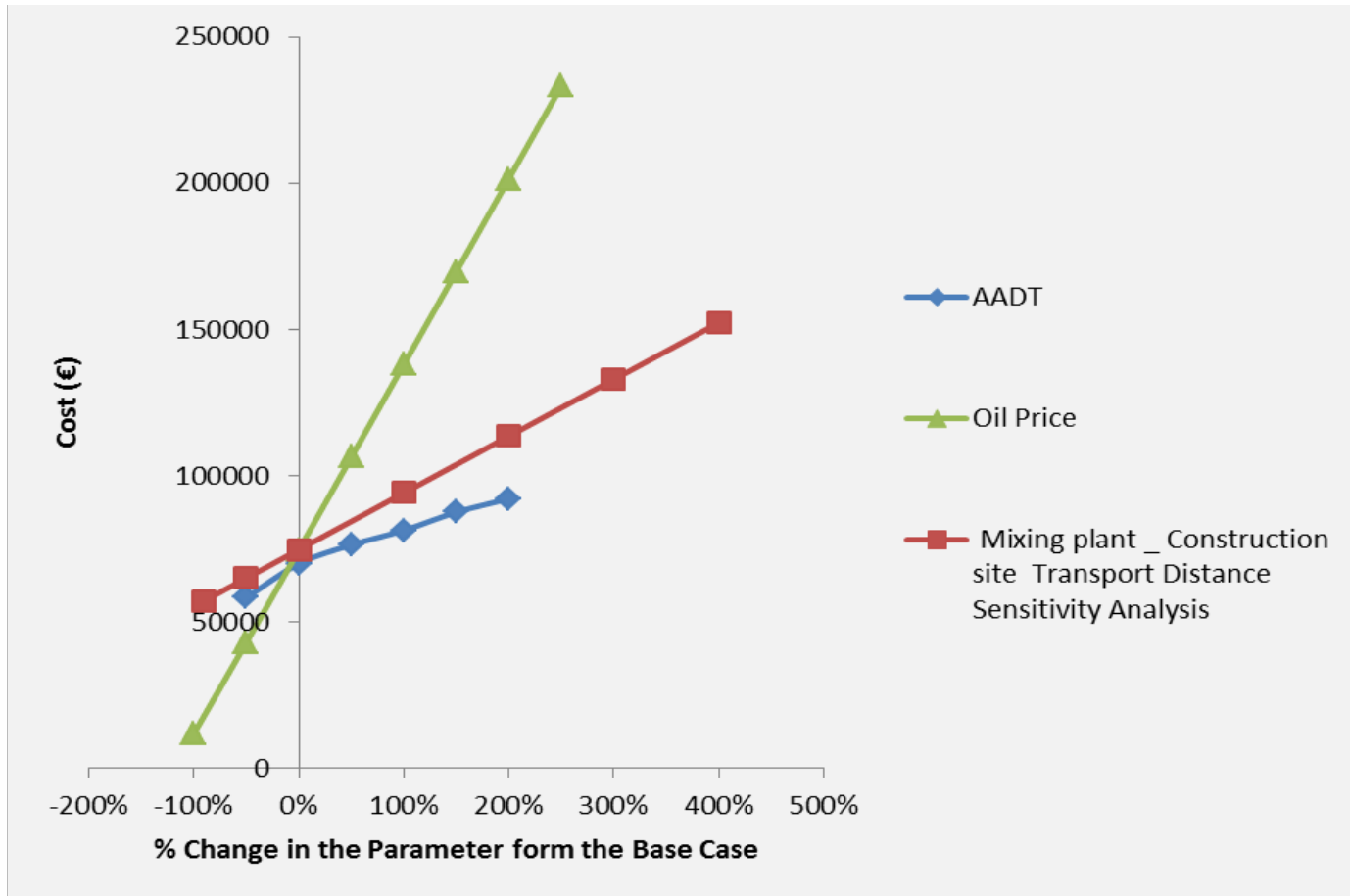


Den totala kostnaden för lagd asfalt





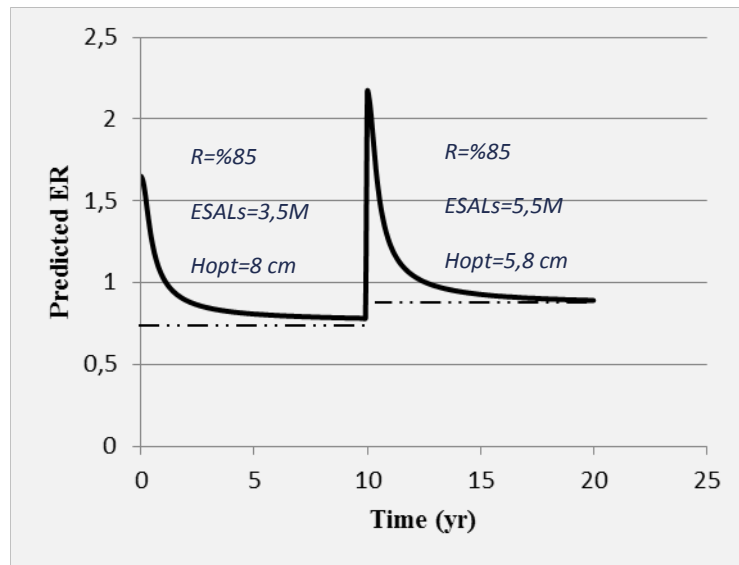
Känslighetsanalys



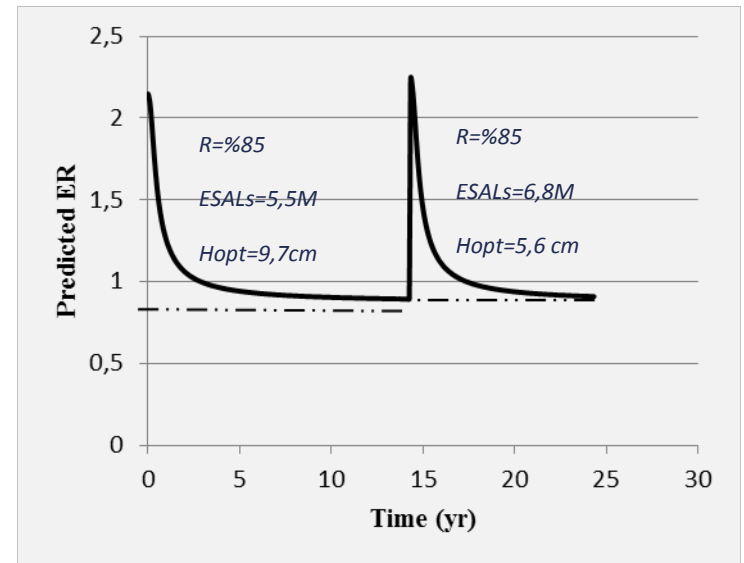


Rehabiliteringsalternativ

Alt b:



Alt c:





Antagande

- ❖ En analys utförs förutsatt att:
 - ❖ 10% årlig ökning på oljepriset
 - ❖ 4% årlig ökning för lön
 - ❖ 4% ökning av priset för el

- ❖ Dessa antaganden har gjorts för att demonstrera vikten av energi och tidsram och vikten av att behålla dessa enheter separat från kostnaden för att generera mer giltiga resultat



Tid & Energi Resultat

Design Alternativ		Energi förbrukning (GJ)	Förbrukad tid (Hr)	Motsvarande kostnader(€/km/fil)
Alt. a	Konstruktion	3530	259	69000
Alt. b	Konstruktion	3175	240	62500
	Rehabilitering	1411	111	70000
Alt. c	Konstruktion	2840	216	56500
	Rehabilitering	1461	114	59500



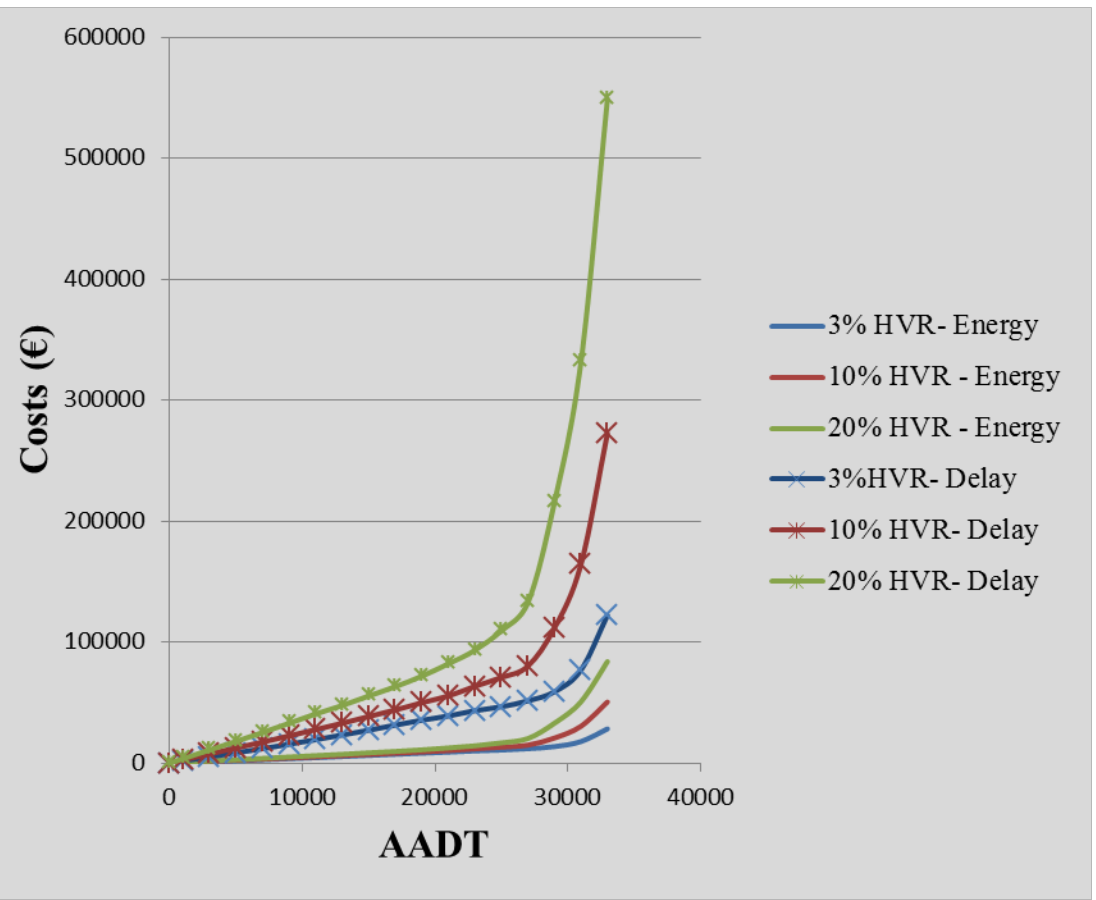
Trafikdata

- 4% årlig trafiktillväxt
- 1000 ÅDT för konstruktionsåret
- Skyltad hastighet 70 km/h
- Skyltad hastighet vid vägarbete 50 km /h
- Arbeteszonslängd 1 dygn
- Restidskostnad personbil 60 €/hr
- Restidskostnad lastbil 500 €/ tim
- Bränslekostnad 1,5 €/ lit
- Tvåfältsväg per riktning (inre fil stängd)



Trafikanter kostnadskomponenter

□ När trafiken når arbetetszonens kapacitet ökar förseningar i en exponentiell takt





Sammanfattning

- ❖ Utnyttjande av CM (Kalibrerad Mekaniska) design modellen för asfaltbeläggningar möjliggör en förutsägelse av vägens LCC
- ❖ En LCC, med bidrag från CM design modellen, utförs för att hitta den mest ekonomiska design konstruktionen när det gäller den totala kostnaden under asfaltens livslängd
- ❖ Den inbäddade energin av bitumen och transport var inte bara största delen av den energi som är en del av vägbygget, men också ansvarig för stora mängden av kostnaden



- ❖ En ram för utförande av LCC föreslås, där den totala kostnadsberäkningen baseras på den energi och tid som används under de undersökta livscykelstadierna i asfaltens livslängd
- ❖ Trots förändringar i värdet av en valutaenhet, förblir energi och tidsenheten konstant. Därför utför en LCC baserat på dessa enheter mer giltiga resultat som är okänslig för förändringar i valuta, oljepriset och arbetskostnader
- ❖ Verktöget är oberoende av dessa förändringar och kan tillämpas globalt
- ❖ Att använda energienheten som en del av LCC, gör det mycket lättare att kombinera LCC med livscykelanalys (LCA) genom att betrakta de motsvarande utsläppen



Tack så mycket

Email:

Iman.mirzadeh@abe.kth.se

Tel:

08 -790 6592